

决策咨询系列



国家科学思想库

中国 科学家思想录

第五辑

中国科学院



科学出版社



国家科学思想库

中国 科学家思想录

第五辑

中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

中国科学家思想录·第五辑 / 中国科学院编. —北京: 科学出版社,
2013. 1

(中国科学家思想录)

ISBN 978-7-03-028868-4

I. ①中… II. ①中… III. ①自然科学-学术思想-研究-中国 IV. ①N12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 171621 号

丛书策划: 胡升华 侯俊琳

责任编辑: 张 凡 李 雯 卜 新 / 责任校对: 包志虹

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 黄华斌

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013 年 3 月第一次印刷 印张: 16 3/4

字数: 338 000

定价: 75.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

丛 书 序

白春礼

中国科学院作为国家科学思想库，长期以来，组织广大院士开展战略研究和决策咨询，完成了一系列咨询报告和院士建议。这些报告和建议从科学家的视角，以科学严谨的方法，讨论了我国科学技术的发展方向、与国家经济社会发展相关联的重大科技问题和政策，以及若干社会公众广为关注的问题，为国家宏观决策提供了重要的科学依据和政策建议，受到党中央和国务院的高度重视。本套丛书按年度汇编1998年以来中国科学院学部完成的咨询报告和院士建议，旨在将这些思想成果服务于社会，科学地引导公众。

当今世界正在发生大变革大调整，新科技革命的曙光已经显现，我国经济社会发展也正处在重要的转型期，转变经济发展方式、实现科学发展越来越需要我国科技加快从跟踪为主向创新跨越转变。在这样一个关键时期，出思想尤为重要。中国科学院作为国家科学思想库，必须依靠自己的智慧和科学的思考，在把握我国科学的发展方向、选择战略性新兴产业的关键核心技术、突破资源瓶颈和生态环境约束、破解社会转型时期复杂社会矛盾、建立与世界更加和谐的关系等方面发挥更大作用。

思想解放是人类社会大变革的前奏。近代以来，文艺复兴和思想启蒙运动极大地解放了思想，引发了科学革命和工业革命，开启了人类现代化进程。我国改革开放的伟大实践，源于关于真理标准的大讨论，这一讨论确立了我党解放思想实事求是的思想路线，极大地激发了中国人民的聪明才智，创造了世界发展史上的又一奇迹。当前，我国正处在现代化建设的 key 时期，进一步解放思想，多出科学思想，多出战略思想，多出深刻思想，比以往任何时期都更加紧迫，更加

重要。

思想创新是创新驱动发展的源泉。一部人类文明史，本质上是人类不断思考世界、认识世界到改造世界的历史。一部人类科学史，本质上是人类不断思考自然、认识自然到驾驭自然的历史。反思我们走过的历程，尽管我国在经济建设方面取得了举世瞩目的成就，科技发展也取得了长足的进步，但从思想角度看，我们的经济发展更多地借鉴了人类发展的成功经验，我们的科技发展主要是跟踪世界科技发展前沿，真正中国原创的思想还比较少，“钱学森之问”仍在困扰和拷问着我们。当前我国确立了创新驱动发展的道路，这是一条世界各国都在探索的道路，并无成功经验可以借鉴，需要我们在实践中自主创新。当前我国科技正处在创新跨越的起点，而原创能力已成为制约发展的瓶颈，需要科技界大幅提升思想创新的能力。

思想繁荣是社会和谐的基础。和谐基于相互理解，理解源于思想交流，建设社会主义和谐社会需要思想繁荣。思想繁荣需要提倡学术自由，学术自由需要鼓励学术争鸣，学术争鸣需要批判思维，批判思维需要独立思考。当前我国正处于社会转型期，各种复杂矛盾交织，需要国家采取适当的政策和措施予以解决，但思想繁荣是治本之策。思想繁荣也是我国社会主义文化大发展大繁荣应有之义。

