

基于编程辅助设计的既有建筑改造

Programming-aided Design for Existing Building Renovation

——以老旧住宅卫生间的适老化改造为例

黄瑞克,辛萌萌,杨书涵

(重庆大学 建筑城规学院,重庆 400045)

摘要:在信息化、智能化时代,建筑设计应积极引入新的计算机编程技术,一方面提高设计效率,另一方面让针对不同需求的设计工作变得更科学。该文将计算机编程语言与建筑空间设计进行结合,以具有代表性的老旧卫生间的适老化改造为例,完整呈现整个设计研究的过程,为同类型的空间设计提供了一个较新颖的设计思路。

关键词:建筑空间设计;计算机编程;卫生间适老化改造;设计思路

中图分类号: TU984.11+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-9107(2020)04-0005-06

Abstract: In the era of informatization and intelligence, new computer programming technologies should be actively introduced into architectural design, so as to, on the one hand, improve design efficiency, and on the other hand make design work for different needs more scientific. This paper integrates the computer programming language into the architectural space design, and based on the representative case of elderly-oriented renovation of bathrooms in old residences, presents the entire design research process, providing a novel design idea for the same type of space design.

Keywords: architectural space design; computer programming; elderly-oriented renovation of bathrooms; design ideas

0 引言

在工业化的今天,设计产品的批量化、模数化已成为衡量其市场可行性的标准之一。然而老旧住宅卫生间为例的既有建筑,从平面、管道布局、门洞位置等都体现出极大的多样性。在针对老旧住宅卫生间的适老化改造中,设计师需要针对卫生间的相关尺寸和布局进行定制化设计,在针对特定平面作出调整的同时还需兼顾较小众的适老化尺度。这就使得整个设计流程变得繁琐且重复率高,造成大量的人力物力浪费,所以此次研究以卫生间的适老化设计改造与计算机编程结合为例来呈现更为高效且可操作性强的设计过程。

1 老旧住宅卫生间调研与现状分析

1.1 现场调研

本次研究采用实地调研的方式对重庆主城区部分老旧住宅卫生间进行调研,调研范围主要集中在重庆市沙坪坝区重庆大学B区附近和渝中区的部分地区,具体包括建工村、建工东村、建工新村、友谊村、一心村、思源村、沙坪坝北街、张家花园街等典型老旧小区(图1)。对卫生间的平面、剖面以及构造尺寸进行了实地测量,有效测绘文件共计33份。

收稿日期:2019-12-04

作者简介:黄瑞克(1998—),男,四川成都人,本科,主要从事建筑科学方面的研究。

辛萌萌(1996—),女,河南商丘人,本科,主要从事建筑科学方面的研究。

杨书涵(1998—),女,浙江温州人,本科,主要从事建筑科学方面的研究。

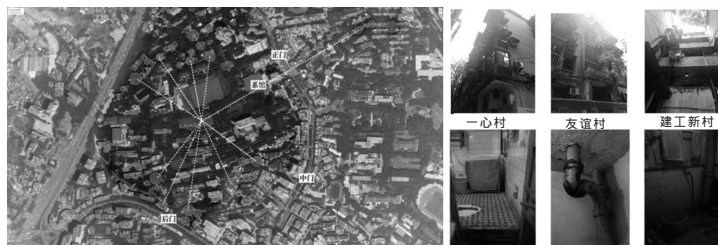


图1 老旧小区调研范围

图2 老旧住宅卫生间现状

1.2 老旧住宅卫生间现状以及适老化问题分析

(1) 老旧住宅卫生间洁具配套数量不同

通过对调研样本平面的分析,可以发现现存的老旧卫生间的洁具配套分为两件套和三件套(表1),洁具数量的不同对卫生间的空间尺度大小提出了不同的要求,对整个卫生间的空间布局也产生了很大的影响。

