

史青菁, 白春, 赵娟, 等. 冰雪灾害后中原阁楼建筑空间环境冻害机理分析[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 99–102. [SHI Qingjing, BAI Cun, ZHAO Juan, et al. Analysis on the Mechanism of Freezing Damage to the Space Environment of Loft Buildings in Central China after the Ice Snow Disaster[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 99–102. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.04.019]

冰雪灾害后中原阁楼建筑空间环境冻害机理分析*

史青菁¹, 白春^{1,2}, 赵娟¹, 谢长群¹

(1. 商丘学院 建筑与土木工程学院, 河南 商丘 467000; 2. 许昌学院 土木工程学院, 河南 许昌 461000)

摘 要: 建筑冻害是冰雪灾害的衍生灾害之一, 为了降低其对建筑带来的损害, 以中原阁楼建筑为例, 对冰雪灾害给建筑空间环境产生的冻害机理进行分析。以中原阁楼建筑结构为基础, 搭建建筑空间环境模型。在该模型下模拟演化冰雪灾害的冻害过程, 并分析建筑冻害的具体表现。在温度和湿度影响下, 分析中原阁楼建筑空间环境的冻胀力变化和力学性质变化, 得出阁楼建筑冻害机理的分析结果, 并通过将分析结果应用到实际建筑修复工作当中, 通过修复率, 验证冰雪灾害后中原阁楼建筑空间环境冻害情况。

关键词: 冰雪灾害; 阁楼建筑; 建筑空间环境; 冻害机理; 环境模型; 冻胀力; 力学性质

中图分类号: U455; X43; X915.5; TU9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2020)04–0099–04
doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.04.019

阁楼是中国古代经典建筑结构之一, 在建造时利用屋盖空间搭建既有居住也美化建筑的功效。阁楼在建造过程中需满足规定高度要求, 一般室内净高可达 2.2 m 以上, 且在阁楼建筑空间内需要包含楼梯、门、窗等基础设施, 阁楼建造的位置为建筑屋顶下部。在中国阁楼建筑的现状及特点具有其独特的一面, 但从保护的角度来看, 与其他类型建筑存在一定差异。中原阁楼建筑是中国浩瀚文物资源的一部分, 有着不同的价值, 都需要依据相关的原则与法律法规进行保护^[1]。然而受到建筑所处地区自然环境的影响, 中原阁楼的建筑环境空间会产生不同程度的破坏, 其中冰雪灾害是造成中原阁楼建筑破损的关键因素之一。

冰雪灾害是由强降雪引起的灾害和积雪、降雪引起的雪灾两部分组成, 冰雪灾害对工程设施、交通运输甚至人民的生命财产安全都会造成不同程度的破坏, 属于较为严重的自然灾害。对于中原阁楼建筑而言, 冰雪灾害会从直接和间接两个方面改变建筑内外空间环境, 导致中原阁楼建筑出现冻害的情况。其形成原因主要包括环境温度湿度因素、建筑材料因素、建筑结构因素以及人为因素, 从中原阁楼建筑冻害的治理角度来看, 需要对阁楼建筑的冻害机理进行针对性的具体分析, 以提出更加有效的修复与防御措施。

1 构建中原阁楼建筑空间环境模型

分析冰雪灾害对中原阁楼建筑空间环境的影响, 首先利用有限元单元法, 以中原阁楼为研究对象搭建对应的环境模型。以建筑实体的结构布置为依据, 采用框架结构体系, 满足 A 级高度^[2]。中原阁楼建筑空间环境中的楼梯、护栏等组件由于受到建筑外墙的保护, 不会受到冰雪灾害的直接侵蚀和影响, 因此在对应建筑模型构建的过程中可以省略。对于一些必要的阁楼建筑空间环境组成构件, 可以采用一种绑扎式的方式进行转换, 以避免整层阁楼搭接柱的转换而影响到建筑的使用功能和受力情况。中原阁楼建筑空间环境外围构件作为研究冰雪灾害的主要作用对象, 需要采用网格结构提高该部分模型的精细度。利用 YJK 软件对中原阁楼建筑空间环境模型进行整体计算, 计算指标包括阁楼建筑钢筋混凝土结构楼层的受剪承载力、各个楼层的刚度等^[3]。在阁楼建筑空间环境模型中将 YJK 的计算结果以及建筑材料的分布与用量数据输入到有限元模型当中, 得出中原阁楼建筑空间环境模型构建结果(图 1)。

