

现代铁路客运站

能耗因素分析和节能对策研究

李立清 马卫武 陈治亚 著

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

现代铁路客运站能耗因素 分析和节能对策研究

李立清 马卫武 陈治亚 著

中国铁道出版社

2010年·北京

内 容 简 介

本书主要分析现代铁路客运站的能耗因素及相应的节能对策。主要内容包括现代铁路客运站能耗因素分析研究的社会经济意义、客运站能耗现状调查及节能潜力分析、客运站聚集人数模拟分析、旅客舒适度研究、空调能耗研究、非空调设备能耗研究(包括照明、电梯等设备)、铁路客运站能效评价、现代铁路客运站节能对策研究及铁路客运站能源评价系统软件介绍。

图书在版编目(CIP)数据

现代铁路客运站能耗因素分析和节能对策研究/

李立清,马卫武,陈治亚著. —北京:中国铁道出版社,

2010.10

ISBN 978-7-113-11936-2

I. ①现… II. ①李… ②马… ③陈… III. ①铁路

车站:客运站—能量消耗—研究 ②铁路车站:客运站—节能

—研究 IV. ①U293.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 185887 号

书 名: 现代铁路客运站能耗因素分析和节能对策研究

作 者: 李立清 马卫武 陈治亚 著

策划编辑: 江新锡

责任编辑: 徐 艳 陈小刚 电话: 010-63549495 电子信箱: xy810@eyou.com

封面设计: 冯龙彬

责任校对: 张玉华

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

版 次: 2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷

开 本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 10.875 字数: 283千

书 号: ISBN 978-7-113-11936-2

定 价: 24.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言

随着国民经济快速增长,各项建设取得巨大成就,但也付出了很大的资源和环境代价,并导致经济发展与资源环境的矛盾日趋尖锐。为此,我国国民经济与社会发展“十一五”规划纲要提出了节能减排的目标,即到2010年在2005年基础上单位GDP能源消费降低20%,主要污染物下降10%。作为耗能大户的铁路客运站,近年来发展迅速,至2008年,我国共有国家铁路车站5470个,其中特等站50个、一等站236个、二等站362个、三等站936个。而随着车站规模的扩大和运输工作量的增加,生产性能耗随之剧增,如生产性用水、用电等。预计2010年铁路换算周转量将达到35000亿吨千米,比2005年增长近10000亿吨千米,铁路行业的能耗消耗总量将从2005年的2247万吨标煤增加到3100万吨。尤其是随着客运站服务功能、经济功能的进一步开发,必然造成客运站更大的能耗,给城市的能源供给布局、容量等带来更大压力。为实现国民经济与社会发展“十一五”规划纲要中提出的单位国内生产总值能源消耗比“十五”末期要降低20%的节能目标,铁道部编制了《铁路“十一五”节能和资源综合利用规划》,提出了“十一五”期间铁路节能工作具体目标和实施方案,加大节能和资源综合利用力度。

铁路客运站作为公共服务场所,应以提供舒适快捷的服务为主要目的。铁路客运站候车室不同于一般的建

筑环境,人员背景复杂,主要表现在年龄、性别、职业等方面差别较大,着装各异,且来自全国乃至世界各地的乘客对于同一环境具有不同的反应,同时,客运站候车室的人流具有暂时停留的特点,停留时间的长短也对人体热舒适产生一定的影响,因此,不能再用传统的热舒适指标去计算。上述这些都要求我国科技工作者结合我国铁路客运站的实际情况,在热环境领域做较深入的研究。

本书旨在深入分析现代铁路客运站主要的能耗因素,探讨人的舒适度对能耗的影响问题,并结合现代铁路客运站的建筑特点和人流环境特点提出一套具有针对性的综合评价体系与方法,及相应的节能对策。

本书源于铁道部重点科技研究项目“现代铁路客运站能耗因素分析和节能对策研究”的成果,它的出版得到了铁道部科技司、计划司和运输局的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢!同时感谢哈尔滨铁路客运站武中凯站长、上海站姜波站长、长沙站砺宏远站长、北京西站金龙书记在项目研究过程中给予的帮助。感谢中南大学的陈其富、冯芬玲、石英、叶华老师,仲恺农业工程学院丁力行,中南大学博士研究生宋剑飞、刘峥,硕士研究生秦映心、刘小燕、胡蕾、王婷婷、孙政、刘伟、雷先鹏、朱存望、畅博、周尚、苏星燕等在实验、现场调查等方面为本书所做的工作。

限于水平,书中难免出现错误与不妥之处,恳请专家及读者批评指正!

