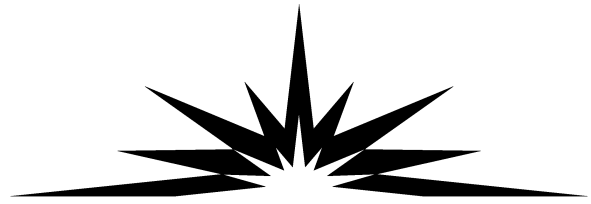


中国可持续能源项目

大卫与露茜尔·派克德基金会
威廉与佛洛拉·休利特基金会
能 源 基 金 会
项目资助号：G-1006-12630



中国电力行业低碳技术中长期发展战略规划

研究总报告

华北电力大学
2011 年 6 月

目 录

第一章 引 言	1
1.1 课题研究的背景	1
1.2 课题研究的意义	4
1.3 课题低碳电力技术的界定	8
1.4 课题研究的主要内容及技术路线	10
1.4.1 课题研究的主要内容	10
1.4.2 课题研究的技术路线	14
第二章 中国低碳电力技术发展的内外部环境分析	16
2.1 分析内外部影响因素的必要性	16
2.2 外部环境影响因素分析	18
2.2.1 全球气候变化影响分析	18
2.2.2 能源供需变化影响分析	21
2.2.3 中国宏观政策影响分析	23
2.3 内部环境影响因素分析	27
2.3.1 低碳电力技术研发成果	27
2.3.2 低碳电力技术运营经验	28
2.3.3 低碳能源资源优势	28
2.3.4 低碳技术发展的电网基础	31
第三章 发电环节低碳技术中长期发展战略规划	32
3.1 指导思想及基本原则	32
3.1.1 指导思想	32
3.1.2 基本原则	32
3.2 规划思路与规划依据	34
3.3 规划总目标与阶段目标	35
3.3.1 总体目标	36
3.3.2 阶段目标	37
3.4 发展低碳技术的主要任务	40
3.4.1 加速发展阶段	40
3.4.2 优化转型阶段	44
3.4.3 全面提升阶段	47
3.5 发展低碳技术的保障措施	48
3.5.1 政策法规保障	48
3.5.2 市场机制保障	50
3.5.3 管理体系保障	51
第四章 电网环节低碳技术中长期发展战略规划	53
4.1 指导思想及基本原则	53
4.1.1 指导思想	53

4.1.2 基本原则	53
4.2 规划思路与规划依据	54
4.2.1 规划思路	54
4.2.2 规划依据	55
4.3 规划总目标与阶段目标	56
4.3.1 总体目标	56
4.3.2 阶段目标	56
4.4 发展低碳技术的主要任务	59
4.4.1 加速发展阶段	59
4.4.2 优化转型阶段	60
4.4.3 全面提升阶段	62
4.5 发展低碳技术的保障措施	63
4.5.1 政策法规保障	63
4.5.2 市场体系保障	64
4.5.3 管理体系保障	65
第五章 电能消费终端低碳技术中长期发展战略规划	67
5.1 指导思想及基本原则	67
5.1.1 指导思想	67
5.1.2 基本原则	68
5.2 规划思路与规划依据	69
5.2.1 规划思路	69
5.2.2 规划依据	69
5.3 规划总目标与阶段目标	70
5.3.1 总体目标	71
5.3.2 阶段目标	71
5.4 发展低碳技术的主要任务	74
5.4.1 加速发展阶段	74
5.4.2 优化转型阶段	76
5.4.3 全面提升阶段	78
5.5 发展低碳技术的保障措施	78
5.5.1 政策法规保障	78
5.5.2 市场机制保障	79
5.5.3 管理体系保障	80
第六章 总 结	82
附录 火力发电机组 CO₂排放量估算模型	84

第一章 引言

1.1 课题研究的背景

作为气候变化的主要特征,全球变暖正为人类及地球生态系统带来深重灾难——极端天气频发、冰川消融、永久冻土层融化、珊瑚礁死亡、海平面上升、生态系统改变、旱涝灾害陡增等。2007 年联合国政府间气候变化委员会 (IPCC) 公布了第四次评估报告显示,过去 100 年 (1906~2005 年),全球地表平均温度升高 0.74°C ,海平面升高 0.17 米;21 世纪高温、热浪、强降水频率可能增加,热带气旋强度可能加强。IPCC 的报告还指出,随着天气变暖,极端天气事件增多,全球极端气象灾害发生的频率、强度和区域分布变得更加复杂和难以把握,所造成的灾害也将更为严重。全球变暖已经超越国界,深刻影响着全人类的生存和发展,是各国共同面临的重大挑战。在引起全球气候变暖的诸多因素中,人类活动所排放的温室气体不断增加是最主要的原因,而在温室气体引致的全球气候变暖效应中, CO_2 的作用高达 77%,因此,减少 CO_2 的排放对于控制温室效应、减缓全球变暖至关重要。

温室气体是典型的全球性公共产品,控制其排放需要全世界层面上的合作与协调。面对各种极端灾害挑战,联合国于 1979 年召开第一次世界气候大会,1988 年建立了政府间气候变化专门委员会 (IPCC)。1992 年 5 月 2 日,IPCC 就气候变化问题达成公约——《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC),这是世界上第一个为全面控制

CO₂ 等温室气体排放而制定的国际公约。该公约具有法律效应，自 1995 年以来每年举行一次缔约方大会，其中，尤以第三次和第十三次大会的影响最为深远。第三次大会于 1997 年在日本召开，通过了著名的《京都议定书》，确定了各缔约国的减排承诺；第十三次大会于 2007 年在印尼召开，形成了妥协性的“巴厘岛路线图”，明确了 2020 年发达国家减排 25%~40%，2050 年全球减排 50%的中远期目标，开创了人类应对气候变化的新里程碑。

各国政府通过立法或政府规划的方式各自制定了相应的 CO₂ 减排目标，通过调整经济结构，提高能源效率等途径提高经济发展的可持续能力，并大力探索新途径，为 CO₂ 减排做好技术储备。2000 年欧盟温室气体排放量比 1990 年降低了 4%，并计划 2020 年减排 20%，英国将 2050 年减排目标定为 60%。英国政府在 2003 年公布的能源白皮书《Our energy future—creating a low carbon economy》中，首次提出了低碳经济的发展理念。低碳经济是能源消费方式，经济发展方式和人类生活方式的一次全新变革，代表了从工业文明向生态经济文明的巨大进步。日本承诺 2008~2012 年 CO₂ 减排量在 1990 年的基础上降低 6%，并成立全国温室气体盘查办公室，采取多项措施控制温室气体排放。作为全球最大的温室气体排放国之一，美国以减排威胁经济发展为由，于 2001 年退出《京都议定书》，并拒绝承担量化的、强制性的减排义务。

根据《京都议定书》，发展中国家在 2012 年之前不需要承担减排义务，但我国政府以长远的战略眼光高度重视全球气候变暖问题，先

后于 1992 年、1997 年正式签署《框架公约》与《京都议定书》；十七大报告中已经做出了“加强应对气候变化能力建设，为保护全球气候做出新的贡献”的庄严承诺，并在《国家“十一五”规划纲要》中明确提出了 2010 年 CO₂ 排放下降 10% 的目标。2007 年，我国发布了《中国应对气候变化国家方案》，全面阐述了我国应对全球气候变化的目标与相应措施，提倡通过改变发展方式、调整能源结构与提高能效等方式积极应对。2009 年 12 月，被喻为“拯救人类的最后一次机会”的哥本哈根会议成为全球应对气候变化的重要里程碑。我国政府提出到 2020 年使单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45% 的温室气体排放控制目标。2010 年 10 月，我国政府在首次承办的联合国框架下的天津气候谈判大会上重申了可持续发展原则，统筹考虑经济发展、消除贫困、保护气候，实现发展和应对气候变化的双赢立场。在我国和众多发展中国家的坚持和努力下，2010 年底举行的墨西哥坎昆气候大会就坚持《联合国气候变化框架公约》、《京都议定书》、《巴厘岛路线图》及“共同但有区别的责任”达成一致意见，同时在技术转让、资金和能力建设等发展中国家关心问题的谈判上取得了一定的进展，向国际社会发出了积极的信号。

“富煤、贫油、少气”的能源资源结构，逐年增加的经济规模以及传统的高耗能消费方式使得我国逐渐成为全球碳排放总量最大的国家之一。根据国际能源署(International Energy Agency, IEA)预计，处于能源需求快速增长阶段的中国在全球碳排放量中所占的比重将从 2005 年的 19% 增至 2030 年的 27%。从我国 CO₂ 的排放结构上看，由

于能源结构以煤为主，当前 CO₂ 的排放主要来自于能源部门，尤其电力行业占据排放主体。其主要原因在于，我国发电结构中火电占比高达 77% 以上，且呈现出 CO₂ 排放量所占比例逐年上升的趋势；此外，电能输送环节和用电环节的减排潜力也十分明显。随着经济和社会的不断发展，我国电力需求将持续增长，发展低碳电力技术（其涵义是指在应用过程中可以直接或间接实现 CO₂ 低排放或零排放的技术，其范围覆盖电力行业发、输、配、用各环节），加大电力行业减排力度，对于缓解我国温室气体排放具有重要意义。

随着全球变暖的加剧，多国政府都将发展低碳技术作为协调经济发展与环境保护之间关系的基本途径。作为应对气候变化领域的重要工具，低碳电力技术将代表行业乃至国家的核心技术竞争力，同时将以超出想象的速度影响世界经济社会的发展和变革。我国低碳电力技术的发展既面临严峻的挑战，也存在跨越式发展的机遇。在全球气候变暖的背景下，如何在兼顾经济效益与环保效益的同时，有效利用低碳电力技术推动电力工业向低碳化可持续发展模式的转变，是我国电力工业当前面临的时代议题。因此，需要开展我国电力行业低碳技术中长期发展规划研究，合理规划低碳电力技术的未来发展，以增加低碳能源供应、保障能源安全、保护生态环境、促进电力行业乃至整个社会的可持续发展。

1.2 课题研究的意义

低碳经济的核心是在市场机制基础上，通过制度框架和政策措施的制定和创新，推动提高能效技术、节约能源技术、可再生能源技术

和温室气体减排技术的开发和运用，促进社会经济向高效、低能耗和低碳排放的模式转型。我国面临的节能减排新形势要求转变经济发展方式，逐步实现向低碳经济转型，在此过程中，低碳技术的发展利用既是关键又是根本手段。电力行业在控制温室气体排放的过程中起着举足轻重的作用，严峻的碳排放现状促使其成为减排的主力军，在全球应对气候变化越来越紧迫的形势下，大力发展低碳电力技术，对于促进行业乃至国家的低碳化可持续发展具有重要的现实意义与战略意义。

（1）有利于改善并优化我国电力结构，实现电力工业的可持续发展。

尽管近年来我国可再生能源发电量有了较快增长，但电力供给结构不合理的状况并没有得到根本性改善。火力发电量的比重自 2000 年以来一直保持在 75%左右的水平；水电由于受自然条件影响波动较大，供给处于不稳定状态；由于建设周期较长，核电发电量占全部发电量的比重上升缓慢；可再生能源主要是风电和太阳能发电。不尽合理的电源结构为煤炭生产、运输及温室气体排放带来极大压力。大力发展常规低碳发电技术和新兴低碳发电技术，可有效改善我国电力工业对于化石能源，尤其对煤炭依存度过高的局面，从而形成多元化的电源结构，构建清洁的电能供应体系，从而大幅度减少发电环节的温室气体排放，实现我国电力工业的可持续发展。

（2）有利于提高我国电能生产、输送及利用效率，实现节能减排目标。

为促进我国电力工业可持续发展，满足经济发展对电力的需求，保证电力的稳定、充足供应，必须解决电力发、输、配、用环节的效率问题，加快发电技术更新换代，优化电力资源配置，降低电网输配损耗，提高电能利用效率。首先，我国以煤炭为主的能源格局在短时期内不会改变，使得洁净煤低碳发电技术的发展具有广阔前景，在发电环节大力推广洁净煤低碳技术，可促进发电技术更新换代，有效提升化石能源发电效率，从而大幅度降低电力工业的有害物质及 CO₂ 排放量。其次，我国电网“九五”末期线损率为 7.81%，“十五”末期下降至 7.18%，“十一五”末期，电网线损率要实现 7%以下的目标。但该目标仍与 2005 年的世界平均水平相差一个百分点。低碳输配电技术的推广，可进一步降低我国输配电损失，既可减少电能传输过程中的温室气体排放，又可间接减少发电环节的温室气体排放。第三，为满足全社会持续增长的电力需求，我国发电量和电力传输量屡创新高，尽管电力工业能效水平不断提高，单位工业增加值能耗仍是全社会平均水平的 1.3 倍，节能减排潜力巨大。在用电环节引入低碳技术，可有效抑制电力需求的过快增长，建立节约型社会，提高电能利用效率，显著降低电力工业污染物排放对环境的负面影响，实现节能减排目标。

(3) 有利于促进我国向低碳经济转型，实现低碳社会发展模式。

在全球应对气候变化形势的推动下，世界正经历经济发展模式的转变和产业结构的升级。其核心内容是，发展低碳能源技术，建立低

碳经济增长模式和低碳社会发展模式。低碳能源技术将代表一个国家的核心技术竞争力，随着世界范围内向低碳经济转型，低碳技术将催生新的经济增长点，它将与信息化技术变革一样，成为重塑世界经济格局的巨大力量。随着我国人均 CO₂ 排放量逐渐接近世界平均水平，人均排放低的优势逐渐消失，减排形势日趋严峻，碳排放空间将可能成为比劳动力、资本以及土地等自然资源更为稀缺的生产要素，实施低碳经济发展战略，尽早向低能耗、低污染、低排放的低碳社会发展模式转型，是实现我国经济、社会和环境协调发展的必由之路，而大力发展低碳技术则是实现我国向低碳经济转型的关键，也是在可持续发展框架下应对气候变化的核心对策。

课题在总结我国电力行业能源资源、技术及产业发展概况，借鉴国外电力行业低碳技术发展经验的基础上，研究制定《中国电力行业低碳技术中长期发展战略规划》，一方面，为我国电力行业低碳电力技术的发展提供策略支持；另一方面，在碳排放控制目标确定的基础上，可以为电力市场的设计者和管理者提供决策支持。落实应对气候变化的电力行业低碳技术中长期发展规划，一方面可以逐步摆脱我国电力工业对化石燃料的依赖，改善当前的生产模式和消费模式，提高能源利用效率，转变经济增长方式，以科学发展观促进我国电力工业可持续发展。另一方面，可以为我国出台应对气候变化的相关政策提供有益的启示，进而起到一定的引导作用，缓解因全球变暖所产生的国际压力，同时也可以为我国其他行业的低碳化发展策略研究提供有益参考。

1.3 课题低碳电力技术的界定

电力行业的低碳发展，贯穿于电能生产、电能传输和电能使用的

低碳电力技术要充分研究发输配用各环节的低碳技术，实现电能产业链的“去碳”，在国家节能减排战略中，发电环节、电网环节和用电环节



图 1-1 课题低碳电力技术的界定

根据目前的发电技术分类看，发电环节的低碳技术主要包括洁净煤低碳发电技术、常规低碳发电技术和新型低碳发电技术。首先，全球 2/3 的燃煤电站的净效率只有 29%，CO₂ 年排放量达到 39 亿 t，若都能被效率高达 45% 的电站取代，排放水平将降低 36%，每年减排 14 亿 tCO₂。因此，发展洁净煤低碳发电技术对于实现节能减排目标具有重要的意义。从目前洁净煤发电技术的发展水平看，超临界和

超超临界发电技术、循环流化床技术、增压流化床燃烧联合循环发电技术、整体煤气化联合循环发电技术以及碳捕集与封存技术等，成为各国提高煤电利用效率，实现煤电清洁化的重要支撑。其次，从大规模替代化石能源发电的可能性看，核电和水电是目前最具潜力且发展最为成熟的发电技术，这两类常规低碳发电技术最主要的特点就是发电过程几乎不排放温室气体，其有效利用对于应对气候变化可起到极大的正面推动作用。第三，近年来随着以新能源为代表的新兴低碳发电技术的日趋成熟，众多国家将其作为控制温室气体排放的又一重要途径。从技术的成熟度看，风电、太阳能发电和生物质能发电等新兴低碳发电技术具有很好的发展前景。

电网环节涉及的低碳技术主要包括低碳输电技术、低碳配电技术、低碳调度技术和低碳储能技术。首先，加快建设输配电网，着力提高电网大范围、大规模、高效率优化配置资源的能力，是提高电力工业整体效率的治本之策。而发展电网环节低碳技术，是实现输配电网节能减排的关键。课题研究的低碳输配电技术主要包括柔性交流输电技术、超导技术、特高压输电技术、柔性配电技术和配网自动化技术等。其次，电力行业具有比较明显的碳锁定效应，这使得电源结构的调整存在一定滞后性，而低碳调度技术则是在确保负荷需求的前提下，在短期内有效控制 CO_2 排放的关键途径。第三，现代电网规划和运行中的不确定因素和不安全因素的增加对系统的安全稳定控制提出严峻的挑战。无论是调峰问题，还是稳定问题，其根源都在于能力的不平衡，或者说是电能的生产、输送、消费的瞬时不平衡。

低碳储能技术可以为电能供需不平衡问题、提高电能质量以及降低电网损耗提供新技术支持。课题研究的低碳调度技术主要包括飞轮储能技术、压缩空气储能技术、超导储能技术和超级电容器储能技术等。

