



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

NENGYUAN YU HUANJING  
XITONGGONGCHENG GAILUN

# 能源与环境 系统工程概论

方梦祥 金滔 周劲松 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

*Thermal Energy & Power*



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

NENGYUAN YU HUANJING  
XITONGGONGCHENG GAILUN

# 能源与环境 系统工程概论

方梦祥 金滔 周劲松 编  
张鹤声 孙键 主审



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

全书共分6章,第1章介绍系统工程的基本知识和环境与能源系统的基本理论,第2章介绍各种能源资源利用技术和现状,第3章介绍制冷技术和引起的能源环境问题,第4章介绍目前各种环境污染物和控制技术,第5章介绍采用系统工程的方法分析能源与环境问题,第6章介绍能源需求和供应预测。本书在内容上覆盖面广,涉及能源工程、环境工程和系统工程等方面的知识,有助于拓展学生的知识面,同时也有助于树立科学用能的观念和关注环保的社会意识。

本书可作为普通高等院校能源与环境专业研究生和本科生的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

能源与环境系统工程概论 / 方梦祥, 金滔, 周劲松编.  
北京: 中国电力出版社, 2009  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-5083-8555-6

I. 能… II. ①方…②金…③周… III. ①能源—系统工程—高等学校—教材②环境工程: 系统工程—高等学校—教材 IV. TK01 X192

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第030358号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2009年7月第一版 2009年7月北京第一次印刷  
787毫米×1092毫米 16开本 14印张 336千字  
定价 24.00元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

我国是一个富煤、贫油、少气的国家，即是一个以煤炭为主要能源资源的国家。今后相当长的时期内，煤炭仍将是中国的基础能源，煤炭的消费量还将继续上升，这样就会使中国的大气污染治理面临着巨大的困难。我国目前各种环境污染问题都处于相当严重的局面，合理利用资源，开发利用可再生能源、不断改善生态环境，对确保我国经济、社会可持续发展，促进全球经济发展和保护环境具有深远意义。

本书是为适应教育部对热能与动力工程专业各个方向进行整合和改革的总体思路，服务于为改造后的能源与环境系统工程专业而开设的一门概观全局的平台课程。把能源和环境作为一个系统工程进行探讨，包括将煤炭、石油、天然气等一次能源转化为电力、热能等二次能源的生产和利用过程，风能、太阳能、生物质能等新能源的开发利用，伴随能源转换与利用过程的有害物质排放造成的环境问题与治理。本书旨在强调在工业发展和能源开发过程中需要同时关注其对环境的影响问题，进而保证经济社会的可持续发展。

本书共分6章，第1章介绍系统工程的基本知识和能源与环境系统的基本理论，第2章介绍各种能源资源利用技术和现状，第3章介绍制冷技术和引起的能源环境问题，第4章介绍目前各种环境污染物的排放和治理技术，第5章介绍采用系统工程的方法分析和评价能源和环境系统，第6章介绍能源需求与供应预测和能源经济预测模型。

本书第1、4~6章由浙江大学方梦祥编写，第2章由浙江大学周劲松编写，第3章由浙江大学金涛编写，全书由方梦祥负责统稿；编写过程中得到浙江大学能源系各位老师的大力支持；同济大学张鹤声教授、东北电力大学孙键教授对本书进行认真审查，并提出了很多宝贵的意见，对此作者一并表示感谢！

由于编者水平和时间有限，阅读的有关文献、资料和掌握的国内外信息不够全面，疏漏之处在所难免，敬请专家、同行和广大读者予以批评指正。

编 者

2008年12月于求是园

## 目 录

前言

第1章 能源与环境系统工程基础 .....	1
1.1 系统的概念 .....	1
1.2 系统工程学的发展与特点 .....	3
1.3 系统工程的方法步骤与应用领域 .....	5
1.4 环境系统问题 .....	7
1.5 我国的能源与环境现状 .....	9
1.6 生态伦理学与可持续发展 .....	14
1.7 能源与环境系统工程的任务 .....	24
思考题 .....	26
第2章 能源的开发利用 .....	27
2.1 能源的概念和分类 .....	27
2.2 人类利用能源的历史和未来 .....	29
2.3 能源利用的现状及面临的问题 .....	32
2.4 常规能源的开发和利用 .....	34
2.5 新能源和可再生能源的开发利用 .....	60
2.6 节能的途径 .....	81
思考题 .....	82
第3章 制冷技术与能源环境 .....	83
3.1 制冷技术基础 .....	83
3.2 制冷工业对环境的影响 .....	90
3.3 空调系统与能源问题 .....	97
3.4 制冷技术与人工环境 .....	104
思考题 .....	119
第4章 污染物排放控制 .....	120
4.1 水污染与控制 .....	120
4.2 大气污染与控制 .....	135
4.3 固体废物的处理与处置 .....	156
思考题 .....	165
第5章 能源与环境系统的分析和评价 .....	167
5.1 系统的分析与评价方法 .....	167
5.2 能量分析方法 .....	172
5.3 层次分析法在能源系统分析中的应用 .....	180
5.4 生命周期分析法在能源动力工程系统中的应用 .....	189
思考题 .....	192

