

促进中国农村地区分散型可再生能源发电系统发展的政策研究

项目课题组 编著

中国能源研究会
中国农村能源行业协会

2002 年 7 月

总报告

促进中国农村地区分散型可再生能源发电系统发展的政策研究

邓可蕴 焦庆余

项目课题组

2002 年 7 月

促进中国农村地区分散型可再生能源 发电系统发展的政策研究

1、中国需要对离网型可再生能源发电系统发展政策进行专门研究

1.1 以 现代技术开发利用可再生能源是拯救地球的有效手段之一。

？利用可再生能源发电或取得热能，将对中国和全球的能源消费结构产生巨大的正面影响，从而减缓温室气体效应，减轻大气污染程度。近期国家计委在制定“十五”能源发展专项规划中明确提出能源开发继续遵循：“以电力为中心，以煤炭为基础，积极开发油气，重视开发新能源与可再生资源”的战略方针，新制定的发展战略“保障能源安全，优化能源结构，提高能源效率，保护生态环境，继续扩大开发，加快西部开发”中明确指出大力促进可再生能源的利用。

？中国近年出台的权威性强的长期能源发展规划，均对可再生能源给予了前所未有的重视。从最新一轮的预测（国家科技部主持的《中国后续能源发展战略研究》，2000年12月）结果来看，若采用生态驱动方案（ED方案），到2050年可再生能源将成为能源需求结构中的主角之一，占30.7%，其供应量可达到1100Mtce左右，而发电量将占一半。参见表1-1，表1-2，图1-1，1-2，1-3，1-4。

？由上述图表1-2和1-4可以看出，如果中国今后的能源发展依ED方案（生态驱动）实施，则不仅总能源需求量可以较BAU方案（常规方案，没有强调开发可再生能源）减少，而且由于可再生能源提供的能源数量加大，在能源消费结构中份额增大，而煤炭消费量大大下降，因而减少CO₂、烟尘、粉尘的排放，有效地改善了中国的环境质量和全球温室气体效应。

表 1-1 世界与中国 1998~2050 年一次能源需求预测

各种能源		世 界		中 国			
		1998 年 实际	2050 年		1998 年 实际	2050 年	
			B 方案	C 方案		BAU 方案	ED 方案
一次能源总量亿 tce		121	283	203	15.5	42	37
结构 %							
煤炭		22.7	22.7	10.6	64.6	43.1	28.8
石油		33.9	19.8	18.3~19.0	17.5	25.5	20.0
天然气		19.4	22.7	23.2~27.5	1.8	8.0	10.8
核电		6.1	13.6	12.7~3.5	0.3	5.2	11.6
可再生能源		17.7	22.0	35.2~39.4	19.7	18.2	28.8
其 中	水电	3.9			5.0	5.5	7.5
	生物质能源传统利用	11.8			14.4	1.0	1.1
新可再生能源		2.0			2.3	11.7	20.1

注：1.世界 B 方案为基础方案，C 方案为生态驱动方案；中国 BAU 方案为按目前趋势发展，ED 方案为生态驱动。

*资料来源：《中国能源五十年》，P.427，中国电力出版社，2001 年 1 月。

表 1-2 中国 1998-2050 年一次能源需求预测

	1998 实际	2010	2020		2050	
			BAU 方案	ED 方案	BAU 方案	ED 方案
煤炭, Mt	1310.0	1400.0	2100.0	1800.0	2500.0	1400.0
Mtce	936.0	1000.0	1500.0	1285.0	1786.0	1000.0
%	60.6	51.6	54.6	49.2	42.7	26.9
石油, Mt	190.0	280.0	360.0	320.0	740.0	520.0
Mtce	270.0	400.0	514.0	457.0	1057.0	743.0
%	17.5	20.7	18.7	17.5	25.2	20.0
天然气, Bm ³	21.4	100.0	160.0	200.0	250.0	300.0
Mtce	28.5	133.0	213.0	266.0	333.0	400.0
%	1.8	6.9	7.8	10.2	8.0	10.8
核电, GW	2.1	20.0	40.0	50.0	120.0	240.0
TWh	14.1	120.0	250.0	313.0	720.0	1440.0
Mtce	5.3	40.0	80.0	100.0	216.0	432.0
%	0.3	2.0	2.9	3.8	5.2	11.6
可再生能源, Mtce	304.6	364.0	441.1	502.9	793.0	1143.0
%	19.7	18.8	16.0	19.3	18.9	30.7
其中: 水电, GW	65.1	125.0	160.0	180.0	260.0	320.0
TWh	208.0	398.0	500.0	563	760.0	935.0
Mtce	77.6	132.0	150.0	180.0	230.0	280.0
%	5.0	5.8	5.8	6.9	5.5	7.5
其中小水电, GW	25.2	35.0	50.0	55.0	70.0	75.0
TWh	80.0	112.0	160.0	176.0	224.0	240.0
Mtce	29.8	37.0	51.2	56.3	67.2	72.0
传统生物质能, Mtce	222.0	140.0	90.0	90.0	40.0	40.0
%	14.4	7.2	3.4	3.4	1.0	1.1
新可再生能源, Mtce	35.2	128.8	236.3	289.2	590.2	895.0
%	2.26	6.6	8.6	11.1	14.1	24.1
总计, Mtce	1544.4	1937.0	2748.0	2611.0	4185.0	3718.0
%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
CO ₂ 排放量, Mt-C	793.0	951.0	1385.0	1230.0	1921.0	1245.0

注: 1. 除石油、天然气外, 其他各种能源的需求量等于国内供应能力。

2. BAU (Business as usual) 是按目前趋势发展, ED 是生态驱动。

3. 煤炭需求不包括出口。

4. 水电不计抽水蓄能。

5. 新可再生能源包括: 小水电, 新技术生物质能, 风能, 太阳能, 地热能, 海洋能。

6. 核电和可再生能源发电按火电厂发电热耗 (gce/kWh) 折算标准煤, 1998 年 373, 2010 年 330, 2020 年 320, 2050 年 300。

7. CO₂ 排放因子 (Mtce): 煤 0.68, 石油 0.54, 天然气 0.41。

参考: 1. 课题组, 中国能源战略研究 (2000~2050), 中国电力出版社, 1997 年 5 月。

2. 中国工程院, 中国可持续发展能源战略研究, 1998 年 12 月。

3. 国家计委、原煤炭部联合调查组, 全国煤炭消费状况调查及预测研究, 1999。

4. 1998~1999, 中国农村能源年鉴, 中国农业出版社, 1999 年 11 月。

5. 国家统计局。

表 1-3 中国 1998-2050 年可再生能源需求预测

	1998 实际	2010	2020		2050	
			BAU 方案	ED 方案	BAU 方案	ED 方案
水电, GW	65.1	125.0	160.0	180.0	260.6	32.0
TWh	208.0	398.0	500.0	563.0	760.0	935.0
Mtce	77.6	132.0	160.0	180.0	230.0	280.0
其中: 小水电						
GW	25.2	35.0	50.0	55.0	70.0	75.0
TWh	80.0	112.0	160.0	176.0	224.0	240.0
Mtce	29.8	37.0	51.2	56.3	67.2	72.0
生物质能, Mtce	224.5	210.0	230.0	250.0	275.0	310.0
其中: 传统利用	222.0	140.0	90.0	90.0	40.0	40.0
新技术利用	2.5	70.0	140.0	160.0	235.0	270.0
其中: 发电, GW	0.8	3.0	10.0	15.0	30.0	50.0
TWh	2.0	12.0	40.0	60.0	120.0	200.0
Mtce	0.75	4.0	12.8	19.2	36.0	60.0
太阳能, Mtce	2.18	15.2	36.1	49.9	198.0	373.0
热水器, Mm ²	15.0	100.0	200.0	250.0	400.0	600.0
Mtce	1.8	12.0	24.0	30.0	48.0	72.0
太阳房, Mm ²	15.0	100.0	270.0	400.0	1000.0	2000.0
Mtce	0.37	3.0	8.1	12.0	30.0	60.0
热发电, GW	—	0.1	1.0	2.0	10.0	20.0
TWh	—	0.2	2.0	4.0	20.0	40.0
Mtce	—	0.1	0.8	1.5	8.0	16.0
光伏发电						
GW	0.013	0.15	4.0	8.0	150.0	300.0
TWh	0.03	0.33	8.8	17.8	330.0	660.0
Mtce	0.01	0.12	3.2	6.4	112.0	225.0
风力发电, GW	0.248	4.0	6.0	8.0	50.0	100.0
TWh	0.66	10.9	17.4	23.2	156.0	312.0
Mtce	0.25	4.0	6.0	8.0	44.0	88.0
地热, Mtce	0.44	2.0	6.0	10.0	25.0	50.0
其中发电, GW	0.028	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0
TWh	0.11	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
Mtce	0.04	0.17	0.3	0.5	0.8	1.5
海洋能发电						
GW	—	0.6	3.0	5.0	8.0	16.0
TWh	—	1.6	9.0	15.0	24.0	48.0
Mtce	—	0.6	3.0	5.0	21.0	42.0
总计, Mtce	304.6	364.0	441.1	502.9	793.0	1143.0
其中: 发电						
GW	66.2	133.0	184.2	218.3	508.5	807.0
TWh	210.8	423.5	578.2	684.5	1412.5	2200.0
Mtce	78.7	142.0	192.1	230.0	455.5	718.5

注: 1. BAU 是按目前趋势发展, ED 是生态驱动。

2. 各种可再生能源开发利用量预测考虑资源潜力、经济社会发展、技术进步、与常规能源的竞争力等因素。

3. 小水电是装机容量 25MW 以下的水电站。

4. 生物质能新技术利用包括制沼气、气化、液化和发电。

5. 1998 年风力发电包括: 联网风电场 224MW, 605GWh, 小、微型风力机 15.6 万台, 18MW, 36GWh。

6. 太阳能热水器每 m²集热面积每年提供 120kgce 能源, 被动太阳房每 m²每年(采暖季)节省 25kgce 能源。

7. 可再生能源发电设备年利用小时: 小水电 3200, 生物质能发电 4000, 太阳热发电 1800, 光伏电池发电 2200, 风力发电 2010 年 2700, 2020 年 2900, 2050 年 3100, 地热发电 5000。

8. 发电量按火电厂发电热耗折算标准煤 (gce/kWh), 1998 年 373, 2010 年 330, 2020 年 320, 2050 年 300。

参考: 同表 3—2。

4. 1998—1999, 中国农村能源年鉴, 中国农业出版社, 1999 年 11 月。

5. 国家统计局。

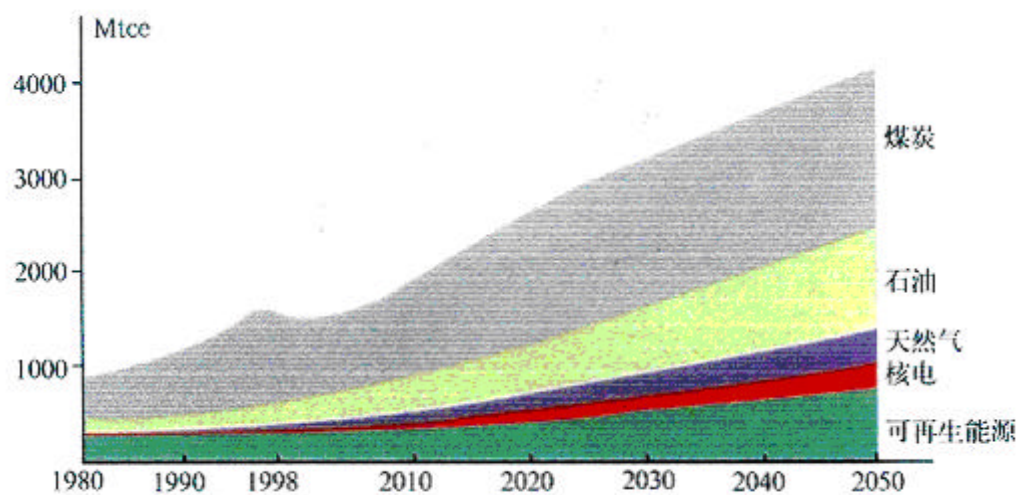


图 1-1 1998-2050 年全国可再生能源开发利用预测，BAU 方案

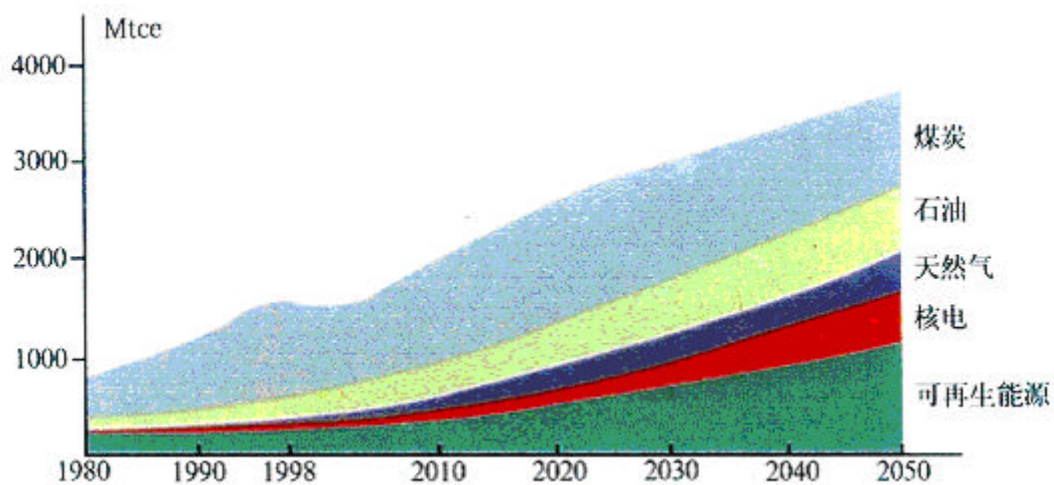


图 1-2 1998-2050 年全国可再生能源开发利用预测，ED 方案

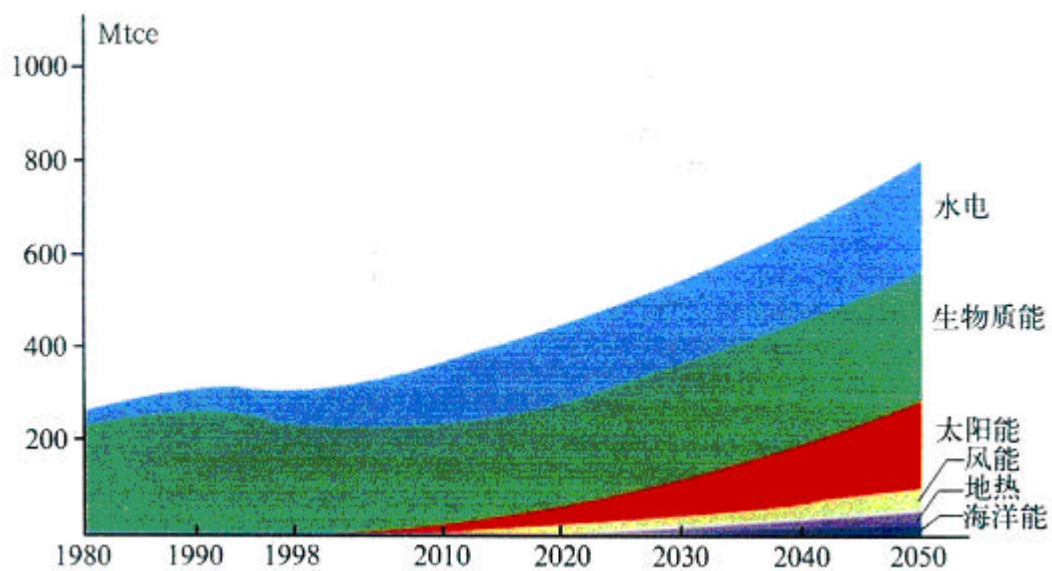


图 1-3 1998-2050 年全国可再生能源开发利用预测，BAU 方案

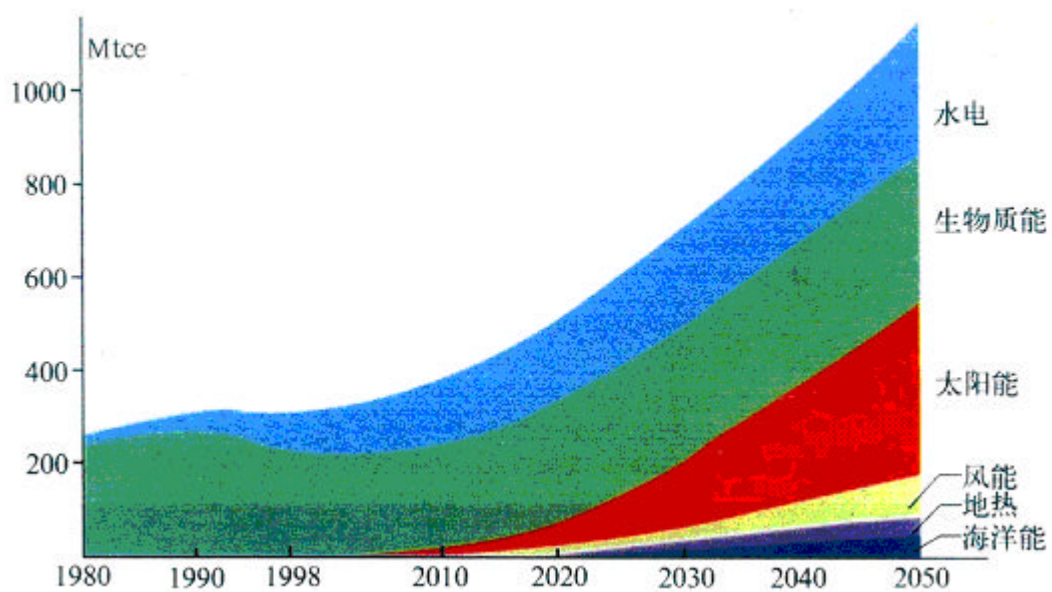


图 1-4 1998-2050 年全国可再生能源开发利用预测，ED 方案

可再生能源发电包括风力发电、小水电、生物质能发电、沼气发电、光伏发电、太阳热发电、地热发电等，在国外它们几乎全部并网出售，并且政府（如德国、丹麦、美国、日本等）制定了行之有效的激励政策（例如“配额制”），对推动可再生能源发电、并网起到了很可观的进展。中国的有关部门对此也正在研究、消化吸收，以寻求在中国更快地发展可再生能源，首先是推动大型风力发电设备的生产和风力田建设能有一种政策性的突破。

1.2 中国的离网型可再生能源发电系统有它的独特功能。

中国在 2001 年仍有无电人口 3000 万左右（约 700 多万户），生活在广袤的牧区、西部山区，即大电网在二、三十年内无法达到的地区。中国政府近年加大了对这种弱势群体的关怀力度，加快了消除无电人口的进度。更早更快地使这批弱势群体得到生活必须的电力供应，同时也就减少了对该地区生态环境（首先是林草植被）的破坏，这正符合改善全国范围的生态环境的战略要求。所以，离网型的、供应一户或数户的微型发电机组，就显示出了它们独特的功能，得到农民与当地政府的青睐。现已有近 56 万户（约 230 万人口）受益，并已形成了初具规模的产业体系。它们主要包括：百 W 级~10KW 的微型水力发电系统；百 W 级~10KW 的小型风力发电系统；25Wp~120Wp 的户用光伏发电系统。以及风光互补系统（300W 风机与 100W 或 150W 光伏）。

微型水力发电系统，将微小的水力资源转化成符合民用电要求的电能的成套水力发电设备。包括水轮机、发电机、稳压设备及小量土建工程和供电线路。供农户照明、家用电器、排灌、小型加工等用电。2000 年中国已安装 8.9 万台微水电工程，装机容量 160MW，用户约 31.6 万。微水电发电系统的配置如下：

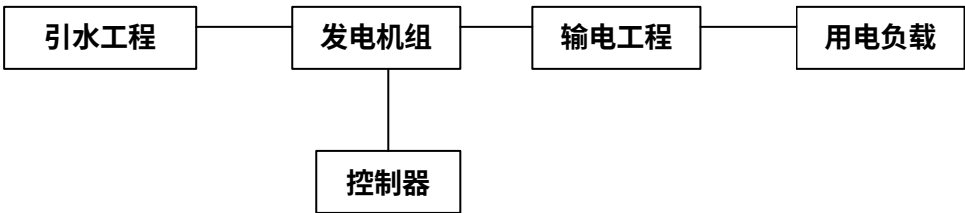


图 1-5 微水电系统

独立运行的小型风力发电系统，是指风力发电机的桨叶在气流作用下产生空气动力，从而使风轮旋转驱动发电机产生电能。容量为 100W~10KW 的风力发电机属于小型，需与蓄电池配套独立运行，供应农牧民、渔民等照明、家用电器、挤奶机等用电。2000 年有 12.05 万台小型风力发电机在运行，装机 17.2MW，受益 10 余万户。光伏发电系统的配置如下：

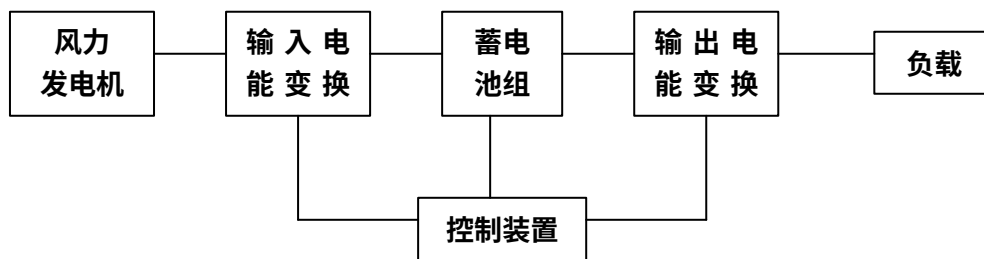


图 1-6 小风电系统

光伏发电电池，是一种将太阳能直接转换成电能的装置，其基本元件由作为正、负电极的半导体材料组成。当来自紫外线的可见光和近似红外光的光子放射时，半导体中的电子被分离，产生直流电。单晶硅太阳电池直径多为 100mm 的圆片，转换效率 12~13%，36 片串联组件的功率约 37W。加装配套设施直流—交流逆变器、蓄电池和充电控制器等，可供农牧民照明用电。2000 年全国应用光伏电池超过 15MW，通讯占 1/2，户用系统占 15%，约 2.4MW，供 15 万户使用。光伏发电系统的配置如下：

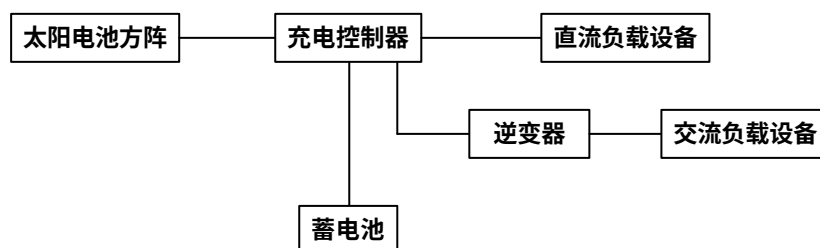


图 1-7 小光电系统

- * 资料来源：1、农业部《全国农村能源统计资料》，2001 年 7 月；
2、本项目课题组调研报告；
3、《中国后续能源发展战略研究总报告》。

离网型可再生能源发电系统，由于是分散的、独立于网外的供电形式，不可能直接利用“配额制”政策促进它的发展，需要制订针对于它的专门的激励政策。

1.3 国内外离网型可再生能源发电技术现状

中国自七十年代末实施改革开放政策以来，将农牧区的能源供给视为一个战略问题，开发多种可再生能源直接供应农村以改善农民生活质量，从科研、试点示范、产品推广、建立工业化生产经营体系、建立国家级产品标准和国家级质量检测机构……。微型水电、小型风电、户用光电（以下简称“三小电”）这三类网外的可再生能源技术，从无到有逐渐受到重视，得到发展。

为适应微水电发展的形势需要，农业部在 1992 年成立的“中国农村能源行业协会”（国家一级协会）内，设立了“农村小型电源专业委员会”（简称“三小电专业委员会”），包括微水电、小型风电、小型光电三类产业，现有会员单位四十多家。

1.3.1 微型水电

国外微水电装机容量是百瓦至一百千瓦级，中国是百瓦至拾千瓦级，现亦逐步统一为百瓦至一百千瓦级。

发达国家如美、英、加拿大等，依靠其良好的工业基础，生产的微水电在可靠性和发电机、水轮机效率两个方面与中国国内微水电产品相比有其优势。国外微水电的整机效率可达到 60%，使用寿命可达 10 年。而中国微水电的整机效率在 24%~53%之间，第一代产品的寿命 2~5 年，近年来，中国小功率微水电在控制技术、产品的多样化及产品价格等方面占有一定的优势，第二代产品的寿命超过 8 年。

除中国外，至今世界上还没有任何国家，任何大的公司投入力量来认真研究微水电。但是，随着发展中国家微水电需求量的增长以及环保意识的增强，微水电开始受到各国政府的重视，微水电的国际技术交流活动日趋频繁。

中国自二十世纪八十年代开始开发微水电技术,九十年代开始编制相关的国家标准,建立国家级微水电设备质量监督检验测试中心(1998 年正式通过国家技术监督局的计量认证)。

到 2000 年止,全国约有 20 余家生产微型水电机组的企业,分布在微水电资源丰富的广西、四川、云南、湖南、江西以及江苏等省,其产品也有出口,累计出口微型水电机组已达 2 万台套,装机容量 4 万多千瓦,主要出口到东南亚等发展中国家。

本课题组曾在 2001 年对中国的微型水电的产业、用户和市场潜力做了较系统的调研,调研报告请见本报告的附件(1)《微型水电调研报告》。

1.3.2 小型风力发电

国外将 10kW 以下(含 10kW)的风力发电机划为小型风力发电机,这种划分与中国相同。

中国生产的小型风力发电机多为 100W、150W 和 300W,具有独立的知识产权,现在全国有 17 家风力发电机生产企业和 10 家生产配套设备的企业。十多年来累计生产 19.7 万台,装机容量约 50MW。最近数年单机 300W 的小型风力发电机市场销量趋多。小型风机使用数量七成以上在资源丰富的内蒙古,当地政府制订了一系列有利于开发风电、风光(伏)互补发电的优惠政策。

上个世纪八十年代,中国已有北京八达岭国家级风力发电检测中心;九十年代末,又建成内蒙古赛汗塔拉风电测试场,专门承担小型风电机组的性能、强度及寿命测试。

近年来非洲、东南亚和拉美地区,对中国的小型风力发电机需求较旺,累计已出口近 5000 台套。

中国在千瓦级以上的小型风力发电机的设计、制造水平与发达国家相比有明显差距。近年与德国、法国、瑞典、美国等通过引进、合资方式,生产 600W、1kW、5kW、10kW 的风力发电机,使中国千瓦级的风力发电机生产能力有所提高。

本课题组曾在 2001 年对中国的小型风电的资源、产业、用户和市场潜力做了较系统的调研,调研报告请见本报告的附件(2)《小型风力发电调研报告》。

1.3.3 光伏发电

光伏发电在国外发展极快,民用市场扩展迅猛,不仅向边远农村、特殊用

途提供电力，而且已在较大范围开展与建筑（屋顶）一体化供电的试点。日本、德国、美国等发达国家出台减免税的激励政策，极有效地推动着光伏发电与建筑一体化，光伏发电已实实在在地成为一种零排放的替代能源。

自二十世纪九十年代以来，由于太阳能电池价格下降，发达国家掀起了发展屋顶光伏并网系统的热潮。屋顶光伏系统充分利用了阳光的分散性特点，将太阳能电池安装在现成屋顶上，其灵活性和经济性都大大优于大型并网光伏电站，受到了各国的重视。

2000 年全世界太阳能电池产量达到 287.7MW，累计安装量已超过了 1300MW，组件成本 3 美元/W_p 以下，发电成本 0.25 美元/kWh。预计到 2030 年，光伏发电在世界的总发电量中将占到 5~20%。光伏发电已经在许多领域都被证明在技术上是成熟的，在经济上是合算的。分析表明，当离网型光伏电站有效系统功率与输电距离的比值小于 100 W/km 的时候，建光伏电站较常规电网延伸供电要经济得多。

2001 年中国太阳能电池年产量为 3MW，约为世界产量的 1.25%。但多数生产线技术老化，产品转换效率较低。

2001 年中国科学院电工所正式建成光伏发电检测中心，并通过了国家质检局的认证。

国际组织和西方发达国家对中国可再生能源方面援助，太阳能电池占很大份额。

中国光伏发电在边远地区，特别是西藏、青海、新疆等地，发展较快，利用国际援助较多，中国政府承担配套设施和培训等费用。

本课题组对光伏发电的专题调研报告见附件（3）《小型/独立光伏发电调研报告》。

2、发展离网型可再生能源发电技术符合中国发展战略宗旨

2.1 资源丰富

2.1.1 中国有四百多万千瓦（4GW）的微水电资源。

主要分布在长江流域及其以南的丘陵山区、西藏东南部等 15 个省、市、区，即降雨量在 1000 毫米以上的丘陵和终年有积雪的山麓下，利用落差 1.5—30.0m、流量 30—1000m³/h 的小溪、泉水、渠沟的水流资源，均可开发微水电工程，通常

这些资源包含在八千万千瓦小水电资源内。请参阅图 2-1。

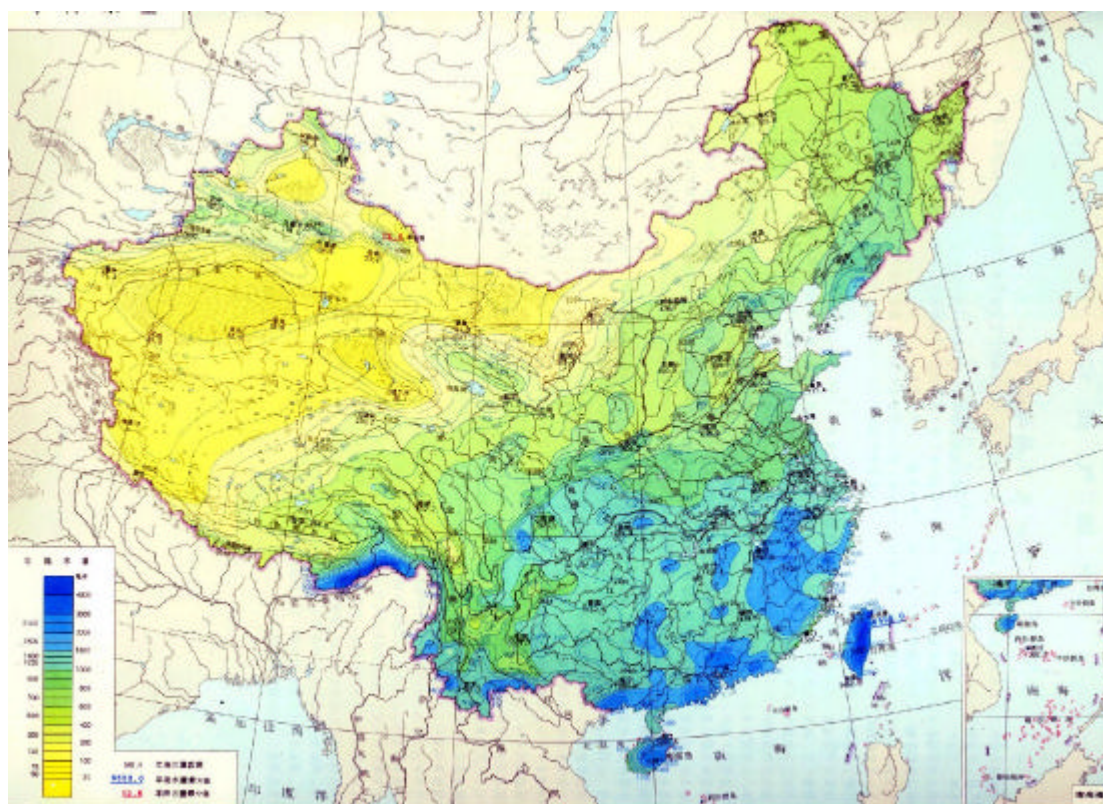


图 2-1 中国年降雨量分布

资料来源：中华人民共和国地图集，p.11，地图出版社

通行的微水电资源划分如下：

丰富区：年降雨量>1500 毫米，山地、丘陵地形；

较丰富区：年降雨量>1200 毫米，山地、丘陵地形；

贫乏区：年降雨量<1000 毫米，平原地形。

由图 2-1 可清晰地看出：长江流域及其以南广大地区微水电资源丰富，主要是广西、江西、云南、四川、台湾与湖南等省、区，其中资源最丰富地区在广西的南、北山地，赣东北、云南和四川盆地北部。

2.1.2 中国的风能资源丰富，实际可开发量超过 2.53 亿千瓦（253GW），近海域风能可开发量约为 7.5 亿千瓦（750GW）。

中国风能资源和风电场分布见图 2-2，风能可利用区占全国面积的百分比见表 2-1。

表 2-1 我国风能区占全国面积的百分比

	丰富区	较丰富	可利用区	贫乏区
年有效风能功率密度 (W/m^2)	≥ 200	200~150	150~50	≤ 50
年 $\geq 3.5\text{m/s}$ 小时数	≥ 5000	5000~4000	4000~2000	≤ 2000
占全国面积/%	8	18	50	24

资料来源：

- 1、中国气象科学研究院（该院对 900 多个气象站年平均风功率密度进行了测标）。
- 2、国家电力公司：水电和新能发展部，新能源处。

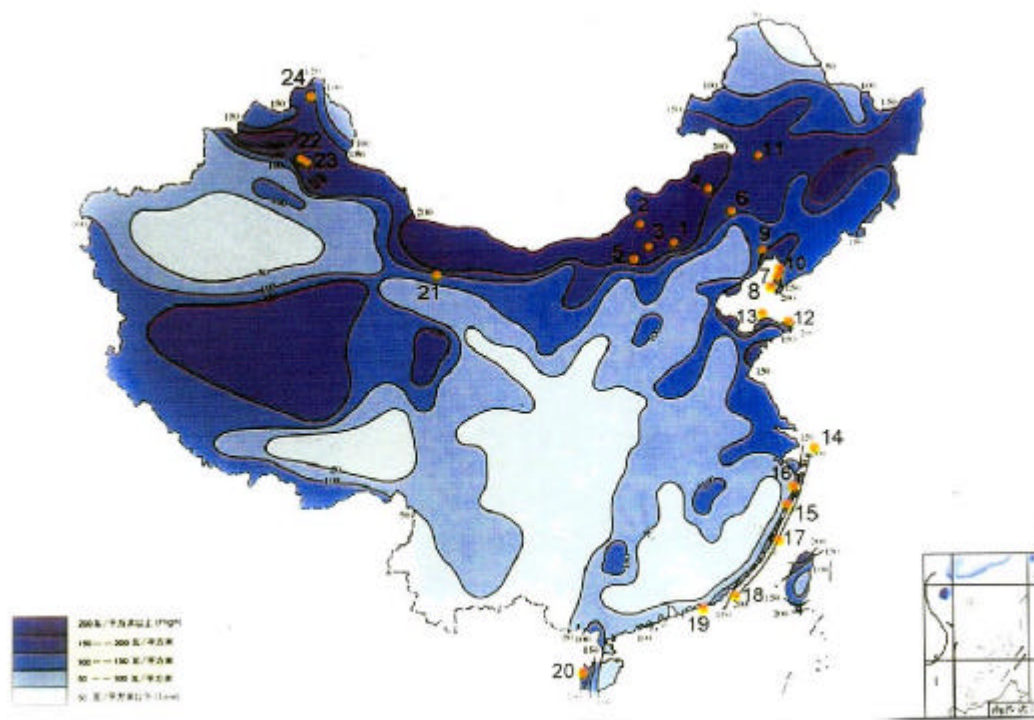


图 2-2 中国风能资源和风电场分布图

百千瓦级的大型风机，选择在风能资源丰富的地区才可正常运行、发电，即当地的年平均风速 $\geq 6\text{m/s}$ ，年有效风能功率密度 $\geq 200\text{W}/\text{m}^2$ 。事实上大型风机

所利用的风速常常是在 10m 以上甚至是 30-50m 的高度，这种高度可获得的风能资源将是数倍于 10m 高度的风能资源。

小型风力发电机需要的启动风速较低，有 3m/s 即可发电，并对蓄电池陆续充电，以确保用户正常用电。能够满足小型风力发电机组正常工作的风力资源在中国分布很广，占国土总面积约 76%。

2.1.3 太阳能：我国陆地每年接受的太阳辐射能约相当于 2.4 万亿吨 tce，2/3 国土面积得到的太阳能年总幅射量超过 $0.6\text{MJ}/\text{m}^2$ 。由图 2-3 可知，西藏、青海、新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等地是太阳能资源丰富区*，具有良好的开发条件和应用价值。详细分布划分见表 2-2。

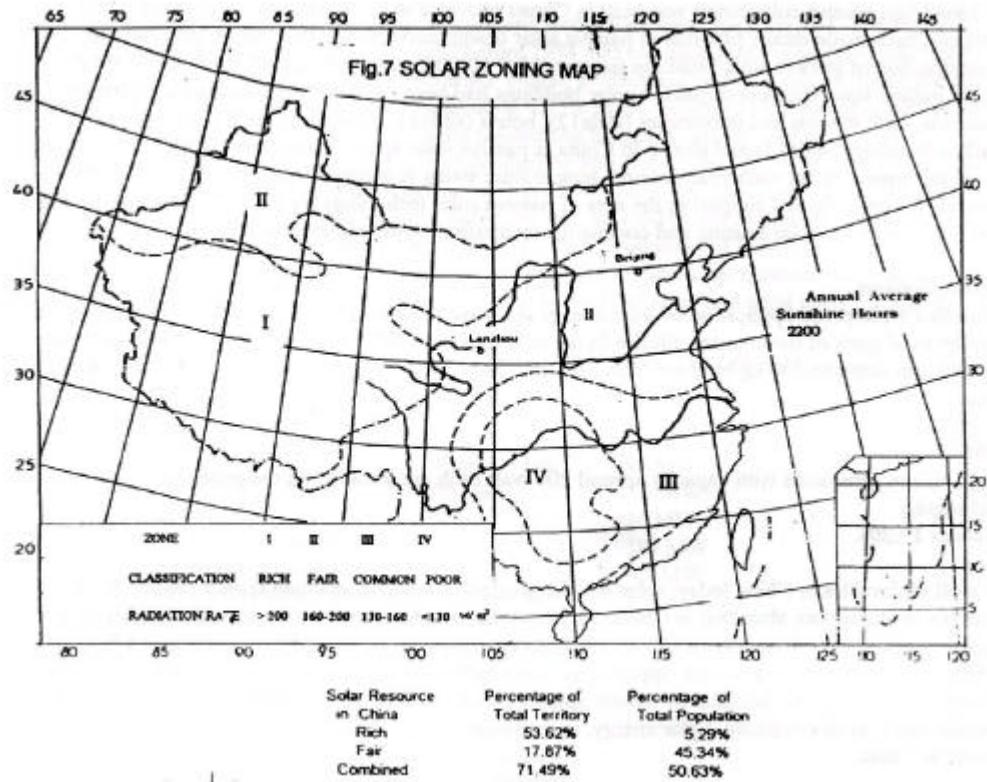


图 2-3 中国太阳能资源分布图

*资料来源：《中国后续能源发展战略研究总报告》，P.65，2000 年 12 月。

表 2-2 全国太阳能利用区划系统及分区特征

分 区	太阳辐射强度	主 要 地 区	月平均气温
-----	--------	---------	-------

	千焦/平方厘米·年		≥10℃、日照时数≥6小时天数
资源丰富区	>628.02	新疆南部、甘肃西北一角	275 左右
		新疆南缘、西藏北部、青海西部	275~325
		甘肃西部、内蒙古巴彦淖尔盟西部、青海一部分	275~325
		青海南部	250~300
		青海西南部	250~275
		西藏大部分	250~300
		内蒙古乌兰察布盟、巴彦淖尔盟及伊克昭盟一部分	>300
资源较丰富区	502.42~628.02	新疆北部	275 左右
		黑龙江、吉林大部、内蒙古呼伦贝尔盟	225~275
		内蒙古锡林郭勒盟、乌兰察布盟、河北北部一隅	>275
		吉林、辽宁、长白山地区	<225
		山西北部、酒北北部、辽宁大部分	250~275
		河北大部分、北京、天津、山东西北部	250~275
		山西南部、河南大部及安徽、山东、江苏部分	200~250
		内蒙古伊克昭盟大部分	275~300
		陕北及甘肃东部一部分	225~275
		青海东部、甘肃南部、四川西部	200~300
		四种南部、云南南部一部分	200~250
		西藏东部和四川西部、云南北部一部分	<250
		云南东南一部分	175 左右
		云南西南一部分	175~200
		福建、广东沿海一带	175~200
		海南	225 左右

资源较贫乏区	418.68~502.42	湖南、安徽、江苏南部，浙江、江西、福建、广东北部	150~200
		湖南东部和广西大部分	
		湖南西部、广西北部一部分	125~150
		陕西南部	125~75
		湖北、河南西部	150~175
		四川西部	125~175
		贵州西部、云南东南一隅	150~175
		广西西部	150~75
资源贫乏区	<418.68	四川、贵州大部分	<125
		成都平原	<100

*资料来源：《1997 中国农村能源年鉴》，P.29，中国农业出版社，1998 年 7 月

风能和太阳能（光伏）互补发电系统，可以更充分地利用自然资源条件，扩大并改善向居住在广大低风速区的农牧民供电。由于风能在冬春季最大，夏季最小，而太阳能在夏季最丰富，冬季较小。一天当中也是白天风速较低，太阳能条件好，晚上没有太阳能，风速却较大，因此，单独使用小型风力发电机或光伏发电无法保证全年、甚至一天当中能够均衡供电。为了克服由于风能、太阳能所特有的年、月、日变化而造成供电不均衡的缺陷，现代科技采用风能——太阳能互补发电系统（简称为“风光互补”），不仅可以保证一年四季均衡供电，而且对蓄电池也做到较为均衡地充放电，使用寿命延长；同时由于自然资源得到更充分的利用，降低了小型户用发电系统的发电成本，获得了较好的经济效益。

由以上情况可知，中国发展微水电、风力发电、光伏发电资源条件优越，而中国目前绝大多数无电人口均分布在“三小电”资源丰富的地区，要充分合理开发这笔宝贵资源，为生活在这些地区的无电人口解决用电问题。

2.2 技术可行

2.2.1 微水电具有自动调压稳频控制功能，可直接作为农户、照明，收看电

视和拖动微型农副产品加工机械的电源。它由微型水轮机、发电机、稳压稳频控制器、传动装置组成。国内这种产品技术已经成熟，并逐渐推向市场。这是微水电的第二代产品，过去（第一代）的产品没有自动调压稳频设备，运行时电压不稳定，不符合微水电标准，也不安全。现在中国当前的控制技术水平，完全可以使微水电的供电质量达到电网供电的各项技术指标。目前微水电控制技术的研究重点是在满足控制技术可靠性的前提下，降低成本，以便贫困的用户能够接受。随着单片机、电子器件、可控硅价格的不断下降，微水电的调压稳频控制技术已趋于成熟。在中国目前正是第二代微水电（寿命超过 8 年）的推广期。

提高微水电机组效率，提高控制技术的可靠性以及改进微水电站建设中机组安装的方便性，是中国微水电技术发展的三大任务。提高微水电机组效率核心是提高水轮机的效率。小型水轮机效率的提高要从理论、设计以及制造工艺上做工作；可靠性是指在经济性基础上的可靠性。而微水电站建设中的土建、安装、供电工程中往往花钱较多、时间长。有必要强化安装过程中标准件，快速联接件的专业化供应，尽量缩短工期，并把损失控制到最小。

中国微水电生产厂家在 20 世纪 80 年代后期由小型水轮机厂或小型电动机厂转产的微水电设备生产企业曾达到过 200 多家，年生产微水电机组（第一代产品）能力达到 20 万台以上。然而由于当时的微水电技术还不很成熟，使用寿命短、发电效率低，供电质量差等问题十分突出；加之市场不规范，技术服务体系不健全，零部件供应无保障等原因，在地区政府支持力度减小后，产量迅速下滑，生产企业也降至 60 多家。