用电环节的低碳技术主要包括智能用电技术和电动汽车技术。一方面，智能用电技术的开发利用，不仅可以降低系统化石燃料发电容量需求，在降低温室气体排放量的同时降低化石燃料的对外依存度和用户的用电费用支出，还可以降低系统备用容量需求，提高整个系统发电容量的利用效率，以此降低整个系统的运行成本和减排成本，实现供电可靠性的有效管理。课题研究的智能用电技术主要包括高速通信技术、智能电表技术、智能采集技术、交互终端技术和需方响应技术。另一方面，发展电动汽车代表了新能源汽车发展的方向，已成为各国产业竞争的战略制高点，以发展新能源汽车为突破口，全面推进低碳交通，是我国乃至全球摆脱石油依赖以及降低 CO₂ 排放的最重要途径之一。课题研究的电动汽车技术主要包括纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车。

1.4 课题研究的主要内容及技术路线

1.4.1 课题研究的主要内容

为加快低碳技术发展，促进节能减排，积极应对气候变化，更好地满足经济和社会可持续发展的需要，课题研究制定《中国电力行业低碳技术中长期发展战略规划》，提出从 2010~2050 年期间中国发电环节、电网环节和用电环节等电力行业三个环节的低碳技术

发展的指导思想、发展目标、主要任务和保障措施。从研究路线看，课题将时间推演、应用环节和技术种类的“三维”理念有机融入全程系统研究中，以期为中国电力行业应对气候变化提供决策支持。其中，总报告在分析内外部环境因素的基础上，给出中国电力行业各环节低碳技术的发展战略规划；分报告一系统地整理各类低碳技术的技术特点；分报告二重点分析各类低碳技术的减排特点及其国内外发展现状。

总报告的具体研究内容如下：

第一部分分析中国低碳电力技术发展的内外部环境状况。一方面，分析影响低碳电力技术发展的外部环境因素，主要涉及全球气候变化现状及未来变化趋势、国内能源供需情况和宏观政策等方面。另一方面，分析影响低碳电力技术发展的内部环境因素，主要涉及低碳电力技术目前的研发成果、运行经验、能源资源优势及电网基础等方面。

第二部分结合减排目标统筹制定 2010~2050 年中国发电环节低碳技术的中长期发展战略规划。首先，提出制定规划的指导思想与基本原则。其次，在分析规划制定的思路及方法的基础上，给出低碳发电技术的未来发展总目标和阶段目标。第三，总结为达到以上目标在加速发展阶段（2010~2020 年）、优化转型阶段（2020~2030 年）、全面提升阶段（2020~2030 年）发展低碳发电技术的主要任务，并给出相应的政策、市场及管理保障措施。

第三部分制定 2010~2050 年中国电网环节低碳技术的中长期发

展战略规划。首先，提出制定规划的指导思想与基本原则。其次，在分析规划制定的思路及方法的基础上，给出电网环节低碳技术的未来发展总目标和阶段目标。第三，总结为达到以上目标在加速发展阶段（2010~2020 年）、优化转型阶段（2020~2030 年）、全面提升阶段（2020~2030 年）发展电网环节低碳技术的主要任务，并给出相应的保障措施。

第四部分制定 2010~2050 年中国发电侧低碳技术的中长期发展战略规划。首先，提出制定规划的指导思想与基本原则。其次，在分析规划制定的思路及方法的基础上，给出电能消费终端低碳技术的未来发展总目标和阶段目标。第三，总结为达到以上目标在加速发展阶段（2010~2020 年）、优化转型阶段（2020~2030 年）、全面提升阶段（2020~2030 年）发展电能消费终端低碳技术的主要任务，并给出相应的保障措施。

分报告一的具体研究内容如下：

第一部分总结发电环节各类低碳技术的特点。首先，阐述超超临界、循环流化床等各类洁净煤低碳发电技术的特点。其次，简要概况核电、水电等常规低碳发电技术的特点。第三，概述风电、太阳能发电、生物质发电等新兴低碳发电技术的特点。

第二部分阐述电网环节各类低碳技术的特点。首先，阐述柔性交流输电、超导输电等低碳输电技术的特点。其次，分析低碳配电技术的特点。第三，总结低碳调度技术的特点。第四，概述飞轮储能、压缩空气储能等低碳储能技术的特点。

第三部分概述电能消费终端环节各类低碳技术的特点。首先，总结高速通信、智能电表等智能用电技术的特点。其次，分别阐述纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车的技术特点。

分报告二的具体研究内容如下：

第一部分分析发电环节各类低碳技术的减排作用及其国外发展现状。首先，阐述各类洁净煤低碳发电技术的减排作用及其国外发展现状。其次，分析核电、水电等常规低碳发电技术的减排作用及其国外发展现状。第三，总结风电、太阳能发电、生物质发电等新兴低碳发电技术的减排作用及其国外发展现状。最后，总结国外发展低碳发电技术的保障政策。

第二部分分析电网环节各类低碳技术的减排作用及其国外发展现状。首先，阐述各类低碳输电技术的减排作用及其国外发展现状。其次，分析低碳配电技术的减排作用及其国外发展现状。第三，总结低碳调度技术的减排作用及其国外发展现状。第四，概述各类低碳储能技术的减排作用及其国外发展现状。最后，总结国外发展电网环节低碳技术的保障政策。

第三部分分析电能消费终端环节各类低碳技术的减排作用及其国外发展现状。首先，研究智能用电技术的减排作用及其国外发展现状。其次，分析电动汽车的减排作用及其国外发展现状。第三，总结国外发展低碳用电技术的保障政策。

第四部分总结国外发展低碳电力技术的经验，分别从技术发展内容、技术发展阶段和相关政策保障方面进行。

第五、六、七部分分别针对中国发电环节、电网环节和电能消费终端的低碳技术发展现状进行分析，提出各环节低碳发展所面临的障碍，对比国外低碳技术的发展情况，提出我国电力低碳技术中长期发展的战略规划。

1.4.2 课题研究的技术路线

根据以上研究内容概述可知，课题的研究工作可分为规划工作的基础分析和规划方案设计两部分。规划工作的基础分析是规划方案设计的前期工作，包括低碳技术的技术特点总结、国内外低碳电力技术的发展现状分析、中国低碳电力技术发展的内外部环境分析等方面。规划方案设计是在上述工作的基础上，针对发电侧低碳技术规划、电网环节低碳技术规划、电能消费终端低碳技术规划三方面开展。技术路线总结如图 1-2 所示。

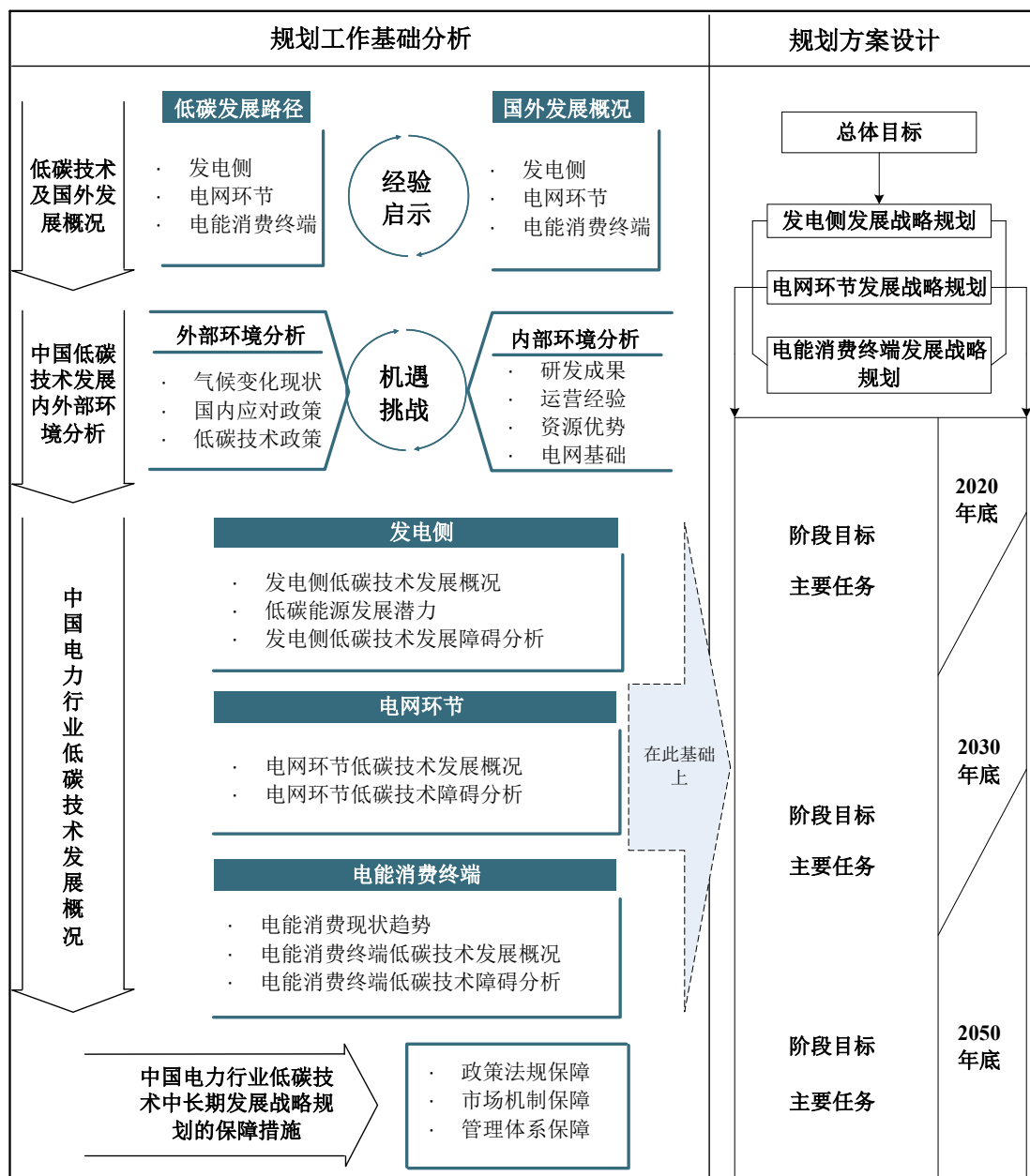


图1-2 课题研究的技术路线图

第二章 中国低碳电力技术发展的内外部环境分析

根据世界各国低碳电力技术的发展现状及趋势可知,由于影响低碳技术的内外部环境因素是规划的边界约束条件,因此为制定详略得当的低碳技术发展规划,需要首先明确影响其发展的内外部环境因素。我国低碳电力技术的发展,一方面与全球气候变化、国内能源供需变化和宏观政策等因素相关,另一方面也与低碳技术本身的研究成果、运营经验、资源优势及电网基础等因素密切相关。

2.1 分析内外部影响因素的必要性

低碳电力技术发展是一项复杂的系统工程,是内外因共同作用的结果。正确认识影响其发展的诸多因素,积极探究促进低碳技术发展的基本策略,对于推动电力工业可持续发展和我国节能减排工作的落实,具有十分重要的意义。如同一般事物的发展受内外部环境影响一样,低碳电力技术的发展也受自身及外部环境的影响,只有处理好内外部环境中各要素的关系才能促使其加速发展。影响低碳电力技术发展的因素中既有客观环境因素,又有主观环境因素,内外部影响因素中均有所体现。

外因是事物发展的条件。也就是说低碳电力技术的发展主要是由自身因素所决定的,然而其外部环境的作用也不可忽略,因为研发及应用过程只有在一定的社会环境中才能进行。因此,对外部环境中影响因素的分析就具有了极其重要的意义。中国低碳电力技术发展的外部环境影响因素主要包括全球气候变化、能源供需变化以及宏观政策

等。1) 全球气候变化现状及趋势是促使低碳电力技术研发与推广的直接推动力,正是因为全球变暖现状及潜在的变化趋势可能对人类带来的深远影响,才促使电力工业节能减排成为当务之急。2) 能源供需变化极大地影响着低碳电力技术的发展,煤炭供需情况影响着洁净煤技术的发展,而可再生能源的供需情况又直接关系可再生发电技术的发展。3) 宏观政策包括中国应对气候变化的宏观政策和低碳技术相关政策,前者是发展低碳电力技术的指导性原则,也是电力行业制定低碳电力技术政策和技术发展规划的主要依据;后者是研究和制定低碳电力技术战略规划的直接依据。

内因是事物发展的根据。也就是说低碳电力技术的发展状况是未来发展趋势的根据,在某种意义上可以说技术水平高低是其未来发展的决定性因素。技术自身因素是影响其发展最直接、最主要、也是最根本的因素。从技术本身出发考虑,影响低碳电力技术发展的内部因素主要包括技术已有的研发成果、技术的运营经验、技术依赖的资源优势和技术发展的电网支撑等(图 2-1)。1) 低碳电力技术本身的研发成果和运营经验的丰富与否直接关系到其能否顺利实施和推广。2) 低碳能源资源优势是可再生能源发电技术的根本,其资源丰富性可直接促进能源结构的改善。3) 电网基础是一切低碳电力技术在电力系统中得以有效发挥其减排作用的必要支撑。

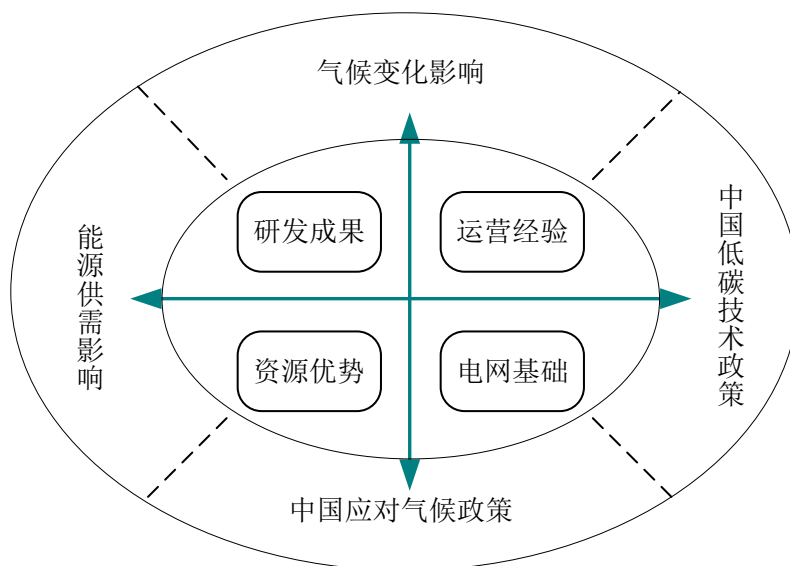


图 2-1 低碳电力技术发展内外部影响因素

2.2 外部环境影响因素分析

2.2.1 全球气候变化影响分析

作为影响低碳电力技术未来发展的外部客观因素，全球气候变化是推动低碳电力技术发展的最主要原因之一。近年来，全球气候变暖所导致的各种灾害性事件频发，已严重影响到人类的生存和发展。目前，全球气候的特征变化，主要表现在以下三方面。

（1）气温变化

观测记录和研究结果表明，自 1861 年以来全球陆地和海洋表面的平均温度呈上升趋势，20 世纪升高了大约 0.6°C 左右；就全球而言，20 世纪 90 年代是自 1861 年以来最暖的 10 年，1998 年则是自 1861 年以来最暖的 1 年。近百年的全球温度仪器测量记录还表现出明显的年代际变化，20 世纪最主要的变暖发生在 1910~1945 年和 1976~2000 年期间。结合大量资料，对近 1000 年北半球气候变化的研究表明，

20 世纪的增温有可能是近 1000 年中最大的，20 世纪 90 年代可能是近 1000 年中最暖的 10 年，1998 年是近 1000 年中最暖的 1 年。就我国而言，据观测资料显示，1951~1989 年全国年平均气温以每 10 年 0.04°C 的速率上升，表现出明显的上升趋势；自 1987 年以来出现了持续 14 年的异常偏暖，最暖的 1998 年偏暖 1.4°C 。这一变暖趋势与全球变暖的趋势一致。

（2）降水变化

高纬地区大部分陆地区域每 10 年降水增加 $0.5\% \sim 1.0\%$ ；北纬 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 大部分陆地区域降雨量每 10 年减少了 0.3% ；北纬 $10^{\circ} \sim$ 南纬 10° 热带大陆地区降雨量每 10 年增加 $0.2\% \sim 0.3\%$ 。与北半球相反，南半球不同纬度带没有检测出有类似的系统性的降水变化，这与没有足够的资料确定降水量的变化趋势有关。另外，据我国观测资料表明，在过去近 50 年中，我国年平均降水量变化的趋势不显著，主要表现为明显的年际变化。已有的研究表明，1951~1989 年全国年平均降水量存在弱的减少趋势，但区域性差异明显，降水减少最严重的是华北，其次是长江中下游、华东和西南地区。进入 20 世纪 90 年代，降水明显增多，但主要集中在长江中下游、华南和东北部分地区。

（3）气候极端事件的变化

全球气候变暖后，不仅气候平均值会发生变化，干旱、洪涝、高温热浪和低温冷害等气候极端事件的出现频率也会随之发生变化。观测记录显示，自 1950 年以来，极端最低气温的出现频率有所下降，但极端最高气温的出现频率有所增加。观测记录还显示，北半球中高

