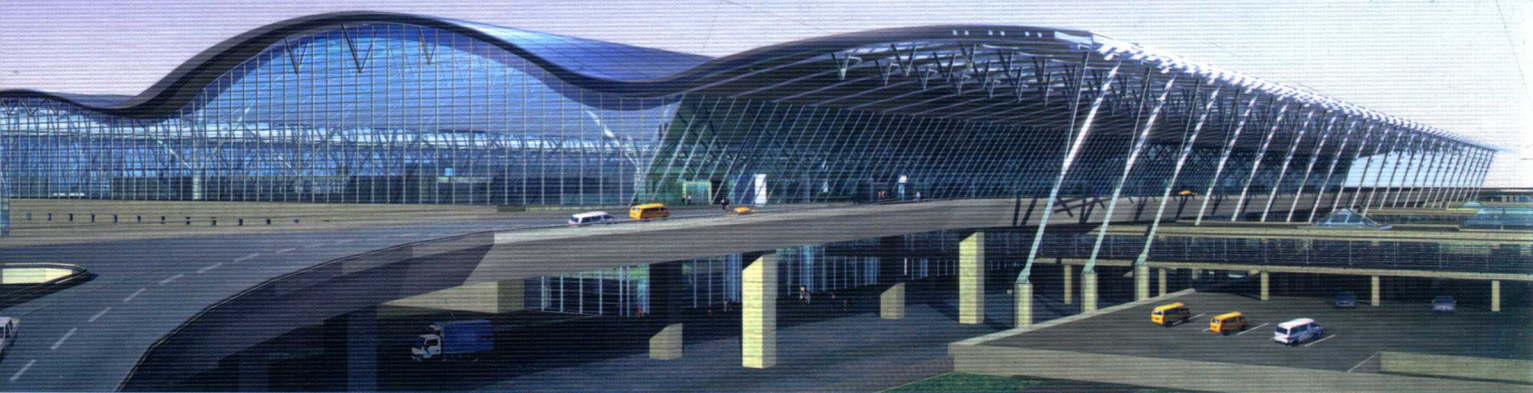


上海空港

系列丛书

PUDONG GUOJI JICHANG

ERQI GONGCHENG
JIENENG
YANJIU



浦东国际机场

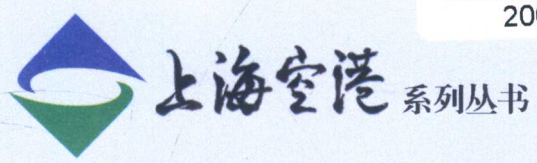
二期工程节能研究

主编 吴念祖
出版 上海科学技术出版社

V351/1014-C



V351
1014-C1



PUDONG GUOJI JICHANG

浦东国际机场 二期工程节能研究

主编 吴念祖
出版 上海科学技术出版社

2008042421

上海空港系列丛书
浦东国际机场二期工程节能研究

图书在版编目(CIP)数据

浦东国际机场二期工程节能研究/主编吴念祖. —上海:
上海科学技术出版社, 2008. 1

(上海空港系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 5323 - 9218 - 6

I. 浦… II. 主… III. 国际机场—节能—研究—上海市
IV. TU248. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 186105 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)
上海精英彩色印务有限公司印刷 新华书店上海发行所经销
开本 889×1194 1/16 印张 14.75 字数 365 千 插页 4
2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷
印数: 1—1 250
定价: 98.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

内容提要

上海空港系列丛书
浦东国际机场二期工程节能研究

本书是关于浦东国际机场二期工程节能研究的总结。作者以航站楼建筑节能、楼宇机电控制、能源中心水蓄冷、变频器节能技术应用、供热环节节能和雨水回用等为研究对象,以与《上海市公共建筑节能标准》规定的能耗指标相比节能 10% 以上为研究目标,系统地提出了大型建筑节能的研究方法和应用技术,并形成了工程案例。

本书可作为机场航站楼、能源中心运行管理人员、专业技术人员的运行管理培训辅导用书,也可供大型公共建筑建设、运行管理的各类专业技术人员和有关管理人员参考。

编委会

封面题字

杨国庆

主编

吴念祖

副主编

李德润 刘武君

顾问编委

杨国庆 李逸平 张光辉 宇仁录 寿子琪 刁永海 朱宁一 俞吾炎
陈 龙 汪光弟 肖金方 应根宝 曹文建 蔡 军 景逸鸣 王其龙
朱传松 胡建明 贾锐军 孙 立 徐玉龙 张永东 张 桦 沈 迪
徐 征 林锦胜 李永盛 姚亚波 蒋作舟 刘观昌 夏丽卿 叶可明
刘炳权 汪天翔 姚祖康 管式勤 Jeffrey Thomas Ben Hasselman
是枝孝 Tony Mills