自二十世纪九十年代微水电明确归农业部主管以后，微水电被视为综合解决农村用能的一个组成部分，微水电的发展逐渐走向正规，不仅开始建立产品标准化体系，而且在南京农机化所筹建产品质量检测中心。但对微水电生产企业的调查工作做的不够，目前还没有系统的统计。课题组在调研中作了一定工作，掌握到目前微水电生产厂主干企业情况如表 2-3 所示。

表 2-3 2000 年微水电主要企业情况一览表

序号	企业名称	主 要 产 品				邮编	电话
		水轮机 型式	功率 (kW)	年销量 (台)	装机容 量 kW		
1	广西桂林平 乐电机总厂	轴流式	0.3~5.5	710	420.0	5424000	0773-7882571
		斜击式	0.3~5.5	1460	2920.0		
2	广西平南县 光华电机厂	轴流式	0.3~5	7050	3525.0	537300	0775-7862695
		斜击式	0.3~5.5	10750	8600.0		
3	广西平南县 西江电机厂	斜击式	0.4~1.5	1350	675.0	537304	0775-7662055
		轴流式	0.4~1.5	1250	500.0		
		水斗式	0.4~10	500	200.0		
4	湖南凤凰县 微型电机厂	斜击式	0.3~5.5	19	76.0	416200	0743-3221054
5	云南碧泉微型水 轮机厂	斜击式	0.3~5.5	150	375.0	674200	0888-6523451
6	大理市力达能源 实用技术所	斜击式	0.1~10	1057	868.5	671000	0872-2120336
7	洪雅水轮机厂	斜击式	1~5.5	65	195.0	620360	0833-7403773
8	四川大邑县水轮 机厂	轴流式	1~5.5	50	200.0	611330	028-2222147
9	江西会昌微型发 电机厂	斜击式	0.3~5.5	500	250.0	342602	0797-5666009
10	金寨县恒盛机械 制造公司	斜击式	0.3~3	30	50.0	237300	056-7062556
11	乐清机械厂	混流式	1~10	200	1000.0	325600	0577-62522885
12	曙光水电经济技 术合作公司	轴流式	0.3~5	150	150.0	310012	0571-88822968
		斜击式	0.3~5.5	750	375.0		
13	扬州市高发电电 制造公司	发电机	0.3~10	30	120.0	225600	0514-4615198
14	张家港英德利空 调风机公司	斜击式	1~10	50	200.0	215622	0520-8650437
15	河南西峡县水电 设备厂	斜击式	1~10	30	150	474500	0377-4662282
16	其它企业		0.3~10	5000	5000.0		
	累计		0.1~10	31151	25849.5	机组产值约 5170 万元 约解决 86000 户农民的生	

						活用电。
--	--	--	--	--	--	------

*资料来源：本项目课题组

2.2.2 小型风力发电机

中国目前生产的小型风力发电机按额定功率从 100W 到 10 kW 共十种。其技术特点是：2~3 个叶片，侧偏调速、上风向，配套高效永磁发电机，再配以尾翼、立杆、底座、地锚和拉线。机组运行平稳，质量可靠，设计使用寿命 15 年。风轮的最大功率系数已从初期的 0.30 左右提高到 0.38~0.42，而且启动风速低。

发电机选用具有低速特性的永磁发电机，永磁材料为稀土材料，使发电机效率由普通发电机效率的 0.5 提高到 0.75 以上，有些可达 0.82；调速装置采用风轮偏置和尾翼铰接轴倾斜式调速、变桨距调速机构或风轮上仰式调速；功率较大的装有手动刹车机构，以确保风力机在大风或台风情况下的安全；逆变控制器，除可以将蓄电池的直流电转换成交流电的功能外，还具有保护蓄电池过充、过放、交流泄荷、过载和短路保护功能，中国小功率的逆变器技术水平已达国际先进水平。

中国研发推广的小型风力发电机适合于中国低风速区应用，且考虑到中国贫困地区的特点，价格较低，中国 100W~10kW 小型风力发电机组系列，其型号与技术参数如表 2-4 所示。

中国小型风力发电机组历年年产量请见表 2-5。由表 2-5 可知，各个生产风力发电机组的企业其年产量都不高，最多时也只有 2.5 万余台（1988 年），而且这十多年来产量很不稳定，近五年在 0.6 万—1.2 万台之间变动。“中国光明工程项目”启动后，小型风电机组的年产量有望上升。

表 2-4 几种小型风力发电机组型号及技术参数

序号	产品型号	风轮直径 (m)	叶片数	风办中心高 (m)	启动风速 m/s	额定风速 m/s	停机风速 m/s	额定功率 (W)	额定电压 (v)	配套发电机	重量 (kg)
1	FD2-100	2	2	5	3	6	18	100	28	铁氧体永磁交流发电机	80
2	FD2-150	2	2	6	3	7	40	150	28		100
3	FD2.1-200	2.1	3	7	3	8	25	200	28		150
4	FD2.5-300	2.5	3	7	3	8	25	300	42		175

5	FD3-500	3	3	7	3	8	25	500	42	钕铁硼永磁交流发电机	185
6	FD4-1K	4	3	9	3	8	25	1000	56		285
7	FD5.4-2K	5.4	3	9	4	8	25	2000	110		1500
8	FD6.6	6.6	3	10	4	8	20	3000	110	电刷爪极	1500
9	FD7-5K	7	2	12	4	9	40	5000	220	电容励磁	2500
10	FD7-10K	7	2	12	4	11.5	60	10000	220	异步电机	3000

资料来源：本项目课题组

表 2-5 我国小型风力发电机组历年产量汇总表

年度	1983 前	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
生产量/台	3632	13470	12989	19151	20847	25575	16649	7458	4988
年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
生产量/台	5537	6100	6481	8190	7500	6123	13884	7096	12170

资料来源：中国农机工业协会风力机械分会提供

近期，中国内蒙古农业大学新能源所研制出一种浓缩风能型风力发电机组。它与普通型风力发电机根本区别是：使用了一种特殊装置，对自然风进行加速、整流、均匀化，实现了将稀薄的风能浓缩后利用的目的，机组造型新颖，性能独特，提高了风能的能流密度并改善了风能的不稳定性。详情请参阅附件 2。

风—光互补混合发电系统。根据许多地区风能、太阳能在冬半年和夏半年的互补特性，克服由于风能、太阳能所特有的年、月、日的变化而造成的供电不均衡的缺欠，采用风能—太阳能混合发电、不仅可以保证一年四季均衡供电，使蓄电池使用寿命延长，同时可以使离网型小型户用发电系统的发电成本降低，使自然资源得到充分利用。

小型户用风能—太阳能混合发电系统的应用，为一些对供电要求较高的电器进入家庭创造了条件，是解决牧区、偏远地区的能源问题的一种新型供电模式。

在中国内蒙古户用型风光互补供电模式已经得到了较大规模的推广，将是今后对小康户主供电的主要模式。中国科技部“九五”期间在西藏建设了一个为 4 kW、一个为 2 kW 的风光互补的小型示范电站。

为更好地发展风光互补发电系统，中国已对风能—太阳能混合发电系统匹配计算进行了专门研究，取得了可喜成果。现已完成了风光互补发电系统计算机匹配计算的软件设计，它可以给出任何大小、任何地方的风光互补发电系统的最佳匹配设计。

控制逆变器是风光互补混合发电系统的关键设备，直接关系到系统的可靠性。高可靠性的控制逆变器采用 DC-DC 和 DC-AC 二步逆变法，大幅度展宽了输入电压的适用范围，提高了属性负载的启动与运行能力，自身寿命可达 10 年；现已投入生产的新型储能专用蓄电池，每半年补加一次蒸馏水，不仅方便了用户，而且自身寿命可达 5 年。

中国在内蒙古首先成功示范推广的风—光互补混合电系统，是对离网型可再生能源发电系统实现均衡供电的一大贡献。

2.2.3 光伏发电

中国于 1958 年开始太阳电池的研究，1971 年成功地首次应用于我国发射的第二颗卫星上，1973 年开始地面应用。1979 年开始用半导体工业的次品硅生产单晶硅太阳电池，使太阳电池成本明显下降，打开了地面应用的市场。当时太阳电池面积小，采用真空蒸镀银铝的方法制作太阳电池的电极。20 世纪 80 年代中期，引进国外太阳电池生产线或关键设备，使中国太阳电池年生产能力达到 4.5MW。单晶硅太阳电池采用丝网印刷工艺制作电极，明显地提高了生产效率。

中国太阳电池的主要产品是单晶硅太阳电池及非晶硅太阳电池，多晶硅太阳电池只有少量中试产品。单晶硅太阳电池产品主要是直径为 100mm 的圆片电池，效率为 12-13%，36 片太阳电池串联的组件功率约为 37W。少数工厂生产 100mm×100mm 准方片太阳电池，但未进行正式生产，只有北京有色金属研究总院中试线生产准方片单晶硅太阳电池。非晶硅太阳电池的组件面积为 30cm×120cm。转换效率为 4—6%，为单结 p—i—n 太阳电池。请见表 2-6。

表 2-6 我国太阳电池的生产厂家及其现状

编号	生产厂家	投产时间	生产设备	产 品	生产能力	2000 产量
1	天津电源研究所	1973	国产	晶体硅	100kWp	20kWp
2	开封太阳能电池厂	老线：1975 新线：1988	引进美日关键设备	单晶硅	300kWp	200kWp
3	宁波太阳能电源厂	老线：196 新线：1988	引进美关键设备	晶体硅	1MW	600kWp
4	武汉 752	1979	引进美封装设备	晶体硅	300kWp	300kWp
5	云南半导体器件厂	老线：1983	引进加拿大	单晶硅	1.5MW	500kWp

		新线：1987	生产线			
6	北京有色金属研究总院	1987	国产	晶体硅	200kWp	100kWp
7	深圳 3 家公司	1987	原宇康	非晶硅	300kWp	300kWp
8	哈尔滨-克罗拉	1988	引进美国生产线	非晶硅	1MW	500kWp
9	秦皇岛华美公司	1990	引进美国生产线	单晶硅	1MW	300kWp
10	上海国飞绿色绿源	2000	国产设备	单晶硅	500kWp	100kWp
11	保定英利		引进	多晶硅	计划 3MW	未投产
12	北新建材		引进	多晶硅	计划 2MW	未投产
13	江苏建筑公司		引进	多晶硅	计划 10MW	未投产

资料来源：本项目课题组

中国光伏发电系统的整体技术水平较低。太阳电池的效率、封装水平与国外产品有明显差距；专用原材料如封装材料主要依赖进口，硅材料生产能力满足不了需要；中国太阳能电池组件成本 30 元/Wp，平均售价人民币 37 元/Wp，均高于国外；而对于应用系统的配套直流—交流逆变器，充电控制器等产业化、商品化程度低。

加入 WTO 后，中国太阳能光伏产业面临严峻的挑战和发展机遇，且挑战大于机遇，中国对此必须有清醒的认识，要有紧迫感和危机感。

2.3 市场潜力可观

2.3.1 微水电适用于长江流域及其以南丘陵山区、西藏东南河谷地区。粗略估算，以每户 0.3kW 计，装机 90-100 万 kW，需投资 36-40 亿元，即可基本解决这一区域中 1100 万 1300 万无电人口的用电需求。

这一区域中，有一批无电人群居住在大电网经济供电半径之外，由于地形限制，无法架线。有不少少数民族村寨，建在崇山峻岭的半山腰，周围原始森林环抱，难以架线，而且易造成环境破坏，不能通电；还有一些地方由于贫穷，交不上架线集资款或电网入网费，因而不能通电；另外也有一些农户由于产业结构调整、退耕还林而转移了住地，成为承包荒山户、咖农、药农户，这是一批新的无电户。

以课题组在湖南湘西古丈县调查为例，全县早已实现了通水、通电、通公

路“三通”，在电力部门统计中该县是实现了农村电气化的县，没有无电户。但2002年经过详细调查，在全县16个乡中，却仍有八千多无电户，无电人口接近全县13万人口的27%。

*资料来源：古丈县县政府无电户调查花名册

实践证明，微水电具有良好的经济性是与生俱来的，这是①因为水力比太阳能、风能能源密度大，采集容易；②从发电到用电转换环节少，能源利用率高，设备简单；③发电设备制造成本较低，采用直接供电方式，不需要变电设备，就近发电、就近供电、输电成本低；④管理与维护简单、运行成本低。

微水电建站装机每千瓦3000元，少数地方还需要建水渠或输电线路。每公里水渠建设费用4000元，输电线路每公里1.2万元。

2.3.2 中国的西部和西北地区干旱少雨，国土面积大，是半牧、全牧地带，要依靠太阳能和风能发电系统解决供电问题。

中国北方与西部地区还有大量的无电户，中国未通电率最高的10个省、区，如表2-7所示。从表中可看出海南、贵州、云南、广西等省、区，在微水电资源丰富地区，其余六省、区在中国的西部，那里有着丰富的太阳能、风能资源。

表2-7 中国未通电率最高的10个省、区（按未通电户的比例排序）

序号	省份	未通电率 (%)	无电人口	平均每户规模(人/户)	无电户 (万户)
1	西藏	78.83	189	5.11	36
2	贵州	18.26	648	3.99	162
3	新疆	16.89	280	4.13	67
4	海南	14.05	100	4.41	22
5	青海	15.05	74	4.50	16
6	云南	12.45	500	3.95	126
7	甘肃	11.10	270	4.07	66
8	宁夏	7.90	41	4.11	10
9	内蒙古	7.18	266	3.60	73
10	广西	4.43	203	4.14	49

资料来源：1、国家电力公司：水电和新能源发展部

2、中国统计年鉴，2000年。

在中国西部，未通电户大多远离城镇，远离电网覆盖地区，用电负荷小且

分散。近 20 年之内，靠电网延伸为他们供电事实上是办不到的。由于历史和地理的原因，这些村落和居民主要分布在西部的边远欠发达地区，其中相当多数又是少数民族。没有用电已经严重地制约了当地的社会和经济发展，这些地区与中国发达地区的差距正在日益加大。

中国内蒙古、西北和青藏高原拥有丰富的风能和太阳能资源，中国多年实践证明离网型风力发电和光伏发电技术适宜于在内蒙古、甘肃、宁夏、青海、新疆等省区及沿海岛屿推广应用。“十五”期间开始实施的“中国光明工程”项目，其目标是用 100 亿元的投资，采用小型风力发电、光伏发电和“风-光互补”供电系统，为中国西部 180 万无电户解决生活用电的电力供应问题。

在这些地区要服务的对象为散居和群体两大类型，根据不同地区风能/太阳能资源的特点，有关的科研和技术服务系统的业内人士，曾研讨确定了几种需求的基本系统配置方案，现介绍如下：

· 分散农牧户：

按照生活水平的高低，其用电水平可分为低、中、高三个档次，其用电量估算见表 2-8。

表 2-8 分散农牧户用电量估算表

档次	用电器	数量	功率 (W)	工作时间 (h)	同步系数	峰值功率 (W)	日用电量 (kWh)
低	节能灯	2	9	5	0.8	14.4	0.072
	收录机	1	10	3	1	10	0.03
	合 计					24.4	0.102
中	节能灯	3	9	5	0.8	21.6	0.108
	小黑白电视	1	30	4	1	30	0.12
	收录机	1	10	3	1	10	0.03
	合 计					61.6	0.258
高	节能灯	5	9	5	0.8	36	0.18
	彩电	1	70	5	1	70	0.35
	收录机	1	20	3	1	20	0.06
	洗衣机	1	280	1	1	280	0.28
	冰箱	1	120	8	1	120	0.96

	合 计					526	1.83
--	-----	--	--	--	--	-----	------

资料来源：周篁等《中国光明工程项目背景与计划》，p.3-7，《中国能源》2001 年第 7 期

按照中国目前技术和工艺水平，已经可以提供满足用户要求的风力发电、光伏发电、风/光互补发电系统。由于风力发电户用系统的投资为 15 元/W 左右，光伏户用系统的投资为 80 元/W 左右，风/光互补发电系统的投资在 30 元/W 左右；从经济性角度来看，在年平均风速大于 4.5m/s 的地区，采用风力发电是适宜的选择。光伏发电尽管目前价格较高，但其运行平稳可靠，安装简便，小系统易于携带，在年日照时数 2000h 以上的地区均可使用。风/光互补发电系统供电可靠性和发电量较高，适用于用电要求高的用户。应该按照当地的风力和光照资源情况，按照用户用电需要，具体情况具体分析，选定合适的系统。

· 集中供电系统

村落的用电需求：用户 50~150 户，人口 200~600，见表 2-9。

表 2-9 村落用电量估算表

用电器	数量	功率 (w)	工作时间 (h)	同步系数	峰值功率 (w)	日用电量 (kWh)
节能灯	600	11	5	0.6	3960	19.8
电视机	80	70	4	0.	4480	17.92
收录机	100	15	2	0.6	900	1.8
洗衣机	20	280	1	0.3	1680	1.68
冰箱	15	120	8	1	1800	14.4
台钻	1	800	1	1	800	0.8
电焊机	1	1000	1	1	1000	1
其它	1	3000	2	0.8	2400	4.8
合计					17020	62.2

资料来源：同表 2-8。

村落供电系统需要专业技术人员按照当地的风能资源、太阳能资源、村落用电需求和发展预测、村落平面布置、当地农副产品加工、燃油价格等多方面因

素综合考虑。作为独立小电网，管理的好坏对其运行的经济性和可靠性有直接影响，应特别注意对当地技术人员的培训，不仅在技术上掌握系统运行、操作、维护、修理的技能，还要掌握最佳经济运行的常识，让用户在最佳经济状态下消费风能、光能发出的电能。

2.3.3 “风光互补”发电系统

内蒙古新能源办、中科院科技政策与管理研究所、美国 NREL（可再生能源国家实验室）以及美国特拉华大学，曾先后对内蒙古的“风光互补”系统做了系统性分析，其结论归纳为：

- ① 风光互补系统或风、柴、蓄系统可以满足全年、全天均衡供电的需求，这对于耗电大的用户是十分必要的；
- ② 这种产业要力争早日实现规模化、工业化生产（年产量 10 万台套以上），则产品的销售价可以降低 20-35%。

中国政府近年在西部地区推动利用光伏发电、风力发电消除无电村落、无电户，“中国光明工程”、“西藏阳光计划”、“阿里光电计划”等等，对光伏组件、小型风电、蓄电池和充电控制器、逆变器等，需求量巨大，仅“光明工程”一项其设备就达 98 亿元。

案例：本课题组对内蒙古实施“光明工程”和广西北海市沿海海域、江苏金湖地区、湖北洪湖地区，以及西藏、甘肃等地利用小型光伏发电和风力发电的情况，做了实地考察或系统研究了相关资料，请见本报告附件 2 和 3。

2.4 发展离网型可再生能源发电系统，符合国家可持续发展战略。

能源工业作为国民经济的基础，对于社会、经济发展和提高生活质量都极为重要。在高速增长的经济环境下，中国能源工业面临经济增长与环境保护的双重压力。

一个能够持续发展的社会应该是一个既能满足社会需要，而又不危及后代人前途的社会。因此，节约能源、提高能源效率，尽可能多地用洁净能源替代高含碳量的矿物燃料，是中国能源建设遵循的原则。中国政府在其发表的《中国 21 世纪议程》中，明确提出：重点开发清洁煤技术、大力发展可再生能源和洁净能源；把开发可再生能源放到国家能源发展战略的优先地位，采取适当的财政鼓励措施和市场经济手段，吸收地方政府和用户共同参与；加速开发生态影响小，便

于地方和用户自行建设的中小水电资源；大力开辟牧区可再生能源，如太阳能、风能和沼气等。

1995 年由中国国家科委、国家计委、国家经贸委制定了《中国新能源和可再生能源发展纲要》。新能源和可再生能源产业发展目标是：加速技术和产品的推广应用；增强我国设备制造和生产能力；建立产业化配套服务体系；健全法规和机制，实现新能源和可再生能源开发利用的商业化发展。到 2015 年新能源和可再生能源开发量达到 4300 万 t（不包括生物质传统利用及小水电）；该产业将成为国民经济的一个新兴行业，拉动机械、电子、化工、材料等相关行业的发展；对减轻大气污染、改善大气环境质量作用明显，将减少 3000 多万 t 碳的温室气体及 200 多万 t 二氧化硫等污染物的排放；提供近 50 万个就业岗位，为 500 多万户边远地区农牧民解决无电问题。

2001 年中国国家发展计划委员会就中国能源发展战略明确指出：能源的生产、消费都要注意环境质量的要求，积极开发和利用先进能源技术，大力促进可再生能源的开发利用，实现能源、经济和环境的协调发展。

中国多年来离网型可再生能源发电系统，如小型风力发电机、光伏发电，主要是在西部地区以及沿海、湖区推广应用；微水电推广应用是在长江流域及以南地区的偏远地区，而且多为少数民族地区。这些地区大多处在国家西部大开发战略实施所在重点地区。中国实施西部大开发战略，涉及 12 个省、市和 3 个少数民族自治州。这些地区是通电率最低的地区（见表 2—7），也是中国政府正在大力加强生态环境保护措施的地区。发展离网型可再生能源发电系统，是国家可持续发展战略及西部大开发战略的需要。

3、离网型可再生能源发电技术（三小电）的大面积推广，可以带来重大的社会经济环境效益。

本课题基于西部无电地区“三小电”资源分布、经济状况、技术保障条件等，拟了一个配置方案，并对它的社会、经济、能源、环境、效益进行了测算与评价，请参阅本报告附件 4，《在中国西部地区推广“三小电”技术的成本比较与外部效益评价》，这个评价的主要结论是：

3.1 在适合发展“三小电”的我国西部无电地区，以微水电的供电成本最低，不超过 0.30 元/ KWh，请见表 3-1；当小型风力发电和“风—光互补”的供电规

模做大，小风机年产量超过 300 万台/900MW 时，其供电成本可从目前的 1.04 元/KWh 降为 0.83 元/KWh（小风电），风光互补可由 2.01 元/KWh 降为 1.61 元/KWh。小光电供电系统供电成本最高，达到 3 元/KWh 以上，但随着光伏元件转换效率提高，产量超过 150MWp 时，其供电成本也可降 30%。

表 3-1 “三小电”系统供电成本及构成

名 称	成 本		成 本 构 成					
	元/Kw · h		发 电 设 备		控 制 系 统		储 能 设 备	
			元/Kw · h	%	元/Kw · h	%	元/Kw · h	%
小风电	1.04		0.36	34.62	0.23	22.11	0.45	43.27
小光电	25W	3.95	1.67	42.28	0.18	4.56	2.10	53.16
	100W	2.38	1.67	70.17	0.18	7.56	0.53	22.27
风光互补	2.01		1.00	49.75	0.28	13.93	0.73	36.32
微水电	0.44		0.15	34.09	0.04	9.03	其它：0.25	56.82

3.2 与常规电网延伸或独立的汽油/柴油发电机相比，“三小电”在解决中国西部无电地区的通电中是有竞争力的。

常规电网每公里成本约 8.5 万元。最近几年中国政府投入了几千亿的资金对农村电网进行改造，这是中国政府五十年来对农村地区能源建设投资最大、成效最大的工程，不仅大幅度降低了农村电价，也使有些边远地区的农牧民用上了电，为 21 世纪农村经济的发展提供了强有力的支持。

与此同时，也应实事求是地看到，（课题组在调研过程中也发现），在一些边远山区、牧区，由于脱离了实际情况、不计经济后果，少数山区的农村电网改造计划也给山区的地方政府和供电公司（业主方）带来新的财政负担，因为投入资金太多而用电量太小（买方太弱），业主要归还这笔贷款实在是遥遥无期。

以湖南省湘西州为例，全州 2000 年电力建设投资为 2.9592 亿元，占各行业之首。由于山区面积大，变电站供电半径过大，人口居住分散，人均用电量少等原因，造成供电公司严重亏损，不少村寨的电价仍然在 1.4 元/kW · h 以上，最高的达到 5 元/kW · h。在人口仅有 13 万的小县古丈，该县前三年用于电网改造的资金共计 2700 万元，其中用于变电站建设 1400 万元，县城电网改造 300 万元，农村电网改造 1000 万元，到 2001 年已经完成了县城城区和 49 个村的农村电网

改造。而目前古丈县的农村用电量太小，每年仅有 280.53 万 kW·h，县供电公司以 0.25 元/kW·h 从大电网买进电力，以 0.31 元/KWh 的价格从变电站卖出，毛收入为 0.06 元/kW·h，也就是说每年县供电公司从全县农村电网上的营业收入只有 16 万元，以这样小的营业额去还清已经用掉的 1000 万元的贷款，至少需要 70 年。该县剩余的无电户均在山区的 136 个村寨中，若仍盲目延伸大电网，至少还需要投入资金 5000 万元以上（数据资料来自本课题组《微水电部分调研报告》），这是无法承受的。可行的办法是就近开发当地丰沛的微水电资源，约投入 2000 万元即可。

应当认识到，通过常规电网延伸的方法解决西部地区无电人口的通电问题，在经济上是不可行的。

独立汽油/柴油发电机的发电成本最高，主要是因为汽油/柴油发电机的燃料费用本身就很高，再加上由于地处偏远交通不便造成的可观的燃料运输费用，使得汽油/柴油发电机的最终发电成本高达为 6 元/kW·h，远远超出了一般农民的经济承受能力。

3.3 “三小电”供电系统在西部地区的配置方案设计（简称方案）

1) 因地制宜地选择供电技术，保证供电的安全性和可靠性。

表 3-2 西部 12 个省、区可再生能源资源分布与技术选择

省份	无电户 (户)	自然资源状况			技术配置
		风能	太阳能	微水电资源	
云南	1200000	欠缺区	三类地区	丰富区	小光电/微水电
四川	1180000	欠缺区	五类地区	丰富区	微水电
甘肃	696718	北部属较丰富区 其它属欠缺区	北部属一类地区 中部属二类地区 东南部属三类地区	欠缺区	小风电/小光电
内蒙古	535608	丰富区	南部属二类地区	欠缺区	小风电/小光电
陕西	511950	欠缺区	三类地区	欠缺区	小光电，微水电
西藏	454200	较丰富区	一类地区	较丰富区	小光电/小风电
广西	440000	欠缺区	四类地区	丰富区	微水电
新疆	300416	较丰富区	南部属一类地区 北部属三类地区	欠缺区	小风电/小光电
重庆	190000	欠缺区	五类地区	丰富区	微水电
贵州	164325	欠缺区	五类地区	丰富区	微水电
宁夏	54501	较丰富区	南部属一类地区	欠缺区	小光电/小风电
青海	22740	较丰富区	东部属二类地区	较丰富区	小风电/小光电
合计	5750458				

资料来源：本报告有关量、表

2) 不同的经济收入群体对电力的需求不同

表 3-3 将西部地区的无电户按三种收入状况区分，他们对电力的需求是不相同的，假设今后分阶段地逐步要求用户付款购置“三小电”设施，则那高收入家庭在将来会有一定的承受能力，这种群体在现阶段只占西部人口的 18%。

表 3-3 西部地区供电技术配置方案

技术名称	家庭经济状况	采用的无电户数		所占比例	
微水电 300W	低收入	2574325		44.77%	
小风电 300W	中等收入	516046	小计：	8.97%	小计：
小光电 100W		1627996	2144042	28.31%	37.28%
风光互补 风电 300W-光伏 100W	高收入	1032092		17.95%	

*数据资料摘自 2001 年 9 月 4 日《中国电力报》

* 此数据来源于中国农村能源行业协会 2000 年产业发展报告中的《小光电 小风电 微水电》。

3.4 在西部无电地区发展“三小电”，不仅“三小电”企业得到发展，工业产值增加，而且由于农民从无电到有电，启动了又一个潜在的巨大的家用电器市场，必将带动家用电器工业的增长，如节能灯、收录机、黑白/彩电、洗衣机、电冰箱等，因此国税、地税、就业机会均将上升。

这直接的和间接的经济效益表现为：① 为国民经济贡献 81.52 亿元 GDP (增加值)；② 17.8 亿的税收；③以及 16.3 万个就业机会。

3.5 令人欣慰的社会、能源、环境效益，显示出“三小电”在解决西部无电地区的供电问题中，有不可替代的作用，增强了自身的竞争力。

3.5.1 全方位的社会效益

● 改善公平性

目前中国绝大多数人口都用上了电，所以对至今仍然没有用上电的人口来说有不公平性的问题。西部无电地区生产力落后，那里的农民属于社会中的弱势群体，扶持弱势群体发展，缩小贫富差距，实现社会福利最大化是政府部门的职责与目标。因此，推广“三小电”的一个主要社会效益就是改善全社会的公平性。

- **生活质量的提高**

偏远地区通电后，农牧民可以告别日出而作、日落而息的传统生活方式；各种家用电器及生产设备的使用，可以降低农民的劳动强度，有利于开展文化教育、体育活动，增加人们的休闲娱乐，提高生活质量。

- **有利于卫生、医疗水平的提高**

使用电力提水机，可以改善人畜饮水的卫生状况，有利于身体健康。电力的发展可以促进农村医疗条件和水平的改善。

- **提高劳动力素质，有利于当地经济的持续发展**

通电后，农牧民可以通过收看电视、收听广播获取科技与经济信息，结束长期以来闭塞的生活状态，更多地了解外界社会，使当地劳动者素质得以提高，有助于逐步改变当地贫穷落后的面貌。另外，通电可以大大改善农牧民及其子女的学习条件，有助于提高整个地区的人口素质，有利于实现地区的可持续发展。

- **创造就业机会**

“三小电”的推广可以促进可再生能源产业的发展，从而为社会带来更多的就业机会。另外，无电村通电后，农牧户对家用电器的有了消费需求，可拉动家用电器产业发展，也会带来新的就业机会。上面提出的供电技术配置方案构想可以为整个社会创造 15.31 万个就业机会。

3.5.2 “三小电”在西部地区每年可提供电力 4 亿 kW·h，相当于 31.22 万 tce。

3.5.3 可避免环境损失效益 6507.6 万元。“三小电”开发的是无污染的、可再生的太阳能、风能和水能，与常规电网中的燃煤发电技术相比，可以避免的 CO₂、SO₂、NO_x 和烟尘的排放，环境损失效益的计算过程如表 3-4。

表 3-4 推广“三小电”发电系统的主要环境效益

	排放系数 (t/tce)	减排量 (万 t)	单位减排效益 (元/t)	减排效益总量 (万元)
CO ₂ (t-c)	0.726	22.67	208.5	4726.7
SO ₂	0.022	0.69	1260	969.4
NO _x	0.01	0.31	2000	620.0
年减排烟尘	0.017	0.53	550	291.5
合计				6507.6

表中数据计算说明：

1) 电量的等价值为 4tce/万 kWh，利用“三小电”技术每发 1 万度电就可以替代 4 吨标煤，

同时避免 4 吨标煤燃烧所排放的 CO₂, SO₂, NO_x, 烟尘等有害物质。

2) 减排量=总的电量需求*4(tce/万 kWh)*减排系数

3) 减排效益总量=减排量*单位减排效益

可见,对于这种优秀的具有迅速解决中国西部无电地区供电问题的“三小电”发电系统,各级政府和全社会都应给予实际关注和支持。

4、制约“三小电”发电系统发展的主要障碍

中国“三小电”与其他可再生能源技术一样,在其发展及商业化过程中,面临许多障碍和问题。有共性的,也有个性的。

4.1 国家对发展可再生能源的资金投入太少,中国的“三小电”系统尚未发展到成熟的商业化阶段。

西方经济发达的国家,其可再生能源从研究开发到商业化运营,大约需要二、三十年。由于通常在研制初期有巨大风险,政府对研发阶段的投入很大,当产品的技术较成熟后,政府即通过优惠贷款、利率调整、税率调整等方式,帮助营造可再生能源市场,逐渐使之增强竞争能力,例如当年的水利发电,现代的大型风电、光伏发电、沼气发电、地热发电等都是这样做的。

我国的小型风力发电机、微型水电和独立光伏发电系统,在二十世纪八十年代即开始研制,但国家投入的研制经费实在太少,到现在要将其推向市场化运营是过于勉强的。

例如小型风力发电系统,其中不可缺少的蓄电池,至今也没有与之真正匹配的免维护、“慢充慢放”型的蓄电池产品和逆变控制器,因而造成全系统的效率不高,故障频频,用户使用不便等许多问题。出现这种状态的主要原因是过去对配套设备的研制(经费、人力……)不到位,没有合格的研发成果,并且至今仍是空白。

又如微型水电系统,过去的十年国家对微水电的产品研发全部投入不到 40 万元,第一代产品不仅材料选用和制造工艺粗放,而且根本不加稳压稳频控制器,以致发电质量不高,运行不安全,这种水平的产品本不具备投放市场的资格。

本世纪在中国的“十五”期间,国家对可再生能源的研发投入约为 2 亿元,虽是历史上的最高,但对“三小电”却没有任何安排。与此同时,2002 年国家已安排 18 亿元用于解决大电网之外的无电乡供电问题。这是“三小电”发展的

绝好机会，因为它适合网外分散用户的需求，可以为国家和用户节约许多花费。但也应实事求是地看到，由于前期技术准备不尽完善（国产光伏电池元件效率不高，小型风力发电缺少配套专用蓄电池，微型水电第二代产品供应量少），这笔宝贵的投资很可能得不到预期的回报。

4.2 中国农村牧区对可再生能源产品的购买力太弱，这个市场过去缺乏政府的介入和培育

中国与西方国家在经济发展阶段上有巨大时间差，至今我们仍是一个发展中国家，2000 年农村人均所得只有 2253 元（不足 300 美元），北京市规划到六年以后（2008 年）人均收入目标是 6000 美元，远远低于西方国家当前人均收入 1 万~数万美金的水平。在这种经济条件下，我们不可能要求贫困地区的农民能够自费添置诸如微型水电等可再生能源发电设施，不能完全靠他们去解决这 3000 多万无电人口的用电问题，因此应该强调政府的介入，而这恰恰是过去所欠缺的。

表 4-1 西部 12 个省、区农民 2000 年人均收入情况

	人均收入	全国排序	农民人均收入 500 元以下的总人口（万人）	农民人均收入 1000 元以下的总人口数（万人）
陕西	1443.86	28	88.3	741.5
甘肃	1428.68	29	73.3	809.6
宁夏	1724.30	24	29.7	128.7
青海	1490.49	26	27.3	185
新疆	1618	25	24.9	270
西藏	1330.81	31		
云南	1478.16	27	309	1872.2
贵州	1374.16	30	80.2	616.3
四川	1903.60	21	24.1	435.7
重庆	1892.44	22	1.1	251
广西	1864.51	23	2.1	260.5
内蒙古	2038.21	16	40	245.5
全国平均：2253			976	8887.7

* 资料来源：《2001 年中国农业统计资料》；中国农业出版社 P，444；

表 4-1 给出了西部地区 12 个省市的农民人均收入和两类最低收入人群情况，收入在 1000 元以下的约 5500 万人，绝大多数无电人口在这组群体内。很显然，在他们开支了基本的生活费用和子女的学习费用之后，还会有多少节余，能够自费购买“三小电”设施？“三小电”产业的市场，单独靠农牧民的购买力是无法发展的，他们的购买力太弱。还应看到，现在的目标仅仅是要解决基本生活消费用电需求，供电功率小，通常在千瓦级以内，今后这些地区生产发展需要较大功率的供电设施，至少是数千千瓦级的供电设施。

另一方面，“三小电”生产企业的产品属性，是以公益性为主的，开发使用它们，受益的一是国家（有利于经济可持续发展，并且可以避免重大的生态环境损失，这个损失是有价的，见本报告表 3-4，二是全社会（改善了社会的公平性，有助于全社会的稳定和进步），三是这批弱势群体（生活基本条件开始得到改善）。所以，国家用财政收入扶持“三小电”产业，本应是不容置疑的。可惜过去十多年并没有真正像样的投入，即便是现在实施的《中国光明工程项目》总投资 100 亿元而中央也仅仅拿出 5 亿元（5%），无论如何也不能叫做“大力扶持”。

“三小电”的生产企业均属于我国的小型企业。九十年代初国家曾以“专项贴息贷款”的方式予以支持（大约实行了四年）；现在小型风电则以在《中国光明工程项目》中标取得定单、但需企业自己解决流动资金的方式寻求发展。事实上，无论过去的“贴息”还是现在申请贷流动资金，由于金融系统在评价取贷资格时，往往将可再生能源产品与其它回报率高的产品等同评价，并不承认可再生能源产品有很好的可避免的环境损失价值应该计入资格条件，因而多数可再生能源企业无法取得贷款，贴息支持成了空话。现在这些小企业为得到流动资金的短期贷款，仍然遭遇到操作程序上的不透明而陷入了极为困难的境地。

从本报告表 2-3，表 2-5、表 2-6 中可以看出，“三小电”发电系统没有一个企业的生产已经有足够的规模，没有政府的介入和扶持，这些企业是不可能做大的，企业的生产规模上不去，产品的质量、价位、售后服务等等也就“免谈”了。

4.3 “三小电”系统的产品标准化体系不完善，是其规范化发展的另一障碍
中国的《标准化法》和《世界贸易组织/贸易技术壁垒协定》均明确指出：

要积极采用国际标准和国外先进标准，是中国一项重大的技术经济政策，是推进技术进步、提高产品质量的重要措施，也是技术引进的捷径。加入 WTO 的中国，要增强自己参与国际竞争的能力，一个重要的前提是采用国际标准。

“三小电”系统的产品技术标准化体系建设，目前处于发展缓慢，无法适应市场需求的状态，有的（如微水电）更是缺项（待制订）太多，尚未形成起码的体系系统。详细情况见本报告附件(5)，下表简略列出了目前情况。

表 4-2 “三小电”系统产品技术标准化现状

	微水电	小型风电	独立光伏发电
一、产品标准已经批准执行的国家标准数量/批准年	4/1998 年	7/1989	22
二、已批准的行业标准数量批准年		12/1993-1999	11
三、待批准的行业标准项目数/报出年	4/2002 年		3
四、正在制定中的标准项目数		24	2
五、产品标准体系内尚未立项制订的标准项目数量	22		21
六、配套产品标准			
1、蓄电池	待批	无	无
2、控制器		正在制定	无
3、塔架		有	
4、直/交流逆变器		有	无

资料来源：见本报告附件 5 《“三小电”发电系统标准化体系建设调研报告》

通常一个产品的标准化体系建设所需的投资并不很多，但对该项产品系列能否优质、安全可靠地进入市场却是关系重大。现在国家对标准化建设十分重视，加大投入，加快进度，加强管理，但对“三小电”而言，却呈现着不仅项目经费落实到位太少，而且立项、审批、颁布等进度缓慢的状况。

虽然“三小电”的质量检测单位已先后建立并通过了国家认证，但除光伏发电质检中心设备先进、可以与国际接轨外，其它两种（小风电和微水电）的检测手段均相当陈旧，因投资不足而无力更新；更大的隐患是对这三种发电系统没有

强制质检认证制度，而国内外的惯例是凡涉及人身安全的产品必须强制送检，以保障用户的最基本的合法权益，同时也是促进企业产品质量提高、产业升级的手段。

4.4 人力资源开发更是薄弱

对“三小电”的人力资源开发，应包括四个层次，一是有关决策层，二是管理、规划设计层，三是技术服务施工队伍，四是广大用户。

总的讲对上述各层面的宣传教育过去做得都不够，一些主管部门甚至不了解微型水电的特殊功能，面对中国的实际情况延误了他们做出及时的正确决策。

中国的微水电、小型风电的用户，均在农区、牧区或水上船家，独立光伏发电系统约有 30%在农牧区，今后还会更多。现在只有农业部主管的各地农村能源建设管理和服务系统，是真正服务到县、乡镇和村。现在还没有用上电的那些大电网以外的三千万人口，也只能/必须依靠农村能源管理和服务体系这支力量，因地制宜地利用“三小电”去完成这椿历史使命，将电送到这批弱势群体。

这支队伍目前大约有 6 万人，分布在 1.3 万个服务站、点，同时还有约 10 万人的施工技术队。他们承担着农村地区能源建设从规划到施工、销售、安装的各项业务，包括农村户用沼气、乡镇居民生活污水处理、高效炉具、太阳能热水器、“三小电”等等，并指导用户正确、安全使用。长期以来对这支队伍缺少培养、培训，缺乏知识和技能的更新充电。有关“三小电”的基础性技术教材，只是在本世纪才开始编写，基层人员长期缺乏优秀的科技通俗读物和正规的远程教育培训，面对我国经济快速发展的现实，这支队伍更缺乏适应现代经济社会的能力，不止是技术上的，更是观念和经营管理能力跟不上。

西部十一人省（区、市，缺西藏）的农村能源管理和服务体系的大专以上水平的人员数量太少。较全国平均数少 13 个百分点，低于中专水平的人员却高出全国平均数 11 个百分点，可见西部的技术人员文化水平结构质量亟待提高，更需要加强培训，包括技术性的和现代经济管理的基础知识。

西部地区生活在大电网之外的这三千多万人口，由于没有电，他们不可能接受到农业广播学校、电视 7 频道的农村科技（包括可再生能源等）培训，有些地区在推广应用“三小电”发电系统时，将用户涵盖到本地信息网中，但多数地区因自身能力和设施所限，并不能做到对用户“先培训、后安装、使用过程紧跟

踪”，以致用户缺乏正确使用“三小电”技术设施的能力，尤其对安全方面的问题缺乏常识和自我保护能力。

4.5 现有的法规和政策不适应可再生能源发展的需求

1998 年颁布的《节能法》，是我国现有法律中唯一针对能源行业的立法，并且强调了可再生能源作为节能减排和改善环境的重要战略作用。但自 1998 年《节能法》正式颁布后，国内的相关部门却未能及时对各自的业务做出相应的“实施细则”，致使这部法律没有体现出它应有的重大作用。

在中国，小水电和沼气这两项可再生能源技术，大体上被政府认可，也有很好的促其发展的政策，例如免缴增值税，营业税率 6% 等。但可惜的是，政府并未将小水电和沼气明确列入“可再生能源”范畴里，所以其他品种的可再生能源产品不能享受到同样的待遇。

5、农村地区离网型可再生能源发电系统发展政策建议

中国政府为推动可再生能源产业的发展，已经制定了不少政策，包括指令性的法律如《电力法》、《节能法》等，新产品研发支持政策，经济激励政策如贴息贷款、以及 2002 年刚发布的并网风电实行按增值税应纳税额减半征收的优惠政策等。但是没有专门针对微水电、太阳光伏发电及小型风力发电的激励政策，八十年代内蒙古自治区政府曾出台对小型风力发电的补贴政策，后会停止执行数年，近又因实施《中国光明工程》制定了新的补贴政策

农村地区“三小电”离网型可再生能源发电系统，适用于常规电网经济半径以外地区以及沿海滩涂、内陆湖区，是解决农牧渔无电人群用电唯一经济可行的供电方式。

现在的国内形势对发展离网型可再生能源发电系统极为有利，不仅有明确的我国能源发展战略：“保障能源安全，优化能源结构，提高能源效率，保护生态环境，继续扩大开放，加快西部开发，而且中央正在实施着几个重大项目均为发展可再生能源发电（上网的和网外的）提供了绝好的条件，如“中国光明工程”、“中国可再生能源发展项目”、“农村小型公益设施项目”、“生态家园富民计划”、“能源生态工程”等。

2002 年 3 月，中国政府已明确在“十五”着力解决那些不具备联网条件，尚未通电的 783 个乡的用电问题，要采用多种形式因地制宜发展小水电、太阳能或

风能发电。

本项目课题组就“三小电”供电系统的发展提出以下政策建议。

5.1.制定“三小电”发电系统的发展战略和行动计划

建议国家计划主管部门制定“三小电”发展规划，依靠这几种网外的可再生能源发电技术，作为一种替代能源，用 10 年左右解决约 3000 万边远地区无电人口的用电问题。同时制定年度行动计划，包括人力资源开发、重要的配套设备研发等，特别是人力资源开发，应尽快投入人力和财政支持，促进农村能源/可再生能源技术服务体系转变观念，转变体制，掌握基本的市场经营管理的理论和方法，提高向社会化服务体系过渡的能力。