纬度地区降水量增加的地区，大雨和极端降水事件有增多趋势。20 世纪后半叶，北半球中高纬地区强降雨事件的出现频率可能增加了 2%~4%；而北半球中高纬度地区降水量减少的地区，大雨和极端降水事件有下降趋势。在亚洲和非洲的一些地区，近几十年来干旱与洪涝的发生频率增高、强度增强。分析表明，夏季大陆上的一些地区可能已经变得更干，干旱的威胁可能也相应地有所增加。在东亚地区，虽然降水量趋于下降或变化不大，但仍有些地方大雨和极端降水事件有所增加。

(4) 未来变化趋势

科学家使用 31 个复杂气候模式，对 6 种代表性温室气体排放情景下未来 100 年的全球气候变化进行了预测。结果表明：1) 全球平均地表气温到 2100 年时将比 1990 年上升 1.4~5.8℃。这一增温值将是 20 世纪内增温值 (0.6℃左右) 的 2-10 倍，可能是近 10,000 年中增温最显著的速率。2) 21 世纪全球平均降水将会增加，但大部分年平均降水增加的区域很可能同时出现大的年际变化。3) 北半球雪盖和海冰范围将进一步缩小。4) 全球平均海平面到 2100 年时将比 1990 年上升 0.09~0.88m，各个区域的上升值将有较大的差异。5) 一些极端事件 (如高温天气、强降水、热带气旋强风等) 发生的频率会增加。由此可知，全球变暖将继续下去，即便大气中的温室气体浓度从现在起稳定，这种变暖趋势还要持续几十年，且未来增暖的速率将比过去 100 年更快。

综上所述，以 CO₂ 为主的温室气体的大量排放，一方面，显著改

变全球陆地和海洋表面的平均温度,影响全球的降水变化;另一方面,导致干旱、洪涝、高温热浪和低温冷害等气候极端事件频繁发生,严重危及人类的生存。因此,需要立即采取措施,防止全球变暖程度进一步加深。这就使得电力行业低碳技术的研发与推广应用成为必然,在提高电力工业的整体效率的同时,有效控制行业和国家 CO₂ 的排放。

2.2.2 能源供需变化影响分析

能源是人类生存和发展的重要物质条件。进入 21 世纪以来,随着经济的快速发展,我国能源需求规模不断扩大,煤炭、石油、天然气等不可再生能源消耗持续增长。与日俱增的能源需求和以化石燃料为主的矿物能源消费格局,导致我国能源资源短缺、环境污染以及气候变化问题日益严峻。2008 年中国一次能源生产总量为 26 亿吨标准煤,同比上升 5.2%,是 2001 年 13.74 亿吨标准煤的 2.62 倍,期间年均增长 12.75%;同期一次能源消费总量从 14.32 亿吨标准煤增加到 28.5 亿吨标准煤,年均增长 14.15%。2008 年供需缺口为 2.5 亿吨标准煤(图 2-2),虽比 2006 年的 2.52 亿吨标准煤和 2007 年的 3.02 亿吨标准煤略有下降,但与之前年限相比上升仍幅度较大。从 2001 年到 2008 年,虽然中国能源生产持续增长,但其增长速度小于能源消费的增长速度,因此能源缺口不断扩大,能源供需矛盾十分突出。

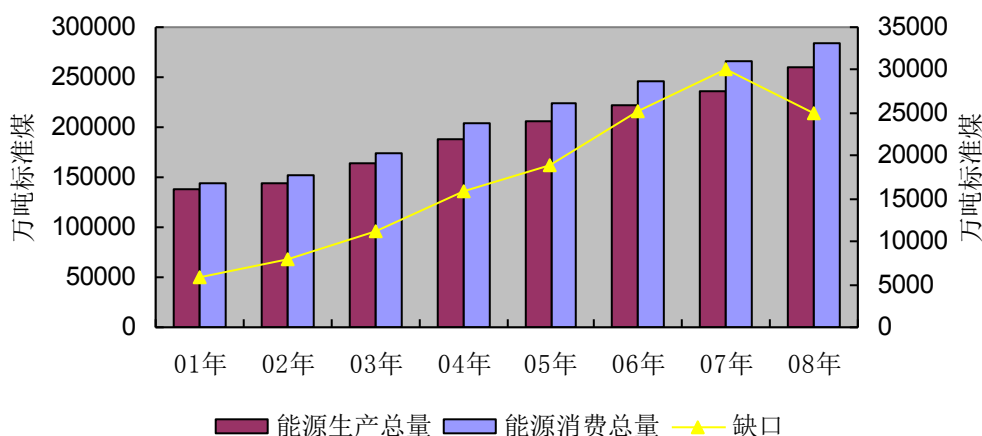


图 2-2 2001~2008 年中国能源生产和消费总量 (国家统计局网)

我国能源结构以煤为主，而电力行业的煤耗量占据半壁江山，为促进能源供需形势趋于缓解，势必减少电力行业用煤总量，这就使得洁净煤发电技术（提高能效、降低煤耗）及其他非化石能源发电技术的推广与应用成为必然。作为传统化石能源的重要补充，与环境保护目标相一致的风能、太阳能等可再生能源，已成为当今能源可持续发展的重要方向。然而，可再生能源的大量并网必然对已有的电力系统提出新的要求。因此，有必要研究电网环节的低碳输电、低碳配电、低碳调度和低碳储能技术，以保证电能质量，维持系统稳定性。此外，逐渐增加的能源消费需求除与工业用能增长有关之外，也与我国汽车销售量的快速增长有关。为抑制交通领域的能源消费过快增长，必须加快推进新能源汽车技术的研发与推广，以减少化石能源的过度消耗，同时有效控制交通领域碳排放。为此，课题提出了发展电动汽车等用电侧的低碳技术，以实现我国汽车产业发展升级以及可持续发展的目标。

综上所述，能源供需变化极大地影响着低碳电力技术的发展，根

据我国目前的能源供需现状可知,现阶段必须基于自身资源条件和经济发展目标,大力发展低碳发电技术,以进一步调整和优化我国能源结构,保障能源安全,实现节能减排,有效应对气候变化。

2.2.3 中国宏观政策影响分析

根据《京都议定书》中我国的无量化减排责任有效期为 2012 年的规定,以及哥本哈根会议提出的可量化的减排计划,我国面临着严峻的减排压力。为此,中国政府提出了加快建设资源节约型、环境友好型社会的重大战略构想,不断强化应对气候变化的措施,先后制定了一系列促进节能减排的政策,为低碳电力技术的发展奠定基础。以下首先分析我国应对气候变化的相关政策,在此基础上介绍促进低碳电力技术发展的有关政策,得出低碳电力技术发展的宏观政策支撑。

(1) 应对气候变化相关政策分析

为应对气候变化,我国制定的宏观政策包括《国家环境保护“十一五”规划》、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》、《中国应对气候变化国家方案》、《中国应对气候变化的政策与行动》等。其中,《国家环境保护“十一五”规划》指出要大力发展可再生能源以及控制工业生产过程中的温室气体排放等要求;《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出了“十一五”期间单位国内生产总值能耗降低 20%左右,主要污染物总量减少 10%的约束性指标;《中国应对气候变化国家方案》明确了到 2010 年应对气候变化的具体的目标、基本的原则、重点领域和政策措施;《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书,详细阐明了气候变化与

中国国情、气候变化对中国的影响、应对气候变化的战略和目标、减缓气候变化的政策与行动、应对气候变化的体制机制建设等重大问题的原则立场和诸种积极措施。

2009 年 8 月 24 日，国务院研究制订《关于发展低碳经济的指导意见》，从中国国情和实际出发，开展低碳经济试点示范，试行碳排放强度考核制度，探索控制温室气体排放的体制机制，在特定区域或行业内探索性开展碳排放交易。2009 年 8 月 27 日，全国人大常委会表决通过《关于积极应对气候变化的决议》，决议提出了积极应对气候变化的一系列具体措施，包括控制温室气体排放，增强适应气候变化能力、充分发挥科学技术的支撑和引领作用、发展绿色经济、低碳经济等，并要求把积极应对气候变化作为实现可持续发展的长期任务纳入国民经济和社会发展规划。

2009 年 9 月 22 日，中国国家主席胡锦涛出席联合国气候变化峰会开幕式，并发表了题为《携手应对气候变化挑战》的重要讲话。胡锦涛指出，中国将进一步把应对气候变化纳入经济社会发展规划，并继续采取强有力的措施：1) 加强节能、提高能效工作，争取到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年有显著下降。2) 大力发展可再生能源和核能，争取到 2020 年非化石能源占一次能源消费比重达到 15% 左右。3) 大力增加森林碳汇，争取到 2020 年森林面积比 2005 年增加 4000 万公顷，森林蓄积量比 2005 年增加 13 亿立方米。4) 大力发展绿色经济，积极发展低碳经济和循环经济，研发和推广气候友好技术。在 2009 年 12 月 7 日-18 日召开的哥本哈根联合国气

候变化大会上，中国政府对外宣布将在 2020 年将单位碳排放比 2005 年减少 40%-45% 的目标，表明配合国际社会承担大国社会责任的决心。

（2）低碳电力技术发展相关政策分析

中国发展低碳电力技术的相关政策主要集中于水能、风能、太阳能、生物质能等可再生的低碳能源领域。这类政策的支持性、落实性和持续性对于低碳电力技术的发展意义重大，是影响其未来发展趋势的外部因素之一。为鼓励可再生能源的开发和利用，近年来国家有关部门先后出台了多项政策法规给予支持，这些政策法规极大地推动了我国可再生能源的发展，客观上进一步加深了低碳电力在我国的应用程度，对于减少我国温室气体排放具有重要的支撑作用。

2005 年 2 月全国人大常委会通过、胡锦涛主席签发颁布了《中华人民共和国可再生能源法》。该法规确立了可再生能源总量目标制度、可再生能源并网发电审批和全额收购制度、可再生能源上网电价与费用分摊制度、可再生能源专项资金和税收、信贷鼓励等系列措施。此后，有关部门陆续出台了 10 多个实施细则，保证了可再生能源法的实施。《可再生能源法》明确了发展可再生能源的战略意义，极大地鼓励了水电、风电、太阳能发电等前景良好的低碳能源的进一步开发利用，为改善我国能源结构，增加能源供应，保护环境，实现经济社会的可持续发展奠定了法律基础。

2007 年 9 月 7 日，我国政府颁布了《中国可再生能源中长期发展规划》，正式提出了国家可再生能源发展目标。指出我国要充分利

用水电、沼气、太阳能热利用和地热能等技术成熟、经济性好的可再生能源,加快推进风力发电、生物质发电、太阳能发电的产业化发展,逐步提高优质清洁可再生能源在能源结构中的比例,力争到2010年使可再生能源消费量达到能源消费总量的10%左右,到2020年达到15%左右。该规划在原有开发程度的基础上,进一步推动了可再生能源的发展。

2007年12月,我国政府颁布了《中国的能源状况与政策白皮书》,将可再生能源发展作为国家能源发展战略的重要组成部分。白皮书中不再提以煤为主,着重提出能源多元发展。并将可再生能源发展正式列为国家能源发展战略的重要组成部分:1)坚持节约优先、立足国内、多元发展、依靠科技、保护环境、加强国际互利合作,努力构筑稳定、经济、清洁、安全的能源供应体系,以能源的可持续发展支持经济社会的可持续发展。2)将通过有序发展煤炭,积极发展电力,加快发展石油天然气,鼓励开发煤层气,大力发展水电等可再生能源,积极推进核电建设,科学发展替代能源,优化能源结构,实现多能互补,保证能源的稳定供应。该书指出了我国未来能源生产消费的方向,为低碳能源及低碳技术的开发利用进一步指明了方向。

以上所描述的相关政策法规各有侧重,从理论上说都促进了低碳能源的开发利用,促进低碳技术的研发工作。然而,只有政策得到层层落实,才能真正体现其对低碳能源实际利用的促进作用。此外,政策还必须具有一定的持续性,这与我国长期以煤为主、短期内无法大规模发展低碳能源的生产消费结构有关。从近年来的低碳能源开发利

用情况看，伴随着以上政策所涉及的大部分体制、机制的有效执行，极大地调动了各方面发展低碳技术的积极性，有力地促进了可再生能源的发展，有效减少了 CO₂ 等污染物的排放。

2.3 内部环境影响因素分析

2.3.1 低碳电力技术研发成果

低碳电力技术的研发，是促进电力行业可持续发展的重要技术支撑。低碳技术的推广，必将有力地推动我国电力工业低碳经济发展模式进一步深化，为电力市场的发展在技术和人才方面作好进一步的准备。电力行业的发展离不开技术研究成果的支撑，在全球变暖的大背景下，更是离不开低碳电力技术研发成果的支撑。从技术本身的发展情况看，目前发达国家都已逐步建立了各类低碳技术专门的实验基地，并已进行了相关的实验和试点，长期而全面地进行低碳电力技术的研发和应用。

对于我国而言，几十年来，业界对低碳技术的研究探索一直未有懈怠。在借鉴国外低碳电力技术研发成果的基础上，充分发挥后发研究的优势，消化和吸收国外研究成果，着力研究符合中国国情行情的低碳电力技术，加快关键技术攻关，从洁净煤发电技术的引入到智能用电技术、电动汽车技术的研发，大批研究成果，对于提高我国电力行业各环节的参与者对低碳经济发展模式的功能、运行、操作和管理及其认知水平，均起到了极大的推动作用。已有的大量技术研发成果，一方面可以引导各方力量对我国电力行业低碳技术的未来发展趋势

进行深入研究，以实现其规模化发展；另一方面也可将丰硕成果付诸市场实践，从而推动电力市场的创新和发展。

2.3.2 低碳电力技术运营经验

低碳技术的研发及应用是为了有效应对气候变化带来的挑战，更是为了推动行业乃至国家的可持续发展。在这一过程中，低碳技术的持续管理改进和技术改造是创造优良运行业绩，从而达到预定减排目标的保证。从技术本身的运行情况看，目前发达国家的多项低碳电力技术都已安全运行多年，且已产生客观的经济效益，其他未投入运行的低碳技术也已进入加速试点阶段，从德国已投入运行的超超临界机组到美国已建成的世界首座智能用电城市，这些低碳电力技术实践项目可提供丰富的运营经验，以指导我国低碳电力技术的推广和应用。

几十年来，低碳电力技术在我国运营经验也十分丰富。以核电技术为例，自几个核电站投入运营以来，连续取得多个燃料循环的长周期安全运行业绩，从实践中证明了我国自主设计、自主建造和自主运营管理的成功。一流的运行业绩为我国核电事业发展积累了丰富的经验，培养了人才，打下了基础。有计划、有组织、有系统地进行技术改造，同时注重调试运行的探索实践和人才队伍的全面发展，在不断吸取国外先进运行经验的基础上，结合自身情况，汇集项目管理、技术支持、人才培养等优秀运营管理经验于一体，是我国走自主发展低碳电力技术的重要前提。

2.3.3 低碳能源资源优势

加快能源结构调整，减少化石能源消耗，增加可再生清洁能源比重，是中国低碳电力发展的重要途径。由于可再生能源发电技术对于资源的依赖性极强，要充分发挥低碳能源的减排作用，必须具备相应的资源优势。我国拥有丰富的可再生清洁能源，具有利用可再生能源发电的现实条件和资源优势。根据初步资源评价，我国资源潜力大、发展前景良好的可再生能源主要包括水能、生物质能、风能和太阳能。

（1）水能

水能资源是我国重要的可再生能源资源。根据 2003 年全国水力资源复查成果，全国水能资源理论蕴藏量为 6.76 亿千瓦，技术可开发装机容量为 5.4 亿千瓦，年发电量可达 2.47 万亿千瓦时；经济可开发装机容量为 4 亿千瓦，年发电量 1.75 万亿千瓦时。如开发充分，至少每年可以提供相当于 10 亿~13 亿吨原煤的能量，减排潜力巨大。我国水资源主要分布在西部地区，约 70%在西南地区。长江、金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、红水河、澜沧江、黄河和怒江等大江大河的干流水能资源丰富，总装机容量约占全国经济可开发量的 60%。我国水能资源分布比较集中，具备集中开发和规模外送的良好条件。同时我国的小水电资源也十分丰富，理论蕴藏量约 1.5 亿 kW，可开发装机容量 6521 万 kW，适宜广大农村和偏远山区因地制宜的开发利用。

（2）风能

我国拥有丰富的风能资源，根据最新风能资源评估，全国可开发利用的风能储量约为 10 亿千瓦，其中陆地储量分能储量约为 2.5 亿千瓦，近岸海域风能储量约为 7.5 亿千瓦。主要分布在两大风带：一

是“三北地区”(东北、华北北部和西北地区);二是东南部沿海陆地、岛屿及近岸海域。另外,内陆地区还有一些局部风能资源丰富区。目前全球的风电发展正在进入一个迅速扩张的阶段,同时中国的风力发电装机容量正以每年 30% 的速度增长,预计风电将在我国新能源发电中占据较大的比重,市场前景诱人,发展空间广阔。

(3) 太阳能

我国的太阳能资源相当丰富,全国三分之二的国土面积年日照小时数在 2200 小时以上,年太阳辐射总量大于每平方米 5000 兆焦,与同纬度的其他国家相比,太阳能资源蕴藏量和美国相似,比欧洲、日本优越许多,属于太阳能利用条件较好的地区,这为我国的太阳能发电事业提供了得天独厚的地理优势。其中西藏、青海、新疆、甘肃、内蒙古、山西、陕西、河北、山东、辽宁、吉林、云南、广东、福建、海南等地区的太阳辐射能量较大,尤其是青藏高原地区太阳能资源最为丰富,是太阳能开发和利用的重点区域。

