

天然气燃烧

TIANRANQIRANSHAO



节能环保新技术

JIENENGHUANBAOXINJISHU

傅忠诚 艾效逸 王天飞 等 著



中国建筑工业出版社

天然气燃烧与节能环保新技术

傅忠诚 艾效逸 王天飞 等著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气燃烧与节能环保新技术/傅忠诚等著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2007
ISBN 978-7-112-09282-6

I. 天… II. 傅… III. ①天然气-燃烧理论②节
能③环境保护 IV. TE64 TK01 X

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 063652 号

本书共分九章, 第一、二章主要介绍能源与环境、燃料燃烧与大气污染和室内污染的关系及相关标准; 第三章到第七章主要介绍 NO_x 生成机理; 计算机模拟预测及工业预测各种燃烧设备的 NO_x 生成量; 民用燃具及工业燃烧设备用各种低 NO_x 燃烧新技术、新装置及其实验研究与燃具排放的相关标准。第八章着重介绍冷凝式燃气热水炉的理论热效率、实际热效率及节能原理; 介绍冷凝换热器的冷凝传热机理与实验研究; 介绍冷凝换热器防腐技术, 并介绍冷凝式燃气热水炉的工作原理和结构。第九章介绍燃气与烟气的测试技术及仪表。

本书可作为城市燃气工程专业、环境工程专业、热能及工程热物理等热工类有关专业的大学生、研究生的教学参考书, 也可供从事高效节能与低污染燃烧技术研究及产品开发的科学工作者, 工程技术人员及管理人员参考。

* * *

责任编辑: 胡明安 姚荣华

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 陈晶晶 王金珠

天然气燃烧与节能环保新技术

傅忠诚 艾效逸 王天飞 等著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 32½ 字数 808 千字

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月第一次印刷

印数 1-3000 册 定价 70.00 元

ISBN 978 7 112-09282-6

(15946)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

城市燃气是城市建设的重要基础设施之一，也是城市能源的重要组成部分。随着城市燃气事业的发展，特别是陕、甘、宁天然气进京及西气东输工程的实施，标志着我国城市进入大规模利用天然气时期，天然气将逐步成为城市的主要能源。天然气消耗量不断增多，用气领域及范围不断扩大，决定和带动了应用技术水平的发展与提高，并逐步与国际接轨。

发展城市燃气的目的最终在于应用，天然气作为高效、清洁的优质燃料，扩大在城市应用的主要目的是为了减少污染物和温室性气体 CO_2 的排放，改善大气环境，特别是改善城市的大气质量，以保护良好的生态环境。

天然气属不可再生的矿物燃料，资源有限。在应用中要充分发挥它的高使用价值，提高用气效率，节约用气。

研究高效节能、低污染燃烧技术，是当前国内外天然气应用领域重要研究课题之一，也是实现在城市扩大天然气应用的目的所在。北京建筑工程学院自 20 世纪 80 年代以来，长期致力于高效节能、低污染燃气燃烧技术的研究及产品开发工作，已取得一定的科研成果和申请了多项专利，部分专利已转化为产品。考虑到目前专门论述高效节能及低污染燃气燃烧技术的著作较少，为了交流研究成果，著者在总结自己研究成果的基础上，参考国内外文献资料写成本书。期望本书出版能够对燃气高效低污染燃烧技术的研究及应用起到促进作用。

本书编写以天然气燃烧新技术及新装置为主线，突出高效节能和抑制与降低燃烧污染物排放，特别是减少 NO_x 的排放。本书介绍减少燃烧排放 NO_x 的方法有两种，一种是正确组织和控制燃气燃烧过程，创造条件抑制 NO_x 的生成，从而减少 NO_x 的排放；另一种方法是排烟脱硝，脱除燃烧过程已生成的 NO_x 。显然前者是治本的方法，投资省，不需要运行费用。本书的写作重点正是前者。本书取材源于三个方面，一是著者与课题组所承担的国家、部委科研项目的成果、论文与所获专利；二是历届研究生的研究成果及论文；三是国内外相关资料，著作、论文及产品样本。主要内容包括三部分，即关于高效节能与燃烧污染物生成的基本理论论述；天然气应用新技术、新方法、新装置及其实验研究；天然气及其燃烧产物的测试技术及仪表。根据内容的性质及特点各章的篇幅、深度及繁简程度有所差异，其实用性也有所不同。内容安排既考虑了高等教育和科研需要，也考虑了工程设计及产品的开发，编写时尽量突出实用性。