* 收稿日期: 2020–03–07 修回日期: 2020–06–25

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(18A560019); 河南省大学生创新训练项目(S201814003003)

第一作者简介: 史青菁(1988–), 女, 回族, 河南商丘人, 讲师, 主要从事建筑与土木工程研究。

E-mail: sqj813@sohu.com

通信作者: 白春(1988–), 男, 山西应县人, 讲师, 主要从事土木工程、纤维复合材料等方面的研究和教学。

E-mail: ansysbc@163.com

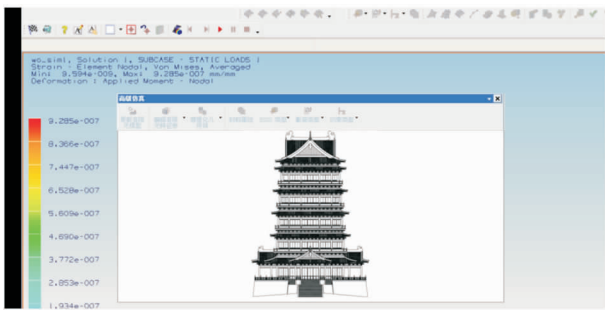


图1 中原阁楼建筑空间环境模型

2 模拟演化冰雪灾害

受到冰雪灾害及其衍生的气候因素的影响,主要经过多次的冻融循环,导致中原阁楼建筑空间环境出现冻害情况^[4]。由此可见冰雪灾害模拟与演化的过程,就是多次冻融循环的过程。图2表示的是冰雪灾害的模拟演化情况。按照图2表示的冰雪灾害演化图,首先在某一地区出现大范围的降雪情况,雪在空气中会发生融化以及气化,吸收周围的热量导致当地温度下降。当地气温在0℃上下波动时,处于阁楼表面和内部所含的水分的冻结和融化交替出现,水的结冰膨胀与融化渗透会对中原阁楼建筑空间环境的组成部件产生应力影响,经过多次的冻融循环作用,建筑空间环境承受超极限的冻胀力,从而产生了建筑内部空间环境的冻害现象^[5]。

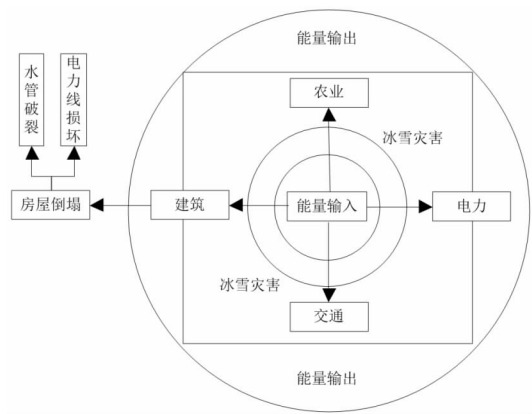


图2 冰雪灾害演化示意图

在冰雪灾害后,分析阁楼表面、内部水与冰的物理形态转换体积,水凝结成冰的物态变化会导致体积增长,且不同阁楼建筑材料的饱和点不同,导致不同材料的含水率存在差异,阁楼建筑材料的含水率计算公式为:

$$S = (D_s - D_{go}) / D_{go} \times 100\% \quad (1)$$

式中: S 表示建筑材料含水率, D_s 表示建筑材料中的水分的重量, D_{go} 表示完全干燥后建筑材料的重量。

则冰雪灾害对阁楼建筑造成冻害的速度计算公式为:

$$V_b = (D_s - D_{go}) / D_{go} \times D_{go} / \rho_0 \times 9\% \quad (2)$$

式中: ρ_0 表示完全干燥后建筑材料的密度。

不同程度的冰雪灾害对中原阁楼建筑空间环境的冻害程度不同,因此在冻害机理的分析中需要了解阁楼建筑承受冰雪灾害的程度。表1表示的是冰雪灾害的等级划分标准。

表1 冰雪灾害等级划分及描述

雪灾等级	等级描述	雪灾等级划分标准
1	轻度冰雪灾害	24 h降雪量达到7.5 mm,或积雪深度达到7.5 cm
2	中度冰雪灾害	24 h降雪量达到10 mm,或积雪深度达到10 cm,伴随4~5级的瞬时风力
3	重度冰雪灾害	24 h降雪量达到15 mm,或积雪深度达到15 cm,伴随4~5级的瞬时风力
4	特重冰雪灾害	24 h降雪量达到20 mm,或积雪深度达到20 cm,伴随4~5级的瞬时风力