5.2 开展资源调查和评估

中国目前的风能、太阳能资源资料是八十年代做的，比较粗糙，微水电资源至今没有进行专门测算。现在需要进行风能、太阳能、微水电资源详细调查和评估，确定总资源量，技术可开发资源量 and 经济可开发资源量及其分布，为制定规划和项目设计提供可靠依据。

5.3 建立与国际接轨的微水电、小型风力发电及太阳光伏发电国家级技术标准体系，完善并提高产品质量检测中心体系

国家标准体系与国际接轨，加强产品质量监督体系建设，这对规范市场，保证产品质量，保护用户利益都是至关重要的。建议主管部门，尽早完善“三小电”的产品国家标准体系，加速立项及审批、颁布，其中最弱的微水电发电系统更应优先。

5.4 《为节能法》制定《发展可再生能源实施细则》。

现在，既然已经到了 21 世纪，我国所确定的一系列大政国策均与发展可再生能源在密切关联，尽快由国家社会经济发展的主管部门主持制定《节能法》的“发展可再生能源实施细则”就更为需要了（以下简称“实施细则”）。

5.4.1 在“实施细则”中，应首先明确此细则适用于我国各类可再生能源产业。包括可上网发电的（大型水电、小水电，大型风电、大型地热电站等）、不能上网的发电系统（独立的小型风电、微型水电、独立光伏发电等）以及沼气、生物质能等等；

5.4.2, 要明确执行实施“细则”的主管部门。这样才可做到“做事有法可依”，国家和纳税人在检查《节能法》实施效果时，有被检查者（受监督方）即责任方存在。“实施细则”还应体现地方政府与中央政府具有同样的责任和义务，去实

施各种激励可再生能源发展的政策。

5.4.3“制定一套完整的激励政策，加大、加快政府介入的力度，尽快培育可再生能源产业包括“三小电”供电系统走上市场化经营阶段。激励政策包括：补贴、减免税、低息贷款、建立滚动基金以及公开招标公平竞争等。

· 补贴政策

“十五”期间，“中国光明工程”、“中国可再生能源发展项目”、“农村小型设施项目”、“电力扶贫共富工程”均迅速展开，这些项目中对小型风力发电、太阳能光伏、微水电均相应制定了补贴政策，而且补贴幅度大于以前，补贴比率也相应提高。因此也调动了相关省的激励政策的出台。如内蒙古随着“光明工程”的实施，提出到2005年安装7.5万套户用发电系统计划，为保证计划的实施，内蒙古对使用风光互补系统的用户，每户补助3000元，每年一万套风光互补系统，内蒙古财政要出3000万元，较之过去幅度大为提高，补贴比率大于25%，而过去这一比率为15%~5%。这意味着政府的介入更快地推动了生产和市场的发展。

在中国，现阶段发展“三小电”发电系统，是以替代能源的角色为解决西部地区偏远农牧民脱困用电问题为宗旨的，补贴政策是不可少的，补贴比率还应比过去提高才行。

实施对用户的直接补贴的最大问题就是政府要年年筹集补贴资金，一旦资金筹措发生困难，就执行不下去。

在国外，补贴是一种常见的激励措施。其补贴形式可归纳为两种：

一是以巨额资金支持可再生能源技术的研究、开发和试点示范，中国也是这样做的，只是中国的财力有限，不可能像发达国家出那么多钱。

二是对可再生能源的商业化发展给予资本补贴和产出补贴。经验证明，由于直接补贴资本的办法同企业经营状况无关，目前国外许多政府正在采用新的补贴措施，即实行产品补贴，产品补贴政策的优点是使补贴与可再生能源企业的产出量密切相关，对企业产品成本有直接影响，能够起到鼓励企业不断增加产量，降低生产成本的作用。我国直到目前还没有这方面的激励政策。建议国家对此进行跟踪研究。

· 降低增值税税收政策

根据某种产品对国家、社会的可持续的贡献，和它自身的属性，中国确定对少

数产品实行增值税优惠，如人工沼气的增值税 3%征收，水力发电的增值税率为 6%。2002 年实施经国务院、财政部和国家税务总局联合下发文件：对并网风力发电实行按增值税应纳税额减半征收的优惠政策。

现在，对可再生能源发电实施税收优惠，是许多国家共同采用的措施。

对解决中国西部无电人口的通电问题，“三小电”发电系统是最有竞争力的供电技术。这种产业不仅可以改善社会的不公平性，而且给国家创造很大的经济效益和环境效益，总值约 1 万亿元（见本报告第 3 节和附件 4），政府应该为“三小电”的发展提供实实在在的支持，财税系统和金融系统应建立（调整）一种机制，以体现政府需要发展可再生能源产业。

建议对“三小电”发电系统设备生产厂家给予税收优惠，征收 3%—6%的增值税，与沼气、小水电同等待遇，促进企业增产，降低成本，改进售后服务，向用户提供价位合理的优质产品和优质服务。

· 优惠贷款政策

首先要有取得优惠贷款的合法通道。低息贷款或可以减少还本期的利息，有利于企业降低成本，扩大生产。目前中国“三小电”生产企业规模小，周转资金缺乏，向银行借贷较难，费用较高。金融系统在评估企业的借贷资格时，应合理地评估“三小电”的外部效益，应有一种使外部效益内部化评估模式，帮助这种小型企业得到贷款的支持。

同时应实行对“三小电”企业给予贴息贷款的优惠政策。建议设立“三小电”贷款贴息金，由中央财政出资，按银行利率 50%补贴。

“三小电”供电系统产业技术市场的发育和发展，需要政府在金融政策上的支持，以促进“三小电”产业的升级，提高其竞争能力。

通过农村信用社，在有条件的地区对农牧渔民发放短期小额信贷，也会促进“三小电”市场的发育。

· 滚动发展基金模式

实践证明，滚动式发展基金模式适合于那些价格贵，单机容量小，应用分散的可再生能源技术产品，像太阳能光伏系统等。因为这类技术目前的关键是规模小，效率较低，致使成本一时居高不下。采用滚动发展基金模式可通过市场的扩大，从而带动生产规模的扩大和成本的降低。

这种资金可来源于扶贫基金，农村电气化基金，国家项目拨款，专项资金以

及国内外赠款。

滚动式发展基金模式比较适合中国国情，易被收入不高的农牧民接受，具有较大的可实施性，并且它较充分地体现了市场经济的特点，有利于减轻政府负担，是一种可持续发展的支持“三小电”发电系统推广应用的模式。

5.4 公开招标，公平竞争政策

公开招标，公平竞争政策在国外得到了很好的实践。业已证明这是一种促进可再生能源技术进步，降低成本，克服生产厂家无序竞争的有效措施。农业部在实施《农村能源小型公益设施项目》中，公开招标已取得了二年的实践经验，它对发展可再生能源技术商业化起到了积极的作用，对促进可再生能源技术进步利大于弊。“中国光明工程”、“中国可再生能源发展项目”也均是通过招标来选择厂家。

今后应将公开招标规范化操作，防止“公开”、“公平”流于形式。

公开招标、公平竞争，不单可以提高公共资金的利用效益，而且也有利于规范“三小电”市场，提高“三小电”供电系统的竞争能力，是一种行之有效的政府介入模式。

上述财政激励政策对目前中国离网型可再生能源发电系统的发展均是重要的。

附件 1

促进中国农村地区分散型可再生能源发电系统发展的政策研究

微水电调研报告

钟 挺

项目课题组

2002 年 7 月

目 录

前 言	46
1. 技术与产业发展评述	46
1.1 微水电产生的背景	46
1.2 国内外微水电技术发展的现状和趋势	46
1.3 国内微水电的利用现状	47
1.4 国内微水电产业的发展及现状	49
2. 微水电的发展潜力分析	51
2.1 我国微水力资源的储量和分布	51
2.2 微水电的供电成本分析	51
2.3 微水电的潜在用户的分布和数量的估算	52
2.4 微水电市场的发展预测	53
3. 微水电发展的政策性问题研讨	53
3.1 微水电和其它供电方式的互补	53
3.2 微水电与农村小型公益设施及生态建设	55
3.3 我国微水电的基本任务和归类定位	55
3.4 我国加入 WTO 后微水电行业所面临的机遇和挑战	56
3.5 微水电行业的发展阶段划分	57
3.6 微水电推广的两种基本模式和现阶段工作中容易出现的问题	57
3.7 在贫困山区推广微水电的经费来源和分配原则	58
3.8 微水电产销的组织管理、技术培训和技术服务	59
3.9 质量标准体系和质量监督体系的建立与完善	59
4. 政策建议汇总	59
4.1 市场及管理	59
4.2 科研及可持续发展	59
4.3 对贫困地区的特殊扶持措施	60

A、前 言

根据项目任务书的要求和课题组的安排,农业部微水电中心于 2001 年 6 月至 11 月对微水电的产生及发展过程、中央及地方政府对微水电扶持政策和措施、微水电的技术发展趋势、产品应用市场及使用情况进行了调查。调查首先统计了农业部科教司、中国农村能源行业协会、农业部微水质检中心近几年的相关文件、报表资料。并且选择江西省赣州地区、贵州省黔东南、湖南省湘西和广西壮族自治区平南等地区进行了用户和生产企业的重点案例调查。微水电二十多年的发展历程,充满了繁盛芜杂的各种矛盾,使我们多年从事微水电工作的人,仍然“不识庐山真面目”。本项目的开展给了我们站在山区能源、环保和电力建设以及贫困山区社会、经济发展的高度、重新审视微水电的机会,本报告力求客观的将微水电的发展过程、作用、规律、主要问题反映出来,并提出解决问题的建议,供有关管理部门参考。

B、1. 技术与产业发展评述

1.1 微水电产生的背景

早在二十世纪 50 年代,中国农村就出现过由农机技术人员用电动机改制的微型水力发电设备。在 70 年代,中国农村掀起了兴办小水电的热潮,农村无电人口迅速减少,据 1979 年的统计:中国农村已建成小水电站 7 千多个。此时,人口稠密地区的小水电资源的开发已基本完成,而当时我国农村依然有近 1 亿无电人口。这些无电人口中的 2/3 分布在我国南方山区,居住极其分散,交通和经济条件极差,但这些地区却雨量充沛,溪流纵横,微水力资源十分丰富,成为我国微水电产生和发展的天然沃土。在 80 年代,许多南方山区的县办农机厂、电机厂、水轮机厂开始自发的生产微水电设备,形成了一个繁荣而混乱的微水电市场。

针对上述情况,1991 年农业部、水利部等有关部门经过协商,决定将微水电的科研及推广应用划归农业部管理。在农业部下属的科研院所筹建农业部微水电设备质量监督检验测试中心。1993 年立项编制微水电技术条件等四项国家标准。1998 年 10 月国家技术监督局批准发布了微水电技术条件等四项国家标准。1998 年 12 月农业部微水电设备质量监督检验测试中心通过了国家技术监督局的计量认证和农业部的机构认可。在此期间,农业部科教司还组织其直属科研单位对微水电存在的技术问题进行攻关,在提高微水电的使用寿命、稳定电压和频率、产品的系列化等方面都取得了较大进步。

由于微水电诞生的时间不长,概念又常与小水电混淆在一起,其在解决山区农村无电人口生活用电问题和环境保护方面的巨大作用没有引起人们足够的重视。1995 年以后,各级政府对微水电的扶持措施几乎全部取消,但微水电仍然依靠自身良好的经济性和技术上的不断进步,维持着自己产销量方面在“三小电”中的首位。

1.2 国内外微水电技术发展的现状和趋势

国外发达国家,如美国、英国、加拿大等,依靠其良好的工业基础,生产的微水电设备在可靠性和发电机、水轮机效率两个方面与中国微水电相比有一定的优势。国外微水电的整机效率可达到 60%,使用寿命可达 10 年,中国生产的第二代微水电装置的整机效率可达 40%-55%,使用寿命可达 10 年,而一些制造粗糙的产品,如很多使用中的第一代产品效率不到 30%,使用寿命不到 5 年。中国微水电系统在控制技术、产品的多样化、产品价格等方面却有一定的优势。到目前为止,世界上还没有任何国家或有财力的大公司投入力量来认真研发微水电。随着发展中国家微水电需求量的增长和各国环保意识的增强,微水电开始受到各国政府的重视,微水电的国际技术交流活动日趋频繁。国内外的一些较大公司和研究所

开始关注或着手微水电的研发工作。

目前的微水电与小水电、电网供电相比在技术方面存在以下不足：

- 1) 电压、频率易波动，不稳定。
- 2) 整机发电效率低。
- 3) 易受环境条件的影响，供电可靠性差。
- 4) 系统用电率低。

微水电的技术发展必然是围绕着解决上述问题而展开的。由此我们可以比较清楚理解微水电的技术发展趋势。

早期的微水发电机组不具备自动调压稳频控制功能，用电器不可随意开关，通常只能作为电灯照明电源。我们称之为第一代微水电。

第二代微水电以具有自动调压稳频控制功能为特征，可直接作为农户照明、收看电视和拖动微型农副产品加工机械的电源。它由微型水轮机、发电机、稳压稳频控制器、传动装置等组成。

第三代微水电在第二代微水电的基础上增加了能源互补功能，可以保证终年不间断供电，从而大大提高这种分散型可再生能源发电系统的供电可靠性。与此同时，微水电设备的系列化、标准化水平将得到很大提高，以适应各种不同的水资源条件，并且降低设备的制造成本。

第四代微水电应在微水力资源的合理、高效利用上有突破性提高，整机效率应接近小水电机组的水平，并且实现多机组并联工作，使供电可靠性得到本质上的提高。

中国目前的控制技术水平，完全可以使微水电的供电质量达到电网供电要求的各项技术指标。微水电控制技术的研究重点在于降低成本，以便贫困山区的用户能够接受。随着单片机、电子器件、可控硅价格的不断下降，微水电的调压稳频控制技术已趋于成熟，因此，目前正是第二代微水电的推广期。

第三代微水电要解决的重点问题是提高微水电供电可靠性和产品的系列化、标准化问题。在能源互补方面主要是因地制宜作好与其它能源的技术协调和管理协调。微水电产品的系列化、标准化水平，直接关系到微水电的质量、价格和资源的合理利用。通过调查发现，由于目前微水电品种不全，有许多类型的溪流找不到合适的微水电机型，微水力资源无法得到合理有效的利用。因此应当加大系列化、标准化微水电产品的研发力度。

为了避免低水平重复劳动，集中人力物力保持中国微水电研发的效率和水平。微水电的技术攻关，应针对目前的微水电与小水电、电网供电相比在技术方面存在的不足进行立项，有计划、有步骤进行，做到经费落实、单位落实、技术人员落实，边攻关，边考核，逐步示范推广。

1.3 国内微水电的利用现状

20 世纪 80 年代，在中国农业部和地方政府微水电专项经费的扶持下，中国南方山区的微水电的应用得到了很大发展，在广西、江西、四川、浙江、湖南、福建等省安装微水发电机组上千台的县不计其数。江西省赣州地区的兴国一个县就安装了一万多台微水发电机组；广西壮族自治区桂林地区的不少少数民族村寨实现了一家一台微水电。并由此使当地一批农民掌握了微水电技术，成为微水电在当地存在和发展的主要支撑力量。

中国农业部 2000 年统计微水电利用情况为：累计装机数为 89317 台，装机 167680kW，用户数为 31.6 万户。

微水电的应用情况统计难度很大，过去主要依靠省级农村能源办公室上报的数据。由于各级农村能源办公室所经手推广的微水电不足实际安装量的 1/3，许多农村能源办公室就只

能用推测的办法来完成统计工作，结果数据差别很大。本次调查采用了直接从中国国内主要生产厂家查对销售记录的办法进行，数据的可信度有了很大提高。但由于有些厂家的记录不全，对记录不全和一部份没有调查到的小厂只能采取了综合估计的办法。具体统计情况见下面各表。

表 1-1 我国微水电应用情况统计表

省、市、 自治区	2000 年各省推广量		各省安装台数和容量		备注
	机组（台）	容量（千瓦）	机组（台）	容量（千瓦）	
广西	8250	5525.0	97250	77000	1. 本表中推广量是从国内十几家微水电生产企业 1996 年至 2000 年销售记录中查取，并且假设微水电机组的平均寿命为五年，而推算出来的。从微水电机组的实际情况看，容量大的机组质量较好，寿命在 10 年以上的也有。而 100-300 瓦的机组，寿命很少有超过五年的。因此本表的装机容量统计是偏于保守的。 2. 由于还有一部份生产规模很小或不以微水电为主产品的企业的产销数量没有统计在内，本表的统计台数也略有偏小。但估计误差不会超过 15%。
江西	3500	2620.0	27000	22890	
云南	5000	3100.0	5600	16300	
四川	3750	2100.0	3980	13360	
湖南	2000	1550.0	4100	15800	
海南	100	200.0	234	480	
湖北	300	170.0	350	200	
福建	2250	1605.0	2700	1625	
广东	625	350.0	825	420	
贵州	265	210.0	625	1280	
浙江	2000	2000.0	2700	3050	
西藏	125	500.0	300	750	
安徽	150	125.0	213	155	
内蒙	10	30.0	50	100	
陕西	81	40.0	174	86	
甘肃	125	100.0	150	120	
黑龙江	2	1.0	10	5	
河南	30	150.0	40	160	
新疆	20	170.5	115	230	
重庆	130	130.0	200	210	
出口	2500	5000	(20000)	(40000)	合计国内装机容量不含出口数量。
合计	31213	20876	146616	154246	

根据上表的统计，中国现有微水电的总装机容量在 15 万千瓦左右，设备资金投入约 3 亿元，其中 90%以上为农户自筹资金，各级地方政府的补贴累计不足 0.3 亿元。

随着与微水电配套的各种微小型农副产品加工机械开发成功，并进入山区农民的家庭，微水电用电率不断提高，其经济效益越来越好，逐步成为山区农民生活中不可缺少的部份。一台 300 瓦的电动碾米机，可使农民省去担着稻谷走几十里山路去碾米的烦恼；一台 5 千瓦的微水发电机组配套安装磨浆机后，每年为腐竹生产专业农户节省电费五、六千元；云南咖农利用微水电拖动咖啡脱壳机，解决了咖啡收获后脱壳难的问题；四川大邑西岭雪山的农民利用微水电在风景秀丽的山上办起了旅游接待站，使游客们白天能欣赏美丽的风光，夜晚又能开展唱卡拉 OK、跳舞、看录像等活动。据接待站经营者自己介绍，每个接待站的年纯利润都在 10 万元以上。目前，我国农村与微水电配套使用的微型农机具有碾米机、磨浆机、磨面机、制面机、根菜切片机、微型水泵、微型鼓风机、咖啡脱壳机等十来个品种。

1.4 国内微水电产业的发展及现状

微型水力发电设备（简称微水电）这一名词是 1979 年国际能源署在加德满都召开的国际小水电会议上提出的。把微水电作为水电行业的一个分支及农村可再生能源的一个组成部分来研究，始于二十世纪 80 年代初期。微水电（在中国 80 年代初被称为农家微型水力发电机）一出现，就以其良好的实用性、经济性受到山区农民的欢迎。各级地方政府也以办示范点、对微水电购买提供资金补贴等方式大力支持微水电的推广应用。在 80 年代后期由小型水轮机厂或小型电动机厂转产微水电设备生产的企业已达到 210 家，年生产微水发电机组的能力达到 20 万台以上。

由于当时的微水电在技术上还很不成熟，使用寿命短、发电效率低、供电质量差等问题十分突出。加上市场极不规范，售前、售后服务体系不健全，零部件供应无保障，维修困难等原因，在政府支持力度减小后，其产销量迅速下滑，生产企业也降至 60 家左右。下表是本次调查汇集的中国 2000 年国内微水电主要生产企业情况。

表 1-2 2000 年微水电企业情况一览表

序号	企业名称	主 要 产 品				邮编	电 话	法人 代表
		水轮机 型式	功率 (kW)	年销量 (台)	装机容 量(kW)			
1	广西桂林平乐 电机总厂	轴流式	0.3~5.5	710	420.0	542400	0773-7882571	黄远彬
		斜击式	0.3~5.5	1460	2920.0			
2	广西平南县光 华电机厂	轴流式	0.3~5	7050	3525.0	537300	0775-7862695	许文华
		斜击式	0.3~5.5	10750	8600.0			
3	广西平南县西 江电机厂	斜击式	0.4~1.5	1350	675.0	537304	0775-7662055	韦家朴
		轴流式	0.4~1.5	1250	500.0			
		水斗式	0.4~10	500	200.0			
4	湖南凤凰县微 型电机厂	斜击式	0.3~5.5	19	76.0	416200	0743-3221054	张振华
5	云南碧泉微型 水轮机厂	斜击式	0.3~5.5	150	375.0	674200	0888-6523451	和 昇
6	大理市力达能 源实用技术所	斜击式	0.1~10	1057	868.5	671000	0872-2120336	熊鹰
7	洪雅水轮机厂	斜击式	1~5.5	65	195.0	620360	0833-7403773	钟瑞芳
8	四川大邑县水 轮机厂	轴流式	1~5.5	50	200.0	611330	028-2222147	杨克华
9	江西会昌微型 发电机厂	斜击式	0.3~5.5	500	250.0	342602	0797-5666009	
10	金寨县恒盛机 械制造公司	斜击式	0.3~3	30	50.0	237300	0564-7062556	徐应余
11	乐清机械厂	混流式	1~10	200	1000.0	325600	0577-62522885	胡向勇
12		轴流式	0.3~5	150	150.0			

	曙光水电经济技术合作公司	斜击式	0.3~5.5	750	375.0	310012		
13	扬州市高发电制造公司	发电机	0.3~10	30	120.0	225600	0514-4615198	唐子林
14	张家港英德利空调风机公司	斜击式	1~10	50	200.0	215622	0520-8650437	祝石祥
15	河南西峡县水电设备厂	斜击式	1~10	30	150	474500	0377-4662282	盛莪英
16	其它企业		0.3~10	5000	5000.0			
	累 计		0.1~10	31151	25849.5	机组产值约 5170 万元， 约解决 86000 户农民的生活用电。		

C、2. 微水电的发展潜力分析

2.1 我国微水力资源的储量和分布

由于目前对可用于微水电发电的微水力资源还没有一个公认的定义和严密的统计方法，微水力资源的储量统计数字主要是由各地区根据河流情况估计的。所谓微水电资源是指小溪、小河在一定河段长度内，水所具有的有效发电位能（势能），估计中国微水电微水力资源为 400 多万千瓦。中国的微水电资源主要分布在长江流域及其以南和西藏地区，其面积覆盖了 15 个省、市、自治区，与我国的风能资源、太阳能日照资源呈互补分布状态。在一般条件下，凡年降雨量超过 1000 毫米的丘陵山区和有终年积雪的雪山脚下，微水电都有开发利用的价值。

2.2 微水电的供电成本分析

微水电良好的经济性是由以下几方面的因素决定的：

- 1) 水力比太阳能、风能能源密度大，容易采集。
- 2) 从发电到用电转换环节少，能源利用率高，设备简单。
- 3) 发电设备是批量生产的产品，制造成本相对较低。
- 4) 采用直接供电方式，不需要变电设备。
- 5) 就近发电，就近用电，输电成本低。
- 6) 管理和维护简单，运行成本低。

因此我们说微水电良好的经济性是与生俱来的。实际情况也充分证明了这一点：中国现有微水电的总装机容量在 15 万千瓦至 17 万千瓦左右，设备资金投入约 3 亿元，其中 90% 以上为农户自筹资金，各级地方政府的补贴资金累计不足 0.3 亿元。以每户容量 300 瓦计算，

15 万千瓦的微水电基本解决了 50 万户农民的照明和看电视的问题，约占全国现有无电人口的 8%，为国家节省电力建设投资约 22.5 亿元。花如此小的代价，得到如此大的回报，这是其它任何供电模式都无法做到的。

各类电力建设投资额因时因地各有不同，一般情况见下表：

表 2-2 各类电力建设投资金额比较表

比 对 项 目		微水电	小水电	太阳能	小风电	火电厂	建电网
装机建站 (元/千瓦)		3000	10000	60000	10000	5000	另计
输电线路 (元/千米)		12000	40000	忽略	忽略	另计	85000
配 套 设 施	名 称	水渠建设 元/千米	水库建设	蓄电池 逆变器	蓄电池 逆变器	运煤港站 工厂宿舍	变电站 电管站
	元/千瓦	4000	另计	5000	5000	10000	另计

微水电若以 5 千瓦的机组计算，输电线路共架设 2 公里，水渠修筑 1 公里，总共投入为 4.3 万元，每天有效发电 7 小时，机组寿命为 10 年，则每 kWh 的基本成本只有 0.37 元。若受益农户自己出劳力建站，电杆等材料就地解决，则总投入还可以降低 1/3，使每 kWh 的发电成本降到 0.2 元左右。目前中国政策规定的农村生活用电电费为每度 0.85 元，而居住在离变电站 20 公里以外的农户，因为线损等原因，其电费一般都在 1.5 元/kWh 左右。农户照明和收看电视的用电量约为每月 30kWh，因此，使用微水电每年可为每户农民节省 300 元以上的电费开支。300 元的数目虽然不大，但在山区农村这个数目基本相当于每年每户农民需交纳的各种税、费的总和。

2.3 微水电的潜在用户的分布和数量的估算

在我国的无电乡村尚有 2300 万无电人口(数据源于中国电力总公司最新统计)，约 600 万户。其中 400 万户散居在微水电资源丰富的南方丘陵山区，约占全国无电人口的 66%。云南、四川、湖南、广西和重庆的无电人口最多，约占全国无电人口的一半（数据源于国家计委《1999 年的光明工程行动计划报告》）。

此外根据我们的调查，在有电网覆盖的山区仍然存在较大数量的无电户。形成这些无电户的原因有以下四条：

- 1) 居住过于分散，远离电网，造成支线架线费用高，供电线损大。根据调查，一、两户人家居住在离电网电线 3 公里以上的一般都没有架线通电。有些地方，即使政府花上大量资金（十几万元，甚至几十万元）架上电线，但由于线路长，线损大，造成电费高达 1.4 元/kWh 以上，农民还是用不起。
- 2) 由于地形限制，无法架设电线。不少少数民族村寨（尤其是苗族）建在崇山峻岭的半山腰，周围原始森林环抱，架线不仅技术难度大，而且容易造成环境破坏，因此没有通电。
- 3) 由于过于贫穷，交不上架线集资款或电网入网费，因而没有通电。
- 4) 由于农业产业结构调整，退耕还林，而转移住地的承包荒山户、专业咖农、药农等搬迁户，一般都没有通上电。

由于上述原因，在中国的一些山区县市，没有无电村，不等于没有了无电组，没有无电组并不等于没有了无电户。以我们重点调查的湖南省湘西州古丈县为例，全县实现了村村三

通（即通水，通公路，通电），在电力部门的统计中，属于实现了农村电气化的县，没有无电户存在。而在全县 16 个乡中，却有八千五百多个无电户，三万多无电人口占全县 13 万人口中的 23%。这些地方属于我国最贫困、交通条件最不发达的地区，电网建设极其困难，是微水电最容易推广普及的地区。

2.4 微水电市场的发展预测

我国丰富的微水电资源和微水电与生俱来的良好的经济性，决定了微水电在我国农村可再生资源小电源中群龙之首的地位。但是由于微水电用户群体的极其贫困，微水电的市场发展速度在很大程度上取决于政府的引导与扶持。如果扶持得力，微水电市场完全可能实现跳跃式发展，在一个较短的时期内，使用户从现在的 50 万户发展到上百万户以上。

3. 微水电发展的政策性问题研讨

3.1 微水电和其它供电方式的互补

微水电与光电、风电的互补是由资源分布情况决定的。风力资源主要在沿海、山顶、山口和开阔的草原。光照资源虽然分布很广，但西南山区阴雨天气较多，光照相对较低。微水电和电网、小水电的互补是由地形决定的，微水电站大多数是在山上和山腰，利用一条小溪或小河径流发电。这些地方电网建设难度很大。小水电站是在山下，利用多条小溪、小河的汇集水流建库发电。由此可见，微水电在客观上是不会与其它供电方式形成市场争夺的。

最近几年中国对农村电网改造投入了上千亿的资金，大幅度的降低了农村电价，被群众称之为德政工程。然而在山区农村进行大规模的农网建设投入却让山区政府和供电公司处境尴尬。以湖南省湘西州为例，全州 2000 年电力建设投资为 2.9592 亿元，占各行业之首。由于山大，变电站供电半径过大，人口居住分散，人均用电量少等原因，供电公司亏损严重，不少村寨的电价仍然在 1.4 元/kWh 以上，最高的达到 5 元/kWh。

变电站是电网的核心，变电站的建设成本、四周的电网架设成本以及线路损耗指标的限定决定了以该变电站为核心的局域电网的经济供电覆盖范围。与此同时，该局域电网还有一个收支平衡卖电营业额指标，只有在卖电量超过这个指标后，供电公司才不会亏损。山区电网建设的矛盾在于：按经济供电覆盖范围计算，变电站太少了，而以收支平衡卖电营业额指标计算，变电站又太多了。以人口仅有 13 万古丈县为例，该县前三年用于电网改造的资金共计 2700 万元。其中用于变电站建设 1400 万元（目前全县共有 4 个输出电压为 1 万伏的变电站，该类变电站的经济供电范围为 15 公里，而实际供电范围有的已达到了 40 公里），农村电网改造 1000 万元。完成了 49 个村的农村电网改造，而目前古丈县的农村年用电量仅有 280.53 万千瓦小时。11 万农业人口的用电量只有 2.5 万非农业人口用电量的 4/5（县城电网改造仅用了 300 万元）。县供电公司以 0.25 元/kWh 从大电网趸进电力，以 0.31 元/kWh 的价格从变电站卖出，毛收入为 0.06 元/kWh，也就是说每年县供电公司从全县农村电网上的营业收入只有 16 万元，要还清 1000 万元的贷款至少需要 70 年。该县目前的平均线损在 32% 左右，如要完成全县 185 个村农村电网改，把线损降到国家要求的 12% 以下，至少还需要投入资金 5000 万元以上。课题组 2001 年 8 月到达古丈县的双溪乡调研，由于亏损，电管站的同志，8 月才发 2 月份的工资，工资拖欠达半年之久。该县的罗依溪镇且荣村约有 300 人，仅村内架线就投资了 18 万元，据供电公司的领导计算，将该村收到的电费，扣除电网购电费用后全部用于还贷，也要 95 年才能还清。据说由于该村地处公路和供电干线边，情况比其它村寨还要好得多。2001 年 11 月，永顺县的长营镇，野竹、小溪等 4 个村的农民四百多人聚众到州委上访，反映该地电价高达 4~5 元/kWh。经调查供电公司变电站的卖出价仅为

0.31 元/kWh，电价高的主要原因是线损过大造成的，州领导当既表态要对其进行电网改造，让农民用上 0.8 元/kWh 的电，随后技术人员进行了实地勘查，并做出预算，仅野竹村（约 220 人）的线路改造就需要投入资金 240 万元。由于当地有微水力资源，如用微水电解决这 220 余人的生活用电，加上水渠建设费用，顶多也不会超过 24 万元。因此，山区的水利局和供电公司对于推广微水电都持肯定和支持的态度。

然而，微水电与电网之间争斗的事件却时有发生，这主要是拥有微水电的农民和前来拆除微水电的电网供电站或电管站工作人员之争。其实不管从局部或全局分析，小小的微水电，全国总共十几万千瓦的装机容量，不足以构成对电网市场的争夺。强制拆除微水电不仅伤害了农民群众的感情（因为安装微水电也是在政府的宣传鼓励下进行的）和利益，对电管站的亏损与事无补，而且也与世界上鼓励发展分散型可再生能源、保护生态环境的潮流格格不入。对此各级政府应当出台文件，给予坚决制止。

个别的微水电与电网之间的矛盾，提醒我们在微水电建设中必需注意以下问题：

- 1) 微水电的建设与推广一定要取得地方政府的支持。
- 2) 原则上不在变电站经济供电范围（十五公里）内推广微水电。
- 3) 早期微水电的推广以解决无电户，散居户，边远村寨农民的生活用电问题为主。
- 4) 微水电的建设、管理要和供电公司及水利部门商量，达成共识，争取支持。

表 3-1 2000 年湘西州农村用电情况统计表

县、市 名 称	土地面积 (平方公里)	农村人口 (万人)	乡办水电站		村办水电站		农村用电量 (万千瓦时)
			数量 (座)	装机容量 (千瓦)	数量 (座)	装机容量 (千瓦)	
吉首市	1062	15.0	9	1615	1	125	1104.80
泸溪县	1569	23.1	10	1881			842.32
凤凰县	1751	32.9	14	3440	1	250	1119.00
花垣县	1111	23.1	16	4560	4	278	1016.00
保靖县	1764	24.5	14	2424	1	20	2033.80
古丈县	1286	11.1	12	1620	1	75	280.53
永顺县	3810	42.6	10	2100	4	325	1141.04
龙山县	3127	46.2	16	4480			1753.00
合计	15462	218.5	101	22120	12	1073	9290.49

综上所述，山区农村的电力建设应因地制宜，采取灵活的开放政策，破除垄断，电网、小水电、微水电协调规划，以期用较少的经费投入，改变目前山区农村缺电、少电、无电、

电费过高面貌。

3.2 微水电与农村小型公益设施及生态建设

中国西部开发中农村小型公益设施及生态家园建设项目的实施是改善西部生态环境,使西部农村经济实现可持续良性发展的重要战略举措。从西部山区的环境保护,农业生产和群众生活的基础要求出发,小型公益设施及生态家园建设应该围绕着水、电、气三位一体的综合治理来进行。

水是农业生产最根本的资源,缺水干旱是造成土壤有机质下降,使土地退化的主要原因之一。包产到户后,各地放松了对进村到户的微小水利设施的建设和管理,靠天吃饭,不少地方年年出现 4~8 个月的干旱期,导致长江上游的 3540 万公顷土地,土壤肥力持续下降,到 1990 年我国耕地有机质平均不足 1.5%。不仅土质退化,甚至于连人畜饮水都成了问题。推广微水电的前提也是要有水,微水电资源的好坏与植被状态、水土保持等密切相关。植被好的地方,溪流清澈,终年不断。植被破坏严重的地方,雨到洪到,经常断流,泥沙会很快淤堵微水电的引水渠道。微水电的开发利用会使农民感到环保问题是与自己现在的生活密切相关的实实在在问题。微水电站建设中,有计划的修筑许多微小蓄水、引水工程,对于减轻雨季洪水对土地的冲刷有积极的作用。

从理论上讲凡年降雨量超过年蒸发量的西南部山区,都不应该缺乏水资源。因此,西南部山区的缺水问题是可以通过各种水利设施(其中包括大量的微、小型水利设施)的建设、治理来加以解决的。山区农村对水的治理可兼顾灌溉用水,群众生活用水以及无电户的发电用水三个方面的需求。以提高群众对治水的积极性,同时农村能源办、水利局、供电公司应在当地政府领导下积极协商合作,避免重复建设,分散消化投资成本,发挥各自的技术和管理优势,努力提高各类水利、电力设施、设备的使用效率、管理水平和使用寿命,让贫困山区的农民真正得到长期的生产、生活方面的实惠。

古丈县野竹乡蒿根村在县水利局和县农村能源办的支持下,支部书记带领群众修建了一条五千米长的水渠,沿途引入了三条山沟的溪水,使村里的 300 多亩地都成了旱涝保收的良田,在水渠的末端形成了六十米高度的落差,安装了一台 5.5 千瓦的微水发电机组(该水资源实际具有 10 千瓦以上的发电能力),基本上解决了全村 240 人的生活用电问题。发过电的水从村边流过,成为村民极其方便的洗漱水源,改变了全村的生产生活面貌。

从 2002 年起,中国西部开发中实施的农村生态家园建设项目中加入了微水电的内容。我们应该抓紧这个有利时机,宣传先进典型,扩大示范试点规模,搞好进村进户水、电的综合治理。同时结合推广沼气、秸秆气化技术,解决群众的炊事燃料问题,巩固山区退耕还林,保护植被的成果。通过水、电、气的综合建设,改善山区农村发展种植业和养殖业的基础条件,改变山区农民的生产生活习惯,促进山区环境保护、农林牧副渔业的持续健康发展。

3.3 我国微水电的基本任务和归类定位

微水电的存在和发展越来越受到各国政府的重视,其根本原因在于微水电作为一种分散型可再生能源,一种独特的供电模式,具有良好的能源环保效益和经济效益。在我国山区存在着对微水电的实际需求;使用微水电没有破坏环境、电网架设难、线损大、电力管理成本高等问题;同时,微水电的以户、村为基本单元的办电性质,又与中国农村目前的经济体制十分吻合。因此,用微水电解决山区农民的生活用电问题是最经济的行之有效的办法。我们研究、扶持、提倡发展微水电的基本任务,近期就是要以微水电这种多、快、好、省的供电技术,解决我国贫困山区无电人口的生活用电问题,进而发展微水电用于农副产品加工,解决贫困山区脱贫致富。

微水电的用户几乎全部是山区农民,微水电无疑是我国山区农村能源环保建设的一个重要组成部份。微水电又不同于一般家电商品,它需要提供强有力的售前和售后服务才能发挥出好的效益。从目前我国实际情况看,由于微水电的用户极其分散、偏远,任何企业都无法承担售前和售后服务的重任,只有农业部和地方政府共同领导下的由各级农村能源办组成的农村能源推广服务网才可能担此重任。因此,1991年水利部和农业部经过协商,决定将微水电划归农业部管理是正确的,也是符合国际惯例的。这一点得到坚持和重申,务使各有关单位都了解和理解。

然而,农业部管理微水电一定要注意克服两个倾向性问题,一是:因为微水电归农业部管理,就把微水电简单的看成一种农机产品,把它混入吃饭问题、菜篮子问题中去排队,从争取项目支持上说,这实际上等于取消了微水电的生存和发展的权力。尽管负责主管微水电的中国农业部科教司一直十分重视微水电,并且不停的奔走呼吁,也不被农业和农机主管部门所重视。微水电二十年几乎没有部级科研项目,“八五”“九五”期间没有攻关课题,极大的阻碍了微水电的发展。可以断定,不从根本上解决微水电这个问题,在“十五”期间,微水电仍然无法为解决我国贫困山区上千万无电人口生活用电问题做出自己应有的贡献。二是:因为微水电归农业部管理,缺少同水利、电力部门协商合作,对适合推广微水电的乡村水电建设实行大包大揽,又修水渠,又拉村网,这是决非农业部的项目财力所能及的。同时,这样做既容易发生矛盾,又容易引起重复建设。随着国家连年对农村电网改造的大规模投入,国家在山区环境保护措施的实施,以及国家西部开发的实施,在山区农村推广微水电的目的和任务与十年前相比也发生了明显变化。微水电一方面要以目前占主导地位的百瓦级户用型机组解决散居农户的生活用电问题;另一方面又可以用几千瓦到几十千瓦的村用型机组解决电网远距离送电的严重亏损问题。

我们一方面要注重微水电和小水电的区别,研究微水电与小水电不同的技术特性、推广模式和管理方法,同时又要避免将微水电简单的视为一种农业机械。因此,我们认为微水电的定位应该是:山区农村可再生能源、环保建设的一个组成部份和山区农村电力建设的重要补充手段。其归类应该是农村能源环保类产品。

把微水电作为解决边远山区人民生活用电的主要手段来加以扶持、推广和利用,在近期重点解决国定贫困县山区无电人口的生活用电问题,应该成为微水电行业和其主管部门的基本工作方针。

3.4 我国加入 WTO 后微水电行业所面临的机遇和挑战

目前世界上还有 16 亿无电人口,绝大多数在发展中国家。在东南亚、南美洲、非洲的部份地区都有很丰富的微水力资源,微水电的国际市场前景十分广阔。

国外微水电产品价格太高,不具备进入中国市场的能力,而中国的微水电产品也还不具备成为国际品牌的技术势力。至今为止我国的微水电出口绝大部分是通过边境贸易进行的。要扶持中国国内微水电堂堂正正的参与国际竞争,首先必需在进行标准的制修订中做到与国际接轨。

与国外微水电产品相比,价格低,品种多是中国微水电产品的两大优势。微水电的国际市场主要在经济不发达的发展中国家,保持上述两大优势是进入国际市场的有利条件。要在保持价格低的情况下提高产品质量,就要大力提高微水电的标准化、系列化水平,扩大生产规模。因此,要积极支持微水电企业的整合和重组,吸引有财力的大中型企业参与微水电产品的研发和生产。鼓励有关科研院所对微水电的技术难题进行立项攻关,大力提高中国微水电的技术水平。

推广微水电不管在任何国家,都是造福于民的好事情。在中国的对外援助项目中可以适

当输出微水电产品和技术，让世界人民尽快的了解中国的微水电。

3.5 微水电行业的发展阶段划分

微水电作为一种新生事物，在自身的技术完善、行业建设、用户群体的形成、市场监管机制和政策法规的制定等方面都还有相当长的路要走。根据我国微水电的发展现状，结合政府部门和农村社会对微水电的总体要求，应将我国微水电的发展分为三个阶段，即试验、试点、示范阶段；扶贫推广阶段；进入市场机制运行阶段。这个思路可概括为：能环为本，示范先行，扶贫送电，市场经营。

以可再生能源和保护山区农村的生态环境为微水电的立足之本；通过示范、试点解决微水电的各种技术问题和探索出在中国山区农村切实可行的推广模式；在各级政府的扶持下，应用微水电技术较大面积的解决我国贫困山区农户的生活用电问题，使农民能够点上电灯，看上电视，改变贫困山区的信息闭塞、愚昧无知的状态，并且形成微水电基本的消费群体。然后，逐步规范微水电的市场行为，使其按照市场机制进入良性运转。

我们在顺应中央政府的宏观发展战略，制定微水电的扶持政策，决定资金投向和扶持力度时一定要考虑到中国微水电发展的基本规律和各阶段的基本任务。我们目前应该抓住的机遇是西部开发、光明工程、农电改造等。不同的阶段要有相应的政策和措施，才能保证其健康发展。

3.6 微水电推广的两种基本模式和现阶段工作中容易出现的问题

根据中国山区农村的实际情况，微水电可以分为户用型和村用型两种基本类型。推广微水电也随之可分为普及自用户和发展专业户两种基本的模式。

普及户用型微水电，就是根据各地山区农村的经济状态，在政府的扶持下，由农民自购、自建、自管、自用来普及微水电。这种模式与我国农村目前经济体制相吻合，推广起来比较顺利。目前普及户用型微水电的困难在于：

- 1) 用户过于贫困，几百元一台的微水电也买不起。而这些地区的地方政府财政也非常困难。
- 2) 户用型微水电机组的品种太少，系列不全，选型困难。
- 3) 由于过分追求低价，使得市场上质量很差的户用型微水发电机组占据了主导地位。
- 4) 由于农民的用电量很小，这种模式只适合于几百瓦的小机组推广，容易造成资源浪费。

发展微水电专业户是指在政府有关部门提供技术和资金（以专项贷款为主）支持下，由个人、集体或单位以经营为目的，建造几千瓦至几十千瓦的微水电站和覆盖一到几个自然村的局部供电网。夜晚卖电和白天兼搞农副产品加工业，赚钱还贷，以缓解山区农村远距离送电网建设投资过大的困难。这种模式虽然还没有进行过试点示范，但在与山区地方政府、水利局、供电公司和山区群众的座谈中各方都认为可行，值得一试。

在微水电的推广中要努力调动农民、农村能源办、水利局、供电公司等四方面的积极性，造就一个“四方协力，水电兼治，户用自管，村站专营”的局面。

无论以何种方式推广微水电都有一个组织管理问题。目前我们还处在微水电的试点、示范阶段。这个阶段的主要特征有：

- 1) 许多有关人士还不清楚微水电和小水电是完全不同的两个行业。
- 2) 微水电生产企业数量少、规模小。
- 3) 微水电的主导产品还存在不少技术缺陷。
- 4) 微水电潜在用户远远大于现有用户。

这个阶段往往使人感到工作头绪烦多，抓不住重点。因此需要从微水电的基本任务和整体发展要求出发，制定出微水电在试点、示范阶段的主要任务，为微水电下一阶段的发展提供、积累必须的经验、数据储备。

