



教育部高职高专规划教材



# 硅酸盐工业热工基础



隋良志 主编 王超 张丽霞 副主编  
周惠群 主审



化学工业出版社  
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

# 硅酸盐工业热工基础

隋良志 主 编  
王 超 张丽霞 副主编  
周惠群 主 审



化学工业出版社  
教材出版中心

· 北 京 ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

硅酸盐工业热工基础/隋良志主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 2  
教育部高职高专规划教材  
ISBN 7-5025-8302-5

I. 硅… II. 隋… III. 硅酸盐-热工学-高等学校: 技术学院-教材 IV. TQ170.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 013127 号

---

教育部高职高专规划教材

**硅酸盐工业热工基础**

隋良志 主编

王超 张丽霞 副主编

周惠群 主审

责任编辑: 程树珍 王文峡

文字编辑: 杨欣欣

责任校对: 蒋宇

封面设计: 潘峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 454 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8302-5

定 价: 29.80 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 序

全国建材职业教育教学指导委员会为建材行业的高职、高专教育发展做了一件大好事，他们组织行业内职业技术学院数百位骨干教师，在对有关企业的生产经营、技术水平、管理模式及人才结构等情况进行深入调研的基础上，经过几年的努力，规划开发了材料工程技术和建筑装饰技术两个专业的系列教材。这些教材的编写含有课程开发和教材改革的双重任务，在规划之初，该委员会就明确提出课程综合化和教材内容必须贴近岗位工作需要的目标要求，使这两个专业的课程结构和教材内容结构都具有较多的改进和新意。

在当前和今后的一段时期，我国高职教育的课程和教材建设要为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式服务，更好地适应于生产、管理、服务第一线高素质的技术、管理、操作人才的培养。然而我国高职教育的课程和教材建设当前面临着新的产业情况、就业情况和生源情况等多因素的挑战，从产业方面分析，要十分关注如下三大变革对高职课程和教材所提出的新要求：

1. 产业结构和产业链的变革。它涉及专业和课程结构的拓展和调整。
2. 产业技术升级和生产方式的变革。它涉及课程种类和课程内容的更新，涉及学生知识能力结构和学习方式的改变。
3. 劳动组织方式和职业活动方式的变革——“扁平化劳动组织方式的出现”；“学习型组织和终身学习体系逐步形成”；“多学科知识和能力的复合运用”；“操作人员对生产全过程和企业全局的责任观念”；“职业活动过程中合作方式的普遍开展”。它们同样涉及课程内容的更新与调整，还涉及非专业能力的培养途径、培养方法、学业的考核与认定等许多新领域的改革和创新。

建筑材料行业的变化层出不穷，传统的硅酸盐材料工业生产广泛采用了新工艺，普遍引入计算机集散控制技术，装备水平发生根本性变化；行业之间的相互渗透急剧增加，新技术创新过程中学科之间的融通加快，又催生出多种多样的新型材料，使材料功能获得不断扩展，被广泛应用于建筑业、汽车制造业、航天航空业、石油化工业和信息产业，尤其是建筑装饰业，是融合工学、美学、材料科学及环境科学于一体的新兴服务业，有着十分广阔的市场前景，它带动材料工业的加速发展，而每当一种新的装饰材料问世，又会带来装饰施工工艺的更新；随着材料市场化程度的提高，在产品的检测、物流等领域形成新的职业岗位，使材料行业的产业链相应延长，并对从业人员的知识能力结构提出了新的要求。

然而传统的材料类专业课程模式和教材内容，显然滞后于上述各种变化。以学科为本位的教学模式应用于高职教育教学过程时，明显地出现了如下两个“脱节”，一是以学科为本的知识结构与职业活动过程所应用的知识结构脱节；二是以学科为本的理论体系与职业活动的的能力体系脱节。为了改变这种脱节和滞后的被动局面，全国建材职业教育教学指导委员会组织开展了这一次的课程和教材开发工作，编写出版了这一系列教材。其间，曾得到西门子分析仪器技术服务中心的技术指导，使这批教材更适应于职业教育与培训的需要，更具有现

代技术特色。

随着它们被相关院校日益广泛地使用，可望我国高职高专系统的材料工程技术和建筑装饰技术两个专业的教学工作将出现新的局面，其教学水平和教学质量将上一个新的台阶。

中国职业技术教育学会副会长、学术委员会主任

高职高专教育教学指导委员会主任

杨金土

2006年1月

# 前 言

《硅酸盐工业热工基础》一书是根据2005年春全国建材行业高职高专规划教材大纲审定会议(洛阳)要求编写的,它是一本高职高专材料工程技术(硅酸盐材料方向)专业的教学用书。

