

Jianzhu
Jieneng Gailun



建筑 节能概论

张志刚 常茹 李岩 主编



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

全国高等学校教材

建筑节能概论

张志刚 常 茹 李 岩 主编



内 容 提 要

本书包括绪论和十章内容,主要介绍了建筑节能的含义与意义、建筑节能途径与措施、建筑节能标准与法规,建筑节能原理与方法,保温隔热(绝热)材料,建筑围护结构节能技术,照明节能技术,节能型建筑设备系统,建筑设备系统的运行节能,热源及供热系统节能技术,可再生能源在建筑中的利用,分布式能源等。侧重于工程实际应用,图文并茂,取材广泛,内容较为翔实,深入浅出,实用性较强。

本书可作为土木工程、建筑学、景观建筑设计、热能与动力工程、安全工程、建筑环境与设备工程、电气工程等专业的教材和参考书,还可供相关专业工程技术人员及从事房地产开发、施工与运行管理人员、室内装饰、物业管理等人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑节能概论/张志刚,常茹主编. —天津:天津大学出版社,2011.9

ISBN 978—7—5618—4183—9

I. ①建… II. ①张…②常… III. ①建筑—节能
IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 214680 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022—27403647 邮购部:022—27402742

网 址 <http://publish.tju.edu.cn>

印 刷 河北省昌黎县第一印刷厂

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm×260mm

印 张 17.5

字 数 437 千

版 次 2011 年 10 月第 1 版

印 次 2011 年 10 月第 1 次

印 数 1—3000

定 价 35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

能源是发展国民经济、改善人民生活水平的重要物质基础。自 20 世纪 70 年代爆发全球性能源危机以来,世界各国相继开展了能源的综合利用与节约工作,掀起了节能的高潮。在社会总能耗中,建筑能耗已成为一个国家总能耗的重要组成部分,建筑节能的重要性越来越引起人们的关注。建筑节能是贯彻可持续发展战略、实现国家节能规划目标、减排温室气体的重要措施,符合全球发展趋势。

我国是一个发展中国家,人口众多,人均能源资源相对匮乏。随着全面建设小康社会的逐步推进,建设事业迅猛发展,建筑能耗迅速增长。国民经济要实现可持续发展,推行建筑节能势在必行。我国政府极其重视建筑节能工作,各相关科研单位在建筑节能领域中做了大量的工作,取得了很多科研成果。

本书在编写过程中参照了国家有关现行法规和标准,力求在内容上能够全面地覆盖当前建筑节能领域的研究内容及最新研究成果,体现全书内容的系统性和实用性特点。本书可供从事本学科领域的教学、设计、生产的科技和管理人员及大专院校的师生作参考。

本书由天津城市建设学院张志刚、常茹、李岩主编,参加编写的人员有张志刚(第 1 章)、李军(第 2、6、10 章)、常茹(第 3、4、5、9 章)、李岩(第 7、8 章),全书统稿工作由常茹完成。香港理工大学屋宇设备工程学系杨洪兴教授、天津市人防建筑科研设计院副总工程师向天游教授级高工审阅了本书并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。另外,天津城市建设学院能源与机械工程系研究生李艳、刘丽玉、张伟、李文博、刘贤崇、鲁丹、张灿、寥城、段月强、陈浩、满虹等参与了收集资料和绘制插图等工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免会存在不当和错误之处,恳请广大读者给予评判指正,并提出宝贵意见,以便再版时进行补充和修正。

编者

2011 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑节能的含义与意义	1
1.2 建筑节能途径与措施	3
1.3 建筑节能标准与法规	6
第 2 章 建筑节能原理与方法	7
2.1 节能原理	7
2.2 建筑节能的方法.....	16
第 3 章 保温隔热(绝热)材料	26
3.1 绝热材料的性能及选择.....	26
3.2 纤维类绝热材料.....	34
3.3 硬质绝热材料.....	44
3.4 有机高分子绝热材料.....	50
3.5 金属反射型绝热材料和纳米孔硅质绝热材料.....	67
第 4 章 建筑围护结构节能技术	71
4.1 外墙的节能措施.....	71
4.2 屋顶的节能措施.....	80
4.3 外窗的节能措施.....	88
4.4 地面的节能措施.....	92
第 5 章 照明节能技术	95
5.1 照明光源.....	95
5.2 照明灯具及其启动设备.....	97
5.3 照明控制系统.....	99
5.4 绿色照明与环保	109
第 6 章 节能型建筑设备系统	112
6.1 热泵系统	112
6.2 蓄能系统	119
6.3 太阳能系统	130
第 7 章 建筑设备系统的运行节能	140
7.1 供热系统	140
7.2 制冷系统节能运行	149
7.3 空调系统节能运行	169
7.4 用户末端运行节能	177
第 8 章 热源及供热系统节能技术	190
8.1 锅炉房与换热站	190

