

建筑工程太阳能 发电技术及应用

BIAD

北京市建筑设计研究院

李宏毅

金磊

编著



TM615/3

2008

建筑工程太阳能发电技术及应用

北京市建筑设计研究院

李宏毅 金磊 编著

机械工业出版社

本书从能源短缺、环境遭破坏的背景出发,简要介绍了几种可再生(新)能源发电原理、应用状况;重点概括了光伏发电的工作原理和光电转换的优势。以大量的篇幅阐述了光电效应、光伏建筑一体化、光伏电站、光伏照明和光伏设施等相关概念和工程设计运用实例。同时广泛地收集国内开发和利用光伏发电技术的实例,以唤起业界人士关注太阳能的坚定信心。

本书信息量大、针对性强、内容翔实,以期起到普及和推动光伏产业发展的作用。适合于建筑设计、施工、房地产开发商和建设单位等相关人员阅读,亦可供高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程太阳能发电技术及应用/李宏毅,金磊编著. —北京:机械工业出版社, 2007.8

ISBN 978-7-111-22528-7

I. 建… II. ①李…②金… III. 太阳能发电 IV. TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第155416号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:赵荣 责任编辑:王黎庆 版式设计:张世琴

责任校对:李秋荣 封面设计:赵亮 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2008年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.5印张·427千字

标准书号:ISBN 978-7-111-22528-7

定价:48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68327259

封面无防伪标均为盗版

前 言

如果说 20 世纪是煤炭、石油、天然气世纪的话, 21 世纪则是太阳能的世纪。短短几年便引发全球业界人士对太阳能等可再生(新)能源产业以极大的关注。《建筑工程太阳能发电技术及应用》撰写的初衷, 就是让人们进一步了解我国能源极度短缺、环境遭受破坏的情况和国家颁布《可再生能源法》的巨大效力, 以激发设计人员和国人的高度重视。

本书第一章介绍了国内能源的形势和能源供需状况, 开发新能源的紧迫性及其应对措施。

第二章全面介绍了太阳能光伏发电的工作原理和基本构成, 以及其光电转换的优势。

第三章是光伏发电实用技术, 为本书的重点, 概括了光伏发电的利用范畴。首先强调光伏建筑一体化, 它是指幕墙、屋顶与太阳能完美结合的技术; 其次是太阳能光伏电站、光伏照明和光伏设施的工程设计、选型及其相关实例。

第四章提出经济环保型发电和科学有效性节能。从实际出发介绍光伏发电系统的构成、选择、最大功率跟踪方式, 以获得较高的光电转换效率。同时指出节约电气用能的重要性。

附录中介绍了可再生(新)能源发电及系统, 分别阐述了太阳热能、生物质能、海洋能和地热能的发电原理, 并展示了其开发和利用的实例。

为了真正达到普及、推广和积极选用可再生(新)能源等的创意效果, 书中尽其所能地使插图形象化、表格清晰化、语句精练化, 力求深入浅出地向读者表达一个深层的含义: 当今大力发展新能源产业时不我待。

本书出版在即, 得到北京市建筑设计研究院内领导的亲切关怀和大力支持, 以及光伏专家施正荣、李加季博士和同事们的帮助。书中第二章和附录内容为原能源部赵汝成高级(教授)工程师撰写。还有为本书提供信息等资料的业界同仁。在此一并致谢。

