

# 再谈燃煤电厂可做到清洁燃烧

黄毅诚

2003年1月

伴随着经济的发展和技术进步，人类对矿物能源的需求逐年增加。矿物能源主要是指煤炭、石油和天然气，这些矿物质的利用，给人类带来了巨大的物质财富，人类的生活水平有了突破性地提高，但同时也给人类的生活带来了许多负面影响，在某些方面也威胁着人类的正常生存。

大量使用矿物能源，特别是煤炭对环境的主要影响是：

1、产生大量的二氧化碳。二氧化碳是使地球大气变暖的罪魁祸首，随着大气变暖，致使地球南、北极的冰山大量溶化，海平面上升，气候变化异常，直接影响着人类赖以生存的条件。

2、产生大量的尘埃，污染空气。上世纪 60 年代，英国伦敦曾因过量尘埃和大雾的结合，致使空气重度污染而死亡了许多人，特别是老人。

3、产生大量的二氧化硫。矿物能源，不论是煤炭、石油，还是天然气中都存在着硫，而且各地矿产的含硫量也不相同，有些矿物质中的含硫量很高，如我国贵州和四川南部有些煤矿生产的煤含硫量高达 5%、6%，伊朗生产的石油含硫量高达 5% 左右，四川有些气田生产的天然气含硫量也有 3% 左右。大量燃用高含硫量的矿物能源，会使大气中二氧化硫的含量不断增加，最终形成酸雨。我 1990 年在德国和捷克交界处，看到大面积的森林因酸雨的腐蚀而枯萎。

4、产生氧化氮。氧化氮能刺激呼吸器官，引起急性和慢性中毒，影响和危害人体健康。

我国是一个发展中大国，经济还不发达，人们的生活水平与先进国家相比还有很大差距，还要经过几十年的努力，才能达到中等发达国家的经济水平。要发展经济、要提高人民的生活水平，就需要有必要的能源作保证。以年人均用电量来衡量，若

要成为中等发达国家起码要占有 5000 千瓦时。经过了多年的努力，2001 年我国人均用电量达到了 1000 多千瓦时，与年人均用电量 5000 千瓦时的目标相比，我国能源工业发展的任务还很艰巨，同时也不可避免地碰到能源利用与环境保护如何和谐发展的课题。解决这一课题，就是要在发展经济、提高人民生活水平、消耗能源不断增加的同时，对环境的影响降到最小程度，不污染或少污染环境。这个目标在采取一些重大举措，经过努力后，是有可能实现的。

## 一、节约能源、提高能效

要把节约能源和提高能源利用效率放到十分重要的位置上节约能源和提高能源利用效率的重要性是巨大的，可以利用相同数量的能源，成倍地增加物质财富，它涉及到所有的企业、机关、学校、医院、商店等单位，也涉及到每一个家庭和个人。随着技术进步，节能和提高能效的目标会不断调整。国家应采取重要措施，经过多年努力，使我国成为一个节约能源、高效利用能源的社会。

## 二、大力发展可再生能源

可再生能源对环境不产生任何污染，是我国发展能源的主攻方向。目前，可再生能源主要指水能、风能、太阳能和生物质能，还有地热、潮汐、波浪能等等。从长远的发展来看，我国的可再生能源完全可以满足全国的需要。

1、水电。我国可利用的水能资源为 3.78 亿千瓦，应加大开发力度，平均每年建成 500 万千瓦水电，把可利用资源的 70 - 80% 开发出来。

2、风电。世界风电发展特别快，年均增加 30%，从技术方面看，已从单机容量几百千瓦发展到几千千瓦。德国计划在 2004 年建成单机容量为 5000 千瓦、总容量为 50 万千瓦的大型风力田。不少国家都计划今后 30 年、50 年使风电量占到总电量的 50%（德国 2050 年、丹麦 2030 年）。

我国风力资源十分丰富，按国家气象局的资料，我国陆上 50 米高度可利用的风力资源约为 5 亿千瓦。现在单机 2000 千瓦和 5000 千瓦的风电机组已超过 50 米高度。一般情况，近海的风力资源是陆上的 3 - 5 倍，按 3 倍计算，我国近海的风力资源也有 15 亿千瓦。应对我国可利用的风能总量进行深入调查，就已知的风力资源而言，也可以满足我国几十年内风电发展的需要。