8.2 节能型采暖系统——辐射采暖 193

8.3 热电联产 202

第 9 章 可再生能源在建筑中的利用..... 211

9.1 太阳能 211

9.2 风能 245

9.3 地热能 247

第 10 章 分布式能源 255

10.1 概述..... 255

10.2 热电冷联供系统形式..... 256

10.3 分布式能源系统的发展前景及应用..... 264

附录..... 268

参考文献..... 271

第 1 章 绪 论

能源是整个世界发展和经济增长的最基本的动力，是人类赖以生存的物质基础。自工业革命以来，能源安全问题就开始出现。在全球经济高速发展的今天，能源安全问题已上升到了国家高度，各国都制定了以能源供应安全为核心的能源政策。此后 30 多年里，在稳定的能源供应支持下，世界经济规模取得了较大增长。但是，人类在享受能源带来的经济发展、科技进步等利益的同时，也遇到一系列无法避免的能源安全挑战，能源短缺、资源争夺以及过度使用能源造成的环境污染等问题威胁着人类的生存与发展。

那么，什么是能源呢？

能源是指可以直接获取能量或经过加工转换获取能量的各种资源。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称为一次能源，包括煤炭、原油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、地热能、生物质能等。将一次能源经加工改变其形态的能源产品称为二次能源，包括电力、热力、各种石油制品、氢能、沼气等。

当今世界中，能源的发展，能源和环境，是全世界、全人类共同关心的问题，也是我国社会经济发展的重要问题。

1.1 建筑节能的含义与意义

能源问题是当今世界各国普遍重视的问题，被公认为人类面临的四大生存问题之一。而在能源消耗中，作为人类活动基本场所的建筑，其使用过程中所消耗的能量，称为建筑能耗，包括采暖、空调、通风、热水、炊事、照明、家用电器、电梯和建筑相关设备等方面能耗，目前这部分能耗在社会总能耗中占有很大的比例：对于西方发达国家，建筑能耗占社会总能耗的 30%~50%；我国建筑能耗目前已占社会总能耗的 30%左右，随着人们生活质量的改善，居住舒适度要求的提高，建筑能耗所占比例还将不断上升，并有逐步提高到 35% 的趋势。它与工业、农业、交通运输能耗并列，是主要的民生能耗。因此，节约能源便成为当今社会可持续发展的重要措施。

显而易见，就节约能源而言，建筑节能无疑是节约能源最有效的途径之一。发达国家在 20 世纪 70 年代石油危机之后都已认识到建筑节能问题的严峻性，普遍将建筑节能作为国家的基本政策。40 多年来，各国在新建建筑设计和施工、既有建筑的节能改造、建筑运行节能管理方面结合本国的能源情况，相继推出一系列建筑节能法律法规和标准，并制定了相应的监督、激励政策以保障法规和标准的有效实施，这些举措使发达国家在建筑节能领域取得了瞩目的成就。

节能是指加强用能管理，采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施，从能源生产到消费的各个环节，降低消耗、减少损失和污染物排放、制止浪费，有效、合理地利用能源。

所谓建筑节能，就是在满足居住舒适度要求的前提下，在建筑中使用隔热保温的新型墙体材料和高能效比的采暖、空调和照明设备，达到节约能源、减少能耗、提高能源利用效率

之目的。亦即通过采取合理的建筑设计和选用符合节能要求的墙体材料、屋面隔热材料、门窗、空调等措施，使所建造的房屋，与没有采取节能措施的房屋相比，在保证相同的室内热舒适环境条件下，可以提高能源利用效率，减少建筑能耗。

建筑节能具体指在建筑物的规划、设计、新建（改建、扩建）、改造和使用过程中，执行节能标准，采用节能型的技术、工艺、设备、材料和产品，提高保温隔热性能和采暖供热、空调制冷制热系统效率，加强建筑物用能系统的运行管理，利用可再生能源，在保证室内热环境质量的前提下，减少供热、空调制冷制热、照明、热水供应的能耗。

世界上“建筑节能”的概念曾有过不同的含义，自从 1973 年发生世界性石油危机以后的 30 多年里，在发达国家中，它的说法已经经历了三个发展阶段：最初被称为“建筑节能”（Energy efficiency in buildings）；但不久即改为“在建筑中保持能源”（Energy conservation in buildings），意思是减少建筑中能量的散失；近来则普遍称作“提高建筑中的能源利用效率”，也就是说，并不是消极意义上的节省，而是从积极意义上提高利用效率。在中国，现在仍然通称为建筑节能，但其含义应该进到第三层意思，即在建筑中合理使用和有效利用能源，不断提高能源利用效率。

建筑节能的范围界定，国内过去较多的说法是，包括建筑材料生产、建筑施工和建筑物使用几个方面的能耗，这种说法，将建筑用能涵盖了工业生产和民用生活的不同领域，从而与国际上通行的统计口径不符。近来，经过认真研究，大家认为，我国建筑用能的范围，应该与发达国家取得一致，即建筑能耗应指建筑使用能耗，其中包括采暖、空调、热水供应、炊事、照明、家用电器等方面的能耗。在国际上，它与工业、农业、交通运输能耗并列，属于民生能耗，一般占全国总能耗的 30% 左右。由于建筑用能关系国计民生，量大面广，节约建筑用能，是牵涉国家全局和人类前途、影响深远的大事情。

能源是发展国民经济、改善人民生活水平的重要物质基础。随着我国经济的发展，人民生活水平的提高，全国建筑能耗呈稳步上升的趋势，但我国能源生产的增长长期滞后于国内生产总值的增长速度，能源短缺是制约国民经济发展的根本性因素，加大了我国能源压力，制约着国民经济的可持续发展，因此降低建筑能耗、节约能源是发展国民经济的客观需要，建筑节能工作亦是刻不容缓的。

