



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112861237 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 09

(21) 申请号 202110224708.5

(22) 申请日 2021.03.01

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112861237 A

(43) 申请公布日 2021.05.28

(73) 专利权人 河北工业大学
地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8
号河北工业大学东院330#

(72) 发明人 马国伟 黄轶淼 董威 张俊飞

(74) 专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务
所(普通合伙) 12210
专利代理师 付长杰

(51) Int. Cl.
G06F 30/13 (2020.01)
E04B 1/348 (2006.01)

G06F 111/10 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件
CN 111639371 A, 2020.09.08
CN 112329121 A, 2021.02.05
KR 20050008182 A, 2005.01.21
Kwame Amoah. Optimizing the Usage of
Building Information Model (BIM)
Interoperability Focusing on Data Not
Tools.《36th International Symposium on
Automation and Robotics in Construction
(ISARC 2019)》. 2019, 全文.
陆海燕; 钟铁夫; 王秀文; . 基于BIM的框架结
构参数化设计研究. 土木建筑工程信息技术
. 2015, (第05期), 全文.

审查员 王亚菲

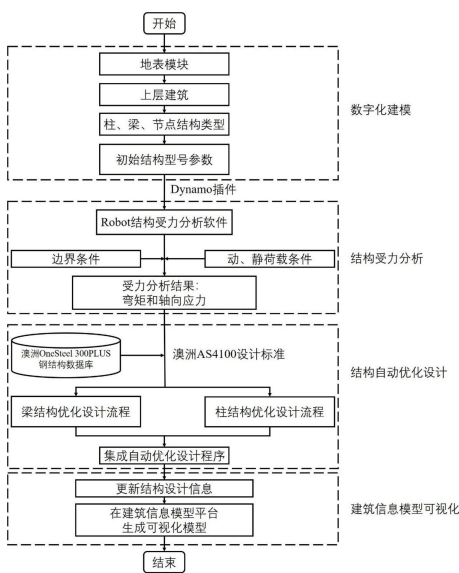
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

一种模块化钢框架建筑结构自动优化设计
方法及系统

(57) 摘要

本发明涉及一种模块化钢框架建筑结构自动优化设计方法及系统, 该系统包含: 根据模块化钢框架建筑结构尺寸信息建立建筑结构数字模型并赋予数字模型结构类型及初始结构型号; 将数字模型数据传输至计算软件进行建筑结构受力分析; 依据建筑结构受力分析结果、钢结构设计规范及钢结构数据库对模块化钢框架建筑结构进行自动优化设计, 并依据自动优化设计结果更新数字模型; 将优化的模块化钢框架建筑结构设计信息反馈至建筑信息模型平台并生成相应的可视化模型。将自动优化设计程序集成至数字化建模流程中, 有利于模块化钢框架建筑结构的设计实时响应项目信息变更, 自动确定最优设计方案, 方便项目参与人员及时协调工作安排。



1. 一种模块化钢框架建筑结构自动优化设计方法,其特征在于,该设计方法包含以下步骤:

(1) 根据模块化钢框架建筑结构尺寸信息建立建筑结构数字模型并赋予数字模型结构类型及初始结构型号;

(2) 将数字模型数据传输至计算软件进行建筑结构受力分析;

(3) 依据建筑结构受力分析结果、钢结构设计规范及钢结构数据库对模块化钢框架建筑结构进行自动优化设计,并依据自动优化设计结果更新数字模型;

(4) 将优化的模块化钢框架建筑设计信息反馈至建筑信息模型平台并生成相应的可视化模型;

所述自动优化设计步骤以嵌入式编程的方式集成在模块化钢框架建筑结构数字建模流程中,自动优化设计程序为利用结构受力分析结果和结构约束条件,依据钢结构设计规范遍历钢结数据库中的所有结构型号,得到承载效率最优的结构型号,确定对应结构类型的最优设计;

依据当地的钢结构数据库和钢结构设计规范编写成自动优化设计程序集成在数字化建模流程中,利用数字化建模软件中二次开发的插件将所述的数字模型数据传输至计算软件来执行建筑结构受力分析。

2. 根据权利要求1所述的设计方法,其特征在于:所述的模块化钢框架建筑结构尺寸信息包括钢框架单元模块的长宽高、建筑场地的尺寸、模块化钢框架建筑的楼层数、钢框架模块之间的间隔距离。

3. 根据权利要求2所述的设计方法,其特征在于:所述的数字模型基于模块化钢框架建筑结构尺寸信息在数字化建模软件中建立,同时定义数字模型中几何元素的结构类型。

4. 根据权利要求3所述的设计方法,其特征在于:所述的数字模型中几何元素根据所定义的结构类型被赋予初始结构型号,初始结构型号根据当地钢结构数据库选取。

5. 根据权利要求4所述的设计方法,其特征在于:建筑结构受力分析按以下步骤进行:
(1) 定义结构边界条件;(2) 定义动、静荷载条件;(3) 执行静力结构分析方法。

6. 根据权利要求5所述的设计方法,其特征在于:所述模块化钢框架建筑结构自动优化设计对象为模块化钢框架建筑中各种结构类型,包括梁、柱、节点结构,自动优化设计按以下步骤进行:

(1) 导入结构受力分析结果、当地钢结构数据库、结构约束条件,将初始结构型号设置为当前最优结构型号,依据当地钢结构设计规范计算初始结构型号的承载力;

(2) 循环择优:从当地钢结构数据库中随机选择新的结构型号更新模块化钢框架建筑结构数字模型,依据当地钢结构设计规范计算该结构型号的承载力,如果该结构型号承载力小于结构受力分析的承载力要求,则重新随机选择新的结构型号,否则对比该结构型号与当前最优结构型号的承载力,如果当前结构型号的承载力小于等于当前最优结构型号,则将当前最优结构型号更新为所选择的结构型号;直到该循环过程遍历当地钢结构数据库中所有的结构型号,最终的当前最优结构型号即为结构的最优设计。

7. 根据权利要求1所述的设计方法,其特征在于:根据所述自动优化设计结果,更新模块化钢框架建筑结构数字模型,通过数字化建模软件与建筑信息模型(BIM)平台之间的数据传输,在建筑信息模型(BIM)平台中生成相应的可视化模型。

8.一种模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统,其特征在于,采用权利要求1所述的设计方法,该系统包括建筑信息模型、模块化钢框架建筑结构数字模型、建筑结构受力分析软件,还包括有钢结构数据库及对应的钢结构设计规范、模块化钢框架建筑结构中各种结构类型的自动优化设计程序。

