

王静, 宋殿义. 机场建筑结构防灾性能分析[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 43-47. [WANG Jing, Song Dianyi. Analysis of Disaster Prevention Performance of Airport Building Structure[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 43-47. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.010.]

# 机场建筑结构防灾性能分析\*

王静<sup>1,2</sup>, 宋殿义<sup>3</sup>

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410000; 2. 武警湖南总队, 湖南 长沙 410008;  
3. 国防科学技术大学, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 针对传统机场建筑结构防灾性能分析方法存在动力加载性能较差且耗时较长的问题, 该文提出一种机场建筑结构防灾性能分析方法, 首先获取机场建筑的具体建筑结构数据, 对机场建筑结构进行网格划分与灾害区域计算, 从而构建机场建筑结构的 FDS 信息文件。然后对机场建筑结构进行灾害模拟, 根据模拟结果得到机场建筑结构灾害下的荷载传递, 从而获取机场建筑结构灾害传力途径, 在此基础上构建机场建筑结构灾害动力响应模型, 对机场建筑结构实施动力响应分析, 实现机场建筑结构防灾性能分析。

**关键词:** 机场; 建筑结构; 防灾性能; 灾害模拟; 荷载传递; 支模方案

**中图分类号:** TU43; X43; X45; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)04-0043-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.010

机场作为区域的交通枢纽中心, 由于其建筑结构的特殊性, 受到了大众的瞩目<sup>[1]</sup>。一旦机场发生爆炸或灾害, 将会造成重大经济损失, 甚至可能造成人员伤亡, 从而影响国家形象, 破坏社会安定性<sup>[2]</sup>。为此必须保障机场建筑结构的安全性, 从根本上保障机场安全。随着我国的迅速发展, 中国特色的文化与景观吸引了大批海外旅客。国外驻华机构、旅游景点、宾馆、机场、车站、体育场馆等公共设施成为面向国际社会的重点区域, 而机场又是交通运输的重要场所。

对于机场而言, 最容易发生的灾害事故就是爆炸事故与撞击事故, 这两种事故都很容易造成人员伤亡。发生伤亡的情况主要是两方面原因, 第一是机场建筑结构在受到爆炸冲击或撞击冲击时, 容易发生连续性的建筑倒塌, 从而带来严重的破坏性, 造成财产损失与人员伤亡<sup>[3]</sup>。在发生爆炸事故与撞击事故时, 机场建筑结构的一根或者几根柱遭受破坏, 其周围的建筑梁板会在竖向方向失去承载力, 进而破坏周围的其他墙体, 使机场建筑结构发生连续性大规模倒塌, 放大灾害事故本身的危害。这是由于机场建筑结构的体量往往十分巨大, 并大量采用张弦梁、钢管桁架、树状支撑、张拉膜、悬索、薄壳等机构形式或混合使用这些结构形式, 这是为了保障机场具有开阔的内部空间与较大的跨度, 而这种结构十分不

利于防止建筑的连续性大规模倒塌。第二就是机场建筑结构中存在大规模的玻璃幕墙<sup>[4]</sup>。在发生爆炸事故与撞击事故时, 玻璃幕墙由于材料自身的脆性较低很容易遭受断裂破坏, 其碎片容易造成人员伤亡。为了防止发生人员伤亡的悲剧, 提出一种机场建筑结构防灾性能分析方法。

## 1 设计机场建筑结构防灾性能分析方法

### 1.1 机场建筑结构灾害模拟

通过 FDS 软件对机场建筑结构进行灾害模拟, 具体模拟方式是首先获取机场建筑的具体建筑结构数据, 包括机场建筑的防灾设施、开口位置、内部建筑结构、具体建筑尺寸等, 接着对机场建筑结构进行网格划分与灾害区域计算, 构造机场建筑结构的具体结构, 从而构建机场建筑结构的 FDS 信息文件<sup>[5]</sup>。然后执行 FDS 对机场建筑结构实施灾害模拟, 在模拟中需要对 FDS 的具体收敛性进行监控, 并通过 ViEWSMOKE 功能对执行正确性进行确认。最后利用 ViEWSMOKE 功能对灾害模拟结果进行查看, 并对模拟的合理性进行确认<sup>[6]</sup>。具体模拟步骤如图 1 所示。

