

杨莹, 王潇, 曲娜, 等. 地震风险、损失评估及保险方案探究——以机场航站楼为例 [J]. 华北地震科学, 2021, 39(4): 1-7. doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2021.04.001.

YANG Ying, WANG Xiao, QU Na, et al. Earthquake Risk, Loss Assessment and Insurance Options —— A Case Study of Airport Terminals[J]. North China Earthquake Sciences, 2021, 39(4): 1-7. doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2021.04.001.

地震风险、损失评估及保险方案探究 ——以机场航站楼为例

杨莹, 王潇*, 曲娜, 刘天奇

(沈阳航空航天大学 安全工程学院, 沈阳 110000)

摘要:从机场航站楼系统在地震作用下的结构响应和破坏特征入手,介绍了 HAZUS 灾害评估与直接经济损失的框架和理论模型;以某机场航站楼遭受地震烈度为 8 的地震为例,定量计算地震的潜在损伤概率,再根据损伤概率计算其直接经济损失,并给出财产损失保险建议,研究表明,当航站楼处于烈度为 8 的地震风险时,该建筑的各个系统处于不同的损伤概率,其中处于轻微损伤的系统较多,其概率高达 33%,直接经济损失约为 1531.404 万元;最后对其进行保险方案探究。该研究可以为机场航站楼防灾备灾的风险决策提供参考依据。

关键词:机场航站楼;地震;HAZUS 风险评估;直接经济损失评估;保险

中图分类号: P943; X43

文献标志码: A

文章编号: 1003-1375 (2021) 04-0001-07

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2021.04.001

0 引言

城市生命线是一个巨大且复杂的系统,交通运输系统又是维系城市功能的重要生命线。城市交通运输系统包含诸多子系统。其中,机场运输系统作为架设空中生命线的桥头堡,是远程人员和货物运输的主要渠道,机场航站楼作为机场最为重要的系统之一,具有人员聚集、设备设施昂贵等特点,所以地震一旦发生,后果不堪设想。近年来国内外有诸多地震影响机场运输系统的事故发生,如菲律宾北部发生 6.1 级地震导致克拉克机场严重受损,机场在该次事故中虽无人员伤亡,但却有近千人被困机场,造成直接经济损失高达近千万元;土耳其东部发生 7.3 级地震,导致凡城机场多处建筑物轻微受损,使得机场多架客机被迫转移至邻近城市;玉树 7.1 级地震,导致机场跑道受损,直接造成飞机无法正常起飞和降落,同时使得玉树震区空中应急救援工作无法展开,大大降低该地区应急救援工作效

率^[1]。由此可见,地震对机场运输系统危害巨大。

国外对于地震风险分析系统的研究较为成熟。早在 20 世纪 70 年代,美国就通过立法要求在地震易发区进行地震风险评价,而对于生命线系统的分析也从 70 年代就开始了。Sarkani S 等人对美国东部地区土-结构相互作用进行地震反应分析及易损性评定^[2]; Ikeda 对公路系统进行易损性评估,假定易损性曲线为两参数正态分布的形式,并利用大量数据进行实验验证^[3]; 1997 年,美国联邦紧急事务管理署和国家建筑科学研究所经过大量研究,联合开发出来 HAZUS97 方法,使得建筑物及生命线系统的地震灾害预测更为准确^[4]。两单位在 HAZUS97 的基础上提出了 HAZUS99 的方法,之后许多研究者利用该方法对美国的其他州和地区的建筑物及生命线进行了地震风险及损失分析,该方法还在持续改进中,使得风险、损失及次生灾害分析更为全面^[5-6]。HAZUS 方法作为较为成熟的生命线分析方法一直延续使用至今,并被许多国家引进使用。但

收稿日期:2021-03-11

基金项目:辽宁省自然科学基金(20180550746);国家自然科学基金(61901283);辽宁省教育厅项目(JYT19038);辽宁省自然科学基金项目(2020-BS-175)

第一作者简介:杨莹(1997—),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,主要从事灾害预防与应急救援领域研究。E-mail: 1323820395@qq.com

* 通讯作者:王潇(1980—),女,辽宁沈阳人,讲师,博士,主要从事公共安全应急救援、风险评估、设备维护等领域研究。E-mail: 761385745@qq.com



