

基于 Revit 的管道碳排放自动计算系统研究

毕天平 潘星任

(沈阳建筑大学 管理学院, 沈阳 110623)

【摘要】管道碳排放自动计算系统对于管道设计阶段的碳排放预测和碳排放减少路径的研究具有重要意义。本文基于碳中和目标的背景,以《建筑碳排放计算标准》为计算依据,首先总结归纳出主要涉及的管道材料及其碳排放因子,根据 BIM 建模规范,指定相应的计算标准;其次基于 Revit 模型中管道的计算量、规格、材质等数据,采用碳排放因子方法,并使用 C#+RevitApi 对 Revit 进行二次开发实现了自动计算管道碳排放量的功能,该系统能够帮助设计师快速获取较为准确的管道碳排放量,在设计过程中优化了碳排放,证明了该系统具有广泛的应用前景和市场价值。

【关键词】碳排放计算; Revit 二次开发; 管道; BIM

【中图分类号】 TU17

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-7461 (2024) 03-0008-05

【DOI】 10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2024.03.02

引言

建筑业是全球能源消耗的三大部门之一,也是温室气体排放的重要来源^[1]。根据《中国建筑能耗与碳排放研究报告(2022年)》,2020年全国建筑的全过程碳排放总量为50.8亿t二氧化碳(tCO₂),其中建材生产阶段的能耗高达28.2亿t二氧化碳(tCO₂),约占全国碳排放总量的28.2%^[2]。建筑行业全过程的碳排放总量超过了全国碳排放总量的一半。外国学者 Robert H.Crawford 对全球各地建筑业碳排放量进行统计和研究,在44个研究国家中,中国的建筑业碳排放强度排名第一^[3]。管道作为建筑系统不可或缺的组成部分,其碳排放量是不能忽视的。与建筑碳排放相关的决策80%发生在建筑设计阶段^[4],在设计阶段准确计算和控制管道的碳排放量对于实现碳中和目标至关重要。

国内外学者已经在碳排放计算方法方面开展了大量研究。例如,刘建文等^[5]从工程项目全生命周期的角度出发,利用 Revit 模型来量化建筑对环境的影响。金海等^[6]运用 BIM 技术,从建筑全生命周期的角度研究统计建筑物中的 CO₂ 排放量,并验证了 Revit 在建筑材料碳排放计算方面的可行性。仓玉洁等^[7]分别使用基于 Revit 的建筑物碳排放计算方法和工程量清单计

算法,按照工程设计阶段进行了研究。Lee 等^[8]提出了一种基于 Revit 的碳排放估算系统,通过计算占比90%的材料来估算整个建筑的碳排放。Jun 等^[9]提出了一种基于 Revit 族库的碳排放计算方式,在施工设计阶段可以根据用户的编辑操作来更改碳排放量。S.Eleftheriadis 等^[10]基于 BIM 技术,提出了一种以建筑结构为基础的碳排放测算模型。由此可见,在建筑设计阶段准确预测建材生产的能耗对于实现“双碳”目标至关重要。

从国内研究现状的分析可以得知,建筑碳排放控制是实现建筑业减碳目标的重要途径。国外已经进行了一定程度的基于 BIM 的碳排放计算相关研究,但由于工程量计量等方面存在一定差异,这些方法不能直接应用于国内工程项目^[11]。利用 BIM 技术与建筑碳排放相结合的研究数量较少且不够全面,未能实现基于 BIM 技术的建筑碳减排。当前研究还存在以下局限性:

- (1) 碳排放计算涉及范围广且种类繁多,但大多数研究仅提供总体解决思路,并未专注于特定问题的研究;
- (2) 一些计算系统由于硬编码的限制,功能上存在一定的局限性,缺乏对用户自定义计算的支持;
- (3) 由于计算往往采用估算方式,不同构件的计

【基金项目】国家自然科学基金项目(编号:42201293);2024年辽宁省经济社会发展课题(编号:2024lsjdybkt-008)