\* 收稿日期: 2020-01-17 修回日期: 2020-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51678296)

第一作者简介: 王静(1984-), 女, 汉族, 湖南益阳人, 博士, 主要从事机场建筑结构防灾性能分析研究。

E-mail: wangjing4597@yeah.net

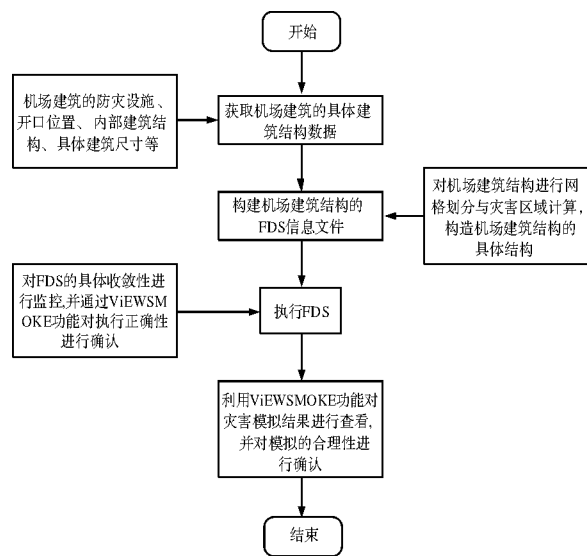


图1 机场建筑结构灾害模拟步骤

在对机场建筑结构进行灾害模拟时, 还需要对机场建筑结构发生灾害事故时的疏散时间进行设置, 包括灾害事故必须疏散时间与灾害事故可用疏散时间, 根据影响因素对二者进行设置, 其具体影响因素如表1所示<sup>[7]</sup>。

表1 疏散时间具体影响因素

疏散时间	定义	具体影响因素
灾害事故必须疏散时间	发生灾害事故至人员撤离到安全区的用时	事故探测时间 预躲避时间 运动可疏散时间
灾害事故可用疏散时间	发生灾害事故至事故威胁人员人身安全的时间	事故危险状态 机场建筑结构 抗灾指数

### 1.2 获取机场建筑结构灾害传力途径

基于机场建筑结构灾害模拟结果, 获取机场建筑结构灾害下的荷载传递, 从而获取机场建筑结构灾害传力途径<sup>[8]</sup>。荷载传递的获取首先需要获取机场建筑结构的整体支模方案(图2)。

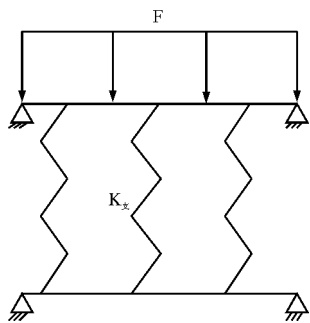


图2 机场建筑结构的整体支模方案

设机场建筑结构模板为分布均匀、连续的弹性支撑, 则灾害发生时机场建筑结构的受力承载体系可以直接简化成连续板<sup>[9]</sup>。根据机场建筑结构灾害时的变形协调情况, 可以获取机场建筑结

构灾害下的荷载情况。

$$F_u = k_u \delta_u = k_u (\delta_d + \delta_s) = k_u \left( \delta_d + \frac{F_d}{k_s} \right) \quad (1)$$