就国外地震风险分析系统而言,对于生命线系统地震脆弱性研究较为透彻,但是相对缺少地震风险分析与保险相结合讨论的风险评估体系。

国内地震风险分析系统形成较晚。对于地震易损性的分析最早是在 20 世纪 80 年代,杨玉成等人对房屋的易损性进行较为系统的分析和研究^[7];随后,高小旺等开始通过数据计算不同地震烈度下结构失效概率问题^[8];成小平等提出采用神经网络模型分析地震易损性^[9]。对于生命线系统分析,最早是清华大学刘晶波教授与美国黄洪谋教授于 1985 年合作开始的,研究了钢筋混凝土桥梁结构的地震易损性^[10];1995 年黄龙生应用模糊数学方法,以历史地震资料为基础,对群体公路桥梁进行震害预测,并得到了地震易损性曲线^[11];同年,熊占路等人以华北地区供水系统为基础,综合考虑多种因素进行了多方面的理论和实际研究,提出了较为完善可靠的震害预测方法^[12]。对于中国而言,针对桥梁和公路分析较多,对其他生命线系统分析较为薄弱,且没有形成比较具体针对性的风险分析和评估系统。

综上,无论国内还是国外学者,只是对生命线的脆弱性、灾害预防、损失计算等进行单方面的研究,欠缺系统的风险评估框架。相比较而言,HAZUS 的方法是为数不多的针对于生命线系统进行具体分类分析的震害危险分析方法,且其风险分析也较为全面,具体包括风险评估、损失评估两个大方向;还具体可分为几大模块,如潜在制灾因子、直接损失、间接损失、社会损失、经济损失、间接经济损失等模块^[13]。本文利用该风险分析方法,可以通过灾害发生概率得到直接经济损失,避免了单方面的风险或损失评估,将二者相结合考虑,使得分析结果更为直观。本文在 SPA2000 软件的基础上从脆弱性、反应谱、需求谱、能力曲线、直接经济损失及保险设计几个方面对机场航站楼系统的地震风险进行综合分析,通过分析可以计算各系统损失概率、

直接经济损失,并给出财产损失保险意见。通过对机场进行震害风险分析,可以更加有效地把握脆弱环节,通过损失计算给出相应的保险方案,可以转移相关部门的损失,对机场运输系统灾害预防具有十分重要的意义。

1 风险评估流程介绍

本文建立的地震灾害易损性评价方法是将易损性曲线与能力-需求谱相结合来描述承灾体损伤程度概率的定量分析方法。首先,根据中国《建筑抗震设计规范》的抗震设计反应谱确定潜在地震风险,将反应谱转换为代表场地地震烈度的需求谱;参照 FEMA 有关能力曲线的设置,建立了抗震能力曲线;最后,结合能力曲线和需求谱确定性能点,并将性能点对应的响应峰作为脆弱性曲线输入,得到建筑物处于不同故障等级的概率,根据损伤概率计算直接经济损失^[14],并对其进行保险方案设计(图 1)。

1.1 机场系统损伤函数形式

据相关文献显示^[15-16],机场系统的易损性曲线是对数正态函数,该曲线给出了在一定的地面运动水平下达到或超过不同程度损坏的概率。而每个脆弱性曲线的特征是地面运动(或破坏)的中值和相关分散因子的函数,再根据峰值加速度(PGA)对地面运动进行量化,根据永久地面位移(PGD)对地面破坏进行量化。针对机场系统,其损伤函数主要包括两部分,分别是脆弱性曲线及能力曲线。

1) 脆弱性曲线

脆弱性曲线表明在给定地面震动强度下承灾体达到或超过某种破坏程度的累计概率。给定谱位移 S_d (或其他参数),处于或超过特定损伤状态的条件概率 d_s 由函数定义:

$$P[d_s | S_d] = \varphi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,ds}} \right) \right] \quad (1)$$