编 者

2010年8月26日

目 录

1 绪 论	1
1.1 我国铁路客运站的发展及能源消耗现状	1
1.2 国内外现状综述	2
1.2.1 热舒适研究	2
1.2.2 室内新风量研究	8
1.2.3 建筑照明研究	12
1.2.4 电梯研究	15
1.2.5 建筑能耗研究	18
1.2.6 国外建筑节能对策	25
1.3 研究的主要内容与思路	35
1.3.1 研究的目标及主要内容	35
1.3.2 技术路线	37
2 铁路客运站能耗状况及节能潜力分析	39
2.1 全国典型铁路客运站能耗结构、特点分析	39
2.1.1 能源类型、比例	39
2.1.2 能耗结构	43
2.1.3 铁路客运站能源系统图	51
2.1.4 用能特点	53
2.2 能耗设备调查及分析	53
2.2.1 能耗设备调查	53
2.2.2 主要能耗设备	58
2.2.3 能耗设备分析讨论	61
2.3 结 论	61
3 客运站聚集人数模拟分析	63
3.1 现场调查与结果	63
3.2 模型建立与结果分析	64

3.2.1	候车时间灰色动态模型	64
3.2.2	候车时间分布拟合	66
3.2.3	结果分析	68
3.3	聚集人数计算模型建立	70
3.4	旅客进站实例分析	71
3.4.1	模拟算法及流程	72
3.4.2	聚集人数计算实例	73
3.4.3	北京西站聚集人数分析	77
3.5	结论和建议	80
4	旅客舒适度研究	82
4.1	热舒适性研究	82
4.1.1	火车站候车室热环境的测量与现场调查	83
4.1.2	测量与现场调查结果	83
4.1.3	讨 论	86
4.1.4	结 论	90
4.2	铁路客运站新风量研究	90
4.2.1	候车室内外 CO ₂ 浓度差调研	91
4.2.2	候车室内外 CO ₂ 浓度差模型与求解方法	94
4.2.3	室内外 CO ₂ 浓度差模拟与分析	97
4.2.4	候车室变新风量研究	105
4.2.5	小 结	110
4.3	照明照度研究	111
4.3.1	候车室内照明照度的测量与调查	112
4.3.2	阴暗度及阈限值的计算	113
4.3.3	Ridit 分析与检验	115
4.3.4	结 论	119
4.4	候梯时间研究	120
4.4.1	自动扶梯排队系统	120
4.4.2	排队系统形成	122
4.4.3	自动扶梯候梯时间分析	123

4.4.4 实例分析	125
4.4.5 结 论	126
5 空调能耗研究	128
5.1 空调能耗指标研究	128
5.1.1 室外气候参数	129
5.1.2 室内计算参数	133
5.1.3 建筑模型	134
5.1.4 建筑传热	135
5.1.5 透过玻璃窗的日射得热	136
5.1.6 内部负荷	137
5.1.7 新风负荷	138
5.1.8 结果分析	143
5.1.9 空调能耗指标	145
5.2 影响空调能耗的因素分析	149
5.2.1 空调能耗影响因素正交实验分析方法的设计	149
5.2.2 空调能耗影响因素的分析	151
5.3 结 论	156
6 非空调设备能耗研究	158
6.1 客运站照明节能研究	158
6.1.1 照明功率密度与照度的关系	158
6.1.2 各因素对照明节能的影响	160
6.1.3 照明节能研究小结	164
6.2 自动扶梯能耗研究	165
6.2.1 对自动扶梯工作台数控制的研究	165
6.2.2 自动扶梯能耗计算	168
6.2.3 北京西站自动扶梯能耗分析	172
6.2.4 自动扶梯能耗研究结论	174
6.3 热水器能耗研究	174
7 铁路客运站能效评价	176
7.1 铁道客运站能效的 DEA 模型	176