【第一作者】毕天平(1979-),男,博士,教授,主要研究方向:工程信息化。

【通信作者】潘星任(1999-),男,在读硕士研究生,主要研究方向:工程信息化。

算方法可能导致结果差异较大,对细节处理不够精细,进而导致计算结果存在偏差。

综上所述,本研究的目标是实现管道碳排放的精确化自动计算,整理和换算管道主要材质的碳排放因子,为管道生产阶段的碳排放计算提供一种新的方法。软件本身所携带的参数、默认的工程量计算规则都无法直接对碳排放进行核算^[12],基于目前研究的局限性,结合碳排放因子法,使用 C# 计算机语言实现了对管道系统的碳排放计算的自动化。在计算过程中对管件进行了特殊化处理,以更加准确地计算管道生产阶段的碳排放量。

本研究基于 Revit 平台,结合碳排放量计算模型,对 Revit 管道模型的自动计算方法进行了研究,通过 Revit 的二次开发实现了对大量管道模型的碳排放自动计算,并将其与项目的设计阶段相结合,实现了管道设计和碳排放计算的一体化。

1 管道碳排放计算方法

借助 BIM、数据库等新一代信息技术,采用“信息技术+碳排放核算”方法,在建筑业减少碳排放方向提出了全新思路。通过对建筑管道系统的快速分类,自动计算管道在生产阶段释放的碳排放量,可以为实现可视化、一体化、参数化的低碳建筑智能建造目标提供科学依据和便捷手段。

为实现通过 Revit 对管道碳排放量进行计算和预测。本研究开发了一套基于碳排放因子法的管道碳排放自动计算系统。系统的工作流程如图 1 所示。

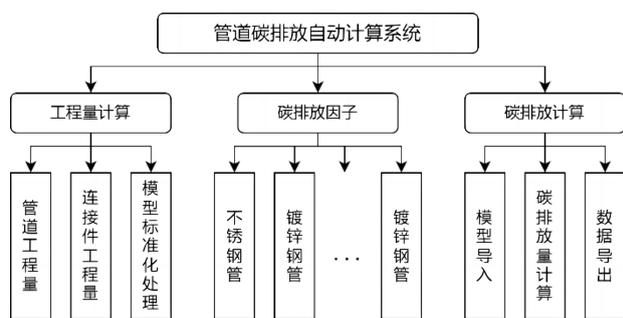


图 1 系统工作流程图

1.1 管道工程量计算

根据《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366-2019,对建筑碳排放分为运行阶段碳排放、建造和拆除阶段碳排放和建材生产运输阶段碳排放,系统对管道碳排放的核算内容是建材生产所产生的碳排放^[12]。

管道的碳排放计算方式是根据管道的规格、材质和单位统计量,以碳排放因子法计算其碳排放量。在

管道系统中,由于管道连接件形状种类繁多,导致无法通过 Revit 准确计算出其工程量,故采取特殊的处理手段。对于管道工程量的确定,按照不同规格、材质,以“m”为计量单位,对于连接件工程量的确定,变径、过渡件取中间值,变径(过渡件)前后分别计算 1/2 折算到两端连接的管道;弯头(包括三通、四通)分别将连接的管道的轴线延长并相交于一点,将管道长度折算至交点处,如图 2 (a) ~ (b) 所示。



(a) 管道三通 (b) 折算后管道长度

图 2 连接件工程量折算

1.2 管道碳排放计算方法

研究针对建材生产阶段的碳排放,主要是指建材生产过程由于消耗能源而产生的碳排放^[13]。国内外当前碳排放计算方法众多,如碳排放因子法、生命周期法和实测法等^[13]。根据国标《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366-2019,对管道生产阶段产生的碳排放计算采用碳排放因子法,即单位建材用量×对应材质碳排放因子,如式(1)所示。

$$C_{sc} = \sum_{i=1}^n M_i F_i \quad (1)$$

式中： C_{sc} ——建材生产阶段碳排放,以 CO_2 计, $kgCO_2e$;

M_i ——第 i 种主要建材的消耗量, t;

F_i ——第 i 种主要建材的碳排放因子,以 CO_2 计, $kgCO_2e/t$ 。

由于研究使用的碳排放因子来自相关文献和标准,往往无法直接从 Revit 中提取相应计量单位的工程量,需要对碳排放因子进行转换如表 1 所示,以圆形管道为例,转换后计算公式如式(2)所示。

$$F = \pi X \rho S (D - S) / 10^6 \quad (2)$$

式中:

F ——转换后碳排放因子,以 CO_2 计, $kgCO_2e/m$;

X ——建材的碳排放因子,以 CO_2 计, $kgCO_2e/t$;