式中: d_s 为损伤程度; S_d (可替换为峰值地面加速度 S_a) 为峰值地面位移; $S_{d,ds}$ 为承灾体达到破坏程度

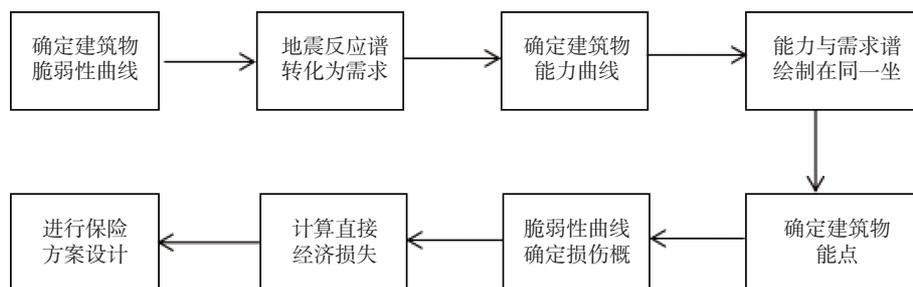


图 1 地震风险、损失评估流程图

d_s 所承受的峰值地面加速度的中位值; β_{ds} 为 S_d 取自然对数的标准差; φ 为标准正态分布累积函数

2) 能力曲线

能力曲线描述了谱加速度 S_a 与谱位移 S_d 之间的关系(图2), 承载力曲线由3个控制点组成, 即设计承载力(D_d 、 A_d)、屈服承载力(D_y 、 A_y)和极限承载力(D_u 、 A_u)。设计承载力代表抗震设计规范的要求; 屈服承载力是在考虑冗余设计和材料的应力强度时, 对承灾体进行保守估计的承载力; 极限承载力反映的是承灾体结构或构件达到最大承载能力或达到不适合连续承载的变形极限状态^[17]。一般认为, 结构在达到屈服承载力控制点之前是线性变化的, 因此通过计算屈服承载力和极限承载力可以确定承载力曲线。屈服承载力和极限承载力的计算公式如下:

$$\begin{aligned} A_y &= \frac{C_s \gamma}{\alpha 1} D_y; D_y = 9.8 A_y T_e^2; \\ A_u &= \lambda A_y; D_u = \lambda \mu D_y \end{aligned} \quad (2)$$

式中: C_s 为设计强度系数; T_e 为结构处于弹性状态时间, 单位 s; α 为结构处于静力弹塑性模式自重系数; γ 为屈服承载能力相对于设计承载能力的结构强度超过系数; λ 为极限承载能力相对于屈服承载能力的结构强度超过系数; μ 为延性系数。各系数在 HAZUS 技术手册中有明确的规定, 是根据建筑物类型来具体确定的。

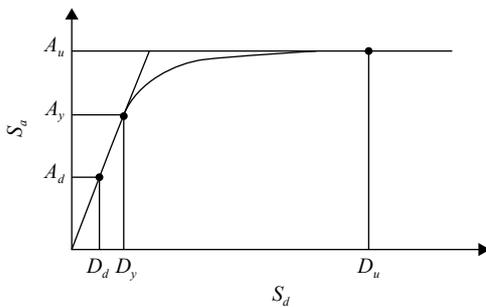


图2 能力曲线示例图

3) 需求谱

需求谱是对阻尼比为 0.05 的地震反应谱采用有效阻尼进行折减后得到的。设计能力点、屈服能力点和最终能力点定义了建筑能力曲线的形状^[18]。在能力曲线与需求曲线交点处的峰值构建响应(谱位移或谱加速度)是与脆性曲线一起用来估计损伤状态概率的参数。

1.2 机场系统直接经济损失

直接经济损失是结合了不同地面峰值加速度时发生不同损失在 2.1 中描述的损伤状态信息的一

种评估方法。在过去, 损失估计研究一般将损失的考虑限制在对建筑材料的修理和更换费用的估计上, 而 HAZUS 方法专门为城市生命线系统提供了直接经济损失的方法。

直接经济损失的计算基于:

- 1) 处于某种损伤状态的概率 ($P[D_s \geq ds_i]$);
- 2) 组件的替换值(各替换值均可通过查表得到);
- 3) 每种损伤状态 (ds_i) 的损伤比 (DR_i)。

处于某种损伤状态的概率计算公式如下:

$$\begin{aligned} P[D_s = ds_i | PGA \text{ or } PGD] &= P[D_s \geq ds_i | PGA \text{ or } PGD] \\ &- P[D_s > ds_i + 1 | PGA \text{ or } PGD] = P_2 \end{aligned} \quad (3)$$

复合损伤率计算公式如下:

$$DR_c = \sum_{i=2}^5 DR_i * P[ds_i] \quad (4)$$

公式(4)中: $P[ds_i]$ 为处于损伤状态 i 的概率, 1、2、3、4、5 与损伤状态无、轻微、中等、广泛、完整相对应。没有与损伤状态 1(级无损伤状态)相关的损失, 因此, 求和是从 $i=2$ 到 5;