编委

(按姓氏笔画为序)

马兴发 王 斌 王晓鸿 尹承林 冉祥来 西绍波 华志坚 刘 钢
刘宝树 许泽成 孙金科 李 强 李金良 邱威尔 汪大绥 张 泉
张海英 张敏珠 陈宏凯 纽晓鸣 范庆国 林建海 金德雄 周水森
赵 华 赵 青 洪上元 贺胜中 顾吉祥 柴震林 徐建初 高振锋
郭 强 郭建祥 唐洁耀 康 建 寇怡军 董红江

编写组

刘武君 林建海 于 航 郭建祥 朱伟民 徐建初 高文艳 陆 燕
林在豪 邵民杰 钱观荣 孙 禾 卫 丹 周小娟 黄 渝 闵 加
黎 岩 常谦翔 孙文彤 尹 杰

建设上海航空枢纽,是我国积极参与国际分工与国际竞争、推动我国由“民航大国”走向“民航强国”的一项国家战略,也是上海构建国际航运中心的重大举措,对于增强上海城市国际竞争力,更好地服务长三角地区以及全国经济和社会的发展具有重要的战略意义。

2005年12月22日,浦东国际机场扩建工程全面开工,标志着上海航空枢纽建设迈入了全面推进的新阶段。扩建工程主要包括二跑道工程、三跑道工程、T2 航站区工程、综合配套工程、西货运区工程,其中第一阶段二跑道工程已于2005年3月竣工投运。扩建工程建成后浦东国际机场将成为年旅客吞吐量达6 000万人次、货邮吞吐量达420万吨、年起降达49万架次的我国大型枢纽机场之一,并最终与虹桥国际机场共同建设成为亚太地区核心枢纽。

综观整个扩建工程,范围广、工期紧、难度大、任务重,经历了众多前所未有的考验,广大建设者发扬团结拼搏、无私奉献的精神,克服了种种困难,在保证机场不停航正常运营条件下,出色地完成了建设任务。同时,在建设过程中,广大建设者充分发挥他们的聪明才智,勇于创新、敢于实践,取得了大量具有重要理论和实践意义的创新成果。

扩建工程创造性地提出了“以运营为导向”的建设理念,全过程地吸收运营单位的意见,确保工程建设最大程度满足用户功能需求;管理模式上,大胆地采取了规划、设计、施工“一体化总承包”的方式,实现了指挥部、上海现代建筑设计集团与上海建工集团的“强强联手、共同推进”,为工程建设实施开创了良好局面,T2 航站楼工程是首个由国内单位原创设计的大型航空枢纽建筑项目,实现了我国在枢纽机场建筑设计领域的历史性跨越;工程管理方面,在继承一期工程“工程

靠招标、管理靠合同、质量靠监理”成功经验的基础上,又进一步提出了“进度靠计划”的管理理念,实现了对工程质量、安全、进度和成本的系统控制;在质量管理方面,提出了“样板引路,方案先行”方针,并在工程中得到制度化实施,取得了良好效果,确保了工程质量全面受控。

面对大量的工程技术难题,指挥部以科研推进工程建设,组织开展了一系列科研课题攻关,建立了一套完善的推进机制,取得了一批突出的科技成果,并形成了完善的科技创新体系。指挥部成立伊始,就从工程建设需要出发,确定了21个专项课题进行深入研究,取得了一批技术成果,为前期策划和规划设计奠定了技术基础。在此基础上,结合上海市科委立项的三项重大课题任务,紧紧抓住工程建设的重点和难点,进行统一布局,对总体规划、航站区、飞行区、信息系统和项目管理等五个领域共23个专项课题进行了重点研究,在跑道建设关键技术、节能、机场信息系统、飞行区地下穿越等方面均取得突出的科技成果,共注册专利十余项。科技创新为扩建工程提供了全面有力的支撑,也为上海航空枢纽后续工程建设提供了技术储备,并通过指挥部组织出版的《上海机场》和《上海空港》两本刊物,在业界得到广泛传播。同时,依托工程建设和科研课题攻关,造就了大批优秀科技人才,突破了传统的人才培养模式,为上海机场的持续创新能力提供了保障,壮大了我国民航科技的生力军。