随着中国“十一五”规划的实施,用高新技术改造传统的硅酸盐产业进入一个提速阶段,建立以企业为主体、以市场为导向、产学研相结合的技术创新体系,已是经济发展的必然趋势。在优化结构、提高效益和降低消耗的基础上,“十一五”末期中国应实现2010年人均国内生产总值比2000年翻一番,而单位国内生产总值能源消耗比“十五”期末降低20%左右。这也应是硅酸盐工业节能的目标。因此,本书编写时,主要围绕硅酸盐工业流体流动、燃料燃烧、热量传递及相应的质量传递(物料干燥)进行编写,注重能源节约、清洁及可持续发展等时代特征。

本教材由隋良志主编,王超、张丽霞副主编,田文富、彭卫、刘萍参编。具体编写分工为:隋良志编写第1章,第4章第1节,第5章第1节、第2节,附录及全书统稿;王超编写第4章第2节、第3节、第4节、第5节;张丽霞编写第2章;田文富编写第3章第1节、第2节;彭卫编写第3章第3节、第4节、第5节;刘萍编写第5章第3节、第4节、第5节。

本书除作为高职高专教材外,也可供中等职业学校相关专业作教学参考书,同时,也可供企业职工培训用书。

由于我们水平有限,加之时间仓促,书中不妥与疏漏之处在所难免,恳请广大读者给予批评指正。

编者

2005年11月

# 教育部高职高专材料工程技术专业教材编写委员会

名誉主任	周功亚				
主任委员	张战营				
副主任委员	张志华	李坚利	肖争鸣	王继达	咎和平
	周惠群	顾申良	刘晓勇		
委	王新锁	赵幼琨	陈鸣	冯正良	
员	农荣	隋良志	郭汉祥	黄为秀	
	辛颖	彭宝利	芮君渭	葛新亚	
	蔡红军	毕强			

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 硅酸盐材料的定义和分类 .....	1
1.1.1 定义 .....	1
1.1.2 分类 .....	1
1.2 硅酸盐材料的共性和特点 .....	2
1.2.1 硅酸盐材料的共性 .....	2
1.2.2 硅酸盐工业的特点 .....	3
1.3 能源利用与硅酸盐工业节能 .....	3
1.3.1 能源及其分类 .....	3
1.3.2 能源与可持续发展 .....	4
1.3.3 热能的合理利用 .....	7
1.3.4 硅酸盐工业的节能 .....	8
1.4 热工基础的研究内容和学习要求 .....	10
1.4.1 研究内容 .....	10
1.4.2 学习要求 .....	11
思考题与习题 .....	11
<b>2 流体力学基础及流体输送设备</b> .....	12
【本章导读】 .....	12
2.1 流体的性质 .....	12
2.1.1 流体的基本性质 .....	12
2.1.2 流体的密度 .....	12
2.1.3 流体的压缩性和膨胀性 .....	13
2.1.4 流体的黏滞性 .....	14
2.2 流体力学基础 .....	17
2.2.1 流体静压力及其特征 .....	17
2.2.2 流体静力学基本方程式 .....	18
2.2.3 流体动力学的基本概念 .....	21
2.2.4 流体动力学基本方程式 .....	25
2.3 硅酸盐窑炉中气体的流动 .....	30
2.3.1 气体流动的基本原理 .....	30
2.3.2 两气体的伯努力方程 .....	30
2.3.3 气体的流出和流入 .....	31
2.3.4 气体的特殊流动 .....	31
2.4 流体阻力及管路计算 .....	33
2.4.1 摩擦阻力损失 .....	33
2.4.2 局部阻力损失 .....	37
2.4.3 管路计算 .....	38



2.5 颗粒流体力学	40
2.5.1 颗粒在流体中运动时的阻力	40
2.5.2 颗粒在流体中的垂直沉降速度	42
2.5.3 固体颗粒流态化	43
2.6 硅酸盐热工设备系统中流体流动装置与设备	45
2.6.1 风机与泵	45
2.6.2 烟囱	59
2.6.3 喷射器	61
2.6.4 高压喷嘴	63
本章小结	65
思考题与习题	65