9.根据权利要求8所述的系统,其特征在于,依据自动优化设计结果更新模块化钢框架建筑结构数字模型;将优化的模块化钢框架建筑结构设计信息反馈至建筑信息模型平台并生成相应的可视化模型。

一种模块化钢框架建筑结构自动优化设计方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及模块化建筑设计及管理技术领域,尤其是一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计方法。

背景技术

[0002] 近年来,在世界范围内尤其是亚洲地区,模块化建筑在建筑工程领域得到了大力地发展与推广,以满足日益增长的人口所带来的住房需求和压力,同时解决传统建筑施工过程中存在的诸如线性施工管理所带来的大量资源浪费和工程废弃物污染等问题。作为装配式建筑的一种,结构部件的工厂预制化生产可以有效地提高模块化建筑的施工效率并优化现场工作人员配置。根据模块的受力方式和生产材料,目前主流的模块化建筑是钢框架支撑的建筑结构,得益于其极高的灵活性和轻便性,模块化钢框架建筑结构更有利于工厂生产、远程运输和现场安装。但是由于模块化建筑施工过程实施的是多个单位协同参与的并行管理模式,导致传统的建筑结构独立设计方式不再适用,设计方需要实时根据工厂生产、运输和现场安装等信息优化设计,提供相应的施工空间,并及时将优化后的设计信息反馈给各方。

[0003] 因此建筑信息模型(BIM)技术成为解决上述模块化建筑设计问题的有力工具,建筑信息模型的信息整合能力能够有效地连接参与项目的各方单位。目前建筑信息模型在模块化建筑中的应用非常有限,特别是支持建筑设计环节,存在一些亟需解决的技术问题:在建筑信息模型中利用数字化模型管理设计方案要求使用者具有较高的专业知识背景,包括结构设计、编程、数据提取等,加深了平台推广使用难度,每次都需要专业人员手动调整设计;建筑信息模型平台下各软件之间存在数据传输问题,不利于结构设计信息在平台中的更新。一个基于建筑信息模型平台的方便交互易于使用的系统工具对于模块化建筑结构设计显得格外重要。

发明内容

[0004] 针对现有模块化钢框架建筑结构的设计、数字化建模各自独立进行,其中设计环节需要人工修改设计参数,每修改一次都需要进行一次验证,且不能保证最终设计为最优设计,当确定了最终设计后才进行数字化建模,另外,对BIM的使用讨论也仅限于将最后的数字化模型导入BIM平台中,这种传统的设计模式复杂耗时,不能做到实时更新并优化设计,不利于发挥模块化建筑并行施工的优势,这一技术问题而提出本发明,本发明的目的在于解决上述现有建筑信息模型技术在模块化建筑结构设计方面应用的技术问题,在建筑信息模型平台(BIM)中实现模块化钢框架建筑结构的自动优化设计,确保设计实时响应项目信息变更,自动确定最优设计方案,方便项目参与人员及时协调工作安排。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供以下的技术方案:一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统,其特征在于包含以下步骤:

[0006] (1)根据模块化钢框架建筑结构尺寸信息建立建筑结构数字模型并赋予数字模型

结构类型及初始结构型号；

[0007] (2)将数字模型数据传输至计算软件进行建筑结构受力分析；

[0008] (3)依据建筑结构受力分析结果、钢结构设计规范及钢结构数据库对模块化钢框架建筑结构进行自动优化设计,并依据自动优化设计结果更新数字模型；

[0009] (4)将优化的模块化钢框架建筑设计信息反馈至建筑信息模型平台并生成相应的可视化模型。

[0010] 进一步的,所述的模块化钢框架建筑结构尺寸信息包括钢框架单元模块的长宽高、建筑场地的尺寸、模块化钢框架建筑的楼层数、钢框架模块之间的间隔距离等。

[0011] 进一步的,所述的数字模型基于模块化钢框架建筑结构尺寸信息在数字化建模软件中建立,同时定义数字模型中几何元素的结构类型。所述数字化建模软件为Dynamo、Solidworks,Maya,Rhino等软件。

[0012] 进一步的,所述的数字模型中几何元素根据所定义的结构类型被赋予初始结构型号,初始结构型号根据当地钢结构数据库选取。当地钢结构数据库是指不同国家的钢结构型号的标准数据汇总。

[0013] 进一步的,利用数字化建模软件中二次开发的插件将所述的数字模型数据传输至计算软件(计算软件用于结构受力计算分析,可以是robot structural analysis、space gass、ansys等)来执行建筑结构受力分析,建筑结构受力分析按以下步骤进行:(1)定义结构边界条件;(2)定义动、静荷载条件;(3)执行静力结构分析方法。

[0014] 进一步的,所述模块化钢框架建筑结构自动优化设计对象包括梁、柱、节点结构等,自动优化设计按以下步骤进行:

[0015] (1)导入结构受力分析结果、当地钢结构数据库、结构约束条件,将初始结构型号设置为当前最优结构型号,依据当地钢结构设计规范计算初始结构型号的承载力;

[0016] (2)循环择优:从当地钢结构数据库中随机选择新的结构型号更新模块化钢框架建筑结构数字模型,依据当地钢结构设计规范计算该结构型号的承载力,如果该结构型号承载力小于结构受力分析的承载力要求,则重新随机选择新的结构型号,否则对比该结构型号与当前最优结构型号的承载力,如果当前结构型号的承载力小于等于当前最优结构型号,则将当前最优结构型号更新为所选择的结构型号。直到该循环过程遍历当地钢结构数据库中所有的结构型号,最终的当前最优结构型号即为结构的最优设计。

[0017] 进一步的,所述自动优化设计的步骤以嵌入式编程的方式集成在模块化钢框架建筑结构数字建模流程中,上述数字化建模软件一般会提供编程接口,使得想实现的功能与建模流程能够结合在一起。

[0018] 进一步的,根据所述自动优化设计结果,更新模块化钢框架建筑结构数字模型,通过数字化建模软件与建筑信息模型(BIM)平台之间的数据传输,在建筑信息模型(BIM)平台中生成相应的可视化模型。

[0019] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0020] 本发明提供的系统,其有益效果是依据当地的钢结构数据库和钢结构设计规范编写成自动优化设计程序集成在数字化建模流程中,本发明充分利用了数字化建模平台提供的现有功能,以及现有的二次开发的插件,把“数据传输”这一操作集成在了整个建模流程里,实现自动优化设计,打通了数字化建模软件、建筑结构受力分析计算软件和建筑信息模