表1 调研卫生间平面分类表

	两件套	三件套
图例		

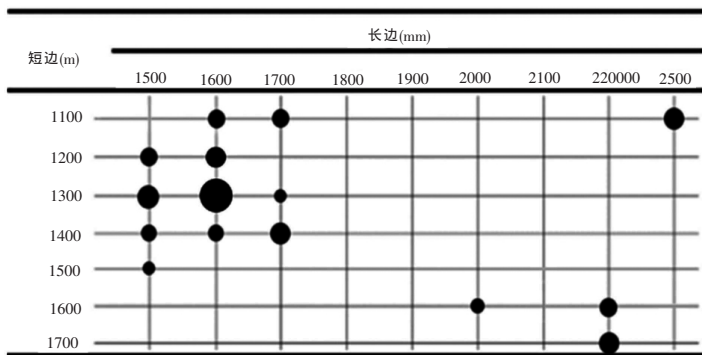
(2) 老旧住宅卫生间管道设置方位不同

由于老旧住宅卫生间多采用铁质管道进行异层排水(图2),所以管道的设置方位对整个卫生间的洁具改造以及管道走向的改造都有很大影响。在所调研的样本中,老旧住宅卫生间的管道设置方位分为三种。从排水立管和门的相对位置来看,有门与立管对角相望、平行对望、同一墙线这三种位置关系。

(3) 老旧住宅卫生间尺寸形状差异较大

通过测绘平面来看,大部分卫生间平面呈规整的四边形,但是依旧可见不规则的平面形式,两者之间存在很大差异(表2)。另外,在平面规整的卫生间中,主要有一字型 and 方形的差异。从尺寸出现的频率来看重庆地区老旧住宅卫生间多为1600mm×1300mm大小,这类卫生间内洁具三件套(洗脸盆、大便器、淋浴器)齐全,能满足老年人的基本生活需求。

表2 卫生间尺寸出现频率分布图



(4) 老旧住宅卫生间缺乏适老化设计和设施

在调研过程中,我们发现只有极少数的卫生间中设置了助老的扶手,在设计层面上更是存在诸多不符合老年人的人体尺度的空间。比如马桶周边空间不足以安装帮助起身的设施,淋浴区缺少可供老年人就坐的空间,盥洗区空间宽度不足以满足弯腰洗漱的尺度要求等。

2 编程辅助设计介入

如今信息计算机技术高度发达,采用计算机程序进行辅助设计有助于解决老旧住宅卫生间诸多的适老化问题。通过在初始阶段向程序输入老旧住宅卫生间的各种基本信息,程序将会在适老化的基础上综合考虑并针对特定种类的卫生间生成适合于该卫生间的平面布局。这样不仅可以给设计师提供参考与建议,而且同时提高了设计师的设计效率,另外该程序也同时适用于大众自行对卫生间进行改造。程序所带来的便捷也解决了卫生间改造批量化、工业化的问题。

2.1 卫生间各功能空间尺寸适老化

通过对老年人的人体尺度以及活动特点的分析,本次研究对便溺空间、盥洗空间、淋浴空间这三大卫生间功能空间分别进行了尺寸设定,尺寸大小的设定主要涉及到洁具尺寸及老年人使用洁具时需要的活动空间尺寸、扶手以及老年人使用扶手时需要的空间尺寸。

2.1.1 便溺空间

(1) 便器及老年人使用便器时需要的活动空间适老化

便溺空间使用的洁具为便器。由于老年人下肢力量不足,所以采用坐式马桶更加合适;一般情况下座便器长度是600~800mm,宽度是350~400mm,高度是350~400mm,但是这个高度对于老年人来说偏低,所以马桶高度宜适当增加到450mm,更加符合老年人的活动特点;其次,为了便于老年人的手臂活动,在两侧需要增加一定的空间,这使得整个便溺空间的使用宽度应该在750~900mm的范围中(图3);另外,为保证老年人在便溺时可以更方便地起身和下蹲,座便器的前端应距离墙面或者其他物品500mm以上(图4)^[1]。