式中:  $F_u$  代表机场建筑结构灾害下的荷载情况;  $k_u$  代表上部楼板的灾害承受荷载;  $\delta_u$  代表上部楼板的灾害变形情况;  $\delta_d$  代表下部楼板的灾害变形情况;  $\delta_s$  代表机场建筑结构支撑架的灾害变形情况;  $F_d$  代表下部楼板的灾害承受荷载;  $k_s$  代表机场建筑结构支撑架的整体刚度<sup>[10]</sup>。

计算机场建筑结构灾害时各处的荷载情况从而获取机场建筑结构灾害下的荷载传递<sup>[11]</sup>。根据荷载传递绘制灾害时机场建筑结构各种支撑部位的对应内力曲线, 包括板中支撑曲线、板边支撑曲线、其他支撑曲线(图3)。

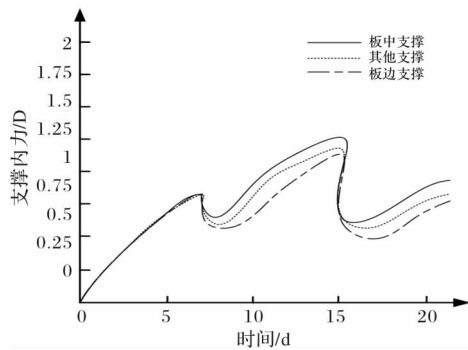


图3 灾害时机场建筑结构各种支撑部位的对应内力曲线

根据灾害时机场建筑结构各种支撑部位的对应内力曲线获取机场建筑结构灾害传力途径。

### 1.3 机场建筑结构防灾性能分析

以获取的机场建筑结构灾害传力途径为依据, 构建机场建筑结构灾害动力响应模型, 对机场建筑结构实施动力响应分析, 从而实现机场建筑结构防灾性能分析<sup>[12-13]</sup>。构建机场建筑结构灾害动力响应模型首先需要获取机场建筑结构的力学与几何参数, 具体如表2所示。

根据机场建筑结构的力学与几何参数对机场建筑结构实施动力响应分析, 获取机场建筑结构的应力峰值随灾害的变化情况, 包括横向正应力、纵向正应力、竖向正应力与平面内剪应力的峰值变化情况, 其中平面内剪应力分为三种, 包括  $xy$  轴剪应力、 $zx$  轴剪应力、 $yz$  轴剪应力<sup>[14]</sup>。在不同灾害下, 选取不同应力, 根据应力具体峰值变化情况, 绘制应力灾害下的时程变化曲线。根据时程变化曲线判断发生灾害事故的情况下, 应力峰值是否大于机场建筑结构的最大承受值以及承受时间, 最后综合机场建筑结构的整体强度与受灾处强度对机场建筑结构防灾性能进行判断, 实现机场建筑结构防灾性能分析<sup>[15]</sup>。

表 2 机场建筑结构的力学与几何参数

	结构层	阻尼常数 /(β/s)	阻尼常数 /(α/s)	泊松比	质量密度 /(kg/m³)	弹性模量 /MPa	厚度/m
刚性结构	楼板	0.0.2	0.1	0.2	2500	37000	0.8
	柱	0.001	0.1	0.25	2200	1600	0.6
	梁	0.002	0.1	0.25	2480	1900	0.7
	建筑构件	0.001	0.1	0.2	2200	1600	0.2
柔性结构	垫层	0.001	0.1	0.3	2100	300	0.5
	岩层	0.02	0.1	0.2	1800	26	0.6
	土层	0.0002	1	0.25	2500	60000	0.4

