

中心城区紧凑型住宅的内部平面尺度解析

庄宇¹, 张莹²

(1. 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092; 2. 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海 200092)

摘要: 以核心家庭为例, 探讨紧凑型住宅平面尺度的两个主要影响因素: 家庭生活行为的细分对尺度变化的要求, 现代家居产品的尺度导致的空间尺度变化。通过家庭生活行为的解析、行为单元的尺度分析以及行为的组合三个渐进的分析步骤, 探求面向核心家庭的中心城区紧凑型住宅平面不同层次的尺度要求。

关键词: 中心城区; 紧凑型住宅; 平面尺度; 核心家庭

中图分类号: TU 241.2

文献标识码: A

Analysis on Interior Dimension of Compact Apartments in Downtown Area for Nuclear Families

ZHUANG Yu¹, ZHANG Ying²

(1. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Architectural Design & Research Institute of Tongji University (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper discusses two major factors which affect the interior dimension of compact apartments in the case of nuclear families. One of the major factors is the special dimension of residential behavior. Another main factor is the special dimension of home appliance. Through the sequential analysis of behavior decomposition, behavior dimension and behavior combination, various circumstances are explored for different interior dimension of compact apartments in downtown area for nuclear families.

Key words: downtown area; compact apartments; interior dimension; nuclear families

缺, 要求传统的住宅建设方式由粗放单向型、外延扩张型向集约循环型、内涵挖潜型转变, 建设高效紧凑型城市住宅已经迫在眉睫。然而, 城市房地产市场过热导致市场失衡, 部分房地产开发商受经济利益驱动, 致使大量大套型住宅涌入市场, 中心城区住宅内部空间利用率偏低、受众面偏小的问题比较突出。

中心城区因其完备的基础设施、便捷的城市生活、密集的就业岗位等因素, 是城市居民理想的定居地, 而中心城区土地供给的稀缺性与大量的市场需求形成反差。随着城市住宅价值的区位差异日益明显, 中心城区住宅总价过高, 限制了对中心城区住房消费的受众。事实上, 大量中心城区的就业人群如能选择在邻近就业区域居住, 可以大大降低城市总体出行成本和交通能耗。因此, 尽管当前城市在不断“向外”扩张和“向上”发展, 但坚持高效利用有限的城市中心土地资源, 建设紧凑型住宅, 提高住宅建筑套密度, 满足更多人在中心城区的居住需求, 是保证城市持续和谐发展和都市活力的重要环节。

当前, 我国的家庭构成呈小型化的趋势, 平均每户家庭的人员数逐年下降, 核心家庭(由父母及其未婚子女所组成的家庭模式)^[1]成为当前也将是未来我国主要的家庭形式之一。核心家庭小型化的居住模式使中心城区紧凑型住宅具备了市场力与适用性。因此, 笔者选取核心家庭作为研究人群, 来探讨中心城区紧凑型住宅的内部平面尺度。

1 几个概念的界定

1.1 核心家庭

在我国独身子女政策背景下, 本文的核心家庭指父母与未婚子女共同居住和生活的三口之家。

城市化的快速推进和经济的高速增长, 是当前中国城市两个最鲜明的特征。快速发展的中国正面临着巨大的能源压力, 人多地少, 城市土地资源稀

收稿日期: 2010-04-18

第一作者: 庄宇(1968—), 男, 教授, 硕士生导师, 国家一级注册建筑师, 工学博士, 主要研究方向为城市设计、住区设计。

E-mail: arch-urban@163.com

第二作者: 张莹(1980—), 女, 国家一级注册建筑师, 建筑学硕士, 主要研究方向为住区设计。E-mail: zhangying_xn@126.com

1.2 中心城区

中心城区是城市中人口聚集、功能密集的核心区域,其交通的便利性、空间的可达性、设施的完备性均明显优于城市周边地区.以上海为例,中心城区所指的范围是以环线所划定的上海市外环线以内区域,即城市的集中建成区域.

1.3 紧凑型住宅

通常,住宅的居住标准可以分三个层次来衡量:

第一个层次——“能用”,为人们提供一个优于室外环境的、利于基本居住行为的掩蔽所,满足人们基本生活需要和安全需要.

第二个层次——“够用”,在“能用”的前提下,为人们提供一个可以实现更多居住行为的归属地,满足人们一定的享受欲,满足人们归属和爱的需要.

