

支持设计重用的建筑工程图三维信息建模

高佐人 吴杰 曾慧明

(浙江大学建筑设计研究院, 杭州 310027)

【摘要】本研究统计了建筑工程图中标准层间重复内容的重用潜力,分析了重复性特点,提出了基于三维信息建模的重复性模型。该模型对重复内容的竖向和横向分布规律进行建模,采用“块-引用”机制作为重用部件和实施重用的载体和工具,对原本扁平化的工程图设计信息进行了重新组织。重构后的设计信息集合成为一个反映重用规律的有机整体,不仅充分避免了复本图元的存在,实现了联动修改,大大减少了绘制和修改工作量,还为自动打印等更深入的自动化功能提供了操作环境,大大提高了设计效率。

【关键词】设计重用;三维建模;竖向重复;横向重复;软件系统

【中图分类号】TU201.4 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1674-7461(2009)01-0056-07

建筑工程的三维建模作为一种新兴的工程数据表达手段为很多工程难题的描述和解决提供了帮助。根据工作原理的不同,三维模型大致可分成形体模型、计算模型和服务模型等几种类型,分别用于外部形态的表达、计算模型的设定和成本核算、物业管理等工程数据的延伸服务,在建筑设计、工程计算和项目管理等领域发挥着作用。三维模型能更全面和真实的再现建筑工程的各种细节,但各种三维模型的研究重点和发展方向各不相同,因而在真正的一体化完整工程数据模型建立之前,三维模型的设计仍然必须基于特定的工程需求,采用特定的手段,达成特定的目的。

本研究针对的工程需求是重复利用建筑工程图标准层之间的重复信息。由于标准层间的重复性正是反映建筑竖向信息的重要方面,因而本模型是一直反映建筑三维特征的设计信息模型。该模型结合了设计重用理论^[1-3],从纷繁琐碎的图元中提炼出重用性并加以利用^[4,5],其实际工程应用结果显示,采用这种模型建立的工程项目设计信息数据可大量杜绝重复现象,减少图元使用量50%,并实现重复局部的联动修改,大大提高了制图效率。

1 标准层间的重复性

标准层是建筑构成的基本特点,不仅传统建

筑,即便是造型怪异的现代建筑最终也要回归到标准层来落实各项设计细节,因此每个建筑工程均含多个标准层。这些标准层之间总是存在一些相同的局部。这些局部可能对应某种特定的功能局部,如卫生间、配电室、楼电梯间;也可能反映了结构布置的类似性,如因荷载水平相同、跨度相同而采用的相同的梁板体系;也可能反映了建筑构成的基本顺序,如柱子在各标准层中的对位与延续。总之,每个标准层均可分解成多个可在若干标准层中重复利用的可重用部件。

1.1 增效潜力

这种重复性在实际中浪费了设计人员的大量时间:不仅在绘制过程中要复制出多个复本;更麻烦的是,修改是必须对这些复本逐一修改;即便如此,也不能确保各个局部均保持一致。为了评估建筑工程图的重复程度,本研究提出了“重复率”指标,该指标直接反映了图元的重复次数,也即所需的重复操作的频率。

$$r = \frac{\sum (N \times t_o \times t_k)}{\sum N}$$

r : 重用率

N : 重复局部内所含的图元数量

t_o : 重复局部在标准层间重用的次数

t_k : 重复局部在单体间重用的次数

【作者简介】 高佐人(1978-),男,工程师,主要从事结构设计与建设领域信息化。

本研究采用该指标对 10 个具有不同平面布局,总计 35 万平方米的实际工程进行了统计(表 1 列示了其中 4 个典型工程),结果表明:建筑工程的重复率在扩初阶段高达 3.0,施工图阶段达到 2.0 以上。这意味着设计人员所绘制的每三个或两个图元中,就有两个或一个是复制品,是多余的,设计人员也因而要为这些复制品花费相当的绘制的维护时间。反之,如果能避免这些重复内容,则可减少工作量 66% 或 50% 左右,增效潜力明显。

