

居住建筑节能整体性能测评方法研究

付祥钊, 檀姊静

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要:从建筑的使用属性出发,分析了建筑对室外冷、热气候环境的亲和与抵御特性,提出以室外干球温度/室外综合温度与室内干球温度差值的时间积分表征建筑的亲和及抵御特性;分析得出居住建筑的亲和及抵御特性与其整体节能性能具有一致性,并在此基础上构建了表征居住建筑节能整体性能的三个参数:热抵御参数、亲和参数、冷抵御参数;划分了检测表征参数的时区,构建了居住建筑节能整体性能测评方法及流程,并分析了其特点;以重庆市某住宅为例,通过实测应用,说明了本方法具有易实现、投入少、按房间给出测评结果的特点。

关键词:节能;居住建筑;表征参数;测评

中图分类号: TU834.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)06-0761-06

到2000年年底,中国城市建筑面积已达76.6亿平方米,其中居住建筑面积为44.1亿平方米^[1].居住建筑节能是建筑节能领域的研究重点.随着国家及各地方的建筑节能设计标准的强制执行,建筑的节能性能的检测与验收逐步成为保证交付使用的建筑具有良好的整体节能性能的关键.

建筑能耗影响因素繁多,如:室外气候条件、室内环境需求、建筑保温性能、建筑朝向、透光面积、外窗类型、围护结构气密性、建筑热惰性等^[2].其中围护结构的整体热工性能是建筑设计和建造的关键因素,其对空调采暖系统能耗有重要影响^[3].K. J. Chua等人定义了综合考虑通过透光和非透光围护结构传热及通过外窗的太阳辐射三因素的居住建筑围护结构传热值(ETTV_{res}),并使用ETTV_{res}作为建筑围护结构热性能的评价参数^[4].在我国夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准中,围护结构传热系数 K 、热惰性指标 D 及气密性等级被作为围护结构热性能的主要评价指标^[5].

居住建筑节能检测相关的国家级标准主要有:《建筑节能工程施工质量规范》(GB50411—2007)等5部,北京、上海、重庆等地也出台多部地方标准.现行的节能检测与评价标准普遍采用单要素逐一独立测评的单项节能指标检测方法^[6-9],或以实测数据为基础利用软件模拟获得能耗指标的综合指标检测方法,或采用两种方法相互补充的综合方法^[10].建筑的单个节能参数达到要求,其整体节能性能不一定能达到要求^[11].使用现行检测方法进行竣工验收测评时,存在检测项目少,则评价不全面;检测项目多,则耗时耗力不经济的问题,而且仅根据众多单一的热工参数也难以评价建筑节能的整体性能.因此,需要一种有效的测评方法,使其能够实现对建筑节能性能的整体测评.

1 整体节能性能表征参数的构建

居住建筑具有良好的整体节能性能是其运行阶段低能耗的必要前提.整体节能性能是一个多因素的综合性指标,将主要因素分离并独立测评的方法并不能得到建筑真实有效的整体节能性能.需要找到能够真实、有效、公平的反应建筑的整体节能性能的表征参数,才能够实现对居住建筑整体节能性能的测评.

Wang Xiao-ming及Ren Zhen-gen等人指出当气候变化时,建筑的节能性能越好,其冷热需求变化越小^[12-13].从建筑对不同室外气候条件的响应出发,应该寻找建筑整体节能性能的测评方法.居住建筑

收稿日期:2012-05-08 修改稿日期:2012-11-28

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划(2006BAJ01A05);重庆市建设科技计划项目(城科学2010第(106)号)

作者简介:付祥钊(1947-),男,四川泸州人,教授,博士生导师,研究方向:建筑节能.