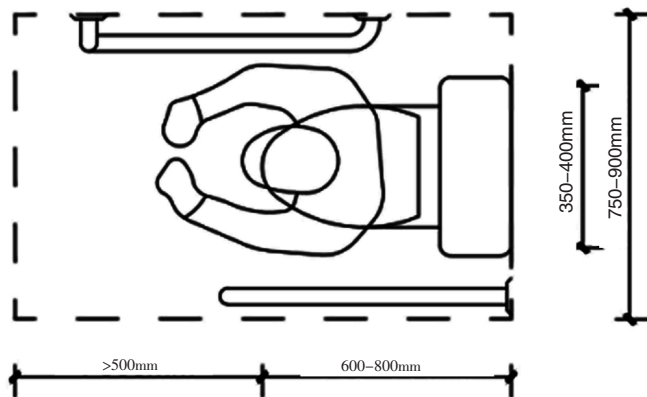


图3 适老化卫生间便溺空间最小空间尺寸



图4 座便器前端距离墙壁500mm以上

(2) 扶手以及老年人使用扶手时需要的活动空间适老化

扶手截面宜为椭圆形,老人使用起来更加具有安全感;在设置水平扶手时,若采用横向支持,会产生老年人水平侧滑的现象,所以应采用下部支撑;扶手与墙壁之间的空隙为30~50mm时更方便老年人使用;水平扶手距离地面的高度宜设置为650~700mm范围内,老年人的使用感较好^[2];根据座便器的两种布置方式,安全扶手可分为两种:水箱外露式座便器中心线与安全扶手的平面距离适宜为300mm,水箱内嵌式座便器中心线与安全扶手的平面距离适宜为

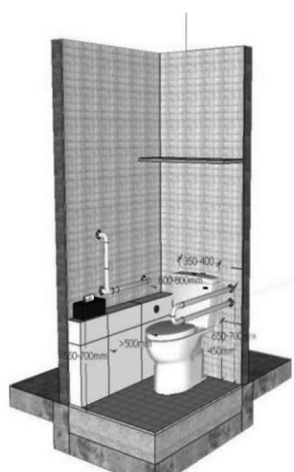


图5 适老化卫生间便溺
空间示意尺寸

挑型洗面盆;老年人使用的洗面盆尺寸长度一般在460~560mm,宽度一般在350~420mm之间,为了方便老年人在使用洗面盆时有较舒适的活动空间,两侧扶手中心线之间的距离应在600~900mm(图6),洗面盆前端距离墙壁应在500mm以上(图7)^[4];洗面盆上沿离地面的尺度应为800mm左右(普通洗面器高为760mm),池底距地面尺度约600mm;洗面盆上部应设置梳妆镜,方便老年人检查面部健康情况,高度不宜过高,最低点以台面上方150~200mm为宜^[5]。

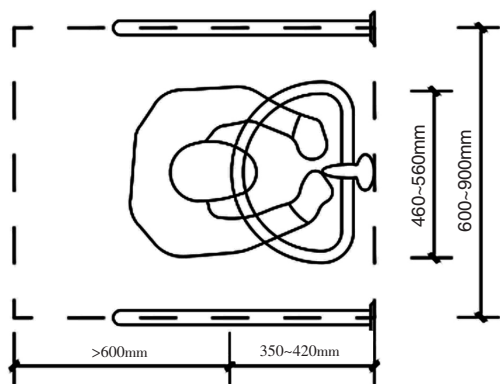


图6 适老化卫生间盥洗空间最小空间尺寸

图7 洗面盆距离墙壁
500mm



(2) 扶手以及老年人使用扶手时需要的活动空间适老化

下肢较弱的老年人,不适宜站立过久,应在盥洗台周围设置扶手或座椅;宜采用水平扶手,扶手高度应高于地面800~900mm,这样

250mm^[2];老年人如厕时需要依靠扶手从座便器上进行拉起、支撑、推动、下降等行为,可在两侧设置不同类型的扶手,一般情况下,老年人如厕习惯借助右侧的扶手进行拉起支撑,左侧的扶手主要是用来辅助支撑,所以常在右侧设置L型扶手,左侧设置一字型、T型、U型(图5)^[3]。

2.1.2 盥洗空间

(1) 洗面盆及老年人使用洗面盆时需要的活动空间适老化

盥洗空间的洁具主要是洗面盆。为了减小老年人碰撞尖锐物而受伤的可能性,采用圆润的悬

对老年人的支撑作用最佳;若洗面盆为无台面的类型,为方便老年人肘部的操作,扶手应设置在两侧或前沿下方,留出50~100mm的抓取空间,上下留出180mm的宽,以便放置毛巾等物品(图8)。