统计结果还表明,重复率在不同结构类型和不同规模的工程中保持了稳定的水平,当工程中有多个类似单体时,重复率也相应成倍提高(如 XSSS 工程,该工程含四个类似单体),因此,排除类似单体的影响,本研究得出如下结论:大部分工程均具有 3.0 或 2.0 的重复率。

表 1 重复率统计

工程名称	QTCX	CYSX	XSSS	SXSM
建筑类型	商住综合楼	高校教学楼	高校学生宿舍	宾馆
建筑面积		19,924/20,013/ 20,013/19,924		54,280
单体数	1	1	4	1
标准层数	12	8	10	16
结构类型	框剪结构	框架结构	框架结构	框剪结构
设计阶段	扩初	扩初	施工图	施工图
重复局部 总数	60	122	673	888
重复率	2.94	3.12	9.44 *	2.36 2.13

1.2 重用瓶颈

为了减少这种重复性,AutoCAD 等通用 CAD 平台提供了“块-引用”等功能,供用户将重复内容制成块,然后将这些块的引用插入到需要重复的各处实现重复内容的表达。这些引用所显示的内容均源自同一个块,因此,只需完成对块内图元的绘制和修改工作就可使各处引用同步更新,达到“只保留一份有效数据”和“联动修改”的目的。

但表 1 的统计结果显示,建筑工程所涉及的重用模块(表中的“重复局部总数”)数量庞大,多达几十到数百个不等,单纯的使用“块-引用”功能来处理,则在块的定义、引用的插入和引用的跟踪等环节暴露出很多不足。

首先,定义块是需要设定块的名称和边界(即

确定块所包含的图元)。但随着块的增加,用户常常难以确定新建的块名是否已经存在、创建的块与已有的块在细节上有哪些差异。

随之带来的问题是,用户在插入引用时,由于对块的定义含糊不清,因此不易从众多且雷同的块中找出确切的块。同时,选出块后,用户还需为插入的引用确定位置和姿态,相对于本研究提供的自动化解决方案非常烦琐。

此外,用户还需跟踪引用,即了解已经插入的引用的位置等信息。跟踪引用是修改块的基础,由于所有插入的引用均将应块的修改而同步更新,因此用户必须了解基于某一处的情况对块进行修改,其结果是否也适用于其它各处。而现有条件下,用户不具有跟踪的能力,进入妨碍了块的修改。

这些瓶颈使得用户只能对便于区分、含义明确、重复次数较多、插入后即可不管的重复内容加以利用,而对大量“重用品味”不太高的部分望而却步,造成了重用资源的流失。

2 基于三维的重复性建模

2.1 基于三维信息的重复性建模

为了解决上述问题,本研究提出了基于三维的重复性模型,将原本无序的数据组织成一个有机的体系。该模型具有三项基本属性,其中包括“所适用的标准层”。用户用这项属性在确定重用单元边界时筛选图元;在命名块时,将这项属性作为重用单元的标识符;在插入引用时,根据目标标准层和部件的这些属性进行匹配。

“所适用的标准层”在描述重用单元在标准层间的分布的同时也描述这些信息的竖向分布特征,与重用单元自身所含平面内设计信息共同构成三维数据体系。这种模型兼备有效性和高效性。有效性是指该模型虽然没有直接描述三维形体特征,但对于建筑设计而言,由于层高等竖向信息是早已确定的,因此具有在标准层中的分布特征等同于具有竖向特征。其高效性是指,该模型保留了二维表达方式,二维模式直观、高效,较之三维模型建模成本低。该模型的构建策略是将引导用户更多的关注在日常设计中占主体地位的平面内容,采用新颖简洁的数据结构描述竖向信息,使用户在享受三维信息优势的同时,保留二维设计的经验和简化效率。