3 分析中原阁楼建筑空间环境冻害表现

在搭建的中原阁楼建筑空间环境模型下,综合冰雪灾害的模拟演化结构,观察并分析建筑空间内冻害的具体表现。建筑的冻害大体可以分为三个类别,分别为墙体表皮脱落与开裂、衬砌漏水与挂冰以及建筑构件腐蚀等等^[6]。以中原阁楼建筑空间环境中墙体裂缝冻害表现形式为例,墙体裂缝的走向由内部应力状态来决定,裂缝走向分为横向、纵向以及斜向三种。通过对墙体裂缝的分析,可以确定冰雪灾害在建筑外墙上的作用方向,以及建筑的应力方向,进而确定冻害机理,具体冰雪灾害对阁楼建筑造成冻害的形式如图3所示。

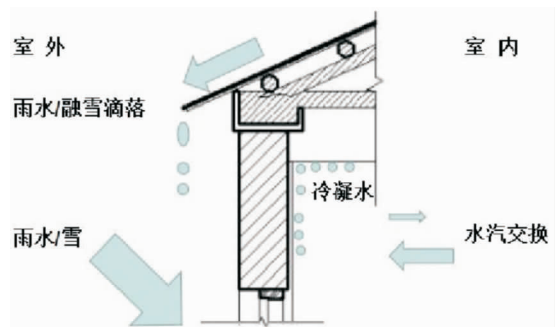


图3 冰雪灾害对阁楼建筑冻害模式

4 阁楼建筑空间环境温度-湿度-应力耦合影响分析

为了能够科学、合理、有效地针对中原阁楼建筑空间环境的冻害进行预防与治理,根据冰雪灾害的演化结果,结合建筑冻害的具体表现形式,实现对建筑冻害的量化分析^[7]。通过考虑建筑空间环境温度与湿度对建筑体变形的影响,进行温度、湿度以及应力之间的耦合分析,另外在此次影响分析研究中,除了需要考虑温度、湿度和应力场外,还需要考虑冻融以及受力引起的损伤的耦合。其中环境温度与应力时间的关系如图4所示。

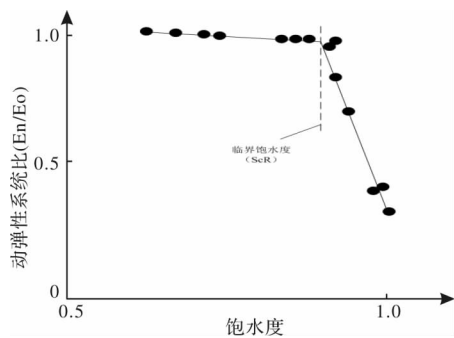


图4 环境湿度与力学性能的关系

在冰雪灾害的影响下, 中原阁楼建筑空间环境内的空气湿度与温度的分布与传播具有相似的规律, 其中湿度的分布与传播规律可以用公式(3)来表示。

$$\partial(\rho C) \partial t + [-\mu/S_c \nabla C] = Q_c \quad (3)$$

式中: C 表示中原阁楼环境中的水蒸气浓度, ρ 表示建筑环境中的水蒸气密度, μ 表示标准大气压下的湿度值, S_c 表示施密特数, 该参数的取值为常量, 公式(3)得出的结果 Q_c 为阁楼建筑环境的湿度项^[8]。然而在中原阁楼环境中空气的湿度会随冰雪灾害温度的变化而发生变化, 因此在充分考虑空气湿度的前提下, 以阁楼建筑中的温度变化为变量, 以公式(1)为基础得到阁楼建筑空气湿度的能量方程为:

$$\partial(\rho T) / \partial t + \nabla[-\mu/S_c \nabla C] - \rho D_{12} (C_{p1} - C_{p2}) \nabla T \times \nabla C = Q_c \quad (4)$$