微水电在试点、示范阶段首先要回答的问题是对微水电的技术要求问题。微水电要进行较大规模的推广，技术上必须要达到一个什么样的程度，才能基本上满足用户的使用要求？并且将这种要求以“微水电基本技术条件”标准的形式确定下来。各个相关科研单位和生产企业应当围绕这个标准进行技术攻关，以确立自己在行业中的技术地位和产品进入市场的合法性。由于在此阶段的微水电企业还十分弱小，需要政府主管部门给予一定的项目资金支持，以尽量缩短这个过程。然而，我们在这方面认识不足，以至于用了 20 年时间还没有走完这个过程。

微水电在试点、示范阶段要回答的第二个问题是如何在我国山区农村推广微水电的问题。这个问题包括：推广模式、经费测算、资源调查、技术培训等等。这个问题只能通过有计划、有步骤、有针对性的创办试验、示范点（村、县）来解决。

在微水电试点、示范阶段微水电行业的所有问题都会有所反映，但回答上述两大问题是这个阶段的主要任务。

从我国目前的实际情况分析，在微水电试点、示范阶段，制约微水电发展的因素可分为主、客观两个方面。主观因素主要是对微水电的宣传不多，其概念在许多人心目中一直和小水电混淆不清。虽然在 1991 年确定微水电属于农村能源，农业部为微水电的主管单位，但由于它在技术上毕竟是水电行业的一个分支，农业部现行的对农业的各项优惠政策很难将其纳入扶持范围。在没有制定出长期、稳定的微水电扶持政策的情况下，微水电行业很难快速有序的发展。

客观因素主要来自三个方面：一是资源限制；二是技术限制；三是市场条件限制。

微水电的资源状态比较复杂，地形、气候、季节、农时都会对小河水量产生很大的影响。在资源区划中丰中有贫，贫中有丰的现象十分普遍。就是说微水力资源丰富的地区也存在缺水的村和户，反之缺水的地区也有微水力资源丰富的村和户。湖南省湘西地区雨量充足，高山林立，但有些县由于地下的溶岩结构，雨水很快流入地下阴河，使地面成为严重缺水地区。江西省赣州地区是个微水电资源丰富的地区，我们在推广微水电的过程中，因为忽视了丰中有贫的情况，结果造成有些示范点上的微水电机组因水量不足，一年可发电时间不足半年，无法起到应有的宣传作用。反之，蒙古、内蒙、黑龙江、新疆等地的用户来购买微水电机组，又让我们感到不可思议。为了详细弄清微水电资源情况，微水电推广技术人员一定要深入实地考察，并且要在山区农村大力推广简易的流量和水头落差测量技术。这些都是非常行之有效的方法。但一定要在各级政府的重视和支持下才能做到。

在技术方面虽然已经进入了第二代微水电的推广期，但在市面上占主导地位的还是第一代微水电产品，第二代微水电产品还需要接受技术和市场两个方面的考验。同时我们还必须大力进行第三代微水电产品的研发工作，努力提高微水电的供电可靠性和标准化、系列化水平。现阶段在解决微水电技术问题方面，要防止照搬小水电公式和经验，忽视实验、纠缠于细节、一哄而上低水平重复。

由于微水电的用户过于贫困，完全靠市场机制运作困难很大，其发展在很大程度上取决于政府的扶持。在试点、示范方面，要避免缺乏统筹规划、急于求成，过早强调把利益直接给予农民，点面布局无代表性、统计概念和数据混乱等问题，都只有在农业部的统一领导下，调动有关科研单位和各级农村能源办的积极性才能做到。

3.7 在贫困山区推广微水电的经费来源和分配原则

由于山区的无电户属于我国最贫穷的人群，这些地区的政府也是我国最贫穷的地方政府，因此微水电的推广必须要有中央财政的扶持。由于微水电自身的经济性很好，平均每户有一千元的扶持经费就可以解决问题。比起在山区农村进行电网电力建设来这项费用是微不足道的。推广微水电的经费来源可以有几个方面：

- 1) 受益农户自筹，包括现金、出劳、出建材等多种形式。
- 2) 中央政府的财政扶持，包括各种项目、专项拨款和贷款。
- 3) 地方政府的配套扶持资金。
- 4) 国际组织的援助和慈善机构的捐赠。

除了用户自筹的资金外，其它资金的分配可以根据县、区、乡的贫困程度而定。国家应给予国定贫困县重点扶持。

3.8 微水电产销的组织管理、技术培训和技术服务

由于微水电属于用户自行管理使用的设备，对使用者有较高的技术要求，而微水电的用户又是文化程度很低的山区农民，因此对用户的技术培训和技术服务就显得至关重要。对于微水电产销的组织管理应注重两个问题：一是充分发挥各级农村能源办的作用。二是要把产销利润与技术培训和售后服务挂钩，谁获利谁就要担负起技术培训和售后服务的责任。积极鼓励和协助微水电的产销企业与山区农村能源办挂钩，协商解决对当地用户的技术培训和售后服务问题。

3.9 质量标准体系和质量监督体系的建立与完善

微水电是涉及人身安全的电器产品，并且使用者自我保护意识不强，因此需要抓紧微水电质量标准体系和质量监督体系的建立与完善，逐步实行产销许可证制度。在这方面一定要克服把微水电的问题拿到农业、农机问题中去排队的顽症，否则这项工作将寸步难行。

4. 政策建议汇总

4.1 市场及管理

- 1) 制定和贯彻实施鼓励发展微水电的优惠政策。将微水电产品划入农村环保产品的范围，使其得到长期、稳定的优惠纳税政策扶持。
- 2) 建立生产许可证、安全许可证制度和质量监督抽查制度，并落实执行单位和相应的经费，打击假冒伪劣产品。
- 3) 将微水电的推广作为各级农村能源环保办公室（站）的基本工作任务之一，由各级农村能源环保办公室（站）负责规划本地区微水电的宣传、技术培训、销售和售前、售后服务。
- 4) 统筹解决微水电“培训内容多、面广量大”的问题。编写统一的培训教材和采用录像进行教学。在微水力资源丰富的各省建立示范试验点，让试验点担负起本省范围内的培训工作。
- 5) 坚持中央扶持引导，地方政府支持，用户自购、自建、自管的方针。
- 6) 建立微水电发展基金，实行统贷统还，有偿使用，滚动发展。
- 7) 制定微水电的保护政策，在有电网地区允许农民自由选择使用微水电或者电网电力。

4.2 科研及可持续发展

- 1) 在明确行业主管单位（即农业部科教司）的前提下，制定自身的分阶段技术攻关规划，并落实相应的资金。

2) 制定微水电标准的修订和编制规划,做到每年制、修订二至四个标准,五年内基本建成微水电标准体系。在标准的制修订过程中,主要技术指标要在充分考虑到我国国情的同时,尽可能与国际接轨。

3) 加强微水电科技方面的国际交流,继续研究、开发、引进和推广应用低成本、高效能的设计、施工、制造技术。加强新型高效水轮机的试验研究和推广。

4) 有计划的开展微水电配套农副产品加工机具的开发工作,提高微水电的用电率 and 经济效益。

4.3 对贫困地区的特殊扶持措施

1) 将微水电的推广列入扶贫工作的范畴,在特困地区,实行政府出资,受益农户出劳兴建微水电站。

2) 加强特困地区的微水电示范、试点建设工作,在有条件的地区积极与当地水利局、供电公司协调,力争扩大试点规模,在 2002 年立项建立 2~3 个县级试验、示范工程,取得经验,指导全国。

3) 加强和充实特困地区的地、县级农村能源办公室(或工件站),包括充实人员,加强培训,配置必要的工作条件和交通工具等。

附件 2

促进中国农村地区分散型可再生能源发电系统发展的政策研究

小型风力发电调研报告

李德孚

项目课题组

2002 年 7 月

目 录

前 言	63
1. 对我国风力资源的评估及其经济性	63
1.1 我国风能资源分布	63
1.2 风力资源利用的经济性	64
2. 行业发展现状	64
2.1 行业发展的五个阶段	64
2.2 行业现状	66
2.3 机组的技术特点及技术参数	67
2.4 技术标准及检测机构	68
3. 潜在市场及发展趋势	72
3.1 典型案例	72
3.2 小风电的潜在市场	75
3.3 小风电发展趋势	77
4. 障碍与问题	78
5. 政策与建议	79

前 言

风能是一种可再生、无污染、取之不尽用之不竭的新能源，也称之为“绿色能源”。风能的特点：不需要采购、运输，不需要开采，不消耗资源，清洁卫生，一尘不染。风能具有广阔的发展前景，在国内外得到了广泛的应用。我国是风力资源较丰富的国家，也是利用风力资源进行风力发电，风力提水，风帆助航较早的国家。小型风力发电作为农村能源的一种补充，在我国边远山区、沿海岛屿和少数民族地区取得了很好的社会效益和经济效益。对于提高我国“老少边远”地区广大农牧渔民文化生活和物资生活水平，发展市场经济，加强民族团结，振兴中华，巩固国防具有极其重要的意义。

1. 对我国风力资源的评估及其经济性

根据国家气象局气象研究院的估算，我国的地面风能潜力理论可开发的总量全国为 32.26 亿千瓦，10 米高度层实际可供开发量为 2.53 亿千瓦，可开发的风能资源十分丰富。如图 1 所示。

1.1 我国风能资源分布

根据调研，中国风能资源可划分为三种类型：

1.1.1 风能资源丰富区

主要集中在我国东南沿海，广东沿海及其岛屿。这些地区的有效风能功率密度在 200W/m^2 以上， $\geq 3.5\text{m/s}$ 风速全年为 7000~8000 小时左右。

1.1.2 风能资源较丰富区

主要集中在东北、华北和西北北部地区；黑龙江、吉林省的东部及辽宁和山东半岛的沿海地区；青藏高原的北部地区。东南沿海距海岸线 50~100 千米的内陆地区；海南岛西部；台湾南北两端以及新疆阿拉山地区。这些地区有效风能功率密度为 150W/m^2 以上，全年 $\geq 3.5\text{m/s}$ 风速 4000 小时以上。

1.1.3 风能资源可利用区

其分布较广，包括黄河、长江、黄河中下游、东北、华北和西北除上述丰富区以外的地区、青藏高原东部地区等。

根据中国全国气象台站风能资料的统计和计算，如表 1-1 所示，给出了中国风能区占全国面积的百分比。

表 1-1 我国风能区占全国面积的百分比

区域指标 指标	丰富区	较丰富	可利用区	贫乏区
年有效风能功率密度 (W/m^2)	≥ 200	200~150	150~50	≤ 50
年 $\geq 3.5\text{m/s}$ 小时数	≥ 5000	5000~4000	4000~2000	≤ 2000

占全国面积 %	8	18	50	24
---------	---	----	----	----

目前，国内外多选择年平均风速为 6m/s 或以上的高风速区(即风能资源丰富区)，安装并网型风电机组，即大型风力发电机组。在这些机组中，目前中国多选用单机容量 600kW 以上机组建设风电场。这样才能保证机组多发电，经济效益才能显著。对于年平均风速为 3~5m/s 的低风速区（风能资源较丰富区和可利用区）来说，由于风速小又不稳定，因此达不到风电场选址的要求，只能推广应用小型风力发电机组，独立运行的小型风力发电机组启动风速较低，一般 3m/s 以上就能建压发电，蓄电池就可以陆续充电，保证用户用电。这些地区分布区域广、中国有相当部分农耕区、山区和牧区属于这种地区，如图 2 所示。

据电力部门统计，到 1999 年底，中国还有 7 个无电县、766 个无电乡、16509 个无电村、706 万无电户、2800 万人口未用上电，其中大部分人口居住在低风速区。低风速区的风能转变成电能，只能采用蓄电池储能的独立供电机组来解决，即单机容量为 100W~10kW 的单机户用小型风力发电机组，开发高风速区风能的一些原则和方法，在低风速区就不一定能用，必须根据低风速区的风能特点，寻找适用大面积开发利用的原则和方法。例如：风能、太阳能互补发电系统的开发利用等，由于风能在冬春季最大，夏季最小，而太阳能在夏季最丰富。利用风能，太阳能互补的特性，能获得比较稳定的电能，并可获得较好的经济效益。

1.2 风力资源利用的经济性

风能是太阳能的一种转换形式，是取之不尽，用之不竭的可再生能源。根据计算，太阳至少还可以象现在一样照射地球 60 亿年左右。

1.2.1 无污染

在风能转换为电能的过程中，不产生任何有害气体和废料，不污染环境。

1.2.2 可再生

风能是靠空气的流动而产生的，这种能源依赖于太阳的存在。只要太阳存在，那么就可不断地、有规律地形成气流，因而周而复始产生风能，可永续利用。

1.2.3 就地取材、无需运输

在边远地区如：高原、山区、岛屿、草原等老少边穷地区，由于缺乏煤、石油和天然气等资源，给生活在这一地区的人民群众带来诸多不便，而且由于地处偏远、交通不便，即使从外界运输燃料也十分困难。因此，利用风能发电可就地取材、无需运输，具有很大的优越性。

1.2.4 适应性强、发展潜力大

从经济性看，小型风电机组可结合国家风资源的实际分布情况，在风力发电机额定输出功率不变的条件下，选择额定风速适当的风力发电机组，充分利用风能资源。这样，可最大限度地利用中国辽阔地域的风能，这一区域占中国国土面积的 76%。因此，在中国发展小型风力发电，潜力巨大、前景广阔。

2. 行业发展现状

2.1 行业发展的五个阶段

中国是风能开发和利用较早的国家之一，早在 1000 多年前就开始以风能作为动力进行磨面、提水和航海。1967 年中国江苏省兴化和盐城等地仍有 3 万台风力竹木帆布式提水机组在使用。近十年来中国的风能开发利用有了更大的发展，中国小型风力发电行业兴起和发展大体经历了以下五个阶段：

2.1.1 第一阶段：老式风车应用阶段（1949~1959 年）

这一时期各地群众在农具技术革新热潮中，为了摆脱原始的劳动方式和改善生活条件而研制了许多类型的风力机。主要用于发电或提水。与此同时，古老而具有中国特色的立轴风力机——“走马灯”式风车在江苏、吉林等地仍然在使用。1959 年仅江苏省还在运行的风力提水机组约 20 余万台，这些机组都是农民自制的竹木结构布蓬传统简易风车，主要用于提取海水制盐、农田灌溉。后来由于我国能源结构的变化和技术进步，这一时期的风力机至今已淘汰，但对风力机的风轮型式以及控制方式所做的大量理论探索和实践，对后来风力机械的研究起到了一定的借鉴作用。

2.1.2 第二阶段：现代风力机械起步阶段（1960~1977 年）

在这一阶段，原中国八机部组织有关科研单位重点探讨我国牧区及沿海地区风力资源状况、需求及科研重点，并投入资金进行产品开发。根据当时牧区需要，有关单位研制了 30W、50W、100W 及 1kW、2kW、10kW、12kW、18kW、30kW 风力发电机组和 6m、7m、8m 直径的风力提水机组。其中 30W、50W、100W、2kW 风力发电机组，投入了小批量生产，满足了牧民的需求，受到牧民的欢迎。在这一阶段，研究单位与生产企业合作从自行设计到仿制国外机组，研制成功几种小型风力发电机组和风力提水机组，为以后中国的风力机械研制工作积累了丰富的经验。

2.1.3 第三阶段：科研攻关和示范应用阶段（1978~1983 年）

1978 年，原中国国家科委在国家重点科技攻关项目中投入 150 万元，专项用于风力发电机组和风力提水机组的开发和研制，山西国营汾西机器厂，航空部 602 所和中国农机院等单位分别研制了 50W、150W、500W、3KW 的风力发电机组及 5m 直径的风力提水机组。同时，原机械部在科研和新产品计划中拨专款支持开发了 50W、100W、200W、500W 风力发电机组。主要研究单位是原机械部呼和浩特畜牧机械研究所，生产企业是内蒙古动力机厂和内蒙古商都牧机厂，这些产品是以后在我国推广使用的主要机型。从此小型风力发电机组和风力提水机组的研制工作得以稳定、健康地发展。到 1983 年，研制的产品有 30 多种，其中有 10 多种通过了技术鉴定，投入了批量生产和推广应用。

为逐步推广，原国家科委、机械部还在几个地区开展了风能利用的中间试验，如在内蒙古西苏旗等地建立了 100W 级风力发电机组的三个应用示范点，积累了实际使用经验，为小型风力发电机组的大批推广做了充分准备。

2.1.4 第四阶段：技术成熟和实用推广阶段（1984~1990 年）

1984 年由原国家科委、能源部、机械部共同组织召开了“全国小型风力发电工作座谈会”，制定了有关政策，拟定了联合攻关计划；明确了技术鉴定、示范和推广的重要性；同时国家计委在国家“七五”科技攻关计划中继续支持风力机械的研制和开发，继续对 100W、200W、300W 风力发电机组进行完善，并结合引进国外的技术或样机研制了 500W、1KW、2KW、5KW、10KW、55KW 风力发电机组及其相关技术和 6m、7m 直径的风力提水机组。其中，1KW 风力发电机组是以补偿贸易的方式引进美国桑森堡公司的技术，2KW 风力发电机组是参考了澳大利亚的样机，根据中国情况而设计的，5KW、10KW 风力发电机组是以

许可证方式引进法国埃尔瓦特公司的技术,55KW 风力发电机组参考了丹麦维斯塔斯公司的样机技术;这几个型号的机组除 55KW 外都已批量生产。

1984 年初,内蒙古自治区确定在全区十个牧业镇进行新能源民办公助试点工作,扩大了示范成果,并从 1986 年开始对牧民购买风力发电机组实行补贴政策,其他省份如甘肃、青海、宁夏、新疆等也在推广应用环节及时制定了扶持政策。这进一步促进了我国小型风力发电机组的推广应用。从此,我国小型风力发电机组进入了成熟发展和实用推广阶段。

2.1.5 第五阶段:调整、巩固、走向稳定发展的阶段(1990 年以后)

进入 20 世纪 90 年代后,我国小型风力发电机组的销售出现了波动。由于内蒙古自治区政府对离网型风力发电机组减少了补贴经费,加之国内的原材料和配套蓄电池价格上涨,风力发电机组售价提高,使机组在一段时期销售量有所下降,一些风力发电机组的生产厂,由于产品质量不过关,销售量减少或利润太少而导致亏损,逐渐停止了风力发电机组的生产。与此同时,内蒙古商都牧机厂、内蒙古天力风力机械厂等少数企业,不断改进、提高了产品质量,并认真做好售后服务。扩大了销售渠道和应用范围,成为我国离网型风力发电机组生产的主导企业。近两年小型风力发电机组产量有明显的回升。

2.2 行业现状

2.2.1 研制、生产单位

我国风力发电产业的发展是从小型风力发电机组开始的。中国小型风力发电机组是指 10KW 以下的、独立运行的、户用的、用蓄电池储能的风力发电机组。目前,开发、研制、生产小型风力发电机组的单位共 43 家,其中,大专院校、科研院所 16 家,主机厂 17 家和配套厂 10 家,年生产能力超过了 3 万台。主要生产企业有:内蒙古商都牧机厂、内蒙古天力风力机械厂、山西太原 884 厂、九江仪表厂、山东潍坊永大机械有限公司、江苏江都神州风力发电有限公司、青岛丰能机电有限公司、江苏南航技术开发公司、内蒙古国飞新能源有限公司、新疆风能公司、内蒙古华德新技术公司、广西合浦风力机厂、沈阳工大风能所等。

2.2.3 应用推广的地区

农区、牧区、边远地区的边防连队、哨所、海岛驻军、内陆湖泊渔民、地处野外高山的微波站、航标灯、电视差转台站、气象站、森林中的瞭望烽火台、石油天然气输油管道,近海滩涂养殖业及沿海岛屿,这些地方使用柴油或汽油发电机组供电,供电成本相当高,有些地方高达 3~6 元/kWh,而这些地方绝大部分处在风力资源丰富地区。通过采用风力发电机/柴(汽)油联合发电系统或风力发电机/光电池互补系统供电,可以既保证全天 24 小时供电,又节约了燃料和资金,同时还减少了对环境的污染,可谓一举三得,经济效益和社会效益十分显著。

2.2.2 产量、保有量

截至 2000 年底,我国小型风力发电机组生产企业累计共生产各种小型风力发电机组 197940 台,见表 2-1,总装机容量为 50277kW,年可发电 7066 万 kWh。其中,内蒙 144517 台,占 73%。据农业部统计 2002 年末累计运地的为 12.05 万台,用户数为近 10 万户。所生产的小型风力发电机组,除满足国内用户需要外,还出口远销到印尼、瑞典、德国、日本、韩国、蒙古、法国、古巴、越南、泰国、马来西亚、巴基斯坦、巴布新几利亚、缅甸等 23 个国家和地区,累计出口各种小型发电机组近 5000 台。我国小型风力发电机组保有量、年产量、生产能力均列世界之首。据不完全统计,2001 年我国生产小型风力发电机组超过 2 万

台，其中江苏江都神州风力发电机有限公司生产 8230 台；江西九江仪表厂生产 4280 台。

表 2-1 我国小型风力发电机组历年产量汇总表

年 份	1983 前	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
生产量 (台)	3632	13470	12989	19151	20847	25575	16649	7458	4988
年 份	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
生产量 (台)	5537	6100	6481	8190	7500	6123	13884	7096	12170

2.3 机组的技术特点及技术参数

目前中国生产的小型风力发电机组按额定功率分共 10 种，分别为 100W、150W、200W、300W、500W、1000W、2000W、3000W、5000W、10000W、其技术特点是：2~3 个叶片、侧偏调速、上风向，配套高效永磁低速发电机，再配以尾翼、立杆、底座、地锚和拉线。机组运行平稳、质量可靠，设计使用寿命为 15 年。风轮的最大功率系数已从初期的 0.30 左右提高到 0.38~0.42，而且启动风速低，叶片材料已多样化，木质、铁质、铝合金、不锈钢、玻璃钢复合型和全尼龙型等。风轮采用定桨距和变桨距两种，以定桨距居多。发电机选配的是具有低速特性的永磁发电机，永磁材料使用的是稀土材料，使发电机的效率从普通电机的 0.50 提高到现在的 0.75 以上，有些可以达到 0.82。小型风力发电机组的调向装置大部分是上风向尾翼调向。调速装置采用风轮偏置和尾翼铰接轴倾斜式调速、变桨距调速机构或风轮上仰式调速。功率较大的机组还装有手动刹车机构，以确保风力机在大风或台风情况下的安全。风力发电机组配套的逆变控制器，除可以将蓄电池的直流电转换成交流电的功能外，还具有保护蓄电池的过充、过放、交流泄荷、过载和短路保护等功能，以延长蓄电池的使用寿命。机组的价格较低，且适合于我国的低速地区应用。几种机组型号及技术参数见表 2-2。

表 2-2 几种小型风力发电机组型号及技术参数

序号	产品型号	风轮直径(m)	叶片数	风轮中心高(m)	起动风速m/s	额定风速m/s	停机风速m/s	额定功率(w)	额定电压(v)	配套发电机	重量(kg)
1	FD2-100	2	2	5	3	6	18	100	28	铁氧体永磁交流发电机	80
2	FD2-150	2	2	6	3	7	40	150	28		100
3	FD2.1-200	2.1	3	7	3	8	25	200	28		150
4	FD2.5-300	2.5	3	7	3	8	25	300	42		175
5	FD3-500	3	3	7	3	8	25	500	42	钕铁硼永磁交流发电机	185
6	FD4-1K	4	3	9	3	8	25	1000	56		285
7	FD5.4-2K	5.4	3	9	4	8	25	2000	110		1500
8	FD6.6	6.6	3	10	4	8	20	3000	110	电刷爪极	1500
9	FD7-5K	7	2	12	4	9	40	5000	220	电容励磁异步电机	2500
10	FD7-10K	7	2	12	4	11.5	60	10000	220		3000

近期，内蒙古农大新能源所研制出一种浓缩风能型风力发电机组。该机组与普通型风力发电机组的根本区别是：发明一种特殊装置，对自然风进行加速、整流、均匀化，实现了将稀薄的风能浓缩后利用的目的，机组造型新颖、性能独特，提高了风能的能流密度并改善了风能的不稳定性。与普通型风力发电机组相比，机组具有以下特点：

1) 发电量大。起动风速低（2m/s 以下即可起动），高速时自动限速，可不停机连续发电，年发电量是同功率普通型风力发电机的 3 倍。

2) 噪声低。本机叶轮直径小，叶轮所受冲击载荷小，且无偏尾机构，浓缩风能装置也具有减振降噪作用，因此与其他机型相比，噪声显著降低。

3) 安全性高。叶轮安装在浓缩风能装置内，不会飞落伤害人、畜，在运行中具有很高的安全性。

4) 可靠性高。浓缩风能型风力发电机，将稀薄的自然风经浓缩风能装置浓缩、整流和加速后，推动叶轮平稳运转，避免了机械系统承受突变载荷，提高了风力发电机转动的可靠性。

2.4 技术标准及检测机构

2.4.1 小型风力发电机组技术标准

我国《标准化法》和《世界贸易组织/贸易技术壁垒协定》都明确指出：要积极采用国际标准和国外先进标准，是我国一项重大的技术经济政策，也是推动技术进步，提高产品质量的一项重要措施，是参与国际竞争的前提，加入 WTO 后更为重要。

采用国际标准和国外先进标准是技术引进的捷径，特别是对培育和发展社会主义市场经济体制，推进现代化企业制度的建立，加快与国际惯例接轨，显得尤其重要和迫切。

中国风力机械标准化技术委员会是 1985 年经中国国家质量技术监督局批准成立的专业标准化技术委员会，全国代号 TC50，与国际电工组织 IEC/TC88 对口联络，负责我国风力机械标准化技术归口工作。已收集到 IEC61400-1 风力发电机组安全要求、IEC61400-2 风力发电机组小型风力机安全要求、IEC61400-12 风力发电系统风轮功率特性试验等十多个国际标准，逐步转化为我国标准。

目前，已规划的小型风力机标准共 43 个，已制定的小型风力机组标准共 19 个(见表 2-4)。

尚有 24 个标准需要制定和修订(见表 2-5)，均已列入“十五”期间全国标委会的工作内容，并已逐步落实起草单位。

通过风力发电机组标准的颁布和实施，将构成比较完整的风力机械标准体系，并将会起到提高产品质量、规范市场运行的作用，使国内产品和国外产品均有统一的质量标准作为依据，不仅有利于产品零部件的互换，而且有利于产品质量的监督管理。从而为推进我国风力发电机组产品的产业化奠定坚实的技术基础。

2-4 已编制的小型风力机械国家标准和行业标准表

序号	标准编号	名 称
1	GB/T8116-1987	风力发电机组型式与基本参数
2	JB/T7878-1995	风力机术语
3	JB/T7879-1999	风力机械产品型号编制规则
4	GB/T10760-1989	小型风力发电机技术条件
5	GB/T13981-1992	风力机设计通用要求
6	GB17646-1998	小型风力发电机组安全要求
7	JB/T10137-1999	提水和发电用小型风力机试验方法
8	JB/T9740.1-1999	低速风力机系列
9	JB/T9740.2-1999	低速风力机型式与基本参数
10	JB/T9740.3-1999	低速风力机技术条件
11	JB/T9740.4-1999	低速风力机安装规范
12	JB/T51067-1999	风力发电机组产品质量分等
13	JB/T51076-1999	风力发电机组用发电机产品质量分等
14	JB/T50140-1999	风力提水机组产品质量分等
15	JB/T6939.1-1993	小型风力发电机组用控制器技术条件
16	JB/T6939.2-1993	小型风力发电机组用控制器试验方法
17	JB/T7143.1-1993	风力发电机组用逆变器技术条件
18	JB/T7143.2-1993	风力发电机组用逆变器试验方法
19	JB/T7323-1994	风力发电机组试验方法

表 2-5 待编制的小型风力机械国家标准和行业标准表

序 号	类 别	标 准 名 称	制定完成时间 (年)
1	JB	离网型风力发电机组安装规范	2002
2	GB	离网型风力发电机组试验方法	2002
3	JB	离网型风力发电机组可靠性要求	2002
4	GB	户用风光互补发电系统技术条件	2002
5	GB	户用风光互补发电系统	2002
6	JB	离网型风力发电机组验收规范	2002
7	GB	离网型风力发电机组技术条件	2002
8	JB	离网型风力发电系统售后服务规范	2002
9	GB	离网型风力发电机组风洞性能试验方法	2002
10	JB	离网型风力发电机组风轮叶片	2002
11	GB	离网型风力发电机组用发电机技术条件	2002
12	GB	离网型风力发电机组用发电机试验方法	2002
13	JB	离网型风力发电机组用齿轮箱技术条件	2002
14	JB	离网型风力发电机组用齿轮箱试验方法	2002
15	JB	离网型风力发电机组控制器技术条件	2002
16	JB	离网型风力发电机组控制器试验方法	2002
17	JB	离网型风力发电机组制动系统技术条件	2002
18	JB	离网型风力发电机组制动系统试验方法	2002
19	JB	离网型风力发电机组偏航系统技术条件	2002
20	JB	离网型风力发电机组偏航系统试验方法	2002
21	JB	离网型风力发电机组塔架技术条件	2002
22	JB	离网型风力发电机组塔架试验方法	2002
23	JB	离网型风力发电机组基础及连接技术条件	2002
24	JB	离网型风力发电集中供电系统运行管理规则	2002

2.4.2 检测机构

为确保小型风力发电机组的产品质量和技术水平，目前，国家设定了两个检测机构：北京八达岭风力发电试验站；内蒙古赛汗塔拉风电测试场。

其主要任务是对生产企业制造的新产品按设计要求进行性能测试，并要在野外进行 2000 小时以上的无故障、耐久试验，对大专院校、科研院所研制开发的科研样机也要按设计要求进行性能测试，并对样机在野外进行 600 小时以上的无故障运行考核。

(1) 北京八达岭风力发电试验站

北京八达岭风力发电试验站是 20 世纪 70 年代末由中国原水电部筹建的面向全国的风力发电试验站。其任务是：对风力发电机进行测试、鉴定、推广、应用，并进行试验与测试方

法的研究，国内外风电技术情报的交流以及举办学习班，培训全国风力发电技术人员。后经能源部、电力部、国家计委、经委、科委等有关部委的大力支持，建成为风力发电技术的科研、试验、技术交流和人员培训四个中心，并逐步建成了国家检测中心。

试验站地处游览胜地北京八达岭，距北京市区 65km。自然试验风场 6.6 万 m²，风力资源较为丰富。经过不断建设，目前有试验室、控制室（1000m²），安装有国内外各种型号的中、小风力发电机组 28 台，最大容量为 50kW，最小容量为 50W，总容量为 120kW。

自建站以来，试验站从事了小型风力发电机组的测试、改进和应用推广工作，开展测试方法的研究，专用测试仪器的研制，科研样机和风电场的评估工作。进行过 150W、1kW 风力发电机的设计以及控制系统、测试系统、测试仪表的研制，监控系统的研制，绝大多数均获得成功和应用。同时也开展了风力发电机组的选型的排布的研究工作，开展了机组匹配的研究，以及 50kW 中型机的特性测试，承担了“八五”重点科技攻关项目“大型风力场集群监控”的研究和“国产 1~1.5MW 风电场监控系统的研制”，取得了令人满意的结果。在多年风力发电机测试鉴定过程中，积累了丰富的设计、制造、运行检测等方面的经验。

（2）内蒙古赛汗塔拉风电测试场

内蒙古赛汗塔拉风电测试场位于内蒙西苏旗赛汗塔拉镇东 8km 外，该测试场是利用中德政府间技术合作项目建成的，主要任务是对小型风力发电机组进行性能，强度及寿命等必要的试验并测试，测试设备及性能试验处于世界先进水平，如表 2-6 所示。

表 2-6 内蒙古赛汗塔拉风电测试场概况表

试验基础	面积	装备仪器	用途说明
电控试验室	60m ²	直流电源、高速记录示波器 等共计 20 台件电工仪器	开发测试逆变器，备有高级进口 测试仪器及设备（长期测量系统）
风力机、太阳能 野外测试场	33.6hm ²	建筑面积：1320m ² 测试仪器：75 种 216 件，价 值 20 万马克	1.风力机性能测试系统。2.风力机 受力及中度测试系统（短期测量 系统）。3.62m 风速梯度测量系统， 用于测风速随高度变化。4.万能风 力机测试基础台位（测 50kW 内 的风力机）。5.模态分析仪。
风机发动机 水泵试验台	500m ²	价值 100 万元	绘制风力发电机、电机试验特性 曲线
流动测试培训车		价值 200 万元	野外风力机、太阳能供电系统运 行测试；新能源利用知识宣传与 培训

此外，为了对小型风力发电机组进行风洞测试，经国家计委“中国光明工程”项目办公室批准，中国空气动力研究与发展中心低速所(CARDC-1)，12m×16m/8m×6m 低速风洞稍作改造后，作为一个小型风力发电机性能测试站，在机械工业风力机械产品质量监督检测中心的统一协调下，负责对国内小型风力发电机产品的性能进行部分检测。将对小型风力机组性能做出相应的统一标准。同时为“中国光明工程”（西部开发工程之一）小型风力发电系统产品质量认证进行配合。

在气动中心低速所建立小型风力机性能测试站的目的是统一规范全国小型风力发电机

组性能标准，其次是有利地配合“中国光明工程”向世界银行申请资金帮助。“中国光明工程”已组织了 7 种不同型号的小型风力发电机组运往中国空气动力研究与发展中心低速所进行性能测试。

沈阳工大风能所为了保证研究开发产品的性能要求，建立了小型风力发电机质量检测实验室，研制出小型风力发电机微机综合测试仪，可作风力发电机“BIN”检测方法的多参数综合测试，发电机的性能参数试验，风轮特性试验等项目。

3. 潜在市场及发展趋势

为了解小风电推广应用情况向有关部门提供信息，促进和推动行业发展，近期我们对西部的内蒙古、新疆、青海、云南、沿海的广东、广西、江苏、辽宁等地进行了抽样调研，发现小风电的应用推广又有新的发展，请有关领导予以关注。

3.1 典型案例

3.1.1 内蒙古小风电推广应用在全国名列前茅

中国内蒙古自治区是小风电生产、应用、推广最好的省区，在全国名列前茅，特别是近期自治区党委书记亲自专程考察自治区新能源试验示范基地以来，新能源的应用推广又有新的发展。其特点为：

1) 风力资源全国最好。年平均风速为 3.7m/s。全区风能积储量为 2.7×10^{12} kWh，占全国风能总储量的五分之一，居全国之首。

自治区新能源机构成立最早。早在 20 年前(1980 年)内蒙古自治区就成立了全区新能源领导小组，自治区副主席任组长，下设新能源办公室，制定了“小型为主、生活用能为主，生产生活相结合；民办为主，国家适当扶持”的方针。工作很有成效。

2) 政府对新能源财政补贴最多，从 1986 年开始地方财政累计补贴 2800 万元。其中，1986~1988 年补贴 1200 万元；1989~1990 年补贴 400 万元；1991~1998 年补贴 1200 万元。

3) 小型风力发电机组生产能力、产量、保有量全国第一。在全国 7 个重要生产小风电的企业中内蒙古占 4 家，年产能力 2 万台以上，全区小型风力发电机组保有量占全国 73%。此外还建立了新能源示范基地。

4) 小型风力发电机组生产品种、规格最多，配套件齐全。从 100W 到 10kW 的机组都有，配套部件齐全，逆变控制器、蓄电池、叶片都能就地配套。

5) 建立了专门的技术培训服务体系。在全区 56 个旗县建立了新能源推广服务机构，形成了从旗县→苏木→嘎查→维修“专用户”的技术服务一条龙，取得很好的效果，保证了小风机使用的完好率。

中国国家计委“光明工程”已于 2000 年 3 月正式启动，具体内容是：1996 年 9 月，在津巴布韦召开的“世界太阳能高峰会议”上提出了在全球无电地区推行“光明工程”的倡议时，我国政府立即做出积极的响应，制定实施“中国光明工程”的计划。同年由国家计委牵头制定了“中国光明工程”计划。计划到 2010 年，利用风力发电和光伏发电技术解决 2300 万边远地区人口的用电问题，使他们达到人均拥有发电容量 100 瓦的水平，相当于届时全国人均拥有发电容量 1/3 的水平。同时还将解决地处边远地区的边防哨所、微波通讯站、公路道班、输油管线维修站、铁道信号站的基本供电问题。

中国“光明工程”项目不同于一般建设项目，其服务对象分散在我国近 1/2 的国土面积

上，很多区域人口密度小于1人/平方公里；项目涉及600多万户，2300多万人口（占我国农村人口的2.65%），十多个县城，800多个乡，29000多个自然村，还有几百个哨所、微波站、道班等单位；大多数分散用户文化水平低、技术落后；所采用的技术属高新技术；相当多分散用户支付能力有限，不少属于贫困户；总资金投入大，初步估算为360亿元左右。

中国“光明工程”项目是一个兼有扶贫性质的，大范围，较高投入，有益环境，可持续发展的可再生能源建设项目。第一期项目目标使用五年的时间建立起稳定的投资渠道，销售服务网络和市场机制，产业队伍以及培训体系；解决我国1/10约800万无电人口的用电，约2000个无电村、100个无电哨所和100个无电微波站，为实现中国“光明工程”的总目标奠定基础。

按照1995年农村人均生活用电的水平（50kWh/人·年），本项目的实施将提供“绿色”电能约26100万kWh/年，相当于1995年全国农村生活用电量的0.6%。节约火力发电用煤15.6万吨标准煤，减少二氧化碳排放21.45万吨，减少二氧化硫排放3432吨，具有可观的环境效益。

估算中国第一期（2001~2005）“光明工程”项目设备和服务的总投资约98.8亿元，这必然有利的推动我国这一产业的加速发展，并利用我们的优势开拓世界市场，现在世界上还有20多亿人没有用电，是一个巨大的潜在市场。中国“光明工程”项目的实施，必然拉动其他相关产业的发展，首先是电视机和其他家电，还有小动力加工机械；按平均每户投资2000元计算，178万户市场销售额将达到35亿元。

中国“光明工程”项目的实施将向西北省区倾斜，对新疆、内蒙古、甘肃、青海、西藏给予特殊支持。并对我国已经启动的“八七”扶贫攻坚计划，村村通电视工程将是非常有利的支持；对加强民族团结，巩固边疆有着深远的意义。

中国内蒙古是首批受益单位。“光明工程”在内蒙古建设规模为5.2MW，其中，风光互补发电系统7000套，规模2.8MW。项目的实施必将进一步促进小风电的发展。

中国“光明工程”的具体要求，就是要在国家出资建设售后服务体系的基础上，通过建立农牧民装机个人出资消费的模式，采取商业运营、市场机制推进的办法，逐步解决全区7.5万户离网散居农牧民的用电问题。

内蒙古“光明工程”作为中国光明工程先导项目之一，2000年10月正式在内蒙古四个旗（县）启动，当年确定选择了518户农牧民安装使用风光互补供电系统，系统配置为300W小型风力发电机组、100~150W_p/光电池、400AH蓄电池组、600W功率逆变控制器，该系统造价为10000~12600元的水平（见表3-1）。

表 3-1 内蒙古光明工程产品规格、单价汇总表

序号	产品名称	规格	数量	单位	单价(元)	备 注
1	风力发电机	200W/24V	1	台	1550	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸使用
2	风力发电机	300W/24V/36V	1	台	2280	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸使用
3	风力发电机	500W/8V	1	峰瓦	3380	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸使用
4	光伏电池	38WP	1	峰瓦	35	呼市仓库提货价格
5	光伏电池	50WP	1	台	37	呼市仓库提货价格
6	逆变控制器	300W/24V	1	台	800	呼市仓库提货价格
7	逆变控制器	600W/24V/36V	1	台	1350	呼市仓库提货价格
8	逆变控制器	1000W/48V	1	台	2200	呼市仓库提货价格
9	逆变控制器	柜式600W/24V/36V	1	只	2250	呼市仓库提货价格、参考价
10	储能蓄电池	80AH	1	只	291	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸费用
11	储能蓄电池	100AH	1	只	371	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸费用
12	储能蓄电池	120AH	1	只	410	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸费用
13	储能蓄电池	135AH	1	只	430	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸费用
14	储能蓄电池	180AH	1	只	567	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸费用
15	储能蓄电池	200AH	1	只	599	到各旗镇价格, 未含旗镇当地装卸费用
16	储能蓄电池		1	只	350	呼市仓库提供价格

3.1.2 广西北海近海养殖、种植业应用小风电需求量大，形势喜人

从广西东兴市到广东湛江市海岸线长达 726km，近海养殖业这几年发展迅猛，小风电应用猛增。北海市地处当中，沿海居民利用当地自然优势发展养殖、种植业，经济效益显著。以北海合浦县为例，全县 85 万人口，人均年收入达 1.5 万元，合浦县有 16 个乡镇，其中地处沿海的 12 个，每个乡镇有养殖户 3000 户，全县共有 36000 个养殖户，该县有 84 万亩近海海面可以开发养殖业，现仅开发 24 万亩，占可开发面积的 28%，海水养殖产品主要是，蚊蛤、珍珠、大虾、大蚝。目前市场售价，珍珠崕（南珠）12000~16000 元/kg、大虾 90 元/kg、大蚝 8 元/kg、蚊蛤 7.6 元/kg。海水养殖户年收入 30 万~60 万元不等，收入最高的养殖户年收入达 100 万元以上。当然遇上自然灾害也有亏损户，但 80%以上的养殖户都是赚钱的。据我们调查了解，一个养殖户，海水养殖面积 100 亩，专养蚊蛤，每亩水面年产 750kg，蚊蛤单价 7.6 元/kg，年收入达 57 万元。我们到了合浦县党江镇养殖户陈延伟的“高脚屋”，他全家 3 口人，养殖 100 亩蚊蛤。2000 年收入 35 万元，使用的小型风力发电机组是 1998 年 8 月从合浦农村能源办风机厂买的，FL-100 型风力发电机。海水养殖不需喂饲料，因为海产品主要吃海水里的微生物，但是要有人看守，防止小偷袭击。因此在离海岸 5~10kW 的海水中间每 100 亩海面上要建造一个“高脚屋”（也叫高脚棚）双层竹木结构，上层住 5~6 人，下层吃饭看守、值班、娱乐。每晚用专用手动探照灯监视海面，严防小偷下手，每个高脚屋造价 2~5 万元，结构各异，非常壮观。

目前仅北海合浦地区海面上像雨后春笋般建造了近 3 万个“高脚屋”，仅合浦县党江镇就有高脚屋 2400 个。屋里没有电怎么办？海底电缆没有，因此小型风力发电机组的应用推广开了，每个“高脚屋”要安装一台小型风力发电机组。目前，已安装了 2100 台小型风力发电机组，主要是 100W 小型风力发电机组，大部分由广西合浦农村能源办风机厂制造，并现场安装服务，反应好。也发现有河南、江苏的个体户机组乘机而入，机组寿命很短，质次

价高。在海上高脚屋使用小风电主要用途是，照明、看电视、探照灯用电、手机充电。用户希望机组功率大一些，要 300W 以上，质量要好，且要防盐雾、防腐蚀、抗大风。

北海合浦地区除养殖业外，种植业发展也很快，主要种植荔枝、龙眼。由于种植园地处山区，交通不便、供电困难，也迫切需要小风电解决生活用电。我们走访了合浦县星岛湖镇洪桥村黄桂言家的龙眼种植园，看到了他们 1996 年 1 月购买合浦风力机厂的 100W 风力发电机组应用现场，风力发电机运转正常，用户满意，该户 4 口人，高中文化，年人均收入近 10 万元。

3.1.3 江苏湖泊渔船应用小风电取得成功经验

江苏跨江滨海，平原辽阔，水网密布，湖泊众多，海岸线 954km，有 5100 平方公里潮间带滩涂、2.44 万 km^2 的浅海，海域面积 3.75 万 km^2 ，长江横穿东西 425km，京杭大运河纵贯南北 690km。两大淡水湖，洪泽湖湖面面积 2151.9 km^2 ，太湖湖面面积 2338 km^2 。全省由江河湖泊组成的水面面积 1.73 万 km^2 ，占全省总面积的 16.8%。全省风力资源丰富，开发应用小风电潜力很大。