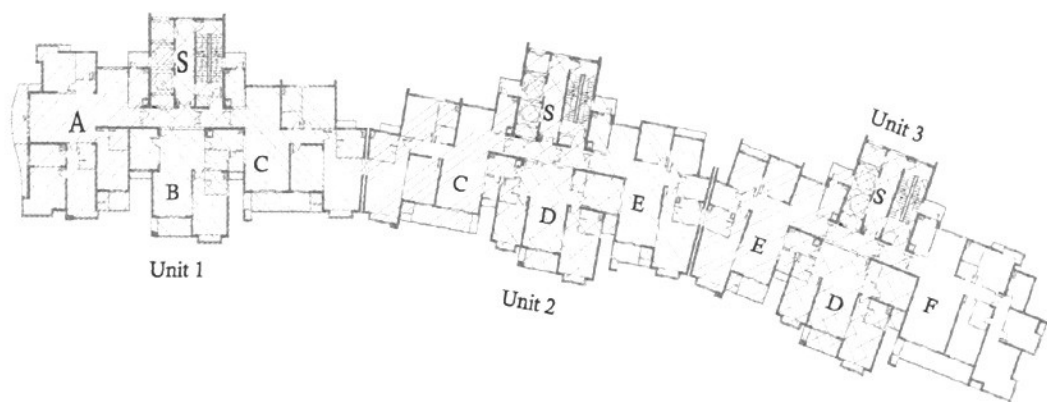


图1 横向重复示例

2.2 重复信息的超三维模型

上述标准层间的重复性可归纳为“竖向重复”，本研究还提出了横向重复的利用方案。横向重复是指相同标准层间，不同单体间的重复。这种重复通常因设计人员人为选择重复的平面布局而形成，例如住宅建筑中，不同单体中采用的相同户型；某些建筑中采用的姊妹楼等，如图1所示。图1中，单元1含A、B、C三个户型和S型楼电梯间；单元2含C、D、E三个户型和S型楼电梯间；单元3含E、D、F三个户型和S型楼电梯间。其中，S型楼电梯间在三个单体中、D户型在单元1、2中等均构成横向重复。

这种重复内容属于平面内信息，但其数据层次和管理方法却与竖向信息类似，而不同于普通的平面信息，是继普通平面信息、竖向重复信息之后的另一维信息。本模型将其纳入三项基本属性之一，形成具有多维信息层次的三维模型。

2.3 重用模型的其它属性

除了“适用的标准层”、“适用的单体”，本模型的第三项属性是“主题”。主题是指内容种类，其应用背景包括两个方面：其一是根据从多个目标图纸中分离出共用的内容的需要；其二是为了实现构件表现的多态性。

所谓目标图纸是指设计人员最后提交的成果图纸，某些目标图纸含有共用的内容。例如结构工程中的平面布置图（含梁柱轮廓和板面标注）和梁配筋图（含梁柱轮廓和梁配筋标注）就共用梁柱平面图（仅含梁柱轮廓）。因此梁柱平面图需作为独立的内容范畴，并在其范围内进行重用单元的提取和组装。不同主题的内容在进行叠加前需完成内

部的组装，形成各个标准层。例如，梁柱轮廓的部件组装成的各个标准层与板面标注组装成的各个标准层，按标准层的对应关系进行叠加形成平面布置图。设立主题层次有效的实现了在内容逻辑层面的重复性提取和利用，进一步提高了图纸维护效率。

所谓多态性是指图元的图形属性需要根据所处位置的不同而选用不同的参数。例如，在结构工程中，柱的填充有三种形态：在平面布置图中，如果所在平面就是该柱的柱顶标高，则该柱在此标准层中填充灰色；如果不是则填充黑色；在柱定位与配筋图中，则填充为无色。这些柱填充虽然具有三种不同参数，但却对应相同的构件，因而是同一个图形对象。为了选用三种不同的填充参数，需要设置三种不同的主题，每种主题均提取柱部件完成组装，并根据主题要求完成填充参数设置（在实际操作中，填充图元的颜色属性应设为 byblock，以便于不同主题中各自参数的追加）。