李宏毅 金磊

目 录

前言

第一章 概述 1

第一节 国内能源形势概览 1

一、能源市场形势严峻 1

(一) 基本概念 1

(二) 我国能源现状与节能 2

二、能源短缺局面应对策略 4

(一) 坚持节能优先 4

(二) 大力发展新能源 5

(三) 联合攻关 6

第二节 化石能源与生态环境 8

一、环境遭受严重破坏 8

(一) 基本概念 8

(二) 环境污染后果严重 10

二、日益减缓温室效应 11

(一) 气候变化副作用大 11

(二) 制定有针对性的减排方式 11

第二章 太阳能光伏发电原理 12

第一节 概述 12

一、太阳能功效 13

二、太阳能发电 13

三、太阳能光伏发电现状 20

四、太阳能光伏发电评价 24

第二节 光电效应 25

一、光的特性 25

二、光电学说 27

三、光电效应特性 30

第三节 半导体 PN 结 30

一、基本概念 30

二、重要特性 34

三、主要参数 36

第三章 太阳能光伏发电实用技术 38

第一节 光伏发电利用范畴 38

一、充分利用太阳光 38

二、太阳能应用范畴 38

第二节 太阳能光伏建筑一体化 40

一、基本概念 40

二、主要用途 46

(一) 光伏与建筑完美结合 46

(二) 光伏建筑安装方式 49

三、光伏建筑一体化在建工程 53

(一) 深圳方大科技中心 53

(二) 首都博物馆新馆 55

(三) 北京太阳能研究所 63

(四) 上海莘庄工业园 65

(五) 青海省 67

(六) 辽宁省 68

(七) 国家游泳馆 70

(八) 其他 72

第三节 太阳能光伏电站 73

一、基本概念 73

二、主要用途 75

三、光伏电站工程 80

(一) 深圳国际园林花卉博览园 80

(二) 西藏自治区 84

(三) 青海省 88

(四) 南开大学 91

(五) 北京市北苑地区 93

(六) 其他 94

第四节 太阳能光伏照明 96

一、基本概念 96

(一) 定义 96

(二) 固体发光光源 99

二、主要用途 105

(一) 太阳能室外灯 105

(二) 太阳能交通标志灯 109

三、光伏照明在建工程 115

第五节 太阳能光伏设施 133

一、基本概念 133

二、主要用途 136

三、光伏设施在建项目 140

(一) 西部地区 140

(二) 边远地区 143

(三) 大中城市	145
(四) 其他	148
第四章 经济环保型发电和科学	
有效型节能	150
第一节 高效利用太阳能	150
一、遵循光伏技术主要规定	150
二、理解光伏系统基本构成	152
(一) 太阳能电池方阵	152
(二) 控制器	162
(三) 蓄电池	165
(四) 逆变器	171
(五) 交(直)流负载	175
三、优化光伏系统工程设计	176
(一) 光伏构思力求准确	176
(二) 理解并网光伏电站配电	181
四、跟踪光伏系统工程的最大功率	184
(一) 概述	184
(二) 光伏系统中最大功率跟踪	185
第二节 有效节约能源	189
一、概述	189
二、实施照明节能要点	193
第三节 在建工程分析评估	204
一、光伏发电	204
(一) 概述	204
(二) 独立光伏发电、光热利用系统	205
(三) 并网光伏电站运行系统	209
二、电气节能	214
(一) 变压器节能检测	214
(二) 电动机节能检测	220
(三) 照明节能检测	226
(四) 配电线路节能检测	233

附录 可再生(新)能源发电及	
系统	237
附录 A 太阳热能	238
一、概述	238
二、热能发电	238
(一) 太阳能集热器	238
(二) 输热系统	241
(三) 储热系统	241
(四) 热机系统	244
(五) 发电系统	244
三、热能利用	244
(一) 国外、国内案例	244
(二) 自动跟踪聚焦式太阳能光伏	
发电	246
附录 B 生物质能	247
一、概述	247
二、生物质能发电	248
三、生物质能利用	250
附录 C 海洋能	254
一、概述	254
二、潮汐能	255
三、波浪能	258
四、海流能	259
五、温差能	261
六、盐差能	262
七、海水淡化	264
附录 D 地热能	264
一、概述	264
二、地热能发电	265
三、地热能利用	267
参考文献	271

第一章 概述

21 世纪, 人类在享用现代科技带来的丰富物质文明的同时, 却不得不面对一个共同的问题, 即资源的巨大消耗造成能源日益枯竭, 人类仅依靠传统燃料对环境造成的污染。在这双重压力下, 资源匮乏, 已不能适应世界人口和经济持续增长的需要。为什么亿万年形成的化石能源会在 200 ~ 300 年内燃烧掉? 为什么不能为子孙后代多留一些宝贵矿藏呢? 美国人不开采本土的储备而依赖进口, 日本购买我国大量的煤炭填海, 这些足以引起人们的反思。

目前, 人们迫切地呼唤、渴求以清洁的可再生(新)能源取代化石能源, 一些发达国家已经拟定到 21 世纪中叶, 让新能源发电占国家电力市场 30% ~ 50% 的目标; 我国 2006 年 1 月 1 日开始实施的《中华人民共和国可再生能源法》正式出台了相关政策法规条款, 一场能源革新已悄然兴起。

第一节 国内能源形势概览

一、能源市场形势严峻

(一) 基本概念

1. 能源含义及其分类

(1) 按生成方式划分

能源分一次能源和二次能源。一次能源是指自然界中以天然形态存在未经加工的能源形式, 如煤炭、石油、天然气、水能、太阳能、风能、生物质能、海洋能和地热能等; 二次能源是指由一次能源转换成符合人们使用要求的能量形式, 如电能、汽油、柴油、焦炭、煤气、蒸汽和氢能等。

(2) 按所处经济生活地位划分

能源分常规能源和新能源。常规能源技术上比较成熟, 已被人类广泛使用, 在生产、生活中起着重要作用, 如煤炭、石油、天然气、水能和核能等; 新能源是指目前尚未被人类大规模利用, 还有待进一步研究试验与开发利用的能源, 如太阳能、风能、地热能、海洋能和核聚变能等。

(3) 按是否能再生而循环使用划分

能源分可再生能源和非再生能源。可再生能源是指不会随着自身的转化或人类利用而日益减少, 具有自然恢复能力的能源, 如太阳能、风能、水能、生物质能、海洋能和地热能等; 非再生能源是指经过亿万年形成而在短期内无法恢复再生, 随着使用而越来越少的能源, 如煤炭、石油和天然气等。

(4) 按其不同来源划分

1) 来自地球外天体, 主要指太阳辐射能。植物通过光合作用将太阳能转为化学能, 储存于体内, 为人类和动物提供生存能源。如, 古代埋藏于地下的动植物等化石燃料(实质