型平台之间的数据传输,不需要手动操作就能将一个软件的数据传输到另一个软件,从而实现了模块化钢框架建筑结构自动优化设计。该系统只需要提供少许基本参数就可以自动检索出符合设计规范的最优设计方案,同时将最优设计方案信息以可视化的方式更新至建筑信息模型平台中。该发明能够显著提高模块化钢框架建筑项目中设计方对项目信息变更的实时响应,使项目参与人员之间的工作安排协调更加紧密,充分发挥装配式建筑的优势。

[0021] 本发明提出的针对模块化钢框架建筑结构的自动优化设计,基于现有的数据交换技术实现了数字化建模软件、结构受力分析软件和建筑信息模型平台(BIM)之间的联合,解决了传统设计方法中各步骤独立进行的复杂耗时且与模块化建筑施工管理模式不匹配等缺点。在数字化建模阶段对目标模块化钢框架建筑建立完整的数字化模型流程,后续用户仅需要输入少量的基础参数(模块化钢框架建筑结构尺寸信息)就能根据具体需求建立数字模型;建立完成的数字模型通过功能模块可以自动的传输至结构受力分析软件进行受力分析,获得特定荷载下钢结构的承载需求;在承载需求的基础上,为了求得各结构的最优设计,即结构的承载效率最高,本发明设计编写了一个自动优化设计程序(自动优化设计程序是指利用结构受力分析结果和结构约束条件,依据当地钢结构设计规范遍历当地钢结构数据库中的所有结构型号,得到承载效率最优的结构型号),该程序整合了钢结构设计计算规范和钢结构数据库,通过将该程序集成在数字化建模流程中,实现了钢框架结构的自动优化设计;最终通过数字化建模软件与BIM平台的数据交换功能将最优设计结果更新至建筑的BIM模型。

[0022] 在模块化钢框架建筑生产施工过程中,当需要根据反馈信息修改设计信息时,本发明能够在BIM平台中整合建模、验证、优化各环节,提供的方法能够实现实时响应,以最便捷的方式实现建筑结构的建模、优化和BIM信息更新,便于项目参与人员第一时间做出相应的工作变更,节约了人力、时间和材料,充分发挥模块化建筑的工程优势。

附图说明

[0023] 图1为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统流程示意图;

[0024] 图2为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统中数字化建模核心参数及流程示意图;

[0025] 图3为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统中所建立模块化钢框架建筑结构数字模型;

[0026] 图4为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统所述的模块化钢框架建筑结构中不同的钢结构类型;

[0027] 图5为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统中数字化建模钢框架结构型号参数赋值流程示意图;

[0028] 图6为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统中梁、横向节点结构的自动优化设计流程示意图;

[0029] 图7为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统中柱、竖向节点结构的自动优化设计流程示意图;

[0030] 图8为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建

筑结构自动优化设计系统中初始结构型号参数(a)和最优设计结构型号参数(b)示意图;

[0031] 图9为图6中柱、竖向节点结构的自动化优化设计流程提供的各钢结构型号的竖向承载效率计算结果;

[0032] 图10为本发明实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统在建筑信息模型(BIM)中生成的最优结构设计可视化模型。

具体实施方式

[0033] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合说明书附图和实施例对本发明的具体实施方法做详细的说明,显然所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0034] 参照图1,为实施例提供的一种基于建筑信息模型(BIM)平台的模块化钢框架建筑结构自动优化设计系统流程示意图。其中,实施例中所述的模块化钢框架建筑采用角点支撑钢结构设计。

[0035] 具体的,所述流程示意图包括以下四个步骤:(1)数字化建模:根据模块化钢框架建筑结构尺寸信息建立建筑结构数字模型并赋予数字模型结构类型及初始结构型号;(2)结构受力分析:将建筑结构数字模型数据传输至计算软件进行建筑结构受力分析;(3)结构自动优化设计:依据建筑结构受力分析结果、钢结构设计规范及钢结构数据库对模块化钢框架建筑结构进行自动优化设计,并依据自动优化设计结果更新数字模型;(4)可视化建模:将优化的模块化钢框架建筑设计信息反馈至建筑信息模型平台并生成相应的可视化模型。

[0036] 其中,步骤(1)中所述的数字化建模在Dynamo软件中进行,模型的建立以直角坐标系为基准,在该步骤中一个以点、线、面为基本要素的三维数字模型首先被建立起来,该三维数字模型的建立基于实施例中建筑结构的尺寸信息。

[0037] 进一步的,图2为所述三维数字模型建立的核心参数及流程示意图。

[0038] 具体的,所述模块化钢框架建筑结构尺寸信息包括单元模块的长、宽、高,建筑场地尺寸,建筑的楼层数,模块之间在各个方向上的间隔距离。

[0039] 进一步的,所述的设计参数信息根据上一步的尺寸信息来计算确定。

[0040] 其中,首先确定建筑的第一层沿水平方向X轴和Y轴的单元模块数量 N_x 和 N_y , N_x 和 N_y 满足如下关系:

[0041] $N_x \times \text{单元模块宽度} + (N_x - 1) \times \text{单元模块间沿X轴方向间距} = \text{建筑场地宽度}$

[0042] $N_y \times \text{单元模块长度} + (N_y - 1) \times \text{单元模块间沿Y轴方向间距} = \text{建筑场地长度}$

[0043] 进一步的,沿X轴正方向绘制 N_x 个点作为第一排单元模块的中心点,点之间的距离为单元模块的宽度加上单元模块间沿X轴方向间距,将上述中心点沿Y轴正方向以每隔单元模块的长度加上单元模块间沿Y轴方向间距为距离复制 $N_y - 1$ 次,围绕上述绘制的所有中心点根据单元模块的长、宽各绘制一个矩形边框作为建筑第一层的底面。

[0044] 进一步的,上述绘制的所有底面矩形边框沿Z轴正方向以单元模块的高为距离复制一次作为建筑第一层的顶面。一般模块化建筑的尺寸都是标准化的,所以各楼层的标高是一致的,当然对于标高不同的楼层在数字化建模过程中也是可以设置的,在本实施例中

为了方便使用的是各楼层标高一致这一工程情况。本发明的对象是模块化钢框架结构,只要是该类型的建筑结构都适用于本发明。

[0045] 进一步的,建筑的楼层数为 N_z ,将上述建筑第一层的底面和顶面所包含的所有矩形边框沿Z轴正方向以每隔单元模块的高度加上单元模块间沿Z轴方向间距为距离复制 N_z-1 次,分别作为建筑上层各楼层的底面和顶面。