(4) 生物质能

我国生物质能资源主要有农作物秸秆、树木枝桠、畜禽粪便、能源作物(植物)工业有机废水、城市生活污水和垃圾等。全国农作物秸秆年产生量约 6 亿吨,除部分作为造纸原料和畜牧饲料外,大约 3 亿吨可作为燃料使用,折合约 1.5 亿吨标准煤。林木枝桠和林业废弃物年可获得量约 9 亿吨,大约 3 亿吨可作为能源利用,折合约 2 亿吨标准煤。甜高粱、小桐子、黄连木、油桐等能源作物(植物)可种植面积达 2000 多万公顷,可满足年产量约 5000 万吨生物液体燃料的原

料需求。畜禽养殖和工业有机废水理论上可年产沼气 800 亿立方米，全国城市生活垃圾年产生量约 1.2 亿吨。目前，我国生物质资源可转换为能源的潜力约 5 亿吨标准煤，今后随着造林面积的扩大和经济社会的发展，生物质资源转换为能源的潜力可达 10 亿吨标准煤。

2.3.4 低碳技术发展的电网基础

为保障国家能源安全，破解制约发展的资源和环境难题，增进生态文明的可持续发展道路，必须大力发展低碳电力技术，而坚强电网则是推动其发展的战略支点，也是国家推进低碳发展的战略重点。加快发展核电、风能、太阳能、生物质能等清洁能源，是能源持续供应和结构优化的战略保障。良好的电网结构和配套设施建设是低碳电力技术尤其新能源发电技术得以大规模应用的基础。

随着国民经济的快速发展，我国不断加强电网及其基础设施建设力度，一方面提高了电力系统的安全性与可靠性，另一方面为新能源并网提供了必要的基础条件，有效地促进了新能源的发展。相对于发达国家已经运行了近半个世纪的陈旧电网而言，我国的开始大规模电网建设仅 20 余年，设备技术水平先进，电网结构坚强，具备发展低碳技术的后发优势。我国电力总量已经基本可以满足本国经济社会的发展需求，电力系统信息化水平稳步上升；坚强的网架结构、大量最新技术设备的使用，配电自动化、供电信息数字化的应用，为我国低碳电力技术的发展应用提供了重要支撑。

第三章 发电环节低碳技术中长期发展战略规划

发电环节是电力行业各环节中碳减排优化空间最明显的环节，而低碳电力技术的引入，则是实现整个电力工业低碳化发展的关键。为保证电力生产的低碳化可持续发展，必须提高一次能源利用效率，开发清洁、高效的火力发电技术，同时提高可再生能源开发利用效率，走电力经济与环境保护协调发展的技术道路。高效清洁发电技术的发展、常规发电能源结构的优化以及实现发电能源的多样化发展有利于缓解电力发展与环境之间的矛盾。

3.1 指导思想及基本原则

3.1.1 指导思想

以邓小平理论、“三个代表”重要思想为指导，全面落实科学发展观，促进资源节约型、环境友好型社会和社会主义新农村建设，贯彻执行“绿色煤电”计划，认真落实《可再生能源法》，把发展清洁煤电技术、核电、可再生能源作为全面建设小康社会、构建和谐社会、实现可持续发展的有效手段。加快发展超超临界和 IGCC 等大容量、高效率的清洁煤电技术，进一步提高核电开发率，提高水电、风电、太阳能等技术成熟、市场竞争力强的可再生能源，尽快提高非化石能源在能源消费中的比重。积极推进技术基本成熟、开发潜力大的风电、生物质发电、太阳能发电、生物液体燃料等可再生能源技术的产业化发展，为更大规模开发利用可再生能源奠定基础。

3.1.2 基本原则

1) **坚持技术应用与经济、社会和环境相协调。**在满足电力系统安全运行的前提下，通过优化煤电布局，加大清洁能源的发电装机比重，充分利用其它电源的调节能力，增大非化石能源的发电比例，减少化石能源消耗及二氧化硫、二氧化碳排放，促进电力工业的绿色发展、低碳发展。重视核废料处理厂的选址、技术、运输、环境评价工作，使核电发展能够长远持续。重视可再生能源与环境和生态保护的协调。要根据资源条件和经济社会发展需要，在保护环境和生态系统的前提下，科学规划，因地制宜，合理布局，有序开发。

2) **坚持市场开发与产业发展互相促进。**通过发展低碳电力，推动超超临界和 IGCC 等产业链的发展，提高核电自主化程度，促进我国工业结构的转型升级。对资源潜力大、商业化发展前景好的新兴低碳能源，在加大技术开发投入力度的同时，采取必要措施扩大市场需求，以持续稳定的市场需求为低碳能源产业的发展创造有利条件。建立以自我创新为主的低碳能源技术开发和产业发展体系，提高设备制造能力，通过持续的规模化发展提高其市场竞争力，为低碳能源的大规模发展奠定基础。

3) **坚持技术发展的可持续性。**积极发展未来具有巨大潜力、近期又有一定市场需求的低碳发电技术。既要重视近期适宜应用的三代核电、水电、生物质发电、沼气、生物质固体成型燃料、风电和太阳能热利用，也要重视未来发展前景良好的核聚变、太阳能光伏发电、生物液体燃料等能源技术，为各类低碳发电技术的可持续发展积极创造条件。

4) **坚持政策引导与市场机制相结合。**正积极研究并制定碳税等经济政策来引导发电企业及相关装备制造企业投资研发低碳技术，为低碳技术的发展创造友好的市场氛围。与此同时，建立促进低碳能源发展的市场机制，运用市场化手段调动投资者的积极性，提高低碳发电技术水平，推进低碳技术产业化发展，结合政策导向及支持，不断提升市场竞争力，取得更大规模的发展。

3.2 规划思路与规划依据

本课题中发电环节的战略规划分三期进行控制和引导，电网环节和电能消费终端的战略规划期亦作此划分，而后不再赘述。各期的时间段划分如下：近期——2010~2020 年；中期——2021~2030 年；远期——2031~2050 年。其中，近期以 10 年为限，是我国“全面建设小康社会与和谐社会”以及“初步实现现代化和创新型国家”等目标的期限；中期以 10 年为限，对应于一般社会经济发展规划的远期；远期则对应于我国拟在本世纪中叶“基本实现现代化”的战略目标。以下阐述规划制定的依据。

本章规划的依据是现阶段国家对于发展低碳电力指定的相关政策法规和已制定的电力低碳发展路径等。

1) **推动低碳电力技术发展相关政策。**2009 年 11 月 25 日，温家宝总理召开国务院常务会议，研究部署应对气候变化工作，发展低碳经济已成为我国长期发展战略目标。会议提出，面对气候变化的严峻挑战，必须深入贯彻落实科学发展观，采取更加强有力的政策措施与行动，加快转变发展方式，努力控制温室气体排放，建设资源节约

型和环境友好型社会。会议决定，将“2020 年我国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45%”作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划，并制定相应的国内统计、监测、考核办法。会议还决定，通过大力发展可再生能源、积极推进核电建设等行动，到 2020 年我国非化石能源占一次能源消费的比重达到 15%左右。

2) 推动低碳电力技术发展相关法律。《中华人民共和国电力法》为我国电力系统的发展指明了总体方向。《中华人民共和国可再生能源法》及其修正法案全面地体现出我国以立法形式对可再生能源提供阶段性扶持、培育与引导的立法初衷，同时也显示了我国应对气候变化的社会认同度正不断提升。相关法律法规在明确发展基金来源的同时提高了电网企业收购可再生能源电力的积极性，有利于推动可再生能源的开发利用，促进可再生能源市场及低碳电力技术的长远发展。

3) 推动低碳电力技术发展相关已有规划。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》中对燃气轮机进行了多处规划：在能源领域“煤的清洁高效开发利用、液化及多联产”主题规划中重点研究开发煤炭高效开采技术及配套装备，重型燃气轮机，整体煤气化联合循环 (IGCC) 的技术与装备等，这些规划都为我国燃气轮机及其先进动力循环系统自主创新提供了良好机遇。《可再生能源中长期发展规划》为合理有序开发利用可再生能源提供了有力支撑，是落实科学发展观、建设资源节约型社会、实现可持续发展的体现。

3.3 规划总目标与阶段目标

3.3.1 总体目标

今后四十年，我国低碳发电技术发展的总目标是：降低煤电技术的温室气体排放，提高核电和可再生能源的消费比重，有效改善电力工业对于化石能源，尤其对煤炭依存度过高的局面，实现电源结构的多样化，形成清洁的电能供应体系，从根本上优化电力电源结构，大幅度减少发电环节的温室气体排放，实现电力工业的可持续发展。

1) **降低煤电的温室气体排放，促进电力工业低碳发展。**我国煤炭资源相对于其他化石能源较为丰富，因此发电煤耗量长期居高不下，这就使得电力行业的温室气体排放状况日益严峻。超（超）临界发电技术、循环流化床技术、增压流化床燃烧联合循环技术、整体煤气化联合循环发电技术、碳捕集与封存技术等洁净煤发电技术在我国已有应用，具有良好的发展前景。加快洁净煤发电技术的推广应用，降低煤电的温室气体排放，是发展低碳发电技术的重要目标。

2) **提高核电消费比重，形成清洁供应体系。**我国是世界上少数几个拥有比较完整核工业体系的国家之一。核电因其永续利用性和清洁性成为满足我国电力增长需求、调整能源结构和应对气候变化的一个重要选择。加大我国核电自主设计、自主制造、自主建设和自主运营的实践力度，进一步规范厂址资源储备、核燃料供应和运行的安全性、经济性，促进核电大规模发展，是提高核电消费比重的重要步骤。

3) **提高可再生能源消费比重，优化电力电源结构。**我国可再生能源丰富，水电、风电、太阳能和生物质能资源潜力大，相关技

术已经成熟或接近成熟，具有大规模开发利用的良好前景。加快可再生能源技术发展，完善支持可再生能源发展的政策体系和机构能力建设，建立起完备的可再生能源产业体系，使其具备参与市场竞争的能力，进而提高我国可再生能源消费比重。

3.3.2 阶段目标

(1) 加速发展阶段 (2010~2020 年)

到 2020 年，形成以新一代超超临界燃煤发电、超临界循环流化床发电、IGCC 机组为主流的燃煤机组格局，力争煤电比重占全部装机容量的 60%以下，装机容量约为 11 亿 kW，实现燃煤电厂碳捕集系统的普及率达 30%，超临界和超超临界机组占火电机组总容量的 30%，完全掌握超超临界 60 万 kW 和 100 万 kW 级超超临界燃煤发电机组的设计、制造技术。考虑资源分布特点、开发利用条件、经济发展水平和电力市场需求等因素，充分利用核电、水电等技术成熟、经济性好的低碳能源，加快推进风力发电、生物质发电、太阳能发电的产业化发展，提高优质低碳能源在能源消费结构中的比例，力争到 2020 年核电装机占发电装机的 4%，包括水电在内的可再生能源发电装机达到 35%。其中，到 2020 年，全国核电装机容量达到 7000 万 kW；全国水电装机容量达到 3.5 亿 kW，大中型水电 2.5 亿 kW，小水电 1 亿 kW；全国风电总装机容量达到 2.5 亿 kW；太阳能发电总容量达到 2500 万 kW；生物质发电总装机容量达到 3500 万 kW。2020 年中国发电装机容量规划如图 3-1 所示。

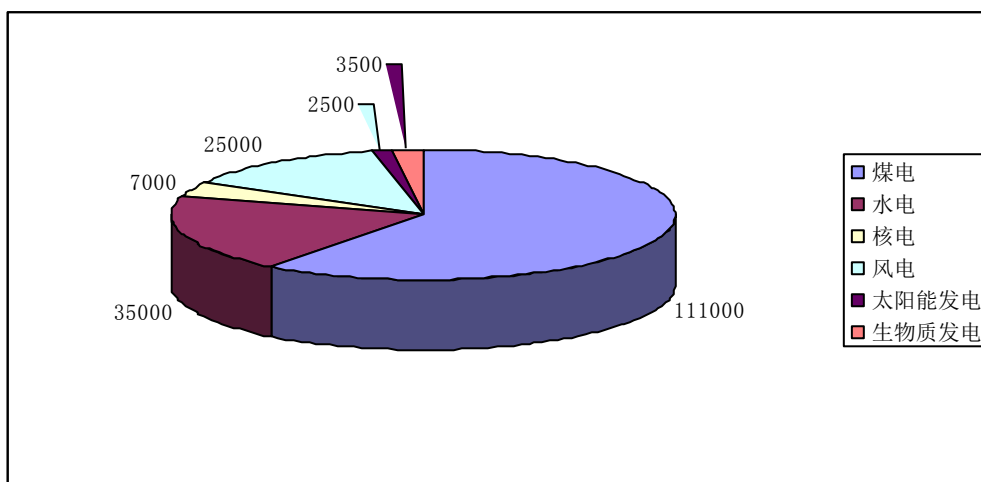


图 3-1 2020 年中国发电装机容量规划 (单位：万 kW)

(2) 优化转型阶段 (2020~2030 年)

掌握各类洁净煤发电技术的设计、制造及应用技术，规范操作流程，确保 70% 的燃煤机组采用相宜的洁净煤发电技术，力争到 2030 年我国煤电比重占全部装机容量的 55% 以下，装机容量约为 12 亿 kW，实现燃煤电厂碳捕集系统的普及率达 50%。进一步发挥核电、水电等低碳能源的大规模替代优势，利用风电、生物质发电、太阳能发电的规模化效益，进一步提高优质低碳能源在能源消费结构中的比例，力争到 2030 年核电装机占发电装机的 7%，包括水电在内的可再生能源发电装机达到 40%。其中，到 2020 年，全国核电装机容量达到 1.6 亿 kW；全国水电装机容量达到 5 亿 kW，大中型水电 3.5 亿 kW，小水电 1.5 亿 kW；全国风电总装机容量达到 4 亿 kW；太阳能发电总容量达到 5000 万 kW；生物质发电总装机容量达到 7000 万 kW。2030 年中国发电装机容量规划如图 3-2 所示。

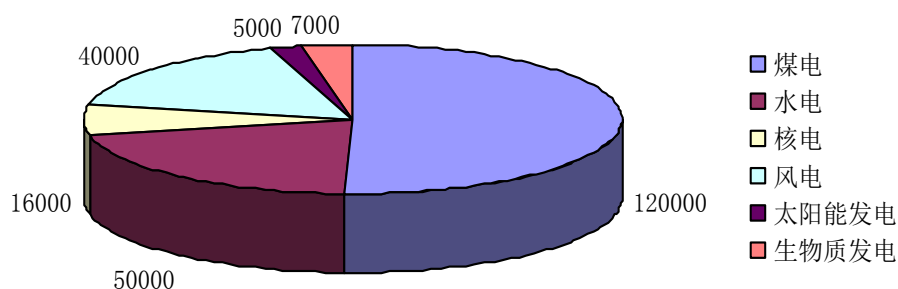


图 3-2 2030 年中国发电装机容量规划 (单位：万 kW)

(3) 全面提升阶段 (2030~2050 年)

到 2050 年，所有投产的燃煤机组均采用高效洁净煤发电技术，力争煤电比重占全部装机容量的 43% 以下，装机容量约为 13 亿 kW。充分发挥核电、水电、风电、生物质发电、太阳能发电的节能减排效益，全面提升优质低碳能源在能源消费结构中的比例，力争到 2050 年核电装机占发电装机的 10%，包括水电在内的可再生能源发电装机达到 45%。其中，到 2050 年，全国核电装机容量达到 3 亿 kW；全国水电装机容量达到 6.5 亿 kW，大中型水电 4.5 亿 kW，小水电 2 亿 kW；全国风电总装机容量达到 6 亿 kW；太阳能发电总容量达到 8000 万 kW；生物质发电总装机容量达到 1 亿 kW。2050 年中国发电装机容量规划如图 3-3 所示。

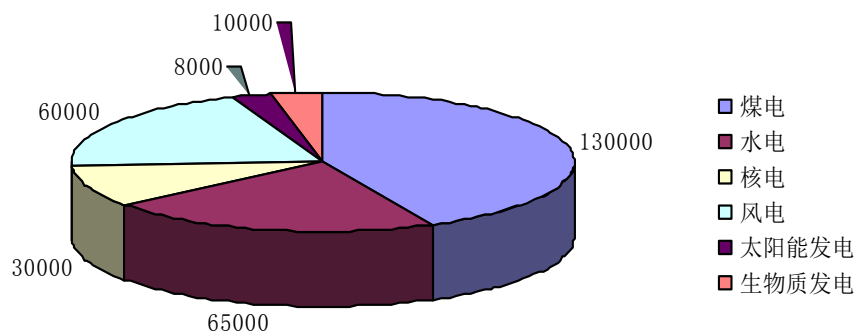


图 3-3 2050 年中国发电装机容量规划 (单位：万 kW)

