

王婕.震后恢复重建民用建筑考虑碳排放的研究与监测[J].地震工程学报,2020,42(2):558-567.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.558

WANG Jie.Research and Monitoring of Carbon Emission in Civil Building Reconstruction after Earthquake[J].China Earthquake Engineering Journal,2020,42(2):558-567.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.558

震后恢复重建民用建筑考虑碳排放的研究与监测

王 婕

(西华大学,四川成都 610039)

摘要:为了解决现有震后重建民用建筑碳排放监测方法未考虑节能减排条件与计算碳排放系数,导致监测结果不准确与监测效率低的问题,提出了一种新的震后恢复重建民用建筑考虑碳排放的研究与监测方法。首先针对碳排放研究的基础进行详细阐述,根据国际碳排放标准开展研究;其次采用排放系数方法,完成建筑碳排放数据采集。具体以建筑使用阶段碳排放的边界条件为基础,确定碳排放边界条件,对震后重建民用建筑全生命周期碳排放进行计算,完成震后建筑碳排放量的实时监测。结果表明:提出的震后建筑碳排放量实时监测方法,能有效的对震后建筑的碳排放量进行实时监测,且具有较高的监测效率。

关键词:节能减排;震后重建民用建筑;碳排放量;实时监测

中图分类号: TU023; C934

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2020)02-0558-10

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.558

Research and Monitoring of Carbon Emission in Civil Building Reconstruction after Earthquake

WANG Jie

(Xihua University, Chengdu 610039, Sichuan, China)

Abstract: when post-earthquake reconstruction carbon emission is high it would have a significant environmental impact. Therefore, it is necessary to propose a monitoring method of carbon emission for civil building reconstruction after the earthquake. To solve the problems of inaccurate monitoring results and low monitoring efficiency in the existing monitoring methods of carbon emission in civil building reconstruction after the earthquake, a new approach was proposed in this work. First, the carbon emission basis was elaborated in detail, and the research was carried out in compliance with the international carbon emission standard. Second, the emission coefficient method was used to complete the data collection of building carbon emissions. Based on the boundary conditions of carbon emissions in the building use stage, the boundary conditions for carbon emissions were determined. Finally, the carbon emission of reconstructed civil buildings after the earthquake was calculated, and the carbon emissions monitoring was done in real-time.

收稿日期: 2019-03-16

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(71901178)

第一作者简介: 王 婕(1992-),女,四川南充人,硕士研究生,助教,研究方向: 工程经济、工程项目管理。E-mail: 554058960@qq.com。

The experimental results showed that the proposed real-time monitoring method can effectively monitor the carbon emissions of post-earthquake reconstructed buildings, and has a high monitoring efficiency.

Keywords: energy conservation and emission reduction; reconstruction of civil buildings after earthquake; carbon emission; real-time monitoring

0 引言

地震发生后,建筑大面积被毁坏,震后大面积的居民点已初步建成,对这些建筑能耗状况予以测试和评价,总结有益的经验予以推广,可以让灾区群众在有限的资金条件下,为建筑营造出更好的室内环境,更有利于建筑在其全生命周期内降低能耗^[1]。我国的建筑能耗总能量消耗较高,建筑类能耗占比约为 28%,其中的碳排放量约为 41%。我国建筑规模的增长速度十分迅速,全世界每年的新增建筑有 40% 左右都来自于我国。据专家预测在未来 30 年中,我国的建筑发展将处于持续上升阶段。因此,研究建筑能耗与碳排放量成为未来建筑行业研究的重点内容^[2-3]。因震后建筑处于地震多发地带,后续发生地震的概率较大,因此震后恢复重建民用建筑需要按照“8 级抗震、Ⅸ 度设防”的要求建造,与普通民用建筑相比具有更高的抗震安全性,因此在建造过程中比普通民用建筑更易增加碳排放量。

翁琳等^[4]将建筑碳排放研究分为建筑全生命周期的规划与计算两个方面,分析国内外建筑的研究成果,得到以下结论:第一,将可循环理念应用于建筑碳排放管理中;第二,在对建筑的碳排放进行计算时,要针对主要排放阶段进行统计计算,如此可保证碳排放计算的准确性与合理性。在满足上述结论的基础上,要结合现代科技降低建筑在不同阶段的碳排放量,健全建筑垃圾回收与负碳排放效应;高宇等^[5]采用评价建筑生命周期的方法,以我国建筑中使用水、电形成的碳排放系数为基础,计算出建筑的总体碳排放量,并以此为基础,计算我国城市住宅建筑的电器使用与供暖碳排放以及农村能源消耗产生的碳排放。通过上述计算获得的碳排放数据,建筑碳排放约占我国总碳排放量的 35%;余晓泓,詹夏颜^[6]针对我国城市建筑的碳排放情况展开研究,考虑建筑全生命周期的碳排放能量与城市绿化能量,提出一种计算方法,对城市中的经典建筑进行碳排放量的进行计算,并针对降低城市建筑碳排放量的

方法进行讨论了;刘博宇^[7]以上海建筑中几种典型的建筑问题分析为基础,对建筑中的生活碳排放进行研究,采用节约化的方法对建筑中生活碳排放进行优化处理,以降低建筑的整体碳排放量;晏为谦等^[8]提出从建筑材料的生产、利用、物流、消除等角度出发,对其存在的碳排放总量进行研究,以便于对建筑整个存续的时限内的碳排放量的研究,并提出降低建筑碳排放量的方法。

在上述文献方法的基础之上,本文提出震后恢复重建民用建筑考虑碳排放的研究与监测方法,针对碳排放研究的基础进行详细阐述,采用排放系数方法采集建筑碳排放数据,以建筑使用阶段碳排放的边界条件为基础,确定碳排放边界条件。最后计算震后重建民用建筑全生命周期碳排放,完成震后建筑碳排放量的实时监测。

1 碳排放相关政策

1.1 碳排放基础研究

碳排放研究基础的内容主要是碳排放相关标准与碳排放政策以及相关的评估方法,在碳排放的计算过程中涉及计算机软件计算方面内容^[9]。

1.2 政策、标准及相关评估

国际碳排放量的相关政策条款包括:《联合国气候变化框架公约》以及《欧盟关于气候问题战略》等;中国针对碳排放的有关法律条文包括:《中国应对气候变化国家方案》《建设低碳社会行动计划》等^[10-11]。

