

绿色·节约·发展

——我国高校新型校园建设 与发展策略研究

◎ 向治中 李 曦 瞿敬渤 编著

LVSE JIEYUE FAZHAN
WOGUO GAOXIAO XINXING XIAOYUAN
JIAN SHE YU FAZHAN CELVE YANJIU



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

绿色·节约·发展

——我国高校新型校园建设 与发展策略研究

◎ 向治中 李 曦 瞿敬渤 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书由绪论、高校可持续发展理论基础、高校校园绿色生态建设以及高校校园节约建设等部分组成,全书以可持续发展方针政策为前提,对高校校园绿色生态建设、节约建设进行了分析,并提出了新型校园建设的构建要点。

本书可供高校绿色校园建设、生态校园建设以及节约型校园建设等方面的研究者和从业人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

绿色·节约·发展:我国高校新型校园建设与发展
策略研究 / 向治中,李曦,瞿敬渤编著. -- 上海:上
海交通大学出版社,2018

ISBN 978-7-313-20836-1

I. ①绿… II. ①向… ②李… ③瞿… III. ①高等学
校-学校管理-研究-中国 IV. ① G647

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 006744 号

绿色·节约·发展——我国高校新型校园建设与发展策略研究

编 著: 向治中 李 曦 瞿敬渤

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

印 制: 定州启航印刷有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

字 数: 286 千字

版 次: 2019 年 3 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-20836-1/G

定 价: 59.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 16.25

印 次: 2019 年 3 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 010-61370827

大学校园既是未来国家和人类社会领袖和栋梁的摇篮和创新基地，也是城乡空间重要的组成要素。如果一所大学的教育是为了人类和地球的永续发展，其校园也一定是以绿色、共享、节约为导向的。世界上没有一所大学可以在一个不可持续的校园里培养出未来可持续发展的、世界的领袖人才。而大学校园本身就是一部超越了所有专业、让其学生树立永续价值观和绿色生活理念，学习创新未来绿色世界的最大的公共教科书。绿色、节约、智慧型校园的建设既可以检验一所大学对其学生健康的关怀程度，也反映了其大学的办学理念的地位高低。让学生参与绿色校园建设，更是一所大学是否培养创新型人才教学思想不可缺失的重要组成部分。

近年来，党中央与国家明确“科教兴国”战略思想，加大教育资源的投入，因此我国教育事业取得了长足发展，教育规模迅速扩大，招生人数猛增。相比之下，原有的教学场地与学生宿舍已经远远不能满足高校扩招后的要求。为改善这种情况，我国高校大力改建扩建或者新建校园，扩充教学场地与师生宿舍。然而，在大兴土木的同时，将不可避免地对我们赖以生存的生态资源和自然环境造成这样或那样的破坏和浪费。另外，在校园的建设中也存在诸多问题，如果不加以科学论证来确定校园规模，未因地制宜进行场地设计，出现盲目求大求全求新等浪费现象，导致校园建设投资巨大，从而使财政与高校背上了沉重的负担，严重制约了高校的良性发展，使学校不得不腾出大量精力应对债务问题，影响了教学本身的投入力度。同时，在我国人均资源相对匮乏的情况下，也加剧了资源的浪费。

笔者从事多年的高校教育教学管理工作，并依据自身丰富的实践经验，在本书中创新地提出了绿色、节约、智慧综合型校园建设的设计思路，论述了在绿色、节约、智慧型校园规划中应遵循的设计原则与采用的各类技术措施，并阐述了我国在绿色、节约、智慧校园建设过程中存

在的问题并提出解决对策。新型校园建设是高校可持续发展的必然要求,笔者介绍了在水资源综合利用、装饰建筑材料、校园建设用地、建筑节能构造等方面的规划思路,其中笔者还总结了一些从调研规划到具体建设,再到建成使用的成功案例以供各大高校参考。各大高校应结合目前的实际情况,采取以总体规划为重点、技术创新为基础、科学评价为支撑的新型校园建设运作机制,合理有效地利用人力、物力、财力,突出学校的特色文化,发挥学校师生的集体智慧,全面推进高校校园建设的绿色转型。

