

基于 Revit 的物化阶段建筑碳排放计量软件开发与实例分析

王凯 周东明

(青岛理工大学土木工程学院, 青岛 266525)

【摘要】随着双碳计划的提出, 建筑行业作为能源消耗量与污染排放量的一大主体, 与国家发展总目标之间的矛盾不断加剧, 亟待新兴技术改革。BIM 技术所具有的信息携带量大、交互效率性高等特点可应用于解决这一问题。但以往的研究普遍过程相对繁琐, 容易丢失大量的信息, 所得结果不够精确。本文旨在使用 C# 编程语言, 通过 Revit API 接口对 Revit 软件二次开发, 研究出一款高效的物化阶段建筑碳排放计量软件。通过建立建筑材料与施工机械信息编码库, 结合已有碳排放因子数据库, 对建筑物物化阶段所产生的碳排放量展开深入分析。结果表明, 物化阶段中建材生产阶段所产生的碳排放量最高, 施工阶段几乎可以忽略不计。研发的碳排放计量软件操作简单且功能较为完善, 是对当下国家绿色发展方向的积极探索。

【关键词】Revit 二次开发; 碳排放因子; C# 编程语言; RevitAPI; 类库

【中图分类号】TU17

【文献标识码】A

【文章编号】1674-7461 (2024) 02-0034-006

【DOI】10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2024.02.06

引言

建筑行业作为我国实体经济的支柱性产业, 据统计其在 2018 年间的能源消耗量占全国能源消费总比重的 46.5%, 占总体碳排放的 51.3%。住房和城乡建设部在《“十四五”住房和城乡建设科技发展规划》中指出, 要重点落实城乡建设绿色低碳技术, 推动数字化、智能化技术发展, 加快零碳建筑与零碳社区建设。

BIM 技术由于信息携带量高、数据交互性强等特点, 与建筑碳排放计量的多方面需求相契合, 近些年受到广泛关注和研究。李兵等^[1]通过对国内外低碳建筑建设情况进行对比, 总结现有的低碳技术, 提出基于 BIM 的施工阶段动态碳排放测算模型, 并通过实例进行验证。王金裕^[2]通过建筑全生命周期评估 (LCA), 结合 BIM 模型得到各阶段能源消耗与碳排放清单, 提出将标杆管理法应用于建设项目以减少碳排放。吴东东^[3]基于 C# 编程语言对 Revit 建筑设计软件进行二次开发, 解决了 Revit 模型在导入 Ecotect 绿色建筑模拟

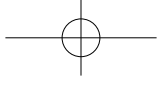
分析软件时部分信息丢失的问题, 有效提高了建筑绿色分析的效率。卢锐^[4]通过文献搜集进一步完善了建筑碳排放系数数据库, 提出利用 BIM 模型整合全生命周期成本与碳排放的框架, 结果表明该框架对平衡建筑环境与经济之间的影响有一定积极效应。S.Eleftheriadis 等^[5]通过对建筑结构与碳排放进行分析, 提出一种基于 BIM 的碳排放测算模型, 得出优化建筑结构对降低建筑碳排放量具有重大意义。Li Xiaojuan 等^[6]通过对比预制混凝土建筑与全浇建筑, 建立了预制混凝土建筑整体碳足迹的计算方法与预测模型, 证明得到碳排放与预制率之间呈反比关系。HAO J L 等^[7]通过利用 BIM 软件对预制装配式建筑与现浇建筑进行对比, 得到建筑构件预制装配化可降低约 15% 的碳排放。WANG J 等^[8]通过对某高层住宅案例研究, 得出金属废弃物中铝的回收可贡献约 45% 的碳减排, 废物现场回收的方式会极大减少碳排放量。

区别于以往大多数研究的软件涉及面广、计算方

【基金项目】临沂市重点研发计划项目“基于 BIM 技术的施工全过程管理研究”(编号: B2-2020-0019)

【第一作者】王 凯 (2000-), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向: BIM 数字化建模。