DR_i 为损坏率: 机场系统部件的损坏率表示为部件更换成本的一部分。机场系统组件的损坏比率是根据其损伤状态来确定的^[19]。特别是, 燃料设施的损坏率是所有子部件的损坏率乘以它们各自占总部件(燃料设施)价值的百分比的总和。 DR_c 为复合损害比。

经济损失的评估方法是将复合损害比 (DR_c) 乘以替换值。

所谓直接经济损失替换值, 针对于机场系统而言, 各个建筑系统组件的替换值是根据其建筑材料分类来确定的。燃料系统是根据其是否进行锚定, 或是否埋于地下来确定的。

1.3 保险方案探究

据前节所述, 地震损失的发生是具有概率意义的。由此概率确定的直接经济损失正是地震保险中确定保额和费率的重要基础。由于地震保险具有特殊性, 其承保方案要区别传统企财险, 下面介绍具体方案。

1) 保险金额

保险金额主要由损失风险来决定, 还考虑建筑物所处地点和本身的重要性等因素^[20]。根据这一思路, 建议用建筑物的预期损失值乘以影响因素的系数因素来确定。如公式(5)所示:

$$EL(A) = \sum_{i=1}^m CJP_i(1 + \Phi_m + k) \quad (5)$$

式中: $EL(A)$ 考虑到各种损失风险的损失期间, 对单一建筑物的保险金额; C 为建筑物成本; J 为在 A_i 下建筑物的 i 类损坏的损失率; M 为类场地因子; K 为型利用系数, 主要考虑建筑物本身的用途; P_i 为发生 A_i 地震动参数的概率。

2) 费率

本文主要根据地震危险性等级和建筑物结构类型等因素确定基准费率(表1)。参照国外情况, 基准费率在 0.02%~0.53% 之间波动。结合中国国情, 本文选取 0.05%~0.45% 作为基准费率的浮动区间^[21]。在根据影响因素, 将其划分为以下等级, 便于确定基准费率。

表1 基准费率表 %

	钢筋混凝土结构	砖混结构	其他
低危地区	0.05~0.10	0.10~0.20	0.20~0.30
中危地区	0.10~0.20	0.20~0.30	0.30~0.40
高危地区	0.20~0.30	0.30~0.40	0.40~0.50

地震保险的纯费率还应在基础费率的基础上进行浮动, 具体如公式(6)所示:

$$r = r_i * \prod_{j=1}^3 j \quad (6)$$

式中: r 为建筑物保险费率; r_i 为建筑物震害基准费率; j 为建筑年代、层数、抗震等因素的修正系数。

2 实例分析

以某机场 T3 航站楼结构性损伤处于烈度为 8 的地震震中区域为例, 进行地震风险分析。该机场位于山东省, 始建于 2000 年。研究的区域具体设置条件为: 该航站楼为钢筋混凝土结构, 共 4 层, 层高 3.9 m, 三维模型如图 3 所示。抗震设防烈度 8 度, 设计基本地震加速度值 0.3 cm/s^2 , 多遇地震水平地震影响系数最大值 0.24、特征周期 0.4 s, 罕遇地震水平地震影响系数最大值 1.2、特征周期 0.5 s, 周期折减系数 0.85, 阻尼比 0.05^[22]。

2.1 脆弱性曲线分析

该航站楼为钢筋混凝土框架结构, 纵向进深 4 跨, 横向开间 3 跨, 底层层高 4.5 m, 其他各层均为 3.4 m, 场地地震基本烈度为 8 度, 设计基本地震加速度值为 0.3 cm/s^2 , 场地类别为一类, 框架楼面恒荷载取 5.0 kN/m^2 , 楼面活荷载取 2.0 kN/m^2 , 屋面恒荷载取 7.0 kN/m^2 , 活荷载取 0.5 kN/m^2 , 框架梁和柱的混凝土强度等级均取 C30, 纵筋选用 HRB335 级, 箍