碳排放的监测准确性不同,因此需要对碳排放监测的准确性进行评估。从 20 世纪初开始,相关国际组织开始进行大量的实证研究来确定碳排放量的监测标准。此标准针对企业、个人、国家均符合条件。经过一个世纪的发展,该标准已经逐渐分化为两个研究方向,分别为:基于终端消耗碳排放监测与生命全周期碳排放监测^[12]。

目前,我国现有的碳排放计算方法、标准等与国际标准仍存在一些距离,在碳排放量计算的实际过程中,仍旧存在一些计算方法的问题。例如:边界条

件定义不明确、计算过程不统一等。并且我国各个地区的经济发展存在严重的差异,导致碳排放的相关数据与边界的选择更加困难,因此需要进行大量的数据采集工作,来制定符合我国实际排放情况的碳排放标准。

2 震后建筑碳排放数据采集

2.1 排放系数法

运用排放系数法完成建筑碳排放相关数据的采集。所谓排放系数法就是在符合经济与管理条件的情况下,根据各个地区各单位的碳排放总量的平均值来计算碳排放总量的方法。针对有气体回收和无气体回收这两种方式的碳排放相关系数进行解析等是排放系数法研究的重要内容,但是计算出的碳排放系数存在较大的差异^[13-14]。

可以将排放系数法分为标煤法和能源种类法两种:标煤法将建筑能耗转化为燃煤能耗,通过采集 CO₂ 排放量来计算碳排放量,计算过程如公式(1);能源种类法,直接计算各类能耗消耗种类计算其 CO₂ 排放量,具此计算出碳排放量,计算过程如公式(2)。根据范宏武的验证结果,采用标煤法计算的碳排放量通常大于能源种类法的计算结果,因此采用能源种类法进行计算。

采用标煤法计算 CO₂ 排放量的公式:

$$C = \frac{\sum_i E_i \times K_{ce} \times 44}{12} \quad (1)$$

式中: C 为建筑中 CO₂ 排放的总数,kg; E 为建筑实际能耗转化为标煤量,kg; K_{ce} 为标煤法碳排放因子,值为 0.67 kg-c/kg。

采用能源种类计算 CO₂ 排放量公式:

$$C = \frac{\sum_i (K \times E)_i \times 44}{12} \quad (2)$$

式中: C 为建筑 CO₂ 总排放量,kg; E 为建筑实际能耗转化为标煤量,kg; K 为不同种类能源单位碳排放量,kg-c/kg,kg-c/Nm³,或者 kg-c/kwh。

2.2 物化阶段碳排放定量计算

(1) 材料生产

建筑材料在生产时产生的碳排放,以建筑材料碳排放因子与建筑所需的材料总量进行结合计算:

$$Q_{mat} = \sum_{i=1}^n m_i \times (1 + \omega_i / 100) \times EF_{i,mat} \quad (3)$$

式中: Q_{mat} 为建筑材料生产中碳排放量; n 为建筑材料的类别; m_i 为建筑材料整体数量; ω_i 为施工废弃

比例(%); $EF_{i,mat}$ 为材料的二氧化碳排放因子。

(2) 材料运输

运输距离具有不确定性,将建筑材料运输距离与厂家的供应情况进行假设,设计建筑材料运输过程碳排放计算过程如下:

$$Q_{trans} = \sum_{i=1}^n m_i \times (1 + \omega_i / 100) \times S_i \times EF_{i,trans} \quad (4)$$

$$EF_{i,trans} = E_{i,trans} \cdot EF_{energy} \quad (5)$$

式中: Q_{trans} 为建筑材料在运送中的碳排放数量; $EF_{i,trans}$ 为材料运输单位距离的 CO₂ 排放系数; $E_{i,trans}$ 为运转每个货物所需能耗量 EF_{energy} 为能源的 CO₂ 排放系数。

(3) 根据施工定额,分解建筑工程施工工艺,通过解析在建筑施工过程中所利用到的工作机器以及台班所消耗的数值,能够计算出在建筑施工中机器工作时排放的 CO₂ 排放量。基于此得出建筑工程施工的总体碳排放量,计算过程如下:

$$Q_{cons} = Q_{subpro} + Q_{provisional} = \sum_{i=1}^p (G_i \times \sum_{k=1}^l (T_{mac,k} \times E_{mac,k} \times EF_{mac,k})) \quad (6)$$

式中: Q_{subpro} 为附属施工工程的碳排放数量; $Q_{provisional}$ 为机器工作时额定 CO₂ 排放量; p 为建筑业中具体施工项目数量; G_i 为每个工程部门的作业数量; $E_{mac,k}$ 为每个类型作业机器单位台班能源消耗数值; $T_{mac,k}$ 为建筑作业过程中部分作业机器的台班数量; k 为部门工程施工数量; $EF_{mac,k}$ 为第 k 个部门工程施工时二氧化碳排放量。

2.3 震后建筑材料碳排放因子取值

震后重建民用建筑中建筑材料分为 I、II、III 类材料,可根据建筑工程的施工情况,对 I、II、III 类材料产生的碳排放进行均分处理,碳排放因子计算公式如下:

$$EF_{cal,j} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{m_{ij} \times EF_i}{p_{ij}} \right) \quad (7)$$

式中: n 为模具包含材料的类型; m_{ij} 为第 j 个模具或者脚手架中第 i 种生产材料的固定使用量; p_{ij} 为能够重复利用的材料重复利用的次数; EF_i 为第 i 种材料的 CO₂ 排放系数。

3 边界条件确定

3.1 核算气体界定

《京都议定书》中明确强调了温室气体的类别,主要包括二氧化碳、氢氟碳化物、氧化亚氮、甲烷、全

氟化碳、六氟化硫,文章分析成都市建筑碳排放的特点,发现目前导致全球变暖的最主要气体为 CO₂,因此对建筑碳排放进行研究。

3.2 核算边界划分

根据建筑的用电情况、能源使用情况产生的碳排

放进行统计分析,建筑中使用的主要能源有天然气、水、煤气,这些能源的使用是大部分碳排放产生的原因。煤炭、天然气等一次能源以及二次能源所包含的电、蒸汽等都促使震后重建民用建筑在使用过程中排放出大量的碳。具体的划分结果如图 1 所示。