3 软件功能

3.1 创建重用架构

重用架构包括主题、标准层和单体三个方面，反映了该工程项目重用信息的基本架构。

主题要设置的内容包括名称、颜色、类型和包含关系。其中颜色和类型与竖向构件的多态显示有关，容后介绍。主题设定的主要操作如图2所示：

用户借助图2b所示的新建主题对话框创建主题项并设置各项参数，在图2a所示的主题树中，用户可以用鼠标拖拉的方式完成主题间包含关系的设定，系统自动管理嵌套包含。图中显示了用户将



a 主题树



b 新建主题对话框

图2 主题设定

“轴线”主题拖入“柱”主题、将“柱”主题拖入“梁柱”主题的结果,其中是“梁柱”主题透过“柱”主题也嵌套包含了“轴线”主题。包含关系的含义是,如果A主题包含B主题,则A主题的L件的块会插入对应标准层的B主题L件的引用。

主题体系对于相同专业的不同工程而言是一成不变的,用户可将其导出成tpc文件供其它工程使用。

标准层和单体的设定是类似的,较之主题体系非常简单,用户只需创建标准层或单体的项即可。每个标准层或单体均只能选用一个数字或字母作为其标识。为了方便用户,系统允许用户为标准层或单体取名,方便用户辨识,如图3a中的标准层a取名为“基础”。

标准层和单体专门设计了复制标准层操作,即创建一个与指定标准层a完全相同的标准层b。例如如图3b中,用户将已标准层2为母本创建标准层3。它不同于新增一个标准层,用复制操作在形成新

标准层b的同时,还将原本适用于“标准层*a*”的部件需更新为适用于“标准层*ab*”。这种复制不同于传统意义上的简单拷贝,需要对重用数据体系进行更新,复制获得的新标准层不仅具有与母本相同的外在显示,而且该显示内容还源于与母本共用的部件,支持“联动修改”等一系列重用功能。



a 标准层/单体列表



b 复制标准层对话框

图3 标准层/单体设定

该功能很好的满足了“标准层细化”的需求。标准层细化常常出现在扩初扩展到施工图或施工图自身的完善过程中,标准层细化时,某些标准层需分裂成多个标准层。如原本标准层2适用于2、3、4、5标准层,现需要为2、3分配一个标准层,为4、5另分配一个标准层。

完成了重用结构的设置之后,系统自动生成了初始状态的重用树。初始状态的树从上到下具有主题、单体和标准层三个层次,如图4所示。图中还可看到,L件根据主题包含关系插入了对应标准层的被包含主题L件。



图 4 重用树



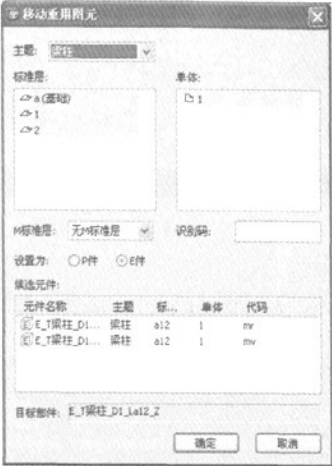
图 5 重用树调入 L 件

3.2 设定与修改重用范围

完成上述设置后即可开始绘图工作。用户可以用 L 件的右键菜单中的“调入”命令调入该 L 件，开始该主题这个标准层的绘制。在标准层内的绘制过程与传统过程无异。

当发现可重用的图元时，可启动重用范围设定对话框，如图 6a 所示。设定的内容包括图元所属的主题、适用的标准层和单体。系统会根据用户的设定将图元转移到对应的 P 件或 E 件中，并自动完成 E 件到 P 件和 P 件到 L 件的组装过程。其中 P 件是直接组装到 L 件的部件，E 件是 P 件的下级部件。通常，适用于一个单体（含多个标准层）的图元归入 P 件，而适用于多个单体的图元归入 E 件。E 件不

能直接用于标准层组装，而需在 P 中完成姿态和倍数调整后，适应了特定单体的要求后，借由 P 件装入标准层。



a 重用范围设定对话框



b P/E 件在重用结构中的位置

图 6 为图元设定重用范围

需进行不同调整操作的图元会归入不同的 E 件，而这些 E 件又具有相同的主题、标准层和单体属性，因而无法用上述三项属性区分，系统为此设置了“标识码”。如图中的两个 E 件分别用“mv”和“mr”区分，分别表示需进行平移和镜像操作。

