

BIM 技术在轻钢龙骨结构深化设计中的应用研究

应宇垦^{1,2} 罗金辉¹ 张其林¹ 付心建² 王洪伟² 吴曙崇³

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 上海慧之建设顾问有限公司, 上海 200092;
3. 斯坦塔(南通)集成建筑科技有限公司, 南通 226300)

【摘要】目前,轻钢龙骨结构设计大多采用传统的二维 CAD 图纸、套用标准图集的设计方法,将难以适应未来数字化设计和智能建造的需要。本文针对轻钢龙骨结构体系的结构形式和特点,结合相关冷弯薄壁型钢的设计规范,提出了利用 BIM 技术进行轻钢龙骨结构体系参数化设计的方法,并且通过 Revit API 技术编程实现了专项设计模块,包括:轻钢龙骨自动化排布、自动化出图、输出工程量明细报表等核心功能,为实现轻钢龙骨结构体系的智能设计和智能建造提供借鉴意义。

【关键词】轻钢龙骨结构体系;建筑信息模型(BIM);Revit API;龙骨自动化排布;工程量报表

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

钢结构建筑是实现绿色建筑的最佳结构形式^[1]。轻钢龙骨结构体系是目前建筑领域最接近制造业产品生产方式的建筑模式,可广泛应用于工业化住宅、民用建筑等复杂形体的低层钢结构构筑物。

轻钢龙骨结构体系同各类新型建筑工业化体系一样,要经历设计阶段、制作阶段、运输阶段、安装阶段、运维及拆除阶段^[2]。其中,深化设计是轻钢龙骨结构体系的全生命周期建设中非常关键的一个环节。

目前,轻钢龙骨结构体系的深化设计仍然以传统 CAD 平面设计交付方式为主,这导致了出图时间慢、图纸矛盾多、工程量统计繁琐,并无法实现全过程的数字化交付等一系列问题。BIM 由于“所见即所得^[3]”的优势(即改变一处模型,对应平立剖面同时改变),大大提高了出图设计的准确程度而广受欢迎。将二者的优势结合,将有机会为未来建筑工业化的发展奠定坚实的基础。

本文针对轻钢龙骨结构体系的特点,结合软件开发技术,利用 BIM 技术实现轻钢龙骨构件自动化排布、自动化出图和输出清单报表,使得轻钢龙骨结构体系的深化设计更加准确、便捷,并在项目应用中取得了良好的效益。

1 BIM 技术在轻钢龙骨结构体系深化设计中应用的可行性

BIM 软件是保证 BIM 技术在建设领域应用的不可缺少的工具^[4]。美国、澳大利亚、日本、新西兰等国家的企业针对本国国情和自家企业的产品状况研发出适用于自身的轻钢龙骨设计软件,如 FR-AMECAD 软件^[5]在设计、构件制造、成本控制、施工甚至运输上都发挥了巨大的作用。而在国内,虽有自己的钢结构设计软件 STS^[6]和 3D3S^[7],还有部分企业引进了国外的设计软件,但大多都是针对钢结构或者轻钢结构,范围较广,对轻钢龙骨结构体系针对性不强,改善设计效果,提升设计效率作用非

【作者简介】 应宇垦(1973-),男,博士研究生,主要研究方向:土木工程信息化;罗金辉(1978-),男,助理研究员,硕士生导师,主要研究方向:组合结构,智能建造;张其林(1962-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:土木工程计算机仿真等。

常有限。

因此,采用当前建筑业的主流 BIM 建模软件 Autodesk Revit^[8],在此基础上进行二次开发形成轻钢龙骨结构体系专用模块是比较好的方式。采用这种技术路线,既可以替代传统的 CAD 设计模式,提升设计效率,也能够解决设计、加工、制作、安装过程中的信息传递与协调问题。

1.1 轻钢龙骨结构特点

轻钢龙骨结构体系,即冷弯薄壁型钢房屋建筑体系,是将冷弯薄壁型钢构件通过自攻螺钉连接形成轻钢骨架,而后在轻钢骨架上覆以建筑板材从而形成主体结构^[9]。

轻钢龙骨结构体系具有以下特点:

1)在材料选用上,应遵循《JGJ 227 - 2011 低层冷弯薄壁型钢房屋建筑技术规程》的要求。

2)轻钢龙骨墙体、楼板、楼梯和屋面的部件组成相对标准化,龙骨的排布间距需满足特定的模数和受力要求。

3)在洞口部位和墙相交等处,均需采用竖向立柱加强。

除此之外,轻钢龙骨结构的特殊部位需要不同的构造措施来满足受力和实际施工安装的需要和国家规范要求。

1.2 轻钢龙骨结构体系 BIM 深化设计的研发思路

Revit 软件提供了建筑、结构、机电等不同专业的建模设计模块,并且能够支持构件创建、出图和工程量统计等基本功能^[10],有利于工程信息的传递,但是想要较好地满足轻钢龙骨结构体系的实际需求,还需要解决以下问题。

1)建模效率不够高。轻钢龙骨结构的墙体、楼板、屋面等主要部品是由特定间距的竖向龙骨和横向支撑组成,通过参数化的方式定义墙体族库以后,在深化设计过程中通过进行调取族库来增加或修改墙体,这样能够提升效率。这种面向部品的高效设计解决方案必须通过定制开发实现。

2)深化设计出图不够高效。通过定制开发的方式,把图面内容排布完成,即可创建轻钢龙骨结构的深化设计图纸,且自动关联平面图、侧面图、以及构件列表等所有墙体部品出图内容,提高准确率的同时,可以大大节省出图时间。

3)墙体部品编号无法自动与轻钢龙骨列表、面板列表,以及配件列表清单相关联,而这也通

过二次开发的方式来解决。

Autodesk Revit 产品基于参数化内核开发,并且提供丰富的 API 接口^[11-12]。高级用户和第三方开发者能够通过 Revit API 将他们的应用程序集成到 Autodesk Revit 系列产品中。因此,通过 Revit API 函数编程进行二次开发应用,可以实现轻钢龙骨深化设计(见图 1)的三项核心功能:1)结合规范进行轻钢龙骨的自动化排布;2)结合制图标准进行自动化出图;3)自动提报工程量报表。

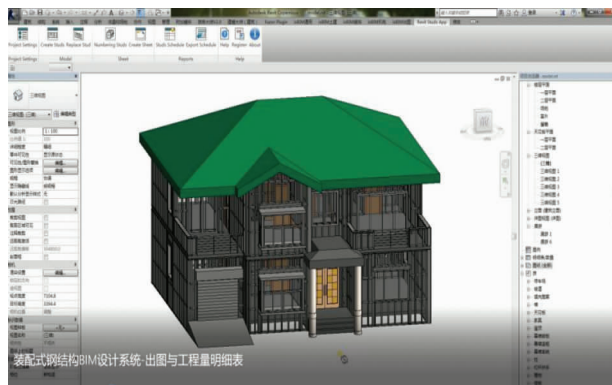


图 1 基于 Revit 的轻钢龙骨深化设计专用模块软件界面

2 BIM 技术在轻钢龙骨结构体系深化设计中的应用研究

2.1 模块分类和构成

根据需求分析,基于 Revit 的轻钢龙骨深化设计专用模块根据作用对象可分为:墙体、楼板、楼梯和屋面四大模块,各个模块均包括 3 个主要功能:模型生成、视图和明细表。其中,模型功能主要完成轻钢龙骨构件的快速创建;视图功能主要提供自动出图的功能;明细表用于统计材料的工程量。软件的功能模块如图 2 所示。

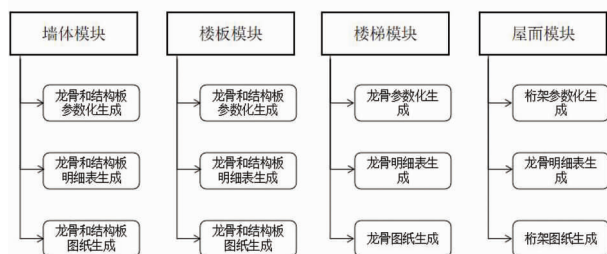


图 2 轻钢龙骨深化设计专用模块的功能图

以轻钢龙骨深化设计的墙体模块为例:软件预先设定不同类型龙骨族和结构板族,根据墙体等构

件的既定尺寸,自动计算出龙骨构件的排布方式(包括尺寸和位置),计算出龙骨实例的定位和尺寸,并完成龙骨构件的快速创建,同时赋予构件相应的参数。在模型创建以后,可以通过 Revit 软件工程图功能和明细表功能,实现轻钢龙骨结构体系的出图与算量。