浦东国际机场扩建工程,开创了一条以管理创新和科技创新为引导,完全依靠国内设计、施工、管理建设世界一流枢纽机场的新路子,积累了许多新鲜经验,取得了众多的创新成果,希望能与广大民航机场和其他工程的建设者们共享。为此,我们组织编写了这套“上海浦东国际机场扩

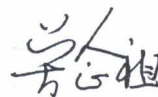
建工程建设系列丛书”，重点介绍浦东国际机场扩建工程在机场建设领域取得的先进管理理念和科技创新成果，以“上海空港系列丛书”的形式，分辑出版。

本书由上海机场(集团)有限公司科技委员会和上海机场建设指挥部组织编撰，得到各科研院校以及相关设计、施工和监理单位的大力支持和广大机场建设者的积极参与，并得到各级领导的关心和支持，谨致以诚挚的谢意。

是为序。

上海机场(集团)有限公司董事长、总裁

上海机场建设指挥部总指挥



2008年1月



第一章 概述	1
第一节 国内外机场节能概况	1
一、国外机场节能概况	1
二、国内机场节能概况	3
第二节 浦东国际机场二期工程节能研究的目标和思路	4
一、二期工程节能研究的目标	4
二、二期工程节能研究的思路	5
第三节 浦东国际机场二期工程节能研究的主要项目	5
一、航站楼节能	6
二、能源中心节能	7
三、雨水回用	8
四、节能评价	9
第二章 航站楼节能	10
第一节 气象条件	10
一、季节气温	10
二、日照	10
三、风向	11
第二节 建筑概况	14
一、总体特征	14
二、主楼	16
三、候机长廊和连接廊	16
第三节 围护结构节能	16
一、围护结构选择应考虑的因素	16
二、围护结构节能研究关注的主要方面	17

三、分析方法	18
四、节能研究的成果	20
第四节 自然通风利用	27
一、自然通风利用的条件	27
二、自然通风标准	27
三、自然通风利用的研究方法	28
四、利用天窗排风	30
五、利用侧窗排风	37
六、结论	43
第五节 自然采光应用	43
一、日照分布	43
二、采光分析	43
三、设计方案优化	49
第六节 遮阳研究	50
一、遮阳设计	50
二、天窗遮阳分析	50
三、主楼立面遮阳	60
四、候机长廊立面遮阳分析	62
第七节 空调气流组织	66
一、CFD 模拟方法介绍	66
二、办票大厅空调 CFD 模拟	69
三、长廊空调 CFD 模拟	86
四、交通中心(停车场)通风 CFD 模拟	98
第八节 照明节能与 BAS 运行控制	111
一、照明节能	111
二、BAS 的功能和系统构架	112
三、空调系统控制	114
四、照明控制	129
第三章 能源中心节能	134
第一节 削峰填谷的水蓄冷应用	134
一、空调蓄冷的技术及比较	134
二、空调负荷分析	135
三、三种不同供冷方案比较	136
第二节 大型水蓄冷可行性研究	144
一、模型简化	144
二、计算方法	145

三、充冷过程分析	146
四、放冷过程分析	148
五、罐壁热量传递分析	151
六、不同运行条件的对比研究	151
七、若干问题的讨论	157
八、结论	159
第三节 供热系统节能	159
一、供热方案的优化	159
二、供热节能措施	161
第四节 设备监控系统节能	162
一、设备监控系统的组成	162
二、冷水机组群控节能运行策略	166
三、水蓄冷群控节能运行策略	171
四、冷水二次泵变频控制节能运行策略	179
五、锅炉群控节能运行策略	185
第五节 热电联供系统的可行性分析	187
一、第一套热电联供系统使用情况介绍	187
二、第二套热电联供系统技术可行性分析	187
三、第二套热电联供系统经济性分析	189
第四章 雨水回用研究	192
第一节 雨水回用的必要性分析	192
一、雨水回用的意义	192
二、机场雨水回用需求量大	192
第二节 雨水回用的可行性分析	193
一、降雨量统计分析	193
二、雨水的收集存储方式研究	193
三、围场河水质调查	195
四、雨水回用水质处理	197
第三节 雨水回用的经济性	199
第五章 总体节能效果评价	200
第一节 能耗分析的目标和模型	200
一、能耗分析的目标	200
二、能耗模型建立的方法	200
三、能耗模型输入条件	202
第二节 基本模型能耗分析和比较	208
一、基本模型的负荷分析	208