地处江苏中部的金湖县有 22 个乡镇，人口 35 万，县内有 50 万亩水面，其中 80%是湖区，是全国闻名的“鱼米之乡”、“禽蛋之乡”。1999 年渔民人均收入达 6500 元，超过全县农民均收入 3434 元的 89%。他们为了提高物质文化生活水平，在“九五”期间推广应用小型风力发电机组 543 台。每台 150W 小风机每天实际发电 1.2kWh，成本 0.76 元/kWh，低于柴油机发电成本 1.4 元/kWh，推广应用小风电不但提高了生活质量，而且也减少了环境污染，保护了生态环境和养殖环境。

由于广大渔民收入增加，生活改善，用电量也要增加。由每天耗电 1.2kWh，提高到 2.5kWh。因此，在“十五”期间该县计划在白马湖、宝应湖、高邮湖、老三河等地再推广应用风光互补系统 2000 套，小风电单机容量由 150W 增加到 300W 以上。

此外，内蒙商都牧机厂，从 1992 年就开始到江苏太湖、高邮湖、湖北洪湖等地销售小型风力发电机组 3500 多台。其中 100W 机组 2400 台，其余均为 300W 机组。

沈阳工大风能所研制生产的 7.5kW 风力发电机组安装在山东大管岛为 30 多户渔民供电；300W、500W 风力发电机组安装在辽宁省盘锦地区为渔民供电，效果良好。

3.2 小风电的潜在市场

根据国家经贸委下达的《2000~2015 年新能源和可再生能源产业发展规划要点》，到 2015 年，小型风力发电机组年生产能力达到 5 万台，总产量累计将达到 34 万台，总装机容量为 10.5 万 kW，总产值约 9 亿元，利润约 9000 万元。

从以下几个方面可以看出我国小风电有很大的潜在市场。

1) 西部大开发缩小东西部差距，提高边远地区农牧民生活水平，解决我国居住分散的 2800 万无电人口用电问题，需要小风电；从目前各地规划来看，内蒙在“十五”期间采用“风—光”互补发电系统，解决 7.5 万户无电农牧民用电，青海还有 126 个无电乡，10 万个无电户，首批拟推广 5000 台小风机。

2) 目前生产小型风力发电机组累计 19 万多台，其中 1985 年以前生产的近 3 万台机组需要更新换代（机组设计使用寿命 15 年）。

3) 地处边远山区，海岛的部队驻军、边防哨所、微波站、气象台站、电视差转台站等没有常规电源的地方，用电有困难需要小风电。

4) 沿海近海专业养殖户很多，仅广西北海近海面就有海产品养殖专业户 3 万多，相应就有 3 万多个“高脚屋”，每个“高脚屋”需要一台小型风力发电机组，目前仅安装了 2100

台小型风力发电机。因为近海无电缆，柴油发电无保证，风大时柴油供不上，且污染海面，只有用小风电。小风电需求量很大。

5) 内陆湖泊渔民数以百万计以船为家，用小风电已尝到甜头。仅江苏金湖县就拟在高邮湖等 4 个湖泊，于“九五”期间推广应用小风机 543 台的基础上，再推广小风机 2000 台。

6) 随着国家“光明工程”，“全球环境基金/GEF 世界银行中国可再生能源商业化促进项目”“UNDP/GEF 在中国商业建设项目”等在中国的实施，将大大促进小风电的发展。这些项目都涉及到小风电应用。

7) 中央农业部、财政部设立的“农村小型公益设施建设补助资金农村能源项目”的出台，给小型风力发电机组的应用推广带来了极好的机遇。2001 年第一批补贴资金 1 亿元已经到位，中国农村能源行业协会小电源专委会推荐了一批信誉好、质量过关的离网型风力发电机组生产企业及其产品，其中离网型风力发电机组生产企业 6 个，逆变器生产企业 3 个，蓄电池生产企业 2 个。根据农业部的项目实施办法规定，所有风力发电机组的用户优先从所推荐的企业中选购，以保证项目能够高质量的实施，保护用户利益。补助计划已下达到了省、市、自治区，其中小风电补贴 4 个省共 2120 台，每台补贴 1000 元，目前正在落实。（见表 3-2）

表 3-2 农村小型公益设施建设项目小风电企业推荐表

类别	注册商标	产品名称及型号规格	生产企业
风力发电机组	风光牌	FD2-0.1/6 100W	内蒙古商都牧机厂
	风光牌	FD2.5-0.3/8 300W	
	天力牌	FD66-0.1/7.5 100W	内蒙古天力风力机械厂
	天力牌	FD2.5-0.2/7 200W	
	天力牌	FD2.5-0.3/7.5 300W	
	天力牌	FD3-0.5/8 500W	
	天力牌	FD4-1/8 1000W	
	天骄牌	FD2.5-300/7 300W	内蒙古国飞新能源有限公司
	天骄牌	20kW	
	华德牌	FD-2.5-0.3/8 300W	内蒙华德新技术公司
	华德牌	FD6-5/10 5kW	
	日月牌	FD2.0-200 200W	青岛丰能机电有限公司
	日月牌	FD2.2-300 300W	
	日月牌	FD2.5-500 500W	
	日月牌	FD2.8-1000 1000W	
	金风牌	FD2-150-150W	新疆风能公司
	双环牌	JYF-150W、200W、300W、500W、1000W、2000W	江西省九江仪表厂
逆变器	田鸭牌	100W	保定天泰电力设备有限公司
	田鸭牌	200W	
	田鸭牌	300W	

	田鸭牌	500W	
	田鸭牌	1000W	
	田鸭牌	2000W	
	田鸭牌	5000W	
	天骄牌	200W~300W	内蒙古国飞新能源有限公司
	华德牌	600W	内蒙古华德新技术公司
蓄 电 池	企鹅牌	60-200AV	哈尔滨企鹅蓄电池股份有限公司
	水星牌		
	光宇牌	100-200AV	吉林光宇延边蓄电池有限公司

8) 近年小型风力发电机组已销售到美国、德国、希腊、比利时、瑞典、日本、阿根廷、印尼、马来西亚、越南、蒙古、韩国等 23 个国家，累计近 5000 台。最近山东省青岛风机生产厂家已向巴布亚新几内亚出口 300W 风力发电机 50 台，向巴基斯坦出口 300W、500W 风力发电机组 14 台。日本、柬埔寨等国家急需 1000W 以下小型风力发电机组，要求报价并提供有关技术材料。出口前景看好。

3.3 小风电发展趋势

小风电经过长期的推广应用，近来出现以下发展趋势。

3.3.1 机组功率由小变大

因为随着广大农、牧、渔民生活水平的提高，日用电器迅速增加，每日用电量也由 1-1.2kWh，增加到 2kWh 以上，30W、50W 的风力发电机组早已停止生产，100W 机组也逐年下降。300W、500W、1000W 机组，逐年增加。除照明看电视外，电冰箱、洗衣机、电脑、VCD 以及人、畜饮水等也需要用电。

3.3.2 由一户一机推广到多机联网供电

采用较大功率的户用机组或几台机组并联，供几户或一个村庄用电，如广东虎门海边一个村庄就用 6 台 3kW 风机，建成独立电网供电。

3.3.3 由单一风力发电机组供电发展到多能互补

即“风—光”互补，“风—光—柴”互补，“风—柴”互补。最近云南根据当地情况，试用“风力发电—微水电”互补。

3.3.4 用户使用范围扩大

由边远地区农牧民应用发展到近海养殖、内陆湖泊、气象台站、微波、电视差转、部队边防哨所及远离大陆的地方，如南沙群岛华阳礁海军部队也在应用风力发电。

3.3.5 小风电行业发生变化

随着市场经济发展，需求扩大，生产企业也发生变化，除原来的内蒙古商都、内蒙天力、江苏南航、青岛丰能几家老企业继续发展外，内蒙古国飞新能源有限公司异军突起，是当前国内唯一一家“风—光”互补发电系统全部自行生产组装的企业，新开发设计的控制柜，新颖别致，深受用户欢迎。另外内蒙天力风力机厂近年恢复发展很快，小风机产品除满足国内用户需求外，还出口到蒙古、印度、马来西亚、法国、埃及、越南等 14 个国家共 1285 台，

还有两个企业是近年来发展起来的，江苏江都神州风力发电机厂 2000 年生产 150W 小风机 3000 台，销售到江苏、内蒙、广西等地。河南柘城风力发电机厂 2000 年生产 150W、300W 小风机 2000 台，销售到金湖县洪泽湖地区，山东微山湖等 7 个湖泊的渔民应用，1999 年还出口到新加坡、缅甸、柬埔寨 150W 小风机 2000 台。

3.3.6 机型设计有突破性进展

小型风力发电机组在外形机构设计方面有新突破，改变了小型发电机组“多年结构外形一贯制”的格局，其中两种风机特别引人注目，引起同行行的关注，大家刮目相看。广州红鹰能源科技有限公司推出的 500W 小型风力发电机组造型美观、新颖、大方。他们经过十几年研究和使用的经验，认识到小型风力发电机组作为一个供电系统使用，必须从发电机-风轮-系统控制中寻求最佳配置来寻求解决问题的办法。该机组选用了高效的稀土永磁发电机，配合旋转型集电环和偏舵型玻璃缸外罩，提高了风力发电机的稳定性和可靠性；此外，放弃了机组的机械限速机构，通过电磁抱闸的原理，通过系统控制，在大风时对风轮实现电磁限速。由于电控的可靠性高，实现的手段简单，从而大大提高了小型风力发电系统的可靠性，经过在海边养殖场的现场运行考核，多次经受 20m/s 以上大风下的运行，证明整个风机机组和系统原理是可行的。该机组虽然销售价格偏高，但销路看好，主要销往国外。

另外山东潍坊永大机械有限公司生产的 FD2.6-0.3/7 型 300W 小型风力发电机组外形结构设计也很有特色，与众不同。该机组采用了三项专利技术，其中小风机自动解缆装置属国内首创，其功能完全解决了小风机拧断电缆的问题，在控速方面采用了尾板侧偏调速，安全可靠平滑稳定，避免了整体折尾式所造成的破坏性撞击力。风轮采用不锈钢桨叶，防腐性能好，抗疲劳强度高，美观耐用。发电机采用流线型，结构新颖、美观。

4. 障碍与问题

1) 国家扶持政策力度不够。缺乏明确的、易于操作的补贴政策和税收政策等。国家在“六五”、“七五”、“八五”期间，对企业技术改造贷款给予贴息；对部分小风机攻关项目也列入了国家攻关计划。但到“九五”期间基本停止了，事实上与小风机配套使用的专用蓄电池（慢充慢放）和性能齐全的逆变器并未过关，风光互补设施也处在刚起步阶段，希望政府有关部门在“十五”计划期间能给予考虑。

2) 企业组织生产资金紧张，特别是产品货款收不回来，流动资金困难。一般企业生产 300W 小型风力发电机组年产 1000 台，最少流动资金需要 200 万元，在内蒙古“光明工程”已开始，生产企业通过招标已经与业主订了供货合同，按内蒙“光明工程”规定付款方式是：①企业签定合同后，付款 10%；②按业主通知将小风机送到指定的旗县安装好，两个月后付款 60%；③一年后，付款 25%；④满三年以后付款 5%。从签订供货合同到货款全部收回需要三年的时间，企业反映这种付款方式过于苛刻，造成企业流动资金短缺，生产不能正常运转。现在企业想贷款也很困难，内蒙古有个企业向银行申请贷款 80 万元，年息 4%，先找地方“中小企业担保中心”用房屋作抵押担保，担保中心收管理费 3%，并留用 20 万元，因此企业贷款 80 万元，不仅承担利息 7%，而且只能拿到 60 万元。贷款手续办完至今资金还没有到位。

3) 边远地区，少数民族地区用户经济承受能力差，购买力不足，如果没有补贴或者补贴太少，推广应用小风电困难很大。

目前内蒙古“光明工程”的实施面临着一个困难，就是牧民资金问题。在内蒙古地区，如果要解决农牧民日常照明、彩色电视卫星接收系统和一个小型节能冰箱（冰柜）的正常用电，系统配置要在 300W 风机/100-150W_p 以上的发电功率，造价在 10000-12000 元/套，连续两年又遭旱灾。自治区去年牧区人均年收入 1700 元，以农牧民现实经济生活水平而言，非常难以承受，推广工作受到影响。为此自治区政府采取对装机户每套补贴 3000 元的优惠政策，以期在“十五”期间基本解决全区 7.5 万户无电农牧民的用电问题。但现实工作中还是因农牧民无钱装机，进度非常缓慢。

4) 对小风电的宣传不够。我国小型风力发电机产品以户用系统为主，作为一种独立供电系统，应用范围非常广泛。综合条件对比，小型风电系统比太阳能供电系统和小型柴油发电机组在很多领域有较明显的优势。加大对小型风电系统应用领域的宣传，对开发这个市场有积极的作用。

5) 小风电产品品种不全，质量和可靠性有待提高。特别是配套的逆变控制器、蓄电池使用寿命低，价格高，用户反应强烈。我国蓄电池制造业非常庞大，但是小风电系统所使用的慢充慢放性蓄电池仅占整个蓄电池市场的很小部分，尽管“六五”、“七五”期间，国家专门拨款攻关，但没有预期成果，蓄电池生产厂家对小风电使用的蓄电池根本看不上眼，价格也一直降不下来。

6) “三化”程度不高，同一种型号零部件不能互换。

7) 售后维修服务，技术培训跟不上，使小风电推广应用及机组完好率明显下降。无论从生产企业方面或从用户方面，均希望中央有关部门在小风机的发展规划、企业运行、售后服务等方面，加强协调，加强宏观调控管理，出台有助于产业发展的相关政策。

5. 政策与建议

小风电属新能源，是一种社会效益和生态效益大，并具有基础性、战略性的产业，几乎所有的国家都实施了程度不同的保护。我们也应当重新认识新能源的基础性的地位，维护新能源开发者的权力，保护新能源开发者的利益，为此建议：

1) 加强统一领导，建议由国家经贸委行业归口，统一领导、统一管理，各有关部委配合协调工作，充分调动各部门的积极性，发挥各部门的优势。

2) 适时制定加快风能发展和建设的鼓励性政策、法规和制度，保护投资者和经营者的合法权益，激发其生产热情和积极性，促进风电行业的持续、稳步增长。对一些贫困无电地区实施费用补贴，使当地居民买得起，用得上，以提高风电产业的社会效益和经济效益。

3) 对重点企业利用专项贴息贷款进行技术改造，对风力发电机组产品的关键技术进行重点攻关，进一步提高产品的技术水平和可靠性，加强国际竞争能力，开拓国际市场。

4) 根据国内外市场的需求对十千瓦级的风力发电机组及供电系统应加速进行重点开发，加强对产品的试点示范和推广应用，尽快实现商品化生产。

5) 因小型风力发电机组是以风能作为动力的产品，它不消耗常规能源，对环境也不会造成污染，因此生产企业在税收上应实行减免税政策。目前水电增值税为 6%，人工沼气增值税为 3%，农机产品增值税为 13%，小风电最好按水电 6%收取增值税，若不可行，最少也应按农机产品 13%增值税收取，不应按 17%收。这样可以减轻企业负担，帮助这些企业迅速发展壮大起来。

6) 小型风力供电系统，以及以风电为主的“风—光”、“风—柴”互补系统的潜在市场主要在广大农村和边远、偏僻、信息闭塞的经济欠发达地区，是国家扶贫攻坚的主要地区。国家应开拓和培育这个市场，并投入一定的资金、人力去从事科普宣传、示范和推广工作，

使生活在这一地区的人民早日脱贫致富,而这些工作仅仅单纯靠企业去拼搏,是比较困难的。

7) 建立国家“风电开发基金”,确保小风电行业健康持续发展,像内蒙古那样自治区财政、电力、民委、扶贫办等有关部门给予支持,建立“专项资金”,用于补贴牧民购买“风—光”互补系统的费用。

8) 进一步搞好小风电产品售后维修服务工作,加强维修技术队伍的培训,及时解决用户的后顾之忧。

9) 搞好发展规划,制定近期和远期小型风力发电机组行业发展规划。以国家经贸委下达的“离网型风力发电机组产业发展规划(1995-2015)”为依据组织多方面力量,尽快落实和实施。

附件 3

促进中国农村地区分散型可再生能源发电系统发展的政策研究

太阳光伏发电调研报告

李安定

项目课题组

2002 年 7 月

目 录

前 言	83
1. 技术与产业发展评述	83
1.1 国内外技术发展现状及趋势	83
1.2 中国国内安装利用现状和趋势	85
1.3 中国光伏国内产业评述	89
2. 现有激励政策综述	89
2.1 中国可再生能源现行政策	89
2.2 政策框架描述	90
2.3 发展可再生能源的现行激励政策	90
3. 未来发展潜力分析	94
3.1 中国丰富的太阳能资源	94
3.2 需求及市场前景的分析	95
4. 中国光伏发电技术及其产业化发展的障碍分析	99
4.1 技术障碍	99
4.2 资金障碍	99
4.3 政策障碍	99
4.4 市场开发障碍	100
4.5 尚无国家加速发展光伏产业的规划	100
5. 光伏系统基本配置和参考价格	100
5.1 用电需求分析	100
5.2 系统基本配置	102
5.3 系统参考价格	108
6. 政策建议和应采取的措施	108

前言

太阳能光伏发电是利用太阳电池这种半导体器件把太阳辐射能直接转换成电能,发电是纯物理过程,不排放和发射任何有害物质,无污染。发电系统没有运动部件,具有模块化特征,可分散就地设置,机动灵活,运行可靠,维护简便,建设周期短等一系列优点,是一种十分理想的可再生洁净能源。过去二十多年,光伏技术取得了巨大进步,成本下降了两个数量级,应用范围不断扩大。尽管如此,与常规能源相比,光伏发电成本仍然很高,严重影响其大规模广泛应用。为大幅度降低光伏发电成本的研究开发活动成为当前世界能源和环境可持续发展的重要战略行动之一。

在考虑到人类未来能源的持续发展和环境压力,二十世纪 90 年代后期世界上许多国家都制定了强有力的法规和鼓励政策来驱动光伏产业和市场的发展。20 多年来光伏产业已经从无到有,发展到 2000 年的 287.7MW/年,总装机容量超过了 1GW,组件成本在 3 美元/W_p 以下,发电成本约 0.25 美元/kWh。可以说,政府驱动是世界光伏技术和产业快速发展的根本原因。

20 年来,中国光伏发电产业也有长足发展,已经形成了较好的基础,但总体水平上同发达国家相比还有很大差距。昂首新世纪,中国光伏发电的发展可考虑年增长率 15%的常规模式和在好的政策法规驱动下年增长率 25~35%的快速模式。为了保证上述必要的发展速度,应当根据中国国情和参考国外的成功经验,研究和制定有效的法规和鼓励政策驱动中国光伏产业和技术发展。这正是本报告所述的主题。

1. 技术与产业发展评述

1.1 国内外技术发展现状及趋势

世界光伏工业在过去 15 年平均年增长率约 15%。二十世纪 90 年代后期,发展更加迅速,太阳电池产量从 1996 年的 88.5MW_p 增加到 2000 年的 287.7MW_p,平均年增长率达到 31%以上。2000 年累计装机容量 1300MW_p。在产业化方面,各国一直在通过改进工艺、扩大规模和开拓市场等措施降低成本,并取得了巨大进展。商品化电池效率从 10~13%提高到 13~16%。生产规模从 1-5MW/年发展到 5-30MW/年,并正在向 50-100MW/年扩大;生产工艺不断简化,自动化程度不断提高。20 年来光伏组件成本下降了两个数量级,目前降到 2.5-2.8 美元/W_p,售价 3-4 美元/W_p。在边远地区和特殊场合已具有很强的竞争力。

世界各大公司业纷纷制定和实施扩产计划,据“光伏内部”报告 1998 年初统计,2000 年将完成新增生产能力 263.5MW_p/年。可以说,太阳能光伏发电技术和产业正在快速发展,据专家预测今后 10 年光伏组件的生产仍将以 30%左右的递增速度发展。宏伟的发展计划、强有力的鼓励政策、法规成为光伏技术和产业发展的强大推动力。预测到下世纪中叶,太阳能光伏发电将达到世界总发电量 10%左右,成为人类的基础能源之一。

为降低光伏发电成本的各种研究开发工作一直在积极地进行着。澳大利亚新南威尔士大学高效单晶硅电池效率已达 24.7%,其多晶硅电池效率突破 19.8%。日本 Kyocera 公司 225cm² 多晶硅电池效率达到 17.1%。晶硅电池的这些成就积极地促进着产业技术的发展。薄膜电池的研究工作主要集中在非晶硅薄膜电池、多晶硅薄膜、碲化镉(CdTe)、铜铟硒(CIS)上。非晶硅薄膜电池通过迭层和 Ge-Si 合金层技术克服光衰减和提高效率上不断有新的突破,实验室稳定效率已经突破 15%。碲化镉电池效率达到 15.8%,铜铟硒电池效率 18.8%。多晶硅薄膜电池的研究工作自二十世纪 90 年代以来发展迅速,成为世界关注的新热点。由于硅是地球上储量第二大元素,性能稳定、无毒,因此人们对多晶硅薄膜的研究愈来愈重视。

中国太阳能光伏发电技术产业化及市场发展经过近二十年的努力已经奠定了良好的基础。目前有 4 个单晶硅电池及组件生产厂和 2 个非晶硅电池生产厂。光伏组件产量和累计装机容量逐年增加,成本逐年降低。2000 年我国太阳电池的产量为 3MW_p,约占世界产量的 1.25%,总装机容量 19MW_p 占世界的 1.5%。

光伏技术在解决中国西部边远无电地区人民的生活用电方面发挥了突出作用。如在国家支持下 1999 年底分别在西藏 7 个无电县城安装了光伏系统,解决了机关和居民照明、收音机、电视机、洗衣机用电问题。“中国光明工程”光明工程 2000 年起又开始了无电乡村的光伏电站建设,附件 1 提供了迄今西藏无电县、乡光伏电站建设详细情况。就目前而言,在各种能源解决方案比较中,光伏系统是这些地方的最佳选择,得到当地政府和居民的普遍欢迎。

中国光伏产业和市场在开拓中前进,有了一定基础。但在总体水平上同国外相比还有很大差距,如生产规模小,技术水平较低,专用原材料国产化程度和质量有待提高,组件成本高等。

在研究开发方面,中国先后开展了晶硅高效电池、非晶硅薄膜电池、碲化镉(CdTe)、铜铟硒(CIS)、多晶硅薄膜电池以及相关材料的研究,技术水平不断提高,个别项目达到或接近国际水平,对中国光伏产业的发展起到积极的促进作用。

中国光伏技术研究开发工作在国家五年计划的支持下不断发展。特别是“九五”期间高效晶硅电池和薄膜电池的研究水平有了较大的提高。例如,各种电池的实验室效率分别达到:单晶硅电池 19.79%(4cm²),激光刻槽埋栅电池 18.6%(5×5cm²)和 17.26%(8.8×8.58cm²—太阳电池硅片),机械刻槽埋栅电池 18.47%(2×2cm²),达到国际先进水平;单晶硅 MIS 电池 15%,多晶硅铸锭实验室达到 15 公斤。在薄膜电池方面,创造了国内效率领先水平的有: CdTe 电池 11.6%(0.5cm²),非晶硅单结电池 11.2%,非晶硅三结迭层电池 11.48%,CIGS 电池 9.13%,多晶硅薄膜电池效率分别达到 14.86%(非活性硅衬底)、10.2%(非硅基衬底)、2.93%(冶金级硅片衬底)。

在光伏发电系统方面,建成 20-100 千瓦级独立电站 7 座,研制成功 1-5KW 并网逆变器和并网示范系统,为中国光伏发电系统技术的发展做出了开拓性工作。

伴随上述研究开发工作,逐步建立起一批光伏研究开发实验室及配套的工艺设备和测试设备,为进一步的研究开发工作创造了一定的研究开发条件。包括适用于高效晶硅电池、各种薄膜电池、器件和组件测试、多晶硅材料制造等实验室。

中国已经形成了一支分布在中国科学院、大专院校和一些重点研究机构的光伏技术开发队伍,其构成包括资深教授、学有所成的归国博士硕士,有长期专业工作经验的工程师和技师等。

21 世纪世界光伏发电的发展将具有以下特点:

(1) 产业将继续以高增长速率发展

多年来光伏产业一直是世界增长速度最高和最稳定的领域之一。预测今后 10 年光伏组件的生产将以 20-30%甚至更高的递增速度发展。光伏发电的未来前景已经被愈来愈多的国家政府和金融界(如世界银行)所认识。许多发达国家和地区纷纷制定光伏发展规划,如到 2010 年,美国计划累计安装 4.6GW(含百万屋顶计划);欧盟计划安装 3.7GW(可再生能源白皮书);日本计划累计安装 5GW(NEDO 日本新阳光计划),其他发展中国家 1.5GW(估计约 10%),预计世界总累计安装 14-15GW。到下个世纪中叶,光伏发电将成为人类的基础能源之一。

(2) 太阳电池组件成本将大幅度降低

光伏发电系统安装成本每年以 9%速率降低。1996 年平均安装成本约 7 美元/峰瓦，相当于光伏发电成本 0.11 美元/千瓦时，预计 2010 年发电成本将降到 6 美分/千瓦时。降低成本可通过扩大规模、提高自动化程度和技术水平、提高电池效率等技术途径实现。考虑到下世纪薄膜电池技术会有重大突破，其降低成本的潜力更大。因此下世纪太阳能电池组件成本大幅度降低是必然的趋势。

(3) 光伏产业向百兆瓦级规模和更高技术水平发展

目前光伏组件的生产规模在 5-20 兆瓦。壳牌公司在德国建立的年产 25 兆瓦多晶硅组件生产厂于 2001 年 4 月份开工。许多公司在计划扩建和新建年产 50-100 兆瓦级光伏组件生产厂。同时自动化程度、技术水平也将大大提高，电池效率将由现在的水平(单晶硅 13%-15%，多晶硅 11%-13%)向更高水平(单晶硅 18%-20%，多晶硅 16%-18%)发展。

(4) 薄膜电池技术将获得突破

薄膜电池具有大幅度降低成本的潜力，世界许多国家都在大力研究开发薄膜电池，如纳米 TiO_2 电池。新世纪薄膜电池技术将获得重大突破，规模会向百兆瓦级以上发展，成本会大幅度降低，实现光伏发电与常规发电相竞争媲美的目标，从而成为实质上的可替代能源。

(5) 太阳能光伏建筑集成及并网发电的快速发展

建筑光伏集成具有多功能和可持续发展的特征。建筑物的外壳能为光伏系统提供足够的面积，不需要占用昂贵的土地，省去光伏系统的支撑结构；光伏阵列可以代替常规建筑材料，从而节省安装和材料费用，例如常规外墙包覆装修成本与光伏组件成本相当；光伏系统的安装可集成到建筑施工过程，降低施工成本；在用电地点发电，避免传输和配电损失(5-10%)，降低了电力传输和配电的投资和维修成本；集成设计使建筑更加洁净、完美，更使人赏心悦目，更容易被专业建筑师、用户和公众接受。太阳能光伏系统和建筑的完美结合体现了可持续发展的理想范例，国际社会十分重视，许多国家相继制定了本国的屋顶计划。

1.2 中国国内安装利用现状和趋势

中国太阳能光伏发电技术产业化及市场发展经过近二十年的努力已经奠定了良好的基础。目前主要有 4 个单晶硅电池及组件生产厂和 2 个非晶硅电池生产厂（表 1-1）。我国光伏组件历年产量（表 1-2 和图 1-1）和累计装机容量逐年增加（图 1-2）成本逐年降低。2000 年中国太阳电池的产量为 3MWp，约占世界产量的百分之一多点，总装机容量 19MWp，占世界的 1.5%。

光伏技术在解决我国西部边远无电地区人民的生活用电方面发挥了特别作用。如在国家支持下 1999 年底分别在西藏七个无电县城安装了光伏系统，解决了机关和居民照明、收音机、电视机、洗衣机用电问题。就目前而言，在各种能源方案比较中，光伏系统是这些地方的最佳选择，得到当地政府和居民的普遍欢迎。

表 1-1 我国太阳电池的生产厂家及其现状

编号	生产厂家	投产时间	生产设备	产品	生产能力	2000 产量
1	天津电源研究所	1973	国产	晶体硅	100kWp	20kWp

2	开封太阳能电池厂	老线：1975 新线：1988	引进美日关键设备	单晶硅	300kWp	200kWp
3	宁波太阳能电源厂	老线：1976 新线：1988	引进美关键设备	晶体硅	1MW	600kWp
4	武汉 752	1979	引进美封装设备	晶体硅	300kWp	300kWp
5	云南半导体器件厂	老线：1983 新线：1987	引进加拿大生产线	单晶硅	1.5MW	500kWp
6	北京有色金属研究总院	1987	国产	晶体硅	200kWp	100kWp
7	深圳 3 家公司	1987	原宇康	非晶硅	300kWp	300kWp
8	哈尔滨-克罗拉	1988	引进美国生产线	非晶硅	1MW	500kWp
9	秦皇岛华美公司	1990	引进美国生产线	单晶硅	1MW	300kWp
10	上海国飞绿色能源	2000	国产设备	单晶硅	500kWp	100kWp
11	保定英利		引进	多晶硅	计划 3MW	2003 年 初投产
12	北新建材		引进	多晶硅	计划 2MW	未投产
13	江苏建筑公司		引进	多晶硅	计划 10MW	未投产

表 1-2 中国各年太阳能电池组件的产量

年 代	年产量(kWp)	组件价格(元/Wp)	累计用量(kWp)
1976	0.5	400.0	0.5
1977	1.0	200	1.5
1978	2.0	120	3.5
1979	5.0	100	8.5
1980	8.0	80	16.5
1981	15.5	75-80	31.5
1982	20.0	70	51.5
1983	30.0	60	81.5
1984	50.0	50	131.5
1985	70.0	45-50	200
1986	80.0	40-45	280
1987	100.0	40	380
1988	a-Si 200 c-Si 150	a-Si 21-23 c-Si 35-45	730
1989	a-Si 300 c-Si 250	a-Si 23 c-Si 35-37	1280
1990	a-Si 100 c-Si 400	a-Si 22-25 c-Si	1780
1991	a-Si 100 c-Si 450	a-Si 23-25 c-Si 38-40	2330
1992	a-Si 150 c-Si 500	a-Si 25 c-Si 40-42	2980
1993	a-Si 250 c-Si 650	a-Si 25-27 c-Si 40-47	3880
1994	a-Si 200 c-Si 900 imported 100	a-Si 25-27 c-Si 40-47	5080
1995	a-Si 200 c-Si 1000 imported 350	a-Si 25-27 c-Si 40-47 50-60	6630
1996	a-Si 450 c-Si 1420 imported 300	a-Si 25-27 c-Si 40-47 50-60	8800
1997	a-Si 500 c-Si 1500 imported 200	a-Si 25-27 c-Si 42-47 45-60	11000
1998	a-Si 300 c-Si 1800 imported 200	a-Si 25-27 c-Si 40-45 45-60	13300
1999	a-Si 500 c-Si 2000 imported 200	a-Si 22-25 c-Si 38-45 45-60	16000
2000	a-Si 800 c-Si 2000	a-Si 20-25 c-Si 35-45	19000

	imported 200	45-60	
--	--------------	-------	--

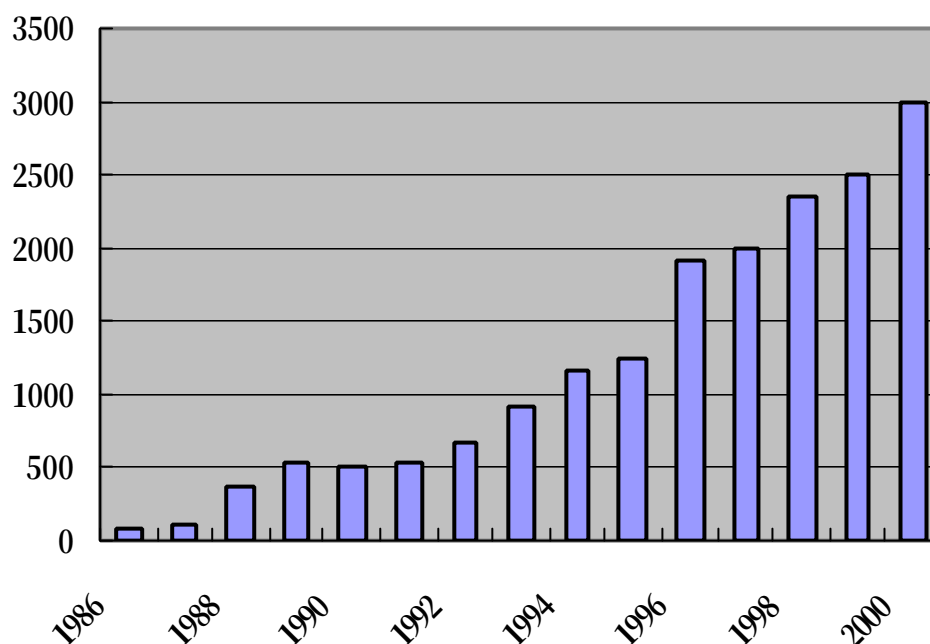


图 1-1 我国光伏产业的发展

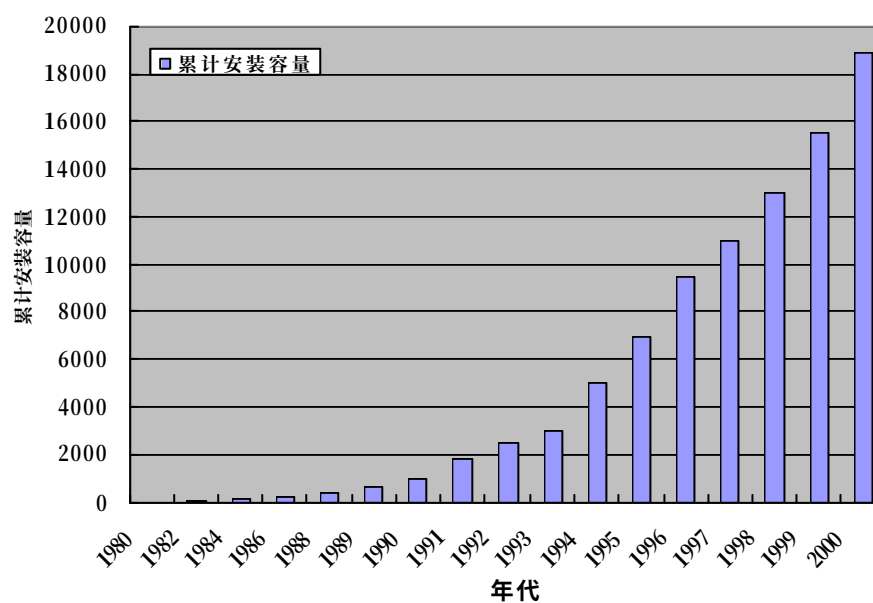


图 1-2 我国光伏系统的累计量

1.3 中国光伏国内产业评述

光伏发电系统，一般分为独立运行和并网运行两大类。所谓独立运行系统，是指与电力系统不发生任何关系的闭合系统。它通常用于作为便携式设备的电源，向远离现有电网的地区或设备供电，以及任何不想与电网发生联系的场合。从规模上讲，100 千瓦以下容量的为小型光伏电源(或电站)。光伏发电系统，也即太阳能电池应用系统，由太阳电池板、储能装置、直流—交流逆变器、控制装置与连接装置等组成。因此，光伏发电产业是包括太阳能电池和系统配套部件两大部分。

中国太阳能电池产业发展状况有如下几点：

1) 生产规模小。中国太阳能电池制造厂的生产能力每年约为 0.5~1MWp，比国外生产规模低一个数量级还多，且所谓的年生产能力，由于设备不配套，实际产量达不到标称的生产能力。

2) 技术水平较低。电池效率、封装水平与国外存在一定差距，根据实验室检测和在实际使用中发现的问题是一目了然的。

3) 专用的原材料国产化未解决。虽经科技攻关取得一定成果，但性能还有待进一步改进和提高，目前部分封装材料仍然采用进口货，硅材料也显供不应求。

4) 成本高。目前我国太阳能电池组件成本达 30 元/Wp，平均售价 37 元/Wp，成本和售价高于国外电池。

此外，作为应用系统来说，突出的问题是：

1) 配套直流—交流逆变器、充电控制器等产业化商品化程度低，小作坊式生产经营，质次价高。配套用蓄电池往往出现质量问题(有些是选配和使用不当造成)。

2) 缺乏市场培育和开拓的支持政策、法规、措施。太阳能光伏发电系统，尚无国家和行业标准和认证准则以及相应的法规和质量监督体系，整个市场近乎处于无序状态。从而影响市场的开发和扩大。

3) 技术服务体系尚未建立。

2. 现有激励政策综述

2.1 中国可再生能源现行政策

通过高消耗获得经济数量的增长和“先污染后治理”的传统发展模式已不再适应当今和未来发展的要求，而必须努力寻求一条经济、社会、环境和资源相互协调的可持续发展的道路。在这种背景下，中国积极参与了联合国环境与发展大会的筹备，在召开了 41 个发展中国家环境与发展部长级会议，发表了“北京宣言”。中国政府李鹏总理出席了环发大会的首脑会议并发表了重要讲话，签署了“里约环境与发展宣言”、“21 世纪议程”和“关于森林问题原则声明”、“气候变化框架公约”等重要文件，再次强调并充分表明了中国坚持实施可持续发展战略重大决策的决心和信心。

会后，中国国务院批准了中国环境与发展十大对策，明确提出要“因地制宜地开发和推广太阳能、风能、地热能、潮汐能、生物质能等新能源”。其后，制定了作为中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书的“中国 21 世纪议程”，这是环发大会后世界上第一份议程，是中国向国际社会做出的庄严承诺，也是中国今后经济建设和社会发展的纲领性文件。其中强调了“可再生能源是未来能源结构的基础”，要“把开发可再生能源放到国家能源发展战略的优先地位”，“广泛开展节能和积极开发新能源及可再生能源”，并提出了相应的政策措施和近期优先实施的项目。

为了进一步落实和促进中国可再生能源的发展规划，1995 年国家计委、国家科委和国家经贸委共同制定了“1996-2010 年中国新能源和可再生能源发展纲要”及“新能源、可再生能源优先发展项目”，并得到国务院的认可。

可再生能源已正式地被确定为中国能源发展战略的有关重要组成部分。

1996 年初，八届全国人大四次会议批准的“中华人民共和国经济和社会发展‘九五’计划和 2010 年远景目标纲要”中，强调了科教兴国和可持续发展战略，指出中国能源发展要“以电力为中心，以煤炭为基础，加强石油、天然气资源的勘探开发，积极发展新能源，改善能源结构”。在电力发展一节中指出“积极发展风能、太阳能、海洋能、地热能等新能源发电”，在论及农村能源时再次强调“加快农村能源商品化进程，推广省柴节煤炉灶和民用型煤，形成产业和完善服务体系。因地制宜，大力发展小型水电、风能、太阳能、地热能、生物质能”。

2.2 政策框架描述

就政策的内容性质和涉及的地区范围而言，中国鼓励可再生能源发展的政策大体上可分为三个层次：第一层次为指导性、方向性和纲领性政策；第二层次为规范性政策；第三层次为具体的经济激励政策和行政管理体系。这三类层次相辅相成，紧密联系。

第一层次：指导性方向性纲领性政策，国家领导人讲话，党中央、国务院、人大政策文件法规；

第二层次：规范性政策，可再生能源的发展规划、计划及优先项目，可再生能源发展政策性规定；

第三层次：实现目标的具体手段、政策，补贴政策、税收政策、价格政策、贷款政策。

一般而言，纲领性、规范性政策都是由中央政府及其有关业务部门制定的，而具体政策大多是由地方政府制定的。这里的地方政府既包括省市区政府，也包括县级政府。当然必要时，我国政府也制定某些具体的政策和规定，只是难度较大而已。这是因为可再生能源具有强烈的地区性质，通常情况下难以制定一个全面通用的具体政策。因此，地方政府的具体政策对于可再生能源的发展来说是至关重要的条件。

2.3 发展可再生能源的现行激励政策

2.3.1 综述

中国尚未形成一套完整的鼓励发展可再生能源包括光伏发电的经济激励政策。其中鼓励可再生能源技术商业化发展的经济激励政策尤其缺少。现行的经济激励政策带有较大的不稳定性。政府对小型户用光伏发电系统的生产和消费进行了扶持。1983-1988 年，中国先后从美国、加拿大等国引进 7 条太阳能电池生产线，现已具备一定的生产规模和能力。到 1994 年，已在昆明、秦皇岛、开封、哈尔滨等地建成多家太阳能电池专业生产厂，总设计生产能力为 5MW，其中单晶硅电池 3.5MW；但实际生产能力迄今只有 3MW。除了通讯、交通信号等商业化的之外，地方政府也为边远地区的居民(主要是农牧民)购买户用光伏发电系统提供补贴，鼓励采用光伏发电系统为边远地区的电气化服务。政府对可再生能源发展的经济激励政策，除了政府直接补贴之外，其他经济激励政策也开始应用到可再生能源的发展方面。这些经济激励政策包括税收政策、价格政策、信用担保政策、土地租赁政策等等。目前，风力发电的发展在不同程度上受惠于这些经济激励政策。

2.3.2 补贴政策

(1) 中央政府的补贴政策

补贴是中国政府发展可再生能源技术的重要手段。补贴方式随着技术的发和时间的延伸而不断变化。目前，中央政府用于可再生能源的补贴有以下几种方式：

- 事业费补贴
- 研究与发展补贴
- 投资贴息补贴
- 项目补贴

(2) 地方政府的补贴政策

地方政府的补贴在可再生能源技术发展中起着重要的、甚至是决定性的作用。首先是地方政府对当地可再生能源管理、推广示范和研究部门的支持；再者是地方政府通过不同的方式支持可再生能源技术的推广工作。由于资源条件和对可再生能源发展认识的差异，各地政府对可再生能源的补贴政策也有较大差异。但是，各地都对户用沼气系统、省柴灶的推广应用采取了补贴措施，部分地区对小型风电机和小型光伏发电系统的推广给予了较大补贴扶持。

2.3.3 税收政策

(1) 关税

由于目前进口的光伏发电系统一般用于商业化用途，如通讯、管网保护、交通标志信号系统等，且中国拥有一定的生产能力，国家对光伏发电系统的进口原则上不实行优惠关税税率，但是实际执行的关税税率为 12%。由双边援助或多边援助，用于边远地区供电系统或扶贫项目的光伏发电系统一般可以申请免税。

(2) 增值税和增值税附加

增值税为中央地方共享税种，现行税率分三档：一档，基本率，税率为 17%；二档，低税率，税率为 13%；三档，零税率，税率为 0。

中央政府和地方政府都没有对光伏发电系统的增值税和增值税附加制定优惠政策。光伏发电系统按增值税和增值税附加的标准税率征收。

减免增值税需中央政府的有关部门批准，地方政府无权减免增值税，但可以减免增值税附加。

(3) 所得税

为鼓励和扶持一些企业的发展，新的企业所得税条例规定了两项减免优惠政策：一是民族区域自治地方的企业需要照顾和鼓励的，经省级人民政府批准，可以实行定期减税和免税；二是法律、行政法规和国务院有关规定给予减税免税的企业依照规定执行。例如，国务院批准的高新技术产业开发区内的高新技术企业，按 15% 的税率征收所得税；新办的高新技术企业自投产年度起免征所得税两年；国家确定的“老、少、边、穷”地区新办企业，可在三年内减征或免征所得税；企业利用废气、废水、废渣等废弃物为主要原料进行生产的，可在五年内减征或免征所得税等等。

(4) 地方税

地方税种主要有所得税, 增值税附加, 土地占用税等。目前, 由于风力发电、光伏发电系统的地区还没有采取对企业减免所得税的政策出台, 只是一些地方开始考虑以加快设备折旧的方式来减少企业的所得税赋。内蒙古对风能系统采取了降低增值税附加税率的措施(由 8% 降低为 3%)。大部分地区对风电机占地采取了减免土地税和土地划拨政策, 实际上风电机征地是零费用。