作为人们生活的必须空间,其最主要的功能就是为人们提供一个良好的与外界环境相分隔的室内环境。当外界环境不适宜人类生存时,建筑要为人提供庇护,尽量抵制室外环境的不利影响,为人们提供良好的生存空间,当外界环境适宜人类生存时,尽量趋近室外状态以满足人们生理需求及亲近自然的心理愿望的。

建筑室内环境由全体建筑要素共同构成,不论是对外界环境的抵制还是亲近,均是所有建筑要素共同作用的结果,反映了各要素结合在一起时所表现出的综合能力。综合性能越好,其构造的室内空间越有利于人居住,人类营造宜居室内环境所需的能量就越少,该建筑的整体节能性能就越好。从使用功能出发,居住建筑的整体节能性能主要包含两个方面:对不利环境的抵御特性及对有利环境的亲和特性。

1.1 亲和与抵御特性的表征参数

建筑热过程是室外环境作为外扰作用在围护结构上,再通过围护结构的热传递或空气流动等形式影响室内环境,并最终使室内空气温度产生波动的过程。室内温度受全体建筑要素影响,当外界环境一定时,任一要素的变化都将最终影响室内温度。当室内无供热或供冷时,室内温度波动又是室外温度变化的函数^[14]。因此,用|外扰—室内空气温度|表示建筑室内、外环境的差异,考虑到外扰在通过围护结构影响室内温度的过程中,存在时间上的延迟和幅值的衰减,如图2。

故,用|外扰—室内空气温度|值在某时间段上的积分来表征建筑室内、外环境之间的差异,即 $\int |外扰 - 室内空气温度|$ 。

应根据建筑抵御特性及亲和特性的不同特征,提出抵御参数与亲和参数两个参数,表征建筑的抵御特性与亲和特性。选择室内空气温度 t_n 表征建筑室内空间热环境,室外气温 t_w 及室外综合气温 t_{wz} 表征外界热环境。无内热源建筑对室外有利环境的亲和主要表现在该建筑自然通风效果,建筑的自然通风可以在全天内进行,故选择 t_{wz} 表征外界热环境。无内热源建筑对室外热恶劣环境的抵御时,室外空气温度及太阳辐射共同构成了外界的热恶劣环境,故选择室外综合温度 t_{wz} 作为外界热环境的表征参数。当室外热环境处于冷恶劣状态时,太阳辐射不属于冷恶劣因素,不应计入对冷恶劣的抵御中,故应选择室外空气温度 t_w 作为外界热环境的表征参数。建筑室内空间热环境与外界良好热环境的亲近程度应为 $(t_n - t_{wz})$,对外界热恶劣环境的抵制程度应为 $(t_{wz} - t_n)$,对外界冷恶劣环境的抵制程度应为 $(t_n - t_w)$ ^[16]。

(1) 亲和能力

使用符号 τ_{as} 表示建筑的亲和能力,定义为:建筑对外界良好环境的亲近程度,值越小亲和能力越强,单位小时·摄氏度($h \cdot ^\circ C$)。其计算公式如下:

$$\tau_{as} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (t_n - t_{wz}) d\tau$$

式中: t_n 为室内干球温度,单位 $^\circ C$; t_{wz} 为室外综合温度,单位 $^\circ C$; τ_1 为亲和能力计算起始时刻; τ_2 为亲和能力计算终止时刻。

(2) 抵御能力

外界环境的恶劣环境分为热恶劣环境与冷恶劣环境,因此建筑的抵御能力分为热抵御参数和冷抵御参数。使用符号 τ_{rs} 表示建筑的热抵御参数,定义为:建筑抵制外界热恶劣环境,维持室内舒适的能力,值越大热抵御能力越强,单位小时·摄氏度($h \cdot ^\circ C$)。计算公式如下:

$$\tau_{rs} = \int_{\tau_2}^{\tau_3} (t_{wz} - t_n) d\tau$$

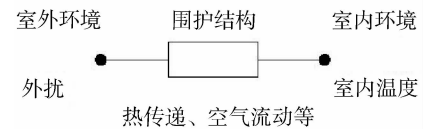


图1 建筑热过程

Fig. 1 Building thermal process

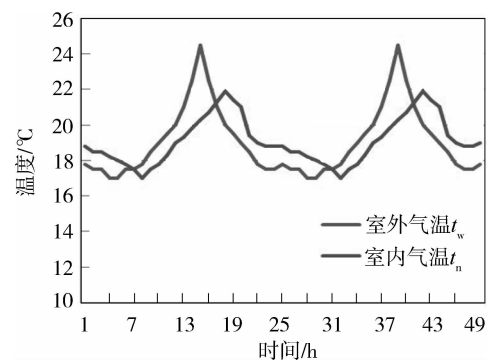


图2 室内外温度波动曲线

Fig. 2 Indoor and outdoor temperature Curve

式中: t_n 为室内干球温度,单位 $^{\circ}\text{C}$; t_{wz} 为室外综合温度,单位 $^{\circ}\text{C}$; τ_2 为热抵御能力计算起始时刻; τ_3 为热抵御能力计算终止时刻。

使用符号 τ_{ld} 表示建筑的冷抵御参数,定义为:建筑抵制外界冷恶劣环境,维持室内舒适的能力,值越大冷抵御能力越强,单位小时·摄氏度($\text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)。计算公式如下:

$$\tau_{ld} = \int_{\tau_4}^{\tau_5} (t_n - t_w) d\tau$$

式中: t_n 为室内干球温度,单位 $^{\circ}\text{C}$; t_{wz} 为室外干球温度,单位 $^{\circ}\text{C}$; τ_4 为冷抵御能力计算起始时刻; τ_5 为冷抵御能力计算终止时刻。

亲和能力数值越小并且抵御能力数值越大,建筑的整体节能性能越优。若某段时期内建筑外环境属于冷恶劣环境,建筑的亲和能力没有意义,无需测评。但热抵御能力与亲和能力是一对组合参数,其间具有耦合关系,在亲和能力测试时段内,房间通风,通风能力强弱将影响热抵御测试起始时刻室内气温及室内蓄热体温度,从而影响热抵御能力。热抵御能力与亲和能力必须成对测评,只有具有共同时间节点的一组亲和能力和热抵御能力才具有表征效力。

1.2 时间节点

充分考虑各表征参数的物理意义,确定各表征参数的时间计算节点如下图:

2 测评方法

2.1 测评时区划分

居住建筑的使用具有全年性,在一年的周期中,人们对建筑整体节能性能的需求将根据室外气象环境的变化而变化,将每年分为两个区,一区:单纯需求冷抵御能力的区,室外日平均气温 $\leq T$ 的时段。二区:同时需要热抵御及亲和能力的区,室外日平均气温 $> T$ 的时段。在一区内,外界环境始终处于冷不利状态,仅对冷抵御能力进行测评。在二区内,测评热抵御能力与亲和能力。由于热抵御能力及亲和能力具有耦合关系,故必须成对测量,即具有同一时间结点的一组热抵御能力和热亲和能力才具有测评效力。

2.2 测评方法的构建

利用表征参数构建合理的测评方法是实现简易、准确的居住建筑整体节能性测评的关键。根据表征参数的定义,其虽能表征建筑整体节能

性能,但具体数值受气象条件影响,同一建筑的表征参数不是一个定值,不能采用限值法进行评价。但可以通过比较待验收建筑整体节能性能的表征参数值与相同室外参数条件下设计建筑的表征参数值的相对大小来评价完工建筑的整体节能性能是否达到设计值,从而判断其是否通过验收,即比较法。居住建筑各功能房间之间的节能性差异不应被忽略^[16],本测评方法可以实现对主要功能房间进行单独测评。

(1)通过对某城市气象数据分析,确定测评分区用温度 T 。

(2)在室外日平均气温 $\leq T^{\circ}\text{C}$ 的一区内,对建筑冷抵御能力进行实测,比较实际建筑测定的冷抵御参数值与设计建筑的冷抵御参数值的相对大小关系,评定建筑的冷抵御能力是否合格。