7.2	评价指标体系	179
7.2.1	输入指标	179
7.2.2	输出指标	179
7.3	研究实例	180
7.3.1	客运站基础数据	180
7.3.2	计算结果	181
7.3.3	效率分析	183
7.3.4	DMU在生产前沿面上的投影和影子价格分析	183
7.3.5	能源效率的最终排序	184
7.3.6	综合分析	185
7.4	结 论	186
8	现代铁路客运站节能对策研究	187
8.1	基于技术角度的节能对策研究	187
8.1.1	空调系统节能对策研究	187
8.1.2	照明系统节能对策研究	212
8.1.3	自动扶梯节能对策研究	226
8.2	基于管理优化的节能措施	238
8.2.1	传统节能管理措施	238
8.2.2	节能管理新措施	251
8.3	车站节能认证书	265
9	铁路客运站能源评价系统介绍	267
9.1	概 述	267
9.2	功能介绍	268
9.2.1	用户登陆	268
9.2.2	用户信息	269
9.2.3	C/S端的主菜单	269
9.2.4	基本设置	270
9.2.5	人事管理	270
9.2.6	设备管理	273
9.2.7	能耗管理	273

9.2.8 旅客信息分析.....	274
9.2.9 舒适性分析.....	275
9.2.10 能耗分析	275
9.2.11 能效评价	277
9.2.12 节能对策	278
9.2.13 系统维护	282
9.3 系统拟开发功能展望.....	282
9.4 小 结.....	283
10 研究报告的主要结论.....	284
参考文献.....	288
附 录.....	296

1 绪 论

1.1 我国铁路客运站的发展及能源消耗现状

铁路客运站作为一类特殊的大型公共建筑,是指专门或主要办理旅客运输作业的车站,是铁路客运的基本生产单位。至 2008 年,我国共有国家铁路车站 5 470 个,其中特等站 50 个、一等站 236 个、二等站 362 个、三等站 936 个。21 世纪,我国铁路迈进了快速发展的新时期,按照《铁路“十一五”规划》在“十一五”期间,我国铁路将建设新线 1.7 万 km,其中客运专线 7 000 km,到 2010 年全国铁路营业里程达到 9 万 km 以上。围绕客运专线与长大干线铁路的建设,将要修 548 座现代化铁路客运站,按所在线路类型分,客运专线客运站 158 座、城际铁路客运站 83 座、一般干线铁路客运站 292 座;按所在城市规模分,省会级城市铁路客运站 25 座、地市级城市铁路客运站 95 座、县级城市铁路客运站 428 座。

“十一五”期间是铁路快速发展的黄金时期,也是铁路运输量和运输服务质量大幅度提升、旅客列车速度提高、用能设备增加较多的时期。预计 2010 年铁路换算周转量将达到 35 000 亿 $t \cdot km$,比 2005 年增长近 10 000 亿 $t \cdot km$,铁路行业的能耗消耗总量将从 2005 年的 2 247 万 t 标准煤增加到 3 100 万 t 。铁路客运站是铁路行业的能耗大户,2007 年,仅北京西站能耗高达 11 941 t 标准煤。表 1-1 为 2007 年我国五个大型或特大型客运站的能耗统计结果。

随着车站规模的扩大和运输工作量的增加,生产性能耗随之剧增,如生产性用水、用电等。尤其是随着客运站服务功能、经济功能的进一步开发,必然造成客运站更大的能耗,给城市的能源供给布局、容量等带来更大压力。

表 1-1 2007 年我国五个站的能耗(t 标准煤)

	全站总能耗	空调能耗	照明能耗	电梯能耗	其他能耗
上海站	8 260	6 195	826	660.8	578.2
长沙站	4 393	3 220.6	455.2	371.7	327.5
北京西站	11 941	8 377.5	1 841.2	1 024.7	697.6
哈尔滨站	3 726	2 496.4	409.9	447.1	372.6
上海南站	2 611	2 114.9	156.7	208.9	130.6