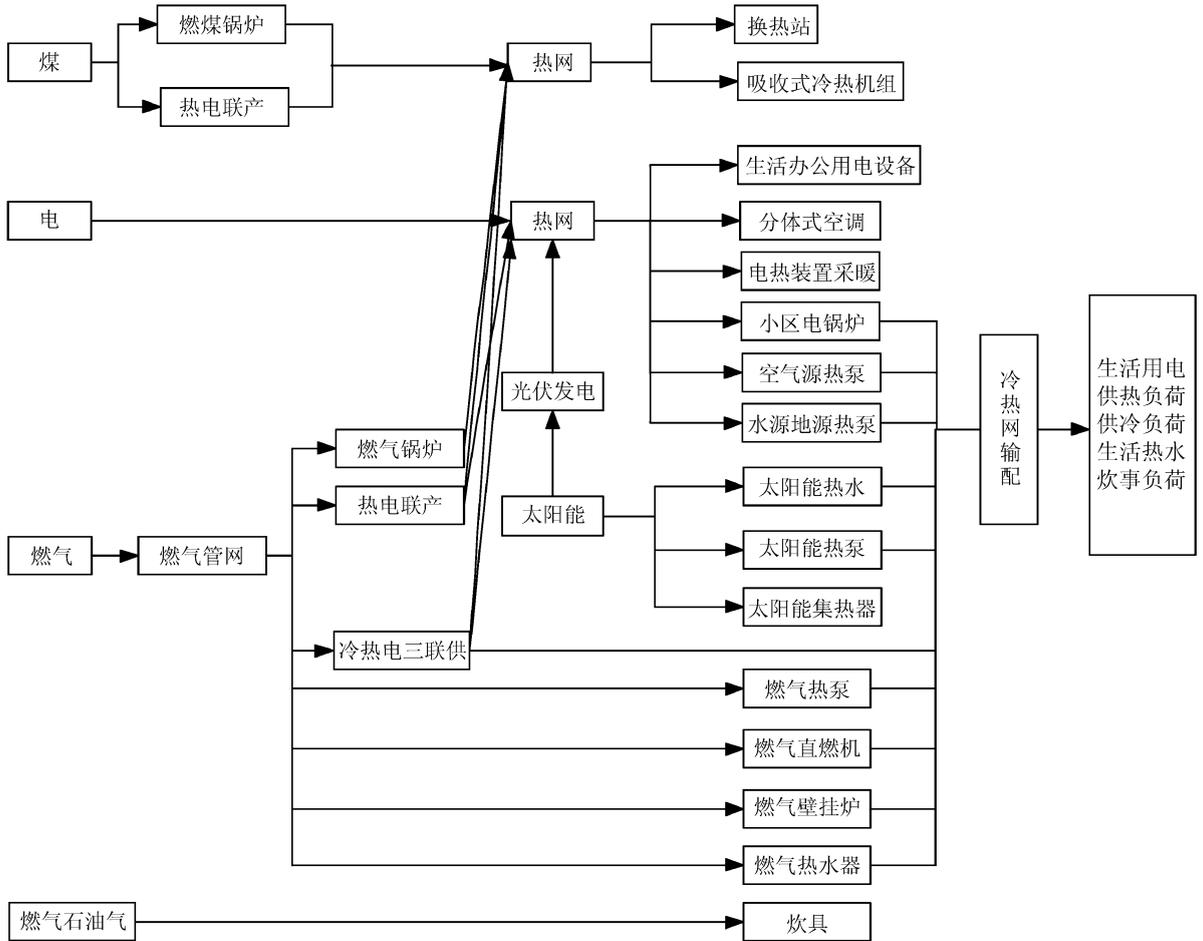


图 1 具体边界划分结果

Fig.1 Results of boundary delimitation

4 震后重建民用建筑碳排放监测研究

4.1 震后重建民用建筑存续阶段碳排放

震后重建民用建筑全生命周期碳排放计算矩阵表如表 1 所示。

震后重建民用建筑就是采用专业装配机械进行现场安装的建筑,并采用现代化工艺连接关键部位,最终完成建筑的搭建。震后重建民用建筑的现场安装环节主要包括以下两个主要过程:吊装与装配连接。因此研究震后重建民用建筑的碳排放就要研究

表 1 震后重建民用建筑碳排放计算矩阵表

Table 1 Matrix table of carbon emission calculation from reconstructed civil buildings after earthquake

阶段	研究对象	碳排放
建筑开采生产	材料	对建筑材料的挖掘和对其进行制造过程中所需能源的消耗导致的碳排放
工厂化生产	材料-构件,构件-组件,组件-模块的过程	建筑材料加工消耗能量产生碳排放
物流	模块	模块物流耗能产生碳排放
装配	模块	模块物流耗能产生碳排放
使用		使用阶段耗能产生碳排放
保养护理	组件、构件、模块	组件、构件、模块的保养、翻新、交换产生的能耗碳排放
拆卸与回收	材料、构件、组件、模块	材料、构件、组件、模块的拆卸与回收产生碳排放

吊装与装配的施工对象^[15-16]。

在吊装过程中,需要将建筑模块通过机械吊装至事先设定好的位置。目前,传统的吊装设备与要求的吊装准确性之间存在严重的差距。因此,要研发更加精确、快速的模块吊装设备,以便于吊装较为复杂以及各类型的建筑模块,并且在开发的吊装设备中要具有连接支撑装置便于安装其他配件,还需要包含手持式安装设备便于快速安装。

在装备连接过程中,连接方式共分为两种,分别是干式连接与湿式连接^[17]。干式连接是指使用焊接、栓式连接的方式进行震后重建民用建筑的结构连接;湿式连接是指在震后重建民用建筑连接的过程中使用浇筑混凝土以及支模的方式进行连接。两种连接方式中,干式连接中的机电设备消耗能量产生大量碳排放,而湿式连接中产生的碳排放较小可以忽略,则干式连接中的机电设备消耗能量产生大量碳排放 P :

$$P = \sum_m A_m \times Y_m = \sum_m (D_m + Z_m) \times Y_m \quad (8)$$

式中: A_m 为第 m 种方式的碳排放量(kg); Y_m 为第 m 种方式的种类(单位:种); D_m 为第 m 种模式的碳排放量(单位:kg); Z_m 为第 m 种模式装配连接的碳排放量(单位:kg)。