正是基于上述思考，我们把“出思想”和“出成果”、“出人才”并列作为中国科学院新时期的战略使命。面对国家和人民的殷切期望，面对科技创新跨越的机遇与挑战，我们要进一步对国家科学思想库建设加以系统谋划、整体布局，切实加强咨询研究、战略研究和学术研究，努力取得更多的富有科学性、前瞻性、系统性和可操作性的思想成果，为国家宏观决策提供咨询建议和科学依据，为社会公众提供科学思想和精神食粮。

前 言

为国家宏观决策和科学引导公众提供咨询意见、科学依据和政策建议，是中国科学院学部作为国家在科学技术方面最高咨询机构的职责要求，也是学部发挥国家科学思想库作用的主要体现。

长期以来，学部和广大院士围绕我国经济社会可持续发展、科技发展前沿领域和体制机制、应对全球性重大挑战等重大问题，开展战略研究和决策咨询，形成了许多咨询报告和院士建议。这些咨询报告和院士建议为国家宏观决策提供了重要参考依据，许多已经被采纳并成为公共政策。将学部咨询报告和院士建议公开出版发行，对于社会公众了解学部咨询评议工作、理解国家相关政策无疑是有帮助的，对于传承、传播院士们的科学思想和为学精神也大有裨益。

本丛书汇编了1998年以来的学部咨询报告和院士建议。自2009年5月开始启动出版以来，院士工作局和科学出版社密切合作，将每份文稿分别寄送相关院士征询意见、审读把关。丛书的出版得到了广大院士的热情鼓励和大力支持，并经过出版社诸位同志的辛勤编辑、设计和校对，现终于与广大读者见面了。

希望本丛书能让广大读者了解学部加强国家科学思想库建设所作出的不懈努力，了解广大院士为国家决策发挥参谋、咨询作用提供的诸多可资借鉴的宝贵资料，也期待着广大读者对丛书和以后学部的相关出版工作提出宝贵意见。

中国科学院院士工作局

二〇一二年十一月

目 录

丛书序 /i

前 言 /iii

严陆光等	关于发展我国大规模可再生能源基地与相关技术研究的建议 /1
李衍达等	关于优先发展几类医疗设备的建议 /32
钟万勰等	关于发展事关国家竞争力和国家安全战略的 CAE 软件产业的 建议 /50
周孝信等	电网分频输电的技术经济分析与建议 /58
费维扬等	加快发展先进的 CO ₂ 捕集和封存技术的建议 /123
孙鸿烈等	长江上游地区生态安全问题 /132
路甬祥等	21 世纪上半叶我国能源可持续发展体系战略研究 /139
叶朝辉等	关于加强三峡库区生态环境问题及对策研究的建议 /165
徐建中等	关于盐卤和天然气综合利用、资源循环利用的建议 /175
周 远等	关于加强煤层气、炼焦气资源科学回收和安全利用研究的建议 /184
孙鸿烈等	关于黄河下游滩区安全和发展的对策与建议 /194
秦大河等	气候变化对我国的影响与防灾对策建议 /200

关于发展我国大规模可再生能源 基地与相关技术研究的建议

严陆光 等

能源问题是关系中国经济社会发展全局的一个重大战略问题，在国民经济和社会发展中发挥着十分重要的支撑与保障作用。

基于对我国 21 世纪上半叶（至 2050 年）能源需求与供应的展望与分析，本文阐述了如何改变现有能源结构，逐步向多元化可持续能源体系过渡，将发展可再生能源作为未来能源发展新方向的问题。本文从“我国荒漠地区建立大规模可再生能源基地”、“我国风力资源与大规模开发利用可行性”、“大规模太阳能发电、储能与输电技术”、“大规模发展生物质能源”和“大规模太阳能制氢、储氢与输送”五个方面对我国可再生能源的发展深入研究，提出了发展我国可再生能源基地与技术的措施和建议。

一、前 言

从可持续发展看，人类当前主要依靠的化石能源终将耗竭，未来的主要能源只能依赖于可再生能源和受控核聚变能，对此，科技界已形成比较一致的共识。近年来，世界已开始了向可持续能源系统过渡的积极努力，期望在 21 世纪上半叶能形成初始的体系框架，发展大规模可再生能源是主要措施之一。中国科学院学部于 2005 年春决定作为“我国能源可持续发展若干重大问题研究”咨询课题的一个重要方面，组织有关院士与专家开展“我国大规模可再生能源基地与技术的发展研究”，并将其整个工作于 2006 年秋完成。本文是工作的总结，为中央决策和做出相应部署提供参考。