2.1.3 沐浴空间

(1) 淋浴器及老年人使用洗面盆时需要的活动空间适老化

淋浴空间内洁具为淋浴器。不建议只设置固定花洒,可设置高度可调节的花洒喷头,便于不同高度的老年人使用;淋浴时老年人主要活动部位在上肢,其手臂上下的舒适活动范围在900~1200mm,因此为了方便拿取喷头,喷头长度在这个范围内,顶端位置以不超过1700mm为宜,且应设置为可调节式,淋浴区的宽度应在785~900mm范围内,长度应该在800~900mm范围内(图9);设置可折叠的壁挂式沐浴板,可满足老年人坐着洗澡的需求,站着洗澡时还可将浴板折起,浴板坐深宜为400~600mm,面宽宜为320~500mm,高度一般在400~500mm^[6]。

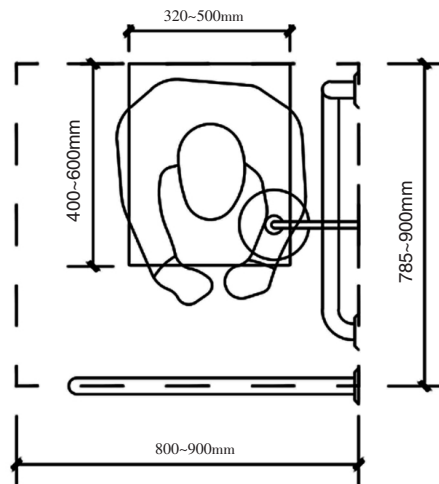


图9 适老化卫生间沐浴空间最小空间尺寸

(2) 扶手以及老年人使用扶手时需要的活动空间适老化

在沐浴空间中,侧墙应安装一根约为600mm的扶手杆,喷头对面墙上安装一根1000mm的竖向扶手,喷头所在墙上应安装一根至少750mm长的竖向扶手;横向扶手距离地面应为700~800mm之间,竖向扶手顶端距离地面高度不应小于1400mm(图10)^[7]。

2.2 程序内容

在程序编写的过程中,我们主

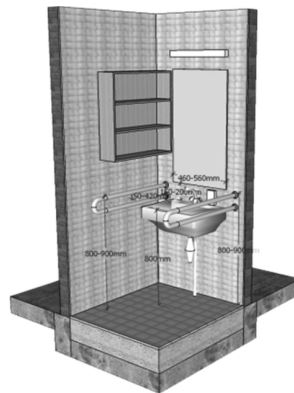


图8 适老化卫生间盥洗
空间示意尺寸

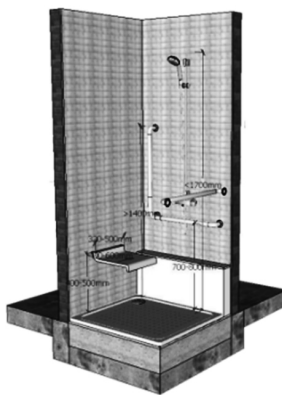


图10 适老化卫生间淋浴
空间示意尺寸

要借助了python,将卫生间中的三种功能空间模块化,并赋予最小使用尺寸,随后程序将智能输出多种适老化平面,最后根据适老化空间的评价体系对各个平面进行比选,得到较为合适的改造平面^[8](图11)。

```
f1='Closestool'
f2='Washing sink'
f3='Bathroom'
if(1 in draw_ids):
    im=Image.new("RGB", (int(A),int(B)), "grey")
    draw=ImageDraw.Draw(im)
    drawFacility(0, 0, a, b, f1)
    drawFacility(0, B, d, B-c, f2)
    drawFacility(A-e, 0, A, e, f3)
```