[0046] 进一步的,将上述绘制所有矩形边框根据几何元素分别拆解为四个角点和四条边线,其中四条边线作为梁结构。

[0047] 进一步的,连接各楼层单元模块底面和顶面对应的角点,所构成的竖线作为柱结构。

[0048] 进一步的,连接各个单元模块之间的节点结构分为竖向节点、X轴水平节点和Y轴水平节点,其中竖向节点通过连接上方楼层底面与下方楼层顶面对应的角点形成,X轴水平节点通过连接同一楼层X轴方向上不同单元模块间对应的角点形成,Y轴水平节点通过连接同一楼层Y轴方向上不同单元模块间对应的角点形成。

[0049] 进一步的,图3为完成上述步骤所建立的模块化钢框架建筑结构三维数字模型。

[0050] 进一步的,图4为所述实施例中建筑不同的结构类型,包括:X轴方向顶板梁,X轴方向楼板梁,Y轴方向顶板梁,Y轴方向楼板梁,柱,横向节点(X轴水平节点和Y轴水平节点),竖向节点。

[0051] 进一步的,参照图5,为上述建筑结构三维数字模型中的几何元素赋予对应的结构类型及初始结构型号,该过程通过Dynamo软件提供的结构类型选取和赋值功能节点实现,在Dynamo软件中为结构选中类型,然后为不同结构类型赋值型号参数,最后在Dynamo软件中生成具有结构型号参数的数字模型。本实施例中钢结构型号参数采用的是澳大利亚OneSteel 300PLUS钢结构数据库,即本实施例中澳大利亚OneSteel 300PLUS钢结构数据库为当地钢结构数据库。

[0052] 进一步的,图1所述流程示意图步骤(2)中的结构受力分析在Robot StructureAnalysis(RSA)软件中进行,上述在Dynamo软件中建立的建筑结构三维数字模型数据通过Dynamo软件的二次开发插件传输至RSA软件中。

[0053] 进一步的,该实施例中施工现场的地基为刚性,因此所述建筑第一层的柱结构设定为刚体约束,对应的钢结构约束条件为钢结构顶端约束条件。

[0054] 进一步的,所述结构受力分析中的荷载定义为ULS荷载模式,具体的,动荷载和静荷载通过一定比例系数结合在一起,具体计算公式如下:

[0055] $1.2G+1.5Q$,其中G是包含结构自重的静荷载,Q是动荷载。

[0056] 进一步的,通过所述结构受力分析可以得到梁结构和横向节点上的最大弯矩,以及柱结构和竖向节点上的最大轴向压应力,这些计算结果(梁结构和横向节点上的最大弯矩,以及柱结构和竖向节点上的最大轴向压应力)根据对应的结构类型(结构类型指是梁结构、横向节点、柱结构、竖向节点)保存为Excel格式。

[0057] 进一步的,图1所述流程示意图步骤(3)中的结构自动优化设计对象为梁结构和柱结构,其中,横向节点的优化设计与梁结构一致,竖向节点的优化设计与柱结构一致。

[0058] 进一步的,参考图6,为所述实施例中梁结构自动优化设计流程示意图:

[0059] 具体的,首先导入上述结构受力分析保存的最大弯矩结果文件、OneSteel

300PLUS钢结构数据库和结构受力分析结果对应的钢结构顶端约束条件,设定梁结构初始结构型号为当前最优设计。

[0060] 接着从OneSteel 300PLUS钢结构数据库中随机选择一个钢结构型号并读取其对应的性能参数(M_2, M_3, M_4, M_o) (M 字母是一个钢结构的固有参数,在本实施例中采用的是澳大利亚钢结构设计规范,所以确定是这几个参数参与下面的计算,如果是其他国家的规范和数据库,计算对应的性能参数和计算公式也会相应的改变),然后根据钢结构顶端约束条件和澳大利亚钢结构设计规范AS4100确定计算常数 k_t, k_r, k_l 。

[0061] 进一步的,计算所选取钢结构型号的受力系数: $\alpha_m = \frac{1.7 \times M}{\sqrt{M_2^2 + M_3^2 + M_4^2}}$,如果 $\alpha_m > 2.5$,则

$\alpha_m = 2.5$,其中 M 为结构受力分析给出的弯矩承载要求。

[0062] 进一步的,计算所选取钢结构型号的抗弯强度: $M_s = f_y \times z_{ex}$,其中, f_y 是所选取钢结构型号的屈服强度, z_{ex} 是所选取钢结构型号的横截面积。

[0063] 进一步的,计算折减系数: $\alpha_s = 0.6 \times \left(\sqrt{\left(\frac{M_s}{M_o} \right)^2 + 3} - \frac{M_s}{M_o} \right)$ 。

[0064] 进一步的,分别计算 $\phi_{M_s} = \pi \times M_s$ 和 $\phi_{M_b} = \pi \times \alpha_m \times \alpha_s \times M_s$,其中 ϕ_{M_b} 为所选取钢结构型号的最终有效抗弯强度,显然 $\phi_{M_b} < \phi_{M_s}$, ϕ_{M_s} 是钢结构的扩展抗弯强度,是用来计算 ϕ_{M_b} 的过渡参数。

[0065] 进一步的,对比所选取钢结构型号的 ϕ_{M_b} 与当前最优设计的 ϕ_{M_b} ,如果所选取钢结构型号的 ϕ_{M_b} 大于等于弯矩承载要求(即最大弯矩结果文件中所记载的最大弯矩) M 同时小于等于当前最优设计的 ϕ_{M_b} ,则将当前最优设计更新为所选取的钢结构型号,否则当前最优设计不变。

[0066] 此时所选取钢结构型号的承载效率为 M / ϕ_{M_b} ,最终有效抗弯强度 ϕ_{M_b} 与承载效率呈反比关系。

[0067] 图6中,梁结构、横向节点的自动优化设计的循环程序过程是:开始时导入上述结构受力分析保存的最大弯矩结果文件、OneSteel 300PLUS钢结构数据库和结构受力分析结果对应的钢结构顶端约束条件,默认初始结构型号为当前最优结构,从OneSteel 300PLUS钢结构数据库中随机选择一个钢结构型号并读取其对应的性能参数,判断OneSteel 300PLUS钢结构数据库中的结构是否都被选择过,如果是则程序结束,否则根据钢结构顶端约束条件和澳大利亚钢结构设计规范AS4100计算常数参数 $k_t, k_r, k_l, \alpha_m, \alpha_s, M_s$,进一步的计算钢结构的扩展抗弯强度 ϕ_{M_s} 和最终有效抗弯强度 ϕ_{M_b} ,判断所选钢结构型号的 ϕ_{M_b} 是否大于等于弯矩承载要求 M 且小于等于当前最优结构的 ϕ_{M_b} ,如果满足则将所选钢结构型号设置为当前最优结构,否则当前最优结构不进行更新,然后继续返回从OneSteel 300PLUS钢结构数据库中随机选择一个钢结构型号并读取其对应的性能参数。