2.2 轻钢龙骨自动化排布设计的技术研究

轻钢龙骨的自动化排布技术的研究主要涉及如下内容:1)矩形墙面轻钢龙骨排布的需求;2)垂直相交墙面部位的轻钢龙骨排布需求;3)门洞、窗洞的排布算法。其他还有异形墙顶的排布等辅助功能。设计师只需选择墙体,设置参数,后续大量自动创建、构件判别等工作均由智能排布算法完成。龙骨自动化创建的流程如图3所示。

2.2.1 矩形墙面轻钢龙骨排布的需求

常规矩形的墙面(L x H,宽为L、高为H),轻钢龙骨构件分为竖向构件与横向构件。竖向构件间距参数设为 Vertical Spacing;横向构件间距参数设为 Horizontal Spacing、底部构件和墙底距离参数设为 Horizontal Bottom Spacing。

轻钢龙骨排布遵循如下原则:1)先排布竖向构件、后排布横向构件;2)横向构件先排布底部构件、再排布中间构件、最后有剩余距离排布顶部构件;3)竖向构件作为支撑排布在横向构件之间。

以长和宽各为3m的轻钢龙骨墙体为例。其参数:L=3 000mm、H=3 000mm、Vertical Spacing=400mm、Horizontal Spacing=1 200mm、Horizontal Bot-

tom Spacing=1 225mm。

1) 竖向龙骨创建

竖向龙骨构件的创建是整个轻钢龙骨墙体创建的第一步。竖向龙骨的位置决定了加强龙骨、横向龙骨、过梁等构件的位置。竖向龙骨放置在墙体中心,可以通过获取墙的外围轮廓,向墙内偏移半个墙的厚度得到竖向龙骨排布的平面位置。

在获取竖向龙骨放置的平面后,即可通过该平面获取到墙体的长度L,通过墙的长度(L)除以竖向龙骨的间距(Vertical Spacing)即可得到竖向龙骨的数量。以如图4所示的墙体为例,当设置的竖向龙骨间距(Vertical Spacing)为400mm,墙体的长度(L)为3 000mm,根据计算 $3\ 000/400=7$ 个间距,剩余200mm,那么计算出需要布置的竖向龙骨的个数为7(即为间距个数)+1+1(剩余200mm补加1个)=9根竖向龙骨。对于最后一根龙骨需要将龙骨的开口方向反转,使得开口方向朝向墙内,以满足轻钢龙骨构件的构造要求。

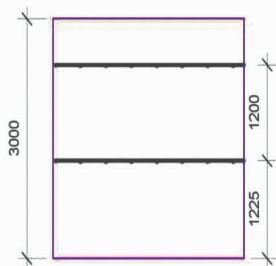
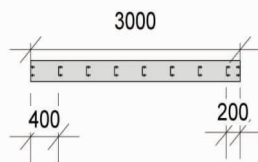