ρ ——管道密度, kg/dm^3 ;

D ——管道外径, mm;

S ——管道壁厚, mm。

系统将预计算的管道 Revit 模型进行分析处理,分

别对每一个管道的模型信息、材质信息和长度信息进行判别,并根据判别结果与碳排放因子数据库进行比对,经过一系列遍历计算得到管道模型的碳排放量,整体流程如图3所示。

表1 部分管道碳排放因子

管道材质	管道厚度	碳排放因子 (kgCO ₂ e/m)
奥式不锈钢管	DN15	2.839
	DN32	5.930
	DN50	9.335
	DN100	24.960
	DN200	66.341
W型离心铸铁	DN50	12.539
	DN100	26.217
	DN200	62.106
镀锌钢管	DN40	18.976
	DN80	41.074
	DN150	89.128
无缝钢管	DN10	3.262
	DN25	7.224
	DN80	26.412
	DN200	99.280
	DN500	403.956

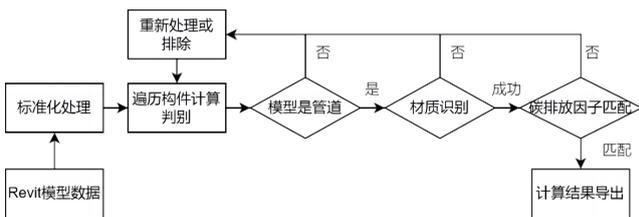


图3 计算流程图

2 基于 Revit 的管道碳排放计算系统开发

基于上述提出的管道碳排放计算方法,设计并开发了以一个基于 Revit 的管道碳排放自动计算系统,本节重点讨论系统结构和功能模块设计思路。

2.1 管道碳排放计算方法框架

根据碳排放因子法和 Revit 二次开发的可行性,提出了基于 Revit 的管道碳排放自动计算方法框架如图4所示,由数据输入、数据处理、碳排放计算、结果展示四个方法模块构成。该方法基于 Revit 平台实现,利用管道模型提供的属性、材质及建模数据等相应信息,匹配相应的碳排放因子并进行自动计算,输出碳排放计算结果,以此来辅助建筑设计阶段对碳排放量的预测和管控。

数据输入模块实现了对管道长度、直径及壁厚等信息的自动提取,系统能够自动识别管道信息中的单位,根据用户选择的计量单位对其进行统一转换。

数据处理模块对管道参数进行处理,根据参数匹配对应的碳排放因子。

碳排放计算模块结合前面两个模块提供的数据和计算机制,在计算过程中遍历管道系统的每个构件并根据提取到的构件基本信息进行匹配,实现了对建筑管道碳排放量的精确计算。

结果展示模块将计算结果进行可视化展示,并且支持数据的导入和导出功能,便于用户理解和分析。

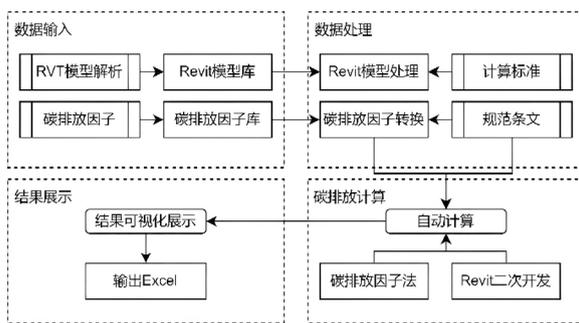


图4 管道碳排放自动计算方法框架

2.2 系统功能模块设计

系统采用了 Revit2018 作为基础建模软件,根据 Revit API 提供的接口及 Visual Studio2022 作为开发工具,根据 Revit2018 的适配度,选择采用 Winform 窗体的形式作为二次开发的界面,Revit API 的接口为开发者提供了包括 Button、Panel、Tab 等在内的选项卡按钮,将建材碳排放计算系统分为碳排放计算、模型信息管理、数据库信息管理和文档管理四个功能模块如图5所示。

2.2.1 管道碳排放计算模块

本模块提供项目需求的多种计算方式,用户可以根据计算需求采用不同的计算方式,计算后的结果可以统一存储并按照管道类别、管道材质进行分组分类,方便用户在项目设计阶段快速进行碳排放计算。模块实现的开发步骤如下:

- (1) 对用户选中范围内的管道进行遍历并存入内存;
- (2) 实例化这些元素,获取并判断管道的种类和材质;
- (3) 根据判别结果与碳排放因子数据库中的数据进行匹配并计算。



图5 构件碳排放计算系统面板

2.2.2 管道模型信息管理模块

本模块提供项目管道信息管理功能，为用户提供当前项目管道的基本信息管理和模型检验功能。信息管理功能将会储存项目管道信息，包括管道类别、数量、规格和其他相关信息。模型检验功能通过对模型三维信息和材质信息的提取，判断是否符合计算的合规性。模块功能的实现步骤是：首先，在加载模型完毕后，遍历所需要计算的管道获取其三维信息和材质信息；其次，将数据录入数据库中，在信息查询的加载界面中，通过 ListView 调取数据库数据并输出。

2.2.3 数据库信息管理模块

本模块是为用户提供数据库服务功能，包括碳排放因子数据库、碳排放计算结果数据库和管道信息数据库的管理，系统采用 Access 作为存储数据库，对小体量数据存储具有速度快、管理方便等优势。数据库管理功能为用户提供了各类数据的实时查询以及对碳排放因子的变动同步。方便用户根据不同的计算条件更改碳排放因子数据。

2.2.4 文档管理模块

本模块是为用户对项目设计和碳排放计算全流程的数据内容集中进行数字化管理，方便用户查看历史碳排放数据信息、当前项目碳排放数据和模型文件上传管理，并且提供以项目、构件、材质和时间等分类管理功能，提高项目设计的效率，方便数据整合。

3 工程案例

基于以上原则和方法，研究中以某 65 层商业建筑为例，选择其地下某层的管道系统，对其设计阶段进行了碳排放计算，选取楼层的管道系统 Revit 模型如图 6 所示，合计管道数量 6 854 根。以每个单独构件为计算单元，根据其尺寸、规格和材质与碳排放因子库进行匹配，在系统中基于明细表遍历每个单位获取其材质和工程量，计算并整合碳排放计算结果。计算结果明细表可见总实际计算管道 6 854 根，全部成功计算，所得结果如表 2 和图 7 所示。

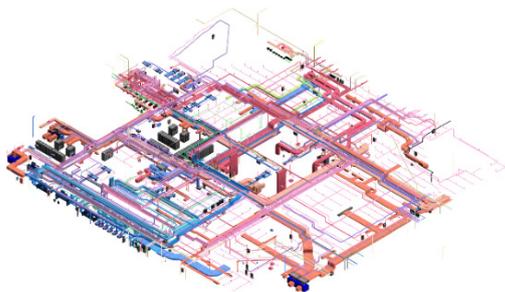


图 6 管道系统模型

表 2 碳排放计算结果

数量	材质	碳排放量 (kgCO ₂ e)
261	涂塑无缝钢管	2 459.48
376	奥氏不锈钢管	6 878.84
3 785	镀锌钢管	98 426.37
397	铸铁	10 752.53
2 035	无缝钢管	38 812.86
合计: 6 854		157 330.08

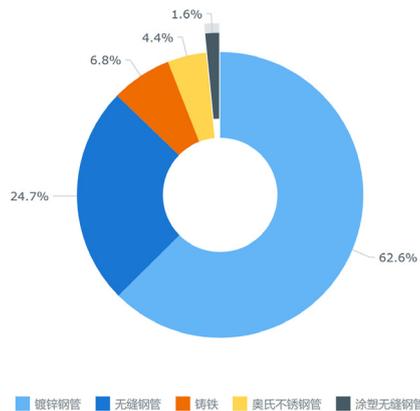


图 7 管道系统生产阶段碳排放量计算结果

完成上述计算后，用户可以通过系统提供的查询功能实时查看同步到数据库的计算记录，以便随时了解设计情况并及时调整设计方案。根据碳排放计算结果显示，该建筑设计阶段镀锌钢管的使用量占比高达 62%。因此，提出以下减排策略：

(1) 材料替换。对于部分可替代的管道，选择低碳排放的材料，如可再生材料、回收材料或经过低碳生产过程的材料；

(2) 设计优化。优化管道的设计和布局，合理减少管道长度和尺寸，并优化连接方式以避免过多的弯头。

总体而言，选择低碳排放的管道材质是减少碳排放的重要措施。在管道系统的设计和施工中需要合理规划，采取节能减排的措施，如优化管道布局、改善绝热性能等，从而进一步降低碳排放。