2 实验设计与结果分析

2.1 设计对比实验

为了验证所设计的机场建筑结构防灾性能分析方法的效果和可行性，设置实验进行分析。其实验机场环境为支线机场、4c 级飞行等级，机场的地形较为平坦。首先获取实验机场建筑结构的相关数据，利用这些数据构建实验机场建筑结构模型，然后再通过动力实验装置模拟机场发生的灾害事故，选择事故类型为撞击事故，具体模拟机场内部环境如图 4 所示。实验加载的具体工况如表 3 所示。根据表 3 数据对机场建筑结构防灾性能进行分析，为了保证本次实验结果具备有效性，将传统建筑结构防灾性能分析方法，包括基于传递函数曲线、基于弹塑性分析的建筑结构防灾性能分析方法，与本文设计的机场建筑结构防灾性能分析方法进行对比实验。比较各个建筑结构防灾性能分析方法的动力加载性能。判断动力加载性能的依据是动力加载曲线高度的一致性，动力加载曲线高度越趋近一致，则建筑结构防灾性能分析方法的动力加载性能越强；反之，动力加载曲线高度越错落，则建筑结构防灾性能分析方法的动力加载性能越差。



图 4 模拟机场内部环境

表 3 实验加载的具体工况参数设置

工况编号	控制位移单边 幅值/mm	工况编号	控制位移单边 幅值/mm
1	5	11	8
2	5	12	8
3	5	13	9
4	6	14	9
5	6	15	9
6	6	16	10
7	7	17	10
8	7	18	10
9	7	19	11
10	8	20	11

2.2 实验结果分析

基于传递函数曲线的建筑结构防灾性能分析方法的动力加载性能实验结果如图 5 所示。基于反应谱法的建筑结构防灾性能分析方法的动力加载性能实验结果如图 6 所示。机场建筑结构防灾性能分析方法的动力加载性能实验结果如图 7 所示。

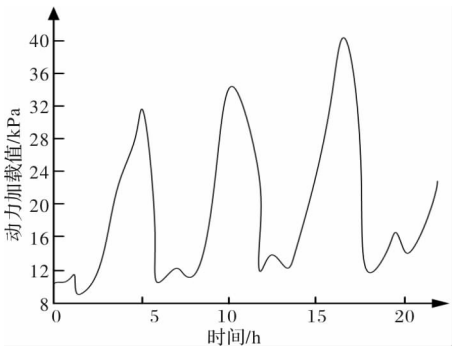


图 5 传递函数曲线方法的动力加载性能实验结果

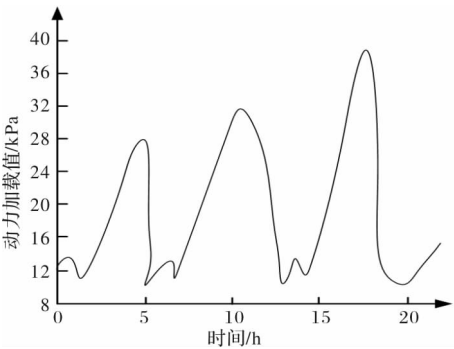


图 6 反应谱法方法的动力加载性能实验结果

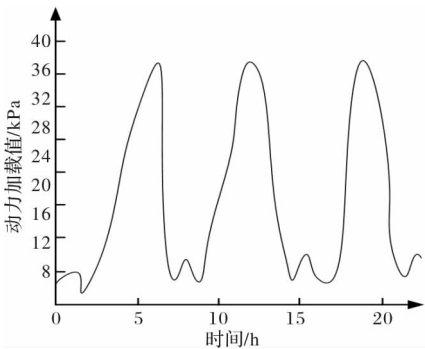


图 7 本文方法的动力加载性能实验结果

根据图 7 的动力加载性能实验结果可知, 基于传递函数曲线的建筑结构防灾性能分析方法动力加载曲线高度较为错落, 其动力加载性能较差; 基于反应谱法的建筑结构防灾性能分析方法动力加载曲线高度最不整齐, 其动力加载性能在几种实验方法中最差; 而机场建筑结构防灾性能分析方法动力加载曲线高度最为整齐, 其动力加载性能在几种实验方法中最好。