笔者对节能产品与技术有一定的认识与研究,在实际工作中有丰富的实践经验。为此,特编写《绿色·节约·发展——我国高校新型校园建设与发展策略研究》一书,将多年的经验与体会在书中体现,以帮助高校节能管理人员很好地选择合适的产品与技术应用于本单位的节能管理工作。其中创新点有以下几处:①构建数据互通平台。高校以智慧校园工程建设为契机,加快和推进高校教育信息化建设的进程;②建设开放式教学资源。教学上实现O2O办公方式,让学生学习可以随时随地地进行,同时能够保存学习的进度;③采用科学的绿色建筑技术合理规划校园。主要包括节地与室外环境、节能与可再生能源利用、节水与水资源利用、节材与材料资源利用、室内空气质量、节能系统的运行管理等,要因因地制宜,因校而异;④发挥高校优势,加强绿色科技研究。以资源综合为基础,完善绿色科研的学科体系;以成果转化为重点,激励高校教师开展绿色科研;以创新竞赛为契机,鼓励高校学生参与绿色科技实践。

由于本书内容涉及面广,编者水平及经验所限,书中存在的缺点和谬误,敬请读者批评指正。

向治中

2018年1月



第 1 章 能源节约与绿色大学	001
1.1 能源利用与节能概述	001
1.2 绿色校园的节能及其能源管理	011
1.3 国内外绿色大学的建设现状	021
第 2 章 我国高校“节约型校园”建设	030
2.1 我国节约型校园发展历程	030
2.2 节约型校园建设总体规划	033
2.3 节约型校园建设的组织保障及法规	041
2.4 建设节约型校园的技术措施	048
第 3 章 我国高校“绿色校园”建设	068
3.1 改善绿色校园的室内环境	068
3.2 营造舒适的绿色校园室外环境	078
3.3 加强绿色校园文化建设	094
3.4 绿色校园的运营与管理	104
第 4 章 我国高校“数字校园”建设	116
4.1 “数字校园”总体规划概述	116
4.2 网络集成概述及总体规划	118
4.3 系统集成及建设方案	124
4.4 应用集成、数据集成	130
4.5 数字化高校管理平台建设	131
4.6 智慧校园的建设与管理	137
第 5 章 高校新型校园建设与水资源综合利用	146
5.1 节水与水资源综合利用概述	146
5.2 校园水资源利用综合规划	151
5.3 绿色雨水基础设施与雨水回用	153
5.4 公共建筑节能节水的措施	157

第 6 章	高校新型校园建设与材料节约	160
6.1	材料绿色化评价体系和节材措施	160
6.2	结构材料、围护材料的选材及节材措施	166
6.3	装饰装修材料及其污染控制	169
6.4	建筑材料的循环利用	173
第 7 章	高校新型校园建设与土地节约	178
7.1	土地资源利用与节约	178
7.2	高校建设用地规划及其策略	185
7.3	校园建设用地案例分析	190
第 8 章	高校新型校园建设与节能建筑	195
8.1	高校建筑单体节能三要素	195
8.2	高校建筑围护结构及其节能技术	197
8.3	高校建筑自然通风及其节能技术	200
8.4	高校节能建筑案例分析	204
第 9 章	高校新型校园建设与建筑设备节能	206
9.1	高校主要建筑设备的分类及能耗组成	206
9.2	高校建筑电气照明系统与节能	207
9.3	高校生活热水供应系统与节能	212
9.4	高校供暖系统与节能	214
9.5	其他高校电气设备的节能	219
第 10 章	绿色、节约、智慧校园建设展望	221
10.1	新建建筑的科学规划设计	221
10.2	老校舍的节能节水改造	229
10.3	利用好高校可再生能源	234
10.4	推进合同能源管理工作	239
10.5	智慧校园能效管理	245
参考文献		249
索引		251



第1章 能源节约与绿色大学

大学校园是大学教育的物质载体，为培育高级专业人才提供了专门的物质和精神环境。大学校园是城市的一种代表性聚居环境，是集办公、教学、社区于一身的建筑组群，覆盖区域广大，建筑类型复杂。校园是资源能源消费的大户，涉及面广、数量大、形式多样，节能潜力极大。如果所有学校都提高节约意识，将会极大地缓解我国高等教育持续发展与教育资源短缺之间的巨大矛盾。