上是储存下来的太阳能)而形成的。太阳能、风能、水能、海水温差能、海洋波浪能、生物质能等,也都直接、间接来自太阳能。

2) 来自地球内部,主要指地下热水、地下蒸汽和岩浆等地热能和铀、钍等核燃料所具有的核能。

3) 地球与其他天体相互作用而产生,主要是指由于地球、月球及太阳之间的引力作用,从而造成有规律的涨落而形成的潮汐能。

(5) 按对环境污染情况划分

能源分清洁能源和非清洁能源。清洁能源是指对环境无(很小)污染的能源,如太阳能、水能和海洋能等;非清洁能源是指对环境污染严重的能源,如煤炭、石油等。

2. 能源利用演变过程

(1) 柴草阶段

史前人类一直以柴草作为能量的主要来源,而辅之以水力、风力和畜力。几千年来社会进步不大。在1860年世界能源消费中,薪柴和农作物秸秆占世界能源总消费量的73.8%,煤炭仅占25.3%。

(2) 煤炭阶段

18世纪70年代,继瓦特发明蒸汽机、爱迪生发明电灯后,方完成热能向机械能的转换,人类社会进入电气化时代;1860~1910年,煤炭消费总量增加37.3倍,即净增率为25.3%~63.5%,而柴草下降率为73.8%~31.7%。

(3) 石油阶段

从20世纪60~70年代起,石油和天然气逐渐取代煤炭,在世界能源消费构成中居主导地位;到20世纪70年代中期,石油、天然气已经超过煤炭,它对促进世界经济的繁荣和发展起到了重要作用。

(4) 过渡阶段

20世纪70年代末,西方世界爆发的石油(能源)危机震撼了全世界,它宣告了石油阶段的结束,预示着一场新能源变革即将来临。其过渡阶段结构演变的特征是由以石油、天然气和煤炭为中心逐步向核能和太阳能等新能源的方向转变,重点是寻求化石能源的替代品,以建立一个持久、可再生和清洁的能源体系,以满足21世纪的需求。

(二) 我国能源现状与节能

1. 形势严峻的时代

(1) 现有资源极度短缺

目前,人类使用的最主要能源是不可再生能源,如石油、天然气、煤炭和裂变核燃料等,约占能源总消费量的90%,而可再生能源,如水力、太阳能等只占10%。从我国和世界常规能源开发利用年限对比中可预测,全世界石油储量只够开采45年,天然气约61年,煤炭230年,核燃料71年;而我国石油储量仅够开采15年,天然气约30年,煤炭81年,核燃料50年。

资源的短缺让经济高速发展的中国面临更加严峻的形势。2004年,我国的煤炭、电力、石油和运输空前紧张。目前,我国能源消费总量已超过14亿t标准煤,成为继美国之后的第二大能源消费大国。

(2) 消费结构不尽合理

不合理的能源消费结构致使我国面临着常规能源资源约束、过分依赖煤炭污染严重和能源利用效率低等问题（见图 1-1）。况且我国人均煤炭、石油、天然气资源量就很少，分别为世界平均水平的 60%、10% 和 5%。全国 90% 的 SO_2 排放、大气中 70% 的烟尘均是燃煤造成的。

2004 年我国国内生产总值比上年增长 9.5%，与此同时，其能源消费总量达 19.7 亿 t 标准煤，比上年增长 15.2%；万元 GDP 能耗 1.58t 标准煤，上升 5.3%。目前国内每吨标准煤的产出效率仅相当于日本的 10.3%、欧盟的 16.8%，其能源利用率比发达国家整整落后 20 年。谋求低能耗、高产出、少污染是我国面临的重要课题。

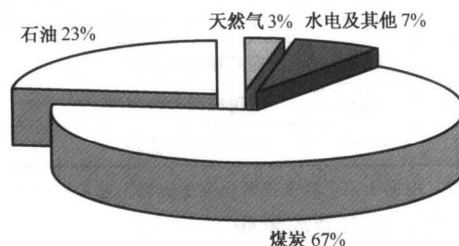


图 1-1 2003 年中国常规能源消费比例

（3）资源不足影响面大

资源不足直接反映到与人们生活密切相关的电力供应上，让更多的人对“电荒”心有余悸。2004 年已涉及到全国 27 个省，从夏季持续高温到冬季的大面积拉闸限电对生活 and 生产造成的影响和制约相当严重。由于经济迅猛发展，电力的需求以每年超过 20% 的速度增长，过去的季节性、时段性缺电已经转化成全天候、全年性短缺。根据目前全国的电力建设预测，2010 年和 2020 年电力供应缺口将分别占到 4% 和 11%，电力紧张的局面在今后一段时期内都难以得到缓解。