(3)在室外日平均气温 $> T^{\circ}\text{C}$ 的二区内,分别比较设计建筑与实际建筑的热抵御参数及热亲和参数数值,综合评定建筑的热抵御能力与热亲和能力是否合格。

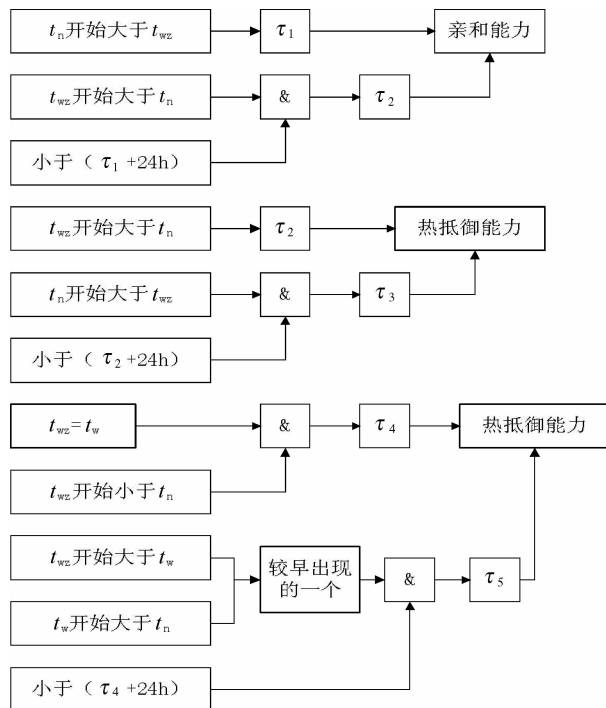


图3 表征参数时间节点

Fig. 3 Timing nodes of characterization parameter

综合两区的评价结果,得出最终结论.见表1.

由于方法的局限性,本测评方法只能得到是否合格的结论,无法指出不合格的具体因素.若任一项表征参数不合格,则应进行详细的热工检测,追查不合格因素.

2.3 测评流程

中表征参数计算部分,使用笔者自行编制的表征参数计算程序进行计算,可直接输出表征参数值用于综合评价.评价流程见图4.程序界面见图5.

2.4 应用特点

本测评方法具有以下特点:

(1)以节能检测及验收为目的,通过比较法,判断实际建筑是否优于其设计状态,不涉及空调采暖等环境调节系统评价.

(2)本测评方法是对建筑室内空气温度的所有影响因素(除气象参数外)的综合评价.更重视测评建筑要素之间的搭配,强调综合的优秀而不是单个优秀要素的累加.

(3)本测评方法易实现、设备、时间投入少(一区、二区各保证实测48 h,全年保证96 h的连续实测即可获得评价结果,不必长期测试,节省操作时间),并可按房间给出测评结果.

3 实例应用分析

3.1 概况

以重庆市沙坪坝虎溪花园小区某高层住宅某层某户作为测评对象.该住宅建筑层高3 m,共18层,实测户建筑面积140 m²,共5个主要房间:门厅、客厅、主卧室、次卧室、书房.该建筑依据《重庆市居住建筑节能设计标准》(DB 50/5024—2002)设计,并已通过节能检测与验收.

3.2 实验设备及布置

室外气象数据利用PC-3型自动气象站,共测试环境温度、环境湿度、风向、风速及太阳辐射5个参数.室内温度利用温湿度自记录仪进行记录.小型移动气象站布置于虎溪花园小区某建筑屋面.5台温湿度记录仪分别布置与各主要房间对角线中心,距地面1.5 m高处.各房间测点布置位置示意图见图6.