建筑节能是缓解能源紧缺矛盾、改善人民生活工作条件、减轻环境污染、促进经济可持续发展的一项最直接、最有效的措施，也是深化经济体制改革的一个重要组成部分。

目前，我国建筑采暖能源以煤炭为主，采暖燃煤排放二氧化碳每年约 1.9 亿 t，排放二氧化硫每年近 300 万 t，采暖期城市污染指标普遍超过标准，造成严重大气污染环境。以二氧化碳（CO₂）为主的温室气体，严重危害人类生存环境；烟尘、二氧化硫和氮氧化物也是呼吸道疾病、肺癌等许多疾病的根源，环境酸化、酸雨也是破坏森林、损坏建筑物的罪魁祸首。显然，建筑节能，可大幅度降低建筑能耗，减少有害物质的排放。提高建筑节能效果，是改善大气环境的重要措施。

适宜的室内热环境，可使人体易于保持平衡，从而使人产生舒适感。节能建筑则可改善室内环境，做到冬暖夏凉。对符合节能要求的采暖居住建筑，其采暖能耗仅为非节能建筑的一半左右，且冬季室内温度可保持在 18℃ 左右，并使围护结构内表面保持较高的温度，从而避免其结露、长霉，显著改善冬季室内热环境。由于节能建筑围护结构传热系数较小，对夏季隔热也极为有利，室内热舒适度大为提高。

我国原有建筑及每年新建建筑数量巨大，加之居住人口众多，建筑能耗占全国总能耗的30%以上，特别是高能耗建筑大量建造，建筑能耗的增长远高于能源生产的增长速度，尤其是电力、燃气、热力等优质能源的需求急剧增加，鉴于建筑用能的严重浪费，抓紧建筑节能工作将对国民经济可持续发展具有重大意义。

1.2 建筑节能途径与措施

为提高建筑使用能源的利用效率，改善居住热舒适条件，促进城乡建设、国民经济和生态环境的协调发展，住房和城乡建设部提出建筑节能的发展目标。

第一步目标：1996年以前，新建采暖居住建筑在1980—1981年当地通用设计能耗水平的基础上普遍降低30%，即节能率30%。

第二步目标：1996年起，在达到第一阶段要求的基础上再节能30%，即节能率50%。

第三步目标：2005年起，在达到第二阶段要求的基础上再节能30%，即节能率65%。

此外，对采暖地区既有建筑的节能改造，集中供热的民用建筑实行按表计量收费，新建采暖公共建筑及夏热冬冷地区民用建筑的节能等，也提出了发展目标。

建筑节能的途径可以从以下几个方面来考虑：

- ①政府出台一系列建筑节能政策、法规、规章，对建筑节能提出明确的规定和要求；
- ②制定一系列标准，形成建筑节能的标准体系，为建筑节能提供可靠的技术依据；
- ③研发建筑节能技术和产品，特别是建筑外墙、屋顶和门窗的保温隔热以及采暖系统方面的节能产品，使建筑围护结构的保温隔热性能和供热采暖系统的效率得到大幅度提高；
- ④以试点示范工作为载体，大力推广节能建筑。

目前主要采取的建筑节能措施有如下几个方面。

1. 建筑围护结构的节能

为了创造一个适宜人们生活、工作的室内环境，冬夏两季要靠采暖空调系统来维持室内温度与室外温度之间的差别。正是这个室内外的温差导致能量以热的形式流出或流入室内，采暖空调设备消耗的能量主要就是用来补充这个能量损失的。

提高建筑围护结构的保温隔热能力可以减少流出或流入室内的热量，降低采暖、空调系统的负荷，减小设备的容量，缩短系统实际运行的时间，从而达到降低采暖空调能耗。

提高外墙、屋顶的节能性能，主要是增大其热阻。现代节能建筑对墙体热阻的要求非常高，开发同时能满足承重和保温两种性能要求的墙体材料非常困难。因此，必须考虑走结构性和高效保温材料复合的技术路线，将墙体的承重层和保温层功能明确区分开来。国际上，建筑节能做得比较好的国家都是走的这条技术路线。

提高窗和玻璃幕墙的节能性能，除了降低其传热系数外，对于空调负荷比较大的建筑，提高玻璃的遮阳性能也非常重要。使用断桥铝型材、多空腔的PVC型材制作窗框、幕墙框，能够降低窗、幕墙的传热系数。使用各种中空玻璃也能够降低窗、幕墙的传热系数。透过玻璃直接进入室内的太阳辐射对空调负荷影响很大，为减少直接进入室内的太阳辐射热，可以用低透型的Low-E玻璃，也可以借助各种各样的建筑外遮阳装置。

2. 采暖空调系统的节能

采暖系统中的节能首先应该做到热源节能，改革传统供暖系统，提高调节效果，减少由于调节带来的不必要的损失是降低集中供热系统能耗的重要途径。

以煤为燃料的大型热电联产热源和大型锅炉房通过采用洁净燃烧技术，热效率高、低污染，如果大型供热系统的调节不当和调节不及时，会导致部分建筑过热，造成很大的能量损失。若使锅炉稳定在某个最佳工况，系统末端配合快速的调节方式，则可以避免调节带来的浪费，燃煤热源也可稳定运行，保证清洁与高效。