1.1 能源利用与节能概述

1.1.1 能源利用概述

1. 能源的概念

人类的一切活动，包括人类的生存，都离不开能量。人类历史上对科学的探索，在很大程度上是对新的能量形式和新能源的探索。按目前人类的认知水平，能量有以下六种形式。

(1) 机械能：包括固体和流体的动能、势能、弹性能和表面张力能。

(2) 热能：分子运动所产生的能量。其他形式的能量，最终都可以转换成热能。热能转换为其他形式的能量要遵循热力学第二定律（即从高温到低温）。热能的表现形式有显热和潜热两种。显热可以用温度来度量，潜热则是指在物质相变过程中释放或吸收的热能。

(3) 辐射能：以电磁波形式传递的能量。太阳辐射就是辐射能的一种形式。地球上的所有能量，除了核能外，都来源于太阳辐射。

(4) 化学能：物质在化学反应过程中以热能形式释放出的能量。现代人类利用能量最普遍的方式是燃料的燃烧。燃料中的碳元素和氢元素在燃烧过程中释放出化学能。

(5) 电能：以电子的流动传递的能量。电能是一种高品位能量，可以很方便地转换成其他形式的能量。

(6) 核能：原子核内部粒子相互作用所释放的能量。核能要通过核反应释放能量。核反应有三种形式：① 放射性衰变；② 核裂变；③ 核聚变。裂变和聚变所释放的能量是由裂变或聚变物质的一部分质量转化而来的。

2. 能源的分类

(1) 一次能源与二次能源。在自然界天然存在的、可以直接获得而不改变其基本形态的能源是一次能源。对一次能源进行加工改变其形态获得的能源产品是二次能源（见表 1-1）。近来，有很多关于“氢能源”的争议，由于氢在燃烧过程中与空气中的氧反应产生水，因此氢燃料燃烧中不会产生污染。但是，氢燃料在自然界并不天然存在，它需要利用其他能源通过一定的方法制取，而不像煤、石油和天然气等可以直接从地下开采。自然界中，氢和氧结合成水，只有用热分解或电分解的方法才能把氢从水中分离出来。因此，只能把氢燃料视为二次能源。人类目前对氢燃料的开发利用还处于初级阶段。在现代社会里，二次能源直接面对能源终端用户。

表 1-1 一次能源和二次能源

一次能源	二次能源
煤炭、石油、天然气、水力、核能、太阳能、地热能、生物质能、风能、潮汐能、海洋能	电力、城市煤气、各种石油制品、蒸汽、氢燃料、沼气、各种低品位热源

(2) 可再生能源与不可再生能源。国际公认的可再生能源有六大类：① 太阳能；② 风能；③ 地热能；④ 现代生物质能；⑤ 海洋能；⑥ 水电。

各种能源还有“质”上的差别。自然界的空气、地表水、地下水、浅层土壤里都蕴藏着大量“低品位”的可再生热源，可以通过“热泵”技术，花费少量的电力或热能，提升低品位热源的温度，以充分利用低品位热源。

不可再生能源在地球上的蕴藏量有限，再生速度需要几十万年甚至上亿年。如果无节制地使用，终有枯竭的一天。比如，煤炭、石油和天然气，按人类目前的消耗速度，已探明的储量最多仅够使用几百年，而中国所在的亚太地区只有几十年的使用量。

(3) 清洁能源和非清洁能源。清洁能源是对环境无污染或污染很小的能源，如太阳能、小水电等。在化石能源中，天然气也可以归于清洁能源。非清洁能源是对环境污染较大的能源，最常用的化石能源，如煤和石油，都是非清洁能源。

(4) 化石能源和非化石能源。化石能源是一种碳氢化合物或其衍生物：化石能

源是指远古时期动植物的遗骸在地层下经过上万年的演变所形成的能源。比如,煤是由植物化石转化而来,石油和天然气是由动物体转化而来。2002年,根据国际能源机构(IEA)的统计,全世界能源消费达到 61.9566×10^8 t 油当量。当年全世界创造的国内生产总值(GDP)约 35.318 万亿美元。而 2010 年,全世界能源消费达到 127.17×10^8 t 油当量,创造的价值为 50.942 万亿美元。与 2002 年数据相比,全世界 GDP 增长了 44%,而能耗却增长了 1 倍以上,说明在世界经济高速增长的同时,也在以更高的速度消耗能源。