全书共分九章，第一章比较全面而简要地概述了能源结构及利用状况对人类环境的影

响,特别论述了在能源构成中增加清洁燃料天然气权重对城市环境的作用,并介绍天然气的生产与供应状况。第二章重点论述了燃料燃烧产生污染物的性质及其对大气环境与室内空气特别是厨房空气的污染状况,简要介绍了国内外相关标准及污染物对人体与环境危害的评价方法。第三章着重介绍燃料燃烧过程中 NO_x 生成的基本理论,详细分析了燃烧过程 NO_x 生成的机理、途径、影响因素及抑制其生成的方法。简要分析了部分预混燃烧及扩散燃烧 NO_x 生成特点。第四章在概述数值计算与工业预测两类预测方法基础上,着重介绍了燃烧数值计算模拟技术的基本控制方法、求解原理与应用软件的求解方法,氮氧化物生成的数值预测模型,以及数值计算在低氮氧化物工业燃烧器设计中的应用。第五章着重介绍工业燃烧器低氮氧化物控制技术及其燃烧器示例;氮氧化物生成量的工业预测方法及应用举例。第六章简要介绍了各种燃具 NO_x 及CO排放标准,着重论述了主要用于民用燃具的二次风罩、分离火焰、火焰冷却体、浓淡燃烧、全预混燃烧和金属纤维燃烧等燃烧新技术抑制 NO_x 生成的基本原理与实验研究,相关燃烧新装置的构造与降低 NO_x 排放的效果和开发应用状况。第七章着重论述了主要用于工业燃烧设备的浸没燃烧、分段燃烧、旋流燃烧、富氧燃烧、高温空气燃烧、催化燃烧、废弃物高温焚烧等燃烧新技术及抑制 NO_x 生成的原理及实验研究,相关燃烧新装置构造与降低 NO_x 排放措施的效果和开发应用状况。本章还介绍了对已生成的 NO_x 排烟脱硝技术。第八章首先以热平衡理论及计算为基础,重点论述了冷凝式采暖热水炉的理论热效率、实际热效率及其节能原理与节能效果。其次详细论述了冷凝换热机理、影响因素及实验结果,最后介绍了冷凝换热器的防腐机理、方法及效果。第九章全面地介绍当今常用的燃气和烟气的成分、热值、等参数测试的方法与测试系统,仪表的构造、工作原理与实验数据处理。

本书编写分工如下:傅忠诚教授:第三章,第七章第二节、第四节、第六节;艾效逸教授:第一章,第二章,第八章第一节、第四节;王天飞博士:第四章、第五章,第七章第二节、第五节、第七节;潘树源高级工程师:第六章第一节;李铮教授级高级工程师:第六章第二节;郭祥信教授级高级工程师:第六章第三节;白丽萍高级工程师:第六章第四节;钱琦高级工程师:第六章第五节,第七章第二节;胡鹏工程师第六章第五节;徐鹏讲师:第四章第五节,第六章第六节,第七章第八节;钱斌高级工程师:第六章第六节;要大荣工程师:第六章第七节;杨光讲师:第七章第一节;何彦工程师:第七章第一节;史永征讲师:第七章第三节;曹彦斌高级工程师:第八章第二节;王随林教授:第八章第三节;郭全副教授:第九章;全书由傅忠诚、艾效逸和王天飞主编,由傅忠诚、艾效逸统稿。

在本书编写过程中,我们参阅了大量相关论文、著作及资料,在本书出版之际,我们衷心感谢所有提供参考文献的作者,对他们的辛勤劳动和创造性的工作表示敬佩。衷心感谢中国建筑工业出版社姚荣华副编审在选题中给予的指导,感谢副编审胡明安、姚荣华等对本书出版所作的认真细致的编辑工作,并提出十分宝贵的意见。

限于时间和著者水平,疏漏与错误之处在所难免,恳请读者指正,容再版改进。

目 录

前言

第一章 环境与能源	1
第一节 环境问题概述	1
一、人类的环境	1
二、环境问题	2
第二节 能源利用与环境	7
一、能源	7
二、能源结构	7
三、能源利用对环境的影响	11
第三节 天然气及其利用	16
一、天然气在城市发展中的作用	16
二、天然气资源状况	18
三、天然气消费结构	19
四、天然气生产及供气状况	20
五、北京市天然气供应概况及预测	24
第二章 大气污染与燃料燃烧	29
第一节 大气组成和大气污染物	29
一、大气的组成	29
二、大气污染源	30
三、大气污染物	30
四、污染物的性质及危害	32
五、大气污染的生态效应	37
第二节 燃气燃烧与室内空气污染	40
一、室内空气主要污染物及污染源	40
二、燃料燃烧与污染物排放	41
三、燃气燃烧与厨房中空气污染调查	42
四、污染评价	46
第三节 空气质量标准	47
一、环境空气质量标准	47
二、室内空气质量标准	50
第三章 氮氧化物 (NO_x) 生成机理与影响因素	53
第一节 燃烧过程中 NO _x 生成过程	53