### 3 燃料及燃烧过程 70

【本章导读】	70
3.1 燃料概述	70
3.1.1 燃料的分类	70
3.1.2 燃料的性质、组成及其换算	75
3.1.3 硅酸盐工业对燃料的选用原则	87
3.2 燃烧计算	87
3.2.1 燃烧计算的目的	87
3.2.2 燃烧计算的基本概念	87
3.2.3 燃烧计算的方法	89
3.2.4 空气过剩系数及漏入空气量的计算	97
3.2.5 燃烧温度的计算	100
3.2.6 提高实际燃烧温度的措施	104
3.3 燃料的燃烧技术	106
3.3.1 燃料燃烧过程的基本理论	106
3.3.2 气体燃料的燃烧技术	110
3.3.3 液体燃料的燃烧技术	116
3.3.4 固体燃料的燃烧技术	126
3.3.5 燃烧的污染及防治	137
3.4 固体燃料的气化	140
3.4.1 发生炉煤气的种类	141
3.4.2 混合发生炉煤气的生产	144
3.4.3 煤气发生炉的构造	149
3.4.4 煤气发生炉的操作	152
3.4.5 煤气的净化	154
3.4.6 硅酸盐工厂煤气输送技术	157
3.4.7 气化方法进展	158
3.5 燃料燃烧的节能	160
3.5.1 合理组织燃烧	160
3.5.2 改进燃烧技术, 提高燃烧效率	161
3.5.3 提高操作与管理水平, 实现全面能源管理	161

3.5.4 硅酸盐工厂余热的回收利用 .....	162
本章小结 .....	162
思考题与习题 .....	163
<b>4 传热过程</b> .....	166
<b>【本章导读】</b> .....	166
4.1 概述 .....	166
4.1.1 传热的基本方式 .....	166
4.1.2 传热系数 .....	167
4.1.3 热阻 .....	167
4.1.4 传热的基本概念 .....	168
4.2 传导传热 .....	169
4.2.1 导热的基本定律 (傅里叶定律) .....	169
4.2.2 热导率 .....	170
4.2.3 稳态的传导传热量的计算 .....	173
4.3 对流换热 .....	182
4.3.1 对流换热的基本概念 .....	182
4.3.2 对流换热的基本定律 (牛顿冷却定律) .....	184
4.3.3 对流换热特征数方程 .....	185
4.3.4 对流换热量的计算 .....	190
4.4 辐射传热 .....	195
4.4.1 辐射传热的基本概念 .....	195
4.4.2 辐射传热的基本定律 .....	197
4.4.3 固体间的辐射传热 .....	201
4.4.4 气体辐射 .....	207
4.5 综合传热 .....	212
4.5.1 传热的统一公式 .....	213
4.5.2 一种流体通过平壁传热给另一种流体 .....	214
4.5.3 一种流体通过圆筒壁传热给另一种流体 .....	215
4.5.4 窑炉火焰空间内的传热 .....	217
本章小结 .....	217
思考题与习题 .....	220
<b>5 干燥过程</b> .....	220
<b>【本章导读】</b> .....	220
5.1 概述 .....	220
5.1.1 干燥的含义 .....	220
5.1.2 干燥的方法 .....	221
5.1.3 干燥系统的组成 .....	221
5.1.4 硅酸盐工业生产中的物料干燥 .....	221
5.2 湿空气的性质 .....	221
5.2.1 湿空气的湿度 .....	223
5.2.2 湿空气的密度和比体积 .....	223

5.2.3 湿空气的热含量 .....	223
5.2.4 湿空气的温度参数 .....	224
5.3 湿空气的 $I-x$ 图及其应用 .....	226
5.3.1 $I-x$ 图的组成 .....	226
5.3.2 $I-x$ 图的应用 .....	228
5.4 干燥过程的计算 .....	232
5.4.1 干燥计算的目的 .....	232
5.4.2 干燥过程的物料平衡 .....	232
5.4.3 干燥过程的热量平衡 .....	234
5.4.4 干燥过程的图解计算 .....	236
5.5 干燥的物理过程 .....	240
5.5.1 物料中水分的性质 .....	240
5.5.2 物料干燥过程的机理 .....	242
5.5.3 干燥速率及干燥过程 .....	242
5.5.4 影响干燥速率的因素 .....	243
5.5.5 制品在干燥过程中的收缩和变形 .....	244
本章小结 .....	245
思考题与习题 .....	245
<b>附录 1 国际制、工程制单位换算表 .....</b>	<b>247</b>
<b>附录 2 常用材料物理参数 .....</b>	<b>248</b>
<b>附录 3 烟气的物理参数 .....</b>	<b>250</b>
<b>附录 4 常压下空气的物理参数 .....</b>	<b>251</b>
<b>附录 5 常用局部阻力系数及综合阻力系数 .....</b>	<b>252</b>
<b>附录 6 在饱和线上水的物理参数 .....</b>	<b>257</b>
<b>附录 7 在饱和线上水蒸气的物理参数 .....</b>	<b>258</b>
<b>附录 8 某些材料在法线方向上的黑度 .....</b>	<b>259</b>
<b>附录 9 热工设备不同温差、不同风速的散热系数 .....</b>	<b>260</b>
<b>附录 10 湿空气的相对湿度 .....</b>	<b>261</b>
<b>附录 11 湿空气的 <math>I-x</math> 图 (<math>p=99.3\text{kPa}</math>, <math>t=-10\sim 200^{\circ}\text{C}</math>) .....</b>	<b>262</b>
<b>附录 12 湿空气的 <math>I-x</math> 图 (<math>p=99.3\text{kPa}</math>, <math>t=0\sim 1450^{\circ}\text{C}</math>) .....</b>	<b>263</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>264</b>