图4 竖向龙骨排布示意

图5 横向龙骨排布示意图

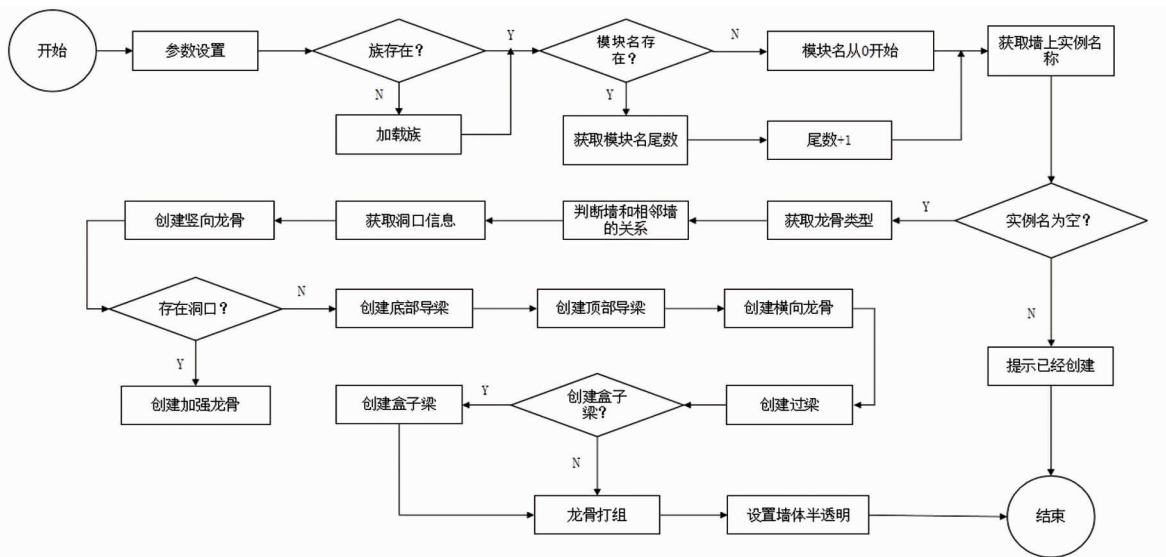


图3 墙体模块的轻钢龙骨自动化排布流程

2) 横向龙骨创建

竖向龙骨创建完成后,即可创建横向龙骨。如图 5 所示:墙体高度(H)为 3 000mm,横向龙骨构件底部偏移(Horizontal Bottom Spacing)为 1 225mm,横向龙骨间距(Horizontal Spacing)为 1 200mm。经过计算 $(3\ 000 - 1\ 225) / 1\ 200 = 1$ (个间距),剩余 575mm,那么需要创建的横向龙骨的数量为 1 (个间距) + $1 = 2$ (根横向龙骨)。

2.2.2 相交墙面部位轻钢龙骨排布的算法

当遇到两个墙体交接时,墙与墙的连接处需要做特殊的技术处理。相交墙面龙骨排布的流程步骤如下:1)通过用户交互确定主墙,主墙的判断依据是看哪个墙剪切另外一个墙;2)每面墙均按照龙骨的竖向间距进行设置;3)在相交这一端,根据轻钢龙骨的构造要求,需要在主墙的位置多排布两根竖向龙骨。

如图 6 所示,墙 A 剪切了墙 B,那么墙 A 是主墙。在创建竖向龙骨的时候,墙 A 是从端点 A 开始排布,并且在端点 A 的地方多排布两根竖向龙骨,墙 B 是从端点 B 开始正常排布,不需要额外增加竖向龙骨。排布之后的效果如图 7 所示。

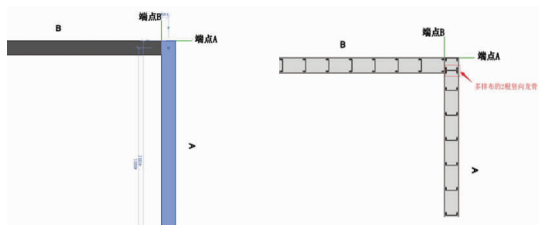


图 6 主墙的判定 图 7 墙相交处竖向龙骨排布效果图

2.2.3 门洞和窗洞的排布算法

对于在门窗洞口部位,需要根据规范要求进行局部加强。门洞和窗洞部位轻钢龙骨排布的流程为:1)门洞部位:竖向龙骨排布到门洞的时候,竖向龙骨被门洞打断,竖向龙骨的位置从门洞上方开始排布;2)窗洞部位:竖向龙骨排布到窗洞的时候,竖向龙骨被窗洞打断为两部分,分别为窗洞下和窗洞上;3)设置龙骨底部偏移量;4)洞口两边创建加强龙骨;5)洞口上方创建盒子梁;6)墙体顶部和底部分别创建连梁。