4 结论

本文基于碳排放因子法，利用 Revit 的二次开发技术，以工程设计为导线，研究了管道生产阶段所产生的碳排放，量化计算了管道生产碳排放量，并开发了一款管道碳排放计算系统。通过该系统，用户可以快速、准确地计算管道系统的碳排放量，为“双碳”政策实施提供了重要的技术支持，为政府实施建筑低碳化路径提供保障和手段，也为开发商、供应商各方实现低碳建筑和建材选择提供科学依据，促进低碳化建材发展，实现了建筑设计与碳排放计算的一体化。

未来,课题组将继续改进完善,对管道所涉及的碳排放源进行分析,通过搜索、查阅相关文献、标准及资料,筛选、整理出更为完善的碳排放因子库,在完善的碳排放因子库的基础上实现更有广度、深度的碳排放计算,增强系统可扩展性和可定制性,以满足不同用户的需求。同时,也将继续研究碳排放因子的计算方法,以提高计算结果的准确性和可靠性。

参考文献

- [1] Peng Cheng, Jiang Yi, Qin Youguo. Low carbon buildings and low carbon cities[M]. Beijing: China Environment Publishing Group, 2018.
- [2] 中国建筑能耗与碳排放研究报告(2022年)[J]. 建筑, 2023(02):57-69.
- [3] Crawford R H. Greenhouse Gas Emissions of Global Construction Industries[J]. 2022.
- [4] 罗智星, 仓玉洁, 杨柳, 等. 面向设计全过程的建筑物碳排放计算方法研究[J]. 建筑科学, 2021, 37(12):1-7+43.
- [5] 刘建文, 王金裕, 赵先超. 基于BIM的绿色建筑全生命周期环境影响评价与标杆树立研究[J]. 湖南工业大学学报(社会科学版), 2019, 24(01):71-77.
- [6] 金海, 杨静, 李晓辉, 等. 基于BIM的建筑材料碳排放计量与实例分析[J]. 水泥技术, 2020(02):54-58.
- [7] 仓玉洁, 罗智星. 工程设计中不同阶段建筑建材物化碳排放核算方法研究[J]. 城市建筑, 2019, 16(26):33-35.
- [8] Lee Y J, Jun H J. Development of a BIM-based Carbon Dioxide Emission Estimation System[J]. Architectural Research, 2016, 18.
- [9] Jun H, Lim N, Kim M. BIM-based Carbon Dioxide Emission Quantity Assessment Method in Korea[J]. Journal of Asian Architecture & Building Engineering, 2015, 14(3):569-576.
- [10] Eleftheriadis S, Duffour P, Mumovic D. BIM-embedded life cycle carbon assessment of RC buildings using optimised structural design alternatives[J]. Energy and Buildings, 2018, 173:587-600.
- [11] 肖磊, 李智勇, 王聪, 等. 基于BIM的铁路物化阶段碳排放测算研究[J]. 建筑经济, 2022, 43(S2):295-301.
- [12] GB/T51366-2019. 建筑碳排放计算标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 2. GB/T51366-2019.
- [13] 李小冬, 朱辰. 我国建筑碳排放核算及影响因素研究综述[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(1):317-327.

Research on the Automatic Calculation System of Pipeline Carbon Emissions Based on Revit

Bi Tianping, Pan Xingren

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: The automatic calculation system for pipeline carbon emissions is of great significance for predicting carbon emissions and researching pathways to reduce carbon emissions during the pipeline design process. Aiming at carbon neutrality goals and meeting up with "Building Carbon Emission Calculation Standard," the main pipeline materials and their carbon emission factors are summarized and compiled in this paper. According to the BIM modeling specifications, corresponding calculation standards are specified. Then, based on the data of pipe quantity, specifications, materials, etc., in the Revit model, the carbon emission factor method is adopted, and the functionality of automatically calculating pipeline carbon emissions is implemented through secondary development by using C# + RevitAPI. This system can help designers quickly obtain relatively accurate estimates of pipeline carbon emissions and optimize carbon emissions during the design process. Therefore, the system has broad application prospect and market value.

Keywords: Carbon Emission Calculation; Revit Secondary Development; Pipeline; BIM