二、基本模型能耗分析	210
三、与基准模型能耗分析比较	212
第三节 优化模型的能耗分析	214
一、优化模型的条件输入	215
二、优化模型负荷分析	217
三、优化模型能耗分析	219
第四节 节能研究成效	220
一、与基准模型能耗和成本的分析比较	220
二、与一期工程能耗和成本的分析比较	221
三、结论	221
参考文献	222
后 记	223

第一章 概述

浦东国际机场一期工程 1997 年开工,1999 年 9 月建成通航。2003 年达到旅客吞吐量 1 506.36 万人次,货邮行吞吐量 135.72 万 t,飞行架次 13.43 万架次,已经基本达到或超出一期工程的设计能力。随着上海乃至长江三角洲地区航空业务量的高速增长,以及面临 2008 年奥运会和 2010 年世博会的运输压力,特别是竞争国际型枢纽机场的发展目标,都亟需扩大机场飞行区设施、航站区设施及相关配套设施规模与之匹配。根据《上海航空枢纽战略规划》,上海不仅要构建完善的国内国际航线网络,而且将建成以浦东国际机场为主的亚太地区的核心枢纽,最终成为世界航空网络上的重要节点。据预测,2015 年,浦东国际机场旅客吞吐量将达到 6 000 万人次;而 2008 年奥运会和 2010 年世博会,将使得浦东国际机场的吞吐量高峰提前出现,因此,浦东国际机场的二期工程建设迫在眉睫。

浦东国际机场二期工程主要包括二、三跑道工程及其配套工程、第二航站区工程、二期能源中心等综合配套工程、西货运区工程等。与一期工程相比,浦东国际机场二期工程的规划立意高,设计建设面向用户,强调功能,节能减排要求高。为此,分析和研究国内外机场和大型公共建筑的节能技术,并将其应用到浦东国际机场建设中,就摆在了上海机场建设指挥部(简称指挥部)的面前。

第一节 国内外机场节能概况

一、国外机场节能概况

能源和环境问题已经成为当今世界经济发展中的焦点问题。纵观国外大型机场,都把节能放在重要位置。这从以下介绍的部分国外机场的节能概况可知一二。

(一) 美国特拉基塔霍(Truckee Tahoe)机场

美国特拉基塔霍机场在进行了大量成本对比分析之后,将太阳能发光二极管(Light-emitting diode,简称 LED)灯用于机场滑道边缘的永久照明,使机场在 8 年时间内比使用传统有线系统节省了 272 000 美元,而节省的机会成本约 975 000 美元,用于机场其他基础设施的更新换代。该机场被美国联邦航空管理局作为美国民用机场通用航空照明指南的一个研究案例。

(二) 新加坡樟宜国际机场

新加坡樟宜国际机场是亚洲主要的航运枢纽,其三号航站楼被称为节能设计的典范。三号航站楼的屋面和侧墙均采用“透明设计”,以自然照明为主,人工照明为辅,充分利用自然采光达到节能的目的。三号航站楼的屋顶有近千个抗热玻璃“天窗”,每个“天窗”上层设置两扇电脑控制的叶片,能随阳光和天气的变化适度调整,使室内的光线柔和均匀。也正由于有了这些“天窗”,航站楼里的各种植物都能呼吸新鲜的空气,接受明媚阳光的洗礼,随时向各国旅客展现自己优美的身姿。

60 000 m² 的旅客办票大厅中装有智能照明结构,通过智能建筑控制系统(EIB/KNX)控制遮光和反光板配合动态照明来模拟出自然光照的效果,为旅客提供更为舒适的环境。