注:以上数据均由各个客运站提供。

为实现“十一五”规划纲要提出的单位国内生产总值能源消耗比“十五”末期降低 20% 的节能目标,铁道部日前编制《铁路“十一五”节能和资源综合利用规划》,提出“十一五”期间铁路节能工作具体目标和实施方案,加大节能和资源综合利用力度。规划提出的铁路节能与资源综合利用目标是:到“十一五”末,铁路单位营业收入综合能耗比“十五”末降低 20%,由 2005 年的 1.14 t 标准煤/万元下降到 0.91 t 标准煤/万元。机车牵引能耗总量占运输能耗总量比例不低于“十五”末期水平;有效运量系数提高到 70% 以上;铁路单位营业收入用水量比“十五”末期降低 30%,铁路机务、车辆、客运系统水重复利用率达到 60%;建立铁路行业建设项目节能评估和审查制度,纳入项目前期重点工作,从源头杜绝能源的浪费。

1.2 国内外现状综述

1.2.1 热舒适研究

1.2.1.1 国外热舒适研究

对人体热感觉的研究是建筑科学领域中开展的最早的研究课题之一,习惯上称之为人体热舒适的研究。国外对热舒适的科学化研究始于 20 世纪 20 年代,60 年代后期由于节能的需要,热舒适的发展更为迅速。人们日益认识到,保持良好的舒适状态的热

环境,既有助于人体健康,又可以提高工作效率,对降低建筑物的能耗也有重要的意义。建筑室内热舒适的研究受到人体生理心理学家、建筑师、建筑技术及建筑设备工程师广泛重视。

迄今为止,一些发达国家的学者在热舒适方面做了大量的现场研究。Humpherys 对 1975 年以前近 50 年中在世界各地所进行的 36 个现场调查结果进行了总结并与实验室研究结果进行了对比,发现现场研究得到的热中性温度低于实验室研究的结果,认为这与人对气候的生理适应性有关。相关文献对近 20 多年来在世界各地所进行的较典型的热舒适现场研究结果进行了总结和分析,得到了人体热感觉关于空气温度或操作温度或新有效温度的回归方程,并据此计算出热中性温度,与 ISO 7730 舒适标准、ARHARE 舒适标准等进行比较,结果表明:用回归方程预测热中性温度比用热舒适模型预测热中性温度更准确,实测的热中性温度比 PMV 预测值低 2.4°C ,人们所期望的温度与热中性温度相差 $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$,夏季的热中性温度比冬季的高,自然通风建筑中的热中性温度比空调建筑中的高,实测的 80% 可接受的温度上限超出了 ARHARE 舒适温度范围约 $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$,这与人的生理适应性及心理期望值有关。

一些学者在人们对热舒适的反应以及对环境的控制能力方面也进行了很多研究。Nicol, Raja 调查了巴基斯坦的办公人员在不同的室外温度下的舒适程度,结果显示那里的人们可接受的温度范围要比 ARHARE 55—92 推荐的宽一些。Busch 对泰国曼谷夏季自然通风建筑和空调建筑的研究指出,对于自然通风建筑中的工作人员,他们可接受的空气温度的上限是 31°C ,而对于空调建筑中的工作人员,他们可接受的空气温度上限为 28°C ,但二者均高于现行标准中的 26°C ; Tanabe 对日本夏季热舒适的研究表明:高温下,日本人的皮肤湿度要比 SET 预测的低。生活环境和经历都会影响人们的热期望值,从而使人们认为满意的热环境不同。在南极的舒适温度是 6°C ,而在印度北部的工厂里人们在室温 31.5°C 的环境下依然感到舒适。

Ken Parson 认为,成年男性和成年女性对热舒适反应区别很小,除非是在温度较低的情况下,增减衣物有助于在一定的范围内保持热舒适。Roberto Lambert 通过在巴西南部空调和非空调建筑中的热舒适区域的研究指出,在空调环境下,人们感到舒适的温度和湿度范围相对要窄一些,居住者对温度变化要比湿度变化敏感。Shahin Heidari 通过在爱尔兰进行的热舒适调查,发现爱尔兰居民能耐受的热舒适温度远比现有标准推荐的高。Martin Evans 通过在阿根廷的现场研究表明,人们感到舒适时测得的温度和标准推荐值有所不同。在英国、欧洲、巴基斯坦等国家进行的电扇、开窗的使用情况也反映了人们对环境的控制能力有助于提高其对环境的满意程度。人们对环境的控制能力将人们的生理、心理与建筑物的物理特性联系起来。