为了进一步验证本文方法的效果, 随机抽取上述实验中本文方法、基于传递函数曲线、基于弹塑性分析的建筑结构防灾性能分析三种方法的 10 次耗时情况, 其对比结果如表 4 所示。由表 4 可知, 在随机抽取的 10 次实验耗时结果的数据中, 本文方法研究机场建筑结构防灾性能分析所需时间比基于传递函数曲线方法和基于弹塑性分析方法的时间少。本文方法研究机场建筑结构防灾性能分析的耗时均值为 0.15 h, 基于传递函数曲线方法的耗时均值为 0.351 h, 基于弹塑性分析方法的耗时均值为 0.329 h。由此可见, 本文方法实验所需耗时最短, 在研究机场建筑结构防灾性能分析效率高。其原因是在进行机场建筑结构灾害模拟时, 本文方法获取机场建筑结构灾害下的荷载传递, 从而获取机场建筑结构灾害传力途径, 在一定程度上节约大量时间。

表 4 三种方法分析耗时对比结果

实验次数/次	耗时/h		
	本文方法	基于传递函数曲线方法	基于弹塑性分析方法
1	0.1	0.35	0.32
2	0.1	0.34	0.35
3	0.2	0.34	0.21
4	0.1	0.36	0.43
5	0.1	0.36	0.22
6	0.1	0.38	0.34
7	0.3	0.36	0.32
8	0.1	0.38	0.34
9	0.3	0.27	0.33
10	0.1	0.37	0.43
均值	0.15	0.351	0.329

### 3 结束语

机场建筑结构防灾性能分析方法提升了机场

建筑结构防灾性能分析时的动力加载性能, 能够获取各机场建筑结构的具体防灾指数并推敲出建筑的薄弱结构, 为灾害的发生做好准备, 降低因机场灾害引起的财产伤亡与人员伤亡。实验研究结果表明, 本文方法进行机场建筑结构防灾性能分析加载性能强, 耗时较短, 效率更高。

### 参考文献:

- [1] 刘晓松, 吴永昌, 许文君, 等. 某机场 APM 线站台屏蔽门样机结构性能检测及分析[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(7): 34-36.
- [2] 杨彦明. 常时微动观测在砖混结构建筑群振动特性及抗震能力快速判断中的应用[J]. 震灾防御技术, 2019, 14(2): 363-375.
- [3] 吴海波, 王新妮. 立面不规则隔震结构的抗震性能分析[J]. 建筑技术, 2018, 49(1): 80-83.
- [4] 何浩祥, 陈奎, 王小兵. 梁端填充低屈服点钢材的梁柱连接减震性能试验与损伤分析[J]. 建筑结构学报, 2017, 38(5): 1-10.
- [5] 黄明利, 申巧凤, 申荣杰. 单洞双线盾构隧道扩挖地铁车站方案研究[J]. 现代隧道技术, 2017, 54(6): 15-23.
- [6] 文波, 张路, 姜孝勇. 村镇建筑装配整体式配筋砌体结构的抗震性能研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2018, 38(4): 649-657.
- [7] 徐增茂, 马克俭, 郑晋阳, 等. 蜂窝型钢空腹夹层板等代模型下高层建筑结构特性差异分析[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2018, 43(5): 1843-1850.
- [8] 周颖, 张立迅, 王承佑, 等. 地铁上盖单塔框架-剪力墙结构与框架结构抗震性能试验对比研究[J]. 结构工程师, 2017, 33(6): 135-145.
- [9] 胡瑛, 裴利剑, 韩春秀. 基于 BIM 的建筑砌体结构抗震性能评估方法研究[J]. 地震工程学报, 2019, 41(1): 221-226.
- [10] 林健康, 杨文伟, 马朝. 大跨度钢-混凝土混合结构协同工作性能分析[J]. 工业建筑, 2019, 49(2): 155-162.
- [11] 薛建阳, 路鹏, 董晓阳. 古建筑木结构歪闪斗拱抗震性能的 ABAQUS 有限元分析[J]. 世界地震工程, 2017, 33(4): 11-17.
- [12] 刘小华, 刘盼盼, 孟春辉. 不同构造形式节点域箱形加强式工字形柱弱轴连接削弱型节点抗震性能分析[J]. 建筑钢结构进展, 2019, 21(2): 64-74.
- [13] 魏保立, 郭成超, 崔璨. 飞机滑行荷载对机场道面的随机振动效应分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(16): 101-106.
- [14] 张国伟, 孙祚帅, 赵紫薇, 等. 基于 OpenSees 摇摆防屈曲支撑钢框架抗震性能分析[J]. 工程抗震与加固改造, 2019, 41(2): 20-24.
- [15] 马文妹. 重大自然灾害中基于 BIM 模型的道路重建造价成本控制算法[J]. 灾害学, 2019, 12(2): 67-71.