【通信作者】周东明 (1968-), 男, 副教授, BIM 中心主任, 主要研究方向: 数字化智慧建造技术等。



法五花八门、操作复杂及模型转化信息易损失等特点,本文旨在以 Revit 平台为基础,使用 C# 编程语言,设计出一款轻量化、易操作的物化阶段建筑碳排放计量软件。由于物化阶段建筑碳排放结构形式较容易分析,计算方式相对明确,故本文选择将此阶段作为碳排放计量的基本区间,结合实际工程验证,确保软件的可靠性。

1 建筑碳排放计算模型

1.1 计算原理

将建筑全生命周期分为建材生产与运输阶段、建造阶段、运营维护阶段和拆除阶段四部分,其中,建材生产与运输阶段和建造阶段统称为物化阶段。根据《建筑碳排放计算标准》(GB/T51366-2019)(下称《标准》),采用碳排放因子法计算物化阶段建筑碳排放。

1.1.1 建材生产与运输阶段

建材生产阶段的碳排放主要来自建筑原材料的开采、生产、加工,以及运输该材料的过程,应按照式(1)计算:

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

式中: C_{sc} 为建材生产阶段的碳排放, M_i 为第 i 种主要建材的消耗量, F_i 为第 i 种主要建材的碳排放因子。

建材运输阶段的碳排放主要来自于各主要建材从生产地点到施工现场的运输过程中所消耗的能源,具体应按式(2)计算:

$$C_{ys} = \sum_{i=1}^n M_i D_i T_i \quad (2)$$

式中: C_{ys} 为建材运输阶段的碳排放, M_i 为第 i 种主要建材的消耗量, D_i 为第 i 种建材平均运输距离, T_i 为第 i 种建材的运输方式下,单位重量运输距离的碳排放因子。

1.1.2 建造阶段

建造阶段的碳排放主要来自于各施工机械及工程相关办公、生活所产生的能源消耗,计算公式如式(3):

$$C_{jz} = \sum_{i=1}^n E_{jz,i} EF_i \quad (3)$$

式中: C_{jz} 为建筑建造阶段的碳排放量, $E_{jz,i}$ 为建筑建造阶段第 i 种能源总用量, EF_i 为第 i 类能源的碳排放因子。

1.2 碳排放因子数据库

碳排放因子代表单位质量能源消耗所产生的温室气体总和,以二氧化碳当量^[9]表示,是碳排放计量核算的重要参数。因此,确定各能源消耗碳排放因子、建筑材料碳排放因子尤为重要。本文采用《标准》中规定的各项建筑相关碳排放因子作为计算数据,对于《标准》中未列出的数据来源于国内外相关机构研究成果及学术论文等,如表1、表2所示。

表1 常用的能源消耗碳排放因子

能源类型	数据来源	碳排放因子
汽油	IPCC	2 988 kgco ₂ e/t
柴油	IPCC	3 327 kgco ₂ e/t
液化石油气	IPCC	2 843 kgco ₂ e/t
电力(华东)	《标准》	0.703 5 kgco ₂ e/kwh

表2 常用建筑材料碳排放因子

材料类别	数据来源	碳排放因子
水泥	《标准》	735 kgco ₂ e/t
钢筋	《标准》	2 050 kgco ₂ e/t
C30 混凝土	《标准》	295 kgco ₂ e/m ³
粉煤灰砖	《标准》	341 kgco ₂ e/tm ³
熟石灰	《标准》	747 kgco ₂ e/t

2 Revit 二次开发概述

2.1 Revit API 简介

Revit API 提供给外界的应用程序编程接口,用户可通过各种与 .NET 框架相兼容的语言实现对 Revit 的二次开发^[10]。本文采用 C# 编程语言,通过 RevitAPI.dll、RevitAPIUI.dll 等程序集实现对 Revit 的功能拓展。其中,RevitAPI.dll 主要用于开发者对 Revit 软件内部的文档、图元等数据的提取、修改等操作,RevitAPI-UI.dll 则是针对软件外部,用于提供交互性的界面应用平台以便客户使用。RevitAPI 分类如图1所示。