式中: D_{12} 表示受温度影响建筑内水分扩散系数, 而 C_{p1} 和 C_{p2} 分别对应的是水蒸气和空气的热容值, ∇T 为单位时间内温度的变化量, T 表示测试时间。经历冰雪灾害后, 降落在建筑表面的水分逐渐向内部渗透, 当外界的温度低于 0°C 时, 渗透到内部的水逐渐结冰, 也就形成了阁楼建筑内部的冻胀力^[9]。建筑冻胀特性通常用冻胀率来表示:

$$\eta = \Delta V / V \quad (5)$$

式中: V 表示外界温度为 0°C 以上时阁楼局部建筑的体积, ΔV 表示冻结后建筑体积的膨胀量。由此便可以得出冻胀力的具体取值, 结合空间环境中温度和湿度的变化, 可以得出温度-湿度-应力之间的变化与循环关系。

5 空间环境冻害机理分析结果

冰雪灾害后中原阁楼建筑空间环境的冻害机理大致可以分为物理冻害机理和化学冻害机理两个部分, 其中物理冻害机理主要是利用渗透进入建筑内部的水分, 受到温度影响产生冻胀力而引起的冻害, 而化学冻害机理是冰雪中的酸性物质与建筑主体中的碱性物质发生反应, 而引起的腐蚀现象^[10]。图5表示的是中原阁楼建筑冻胀冻害机理的组成与实现情况。从图5中可以看出冻胀冻害机理主要利用了冰雪灾害中水分的迁移作用和温度影响下的成冰作用。由于水分迁移导致建筑主体的冻胀量增大, 在冻结的过程中产生原位冻胀和分凝冻胀, 这也就是中原阁楼建筑环境空间中的冻胀破坏机理。

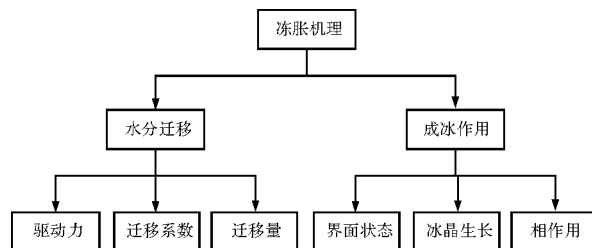


图5 冻胀破坏机理示意图

6 模拟实验分析

6.1 选择实验中原阁楼建筑环境

在验证冻害机理分析结果的模拟实验中, 选择合适的城市建筑样本是研究建筑空间环境冻害的前提。在实验环境的选择中需要满足两个条件, 第一个是样本实验环境需要具备冰雪灾害发生的气候特点和地质条件, 第二点是选取的城市建筑样本的初始状态为良好状态, 有助于冻害研究的数据准确性。

6.2 模拟实验流程

模拟实验大致可以分为四个步骤, 首先模拟冰雪灾害, 在实验中原阁楼建筑上形成可见的冻害现象, 其中由于冰雪灾害造成的墙体表面脱落冻害现象(图6)。



图6 阁楼建筑冻害表现示意图

在此基础上分别应用设计的与传统的机理分析方法进行冻害机理分析, 并得出分析结果。参考得出的冻害机理分析结果提出治理与修复方案, 并予以实施。最终通过力学试验对修复结果进行测试, 使用的力学测试设备如图7所示。



图7 中原阁楼建筑抗折实验设备

6.3 中原阁楼建筑的修复结果分析

通过调整力学试验的温度, 在恒定受力的情况下分析阁楼建筑的形变量, 进而判断建筑的修复效

果,间接地得出设计的冻害机理分析方法的有效性。通过对相关数据的统计与计算得出有关于建筑形变的实验结果如表2所示。从表2中的数据可以看出,在中原阁楼建筑的修复工作中,应用设计的冻害机理分析方法可以降低修复建筑的形变量,在温度为 -10°C 时,修复建筑形变量下降最为明显。

表2 测试实验结果

温度/ $^{\circ}\text{C}$	参考传统冻害机理 分析结果的修复建筑 形变量 $v/\times 10^{-6}\text{h}^{-1}$	参考设计冻害机理 分析结果的修复建筑 形变量 $v/\times 10^{-6}\text{h}^{-1}$
+20	3622	2619
0	2524	1067
-10	3877	2155
-20	4024	3524