# 1 绪 论

## 1.1 硅酸盐材料的定义和分类

在人类发展的历史长河中，材料起着举足轻重的作用，人类对材料的应用一直是社会文明进程的里程碑。古代的石器、青铜器、铁器等兴起和广泛利用，极大地改变了人们的生活和生产方式，对社会进步起到了关键性的推动作用，这些具体的材料（石器、青铜器、铁器）被历史学家作为划分某一个时代的重要标志，如石器时代、青铜器时代、铁器时代等。20 世纪下半叶开始，历史进入新技术革命时代，材料与能源、信息一道被公认为现代文明的三大基础支柱。材料科学的发展不仅是科技进步、社会发展的物质基础，同时也改变着人们在社会活动中的实践方式和思维方式，由此极大地推动社会进步。

材料是人类一切生产和生活活动的物质基础，历来是生产力的标志，被看成是人类社会进步的里程碑。

### 1.1.1 定义

硅酸盐材料属无机非金属材料。“硅酸盐”一词，从化学角度出发，它是由二氧化硅和金属氧化物所形成的盐类。实际工作中除化学概念所涉及的领域外，还包括用不含硅的氧化物（单一氧化物如  $\text{Al}_2\text{O}_3$  或复合氧化物如  $\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2$ ）、氮化物、碳化物、硼化物、卤化物和碳素材料（如石墨）以及其他非金属单质（如 Se）等原料经高温处理制成的材料和制品。虽然它们的成分不是硅酸盐，但因制备方法与人造硅酸盐相同，在中国也把这些材料概括在广义的硅酸盐材料范畴之内，和国际上广义的“陶瓷”（ceramics）以及日本的“窑业”具有同一涵义。近几十年来，由于工业的需要和科学技术的飞跃发展，新型的无机材料不断出现。硅酸盐材料组成范围广，结构多种多样，具有各种优异性能，因此在工业生产和科学研究中发挥着越来越大的作用。

硅酸盐材料或硅酸盐制品是指以天然的硅酸盐矿物为主要原料，经高温处理制成的材料或制品，生产这种材料或制品的工业称硅酸盐工业。传统的硅酸盐材料是无机非金属材料的主要构成部分。直到 20 世纪初期，水泥、玻璃、陶瓷、耐火材料四大家族在无机非金属材料王国中一直占有绝对的统治地位，被统称为硅酸盐材料。

### 1.1.2 分类

硅酸盐材料在人类几千年的文明历史中，对于促进生产力的发展和为人民生活服务方面，可以说是功勋卓著，直到今日，它们仍在国民经济和人民生活中起着极为重要的作用，而且还在不断地改进、发展和创新。

#### 1.1.2.1 陶瓷

中国是世界著名的陶瓷古国，早在八千年前的新石器时代，我国的先民就已经会制造和使用陶瓷了。陶瓷一般是由黏土、长石、石英或其他原料经粉碎、混合、成型、干燥、烧制而成的制品的统称。由于陶瓷的性能特点，在工业和日常生活中应用非常广泛，例如日用陶瓷（碗、盘、盆、缸、砂锅等）；建筑陶瓷（瓷砖、卫生洁具、水池、浴缸等）；高温陶瓷（坩埚、发热体、热交换器、热保护套管等）；耐蚀陶瓷（酸碱的储槽、容器、反应器等）；耐磨陶瓷（砂轮、砂纸、油石、磨料等）；电工陶瓷（绝缘、耐压部件等）等，长期以来是冶金、化工、建筑、机电等工业中不可缺少的基本材料之一。

### 1.1.2.2 水泥

水泥是当前工业建设中用量最大的材料，高楼大厦、公路、桥梁、隧道、机场、机床的基座等无不是用水泥堆积而成，目前全世界的水泥年产量达 20 多亿吨，中国水泥年产量列世界第一，约占总产量的一半。最常用的硅酸盐水泥是由石灰岩、黏土和铁矿石为原料，按一定比例混合并磨细形成所谓生料，经 1450℃ 的高温煅烧成为熟料，然后加入一定量的石膏后再次磨细即为水泥。这一制造过程可概括为“两磨一烧”。硅酸盐水泥熟料的成分一般为： $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  37% ~ 60%； $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  15% ~ 37%； $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  7% ~ 15%； $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  10% ~ 18%；及少量 MgO。