综上所述，发电环节低碳技术的中长期发展目标如图 3-4 所示。

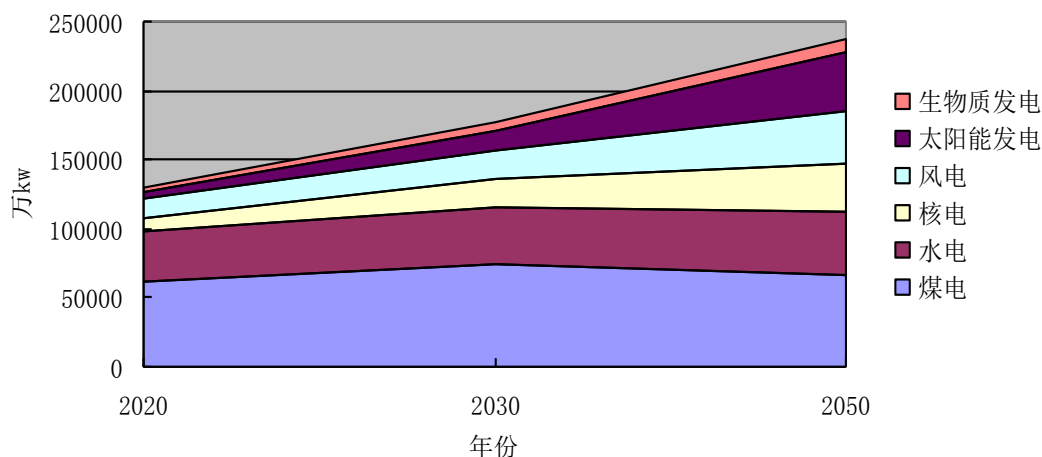


图 3-4 发电环节低碳技术中长期发展目标

3.4 发展低碳技术的主要任务

3.4.1 加速发展阶段

1) 加大洁净煤发电技术研发推广力度，着力缓解煤电污染。集合优势研究人力资源，加大 700℃超超临界煤电机组、800MW 大容量 CFB 锅炉等洁净煤技术的科研攻关力度。针对 IGCC 和 PFBC 等先进燃煤方式，开展可行的包含煤气化、液化及多联产在内的煤资源化利用技术的基础研究；开展适合我国国情的煤基近零排放多联产

系统的各项基础研究，实现关键技术的突破，为大规模的工业应用提供理论基础和科学依据。加强较为成熟的超超临界、IGCC 等示范电站的推广应用，积极推进大容量高效率煤电技术的结合运用，提高我国洁净煤技术的自主创新能力，为推广运用做好技术资源储备与支撑。力争在较短时间内显著提高煤炭利用效率，有效控制污染物排放的技术，形成产业化发展前景，对当前和未来优化能源结构发挥积极作用，缓解煤电温室气体排放，促进电力行业可持续发展。

2) **明确核电发展技术路线，提升自主研发能力。**为稳步提升核电比重，须尽快明确我国的核电发展技术路线，同时提升我国的核电技术自主研发能力和建设能力。在技术路线上，走热堆、快堆、聚变堆三步走的发展道路，2020 年前以二代改进机型为主，培育三代核电，初步具备产业化发展条件。在上游产业链上，加大铀资源勘查技术的研发，实现国内铀资源的勘探开发突破。加强与加拿大、哈萨克斯坦、澳大利亚等国家的铀资源合作开发，保障海外铀资源的供应。进一步加强国内核燃料企业的科技研发和产能建设，建立铀资源战略储备体系，保证核燃料供应满足核电发展需求。在核电自主研发能力上，加快建立以核电机组设计为核心的设计、制造、研发三结合的核能装备产业集群。积极推进联合攻关，把引进国外先进技术与消化吸收再创新相结合，加快掌握核心技术，实现核电设备国产化，提高核电经济性，保障我国核电发展目标的实现。

3) **加快水电建设步伐，逐步扭转比重过低局面。**加快水电建设，首先要高度重视环境保护工作，建立科学的生态环境影响评价体

系。环境保护工作应贯彻整个水电开发过程，严格落实各项环境保护措施。在现有水电开发环境影响研究的基础上，探索建立一套科学成熟的生态环境评价体系和评价方法。积极研究制定水电工程环境相关技术标准并严格实施。其次，需加快对水电项目的核准和流域水电规划的审批。重点考虑金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、黄河上游和怒江等流域，同时在水能资源丰富地区，结合农村电气化县建设和实施“小水电代燃料”工程需要，加快开发小水电资源。此外，需从国家战略出发，进一步重视国际河流的开发规划，西南地区的怒江、澜沧江、雅鲁藏布江等河流干流是我国规划的重要水电能源基地，对保证我国能源电力供应十分重要。

4) **建设大型风电基地，促进风电产业发展。**一方面，加强风电发展规划管理，将风电发展规划纳入能源规划和电力规划，统筹考虑电力系统、电力与经济、电力技术特点等因素，重视风电与其他能源及电网的协调发展。在经济发达的沿海地区，发挥其经济优势，在“三北”(西北、华北北部和东北)地区发挥其资源优势，促进风电规模化发展，建设大型和特大型风电基地；在其他地区，因地制宜地发展中小型风电场；利用海上风能，建设海上风电产业示范基地。充分发挥各大风电基地的带动和辐射作用，形成集群发展态势，充分利用各地的风能资源。另一方面，为促进风电产业发展，需完善和健全风电市场化体系建设。通过加大公共财政对基础性投入，加强对风电产业的监管力度，开展风电场并网的安全性评价工作，完善风电场辅助服务的补偿机制，提升风电设备自有品牌竞争力，强化风电产业的规

范、有序和高效发展。

5) **加快建设太阳能发电系统，促进各地资源有效利用。**在内蒙古、甘肃、新疆、青海等太阳能资源丰富的地区，选择荒漠、戈壁、荒滩等空闲土地，建设大规模的太阳能光伏示范电站和太阳能热发电示范电站。在经济较发达、现代化水平较高的大中城市，推广建设与建筑物一体化的屋顶太阳能并网光伏发电设施，扩大城市可再生能源的利用量，也为太阳能光伏发电提供必要的市场规模。首先在公益性建筑物上应用，然后逐渐推广到其它建筑物，同时在道路、公园、车站等公共设施照明中推广使用光伏电源。力争到 2020 年，全国建成 2 万个屋顶光伏发电项目，总容量 100 万 kW。在偏远地区建设小型光伏电站，推广户用小型光伏发电系统，发挥太阳能光伏发电适宜分散供电的优势，解决无电村和无电户的供电问题。力争到 2020 年，偏远农村地区光伏发电总容量达到 30 万 kW，解决约 100 万户偏远地区农牧民生活用电问题。

6) **大力发展生物质发电技术，高效利用生物质资源。**在粮食主产区建设以秸秆为燃料的生物质发电厂，或将已有燃煤小火电机组改造为燃用秸秆的生物质发电机组。在大中型农产品加工企业、部分林区和灌木集中分布区、木材加工厂，建设以稻壳、灌木林和木材加工剩余物为原料的生物质发电厂。力争到 2020 年达到 2400 万 kW，在宜林荒山、荒地、沙地开展能源林建设，为农林生物质发电提供燃料。在规模化畜禽养殖场、工业有机废水处理和城市污水处理厂建设沼气工程，合理配套安装沼气发电设施。力争到 2020 年，建成大型

畜禽养殖场沼气工程 10000 座、工业有机废水沼气工程 6000 座，年产沼气约 140 亿立方米，沼气发电达到 300 万 kW。在直辖市、省级城市、沿海城市等经济较发达、土地资源稀缺地区建设垃圾焚烧发电厂，积极推广垃圾卫生填埋技术，在大中型垃圾填埋场建设沼气回收和发电装置。力争到 2020 年，垃圾发电总装机容量达到 300 万 kW。

3.4.2 优化转型阶段

1) 突破新型煤炭利用技术，初步形成清洁能源工业体系。

发展新一代燃煤发电技术，提高发电热效率，突破新型煤炭高效清洁利用技术形成全国洁净煤技术发展统一管理和统一规划，理清发展次序。掌握超超临界 60 万 kW 和 100 万 kW 级各系列机组的设计、制造技术，超临界和超超临界机组将占火电机组总容量的 30%。通过提高自主化水平和研发水平进一步降低 IGCC 的单位容量建造成本和运行维护成本，在煤炭大省山西、新疆等地基本形成以气化为基础的 IGCC 与多联产，并在全国范围内实现 IGCC 商业化运行。同时，普及 IGCC 和 CCS 联合运行，通过技术水平和材料制造水平的提升，提高运行的可靠率和经济性。新一代超超临界燃煤发电、超临界循环流化床发电、整体煤气化联合循环发电逐步成为主流，热效率达 50% 以上，初步形成煤基能源与化工的工业体系。

2) 保持核电合理快速发展，形成完整的自主化核电工业体系。核电在低碳能源结构中的贡献率占到 40%，核电装机容量达到 1.5~2 亿 kW。全面掌握三代核电技术，建立起真正的核蒸汽系统供应商，实现我国核电自主装备领域和技术的不断升级，完全拥有自主

知识产权。进一步保证铀资源和核燃料的供应，利用好国内外两个市场，提高核燃料批量生产的能力，实现大型先进压水堆技术。加大四代核电技术研究支持，根据技术研发的进展情况，及时启动试验或示范工程建设。与此同时，自主开发与国际合作相结合，积极探索聚变反应堆技术。在核安全方面，研究更安全的防御措施，从设备和措施上提供多层次的保护，确保反应堆不发生泄露。在核废料处理方面，研究高放射性核废料处理技术，在考虑国家经济发展布局、人口分布、候选地地质的基础上选择核废料处理点，建成我国的深地质核废料处置库。

3) 继续发掘水电开发潜力，保持水电能源结构贡献率。继续发挥成熟的水电技术和经济优势，保持水电在我国低碳能源结构中的贡献率超过 40%，水电装机容量达 3.6~4.2 亿 kW。启动“藏电外送”工程，水电开发区域逐渐向金沙江、澜沧江和怒江上游转移。科学规划，依靠水电工程和输电工程的技术创新，通过国际合作拓展输电走廊或电力市场，使我国水电资源得到进一步开发利用。加强水电技术的创新，把适应西部地质的 200~300m 新型坝作为重心，围绕其组织力量，精心安排，系统全面地开展科技攻关。在水电工程勘察技术方面，形成资料采集、分析整理、成图一体化的工程地质综合分析成套技术。开展水电工程地质问题分析和决策方法研究，依据水电工程的地质数据特征，分类建立各种地质数据库，应用系统科学和决策学的理论和方法，进行工程地质系统的建立，开发水电工程地质专家分析系统，使工程地质问题的决策由目前的定性为主，过渡到定量为主

和科学决策的方法上。继续保持大型水电工程地质环境问题研究，使水电工程的社会环境效益进一步改善。

4) **大规模发展风电，形成完整的风电产业体系。**大规模开发陆上风电，海上风电技术趋于成熟，2030 年风电开发规模达到 1.5~2 亿 kW。推进风能创业，催生一批新的风力发电公司；扶持较大规模的风力发电机组的生产，通过政策支持使其实现规模效益。在风电机组制造和风电场建设的同时，积极投资设计与咨询、运输与安装、运行与维护、监测与认证等技术服务行业，形成完整的风能产业体系。建立风能资源数据库，建立基于地理信息系统和网络技术的风能资源数据库，为风电发展规划、风电场选址和风电机组设计提供数据支持。开展风能资源综合评价，对风能资源专业观测网实测数据、参考气象站历史测风资料、数值模拟计算结果、气候调研信息进行综合分析，对详查区域的风能资源分布特征进行综合评价，确定潜在风电场的地理位置、范围、资源等级和气象灾害风险等级。

5) **提高太阳能和生物质发电技术水平，实现其规模化发展。**太阳能发电技术趋于成熟，太阳能发电在 2030 年前后将具备成为战略能源的资源、技术、成本和环境优势，装机规模达到 6000~7000 万 kW。应用大面积薄膜光伏技术，实现光伏发电在中国的大规模应用。鼓励民用上网，继续实施“光伏屋顶计划”，推广太阳能光热发电技术，确立太阳能发电在全国电力能源结构中的重要地位。确保生物质发电技术在粮食主产区、农林地区和规模化畜禽场等地得到有效推广与提升，实现其规模化发展，在促进生物质合理高效利用的同时保

护生态环境。

3.4.3 全面提升阶段

1) 发展超洁净绿色煤电发电技术，实现煤电近零排放。继续坚持清洁煤电路线，超临界和超超临界发电机组占火电机组总容量的 50% 以上。IGCC 继续朝大容量、高效率、低排放发展，并结合碳捕捉和储存技术，实现碳零排放，技术成熟，形成产业化。验证碳的存储、运输及封存技术的可靠性和有效性，投资新型、低成本碳收集封存创新技术的开发，实现经济和低碳双赢。示范并普及新一代清洁煤电技术如第三代 IGCC、间接燃烧空气轮机联合循环 (EFCC)、高性能发电技术 (HIPPS)、部分气化空气预热燃煤联合循环 (PGACC)、燃料电池和燃气轮机组成的联合循环 (GTCC) 等，实现燃煤电厂近零排放。

2) 发展核电新技术，形成重要的绿色能源支柱。完全掌握核电三代技术，积极研发四代技术。开展基础性的实验研究，引进某些关键设备进行深入研究，缩小差距。创新开发出新一代核能系统，安全性，经济性，可持续发展性，防核扩散，防恐怖袭击等方面都有显著的先进性和竞争能力。普及四代核电技术，掌握国际先进的工程建设项目管理模式和运行模式，拥有先进的管理理念、管理制度和规程，配置相应的软件和硬件设施。形成上海、哈尔滨和四川三大核电设备制造基地，巩固国际核电市场地位。

3) 继续推广低碳发电技术，低碳能源成为主导能源。初步形成以太阳能光伏技术、风能技术等为主的分布式、独立微网的新型

电力系统。在水电方面，大力开发西南水电，加大超高水头和超大容量水电研究和建设力度。水电的发展从“投资驱动”转为“市场驱动”，有良好的投资、建设、运行体制。在风能发电方面，开发新材料，进一步降低风力发电成本；改良风能发动机和叶片，进一步降低噪声；继续研究风力发电对于动物生存环境的影响，更加科学选址，降低风力发电对于环境的影响程度。在太阳能发电方面，技术成熟，单位发电成本下降，在河西走廊、丝绸之路、青藏线、宁夏和内蒙古沙漠边缘等太阳能资源丰富，靠近电网，具有大片荒漠土地，靠近负荷中心的地点建设大型并网光伏系统。太阳能发电系统广泛应用，深入居民用户。制定完整的太阳能发电及并网相关运行管理标准，和太阳能发电设备、太阳能发电并网标准及太阳能发电设备检测认证制度。总之，到 2050 年，力争低碳能源发电比例超过煤电成为主导能源。

3.5 发展低碳技术的保障措施

3.5.1 政策法规保障

1) 出台相关产业政策和规划细则。针对洁净煤发电技术，我国自 1997 年出台《中国洁净煤技术“九五”计划和 2010 年发展规划》至今未有补充，建议根据国内洁净煤产业发展现状做出适当调整，加强洁净煤技术发展的统一规划和统一管理，明确发展重点和优先次序，以指导我国洁净煤发电技术的发展，缓解我国煤电污染严重的局面。针对核电技术，在过去几十年里，我国对核电发展的政策一直是“适当发展核电”或“适度发展核电”。党的十六届五中全会提出了我国

“积极发展核电”的方针，亟需制定一部根本性的《能源法》，以法律的形式将核电的发展列入能源开发和利用的优先领域，积极稳妥地大力开发和利用核电。针对可再生能源发电技术，抓紧制定和完善《可再生能源法》相关配套法规和政策，明确发展目标，将可再生能源开发利用作为建设资源节约型、环境友好型社会的考核指标。认真落实促进可再生能源发展的政策措施，做好可再生能源发电并网、上网电价及费用分摊等政策的完善和落实工作。

2) 适度加大财政和税收优惠力度。针对洁净煤发电技术，在财税政策方面对采用洁净煤技术的企业给与一定的优惠，还可以参照新能源产业某些补贴标准制定相应的补贴标准，帮助企业建设和运行相应的设施，另外，对于那些积极采用洁净煤技术的企业，且具有明显环保和能效成果的，可以给与奖励。针对核电技术，相比于国际水平，我国核电发展的政策支持力度不够。为加快我国核电发展，须加强财税政策扶持力度：一是加大财政支持，将支持核电发展列为专项，给予核电足够技术开发经费，重点支持先进技术的研究开发和设计自动化；政府与核电项目业主分担自主化依托项目的建设风险和“首堆工程费”，对自主化依托项目补贴适量的技术攻关经费。二是加大进口环节税收优惠政策支持，对国内不能生产或制造，需要进口的材料、部件或设备免征进口环节税。三是完善核电增值税政策。针对可再生能源发电技术，提出可再生能源发展专项资金的管理办法和使用指南，安排必要的财政资金，支持可再生能源技术研发、试点项目建设、农村可再生能源开发利用、资源评价、标准制定和设备国产化等工作。

研究制定新能源和可再生能源税收优惠政策和发电上网的鼓励细则，拉动市场有效需求。在西部大开发战略的实施过程中，充分发挥西部地区新能源和可再生能源资源优势，采取政策倾斜等措施推动西部地区可再生能源市场的开发和产业化建设。