第 6 章 能源与环境系统预测 .....	193
6.1 概述.....	193
6.2 能源需求预测.....	195
6.3 能源供应预测.....	210
6.4 能源经济预测模型 .....	212
思考题.....	214
参考文献.....	215

# 第1章 能源与环境系统工程基础

## 1.1 系统的概念

近10多年来,“系统”、“系统分析”和“系统工程”等概念越来越多地出现在各种科技文献、书籍和教材上,相关的技术也在实际生活中得到广泛的应用。在能源环境保护领域里也已经出现“能源系统工程”、“环境系统工程”等新的概论和理论。能源与环境学科是一门交叉科学,能源与环境工程要解决的问题常常与一个区域内的能源发展、技术经济水平、自然条件、环境状况和社会条件等诸多因素有关,必须对这些因素作出全面的、合理的分析,才能做出正确的决策或对策。因此,应用系统分析方法去解决能源与环境工程问题正日益受到重视,并愈来愈显示出系统分析方法的技术经济效益。

### 1.1.1 系统的定义和特点

#### 一、系统的定义

“系统”是由相互作用和相互依赖的若干组成部分按一定规律结合而成的、具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所属的一个更大系统的组成部分。

#### 二、系统的特点

(1) 整体性。系统是由两个或两个以上的可以相互区分的要素按照作为系统整体所应具有的综合整体性而构成的。系统具有集合性,它是为达到系统基本功能要求所必须具有的组成要素的集合。构成系统的各要素虽然具有不同的性能,但是整体的功能并不是它们的简单集合。各要素是根据逻辑统一性的要求去构成整体的,从而使得整体所具有的功能能够远远超过各要素性能的相加。如发电厂是由锅炉、汽机、发电机、风机、水泵、给煤设备、烟气净化设备等组成的整体。

(2) 关联性。系统内各要素之间是有机联系、相互作用的,存在着某种相互关联、相互制约的特定关系,系统的整体功能即是通过这些关系来实现的。这种关联是具有一定规律的。如发电厂中锅炉、汽机、发电机、风机、水泵、给煤设备、烟气净化设备等相互连接,相互制约。

(3) 目的性。作为一个整体的实际系统是为了完成一定的任务,或要达到一个或多个目的而存在的,这种任务或目的决定着系统的基本作用和功能。尤其是人所创造或改造的系统,总是具有特定功能的,各单元是按一定目的组织起来的。当以最高水平完成了特定的任务或实现了预期的目的时,就可以说实现了系统优化。如由很多设备组成的发电厂的目的是达到可靠、稳定、高效运行。

(4) 环境适应性。任何一个系统都存在于特定的物质环境之中,要与外界环境产生物质的、能量的和信息的交换,外界环境的变化必然会引起系统内部各要素之间的变化。系统必须适应环境的变化。如发电厂发电、煤、水供应以及污染物排放都受周围环境制约,要适应环境的要求。

### 1.1.2 系统的分类

世界上的系统千差万别，可以从不同的角度将它们分为不同的类别。

#### 一、自然系统与人工系统

自然系统，如天体、海洋、生态系统等。人工系统都是存在于自然系统之中的，如人造卫星、海运船只、机械设备等。人工系统和自然系统之间存在着一定的界面，两者相互影响和渗透。近年来，人工系统对自然系统的不良影响已成为人们关注的重要问题，如环境污染等。

自然系统是一个高阶复杂的均衡系统，如季节周而复始的变化形成的气象系统、食物链系统、水循环系统等。自然系统中的有机物、植物与自然环境保持了一个平衡态。在自然界中，物质流的循环演变是最重要的，自然环境系统没有尽头、没有废止，只有循环往复，并从一个层次发展到另一个层次。

原始人类对自然系统的影响不大，但近百年来，科技发展很快，各种人工系统发展迅猛，它既造福于人类，又带来危害甚至灾难，引起了人们极大的关注。例如，埃及阿斯旺水坝是一个典型的人工系统，水坝解决了埃及尼罗河洪水泛滥问题，但也带来一些不良影响，如东部的食物链受到破坏，渔业减产；尼罗河流域土质盐碱化加快，发生周期性干旱，影响了农业生产；由于河水污染使附近居民的健康也受到影响等。但如能运用系统工程的方法全面考虑、统筹安排，有可能得到一个既解决洪水问题又尽量减少损失的更好方案，都江堰水利工程就是一个很好的例子。都江堰水利工程在四川都江堰市城西，是全世界至今为止，年代最久、唯一留存、以无坝引水为特征的宏大水利工程。它主要由鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道、宝瓶口进水口三大部分构成，科学地解决了江水自动分流、自动排沙、控制进水流量等问题，消除了水患，使川西平原成为“水旱从人”的“天府之国”。它具有两千多年的历史，至今仍被使用，仍发挥着巨大效益，真所谓“李冰治水，功在当代，利在千秋”。