可再生能源通常包括太阳能、生物质能、水能、风能、海洋能与地热能，是广泛存在、用之不竭、最终可依赖的初级能源。当前，作为水能利用的主要方式，水力发电已达到了大规模产业化阶段，其总装机容量已占全国电力总装机的 20% 多，其发展已有相应的规划。通常不计入能源总量的非商品性生物质能为广大农村地区



提供能源，占全国总能耗的近 20%。海洋能与地热能估计在 21 世纪上半叶还难以发展成较大规模的实用能源。从而，我们大规模可再生能源的发展研究集中于太阳能、风能与商品性生物质能，时间跨度定位为中远期，至 2050 年。

近 30 年来，我国太阳能、风能与商品性生物质能的技术、产业与应用取得了令人鼓舞的可喜进展。例如，我国太阳能热水器的应用已居世界首位，小型离网的风力与光伏发电已初步实现产业化，风力、光伏与生物质能多种联网电站正在蓬勃发展，沼气得到了较广泛应用，生物乙醇与柴油的产业化已经起步，等等。2005 年，通过《中华人民共和国可再生能源法》，自 2006 年 1 月 1 日起施行。这有力促进我国可再生能源事业的前进。虽然整个工作尚处于初始起步阶段，但已为今后发展奠定了良好的基础。

立足于逐步改变现有能源结构，向着可持续能源体系过渡，将可再生能源发展成未来的主要能源，充分利用已有基础，积极将有关技术与产业朝大规模方向推进，同时还要认真部署、大力加强大规模可再生能源基地与技术的研究发展。基于对我国 21 世纪上半叶（至 2050 年）能源需求与供应的展望与分析，我们分工，进行了五个子课题的研究：

- 1) 我国荒漠地区建立大规模可再生能源基地研究。
- 2) 我国风力资源与大规模开发利用可行性研究。
- 3) 大规模太阳能发电、储能与输电技术研究。
- 4) 大规模发展生物质能源研究。
- 5) 大规模太阳能制氢、储氢与输送研究。

各子课题对国内资源、国内外技术发展现状与研发计划，以及有关战略建议进行了较深入的调研、分析与论证，提出了相关的报告。在各子课题研究基础上，通过充分交流、讨论协商及实际考察，形成了本综合总结报告，简要叙述了各方面的调研论证结果、主要结论与建议。

在世界范围内，大规模可再生能源的工作正在起步，并得到了日益增强的重视，它的研究发展需要资源、环境、转化技术、能源经济与战略，以及管理等多方面专家的通力合作，许多工作属于相关领域科技前沿的重大基础性、前瞻性与战略性研究，对于科技发展和未来能源有着重大意义。我国是能源消耗大国，也是能源紧缺的大国，可再生能源的开发关系我国未来的科技与经济的发展，应走在世界前列，宜及早重视并采取有力措施加以推动。

二、需求展望与分析

（一）21 世纪上半叶我国的能源需求仍将快速增长

2000 年，我国人均耗能约为 1 吨标准煤/年，人均发电装机容量约为 0.25 千

瓦；2020 年将分别增至约 2 吨标准煤/年、0.7 千瓦；2050 年将分别达约 3 吨标准煤/年、1.5 千瓦。

（二）化石能源份额将明显下降

迄今化石能源是我国主要的一次能源，其总份额基本在总耗量的 90% 以上。自 20 世纪 80 年代以来，能源结构大体稳定在：煤占 65% ~ 70%，石油占 20% ~ 25%，天然气占 3%。展望 2050 年，在我国虽然煤资源还较丰富，但受开采能力发展与安全、环境、运输等限制，希望 2020 年后产量将稳定在 30 亿吨/年左右，使其在一次能源供应中的份额由当前的 68.8% 降至 40% 左右。石油的份额根据需求应保持在 20% ~ 25% 的水平，由于国内资源与生产能力估计只能保持在 2 亿吨/年的水平，能否满足，则取决于国际平衡与替代能源的发展，提高份额可能性不大。天然气的份额希望能有所上升，由当前的 3% 增至约 12%。这样，2050 年化石能源的总份额将降至 70% ~ 75%。