2.3.4 价格政策

这里主要指可再生能源发电的电价问题。中国的电价是由政府的物价部门制定的, 电力部门无权随意改变电价水平。中国的电价系统非常复杂。不仅用户的电价差别很大, 甚至同种电源的上网电价由于隶属关系不同、投产日期不同、投资来源不同, 在上网电价上也有很大差别。80 年代以前的电厂是由中央政府拨款建成的, 电厂不用偿付贷款, 发电成本很低, 一般电价水平比较低。80 年代中期开始的投资体制改革, 对电厂的投资由拨款改为贷款, 企业要还本付息, 发电成本相应提高, 开始根据新老负荷和新老发电能力实行新电新价的政策。中国电网的价格制定是根据各电网测算, 由物价部门核准的。光伏发电, 一般系独立运行系统, 电价由业主自行规定。

2.3.5 低息贷款政策

1987 年, 国务院节能办公会议决定从工商银行和农业银行(各 50%)拿出 6000 万元贷款额度用于农村能源技术的推广和应用。1996 年, 该额度上升为 1.2 亿~1.3 亿元。中央财政对于这一贷款进行贴息补助, 即按商业银行利率的 50% 补贴企业。贴息的方法是, 企业先按照商业利率还本付息, 根据企业的项目技术的可行性论证和经营情况, 中央财政一次性补贴利率差值所应该交付的利息。此项补贴由财政直接转入银行。除了农村能源专项贷款外, 国家经贸委的技术改造专项贷款也可以用于支持可再生能源的发展。

国家经贸委的农村能源专项贴息贷款, 原则上可用于所有的可再生能源产业发展。自 1987 年国务院建立农村能源专项贷款以来, 使用该贷款安排了 500 多个可再生能源发展项目, 主要扶持了小风电、并网风力发电、光伏发电、大中型沼气工程、太阳能热水器等可再生能源产业化和商业化的活动。在光伏发电方面, 提供了 1000 万元的贴息贷款, 帮助企业引进了非晶硅光伏电池生产线, 支持了云南半导体厂的光伏发电生产线改造计划等等。

2.3.6 信用担保政策

随着可再生能源技术应用的发展, 利用国外资金和商业化贷款的机会增多。许多情况下可再生能源企业需要贷款进行建设。在银行系统逐步商业化的情况下, 企业信用担保往往会成为能否获得银行贷款的重要条件。尤其是, 中国近年来实行了资本金制度, 要求业主必须拥有 30% 的资本金, 方能获得银行贷款。在风力发电场建设的初期, 政府部门都对这些企业进行了担保。1994 年银行系统体制改革, 政府部门不能为企业进行信用担保。但是政府对企业信用担保的影响仍然十分重要。例如, 中国利用美国进出口银行贷款 30 台 Zond 风电机的信用担保就是由中央政府批准, 中国银行出面担保的。

2.3.7 各种各样的地方性经济激励政策

下面对部分省区的可再生能源技术, 主要是光伏发电和小风电机发展的激励政策作一介绍。

(1) 内蒙古

①推广补贴。1986 年自治区政府制定了“关于推广小风力发电机和硅太阳能电池的经

济扶持办法”。每年自治区政府从财政中拨出一定的资金补贴扶持可再生能源技术的推广和应用。1986-1996 年的十年中共补贴了 2500 万元，平均每年为 250 万元，各年的补贴数量不同，其中 1996 年补贴总额为 150 万元。其补贴的方式是牧民购买一套 100W 的风电机系统或 16W 光伏系统，财政补贴 200 元。所有的补贴均通过自治区新能源领导小组办公室进行。“十五”期间，内蒙古作为“中国光明工程”先导省区，每年自治区拿出 3000 万人民币，扶持推广风光互补系统，即每年一万套系统，牧民每安装一套风光互补系统直接补贴牧民 3000 元。

②科研补贴。在内蒙古自治区有小型风力发电系统等可再生能源技术的研究机构，自治区政府每年拨款 30 万元支持可再生能源科研工作。

③机构支持。机构支持实际上也是地方政府间接对可再生能源技术发展的补贴和扶持。内蒙古在 56 个旗县建立了可再生能源技术推广机构，形成了从旗县到苏木(乡)、嘎查(村)的可再生能源服务网络。从事可再生能源技术的推广、设备的安装、调试、技术咨询、培训等，按每个旗县工作费用 10 万元计算，相当于政府对可再生能源的补贴增加了 500 多万元。

(2) 新疆

①推广补贴。新疆自治区政府也对边远地区应用光伏发电系统和小型风力发电系统的推广应用进行补贴。与内蒙古不同的是，其补贴是以电力公司和水利厅的农村电气化项目的方式进行。补贴的数量也有较大差别，每个系统 50-200 元不等。

②科研补贴。新疆能源研究所是西北地区为数不多的可再生能源研究所之一。科研经费除一部分来自于中央政府拨款外，其它大部分来自于地方政府财政的支持。该所每年用于可再生能源技术研究和推广的费用超过 100 万元，其中大部分用于太阳能光伏发电系统的推广工作。

③机构支持。在新疆自治区的大部分县市都有农村能源办公室，负责农村能源技术，主要是可再生能源技术的推广服务工作。地方财政为这些机构提供了工作费用。

(3) 青海

①推广补贴。青海省通过在电费中增加两分钱的方式征收农村电气化资金。其中每年约有 90 万元补贴农牧区的光伏发电系统。每套补助 300 元，迄今已推广 10~100Wp 户用光伏系统 15000 套。

②科研补贴。青海新能源研究所是西北地区可再生能源研究所之一。科研经费除一部分来自于中央政府拨款外，大部分来自于地方政府财政的支持。该所每年用于可再生能源技术研究和推广的费用超过 50 万元，青海太阳能光伏发电系统的推广工作的技术支持是通过该所进行的。

③机构支持。在青海的大部分县市都有农村能源办公室，负责农村能源技术，主要是可再生能源技术的推广服务工作。地方财政为这些机构提供了工作费用。

(4) 甘肃

①推广补贴。甘肃省是中国太阳能推广比较成功的地区之一。资金来源主要是国际援助和扶贫资金，当然，当地政府的补贴政策也给予了一定的支持。甘肃省建立了阳光照明基金，接受国际援助、国内外赠款，用于光伏发电系统的推广。甘肃省通过地方财政和光电基金补贴农牧民的光伏发电系统。每套补助 300 元，迄今已推广 10~100Wp 户用光伏系统 5000 套。

②科研补贴。甘肃省自然能源研究所是我国主要从事可再生能源技术研究的单位之一。科研经费除一部分来于中央政府拨款外，其他大部分来自于地方政府财政的支持。同时也有

来自于 UNDP 和其他途径的国际援助。甘肃太阳能光伏发电系统的推广工作的技术支持有 60% 是通过该所的下属公司进行的。

③机构支持。在甘肃的大部分县市都有农村能源办公室，负责农村能源技术，主要是可再生能源技术的推广服务工作。地方财政为这些机构提供了工作费用。甘肃还建立了民营的太阳能光伏发电公司，推广光伏发电系统。

④信贷支持。甘肃是中国唯一推行银行信贷方式为用户光伏发电系统推广服务的地区。其方式是由县级人民政府为用户提供担保。用户可以使用农业银行贷款购买光伏发电户用系统。并提供年利率 4% 的优惠贷款。贴息资金通过电力公司售电加价 3 元/(MWh)来筹集。

3. 未来发展潜力分析

3.1 中国丰富的太阳能资源

全国太阳能分布可划分为四个区域：

I 类地区，年平均日照时数为 3200~3300 小时，年太阳能辐射 160-200 千卡/cm²·年，主要包括了中国的西北地区。

II 类地区，年平均日照时数为 3000~3200 小时，年太阳能辐射 140-160 千卡/cm²·年，主要包括了中国的中北部地区。

III 类地区，年平均日照时数为 2200~3000 小时，年太阳能辐射 120-140 千卡/cm²·年，主要包括了中国的东部地区。

IV 类地区，年平均日照时数为 1000~2200 小时，年太阳能辐射 80-120 千卡/cm²·年，主要包括了中国的中南部地区。

我国太阳能资源分布趋势有如下特点：

1) 太阳能资源的高值中心和低值中心都处于北纬 22°~35°区域内青藏高原是太阳能的高值中心。由于青藏高原南部是海拔 7000-8000 米的喜马拉雅山，阻挡着南来的印度洋水汽，因而年日照高达 3200-3300 小时，年辐射总量为 160-200 万千卡/米²。四川盆地由于处在青藏高原东麓的背风坡，是南北两股气流高原的南支暖湿气流和北支冷干气流交接处，所以云雨天气多，形成太阳资源的低值中心。

2) 在北纬 30°~40°地区，太阳能资源随纬度增加而增加。

3) 北纬 40°以北的地区，太阳能资源自东向西逐渐增加。

4) 新疆地区的太阳能资源分布，由于受天山山脉的影响，自东向西逐渐减小。

5) 台湾地区的太阳能资源分布是由东北向西南逐渐增加的。

我国与同纬度的其他国家太阳能资源相比，除四川盆地和毗邻地区外，绝大部分地区的资源相当或超过那些国家或地区，比日本、欧洲条件优越得多，特别是青藏高原中南部的太阳能资源尤为丰富，接近世界上最著名的撒哈拉大沙漠。全国约 2/3 地区具有年平均日照时数大于 2000 小时和年太阳能辐射量大于 140 千卡/cm²·年，属于太阳能好、较好和可开发利用地区。

西藏自治区的太阳能资源极为丰富，不仅是国内，在世界上也属出类拔萃的地区。西藏高原由于海拔高，大气洁净，空气干燥，纬度又低，故太阳总辐射大。年总辐射值全区多在 6000-8000 兆焦耳/平方米之间，呈自东向西递增型式分布。在西藏东南边缘地区云雨较多，年总辐射量值较少，在 5155 兆焦耳/平方米以下，雅鲁藏布江中游河谷地区，雨量较少，多夜雨，总辐射值可达 6500-8000 兆焦耳/平方米。在珠穆朗玛峰北坡海拔 5000 米的绒布寺，1959 年 4 月至 1960 年 3 月观测的总辐射量高达 8369.4 兆焦耳/平方米。

3.2 需求及市场前景的分析

(1) 我国政府重视太阳能光伏发电技术和产业发展的着眼点, 主要在于它对国民经济和社会发展可能产生的影响有三方面:

◆ 实现可持续发展目标的根本措施之一

大力发展可再生能源技术是实现我国国民经济和社会可持续发展目标的根本措施之一。

可持续发展的能源战略, 可归结为: 保障供应, 节能优先, 改善结构, 有益环境。

全球范围的新能源和可再生能源开发热潮源自二十世纪 70 年代的两次“石油危机”, 人们认识到矿物能源特别是石油资源的有限性, 希望通过开发新能源和可再生能源减少对矿物能源的依赖和为未来能源持续供应做技术储备。80 年代中期以来, 能源环境问题成为国际社会关注的热点。联合国 1992 年环境与发展大会之后, 世界各国为保护生态环境, 除了对常规能源采取积极措施, 提高利用效率以减少消耗和控制污染排放外, 同时鼓励用洁净能源替代高含碳量的矿物燃料, 把开发利用新能源和可再生能源作为一个优先选择的替代方案。我国政府提出了中国环境与发展 10 条对策和措施, 明确要“因地制宜地开发和推广太阳能、风能、地热能、潮汐能、生物质能等清洁能源”。在国务院批准的《中国 21 世纪议程》中将清洁能源列为优先领域, 发展新能源和可再生能源技术列入第一批优先项目, 其中太阳能光伏发电是首要发展项目之一。

◆ 太阳能光伏发电是高含碳燃料的最具广泛潜力的替代能源

今天世界电力生产的 90% 是从 1950 年以来开始的。尽管世界对新能源和可再生能源需求紧迫, 但电力生产的结构要有显著的变化将花费数十年。预计以矿物燃料发电为主的格局在 21 世纪中叶将发生根本性的变化。中国情况亦大致如此。

有多种发电技术能够适应世界电力产量不断增长的需求, 以及起到逐步替代矿物燃料的作用。在水力方面, 当然是可在利用的再生能源。风能比水力小, 但风力发电已进入成长期, 可以较先起到部分替代作用。核电受制于公众所接受的程度和铀资源, 目前在世界上处于发展停滞状态(1994 年装机容量从 337000 增加到 339000MW, 增长不到 0.5%), 而我国处于发展阶段。生物质能在其资源丰富区有潜力, 但不能将它作为一个普遍的抵补来解决电力产量问题。石油和天然气在现今消耗水平下够用 50 年, 煤的蕴藏量多少长一些。但是有一点是肯定的, 即对于所有矿物燃料的开采成本都将会在较高的代价下实现。核电会起到适当的作用, 但核聚变至今仍是个大问题。聚变燃料是无限的, 但是维持反应所必要的温度及结构材料问题并未解决, 它的系统复杂性及材料要求尚未给出廉价电力的前景。太阳能利用技术是唯一对解决全球能源问题具有广泛潜力, 并已为人们熟知的技术, 且在长期内无论从成本, 还是从环境角度考虑都是适宜的。事实上, 太阳能发电是一种利用太阳这个自然界巨大的核聚变反应堆的精巧之路。三天向地球辐射的太阳能就相当于全球已探明的所有矿物燃料的总和。从技术上看, 太阳能的大规模利用完全可能被大大加速。二十一世纪将是太阳能的新纪元, 现在已是黎明的曙光。

◆ 发展太阳光伏发电等可再生能源具有重要的现实意义

除了从环保和能源长期战略角度考虑应开发利用新能源和可再生能源外, 同时它在我国也是近期急需的补充能源, 有着重要的现实意义。我国经济高速增长, 能源供求矛盾突出, 特别是农村能源短缺, 利用水平低, 严重阻碍了农村经济和社会的发展。我国迄今尚有约 0.3 亿人口没有用上电, 5-8% 的人口未解决清洁饮水, 约 3000 万的人口生活在贫困线以下, 森林过渡樵采、植被破坏、生态环境恶化的状况没有根本改变。因地制宜地大力开发利用太阳

能,对促进地区的脱贫致富,使农村经济和生态环境协调发展,实现小康水平具有重大意义。1994 年,国家科委、国家经贸委和国家计委联合制定了《新能源和可再生能源发展纲要(1996-2010)》。

“九五”期间,中国各级政府和电力部门加大了电力供应。但截止 2000 年底仍有约 706 万户、2800 多万农牧民没有用上电。众所周知,解决剩余无电户供电的难度越来越大,延伸电网的可行性越来越小。因地制宜,采用光伏发电、风力发电或微水电解决这些边远地区用户的用电问题在目前条件下几乎是唯一可行的方案。大力发展新能源和可再生能源,用光伏发电技术解决现有的无电县、无电乡村和无电户的供电问题,是我国农村能源建设的必由之路,对农村、经济与环境协调发展具有重大的战略意义和现实的社会经济效益。

(2) 需求分析及市场前景的预测

有关专家研究中长期能源供需态势的结果表明,我国一次能源供需矛盾长期存在,而且缺口较大,2000 年后能源缺口问题开始显露,2010 年缺 3.0 亿吨标煤(为需求量的 12%),2020 年缺 11.3 亿吨标煤(为需求量的 30%),2050 年缺 16.2 亿吨标煤(为需求量的 33%),一次能源供需矛盾越来越严重。

我国电力工业近年来得到飞速发展,总装机容量超过两亿千瓦,年发电量一万亿度以上的水平。但是全社会用电水平仍然很低。人均用电量、人均生活用电量、用电结构等指标远远低于发展阶段的客观需要。迄今仍有约 3000 万人用不上电。现在至 2020 年期间,我国电力工业必须要大发展,目标是在社会各领域及居民生活中以高效清洁、使用方便的电力来替代诸如煤炭等其他能源。预测到 2020 年,我国电力需求约 54000 亿千瓦时,总装机容量约 9 亿千瓦;2050 年,电力需求约 96000 亿千瓦时,总装机容量约 16 亿千瓦。届时我国人口约 16 亿,人均 6000 千瓦时/年的用电水平与 1990 年日本用电水平相当,可说是我国基本实现现代化社会。解决我国一次能源及电力供需矛盾问题,根本出路要依靠技术进步对能源工业的影响,核能技术的突破,新能源与可再生能源的大规模使用等。就电力而言,风力发电、太阳能光伏发电和太阳能热发电都将会起到重要的作用。预计到 2050 年,我国电力总装机容量 16 亿千瓦中,风力发电和太阳能发电所占的比重将大于 10%。以光伏发电为例,从技术上看 2010 年之前可以实现大规模应用,2010-2020 年之间将进入产业成长期,2050 年光伏发电装机总容量完全可以达到 3 亿千瓦(以 6000 小时发电算折合为 1 亿千瓦以上煤电)。当然风力发电、太阳能热利用、热发电以及生物质能源的开发利用等等也将在解决我国能源及电力供需矛盾问题中发挥各自的作用。

表 3-1、表 3-2 给出了不同时期的世界及中国市场光伏产量的年平均增长率的预测情况和不同时期世界及中国市场的光伏系统产量、发电量预测。

表 3-1 不同时期的世界及中国市场光伏产量的年均增长率的预测情况(单位:年增长率%)

年 代	世界市场 常规预测	中国市场 基础方案	中国市场 低方案	中国市场 中方案	中国市场 高方案
2000 年	20	30	33	35	36
2000-2010 年	19	20	23	25	27
2010-2020 年	18	17	19	20	21
2020-2030 年	15	15	16	17	18

表 3-2 不同时期的世界及中国市场的光伏系统产量及发电量预测

年 代	世界市场 常规预测	中国市场 基础方案		中国市场 低方案		中国市场 中方案		中国市场 高方案	
		并网 系统	独立 系统	并网 系统	独立 系统	并网 系统	独立 系统	并网 系统	独立 系统
2000 年组件产量 (MW)	270	0.1	2.9						
装机容量 (MW)	2700	1	79	2	96	3	10	5	120
发电量 (KWh)	6.0×10^9	2.2×10^6	1.7×10^8	4.4×10^6	2.1×10^8	6.6×10^6	2.4×10^8	1.1×10^7	2.5×10^8
2010 年组件产量 (MW)	1500	10	40	16	62	25	75	40	90
装机容量 (MW)	15000	100	400	160	620	250	750	400	900
发电量 (KWh)		2.2×10^8	8.8×10^8	3.5×10^8	1.4×10^9	5.5×10^8	1.7×10^9	8.8×10^8	2.0×10^9
2025 年组件产量 (MW)	2×10^6	6500		1.3×10^4		2×10^4		3.3×10^4	
装机容量 (MW)	2×10^6	65000		1.4×10^5		2×10^5		3.3×10^5	
发电量 (KWh)	4.8×10^{12}	1.4×10^{11}		2.9×10^{11}		4.4×10^{11}		7.3×10^{11}	

(3) 中国西部大开发为光伏产业发展提供了商机

我国的光伏技术地面应用始于二十世纪 70 年代,但光伏产业直到 1982 年以后才真正发展起来。在 1983-1987 年短短的几年内先后从美国、加拿大等国引进了七条太阳能电池生产线,使我国太阳能电池的生产能力从 1984 年以前的 200 千瓦跃到 1988 年的 4.5 兆瓦(实际年生产能力不到,笔者注)。1995 年产量 1.5 兆瓦,太阳能电池安装总容量约 7 兆瓦。近几年虽售价未变,实际不断在降价。系统造价约 80-100 元/W_p。

在中国,1995 年前最大的光伏市场是通信领域,包括:微波中继站、卫星通信地面站、卫星电视接收及差转系统、农村程控电话交换机、部队通信台站等,这一领域的市场占有率约为 60%。其次是边远地区供电,包括:独立光伏电站、风—光互补电站、光伏户用系统、太阳能照明灯、光伏水泵系统等,市场占有率目前只有约 20%。工农业及其他领域用,包括:铁路、公路信号系统、航标灯、气象地震台站、水文观察系统、石油管道及水闸阴极保护系统等。民用系统及其他,包括:太阳帽、小型充电器、手表、计算器、路灯、庭院灯、露天钟、汽车换气扇、太阳能游船、玩具等,后两项的市场占有率各为 10%,表 3-3 列出了截止到 1994 年底国内光伏市场不同领域的累计用及市场占有率。但是近年来,各应用领域所占市场份额已发生了较大变化,特别是光伏发电在边远地区的应用得到很快发展。中国实施西部大开发战略举措为光伏产业发展提供了良好的商机。

表 3-3 国内光伏市场各应用领域的累计用量及市场占有率(截至到 1994 年底)

应用领域	积累用量(kWp)	市场占有率(%)
通讯领域	3000	60
边远地区	1000	20
工业及其他领域	500	10
民用及其他	500	10

“中国西部”是个泛空间概念，其地域系统随时代发展要求而不断变化。原来的中国西部包括大西北五省区和大西南五省区，新近调整的范围又扩展至广西与内蒙，共 12 个省区(直辖市)。总面积 658 万 km^2 ，占全国陆地总面积的 71.4%。总人口约 3.5 亿，占全国人口的 28.4%，人口密度为 51.84 人/ km^2 ，低于全国人口密度 130 人/ km^2 。

中国西部地区，由于历史和地理的原因，仍有相当大数量的村落和农牧户迄今未能用上电。尽管近几年政府做出很大努力，加大农网建设和改造的力度，解决了一大批无电县、乡、村的通电，但是，到 2000 年底尚有 700 多万农牧户、2 万多村落没通上电，且主要分布在中国西部，其中相当多数是边疆少数民族，见如下表 3-4。

表 3-4 中国西部地区无电人口分布

省(自治区、直辖市)	无电行政村(个)	无电自然村(个)	无电户
新疆	1732	1060	300416
甘肃	1946	19854	696718
青海	97	774	22740
宁夏		1090	54501
陕西	2237	6300	511950
云南	7446		454200
贵州	855	19000	1200000
四川	4068		164325
重庆	2528	17142	1180000
广西	450	2710	190000
内蒙古	1473	5820	440000
西藏		1383	535608
总计	22832	75133	5750458

注：此表数字依据“中国光明工程第一期行动计划”提供的数据统计

如前所述，中国西部拥有丰富太阳能资源。

从中国太阳能分布图可以看出，从大兴安岭南麓向西南穿过黄河河套后向南沿青藏高原东侧到西藏南部，这条线以西均为太阳能丰富区，年日照时间大于 3000 小时。这些地区远离海洋，全年气候干旱，云量稀少，大气透明度较好，总辐射量大且日照时间长。其他部分也多是太阳能较丰富区，那里总辐射量也达到 5000-5850 兆焦/年，年日照时间数在 2400-3000 小时。

中国西部迄今未通电的村落及散居农牧户地处边远，远离电网，用电负荷小而且分散。

近 20 年之内甚至更长时间内都不可能通过电网延伸实现供电。假如通过延伸电网解决这 700 多万户的供电，粗略按平均每户到电网的距离为 20 公里，每公里输电线路所需投资约 8 万元，则总投资需 112,000 亿元，这是根本不可行的。假如这些农牧民每户用电量为 0.2kwh/天，加上线路损耗，用常规火力发电的煤耗量达到 4 亿公斤标煤/年，由此造成的有害排放将达到 1 万吨左右。这也是要避免的解决方案。在当今已然经济全球化、社会信息化的情况下，无电严重地制约着当地社会和经济的发展，使本来就落后的边远地区因难以获得新观念、新知识、新技术，难以接近市场而进一步拉大与中国其他地区的差距。国内外经验表明，知识是作为经济增长和可持续发展的重要因素。要加快中国西部大开发，首先要解决知识发展十分滞后以及生态环境恶化的状况。因地制宜，大力开发利用我国西部地区丰富的太阳能，加上风能和微小水电等可再生能源是实施科教兴国和可持续发展战略的一项重大且可行的举措。

4. 中国光伏发电技术及其产业化发展的障碍分析

中国光伏发电技术及其产业化的历史沿革和现状如前所述。如何面对入世，昂首新世纪，加快发展，首先要分析清楚其发展中面临的障碍。

4.1 技术障碍

中国太阳能光伏发电技术及其产业，总体上讲，尚处于发展的初期阶段。

在研究开发方面，虽发展了单晶硅、多晶硅电池以及非晶硅、碲化镉、硒铟铜、TiO₂ 等薄膜电池研究，同时也开展了浇铸多晶硅、银/铝浆、EVA 等材料的研究，并取得了可喜成果，但与发达国家相比，差距还不小。

在产业化方面，国内太阳能组件的厂家规模小，基础设施落后，技术工艺水平落后，效率低；缺少产品认证标准，产品质量总体水平比国外产品低；原材料国产化程度低，硅太阳能电池材料短缺，银浆、银铝浆、低含铁玻璃、EVA 薄膜、背板等封装材料尚需进口，增加了成本。中国市售光伏组件及系统配套部件生产成本比国外约高出 20%。成本高，质量低，目前市场售价与国外产品相比已缺少竞争力。

4.2 资金障碍

用于研究开发的资金数量，虽有逐步增加趋势(如下表所示)，但依然少得可怜，仅相当于发达国家的 1/100~1/10 的量级。除国家的投入外，企业苦于利润率不高，基本上无自有资金投入研发工作。

表 4-1 国家科委可再生能源研究开发费用

期 间	“六五”	“七五”	“八五”	“九五”	“十五”
科技攻关费	1860	3000	3000	6000	
863	0	0	0	0	
973	0	0	0	0	
光伏技术					

此外，长期融资问题尚未解决。

4.3 政策障碍

从国家层面上讲,中国尚未形成一套较完整的鼓励发展太阳能光伏产业发展的经济激励政策。另一方面,现今已有的经济鼓励政策,缺乏落实的措施,带有相当的不稳定性。且政出多门,共商协调体制不够健全。

4.4 市场开发障碍

- (1) 宣传光伏产品力度不够,消费者了解认识不够;
- (2) 产品销售、技术服务体系尚未建立;
- (3) 缺乏产品认证标准和国家级认证机构,市场无序;
- (4) 没有消费者信贷等促销手段。
- (5) 生产成本、管理成本、销售成本“三高”导致销售价格高等。

4.5 尚无国家加速发展光伏产业的规划

加入 WTO 后,中国太阳能光伏产业面临着严峻的挑战和发展机遇,且挑战大于机遇。我们必须有紧迫感和危机感。否则,存在全军覆没的危险,这恐怕不是危言耸听。政府应从国家层面抓紧制定该产业的发展规划和必要的应对措施。

5. 光伏系统基本配置和参考价格

有关专家对国内产业现状和市场需求较为充分调研的基础上,得出如下几点结论意见:

- (1) 在年平均风速大于 5 米/秒,年日照时间大于 2500 小时的地区,当电网距离为 25 公里以上时,常规电网供电成本大于风力发电和光伏发电。
- (2) 在年日照时间大于 2500 小时的地区,月用电量大于 2100KWh 时,光伏发电系统的经济性优于柴油发电机组。
- (3) 在年平均风速大于 5 米/秒的地区,风力发电成本低于光伏发电。
- (4) 在边远地区常规电网和内燃机发电成本无法与风力发电、光伏发电户用系统相比。
- (5) 在风、光资源良好的地区,用户可按照因地制宜原则选择不同的配置解决基本用电问题,其用电成本为 2-6.5 元/千瓦时。

5.1 用电需求分析

小光电、小风电、还有微小水电,简称“三小电”,其应用对象为散居和群体两大类型。为满足不同用户的用电需求,根据不同地区风能/太阳能资源的特点确定基本系统配置如下:

(1) 分散农牧户

按照生活水平的高低,其用电水平可分为低、中、高三个档次,其用电量估算见表 5-1。

按照中国目前技术和工艺水平,已经可以提供满足用户要求的风力发电、光伏发电、风/光互补发电系统。由于风力发电户用系统的投资为 15 元/瓦左右,光伏户用系统的投资为 80 元/瓦左右,风/光互补发电系统的投资在 30 元/瓦左右;从经济性角度来看,在年平均风速大于 4.5 米/秒的地区,采用风力发电是适宜的选择。光伏发电尽管目前价格较高,但其运行平稳可靠,安装简便,小系统易于携带,在年日照时 2000 小时以上的地区均可使用。风/光互补发电系统供电可靠性和发电量较高,适用于用电要求高的用户。应该按照当地的风力和光照资源情况,按照用户用电需求,具体情况具体分析,选定合适的系统。

表 5-1 分散农牧户用电量估量表

档次	用电器	数量	功率(W)	工作时间(hr)	同步系数	峰值功率(W)	日用电量(kWh)
低	节能灯	2	9	5	0.8	14.4	0.072
	收录机	1	10	3	1	10	0.03
	合计					24.4	0.102
中	节能灯	3	9	5	0.8	21.6	0.258
	小黑白电视	1	30	4	1	30	
	收录机	1	10	3	1	10	
	合计					61.6	
高	节能灯	5	9	5	0.8	36	0.18
	彩电	1	70	5	1	70	0.35
	收录机	1	20	3	1	20	0.06
	洗衣机	1	280	1	1	280	0.28
	冰箱	1	120	8	1	120	0.96
	合计					526	1.83

(2) 群体使用

①村落

村落的用电需求：（如表 5-2 所示）用户 50-100 户，人口 200-600。

表 5-2 村落用电量估算表

用电器	数量	功率(W)	工作时间(hr)	同步系数	峰值功率(W)	日用电量(kWh)
节能灯	600	11	4	0.6	3960	19.8
电视机	80	70	4	0.8	4480	17.92
收录机	100	15	2	0.6	900	1.8
洗衣机	20	280	1	0.3	1680	1.68
冰箱	15	120	8	1	1800	14.4
台钻	1	800	1	1	800	0.8
电焊机	1	1000	1	1	1000	1
其它	1	3000	2	0.8	2400	4.8
合计					17020	62.2

村落供电系统需要专业技术人员按照当地的风能资源、太阳能资源，村落用电需求和发展预测、村落平面布置、当地农副产品加工、燃油价格等多方面因素综合考虑，具体设计。作为独立小电网，管理的好坏对其运行的经济性和可靠性有直接影响，应特别注意对当地技术人员的培训，不仅在技术上掌握系统运行、操作、维护、修理的技能，还要掌握最佳经济运行的常识，让用户最大可能地消费风能、光能发出的电能，取得最佳的经济效果。当地领导应切实认识并按照商业化运作的机制才能保证村落供电系统的可持续运行。

②独立站点

独立站点指边防哨所、微波站、气象站、公路道班、边境口岸等。独立站点供电系统的基本配置仍为风/柴/蓄和光/柴/蓄系统，需要专业技术人员按照当地的风能资源、太阳能资源、用电需求和发展预测、燃油价格等多方面因数综合考虑，具体设计。其用电需求估算如表 5-3 所示：

表 5-3 独立站点用电量估算表

用电器	数量	功率 (W)	工作时数	同步系数	峰值功率 (kW)	用电量 (kWh/日)
节能灯	50	11	5	0.8	0.44	2.20
电视机	3	70	5	0.8	0.17	0.84
发射机	1	300	24	1.0	0.30	7.20
洗衣机	1	280	1	0.5	0.14	0.14
冰箱	2	120	8	0.7	0.17	1.34
水泵	1	1000	2	1.0	1.00	2.00
电焊机	1	1000	2	1.0	1.00	2.00
其它	1	3000	1	1.0	3.00	3.00
合计					6.22	18.72

5.2 系统基本配置

(1) 户用系统

1) 满足中档需求的系统有如下两种基本配置：见图 5-1、5-2

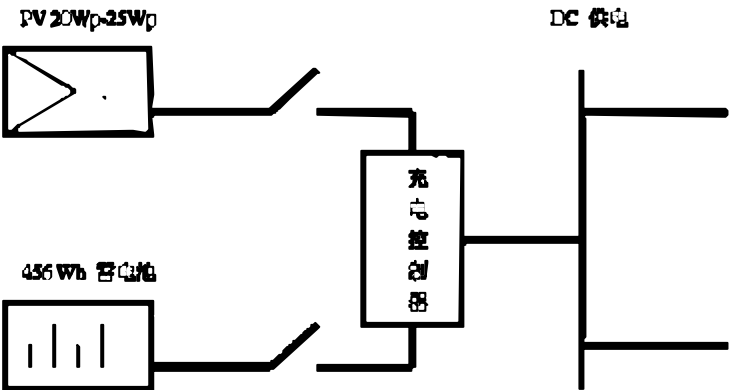


图 5-1 20W_p-25W_p 光伏户用系统

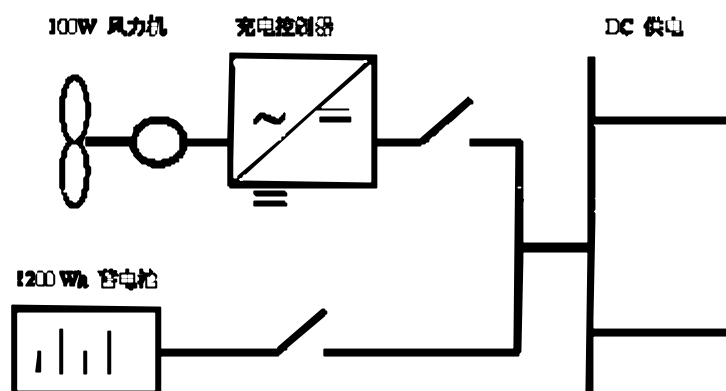


图 5-2 100W 风力发电户用系统

2) 满足中档需求的系统有如下两种基本配置：见图 5-3、5-4

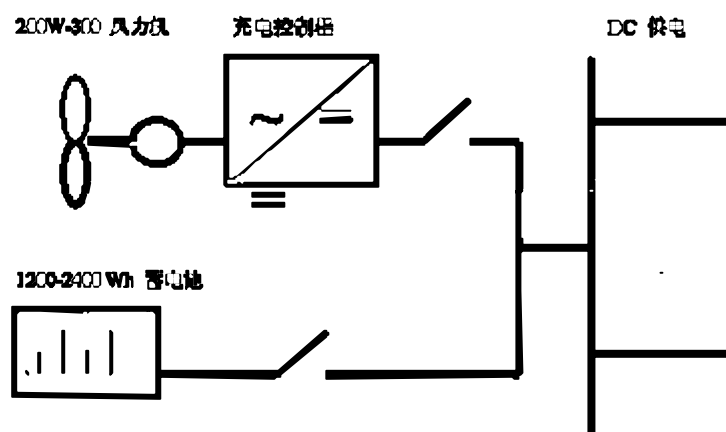


图 5-3 50W_p-100W_p 光伏发电系统

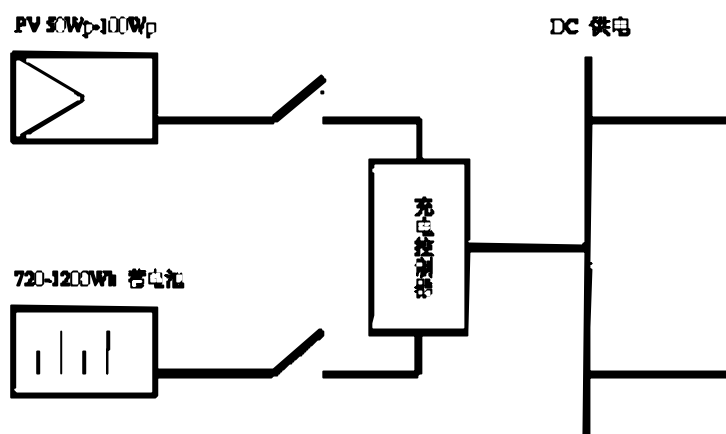


图 5-4 200W-300W 风力发电系统

3) 满足高用电水平需求的系统有如下两种基本配置：见图 5-5、5-6

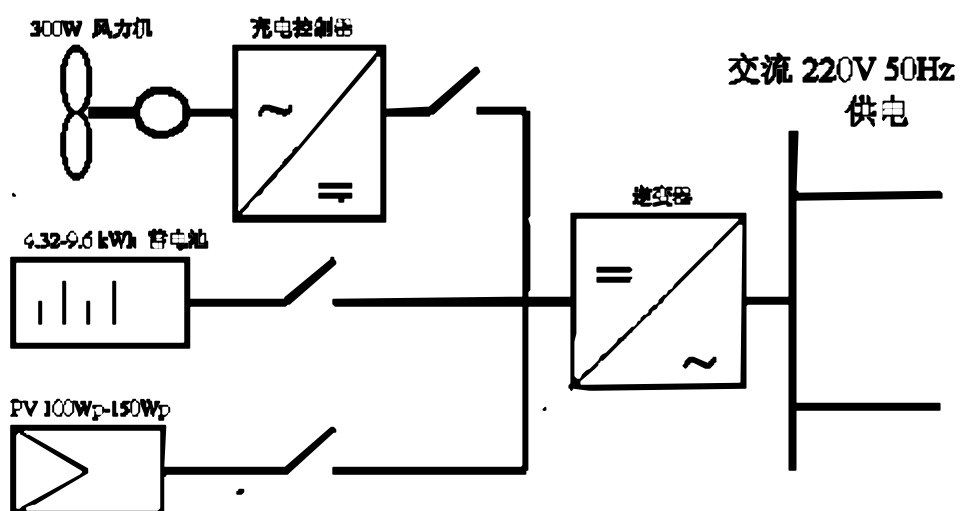


图 5-5 300W 风力发电机/100W_p -150W_p 光伏发电互补系统

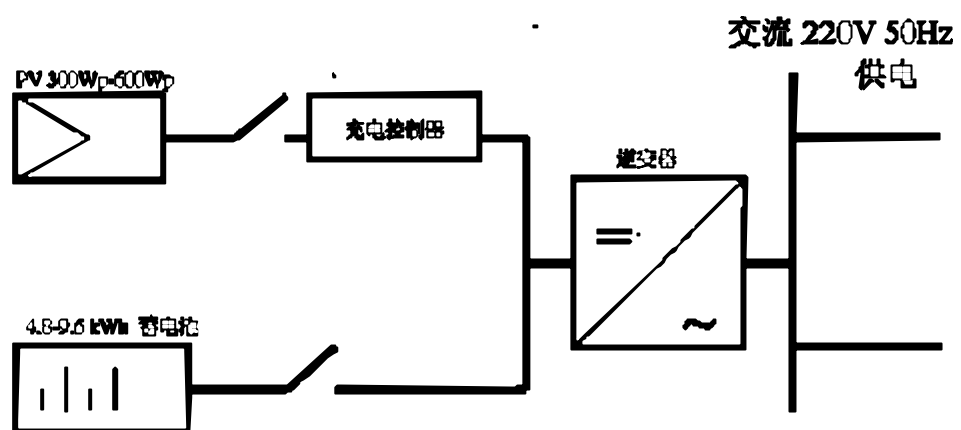


图 5-6 300W_p-600W_p 光伏系统

(2) 村落供电系统的基本配置：见图 5-7，5-8

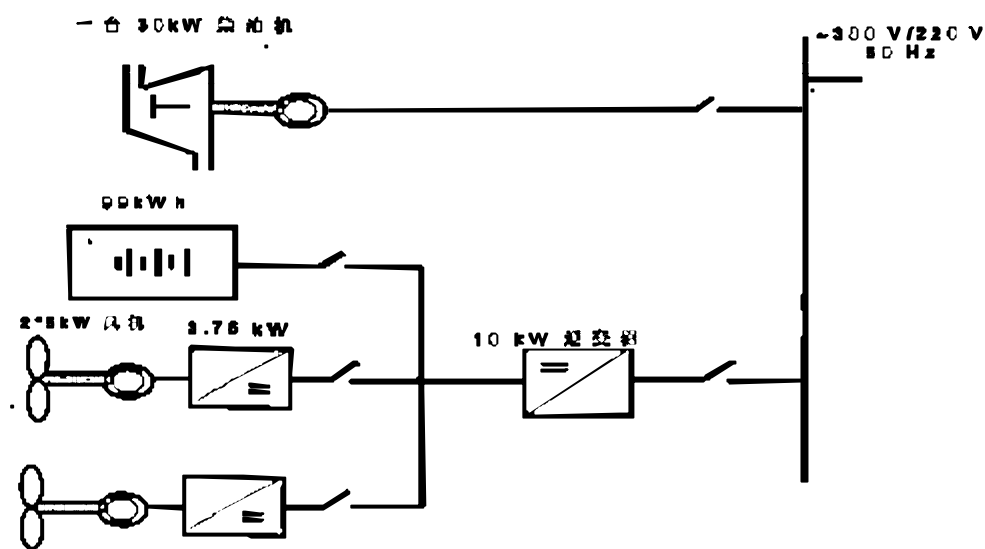


图 5-7 风/柴/蓄系统配置

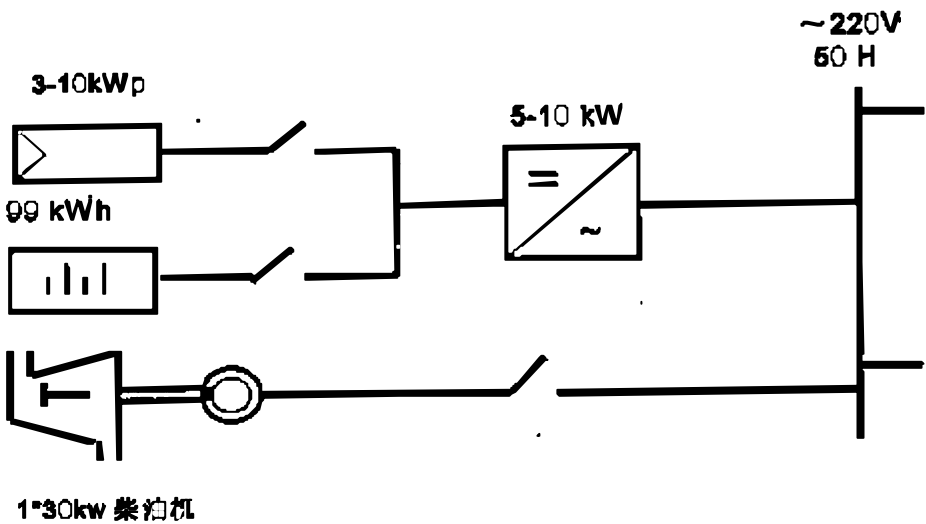


图 5-8 光/柴/蓄系统配置

(3) 独立站点供电系统的基本配置：见图 5-9、5-10

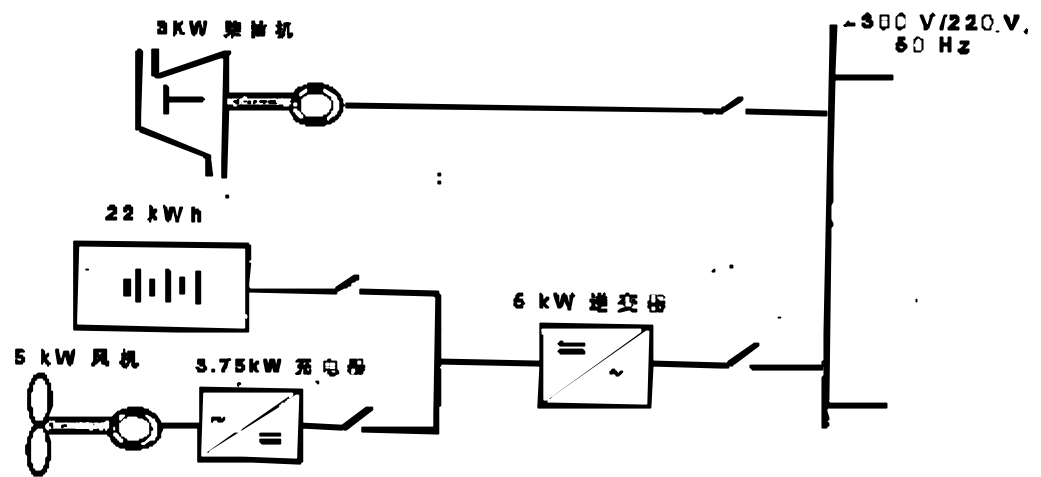


图 5-9 独立站点用风/柴/蓄系统配置

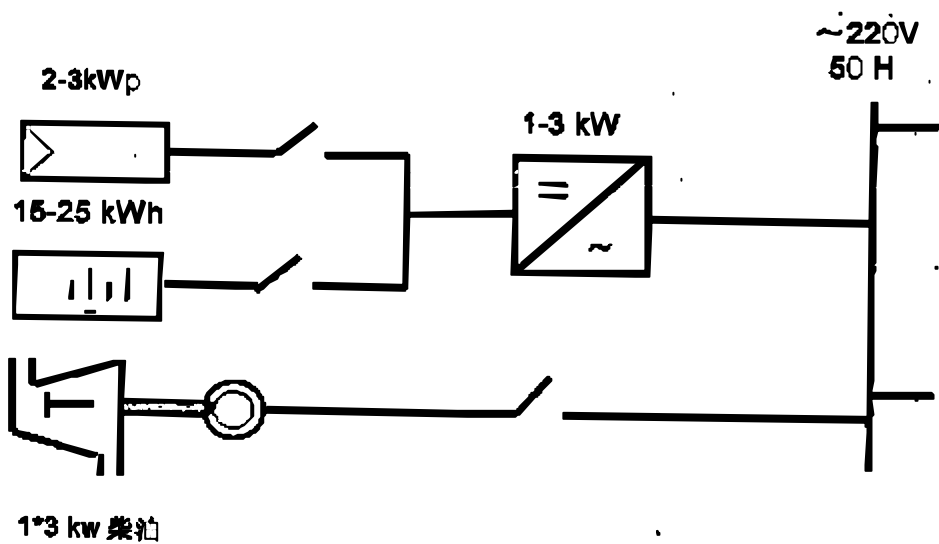


图 5-10 独立站点用光柴/蓄系统配置

5.3 系统参考价格

为了简化对比分析和价格的可比性，在下面的计算中，对光伏户用系统取中间值，系统部件的价格按当前质量合格的产品的正常价格计算。由于目前生产厂家的批量很小(2 万台套/年以下)，销售网络很不健全，售价不可能有较大改观。而经合理的产业化重组，生产批量将达 10 万台/年，生产成本将有把握下降 30%左右，通过建立健全的销售服务网络，销售服务费下降 50%左右。