第三个层次——“好用”,在“够用”前提下,作为一种物质消费品,进一步满足人们社交的精神需要及自我实现的情感需要,彰显社会地位及消费水平.

以图1所示住宅内双人卧室的平面尺度为例,可以理解不同层次的居住标准.

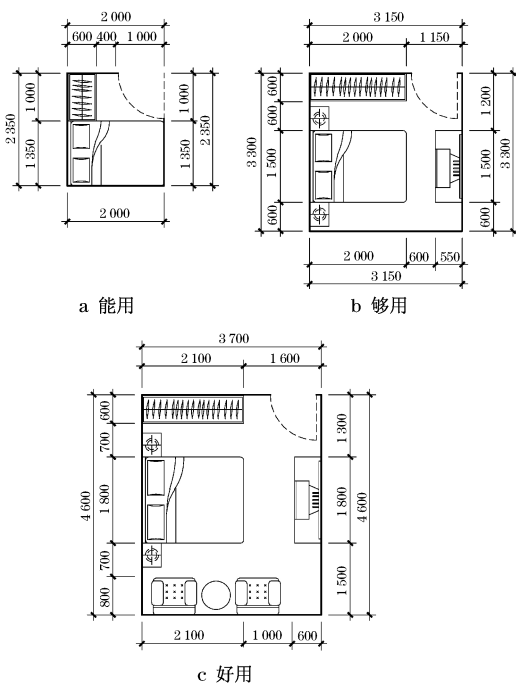


图1 双人卧室的不同居住标准(单位:mm)

Fig.1 Different residential standards for double bedrooms(unit:mm)

“紧凑”在《辞海》中的注解是“密切联系,中间没有多余的东西或空隙”.本文所谓的紧凑型住宅,首先从概念上与纯粹追求小面积的公寓区分,是一种保证

“够用”的前提下,能够满足居住功能、精打细算提高使用率的住宅套型.紧凑型是城市住宅的发展方向,但是不能过分压制舒适性,降低家居生活质量.

2 国内外研究现状及发展动态

发达国家和地区对城市紧凑型住宅的理论研究和设计实践都领先于我国.如日本的集合住宅、香港的公营房屋、瑞典的城市公寓等发展过程始终伴随着紧凑设计的思路展开.在内部平面尺度方面的研究主要有:日本集合住宅有关“居住实态调查”^[2],常规住宅和小规模住宅两种居住标准的内部房间的最小面积规定^[3];香港公营房屋对居住单元的研究^[4];瑞典城市公寓内部各空间的功能尺度研究^[5],等等.

而我国大力发展“节能省地型”住宅的目标的提出,促使学界和业界重视这一层面内容的研究,陆续出现了一些理论专著和研究性论文,包括对国外紧凑型住宅经验的介绍^[6]、住宅精细化设计^[7]、套型设计方法^[8]和对面积标准的探讨^[9]等,都成为紧凑型住宅研究的重要参考依据.

3 以核心家庭为例的尺度影响因素

以住宅内部平面尺度对紧凑型住宅设计的关键性影响,作为展开紧凑型住宅研究的切入点.影响住宅内部平面尺度的因素很多,下文以核心家庭为例探讨紧凑型住宅内部平面尺度的两个主要影响因素:家庭生活行为的细分对尺度变化的要求,现代家居产品的尺度导致的空间尺度变化.

3.1 家庭生活行为的细分对尺度变化的要求

行为研究是空间设计的核心支撑.家庭生活行为的不断细分,使住宅内部功能分化程度不断提高,进而对内部功能空间的平面尺度提出变化的要求.

核心家庭的家庭生活注重父母与孩子共享天伦,客厅内交往行为比较多,如家人日常团聚、休闲娱乐活动等,所以需要一定的活动面积.

餐厅中传统的宴请客人行为逐步减少,人们通常选择外出招待客人,餐厅逐步成为较为私密的家庭内部就餐区.在紧凑型住宅中,餐厅与起居室或厨房结合布置渐渐为人们所接受.

主卧室内,年轻夫妇的活动需求更多:就寝、更衣、梳妆、育儿、学习、上网、视听活动等.所以,对面积的要求,以好用为主.而年龄较大的夫妇,活动相

对简单,对面积的要求适中,以够用为主.

第二卧室考虑用作儿童或双人卧室,通常主要的活动有:就寝、更衣、学习等.考虑孩子的成长空间需要,面积不能太小,以够用为原则.