4.2 震后恢复建筑碳排放监测方法

4.2.1 施工过程碳排放

砌墙、钢筋混凝土、装修等是进行建筑作业时最为主要的项目。在未设立明确的工程预算前,可以

根据建筑的单位能耗计算出单个建筑工程的能耗,汇总为建筑施工总碳排放量,具体过程如下:

$$Q_{\text{cons,esl}} = \sum_{i=1}^p G_i \times P_i \times EF_{\text{energy},i} \quad (9)$$

式中: $Q_{\text{cons,esl}}$ 为建筑作业时碳排放数量; P_i 为每种作业类别所需的能源消耗。

以 I、II、III 类材料为本节的研究内容,不同建筑结构之间的碳排放量存在差异,砖混结构大于混凝土结构的碳排放量。建筑材料碳排放量与建筑高度之间的关系如图 2 所示。分析拟合结果可知,式(10)的拟合结果过低,而式(11)的拟合结果过高。结合案例数据分析, x 表示建筑物的整体高度, y_1 , y_2 表示 I、II、III 类材料单位面积的碳排放,最终确定拟合公式为:

$$y = 0.001 1x^2 + 1.465 5x + 277.82 \quad (10)$$

$$y_3 = -0.054 2x^2 + 10.147x + 251.32 \quad (11)$$

$$y_2 = 55.697 \ln x + 230.62 \quad (12)$$

$$y_1 = -0.085 9x^2 + 8.978x + 246.66 \quad (13)$$

$$R_1^2 = 0.849 8, R_2^2 = 0.444 3$$

分析现有的碳排放数据,二次方程的拟合效果较为准确,但是由于研究案例的数据值较低,在建筑高度为 45~75 m 范围内,单位面积碳排放量未产生相应数据点,因此可以判断该计算公式只适用于 15 层以下的建筑。碳排放和建筑的高度存在重要的关系。例如,图 2 展示了建筑 I、II、III 类材料在制造过程中碳的排放量和建筑本身高度之间的关联。

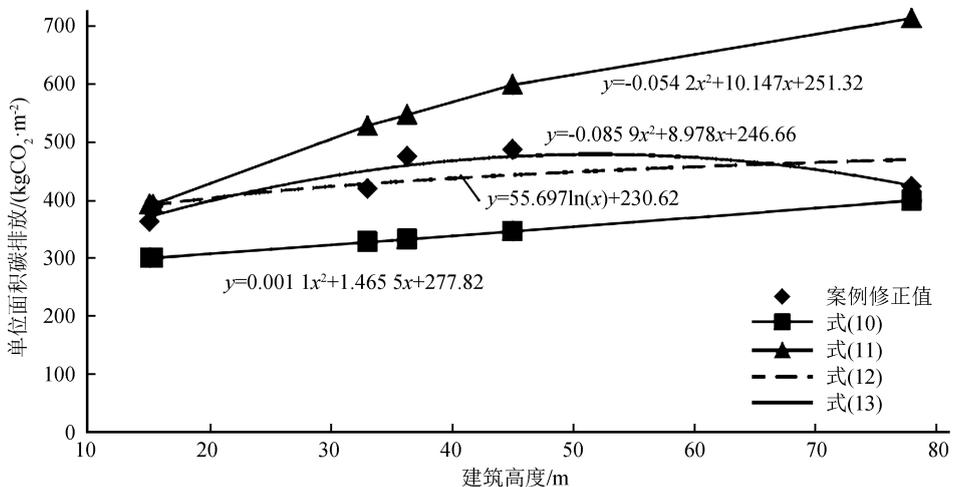


图 2 案例建筑 I、II、III 类材料生产碳排放与建筑高度关系图

Fig.2 Relationship between building height and carbon emission of material I, II, and III

4.2.2 碳排放总量计算模型

建筑规划、建筑材料生产、建筑作业、建筑维护、

建筑拆除清理这 5 个不同阶段是本文对震后重建民用建筑存续周期所进行的划分。建筑材料生产、建

筑施工、建筑维护、建筑拆除清理。震后重建民用建筑每个阶段消耗能量不同,导致建筑的碳排放也各有不同。根据不同阶段的碳排放情况,进行分步骤运算,各个阶段的碳排放量计算过程如下:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 =$$

$$\sum_{i=1}^n P_{U_i} K_{U_i} + \sum_{i=1}^n P_{M_i} K_{M_i} (1 - \delta_i) + \sum_{i,j=1}^n P_{M_i} K_{T_j} L_{ij} + \sum_{i=1}^n P_{C_i} K_{C_i} + \sum_{i=1}^n P_{U_i} K_{U_i} Y + \sum_{i=1}^n P_{D_i} K_{D_i} + \sum_{i=1}^n P_{S_i} [(1 - \delta_i) K_{T_j} L_{ij} + \delta_i K_{SR_i}] \quad (14)$$

式中: E 为建筑整个作业过程碳排放的总体数量, kg; E_1 为建筑作业过程中计划碳排放的总量, kg; E_2 为建筑材料制造过程碳排放数量, kg; E_3 为建筑作业碳排放数量, kg; E_4 为运作保养过程碳排放数量, kg; E_5 为无价值建筑销毁碳排放数量, kg; i 为能源类型; P_M 为作业中建筑材料碳的总体排放量; K_M 为建材碳排放因子; δ_i 为第 i 种建材回收系数; K_T 为单位建材各种运送过程的碳排放因子; L 为运送距离; j 为物流运送方式; P_C 为作业机器台班数; K_C 为作业机器单位台班的碳排放因子; P_U 为能源消耗年总量; K_U 为能源碳排放因子; Y 为建筑物有效期限; P_D 为作业机器台班数量; K_D 为作业机器碳排放因子总数; P_S 为废弃建筑材料数量; K_{SR} 为不可再生建筑材料生产碳排放因子; δ 为建材回收系数。

4.3 震后重建民用建筑整个存续期限碳排放的监测

图 3 展示了对震后重建民用建筑碳排放量的每个阶段进行监测的过程。

震后重建民用建筑接缝类型如图 4 所示,以装配式建筑为例。

5 震后建筑碳排放案例对比研究

5.1 工程概况介绍

本工程为成都市一栋公共建筑,全建筑一共为 9 层,建筑第一层高度 4.8 m,其它层高度为 4.2 m,二楼至顶楼作为办公使用区。建筑的总高度为 38.4 m,整体建筑面积为 3 731.72 m²。建筑的主要特征如表 2 所示。