(1) 户用系统价格，如表 5-4 所示

表 5-4 户用系统预计价格

代号	名 称	现出厂价 (元/W)	销售费 (元/W)	合计 (元/W)	大批量 出厂价 (元/W)	销售费 (元/W)	合计 (元/W)	降价幅度 (%)
A1	20W _p 左右光伏	90-100	50-10	95-110	60-70	3-5	63-75	30.0
A2	100-200W 风力机	13-15	2-3	15-18	10-13	1.5-2.5	12-15	20.0
B1	80W _p 左右光伏	75-85	5	80-90	55-65	3	58-68	23.0
B2	300W 风力机	11-13	3	14-16	9-11	2	11-13	21.0
C1	500W _p 左右光伏	30-32	2	32-34	23-25	2	25-27	22.0
C2	100-200W 风力机	80	2	82	64	2	66	18.1

(2) 村落供电系统价格，如表 5-5 所示

表 5-5 村落系统和主要部件价格

代号	名 称	现出厂价 (万元/kW)	大批量出厂价 (万元/kW)	降价幅度 (%)	安装服务 (万元/kW)	销售费 (万元/kW)
V1	风/柴/蓄系统	4-5	2.5-3.5	35	0.9	3.4-4.4
V2	光/柴/蓄系统	7-8	5.5-6.5	22	0.9	6.4-7.4

(2) 独立站点供电系统和主要部件价格，如表 5-6 所示。

表 5-6 独立站点供电系统和主要部件价格

代号	名 称	现出厂价 (万元/kW)	大批量出厂价 (万元/kW)	降价幅度 (%)	安装服务 (万元/kW)	销售费 (万元/kW)
V1	风/柴/蓄系统	3.5-4.5	2.2-3.2	35	0.9	3.4-4.4
V2	光/柴/蓄系统	7-8	5.2-6.0	22	0.9	6.4-7.4

6. 政策建议和应采取的措施

(1) 加快发展是应付挑战的唯一出路

应付“入世”挑战的唯一战略措施是加速中国光伏产业发展，缩小差距，争取在一定期限使产品质量和成本达到世界水平。根据中国实际情况，光伏产业发展的经验曲线如图 6-1 所示。要想缩小差距，我们必须以更高的年增长率发展。图 6-2 为我国光伏产业和世界光伏产业在 2000-2010 期间分别用 28.5%和 35%的年增长率发展，以后均用 25%的年增长率的预测结果及比较。从图中看出，2010 年可以与世界水平趋同，此后与国际保持一致。表 6-1 表示我国不同时段的生产、总装机容量、系统成本和发电成本的预测结果。

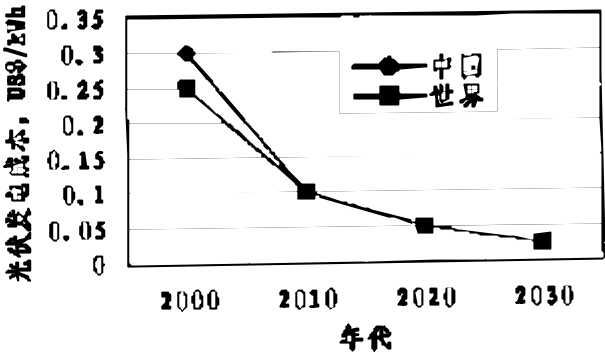


图 6-1 中国光伏产业发展的经验曲线

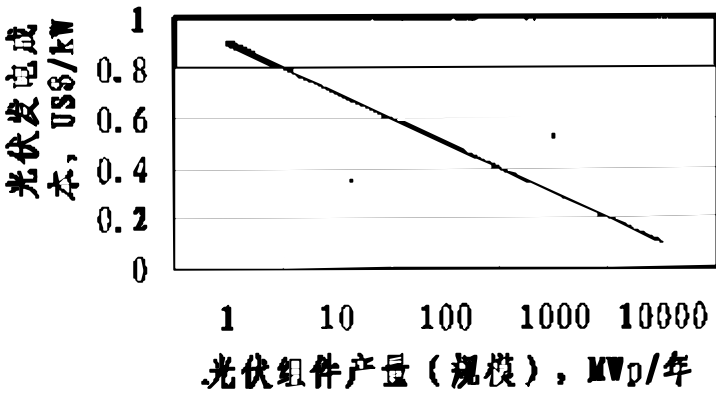


图 6-2 加速发展使中国光伏发电成本逐渐与世界趋同

- (2) 加快发展是我国能源资源短缺和能源可持续发展的迫切要求资源短缺除太阳能外，各种资源的储采比都比世界平均水平低。生态环境恶化状况和速度甚于国际平均状况。
- (3) 把光伏发电产业发展与西部大开发战略和可持续发展结合起来。

表 6-1 中国光伏产业及发电成本预测

	2000 年	2010 年	2018 年	2020 年	2030 年
产量 MW	3.0	60	360	562	5230

总装机容量, MW	18	240		1735	26100
系统成本 US\$/W _p	8.0	3.04		1.71	0.27
发电成本 US/kWh	0.28	0.11		0.06	0.025

2000-2010 年增长率 35%，2010-2030 年增长率 25%。

(4) 发展战略的阶段性的

2000-2005 年，重点解决农村电气化，适当开展并网屋顶示范工程；

2006-2010 年，实现农村电气化，推广屋顶并网光伏工程及其它应用；

2011 年以后普遍推广各种并网屋顶工程和各种应用。

(5) 实现上述发展速度应采取的措施

在考虑到人类未来能源的持续发展和环境压力，二十世纪 90 年代后期世界上许多国家都采取了强有力的法规和鼓励政策来驱动光伏产业和市场的发展。20 多年来光伏产业已经从无到有，发展到 1999 年的 200MW/年，总装机容量达到 1GW，成本下降了两个数量级，组件成本在 3 美元/W_p 以下，发电成本约 0.25 美元/kWh。可以说，政府驱动是世界光伏技术和产业快速发展的根本原因。

因此为了保证上述必要的发展速度，应当根据我国国情和参考国外的成功经验，制定有效的法规和鼓励政策驱动我国光伏产业和技术发展。其中可供参照的政策法规有：

1) 可再生能源配额规定(Renewable Portfolio Standard, 简称 RPS)。国家或地方政府对电力部门或相关部门按时段规定可再生能源在能源结构或电力结构中的比例,并以强制性措施和条款贯彻执行（如欧盟及美国的一些州）。

2) 根据可再生能源的种类及实际成本规定相应的电价，使可再生能源投资者和发电者有利可图，鼓励产业发展（如德国的新可再生能源法）。

3) 规定较长期的低息或无息贷款或贴息贷款，鼓励投资者（如德国、日本）。

4) 对安装光伏系统实行较高的补贴政策（如日本、德国），开拓市场。

5) 对光伏产业实行减免税政策（如美国、日本、欧洲），鼓励产业发展。

6) 加大光伏产业和技术研究开发投入，通过技术降低成本（如美、日、欧）。

我国光伏产业和技术同世界的差距以及现已“入世”的形势，既给我国光伏产业和技术的发展带来了严峻的挑战，同时也带来了发展的机遇。面对严峻的挑战，只有通过更快的发展缩小差距，在迎接挑战中获得发展的机遇。未来 10 年世界光伏产业将以 28.5%的年增长率发展。我国光伏产业只有保持 35%年增长率的发展速度，国家应制定强有力的政策法规和给予比较强的投入，驱动光伏产业和技术的发展，才能把挑战变成发展的机遇。政策法规和强投入是实现我国光伏产业发展战略的根本保证。

附件 1 西藏无电县、乡光伏电站建设情况

目前西藏是我国建设集中型太阳光伏电站最多的地区，共建有县级和乡级光伏电站 22 座，总容量 484.3 千瓦。西藏有目前世界上海拔最高的太阳能光伏电站—25kWp 的双湖电站；目前国内最大的太阳能光伏电站—100kWp 安多光伏电站；世界上海拔最高的风/光互补电站—那曲安多县纳色乡村用 4kWp 风/光互补电站。这些新能源的利用大大地弥补了西藏常规能源短缺的缺陷，为西藏地区经济的发展和人们生活的改善找到了出路，为保卫边疆、建设边疆做出了贡献。

在 2000~2001 年，按计划完成了拉萨墨竹工卡县扎西岗乡任青林村、尼木县帕古乡彭岗村、山南隆子县俗坡乡、曲松县邱多江乡昌都丁青八达乡和昌都八宿郭庆乡 6 套 6kWp 村用光伏电站的安装工作，并培训了 12 名技术人员，同时完成了阿里地区光明工程项目革吉、噶尔和日土三县的 16 座平均容量为 5kWp 的独立运行光伏电站。

附表 1 西藏已建成的集中供电光伏系统

序号	安装地点	容 量	安装年限	备 注
1	安 多	100kWp	1998	
2	双 湖	25kWp	1994	
3	班 戈	70kWp	1999.9.13	
4	尼 玛	55kWp	1999	
5	措 勤	50kWp	1999.9.28	
6	革 吉	40kWp	1999	
7	改 则	80kWp	1998	
8	安多县纳色多	4kWp	1998.8.10	风/光互补系统
9	阿里狮泉河	1.8kWp	1999.10.25	风/光互补系统
10	拉萨达孜拉木乡	6kWp	1999.6	
11	那曲地区香茂乡	18kWp	2000.6	户用系统
12	墨竹工卡县扎西岗乡	6kWp	2000.10	
13	尼木县帕古乡彭岗村	6kWp	2000.10	
14	山南隆子县俗坡乡	6kWp	2000.10	
15	曲松县邱多江乡	6kWp	2000.10	
16	阿里日土县、扎达县	1.5kWp×7 座		共7座
17	阿里革吉亚热乡	10.2kWp	2001.11	
18	阿里革吉盐湖乡	5.25kWp	2001.11	
19	阿里革吉雄巴多	5.25kWp	2001.11	
20	阿里革吉文布当桑乡	5.4kWp	2001.11	
21	阿里革吉扩繁场	3kWp	2001.11	
22	阿里日土日松乡	3kWp	2001.11	
23	阿里日土多玛多	6kWp	2001.11	
24	阿里日土东汝乡	5.4kWp	2001.11	

25	阿里日土热帮乡	6kWp	2001.11	
26	阿里噶尔门士乡	6kWp	2001.11	
27	阿里噶尔昆莎乡	5.4kWp	2001.11	
28	阿里噶尔左左乡	5.4kWp	2001.11	
29	阿里噶尔索麦村	3kWp	2001.11	
30	阿里噶尔典角村	3kWp	2001.11	
31	阿里噶尔草原站	3kWp	2001.11	
32	阿里地区科委	4.8kWp	2001.11	
33	昌都八宿郭庆乡	6kWp	2001.9	
34	昌都丁青八达乡	6kWp	2001.9	

另外，还通过政府补贴、国际合作及商业推广在西藏建设了上万套户用光伏电源和上百套户用风力发电系统。

附件 4

促进中国农村地区分散型可再生能源发电系统发展的政策研究

在中国西部地区推广“三小电” 技术的成本比较与外部效益评价

张希良 陈荣

项目课题组

2002 年 7 月

目 录

前 言	115
1. 技术概述	115
2. “三小电”供电成本测算	115
2.1 动态平直供电成本	115
2.2 动态平直供电成本的计算	116
2.3 几种供电技术的供电成本比较	118
3. 推广“三小电”技术的外部效益测算	119
3.1 西部无电地区供电技术配置方案构想	119
3.2 经济效益	121
3.3 社会效益	124
3.4 能源效益	124
3.5 环境效益	125
4. 结论	125

前 言

经过近十年城乡电网改造,城乡居民用电情况得到大大改善,但是截至 2000 年底,西部地区仍有 2 万多个村,500 多万农牧户,2800 万人没有通电。早日实现村村通电,户户通电,成为中央和地方政府首要解决的问题之一。

不少人一直认为,推广“小光电”、“小风电”、“微水电”(简称“三小电”)应用技术不仅是解决西部无电地区通电问题的一种有效途径,而且具有重要的社会、经济、能源、环境效益。但推广“三小电”应用技术在经济上是否具有竞争力?推广“三小电”应用技术产生的外部效益究竟有多大?这些问题不仅是技术人员、企业家、经济学家所关心的,也是政府决策部门非常想了解的。然而,由于缺乏量化研究,长期以来这些问题并没有得到很好的回答。本次研究正是在这样的背景下展开的,希望能在一定程度填补这方面的空白,将相关的信息结构化、数量化,为政府部门制定西部开发战略和可再生能源政策提供决策支持。

1. 技术概述

从理论上讲,有多种方案可以解决中国西部无电地区通电问题,包括延伸常规电网和发展离网型独立发电技术。离网型独立发电技术包括可再生能源发电技术、汽油/柴油机发电技术和可再生能源—汽油/柴油机混合发电技术等。

常规电网延伸供电的发电、供电、配电技术完善,设备运行稳定,供电质量好,安全可靠。但从目前实践看,通过常规电网延伸方法解决西部无电地区通电问题是很困难的。一方面,西部无电地区人口大部分处于偏远地区,居住过于分散,使得线路架设长,线路损失大;另一方面,有些无电地区受地形限制,架线难度较大。

可再生能源发电系统(风力系统/光伏系统/风光互补系统/微水电系统)利用可再生能源发电,清洁无污染,具有环保效益和资源节约效益。由于太阳能、风能等自然资源分布的不连续性、不稳定性,使得“三小电”系统的供电可靠性较低。在太阳能、风能资源匮乏季节和微水电资源的枯水期,必须使用备用发电系统解决用电问题。早期开发的“三小电”发电系统设备简单,发电机直接与负载连接,受自然资源制约较为严重。另外,由于早期系统中缺少电路控制子系统,特别容易造成用电负载的损坏。经过二十几年的发展,“三小电”技术日臻完善,现在的小风电系统、小光电系统和风光互补系统中都有复杂的控制电路和储能设备,增加和改善了监测与控制设备,提高了供电和用电安全性。通过对资源丰富期和枯竭期电量的合理调配,提高了供电连续性和可靠性。但现有系统的储能设备多采用铅酸蓄电池,需要反复充放电,造成了蓄电池寿命缩短,提高了系统的运行维护成本。微水电系统设备简单,从发电到用户转换环节少,多采用直接供电方式,不需要变电设备,能源利用效率高,管理和维护简单。

独立汽油/柴油发电系统,系统安装简单,维修简便,但是系统运行噪音大,并且汽油/柴油的燃烧会引起环境污染。

从以上技术概述可以看出,“三小电”发电技术与其他供电技术方案相比有着更高可行性。

2. “三小电”供电成本测算

2.1 动态平直供电成本

选择何种技术解决西部农村居民用电问题，除了考虑各种供电技术的技术性能以外，还要考虑其经济效率。目前中国仍属于发展中国家，需要投入大量资金进行社会主义现代化建设，因此必须在有限的资金范围内选择最佳方案，提高资金的用效率；另一方面，在市场经济下，技术产品应该是有竞争力的。

在市场竞争中，价格服务起着决定性作用，无论是延伸常规电网还是推广离网型发电技术，用电成本的高低是影响用户进行技术选择的关键因素，这决定了各种供电技术在市场上的竞争力和发展潜力。因此，在此项研究中我们选择了动态平直供电成本（Levelized Cost）作为评价不同供电技术经济性的指标。动态平直供电成本计算是将供电系统在整个寿命期内发生的各项费用(包括设备投资、运行维修费用等)全部折算为现值，再用等额分付因子分摊至系统运行期内的每一年，然后除以系统的年发电量，即为系统的动态平直供电成本。

在以往采用的静态平均成本计算过程中，是将系统在整个寿命期内发生的各项费用（包括设备投资，运行维修费用等）相加后除以系统在整个寿命期内的发电量。与动态平直成本相比，比较粗略。动态平直成本则充分考虑了资金的时间价值，更能反映各项技术的经济性和在市场上的竞争力。

2.2 动态平直供电成本的计算

动态平直供电成本的计算步骤：

- 1) 核算系统寿命期内发生的各项投资及费用，折为现值，并将其等额分摊至系统运行期内的每一年；
- 2) 确定系统的年发电量；
- 3) 计算动态平直供电成本。

表 2-1 各种发电技术的投资费用表

技术名称	规格 (W)	年发电量 (kWh)	寿命期 (年)	初始投资 (元)	维修费用
小风电	300W	673	15 年	4700	230 元/年
小光电	100W	198	20 年	4400	300 元/5 年
	25W	49.5	20 年	1325	300 元/5 年
微水电	300W	600	10 年	1200	30 元/年
风光互补	300W 风电 150W 光电	843	15 年	11630	1350 元/3 年

注：折现率按 6.3%计算
系统的年发电量可以采用系统最大的发电容量，也可以采用用电户的实际耗电量，本文计算中采用的是系统的最大发电量。

表 2-2 “三小电”技术的动态平直供电成本

技术名称	成本
------	----

		(元/kWh)
小风电		1.04
小光电	25W	3.95
	100W	2.38
微水电		0.44
风光互补		2.01

表 2-3 供电成本构成

名称		发电设备		控制电路		储能设备	
		(元kWh)	%	(元kWh)	%	(元kWh)	%
小风电		0.36	34.62	0.23	22.11	0.45	43.27
小光电	25W	1.67	42.28	0.18	4.56	2.10	53.16
	100W	1.67	70.17	0.18	7.56	0.53	22.27
风光互补		1.00	49.75	0.28	13.93	0.73	36.32
微水电		0.15	34.09	0.04	9.09	其他：0.25	56.82

表 2-1 中计算所涉及的参数，参照了 1996 年中美专家组对内蒙古地区户用发电系统的研究报告。四类典型技术合理的选择考虑了各地的资源状况，都具代表性。小风电案例选自内蒙古自治区锡林郭勒盟苏尼特右(西苏)旗。小光电案例和风光互补案例选自内蒙古自治区四子王旗。微水电案例选自江西省瑞金县岗西乡。

表 2-2 中动态平直供电成本的计算是以户用发电系统的年最大发电量计算的。发电量是根据各地的历史气象资料结合发电设备的技术参数测算的。

户用光伏发电系统首先假设同一月份内每天的日照情况是相同的，然后跟踪测量一日内各时段的太阳辐射能量，得到一日内太阳辐射能量强度的统计资料，将一日内各时段的太阳辐射能量加总计算出每日太阳辐射能量，再根据光伏电池的光电转换效率计算出每日发电量，乘以每月的天数可得到各月的发电量，将 12 个月份的月发电量求和即为系统的年发电量。

风力发电系统是根据过去的风力资源统计资料，主要是平均风速和一年内该风速持续时间，再根据风力机的输出功率曲线，利用风力发电机发电量计算公式计算出户用风力发电系统的年发电量。

户用风光互补系统的年发电量，这里采用了简单估计的方法，将 150W 户用光伏系统的年发电量与 300W 户用风力发电系统的年发电量相加得到互补系统的年发电量。这种估计方法，与系统实际的年发电容量有所偏差，但对供电成本的结果影响不大，而且大大减少了工作量。

以上计算得出的户用发电系统的发电容量都是系统的理论输出值，输电线路和蓄电池充放电都会造成能量损失，一般情况下，逆变器输电线路损失约为 10%，蓄电池充放电的能

量损失为 25%，将理论年发电量值乘以逆变器输电线路和蓄电池的效率（ 0.75×0.9 ）即为系统的年实际最大发电量，也就是表 2-1 中所列值。

2.3 几种供电技术的供电成本比较

近年来中国政府投入了上千亿的资金对农村电网进行改造，不仅大幅度降低了农村电价，也使一些边远地区的农牧民用上了电。然而，国家在山区农村进行农村电网改造计划也给山区的地方政府和供电公司带来沉重的财政负担。以湖南省湘西州为例，全州 2000 年电力建设投资为 2.9592 亿元，占各行业之首。由于山区面积大，变电站供电半径过大，人口居住分散，人均用电量少等原因，不少村寨的电价在 1.4 元/kWh 以上，最高的达到 5 元/kWh，但仍造成供电公司严重亏损。在人口仅有 13 万的小县古丈，该县前三年用于电网改造的资金共计 2700 万元，其中用于变电站建设 1400 万元，县城电网改造 300 万元，农村电网改造 1000 万元。在完成了 49 个村的农村电网改造后，目前古丈县的农村用电量每年仅有 280.53 万千瓦小时。其中 11 万农业人口的用电量只占 2.5 万非农业人口用电量的 4/5。县供电公司以 0.25 元/kWh 从大电网趸进电力，以 0.31 元/kWh 的价格从变电站卖出，毛收入为 0.06 元/kWh，每年县供电公司从全县农村电网上的营业收入只有 16 万元，要还清 1000 万元的贷款至少需要 70 年。该县如要完成全县 185 个村的农村电网改造，至少还需要投入资金 5000 万元以上。（数据资料来自本课题组《微水电部分调研报告》）

消火村是山西省灵川县的一个偏远山庄，山大沟深，道路不畅，自然条件的不足决定了村民居住分散。仅有 26 户人家 126 人的消火村，又分为 6 个自然村，无任何村办企业，人均年收入不足千元。最小的一个自然村荆芥只有一户人家，每月用电量不到 30kWh，为了该农户的一盏灯，县电业局为其立水泥杆 14 根， 25mm^2 的钢芯铝绞线 1600 米，共投资 9805 元。如果选用 100W 的风力发电机，总投资只需 1700 元就可解决问题。（资料来源：2001 年 9 月 4 日《中国电力报》）

从以上两个案例看，通过常规电网延伸的方法解决西部地区无电人口的通电问题经济负担过重，可行性大大降低。

独立汽油/柴油发电机的发电成本最高，主要是因为汽油/柴油发电机的燃料费用较高，再加上地处偏远交通不便造成不低的燃料运输费，使得汽油/柴油发电机的最终发电成本高达为 6.3-9.8 元/kWh（此数据来源于中国农村能源行业协会 2000 年产业发展报告中的《小光电 小风电 微水电》），远远超出了一般农民的经济承受能力。

在“三小电”发电技术应用中，微水电发电设备简单，为批量生产型，制造成本低。另外，微水电的管理维护简单，运行成本较低。所以，在“三小电”发电技术中微水电的供电成本最低，只有 0.44 元/kWh，特别适合于微水电资源丰富经济不发达地区的农民使用。

风电、光伏和风光互补系统的最终供电成本均超过 1 元/kWh，光伏和风光互补系统的成本高达 4 元/kWh 和 2 元/kWh。通过分析成本的构成可知，小风电、小光电和风光互补发电系统中蓄电池的维护更换费用分别占到 43%，53%，36%。目前“三小电”系统储能装置均来自市场上的铅酸蓄电池。由于“三小电”系统的发电状况随自然能源的变化而变化，造成蓄电池充放电次数多，缩短了蓄电池的使用寿命。同时，由于使用“三小电”系统的用户受教育程度低，缺少系统维护的知识和技能，经常出现蓄电池使用维护不当，这不仅会降低蓄电池的使用寿命，也会增加系统的维修费用，使系统的供电成本上升。

由于太阳能光伏电池造价较高，使得光伏和风光互补系统供电成本相应提高。在光伏和风光互补系统中，光伏电池的投资成本占最终供电成本的 50%。但是，从光伏产业的发展看，随着光伏电池制造技术的改进和生产规模的不断扩大，光伏电池的生产成本将大幅度下降。因此，光伏和风光互补系统经济性会不断加强，它们在市场中的竞争力也会不断提高。

通过上面的供电成本分析比较可以看出，与常规电网延伸和独立的汽油/柴油发电机相比，“三小电”在解决中国西部无电地区的通电问题上是具有竞争力的。

3. 推广“三小电”技术的外部效益测算

3.1 西部无电地区供电技术方案构想

3.1.1 基于无电地区可再生能源资源分布的技术配置方案构想

“三小电”的电能源由自然能转化而来，其供电连续性与供电量多少由当地自然资源分布决定。在构想无电地区的供电技术方案时，首先要考虑各地的资源状况，根据各地可再生能源资源分布特点，因地制宜地选择供电技术，保证供电安全性与可靠性。中国西部省区可再生能源资源分布状况见表 3-1。

表 3-1 西部省区可再生能源资源状况与技术配置方案构想

省份	无电户 (户)	自然资源状况			技术配置
		风能	太阳能	微水电资源	
云南	1200000	欠缺区	三类地区	丰富区	小光电/微水电
四川	1180000	欠缺区	五类地区	丰富区	微水电
甘肃	696718	北部属较丰富区 其它属欠缺区	北部属一类地区 中部属二类地区 东南部属三类地区	欠缺区	小风电/小光电
内蒙古	535608	丰富区	南部属二类地区	欠缺区	小风电/小光电
陕西	511950	欠缺区	三类地区	欠缺区	小光电
西藏	454200	较丰富区	一类地区	较丰富区	小光电/小风电
广西	440000	欠缺区	四类地区	丰富区	微水电
新疆	300416	较丰富区	南部属一类地区 北部属三类地区	欠缺区	小风电/小光电
重庆	190000	欠缺区	五类地区	丰富区	微水电
贵州	164325	欠缺区	五类地区	丰富区	微水电
宁夏	54501	较丰富区	南部属一类地区	欠缺区	小光电/小风电
青海	22740	较丰富区	东部属二类地区	较丰富区	小风电/小光电
合计	5750458				

注：1、各省无电人口统计数字依据“中国光明工程第一期行动计划”提供的数据统计；

2、太阳能资源统计选自《中国光伏发电商业化发展报告》；

3、微水电资源根据本课题组《微水电部份调研报告》中的数据资料整理而得；

4、风能资源根据《农业可持续发展与能源利用》中的资料整理而得；

处于西南部的四川、广西、贵州、重庆 4 个省市，风能和太阳能资源匮乏，微水电资源丰富。这里设定 4 个省市可以全部采用微水电解决无电地区的用电问题。云南的太阳能资源和微水电资源都比较充足，光伏系统和微水电系统均可以在这里推广发展。

位于西北的甘肃、内蒙古、新疆、宁夏、西藏、青海和陕西六个地区，太阳能、风能充足，这些省的大面积地区都属于太阳能资源分布的一类地区和二类地区，同时又处于风能丰富区，较丰富区或可利用区，可以考虑选用小光电、小风电及风光互补发电系统。

3.1.2 基于无电地区经济发展状况的技术配置构想

发电系统的功率必须与用户负载状况相匹配，才能满足用户用电需求，而用户经济状况决定了他们的用电需求。因此供电方案的技术配置必须与农民收入水平相适应，在满足用电需求的同时又不能超出他们的支付能力。300W 的微水电系统和 25W 的光电系统适用于低收入群体，100W_p 的光伏系统和 300W 的风电系统比较适用于中等收入家庭，经济收入高、用电负载多的家庭可以选用 300W 风电和 100W_p 的风光互补系统。

处于西南的四川、广西、贵州、重庆 4 个省市，无电地区多为偏远山区，生产力落后，农户收入以农业为主，绝大多数农民属于低收入群体，家庭用电需求较低，这里我们假定 300W 的微水电系统最适合该地区。

云南的太阳能资源和微水电资源都比较充足，按照当地农民的收入水平，假定 300W 的微水电、25W 的光电和 100W 的光电系统推广比例分别为 35%，35%和 30%。

与西南几省情况不同，西北的甘肃、内蒙古、新疆、西藏、宁夏、陕西几省的无电牧区，畜牧业发达，部分牧民生活水平较高。户均年收入超万元的牧户家庭有许多，冰箱、彩电、电视卫星接收器、VCD、洗衣机等家用电器一应俱全，需要较高功率的发电设备与之匹配。300W 风电和 150W_p 光伏电池构成的互补系统，能够满足高收入家庭对电力的需求；中等收入的牧民家庭可以选择 100W_p 的光伏系统和 300W 的风力系统；低收入的家庭可以选择 25W_p 的光伏系统。所以我们假定这几个地区的供电技术配置方案为小光电、小风电、风光互补系统，高、中、低收入的用户比例为：20%，45%和 35%。

3.1.3 西部无电地区供电技术配置方案构想

根据西部无电地区可再生能源资源特点和农牧民实际支付能力确定的用电负载需求，给出如表 3-2 所示的最终西部地区供电技术配置方案构想。该项方案将是我们测算推广“三小电”技术各种外部效益的基础。

表 3-2 西部地区供电技术配置方案构想

技术名称	家庭经济状况	采用的无电户数		所占比例 %	
微水电 300W	低收入	2394325	3715972	41.64	64.62
小光电 25W		1321647		22.98	
小风电 300W	中等收入	579630	1519259	10.08	26.42
小光电 100W		939629		16.34	
风光互补 风电 300W-光伏 100W	高收入	515227		8.96	

3.2 经济效益

“三小电”项目的经济效益可以从直接经济效益和间接经济效益两个方面加以考虑。在这里，我们以上面提出的“西部无电地区供电技术配置方案构想”为依据测算未来得以实现的外部经济效益。

3.2.1 直接经济效益

“三小电”技术的推广为可再生能源企业开辟了巨大的市场，可以促进可再生能源企业的发展，创造工业增加值，为国民经济增长做出贡献，为社会创造新的就业机会。企业上缴的增值税和所得税等其它税费还可以增加国家和地方的财政收入。

从表 3-4 我们可以看出，因“三小电”技术推广，可再生能源产业可为国民经济贡献 61.23 亿元 GDP（增加值），为中央和地方财政带来 13.88 亿的税收，创造就业机会 13.06 万个。根据表 3-3 所示的基本效益参数，我们可以计算出“西部无电地区供电技术配置方案构想”实现后带来的可再生能源生产企业的销售收入、增加值、增值税、所得税四项效益指标和新创就业机会（数据见表 3-4）。

表 3-3 可再生能源企业的基本效益参数

系统类型		推广比例	单价 (元/套)	增值税/ 销售价格 %	所得税/ 销售价格 %	劳动生产率 (万元/ 人·年)
风光互补系统		8.96	12000	6	2	15
微水电系统		41.64	1070	6	2	8
小光电 系统	25W	22.98	1325	6	2	15
	100W	16.34	4400	6	2	15
小风电系统		10.08	4700	6	2	15

数据来源：1) 表中所涉及的有关小风电、小光电、风光互补系统的数据来自 2001 年课题组对内蒙古国飞新能源有限公司的调查；

2) 微水电系统的数据来自 2001 年课题组对广西省平南县光华电器机电厂的调查。

表 3-4 可再生能源产业创造的效益

系统类型	推广套数 (万)	销售收入 (亿元)	增加值 (亿元)	增值税 (亿元)	所得税 (亿元)	就业机会 (万人)
风光互补	51.52	61.82	21.82	3.71	1.24	4.12
微水电	239.43	25.62	9.06	1.54	0.51	3.20
小光电	226.13	58.85	20.76	3.53	1.18	3.92
小风电	57.96	27.24	9.59	1.63	0.54	1.82
合计	575.04	173.53	61.23	10.41	3.47	13.06

表中数据计算说明：1) 销售收入=推广套数*销售单价；

2) 增值税=销售收入*（增值税占销售单价的比例）

3) 所得税=销售收入*（所得税占销售单价的比例）

4) 就业机会=销售收入/劳动生产率

3.2.2 间接经济效益

大力发展“三小电”不仅带动可再生能源生产企业发展，对其他产业也具有一定推动效应。“三小电”应用技术的推广解决了边远地区 500 多万户的生活用电，启动了潜在的家用电器消费市场，带动了家用电器工业增长，增加了国家和地方税收，并创造了新的就业机会。

(1) 用电器市场潜在需求量的估算

按照无电户生活水平高低，其用电水平可分为高、中、低三个档次。家用电器及用电量估算见表 3-5。

表 3-5 农牧户家用电器负载配置表

档次	用电器	数量	功率 (W)	日用电量(kWh)
低 3715972 户	节能灯	2	9	0.072
	收录机	1	10	0.03
	合计			0.102
中 1519259 户	节能灯	3	9	0.108
	黑白电视	1	30	0.35
	收录机	1	10	0.06
	合计			0.258
高 515227 户	节能灯	5	9	0.18
	彩电	1	70	0.35
	收录机	1	20	0.06

	冰箱	1	120	0.96
	洗衣机	1	280	0.28
	合计			1.83

注：表中数据摘自《农村能源行业协会报告》，2000年。

根据不同收入通电户数（参见表 3-2）和各类收入户家用电器使用情况，可以计算出家用电器需求，计算结果见表 3-6。

表 3-6 各种家用电器需求量和价格

电器名称	需求数量 (万)	销售单价 (元)	电器名称	需求数量 (万)	销售单价 (元)
节能灯	1456.59	3	彩色电视	51.52	1500
收录机	575.05	200	洗衣机	51.52	700
黑白电视	151.93	600	冰箱	51.52	1400

(2) 间接工业增加值、增值税、就业机会量化计算

根据电器行业的效益参数（表 3-7）和上面家用电器销售量估算，我们可以计算出“三小电”技术推广创造的间接工业增加值、增值税、就业机会，计算结果见表 3-8。从表 3-8 我们可以看出，由于“三小电”技术推广，家用电器产业可为国民经济贡献 9.88 亿元 GDP（增加值），为财政带来 1.69 亿的税收，创造就业机会 2.25 万个。

表 3-7 电器行业效益参数

	工业增加值率 (%)	全员劳动生产率 (元/人·年)
电气机械及器材制造业	24.93	43863.89

注：1) 以上数据摘自《中国统计年鉴》（2000）表 13-19；

2) 工业增加值率=工业增加值/工业总产值；

3) 全员劳动生产率=工业增加值/全部从业人员平均人数

表 3-8 “三小电”建设创造的间接经济效益和就业机会

电器名称	销售收入 (亿元)	增加值 (亿元)	增值税 (亿元)	就业机会 (万人)
节能灯	0.44	0.11	0.02	0.02
收录机	11.50	2.87	0.49	0.65
黑白电视	9.12	2.27	0.39	0.52

彩色电视	7.73	1.93	0.33	0.44
洗衣机	3.61	0.90	0.15	0.21
冰箱	7.21	1.80	0.31	0.41
合计	39.61	9.88	1.69	2.25

表中数据计算说明：1) 销售收入=用电器需求数量*销售单价

2) 增加值=销售收入*工业增加值率

3) 增值税=增加值*增值税率（17%）

4) 就业机会=增加值/全员劳动生产率

3.3 社会效益

3.3.1 改善公平性

目前中国绝大多数地区和人口已经使用了电力资源,这对尚未用上电的地区来说存在着一些不公平性。在生产力落后的西部无电地区,扶持弱势群体发展,缩小贫富差距,实现全社会福利最大化是政府部门的职责与目标。推广“三小电”应用技术的一个主要社会效益就是改善社会公平程度。

3.3.2 生活质量提高

偏远地区通电后,农牧民将告别日出而作,日落而息的传统生活方式。各种家用电器及生产设备的使用,大大降低农民劳动强度,有利于农村地区人民健康水平提高,并且增加农牧民休闲娱乐时间,有助于改善农村文化生活,提高生活质量。

3.3.3 有利于卫生、医疗水平提高

使用电力提水机,可以改善人畜饮水卫生状况,有利于身体健康。电力发展可以促进农村医疗条件和医疗水平改善。

3.3.4 提高劳动力素质,有利于当地经济持续发展

通电后,农牧民可以通过收看电视、收听广播获取科技与经济信息,结束长期以来闭塞的生活状态,更多了解外界社会,使当地劳动者素质得以提高,有助于逐步改变当地贫穷落后的面貌。另外,通电可以大大改善农牧民及其子女学习条件,有助于提高整个地区人口素质,有利于实现地区可持续发展。

3.3.5 创造就业机会

“三小电”应用技术推广可以促进可再生能源产业发展,从而为社会带来更多就业机会。另外,无电村通电后,农牧户对家用电器有了消费需求,可拉动家用电器产业发展,也会带来新的就业机会。上面提出的供电技术配置方案构想可以为整个社会创造 15.31 万个就业机会。(计算过程详见上面经济效益分析部分中的表 3-4 和表 3-8)

3.4 能源效益

根据西部无电地区农牧户年用电量,用“三小电”技术供电每年开发利用可再生能源 78071 万 kWh,相当于 31.22 万吨标准煤,这对促进农村地区电源多样化和提高国家能源安全都是非常有益的。

3.5 环境效益

“三小电”技术利用可再生能源（太阳能、风能、水力资源）供电，与常规电网中燃煤发电技术相比，采用“三小电”技术供电可以避免 CO₂、SO₂、NO_x 和烟尘的排放。无电户在未来采用“三小电”技术供电，年可再生能源开发 78071 万 kWh，每年可避免环境损失效益达 6507.6 万元，计算过程和结果见表 3-9。

表 3-9 “推广三小电”技术主要环境效益

	排放系数 (t/tce)	减排量 (万 t)	单位减排效益 (元/t)	减排效益总量 (万元)
CO ₂ (t-c)	0.726	22.67	208.5	4726.7
SO ₂	0.022	0.69	1260	969.4
NO _x	0.01	0.31	2000	620.0
年减排烟尘	0.017	0.53	550	291.5
合计				6507.6

表中数据计算说明：

4) 电量的等价值为 4tce/万 kWh，利用“三小电”技术每发 1 万度电就可以替代 4 吨标煤，

同时避免 4 吨标煤燃烧所排放的 CO₂，SO₂，NO_x，烟尘等有害物质。

5) 减排量=总的电量需求*4(tce/万 kWh)*减排系数

6) 减排效益总量=减排量*单位减排效益

4. 结论

综合以上几种备选供电技术供电成本分析，“三小电”应用技术是目前解决西部无电地区用电问题较为理想方案。随着“三小电”技术水平不断提高和经济效益不断强化，“三小电”应用技术在未来解决中国西部无电地区用电问题中将具有更大潜力和竞争力。

通过对“三小电”外部效益测算，在西部无电地区推广“三小电”技术不仅在经济上有竞争力，而且会带来更多社会、经济、能源、环境效益。采用“三小电”技术为西部偏远无电地区供电（指采用本报告提出的技术配置构想方案），对国民经济（GDP）的贡献可达 71.11 亿元，增加税收 15.57 亿元，创造就业机会 15.31 万个，年实际可再生能源开发利用量 31.22 万吨标准煤。另外，同煤电供电方案相比，每年可创造 6507.6 万元环境效益。

尽管以上计算分析是初步的，但它能在很大程度上给政府部门提供可靠可行的决策依据，使“三小电”技术早日在西部地区推广和实施，从而解决中国西部无电地区通电问题。

附件 5

促进中国农村地区分散型可再生能源发电系统发展的政策研究

“三小电”标准化与质量保证体系调研报告

焦庆余 罗振涛 编

项目课题组

2002 年 7 月

项目参加人员

负责人：邓可蕴	高级工程师	中国能源研究会
参加者：钟挺	副研究员	农业部微水电中心
李德孚	教授级高工	中国农村能源行业协会小型电源专委会
李安定	研究员	中国科学院电工研究所
张希良	副教授	清华大学现代管理研究中心
陈荣	博士研究生	清华大学现代管理研究中心
焦庆余	研究员	辽宁省能源研究所
罗振涛	研究员	中国科学院石家庄农业现代化所

前 言

中国有丰富的可再生能源资源，开发利用它们发电、上网、如水电、大型风力发电等，在中国的能源生产结构中已经呈现了日益显著的作用；但也有些是网外独立运行的，如微型水电、小型风力发电、独立的光伏发电等等，虽然在网外，被称为分散型可再生能源发电系统，目前对中国却有它特殊的贡献，因为它们都是最现实可行的、能够加快解决西部贫困山区、牧区 and 水上渔家这几千万无电人口的供电问题。

建立本项目的目的，是要系统地了解这些分散型可再生能源供电系统的现状、它的潜能、发展障碍以及政府应采取的政策，从而推动它们为中国的西部开发和加速消除贫困做出更好的贡献。

这个项目是在国家发展计划委员会基础产业司与农业部科教司的指导下，并得到美国能源基金会的资助，由中国能源研究会农村能源专业委员会和中国农村能源行业协会小电源专业委员会共同承担的。课题组不仅查阅分析了大量资料，并到内蒙古、青海、贵州、广西、湖南、江苏、湖北等地进行了实地考察调研，而且于 2001 年 6 月、9 月、2002 年元月先后召开了三次研讨会，于 2001 年 8 月、2002 年 4 月与 EF 基金会的咨询专家两次座谈，所有这些活动都直接有助于本项目的成功完成。

课题组全部报告材料为：

- (1) 项目综合报告：《促进中国农村地区分散型可再生能源发电系统发展的政策研究》 焦庆余执笔，邓可蕴统稿；
- (2) 综合报告附件 1：《微水电调研报告》 钟 挺；
- (3) 综合报告附件 2：《小型风力发电调研报告》 李德孚；
- (4) 综合报告附件 3：《太阳光伏发电调研报告》 李安定；
- (5) 综合报告附件 4：《在中国西部地区推广“三小电”技术的成本比较与外部效益分析》 张希良 陈荣；
- (6) 综合报告附件 5：《“三小电”标准化和质量保证体系调研报告》 焦庆余 罗振涛。

农业部郑波先生、农业部微水电中心朱兆玲女士、中国科学院电工所沈国缪先生等参与报告英译文工作，在此一并表示谢意。

项目课题组

2002 年 7 月 5 日

目 录

前 言	130
1. 微水电标准化体系与质量检验体系建设	130
1.1 建立健全微水电标准化体系的重要性和紧迫性	130
1.2 微水电标准体系的五个组成部分	131
1.3 微水电系列标准的名称与主要内容	131
1.4 微水电标准的现状	133
1.5 微水电标准的制修订计划	134
1.6 微水电质量检验体系	136
2. 离网型风力发电标准体系与质量检验体系的建设	136
2.1 小型风力机国家标准	136
2.2 小型风力机行业标准	137
2.3 待编制的小型风力机标准	137
2.4 小型风力机质量检验体系	138
3. 太阳光伏发电系统标准体系与质量检验体系建设	140
3.1 基础标准	141
3.2 单体太阳电池及组件（光伏器件）通用标准	143
3.3 单体太阳电池及组件（光伏器件）产品标准	143
3.4 太阳电池方阵及子方阵通用标准	144
3.5 太阳电池方阵及子方阵产品标准（空缺）	144
3.6 晶体硅光伏方阵 I—V 特性的现场测量	144
3.7 太阳光伏能源应用系统产品标准（空缺）	144
3.8 太阳光伏能源系统检测设备通用标准	144
3.9 ISO 涉及太阳光伏的标准	145
3.10 太阳光伏能源系统检测设备产品标准	145
3.11 太阳光伏能源系统安全通用标准	145
3.12 太阳光伏能源系统安全产品标准（空缺）	145
3.13 标准修改情况	145
3.14 质量检验体系	146