（三）水电与核电份额大体不变

除化石能源外，当前在一次能源中有明显贡献的是水电与核电，两者共占全国总装机容量约 25%，占一次能源供应的 7%。国家已明确了大力发展水电与核电的方针，但由于资源的限制，至 2050 年，乐观估计，也只能大体保持两者在电力装机总容量中份额不变（约 25%），在一次能源供应中的份额上升至 10%。为此，水电总装机将达 3.6 亿千瓦，占全国经济可开发水电资源总量 4 亿千瓦的 90%；核电总装机将达 2.4 亿千瓦，占当前世界核电总装机容量（3.65 亿千瓦）的 66%。我国铀资源不足，能否顺利实施预期的核电发展，有赖于国际供应铀原料的可能性及发展增殖反应堆与利用钍资源的现实性，目前还存在着不少疑虑。

（四）大规模可再生能源将发挥重要作用

2050 年我国一次能源的供应将出现不小于 15%（7.5 亿吨标准煤）、总装机当量容量不小于 30%（7 亿千瓦）的缺口，有希望发挥重大作用的将是大规模开发太阳能、风能与能源植物，从而，发展大规模可再生能源技术、基地与产业的任务已提上日程，成为我国向可持续能源体系过渡的重要措施。



（五）我国非水能的可再生能源发展要能达 到大规模应用，还要有步骤、分阶段、长期持续 地进行大量工作 |

主要是制定正确、科学的发展战略，大力加强研发工作以提高技术水平与降低造价，通过示范来积极开拓应用及市场，根据实际需求建立与发展相应产业。从国内外已有基础和发展趋势出发，大规模的主要方向应包括：①风力发电是当今新能源发电中技术最成熟、最具有大规模开发条件和商业化前景的发电方式，应是近期发展的重点。②从能源资源出发，太阳能处于可再生能源的首位，太阳能发电将是大规模发展的主要方向，要在提高转换效率、大幅度降低成本等方面大力加强研发工作，分阶段地逐步扩大规模，发展产业，达到总装机容量亿千瓦的水平。③生物质能作为非商品能源仍在广泛使用，发电，制作固体、液体燃料，沼气的商品能源应用也已开始，主要用农业、林业废弃物以及垃圾、粪便作为原料。要成为未来大规模的主要能源之一，必须将能源植物作为一个重要产业与农业、林业同样发展，近期内应大力研发不与农业争耕地、能有效繁殖的速生能源植物新品种，为大规模发展打好基础。④国际上已开始关注作为二次能源载体的氢能的发展，氢能在可储存与可携带方面有明显优越性。大规模制氢主要依靠太阳能，正在探索多种途径，这应是近期研究发展的重点。⑤非水能的可再生能源的主要特点是能量密度低，大规模的能源基地将占有很大的土地面积，例如每平方千米太阳能只能发5万千瓦电，风能可装机6000千瓦。大规模可再生能源基地主要将分布在大面积的荒漠地区，已取得一定共识，基地建设应与荒漠地区的生态治理及资源综合利用紧密结合，统一协调地进行。基地的选择、筹划工作应及早起步。

三、大规模太阳能发电

|（一）资源与特点|

太阳是巨大的聚变反应堆，聚变释放的能量以光辐射形式送到地球，成为最可依赖的初级能源。如表1所示，从世界与我国各种可再生能源资源量看，太阳能是最主要的能源资源，从而，太阳能发电应是未来提供大规模电力的主力，是大规模发展的主要方向。

表 1 世界与我国可再生能源资源状况

资源种类		世界	中国
太阳能	陆地每年接收太阳辐射/亿吨标准煤	1.3×10^6	17 000
生物质能	技术可开发资源/亿吨标准煤	65	7
水能	技术可开发资源/万亿瓦时	13.94	2.22
	经济可开发资源/万亿瓦时	6.96	1.27
风能	技术可开发资源/亿千瓦时	96	2.5 (陆上)
			7.5 (近海)