一、燃烧过程中 NO 的生成途径	53
二、NO 生成的综合反应式	53
第二节 热力型 NO	55
一、生成机理	55
二、影响因素	57
三、抑制方法	59
第三节 快速型 NO	63
一、生成机理	63
二、影响因素	66
三、抑制方法	66
第四节 燃料型 NO	67
一、燃料中的氮化合物	67
二、燃料型 NO 生成机理	70
三、影响因素	71
四、抑制方法	74
第五节 部分预混燃烧（本生燃烧）NO 的生成特性	76
第六节 扩散火焰 NO 的生成特性	78
一、扩散火焰 NO _x 生成特性	78
二、主要影响因素	79
第四章 燃烧污染物生成过程数值计算技术	83
第一节 数值计算方法	83
第二节 燃烧过程数值计算基础	85
一、CFD 的基本原理	85
二、基本控制方程	86
三、求解原理和应用软件的求解方法	87
第三节 氮氧化物生成的计算模型	91
一、概述	91
二、氮氧化物预测的计算模型	92
三、工业燃烧中紊流流动对氮氧化物形成的影响	94
四、常用的 CFD 数值计算软件	95
第四节 数值计算在低氮氧化物工业燃烧器设计中的应用	96
一、低氮氧化物燃煤/燃油燃烧器辅助设计	96
二、锅炉燃气/燃油燃烧器辅助设计	97
三、化工加热炉低氮氧化物燃烧器辅助设计	100
四、再加热燃烧器辅助设计	104
第五节 CFD 数值计算应用举例	105
一、全预混燃烧器气流分配室形式优化中的 CFD 应用实例	105
二、熔铝工业加热炉炉内换热和富氧燃烧器 CFD 辅助设计应用	109
第五章 工业低氮氧化物燃烧器和氮氧化物生成的工业预测方法	124
第一节 工业低氮氧化物燃烧器	124

一、工业燃烧器低氮氧化物控制技术	124
二、燃烧器举例	126
第二节 燃气/燃油锅炉燃烧器氮氧化物生成量的工业预测	131
一、氮氧化物生成量预测	131
二、预测的基本原理和方法	132
三、氮氧化物预测实例	135
四、氮氧化物工业预测步骤	137
第三节 影响氮氧化物生成量预测的因素	141
一、燃烧器布置与燃烧放热区的影响	141
二、燃料特性的影响	141
三、锅炉负荷变化的影响	143
四、过剩空气量和炉膛漏风的影响	145
五、烟气循环	145
六、炉膛受热面除灰操作	146
七、多燃烧器炉内浓淡燃烧	146
八、重油雾化温度	146
九、喷蒸汽或水	146
第六章 民用燃具低 NO_x 燃烧技术及装置	148
第一节 燃具 NO_x 和 CO 排放标准	148
一、民用燃具的 NO_x 排放标准	148
二、民用燃具的 CO 排放标准	151
三、工业燃具的 NO_x 、CO 排放标准	152
四、排放浓度换算关系	154
第二节 二次风罩燃烧技术	156
一、民用燃具抑制 NO_x 的生成途径	157
二、家用燃气灶基本参数与 NO_x 生成的关系	159
三、二次风罩降低 NO_x 生成原理及分析	163
四、二次风罩结构及安装对 NO_x 、CO 生成的影响	165
第三节 分离火焰燃烧技术及装置	167
一、分离火焰燃烧原理	167
二、分离火焰抑制 NO_x 生成的机理	168
三、分离火焰低 NO_x 燃烧器的排放特性	168
四、家用低 NO_x 燃气灶	174
第四节 火焰冷却体低 NO_x 燃烧技术及装置	176
一、火焰冷却体降低 NO_x 生成的原理	176
二、火焰冷却体选择及设置	177
三、火焰冷却体在单体燃烧器上的优化设计	177
四、冷却体及安装与 NO_x 、CO 排放的关系	181
五、热水器用火焰冷却体燃烧装置	186
第五节 浓淡燃烧技术及装置	187
一、概述	187