3. 能源的单位

在国际单位制中,能量、功和热量的单位都用焦耳(J)表示。在单位时间内所做的功、吸收(释放)的能量(热量)称为功率,用瓦(W)表示。在工程单位制中,能量单位用卡(cal)或千卡(kcal,也称“大卡”)表示。而美国还在继续沿用英制热量单位(其实英国已经完全改用国际单位制了),其表达形式为 Btu。在实际应用中,往往会用到相当大的能量单位,以 10 的幂次表示。

各种燃料的含能量是不同的,如 1t 煤约为 7 560kWh, 1t 泥煤含能量约为 2 200kWh, 1t 焦炭含能量约为 7 790kWh, 1m^3 煤气含能量约为 4.7kWh 等。为了使用的方便,在进行能源数量、质量的比较以及能源统计时,经常用到标准能量单位,国际上通用的标准能量单位是“吨石油当量(toe)”,我国沿用的是“吨煤当量(tee)”,又称为“吨标准煤”。

1t 石油当量(toe) = 42 GJ (净热值) = 10 034 Meal

1t 煤当量(tee) = 29.3 GJ (净热值) = 7 000 Meal

因此可以得到:

1t 原油 = 1.43t 标准煤

$1\ 000\text{m}^3$ 天然气 = 1.33t 标准煤

1t 原煤 = 0.714t 标准煤

在国际石油、天然气交易中,还会经常看到用“桶”等单位,其换算关系为:

1 桶(barrel) = 42 美国加仑(US gallons) $\approx 159\text{ L}$ (litres)

$1\text{m}^3 = 35.315\text{ft}^3 = 6.2898$ 桶

4. 能源消费的特点

(1) 消耗的能源主要来自不可再生的化石燃料,特别是石油。世界各国正在大力发展可再生能源,2011 年欧盟可再生能源占能源消耗总量的比例达到 13%,欧盟还确定了 2020 年可再生能源达到能耗总量 20% 的目标。

(2) 能源资源竞争日趋激烈。发达国家长期形成的能源资源高消耗模式难以改变,2010 年,占世界人口 18% 的主要由工业化国家组成的经济合作与发展组织

(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD), 消耗了世界能源的 42.5%。其中, 美国的人口占世界总人口的 4.5%, 消耗的能源占世界能源消费总量的 17.4%, 仓储的产值占世界 GDP 总和的 19%。随着发展中国家工业化和现代化进程的加快, 能源消费需求将不断增加, 全球能源资源供给长期偏紧的矛盾将更加突出。未来 10 年, 发展中国家能源需求增量将占全球增量的 85% 左右, 消费重心逐步东移。能源输出国加强对资源的控制, 构建战略联盟强化自身利益。

(3) 能源消费不平等。发展中国家能源消耗普遍较低, 创造的财富和享有的生活质量也远低于发达国家。

(4) 世界能源格局的变化。世界能源消费结构从 19 世纪 80 年代开始进入煤炭时代, 20 世纪 60 年代逐渐转向以石油为主, 石油贸易的需求带动了全球地缘政治格局的变化, 世界上几个冲突热点地区(如中东、北非)无不带有石油的背景。到 20 世纪 90 年代, 更为清洁的天然气在能源消费中的比重逐渐增加, 特别是美国大力开发页岩气, 正在改变世界能源格局。

(5) 石油价格对经济的影响大。由于以石油为主的世界能源结构以及美国在世界能源格局中的强势地位, 国际能源贸易还是实行石油/美元的计价机制。因此, 石油价格和美元汇率成了影响世界各国经济的两大重要因素。

(6) 碳排放对环境的影响加剧。由于含碳矿物燃料的燃烧, 已经严重破坏了地球环境, 并导致全球气候变化。因此, 世界各国都在积极发展可再生能源, 提高能源效率, 减少化石能源消费, 以保护地球环境, 特别是减少能源利用中的温室气体排放。

1.1.2 中国能源利用的特点

1. 能源资源紧缺

我国化石能源资源总量比较丰富, 其中以煤炭占主导地位。2011 年, 煤炭探明资源储量 $13\,779 \times 10^8 \text{ t}$; 但已探明的石油、天然气资源储量相对不足, 页岩油、煤层气等非常规化石能源储量潜力较大, 但是开发所需的水资源缺乏。