6.4 中原阁楼建筑的墙体水线

通过上述研究可知,阁楼建筑空间环境的冻害程度主要受水分迁移的影响,出现酥粉、开裂以及泛碱的现象,但是需要注意的是,中原地区的夏季(7、8月份)空气炎热且含水量增加,导致建筑阁楼墙体水线增加,因此研究冰雪灾害后的冻害程度,需针对12月-次年3月的阁楼建筑墙体水线。选取建筑阁楼墙体上、中、下三个测试点墙体水线分析。分析结果如图8所示。

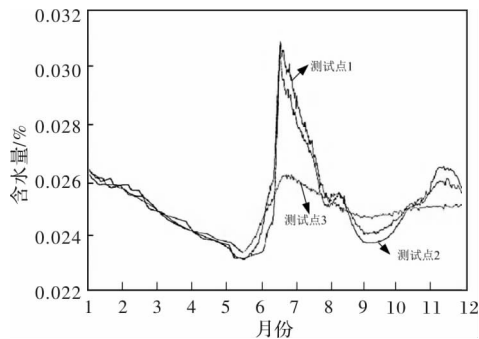


图8 墙体水线

分析图8可知,除夏季7、8月份的含水率较高外,从11月份开始至次年3月,墙体的含水率均高于0.024%。这是由于受冬季冰雪的影响,冰雪融化会大大增加墙体的含水量,在寒冷的环境中建筑外墙体会受到严重的冻害。

7 结束语

中原阁楼建筑空间环境冻害现象产生的原因较为复杂,不同的建筑结构由于其使用原料、结构形式以及施工水平的不同,产生冻害的原因与程度不同。通过对冻害机理的分析可以及时地制定相应的预防措施,从而抑制阁楼故障情况的发生。

参考文献:

- [1] 刘存发. 建筑空间构成元素在建筑设计中的应用[J]. 建材与装饰, 2017(30): 63-65.
- [2] 闻伟国, 王永. 建筑空间构成元素在建筑设计中的运用研究[J]. 工程技术研究, 2018(5): 27-28.
- [3] 吴广学. 分析环卫工程冻害事故处理及预防措施[J]. 民营科技, 2017(3): 118-118.
- [4] 巨洪波. 田恒铁路摩天岭隧道混凝土冻害原因防治施工技术[J]. 建筑机械, 2017(6): 132-136.
- [5] 朱理立. 浅析冰雪灾害对福建某高速沥青路面使用性能影响[J]. 福建交通科技, 2018(3): 39-42.
- [6] 汤晓光. 寒区客运专线有砟轨道路基冻害整治技术[J]. 铁道建筑, 2018, 58(6): 93-96.
- [7] 吴建超. 浅析冰雪灾害对福建某高速沥青路面使用性能影响[J]. 福建交通科技, 2018(3): 39-42.
- [8] 王永智. 季冻土地区机场道面冻胀规律与防治措施研究[J]. 低温建筑技术, 2019, 41(4): 123-125.
- [9] 王海龙, 刘畅. 高寒地区围岩冻胀对已有裂缝隧道安全性的影响[J]. 铁道建筑, 2018, 58(6): 70-75.
- [10] 李闯, 刘晓兵, 刘文杰, 等. 深基坑支护体系冻胀变形数值分析[J]. 岩土工程技术, 2019(1): 49-54.

Analysis on the Mechanism of Freezing Damage to the Space Environment of Loft Buildings in Central China after the Ice Snow Disaster

SHI Qingjing¹, BAI Cun^{1,2}, ZHAO Juan¹ and XIE Changqun¹

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Shang Qiu University, ShangQiu 476000, China;

2. College of Architecture and Civil Engineering, XuChang University, XuChang 401000, China)

Abstract: Building frost damage is one of the derivative disasters of ice and snow disaster. In order to reduce the damage to the building, taking the attic building in Central China as an example, we analyze the mechanism of ice and snow disaster on the building space environment. Based on the Central Plains loft building structure, the building space environment model is built. In this model, the process of ice and snow disaster is simulated, and the concrete performance of building frost disaster is analyzed. Under the influence of temperature and humidity, the paper analyzes the frost heave force and mechanical property change of the space environment of the Central Plains attic building, obtains the analysis results of the mechanism of the freezing damage of the attic building, and applies the analysis results to the actual building repair work, and verifies the freezing damage of the space environment of the Central Plains attic building after the ice and snow disaster through the repair rate.

Key words: ice disaster; loft building; architectural space environment; freeze injury mechanism; environmental model; frost heave force; mechanical properties