供暖系统中，60%的能耗是风机和水泵的输配能耗，这也是导致建筑能源消耗过高的主要原因。在集中供热系统中推广变频技术，根据负荷需求调节供热水流量，减少阀门能耗，不仅可以改善调节效果，同时也可以大幅降低运行费用，实现节能运行。

在我国，空调应用日益广泛、普及，空调用电占总用电量的比例不断上升，空调能耗已占总能耗的20%左右，因而空调节能意义巨大。同时，空调系统的设计及设备选型均建立在设计工况下，实际运行中空调负荷则随多种因素而变化，运行最小负荷甚至还不到设计负荷的10%，实现合理的运行调节是空调系统节能的关键。

空调节能并不是独立的，需要结合整个建筑的结构、布局、功能等方面来通盘考虑。

①在满足要求的前提下，尽量降低设计标准，在舒适度相同的情况下，根据实际情况在允许范围内调整室内温湿度的取值、考虑利用热湿环境的各个因素，都可以减少空调系统能耗。

②制冷机组选型时应根据容量大小尽量选择能效比高的机组，如螺杆式、离心式冷水机组等，此类制冷机组的能效比一般都在4.5~5.8之间。根据计算的负荷大小选择容量相同的机组，而不选用容量过大的主机。容量过大的主机不能全负荷运转，却会增加设备投资、浪费运转能耗。

③为使系统在运行中能够节能，空调系统的节能设计需根据工程具体情况对空调运行季节进行全工况、全过程的分析，使空调系统在不同的室外气象参数或室内工况下都能经济合理地运行。

④对舒适性空调而言，人的舒适感有一个较宽的范围，因而运行过程中室内参数设置不必过高。同时，合理地利用环境因素也能够节约能耗，在室外温度较低时注意房间的通风，白天采用遮阳措施，空调运行时尽量关闭门窗等都是节能的有效措施。

3. 照明动力系统节能

目前，我国照明用电量已占总用电量的7%~8%。按照我国提出的“中国绿色照明工程”，照明节电已成为节能的重要方面。节电是在保证照度的前提下，推广高效节能照明器具，提高电能利用率，减少用电量。

科学选用电光源是照明节电的首要问题。电光源发光原理可分为两类，一类是热辐射电光源，如白炽灯、卤钨灯等；另一类是气体放电光源，如汞灯、钠灯、氮灯、金属卤化物灯等。各种电光源的发光效率有较大差别，气体放电光源比热辐射电光源高得多。一般情况下，可逐步用气体放电光源替代热辐射电光源，并尽可能选用光效高的气体放电光源。

灯具的主要功能是合理分配光源辐射的光通量，满足环境和作业的配光要求，并且不产生眩光和严重的光幕反射。各类灯具中，荧光灯主要用于室内照明，汞灯和钠灯用于室外照明，也可将二者装在一起作混光照明。这样做光效高、耗电少，光色逼真、协调，视觉舒适。

选择照度是照明设计的重要问题。在满足标准照度的条件下，为节约电力，应恰当地选用一般照明、局部照明和混合照明三种方式。当一种光源不能满足显色性要求时，可采用两

种及两种以上光源混合照明的方式，这样既提高了光效，又改善了显色性。同时，充分利用自然光，正确选择自然采光，也能改善工作环境，使人感到舒适，有利于健康。充分利用室内受光面的反射性，也能有效地提高光的利用率。

加强照明用电管理是照明节电的重要方面。照明用电管理主要以节电宣传教育和建立实施照明节电制度为主，使人们养成随手关灯的习惯；按户安装电表，实行计度收费；对集体宿舍安装电力定量器，限制用电，这些都能有效地降低照明用电量。灯泡积污时，光通量可能降到正常光通量的 50% 以下；灯泡、灯具、玻璃、墙壁不清洁时，其反射率和透光率也会大大降低。为了保证灯泡的发光效果，应根据照明环境定期清洁灯泡、灯具和墙壁。

4. 可再生能源在建筑中的应用

可再生能源是指氢能、太阳能、风能、水能、生物质能、海洋能等非化石能源，随着“十一五”规划的提出和《中华人民共和国可再生能源法》的确立，中国迎来了可再生能源飞速发展的契机。住房和城乡建设部也提出以提高资源利用效率为核心，以节能、节地、节水、节材和发展循环经济以及大力推进可再生能源应用为重点，推广可再生能源在建筑领域的规模化应用，着力解决资源节约与城乡建设中的突出矛盾，努力建设节约型城镇。

具体地讲，可再生能源在建筑中的应用重点可以分成以下六个方面：一是太阳能光热在建筑中的推广应用及太阳能光电在建筑中的应用研究；二是地源热泵、水源热泵在建筑中的推广应用；三是热电冷三联供技术在城市供热、空调系统中的研究与应用；四是生物质能发电技术的研究与应用；五是太阳能、沼气和风能在村镇中的推广应用；六是垃圾燃烧在发电、供热中的应用。

可再生能源在建筑中的应用推广必将有利于缓解能源压力，减少大气污染，这同时也是节能建筑、绿色建筑的必然要求。

5. 建筑能源系统的运行管理节能

由于系统的运行管理操作不够科学与规范，可造成系统大量的能量浪费，最主要的体现在：空调的操作和管理人员缺乏专业知识；对水泵、风机的节能普遍重视不够；过渡季节不重视利用室外空气降温；冷却塔质量差，导致制冷主机耗电增加。通过以下措施可实现能源系统的运行管理节能。