一部分人需要多功能房间,或者第三卧室,提高住宅适应性,面积需求不大,以能用为原则:可以用作书房、保姆房,或临时就寝的客卧.

卫生间的活动基本上是传统的沐浴、洗脸和如厕,一部分家庭还希望可以在卫生间洗(干)衣,就需要洗(干)衣机的空间了.

家务劳动电器化使得核心家庭对厨房空间需求进一步提高.厨房设计必须考虑各种家用电器、家居设备的摆放位置,并要求使用方便合理又紧凑高效.

入口区域包含了更衣、换鞋、整理外貌、储藏等行为要求,是居住品质的细节体现.

3.2 现代家居产品的尺度导致的空间尺度变化

伴随着与国际接轨的步伐,近几年来我国的家居产品日新月异,尺度也发生了很大的变化(图2).家居产品在住宅中占用很大一部分面积,其尺度将直接影响到住宅的平面尺度.在紧凑型住宅中,合适尺度的家居产品不仅能满足住户的生活需求,更能实现空间的舒适性.

从作者市场调研¹⁾结果来看,核心家庭内部各功能空间中家居产品的尺度变化主要有:

客厅内沙发尺度较传统资料集数据稍大,品种也更多.以三人沙发的平面尺度变化为例,宽度增加约350 mm,厚度增加约50~100 mm,客厅尺度因此相应增加.现代平板电视机开始取代了传统CRT(阴极射线管)电视机,厚度可减小200~250 mm,电视机柜的厚度也相应减薄200 mm,给予客厅最大的面积使用率.平板电视机也可以直接挂在墙上,厚度再减少150~200 mm,电视机柜不再必需.

就餐区域内折叠式餐桌是既实用又节约空间的选择.日常使用时可以部分折叠起来,特定需要的时候可以部分或完全展开.

传统的卧室内1350 mm宽度的双人床逐渐被市场淘汰,尺度趋向更宽更长,1500~1600 mm成为主流宽度;更有1800 mm的,尤其受到许多年轻夫妇的青睐,使用面积也相应增加.推拉门衣柜可比平开门衣柜节约一个开门的宽度,有效减小卧室进深.高床用于儿童卧室,利用架空的床下空间可以放

置衣柜或者写字台.

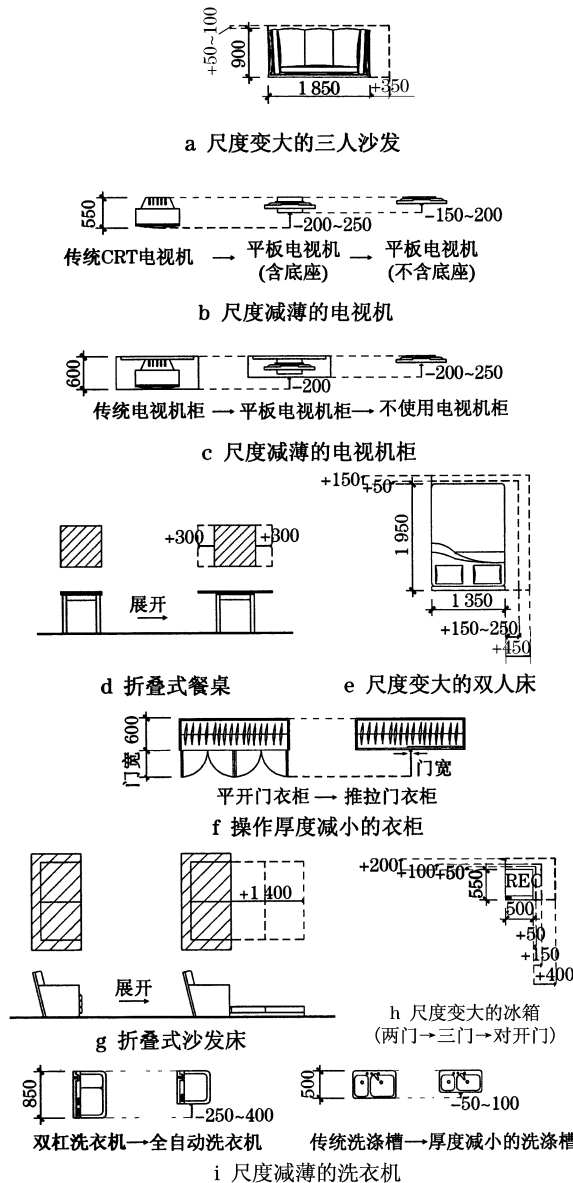


图2 现代家居产品的尺度变化(单位:mm)
Fig.2 Varying dimensions of home appliances(unit:mm)