系统工程所研究的对象，大多是既包含人工系统又包含自然系统的复合系统。从系统的观点讲，对系统的分析应自上而下地而不是自下而上地进行。如研究系统与所处环境，环境是最上一级，先注意环境对系统的影响，然后再进行系统本身的研究，系统的最下级是组成系统的各个部分或要素。自然系统常常是复合系统的最上一级。因此，在建设任何人工项目时，首先应该考虑对环境的影响。

#### 二、实体系统与概念系统

从系统构成要素的方式来看，系统可以分为实体系统和概念系统。实体系统是指以矿物、生物、机械、能量和人等实体为构成要素所组成的系统，如机械系统、计算机系统等。概念系统是指以概念、原理、原则、方法、制度、程序等非物质实体为构成要素所组成的系统，如管理系统、教育系统、国民经济系统等。

在实际生活中，实体系统与概念系统往往是结合起来的，实体系统是概念系统的物质基础，而概念系统又为实体系统提供指导和服务。如一个企业管理系统的好坏是一个企业能否正常运转、不断发展的关键。

#### 三、开放系统与封闭系统

从系统与环境的系统来看，可以将系统分为开放系统和封闭系统。开放系统是指与外部环境有物质、能量和信息交换的系统，如教育系统、企业系统等。封闭系统是指与外部环境无关的系统。实际上，没有绝对的封闭系统，只是有时把与环境联系较少、相对独立的系统看作封



闭系统。而且,随着信息化的发展,企业的发展只有更加开放和透明化,才能适应市场的变化。

#### 四、静态系统与动态系统

从系统的状态是否随时间变化来考虑,可将其分为静态系统和动态系统。静态系统是指决定系统特性的因素不随时间推移而变化的系统。人类系统、企业系统都是动态系统,人体内的温度、血压以及其他参数,企业的供、产、销等各个环节实际上均处于经常的变动之中。

#### 五、可控系统和不可控系统

从系统和人的关系上看,凡是人能够改变其状态的系统都称为可控系统,反之称为不可控系统。大多数人工系统是可控的或在某种程度上是可控的系统,而大多数自然系统是不可控的系统。企业管理系统一般来说是不完全可控的系统。

#### 六、按对象划分的各种系统

按研究对象的不同,系统可以划分为物质、生产、作业、过程、管理、社会、工业、农业、交通、通信、能源、环境等系统。

## 1.2 系统工程学的发展与特点

### 1.2.1 系统工程学的发展

系统工程学 20 世纪 40 年代产生于美国,60 年代基本形成体系。半个世纪以来,其发展大体经历了三个阶段。

#### 一、萌芽阶段(~1956 年)

在古代,人们就有了系统工程思想的萌芽。我国战国时期的都江堰水利工程就孕育着系统工程的一些思想。20 世纪初,美国的泰罗系统从合理安排工序、提高工作效率入手,研究管理中时间的关系,探索管理科学技术的基本规律,到了 20 世纪 20 年代逐步形成“工业工程”。20 世纪 40 年代后,运筹学进入管理领域,有了具体分析一个系统的方法和定量处理系统内部关系的数学理论,科学的系统工程便应运而生。20 世纪 50 年代电子计算机投入使用,为系统工程提供了强有力的工具。1940 年美国贝尔电话公司第一次提出了“系统工程”这一名称,并提出了一套系统工程的方法。1957 年,第一本系统工程的专著出版。

#### 二、发展阶段(1957~1964 年)

这一阶段系统工程学的理论和方法得到进一步的发展。

1957 年,美国密执安大学的哥德(H.Goode)和麦克霍尔(R.E.Machol)合著的《系统工程》一书出版。该书对系统工程的理论和方法作了初步阐述。

1958 年美国海军特种计划局在研制北极星导弹过程中,为缩短研制时间,运用网络理论,创造性地提出了计划评审技术(PERT)。由于采用了 PERT 进行计划和控制,结果使研制任务提前两年完成,PERT 也成为系统工程的一种重要方法。

1963 年美国亚利桑纳大学设立了工程系,其他许多院校也都设立了工程专业或研究中心。从 1964 年起,美国每年都举行系统工程年会,并出版刊物。系统工程开始成为一门独立的学科。

#### 三、基本成熟和发展阶段(1965 年至今)

这一阶段系统理论逐步完善,且应用范围不断扩大,并在社会各个实践领域得到普及。

1965 年美国出版了《系统工程学手册》,较完整地阐述了系统工程理论、系统技术、系

环境、系统元件（要素）等内容，这是系统工程基本成熟的一个重要标志。

1969年美国“阿波罗”宇宙飞船登月计划的成功，是运用系统工程取得显著成果的典范，显示了系统工程的巨大威力。“阿波罗”登月计划的全部任务由地面、空间和登月三部分组成。全国有42万人，120所大学和研究所，2万家企业参加了该计划。制作的零部件近300多万个，耗资300亿美元，历时11年之久。在规划和实施这项计划中，采用了网络计划技术、系统分析等系统工程方法，并使用电子计算机进行各种模拟或仿真。这项计划最大限度地实践了系统工程，在系统工程发展史上写下了辉煌的一页。