表 1-2 我国化石能源资源量

	已探明可采储量	储采比(按现在的开采强度还能维持多少年)
石油	$32.4 \times 10^8 \text{ t}$	15.4
天然气	$4.02 \times 10^{12} \text{ m}^3$	37.6
煤	$1\,842 \times 10^8 \text{ t}$	50

我国的化石能源资源已经不能承担我国经济高速发展中高强度的能源消费需求,表 1-2 表明,我国已探明的化石能源可采储量已经难以为继。

我国能源资源的地域分布不均,80%的能源资源分布在西部和北部地区,而60%的能源消费在经济比较发达的东部和南部地区。因此,大规模、长距离的北煤南运、北油南运、西气东输、西电东送,带来巨大的运输压力。煤炭运量占铁路运量的40%,煤炭运输过程中还会造成沿线的环境污染。

由于资源匮乏和需求旺盛,中国能源和矿产资源类产品的对外依存度越来越高,2012年中国共进口原油 $2.85 \times 10^8 \text{t}$,石油的对外依存度达到了58.7%。我国拥有较为丰富的可再生能源,但可再生能源消费占我国能源消费总量的比重还很低,技术进步缓慢,产业基础薄弱。我国可再生能源中资源潜力大、发展前景好的主要是水能、生物质能、风能和太阳能。

水能资源是我国最丰富的可再生能源资源,全国水能资源技术可开发装机容量为 $5.4 \times 10^8 \text{kW}$,年发电量 $2.47 \times 10^{12} \text{kW} \cdot \text{h}$;经济可开发装机容量为 $4 \times 10^8 \text{kW}$,年发电量 $1.75 \times 10^{12} \text{kW} \cdot \text{h}$,居世界首位水能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%,具有集中开发和规模外送的良好条件。而我国农村还有大量的 $1.2 \times 10^4 \text{kW}$ 以下规模的小水电资源,可开发的资源为 $7\,000 \times 10^4 \text{kW}$ 。在全国2300多个县中,有1104个县的可开发资源超过1万kW。

我国陆地可利用的风能资源约为 $3 \times 10^8 \text{kW}$,近岸海域(水深15m以上)可利用风能资源约为 $7 \times 10^8 \text{kW}$ 。主要分布在两大风带:陆地上是“三北地区”(东北、华北北部和西北地区),以及东部沿海陆地和岛屿;海上主要是东部近岸海域。

我国太阳能资源丰富,有2/3的国土面积年日照小时数在2200h以上,年太阳辐射总量大于每平方米5000MJ,属于太阳能利用条件较好的地区。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,青藏高原地区太阳能资源最为丰富。

建筑中的太阳能利用方式主要有两种:太阳能热利用和太阳能发电,太阳能热利用是我国可再生能源领域推广应用最普遍的技术之一。太阳能热利用中的关键技术是集热器,集热器用来采集太阳能,可以分为聚光型和非聚光型两类。非聚光型集热器(包括平板集热器和真空管集热器)能够利用太阳辐射中的直射辐射和散射辐射,集热温度较低;而聚光型集热器能将阳光聚焦在面积较小的吸热面上,可获得较高的温度,但只能利用直射辐射,需要自动跟踪太阳光。

生物质能资源指的是农林废弃物、水生植物、油料作物、工业加工废弃物和人

畜粪便及城市污水和垃圾等。我国可利用的生物质能资源中,以农业、林业的废弃物所占比重最大。

2. 能源消费结构以煤为主

中国的能源消费是以煤炭为主体。过度依赖煤炭造成发展的不平衡、不协调和不可持续,煤炭的燃烧还带来严重的环境污染。为此,中国正在付出沉重的代价。煤炭支撑了中国经济的发展,尤其是近十几年的高速发展。迄今为止,我国的一次能源消费结构一直以煤为主。2015年,我国电力工业发电用煤占煤炭消费总量的比重约为53%。到2015年底,中国电力装机容量 $10.56 \times 10^8 \text{ kW}$,在国际上仅次于美国;而中国发电量则首次超过美国,达到 $47\,217 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。其中,燃煤发电量占82%,核电发电量占1.85%,水电发电量占14%,风电发电量占1.55%。燃煤发电在我国电力中占据了绝对的主导地位,但同时也是造成我国大气污染严重的主要原因之一。中国要实现经济发展的第三步目标,即2049年以前达到中等发达国家水平,那么能源消费还将在现有水平上成倍增长。因此,以煤为主的能源消费结构还要维持很长时间。煤炭清洁利用的问题成为中国所面临的极为紧迫的重大课题。