[0068] 进一步的,执行上述梁结构自动优化设计流程示意图中的循环,直到该循环遍历完OneSteel 300PLUS钢结构数据库中的所有钢结构型号,循环结束时的当前最优设计即为

自动优化设计流程输出的梁、横向节点结构最优设计。

[0069] 进一步的,参考图7,为所述实施例中柱结构自动优化设计流程示意图:

[0070] 具体的,首先导入上述结构受力分析保存的最大轴向压应力结果文件、OneSteel 300PLUS钢结构数据库和结构受力分析结果对应的钢结构顶端约束条件,设定柱结构初始结构型号为当前最优设计。接着从OneSteel 300PLUS钢结构数据库中随机选择一个钢结构型号并读取其对应的性能参数,包括形状系数(k_f),横截面积(A_n)和屈服强度(f_y)。并判断钢结构数据库中是否所有结构型号均被选择过,若是,则输出最优柱、竖向节点结构型号,程序结束;

[0071] 若不是,则计算所选取钢结构型号的竖向承载力 N_s : $N_s = k_f A_n f_y$,再判断所选取钢结构型号的竖向承载力 N_s 是否满足(大于等于)结构受力分析计算结果保存的最大轴向压应力 N ,若不满足,则返回重新从OneSteel 300PLUS钢结构数据库中随机选择一个钢结构型号并读取其对应的性能参数;若满足则根据澳大利亚钢结构设计规范AS4100可以确定所选取钢结构型号的结构类型常数 α_b ,对应的折减系数 α_c ,二者可通过以下公式计算获得:

$$[0072] \quad \lambda_n = \left(\frac{l_e}{r}\right) \sqrt{k_f} \sqrt{\frac{f_y}{250}}$$

$$[0073] \quad \alpha_a = \frac{2100(\lambda_n - 13.5)}{\lambda_n^2 - 15.3\lambda_n + 2050}$$

$$[0074] \quad \lambda = \lambda_n + \alpha_a \alpha_b$$

$$[0075] \quad \eta = 0.00326(\lambda - 13.5) \geq 0$$

$$[0076] \quad \xi = \frac{\left(\frac{\lambda}{90}\right)^2 + 1 + \eta}{2\left(\frac{\lambda}{90}\right)^2}$$

$$[0077] \quad \alpha_c = \xi \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{90}{\xi \lambda}\right)^2} \right]$$

[0078] 其中, $l_e = k_e l$, l_e 是柱结构有效计算长度, k_e 等于0.85, l 是柱结构原始长度, λ_n 和 α_a 是钢结构细度参数, λ 、 η 、 ξ 是计算过渡参数。

[0079] 根据获得的钢结构型号的竖向承载力 N_s 和对应的折减系数 α_c 计算所选取钢结构型号的实际竖向承载力 N_c : $N_c = \alpha_c N_s$ 。若实际竖向承载力 N_c 小于轴向应力承载要求(即最大轴向压应力结果文件中所记录的最大轴向压应力) N ,则返回重新从OneSteel 300PLUS钢结构数据库中随机选择一个钢结构型号并读取其对应的性能参数;

[0080] 若实际竖向承载力 N_c 大于等于轴向应力承载要求 N ,则对比所选取钢结构型号的 N_c 与当前最优设计的 N_c ,如果所选取钢结构型号的 N_c 小于等于当前最优设计的 N_c ,则将当前最优设计更新为所选取钢结构型号,否则当前最优设计不变。

[0081] 执行上述柱结构自动优化设计流程示意图中的循环,直到该循环遍历完OneSteel300PLUS钢结构数据库中的所有钢结构型号,循环结束时的当前最优设计即为自动优化设计流程输出的柱结构最优设计。

[0082] 最后根据实际竖向承载力 N_c 计算所选取钢结构型号的承载效率: N/N_c ,承载效率与实际竖向承载力 N_c 呈反比关系。

[0083] 进一步的,上述梁结构自动优化设计流程和柱结构自动优化设计流程用Python编程语言编写在一个程序中,程序的开发环境为Dynamo软件的二次开发环境Python script,因此该结构自动优化设计程序被集成在图1所述流程示意图步骤(1)中的数字化建模流程中。

[0084] 图8为本实施例中提供的初始结构型号(左)和自动优化设计结果(右),其中,根据自动优化设计结果显示,(SHS,RHS代表不同钢结构类型的缩写,比如SHS代表方形中空截面钢)长梁在支撑荷载过程中扮演更重要的角色因此最优结构具有更大的尺寸,而短梁的最优结构尺寸在满足承载要求的同时比初始结构小,设计更加经济。

[0085] 进一步的,图9根据柱结构自动优化设计的计算过程,统计了OneSteel 300PLUS钢结构数据库中所有有效钢结构型号的承载效率,结果显示钢结构型号为200x100x4 RHS的承载效率最大,达到了92%,因此将其选定为最优柱结构型号,最直观的用处是节省材料,确保选择的钢结构既满足承载要求,承载效率又最高。

[0086] 进一步的,图1所述流程示意图步骤(4)中的可视化建模包括两个步骤:(1)将上述自动优化设计结果赋值给图1所述流程示意图步骤(1)中建立的三维数字模型对应的几何元素,(2)将该包含最优结构信息的三维数字模型从Dynamo软件传输至Revit平台中,生成如图10所示的最优结构设计可视化模型。