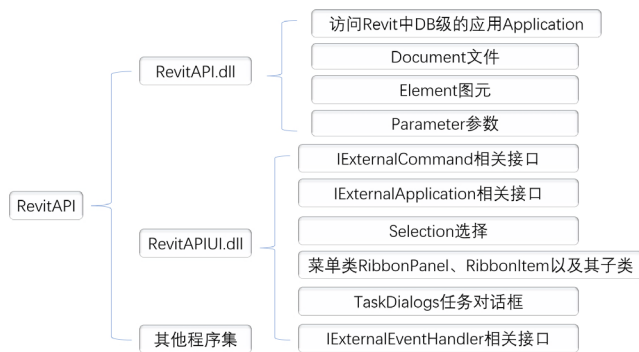


图1 RevitAPI 分类

2.2 基本开发流程

本文采用 Visual Studio2019 对 Revit2020 软件进行二次开发。在开始编写之前,首先需要根据 Revit 版本确定合适的 .NET 框架,其次需要确定正确的事务模式,一般来说,事务即对 Revit 模型的创建、删除和修改等操作,创建事务可用撤销命令来删除,当外部命令不会创建新的事务时采用 TransactionMode.ReadOnly 模式,其他情况下采用 TransactionMode.Manual 模式。

2.2.1 实现接口

需在开发环境中采用各类 API 接口以实现相应的功能。使用外部命令拓展 Revit 必须要实现 IExternal-Command 接口,通过重写其中的 Execute 方法,实现外部命令。该方法的参数说明如表 3 所示。还有一类为 IExternalApplication 接口,主要用于界面交互,实现在 Revit 启动、关闭时对所编写功能的加载及卸载等操作。

表 3 Execute 方法参数

参数名称	参数类型	参数说明
commandData	输入参数	获取所需 Revit 程序数据文档
message	输出参数	返回执行过程中的错误信息
elements	输出参数	高亮显示与错误信息相关的模型集合

2.2.2 程序框架

在使用 C# 编程语言对程序进行编写时,要确定程序的结构分层思想。本文采用 MVVM 框架^[1]设计应用程序,与其它结构框架相比其更加符合 WPF 窗体应用程序的内部编写逻辑。具体地说,该模式降低了代码之间的耦合性,使得程序易于调试和维护。该模式的具体框架组成如图 2 所示。



图 2 MVVM 框架结构

3 核心技术

3.1 建模原则

首先,创建合适的项目样板文件。在此项目样板中,所有构件的材质种类都是确定好的,新建材质种类名

称要和碳排放因子库中的材质名称一一对应,确保材质碳排放因子可查。

其次,对模型中重复的部分进行扣减。例如,由于梁和板在建模过程中是两个独立的单元,软件默认的图元信息中并未扣减两者相交部分的体积。因此,需要在建立时通过连接命令手动将两个模型构件连接,以减小碳排放测算的误差。

最后,需要特别注意的是构件的参数。通过手动添加构件的参数,设置不同参数内容,便可通过条件筛选得到想要实现的目标。此外,模型精度也要做进一步要求,本文要求模型精度在 LOD300 及以上,以确保碳排放测算的可靠性。

3.2 代码实现

3.2.1 碳排放因子类库

创建一个类库以实现对各建筑材料以及建筑机械的数据存储、提取等操作。本文采用的方法为实例化 Dictionary 类,逐个设置其中的参数。代码为 public static Dictionary<string,double> CEFactorData=new Dictionary<string,double>,其中,string 参数存储机械定额及材料、设备名称等用于索引,double 参数存储碳排放因子用于计算。