我国一年新增的电力装机容量是世界第一，在 2000 万千瓦以上，但风电增长一年不足 10 万千瓦。德国从 1999 年到 2002 年，每年平均净增 150 万千瓦风电，与之相比我们的差距太大。国家应采取重大措施和政策，促使风电的发展与世界风电发展水平相呼应，和我国电力发展相适应。

(1) 当前风电不存在重复建设和过剩问题，应把建设风电的审批权下放到各省(市、区)。不管国内、国外，企业、个人，只要筹集到项目的资本金(占总投资的 20%)，就应能从银行贷到其他部分的投资，来建设风电。

(2) 当地电网企业，应准许所建风电并网运行，风力田内部集电、输电设施由投资者建设，向外输电由电网建设。

(3) 国家在税收上给予优惠：风电设备免征增值税；发电环节增值税按小水电标准征收，所得税减半征收。

(4) 上网电价一般不超过 0.4 元/千瓦时。具体价格由当地物价部门、投资建设者和电网企业协商制定。

风电的发展目标，首先要赶上德国，再进一步使风电量能占到总电量的 10% 以上。

3、大力发展太阳能。特别在太阳能发电的科研方面，能紧跟世界先进水平。预计再有 10 多年的时间，太阳能发电成本就能和煤电竞争。按 1 平方公里可安装 10 万千瓦太阳能发电计算，只要利用部分沙漠安装太阳能发电设备，就可以产生强大的电力。

4、努力发展生物能源。

5、因地制宜发展有地热、潮汐和波浪等可再生能源。

### 三、提高核电所占比例

现代技术建设的核电对环境基本上不产生坏的影响。我国发展核电的关键是要把核电电价降到低于或不高于煤电的水平。我国已经掌握了单回路 30 万千瓦反应堆的 60 万千瓦核电机组的制造技术，国家应立足此机组，建设一大批 60 万千瓦核电机组，如 100 台或 50 台，分 10 年或多一点的时间建成。设备采取国内招标，可以由两家公司中标来生产。若需要更大容量的单机，如 100 万千瓦，可以再组织试制。

核电站除了由现在的核电公司建设之外，其他发电公司也可以建设。有了批量，再进行招标，就可以大大降低核电的造价。

## 四、燃煤电厂达到清洁的燃烧

根据我国的资源条件，在几十年内利用煤炭发电还将占主导地位。一定要采取措施，使燃煤电厂达到清洁的燃烧，使其不污染环境或轻微地有些污染。要解决燃煤发电所产生的污染，国家应采取如下措施：

1、硬性规定所有新建燃煤电厂必须安装高效脱硫设备，脱硫效率要在 99%以上。我参观过北京一热的脱硫设备，脱硫后排放的二氧化硫只有  $5 - 8 \text{ mg/m}^3$ 。脱硫设备国内完全可以自己制造，若一时来不及，可以从国外进口一些。北京一热的第一套脱硫设备从德国引进，总投资是 3 亿多元（含利用脱硫产生的废物生产石膏板的设备），第二套除进口部分部件外基本由国内生产，只花了 1 亿多元。多年来，一直在讨论燃煤电厂安装脱硫设备的问题，但都因怕投资大而没有行动。硬性规定全国新建燃煤电厂必须安装脱硫设备，脱硫设备就会有一定的生产批量，有了批量，价格就会下降，估算其投资不会超过电厂总投资的 5%。我国现在电厂设计中可以节约的地方很多，改进电厂设计，就可以节约很大一笔投资，节约下来的投资，就足够安装高效脱硫设备。新建的定洲电厂已经证明，预计安装了高效脱硫设备后，造价也只有 4000 多元/千瓦。

2、硬性规定所有新建燃煤电厂必须安装高效除尘设备，除尘效率要在 99%以上。这一点国家新建的电厂都已做到了，而且国产电除尘设备的质量不比进口的差。一般经过电除尘后，烟气中的尘埃量约为  $50 \text{ mg/m}^3$ 。我在北京一热看到，电除尘后的烟气，脱硫时经过石灰水的洗涤，又降了一次尘，最后排到大气的尘埃只有  $4 - 10 \text{ mg/m}^3$ 。福建后石电厂也达到了这个水平。