从化学组成看，水泥是以硅酸钙为主的无机材料，水泥加水形成胶体，静置一段时间后可自动凝固形成坚硬的固体，所以也称为胶凝材料。水泥和砂子、石子混合即构成耐压强度极高的混凝土，如用钢筋加强即为钢筋混凝土，是建筑工程中的基础。

### 1.1.2.3 耐火材料

耐火材料是能够满足高温条件下使用要求的无机非金属材料。即在高温使用时不溶解、不分解、不氧化变质，并具有一定的牢固性，通常规定其耐火度在 1580℃ 以上，主要用于高温冶炼、煅烧、熔制、加热等工业炉的内衬、墙体、窗口等，在冶金工业中有突出重要的地位。耐火材料品种繁多，按其化学-矿物组成可分为硅质制品（硅砖、石英制品）、硅酸铝质制品（半硅砖、黏土砖、高铝砖、刚玉砖）、镁质和白云石质制品（镁砖、镁铝砖、镁铬砖、白云石砖）、碳质制品（炭砖、石墨黏土制品）、锆质制品（锆英石、锆莫来石砖、锆刚玉砖）等。为满足近代工业发展的需要还研制了多种使用高纯度的人工合成原料制成的高级耐火材料。

### 1.1.2.4 玻璃

玻璃是硅酸盐家族中的又一个古老而辉煌的成员。早在 3500 年前，古埃及人就创造了玻璃，这是西方古代文明的象征之一。玻璃也属于硅酸盐系列，如常用的平板玻璃的成分为  $\text{SiO}_2$  约 72%， $\text{Na}_2\text{O}$  约 13%， $\text{CaO}$  约 11%， $\text{MgO}$  约 3%，也是以  $\text{SiO}_2$  为主体的多种氧化物的复合体，不过这种物质熔点比较低，在熔点附近黏度大大降低，逐渐转为液态，然后以较快的速度冷却下来，便形成了透明的，非晶态的固体材料。你可能看到过，玻璃工人把一根玻璃管放在火上烧，逐渐地变红、变软，然后把一头封死，从另一头向内吹气，于是一根玻璃管变成了一个烧瓶……用相似的方法可以把玻璃做成各种精美的制品。玻璃具有优良的光学性能和化学稳定性，可以通过化学组成的调整和各种处理工艺来大幅度地改变其物理和化学的性能，以适应多种不同的实用要求。可以用吹、压、拉、铸等多种方法，制成空心、薄壁或实心的各种物品，还可以实现器件之间的焊接。在建筑、化工、光学仪器、化学分析仪器、轻工、医疗器械、电子真空系统均有广泛而重要的用途，还可做成精美的工艺美术作品。

## 1.2 硅酸盐材料的共性和特点

### 1.2.1 硅酸盐材料的共性

硅酸盐材料虽然分为四大类，但各类硅酸盐材料在其微观结构、宏观性能和生产工艺方面有共同点，简述如下。

#### 1.2.1.1 微观结构

一般硅酸盐材料是由晶体、玻璃体和气孔组成的复杂系统，其中晶体和玻璃体可能是单晶、多晶、完全玻璃体或晶体和玻璃体的复合物。传统硅酸盐材料的结构虽然变化很多，但它们的基本结构单元均为硅氧四面体  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 。

### 1.2.1.2 宏观性能

由于硅氧化学键键强很高，结合牢固，硅酸盐材料或制品一般都具有良好的力学性能、较强的化学稳定性和耐高温性能。但由于材料中原子或离子排列的方式不同，各类硅酸盐材料的性能如热传导、光学性能、扩散、形变、劈裂、介电性和磁性均有不同。

### 1.2.1.3 制作工艺

各种硅酸盐材料制作的工艺的主要共同点是高温处理（烧结或烧融），不同点是原料组成和工艺流程存在着显著的差别，工艺流程包括原料处理、原料组成、成型过程、烧成温度和冷却速度等环节。

## 1.2.2 硅酸盐工业的特点

### 1.2.2.1 硅酸盐工业运输量大

由于硅酸盐工业是以天然的硅酸盐矿物为主要原料，且产品体积大，所以进入工厂、工厂内部生产车间及产品出厂的运输量都非常大。

### 1.2.2.2 硅酸盐工业污染较大

由于燃烧产生大量气态、固态污染物及生产中产生大量粉尘，所以污染较大。

### 1.2.2.3 硅酸盐工业耗能大

由于硅酸盐工业是对天然的硅酸盐矿物进行热加工，且要求部分熔融或全部熔融，加之对天然矿物的粉碎，所以需要消耗大量的热能和电能。据有关资料介绍，硅酸盐工业是仅次于电力、冶金、化工的第四大能耗部门。