在“阿波罗”登月计划的影响下，1972年在维也纳成立了“国际应用系统分析研究所”（IIASAS）。该研究所的主要任务是研究世界人口、资源、能源、环境保护和国土开发等课题。它表明系统工程已发展成为解决世界范围的大系统问题的技术。

随着系统工程的迅速普及，它的许多方法和技术，如网络计划、线性规划、库存管理和决策技术等，得到了广泛的应用。同时，它的应用范围也不断扩大，涉及人口、农业、能源、区域规划、军事、交通运输、生态环境、企业管理、人才与教育规划等许多方面并取得了显著的效果。

### 1.2.2 系统工程学的定义和特点

一般认为，系统工程学是对系统进行合理规划、研究、设计和运行管理的思想、步骤、组织和技巧等的总称。它以系统（尤其是大型复杂系统）为对象，运用系统思想、观点和方法，根据总体协调的需要，把自然科学和社会科学中的思想、理论、方法、策略和手段有机地联系起来，以系统理论为基础，以现代数学和电子计算机为手段，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等进行分析、设计、制造和服务，从而达到系统的最优设计、最优控制和最优管理的目的，以便最充分地发掘人力、物力的潜力，并通过各种组织管理技术，使局部和整体之间的关系协调配合，以实现系统的综合最优化。目前各类工程系统都正在形成各自的系统工程学，如环境系统工程、能源系统工程和管理系统工程等。

系统工程学从选择目标开始就是为了求得一个最优或准优的综合系统。它的主要特点可以概括为以下三个方面。

（1）研究方法的整体性。它要求既要把研究对象看作一个整体，也要把研究对象的过程看作为一个整体。从整体与部分、整体与环境相互联系、相互制约、相互依赖的关系中揭示研究对象的性质和运动规律。

（2）处理问题的综合性。这种综合性包括以下几方面的内容：一是系统目标的多样性与综合性，要统筹兼顾、综合考虑，而不能顾此失彼。二是处理问题时要全面综合考虑某项措施可能产生的多方面后果，防患于未然。如我国南方的一些农村，因为能源短缺，有的地方就大量砍伐树木和采伐草根作燃料，由此导致了水土流失、气候失调等一系列严重后果，甚至陷入恶性循环，使本来短缺的能源更加短缺。所以，每采取一项措施，必须全面综合考虑其相互影响或连锁效应，以防发生不良后果或造成重大损失。三是综合利用多种技术，形成新的技术综合体。一个大型复杂系统，往往是一个技术综合体，需要多方面的技术，仅靠某一个领域的技术是不够的。系统工程尤其强调综合运用各个学科和技术领域内的成就，使各种技术相互配合以达到系统整体最优。

（3）组织管理上的科学化和现代化。系统工程的整体性和综合性客观上要求管理的科学化和现代化。没有管理上的科学化和现代化，就难以实现研究方法的整体化和处理问题的综

合化，也就不可能充分发挥系统的效能。

### 1.3 系统工程的方法步骤与应用领域

#### 1.3.1 系统工程的方法与步骤

通常情况下，把系统工程思考问题和处理问题的方法称为系统方法。它是在深入研究系统概念、系统的基本组成和性质的基础上，把研究对象作为系统来考虑进行分析、设计、创造和运用的基本思想方法。这种方法的实质就是运用系统思想和各种数学方法以及电子计算机工具来实现系统的模型化和最优化，以此进行系统分析和设计。系统工程思考问题和处理问题时是按一定的工作程序进行的。系统工程三维结构是由美国贝尔电话公司的霍尔于1969年提出的。系统工程的三维结构如图1-1所示。它概括了系统工程的工作步骤和阶段，以及它所涉及的各种专业知识。它为了解决规模较大、结构复杂、涉及因素众多的系统，提供了一个统一的思考方法。

三维结构中的时间维，表示系统工程工作的各个阶段。一般分为以下各阶段：

(1) 规划阶段。按客观需要，探索应建立什么样的系统，提出建立这个系统的目的，制定出系统工程活动的规划。

(2) 拟定方案。提出具体的计划方案。

(3) 研制阶段。根据拟定的方案进行系统研制，并制定出生产计划。

(4) 生产阶段。生产和加工出系统的全部零部件，并提出安装计划。

(5) 安装实验阶段。把制定的零部件按照计划组装成系统，并完成调试工作。

(6) 运行阶段。系统按照预定的功能投入使用。

(7) 更新阶段。根据系统运行情况，对原系统不断地进行改进，或取消旧系统以新系统代之。

三维结构中的逻辑维，亦称思考过程，是指实施系统工程的每一个工作阶段所要经历的步骤。它也是运用系统工程方法进行思考、分析和处理问题时遵循的一般程序。思考过程的一般顺序如下：