二、浓淡燃烧抑制 NO_x 生成的原理	188
三、浓淡燃烧与 NO_x 生成	188
四、鼓风式浓淡火焰对冲燃烧器	191
五、引射式浓淡燃烧器	195
第六节 完全预混燃烧技术及装置	203
一、完全预混燃烧降低 NO_x 、CO 的分析	204
二、片式水冷火孔燃烧的稳定性	207
三、管式条缝水冷火孔燃烧的稳定性及影响因素	210
四、片式水冷火孔燃烧污染物的排放特性	212
五、管式条缝水冷火孔燃烧污染物的排放特性	222
六、完全预混式燃烧器设计要点	226
第七节 红外线辐射燃烧技术及装置	231
一、概述	231
二、陶瓷板红外线辐射器	232
三、金属网红外线辐射器	234
四、金属纤维燃烧器	236
五、金属纤维燃烧器用于中餐燃气炒菜灶的实验研究	240
第七章 工业燃烧设备低 NO_x 燃烧技术及装置	253
第一节 浸没燃烧技术及装置	253
一、概述	253
二、浸没燃烧的理论分析	255
三、浸没燃烧的冷态模拟实验	262
四、浸没燃烧热态实验研究	271
五、浸没燃烧装置	277
六、浸没燃烧装置的应用	284
第二节 分段燃烧技术及装置	293
一、分段燃烧的基本原理	293
二、燃气分段供给燃烧器	294
三、空气分段供给燃烧器示例	303
第三节 旋流燃烧技术及装置	307
一、旋流及旋流燃烧	307
二、旋流燃烧装置的开发与应用	315
三、冷态模拟试验研究	320
四、热态污染物排放试验研究	326
第四节 富氧燃烧	332
一、富氧燃烧过程的特点	332
二、富氧燃烧的燃烧特性	333
三、富氧燃烧节能分析	337
四、富氧燃烧氮氧化物排放	339
五、富氧燃烧装置系统及富氧空气的制取方法	340
第五节 高温空气燃烧技术	347

一、高温空气预热燃烧原理·····	347
二、主要技术特征·····	350
三、高温空气燃烧应用技术·····	350
第六节 催化燃烧技术及装置·····	357
一、催化燃烧基本原理及特点·····	357
二、催化剂·····	362
三、催化燃烧器·····	368
四、催化燃烧可燃气体转化率的计算·····	375
五、预混催化燃烧的应用研究·····	381
第七节 废弃物高温焚烧技术和污染物排放控制·····	385
一、焚烧炉及焚烧系统·····	385
二、高温燃烧过程的设计·····	388
三、燃烧过程对焚烧污染控制的影响·····	394
第八节 排烟脱硝·····	398
一、排烟脱硝方法分类·····	398
二、选择性催化还原法·····	398
三、选择性非催化还原法·····	405
四、湿法脱硝·····	407
五、电子束氨法和脉冲电晕等离子体联合脱硫脱硝法·····	407
六、固体吸附半干法联合脱硫脱硝·····	408
七、生化法脱硝·····	409
第八章 燃烧设备的热效率及冷凝式热水器/炉·····	412
第一节 燃气热水器的理论热效率·····	412
一、燃气热水器的热平衡·····	412
二、热水器热效率计算方法·····	414
三、理论热效率·····	415
四、冷凝式热水器节能分析·····	415
五、热水器的实际热效率分析·····	417
六、热效率计算·····	417
七、燃气热水器/炉的国家能效标准·····	420
第二节 冷凝换热器传热·····	421
一、有水蒸气凝结的烟气对流换热过程分析·····	421
二、平行板进口段有水蒸气凝结的烟气层流受迫对流换热理论分析·····	421
三、烟气对流凝结换热的实验解·····	424
四、影响烟气受迫对流凝结换热的因素·····	428
第三节 冷凝换热器的防腐·····	430
一、烟气冷凝液成分·····	430
二、烟气凝结状态与影响凝液量的主要因素·····	430
三、冷凝换热器的防腐·····	431
四、防腐镀层对换热器换热性能的影响·····	433
第四节 冷凝式燃气热水器和采暖热水炉·····	435

一、燃气采暖热水炉的发展状况	435
二、燃气采暖热水炉	436
三、冷凝式燃气采暖热水炉	438
四、冷凝式换热器	444

第九章 测试仪器与测试系统 448

第一节 燃气测试系统概述 448

一、燃气参数的分析测试	448
二、燃气燃烧产物的分析测试及燃烧效率测定	448
三、燃气测试系统	448

第二节 气相色谱仪及燃气成分的色谱分析 449

一、气相色谱仪的基本工作原理及组成	449
二、气相色谱仪检测器的性能指标	453
三、组分的定性及定量	454
四、天然气常量组分分析	456
五、液化石油气成分分析	459
六、人工煤气成分分析	460
七、气相色谱工作站	462