图11 老旧住宅卫生间平面适老化改造程序内容1

2.2.1 尺寸、要素确定

根据市场调研和人体尺度方面的数据,确定在适老化需求下各洁具所占据的空间,并将空间简化为方便表述的矩形模块:(1)参考市面上适老化座便器的尺寸(考虑扶手与短边活动空间,长为净洁具尺寸),简化为以 a 、 b 为长和宽的矩形,并取最小尺寸 $a=700\text{mm}$, $b=750\text{mm}$;(2)参考市面上满足老年人使用需求的洗手池(考虑扶手和长边活动空间,宽为净洁具尺寸),简化为以 c 、 d 为长和宽的矩形,并取最小尺寸 $c=600\text{mm}$, $d=450\text{mm}$;(3)参考老年人淋浴活动空间尺寸(包括洁具与人淋浴时的使用空间),简化为边长分别为 e 的正方形,并取最小尺寸 $e=800\text{mm}$;(4)参考老年人行走、坐便、站立使用洗手池的空间尺寸,简化为边长分别为 g 的正方形,并取最小尺寸 $g=500\text{mm}$ 。

如在输入长为 A 宽为 B 的平面时(图12),洁具与必要空间以矩形模块进入程序计算,通过建立坐标系,以对角点确定图块位置,运算输出改造平面示意图(图13)。

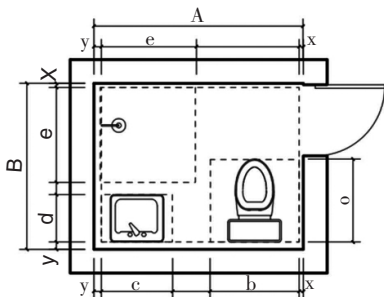


图12 平面1

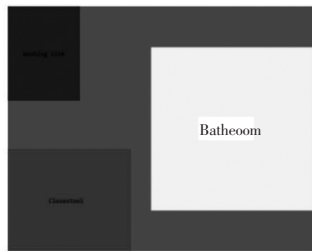


图13 输出平面示意图

器、座便器)与单件座便器三种情况,而座便器作为重要洁具,必定存在于三种情况之中,由此以座便器的布局位置作为第一分类方式(以下情况均默认为三件套布置情况),从而将布局可能性分为座便器靠A墙与座便器靠B墙。程序只需判断为 $\text{if}(b+g)\leq B$ 与 $\text{if}(b+g)\leq A$,以涵盖两种座便器摆放方式,若都不满足,则为尺寸过小,输出文字提示 $\text{print}(\text{"need high integration"})$ 。

(2) 根据活动空间结合方式分类

在确定座便器位置后,先考虑洁具最齐全的三件套。在剩余未布局洁具中,淋浴空间所占面积最大,空间组合性最强(由平面尺寸较小,暂不考虑浴缸、围合淋浴间),能够与座便器和洗手池的人使用空间相结合,因此,以活动结合空间作为第二分类方式,将平面布局分为以下几种:

- ① 淋浴空间与座便器使用空间结合,判断 $a+e$ 与边长的关系;
- ② 淋浴间与洗手池使用空间结合,判断 $d+e$ 与边长的关系;
- ③ 淋浴间与座便器、洗手池使用空间结合判断 $a+e$ 、 $d+e$ 与边长的关系;
- ④ 不结合,则须考虑老年人行走、坐便、站立使用洗手池的空间尺寸。

例如,在座便器靠短边的分类方式下,若选择座便器使用空间与淋浴空间结合,则以简单if语句判断长边 A 与短边 B 是否满足条件,输出对应平面类型。

在两种分类方式下,基本将三件套平面布局方式简化为简单排列组合问题,同理可得二件套与单件座便器的平面布局,在分类逻辑下,程序只需采用基础选择结构,对已列举的57个卫生间平面布局中的尺寸进行比对,按照平面尺寸由小到大的算法顺序,输出满足尺寸的所有可能平面,完成第一步计算(图14)。

```
if(a+e<=A):
    if(b+c)<=B:
        draw_ids.append(1)
    (平面图1如前文所示)
或:
if(a+e<=A):
    if(b+d+g)<=B:
        draw_ids.append(2)
```

图14 老旧住宅卫生间平面适老化改造程序内容2

2.2.2 平面分类

(1) 根据座便器布局位置分类

首先,须控制输入变量为卫生间净长 A 与净宽 $B(A>B)$,由此避免分类中长短边的讨论。其次,由于极小平面的存在,根据卫生间内洁具的数量而分为三件套(淋浴器、座便器、洗手池)、二件套(淋浴