①合理降低室内给定值标准。实际生活中，由于每个人对舒适感的要求标准差别很大，民用空调可有一个范围较宽的舒适区，在该舒适区范围内，夏季降温时，取较高的干球温度和相对湿度作为设定值；冬季采暖时，取较低的干球温度和相对湿度作为设定值，可以减少围护结构的传热负荷和新风负荷，从而减少处理空气所耗费的能量。

②减少新风量。从卫生要求出发，室内每人必须保证有一定的新风量，和固定新风量的情况相比较，调节新风量，冷负荷可减少到 50%~70%，热负荷可减少到近 35%，手动调节虽然没有自动调节的省能效果好，但不需要增加设备，比较简单，而且操作工作量不大。

③防止空调过冷和过热。夏季室温过低或冬季室温过高，不仅耗费能量，而且对人体舒适和健康来说也是不适宜的，故设置恒温器是十分必要的。

④改变空调设备启动、停止时间。在预冷、预热时停止取用新风；对间歇运行的空调系统，应根据围护结构热工性能、气候变化、房间使用功能及房间换气次数的多少进行预测控制，确定最合适的启动和停止时间，在保证舒适的条件下节约空调能耗。

⑤实现空调运行管理的自动化。目前在空调系统的运行中，大多数已采用分区多工况调

节方式来达到经济运行的目的，但在工况间的相互转换方面，基本上还是由运行操作人员根据运行的状况和工况转换条件进行手动转换，从而会因人为原因，而造成能量的过多损耗。建筑设备自动化系统可将建筑物的空调、电气、卫生、防火报警等进行集中管理和最佳控制，可通过预测室内、外空气状态参数以维持室内舒适环境为约束条件，把最小耗能量作为评价函数，来判断和确定所提供的冷热量、冷热源和空调机、风机、水泵的运行台数、工作顺序和运行时间及空调系统各环节的操作运行方式，以达到最佳节能运行效果。

1.3 建筑节能标准与法规

我国建筑节能工作还处在发展初期，从地域、建筑类型、围护结构与设备系统、设计施工和运行等各方面均有十分广阔的发展空间。我国从 20 世纪 80 年代中期开始重视建筑节能，1986 年建设部颁布了《民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）》，1993 年建设部又批准了《旅游旅馆建筑热工与空气调节节能设计标准》，1995 年建设部制定了《建筑节能“九五”计划和 2010 年规划》，1996 年建设部发布了《建筑节能技术政策》，1997 年建设部发布了《1996—2010 年建筑技术政策》。

国家对降低建筑能耗工作非常重视，1998 年 1 月 1 日起实施的《中华人民共和国节约能源法》（主席令 [第 90 号]，以下简称《节能法》）和《中华人民共和国建筑法》（主席令 [第 91 号]，以下简称《建筑法》），对依法推进建筑节能工作具有重要意义。1999 年，国家经济贸易委员会公布实施了《重点用能单位节能管理办法》，它是《节能法》最早的配套规章，其后有关部委陆续制定了节电、节水、能源标准管理、节能产品认证管理、资源综合利用认定管理以及铁路、交通行业的《实施节约能源法细则》。2000 年建设部发布了《民用建筑节能管理规定》；2002 年建设部发布了《建设部建筑节能“十五”计划纲要》。为了达到节能 50% 的目标，国家还颁布了《民用建筑节能设计标准》（JGJ 26—1995）、《民用建筑热工设计规范》（GB 50176—1993）、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ 134—2001）。截至 2004 年 6 月，有 20 多个省市先后颁布了总计约 70 项以《节能法》实施条例或者实施办法为主要内容的地方法规，大部分是对新建建筑执行节能标准强制性条文作出的明确规定。2005 年，建设部颁布了《民用建筑节能管理规定》、《关于新建居住建筑严格执行节能设计标准的通知》，以及 2010 年 3 月 18 日发布的《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ 134—2010）对民用建筑的建筑节能工作进一步作出了明确规定。

除了上述法律法规外，我国还制定了一些与建筑节能相关的标准。首先，新建建筑节能方面，我国现行国家标准主要集中在建筑设计领域。而建筑运行节能方面，我国已制定的国家标准主要包括用于空调通风运行管理的《GB 50365—2005 空调通风系统运行管理规范》以及用于锅炉运行管理的《GB/T 3486—1993 评价企业合理用热技术导则》、《GB/T 15317—1994 工业锅炉节能监测方法》和《GB/T 17954—2000 工业锅炉经济运行》。此外，围绕推行新型建材和进行建筑墙体改革，我国还制定了一系列新型墙材的国家和行业标准，例如《MT/T 5011—1995 节能墙体 EPS 外保温工程施工及验收规范》等。近年来，随着我国循环经济建设推进，我国又制定了《GB/T 50378—2006 绿色建筑评价标准》等一些与绿色建筑相关的标准。

由国家及地方等部门制定的建筑节能相关法律、法规、标准等一部分文件清单参见书后附录。建筑节能法规和标准的实施，保证了建筑节能工作的顺利开展，并有效地促进了相关节能技术的进步。