第三节 燃气热值的测定及气体热量计 463

一、水流式热量计的测试原理及组成	463
二、燃气热值测试方法	465
三、影响测量的因素分析	465

第四节 热磁式氧分析仪及烟气中 O_2 含量的测定 465

一、热磁式氧分析仪的基本原理	465
二、烟气中 O_2 含量的测定	466
三、热磁式氧分析仪的主要技术指标	467

第五节 红外式气体分析仪及烟气中 CO 、 CO_2 含量的测定 467

一、红外式气体分析仪的基本工作原理	467
二、红外式气体分析仪的主要技术指标	470

第六节 化学发光式 NO_x 分析仪及烟气中 NO_x 含量的测定 470

一、 NO_x 测量方法	470
二、化学发光式 NO_x 分析仪的基本工作原理	471
三、化学发光式 NO_x 分析仪的主要技术指标	473

第七节 气体分析仪器的标定 473

一、仪器标定系统的组成	473
二、标准源及其选择	473
三、 CO 分析器的标定	474
四、 NO_x 分析器的标定	475
五、 O_2 分析器的标定	478
六、测试系统标定及检验周期	478

第八节 烟气分析取样系统及分析数据处理 478

一、烟气取样系统的组成及要求	479
----------------	-----

二、浓度的计算、修正与单位换算	481
三、烟气分析系统的测量误差	484
第九节 计算机自动测试系统	489
一、计算机自动测试系统的组成	489
二、仪器与计算机之间的接口系统	490
三、计算机烟气自动分析系统实例	493
第十节 正交试验设计	494
一、多因素试验	494
二、正交表及用正交表安排试验	496
三、正交试验结果的数据分析	497
四、水平数不同的试验	503
五、有交互作用的试验	504

第一章 环境与能源

第一节 环境问题概述

一、人类的环境

人类的环境是指人类赖以生存、以人类为主体的外部物质世界，即人类生存、繁衍所必须的相适应的环境，或各种物质条件的综合体。由于人类逐渐掌握了改变周围物质条件的能力，人类的生存环境已不再是单一的自然环境，而是由自然环境和人工环境两方面组成。

1. 自然环境：是人类赖以生存、生活和生产所必须的自然条件和自然资源，即直接或间接影响人类生活、生产的一切自然形成的物质、能量和自然现象的总体。包括岩石、土壤、空气、水、动植物、微生物、阳光、温度、地磁力、气候和地壳、太阳的稳定性等自然现象。自然环境又可理解为由人类生存的地球外层大气圈、地球表层水圈及岩层组成的生物圈所构成。自然环境按其要素可以分为大气环境、水环境、土壤环境等。

2. 人工环境：是人类在开发、利用、改造自然环境过程中所构造出来的新环境，它是由人工产品、能量、生产力和社会政治、文化等因素组成。它包括如农田、水库、城市建设、文艺、政体等物质、能量和精神产品，以及人类活动中所形成的人与人之间的关系。

自然环境与人工环境 表 1-1-1

自 然 环 境	物 质	空气	人 工 环 境	生产力
		水		生产关系
		岩石、土壤		技术进步
		动植物、微生物		人工构筑
	能 量	温度		人工产品和能量
		阳光		政治体制
		引力		宗教信仰
		地磁力		文化和艺术
		太阳活动		社会活动
	自 然 现 象	地壳运动:地质构造、地震、火山、海啸		
		大气循环		
		水循环		
		水土演变		

社会经济文化的发展必须坚持可持续发展的原则,考虑到环境系统的稳定性的极限,不能破坏环境的良好状态,而应在发展的同时建设更好的环境,使人类有更好的生存空间。

按照人类活动范围及状况,人类环境又可分室内环境、区域环境、城市环境等。

(1) 室内环境:它是人类最直接、接触时间最长的生活环境。

“室内”包括住宅居室、办公室、学校、医院、各类活动室(如影剧院、体育馆等)、候车室等公共场所。居室又是人们主要停留的场所,它是人生活的“小环境”。

调查表明,人们在室内度过的时间远多于室外的时间,老人、病人更是如此。大多数人有80%以上的时间是在室内度过的,在日本,工作人员每日在家庭内时间平均13.5h,在厨房的时间也在2.5h以上。因此室内的综合生态环境与人的身体健康有着密切的关系。故24h总接触中,家庭室内接触水平占较大权重。一个理想的清洁居住环境是人们不断追求的目标,在各种燃烧设备不断普及的今天,很有必要密切关注家庭环境的污染问题。