作为能源，太阳能的缺点在于辐照功率与能量密度低及不连续性。在地球上，太阳最大辐射功率小于 1 千瓦/米²，地球上各区域日照情况因受多种因素影响而不同，我国西北与华北北部属太阳能丰富区，年辐照天数在 250 ~ 350 天之间，年辐射能 ≥ 150 千卡^①/厘米² ≈ 0.2 吨标准煤/米²，考虑到现有太阳能发电的效率与辐照的不连续性，在丰富区每平方千米土地约能发电 5 万千瓦，年产能 1 亿度。我国广阔的荒漠地区与太阳能丰富区相吻合，有望成为化石能源耗竭后可再生能源成为主要能源时可持续发展的可靠基地。

由于功率密度低，要实现大规模发电，必须在能量聚集、传输、转化技术方面以及产业的形成与发展方面进行长期持续的努力。由于不连续性，必须解决如何有效融入电力系统，与各种发电方式有机组成互补的综合供电系统或采用大规模电能储存的问题。由于大型基地将在远离用户的荒漠地区，还要解决大容量长距离的输电问题。

太阳能发电经过长期持续努力，在光伏发电、太阳热发电及探索一些新发电方式方面，取得了可喜的进展。

（二）光伏发电

太阳能光伏发电是将光辐射能通过光伏效应直接转为电能的发电技术。光伏效应是法国科学家 Edmond Beequerel 于 1839 年发现的，实际应用开始于 20 世纪中期。光伏电池是光伏发电的基础，经半个世纪的持续努力，已研制成了 100 多种光伏电池，已实用化、商品化的主要是单晶硅、多晶硅与非晶硅三种，光电转化效率单晶硅实验室达 24.7%，商品占 15% ~ 18%，组件售价已降至每峰瓦 3 ~ 4 美元。近年来，世界光伏电池产业得到迅速发展，近五年年产量增长率达 43%，2004 年全世界总产量达 120 万千瓦，累积装机容量达 433 万千瓦。我国光伏电池 2004 年的生产能力达 10 万千瓦，实际产量 4.2 万千瓦，累计装机容

① 1 千卡 = 4185.85 焦



量 6.5 万千瓦，组件售价也已降至 30 ~40 元/峰瓦。技术的进步、产业规模的扩大与成本的下降为今后快速发展奠定了良好基础。

光伏发电具有不需燃料、环境友好、无转动部件、维护简单、由模块组成、功率可大可小等突出优点，其应用范围十分广阔，遍及各行各业，受到普遍欢迎。由于太阳光的不连续、不稳定性及光伏电池输出直流，作为电源，整个系统还包括逆变器、控制器及不与电网相连时的蓄电池储能装置。光伏发电的应用大致可分为三个方面。第一方面是为无电地区提供小型、独立、分散的离网电源，一般为几千瓦容量，由于不要建设长距离供电线路及管理体系，在经济上已可接受，技术已经成熟，市场仍在发展，但其总容量规模不大。第二方面是在城市居民区用户附近建立小型并网系统，可与建筑相结合，利用建筑的屋顶与墙面安装光伏电池。许多国家制定了本国的这类屋顶电站计划并积极推动实施，美国计划 2010 年前建 100 万座，总容量 300 万千瓦。德国已实施 10 万个屋顶计划，总容量 30 万千瓦。我国也有一些示范工作，如 2004 年建成的深圳国际园林花卉博览园 1000 千瓦并网电站。第三方面是在荒漠地区发展集中型的超大规模（10 万千瓦至亿千瓦）光伏基地，国际上有关工作已经起步，已建成 15 个 2000 ~6500 千瓦荒漠光伏电站，提出了百万千瓦系统的规划，我国有关工作正在酝酿起步。