3.3 测评结果

利用DeST-h软件,基于该建筑通过节能审查的施工图,建立建筑模型.将实测气象数据输入DeST-h气象数据库,作为模拟计算参数.将利用CONTAMW模拟得到的通风换气次数输入DeST-h,使模型与实测建筑具有相同的通风参数,在此条件下模拟计算模型各房间的基础室温(见表2、表3).

表1 测评结论表

Tab. 1 Conclusion of test and assessment

项目	合格判据	判定
冷抵御能力	实测值 \geq 设计值	符合则一区测评合格,否则不合格
亲和能力	实测值 \leq 设计值	两项均符合则二区测评合格,任一不合格则不合格
热抵御能力	实测值 \geq 设计值	
测评结论	一、二区测评均合格	符合则全年合格,否则不合格

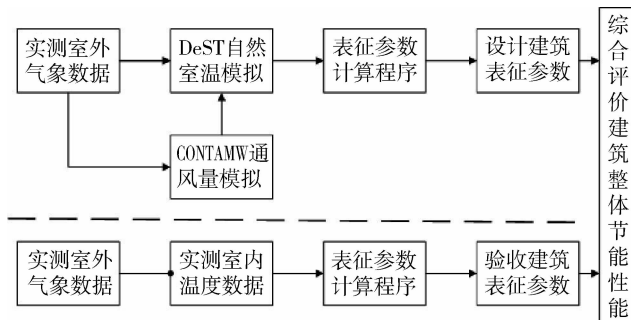


图4 节能整体性能评价方法流程

Fig. 4 Test and assessment process of the method



图5 表征参数计算程序界面图

Fig. 5 Software interface of characterization parameter calculation program

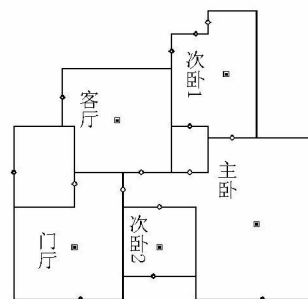


图6 测点布置图

Fig. 6 Arrangement of measure points

表 2 亲和能力实测及模拟结果
Tab. 2 Test and simulation result of affinity capability

亲和能力/(h·℃)		门厅	次卧室 2	主卧	次卧 1	客厅	比较	判定
第一组	设计值	14.25	17.59	31.49	22.39	19.43	实测<设计	实测优于设计
	实测	13.3	16.1	21.4	18.3	17.6		
第二组	设计值	11.95	14.69	27.59	20.77	18.22	实测<设计	实测优于设计
	实测	10.9	13.5	18.5	15.3	14.8		
第三组	设计值	8.02	9.5	18.66	12.91	11.43	实测<设计	实测优于设计
	实测	7.9	9.2	16.4	11.6	10.9		

表 3 热抵御能力实测及模拟结果
Tab. 3 Test and simulation result of hot-resistance capability

热抵御能力/(h·℃)		门厅	次卧室 2	主卧	次卧 1	客厅	比较	判定
第一组	设计值	47.51	57.77	56.57	70.69	72.98	实测>设计	实测优于设计
	实测	55.3	75	69.4	79.1	81.7		
第二组	设计值	86.79	101.78	100.35	115.21	119.39	实测>设计	实测优于设计
	实测	99.5	117.6	111.4	127.6	137.5		
第三组	设计值	153.08	172.03	167.43	182.33	190.07	实测>设计	实测优于设计
	实测	160.1	181.4	172.4	188.3	196.7		

由上表可看出,三组实测数据均得到一致性结果,该建筑实测亲和能力数值<设计建筑,说明该建筑实际所具有的亲和能力优于设计;实测热抵御能力数值>设计,说明该建筑实际所具有的热抵御能力优于设计;综合两项,该建筑在每年的热抵御与亲和共存区内具有比设计值更优的整体节能性能,二区内建筑整体节能性能竣工验收合格(一区内建筑整体节能性能验收结果仍需对应季节实测才能得到)。本方法与夏热冬冷地区现行节能检测与验收方法得到相同的结论,但本方法与该地区现行方法比较(表 4),在测试项目、设备、人员、时间等方面投入少、简便易行,能够按房间给出测评结果,且实现了现行方法不能完成的节能整体性能测评。