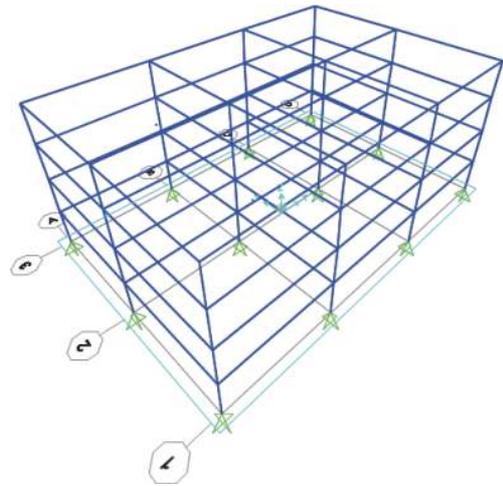


图3 航站楼三维图

筋选用 HPB235 级, 框架梁截面尺寸为 $250 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$, 框架柱截面尺寸为 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$, 剪切墙厚度为 200 mm。基于航站楼达到破坏程度 d_s 所承受的峰值地面加速度中位值及标准差 β_{ds} (表 2), 并根据上述公式(1), 得到机场航站楼脆弱性曲线(图 4)。图 4 所示折线图横坐标为地面峰值加速度, 纵坐标为处于不用地面峰值加速度时发生不同程度损伤的概率。针对于航站楼系统脆弱性系统而言, 处于同一地面峰值加速度时发生轻微损伤的概率较大, 其次为中等损伤, 严重损伤, 发生完全损伤的可能性是相对较低的。

表2 机场航站楼脆弱性曲线 S_a, d_s 及 β_{ds}

类型	破坏程度	中位值	标准差
航站楼(PGA)	轻微	0.14	0.64
	中等	0.26	0.64
	严重	0.62	0.64
	完全	1.43	0.64

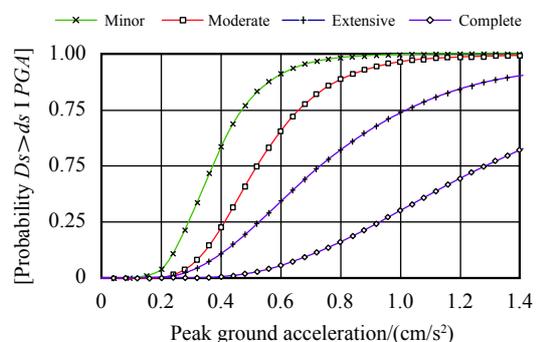


图4 航站楼 PGA 脆弱性曲线

2.2 能力曲线的确定

根据调查可知, 该机场航站楼总高度约 35.9 m, 总体为钢筋混凝土结构, 因此定义为 S1L 钢结构

中等高楼,从而可确定能力曲线各参数值。 $C_s=0.050$, $T_e=1.08$, $\alpha_1=0.80$, $\gamma=1.25$, $\lambda=3.00$, $\mu=4.0$ ^[23]。根据公式(2)计算可得: $D_y=0.89$, $A_y=0.078$, $D_u=10.65$, $A_u=0.234$ 。根据两点坐标即可确定能力曲线,图5中从坐标原点出发的曲线即为能力曲线。

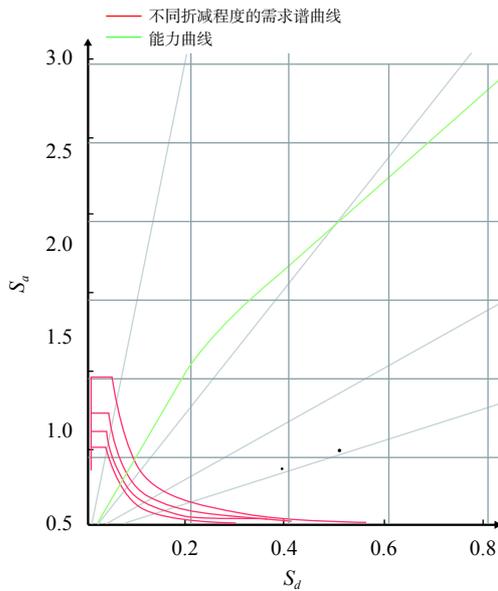


图5 航站楼性能点曲线

2.3 性能点及损伤概率的确定

根据上述所涉及的航站楼及地震相关参数,利用SAP2000中的PUSH_OVER功能将航站楼的能力曲线与需求谱绘制在同一直角坐标系中。根据需求谱折减系数及阻尼比计算,本文需求谱曲线为图示中上数第二条曲线,与能力曲线相交点即为性能点(图5)。由图5可知,性能点对应的地面峰值加速度为 0.484 cm/s^2 ,地面峰值位移为 0.086 m 。根据性能点所确定的地面峰值加速度对照脆弱性曲线可知,航站楼处于轻微破坏的概率即 $P[D_s > d_2 | PGA] = 76\%$,处于中等破坏的概率为 $P[D_s > d_3 | PGA] = 43\%$,处于严重破坏的概率为 $P[D_s > d_4 | PGA] = 21\%$,遭受完全损毁的概率为 $P[D_s > d_5 | PGA] = 3\%$ 。