3、硬性规定必须安装可减少产生氧化氮的燃烧器。后石电厂氧化氮的排放值是  $85 \text{ mg/m}^3$ ，而国家标准是  $650 \text{ mg/m}^3$ 。

4、硬性规定所有新建燃煤电厂必须建设封闭式的运煤、储煤设施。使煤炭和外界环境隔开，不论刮风、下雨都不污染环境。

5、至于二氧化碳，现在的技术还不可能使煤炭在燃烧时不产生二氧化碳，但可

以提高电厂效率，减少发电用煤，从而减少二氧化碳的排放。燃烧天然气，一般可比燃煤约减少 45% 的二氧化碳。

欧洲技术先进的国家，已经建成了超超临界火电厂，其蒸汽压力约为 300 个大气压，温度约为 600<sup>o</sup>C，电厂净效率（供电煤耗）可以达到 48%，比我国现在生产的亚临界 30 万、60 万千瓦机组效率（38%）高出 10 个百分点，可以节约 25% 的燃料——少产生 25% 二氧化碳。在丹麦已投运了 3 台超超临界机组，我国不少大专家、院士去考察过，认为技术是成熟的。

欧洲几大发电设备制造企业已经组织起来，合作进行科技攻关，计划把发电机组的蒸汽温度由 600<sup>o</sup>C 提高到 700<sup>o</sup>C。现在试验方案已定，正在进行装配，据说可在 3-5 年内完成试验。蒸汽温度提高到 700<sup>o</sup>C 之后，火电厂的净效率可以达到 55—57%，到那时每发 1 千瓦时电只要 220 多克标煤，比我们现在生产的亚临界机组要少烧 40% 多的煤炭，少产生 40% 多的二氧化碳。技术在不断地向前发展，美国能源部正在组织和支持蒸汽温度进一步提高到 760<sup>o</sup>C 和远期 800<sup>o</sup>C 以上的研究项目。我国也应把提高火电厂的蒸汽参数作为一个重要的科研课题来攻关。

我国应首先从欧洲购买 4-6 套，蒸汽参数为 300 个大气压、600<sup>o</sup>C，净效率为 48% 的超超临界发电机组，可分为几个电厂来建设，以达到掌握技术、发展自己的超超临界发电设备制造技术的目的，同时应跟踪 700<sup>o</sup>C 技术。这对以煤发电为主的我国，是一项重大的技术决策。因为是有关环境保护方面的技术，进口可能不会受到限制。

燃煤电厂采取以上措施后，可以做到其对大气的污染程度不高于其他任何方法建设的燃煤电厂，也不会高于燃用天然气和石油的发电厂，因为它们都不会再安装高效脱硫和高效除尘设备。

煤炭只有在大型电厂中使用，才有可能达到清洁的利用。我国应制定一项重大的能源政策，把所生产的煤炭，除了作为化工原料外，基本上供发电使用，其他使用煤炭为能源的单位和居民转为使用电能或天然气和生物能源。

## 关于超超临界发电机组的效率和造价问题

我遇到过多位考察过丹麦超超临界电厂的我国专家，他们认为这个技术是成熟可靠的，但在机组 48% 的净效率问题上，认为与那里的冷却水温低有很大关系。我在北京和上海遇到过两位专家，他们也怀疑这个 48% 的效率，认为超超临界发电机组的效率应是 43%，因为超临界机组的效率只有 40%，而日本的超超临界机组的效率是 43% 左右。

我认为不相信 48% 的效率是没有根据的。欧洲几大公司生产的设备，而且已运行了多年，机组的效率都实际测试过，他们不可能撒谎。冷却水温低，在效率上确实得到了一些好处。好处到底有多大，我作了些调查：

丹麦那里的冷却水温最低为 1℃、最高为 21℃、平均为 9℃，在锅炉效率 94.7%（河北三河电厂的锅炉效率实测为 94.8%）、厂用电率 5.5% 的情况下，若平均冷却水温为 9℃ 时，汽轮机背压为 0.0203 个大气压，电厂净效率为 48.18%；若平均冷却水温为 17℃ 时（浙江秦山地区的平均水温），汽轮机背压为 0.0333 个大气压，电厂净效率为 47.56%；若平均冷却水温为 21℃ 时，汽轮机背压为 0.0423 个大气压，电厂净效率为 47.04%。