2. 能源供需现状

（1）国内能源状况（见表 1-1）

表 1-1 国内能源供需状况

能源		内 容	备 注
特点		煤炭为主 石油为辅 天然气缺乏	煤炭 81 年，为世界平均水平的 50% 石油 15 年，为世界平均水平的 33.3% 天然气 30 年，为世界平均水平的 50%
问题	资源	为世界总储量的 10% 人均水平为世界的 40%	优质资源匮乏
	效率	为世界的 32% 能源消耗 GDP 分别是美国、欧盟、日本的 4、6、10 倍	占世界能源消费总量的 10%
	环境	酸雨、酸沉降、煤烟污染严重	预计 2020 年温室气体排放量将超过美国
需求	电力	已经达到 1462kW·h/人	为美、日的 10%、17% 为欧盟、世界平均水平的 18%、57%
	数据	达到世界平均水平需 3.3 万亿 kW·h	达到欧盟平均水平需 10.6 万亿 kW·h
供应	预测	2020 年国内生产总值达 24 亿 t 标准煤	煤、石油、可再生能源、天然气、水电、核电有增长
	趋势	2020 年全国能源需求量将达 30 亿 t 标准煤	煤炭、石油、天然气、水电、核电有增长

(续)

能源	内 容	备 注
矛盾	消费	能源需求持续增长和国内供应严重不足
	资源	大量煤炭和环保、减排温室气体之间
	能源	大量进口和供应的安全程度之间
措施	效率	提高能源利用率
	借鉴	利用国际油气资源
	开发	应用可再生能源

注：根据国家发改委能源研究所资料汇总。

(2) 北京能源紧张

北京市发改委指出：“2005 年北京的能源紧缺局面仍然十分突出，面临比 2004 年更为严峻的电力供应形势”。还提到该年度北京电力最大负荷将首次突破千万千瓦，达到 1070 万 kW，比 2004 年夏季 943.6 万 kW 的最高负荷高出 126.4 万 kW，增长 13.4%，电力供应短缺。如煤炭方面，北京市在 2004 年总需求突破 2800 万 t 的基础上，2005 年又达到 2900 万 t。2004 年北京煤炭 95% 以上来自山西、内蒙古和河北等地，其中来自山西的煤炭几乎占外来煤炭总量的 50%。当前北京市煤炭供应的主要问题是需求大、库存低，资源紧、缺口大，运输难、费用高。除此之外，石油、天然气和水等资源的供应也都比较紧张。

鉴于气温升高，用电负荷会急剧增加。监测站检查中发现一些政府机关办公楼仍使用白炽灯，而且部分开关设置不合理。商厦、写字楼还存在照明用电浪费比较严重的现象，特别是一些灯具安装较密的大型公共建筑，走廊灯就多达上万只；北京气温每升高 1℃，市内用电负荷将增加约 25 万 kW。如果市内的空调温度调高 1℃，将节电 5% ~ 8%。北京市发改委环资处再次强调：“如果大型公共建筑将 40W 的走廊灯泡都换成 9W 的节能灯，再间隔开灯，那么，仅照明用电就将节约 66.6% 以上。”

一旦供电超负荷，将启动应急预案。煤电管理部门为此重申北京市用电调控方案，将按照 30 万 kW、60 万 kW、105 万 kW 的供电缺口，通过预控、应急、紧急三个层次，将各项调控措施分阶段投入使用。若其措施全部投入使用后，仍存在超出供电能力的不可控负荷，或者发电机组、外送电力出现重大故障时，北京电力公司将遵循“先工业负荷，后其他负荷；先企业次要负荷，后企业主要负荷；先远郊区，后近郊区”的原则，按序拉路限电，同时准备启动特大严重电力突发时的应急预案。

二、能源短缺局面应对策略

从能源发展过程分析可知，在人类开发利用以化石能源为主的时期并不太长，它终将走向枯竭，终将被新能源所取代。能源是战略资源，是全面建设小康社会的重要物质基础。当前能源供给和能源安全问题已经显现。要从根本上解决能源制约，满足经济持续快速增长的需求，既要发展新能源（尤其是可再生能源），又要坚持节约优先，走低能耗跨越式发展之路，建设节能型社会。而如何有效地利用现有资源，建立节能型社会的指标体系，对于推进节能型社会的建设具有重要的现实意义。

(一) 坚持节能优先

1. 节能型社会基本含义

首先，节能不仅是通过技术、政策和体制的改进，来减少提供同等能源服务的投入，而

且取决于人们价值观和消费行为的改变。构建节能型社会,即动员和推进全社会在所有领域厉行节能,全面、深入、系统地提高能效,从而取得比常规节能大得多的经济效益、环境效益和社会效益。

它的另一层含义是改变经济增长方式,提高经济增长质量的重要途径。我国经济的高增长仍然是依靠消耗大量能源和原材料的低效益,2003年国内消耗的能源情况见表1-2,它表明,已经基本得到解决的能源供应短缺“瓶颈”再度显现。所以加大能源建设投入,强化节能是最现实、最经济的办法。国内节能潜力大,可实现的节能成本效益远超过新增生产力;构建节能型社会,是精神文明建设的重要内容,如在追求高消费浪潮中,应改变“用过即扔”的消费方式,以营造健康、文明的高品质小康社会生活和节俭的社会风尚。

表 1-2 国内经济增长点依托

类别	数据	占世界相应能源总耗量的百分率(%)
钢铁/t	2.6×10^8	25
煤炭/t	1.5×10^9	30
水泥/t	8.2×10^8	50
石油/t	2.6×10^8	
电力/TW·h	1890	