光伏发电要实现大规模发展还存在着建设投资大、电能成本高、产业规模小和光电转换效率低等困难。我国光伏电站当前的建设投资约 5 万元/千瓦，比煤电 0.4 万 ~0.5 万元/千瓦更高；电能成本约 2 元/千瓦时，比煤电 0.4 元/千瓦时高 4 倍。光电池产业年产量：全世界 120 万千瓦，我国 10 多万千瓦，要达亿千瓦规模，产业要大幅增长，而百分之十几的转换效率使每平方千米受光面积仅能发出 5 万千瓦电。有效地向大规模发电推进：第一，要大力加强光伏电池降低成本与提高效率的研发工作。光伏电池是整个系统的核心，其成本占系统总成本的 70% 以上。在现有各种光伏电池中，晶体硅电池占有主导地位，2004 年占全部产量的 94%，我国硅材料紧缺，大部分依赖进口，这成为发展的瓶颈，要下大气力解决低成本、大批量硅材料的生产供应。要继续大力发展硅电池与薄膜电池的技术与工艺，降低成本，提高效率与寿命。对新型高效光伏电池的基础性创新研究，如染料敏化纳米晶电池，超高效（>50%）第三代光伏电池，也应给予积极支持与鼓励。从国家角度，关键要有明确的战略，加大研发投入和稳定持续的支持。第二，要制定国家发展规划与优惠政策，来积极推进并网与独立光伏发电的多方面实际应用，与市场需求紧密结合，逐步扩大产业规模。第三，作为未来主力电站的荒漠地区集中式超大型光伏电站的工作应该制定良好战略进行研究部署，经过万千瓦、10 万千瓦、百万千瓦级几个阶段的研究发展，建设与示范运营，解决有关装备研制与产业化，融入电力系统，与荒漠地区生态治理及资源开发利用相结合的一系列重大问题，以期在 21 世纪中叶确有能力建设与运营

亿千瓦级规模的光伏发电基地。

| （三）太阳热发电 |

太阳热发电是将太阳辐射能聚集起来加热工质，经热交换器产生过热蒸汽，再由蒸汽驱动汽轮机带动发电机发电，其原理与普通热电站相同，其发展方向也是提高蒸汽温度与压力以提高热电转换效率和增大单机组容量以改善经济性能，主要区别在于用太阳辐射的热能替代化石燃料燃烧产生的热能来加热。太阳热发电的主要困难在于太阳辐射功率密度低（1 千瓦/米² 以下）及随季节、昼夜与气候条件的变化而变化，具有不连续性及不稳定性，从而，大规模发电要解决大面积能量的聚集、跟踪、长距离传输、转化与储存等一系列科学技术问题和相当大的资金投入，这使得虽然太阳能资源不需付费，但每度电成本不低。

20 世纪 70 年代后期以来，国际上进行了认真的研发工作，建成了槽式、塔式与盘式三种太阳热发电系统的示范电站，经过长期运行考验，为继续前进奠定了基础。美国于 1985 ~ 1991 年在加利福尼亚州建成了九座槽式电站，总发电功率达 35.4 万千瓦，单机最大达 8 万千瓦，每万千瓦发电功率的太阳场面积为 0.06 ~ 0.08 千米²，槽式抛物面聚光镜的聚光效率 73% ~ 76%，加热后工质温度达 300 ~ 400℃，传输至换热器的总热效率 43%，发电效率 30% ~ 37%，总发电效率 13% ~ 16%，建设投资降至每千瓦约 2000 美元，每千瓦时电成本降至约每度 5 美分，还高于美国煤电站的投资与成本。20 世纪 80 年代前期，国际上建成了七个塔式试验示范电站，发电功率由 500 千瓦升至 1 万千瓦，每万千瓦电输出的定日镜面积为 0.04 ~ 0.12 千米²，产生了最高 520℃/100 标准大气压^①的过热蒸汽，投资 1 万 ~ 3 万美元/千瓦。90 年代中后期，美国桑迪亚国家实验室研发与建成了 1 万千瓦“塔式二号”第二代电站，采用熔化硝酸盐作为传热介质，使接收器热效率得以提高，并使储热系统简单、高效，投资降至每千瓦 5000 美元。盘式系统也已实现多个示范项目，其聚光比高，从而可达 1000℃高温，光电转换效率高，由于镜子直径不宜太大，单个装置电输出仅为几十千瓦，可作为离网的独立电源，也可大量并联形成大功率电站，其投资约为每千瓦 8000 美元。三种太阳热发电技术虽均已成功进行了示范，但十余年未得到推广应用和继续扩大单机容量，只持续进行了一些改进的研发工作。我国也进行了一些小规模研发工作。