2.2.3 落水管改造与布局

80年代建筑以使用金属排水管道为主,由于腐蚀、老化等原因,金属排水管的检测与修理成为老旧住宅的难题,同时巨大的沉水湾往往会成为空间布局中的阻碍要素,因此在改造过程将对落水管进行移除更新,替换为市场常见pvc110落水管,并设置于平面角落。借

助编程,排除洁具、门的阻挡,考虑平面空余角落,对第一步计算出的平面进行进一步计算,输出满足落水管要求的第二步结果。

2.2.4 建立平面评价体系

适老化卫生间评价体系作为程序输出平面后的下一个步骤,对卫生间最后的平面选型起着重要的参考作用。从卫生间使用及卫生间施工改造两个方面来看,决定卫生间好坏的主要因素是使用者的使用体验以及洁具安装时的可行性,而安装的可行性主要取决于洁具管道布置的合理性,因此,卫生间评价体系可以从空间舒适性和管道合理性两方面入手对各种卫生间平面进行一个综合性评估。

根据前期调研以及资料查询得出,决定卫生间使用舒适度的主要因素有:洁具完整性——卫生间内洁具的完备程度;干湿分区条件;洁具尺度——洁具大小是否能让使用者舒适使用;活动空间尺度——卫生间内活动空间的舒适度;洁具布局合理性——卫生间内洁具布置是否方便老年使用者;储物空间大小。而决定管道合理性的主要有:与原排水口的对位关系;送水管长度;排水管长度。送水管的长度决定了卫生间的送排水能否畅通以及卫生间的施工成本。综合上述两个方面的各个要素,通过衡量每一个要素重要性并赋予相应的分值,卫生间评价体系就可以以量化的方式对每一个程序计算出的平面进行评估,如图15所示。

目标层	指标层	准则层	评判等级	3	2	1	
适老化卫生间评价体系	空间舒适性	洁具完整性	a	三件套	两件套	只有一件	
		是否能干湿分区	a	是		否	
		洁具尺度	b	马桶	适宜	较适宜	仅满足需求
				盥洗池	适宜	较适宜	仅满足需求
				淋浴区	适宜	较适宜	仅满足需求
		活动空间尺度	a		适宜	较适宜	仅满足需求
		洁具布局合理性	C	盥洗池位于入口	是		否
				马桶位于入口	是		否
		储物空间大小	C	盥洗空间储物	大	中	小
			便溺空间储物	大	中	小	
			淋浴空间储物	大	中	小	
	管道合理性	排水口对位关系	C	对位	相近	完全不对位	
		送水管道长度	C	盥洗池送水管道	短(L<B)	中(B≤L≤A)	长(L≥A)
				马桶送水管道	短(L<B)	中(B≤L≤A)	长(L≥A)
				淋浴器送水管道	短(L<B)	中(B≤L≤A)	长(L≥A)
		排水管道长度	C	盥洗池排水管道	短(L<B)	中(B≤L≤A)	长(L≥A)
				马桶排水管道	短(L<B)	中(B≤L≤A)	长(L≥A)
				淋浴器排水管道	短(L<B)	中(B≤L≤A)	长(L≥A)

图15 适老化卫生间评价体系

在程序运行之前,对各要素重要程度进行重要性排列,得出主要考虑要素、次要考虑要素三个评判等级,依次赋值 $a=3$ 、 $b=2$ 、 $c=1$,如在第一步筛选平面中,根据空间洁具完整性将平面分为三件套、两件套、一件套这三种情况,并分别赋值为 $3 \cdot a$ 、 $2 \cdot a$ 、 $1 \cdot a$;平面中是否满足干湿分区分为是、否,分别赋值 $2 \cdot b$ 、 $1 \cdot b$;平面储藏空间大小分为大于 0.3m^2 、 $0.3 \sim 0.2\text{m}^2$ 、小于 0.2m^2 ,分别赋值 $3 \cdot c$ 、 $2 \cdot c$ 、 $1 \cdot c$ 。后将每一平面中的各要素赋值求和,进行平面赋值总和的比较,从而得出