为了减轻用户命名标识码的工作强度，系统在用户确定了主题、标准层和单体后，会将已经存在的 E 件列示在“候选元件”中，供用户直接选择。

当只有一个单体的工程具有局部对称和平移

关系的相同局部时,也可强制设定为 E 件,实现 E 件的各项自动功能。

需要说明的是,用户确定图元的重用范围可相当随意,既不需要一次性完成,也可按需逐个设置图元的重用范围。

3.3 组装原理与姿态、倍数调整

姿态调整是指对插入的部件引用进行平移、旋转和镜像等操作,倍数调整指插入引用的复本数量。

P 件到 L 件的组装无需这些调整。正是因为,系统形成 P 件时是将当地(即某单体的某个标准层)坐标系下取得的图元形成插入点在原点的块;P 件组装到 L 件时,也是插入到原点,因而可以保证位置上的匹配。但 E 件在不同单体中的相对位置不同,因此从一个单体取得的 E 件在其它单体中需作姿态和倍数调整。

根据适用的标准层的不同,可能产生多个具有相同标识码的 E 件,这些 E 件需要在其插入的 P 件中进行相同的姿态和倍数调整。为了避免重复劳动,系统会根据标识码自动完成这些调整。这样用户需要先在 P 件中完成对该 E 件的调整,然后告知系统按此调整,系统就可对具有相同标识码且插入相同单体的 E 件自动完成调整操作。

3.4 背景

背景功能在当前窗口下插入一个 L 件用作参考系,该 L 件不会因为插入了当前窗口中的件而进一步显示在其它件中。例如,结构工种在绘制桩位图时,需要让桩的中心与柱的中心对齐,但桩位图本身并不含柱的内容,这时,用户可插入同单体某

标准层的柱的 L 件来为桩的定位作参考。背景设置对话框如图 7 所示。

背景功能也可用于 P、E 件等部件的编辑,特定情况下,用户可能调入 P 件进行修改,但 P 件本身不包含轴网、柱等参考对象,这时,可将某些对象的 L 件作为背景插入。

3.5 竖向构件的设置

竖向构件的设置是典型的构件多态性的应用。为了处理柱和墙,系统提供了普通(宿主)、顶层和寄生三种不同类型的主题,其颜色分别设定为黑色、灰色和无色(以柱为例)。其中,后两者自身不含部件,所含部件均从普通主题中提取,因而普通主题也称宿主主题。相应的,用户在定义重用单元时也要设定 M 字段,它与 L 字段共同描述了竖向构件在不同主题中的显示方式,其中 L 字段内的标准层是竖向构件将穿过的标准层,而 M 字段内的标准层是竖向构件结束的标准层,前者可有多个,后者只有一个。例如,“柱-L123-M4”表示其内的柱在标准层 4 结束。在组装时,宿主主题的 L 件只选取 L 字段中含有本标准层的 P 件,且用其主题颜色为 P 件赋值;顶层主题的 L 件只选取 M 字段中含有本标准层的 P 件,且用其主题颜色为 P 件赋值;寄生主题选取 L 字段或 M 字段中含有本标准层的 P 件,且用其主题颜色为 P 件赋值。

在目标图纸的叠加控制中,用户需要为梁柱主题拖入普通柱和顶层柱两种主题,才可在本标准层中显示穿过和结束的柱。

3.6 标准层切换与图纸汇总功能

本系统建立了图纸数据体系,为每张标准层图纸分配了一个块,用户可借助重用树调入所需的 L 件进行编辑,由于切换标准层时视口设定不变,因此极大方便了用户对指定区格内设计细节的比较。这种方式较之传统的在一个窗口内铺开所有标准层,具有显示速度快和在标准层间定位方便的优点。

为了便于设计人员采用传统平铺模式向甲方等提交设计成果,系统提供了图纸汇总功能。该功能包括:在 D 件中插入所含的 L 件以获得该单元所有的标准层图纸;用户可以设定这些 L 件插入到 D 件后的平移量,以免图纸重叠;S 件插入所含的 D 件以获得所有单元的所有标准层的图纸;D 件在 S 件的平移量也可设定以避免重叠;此外,还可将 S 件插入到“最初模型空间”中获得所有种类的目标图纸的图纸。