面对未来大规模太阳能发电的需求，与光伏发电相比，太阳热发电的优点在于使用大量已产业化的装备、工艺与材料，在已有产业基础上能很快发展到单台

① 1 标准大气压 = 1.013 25 × 10⁵ 帕



容量几十万千瓦的规模，可用中间工质储热进行储能，用其他能源（油、气、煤）燃烧供热，保证连续发电，克服太阳能不连续的缺点。其缺点主要是：单台容量必须大，运行维护比较复杂，建设地点选择要考虑有充足的水源，因此，光伏发电与太阳热发电应各发挥其优势协调发展。鉴于我国研发基础差，应更加重视和加速太阳热发电的发展，选择大型集中电站的合适地点，在改善性能、降低造价、增大单机容量等方面大力进行有关研发工作，分阶段建造与运行一系列容量逐步扩大的示范电站，为大规模产业化打下坚实基础。

在太阳能发电方面，国际上还在进行一些新型发电方式的探索与研究发展，如太空发电、太阳热气流发电、温差发电等，对于有关的研发与创新工作，也应给予积极鼓励与支持。

（四）由我国电力发展全局出发进行规划部署

必须从我国电力发展的全局出发，进行荒漠地区建设大规模太阳能发电基地的可行性研究和规划工作，研究基地地址的合理选择，超大面积电站的运行维护、负荷配置、电网调度技术，利用电网集中式储能和靠近负荷侧的分散式储能解决供电的不连续性与不稳定性发展超大容量远距离输电技术，等等。整个工作应在国家统一规划、大力支持下，分步骤地积极推进，21世纪上半叶可设想分为四步：①力争2010~2015年在荒漠地区建成一个10万千瓦级电站，用110千伏以上等级交流线路，输往100~200千米外主电网，解决运行特性、电网调度与负荷分配等问题，积累建设与运营经验。②2020年左右，建成百万千瓦级电站，用超高压交流或直流线路，输往几百千米外的互联电网。③2030年左右，建设千万千瓦级的电站群，用1000千伏特高压交流或 ± 800 千伏直流线路，或高温超导输电输往500千米以外的电网负荷中心。④2050年左右，建设几亿千瓦电站群，输至几百至几千千米外电网负荷中心，成为我国电力的主力部队。可喜的是，中国电力科学研究院已开始了起步工作。

四、大规模风力发电

（一）风能资源

太阳辐射造成地球各部分受热不均匀，形成大气环流，风能资源来自于此。下垫面不同，造成各地局部环流大气做复杂而无规则的乱流运动。它不污染环境，不破坏生态，周而复始，可以再生，是取之不尽、用之不竭的一次能源。可用于发电的风能资源主要包括陆地资源与近海离岸资源两部分。

我国幅员辽阔，海岸线长，陆地风能资源比较丰富。根据气象站陆地离地 10 米高资料，考虑经过风能转换装置，风吹过后必须前后、左右各有 10 倍障碍物（风轮直径）距离，才能恢复到原来未受影响的风速进行估算。我国 10 米高风能理论资源储量为 32.26 亿千瓦，估计其中 1/10 可供开发，则实际可开发量约为 3.23 亿千瓦，再考虑实际扫风面积为圆形，与正方形的差别系数为 0.785，则经济可开发量为 2.54 亿千瓦。当然，随着高度增大，资源储量还会增大，如距离地面 50 米，估计可能增大一倍，但还缺乏气象实测数据。我国有 1.8 万千米海岸线，在近海范围（自海岸线向内陆延伸 2~3 千米，向海上到达 25 米等深线以浅的范围），由于海面粗糙度小，湍流强度小，风向稳定，风速一般比陆地大。初步估算，10 米高经济可开发量约为 7.5 亿千瓦，50 米高约为 15 亿千瓦，比陆地约高 3 倍。