在考虑住户个人需求下的最佳平面。同时,不可排除评价程序中机械性的筛选而带来的疏漏,程序将输出赋值总和为前三的平面类型(不足三个则全部输出),以达到人性化选择的目的。该评价体系满分为75分^[9]。

3 运行实例

根据老旧住宅卫生间平面类型出现的频率高低以及卫生间适老化改造的难度,我们决定以平面尺寸为 1500×1200 的老旧住宅卫生间为对象进行初次改造尝试。

在输入卫生间平面尺寸 1600×1300 后,程序通过既定算法选出满足适老化条件的卫生间平面类型10种——20、21、32、33、34、35、44、45、50、51(如图16),对应到图像后按顺序可以看到上述平面类型(图17)。

```
['1600', '1300', '700', '750', '600', '450', '800', '500']
End
Following indexes are selected: [50, 51, 20, 21, 32, 33, 34, 35, 44, 45]
Program Finished!
```

Process finished with exit code 0

图16 程序输出10种满足适老化条件的卫生间平面类型

之后通过卫生间评价体系,进一步对卫生间进行筛选。得出结果为:32号平面评分最高,为65分(满分75分)。该平面通过cad可视化后平面图如图18。

32号平面在舒适性方面能够在保证适老化人体尺度的同时,拥有一对靠长边放置的尺度较适宜的盥洗池与座便器。座便器靠近卫生间入口,可以方便老年人的使用。卫生间可以通过软隔断来进行初步的干湿分区,但盥洗池被包含进了湿区。另外,结合淋浴间,该卫生间可以给老年人提供非常舒适的身体活动空间的同时,淋浴间还可以提供充足的空余空间用来储物。管道布局方面,大便器的管道与原蹲便器排水管相近,在可以不更换排水干管时,大大缓解了施工的不便,各送水管和排水管也能够有序布置。在排水干管需要更换



图17 10种满足适老化条件的卫生间平面类型

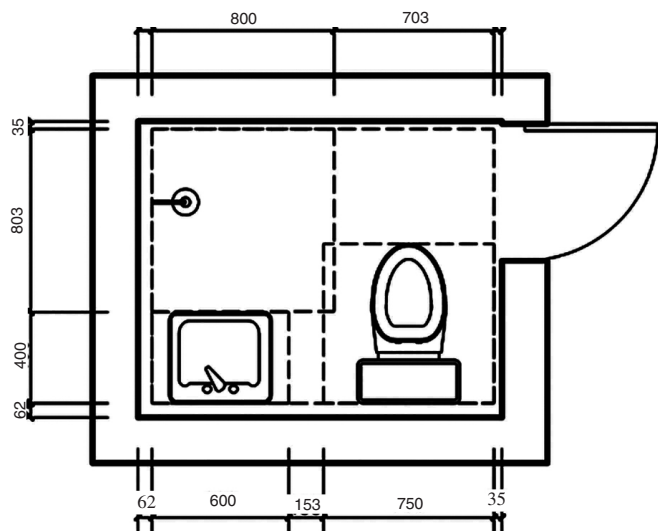


图18 32号平面

时,可将排水干管排布在卫生间平面的左下角,也能良好组织各排水管。

通过该程序对设计过程进行辅助,设计师可以直接得到符合适老化人体尺度的满足改造条件的卫生间平面布局,能够协助设计师更快地确定出适合特定卫生间的适老化平面,同时还可以为想进行老旧住宅卫生间改造的居民提供参考。当然,该程序仍有诸多不足之处,例如程序只针对卫生间二维的平面信息进行设计;将洁具简化成“方块”使得程序并不能全面照顾到洁具各种夹角空间的相互结合;最小尺寸的洁具并不是用着最舒服的洁具,对于卫生间的老年使用者来说并不一定是最好的设计。

4 总结

4.1 设计思维与编程设计思维

建筑设计过程本质上是一个抉择的过程,在建筑师的抉择过程中,除了主观概念意向外,还有很多可被量化的评判参数。程序设计介入的本质也就是由计算机代替建筑师来判断这些量化的变量是否符合评判指标。当然,一个完整方案的设计流程中有无数的评判指标需要进行判断,但对于方案中评判指标不多的一些部分来说,让计算机协助建筑师进行评判不仅使方案能在更快时间达到更深的设计深度,同时也可以解放建筑师更多的时间来对方案的本质进行探讨,这里对于方案局部的设计便是编程设计范畴。