(1) 摆明问题。按系统的观点，弄清需要解决什么问题，希望达到什么要求，尽量全面地收集有关要解决问题的历史、现状和发展趋势的资料和数据。

(2) 系统指标设计。提出所解决问题希望达到的目标，并制定出衡量是否达到目标的评价指标。

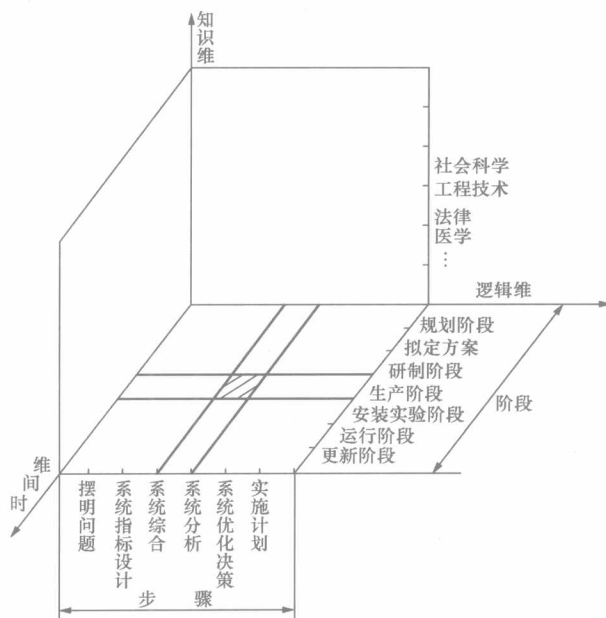


图 1-1 系统工程的三维结构

(3) 系统综合。按照问题的性质和系统目标的要求, 提出若干个替代方案, 对每个替代方案都列出其费用、资源消耗、功能等指标, 并说明其优缺点。

(4) 系统分析。通过建立模型, 把所有替代方案与系统的评价指标联系起来, 以便对这些方案进行分析比较。

(5) 系统优化。精心选择方案中的参数, 使各替代方案都尽量均衡地满足系统, 实现评价指标最优。

(6) 决策。根据系统优化的结果, 选出最优方案。若最优方案有多个时, 进一步考虑一些定性目标, 最后决策出一个或几个方案。

(7) 实施计划。根据最后选定的方案, 拟定具体的实施计划, 并组织实施, 如果实施中遇到问题, 则需返回到相应的步骤, 不断修改, 直到完善为止。

三维结构中的知识维, 是指为完成上述各阶段、各步骤的工作所需要的各种专业知识和技术知识。霍尔把这些知识分成工程、医学、建筑、商业、法律、管理和社会科学艺术等。钱学森教授认为: “系统工程的理论基础, 除了共同性的基础之外, 每门系统工程又有各自的专业基础。这是因为对象不同, 当然要掌握不同对象本身的规律。例如工程系统工程要靠工程设计, 军事系统工程要靠军事科学等。”

系统工程横跨自然科学、数学、社会科学、技术科学和工程技术。发展系统工程需要各方面的科学技术工作者的通盘合作和大力协同。在运用系统工程解决问题时, 非常强调组成综合学科小组, 由各种学科的专家、有经验的工人和领导参加, 共同讨论研究并解决问题。

### 1.3.2 系统工程的应用领域

系统工程的应用几乎遍及工程技术和社会经济的各个方面。系统工程学的应用领域见表 1-1。

表 1-1 系统工程学的应用领域

工业系统	生产过程系统	最优设计、最优控制、过程模拟、分级控制、自动启动……
	网络系统	交通、电力、环境监测、排水、安全回路、分配网络、情报网络……
	其他	机场管理、宇宙开发、建筑、区域供冷暖气、工业用机器人……
管理系统	经营	经营管理、经营模型
	计划	计划、规划、预算系统、调度……
	信息管理	信息检索、生产、研究、销售、库存管理系统……
服务系统	预约服务	铁路、飞机订座、旅馆预约……
	银行证券业务	联机自动化……
	邮局	自动分检……
社会系统	经济	经济模型、流通机构、资源分配……
	国土	地区开发、城市规划、环境保护……
	教育	教育组织、教育机构……
	国防	半自动化地面防空系统……
人体系统	生理、病理	分析、模拟……
	脑、神经、心理	思维模型、神经细胞模型、人工智能、对策模拟……
	医疗	自动诊断、医院自动化……
	人工器官与肢体	假手、假脚、人造内脏……

续表

自然系统	气象	天气预报、防洪措施
	地震、火山	防灾系统……
	农业、林业	规划、生态学、自动化
	河流、海洋、土地	水库水量调节、水资源利用、土地资源利用、海洋开发……
工程项目 管理系统	规划	总体设计, 可行性研究, 国民经济评价
	建设	工程进度管理, 工程质量管理
	维护	风险分析, 可靠性分析
运输系统	综合	优化模型, 效益分析, 能源规划
	铁路	运输规划, 调度系统
	公路	设计规划, 调度系统
	航运	航运规划, 调度系统
	空运	空运规划, 调度系统