### 1.2.2.4 硅酸盐工业需水量大

主要是生产直接用水和生产过程中的冷却水用量较大。

## 1.3 能源利用与硅酸盐工业节能

翻开人类的发展史，不难看到人类社会的发展与人类对能源的开发、利用息息相关。能源的开发和利用水平是衡量社会生产力和社会物质文明的重要标志，而且关系着社会可持续发展和社会的精神文明建设及和谐社会的建立。

掌握和了解能源的基本知识，不但对材料工程技术类专业人才是必需的，而且对于机械、电气自动化、建筑、工业企业管理等专业人才培养和未来发展也是不可缺少的。尤其是历史已进入 21 世纪，为培养和造就具有创新精神的复合型高职人才和全面提高各类人才的科学素质，掌握能源知识是十分必要的。

### 1.3.1 能源及其分类

所谓能源是指可能为人类提供各种能量和动力的物质资源。迄今为止，由自然界提供的能源有太阳能、风能、水力能、地热能、燃料的化学能、原子核能、海洋能以及其他一些形式的能量。

人们从不同角度对能源进行了多种多样的分类。能源可以根据来源、形成条件、利用技术状况、污染程度以及性质等进行分类。

#### 1.3.1.1 按来源分

根据来源，能源大致可分为三类：第一类是来自地球以外的太阳辐射能。除了直接的太阳能外，煤炭、石油、天然气以及生物能、水力能、风能和海洋能也都间接地来源于太阳能。第二类是来自地球本身的能量。一种是以热能形式储存于地球内部的地热能（如地下蒸汽、热水和干热岩体）；另一种是地球上的铀、钍等核燃料所具有的能量，即原子核能。第三类则是来自月球和太阳等天体对地球的引力，而以月球引力为主，如海洋的潮汐能。

#### 1.3.1.2 按形成条件分

按能源形成条件可以分为两大类：一次能源和二次能源。一次能源是自然界中现成存

在、可直接取得而不改变其基本形态的能源，如原煤、原油、植物秸秆、天然气、水力能、风能、海洋能和地热能等，一次能源也就是天然能源。二次能源是由一次能源经过加工转换成另一形态的能源，如煤气、焦炭、汽油、柴油、电力、沼气、氢气、高温蒸汽等，二次能源也就是人工能源。

一次能源中又可根据能否“再生”而分为可再生能源和非再生能源。可再生能源是指那些可以连续再生，不会因使用而逐渐减少的能源。这类能源大都直接或间接来自太阳，如太阳能、水力能、风能、地热能等；非再生能源是指那些不能循环再生的能源，它们会随着人类不断地使用而逐渐减少，如煤炭、石油、天然气和核燃料等。

#### 1.3.1.3 按技术利用状况分

在不同历史时期和不同科技水平条件下，能源使用的技术状况不同，从而可将能源分为常规能源和新能源。

常规能源是指那些在现有技术条件下，人们已经大规模生产和广泛使用的能源，如煤炭、石油、天然气和水力能等。

新能源是指目前科技水平条件下尚未大规模利用或尚在研究开发阶段的能源，如太阳能、地热能、潮汐能、生物能、风能和原子核能等。

常规能源与新能源的分类是相对的，例如，原子核能在中国属新能源，但在发达的西方国家和俄罗斯应用核裂变作为动力和发电已经成为成熟技术，并得到广泛应用，因此核能即将或已成为常规能源。然而，如果考虑和平利用核聚变作为能源，则无论在中国还是在发达国家都有大量技术问题要解决，从这个意义上讲，核能仍被视为新能源。即使是一般意义上的常规能源，当研究利用新的技术进行开发时又可被视为新能源。如磁体发电，利用的燃料仍是常规的煤、石油和天然气等，和常规火电厂不同的是将气体加热成高温等离子体通过强磁场而直接发电，此时的常规燃料又是新能源。又如风能和沼气亦是如此。

#### 1.3.1.4 按污染程度分

按对环境的污染程度，能源又可分为清洁能源和非清洁能源。无污染或污染很小的能源称为清洁能源，如太阳能、风能、水力能、氢能和海洋能等。对环境污染大的能源称为非清洁能源，如煤炭和石油等。