[0087] 以上是本发明的实施例之一,凡依本发明技术方案所作的改变,所产生的功能作用未超出本发明技术方案的范围时,均属于本发明的保护范围。

[0088] 本发明未述及之处适用于现有技术。

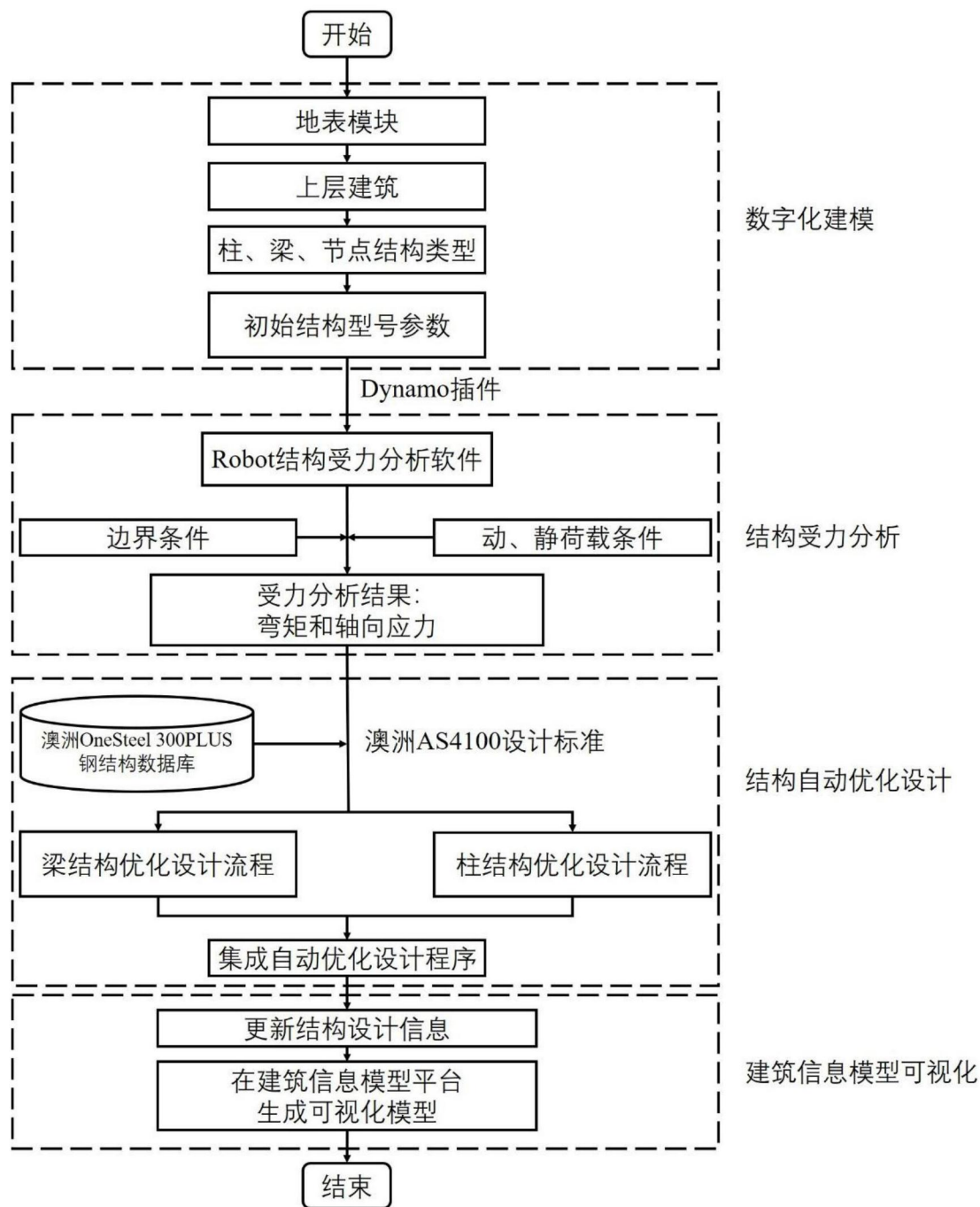


图1

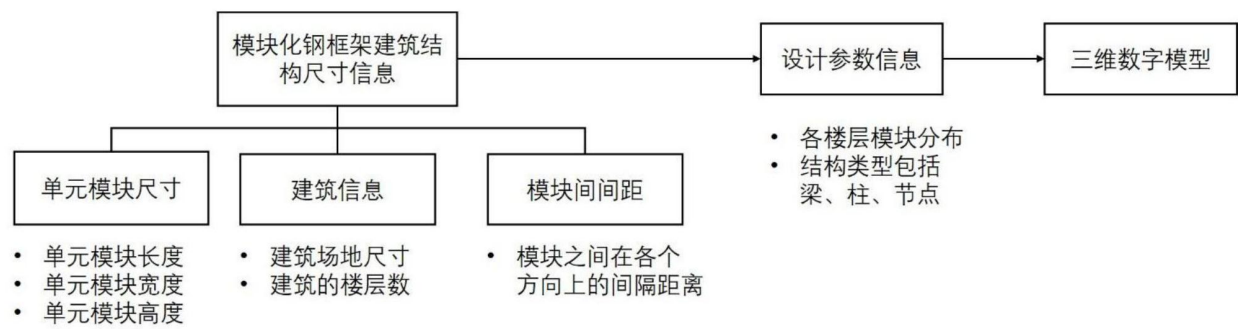