图 8(a)、(b)为门窗洞口部位竖向龙骨创建完成后的模型,加强龙骨将会和竖向龙骨紧贴。洞口上的龙骨底部并没有从洞口的顶部开始而是有一定的偏移量。因为在洞口顶部存在过梁或盒子梁,

竖向龙骨需要和过梁或盒子梁搭接,所以在创建洞口上方竖向龙骨的时候预留出来了过梁或盒子梁的高度。同时为了施工容错,竖向龙骨的两端都会缩短 3mm。

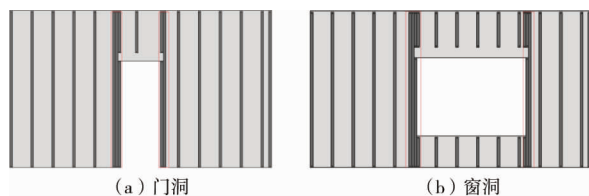


图 8 门窗洞口部位加强龙骨

通过上面的后续步骤继续创建龙骨,整个墙体的龙骨框架可以创建完成。创建完成的墙体龙骨效果如图 9 所示。在所有的龙骨创建完毕之后,以龙骨作为框架,便可挂接外部面板。

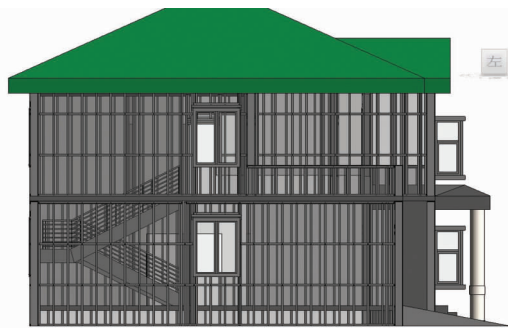


图 9 龙骨创建效果图

2.3 轻钢龙骨结构的自动化出图技术研究

自动化出图分为轻钢龙骨加工图和结构板加工图。以轻钢龙骨加工图为例,需要事先设定图纸的标准和样式。其自动化出图的流程为:1)选择设定的图纸样式;2)创建关联平面视图;3)创建立面图;4)添加所需标记和标注,得到所需的加工图。其自动化出图流程如图 10 所示。

为了轻钢龙骨深化出图的方便,用户需要设定若干龙骨加工图的图纸样板便于选用。龙骨加工图创建时,除了生成平面和立面所需的标注外,对于洞口,还需要给洞口自动添加尺寸信息。

2.4 自动化 BIM 工程量统计

轻钢龙骨结构专用模块的工程量明细表包括轻钢龙骨构件和结构板构件。以轻钢龙骨为例,创建明细表的流程为:1)设定明细表模板所需要的属性参数(包括:注释、类型等);2)获取模型中所有的龙骨,然后根据龙骨的注释将不同墙的龙骨分