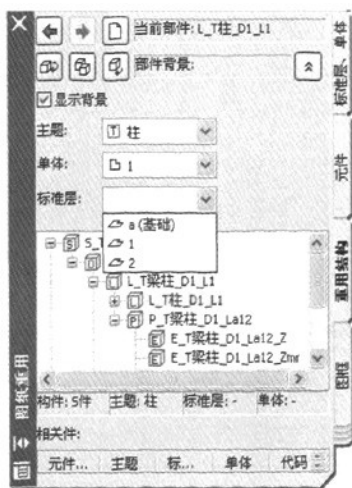


图 7 背景设置

这里的“最初模型空间”是指用户最初创建该 dwg 文件时形成的模型空间,该块不在重用体系内,因而可以作为目标图纸最终的容器。

3.7 自动打印功能

制作打印文件(.plt 文件)常常消耗设计人员大量时间。传统模式下,由于图纸无序的平铺在一个图面上,大小不一,因而只能由用户一个一个的选定打印范围。用本系统生成的各个图纸规律性强,用户可以通过如下操作大大减少打印文件的工作量。

☆ 根据不同类型的图纸(指具有不同尺寸和位置)设定布局

☆ 为要打印的 L 件设定图号(系统提供的设定功能)和适用的布局然后启动自动打印功能,系统将逐一调入要打印的 L 件,根据设定选择适用的布局,并用设定的图名作为打印文件的文件名。对应整齐划一的工程图纸集合,用户只需准备一个布局就可生成所有图纸的打印文件。

4 总结

本系统从建筑工程图设计工作的实际需求出发,应用设计重用理论,结合三维信息建模思想对原本扁平化的工程图设计信息进行了重组,采用“块-引用”全面重构设计信息,充分避免了复本图元的存在,

从而实现了联动修改,大大减少了绘制和修改工作量。基于三维的重复性建模使得设计信息形成有机的整体,为自动打印等更高度自动化的操作提供了操作环境,大大提高了设计效率。目前,该系统已完成测试,并应用于实际工程,效果显著,具有推广价值。未来,本系统还将向多专业协同方向发展,减少专业间的冗余图元,实现专业间的高效联动。

参考文献

- [1] EMIL G, STEVE C. Increasing design quality and engineering productivity through design reuse [C]. Proceedings-Design Automation Conference, Dallas, TX, USA: IEEE, 1993: 48-53.
- [2] JOACHIM A, STEFAN O, BERND S. Reuse of design objects in CAD frameworks [C]. IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design, Digest of Technical Papers, San Jose, CA, USA: IEEE, 1994: 754-761.
- [3] 张建勋,唐洪英,龚箭.可重用集成设计单元模型研究[J].计算机工程与应用,2002(3):23-26.
- [4] 高佐人,吴杰,王松青.建筑结构工程设计重用策略[J].计算机集成制造系统,2007,13(5):885-890.
- [5] 吴杰,高佐人,曾慧明.树状建筑工程设计重用模型[J].计算机辅助设计与图形学学报,2008,20(11):1440-1445.

3D Model of Building Engineering Drawings for Design Reusing

Gao Zuoren, Wu Jie, Zeng Huiming

(The Architectural Design & Research Inst. of ZheJiang Univ., Hangzhou 310027, China)

Abstract: By investigating the characteristic of information repeating in building engineering drawings, a 3d design reusing model is developed to exploit the potentialities. The model has the capacity to deal with the vertical repeating and the horizontal repeating. It helps the flat original data in drawings be reorganized into a multi-level tree structure. Each reusable part finds its place in the leaves and is deployed automatically to where it should reappear through the branches in the tree. Software system based on the model employs the “block-reference” function in AutoCAD to store the reusable parts and implement the assembling action. It helps to save all the copies for the repeating information to achieve the synchronous modification. More advanced functions such as automatical printing for standard floors have been involved in the system. The statistic on practice shows that it can enhance the efficiency by more than 50%.

Key words: design reuse; build engineering; CAD; 3D model; software system