注:1. 该表为2003年统计数字。

2. “能源消耗GDP”相当于世界平均值的3.4倍。

在引进和自我开发能力中选好突破点,有利于在短时间内赶上世界先进水平。如薄膜太阳能电池具有省材料、低造价的优势。要加速开发无污染、可再生的太阳能资源,力争到2020年建成500万kW的太阳能发电容量,使太阳能成为我国最大的可再生能源。

2. 节能型社会指标体系

目前,国际上普遍用能源效率指标来衡量节能水平。一个国家的综合能源效率指标是增加单位GDP的能源需求,即单位产值能耗;部门能源效率指标分为经济指标和物理指标,前者是指单位产值能耗,后者在工业部门为单位产品能耗,在服务业、建筑物为单位面积能耗和人均能耗见图1-2。

(二) 大力开发新能源

1. 展新能源刻不容缓(见表1-3)。

表 1-3 发展新能源的迫切性

问题	年份	内容	所占比例(%)
煤炭比例较高	1998	世界第一次商品能源消耗结构	煤炭 26
			石油、天然气 64
			核能、水电 10
		我国第一次商品能源消耗结构	煤炭 72
			石油、天然气 23
			核能、水电 6

(续)

问题	年份	内容		所占比例（%）
环境已被污染	2000	我国能源消费占世界比例		8 ~ 9
		SO ₂ 排放占世界比例为世界第一		15.1
		CO ₂ 排放占世界比例为世界第二		13.6
		我国煤炭污染物的排放	SO ₂ 占全国的比例	87
			CO ₂ 占全国的比例	71
			NO _x 占全国的比例	67
			烟尘占全国的比例	60
启用新兴能源	2020 ~ 2030	化石燃料的生产和消耗		达到峰值
	2050	可再生能源占总一次能源的比例		> 50
		太阳能在一次能源中的比例		13 ~ 15

注：1. 21 世纪人类能源结构将发生根本性变革。
2. 我国因能源结构矛盾和能源开采和利用技术水平低，造成的环境问题更为严重。

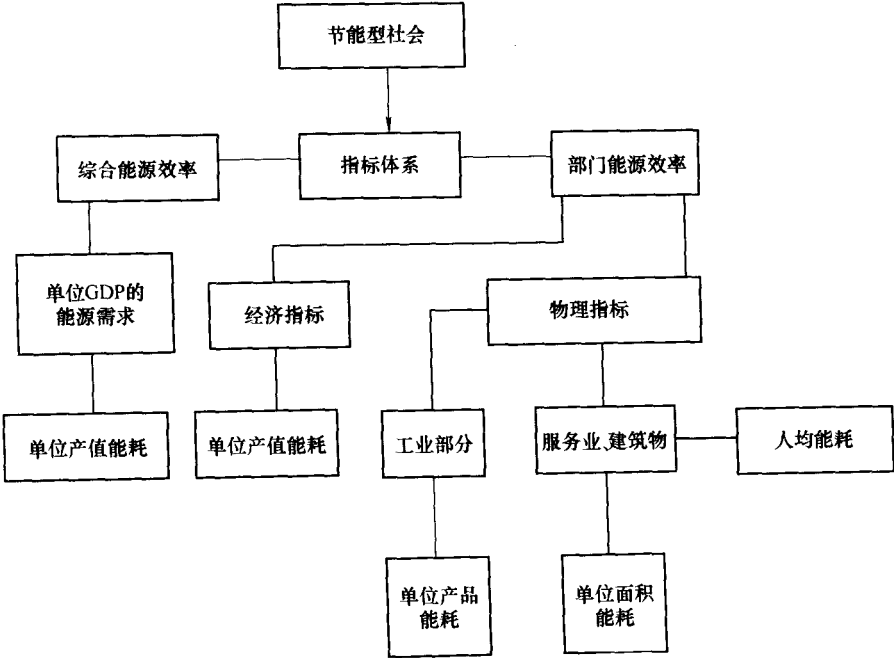


图 1-2 节能型社会指标体系

2. 发电容量和发电量构成(见表 1-4)。

(三) 联合攻关

1. 研发光伏(热)建筑一体化

北京市建筑设计研究院在长期的民用建筑设计中，依靠其雄厚的技术实力，始终致力于推动社会进步和经济发展，形成了“建筑服务社会”的核心理念。近年来该院又对建筑工程设计各专业（建筑、结构、设备、电气、室内等）提出了“走向整体建筑”的新要求，

其目的不仅在于要最大限度地整合设计资源,提高设计水准,还在于使所设计的作品具有高完成度,达到功能与资源的优化。这一设计理念同样也符合建设部的节能、节省资源与土地的可持续建筑要求。

表 1-4 2002 年我国发电设备装机容量和发电量构成

名称	数据	装机容量		发电量	
		容量/万 kW	占总量百分率 (%)	电量/亿 kW·h	占总量百分率 (%)
火力发电		26554	74.5	13522	81.7
水力发电		8607	24.1	2746	16.6
核发电		446	1.25	265	1.6
总计		35657	100	16542	100