第2章 建筑节能原理与方法

2.1 节能原理

节能的目的是提高能量的利用效率。热能是能量的一种主要形式，成为建筑节能的主要对象。热力学第一定律和第二定律奠定了节能分析的理论基础。热力学第一定律告诉人们能量在“数量”上是守恒的，它既不会无故产生，也不会无缘消失。具体到热量和功量，它们是等价的，亦即热功当量。热力学第二定律告诉人们能量在“质量”上是有差异的，不同形式能量间的转换存在“不等价”现象。例如，机械能可以自发地全部转化为热能，而热能则只能有条件地部分转化为机械能。建立在热力学第一定律之上的能量守恒分析法和建立在热力学第二定律之上的熵分析法和㶏分析法指出了能量“浪费”的关键所在，为节约能源指明了方向和途径。

做功和传热是能量传递的两种方式。热利用在建筑的能量利用中占有较大比重，通过对热量传递规律的研究，对建筑物的围护结构、暖通空调冷热源设施等采取一定的隔热保温措施，防止热（冷）量的散失是建筑节能的一个重要方面。

2.1.1 能量分析的基本概念

1. 对能量的再认识

长期的物理现象观察和实验告诉我们：能量在不同形式之间可以转换，并且总量守恒。但同时有序能可以无条件地、完全地转换为无序能，无序能则不能自动地、完全地转换为有序能。例如，热能和机械能可以相互转换并且守恒，这通过摩擦生热和热功当量的实验已经加以证明。但是物质的热能却不能全部转换为机械能，该现象在所有的热能和机械能转换装置中均有体现。描述能量在“数量”和“质量”上的这种转换规律总结为热力学第一定律和第二定律。为了更清晰地描述能量在“质量”上的区别，引入“㶏”和“㶕”的概念。在一定的环境条件下，能量中最大限度地可转化为有用功的部分称为㶏，不可能转化为有用功的部分称为㶕。

任何能量 E 都是由㶏 E_x 和㶕 A_n 两部分组成的，即

$$E = E_x + A_n \quad (2-1)$$

不同形式的能量其所含的㶏和㶕的量是不同的。例如，机械能和电能全部是㶏，不含㶕；高于环境条件的热能既含有㶏也含有㶕；处于环境条件下的热能全部是㶕，不含㶏。即使同为热能，由于所处的状态条件不同，所含的㶏和㶕的量也不同。通常用能质系数表示能量的“质量”，能质系数是指能量中㶏所占的百分比，其定义为

$$\lambda = \frac{E_x}{E} \quad (2-2)$$

2. 能量利用经济性指标

任一能量系统的能量利用程度，即经济性指标通常用效率表示，效率被普遍定义为

$$\text{效率} = \frac{\text{收益}}{\text{代价}} \quad (2-3)$$

在确定效率时应该严格遵循一个原则，即同类项与同类项相比较。但是，由于对能量的认识不同，对得到的收益和付出的代价的理解不同，存在不同形式的效率表达式。从热量“数量”的角度考虑，效率通常用热效率（或者性能系数）表示。

对于动力循环，如果循环所做的功为 W ，从高温热源吸收的热量为 Q_1 ，则循环的热效率

$$\eta_t = \frac{W}{Q_1} \quad (2-4)$$

对于制冷循环，如果循环所消耗的功为 W ，从低温热源吸收的热量为 Q_2 ，则循环的性能系数

$$\xi = \frac{Q_2}{W} \quad (2-5)$$

对于热泵循环，如果循环所做的功为 W ，从高温热源放出的热量为 Q_1 ，则循环的性能系数

$$\xi' = \frac{Q_1}{W} \quad (2-6)$$

对于间壁式换热器（又称表面式换热器），如果低温流体所得到的热量为 Q_2 ，高温流体所放出的热量为 Q_1 ，则换热器的热效率

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (2-7)$$

从能量“质量”的角度考虑，效率通常用㊦效率表示。

对于动力循环，如果循环所做的功为 W ，从高温热源吸收的热量为 Q_1 ，则循环的㊦效率

$$\eta_{ex} = \frac{E_{x,w}}{E_{x,q_1}} \quad (2-8)$$

对于制冷循环，如果循环所消耗的功为 W ，从低温热源吸收的热量为 Q_2 ，则循环的㊦效率

$$\eta_{ex} = \frac{E_{x,q_2}}{E_{x,w}} \quad (2-9)$$

对于热泵循环，如果循环所做的功为 W ，从高温热源放出的热量为 Q_1 ，则循环的㊦效率

$$\eta_{ex} = \frac{E_{x,q_1}}{E_{x,w}} \quad (2-10)$$

对于间壁式换热器，如果低温流体所得到的热量为 Q_2 ，高温流体所放出的热量为 Q_1 ，则换热器的㊦效率

$$\eta_{ex} = \frac{E_{x,q_1}}{E_{x,q_2}} \quad (2-11)$$

式 (2-8) ~ (2-11) 中， $E_{x,q}$ 和 $E_{x,w}$ 分别为热力系统与外界交换的热量和功量的㊦，单位为焦耳 (J)。

2.1.2 能量转换的基本原理

节约能源，实质上就是提高能量转换的经济性指标。这就需要对能量转换系统中的能量转换规律进行研究和分析。

研究能量属性及其转换规律的科学是热力学。从热力学的角度看，能量是物质运动的度量，运动是物质存在的形式，因此一切物质都有能量。物质的运动可以分为宏观运动和微观运动：度量物质宏观运动的能量是宏观动能和位能，度量物质微观运动的能量是所谓的“热力学能”。广义上讲，热力学能包括分子热运动形成的内动能、分子间相互作用所形成的内位能、维持一定分子结构的化学能和原子核内部的核能。温度越高，分子的内动能越大；内位能取决于分子之间的距离，距离越小，内位能越大。在没有化学反应和核反应的物理过程中，化学能和核能都不变，所以热力学能的变化只包括内动能和内位能的变化。只要物质运动状态一定，物质拥有的能量就一定。所以物质的能量仅仅取决于物质的状态，即状态参数。