3. 能源消费中以工业能耗主导,能源利用效率低

我国经济高速增长的动力,一是投资拉动,二是出口导向,国内消费相对疲软。20世纪90年代起,由于经济的全球化,国际产业分工发生很大变化。发达国家纷纷将重化工业和初级产品制造业转移到发展中国家(主要是中国),自己腾出手来发展高科技产业和金融产业。重化工业的特点是投入大、产出大;初级产品制造业的特点是劳动力密集,往往可以解决一个地区的就业和农村人口进城问题,但它们的共同特点是能耗高、附加值低,导致我国单位GDP的能源消耗居高不下。2012年,我国能源消费约占世界总量的22%,但GDP仅为世界总量的11.5%。中国的人均能源消费接近世界平均水平,但人均GDP却只占世界人均水平的40%。当前,我国能源消费总量已经比美国高24%,但GDP仅为美国的52.7%;我国的GDP总量比日本高37%,而能源消费总量是日本的5.7倍。

尽管我国的能源利用效率在不断提高,但总体上还远低于国际先进水平。我国主要工业产品的能耗都高于国际先进水平(见表1-3)。

表 1-3 中国主要工业产品能耗与国际先进水平比较

工业产品能耗名称	中国 2011 年能耗水平	国际先进水平
石油和天然气开采 / (kgce/toe)	132	105
火力发电煤耗 / (gce/kW · h)	309	294

续 表

工业产品能耗名称	中国 2011 年能耗水平	国际先进水平
火电厂供电煤耗 / (gce/kW · h)	330	280
钢可比能耗 / (kgce/t)	675	610
电解铝交流电耗 / (kW · h/t)	13 913	13 800
铜冶炼综合能耗 / (kgce/t)	497	360
水泥综合能耗 / (kgce/t)	133	118
乙烯综合能耗 / (kgce/t)	895	629
合成氨综合能耗 / (kgce/t)	1 568	990

从表 1-4 可以清楚地看出,美国、欧盟和日本等发达国家(地区)建筑能耗占总能耗的比重都在 30% 以上。这些国家(地区)都是服务业(第三产业)高度发达的地区,城市化率均在 60% 以上,以购买力平价计算的人均 GDP 都在 3 万美元以上。而中国尚处于工业化中期,制造业是主要的支柱产业,表现出高能耗、高污染、高排放的“三高”特征,服务业比重比世界平均水平低了 20 多个百分点,城市化率刚刚达到世界平均水平,人均 GDP 近 1 万美元,建筑能耗占总能耗的比重不到 20%。随着中国经济转型、产业结构调整和生活质量提高,建筑能耗占总能耗的比重还有进一步提高的趋势,这是经济发展的规律。

表 1-4 城市化率、经济发展水平与建筑能耗

国家或地区	各部分能耗比重 / (%)			三次产业在 GDP 中的比重 / (%)			城市化率 / (%)	人均 GDP 购买力平价美元
	产 业	交 通	建 筑	工 业	农 业	服务业		
美国	31.8	27.7	40.5	19.2	1.2	78.6	82	48 300
欧盟	28.4	31.7	39.9	27.3	2.1	70.5	76	34 100
德国	26.2	26.7	47.1	28.2	0.8	71	74	38 100
日本	43.9	22.9	33.2	24	1.4	74.6	66	34 700
中国	68.4	14.2	17.4	51.6	4.6	43.7	51	8 400

对中国而言,节能减排的当务之急是提高能源利用效率,改变单位 GDP 能耗高

的现状。我国的工业产品产量居世界第一位的已有约 220 种,其中,粗钢、煤、水泥产量占世界总产量的一半以上。因此,中国实现节能首先要提升能源产出效益,大力创新,通过技术进步提高传统制造业的能效,全力推进低能耗高附加值产业;其次,还要遏制高能耗工业过剩的产能,避免能源的浪费。