北京市建筑设计研究院与尚德太阳能等公司联手推广太阳能光伏发电技术,研发光伏(热)建筑一体化。建筑师、工程师与太阳能专家、相关企业交流切磋方案,提出诸多优秀的建筑节能理念和建议,共同加快光伏技术在中国的发展,努力打造出一个个光伏(热)建筑一体化的示范工程,为北京 2008 年绿色奥运和我国城市的“太阳能发展计划”做出贡献。

光伏应急灯实例表明,其应用已从注重开发低价格转向系统的优化组合。在功率适配、设备选用和智能技术以及可靠性设计中,系统的效率都得到了充分考虑。与不采用光伏供电的疏散指示标志系统进行性能价格比中可以看出光伏供电的优越性(见表 1-5)。

表 1-5 光伏供电与传统应急系统技术经济比较

性能 名称	标志灯数 /台	单台功率 /W	总功率 /kW	系统正常使 用年限/a	安全 可靠	单台标志灯 价格/元	总价格 /万元	太阳能电池 组件价格/万元	系统安装 造价/万元
光伏系统	600	1.5~3	1~2	>10	好	160	10	2~10	50
传统系统	600	5~20	3~12	1~2	差	350~500	20~30	/	50

注:此表为某 20 层楼建筑预算。

2. 全面解读光伏系统价格

提到 19 世纪 30 年代的“光生伏打效应”和 20 世纪 50 年代光伏电池的问世,迎来了太阳能发电系统全面实施的局面,然而光伏系统的发展速度远比计算机和光纤通信慢得多。由于常规的煤炭、石油尚能满足人类对于能源的需求,加上太阳能光伏转换效率较低,往往属于学术研究范畴。

还是卫星的运行动力技术推动了太阳电池的应用,从而大大加快了光伏发电的发展进程。光伏发电优势依然显著:一块 $450\text{mm} \times 985\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ 的太阳电池组件,就能发出 $45 \sim 50\text{W}_p$ 的电; 40kW_p 的薄膜太阳能电池卷成高 40cm 、 $\phi 60\text{cm}$ 的带盘仅 8kg ,而 40kW 的柴油发电机组重 2000kg ;一个 6.5MW_p 的太阳能光伏电站占地 4000m^2 ,不足 10 个月即可运行发电;现阶段太阳电池的平均输出功率达 $120\text{W}_p/\text{m}^2$;使用方便、维护简单、清洁、安全、无噪声和寿命长,是其他能源所无法比拟的。

同时,光伏发电成本已呈逐年下降趋势。以 2005 年 1 月无锡尚德太阳能价格来看,光伏屋顶电池组件 3.5 美元/ W 、 $120\text{W}/\text{m}^2$,得 420 美元/ m^2 ;光伏幕墙电池组件 4.6 美元/ W 、 $85\text{W}/\text{m}^2$,得 391 美元/ m^2 。这在不同程度上淡化了人们头脑中价格昂贵的无形障碍。就像电

梯、自动扶梯等新生事物进入人类领域一样,起初受到种种非议,但其快捷性、舒适性终于让人们懂得高层次、高质量的设备材料哪有不昂贵的道理,这一切都说明太阳能在中国的大发展已为时不远。

第二节 化石能源与生态环境

一、环境遭受严重破坏

(一) 基本概念

1. 环境含义及其危害

(1) 环境要素

人类得以存活的地球上的生物和非生物物质,它与人类息息相关,主要包括自然环境、社会环境 and 经济环境。自然环境要素,如大气圈、水圈、土壤圈和岩石圈等;社会环境要素包括人类的社会制度、上层建筑等为社会环境、经济环境要素,如社会经济基础、城乡结构及政治、经济和法律等。

(2) 环境恶化

环境恶化主要表现在大气、江河和湖海污染加剧,大面积土地退化,森林面积急剧减少,淡水资源日益短缺,大气层臭氧空洞扩大,生物多样性受到威胁等方面;同时温室气体排放量导致全球气候变暖,使自然灾害发生的频率和烈度大幅增加。气候变化的危害见表1-6。

表 1-6 气候变化对自然生态系统危害

名称	影 响	备 注
植物	改变植被群落的结构、组成及生物量,使森林生态系统的空间格局发生变化	也造成生物多样性的减少等
冰川	指其条数和面积减少,冻土厚度和下沉发生变化,高山生态系统对气候变化非常敏感	规模随着气候而改变,山地普遍减少和退缩
水位	因其消耗量每年增加3%,导致湖泊水位下降和面积萎缩	24亿人口饮水不卫生,10亿人口缺水
农业	生产的不稳定性、产量波动大,布局 and 结构将出现变动	生产条件改变,其成本 and 投资大幅度增加
灾害	气候变暖使旱涝灾害频繁、水质等发生变化	水资源供需矛盾将更为突出
疾病	增加对气候变化敏感的传染性疾病的传播范围	加大与高温热浪天气有关的死亡率
环境	气候影响人类的居住条件 and 环境,CO ₂ 约占其排放总量的70%	地球植被的破坏是化石燃料燃烧所放出的CO ₂ 浓度增加的主要原因
动物	10年灭绝4600种哺乳动物的25%,9700种鸟类的11%	还有1万种鱼类的20%不易存活
沙漠	造成水土的严重流失	沙漠化面积继续扩大