书房内液晶显示器取代传统CRT显示器,厚度大大减小,电脑台、写字台的厚度也相应减薄.折叠式沙发床根据使用需要可以兼顾沙发和床两种用途,转换内部空间的功能.卫生间内全自动洗衣机较传统资料集上的双缸洗衣机宽度减小250~400 mm.滚筒式洗衣机的摆放位置更为自由,可以充分利用其上部空间.挂墙式坐便器、挂墙式洗脸盆可以减小所占用空间.新型卫浴产品——淋浴房,节约占地面积,有很大的市场接受度.

1) 2007年,笔者对上海地区主要的家居产品卖场——国美、永乐、苏宁、月星家居广场、吉盛伟邦家居广场、红星美凯龙家具、宜家家居内主要的现代家居产品进行了市场调研,并且访问了各类品牌的卫浴产品的网站,收集大量家居产品的尺度资料.

厚度减小 50~100 mm 的洗涤槽的出现,使厨房操作台宽度在不影响使用的前提下也可以相应减小.出现了转角水槽,有效利用厨房操作台的转角空间.冰箱品种更多,平面尺度更宽更厚.三门、对开门冰箱尤其受到生活节奏快的核心家庭欢迎,厨房需要更大的放置冰箱的空间.折叠式便餐桌用于厨房,不使用时完全不占厨房空间.

储物空间中吊柜不但增加储藏空间,又节约家具占地面积.通高的大容量柜子使储藏空间往纵向发展,也可作为隔断来分隔功能空间.壁式搁板可安装于空闲墙面上,既作小型储藏家具,又作装饰构件.

入口区域的新型家居产品——鞋柜、鞋架以及各种门厅组合柜,用于储藏或者设定入口空间.

4 以核心家庭为例的尺度解析

4.1 三个渐进的分析步骤

第一,解析核心家庭生活行为.图 3 按照行为对物质环境产生反应的要求,从低到高地把发生在住宅内的主要生活行为分为必要行为、延伸行为、自发行为.必要行为是在一定环境中达成个体的基本目标和需要的行为,基本生理行为属于此范畴;延伸行为是由必要行为引出的配合性行为,包括各种家务;自发行为只有在个体有参与的意愿,并且在时间、空间可能的情况下才会产生^[10],比如文化娱乐和社会交往.通过作者问卷调查¹⁾,解析核心家庭的生活行为在不同功能空间内的需求程度,分为强度需求(需求比重超过 50%)、中度需求(10%~50%)和弱度需求(10%或者没有).详见图 3.

第二,引入“行为单元”来研究单个行为所需要的平面尺度.行为单元又称动作空间,指人体及其动作、动作所涉及的器物及其可移动部分的移动范围^[11].对行为单元尺度的研究包含了两个层次的紧凑尺度:低限尺度和常规尺度.

低限尺度是考虑居住行为所占有的最小平面尺度,以及服务于各种行为的当前市场上低限尺度的家居产品¹⁾,所获得的各类居住行为单元的最小尺度.

常规尺度指在居住行为所占有的最小平面尺度的基础上,再考虑人体活动所需的余地、人的心理感

受等弹性因素,然后选用当前市场上常规尺度的家居产品²⁾,从而获得的各种居住行为单元的、紧凑而舒适的理想尺度.

生活行为	住宅内部功能空间								
	客厅	入口区域	餐厅	卧室	书房	卫生间	厨房	南向阳台	北向阳台
必要行为									
就寝									
就餐									
洗澡									
洗脸									
如厕									
更衣									
梳妆									
延伸行为									
洗(干)衣									
晾晒衣物、被子									
清扫与洗涤									
烹饪(洗切烧)									
育儿									
搬运									
储藏									
自发行为									
家人日常团聚									
学习(读书)									
工作									
上网									
休息									
喝茶小憩									
视听活动									
休闲娱乐活动									
园艺(种花)									
眺望观景									
晒太阳									
健身									
换鞋									
整理外貌									
会客									
节日家庭聚餐活动									
宴请亲友来客									

■ 强度需求 ▨ 中度需求 □ 弱度需求

图 3 核心家庭的生活行为在不同功能空间内的需求程度
Fig.3 Analysis on residential behaviors of nuclear families

第三,根据上述核心家庭生活行为的解析与行为单元的尺度分析,通过各种平面图示,理解紧凑型住宅内部行为组合的可能模式和住宅内部平面不同层次的紧凑尺度.