5.2 研究建筑全生命周期各阶段数据来源

建筑各阶段的碳排放来源相关数据如表 3 所示。建筑标准层平面结构图如图 5 所示。

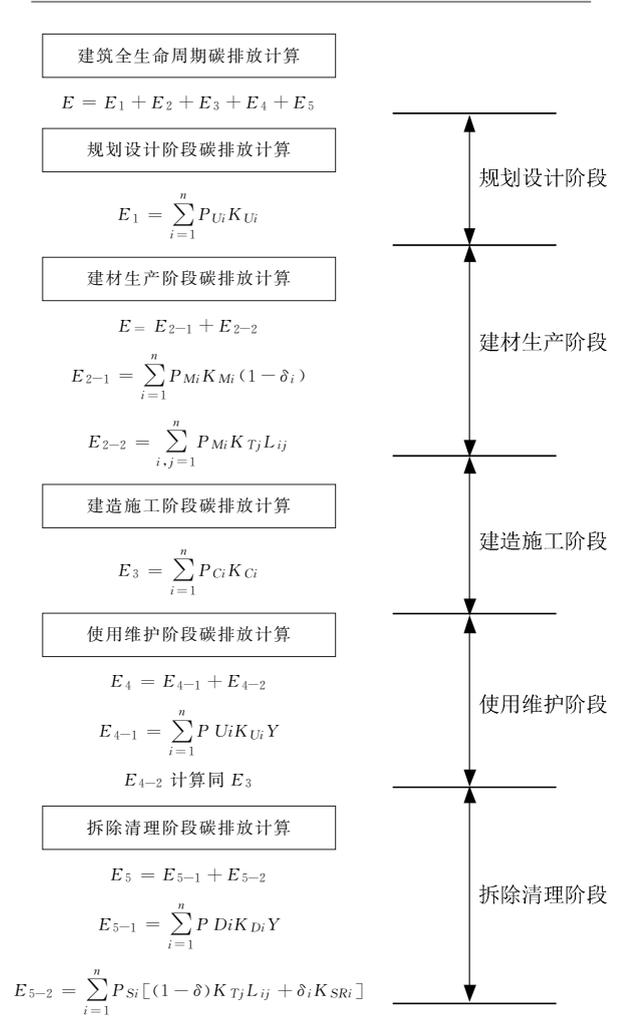


图 3 建筑全生命周期碳排放监测过程

Fig.3 Carbon emission monitoring process for building life cycle

5.3 建筑碳排放子系统

在建筑生产中产生最多的碳排放量的子系统中,无价值建筑材料拆毁后运送碳排放的总量与废弃建材运输碳排放(循环使用建筑材料单位运送碳排放、无价值建筑材料单位运送碳排放)为主,其中无价值建筑材料单位运送碳排放的碳排放量相对要低很多,允许不计在内,对于子系统的碳排放量的成功监测可以更好地增加整个碳排放量监测的精确度。对于以上结论,本文对建筑中所消耗的材料子系统与废弃的建筑材料处理子系统实施更进一步的研究。震后建材处理碳排放子系统碳排放过程如图 6 所示。