越来越多的实地测试表明,人的适应性和对环境的期望被认为是产生 PMV 模型与测得的温度不同这种状况的主要原因。1998 年,澳大利亚的麦觉里大学(Macquarie University)的 Richard de Dear 等针对此提出了“适应性模型(Adaptive Model)”。这一模型是在来自四大洲宽广的气候区域的 21 000 份现场研究的数据上建立的。适应模型认为,PMV 指标建立的基础-热量平衡模型是严格的实验室产物。实验过程中,人被看作是人造环境中天气变化的被动接受者,而不是实际情况下可在更大的温度范围内自然调节的适应者,因此现有的热舒适标准的热量平衡模型并不能反映出人们感受环境、改变行为或逐步调整自己的期望值以适应环境的复杂方式,人们对温度的实际选择标准和基于实验基础上的标准相去甚远。

适应模型认为建筑用户对温度的期望,进而对室内舒适度的期望会随室外温度的改变而改变,经过大量的数据统计,适应模型提出将室内最优的舒适温度和月平均室外温度(月平均最高温度和最低温度的代数平均值)联系起来,并得到一个线性回归公式。de Dear 和 Brager 给出的公式见式(1-1)。

$$t_{\text{comf}} = 0.31t_{\text{a,out}} + 17.8 \quad (1-1)$$

式中, t_{comf} 为室内最优的舒适温度; $t_{\text{a,out}}$ 为室外空气平均温度。Humphreys 等人给出的线性回归公式略有区别, 见式(1-2)。

$$t_{\text{comf}} = 0.54t_{\text{a,out}} + 13.5 \quad (1-2)$$

1.2.1.2 国内热舒适研究

目前国内一些学者已开始着手对我国部分地区居住建筑室内热环境的研究。如夏一哉等对北京市居民住宅夏季室内环境热舒适性进行了现场调查与分析, 对北京自然通风居民住宅现场测试了夏季室内干球温度、相对湿度、风速等环境参数, 以问卷方式和分级热舒适指标调查记录了居民的热感觉, 提出了居室热环境改善措施。陈滨等通过对大连市和沈阳市多套住宅夏季室内温湿度度的实测调查, 分析了室外气候条件、住宅形式、人员活动及空调设备使用情况对室内热湿环境的影响, 为了解目前北方地区现有住宅夏季室内热湿环境状况提供了参考。简毅文和江亿根据多年夏季对北京市居民住宅的室温实测数据, 从所有实测房间的室温整体分布、室温平均值、室温波动幅度及室温延迟时间等方面描述现有住宅夏季的室内热状况特性。通过分析比较整个实测期内不同房间室温曲线变化的差异, 定量研究分析了建筑设计所确定的房间楼层位置、建筑外围护结构及建筑平面布局等因素对住宅室内热状况的影响程度。研究结果表明建筑外围护结构良好的保温隔热性能及合理的建筑布局是改善住宅室内热状况的关键。李百战等对重庆住宅夏季室内热环境状况进行了调查与实测, 指出其具有如下特点: 夏季室内气温高, 室内气温高于 30°C 以上的时间全年达 $40\sim 50$ 天之多, 极端温度达 37°C 以上, 室内风速小, 湿度大, 闷热感强, PMV 值高达 $2.5\sim 3.3$ 之间。并指出可以采用低能耗的措施来改善室内热环境质量, 并建立了室内热环境模拟与评价模型, 利用该模型并结合计算机技术, 对改善住宅室内热环境的措施进行了系统分析, 并在此基础上, 提出了重庆地区住宅热舒适性指标, 为重庆地区住宅节能工作的开展提供了技术支持。唐鸣放通过对重庆典型气候条件下居住热环境的测试分析, 说明将夏季能耗分为空调期和除湿期, 分别采用不同的节能措施改善居住环境