4. 大力发展新能源

通常,把已经广泛利用的煤炭、石油、天然气等化石能源称为常规能源。而把太阳能、风能、生物质能、潮汐能、地热能和核能等通过技术进步可以大规模利用的能源,称为新能源。为了改变能源结构,降低碳排放,我国一直在积极发展新能源。我国中长期发展规划中,设定了 2020 年可再生能源消费量达到能源消费总量的 15% 的目标。中美 2014 年底发布联合声明,宣布中国将在 2030 年达到温室气体排放峰值,并争取提前实现这一目标。

1.1.3 能源利用对环境的影响

人类大规模无节制地使用能源,带来严重的全球环境问题,其中尤以全球气候变化对人类影响最为巨大。温室气体,是能透过短波辐射而阻挡长波辐射的气体,能为生存创造条件,但当地球大气层内的温室气体浓度增加后,在得到的热量不变的情况下,地球向外发散的长波辐射就会被温室气体吸收,并反射回地面,使得地球的散热能力减弱,地球表面温度就会越来越高。我们将这种能够造成地球温度升高的气体称为温室气体。大气中能产生温室效应的气体已经发现近 30 种。按照联合国气候变化框架公约的定义,主要指以下 6 种气体:① 二氧化碳(CO_2);② 甲烷(CH_4);③ 氧化亚氮(N_2O);④ 全氟碳(Perfluorocarbons, PFCs);⑤ 氢氟烃(Hydrofluorocarbons, HFCs);⑥ 六氟化硫(SF_6)。

各种气体都具有一定的辐射吸收能力。上述六种温室气体对太阳的短波辐射是透明的,而对地面的长波辐射却是不透明的。从对增加温室效应的贡献来看,最重要的气体是 CO_2 ,其贡献率大约为 66%。

在过去很长一段时间中,大气中的 CO_2 含量基本上保持恒定。这是由于大气中的 CO_2 始终处于“边增长、边消耗”的动态平衡状态。大气中的 CO_2 有 80% 来自人和动物、植物的呼吸,20% 来自燃料的燃烧。而散布在大气中的 CO_2 有 75% 被海洋、湖泊、河流等地表水以及空中降水吸收并溶解于水中。还有 5% 的 CO_2 通过植物的光合作用,转化为有机物储藏起来。这就是多年来 CO_2 占空气成分的 0.03% (体积分数) 始终保持不变的原因。

但是近几十年来,由于城市化率的急剧增加、工业迅猛发展、能源消耗攀升,煤炭、石油、天然气燃烧产生的 CO_2 ,远远超过了过去的水平。而另一方面,由于

对森林乱砍滥伐,大量农田被侵占,植被被破坏,而减少了吸收和储存 CO_2 的条件。再加上地表水面积缩小,降水量降低,减少了吸收和溶解 CO_2 的条件,破坏了大气中 CO_2 浓度的动态平衡,使得大气中的 CO_2 含量逐年增加。自然现象中,碳源和碳汇是平衡的, CO_2 逃逸到大气中,又被捕捉回土地中。但人类使用能源、大量化石燃料的燃烧,大大增加了碳源;人类掠夺式的土地利用,破坏森林植被,将碳汇变成碳源,破坏了“天平”的两端,因此平衡被打破了。

根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的研究,1850—2005年间,地球表面的平均温度升高了 $0.69^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$,在20世纪内升高了 $0.76^\circ\text{C} \pm 0.18^\circ\text{C}$ 。全球气候变化最直接的后果是引起海平面升高。一个世纪以来,全球海平面已经升高了15~20cm,其中2~5cm由于冰川融化引起,另2~7cm由于海水温度升高而膨胀所引起,余下的则是由于两极冰盖的融化造成的。有人预测,百年之后一些沿海大城市将被淹没。全球气候变化还将造成地下水的盐化、地面水蒸发加剧,从而进一步减少本已十分紧缺的淡水资源,造成粮食减产甚至绝收、土地荒漠化和人口的大量迁移。

全球气候变化会造成全球气候异常、厄尔尼诺现象频繁、全球自然灾害不断。多数地区将出现更大的降水量,出现飓风、海啸、暴雨、暴风雪和洪水等灾害性天气的频率增加,而另外一些地区则将面临干旱天气。我国近年出现的北涝南旱以及频繁的极端天气现象,都与全球气候变化有关。全球气候变化将更适合病原体滋生,某些热带传染病(如疟疾)会向温带传播,使传染病和哮喘等呼吸系统疾病发病率增加。据世界卫生组织(WHO)估计,全球每年由于气候变化而导致的患病人数高达500万,其中约15万人死亡。到2030年,这些数字将可能在此基础上翻一番。据估算,全球气候变化的经济成本将是全球经济总产值(GWP)的1%~2%,是发展中国家GDP的2%~6%。