4.2 举例说明

以“核心家庭的客厅内部平面尺度”分析为例.

第一,通过行为解析,获知客厅内强度需求的行为有家人日常团聚、会客、视听活动、眺望观景;中度需求的行为有就餐、储藏、学习、上网、休息、喝茶小憩、休闲娱乐活动.

第二,通过图示(图 4,5,表 1)分析核心家庭客厅内部主要行为单元——家人日常团聚、会客、就餐

1) 2008 年 4 月到 5 月间,笔者在住宅地产较为活跃的华东地区两个主要城市上海、杭州,展开主题为“中心城区紧凑型住宅平面尺度的最小化与居住满意度”的问卷调查活动.调查问卷采用随机发放的形式,共发出 550 份,回收 463 份,其中有效问卷 404 份.调查对象为 20 到 60 岁、上海或杭州中心城区工作或生活的人群.被调查者性别、年龄职业和收入水平都具有多样性,从而确保了样本的普遍性.

和视听活动的行为尺度. 针对不同核心家庭所需要的行为单元的尺度差异,探讨不同层次的尺度要求. 其中,常规尺寸可以分别满足“够用”和“好用”的居住标准,而低限尺寸则达到“能用”的居住标准.

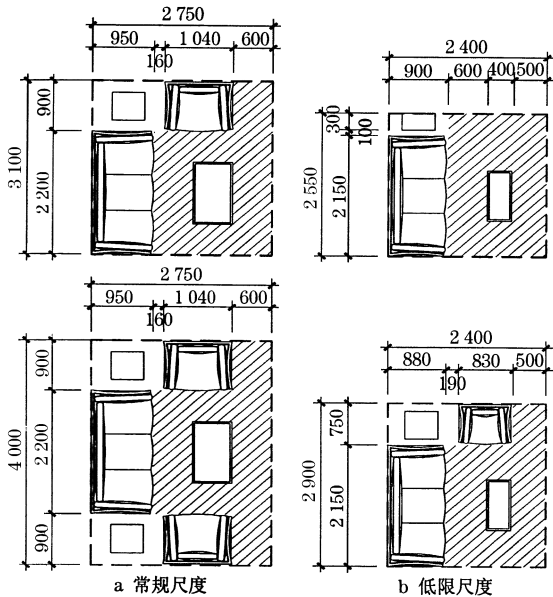


图 4 家人日常团聚、会客的行为单元尺度(单位:mm)
Fig.4 Behavior dimension of gathering and reception for nuclear families(unit:mm)

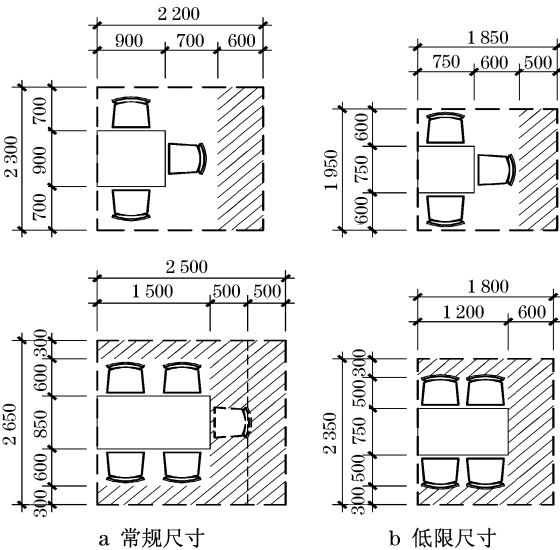


图 5 就餐的行为单元尺度(单位:mm)
Fig.5 Behavior dimension of dining for nuclear families(unit:mm)

第三,通过图 6,7,解析核心家庭客厅内可能的行为组合及紧凑的内部平面尺度.