也就是说，丹麦这台超超临界发电机组，若安装在秦山地区，净效率相差只有 0.62 个百分点，若安装在广东大亚湾地区，因为那里海水浅、流动慢，冷却水温较高，年平均为 24.5℃，净效率也只相差不足 1.5 个百分点。我还了解到华能营口电厂的年平均冷却水温为 13℃，大港电厂的年平均冷却水温为 20℃。

我国汽轮机热力计算专家吴立成，经过计算并结合他以前设计机组的经验，认为在平均冷却水温从 9℃ 升到 21℃，效率降低 1 个百分点是可信的。当然若将此机组安装在平均冷却水温很高的地区，净效率还要下降。

我们常说的电厂的净效率（供电煤耗）都是指机组按额定功率运行时的设计效率，而在实际运行中 机组出力要随着电网负荷的变化而变化，如一台 60 万千瓦的机组，有时只需发 30 万千瓦，此时它的效率就达不到设计效率。为了有可比性，我们都按设计效率来比较机组的效率。因为机组承担的电网负荷不同，不可能用平均效率来比较。

提高燃煤电厂效率的主要途径是提高蒸汽的参数（压力、温度），同时进一步提高汽轮机、锅炉、发电机的效率和辅助机械的效率，特别是电厂的系统效率也是十

分重要的。

关于超超临界机组的造价，我在一次会议上听到有同志发言，说丹麦发展超超临界机组是不惜工本！这个说法是没有根据的。丹麦专家在中国作过多次介绍，说超超临界机组比我国现在生产的相同容量的亚临界机组，电站建设费用要增加 5%。我经过核算认为这个数字不是做不到，而是过大了一些，其分析结果如下：

1、同容量的锅炉，因为超超临界采用的是直流锅炉，没有了庞大的汽包（亚临界 60 万千瓦锅炉汽包重约 260 吨），同时炉顶上没有汽包，整个锅炉的钢架也要小些，从而使锅炉总重量要轻  $\frac{1}{3}$ 。另外由于超超临界蒸汽参数高，单位公斤蒸汽的热含量比亚临界参数蒸汽要高约  $\frac{1}{4}$ ，也就是同样发 60 万千瓦蒸汽总量要少  $\frac{1}{4}$ ，超超临界机组锅炉的受热面积也应减少。亚临界参数蒸汽的过热温度是 540 $^{\circ}\text{C}$ ，所以超超临界参数锅炉在 540 $^{\circ}\text{C}$  之前的炉体钢管材料应和亚临界锅炉相同，但蒸汽压力增加，锅炉管道的厚度要增加。超超临界锅炉蒸汽的过热温度为 600 $^{\circ}\text{C}$ ，从过热温度 540 $^{\circ}\text{C}$  区段开始到 600 $^{\circ}\text{C}$  的区段要增加一段过热器并要采用更高一级的合金钢材。所以说锅炉及主蒸汽管道的投资在总重量减少  $\frac{1}{3}$ 、540 $^{\circ}\text{C}$  以前区段的受热面减少  $\frac{1}{4}$ 、增加一段用更高一级钢材生产的过热器的情况下应可以做到基本持平。

2、超超临界机组汽轮机的低压和中压部分，基本和亚临界机组相同。主汽门和高压部分，汽缸要相应加厚，材料要用更高一级的耐热钢，但由于蒸汽量减少  $\frac{1}{4}$ ，后汽缸排汽面积也应减少，现在亚临界 60 万千瓦机组的汽轮机是两个后汽缸，双向 4 组大叶片，至少可以减去  $\frac{1}{4}$ ，相应冷凝器也应减去  $\frac{1}{4}$ 。这一增一减，汽轮机的造价也相差无几。

3、发电机不应因蒸汽参数变化而变化。

4、辅机除了给水泵因压力增大而需增加投资外，其他运输、制粉、高低压加热器和电除尘器等，都因蒸汽量减少和少烧煤而减小投资。

从上面分析情况可以得知，相同容量的超超临界和亚临界机组的电厂建设造价是相差无几的。而超超临界机组可以节约 25% 燃料，将带来巨大的经济效益和社会效益，少污染。