3.5.2 市场机制保障

1) **研究制定反映资源与环境的电价及适当补贴。**针对洁净煤发电技术，电价要能够体现洁净煤技术的采用所得到效益的社会性和公益性，而不是由企业承担所有的成本。对燃用较高硫粉煤的电站采用脱硫技术的给予电价调整的政策，以使成本社会化。征收煤炭消费税，促进用户对优质煤的使用，促进节能技术的发展，如在工业锅炉中燃用型煤或动力精煤，使用先进高效的燃煤锅炉等。针对核电技术，考虑到核电建设投资大、周期长、成本高等特点，在支持核电发展上给出电价优惠细则。从上网电价来看，核电在实施国产化过程中不参加竞价上网，仍采取还本付息加一定投资回报率的“一机一价”方式核定上网电价。针对可再生能源发电技术，完善电价机制，出台分摊细则，使电价充分反映资源稀缺性和环境成本。

2) **积极培育和规范市场。**针对洁净煤发电技术，目前许多用煤设备采用通用污染物排放标准的情况，补充制定合理的各用煤设备排放专用标准。修改和完善目前不合理的污染物排放标准和有关用煤标准，将小用户用煤质量标准由目前的指导性标准上升为强制性标准。制定新的动力煤计价指导性标准，实现优质煤优价，进一步拉开优质煤与劣质煤的价差。以环境标准引导先进技术的发展，而不是限

制燃料或燃煤技术。针对核电技术，根据科研、生产、使用三结合原则，统一规划、组建和管理，建立起我国的核电技术发展标准，加快我国的核电自主化进程。完善重要的核安全标准，提高标准技术研究水平，形成规划化的经验反馈机制。针对可再生能源发电技术，加快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、实验方法和能效标准以及系统的安装、设计等国家标准。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。组织开展大型风力发电设备及零部件的检测、认证工作；建立与国家接轨的太阳光伏系统及部件的质量检测体系。

3.5.3 管理体系保障

针对洁净煤发电技术，加强洁净煤技术发展的统一管理。在目前国家发改委、能源局基础上，恢复原国家洁净煤技术推广规划领导小组的活动；重新制定国家洁净煤技术发展计划，理清洁净煤技术的发展重点和优先次序，进行全国洁净煤技术发展的统一布局和管理；要求各地根据国家环境目标、本地能源可获得性、经济能力等因素，实事求是地制定当地能源发展规划和洁净煤技术发展规划，允许各地发展适宜本地区的技术。针对核电技术，加快制定核电管理条例，明确核电开发资质等准入门槛，兼顾调动社会积极性和保证安全开发，适当开放核电项目的控股权，让有实力的企业参与控股、提供财务支持，以协助核电开发顺利进行。针对可再生能源发电技术，建立国家可再生能源研究开发管理机构，整合现有技术资源，完善技术和产业服务

体系 ,加快可再生能源基础教育建设和人才培养 ,提高技术研发水平 ,全面提高可再生能源技术创新能力和服务水平 ,促进可再生能源技术进步和产业发展。支持国内可再生能源技术集成和装备能力建设 ,为加快可再生能源开发利用提供技术和产业支撑。

第四章 电网环节低碳技术中长期发展战略规划

从目前低碳电力技术的研究情况来看，发电侧和用电侧是低碳效益比较集中的环节，而电网是连接发电侧和用电侧的枢纽，对于实现电力行业低碳化发展具有极为重要的作用。一方面，电网是实现发电侧与用电侧低碳效益的重要载体；另一方面，高效的输配电技术、优化的低碳调度运行方式以及平抑负荷的储能技术可以赋予电网本身明显的低碳效益。

4.1 指导思想及基本原则

4.1.1 指导思想

以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，全面贯彻落实科学发展观；以提高我国电能输送效率，落实国家节能减排战略为目标，着力推广低碳输电、配电、调度及储能技术；以建设智能电网，加快电网发展为主线，认真贯彻落实《关于积极应对气候变化的决议》；以市场发展和优质服务为导向，保障电网安全稳定可靠运行，推动管理创新和科技创新。在保障电力稳定、充足供应的同时，兼顾经济效益与环保效益，合理规划输电环节低碳电力技术的未来发展，降低我国输配电损失，间接减少发电环节的温室气体排放，推动我国减排潜力巨大的电力工业向低碳化可持续发展模式转变。

4.1.2 基本原则

1) 坚持整体规划与协调规划相结合。电网是发挥发电和用电

环节低碳效益的重要载体,在制定和实施电网环节低碳技术中长期发展战略规划的过程中,需要从整体上认识现有输电技术及电力系统的未来发展趋势,同时重视上下游环节的协调规划。纵向上,综合考虑发电环节、输电环节、用电环节低碳技术的发展瓶颈、发展目标与环节衔接等问题;横向上,考虑输电环节各类低碳技术之间涉及到的设备交叉重复建设、协调等问题,统筹输电环节低碳技术的整体发展规划。

2) **坚持适度超前。**在提高电力行业输电环节低碳技术标准方面,要适度超前,遵循“早期介入、积极跟踪、实施出台”的方针,以确保标准及时指导实践,努力实现超行业标准,提高技术水平,完善服务质量。同时,在低碳技术的应用方面,也需遵循适度超前原则,使其应用落实到促进电网的科学发展上,充分发挥电网环节的节能减排作用。

3) **坚持全面推进和突出重点相结合。**电力市场的发展及节能减排目标的建立,对电网环节低碳技术的发展提出了新的要求,须坚持以技术进步带动行业现代化建设,全面推进各项低碳技术的研发推广,同时也需综合考虑输电环节各项低碳技术的特性,优先发展节能降耗潜力较大的技术,提高节能服务的成效。在提高技术水平的时候,必须考虑技术标准的可行性与执行效果,做到易操作,易监管,以及指标量化,以确保技术水平的提高带动电网服务质量的整体提升。

4.2 规划思路与规划依据

4.2.1 规划思路

制定电网环节低碳技术中长期发展战略规划的思路是：从中国国情出发，以社会用户需求为导向，以满足经济社会可持续发展为目标，以智能电网建设和低碳能源发展作为电网环节低碳技术战略规划的分析主线，综合考虑未来低碳能源并网及电网发展趋势，在我国电网建设现状及减排目标的基础上，提出电网环节低碳技术中长期发展战略规划。以先进信息、通信和控制技术为手段，充分发挥科技的先导功能和信息化对各项工作的带动作用，依靠技术创新和科技进步，解决输电环节低碳技术发展中迫切需要解决的热点和难点技术问题，推动输电环节低碳技术的开发和运用，提高电力系统的输电水平，促进整个社会经济向高能效、低能耗和低碳排放的模式转型。

4.2.2 规划依据

（1）参考规划

《国家电网公司智能电网发展规划》

《新能源发展规划》

《智能电网技术标准体系规划》

《智能电网关键设备（系统）研制规划》

《国家电网“十二五”特高压投资规划》

（2）规划依据

制定电网环节低碳技术中长期发展战略规划的依据是：根据目前国内柔性交流输电技术的研发、应用情况，智能电网发展规划及新能源的发展规划，制定柔性交流输电技术的中长期发展战略规划；根据高温超导材料的研发及应用现状，制定超导输电技术的中长期发展战略规划；根

据国家电网“十二五”特高压投资规划，及输电技术示范项目的进展情况及输送电量的变化趋势，制定特高压输电技术的发展战略规划；根据城市配网自动化及农村配网自动化的发展趋势，制定配电自动化技术及柔性配电技术的发展战略规划；根据新能源发展的需求，及智能电网调度技术支持系统、电网动态安全监控等技术的研发现状，制定低碳调度技术的发展战略规划；根据新能源的发展趋势，及各项储能技术及装置的研发现状，制定低碳储能技术的发展战略规划。

4.3 规划总目标与阶段目标

4.3.1 总体目标

以提高输电效率、促进电网发展、实现节能减排为目标，在电网环节全面实现输配电网的高度自动化，构建一体化智能调度体系，全面推广低碳储能技术应用，保障电力系统安全经济运行。在输电网基础设施建设方面，柔性交流输电技术、超导输电技术、特高压输电技术等全面达到国际领先水平；在配电网基础设施建设方面，全面发展配电自动化技术、柔性配电技术，接近国际领先水平，实现一、二、三级城市及县级区域的配网自动化；在调度方面，实现运行信息全景化、数据传输网络化、调度决策精细化，形成省调、市调、地调三级调度的一体化智能调度体系；在储能应用方面，实现飞轮储能技术、压缩空气储能技术、超导储能技术、超级电容器储能技术在电力系统中的大规模应用。

4.3.2 阶段目标

(1) 加速发展阶段 (2010~2020 年)

开展重点科研项目攻关和试点工程建设 ,完成智能输电网仿真实验平台和城市储能装置示范工程建设。开展柔性交流输电技术、超导输电技术、特高压输电技术相关技术的示范应用 ,制定技术标准规范体系 ,基本形成智能输电网技术架构体系 ;建成以“三华”地区为核心 ,联结我国各大区域电网和主要负荷中心的特高压骨干电网 ,实现特高压输电线路超过 4.7 万公里 ,特高压输电容量超过 3 亿 kW。开展配电自动化技术、柔性配电技术研究 ,进行配电网优化试点建设 ,选择若干个省会城市建成实用型配电自动化系统 ,完成智能配电网示范性工程建设。深入研究低碳调度技术 ,包括电网动态预警系统、电网动态安全监控、在线辅助决策等技术 ,实现省级、市级调度自动化。重点开展低碳储能技术研究 ,完成飞轮储能技术、压缩空气储能技术在部分区域的试点应用。

(2) 优化转型阶段 (2020~2030 年)

加强更高一级电压输电技术、配电技术的研究 ,在互联电网安全稳定和经济运行技术方面取得重大进展 ,灵活交流输电技术在电网中得到实际应用。建成世界一流的低碳输电技术试验研究体系 ,全面掌握各类低碳输电技术的核心技术 ,大幅提升我国电网技术水平和自主创新能力 ,显著提高输电网的资源配置能力。力争到 2030 年实现特高压输电线路超过 7.2 万公里 ,特高压输电容量超过 4.5 亿 kW。在全面总结和评估试点经验的基础上 ,完成一、二级城市实用型配电自动化系统建设。在各级调度系统全面开展低碳调度技术研究 ,实现市

级、地级调度自动化。完成大型储能技术在间歇式能源发电系统中的示范应用，实现超导储能技术在电力系统中的应用。

（3）全面提升阶段（2030~2050 年）

全面推广应用电网环节低碳技术的研究成果。柔性交流输电技术、超导输电技术及特高压输电技术得到全面应用，实现特高压输电线路超过 10 万公里，特高压输电容量超过 7 亿 kW，促进电力资源彻底由传统的就地平衡转变为全国统筹平衡。配电自动化技术、柔性配电技术得到广泛运用，实现三级城市及县级区域配电系统自动化。各级调度机构全面应用低碳调度技术，实现省级、市级、地级调度的一体化。飞轮储能技术、压缩空气储能技术、超导储能技术、超级电容器储能技术达到国际领先水平，实现其在电力系统中的大规模应用。

综上所述，结合我国电网建设规划，电网环节低碳技术发展的各阶段目标如图 4-1 所示。



图 4-1 电网环节低碳技术中长期发展战略规划阶段目标

4.4 发展低碳技术的主要任务

4.4.1 加速发展阶段

1) 细化深化低碳输配电技术的研发试点。成立领导小组和工作组，根据低碳技术发展目标，结合输、配电环节特点，制定具体工作方案。在柔性交流输电技术、超导输电技术、配电自动化技术、柔性配电技术等方面，形成细化方案。在国内外开展调研，依托有代表性的工程，深化低碳输配电技术研究，并进行相关试点工程建设。根据配电自动化技术的发展目标，按区域、分步骤地开展直辖市、计划单列市、省会城市等单位配电自动化系统建设和馈线自动化建设。研

究配电网自愈馈线自动化装置在简化信息传输路径和适应线路拓扑更改时的自主动作模式及其现场测试系统的可靠性,实现该技术的现场运行状态诊断,保证自愈馈线自动化装置的动作安全可靠。

2) **加强低碳调度基础数据整治和管理。**基础自动化数据是实行智能化调度的重要环节,完整、准确、一致、及时、可靠的基础信息能够为电网调度的分析、预警、辅助决策和调整控制功能提供坚强的数据支撑。因此,该阶段的主要任务是进一步提高基础数据完整性,实现直调厂站所有开关刀闸状态和变压器分接头档位的采集,加强自备电厂、风电厂的数据采集,提高量测覆盖率,满足全网可观测的要求;推进PMU等新型IED设备的功能整合及有效应用,研究负荷模型建模方法,推广模型拼接应用,满足暂态、动态稳定预警对数据完整性的要求。

3) **加大低碳储能技术研发及试点力度。**开展储能电源规划设计和运行调度技术的研究;逐步开展储能技术在智能电网安全稳定运行、削峰填谷、间歇性能源柔性接入、提高供电可靠性和电能质量中的应用研究和示范。加强大型压缩空气储能等多种蓄能技术的研发,在重大技术突破的基础上开展试点应用。

4.4.2 优化转型阶段

1) **进一步提升低碳输配电技术研发水平和推广力度。**扩大低碳输配电技术试点建设范围,加强低碳输配电技术在电网中的推广应用,在我国主要城市建成实用型输配电自动化系统,完成智能输电网示范性工程建设。继续加强特高压电网建设和技术改造,提升设

备健康水平，解决影响电网安全、可靠、灵活、经济运行的设备问题；在积累试点经验的基础上，进一步提升智能设备的可靠性水平、自诊断结果的可信度水平，扩展智能设备所监测的设备故障模式的典型特征量，提升特征量信息的检测、提取水平，完善智能设备自诊断技术的诊断方法。

2) **继续深入开展智能化调度研究。**研究梯级和跨区域（大流域）水电站群的协调优化调节技术、跨区域水火电联合优化调度技术，研究跨区风电、水电联合优化调度技术；研究清洁能源调度方案的评估和分析技术。重点加强区域间电网运行方式的统筹制定工作，规范工作流程，建立区域间电网运行方式安排标准化运作体系。研发高精度母线负荷预测技术、发电计划安全校核所需的各类有效性校验技术、大电网多区域多时段潮流断面的生成和模型数据拼接技术；研究发电计划的静态及动态安全校核技术和方法，实现短期发电计划的闭环安全校核和调整，实现实时发电计划的安全校核；研究国、网、省三级调度计划和安全校核协调方法。

3) **加大低碳储能技术的研发推广力度。**深入开展超导储能技术、超级电容器储能技术等低碳储能技术的研发推广工作。在储能模块研制成功的基础上，依托集成技术、成套技术和测试技术，逐步开展兆瓦级和 10MW 级储能系统在间歇式能源发电系统柔性接入电网中的示范应用。根据示范工程运行评估结果，逐步完善大容量储能系统的应用技术，为风力发电和光伏发电的并网应用奠定坚实的技术基础，促进我国可再生能源与电网的协调发展。

4.4.3 全面提升阶段

1) **提高低碳输配电技术的应用程度。**在低碳输配电技术发展成熟的基础上,充分发挥柔性交流输电技术、超导输电技术及特高压输电技术等低碳输电技术的技术优势,使得输电损耗与世界先进水平相当。全面推广配电自动化技术,完成直供直管县实用型配电自动化系统建设,指导股份制县和代管县完成实用型配电自动化系统建设。应用根据局部信息自动切除故障、快速隔离故障点及恢复对正常区间供电的自愈馈线自动化技术和农村配电线路远程监测与故障分析技术。

2) **统一协调五级环保经济调度。**充分考虑特大电网安全和节能环保等复杂约束条件的大规模、多目标、多时段、安全环保经济一体化的经济调度和优化技术,实现调度计划的自动优化编制,进一步完善主、备调度技术支持系统之间的同步技术,普及备用调度技术支持系统。采用异地互备、异地共备等多种方式,实现国、网、省、市、县五级调度中心的异地备用要求,实现五级调度计划和安全校核的统一协调,有效控制电网运行成本,降低网损,提高能源利用效率,实现大范围资源优化配置。

3) **拓宽低碳储能技术的应用范围。**加快飞轮储能技术、压缩空气储能技术、超导储能技术、超级电容器储能技术的产业化进程,形成上下统一的目标产业链。实现大容量储能技术在电力系统中的大规模高效利用,推广低碳储能技术在峰谷调节、负荷平衡、频率调整、分布式储能、发电系统备用等方面的应用,充分发挥其在提高输电能

力、改善电能质量、促进节能减排方面的作用。

4.5 发展低碳技术的保障措施

4.5.1 政策法规保障

1) **明确低碳技术战略定位及发展规划。**构建输电环节低碳技术发展的组织机构和战略规划，建议在国家能源领导小组、国务院节能减排工作领导小组、国家应对气候变化工作领导小组的基础上成立国务院低碳技术发展领导小组，从国家层面宏观把握低碳技术发展的战略定位，加强对低碳技术发展工作的规划、协调和领导。同时，借鉴、吸收、消化发达国家低碳技术的发展理念，在我国已有的应对全球气候变化的国家方案、行动规划、方针政策的基础上，结合我国建设资源节约型、环境友好型社会和节能减排的工作需求，尽快开始研究制定输电环节低碳技术发展战略。

2) **加大激励性政策的实施力度。**制定促进输电环节低碳技术发展的优惠政策，包括投融资优惠、税收优惠、财政补贴等激励性政策。加大科技投入，采取进一步向低碳技术倾斜的政策，保证低碳技术研发和创新的资金需求；加大包括金融机构在内的服务机构对低碳技术的支持，丰富低碳技术发展的资金来源；将输电环节技术研发项目资金适当纳入各级政府财政预算和计划内，提高低碳技术发展速度，促进低碳技术的产业化进程。