前 言

中国《标准化法》和《世界贸易组织/贸易技术壁垒协定》都明确指出：要积极采用国际标准和国外先进标准，是中国一项重大的技术经济政策，也是推进技术进步、提高产品质量的一项重要措施，是参与国际竞争的前提，中国加入 WTO 后更为重要。

采用国际标准和国外先进标准是技术引进的捷径，特别是对培育和发展社会主义市场经济体制，推进现代化企业制度的建立，加快与国际接轨，显得尤为重要和迫切。

国家经贸委在新能源和可再生能源产业发展“十五”规划中明确提出了新能源和可再生能源标准体系建设。继续组织制定和修订有关产品和零部件的国家标准，包括产品性能、试验方法和能效标准以及系统的安装、设计。

建立新能源和可再生能源质量保证体系，逐步建立国家级产品质量检测中心和质量控制体系，是急待解决的问题。

国家在组织实施“中国光明工程”中为了规范风力发电市场，保障用户使用合格的产品，得到良好的服务，保证中国风力机发电系统的健康发展，经中国风力机标准化技术委员会申请国家质量技术监督局批准立项，中国发展计划委员会安排专项资金，由北京计科电组织可再生能源技术开发中心组织 23 个有关单位起草 17 个并网风力发电机和 35 个离网型风力发电机相关标准，与已有的标准一起建立完善的中国风力机标准化体系。

农业部下设的微水电设备质量监督检验测试中心向农业部报送了微水电标准化体系的建议，农业部将对标准化体系建设做出安排，分期分批逐步制定标准，并逐步形成体系。

太阳光伏发电系统标准化体系建设已取得可喜成果，而且今后标准化工作将与国际接轨，与 IEC 组织标准制定相衔接。

1. 微水电标准化体系与质量检验体系建设

1.1 建立健全微水电标准化体系的重要性和紧迫性

微水电作为一种环保型的可再生能源，受到世界各国的重视。我国政府也在大力扶持微水电的科研和推广工作，并把它作为山区农村能源建设的一个重要的组成部分。目前，我国国内的微水电设备年销售额已经达到 5000 万元以上，微水电用户在 50 万户左右（农业部统计数据为 31.6 万户）。从我国山区现在的无电人口数量分析，在 2010 年我国的微水电用户完全有可能达到几百万户，并且通过微水电的推广为国家节省上千亿元的电力建设投资。

然而，微水电是涉及人身安全的产品，微水电的用户又是文化程度很低的山区农民。因此，建立健全微水电质量监督体系和售后服务体系成了目前我国微水电行业发展亟待解决的基础性问题。而微水电标准体系正是质量监督体系建设的依据。由于我国现行的微水电标准数量少，无法形成完整的标准体系，致使微水电的质量监督体系无法正常运行。政府也无法依据标准来规范微水电市场，至今我国的微水电还是劣质低价产品充斥市场：这些产品有些以小功率冒充大功率，欺骗用户；有些没有稳压装置，没有安全保护措施，存在着安全隐患，也影响了使用安全性；有些产品使用寿命很短，有的甚至不到两年，而且每年的维修费用占机组售价的 30% 还多；甚至有些是没有标志、生产厂家和使用说明书的“三无”产品等等。这些，都严重地影响了微水电行业的正常发展。

尽管近几年我国在微水电稳压稳频控制技术研究方面取得了较大的成就，有些项目已经达到国际水平。但由于受到价廉的劣质产品冲击，市场占有率一直较低，以至于一些有实力的企业不敢在微水电行业加大投入。我国现在已加入世贸组织，国际交往与合作已变成一种趋势，如果没有健全的标准体系来执行，与国际接轨就无从谈起。

我国现行的微水电标准存在如下一些问题：

- 1) 数量少，不足以对产品进行全方位的质量控制。
- 2) 标准规定的指标过时，妨碍了微水电技术的发展。
- 3) 若要与国际接轨，内容上需要更改。

制定完整的微水电标准体系已成为微水电行业发展的迫切需要，迫在眉睫，势在必行。

1.2 微水电标准体系的五个组成部分

(1) 与微水资源利用有关的总体性指导标准

这类标准用来统一微水电适用范畴、应用领域的基本概念、定义和微水资源利用的计算方法。如：微水电资源的调查与评估方法、名词术语等。

(2) 与安全有关的微水电安装规范

这类标准用来指导微水电的正确安装使用，确保安全和充分发挥微水电的作用。如：微水电站安装通用技术要求、冲击式机组安装规范、反击式机组安装规范、明槽式机组的安装规范(明槽式是反击式中的一个特例，其安装方式与普通反击式完全不同，故单独列出)等。

(3) 与微水电产品有关的质量判定标准

这类标准对微水电整机、部件的产品质量提出具体要求，以明确各类产品的具体判定项目、内容、方法。如：微水发电机组的技术要求、试验方法、质量检验规程、水轮机技术要求和试验方法、发电机技术要求和试验方法、控制器技术要求和试验方法。

(4) 与产品质量保障体系有关的标准

这类标准对确保产品质量应建立的质量保证体系做出明确规定。如：鉴定规范、可靠性和耐久性试验方法、安全设计规范。

(5) 与提高微水电标准化、系列化水平和方便用户选型的指导性标准

这类标准以微水电的内在规律为依据，对整机和部件的接口进行标准化、系列化分类，为整个微水电行业减少零部件的品种，增加可供用户选用的微水电品种和用户选型提供方便。如：微水电设备的型谱和基本参数；微型水轮机和发电机的标准接口图册等。

注：第 5 类标准也可列在第 1 类中。

1.3 微水电系列标准的名称与主要内容

微水电系列标准名称与主要内容见表 1-1。

表 1-1 微水电系列标准名称、主要内容、计划

分 类	序 号	标 准 名 称	主 要 内 容	计划安排
1	1	微水电资源调查与评估方法	明确微水资源的测量、测试与计算评估方法。	2004~2006

	2	微型水力发电系统术语	对涉及微水电系统的有关名词统一定义。	2004~2006
2	3	微水电站安装通用技术要求	对微水电站的蓄水、引水、排水、输电线路、进户安装、机房等通用性安装问题做出明确规定。因 3 类型式的发电设备结构差异，设备的安装由各自的安装规范给予明确。	2003~2004
	4	冲击式微水电安装规程	对冲击式微水电设备安装做出明确规定。	2004~2005
	5	反击式微水电安装规程	对反击式微水电设备安装做出明确规定。	2004~2005
	6	明槽式微水电安装规范	对明槽式微水电设备安装做出明确规定。	2004~2005
3	7	微型水力发电设备技术条件 GB/T17522-98 修订名	明确微型水力发电设备整机技术条件、产品型号命名规则、产品系列推荐的功率等级。	2003 ~ 2004 国标修订
	8	GB/T17522-98 微型水力发电设备试验方法	根据技术条件的要求，明确各要求的试验方法。	2003 ~ 2004 国标修订
	9	GB/T17522-98 微型水力发电设备质量检验规程	明确检验分类、各技术指标的重要程度、检验结果的判定方法。	2003 ~ 2004 国标修订
	10	微型水力发电设备质量分等	给出各技术指标的质量分等量值和综合判定方法。	已制订待批
	11	微型水轮机技术条件	明确微型水轮机的技术要求、技术指标、产品型号命名规则、系列产品推荐的参数值。	2004~2005
	12	微型水轮机试验方法	对微型水轮机的试验方法做出明确规定。	2005~2006
	13	微水电发电机技术条件	微水电发电机的技术要求、技术指标、产品型号命名规则、系列产品推荐的参数值。	2004~2005
	14	微水电发电机试验方法	对微水电发电机的试验方法做出明确规定。	2005~2006
4	15	微型水力发电设备鉴定规范	对鉴定内容、程序、方法、格式等做出明确规定	已制订待批

	16	微型水力发电设备 控制器技术条件	明确微水电控制器的技术要求、技术指标、产品型号命名规则；与微水电设备主机的联接方法。	已制订待批
	17	微型水力发电设备 控制器试验方法	对微水电控制器的试验方法做出明确的规定。	2003~2004
	18	微型水力发电设备 安全设计规范	强调保证微水电产品安全所必须遵循的设计步骤、计算方法、验证方法。	2005~2006
	19	微水电可靠性和耐 久性试验方法	对可靠性、耐久性试验方法做出明确规定。	2004~2006
5	20	微型水力发电设备 型谱与基本参数	将经过验证证明可供用户选用的微水电整机分3大类列出其结构参数和性能参数。	2005~2006
	21	微型水轮机 标准接口图册	对3大类微型水轮机，按功率等级列出输出接口的标准结构与具体尺寸。	2005~2006
	22	微水电发电机 标准接口图册	对微水电发电机，按功率等级列出输出接口的标准结构与具体尺寸。	2005~2006
合 计		标准体系合计为5类22项，其中已发布使用的3项，报批3项，需制订16项，修订3项		

1.4 微水电标准的现状

中国微水电以前与小水电捆在一起，由水利部主管，1991年划归农业部管理并成立了农业部微水电设备质量监督检验测试中心。1993年立项编制微水电技术条件等四项国家标准。1998年10月国家技术监督局批准公布了微水电技术条件等四项国家标准。

四项国家标准为：

- GB/T17522—1998

微型水力发电设备基本技术要求

General requirements for micro-hydro generator equipments

- GB/T17523—1998

微型水力发电设备试验方法

Specification for tests of micro-hydro generator equipments

- GB/T17524—1998

微型水力发电设备质量检验规程

Inspection regulation for micro-hydro generator equipments

- GB/T17525—1998

微型水力发电设备安装技术规范

Specification for Installation of micro-hydro generator equipments

这四项国家标准的基本情况如下：

- 1) 正在使用，但须尽快修订的为前 3 项。
- 2) 没有实质内容，且不作为标准体系的为第 4 项。

中国农业部南京农业机械化研究所、农业部微水电设备质量监督检验测试中心根据 1999 年农业部下达的农业行业标准制、修订项目计划的要求，于 2000 年上报了四项农业部标准，并待批准，为：

- 微型水力发电设备鉴定规范

Identification Criteria for Micro Hydraulic Generator Equipment

- 微型水力发电设备质量分等

Quality Classification for Micro Hydraulic Generator Equipment

- 微型水力发电设备电子式控制器技术条件

Technical Conditions for Electronic Auto-Balance for Micro Hydraulic Generator Equipment

- 微型水力发电设备安全操作规程

Specification on Safe Operation for Micro Hydraulic Generator Equipment

上述报批的行业标准 4 项，基本情况如下：

- 1) 作为标准体系中的为前 3 项。
- 2) 属于过渡性标准的为第 4 项，由于微水电正处在标准体系的建立过程中，拟定的安装通用技术条件、3 种形式机组的安装规范一时还编写不出来，但在安装中又急需一个指导安装安全的标准，因此，建立了这个过渡性标准。
- 3) 作为标准体系，共需标准 22 项，已建 6 项，还须制订 16 项，但其中 3 项国标因内容不够齐全，规定不太合理，可操作性不佳，也急需修订。因此微水电标准体系需制修订的标准为 19 项。

1.5 微水电标准的制修订计划

微水电标准制修订计划见表 1-2。

表 1-2 微水电系列标准制修订计划表

序号	标准名称	制修订	承担与参加单位	计划时间
1	微水电资源调查与评估方法	制订	农业部微水电中心、水利部农电所、4 省农村能源办、4 市农村能源办	2004~2006
2	微型水力发电设备名词	制订	三小电行业协会、农业部微水电中心、水利部农电所、4 省农村能源办、4 市农村能源办	2004~2006
3	微水电站安装通用技术要求	制订	农业部微水电中心、水利部农电所、4 市农村能源办	2003~2004
4	冲击式微水电安装规程	制订	农业部微水电中心、水利部农电所、4 市农村能源办	
5	反击式微水电安装规程	制订	农业部微水电中心、水利部农电所、	2004~2005

			4 市农村能源办	
6	明槽式微水电安装规范	制订	农业部微水电中心、水利部农电所、 4 市农村能源办	2004~2005
7	微型水力发电设备技术条件	国标修订	农业部微水电中心、水利部农电所、 4 市农村能源办、生产企业	2003~2004
8	微型水力发电设备试验方法	国标修订	农业部微水电中心、水利部农电所、 4 市农村能源办、生产企业	2003~2004
9	微型水力发电设备质量检验规程	国标修订	农业部微水电中心、水利部农电所、 4 市农村能源办、生产企业	2003~2004
10	微型水力发电设备质量分等	已制订待批		
11	微型水轮机技术条件	制订	农业部微水电中心、江苏大学	2004~2005
12	微型水轮机试验方法	制订	农业部微水电中心、江苏大学	2005~2006
13	微水电发电机技术条件	制订	农业部微水电中心、上海电器所	2004~2005
14	微水电发电机试验方法	制订	农业部微水电中心、上海电器所	2005~2006
15	微型水力发电设备鉴定规范	已制订待批		
16	微型水力发电设备控制器技术条件	已制订待批		
17	微型水力发电设备控制器试验方法	制订	农业部微水电中心、南京电子数控 仪器厂	2003~2004
18	微型水力发电设备安全设计规范	制订	农业部微水电中心、水利部农电所、 江苏理工大、上海电科所	2005~2006
19	微水电可靠性和耐久性试验方法	制订	微水电中心、水利部农电所、江苏 理工大、上海电科所、4 市农村能源 办	2004~2006
20	微型水力发电设备型谱与基本参数	制订	农业部微水电中心、生产企业	2005~2006
21	微型水轮机标准接口图册	制订	农业部微水电中心、生产企业	2005~2006
22	微水电发电机标准接口图册	制订	农业部微水电中心、生产企业	2005~2006
合计	微水电共计有标准 5 大	需制修订 19		2003~2006

	类 22 项。	项, 共计 198 万元		共 4 年时间
--	---------	-----------------	--	---------

注：微水电标准体系应为 22 个，已发布 4 个国标中的 GB/T17525-1998 不适用，不属于标准体系的组成部分；待批的 4 个行标中，微型水力发电设备安装安全规范属过渡性标准，待 4 项安装标准发布后将失去其作用。因此，制修订的微水电标准总数应为 19 项。

随着西部大开发战略及“扶贫开发”的实施，当前应加快制订微水电标准的修订和编制规划，做到每年制、修订二至四个标准，“十五”期间基本建成微水电标准体系。在标准制定过程中，主要技术指标要在充分考虑中国国情的同时，尽可能与国际接轨。

1.6 微水电质量检验体系

1991 年微水电的科研、推广应用划归农业部管理，在农业部下属的科研院所筹建农业部微水电设备质量监督检验测试中心，1998 年 12 月通过了国家技术监督局的计量认证和农业部的机构认可。测试中心 2002 年将建设完成，将具有较强的检测手段，能够对微水电产品进行质量检测和评定。

根据中国微水电发展状况，建立微水电质量保证体系是必要的。在农业部微水电设备质量监督检验测试中心基础上、建立国家级微水电产品质量检测中心和质量控制体系，落实经费积极开展微水电发电设备及零部件的检测，建立实行市场许可证和安全许可证制度以及质量抽查制度。

2. 离网型风力发电标准体系与质量检验体系的建设

中国风力机械标准化委员会经国家质量技术监督局批准于 1985 年成立，其代号为 TC50，与国际电工委员会 IEC/TC88 对口联络，负责中国风力机械标准化归口工作。已收集到 IEC61400-1 风力发电机组安全要求，IEC61400-12 风力发电机系统风轮功率特性试验等十多个国际标准，逐步转化为中国标准。

2.1 小型风力机国家标准

1989 年起，中国发布了 7 个与小型风力发电相关的国家标准为：

- GB8116-87

风力发电机组型式基本参数

Wind-generating sets-Type and basic parameters

- GB8974-88

风力机名词术语

Terminology of wind energy conversion system

- GB8975-88

风力机械产品型号标准规则

Rule for naming the product of wind energy conversion system

- GB1076.1-89

小型风力发电机组技术条件

Specification for small wind generators

- GB17646—1998

小型风力发电机组安全要求

- GB/T13981—1992

风力发电机组设计通用要求

Design general requirements for wind energy conversion system

- GB/T16437—1996

小型风力发电机支架的安全要求

2.2 小型风力机行业标准

1993 年~1999 年发布了 13 个小型风力机械行业标准，这些标准为：

- JB/T10137—1999 提水和发电用小型风力机试验方法
- JB/T9740.1—1999 低速风力机系列
- JB/T9740.2—1999 低速风力机型式与基本参数
- JB/T9740.3—1999 低速风力机技术条件
- JB/T9740.4—1999 低速风力机安装规范
- JB/T51067—1999 风力发电机组产品质量分等
- JB/T51076—1999 风力发电机组用发电机产品质量分等
- JB/T50140—1999 风力提水机组产品质量分等
- JB/T6939.1—199 小型风力发电机组用控制器技术条件
- JB/T6939.2—199 小型风力发电机组用控制器试验方法
- JB/T7143.1—199 风力发电机组用逆变器技术条件
- JB/T7143.2—199 风力发电机组用逆变器试验方法
- JB/T7323—1994 风力发电机组试验方法

2.3 待编制的小型风力机标准

根据发展规划“十五”期间将有一批标准待编制，如下表所示：

表 2-1 风力机标准编制计划表

序号	类别	标准名称	制定完成时间(年)
1	JB	离网型风力发电机组安装规范	2002
2	GB	离网型风力发电机组试验方法	2002
3	JB	离网型风力发电机组可靠性要求	2002
4	GB	户用风光互补发电系统技术条件	2002
5	GB	户用风光互补发电系统试验方法	2002
6	JB	离网型风力发电机组安装验收规范	2002
7	GB	离网型风力发电机组技术条件	2002

8	JB	离网型风力发电系统售后服务规范	2002
9	GB	离网型风力发电机组风洞性能试验方法	2002
10	JB	离网型风力发电机组风轮叶片技术条件	2002
11	GB	离网型风力发电机组用发电机技术条件	2002
12	GB	离网型风力发电机组用发电机试验方法	2002
13	JB	离网型风力发电机组用齿轮箱技术条件	2002
14	JB	离网型风力发电机组用齿轮箱试验方法	2002
15	JB	离网型风力发电机组控制器技术条件	2002
16	JB	离网型风力发电机组控制器试验方法	2002
17	JB	离网型风力发电机组制动系统技术条件	2002
18	JB	离网型风力发电机组制动系统试验方法	2002
19	JB	离网型风力发电机组偏航系统技术条件	2002
20	JB	离网型风力发电机组偏航系统试验方法	2002
21	JB	离网型风力发电机组塔架技术条件	2002
22	JB	离网型风力发电机组塔架试验方法	2002
23	JB	离网型风力发电机组基础及连接技术条件	2002
24	JB	离网型风力发电集中供电系统运行管理规则	2002

由于中国“光明工程”的实施，这些标准的制订会加快。

2.4 小型风力机质量检验体系

为确保小型风力发电机组的产品质量和技术水平，国家设立了两个检测机构，即北京八达岭风力发电试验站；内蒙古赛汉塔拉风电测试场。其主要任务是对生产企业制造的新产品按设计要求进行机械性能测试，并在野外进行 2000 小时以上的无故障耐久试验，对大专院校、科研院所研制开发的科研样机按设计要求进行性能测试，并对样机在野外进行 600 小时以上的无故障运行考核。

(1) 北京八达岭风力发电试验站

北京八达岭风力发电试验站是 20 世纪 70 年代末由原水电部筹建的面向全国的风力发电试验站。其任务是：对风力发电机进行测试、鉴定、推广、应用，并进行试验与测试方法的研究，国内外风电技术情报的交流以及举办学习班，培训全国风力发电技术人员。后经能源部、电力部、国家计委、经委、科委等有关部委的大力支持，建成为风力发电技术的科研、试验、技术交流和人员培训四个中心，并逐步建成了国家检测中心。

试验站地处游览胜地北京八达岭，距北京市区 65km。自然试验风场 6.6 万 m²，风力资源较为丰富。经过不断建设，目前有试验室、控制室 1000m²，安装有国内外各种型号的大、小风力发电机组 28 台，最大容量为 50kW，最小容量为 50W，总容量为 120kW。

自建站以来，试验站从事了小型风力发电机组的测试、改进和应用推广工作，开展测试方法的研究，专用测试仪器的研制，科研样机和风电场的评估工作。进行过 150W、1kW 风

力发电机的设计以及控制系统、测试系统、测试仪表的研制，监控系统的研制，绝大多数均获得成功和应用。同时也开展了风力发电机组的选型的排布研究工作，开展了机组匹配的研究，以及 50kW 中型机的特性测试，承担了“八五”重点科技攻关项目“大型风力场集群监控的研究和国产 1~1.5MW 风电场监控系统的研制”，取得了令人满意的结果。在多年风力发电机测试鉴定过程中，积累了丰富的设计、制造、运行检测等方面的经验。“检测中心”由于资金短缺，检测设备老化，仪器陈旧等，已远远不能适应当今发展的时代要求，国家应加大对“机械工业风力机械产品质量监督检测中心”的投入使用，更新检测仪器设备，健全、完善检测手段，采用符合国家惯例的新标准和修订后的标准来监督。规范本行业产品的生产，定期进行质量检测，充分发挥该中心的监督、检测职能，使之真正地为离网型风力机行业的健康发展起到保驾护航作用。

(2) 内蒙古赛汉塔拉风电测试场

内蒙古赛汉塔拉风电测试场位于内蒙西苏旗赛塔拉镇东 8km 外，该测试场是利用中—德政府间技术合作项目建成的，主要任务是对小型风力发电机组进行性能，强度及寿命等必要的试验并测试，测试设备及性能处于世界先进水平（见表 2-1）。

表 2-1 内蒙古赛汉塔拉风电测试场概况表

试 验 基 础	面 积	装 备 仪 器	用 途 说 明
电控试验室	60m ²	直流电源、高速记录示波器等 共计 20 台件电工仪器	开发测试逆变器，备有高级进口测试仪器及设备（长期测量系统）
风力机、太阳能 野外测试场	33.6km ²	建筑面积：1320m ² 测试仪器：75 种 216 件，价值 20 万马克	1、风力机性能测试系统；2、 风力机受力及中度测试系统 （短期测量系统）；3、62m 风 速梯度测量系统，用于测风速 随高度变化；4、万能风力机测 试基础台位（测 50kW 内的风 力机）；5、模态分析仪。
风机发动机水泵 试验台	500m ²	价值 100 万元	绘制风力发动机、电机试验特 性曲线
流动测试培训车		价值 200 万元	野外风力机、太阳能供电系统 运行测试；新能源利用知识宣 传与培训。

此外，为了对小型风力发动机组进行风洞测试，经国家计委“中国光明工程”项目办公室批准，中国空气动力研究与发展中心低速（CARD-1），12m×16m/8m×6m 低速风洞稍作改造后，作为一个小型风力发电机性能测试站，在机械工业风力机械产品质量监督检测

中心的统一协调下，负责对国内小型风力发电机产品的性能进行部分检测。将对小型风力机组性能做出相应的统一标准。同时为“中国光明工程”小型风力发电系统产品质量认证进行配合。

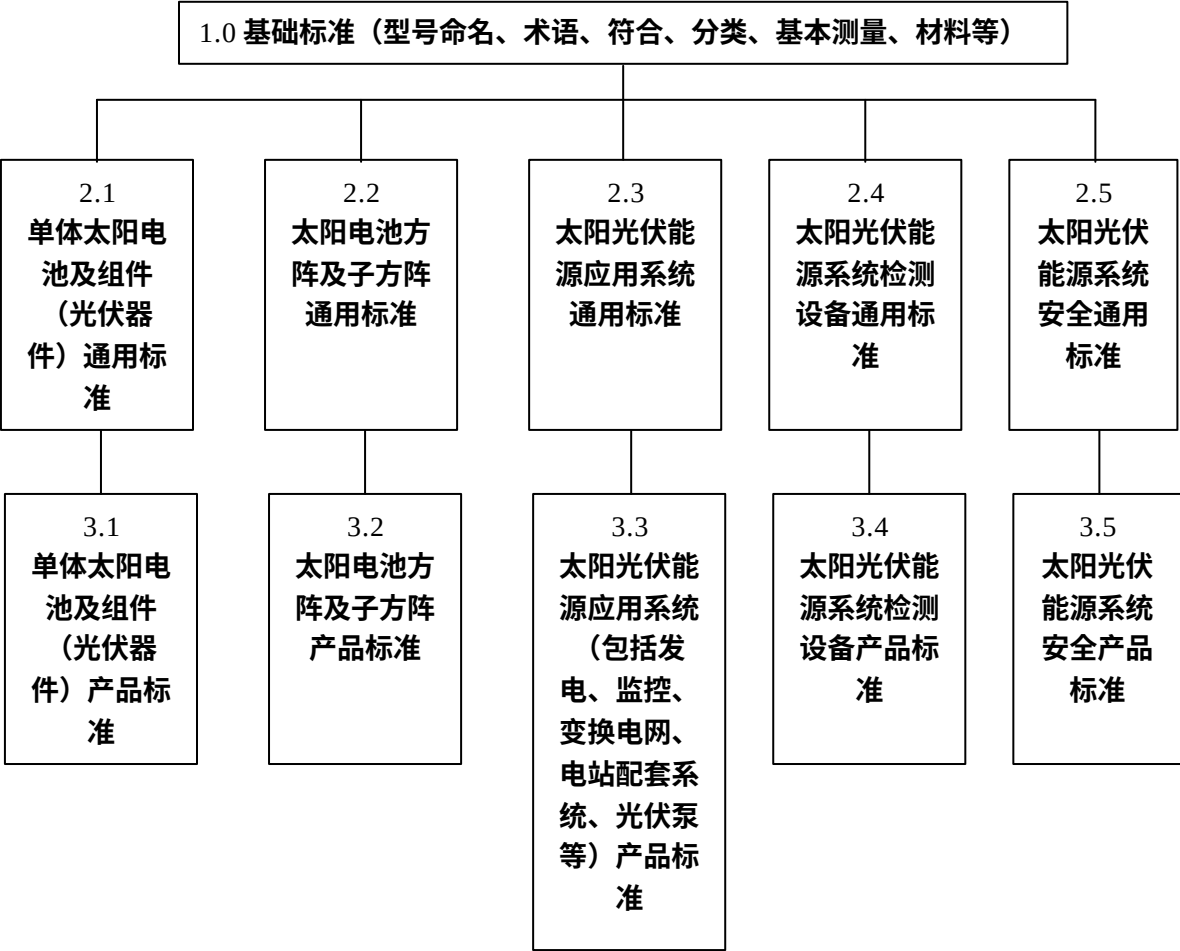
在气动中心低速所建立小型风力机性能测试站的目的是统一规范全国小型风力发动机组性能标准，其次是有利地配合“中国光明工程”向世界银行申请资金帮助。“中国光明工程”已组织了 7 种不同型号的小型风力发动机组运往中国空气动力研究与发展中心低速所进行性能测试。

沈阳工大风能所为了保证研究开发产品的性能要求，建立了小型风力发电机质量检测试验室，研制出了小型风力发电机微机综合测试仪，可作为风力发电机“BIN”检测方法的多参数综合测试，发电机的性能参数试验，风轮特性试验等项目。

3. 太阳光伏发电系统标准体系与质量检验体系建设

中国太阳光伏发电标准体系如表 3-1 所示：

表 3-1 太阳光伏能源系统标准体系表



中国光伏标准是 1983 年由中国技术监督局批准成立的，全国太阳光伏能源系统标准委员会制订并由国家技术监督局批准的。

中国光伏标准体系建设工作做的是好的：一是制定了完整的标准体系表，如表 3-1 所示，标准体系表是促进在一定标准化工作范围内标准组成达到科学完整有序的基础，是一种包括现有、应用和预计发展标准的全面蓝图，并将随着科学技术的发展而不断地得到更新与充实。编制标准体系表是标准化工作的一项基础性研究工作。

其次标准编制原则充分研究当前所能预料到科学技术发展的程度，力求在一定范围内具有标准的成套性和完整性。

三是根据专业特点，标准体系分为三个层次，即基础标准、通用标准和产品标准。

依据标准体系表，从业已收集到的国内外标准，可以看出：

到目前为止，已制定国家标准 27 项（包括：等同采用 ISO1 项；已报批 3 项和正在制定的 2 项），行业标准 11 项。

IEC/TC82 已发布国际标准 25 项（IEC—TC82 是 IEC 关于太阳光伏的专门委员会），IEC/TC82 正在制定的国际标准 18 项。

有 12 项国家标准等同 IEC 标准；有 12 项等同采用 ISO 标准；有 2 项行业标准等同 IEC 标准。

现已经编制及实施标准如下：

3.1 基础标准

- GB2296—80

太阳电池型号命名方法（2000 年修订，报批）

Designation method of solar cells

- GB2297—89

太阳光伏能源系统术语

Glossary of terms solar photovoltaic energy system

- GB6492—86

航天用标准太阳电池

Astronautic standard solar cell

- GB6494—86

航天用太阳电池电性能测试方法

Measurement procedures for electrical characteristics of astronautic solar cells

- GB6496—86

航天用太阳电池标定的一般规定

The general rules of astronautic solar calibration

- GB6497—86

地面用太阳电池标定的一般规定

The general rules of terrestrial solar cell calibration

- GB11009—89

太阳电池光谱响应测试方法

Measuring methods of spectral response for solar cells

- GB11010—89

光谱标准太阳电池

Spectrum standard solar cell

- GB11011—89

非晶硅太阳能电池电性能测试的一般规定

General rules measurements of electrical characteristics of amorphous silicon solar cells

- SJ/T10459—93

太阳能电池温度系数测试方法

Measurement method for temperature coefficients of solar cell

- SJ/T10460—93

太阳光伏能源系统图形符号

Graphical symbols for solar photovoltaic energy systems

- SJ/T10698—1996

非晶硅标准太阳电池

Amorphous silicon reference solar cell

- GB/T6495.1—1996 (等同 IEC60904—1 1987)

光伏器件第 1 部分 光伏电流—电压特性的测量

Photovoltaic devices Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics

- GB/T6495.2—1996 (等同 IEC60904—2 1989)

光伏器件第 2 部分 标准太阳电池的要求

Photovoltaic devices Part 2: Requirements for reference solar cells

- GB/T6495.3—1996 (等同 IEC60904—3 1989)

光伏器件第 3 部分 地面用光伏器件的测量原理及标准光谱辐照度数据

Photovoltaic devices Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with

reference spectral irradiance data

- GB/T6495.4—1996 (等同 IEC60891 1987)

晶硅光伏器件的 I—V 实测特性的温度和辐照度修正方法

Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline

silicon photovoltaic devices

- GB/T6495.5—1997 (等同 IEC60904 1993)

光伏器件第 5 部分 用开路电压确定光伏 (PV) 器件的等效电池温度 (ECT)

Photovoltaic devices-Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic

(PV) devices by the open-circuit voltage method

- GB/T (等待出版, 等同 IEC60904—8 1998)

光伏器件光谱响应的测量导则

Guidance for spectral measurement of a photovoltaic device

基础标准中还有五项中国未引入的 IEC/TC82 标准如下：

太阳光伏能源系统术语和符号 IEC61836 (1997)

太阳辐照在一天中分布的分析表达式 IEC61725 (1997)

光伏器件第 7 部分 光伏器件测量中引起的光谱失配误差的计算 IEC60904—7 (1998)

光伏器件第 10 部分线性测量方法 IEC60904-10 (1998)
太阳光伏能源系统术语和符号第二部分 IEC/61836-2/NP (正在制定)

3.2 单体太阳能电池及组件（光伏器件）通用标准

- GB12632-90

单体硅太阳能电池总规范

General specification single silicon solar cells

- GB/T14008-92

海上用太阳能电池组件总规范

General specification for sea-use solar cell modules

- SJ/T9550.29-93

地面用晶体硅太阳能电池质量分等标准

- SJ/T9550.30-93

地面用晶体硅太阳能电池组件质量分等标准

- SJ/T9550.31-93

航天用硅太阳能电池单体质量分等标准

- GB/T9535-1998 (等同 IEC61215 1993)

地面用晶体硅光伏组件设计鉴定和定型

Crystalline silicon terrestrial photovoltaic(PV)modules-Design qualification and type approval

- SJ/T11209-1999

光伏组件 第 6 部分：标准太阳能电池组件的技术要求

Photovoltaic devices Part6: Requirements for reference solar modules

- GB/T (报批, 等同 IEC61701 1995)

光伏组件的盐雾腐蚀试验

Salt mist terrestrial testing of photovoltaic (PV) modules

- GB/T (报批, 等同 IEC61646 1996)

地面用薄膜光伏组件设计鉴定和定型

Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules-Design qualification and type approval

- GB/T (送审稿, 等同 IEC61345 1998)

光伏组件的紫外试验

UV test for photovoltaic (PV) modules

3.3 单体太阳能电池及组件（光伏器件）产品标准

- SJ/T10173-91

TDA75 单晶硅太阳能电池

TDA75 single crystalline silicon solar cell

通用标准中还有三项中国未引入的 IEC/TC82 标准如下：

光伏组件对意外碰撞的承受能力 IEC61721 (1995)

单晶硅地面光伏组件空白详细规范鉴定 IEC62145/NP (正在鉴定)

聚光光伏接收器和组件设计鉴定定型 IEC/62108/NP (正在鉴定)

3.4 太阳能电池方阵及子方阵通用标准

- SJ/T9550.32-93

航天用硅太阳能电池方阵质量分等标准

- GB/T18210-2000 (等同 IEC61829)

晶体硅光伏 (PV) 方阵 I-V 特性的现场测量

Crystalline silicon photovoltaic (PV) array-On-site measurement of I-V characteristics

3.5 太阳能电池方阵及子方阵产品标准 (空缺)

3.6 晶体硅光伏方阵 I-V 特性的现场测量

太阳光伏能源应用系统通用标准：

- SJ11127-97 (等同 IEC61173 1992)

光伏发电系统的过压保护导则

Over voltage protection for photovoltaic (PV) power generating system-guide

- GB (等待出版, 等同 IEC61277)

地面用光伏发电系统—概述及导则

Terrestrial photovoltaic (PV) power generating systems-General and guide

- GB/T (送审稿, 等同 IEC61702, 1995)

直接耦合光伏 (PV) 水泵系统的评估

Rating direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems

应用系统通用标准中有十一项中国未引入的 IEC/TC82 标准如下：

独立光伏系统的特性参数 IEC61194 (1992)

光伏系统电网接口的特性 IEC61727 (1995)

光伏系统性能监测-测量、数据交换以及分析导则 IEC61724 (1998) (列入 2002 年制定计划)

光伏系统功率调节器效率测量步骤 IEC61683 (1999) (列入 2002 年制订计划)

光伏独立系统设计鉴定和定型申请 IEC/62124/CD

试验程序 用于并网发电系统的功率调节器的隔离保护测量 IEC/62116/CD

部件和系统认证、鉴定程序、全部质量系统导则 IEC/62078/CD

光伏系统 平衡系统部件设计鉴定和定型 IEC/62093/NP

直流光伏泵 系统设计鉴定和定型申请 IEC/62253/NP

分散的再生能源系统 第六部分 技术规范：整体系统 IEC/62257-6/NP

分散的再生能源系统 第七部分 技术规范：并网连接 IEC/62257-7/NP

3.7 太阳光伏能源应用系统产品标准 (空缺)

3.8 太阳光伏能源系统检测设备通用标准

- GB11012-89

太阳能电池性能测试设备检验方法

Inspection procedures for electrical performance test equipments for solar cells

- GB/T2637-90

太阳模拟器通用规范

General specification for solar simulator

太阳光伏能源系统检测设备通用标准有四项中国未引入的 IEC/TC82 标准如下：

光伏器件第 9 部分太阳模拟器的性能要求 IEC60904-9 (1995)

太阳模拟器的性能要求 Ed2.0 IEC/60904-9-2/PNW

并网光伏变压器安全测试程序 IEC/61720/NP

地面光伏系统性能测试和额定能量 IEC/NP

3.9 ISO 涉及太阳光伏的标准

- GB/T17683.1-1999 (等同 ISO9845-1:1992 E)

太阳能在地面不同接收条件下的太阳光谱辐照度标准第 1 部分：大气质量 1.5 的法向直射日射

辐照度和半球日辐照度)

Solar energy Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions_Part1:Direct normal and hemispherical solar irradiance for air mass1.5

3.10 太阳光伏能源系统检测设备产品标准

- SJ10174-91

AM1.5 稳态太阳模拟器

AM1.5 Stability state solar simulator

3.11 太阳光伏能源系统安全通用标准

太阳光伏能源系统安全通用标准有五项中国未引入的 IEC/TC82 标准如下：

安装于建筑物上并网光伏能源系统安全导则 IEC/62234/CD

光伏组件安全鉴定第一部分结构要求 IEC/61730-1/CD

光伏组件安全鉴定第二部分测试要求 IEC/61730-2/CD

用于光伏系统的静态逆变器和充电控制器的电安全 IEC/62109NP

分散的再生能源系统 第八部分：安全导则 IEC/62257-8/NP

3.12 太阳光伏能源系统安全产品标准（空缺）

3.13 标准修改情况

- GB2296-80

《太阳电池型号命名方法》2000 年已修订，等待出版。

- GB6497-86

《地面用太阳电池标定的一般规定》被 GB/T6495.2-1996 (等同 IEC60904-2-1989)《光伏器件第 2 部分 标准太阳电池的要求》替代。

- GB6495-86

《地面用太阳电池电性能测试方法》被 GB/T6495.1-1996 (等同 IEC60904-1-1987)《光伏器件第 1 部分 光伏电流-电压特性的测量》替代。

- IEEE1262-1995

《光伏组件的测试认证规范》，由于与国际标准接轨，我国太阳规范标准基本上采取等同采用 IEC（国际电工委员会）标准，因此不考虑 IEEE 标准。

- IEC1215

《晶体硅地面用光伏组件的设计质量认证和型式试验》已转化为 GB/T9535—1998（等同 IEC61215 1993）《地面用晶体硅光伏组件设计鉴定和定型》。

- GB/T14007-92

《陆地用太阳电池组件总规范》被 GB/T9535—1998（等同 IEC61215 1993）《地面用晶体硅规范组件设计鉴定和定型》替代。

- GB/T14009—92

《太阳电池组件参数测量方法》被 GB/T9535-1998（等同 IEC61215 1993）《地面用晶体硅光伏组件设计鉴定和定型》所包含。

- GB9535—88

《陆地用太阳电池组件环境试验方法》被 GB/T9535—1998 所包含。

- GB6493—86

《地面用标准太阳电池》被 GB/T6495.2-1996（等同 IEC60904—2 1989）《光伏器件第 2 部分 标准太阳电池的要求》替代。

如上所示，国内太阳电池已有了国家标准。一般用途的蓄电池虽有国家标准，但与太阳电池配套专用的蓄电池却没有国家标准，这是需要抓紧制定的。同样光伏系统充电控制器、直流/交流逆变器。专用直流灯具和光伏发电系统都还没有国家标准，有的仅有地方标准，需要逐步建立和完善，而很多光伏设备生产企业需要尽快通过 ISO9000 系列质量认证，使光伏发电系统部件和系统集成规范化，以尽快达到专业化水平。

3.14 质量检验体系

太阳光伏发电系统质检中心有天津电源研究所和上海航天技术研究所。如前所述，中国科学院太阳光伏发电系统和风力发电系统质量检测中心亦已获得中国国家认证认可监督管理委员会的计量认证合格证书。

中国将制定并颁布“光明工程”项目产品质量标准和安装、售后服务规范。并把“中国光明工程”设备质量检测中心设在于 2001 年底获得中国国家认证认可监督管理委员会计量认证合格证书的中国科学院太阳规范发电系统和风力发电系统质量检测中心。并负责起草风力发电村落和户用系统，规范发电村落和户用系统质量检测标准（经批准后执行）。

中国科学院太阳光伏发电系统和风力发电系统质量检测中心（以下简称质量检测中心），由日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）援建。成立于 1999 年 2 月，主要致力于光伏系统和部件，风力发电系统和部件的质量检测与评估工作。质量检测中心计划分期建成四个实验室：①中日合作太阳光伏电池检测实验室；②太阳光伏系统检测实验室；③风力发电部件检测实验室；④风力发电系统检测实验室和一个培训与交流部。中心仪器设备精度和性能均达到国际一流水平。现已具备完全按国际电工委员会（IEC）标准对光伏电池及组件进行质量评估的能力，并于 2000 年承担了中国“光明工程”第一期检测任务，并为中国国内主要光伏组件生产企业提供技术服务。

2004 年以前，质量检测中心将完成所有实验室的建设，各实验室的主要检测设备都将达到国际先进水平。质量检测中心将与国际重点相关检测机构进行技术交流并参加有关培训。质量检测中心将力争成为中国国内最好的专门从事以地面用光伏系统检测和风力发电系统检测的国家级质量评估机构。

为将质量检测中心建成为国家级质量评估机构和国际一流的检测机构，质量检测中心将

逐一对下属各实验室进行“中国实验室国家认可”（等同于国际 ISO/IEC 导则 25—校准和检验实验室资格的通用要求）和“产品质量检验机构认证”。质量检测中心通过实验室国家认可和计量认证将在内部建立起一套完整的量值溯源体系、质量控制和管理体系，为用户提供公正、科学、先进的检测服务，同时不断加强与国际相关检测机构的技术交流合作。

为与国际检测标准接轨，同时也为我国光伏产品早日走向国际市场，质量检测中心将完全采用国际电工委员会 IEC 标准进行各种校准和检测。

采用标准部分摘录如下：

- IEC61251
地面用晶硅光伏组件设计鉴定和定型 (GB/T9535—1998)
- IEC61646
地面用薄膜光伏组件设计鉴定和定型
- IEC60904-1 第一部分
光伏电流—电压特性的测量 (GB/T6495.1—1996)
- IEC60904-2 第二部分
标准太阳能电池的要求 (GB/T6495.2-1996)
- IEC60904-3 第三部分
地面用光伏器件的测量原理及标准光谱辐照度数据 (GB/T6495.3—1996)
- IEC60891
晶硅光伏器件的 I—V 实测特性的温度和辐照度修正方法 (GB/T6495.4—1996)
- IEC61194
独立光伏系统的特性参数
- IEC61829
晶硅光伏方阵 I—V 特性的现场测量

风力发电系统的质量检测暂时按国家标准进行，今后将逐步采用 IEC 标准。

目前中国太阳能电池产业尚没有归口工业部委，很多质量保证措施没有专业部门监督执行。产业发展也无法纳入国家工业部门的规划当中，这对于产业发展不利。目前市场上销售的光伏发电产品缺乏有效的生产质量控制和销售质量的监督，需要加强这方面的能力建设。中国“光明工程”项目与“中国可再生能源发展”项目对此均做了特别安排，专门设计了一个质量监督机制和质量保证体系，监督光伏公司的市场行为和产品成本，并且推动标准直接跟国际接轨。

对于控制器和逆变器等主要部件，市场上已经有质量可靠的商品化产品，包括一些进口产品和合资企业的产品。由于产品价格较高，很多光伏发电销售商自己制造，以降低成本，从而难以保证质量要求，对此需加强监管，为此，要尽快建立控制器和逆变器等电子元器件的技术标准和测试方法的国家标准，定期监测。同时加强产品开发能力和质量控制方面的技术培训，加强标准的宣传，提高光伏新产品开发能力和质量控制能力。

国家经贸委委托邮电部工业产品质量检测中心作为“中国可再生能源发展”项目中逆变器、控制器和蓄电池的质量检测中心，委托国家电光源（北京）质量检测中心作质量检测单位。

中国“九五”期间建立了十几座光伏电站，大的容量已达 100kw，“十五”期间仅“中国光明工程”就计划有 2000 套村落系统、200 套站用系统。对此，有必要对光伏发电系统工程质量进行有效的监督和控制，其主要内容应包含：

- 1) 建立光伏电站设计施工的技术规范；

2) 建立光伏发电电站项目的审批程序；

3) 提出光伏发电电站验收标准。

将光伏发电电站技术纳入正规化工程的规范之中,提高工程项目的质量水平和供电可靠性。