表 1 平板电视机的最佳视距^[12]

Tab.1 Optimum sightline distance of LCD TV		
平板电视机/mm	最佳视距/mm	图示
711(28 英寸)	970~1 620	
813(32 英寸)	1 120~1 870	
914(36 英寸)	1 340~2 240	
1 067(42 英寸)	1 530~2 550	
1 168(46 英寸)	1 680~2 800	
1 270(50 英寸)	1 830~3 050	
1 524(60 英寸)	2 200~3 670	

行为组合一:只考虑强度需求的家人日常团聚、会客、视听活动的行为组合,分别获得客厅内部平面的常规尺度和低限尺度(图 6).

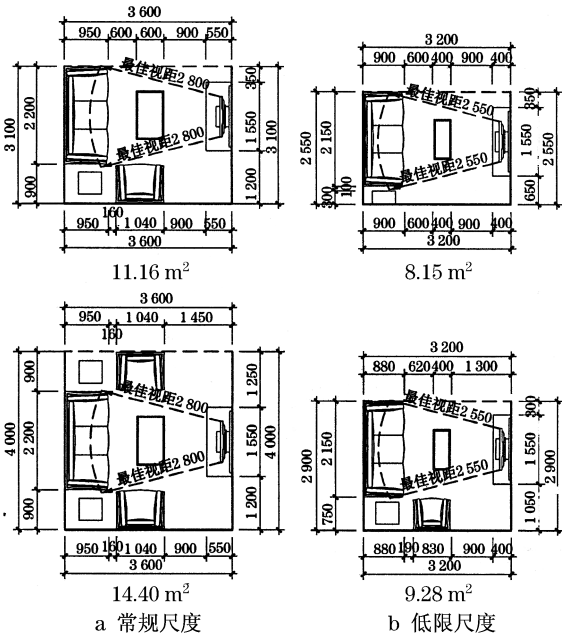


图 6 核心家庭客厅的平面尺度(一)(单位:mm)
Fig.6 Interior dimension of living rooms for nuclear families I (unit:mm)

行为组合二:在强度需求的行为基础上,再加入有中度需求的就餐行为,形成第二种行为组合方式,从而获得新的内部平面尺度(图 7).

5 结语

家庭生活行为的差异和家居产品尺度的变化,对住宅内部的平面尺度产生重要影响. 运用上述分析方法,可以探求面向核心家庭的中心城区紧凑型住宅内部平面不同层次的尺度要求,并与传统住宅规范数据比对分析(表 2),以建立起多义的尺度体系:对于现行的住宅规范,建议根据不同的居住需求(保障性住房、商品房等),提供基于紧凑理念的不同平面尺度标准;其次,住宅作为一种产品,需顺应多

1) 笔者市场调研中选取的当前家居产品的最小尺度.
2) 笔者市场调研中选取的当前家居产品最普遍的尺度.

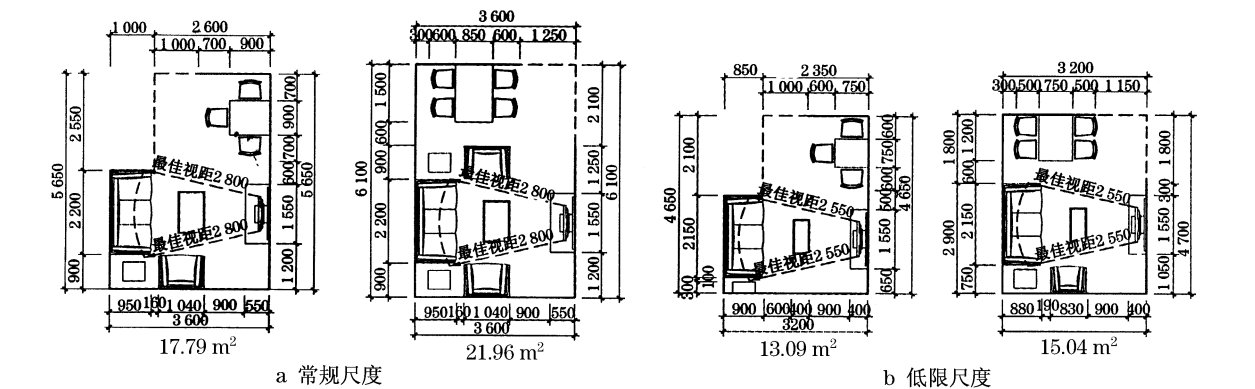


图 7 核心家庭客厅的平面尺度(二)(单位:mm)
Fig.7 Interior dimension of living rooms for nuclear families II (unit:mm)