风能资源的形成受到气候、地形等多种因素的复杂影响，其在空间分布上是分散的，在时间分布上是不稳定和不连续的，存在着很强的地域性和时间性。

表 2 我国风能资源分区的主要指标

指标 区名	丰富区	较丰富区	可利用区	贫乏区
年有效风能功率密度/(瓦/米 ²)	≥200	200~150	150~50	≤50
年小时数(风速3~25米/秒)	≥5000	5000~4000	4000~2000	≤2000

根据年有效风能功率密度和风速在 3~25 米/秒之间的可利用小时数，将全国按表 2 所列指标划分为风能丰富区、较丰富区、可利用区和贫乏区。丰富区集中在三北（华北、东北、西北）北部地区与沿海地带及其岛屿。三北地区是我国连成一片的最大风能资源带，地表为荒漠，草原或退化草场，地势平坦，工程地质条件好，将是我国大型风电场的主要基地。沿海地带也是建设风电场的良好地带，但由于丰富区仅限于海岸线内 2 千米范围，大型风电场发展较困难。较丰富区包括三北地区向南扩展 200~250 千米与沿海地带向内扩展 10 千米，与丰富区相同，也可根据条件发展风力发电。可利用区与贫乏区，除特殊地理环境的个别地区外，开发风力发电的价值不大。青藏高原虽风速较大，但空气密度小成为难以发展的因素。

| （二）风电发展 |

风能的动力应用已有数千年的悠久历史，但风力发电的研发开始于 19 世纪末期，直至 20 世纪七八十年代并网风电场才进入了电力系统。由于单机容量迅速提高，技术与经济性能明显改善，1993 年至今，世界风力发电的总装机容量



以每年 30% 以上的速度增长，如表 3 所示，2005 年年底达到 5898.16 万千瓦。其中，欧洲六国的份额占 60.8%，所生产的电能已占世界总电量的 0.5%。近年来，我国风力发电也呈现了良好的发展势头，表 4 列出了我国近年总装机容量的增长情况，自 1986 年 4 月第一个风电场在山东荣成并网发电以来，至 2005 年年底，已建成 61 个风电场（不包括台湾的 9 个），共有 1864 台风电机组，总容量达 126 万千瓦，占全国电力总装机容量的 0.25%，发电量占全国总电量的 0.12%，2005 年新增装机达约 50 万千瓦，年增长率达 65%。展望未来，大力发展风电已成为一些国家的国策，最积极的欧洲的目标是 2010 年总容量达 7500 万千瓦，2020 年达 1.8 亿千瓦。我国规划 2010 年总装机容量到 500 万千瓦，2015 年达 1500 万千瓦，2020 年达 3000 万千瓦。我国风力发电在大规模非水能可再生能源发电中的先行地位已经明确。

表 3 世界累积装机容量及前 10 位国家（2005 年年底）

项目	累积装机容量/万千瓦	比例/%
德国	1842.75	31.2
西班牙	1002.7	17.0
美国	914.9	15.5
印度	443.0	7.5
丹麦	312.8	5.3
意大利	171.74	2.9
英国	135.3	2.3
中国	126.0	2.1
荷兰	121.9	2.1
日本	104.0	1.8
10 个国家总量	5175.09	87.7
其他国家和地区总量	723.07	12.3
世界总量	5898.16	100.0

表 4 中国历年总装机容量（单位：万千瓦）

项目	1990 年前	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
当年新增		1.05	1.48	0.68	2.14	10.92	5.69	4.47	7.65	5.72	6.60	9.90	19.74	58.3
累计容量	0.1	1.45	2.93	3.61	5.75	16.67	22.36	26.83	34.48	40.20	46.80	56.70	76.44	134.74

注：不包括台湾的 9.1 万千瓦

（三）近期主要工作

为了能顺利实现 2020 年的规划目标和满足在 2050 年达到装机几亿千瓦的