3) **发展低碳技术风险投资机构。**一项低碳技术成果从开发出来到大规模推广应用，其中存在很大风险。科研单位和高等院校在低

碳技术研究过程中投入了大量人力、物力、财力，无力继续承担后续风险，而企业作为受让技术方也投入了大量成本，因此也不愿承担这些风险。低碳技术创新与产业化的高风险性，已成为制约低碳技术产业化发展的重要因素。因此，政府部门应给予优惠政策，扶持建立一批低碳技术风险投资机构，由这些机构承担低碳技术成果研究、开发和产业化过程中的风险，若低碳技术开发应用成功，投资机构可从企业生产新产品所得利润中提取一定比例作为风险投资的回报。

4.5.2 市场体系保障

1) **完善输电环节低碳技术标准认证体系。**技术标准认证体系的完善可以减少相关企业的投资风险，促进技术的规范化、标准化研发与应用，有效促进低碳技术产业化发展。为了促进低碳技术的快速发展，需要完善输电环节低碳技术标准认证体系建设，健全科学的计量手段和自动监测系统，实现低碳技术的规范化、定量化和系统化。

2) **合理规划低碳技术产业发展。**第一，选择技术基础好的地区，建立国家级低碳技术研发中心，并与相应的金融交易体系相衔接，实现快速滚动式发展，占领未来全球低碳技术制高点，并为参与未来气候变化领域国际谈判工作奠定技术基础。第二，提出需要投资建设各类技术研究设施，并明确各类技术研究设施需要投入的规模大小；合理布局相关技术研究机构，根据各研究机构的研究背景，明确各技术研究机构的专业化分工。第三，在各专业领域设定重点扶持单位，提升技术水平，带动整个行业的深度合作，避免技术研究机构的

低水平重复建设。

4.5.3 管理体系保障

1) **完善投融资体系。**积极研究资金筹措预案，拓宽融资渠道，如通过商业银行、各种基金等金融机构，或国内资本市场及外资融资等途径融资；优化融资结构，降低融资成本。电网企业应积极研究探索拓展开发银行推出的技术援助贷款，债券等；大力推广通过用户垫资（贴息）建设、争取部分城市基础设施配套费等行之有效的筹资手段。

2) **完善低碳技术支持政策。**推行科技人员和经营管理人员、低碳技术开发人员的技术入股、专利入股、管理要素入股、成果入股和持股经营政策，采取期权、期股等各种分配激励方式，以奖励在低碳技术创新方面有突出贡献的科技人员和经营管理人员，使其薪酬水平与人才市场接轨。放宽低碳技术入股的比例限制，加大奖励力度，使低碳技术人员的收入与岗位技能、工作业绩以及经济效益紧密挂钩。

3) **加大人才力量培养。**在未来发展中，我国须不断加强人才管理，提高电网环节低碳技术的研发及应用水平。第一，政府应把人才规划的制定放在经济建设和社会发展的总体框架内，加强专业技术人才供给和需求的预测，建立多层次的专业人才发展规划。第二，创新人才引进和流动制度，为引进高层次专业技术人才开辟“绿色通道”，简化工作程序，提高引进人才的工作效率。第三，加大对创新人才资源开发的投资力度，其中主要包括提高教育投资、科技投资、待遇投

资、引进人才投资。第四，加强园区建设，构建高新技术人才创业平台。

第五章 电能消费终端低碳技术中长期发展战略规划

发展低碳电力不仅意味着能源结构、电源结构的调整以及电能生产、输送技术的革新，同样意味着电能消费终端传统高耗能消费方式的转变。电能消费是生产和传输的源动力，从消费终端进行节能减排控制，一方面可以减少部分不必要的供应，从而减少相应的生产和输送排放量；另一方面也可以直接减少用电侧的温室气体排放。在不断提高人民生活质量的前提下，我国电能消费终端节能减排潜力巨大，而用电侧低碳技术的应用则是将潜力转变为现实的关键因素。在应对气候变化的大背景下，减排潜力巨大的电能消费终端如何在不断降低碳排放的同时保证用电需求与电能供应的匹配，是电力系统所面临的挑战之一。

5.1 指导思想及基本原则

5.1.1 指导思想

以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入贯彻落实科学发展观，以建设资源节约型、环境友好型社会为目标，认真落实《节约能源法》；以坚强智能电网建设为契机，提高电能消费终端的智能用电水平，加强需求侧管理，大力推广信息化、自动化、标准化程度水平高的智能用电技术；以汽车产业结构调整为主线，着力提高电动汽车的社会普及率，加强电动汽车自主创新，培育自主品牌，形成新的竞争优势，促进电动汽车汽车产业持续、健康、稳定发展。充分发挥用电环节的节能减排作用，为我国电力行业的可持续低碳化发展奠

定基础。

5.1.2 基本原则

1) 坚持时效性与前瞻性相结合。用电环节的低碳化发展将是一个持续、渐进、丰富和完善的过程，因此规划的制定必须遵循“明确目标、滚动修订、持续提升、深化完善”的科学发展观，既要立足目前发展期的现实，又要兼顾未来成熟期的前景；既要满足近期需求，又要适应未来发展。

2) 坚持定性与定量相结合。规划目标的提出要定性与定量相结合，具有可考核性，有利于规划的具体实施。定性目标是发展方向，规划方案的设计应在电力消费现状及智能用电技术、电动汽车技术发展现状分析的基础上，发现问题、分析问题并提出解决问题的思路；定量分析是衡量规划目标要达到的水平，用于考量规划的实施程度。

3) 坚持财税政策激励与消费环境改善相结合。规划的制定，既要立足当前发展，完善用电政策和电动汽车消费政策，通过经济激励政策支持智能用电技术和电动汽车的试点和推广；又要着眼长远，培育消费市场，建立促进智能用电和电动汽车发展的市场机制，运用市场化手段调动投资者的积极性，提高用电智能化水平，推进电动汽车的产业化发展，不断发掘用电环节的节能减排效用。

4) 坚持自主创新与技术引进相结合。电能消费终端低碳技术的发展规划宜坚持自主创新与技术引进相结合的原则，以自主创新为主，加强技术改造，提高研发水平，加快培育一批具有自主知识产权的技术成果，提高智能用电水平和电动汽车普及程度；同时，又要积

极引进国外先进技术，减少研发成本、缩短研发周期，在较短时期内快速提升用电环节的节能减排水平。

5.2 规划思路与规划依据

5.2.1 规划思路

本次规划除了一般性地采用文献综合与实地调研相结合、定性描述与定量分析相结合、产业发展横向与纵向比较相结合等传统方法之外，针对电能消费终端低碳技术的特点强化运用以下几种方法：

1) 计量分析方法：包括回归分析法、成本效益分析法、数值模拟分析法等，主要用于分析我国电动汽车技术的未来发展趋势。

2) SWOT 分析法：主要用于我国电能消费终端低碳技术的发展战略分析，以有效识别自身优势和劣势、判别外部机会与威胁，发现存在和面临的问题，力求做出最优决策导向。

值得注意的是，本次规划的技术路线主要有以下三个特点：一是技术发展与目标导向相结合；二是产业发展与目标导向相结合；三是市场发展与目标导向相结合。技术路线各层关系如图 5-1 所示。

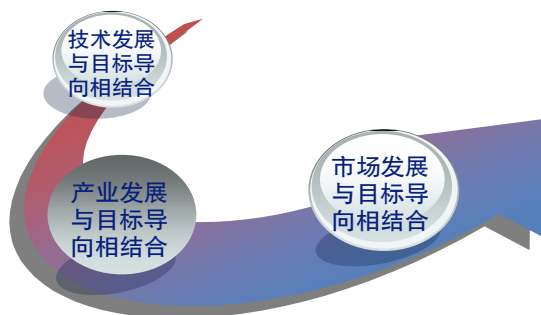


图 5-1 规划技术路线各层次之间的关系

5.2.2 规划依据

(1) 相关政策法规

《加强电力需求侧管理工作的指导意见》；
《汽车产业发展政策》；
《关于鼓励发展节能环保型小排量汽车的意见》；
《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》；
《关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知》；
《关于开展私人购买新能源汽车补贴试点的通知》；
《节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》；
《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》；
《新能源汽车生产企业准入条件及审查要求》；
《车辆生产企业及产品公告》；
《节能与新能源汽车示范推广应用工程推荐车型目录》。

(2) 相关规划

《国家中长期科学和技术发展规划纲要》；
《汽车产业调整和振兴规划》——在 2011 年形成 50 万辆新能源汽车产能，新能源汽车销售量占乘用车销售总量的 5%左右。

(3) 其他材料

我国政府明确表态要控制温室气体排放，并将降低汽车排放作为重要一环，提出了到 2015 年汽车平均二氧化碳排放水平比目前降低约 12%的要求；

各渠道及实地调研搜集的材料。

5.3 规划总目标与阶段目标

5.3.1 总体目标

为促进我国电能消费终端低碳技术的发展，必须统一思想，提高认识，明确任务，结合国家针对电能消费市场和电动汽车发展的相关政策规划，在未来的 10 年、20 年乃至 40 年内，统一技术规范、统一业务流程、统一技术认证，力争在关键技术领域取得突破，不断增强我国用电技术的智能化建设和电动汽车的自主创新力度，形成具有中国特色的电能消费终端低碳技术发展路线，全面发挥用电环节对于落实国家温室气体排放控制战略的作用。

——**智能用电技术**。逐步推进智能用电技术的试点推广，努力实现我国用电系统的信息化、自动化、标准化管理，以及电力企业和电力用户的双向信息交互，大幅度提高用电的经济性和安全性。

——**电动汽车技术**。把握电动汽车的历史机遇，实施电动汽车国家战略，全面掌握电动汽车核心技术，带动汽车共性技术的全面提升，形成具有国际竞争力的电动汽车及关键零部件工业体系，加快汽车动力系统电气化转型，构建可持续发展的交通能源体系，实现我国由汽车大国向汽车强国的转变。

5.3.2 阶段目标

(1) 加速发展阶段 (2010~2020)

——**智能用电技术**。增大用电系统建设力度，提高终端用电系统的自动化、信息化、智能化程度，掌握高速实时通信、智能电表、智能采集、双向交互等关键技术，在全国各大城市推广可满足供电企业

与用户双向信息交流的智能用电小区建设，力争普及到所有省会城市。同时，统一出台系列终端用电设备设施标准和技术规范，有效推进智能用电技术的标准化建设。

——电动汽车技术。在自主创新方面，建立较为规范的自主创新研发体系，掌握电动汽车核心技术，使得自主开发的各类产品具有一定的国际竞争力。使我国以示范城市为平台的电动汽车全价值链整合水平、以锂电池为重点的车用电池产业国际竞争能力等达到国际领先水平。在产业发展方面，建立起电动汽车整车及关键零部件的产品研发、生产、供应和售后服务保障体系。小型纯电动汽车、大型纯电动商用车、轻度混合动力汽车和 PLUG-IN 混合动力汽车形成比较优势；在关键零部件方面，以动力电池的模块化为核心，实现我国能量型电池的大规模产业化突破。在市场发展方面，电动汽车消费和使用环境得到进一步规范，混合动力汽车成为市场主导产品；纯电动汽车得到大规模应用；燃料电池汽车小批量进入市场；充电站、加氢站等基础设施基本满足电动汽车应用需求。电动汽车销售总量占乘用车销售总量的 10%左右。

（2）优化转型阶段（2020~2030）

——智能用电技术。完善用电系统，实现用电系统的信息化、自动化、标准化管理，构建完整、系统的关键技术体系架构，在全国地级城市普及智能用电小区建设，进一步完善终端用电设备设施标准和技术规范，实现电力企业和电力用户的双向信息交互，使用电效率得到大幅提升。

——电动汽车技术。在自主创新方面，建立比较完善的自主创新研发体系，全面掌握电动汽车核心技术，形成具有国际先进水平的产品研发能力。整车、动力系统和电子控制等共性技术达到国际先进水平；先进动力电池、驱动电机、燃料电池及发动机、多能源动力总成控制系统等关键技术达到国际领先水平。在产业发展方面，规范电动汽车整车及关键零部件的产品研发、生产、供应和售后服务保障体系，确保电动汽车规模化生产能力和网络化服务能力满足市场需要。先进动力电池、驱动电机等关键零部件及其核心材料产业化规模和竞争力保持国际领先水平。在市场发展方面，电动汽车消费和使用环境明显改善，各类电动汽车大规模进入市场，缓解能源和环境形势紧张的局面。纯电动汽车与混合动力汽车成为市场主导产品；燃料电池汽车批量进入市场；确保充电站、加氢站等配套设施满足电动汽车应用需求。电动汽车销售总量占乘用车销售总量的 18% 左右。

（3）全面提升阶段（2030~2050）

——智能用电技术。具备统一、完善、系统的智能用电关键技术体系架构。全面完善终端用电设备设施标准和技术规划，电力企业和用户之间的双向信息互动畅通无阻。充分发挥用电环节的节能减排作用。

——电动汽车技术。在自主创新方面，全面完善自主创新研发体系，无论是整车、动力系统等共性技术还是动力电池、驱动电机等关键技术都达到国际领先水平。自主研发的各类产品具有明显的国际竞争优势，实现大规模出口。在产业发展方面，国内电动汽车整车

及关键零部件的产品研发、生产、供应和售后服务保障体系日臻完善。各类型电动汽车产业链体系完整,产业规模及市场竞争力具有绝对优势。在市场发展方面,电动汽车消费和使用环境得到完善,纯电动汽车成为市场主导产品;燃料电池汽车大规模进入市场。电动汽车销售总量占乘用车销售总量的 35%左右。

综上所述,电能消费终端低碳技术的阶段规划目标如图 5-2 所示。

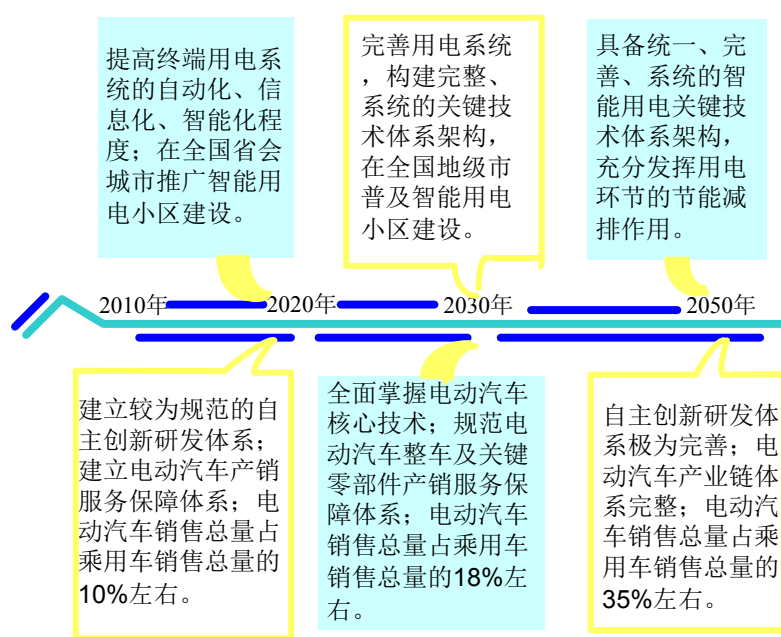


图 5-2 我国电能消费终端低碳技术的阶段发展目标

5.4 发展低碳技术的主要任务

5.4.1 加速发展阶段

1) 积极引进先进技术,开展智能用电小区试点。积极引进先进配电网技术设备,提高配电网运行可靠性水平,实现配电系统的自动化、信息化、智能化;建立国家智能用电技术研究开发管理机构,自主开展智能用电技术的科研攻关,掌握高速实时通信、智能电表、

智能采集、双向交互等关键技术；开展终端用户智能用电规划、设计和实验研究等工作，并在有条件的大城市开展智能用电小区试点，力争到 2020 年智能用电小区普及到发达的东部沿海城市及各省会城市。

2) **加强政企合作，培育电动汽车关键零部件骨干企业。**在国家电动汽车关键基础技术薄弱的情况下，应明确政府在这一阶段研发活动的主导者地位，在城市（省）政府成立电动汽车领导小组，整合企业与研究机构的资源，集中优势，协调攻关，共同促进动力电机、耦合装置、动力传动系统发展，以及有关基础原材料和元器件的开发，制定动力电池研发和产业化发展路线图，重点突破动力电池关键技术、提高性能、降低成本，同时开展下一代新型动力电池材料、机理等基础研究，加强关键生产装备的研制，开展电池回收技术研究；培育电动汽车关键零部件骨干企业，形成完整的配套体系。

3) **明确研发重点，推进轻、中度混合电动汽车产业化。**明确目标，把混合电动汽车作为当前产业化推进的重点，前期实现中度混合及以下的混合电动汽车产业化；逐步加大对重度和插电式混合电动汽车、纯电动汽车技术的研究和推广应用；继续跟进燃料电池汽车基础技术研究，并扩大燃料电池汽车的示范运行范围。将小型乘用车和公共交通客车作为电动汽车的实施重点，逐步推进各类车型的产业化，实现我国电动汽车的快速、稳定、科学的发展。