是合理可行的,为当前制定夏热冬冷地区建筑热环境节能标准提供了参考。李娟通过实测、计算分析论证了除湿是改善夏热冬冷地区室内热环境的最为有效、节能的措施。湿度是影响我国夏热冬冷地区夏季室内热环境的主要因素之一,过去单纯采取夏日通风隔热、冬季保温防寒措施,改善室内环境以能耗剧增为代价产生的大量污染物给大气环境造成诸如温室效应、臭氧层空洞等严峻问题,采取合理的除湿方式,最大可降低的除湿空调能耗可达50%,可以明显的减少大气污染物的排放,利用大气环境质量的控制和改善,实现室内外环境协调、可持续发展。付祥钊对长江流域住宅进行了大量调查研究,指出该地区冬季室内热环境十分恶劣,并提出了改善措施和适用的热指标,即可用室内气温作为长江流域住宅冬季热环境质量的实测考核指标,但并未考虑到湿度对热指标的影响,在环境湿度 $\varphi_a = 40\% \sim 60\%$ 范围内,用 t_a 评价室内环境的冷热不会有很大的偏差,但由于高温高湿环境下人体的出汗调节机能起到相当大的热平衡作用,因此在较热和较湿的环境中,湿度对热感觉的影响增大了,用来评价环境对人体造成的热感觉就不可靠了。杨盛旭等用 PMV-PPD 指标研究了长江流域地区冬季室内热环境质量,通过调查和利用 Fanger 人体热舒适方程发现,冬季室内温度过低,是造成人员不舒适的主要原因。孟庆林等分析了中国供暖临界地区的居住建筑室内热环境,结果表明现有形式的住宅仅靠围护结构的保温作用和室内余热不能保证 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的室内温度,提出由于临界地区的建筑出于漫长的炎热季节防热的需要,不允许我们为短暂的冬季保温而作全面彻底的改造,只有从现有建筑耗热比例较大的方面着手改进才是可行而且有效的途径,即降低换气次数和改善窗的保温性能是提高室温的有效方法。Hiroshi YOSHINO 等对中国的哈尔滨、北京、西安、上海和香港五大城市的冬季室内热环境进行了调查,结果表明冬季房间内有采暖设备的哈尔滨、北京、西安三个城市,室内热环境状况良好,香港由于冬季室外温度也很高,即使不采用采暖设备室内也具备比较舒适的热环境,而上海地区冬季由于室外温度较低,且室内又无

供暖设备,造成室内的热环境十分恶劣,但并未对此提出相应的改善措施。张旭等人在标准散热器热工性能试验台上,模拟我国中部地区冬季供暖房间热环境及人员衣着习惯,针对钢制柱式、钢制串片和钢制扁管三种典型散热器,进行了人体热舒适实验,并得出结论:采用以对流换热为主的钢串片散热器供暖,人体达到舒适状态所要求的空气温度相对最高;采用以辐射为主的扁管散热器供暖时,人体达到舒适状态所要求的空气温度相对最低;采用辐射换热量占总换热量比例介于上述两种散热器之间的钢制柱式散热器时,人体达到舒适状态所要求的空气温度居中。这说明在同一供暖舒适环境下,以辐射换热为主的采暖方式所需的室内温度最低,有较好的节能效果。王怡定量比较了集中供暖房间和使用家用热泵空调房间的热环境测试数据,分析其对人体舒适性的影响,指出空调房间的垂直温度梯度过大,不仅不利于房间的热舒适性,也大大降低了热量的有效利用率,同时送风气流形成的空气流动会引起人的不舒适感,但未提出辐射采暖可以避免这些问题的出现,既能使房间温度分布均匀,又能满足热舒适性的要求,从而提高热量的有效利用率。宫燕玲将热舒适评价标准模型与供暖房间热环境数值模拟相结合,以西安地区为算例,对供暖房间 11 个工况进行了室内动态热环境及热舒适模拟与分析,证实了现行规范的可行性。Yun Cai 对中国夏热冬冷地区住宅建筑围护结构的能耗进行了调查分析,提出通过改善外墙和窗户的热工性能以达到改善室内热环境和节能目的等等。

可以看出,我国在人居环境、人体热感觉等方面做了一定的工作,但由于起步较晚,所做有限,并且这些工作有一些是在国际上通用的热环境评价标准、热舒适理论的基础上进行的。但是,目前被国际公认的评价和预测室内热环境热舒适的标准 ISO 7730 和 ASHRAE 55—1992 主要是以欧美等国家的健康青年人为研究对象,通过实验建立的标准,这些标准未必适用于中国人。Tao 在美国 Kansas 州立大学对抵美不久的中国留学生和美国学生进行的对比实验表明,两个种族的受试者在生理反应上存在差别,在