编程设计所需要的编程思维在本论文的实例中是对建筑师本来设计思维的一种更直白的表现,建筑师的设计思维是跳跃的、综合的,而如果要通过编程来达到同样的设计目的,那么这样的编程思维则是严谨的。编程思维与空间设计方法同属于从基础到复杂的思考过程,从点、线、面、二维平面、三维空间逐步推进。如建筑方案正是通过二维的多个平面图所展现的。设计的推进同样是对空间从二维划分开始,再考虑 z 轴从而形成三维空间。在拆解后看似无序的设计思路也将有迹可循,由此利用算法从小到大解决每一阶段的设计需求。但设计同时也指导算法的生成,程序是帮助设计而不是替代设计,因此任何程序的设置都依然是展现设计思路的过程。在编

程过程中,设计师需要注意几点:

(1) 简化设计模型。从人为设计转向编程设计的过程需要将建筑空间中各种图形语言用最简单、直观、有效的方式转化为编程设计中的数据化语言,因此需要建筑师在最初编写程序时辨别主要信息及次要信息,在本例中除了将马桶、盥洗池、淋浴间简化成“方块”来让程序更有效率地判断可行性以外,还需注意两个事项:明确评判设计好坏的直接指标和确定设计时的主要变量与次要变量,并进行分类处理。在本文卫生间设计案例中,直接指标是卫生间尺度是否适老化,主要变量是卫生间平面尺寸,次要变量是各洁具尺寸;

(2) 排除现状而将所有可能性纳入程序运算范畴。程序本身需要知晓所要判断的内容,这就需要建筑师在编写程序时将可能性考虑周全。在本例编写程序的过程中,将卫生间可能出现的洁具排布的所有可能性纳入程序的评判内容中,程序对每一个平面进行评判从而筛选出可行的结果;

(3) 给予人为主观判断以空间。程序出来的结果是理性的绝对最佳,但很难保证程序能在所有方面进行评价,因此在程序之后还需要设计师的主观判断,不能完全以程序输出的结果为准。

4.2 编程辅助设计卫生间及更多建筑空间的展望

通过之后对程序的不断细化,程序能在进行自主设计时纳入更多的因素使最后结果所反映的信息能够不断深化,比如从二维计算到考虑 z 轴的演变,另外还能够进一步从洁具布置、管道走向、扶手安装等更多方面为设计师提供参考。通过编程程序进行辅助设计不仅仅可以用于卫生间适老化改造,以相同的逻辑,还可以在更广泛的建筑适老化室内设计中进行应用。在适老化设计这一人体尺度不同于常规人体尺度的设计中,设计师不再需要对老年人体尺度以及行为进行专门的研究才能进行设计,这就大大降低了设计的门槛以及设计所需要的时间。进一步讲,复杂的适老化卫生间能够通过编程来进行一定程度的评判,那么编程设计在厨房、客厅、卧室、储物间等建筑空间中也能够有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 张晓雪.建筑工业体系下既有住宅卫浴空间适老化改造研究[D].北京:北京建筑大学,2019.
- [2] 中国建筑学会总主编.建筑设计资料集(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2017:105-106.
- [3] 日本建筑学会主编.建筑设计资料集成[M].天津:天津大学出版社,2003:39-54.
- [4] 钟振亚.基于老年人生理与行为特征的无障碍家居设计研究[D].南京:南京林业大学,2016.
- [5] 姚楚昀.适老化卫浴产品设计研究[D].广州:广州大学,2016.
- [6] 刘照国.适老化卫生间的设计研究[J].戏剧之家,2015(3):144.
- [7] 丁一.基于通用设计理念的老年人沐浴辅助设备优化设计研究[D].成都:西南交通大学,2012.
- [8] 郑文婷.基于通用设计理念的老年卫浴辅助产品研究[D].天津:天津科技大学,2017.
- [9] 杜信池.一种建筑空间生成机理研究的参数化方法[D].杭州:浙江大学,2017.

责任编辑:董奕兰