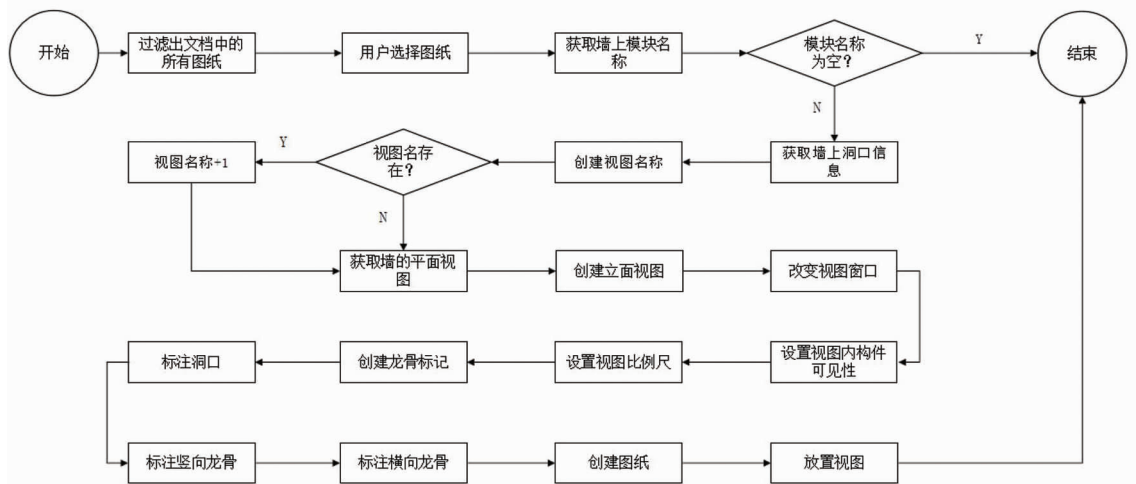


图 10 自动化出图流程

类；3）每面墙体创建一个相应的明细表；4）根据不同的龙骨类型（例如竖龙骨和横龙骨就是不同类型，同样是竖龙骨不同的尺寸也是不同的类型）进行二级分类，按照龙骨的长度逐行列出。

龙骨明细表中包含了“注释”，“类型”，“标记”，“sLength”，“MASS PERUNIT”，“合计”六列。“注释”列中的值是龙骨上的注释参数，这个参数的值是在创建龙骨的时候生成的，对于同一面墙体的龙骨，这个参数的值是一样。在龙骨创建时候的设置界面上设置了“模块名”，就是这个注释的前缀名，在创建龙骨的时候，前缀后面的数量根据当前模型中已经存在的注释递增。“标记”列中的值是在创建龙骨的时候根据注释创建，对于同一类型同一长度的龙骨，“标记”的值相同。“类型”列中是龙骨的类型，例如 U20019_207 * 59 * 1.9, C20019_203 * 51 * 12.5 * 1.9。“sLength”是龙骨的长度，长度值可以通过龙骨的参数获取。“MASS PERUNIT”是龙骨的米重（一米龙骨的重量），这个是龙骨的类型参数，不同类型的龙骨，每根米重不同。“合计”列中是龙骨的数量，这个数量可以通过计算得到。见图 11 属性面板。

对于每一面墙体，创建后的明细表如图 12 所示。明细表也可以导出为 excel 格式的文件，便于后续使用。

3 工程案例和成效分析

为了对比轻钢龙骨应用不同设计工具的深化设计效果，我们采用上述技术研究成果所形成的

“Revit 深化设计模块”，结合北京环球公园项目的应用情况，对项目成效做以分析总结。

3.1 项目实施概况

北京环球主题公园第四标段，总用地面积约为 94 452m²，其中哈利波特主题片区的 501A 单体外墙采用轻钢龙骨结构。



图 11 属性面板

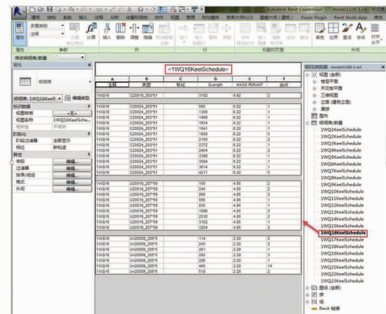


图 12 轻钢龙骨明细表

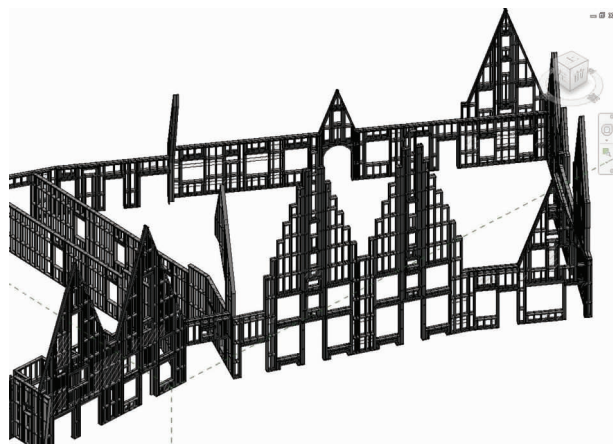


图 13 501A 单体外墙的轻钢龙骨三维模型

该项目外墙利用 Revit 深化设计模块进行设计(如图 13 所示),其他承包商的类似项目仍然采用 CAD 进行深化设计,也为本次效益测试提供了对比样本。操作过程中,只要在 Revit 软件中建立基本墙和洞口,就可以直接进行龙骨自动化排布,生成图纸,套上图框和一些手工图面调整,即可完成工作。另外,生成的料表数据准确,模型、图纸、料表三者数据一致。其生成的平面图和立面图如图 14 和图 15 所示。