#### 1.3.1.5 按性质分

能源按本身性质可分为含能体能源和过程性能源。含能体能源是指集中储存能量的含能物质，如煤炭、石油、天然气和核燃料等。而过程性能源是指物质运动过程产生和提供的能量，此种能量无法储存并随着物质运动过程结束而消失，如水力能、风能和潮汐能等。

还有一些其他分类方法。但对于现阶段而言，更多的是采用一次能源和二次能源的概念，着眼于一次能源的开发和利用，并按常规能源和新能源进行研究，这样的分类见表 1-1。

表 1-1 能源分类

类别	常规能源	新能源
一次能源	煤、石油、天然气、水力能等	核能、太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能等
二次能源	煤气、焦炭、汽油、柴油、液化石油气、电力、蒸汽等	沼气、氢能等

### 1.3.2 能源与可持续发展

经济的发展、社会的进步和人类物质文明、精神文明及生活水平的提高，都离不开能源。然而，作为人类赖以生存基础的能源，在其开采、输送、加工、转换、利用和消费过程中，都必然对生态系统产生各种影响，成为环境污染的主要根源。

### 1.3.2.1 温室效应与热污染

空气是氮气、氧气、氢气、二氧化碳和水蒸气等气体的混合物。由气体辐射理论可知，氮气、氧气和氢气等双原子气体对红外线具有辐射和吸收能力，它们能使太阳的可见光短波射线自由通过，却吸收地面上发出的红外热射线。随着能源消耗量的不断增加，向空气中排放的二氧化碳等气体量不断增加，破坏了原来自然环境中二氧化碳量的自然平衡。过多的二氧化碳，不阻碍太阳辐射中的可见光（短波），任其自由通过到达地面，但却较多地吸收地面红外辐射（长波），减少了地球表面散失到宇宙的热量，导致地球表面上气温升高，造成所谓“温室效应”。

据统计，从第一次工业革命到1959年，大气中二氧化碳浓度增加了13%（体积分数），从1959年到1997年大气中二氧化碳浓度又增加了13%（体积分数），导致全球气候变暖趋势加快。现在全球平均温度与100年前比较，提高了0.61℃。计算机预测表明，当二氧化碳等气体浓度增加为目前的两倍时，地面平均温度将上升1.5~4.5℃。这将引起南极冰山融化，导致海平面升高和淹没大片陆地，同时破坏生态平衡。

由温室效应引起的全球气候变暖问题已引起全世界的关注。1992年在里约热内卢由150多个国家发起并组织召开了“气候变化框架会议”，旨在讨论如何减少温室气体的排放，提高对气候变化过程影响的认识，并在许多方面达成一致共识。如政府对减少温室气体排放给予财政支持；各国在减少温室气体方面的科研成果共享等。

如果说“温室效应”使大气温度逐渐上升是一种“热污染”，那么在能源消费和能量转换过程中由冷却水排热造成的是另一种“热污染”。

用江河、湖泊水作冷源的火力发电厂和核电厂，冷却水吸收汽轮机放出的热量后，温度上升6~9℃。然后再返回到江河、湖泊中。于是大量的热量（如300MW的火电厂每小时排放约 $1.4 \times 10^{12}$ J的热量）被排放到自然水域中，使电厂附近的水域温度升高，从而导致水中含氧量降低，影响水生生物的生存，同时使水中藻类大量繁殖，破坏自然水域的生态平衡。除了这种热污染外，采用冷却塔的火电厂和核电厂，会使周围空气温度升高，湿度增大，这种温度较高的湿空气对电厂周围建筑、设备均有强烈的腐蚀作用。

这种热污染不仅仅来自电厂的冷却水排热，原则上一切能量转换和能源消费过程都不可避免地伴随着热损失，这些热损失最终都将以低温热能的形式传给环境，而造成热污染。如工业锅炉、工业窑炉、工业用各种冷却设备等均不可避免地造成热污染。

### 1.3.2.2 酸雨

化石燃料，尤其是煤炭，燃烧后会产生大量的SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>，这些气体排放到大气后，会产生pH值低于正常值的酸雨（pH<5.6）。酸雨的下降使土壤的酸度上升，影响树木、农作物健康生长。例如，德国巴伐利亚山区的某森林区的树木有1/4因酸雨死亡。酸雨使得湖泊水酸度增加，水生生态系统被破坏，某些鱼群和水生物绝迹；酸雨造成建筑、桥梁、水坝、工业设备、名胜古迹和旅游设施的腐蚀；酸雨还造成地下水和江河水酸度增加，直接影响人类和牲畜饮用水的质量，影响人畜健康。

20世纪70年代酸雨造成的污染在世界上仅是局部性问题，进入80年代后，酸雨危害日趋严重并扩展到世界范畴，成为全球面临的严重环境问题之一。世界各国都在采取切实可行的措施控制SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的排放，其中最重要的方法是洁净煤技术的开发与推广。