表 2 中心城区紧凑型住宅内部平面尺度的比对分析

功能空间		住宅规范 ^[13] 的最小 平面尺度/m ²	内部平面尺度	
			常规尺度	低限尺度
客厅	内侧净尺寸		3 600 mm×(3 100~6 100)mm	3 200 mm×(2 550~4 700)mm
	使用面积	12	11.16~21.96 m ²	8.15~15.04 m ²
主卧室	内侧净尺寸		3 350 mm×(3 700~4 800)mm	3 000 mm×(3 200~4 000)mm
	使用面积	10	12.40~16.08 m ²	9.60~12.00 m ²
双人卧室 (第二卧室)	内侧净尺寸		3 100 mm×(3 600~4 100)mm	3 000 mm×(3 200~3 800)mm
	使用面积	10	11.16~12.71 m ²	9.60~11.40 m ²
儿童卧室 (第二卧室)	内侧净尺寸		3 000 mm×3 400 mm	2 900 mm×2 800 mm
	使用面积	6	10.20 m ²	8.12 m ²
书房/客卧 (第三卧室)	内侧净尺寸		2 750 mm×2 200 mm	2 500 mm×2 100 mm
	使用面积	6	6.05 m ²	5.25 m ²
卫生间	内侧净尺寸		1 800 mm×(2 150~2 250)mm	1 600 mm×(1 800~1 950)mm
	使用面积	3(三件洁具)	3.87~4.05 m ²	2.88~3.12 m ²
厨房	内侧净尺寸		1 650 mm×(3 100~3 250)mm(单面) 2 400 mm×(2 200~2 550)mm(双面)	1 500 mm×(2 900~3 000)mm(单面) 2 200 mm×(2 100~2 400)mm(双面)
	使用面积	4(一、二类住宅)	5.12~5.36 m ² (单面)	4.35~4.50 m ² (单面)
		5(三、四类住宅)	5.28~6.12 m ² (双面)	4.62~5.28 m ² (双面)
入口区域	内侧净尺寸		1 550 mm×1 700 mm/ 1 200 mm×2 550 mm	1 400 mm×1 600 mm/ 1 200 mm×1 800 mm
	使用面积		2.64 m ² /2.46 m ²	2.24 m ² /2.16 m ²

重市场需求,根据不同使用者的个性化居住需求,提供各个功能空间“能用”、“够用”和“好用”的不同尺度标准及其可选择性组合,为紧凑型住宅走上空间精细化和适度舒适化提供平台.

通过对住宅内部平面尺度的解析,一方面希望探索最小舒适尺度,推广紧凑型设计理念,以满足更多人在中心城区的居住愿望;另一方面,期望为中心城区紧凑型住宅平面设计提供可供参考的基本尺度资料,作为对传统规范的住宅平面模数设计的再反思,从而为多层次的主流使用需求提供行之有效的

紧凑型住宅设计.

参考文献:

[1] 中国大百科全书编写组. 中国大百科全书·社会学[M]. 北京:中国大百科全书出版社,1991.
The Editorial Committee of Encyclopedia of China. Encyclopedia of China · Sociology [M]. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House,1991.

[2] 赵冠谦,林建平. 居住模式与跨世纪住宅设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
ZHAO Guanqian, LIN Jianping. Living style and residential design in trans-century [M]. Beijing: China Architecture &