(三) 意大利马尔本萨(Malpensa)国际机场

意大利第二大机场马尔本萨国际机场拥有 2 座候机楼,占地面积 329 000 m²,2002 年旅客流量约为 17 442 250 人次。该机场考虑未来能源消费变化趋势,采用了热电联供方案。该项目得益于意大利热电联供项目的财政特殊政策,即天然气发电可享受优惠。除此之外,机场还享受远低于民用天然气价格的工业用天然气的价格。从经济角度分析,这是一个成功的案例。1998 年 10 月,马尔本萨国际机场热电联供机组开始生产,满足了机场所有的电、热需求,只有在峰值负荷期间以及紧急情况下才从电网购入部分电量。2002 年,机组发电量 131 457 GW·h,供热 121 395 GW·h,制冷 72 266 GW·h,总热量达 224 735 GW·h。全年 20% 的制冷用于空气除湿。机组的电效率为 30.3%,热效率达 78%。经过几年运行,机场的能源费用减少 20%。

(四) 希腊雅典国际机场

希腊雅典国际机场位于斯巴达镇附近,离雅典 35 km。机场 1996 年建成,单位面积能耗 255 kW·h/(m²·年)。

另据希腊国内 29 个机场的统计结果(见表 1-1),希腊机场的主要节能措施包括外墙隔热、屋顶隔热、采用双层玻璃、屋顶排风、遮阳系统、采用蓄冷空调以及照明节能等。节能效果可以归纳为:

(1) 外墙隔热。通过在航站楼建筑外墙敷设不透明材料,可以减少 2%~16% 的供热损失,制冷时可以节省 3%~16% 的冷量。投资回收年限在 0.7~2.1 年。

(2) 屋顶隔热。屋顶隔热可以减少 23.4% 的供热损失以及 31.5% 的供冷损失。投资回收年限在 3.2 年。

(3) 双层玻璃。通过将单层玻璃换成双层玻璃,供热时可减少热损失 8%~30%,制冷时可节省 0.3%~1% 的冷量,投资回收年限在 6.5~15.3 年,同时可以减低室外噪声。

(4) 屋顶排风。采用屋顶排风方式的混合通风(安装在安检处、候机区)能减少年制冷负荷。自然通风建筑中采用屋顶排风能够避免空间的温度分层,在相同的设定温度下能够节省空调系统 6%~8% 的能量。投资回收年限在 0.1~0.3 年。

(5) 遮阳系统。采取合适的遮阳方式能够阻挡大部分太阳热量,增加室内视觉舒适度,减少冷负荷。现有建筑中采用的外窗以及半透明膜可以分别减少冷损失 14%~59% 及 9%~39%。投资回收年限在 1.1~3 年和 0.9~2.3 年。

(6) 蓄冷系统。机场中采用的蓄冷系统包括水蓄冷及冰蓄冷,其运行策略各不相同,但都是通过将电力消耗从白天高峰时段移至夜间电力低谷时段的方式来节约运行费用,系统规模越大在不同的费率下经济效益越高。此外,夜间室外温度较低的情况下,制冷机运行效率较高。在现有制冷系统需要扩容的情况下,使用蓄冷系统同样可以获益。例如,需要增加冷量时可以通过蓄冷系统来实现而不需要额外增加制冷机。同样,在白天供冷高峰时不需要开启的制冷机晚上蓄冷的时候可

以开启。冰蓄冷系统规模一般为水蓄冷系统规模的 15%~20%。但是由于制冰蒸发温度低,制取相同的冷量冰蓄冷系统需要消耗更多的电能。通过计算不同的运行模式,包括全蓄冷模式和部分蓄冷的运行模式,全年蓄冷量为 1 400 MW·h,水蓄冷白天部分蓄冷量为 160 MW·h,冰蓄冷为 16 MW·h。

(7) 照明。使用节能灯能够节省照明电量 70%~75%,投资回收年限在 0.2~1.8 年。

表 1-1 希腊 29 个机场总体节能效果

节能方式	节能效果	回收年限(年)
外墙隔热	供热 2%~16% 供冷 3%~16%	0.7~2.1
屋顶隔热	供热 23.4% 供冷 31.5%	3.2
双层玻璃	供热 8%~30% 供冷 0.3%~1%	6.5~15.3
屋顶排风	6%~8%	0.1~0.3
遮阳系统	外窗遮阳 14%~59% 半透明膜 9%~39%	1.1~3 0.9~2.3
照明	70%~75%	0.2~1.8

二、国内机场节能概况

改革开放以来,中国经济快速增长,而中国在能源利用效率上与国际先进水平存在着巨大差距,解决好我国的能源问题,是实现我国社会经济可持续发展的重要环节。为全面贯彻落实科学发展观,坚持“节约资源和保护环境”的基本国策,作为各地用能大户的机场,都把节约能源的工作放在了一个突出的位置。