图2

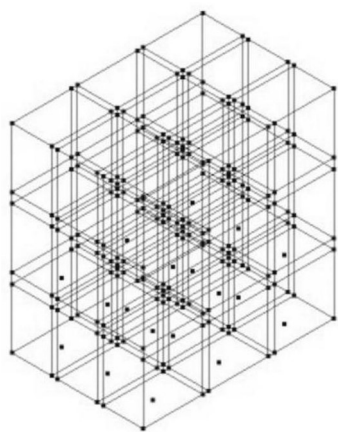


图3

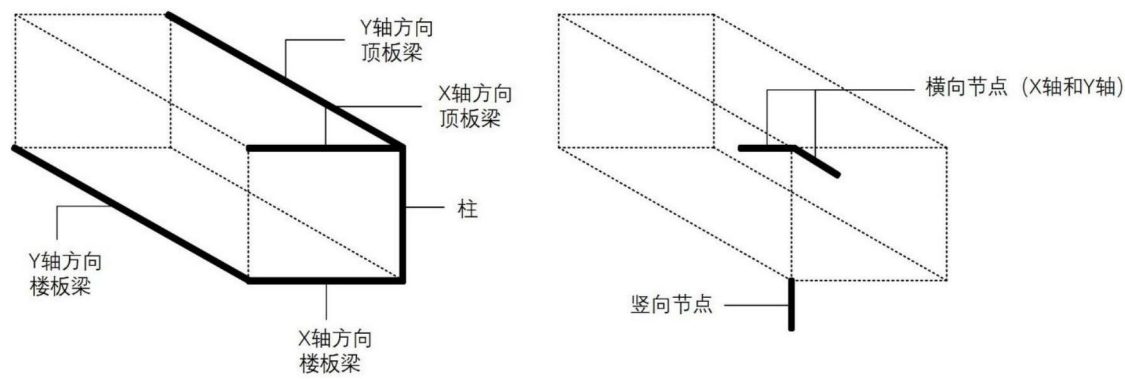


图4

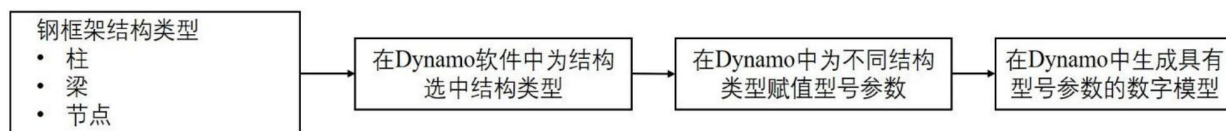


图5

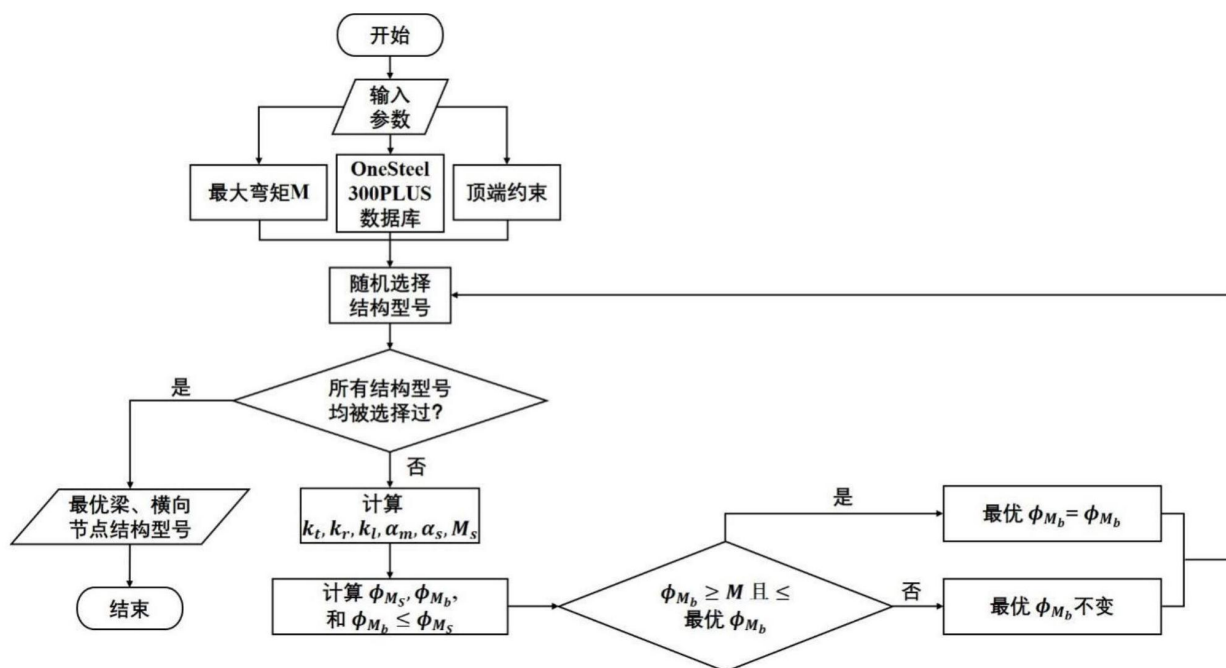


图6