尽管物质的运动多种多样，但就其形态而论只有有序（有规则）运动和无序（无规则）运动两类。人们常将量度有序运动的能量称为有序能，量度无序运动的能量称为无序能。显然，一切宏观整体运动的能量和大量电子定向运动的电能都是有序能；而物质内部分子杂乱无章的热运动则是无序能。大量事实证明，有序能可以完全、无条件地转换为无序能；相反的转换却是有条件的、不完全的。能量和能量转换这一特性，导致能量不仅有“量”的多少，而且有“质”的高低。而这正是能量转换中两个最重要的方面。热力学第一定律和第二定律就是各种能量转换装置所遵循的最基本规律。

1. 热力学第一定律

热力学第一定律是能量守恒和转换定律在具有热现象的能量转换中的应用，由德国物理学家迈耶（J. R. Mayer）、亥姆霍兹（H. L. Helmholtz）和英国物理学家焦耳（J. P. Joule）奠定的基础，它的本质就是能量守恒和转换定律。

能量守恒和转换定律指出：“自然界的一切物质都具有能量；能量既不能创造，也不能消灭，而只能从一种形式转换成另一种形式，从一个物体传递到另一个物体；在能量转换和传递过程中能量的总和恒定不变。”这一定律和细胞学说及进化论，被称为19世纪自然科学的三大发现。

热能是自然界广泛存在的一种能量，其他形式的能量（机械能、电能、化学能）都很容易转换成热能。热能与其他形式能量之间的转换也必然遵循能量守恒和转换定律——热力学第一定律。在热力学第一定律提出前，许多人曾幻想制造一种不消耗任何能量便能连续获得机械能的永动机。热力学第一定律发现后，制造这种违背热力学第一定律的永动机（后人就称之为第一类永动机）的企图最终被科学理论所否定。因此，热力学第一定律也常表述为“第一类永动机是不可能制成的”。

2. 热力学第二定律——能量贬值原理

既然能量守恒，不可创造，也不会消灭，那么天然能源如煤、石油却越用越少，甚至出现了“能源危机”，这又是为什么？这些能源释放出来的能量又到哪里去了呢？要回答以上问题，我们除了要知道能量守恒的一方面，还必须了解能量转化及传递上存在方向性的另一面，即能量不仅有量的多少，还有质的高低。热力学第一定律只说明能量在量上要守恒，并没有说明能量在“质”方面的高低。

事实上能量是有品质上的差别的。例如，一大桶温水的热量可谓很多，却不足以煮熟一个鸡蛋；而一勺沸水所含热量可能很少，却可以烫伤入。所以同样多的两个热量，如果它们的温度不同，产生的客观效果也不同，因此有加以区分的必要。

热力学第一定律只告诉我们某一个变化过程中的能量关系，并没有告诉我们这个变化过程进行的方向。比如在两个温度不同的物体所组成的孤立系统中，热力学第一定律只告诉我们，如果它们之间有热交换的话，则一个物体所得的热量必然等于另一个所失的热量。事实上我们都知道，温度高的物体失去热量、温度低的物体得到热量；永远不会有这样一个孤立系统，其中热者得到热量变得更热，冷者失去热量变得更冷。热力学第一定律没有包含这个尽人皆知的事实。

上述例子说明，自然界进行的能量转换过程是有方向性的。不需要外界帮助就能自动进行的过程称为自发过程，反之为非自发过程。自发过程都有一定的方向，前述温差传热就是典型的例子，即热量只能自发地（即不花代价地）从高温物体传向低温物体，却不能自发地由低温物体传向高温物体。

热能和机械能之间的转换也是有方向性的。因为机械能是有序能，热能是无序能。实践证明，机械能可以不花代价地全部转换成热能（如摩擦生热），而热能却不可能全部转变为机械能。可见机械能转换成热能是自发过程，反之则为非自发过程。

自由膨胀是另一个过程方向性的例子。一个刚性绝热容器分隔成两室，分别储有同类的高压和低压气体，若在隔板上开一个小孔，高压气体就会自动流入低压室，直到两室压力相等时宏观流动才停止。这种自由膨胀过程也是自发过程，若要恢复到初始状态，则必须花费一定的代价。

在上例中，若隔板两侧有不同种类的气体，则不论两侧的温度、压力是否相等，当抽去隔板后两侧的气体会互相扩散、混合，最后成为均匀一致、处处状态相同的混合气体。显然，这种扩散混合过程也是自发的。若要使过程反向进行，并恢复到初始状态，也要花费代价。