(一) 北京首都国际机场

北京首都国际机场在三号航站楼的楼体及其各个系统的设计上充分考虑了节能要求,应用了许多新技术与新方法。楼体设计采用全玻璃墙、屋顶带天窗的设计方案,得到良好采光效果的同时,节省了照明用电。先进的智能照明系统,通过设定时间表、感应外界不同方向的亮度、获取航班信息等实现相应区域照明及人体感应照明等多种运行模式的自动控制。空调机组中加装转轮式全热回收装置,夏季可以利用排风的冷量对新风作降温除湿预处理,冬季则可以对新风进行预热和加湿,对航站楼空调系统中的能源进行充分利用以达到节能效果。电力监控系统可实时反映出楼内各个变电站的供电用电情况,减少无功功率的损耗。

(二) 广州新白云国际机场

广州新白云国际机场是我国规模最大的枢纽航空港之一,占地 14.4 km²,以高要求、高标准、高规划为设计宗旨,已成为广州乃至广东航空交通的标志性建筑和华南地区航空交通网络的重要枢纽。该机场在建筑布局上注重建筑物的朝向,充分利用自然采光和通风,减少空调、通风、照明的能耗。航站楼高大空间的空调送冷区域设在层间 3 m 以下,利用冷空气下沉和高大空间上部空气间隔实现空调整能。屋面采用张拉膜结构,面积达 6 万 m²。由张拉膜拱顶、老虎窗以及玻璃天窗

引入大量的自然光,使航站楼内充满生机。同时张拉膜还具有吸音、遮阳和装饰的作用。照明设计采用自然光与照明、直接光与间接光的结合,大量透明材料的运用可保证候机大厅在白天不需要任何人工照明。玻璃幕墙是目前世界上最高、最大面积的幕墙之一,全部采用节能隔热中空低辐射玻璃。机场内还建造了日处理 2.8 万 t 的污水处理厂,包括污水处理和中水回用两部分,根据应用水、生活用水、景观用水和绿化用水对水质的不同要求,提供不同水质的用水。灯光照明系统以反射光为主,间接照明的设计使室内灯光都不会产生眩光,灯光更加柔和均匀,给人一种舒适恬静的感觉。各种高光效、节能型的荧光灯及高显色性金卤灯的使用,使之成为新型环保的新空港不夜城。楼宇机电设备管理系统(Building Automatic System,简称 BAS)将航站楼内的空调、通风、照明、动力、排污等系统或设备,通过分布式计算机监控系统,实现集中监视、控制和管理,并与电力自动监控系统、不间断电源、计算机管理系统、机场信息集成系统有效集成,构成综合管理系统。

(三) 上海浦东国际机场

浦东国际机场一期工程冷热源采用“大集中、小分散”的能源供给方式,在机场的动力设施区建设了一座集中供冷供热主站——一期能源中心,占地面积 10 808 m²,主要负责向建筑面积为 280 000 m² 的一号航站楼、综合办公区、航空食品配餐区、货运区、飞行保障区和商务设施区供冷供热,总供热能力 121 t/h(蒸汽),供冷能力 24 400 RT(1 RT=3.516 kW)。由于采用了热电联供系统,能源综合利用率高。2005~2006 年一期工程能源中心和一号航站楼的实际用能情况及成本见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 浦东国际机场一期工程能源中心和一号航站楼的实际能耗表

年 度	单位面积用电量 [kWh/(m ² ·年)]	单位面积用天然气 [MJ/(m ² ·年)]	单位面积总能耗 [MJ/(m ² ·年)]
2005 年	249.4	1 073	1 970
2006 年	263.8	717	1 667
平 均	256.6	895	1 819

注:建筑面积按 280 000 m² 计算。

表 1-3 浦东国际机场一期工程能源中心和一号航站楼的实际能耗成本表

(元/m²)

年 度	单位面积用电费	单位面积用天然气费	单位面积总能耗费
2005 年	187	69	256
2006 年	197.8	48	245.9
平 均	192.4	58.5	250.9

注:建筑面积按 280 000 m² 计算。

第二节 浦东国际机场二期工程节能研究的目标和思路

一、二期工程节能研究的目标

一个大型机场运行的耗能是相当可观的,在工程建设初期就规划、设计好所采用的节能措施,对今后机场的节能减排运行相当有益。从浦东国际机场二期工程方案的设计开始,上海机场建设