(3) 温室效应

温室效应是指化石等能源发电过程中所排出的 CO_2 等气体包围着地球，其表面热量无法散发，使其周围逐渐变暖。好似一个玻璃窗紧闭的房间受到阳光照射时，光线的热量进入室内，但热量却很难扩散而升高了室温，其门窗玻璃犹如地球表面厚厚的 CO_2 等气体，频频间断热量向外扩散。许多灾害都由温室效应而起，从而降低了人们的生活质量。

2. 热量集聚因素

有些人认为当今地球变暖是由于人类大量使用能源所放出的热量造成的。试想，目前世界一年使用的全部资源为 $33 \times 10^{16} \text{ kJ}$ ，相当于 80 亿 t 石油。若将这些热量全部用来加热海洋中的海水，则仅可使海上温度上升 $6 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}$ ，即加热 1 万年，海水温度只升高 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ；若人类使用能源一天放出的热量为 $0.1 \times 10^{16} \text{ kJ}$ ，而地球一天从太阳获得的热量却为 $1500 \times 10^{16} \text{ kJ}$ 。因此地球变暖另有原因。

(1) 柴草能源破坏环境

目前，我国 8 亿多农村居民的 50% 生活用能仍然依靠秸秆、薪柴等生物质能燃烧提供。落后的用能方式造成了严重的室内污染，危害人体健康、影响生活质量的提高。因而采用新技术开发利用可再生能源，特别是促进生物质能的优质优化利用，对农村建设小康社会，减轻常规能源供应的压力具有重要的现实意义。

(2) 化石能源污染严重

人类在 18 世纪初启动了工业革命的按钮，开始以耗费大量化石能源的方式支撑工业经济。同时也导致滥用各种资源，使生态环境受到严重的破坏，以及温室效应所引起空调电力大幅增长（见图 1-3、图 1-4）。一时间全球范围内受到冲击，传统一次能源产生严重环境污染，生态平衡严重破坏。

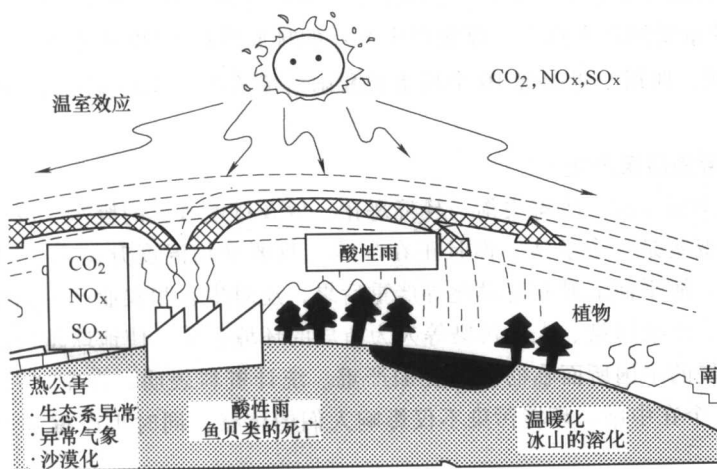


图 1-3 生态环境遭破坏示意

下面计算一笔全球范围、发达国家和发展中国家的多种污染账，让人触目惊心。

1) 全球范围内，每天进入大气层的 CO_2 高达 5600 万 t；每天有 5.5 万 km^2 的森林被毁， 161 km^2 土地荒漠化；每天有 14 万辆汽车驶上公路，并排放出各种废气；每天有 1.2 万桶石油泄漏海洋；每分钟 40 km^2 的耕地消失，有 85 万 t 污水排入江河大海，有 7 种新物质

被合成，有 28 人死于环境污染；化石燃料加速酸雨的形成，危害水生、陆生的生态系统，人体健康状况下降；臭氧层空洞逐渐扩大，挡不住紫外线等有害光线造成皮肤癌患者的增加。

2) 发达国家的人口仅占 1/4，消耗着占世界 3/4 的能源、85% 的木材和 72% 的钢材。20 世纪 80 年代至今世界能源消耗增长 50%；而海洋渔业资源减少 25% 以上。全世界 32.75 亿 hm^2 生产用地有 61% 受到荒漠化的影响，而大量施用化肥、农药、不仅使土壤和地下水受到污染，也使土地生产量下降，人们赖以生存的粮食等其他农作物也受到严重的污染。美国矿产部门估计，若按 1990 年的生产速度，现已探明储量的矿产资源中，世界黄金只够用 24 年、水银 40 年、锡 28 年、锌 40 年、钢 65 年、铝 35 年；含酸的雨使瑞典、挪威、加拿大、德国、捷克等国家的部分鱼虾灭绝、森林减少，建筑结构、桥梁、水坝遭到腐蚀等破坏。