室内环境包括室内空气质量、室内热环境、光环境与声环境等。它们直接影响到人的身体健康。室内空气质量主要取决于室内污染物,室内空气污染物的主要来源有三:室外大气污染物借通风换气 and 渗透而进入室内;室内污染源(烹饪、供热水、采暖、吸烟、家具、建筑材料等);室内部分空气的再循环。各种家具、电器设备、装修、装饰物,以及厨房中使用的灶具、热水器等,都可能是室内环境的污染源,其合理选用会直接影响室内空气质量及室内环境。

(2) 区域环境:包括人工环境在内的占有一定的空间的自然环境。小的区域环境包括庭院环境、小区环境、村落环境;大可至地球环境、宇宙环境等。

(3) 城市环境:它是人类利用和改造自然环境创造出来的高度人工化、智能化、社会化的环境。

随着人类科学技术的进步以及大工业生产的发展,逐渐形成人口较为密集的城市,开始了城市化的进程,城市建设逐渐发展与完善,它成为人类与自然环境相互作用最为密切的人类活动场所,并因此形成了城市环境的概念,它包括城市集中的人口,其从事各种社会活动的人工环境与自然环境间的综合人工生态系统。

城市人工生态系统以人为中心,以人生存的基本的物质自然环境为基础,发展城市产业、城市基础设施以及城市物质、能源信息传递与转换功能,促进城市与外界(农村、卫星城市)的交流,建立可持续发展的城市,以达到最佳的经济效益、生态环境效益和社会效益。为了人类健康发展,必须提供一个良好的城市环境。

二、环境问题

在经济发展的进程中,必须使生态环境系统处于良性循环,以保证可持续发展。保证良好的生态环境系统必须要有合理的(流通)结构,最大限度地发挥其功能,使物质、能量、资金高效低耗、优质高产;必须要创造适合人类生活的无污染或少污染的环境;人类必须能够主动地控制环境系统。

自工业革命后特别是20世纪以来,科学技术突飞猛进和生产力迅速提高,促进了社会工业与经济的发展。随着社会经济的发展,工业发展加速了城市化的进程。随着城市化的迅速发展,城市人口的集中,城市中进行的与生产消费有关的一系列问题,如资源利

用、能源转换、产品生产、销售和消费中产生的资源短缺、环境污染、疾病流行、交通拥挤等，工业生产的发展使城市经济发展与城市生态环境之间的矛盾日益加剧。因此，人类对自然资源的需求和开发利用，造成了对自然界生态平衡的破坏，构成了环境问题。环境问题对经济的持续发展构成了威胁，对人类的生产活动和生活以及人类的健康和生存发展造成了不可估量的影响。当前，全球性的大气环境问题的核心是“臭氧层破坏”、“全球变暖”和酸沉降等问题。具体归纳为：

1. 生态环境遭到破坏

(1) 过度的森林开伐。全世界森林覆盖面积约占陆地面积的三分之一，由于工业发展，森林面积逐年减少，到1965年森林面积约占1/4，1987年约占1/5，2000年估计降为1/6。逐年减少的森林面积，给环境带来一系列影响，引起全球性气候变化、地区性生态系统退化。我国的森林覆盖率为13.4%，人均林地面积0.11hm²，是世界人均水平的11.3%。

(2) 土地荒漠化。荒漠化的直接结果是沙漠化，良田变荒漠使土地沙漠化。特别是发展中国家干旱地区受沙漠化的影响最为严重。1991年评估，非洲和亚洲干旱地区各占全球干旱地区的1/3，非洲干旱地区占本洲土地面积的60%。1996年统计，我国土地荒漠化面积已占国土总面积的27.3%，沙漠化面积占国土总面积的3.9%。

(3) 土壤受风力和水的侵蚀发生水土流失。我国每年水土流失表土量达 5×10^9 t，黄土高原水土流失面积达 43×10^6 hm²，占该地区面积的75%，长江流域水土流失面积 36×10^6 hm²，占该区总面积的20%。全国水土流失面积已达 367×10^6 hm²。

由于水土流失土地沙漠化，造成一些地区的沙尘暴天气，北京的沙尘暴天气的发生就是十分明显的例子。

(4) 土地污染。我国受废气、废水和废渣污染的农田约为 1000×10^6 hm²。

由于生态环境遭到破坏，使人均土地面积、绿地面积大大减少。它对生物圈中的能量交换、水和水蒸气的循环、氧和二氧化碳的平衡、空气净化等方面都带来不良影响，引起全球性气候变化和地区性生态系统退化。这一环境问题在发展中国家表现更为突出。