## 1.4 环境系统问题

### 1.4.1 环境的概念

在不同的研究领域, 对于环境范畴的划分是有差异的。《中华人民共和国环境保护法》中明确指出: “本法所称环境, 是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体, 包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜、城市和乡村等。”在这里, 自然因素的总体有两个约束条件: 一是包括了各种天然的和经过人工改造的所有因素; 二是并不泛指人类周围的所有自然因素, 如整个太阳系、银河系等, 而是指对人类的生存和发展有明显影响的自然因素的总体。

如果以构成环境因素的性质为依据进行分类, 则可把环境分为自然环境、人工环境和社会环境三个部分。自然环境是指自然界原有的山、河、地形、地貌、植被以及一切生物体所构成的系统, 是环绕着人类社会的自然界。这些自然因素是人类赖以生存和发展的物质基础, 它们始终是按照自然规律在发展变化。人工环境是指人工所创造的实体物质环境, 包括建筑物、构筑物及其他形式所构成的地域空间, 人工环境中的各种物质因素相互联系、相互制约、相互依存, 形成了人工生态系统。人工环境中的一些因素发生变化也会引起其他因素的连锁反应, 甚至使人工生态失衡, 丧失人工环境应有的功能。社会环境是人类创造的非实体环境, 由社会结构、生存方式、价值观念和历史文化传统等构成的整个社会文化体系, 它存在于人们的思维中, 反映在社会生活的各个方面, 又反作用于自然环境和人工环境。

自然环境、人工环境和社会环境相互联系、相互影响、相互依存, 共同组成人类的生态环境。自然环境支撑、调节、涵养人工环境和社会环境, 以适应人类生活和生产的需要。如果自然环境恶化, 会破坏人工环境和社会环境, 以致造成难以弥补的损失。自然环境并非全是人类最理想的生存环境, 它有赖于人工环境的美化、衬托、补充, 使之更利于人类的生活和生产。但是, 人工环境的不适当建造和发展, 也会损害自然生态, 直接或间接地危害人类的生存和发展。

近些年来，人们对环境问题有了更深的认识。二三十年前人们对环境问题的认识还局限在对环境污染的认识上，因此，那时把环境污染等同于环境问题，而对地震、水、旱、风灾则认为全都属于自然灾害。而现在人们已经认识到自然灾害发生频率的激增，与人类对环境的破坏是密切相关的。

从引起环境问题的根源讲，可将其分为第一环境问题和第二环境问题两类。所谓第一环境问题是指由于自然力引起的环境问题，亦称原生环境问题，如火山爆发、地震、台风、洪水旱灾、地方病等自然灾害。第二环境问题是指由于人为因素所引起的环境问题，亦称次生环境问题。第二环境问题一般可分为三种：一是不合理开发利用资源，超出环境承受能力，使生态环境质量恶化或自然资源枯竭的现象，如大面积砍伐森林，造成水土流失；过度放牧造成草原沙漠化；过度抽取地下水，造成地层下沉和水源枯竭等。二是工业“三废”大量排放到环境中，破坏了原有的生态平衡，致使环境遭受污染和破坏。三是由于上述原因造成生物资源的破坏，而导致生物多样性丰富度的下降，大量物种灭绝或处于濒危境地。

应当指出，第一环境问题和第二环境问题往往是难以截然分开的，它们常常相互影响、相互作用。

### 1.4.2 大环境系统问题

如果我们从整个地球的角度来看环境问题，可以用图 1-2 那样的框图来表示人类的活动与地球上的自然环境之间的相互关系，这也就是大环境系统示意图。图中每一个方框都表示一个子系统，带有箭头的连线表示各个子系统之间的相互关系。以下简要介绍一下水域、大气和生态系统与人类活动的关系。

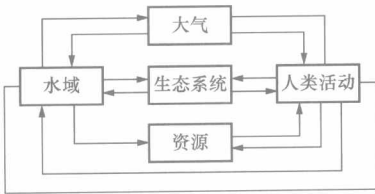


图 1-2 大环境系统示意图

(1) 水域。水域是一个与人类活动直接有关的子系统。目前地球上可利用的水资源是有限的，人类生产生活需要清洁的水，同时排出被污染了的水，从而使得有限的水资源（特别是淡水资源）日趋紧张。同时人类的活动使大气受到污染而形成酸雨，间接地危害天然水体的水质。除了直接影响人类的生产和生活外，水质的恶化也正在逐渐地改变一些地区的生态平衡。

(2) 大气。大气和水一样是人类生活所不可缺的，也是陆上生物生命活动所不可缺的。然而，人类开发天然资源，特别是利用化石燃料，发展化学工业等，对大气的组成和它的物理化学特性造成不可挽回的影响，不同程度威胁着人体健康、人类所建造的各种建筑物的寿命，及其在地球上的生态平衡。