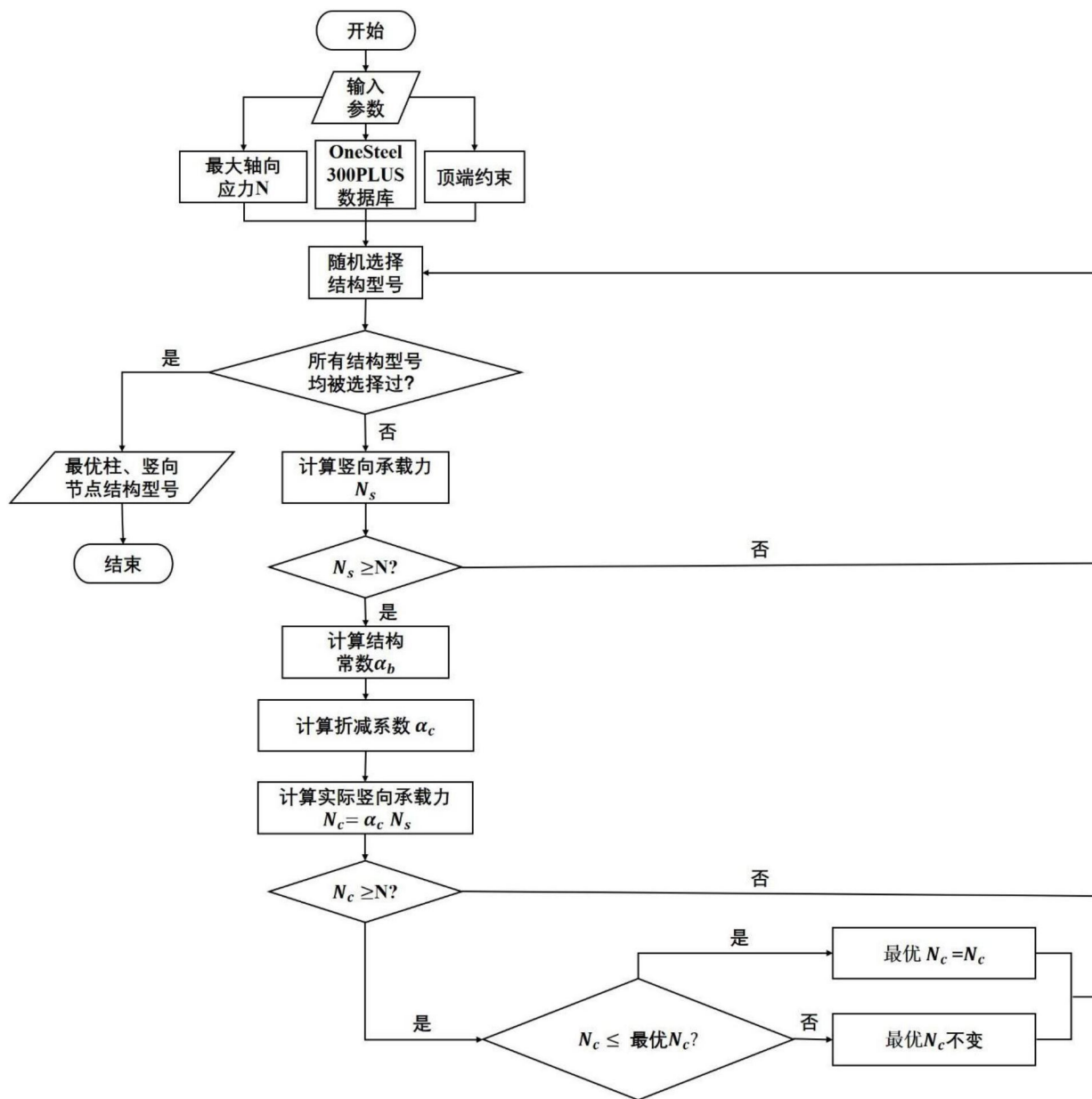


图7

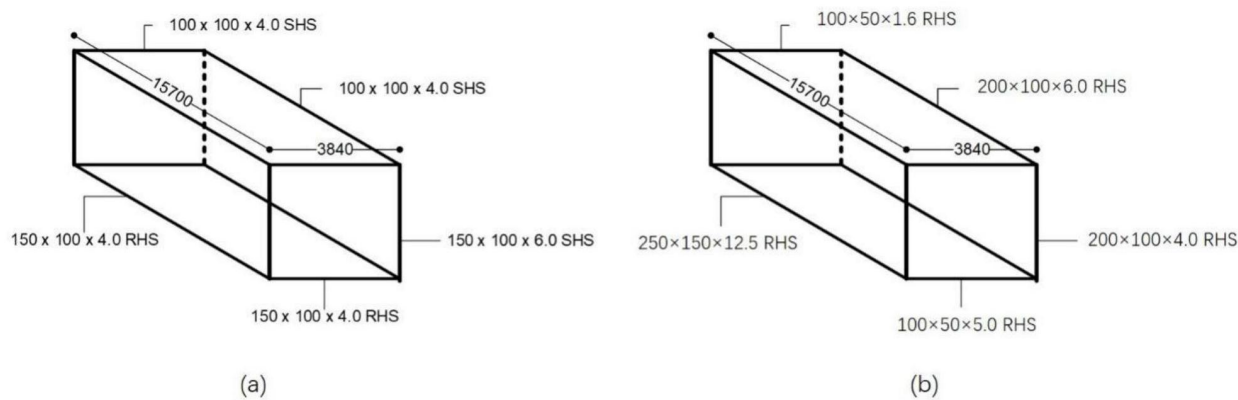


图8

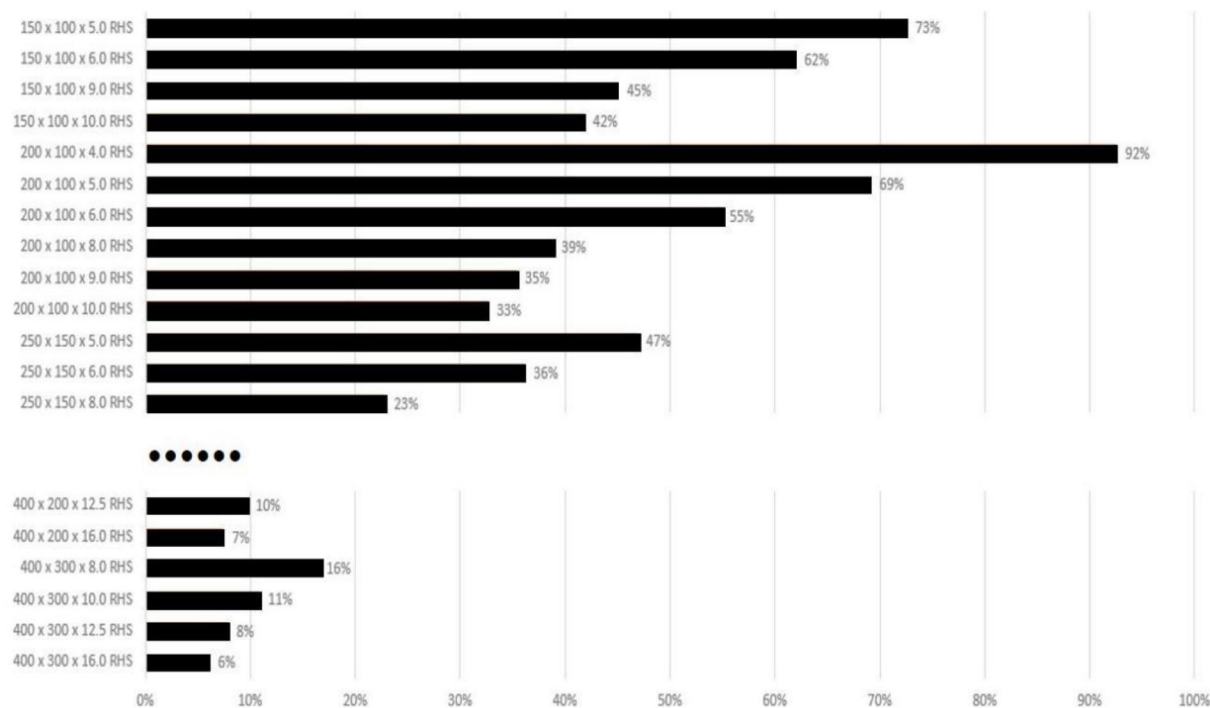


图9

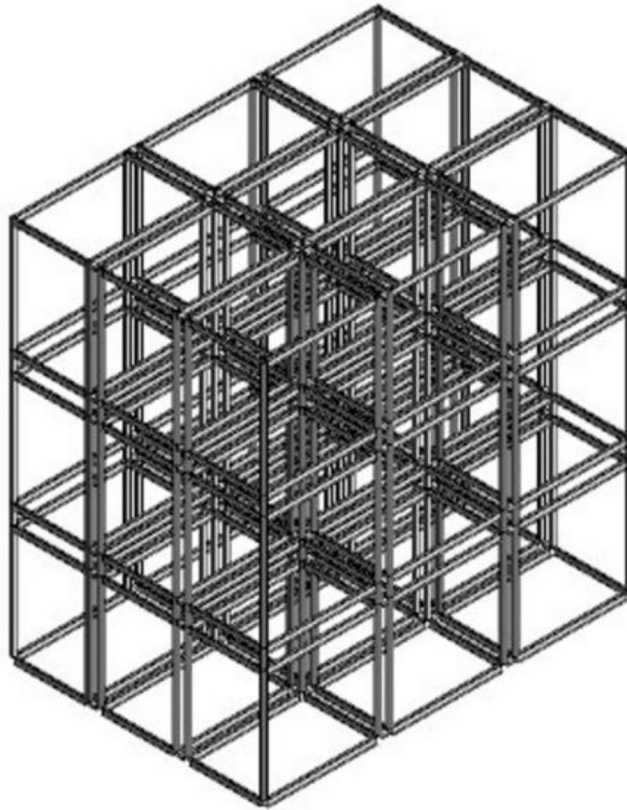


图10