4) **建立综合示范区，开展电动汽车测评与商业化运营模式研究。**加强统筹协调，发挥行业优势，充分利用科技资源，启动电

动汽车综合示范工程，由中央财政安排资金给予补贴，支持大中城市示范推广混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车等节能和新能源汽车；县级以上城市人民政府应制订规划，优先在城市公交、出租、公务、环卫、邮政、机场等领域推广使用新能源汽车。同时采取多种形式的商业化合作模式，建立以行业骨干企业为主导的全国电动汽车产业联盟，支持产业联盟承担国家科研攻关项目，联合制定统一的国家标准，促进相关产业，特别是基础材料和基础元器件的发展，为进一步提升整车技术和电动汽车市场化发展创造条件。

5.4.2 优化转型阶段

1) 开展标准化研究，进一步扩大智能用电小区试点。全面开展智能用电基础教育建设和人才培养，全面提高技术研发水平，全面提升智能用电技术创新能力和服务水平。同时开展智能用电设备实施标准及技术规范研究，初步形成智能用电标准化体系，实现标准体系覆盖智能用电的重点领域，促进智能用电的标准化发展；建立以政府为主导、电力企业为主体的自上而下的智能用电技术推广机制，积极推进用户端的用电智能化建设，利用网络、数据库和计算机等信息手段实现电力企业与电力用户的互动，基本实现用电信息的智能采集及电价的实时反馈，进一步扩大智能用电小区试点，力争到 2030 年在全国地级市普及智能用电小区建设，终端用电效率大幅提高。

2) 提高电动汽车整车制造水平，发展自主品牌。转变政府角色，建立起以企业为主、科研单位参与的电动汽车研发体系，政府与业界（研发机构、整车及零部件厂商）沟通与协商，听取和采纳各方

意见制定产业规划并提供经费支持。研发重点集中系统集成与测试，着力打造具有国际先进水平的电动汽车研发体系，全面提升我国电动汽车整车制造水平。同时在技术开发、政府采购、融资渠道等方面制定相应政策，引导电动汽车企业将发展资助品牌作为企业战略重点，支持汽车生产企业通过自主研发、联合研发、国内外并购等多种方式发展自主品牌。

3) **全面构建电动汽车标准与测试体系。**全面构建标准和测试体系，制定并完善包括各类电动汽车的最高车速、续驶里程、车辆自重、燃料消耗量、可靠性、安全性，以及电池、电机、电控系统系列、充电站和充电接口等构成的标准体系，积极参与电动汽车国际标准化研究和制定工作，争取在优势产品和技术领域发挥主导作用；建立电动汽车的评价规范和检测能力，建设并改造一批具有国际先进水平的国家级重点实验室和检测机构。

4) **培育市场，建立电动汽车商业化运行模式。**及时有力的市场培育政策和措施有助于坚定业界对电动汽车发展的信心，激发终端消费者的购买热情。在具体政策上，除了补贴和税费减免之外，政府还可考虑建立与汽车能耗和污染排放挂钩的长效税收机制。电动汽车市场在发展初期对基础设施的依赖很大，政府也可以考虑通过扶持基础设施建设来实现培育市场的目标。同时研究具有商业可行性的运营模式，抓紧制定相关标准、总体建设规划并组织实施，支持在主要大中城市跨行业合作建设电动汽车的基础设施，建立保障插电式混合动力汽车和纯电动汽车示范运行的基础设施配套体系。

5.4.3 全面提升阶段

1) **完善实施标准及技术规范，普及智能用电技术。**进一步完善智能用电技术实施标准及技术规范，跟踪国际智能用电标准化技术组织的研究动态，加强我国在智能用电技术领域主导或参与国际标准制定及修订的力度，积极争取在国际标准化组织中的话语权，提升国际竞争力。全面推广智能用电技术，挖掘用电环节节能减排潜力，到 2050 年全国基本实现终端用电的智能化：通过智能插座采集分析家电用电信息为用户提供最优用电建议，实现家用电器远程控制、电动汽车充放电、物业智能管理等功能；通过光纤复合低压电缆入户，用户可同时享受电话、电视、上网等三网合一服务；通过智能交互终端，电力企业与终端用户之间双向信息互动畅通无阻，实现用户家中查询电价、家庭用电信息及缴纳电费等功能。

2) **推进产业重组，实施电动汽车产品出口战略。**鼓励一汽、东风、上汽、长安等大型汽车企业在全国范围内实施兼并重组；支持北汽、广汽、奇瑞、重汽等汽车企业实施区域性兼并重组；支持汽车零部件骨干企业通过兼并重组扩大规模，提高国内外汽车配套市场份额。同时加快国家电动汽车及零部件出口基地建设，建设电动汽车出口信息、产品认证、共性技术开发、实验检测、培训等公共服务平台，促进我国自主研发的电动汽车走向世界。

5.5 发展低碳技术的保障措施

5.5.1 政策法规保障

1) **出台相关产业政策和规划细则。**智能用电技术的推广需加强政府政策法规的支持,建议各级省区政府结合本地实际情况组织制定各项规章、标准和规划,出台相应政策,采取严格统一的技术监管措施,建立起以政府为主导,以电网企业为实施主体的智能用电管理体系,并明确管理体系中各成员部门的岗位职责。同时,电力调度监管部门宜从需求侧出发,制定并引导所有电力用户遵守相关法律法规和标准,确保智能用电技术在全国的推广和应用。在电动汽车研发推广方面,需全面贯彻落实《汽车产业调整和振兴规划》,各有关部门和各级政府抓紧制定和完善《汽车产业调整和振兴规划》相关配套法规和政策,明确发展目标,将电动汽车的开发利用作为建设资源节约型、环境友好型社会的考核指标。

2) **适度加大财税补贴力度。**国家有关部门根据智能用电技术及电动汽车的开发利用需要,设立专项资金并提出相应的专项资金管理办法和使用指南安排必要的财政资金,依据规划任务进行资金的分配和管理,以支持智能用电技术及电动汽车研发、试点项目建设、标准制定和设备国产化等工作,确保规划任务的顺利实现。同时对智能用电及电动汽车开发利用、技术研发和设备生产给予相应的税收优惠支持,适当减免电动汽车购置税、加大智能用电仪表替换补贴,通过积极有效的财税政策促进智能用电及电动汽车市场化推广。

5.5.2 市场机制保障

1) **形成完善的电动汽车市场竞争机制。**完善促进智能用电技术及电动汽车发展的市场环境。建议国家有关部门采取财政、税收、

价格等综合措施和强制性的市场份额政策,并通过组织政府投资项目和特许权项目等方式,同时制定宽松的市场准入制度,鼓励包括民营中小企业等多种投资主体共同参与,以培育持续稳定的电动汽车市场,营造公平的市场竞争环境,推动产业化进程。建议电网企业按照低碳电力发展规划的要求,建立全新的智能电网体系,以适应大量电动汽车及智能用电技术的普及带来的整个社会用电需求特性变化,以满足电厂位置分布优化、电网峰谷周期和电力整体需求提出的重大变革要求。

2) **加快电动汽车产业链建设。**将电动汽车作为国家科学技术发展战略的重要内容,重点支持纯电动汽车和燃料电池汽车的技术攻关和产业化工作。建立国家电动汽车研发管理机构,整合现有资源,建立并完善包括电动汽车购买和使用环节的税费减免政策,加快发展电动汽车研发、生产性物流、零售和售后服务、电动汽车租赁、二手车交易、电动汽车保险、消费信贷、停车服务、报废回收等服务业,形成完整的电动汽车产业链条,并完善相关法规、规章和管理制度,支持骨干电动汽车生产企业加快建立电动汽车金融公司,开展电动汽车消费信贷等业务。通过完善电动汽车政策法规体系,营造公平的市场竞争环境,推进产业化进程,市场机制作用凸显。

5.5.3 管理体系保障

1) **建立组织保障体系。**建立强有力的组织保障,成立由工业和信息化部、科技部、财政部、发展改革委、公安部、环保部等相关部门组成的国家电动汽车推进工作协调领导小组。制定道路机动车辆

管理条例，完善机动车管理法规体系，启动对电动汽车产业有重要提升和保护作用的标准的研究制定工作，落实电动汽车整车制造生产企业的推出机制。组织研究电动汽车长期发展战略和政策措施，协调和推进电动汽车新技术的研发、推广应用和产业化发展。

2) **健全技术人才培养体系。**管理、技术及技能人才队伍的壮大是智能用电技术和电动汽车技术发展的支柱。目前我国智能用电技术及电动汽车产业尚处于发展阶段，各类人才严重短缺，特别是急需创新型人才、复合型技术人才及总体设计人才。培养，这方面的人才 是电能消费终端低碳技术持续、健康发展的关键。为此，要在全 国选择有潜力的高等院校，设置智能用电技术及电动汽车汽车专业或专业方向，培养本科生和硕士生，并支持更多的高等院校开展智能用电及电动汽车研究与开发工作；对现有从业的技术人员进行更新培训，提高其技术水平；支持企业建立专门的科研机构 and 培训学校，将这类学校纳入到国家教育体系中；鼓励企业与高等院校、科研院所共同建设人才培训基地。

第六章 总 结

随着经济和社会的不断发展，我国电力需求将持续增长，发展低碳电力技术，加大电力行业减排力度，对于缓解我国温室气体排放具有重要意义。在此背景下，课题研究制定中国电力行业低碳技术的中长期发展战略规划，以明确发电、电网和用电环节低碳技术的发展方向，实现我国电力工业的可持续发展。课题主要以“总报告+分报告”的形式进行系统研究，其中总报告为中国电力行业各环节低碳技术的发展战略规划；分报告一为电力行业低碳技术特点综述；分报告二为低碳电力技术及国内外发展现状分析。

总报告制定了 2010~2050 年中国电网环节低碳技术的中长期发展战略规划。在分析中国低碳电力技术发展的外部环境影响因素（全球气候变化现状及未来变化趋势、国内能源供需情况和宏观政策）和内部环境影响因素（低碳电力技术目前的研发成果、运行经验、能源资源优势及电网基础）的基础上，提出了发电环节、电网环节和用电环节低碳技术中长期发展战略规划。规划分近、中、远三期进行控制和引导。在发电环节，依据低碳电力相关的政策法规和已制定的电力低碳发展路径，制定了低碳发电技术未来发展的总目标及其在不同时段需要达到的阶段目标；在电网环节，依据相应的规划思路，制定了低碳电网技术未来发展的总目标及其在不同时段需要达到的阶段目标；在用电环节，依据相应政策、法规和规划，制定了用电环节低碳技术未来发展的总目标及其在不同时段需要达到的阶段目标。为实现所定目标，各环节均提出了发展相应低碳技术的

主要任务和保障措施。

分报告一总结了世界电力工业发电环节、电网环节和用电环节各类低碳技术的特点。报告简述了发电环节、电网环节和用电环节各类技术的技术原理及特点，为规划的制定提供了技术支持。

分报告二分析发电环节各类低碳技术的减排作用及其国内外发展现状。首先，总结了发电环节、电网环节和用电环节各类低碳技术的发展背景、特点及减排作用。其次，总结了以上低碳技术在国外的的发展现状和发展趋势。第三，概述了相应低碳技术在中国的应用现状，并从多个角度分析了中国低碳电力技术的发展障碍，为规划的制定提供了实践支撑。

中国电力行业低碳技术中长期战略规划的制定，不仅可以为我国低碳电力技术的未来发展面临的挑战提供应对策略，在全球应对气候变化伴随的激烈技术竞争中，促进低碳电力技术竞争优势向我国倾斜；也可以用于在给定碳排放控制目标的情况下，为电力市场的设计者和管理者提供决策支持，以有效缓解电力市场经济效益与环境效益之间的摩擦，促进我国电力工业和全社会的可持续发展。

附录 火力发电机组 CO₂ 排放量估算模型

近年来，全球变暖已经超越国界，深刻影响着全人类的生存和发展，成为各国共同面临的重大挑战。在引起全球气候变暖的诸多因素中，人类活动所排放的温室气体不断增加是最主要的原因，而在温室气体引致的全球气候变暖效应中，CO₂的作用高达 77%，因此，减少 CO₂的排放对于控制温室效应、减缓全球变暖至关重要。从我国 CO₂的排放结构上看，由于能源结构以煤为主，当前 CO₂的排放主要来自于能源部门，尤其电力行业占据排放主体。其主要原因在于，我国发电结构中火电占比高达 77%以上，水电占比不到 20%，且呈现出排放大，所占比例逐年上升的趋势。

在电力工业火电机组中，引入包括超临界发电技术、循环流化床技术、增压流化床燃烧联合循环技术、整体煤气化联合循环发电技术、碳捕集与封存技术在内的洁净煤低碳发电技术，可以有效提高燃煤机组的效率，降低二氧化碳排放量，进而实现节能减排战略目标。本部分通过建立电力工业二氧化碳排放估算模型，分析火电机组中引入洁净煤低碳发电技术后的二氧化碳排放情况。

1、CO₂ 排放量估算模型

基于联合国政府间气候变化专门委员会 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)《国家温室气体排放清单指南》CO₂排放量计算模型，本报告给出火力发电机组的 CO₂排放量估算模型：

$$CE = (1 - \rho) \sum_i N_i \cdot \delta_i \quad (1)$$

其中 CE 为 CO_2 排放量, N_i 为能源类型 i 消耗量, δ_i 为能源类型 i 的碳排放系数, ρ 为碳捕集系统的普及率。计算的关键是排放系数, 对化石燃料, 一般采用国际通用的 IPCC 默认值作为排放系数进行 CO_2 排放量的计算, 其特点是 IPCC 的排放系数适合宏观排放量统计计算。各种能源的碳排放系数见表 1。

表 1 各种能源的碳排放系数表

能源种类	碳排放系数 $10^4\text{t}/10^4\text{t}$	能源种类	碳排放系数 $10^4\text{t}/10^4\text{t}$
原煤	0.7559	燃料油	0.6185
洗精煤	0.7559	其他石油制品	0.5857
焦炭	0.8550	液化石油气	0.5042
其他焦化产品	0.6449	天然气	0.4483
原油	0.5857	焦炉煤气	0.3548
汽油	0.5538	炼厂干气	0.4602
煤油	0.5714	其他煤气	0.3548
柴油	0.5921	水电、核电	0

2、能源消耗量计算方法

设在第 j 年, 我国电力总需求量为 D_j , 其中火电机组发电量所占比例为 λ_j 。在火电机组中, 超临界机组、超超临界机组占火电机组比例及发电系统中循环流化床技术、增压流化床燃烧联合循环技术、整体煤气化联合循环发电技术的普及率为 α_{jk} , k 表示各种发电技术。设超临界机组、超超临界机组以及引入循环流化床技术、增压流化床燃

烧联合循环技术、整体煤气化联合循环发电技术后发电机组的发电标准煤耗率分别为 η_1 、 η_2 、 η_3 、 η_4 、 η_5 ，常规机组的发电标准煤耗率为 η_6 ，则可建立电力工业火电机组能源消耗估算模型如下：

$$B = \lambda_j D_j [(\alpha_{j1}\eta_1 + \alpha_{j2}\eta_2 + \alpha_{j3}\eta_3 + \alpha_{j4}\eta_4 + \alpha_{j5}\eta_5) + (1 - \alpha_{j1} - \alpha_{j2} - \alpha_{j3} - \alpha_{j4} - \alpha_{j5})\eta_6] \quad (2)$$

一般中温中压凝汽式电厂的供电标准煤耗率约 480g / kWh，高温高压电厂约为 380g / kWh，超高压电厂约为 360g / kWh，热电联产的热电厂由于减少了汽轮机排汽的热量损失，其供电标准煤耗率随发电量与对外供热的产热量的比例而变化，可低至 280g / kWh 左右。

再根据各种能源的煤当量系数可计算各种能源类型的实际消耗量，计算公式如下：

$$N_i = B_i / \sigma_i \quad (3)$$

其中 σ_i 为煤当量系数。各种能源的煤当量系数见表 2。

表 2 各种能源的煤当量系数表

能源种类	平均低位发热量	这标准煤系数
原煤	5000 千卡/千克	0.7143 千克标煤/千克
洗精煤	6300 千卡/千克	0.9000 千克标煤/千克
焦炭	6800 千卡/千克	0.9714 千克标煤/千克
原油	10000 千卡/千克	1.4286 千克标煤/千克
汽油	10300 千卡/千克	1.4714 千克标煤/千克
煤油	10300 千卡/千克	1.4714 千克标煤/千克
柴油	10200 千卡/千克	1.4571 千克标煤/千克

燃料油	10000 千卡/千克	1.4286 千克标煤/千克
液化石油气	12000 千卡/千克	1.7143 千克标煤/千克
天然气	7700-9310 千卡/立方米	1.1-1.3300 千克标煤/立方米
焦炉煤气	4000-4300 千卡/立方米	0.5714-0.6143 千克标煤/立方米
炼厂干气	11000 千卡/千克	1.5714 千克标煤/千克
水电、核电	860 千卡/千瓦时	0.3571 千克标煤/千瓦时

3、装机容量计算方法

根据不同燃料类型、机组类型发电厂的调度发电量，以及发电效率和调度发电小时数，既可计算各机组的装机容量，计算公式如下：

$$C_{ijk} = \lambda_j D_j \alpha_{jk} / r_{ijk} t_{ijk} \quad (4)$$

其中 C_{ijk} 为燃料类型为 i 装机类型为 k 的机组在第 j 年的装机容量， r_{ijk} 为机组的等效可利用系数， t_{ijk} 为机组的调度发电时间。

本模型可用于度量各种低碳发电技术协同作用下发电环节的碳减排效果，也在特定的碳减排目标下测算各类火电装机容量，为低碳技术和减排目标规划提供理论依据。