从图 6 中可以清晰的看出影响震后建材处理碳排放子系统的因素为:(1)无价值建筑材料拆毁

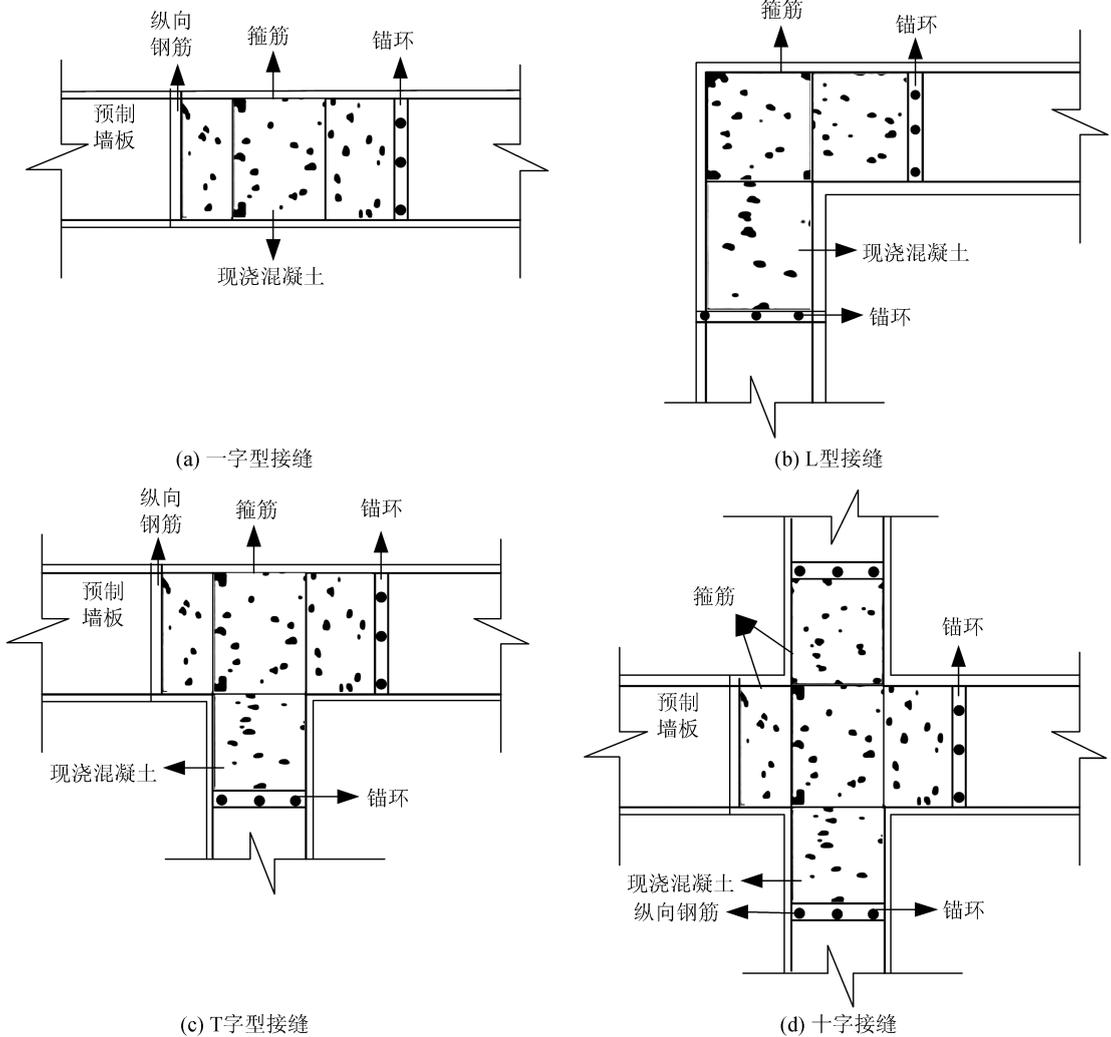


图4 震后重建装配式建筑接缝类型

Fig.4 Type of joints in prefabricated building reconstructed after earthquake

表2 主要建筑特征

Table 2 Main building features

特征	描述
框架结构	钢筋混凝土
外墙	190 mm 黏土多孔砖
窗墙比	0.63
外窗	Low-E 玻璃
内墙	90 mm 黏土多孔砖
窗帘	百叶窗帘
空调系统	全空气变风量空调系统
空调面积	22 556.18 m ²

后运送碳排放的总量;(2)循环使用建筑材料单位运送碳排放;(3)由于项目建设期和废弃建材产生的无价值建筑材料单位运送碳排放的碳排放量相对要低很多,对此在监测过程中对此忽略不计。所以在已有的节能减排的监测方法基础上,对以上影响震后建材处理碳排放子系统的因素进行有效监测,

图7为监测结果。

在建筑使用碳排放子系统为依据,通过建筑材料处理碳排放子系统碳监测对比实验可知,随着监测时间的增加,无价值建筑材料拆毁后运送碳排放的总量逐渐降低;循环使用建筑材料单位运送碳排放量,在5 h与无价值建筑材料拆毁后运送碳排放总量相似,但整体碳排放量要低于无价值建筑材料拆毁后运送碳排放的总量,验证了基于节能减排监测方法的可行性。

5.4 排放量监测准确性对比

为了证明提出方法在震后重建民用建筑碳排放量实时监测方面的性能,以排放量监测准确性为对比指标,将提出方法与文献[5]方法的监测值与实际测量碳排放量进行对比,对比结果如图8所示。

分析图8的对比结果可知,随着监测时间的不断增加,与文献[5]方法相比,所提方法的监测结果

表 3 建筑生命周期不同阶段数据来源汇总

Table 3 Summary of data sources at different stages of building life cycle

不同阶段	碳排放来源	获取数据来源
建筑材料	建筑材料开采与运输以及加工过程产生的碳排放	1.建筑材料相关数据库:国外:英国数据库 Boustead;国内:四川大学数据库 EBALANCE;2.调查当地建筑的实际情况
建筑作业	建筑作业机器设施的能源使用、作业辅助设施的制造	1.收集真实数据:建筑作业过程真实的碳排放数据,检查建筑作业耗能清单;2.使用模拟软件计算:软件为 Construction Carbon Calculator
建筑维护	建筑内照明、采暖等日常工作、生活需要等消耗的能量;建筑材料损坏、老化等更新配件能量消耗	1.采集真实结果:监测建筑维护能量消耗、查阅建筑维护能耗账单;;2.软件计算结果:国内:DeST、PKPM;国外:Energy Plus、Hot2000;3.根据使用寿命,对建筑内全部设施维护、更新次数进行统计,转换为碳排放量
建筑拆除回收	拆除用机械设备用电以及燃油碳排放量;废弃材料的运输与回收碳排放量	1.建筑拆除回收现场记录的相关数据、查阅文献估算拆除回收建筑的碳排放;2.根据建筑中不同材料的回收方式,设定不同的回收系数
建筑全生命周期		全部为国外软件:AIJ-LCA、TEAMTM、ECO-QUANYUM 等

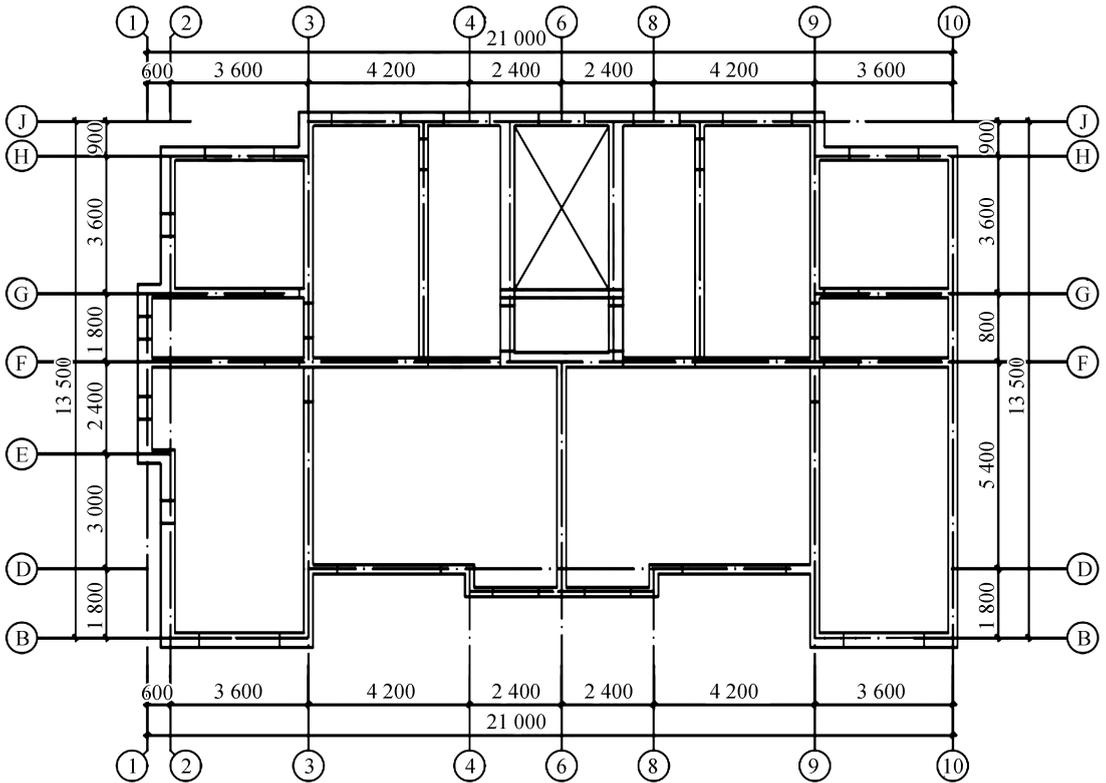


图 5 建筑标准层平面结构图(单位:mm)