中国近百年来地表平均气温升高了 1.38°C ,变暖速率为 $0.23^\circ\text{C}/10$ 年。近50年来降水分布格局发生了明显变化,未来气候变暖趋势将进一步加剧。近30年来,中国沿海海平面总体上升了90mm。中国在应对气候变化领域面临巨大挑战。

1997年12月,149个国家和地区的代表在日本讨论通过了防止全球变暖的《京都议定书》。《京都议定书》规定,到2010年,所有发达国家 CO_2 等6种温室气体的排放量,要比1990年减少5.2%。中国是最早签署并核准《京都议定书》的国家之一。尽管中国作为发展中国家没有承担减排的义务,但中国作为一个负责任的大国,对全球温室气体减排做出了实质性贡献。在2009年哥本哈根的世界气候峰会上,中国政府向世界承诺:到2020年,我国单位国内生产总值的 CO_2 排放比2005年下降40%~45%。中国政府将此作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划,

并制定了相应的统计、监测和考核办法。中国政府采取的具体措施是,大力发展可再生能源、积极推进核电建设,到2020年中国非化石能源占一次能源消费的比重达到15%左右;大力开展植树造林和加强森林管理,2020年使森林面积比2005年增加 $4\,000 \times 10^4 \text{hm}^2$,森林蓄积量增加 $13 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

能源消耗是影响我国城市空气质量的主要因素。我国城市的空气污染正从第一代污染(煤烟型和大颗粒物PM₁₀)向第二代污染(汽车尾气和细微颗粒物PM_{2.5})转化。很多城市出现了两代污染物的叠加效应,频繁出现对健康影响很大的雾霾。为了全面控制大气污染,必须开展能源的清洁利用;为了保护环境,必须减少能源消耗。

1.1.4 现代建筑节能应用概述

现代建筑的能耗有两种定义方法:广义建筑能耗是指从建筑材料制造、运输、建筑施工,一直到建筑使用的全过程能耗。而狭义建筑能耗或建筑使用能耗则是指,维持建筑功能和建筑物在运行过程中所消耗的能量,包括照明、供暖、空调、通风、电梯、热水供应、烹调、家用电器以及办公设备等的能耗。几乎所有家电和办公设备都有各自的能效标准,可以保证这些设备都是节能的产品。建筑能耗则只考虑保证室内环境所需要的能耗,即照明、供暖、空调、通风和热水供应的使用能耗。

在建筑能耗中,照明、供暖和空调主要是为了保证建筑物宜居和舒适的环境;而其他能耗主要是保证建筑物的功能。因此,建筑能耗与当地气候、经济发展水平、生活习惯和习俗、建筑性质、室内环境品质,以及能源价格等密切相关。一般而言,照明、采暖和空调的能耗占了建筑使用能耗中最大的比例,因此也是建筑节能潜力最大的部分。我国建筑物的保温隔热尤其是窗户的热工性能普遍比发达国家差。因此,我国建筑由围护结构传热所形成的供暖负荷要大于发达国家建筑。

中国农村建筑能耗中约有40%为薪柴、秸秆等可再生能源,很多农村居民还处于“能源贫困”状态之中。“能源贫困”是指缺乏电力而高度依赖传统的生物质燃料。缺乏电力使农村中大多数工业活动无法开展,使贫困局面长久难以改变。以传统低效方式广泛使用生物质燃料,限制了社会的发展。我国城镇化进程正在加快。2016年,中国城市化率已经达到56%。城市化率以每年一个百分点的速度在提高,2020年将达到60%,2030年将达到65%~70%,届时中国城镇人口将达到10亿。根据国际知名咨询机构预测,中国城市人口将增加3.2亿,相当于整个美国的人口。因此,中国还将增加 $200 \times 10^8 \text{m}^2$ 以上的建筑。即便按照现在的能耗水平,也要增加 $5 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤以上的能耗。有关研究成果显示,在所有的温室气体减排措施中,建筑节能是最容易实现而且是负成本和净收益的措施。