由此可见，自发过程都是朝着一定方向进行的，若要使自发过程反向进行并回到初始状态，则需要花费代价，所以自发过程都是不可逆过程。产生过程不可逆的原因有很多，如有序的机械能通过摩擦转换为无序的热能，有序的电通过电阻转换为无序的热能。这种通过摩擦或电阻使有序能不可逆地转换为无序能的现象称为耗散效应。而温差传热、扩散混合等过程是在温度差、浓度差的推动下进行的过程，它们虽然没有耗散效应，但也是不可逆过程。因此有耗散效应以及在有限的势差推动下的过程都是不可逆过程。

过程的方向性反映在能量上，就是能量有品质的高低。由于能量可以区分为有序能和无序能，有序能之间可以无条件地转换；但当能量转换或传递过程中有无序能参与时，就会产生转换的方向性和不可逆问题。由此可以看出，有序能比无序能更宝贵和更有价值。正如能量“量”的属性遵循热力学第一定律一样，能量“质”的属性则遵循热力学第二定律。

考察一种普通的自然现象——摩擦生热。由于摩擦，机械能转换为热能，即有序能变成了无序能。从能量的数量上看没有变化，但从品质上看却降低了，即它的使用价值变小了。这种情况称为能量贬值。因此从能量的品质上看，摩擦使高品质的能量贬值为低品质的能量。

能量贬值是自然界的普遍现象。例如在发电机中由于摩擦、内电阻等耗散结构，输入的机械能除绝大部分变成电能外，总有一小部分机械能要变成热能，使总的能量品质下降。只

有在完全理想的可逆条件下才能使机械能全部变成电能，能量品质保持不变，但这只是一种理想的情况。

同热力学第一定律一样，热力学第二定律也是长期实践经验的总结，有许多不同的表达方式，而热力学第二定律的实质就是能量贬值原理。它指出，能量转换过程总是朝着能量贬值的方向进行，高品质的能量可以全部转换成低品质的能量。能量传递过程也总是自发地朝着能量品质下降的方向进行。能量品质提高的过程不可能自发地单独进行。一个能量品质提高的过程肯定伴随有另一个能量品质下降的过程，并且这两个过程是同时进行的，即这个能量品质下降的过程就是实现能量品质提高过程的必要的补偿条件。在实际过程中，作为代价的能量品质下降过程必须足以补偿能量品质提高过程，因为某一系统实际过程之所以能进行，都是以该系统中总的能量品质必定下降为代价，即任何实际过程的进行都会产生能量贬值。因此，在以一定的能量品质下降作为补偿的条件下，能量品质的提高也必定有一个最高的理论限度。显然这个最高的理论限度是：能量品质的提高值正好等于能量品质的下降值。此时系统总的能量品质不变。

上述热力学第二定律深刻地指明了能量转换的方向、条件及限度。

以热能和机械能之间的转换为例。机械能可以自发地无条件地转换为热能，热能转换为机械能或电能则是有条件的。即使在理想的完全可逆的条件下，也不可能连续不断地把热能全部地转换成机械能，总有一部分热能不可避免地要传给低温热源，而无法转换成机械能，即必须以部分热能从高温传向低温作为补偿条件才能实现热能转换为机械能这一能量品质提高的过程，因此，任何实现热能转换成机械能的热机的效率都不可能是100%。在完全可逆的条件下，可以算出热能转变为机械能的最高理论限度。在实际转换过程中，由于不可逆因素的存在，热能转换成机械能的数量必定低于这个理论极限。两者之间的差距可以用来量度实际转换过程的不可逆损失，也可反映在改进转换过程时可能具有的潜力。

热力学第二定律也指明了能量传递过程的方向、条件和限度。当存在有限势差（温度差、浓度差等）时，自发过程总是朝着消除势差的方向进行，在势差消除时自发过程即终止（过程的极限）。例如当物体之间存在温度差时，就会发生热量的传递过程，热量总是自发地从高温物体传向低温物体；当两物体温度相等时，热量的传递过程就结束。当热量从高温物体传给低温物体时，能量在数量上是守恒的，但能量品质却下降了。又如水总是自动地从高处流向低处；电流总是自发地由高电势点流向低电势点；气体总是自发地由高压处膨胀到低压处；气体分子总是自由地从高浓度区向低浓度区扩散；不同气体可以自动地混合，相变过程和化学反应过程能自动地向一定的方向进行等，这些都是司空见惯的自发过程的例子。它们进行的方向都朝着消除势差的方向，即朝着能量品质贬值的方向。虽然它们的反向过程并不违反热力学第一定律，但却是不可能自发进行的。

可以从概率论的角度来阐述过程存在方向性的原因。例如一个刚性绝热容器被隔板分成左、右两室，其中左室充满气体，右室为真空。当隔板抽出后气体分子必定均匀地充满全部容器。若无外力作用，气体分子绝不会自动地回到左室中去。从概率论的角度分析，若容器中只有一个分子，由于分子运动的不规则性，分子出现在左室和右室的可能性完全一样，其概率都是 $1/2$ ；若容器中有4个分子，则4个分子同时出现在左室或右室的概率也相同，但概率只有 $(1/2)^4=1/16$ 。这时左、右室中可能出现的分子分布情况共有16种。从微观的角度看，每一种分布的可能性都是一样的，均为 $1/16$ 。所以4个分子均集中在左室的概率为