Fig.5 Plane structure of building standard floor (Umit:mm)

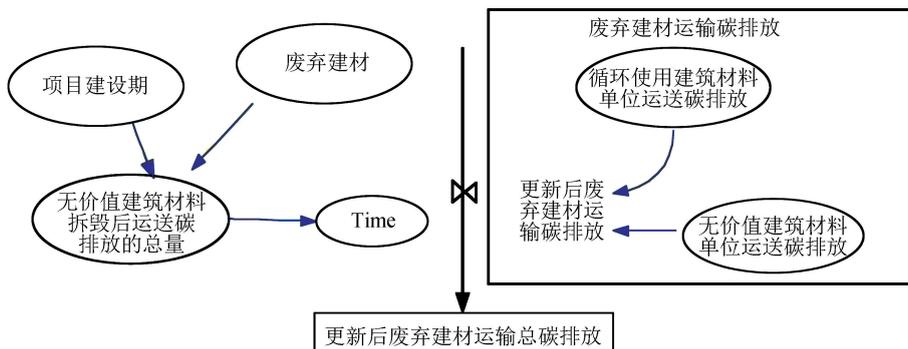


图 6 震后建材处理碳排放子系统图

Fig.6 Subsystem diagram of carbon emission from building materials treatment after earthquake

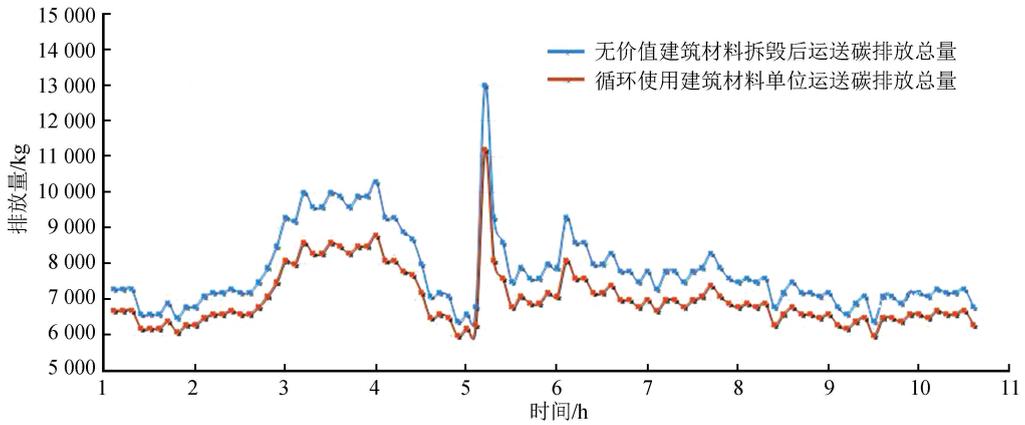


图7 震后建材处理碳排放子系统碳监测结果

Fig.7 Subsystem monitoring results of carbon emission from building materials treatment after earthquake

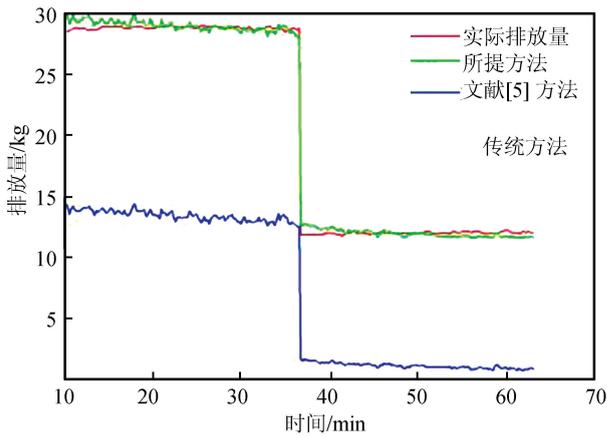


图8 碳排放监测准确性对比

Fig.8 Accuracy comparison of carbon emission monitoring

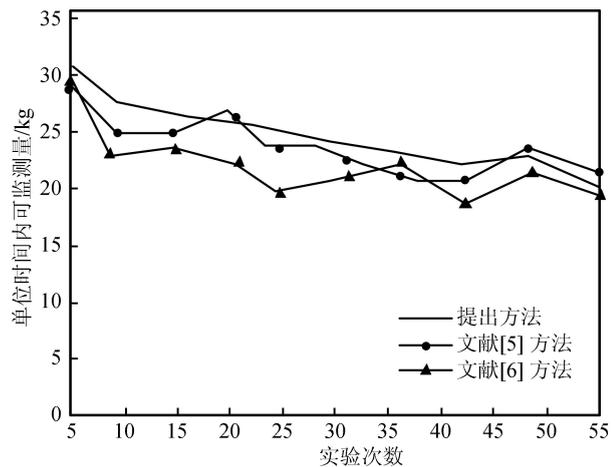


图9 监测效率对比

Fig.9 Monitoring efficiency comparison

与实际测量结果十分接近,所提方法是在传统方法的基础上提出的,可在一定程度上保证碳排放监测的准确性。

5.5 排放量监测效率对比

进一步验证提出方法的碳排放量监测效率,将提出方法与文献[6]方法进行监测效率的对比实验,对比结果如图9所示。

从图9的对比结果中可知,在多次的监测实验下,提出方法的可监测量基本保持稳定状态,单位时间监测量最低不低于20 kg,说明提出方法具有一定的监测效率与监测稳定性。

6 结论

为了缓解温室气体大量排放而造成全球变暖的持续加剧,而震后建筑能耗较高,因此对震后重建民用建筑的碳排放进行实时监测具有重大意义。在上述问题存在的基础上,提出基于节能减排的震后重建民用建筑碳排放量实时监测方法,针对震后重建