表 4 本方法与夏热冬冷地区现行节能检测方法对比表
Tab. 4 Comparison of current test method in hot summer and cold winter zone with this method

本方法		现行方法
测试项目	室内空气温度、室外气象参数(温度、辐射、风速、风向)	外围护结构保温隔热性能、内围护结构保温性能、室内环境参数(空气温湿度、平均辐射温度、室内风速等)
设备投入	温度记录仪、电子气象站	热箱、实验室静压箱、热流计、电子气象站、热电偶测温仪、环境测试仪等
人员投入	1 人	3 人以上
时间投入	96 h	10 d 以上

4 结论与讨论

对建筑节能性能进行逐一测评必须投入大量的人力、物力,财力以及时间,且难以实现整体节能性能测评。本文从居住建筑基本功能出发,提出以对室外气候的亲和及抵御性能作为评价建筑整体节能性能的方法;定义了亲和参数、冷抵御参数及热抵御参数三个表征参数;总结出一种通用的测评方法,该方法借助模拟软件实现实际建筑与设计建筑的三表征参数的比较,可对居住建筑进行逐户逐房间测评;编制了测评辅助计算软件,简化测评流程;并对该方法进行实例分析,说明了其具有易实现、投入少、按房

间给出测评结果等特点。

以亲和能力、热抵御能力及冷抵御能力作为表征参数的居住建筑整体节能性能测评方法是从各建筑要素综合性能出发,以室内温度与室外环境之间差异来评价居住建筑的整体节能性能,使用该方法能够简化建筑节能性能的检测与评价,并实现建筑各要素节能性能的综合测评。

参考文献 References

- [1] LANG Siwei. Progress in energy-efficiency standards or residential buildings in China [J]. Energy and Buildings, 2004, 36: 1191-1196.
- [2] CHLELA FADI, HUSAUNNDEE Ahmad, INARD Christian, et al. A new methodology for the design of low energy buildings [J]. Energy and Buildings, 2009, 41: 982-990.
- [3] MORRISSEY J, HORNE R E. Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings [J]. Energy and Buildings, 2011, 43: 915-924.
- [4] CHUA K J, CHOU S K. Energy performance of residential buildings in Singapore [J]. Energy, 2010, 35: 667-678.
- [5] FENG Ya. Thermal design standards for energy efficiency of residential buildings in hot summer/cold winter zones [J]. Energy and Buildings, 2004, 36: 1309-1312.
- [6] 冯 骏. 居住建筑整体节能性能竣工测评—冬季测评方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2010:1-3.
FENG Jun. Study on Measuring and Evaluating Means of Residence Integral Energy-efficient Performance in winter [D]. A Thesis Submitted to Chongqing University in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Engineering, Chongqing: Chongqing University, 2010: 1-3.
- [7] 徐选才. 居住建筑节能检测标准解析[J]. 住宅产业, 2010(5):30-31.
XU Cai-xuan. Analysis of Standard for Energy Efficiency Test of Residential Buildings[J]. Housing Industry, 2010 (5):30-31.
- [8] 汤雯雯. 建筑围护结构热工性能现场检测技术的研究综述[J]. 科技信息, 2010(21):146-147.
TANG Wen-Wen. Research on Field Test Technology of Thermal Properties of Building Envelope Constructions [J]. Science & Technology Information, 2010(21):146-147.
- [9] 王剑平. 关于建筑节能检测方法的探讨[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(2):14-16.
WANG Jian-ping. Analysis of Detection Method for Buildings Energy Conservation[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(2):14-16.
- [10] 朱先锋. 建筑围护结构热工性能现场检测技术探讨[J]. 建筑热能通风空调, 2007, 26(3):79-82.
ZHU Xian-feng. Discussion on Field Test Technology of Thermal Properties of Building Envelope Constructions [J]. Building Energy & Environment, 2007, 26(3):79-82.
- [11] 付祥钊, 肖益民. 建筑节能原理与技术[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2008:63-67.
XIANG Zhao-fu, XIAO Yi-min. Theory and Technology of Building Energy Saving[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2008:63-67.
- [12] WANG Xiao-ming, CHEN Dong, REN Zhen-gen. Assessment of climate change impact on residential building heating and cooling energy requirement in Australia [J]. Building and Environment, 2010, 45: 1663-1682.
- [13] REN Zhen-gen, CHEN Dong, WANG Xiao-ming. Climate change adaptation pathways for Australian residential buildings [J]. Building and Environment, 2011, 46: 2398-2412.
- [14] YOSHINO HIROSHI, YOSHINO YASUKO, ZHANG Qing-Yuan, et al. Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China [J]. Energy and Buildings, 2006, 38: 1308-1319.
- [15] 付祥钊, 祝书丰, 孙婵娟. 居住建筑热工性能的整体测评方法[P]. 中国:G01N25/00. CN200810069266. 6. 2008. 7. 9.
XIANG Zhao-fu, ZHU Shu-feng, SUN Chan-juan. Integral Measuring and Evaluating Means of Residential Buildings for Thermal Property[P]. P. R. China, G01N25/00. CN200810069266. 6. 2008. 7. 9.
- [16] YAO Jian. Energy optimization of building design for different housing units in apartment buildings [J]. Applied Energy, 2012, 94: 330-337.