### 1.3.2.3 臭氧层的破坏

臭氧（O<sub>3</sub>）是氧的同素异形体，它存在于距地面35km左右的大气平流层中，形成臭氧层。臭氧层能吸收太阳射线中对人类和动植物有害的紫外线的大部分，是地球防止紫外线辐射的屏障。但是，由于工业革命以来能源消费的不断增长，人类过多地使用氟氯烃类物质作为制冷剂而作为其他用途，以及燃料燃烧产生的N<sub>2</sub>O，造成臭氧层中的臭氧被大量循环反



应消耗而迅速减少，形成所谓臭氧层空洞，导致臭氧层的破坏。近年研究表明，自1984年英国科学家首先发现南极上空出现臭氧空洞以来，臭氧层空洞正迅速扩大。这将导致地球上人类及动植物免受有害紫外线辐射的屏障受到破坏，使人类皮肤癌等疾病增加，危及人类健康和生存；同时使地球上的动植物受到危害，导致生态平衡的破坏。

为了保护臭氧层，1987年的《蒙特利尔条约》提出了对氟氯烃类物质限制使用和最后禁止使用的期限。对能源利用而言，发展低 $\text{NO}_x$ 燃烧技术及烟气、尾气的脱硝是减少 $\text{N}_2\text{O}$ 排放的关键。

#### 1.3.2.4 放射性污染

核电站的核燃料在开采、运输和核废料的处理中若发生失误，或电站核反应堆发生核泄漏，会给环境造成严重污染。从污染物对人和动、植物的危害程度看，它所产生的污染比其他污染更为严重。因此，自核能开发和利用以来，人们对放射性污染极其重视，采取了一系列严格的防治措施，并将这些措施以法律形式规定下来，形成了一系列安全法规，以防止核电站的放射性污染。尤其在1979年美国三哩岛核电站和1986年前苏联切尔诺贝利核电站先后两次发生重大核事故后，各国政府更加关注核污染问题，采取了更加严格的防范措施防止核污染，并积极改进现有反应堆的控制设施，提高其安全性，同时开发和利用更加安全的反应堆。

事实上，除核燃料存在核污染问题外，烧煤电站也存在值得重视的核污染。常规火电厂除了非放射性污染外，烟囱排放物中也存在放射性物质（主要是氡222）。资料分析表明：火电厂通过烟囱排放的放射性元素造成的放射性污染甚至超过正常运行的核电站的污染。

#### 1.3.2.5 其他污染

大量燃烧煤等化石燃料会排放大量粉尘、烟雾、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 和 $\text{H}_2\text{S}$ 等大气污染物。它们直接污染了人们生活必需的大气环境，危害人类健康与生活。同时这些污染物之间相互作用，又会产生比其本身危害还要大的污染物，如硫酸雾和悬浮的硫酸盐等。所有上述的污染物的聚集，若得不到及时的消散，会造成严重的烟雾事件。最典型的是1952年12月发生在伦敦的烟雾事件，在5天时间内竟使4000多人死亡。中国兰州市1977年冬天也发生过类似事件。

另外，在人类把煤炭、石油和天然气作为燃料时，大量对健康有毒害的污染物，随排气、烟尘和炉渣排出，造成损害人体和生物健康的环境污染。例如，排放出的微量重金属中的汞会引起肾功能衰竭，并损害神经系统；镍、铬都是致癌物质；烟尘中吸附的环芳烃是强致癌物。

还有一些其他污染，如海上钻井采油时储油结构岩石破裂和油船运输事故造成漏油引起的污染。

水力能虽然是清洁能源，但也有相应的环境问题。如开发水力要拦河筑坝、建造水库，而这些对生态平衡、土地盐碱化及灌溉、航运等方面均有一定影响。

综上所述，能源是关系国民经济发展、人民生活改善的重要基础，同时能源的利用与人类生活的环境又息息相关。人类的发展和社会的进步需要增加能源的开发和利用，但是能源中比例很高的非再生能源却是有限的，如煤和石油等，它们随着不断开发利用而不复存在，最终会出现“能源短缺”。20世纪70年代石油危机所造成的“能源危机”给人们留下了深刻的印象，敲响了能源问题的警钟。

同时，随着经济日益发展和人民生活的不不断提高，能源消费迅速增加。前述能源消费中产生的各种污染日趋严重，人类生存的环境日渐恶化。环境的恶化不但影响当代人，而且殃及子孙后代。

能源短缺引起的能源危机和人类生存环境的恶化向人类提出了一个令人深思的问题：社