2. 环境受到严重污染

随着工业及经济的发展、城市化进程的加速，燃料消耗量迅速增长，带来的负面影响是空气、水受到污染。

(1) 大气污染

人生存所需要的粮食、水和空气中，空气是至关重要的。一个人每天约需要1kg粮食、2kg水和13kg空气。若断绝空气供应，即引起死亡。空气中若是有一定浓度的毒害物质，被吸入的空气则会通过肺部、血液而遍及全身，对人体健康直接造成危害。

随着工业的快速发展，燃料消耗量骤增，燃料燃烧产生的污染物、烟尘、SO₂、NO_x、CO₂的排放也随之增加，严重地污染了大气。其中温室性气体CO₂的增加，加重了气候变暖的趋势和生态环境的破坏。我国的大气污染主要属于“煤烟型”污染，1997年我国烟尘排放73%来自于能源开发与利用；SO₂排放90%来自于燃煤和燃油；CO₂排放85%来自于燃料燃烧。进入工业革命以来，由于矿物燃料消耗的迅速增长，在工业区和人口集中的城市周边，以及在特定的地理、气候环境下，历史上曾发生过几次严重的空气污染事故，表1-1-2列出了几次重大的空气污染事故。

一些空气污染事故 表 1-1-2

日 期	地 点	空气污染事故	主要污染物	中毒症状及死亡情况	事故形成原因
1930 年 12 月 3~5 日	比利时马斯河谷(长 20km, 宽 1~2km, 深 60~80m)	马斯河谷烟雾事件	烟尘及 SO ₂	咳嗽、呼吸急促、胸闷, 大多数居民患呼吸道疾病, 数千人中毒, 60 多人死亡	(1) 工厂集中、排烟量大; (2) 逆温浓雾天气、静风
1948 年 10 月 27~31 日	美国多诺拉(长 3km, 深 320m) 马蹄形河道内侧	多诺拉烟雾事件	烟尘, SO ₂ (日均浓度 0.5~2ppm)	眼、鼻、喉刺激感; 咳嗽、呼吸困难、恶心、呕吐、头痛, 6000 人中毒, 17 人死亡	(1) 工厂过多、排烟量大; (2) 逆温持续寒冷、浓雾天气
1952 年 12 月 5~9 日及其后几周	英国伦敦	伦敦烟雾事件	烟尘, 浓度 4500 μ g/m ³ ; SO ₂ 浓度 1.33ppm	咳嗽、喉痛、胸闷、呕吐, 死亡 4000 人以上	(1) 天气寒冷、居民壁炉长时间使用; (2) 大雾天气
1956 年 1 月 3~6 日	英国伦敦	伦敦烟雾事件	烟尘, 浓度 2400 μ g/m ³ ; SO ₂ 浓度 0.55ppm	咳嗽、喉痛、胸闷、呕吐, 死亡 1000 人	(1) 天气寒冷、居民壁炉长时间使用; (2) 大雾天气
1943 年 1945 年 1955 年 8 月	美国洛杉矶	洛杉矶光化学烟雾事件	SO ₂ 、NO _x 、O ₃ 、PAN(过氧酰基硝酸胺)	眼、喉、鼻刺激感、头痛、哮喘。1955 年 75% 患眼疾, 死亡 70~317 人	(1) 汽车尾气; (2) 阳光充足; (3) 静风
1971 年 9 月 16 日	美国新泽西洲	匹斯开威特烟雾事件	SO ₂ 、NO _x 、氧化剂浓度 0.8ppm	多泪、咳嗽、胸疼、腹痛、肢端麻木、心脏受损、肝功能紊乱, 死亡人数不详	(1) 工厂、化工厂多; (2) 处于逆温环境、污染空气被山阻挡

注: 资料来源: [1]、[4]。

(2) 水体污染

人类的生产、生活活动排出的废水污染了水体, 各国大办工业排出的废水是最主要的污染源。据 1991 年统计, 我国排放的污水 $236 \times 10^8 \text{ t/a}$, 有 80% 未经处理直接排入江河湖海, 严重地污染了水体; 2005 年排放的污水已达 $525 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。1991 年对七大水系的评价中, 符合地面水质 4 类和 5 类的仅占 50%。

(3) 农药污染

在农业发展过程中, 施用化肥、造成农药对土壤、对水体的污染也日益严重。由于农药引起的中毒事件, 全世界每年约 50 万起, 其中发展中国家占 70% 左右。一些发展中国家几乎所有的食物和谷物都有农药污染, 且超过允许的限度。