ing and Structural Dynamics, 1997, 26(5): 541-548.

Seismic analysis on the base isolated structure with displacement dependent friction damping

YANG Qing-li^{1,2}, ZHOU Qiang³, LUO Nian-hong³

(1. School of Building Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. School of Building Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830008, China; 3. Hubei Key Laboratory of Roadway Bridge and Structure Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Seismic response reduction effect of displacement dependent friction (DDF) damping on base isolated structure with lead rubber bearing (LRB) is investigated. Bouc-Wen hysteretic model and Coulomb friction model are adopted to simulate the mechanical property of LRB and DDF damper respectively. Numerical analysis shows that the DDF damping can reduce base displacement but may increase the inter-storey drift and acceleration response of the superstructure. On the other hand, under the excitation of impulse-type near fault earthquake, DDF damping can significantly mitigate base displacement. Meanwhile the inter-storey drift and acceleration response of the superstructure are also more or less reduced. Besides parametric analysis gives some suggestions on the proper values of the three main factors of the friction damper.

Key words: *displacement dependent friction damping; base isolated with lead rubber bearing; Coulomb friction; impulse-type near fault earthquake*

Biography: YANG Qing-li, Associate Professor, Candidate for Ph. D., Beijing 100124, P. R. China, Tel: 0086-13520818836, E-mail: yqingli@163.com

(上接第 766 页)

Research on test and assessment method of integral energy saving performance of residential buildings

FU Xiang-zhao, TAN Zi-jing

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Based on using attribute of buildings, resistance and affinity properties of buildings were analyzed, which were described by integral of differential value between outdoor air temperature/ comprehensive temperature of outdoor and indoor air temperature. Resistance and affinity properties were in accord with integral energy-saving performance of residential buildings by analysis and three characterization parameters, hot-resistance capability, cold-resistance performance of residential buildings were proposed. Time intervals for test and assessment of the characterization parameters were presented. Moreover, a method for testing and assessing the integral energy saving performance of residential buildings was built with an operating process. It was easy for this method to implement with minimal investment and its result was given for each room that was proved by an application example in Chongqing.

Key words: *energy saving; residential building; characterization parameter; test and assessment*

Biography: FU Xiang-zhao, Professor, Chongqing 400045, P. R. China, Tel: 0086-13658339677, E-mail: Xiangzhaof@yahoo.com.cn