3) 我国作为能源消耗大国环境污染和生态破坏情况相当严重。随着工业化进程的加快，发展中国家几百年分阶段出现的环境问题在我国都相继出现了。目前，除现有的资源难以支撑传统工业文明的持续增长外，其环境更难于逃出当前高污染、大消耗和低效益生产方式的持续扩大。现有荒漠化面积 267.4 km^2 ，占国土总面积的 27.9%，而且每年仍按 1 万 km^2 增加；18 个省的 471 个县、近 4 亿人口的耕地正受着不同程度的荒漠化威胁；废水排放总量为 439.5 亿 t，超过环境容量的 82%；七大江河水系的劣五类水质占 40.9%，湖泊出现不同程度的改变占 75%；600 多座城市中有 400 座供水不足，其中 100 多个严重缺水；尚有 3.6 亿农民喝不上达标水；废气中 SO_2 、烟尘、工业粉尘排放量分别为 1927 万 t、1013 万 t、941 万 t，国民健康受到严重损害；煤炭产生 SO_2 的排放致使 1995 年农作物、森林和人体的损失为 1100 亿元。四川、贵州等 10 个城市被酸雨所覆盖的面积达 200 万 km^2 ，成为世界三大酸雨区之一。

(二) 环境污染后果严重

气候变暖、南极空洞、生态失衡、环境恶化，以及过度排放的废水、废气、废渣让地球不堪重负。全球变暖是一个事实，而且正在加速。只要平均温度升高 0.3 ~ 0.6℃，全球便会带来冰川消退、海平面上升和荒漠化等严重后果，还对生态和农业产生副作用。

当前水污染、土地污染、大气污染等人为造成的环境恶化，使地球越来越不适于人类居住。经济高速发展的中国所面临的问题更加严重。统计资料表明，在全球污染最严重的 20 个城市中，有 16 个在中国。环境污染不仅影响人们的体格，同时也严重制约着社会经济发展（见表 1-7）。

表 1-7 国内外环境损害占经济增量（GDP）的比例

国 家	环境损害形式	占 GDP 比例 (%)
美 国	空气的污染	2.1
荷 兰	部分的污染	0.8
德 国	空气、水、土壤和生物多样性	4.2
匈 牙 利	空气污染	5
波 兰	空气污染	7
中 国	农业、森林、草原、水资源生态破坏	8.9

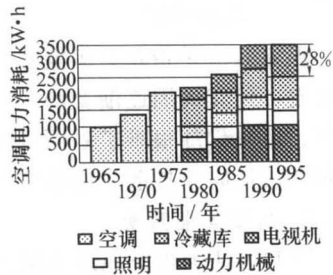


图 1-4 空调电力消费比例示意图

二、日益减缓温室效应

(一) 气候变化副作用大

暂且避开全国范围生态环境的破坏, 仅举一例予以说明。玛多县是黄河流经的第一个县, 这里原本拥有丰富的沼泽湿地, 历史上素有“千湖之县”的美誉。如今, 面积大于 0.06km^2 的湖泊仅剩 261 个。现在, 流经这里的黄河源头干流出现连续跨年度断流现象, 表明河源地区的高海拔草地生态系统早已失衡, 而且生态环境仍在进一步加剧恶化, 大规模综合治理已迫在眉睫。

根据县气象局的介绍, 2001 年 10 月~2005 年 1 月, 玛多县月平均气温持续升高 $1\sim 2^\circ\text{C}$, 仅 2003 年 12 月, 偏高 3.1°C ; 蒸发量持续上升, 近两年已达到降雨量的 4~5 倍; 大风沙尘天气增多, 平均不到 6 天就出现一次 8 级以上大风, 每 1~2 月刮一次沙尘暴, 其中 2006 年 1~3 月, 出现了 32 次大风天气和 6 次沙尘暴; 气候变暖、蒸发量增多和大风沙尘天气导致了两湖水位的下降。

玛多县气象、水利和畜牧等部门分析, 有三个主要原因:

(1) 受全球气候变暖影响, 源头地区出现连年干旱, 区域内黄河水的众多河流得不到天然降水补给。

(2) 大范围草原沙化严重, 水源涵盖能力明显下降, 导致许多大小泉眼干枯。

(3) 生态环境恶化, 引起分布在黄河源头地区的众多湖泊大幅度萎缩甚至干涸, 一些外流湖因此变成了内陆湖。

(二) 制定有针对性的减排方式

有关措施见表 1-8。

表 1-8 减少有害气体排放量

名 目	办 法	备 注
提高效率	指能源的利用率, 减少化石燃料的消耗量	大力推广多种节能技术
开发全新能源	为不产生 CO_2 的核能、太阳能、地热能和海洋能等	还可采用天然气等低碳燃料, 大力发展氢能
推广新技术	如植树的大面积绿化, 限制对森林的砍伐、破坏	降水的增多趋势、地区继续变干, 因此减排已刻不容缓
控制人口增长	一是减缓世界人口增长速度; 二是利用种植薪柴、树木进行光合作用固定 CO_2	气候增暖、人员膨胀的速率比过去加快。2020 年、2050 年, 全国平均气温将上升 1.7°C 、 2.2°C
降低排放数量	我国 CO_2 排放量已位居世界第二, 2025~2030 年间将升至第一	若长期不减排, 所遭受的压力将会越来越大, 从而影响其国际形象和地位