3.2.2 建筑材料用量统计

采用 ElementIntersectFilter 方法对模型进行是否重叠检查,将结果输出到 List 列表中,有则导出重叠构件的 id,返回至模型中修改。使用 Element 类下的 GetMaterialVolume 的方法,实现对建筑材料的用量统计。输出表格并对表格进行数据操作需要在开发环境中引入名称为 NPOI 的 NuGet 程序包,通过引用相应的名称空间实现对其内部的类的使用。部分代码如图 3 所示。

```
var workbook = new HSSFWorkbook();
var sheet = workbook.CreateSheet("材质信息");
var headers = new string[] { "材质名称", "材质体积" };
var row0 = sheet.CreateRow(0);
for (int i = 0; i < headers.Count(); i++)...
for (int i = 0; i < MaterialList.Count; i++)...

SaveFileDialog openFileDialog = new SaveFileDialog();
fileDialog.Filter = "(Excel文件)|*.xls";
fileDialog.FileName = "建筑材料用量统计";
bool isFileOk = false;
fileDialog.FileOk += (s, e) => { isFileOk = true; };
fileDialog.ShowDialog();
if (isFileOk)...
```

```
return Result.Succeeded;
```

图 3 建筑材料提取代码

3.2.3 计算过程

通过提取所导出的建筑材料用量.xls文件中每种建筑材料的用量与名称,利用 Switch 语句根据名称从 CEFactorData 中进行查询,得到相应材料的碳排放因子,作为计算的数据。建材运输过程中所产生的碳排放量需要用户手动输入运输机械类型,软件将自动查询出该机械的平均运输距离,用于计算。根据式(1)、式(2)便可得到建材生产与运输阶段所产生的碳排放总量。

施工设备所产生的碳排放总量需要用户根据施工方案,确定每种施工机械的总台班数,输入到相对应的文本框中。对于每种施工机械,本文采用 WPF 窗体应用程序中的 Combobox 组合框控件添加选择,并对其 IsEditable 属性进行可编辑设置以方便输入,用户既可以通过下拉选择也可以通过手动添加施工机械类型,增加软件的灵活性。根据式(3)得到施工阶段所产生的碳排放量。

在用户设置好参数后点击导入信息即可实现一键导入计算信息的功能,导入完成后点击下一步即可进入计算界面,最终将结果输出到窗口。参数设置界面如图4所示。

材料/能源碳排放因子		机械类型	机械台班能源消耗量	机械能源碳排放因子	总台班数
295	kg/m ³	履带式推土机 105KW	60.80kg	3.327	
341	kg/m ³	履带式推土机 135KW	63.00kg	3.327	
249	kg/m ³	履带式单斗液压挖掘机 0.6m ³	57.40kg	3.327	
747	kg/m ³	轮胎式装载机 1.0m ³	55.27kg	3.327	
735	kg/m ³	轮胎式装载机 1.5m ³	85.26kg	3.327	
2340	kg/m ³	电动机 250N·m	190.72kWh	0.7035	
2.18	kg/m ³	强夯机械 1200KN·m	156.42kWh	0.7035	
1130	kg/m ³	强夯机械 2000KN·m	16.20kWh	0.7035	
28500	kg/m ³	强夯机械 4000KN·m	30.21kg	2.988	
2310	kg/m ³	强夯机械 5000KN·m	31.57kg	2.988	

图4 参数设置界面

3.2.4 创建 Revit 功能按钮

在 Visual Studio 中新建一个类库项目,实现 IExternalApplication 接口,通过改写其中的 OnShutdown 和 OnStartup 方法实现 Revit 功能按钮的创建。

具体实现方法为在 OnStartup 方法中利用 CreateRibbonTab 创建碳排放计量选项卡,通过 CreateRibbonPanel 创建该选项卡的功能面板,然后通过 panel.AddItem() as PushButton 在选项卡中添加功能按钮。实例化功能代码,通过 GetType 与 Type.Assembly.Location 获取功能代码的完整路径,使用 new 操作符实例化 PushButtonData 类,将路径等信息填入该类的构造器中,最终将该类通过 panel.AddItem 绑定,实现代码与按钮的结合。