(3) 生态系统。生态系统是由动物、植物和人类在环境中组成的复合体。人类开发森林、利用水力资源、建设城市、挖掘矿藏、施用农药和化肥等各种活动，每时每刻都在干扰着这个生态系统的平衡。生态平衡的破坏又反过来给人类带来水土流失、洪水泛滥、森林草原的沙漠化等灾害。

综上所述，地球上的环境问题是全球性的动态平衡问题。环境保护就是要设法采取一系列的控制措施以使这个平衡不被恶性破坏。显然，这样大规模的系统问题，必须充分运用系统工程学的理论和方法来研究。

## 1.5 我国的能源与环境现状

### 1.5.1 世界一次能源的消耗状况

目前,人类能源资源主要是油、煤、天然气、核能、可再生能源等几类构成,其中以油、煤、天然气等化石燃料为主。2006年世界前10位能源消费国家的一次能源消费量和全世界消耗的总量见表1-2。从表中可以看出,在全球108.78亿t油当量的总消耗量中,石油占据第一位,达35.8%;煤炭占28.4%;天然气占23.7%;化石燃料总达87.9%;核能占5.8%;水电占6.3%。化石燃料占有绝对重要的地位,而除石油之外,煤炭是第二位重要的能源。从国家和地区来看,这一分布也很不平衡,世界前10位能源消费国家消耗的能源占全球能源消耗的64.5%,其中美国一个国家就消耗了全球约1/4的能源。从表中可以看出,中国人均GDP能耗是发达国家日本的10多倍。

表1-2 世界前10位能源消费国家的一次能源消费量和全世界消耗总量

国家	合计 (百万t油当量)	石油 (%)	天然气 (%)	煤炭 (%)	核能 (%)	水力等 (%)	人均GDP能耗 (t标准煤/美元)
美国	2 326.4	40.4	24.4	24.4	8.1	2.8	2.62
中国	1 720.7	21.1	3.0	69.7	0.7	5.5	13.56
俄罗斯	704.9	18.2	55.2	16.0	5.5	5.6	
日本	520.3	45.2	14.6	22.9	13.2	4.1	1.6
印度	423.2	28.4	8.5	56.2	2.1	6.0	8.47
加拿大	322.3	30.7	27.0	10.7	6.9	24.6	
法国	262.6	35.3	15.5	5.0	38.9	5.3	
德国	328.6	37.6	23.9	25.2	22.5	1.9	1.72
英国	226.6	36.3	36.1	19.2	7.5	0.8	
全世界	10 878.5	35.8	23.7	28.4	5.8	6.3	

注 数据来源为BP Statistical Review of World Energy, June 2007。

全球经济的发展推动着能源消耗的增长。国际能源署预计今后的30年,能源需求将增加70%,其中大部分的增长将来自发展中国家。由于各种形式的能源生产都各有其优缺点,多种形式能源资源相互补充的能源结构形式是能源消耗的发展方向,但由于能源资源及技术发展状况,今后相当长的时间内化石燃料依旧是能源主要资源,而可再生能源、核能等资源所占比例有限。

图1-3和图1-4所示为国际能源署预测的2010年和2030年时的全球能源消费结构。从图中可以看出,即使到2030年,化石燃料依旧占有80%的比例。毫无疑问煤将继续作为主要的能源资源,随着其他一次性资源的枯竭,在一次性能源结构中保持一定的比重而不会降低,预计到2030年煤炭还将占世界能源资源比例的22%。其主要原因如下:

(1) 与石油、天然气相比,煤资源储量要丰富得多。表1-3给出了2007年全球探明的各化石燃料的储量及按2007年的消耗量计算的可供应年限。从表中可以看出,煤资源的储量相当于油和天然气总量的2倍。按目前的消耗量,石油和天然气的供应年限远小于煤,而且,煤的探明储量还在不断增加。因此在可预见的未来,煤炭仍将是世界上最重要的能源资源。

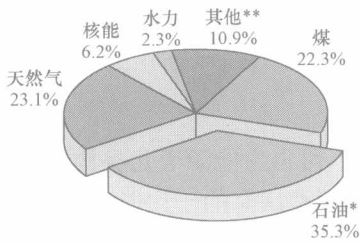


图 1-3 预测 2010 年全球能源消费结构

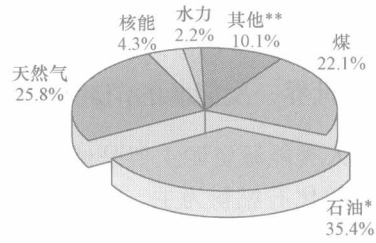


图 1-4 预测 2030 年全球能源消费结构

表 1-3

2007 年全球化石燃料的储量和消耗量

	煤	石油	天然气
已探明可开采储量	8474.88 亿 t	1686 亿 t	177.36 万亿 m <sup>3</sup>
年产量	63.956 亿 t	39.06 亿 t	2.94 万亿 m <sup>3</sup>
年消费量	64.81 亿 t	39.53 亿 t	2.92 万亿 m <sup>3</sup>
可供应年数	132.5 年	43.2 年	60.3 年