民用建筑的各个阶段进行碳排放计算,实现震后重建民用建筑碳排放的实时监测,最终通过实验证明了所提方法的有效性。实验结果表明:与传统方法碳排放监测方法相比,提出方法的监测准确性与监测效率得到一定程度的保证,检测结果与实际测量结果十分接近,单位时间监测量最低不少于20 kg,充分说明该方法具有较高的实际应用价值。在未来的研究工作中,要进一步提高监测效率,以缓解温室气体过量排放带来的震后重建建筑压力。

参考文献(References)

- [1] 黄建文,王东,张瑞,等.基于Euclid理论的震后恢复重建民用建筑工程质量评价[J].灾害学,2016,31(1):11-16.
HUANG Jianwen, WANG Dong, ZHANG Rui, et al. Quality Evaluation for Post-earthquake Civil Building Reconstruction Based on Gray Euclid Theory[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 11-16.
- [2] 夏坤,董林.地震重点监视防御区天水市砖混农居震害预测

- [J].建筑结构,2018,48(S2):255-259.
- XIA Kun,DONG Lin.Seismic Damage Prediction of the Typical Brick Concrete Buildings in the Key Monitoring and Protection Zone for the Earthquake in Tianshui City[J].Building Structure,2018,48(S2):255-259.
- [3] 李晓滨,程远达,赵旭东,等.相变材料在太阳能热水系统中的应用研究综述[J].太原理工大学学报,2018,49(5):691-697.
LI Xiaobin,CHENG Yuanda,ZHAO Xudong,et al.Application of Phase Change Materials in Solar Water Heating System:a Review[J].Journal of Taiyuan University of Technology,2018,49(5):691-697.
- [4] 翁琳,陈剑波.光伏系统基于全生命周期碳排放量计算的环境与经济效益分析[J].上海理工大学学报,2017,39(3):282-288.
WENG Lin,CHEN Jianbo.Environmental and Economic Analysis on the Carbon Dioxide Emissions Calculation in the Life Cycle of a Photovoltaic System[J].Journal of University of Shanghai for Science and Technology,2017,39(3):282-288.
- [5] 高宇,李政道,张慧,等.基于 LCA 的装配式建筑建造全过程的碳排放分析[J].工程管理学报,2018,32(2):30-34.
GAO Yu,LI Zhengdao,ZHANG Hui,et al.A Carbon Emission Analysis Model for Prefabricated Construction Based on LCA[J].Journal of Engineering Management,2018,32(2):30-34.
- [6] 余晓泓,詹夏颜.基于收益原则的碳排放转移及中国碳排放责任研究[J].资源科学,2018,40(1):185-194.
YU Xiaohong,ZHAN Xiayan.Analysis of Carbon Emissions Transferred and China's Carbon Emissions Responsibility Based on the Income Principle[J].Resources Science,2018,40(1):185-194.
- [7] 刘博宇.住宅节约化设计与碳减排研究:以上海地区典型住宅平面中的 5 个问题为例[D].上海:同济大学,2008.
LIU Boyu.Research on Residential Economization Design and Carbon Emission Reduction[D].Shanghai:Tongji University,2008.
- [8] 苏毅,徐丹,李爱群,等.高烈度区某超限框架-剪力墙结构中震性能控制[J].建筑结构,2017,47(3):68-72.
SU Yi,XU Dan,LI Aiqun,et al.Performance Control of an Out-of-code Frame-shear Wall Structure under Fortification Earthquake in High Seismic Intensity Region[J].Building Structure,2017,47(3):68-72.
- [9] 杨雷,杨秀.碳排放管理标准体系的构建研究[J].气候变化研究进展,2018,14(3):281-286.
YANG Lei,YANG Xiu.Establishing of a Scientific and Effective Carbon Emission Management Standards System[J].Advances in Climate Change,2018,14(3):281-286.
- [10] 周维良,杨仕辉.碳排放政策下的供应链定价与减排[J].华东经济管理,2017,31(7):124-131.
ZHOU Weiliang,YANG Shihui.Pricing and Emissions Reduction Strategy of Supply Chain under Carbon Emissions Policies[J].East China Economic Management,2017,31(7):124-131.
- [11] 李钱,吴轶,Vincent Lee,等.基于能量及损伤的主余震震动对超限高层结构抗震性能影响研究[J].建筑结构,2016,46(9):42-47.
LI Qian,WU Yi,LEE V,et al.Study on the Effects of Main Aftershock Ground Motions on Seismic Performance of High-rise Structures beyond the Code-specification Based on Energy and Damage[J].Building Structure,2016,46(9):42-47.
- [12] 鲁君.典型石化企业挥发性有机物排放测算及本地化排放系数研究[J].环境污染与防治,2017,39(6):604-609.
LU Jun.A Study on VOCs Emission Inventory of Typical Petrochemical Plant and Its Local Emission Factor[J].Environmental Pollution and Control,2017,39(6):604-609.
- [13] 刘美霞,武振,王洁凝,等.住宅产业化装配式建造方式节能效益与碳排放评价[J].建筑结构,2015,45(12):71-75.
LIU Meixia,WU Zhen,WANG Jiening,et al.Energy Efficiency and Carbon Emissions Evaluation of Prefabricated Construction in Housing Industrialization[J].Building Structure,2015,45(12):71-75.
- [14] 曾帆.基于系统论的震后重建规划理论模型及关键技术研究[J].建筑实践,2019,39(2):14-16.
ZENG Fan.A Research on the Theoretical Models and Key Technologies of Post-earthquake Reconstruction Planning Based on System Theory[J].Architectural Practice,2019,39(2):14-16.
- [15] 庄庆祥.增强型地热系统防震减灾减排研究[J].能源与环境,2017,(1):2-3.
ZHUANG Qingxiang.Research on Earthquake Mitigation and Emission Reduction in Enhanced Geothermal System[J].Energy and Environment,2017,(1):2-3.
- [16] 魏琰,王森.中国建筑结构抗震设计方法发展及若干问题分析[J].建筑结构,2017,47(1):1-9.
WEI Lian,WANG Sen.Development of Seismic Design Method of Building Structure in China and Analysis of Some Problems[J].Building Structure,2017,47(1):1-9.
- [17] 陈书强,邓晓卫,王泽宇.基于全球视角的经济发展与碳排放关系研究[J].环境科学与技术,2018,41(6):197-204.
CHEN Shuqiang,DENG Xiaowei,WANG Zeyu.Research on the Relationship between Economic Development and Carbon Emissions Based on Global Perspective[J].Environmental Science & Technology,2018,41(6):197-204.