(4) 室内环境的污染

室内空气污染源包括室内建筑材料、装修材料、家具、家用电器及厨房燃具(炉灶、热水器及采暖炉等)。空气污染物浓度直接受污染源排放量的影响。建筑装饰材料产生的污染主要有氨、甲醛、石棉、氡及有机蒸气苯、甲苯、甲醇等。厨房燃具使用时排放出有害气体 NO_x、CO 和 CO₂ 等, 它们构成了对厨房及居室的污染。

室内污染物的排放也加剧了室外大气的污染。

(5) 我国和全世界每年排入大气的污染物总量详见表 1-1-3 至表 1-1-6。

全世界每年排入大气的污染物总量 表 1-1-3

污染物	污染源	排放量(10 ⁶ t)	自然源	排放量(10 ⁶ t)
粉尘	燃煤设备、交通运输			
SO ₂	燃煤燃油设备、冶炼	146	火山、沼泽	100
CO	工厂、汽车尾气	304	火灾、海洋	33

续表

污染物	污染源	排放量(10 ⁶ t)	自然源	排放量(10 ⁶ t)
NO _x	工厂、汽车尾气	73	土壤	108
烃类	燃油、汽车、化工废气	100	生物	1600
硫化物	化工废气	3	火山、沼泽	100
氨	工厂废气	4	生物腐烂	1160
CO ₂	燃烧	1.4×10 ⁹ t	生物、海洋	10 ¹² t

注：资料来源：[1]。

部分国家二氧化硫排放总量 (1990~2000 年) (10⁴t) 表 1-1-4

国 家	1990 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
澳大利亚	162.4	176.7	181.8	189.3	179.6	185.3	184.1	182.9	189.3	238.9
奥地利	9.1	6.3	6.0	5.6	5.4	5.3	5.1	4.6	4.1	4.1
比利时	28.8	30.1	29.0	24.6	23.7	23.5	20.8	19.4	15.7	15.9
保加利亚								122.6	106.2	
捷克	187.6							44.3	26.9	26.4
丹麦	18.1	18.6	15.3	15.7	14.9	18.0	11.0	7.5	5.5	2.7
爱沙尼亚									12.0	12.4
欧共同体	1636.3	1365.2	1242.9	1127.7	1019.8	888.5	807.1	766.5	693.2	575.0
芬兰	23.7	14.1	12.2	11.5	9.7	10.5	9.9	8.9	8.5	7.6
法国	138.3	132.5	116.4	111.5	105.5	102.9	88.6	92.1	79.1	71.5
德国	532.1	330.7	294.5	247.3	193.9	134.0	108.7	87.4	80.4	79.5
希腊	49.3	54.6	54.5	51.7	54.1	52.5	52.1	52.8	54.0	48.3
匈牙利									59.5	49.2
冰岛									0.9	1.1
爱尔兰	18.3	17.0	16.1	17.5	16.1	14.7	16.6	17.6	15.7	13.1
意大利								103.9	92.4	75.8
日本	97.6	93.0	88.7	94.4	91.5	87.7	87.5	85.4	80.9	82
拉脱维亚								4.0	3.3	1.8
列支敦士登	0.002									
立陶宛					9.4	9.3	7.7	13.4		
卢森堡公园									0.4	0.3
摩纳哥	0.007	0.01	0.011	0.01	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	
荷兰	20.2	15.7	15.0	13.7	14.1	13.4	11.6	10.8	10.3	9.1
新西兰	6.1	6.5	6.7	6.8	7.0	7.2	6.0	6.0	6.1	5.7
挪威	5.3							3.0	2.8	2.6
波兰										151.1
葡萄牙	33.8	38.4	34.6	31.2	36.5	31.2	32.7	36.5	38.0	33.9
罗马尼亚				120.4						
俄罗斯	944.0			651.0	640.0	620.0				
斯洛伐克								17.9	17.1	12.0
西班牙	216.2	212.0	199.1	194.8	180.4	157.2	172.9	159.4	162.7	149.3
瑞典	11.1	8.9	8.0	8.1	6.9	7.4	6.6	6.3	5.4	5.8
瑞士								2.8	2.6	1.8
英国	372.1	346.3	311.5	267.7	236.3	202.6	166.5	158.9	121.0	116.6
美国	2148.1	2069.6	2038.9	1984.5	1740.8	1762.9	1807.6	1818.5	1754.1	1649.9
中国	1494.0	1685.0	1795.0	1825.0	1890.8		2266.0	2091.4	1857.5	1995.1

注：资料来源：[4]。