(2) 煤炭资源有利于能源结构的安全。煤炭资源的开采不易引发地质或安全问题；煤炭比较容易从国际市场上获得；煤炭不需要高压输送管道，而且容易储存；以煤为燃料的电力生产不像风力发电和水力发电受气候影响。

(3) 煤炭资源不仅是约 39% 电力的资源，同时也是 70% 钢铁生产的原料。

(4) 煤炭是廉价的能源，是许多发展中国家用得起的能源。与其他能源相比，煤炭具有明显的成本优势。在所有化石能源中，煤炭是最经济的一种能源，同等的发热量，用煤炭的成本只相当于用油的 30%、天然气的 40%。专家预测到 2010 年，使用石油、天然气的成本将是煤炭的 8 倍，甚至更高。

(5) 世界上有许多国家的能源资源都以煤为主，包括美国、中国、南非、澳大利亚、德国、波兰、印度等。

(6) 目前，世界各国都很重视煤炭利用技术的研究和开发，高效低污染的煤炭利用技术的开发和应用将为煤炭利用解决主要障碍。

### 1.5.2 我国的能源结构

我国是一个富煤、贫油、少气的国家，即是一个以煤炭为主要能源资源的国家。中国已探明能源资源总量 8 231 亿 t 标准煤，能源资源总储量的构成为：原煤 87.4%、原油 2.8%、天然气 0.3%、水能 9.5%。其中探明可经济开发的剩余可采总储量为 1 392 亿 t 标准煤，能源剩余可采总储量的构成为：原煤 58.8%、原油 3.4%、天然气 1.3%、水能 36.5%。已探明的煤炭储量占世界煤炭储量的 33.8%，可采量仅次于前苏联和美国，居世界第三位。

与我国能源资源相对应，我国的能源结构也以煤为主。煤炭在我国一次性能源结构中一直处于主导地位，20 世纪 50 年代煤炭消耗占全部能源的比例曾高达 90%。随着大庆油田、渤海油田的发现和开发，一次性能源结构才有了一定程度的改变。目前，我国煤产量位居世界第一位，出口量仅次于澳大利亚，居世界第二位。表 1-4 为我国的能源消费结构，表明煤炭占了我国能源结构中的 70% 左右。我国发电的能源构成及其预测如表 1-5 所示。从表中



可以看出,煤炭在电力生产中所占的比例更高,约占78%左右。

表 1-4 我国能源消费结构

年 份	能源消费量 (百万 t 标准煤)	煤炭 (%)	石油 (%)	天然气 (%)	水电等 (%)
2000 年	1 303	66.1	24.6	2.5	6.8
2001 年	1 432	65.3	24.3	2.7	7.7
2002 年	1 518	65.6	24.0	2.6	7.8
2003 年	1 750	67.6	22.7	2.7	7.0
2004 年	2 032	67.7	22.7	2.6	7.0
2005 年	2 225	68.9	21	2.2	7.2
2006 年	2 425	69.7	21.1	3.0	6.2

表 1-5 我国发电的能源构成及其预测 (%)

	2000 年	2010 年	2020 年
煤	77.9	75.5	72.5
油	3.3	2.23	1.53
天然气	1.4	3.24	6
水电	16	14.6	14.8
核电	1.22	3.9	4.7
其他可再生能源	0.1	0.4	0.46

我国既是能源生产大国,也是能源消费大国。从总量来看,我国的能源生产和消费基本平衡。2005年我国一次能源的自给率达到92.8%,进口依存度仅为7.2%。但受到资源的影响,我国主要一次能源的供需结构很不平衡。我国主要能源进出口数量如表1-6所示。从表中可以看出,2005年原油和成品油的进口数量分别达到11875万t和1742万t,石油依存度超过40%。我国石油依存度的迅速上升使我国能源安全形势日趋严峻。

表 1-6 我国主要能源进出口数量 单位:万 t

年 份	原油净进口	成品油净进口	煤炭净出口	焦炭出口
2000 年	5 996	978	5 293	1 520
2001 年	5 271	1 226	8 763	1 385
2002 年	6 220	966	7 303	1 357
2003 年	8 289	1 442	8 312	1 472
2004 年	11 723	2 642	6 805	1 501
2005 年	11 875	1 742	4 551	1 276

根据有关统计资料(见表1-7),到2007年年底,煤炭探明储量为1145亿t,占世界总量的13.5%,居第三位,可供开采年数为45.1年,远低于世界平均的132.5年。石油探明储量为21亿t,占世界总量的1.2%,居第十三位,可供开采年数为11.2年,低于世界平均的43.2年。天然气探明储量为18800亿m<sup>3</sup>,占世界总量的1.1%,居第十七位,可供开采年数为27.1年,低于世界平均的60.3年。随着我国经济的快速发展,能源消耗也将进一步增加。因此,