## Analysis of Disaster Prevention Performance of Airport Building Structure

WANG Jing

(College of Civil Engineering, Hunan university, Changsha 410000, China)

**Abstract:** In view of the problem of poor dynamic loading performance and long time-consuming in the traditional airport building structure disaster prevention performance analysis method, we propose an airport building structure disaster prevention performance analysis method. First, obtain the specific building structure data of the

airport building, grid division and disaster area calculation of the airport building structure, so as to build the FDS information file of the airport building structure. Then, the disaster simulation of the airport building structure is carried out. According to the simulation results, the load transmission under the disaster of the airport building structure is obtained, so as to obtain the way of the disaster transmission of the airport building structure. On this basis, the dynamic response model of the airport building structure is constructed, and the dynamic response analysis of the airport building structure is carried out to realize the disaster prevention performance analysis of the airport building structure. Finally, a comparative experiment is set up. The results show that the dynamic loading performance of this method is better, and the experimental time is shorter, which can effectively achieve the analysis of the disaster prevention performance of airport building structure.

**Key words:** airport; building structure; disaster prevention performance; disaster simulation; load transfer; formwork support scheme;

(上接第 12 页)

- [27] 董建林, 邹受益, 邹立杰. 内蒙古自治区沙尘暴的分布特征及其影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(5): 67-72.
- [28] 李宽, 熊鑫, 王海兵, 等. 内蒙古西部高频沙尘活动空间分布及其成因[J]. 干旱区研究, 2019, 36(3): 657-663.
- [29] 黄晓璐, 荀学义, 赵斐. 内蒙古强对流天气时空演变特征分析[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(3): 287-291.
- [30] 史培军, 吕丽莉, 汪明, 等. 灾害系统: 灾害群、灾害链、灾害遭遇[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(6): 1-12.
- [31] 田哲. 电网冰灾防治及冰灾风险评估技术研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.
- [32] 贾冠伦. 电网山火灾害风险评估模型与对策研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2018.
- [33] 李泽椿, 毕宝贵, 金荣花等. 近 10 年中国现代天气预报的发展与应用[J]. 气象学报, 2014, 72(6): 1069-1078.

## Analysis of Natural Disaster Chain in Inner Mongolia Power System

SUN Baojun

(Department of Computer Information and Management, Inner Mongolia University of Finance and Economics, Hohhot 010070, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that the research of power system natural disaster focuses on the grid side fault, less on the perspective of disaster chain, taking four kinds of natural disasters as examples, the construction and analysis of Inner Mongolia power system natural disaster chain are carried out. Based on the summary of natural disaster characteristics and power system in Inner Mongolia Autonomous Region, We analyze the natural disaster chain and fault chain of power system from the macro and micro perspectives, respectively constructs four kinds of power system disaster chain and 10 kinds of fault chain caused by natural disasters, combs the coupling relationship between them, and sums up the relationship between them The disaster pregnant environment, disaster causing factors and characteristic factors. Finally, the concept of binary system and generalized disaster environment of power system natural disaster chain is discussed, which provides technical reference for power system disaster prevention and control.

**Key words:** electric power system; natural disaster; fault chain; disaster chain