- Building Press, 1995.
- [3] 彰国社. 集合住宅实用设计指南[M]. 刘卫东, 马俊, 张泉, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- Shokokuhsa. A practical guide to design apartment housing[M]. Translated by LIU Weidong, MA Jun, ZHANG Quan. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001.
- [4] 陈柯, 孙继先. 香港公屋发展概况[J]. 建筑师, 1997(7): 18.
- CHEN Ke, SUN Jixian. Development of Hong Kong's public housing[J]. The Architect, 1997(7): 18.
- [5] 斯文·蒂伯尔伊. 瑞典住宅研究与设计[M]. 张琰, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- Sven Diboeryi. Housing research and design in sweden[M]. Translated by ZHANG Long. Beijing: China Architecture & Building Press, 1993.
- [6] 周静敏. 世界集合住宅: 都市型住宅设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- ZHOU Jingmin. World housing developments; urban housing design[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1993.
- [7] 周燕珉. 住宅精细化设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- ZHOU Yanmin. Detailed design for dwellings[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.
- [8] 宋源. 中小户型的精密设计[J]. 建筑学报, 2003(3): 34.
- SONG Yuan. Detailed design for the medium and small-sized dwelling unit[J]. Architectural Journal, 2003(3): 34.
- [9] 黄一如, 陈秉钊. 城市可持续发展若干问题的调查研究[M]. 上海: 科学出版社, 2004.
- HUANG Yiru, CHEN Bingzhao. Research on problems in the sustainable urban development [M]. Shanghai: Science Press, 2004.
- [10] 扬·盖尔. 交往与空间[M]. 何人可, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- Jan Gehl. Life between buildings[M]. Translated by HE Renke. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002.
- [11] 日本建筑学会. 新版简明住宅设计资料集成[M]. 滕征本, 滕煜先, 周耀坤, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- Architectural Institute of Japan. Concise: an anthology of residential housing design[M]. Translated by TENG Zhengben, TENG Yuxian, ZHOU Yaokun, et al. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001.
- [12] 如何根据电视屏幕的尺寸选择最佳视距[R/OL]. [2006-6-19]. <http://www.it168.com/>.
- XIAO Ge. The optimum sightline distance of TV[R/OL]. [2006-6-19]. <http://www.it168.com/>.
- [13] 中华人民共和国建设部. GB 50096—1999 住宅设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB 50096—1999 Design code for residential buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003.

(上接第 500 页)

参考文献:

- [1] Noguchi J, Taido Y, Nakai H. Theoretical and experimental stress analysis of cable-stayed bridge with multi-cellular box girder [C]//Third International Conference on Space Structures. London: Elsevier Applied Science Publishing House, 1984, 186.
- [2] Sennah, Khaled M, Kennedy, John B. Literature review in analysis of box-girder bridges [J]. Journal of Bridge Engineering, 2002, 7(2): 134.
- [3] Fan Z F, Helwig, Todd A. Behavior of steel box girders with top flange bracing [J]. Journal of Structural Engineering, 1999, 125(8): 829.
- [4] Yamaguchi K, Manabe Y, Sasaki N, et al. Field observation and vibration test of the Tatara Bridge [C]//Proc. IABSE Conference on Cable-Stayed Bridge. Malmö: Proceedings of the IABSE Conference, 1999: 276-279.
- [5] Livesey F M, Larose G L. The Pont de Normandie during construction, aeroelastic modelling of behaviour [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial aerodynamics, 1996, 65: 203.
- [6] Fang K I, Chen C R, Chang I S. Field static load test on kao-ping-his Cable-stayed Bridge [J]. Journal of Bridge Engineering, 2004, 9(6): 531.
- [7] Ren W X, Lin Y Q, Peng X L. Field load test and numerical analysis of qingzhou Cable-stayed Bridge [J]. Journal of Bridge Engineering, 2007, 12(2): 261.
- [8] Hulsey J L, Delaney D K. Static live load tests on a Cable-stayed bridge [C]//Transportation Research Record 1393. Washington D C: Transportation Research Board, 1990, 162.
- [9] Worsak K N, Yiu A, and Brotton D M. Mathematical modelling of cable-stayed bridges [J]. Structural engineering international, 1992, 2(2): 108.
- [10] Chang C C, Chang T Y P, Zhang Q W. Ambient vibration of long-span cable-stayed bridge [J]. Journal of Bridge Engineering, 2001, 6(1): 46.
- [11] 李爱群, 王浩. 子模型法在超大跨悬索桥钢箱梁应力分析中的应用 [J]. 工程力学, 2007, 24(2): 80.
- LI Aiqun, WANG Hao. Stress analysis on steel box girders of Super-long-span suspension bridges with submodel method [J]. Engineering Mechanics, 2007, 24(2): 80.
- [12] 潘家英, 吴明亮, 高路彬. 大跨度斜拉桥活载非线性研究 [J]. 土木工程学报, 1993, 26(1): 31.
- Pan J Y, Wu M L, Gao L B. Nonlinearity research under live load of long span cable-stayed bridge [J]. China Civil Engineering Journal, 1993, 26(1): 31.
- [13] Adeli H, Zhang J. Fully nonlinear analysis of composite girder cable-stayed bridge [J]. Computers and Structures, 1995, 54(2): 267.