3.2.5 软件安装包制作

将写好的程序代码在 Debug 模式下编译,得到各类库项目的 .dll 文件。通过 Revit 中 Add-In-Manager 工具将 3.2.4 节中所创建类库 .dll 文件转化为 .addin 文件,使其可被 Revit 作为启动项加载。

新建一个名为 Installation 的控制台应用项目,实现启动 Revit 时程序的自动加载。具体为采用 var currentDirectory=Environment.CurrentDirectory 语句获取文件的安装路径,配合使用 DirectoryInfo 类的 GetFiles 方法得到写好的 .addin 文件,通过 StreamReader 类读取该文件的内容并通过 StreamWriter 类改写其中的路径信息为当前文件安装位置,最终通过 Path.Combine 将 .addin 文件复制到 Revit 的启动项中。部分代码如图5所示。

```
using(StreamReader streamReader=new StreamReader(files[0].FullName))
{
    string path = Path.Combine(directoryInfo0.FullName, files[0].Name);
    if (File.Exists(path)) File.Delete(path);
    using(StreamWriter streamWriter=new StreamWriter(path))
    {
        while(streamReader.Peek() != -1)
        {
            var text = streamReader.ReadLine();
            var value = string.Empty;
            if (text != null && text.Contains("(0)"))...
            else if (text != null)
            {
                value = text;
                streamWriter.WriteLine(value);
            }
        }
    }
}
```

图5 文件获取部分代码示例

采用 Advanced Installer 软件制作安装包。根据软件操作流程,对程序文件打包,将 Installation 项目编译出的 .exe 文件作为最终加载项即可。效果如图6所示。

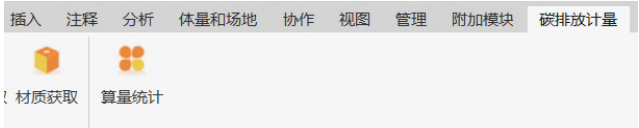


图6 安装完成效果展示

4 工程实例

4.1 工程概况

本项目位于青岛市胶州市,为某航站楼一期建设项目,总建筑面积 77 839.49m²。其中,综合楼部分地上七层,地下一层,建筑高度 30.17m,本文选取综合楼为研究对象进行分析。

4.2 碳排放量分析

根据建模原则在 Revit 中建立综合楼模型,通过材质获取功能按钮获取该工程的建筑材料用量信息统计表作为计算数据,结合实际施工方案,点击算量统计功能按钮,在弹出的参数设置对话框中设置参数,点击下一步得到总碳排放量为 641.5 万 t,得到的部分数

据如表 3、表 4 所示。

根据软件输出结果可得建筑材料生产阶段所引起的碳排放为 612.4 万 t，建筑材料运输阶段所引起的碳排放为 25.7 万 t，建筑施工阶段所引起的碳排放为 3.4 万 t，分别占比 95.46%、4.01%、0.53%。由此可以得出，建筑施工阶段所产生的碳排放占物化阶段总体碳排放的比例最小，几乎可忽略不计，建材的生产所贡献的碳排放量最多。

表 3 建材生产引起的建筑碳排放统计

序号	建材名称	消耗量	碳排放量 (t)
1	C50 混凝土	1 045 540m ³	402 532.9
2	水泥	814 862m ³	598 923.57
3	HRB400 钢筋	204 510t	419 245.5
4	熟石灰	84 159m ³	62 866.77
5	玻璃	30 680m ²	33 668.4
.....			
合计	——	——	6 123 846.98

表 4 施工机械碳排放量统计

机械名称	数量	台班能耗	台班数	碳排放量 (t)
塔吊	4	80kWh	280	537.36
履带式推土机	16	60.8kg 柴油	240	2 536.98
履带式挖掘机	6	63.0kg 柴油	480	1 698.63
自卸汽车	24	52.9kg 柴油	240	476.73
混凝土输送泵	4	243.46kWh	240	1 758.68
.....				
合计	——	——	——	33 796.47