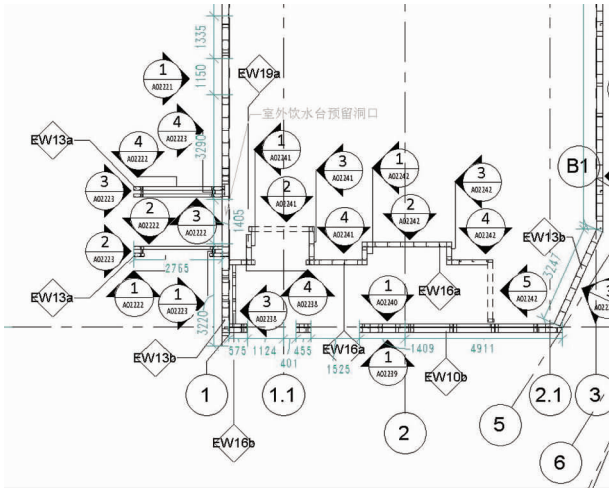


图 14 Revit 深化出图平面图(局部)

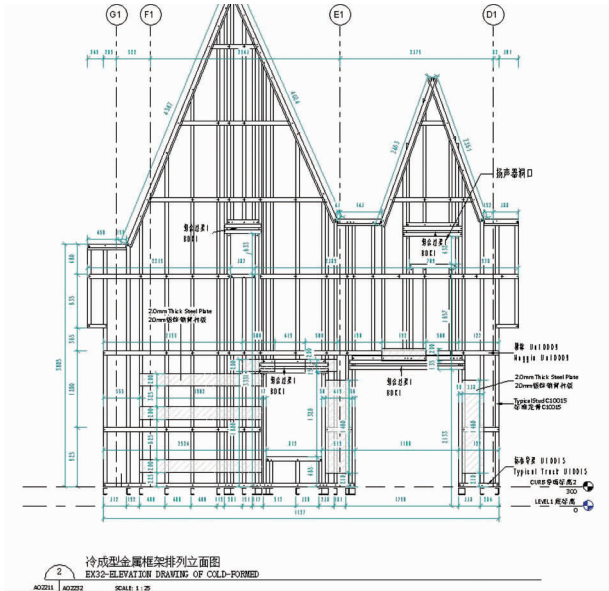


图 15 Revit 深化出图立面图(局部)

3.2 实施成效

以 501A 单体外墙为例,结合其他类似外墙的深化设计,设计师统计了三种设计方法在建模或绘

图、出图、材料统计以及所需要的工程协调工作等投入的天数:1)传统 CAD 设计出图需要投入 56.5 天;2)Revit 直接建模设计出图需要投入 32 天;3)Revit 专用深化设计模块出图需要投入 13.65 天,结果如图 16 所示。

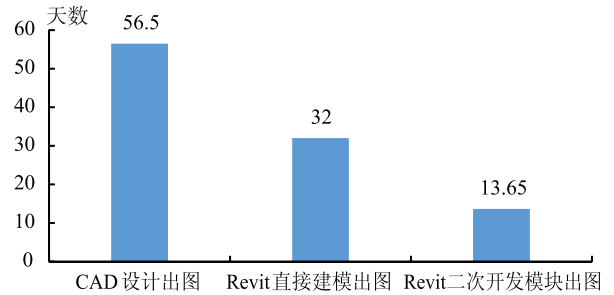


图 16 三种设计方法进行深化设计的投入天数对比

经分析对比,利用轻钢龙骨 Revit 深化设计专用模块进行出图时间是 CAD 设计出图的工作时间的 24%,是利用 Revit 直接建模设计出图的工作时间的 42.7%,其效率分别提升了 76% 和 57.3%。另外,在模型创建完毕后,使用算量功能即可导出工程料单,不但节约了时间,也大大减少了人为错误。

4 结语

通过基于 Revit 的轻钢龙骨深化设计专用模块开发,既实现了轻钢龙骨的自动化排布、结合制图标准进行自动化出图、自动提报提供工程料单报表等功能,也满足了设计规范,相比传统 CAD 的方式更加快捷准确。因此基于 Revit 进行二次开发实现轻钢龙骨结构体系的深化设计是可行的技术路线。该模块在实际应用中也还需要完善,比如自动生成平面索引或立面尺寸标注时,会出现位置重叠的现象,需要手工调整,这些有待于进一步优化。另外,与外墙功能的深化设计类似,后期还需要进一步实现楼板、楼梯、屋面等构件设计功能,以完善整个设计体系功能。

BIM 是建筑业管理方式升级换代的一种独立的重要方式,如果与建筑工业化建造结合起来,它的功能将会有质的提升^[13]。本文着眼于解决目前阶段的生产实际问题,为实现轻钢龙骨结构体系的智能化设计和数字化交付,探索出一条可行的技术路径。未来,BIM 技术如何更高效地服务于轻钢龙骨结构的设计、加工、安装与运维过程,还需要与业内同仁一起,做更多的研究和实践。

参考文献

- [1] 沈祖炎, 罗金辉, 李元齐. 以钢结构建筑为抓手 推动建筑行业绿色化、工业化、信息化协调发展[J]. 建筑钢结构进展, 2016, 18(2): 1-6 + 25.
- [2] 何关培, 王轶群, 应宇垦. BIM 总论[M]. 中国建筑工业出版社, 2011.
- [3] 应宇垦. BIM 技术引爆施工信息化潮流[J]. 建设信息, 2010(12): 18-21.
- [4] 何关培. BIM 和 BIM 相关软件[J]. 土木建筑工程信息技术, 2010, 2(4): 110-117.
- [5] FRAMECAD SOFTWARE 软件解决方案[R]. 冷弯成型轻钢建筑, 2015.
- [6] 易富民, 董伟. PKPM STS 钢结构设计从入门到精通[M]. 大连理工大学出版社, 2011.
- [7] 季俊, 张其林. 基于建筑信息模型的轻钢厂房结构软件[J]. 计算机辅助工程, 2009, 18(3): 58-61.
- [8] 周志, 赵雪峰, 吴玉怀. BIM 原理总论[M]. 中国建筑工业出版社, 2017.
- [9] GB 50018 - 2002. 冷弯薄壁型钢结构技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [10] 王婷. 全国 BIM 技能培训教程-REVIT 初级[M]. 中国电力出版社, 2019.
- [11] Autodesk Asia Pte Ltd. AUTODESK REVIT 二次开发基础教程[M]. 同济大学出版社, 2015.
- [12] 罗仲东, 陆焯, 李国强. 基于 Revit 的轻钢龙骨复合墙参数化建模研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(1): 88-91.
- [13] 沈祖炎, 李元齐. 建筑工业化建造的本质和内涵[J]. 建筑钢结构进展, 2015, 17(5): 1-4.

Research on BIM Application of Detailed Design of Light Gauge Steel-Framed Structure

Ying Yuken^{1,2}, Luo Jinhui¹, Zhang Qilin¹, Fu Xinjian²,
Wang Hongwei², Wu Shudong³

- (1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Shanghai SmartBIM Consulting Co., Ltd., Shanghai 200092, China;
3. Stanta (Nantong) Integrated Building Technology Co., Ltd., Nantong 226300, China)

Abstract: At present, most structural designs of light-weight steel framing system are still applying traditional methods of 2D CAD drawings and standard atlas, which will certainly fail to meet the needs of digital design and intelligent construction in the future. According to the structural form and characteristics of the light-weight steel framing system, this paper proposes a parametric structural design method of the light-weight steel framing system through BIM application, considering the relevant design specifications of cold-formed thin-walled steel. A special design module is also achieved through the Revit API technology programming to realize the core functions including automatic layout of light steel keel, automatic drawing, output of detailed report of quantities, and etc., which provides references for the realization of intelligent design and intelligent construction of the light-weight steel framing systems.

Key Words: Light-Weight Steel Framing System; Building Information Modeling (BIM); Revit API; Light-Weight Steel Framing Automatic Layout; Bill of Quantities