为对比不同施工方案对建筑碳排放产生的影响，本文在 Fuzor 软件中模拟了一套更为优势的施工方案，主要在施工机械的选择及人力配备情况方面做出改动，计算结果显示施工阶段建筑碳排放为 2.7 万 t，同比下降约 20.6%，其他阶段无明显变化。

5 结语

本文采用 C# 编程语言，通过应用各类设计方法开发出了较为完善的物化阶段建筑碳排放计量软件。通过实际工程应用，得出以下结论。

(1) 在物化阶段，建筑碳排放的主要来源是建材的生产及加工，通过大力发展低碳建筑材料、提高建

材回收利用率、发展装配式建筑等方式来降低总体建筑碳排放是关键所在；

(2) 施工方案的选择也在一定程度上影响建筑碳排放。使用本文开发的软件对多种施工方案进行对比，可选择对环境友好的低碳方案。

本文所开发的物化阶段建筑碳排放计量软件是对当下绿色发展目标的积极探索，将对建筑行业低碳发展做出积极贡献，对当下碳交易市场的发展具有重要指导意义。

参考文献

[1] 李兵. 低碳建筑技术体系与碳排放测算方法研究 [D]. 华中科技大学, 2012.

[2] 王金裕. 基于 BIM 的绿色建筑全生命周期碳排放计量与标杆管理研究 [D]. 湖南工业大学, 2019.

[3] 吴东东. 基于 BIM 的绿色建筑分析及碳排放计算的应用研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2015.

[4] 卢锐. 基于建筑信息模型的生命周期碳排放和生命周期成本的整合研究与案例分析 [D]. 合肥工业大学, 2021.

[5] 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.

[6] LI X-J, XIE W-J, XU L, et al. Holistic life-cycle accounting of carbon emissions of prefabricated buildings using LCA and BIM [J]. Energy and Buildings, 2022, 266.

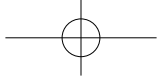
[7] HAO J L, CHENG B, LU W, et al. Carbon emission reduction in prefabrication construction during materialization stage: A BIM-based life-cycle assessment approach [J]. Sci Total Environ, 2020, 723: 137870.

[8] WANG J, WU H, DUAN H, et al. Combining life cycle assessment and Building Information Modelling to account for carbon emission of building demolition waste: A case study [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 172: 3154-66.

[9] 二氧化碳当量 [J]. 油气田环境保护, 2012, 22(02): 44.

[10] 廖金鹏. 基于 Revit 的 BIM 信息集成平台系统研究 [D]. 太原: 中北大学, 2021.

[11] 郭峰, 周志健, 张玉琢. 基于 Revit 二次开发的电缆自动算量研究 [J]. 建筑经济, 2022, 43(s1): 172-175.



Software Development of Carbon Emission Measurement and Case Analysis in the Construction Stage of Buildings Based on Revit

Wang Kai, Zhou Dongming

(School of Civil Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266525, China)

Abstract: In recent years, carbon peaking and carbon neutrality goals have been big concerns. However, as a major player in energy consumption and pollution emissions, the construction industry's development of traditional ways is contradictory to the overall national development goals. Therefore, technology reform in the construction industry is heavily required. The BIM technology has the characteristics of large information carrying capacity and high interaction efficiency, which can be fully applied to solve this problem. However, previous researches have generally been relatively cumbersome and prone to losing a large amount of information, hence the results of previous researches are inaccurate. This paper aims to develop an efficient carbon emission measurement software through the secondary development of Revit software using the C # programming language and the Revit API interface. By establishing a coding library for building materials and construction machinery information and using existing carbon emission factor databases, in-depth analysis is conducted on the carbon emissions generated during the construction phase. The results indicate that the carbon emissions generated during the production stage of building materials are the highest in the physical and chemical stage, and can be almost negligible during the construction stage. The software developed in this paper is easy to operate and has relatively complete functions, which is a positive exploration of China's Green Development.

Keywords: Revit Secondary Development; Carbon Emission Factor; C # Programming Language; Revit API; Class Library