2.4 直接经济损失计算

机场运输系统直接经济损失根据公式(4)可进行计算。损坏率 DR_i 可根据表3进行确定,本文中均选取最佳损伤率来计算。损伤概率根据公式(3)可进行确定。由于该航站楼结构为S1L型钢结构,其替换值为 5191.2 万元^[24]。

通过计算得:

1) 损伤概率: $P_1=1-76\%=24\%$; $P_2=76\%-43\%=$

表3 航站楼损伤率 DR_i 取值

损伤状态	最佳估计损伤率	损伤率浮动范围
轻微	0.10	0.01~0.15
中等	0.40	0.15~0.4
严重	0.80	0.4~0.8
完全损坏	1.00	0.8~1.0

33% ; $P_3=43\%-21\%=22\%$; $P_4=21\%-3\%=18\%$; $P_5=3\%$

2) 复合损伤率: $DR_c=33\% \times 0.10 + 22\% \times 0.40 + 18\% \times 0.80 + 3\% \times 1 = 0.295$

3) 直接经济损失= $5191.2 \text{ 万} \times 0.295 = 1531.404 \text{ 万元}$ 。

2.5 保险方案探究

1) 保险金额

该航站楼的成本为 5191.2 万元,又因其位于山东省郯庐地震带上,属于较为不利地段,根据表4~5可知, ϕ_m 取 0.15 ^[20]。航站楼属于商用建筑,所以 k 取 0.25 。在根据表3中的损伤率及计算出的地震发生概率,结合公式(5),可计算保险金额。

表4 场地因子取值

场地	有利地段	不利地段	危险地段
ϕ_m	0~0.05	0.05~0.25	0.25~0.30

表5 用途因子取值

用途	民宅	办公、商用	厂房、仓库
k	0~0.10	0.10~0.40	0.40~0.60

保险金额 $EL(A) = (1 + 0.15 + 0.25) \times 5191.2 \times (33\% \times 0.10 + 22\% \times 0.40 + 18\% \times 0.80 + 3\% \times 1) = 2143.9656 \text{ 万元}$

2) 费率

本文所选航站楼位于中危险地区,且为钢混结构,根据表1可知其基础费率为 0.15% ,再根据公式(6)进行费率浮动。因该航站楼为2000年建造,因此根据表6可知,其年代浮动系数为 1.00 。该航站楼层高为 4 m ,根据表7可知其浮动系数为 1.00 。该航站楼有抗震设计,根据表8可知其浮动系数为 0.95 。计算费率 $r = 0.15\% \times 1.00 \times 1.00 \times 0.95 = 0.1425\%$ 。

表6 建筑年代浮动系数

建筑年代	1989年以前	1989—2001年	2002年以后
修正系数	1.05	1.00	0.95

表7 建筑层数浮动系数

层数	单层	2~7层	7层以上
修正系数	0.95	1.00	1.05

表8 建筑抗震设计浮动系数

抗震系数	有抗震设计	无抗震设计	不详
修正系数	0.95	1.15	1.1

3) 保费计算

由上可知, 保险金额为 2 143.965 4 万元, 费率为 0.142 5 %, 可计算保费为 2 143.965 4 万 \times 0.142 5 % = 30 551.509 8 元

2.6 风险分析建议

1) 该建筑物处于中等及以上损失发生的可能性较高, 经调查可知, 该结果可能是由于建筑物使用维护不善造成的。因此, 要对机场航站楼屋顶、梁柱等关键部位做必要的加固处理, 防止系统在强震中受到威胁^[25]。

2) 依据 GB50011—2010 第 4.1 条可知, 类似于机场航站楼等城市重要生命线系统且价值较高的建筑, 在选址时也要选择对机场抗震有利的场地。不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑, 对于不利地段应进行避开处理; 若不可避开时, 应对地震可能造成的地基土不均匀沉降或地表错动与地裂等破坏提前采取防范措施以减少损失^[25]。

3) 依据 GB50011—2010 第 8.4 条可知, 对于机场运输系统而言, 应设置多道地震防线。由于地震有一定的持续时间, 而且对建筑物的损伤常常是往复的, 恰恰地震的往复作用是使结构遭到严重破坏的主要原因。因此, 适当处理构件的强弱关系, 使其形成多道防线, 是增加结构抗震能力的重要措施^[25]。

参考文献:

- [1] 杜文. 巨灾型发事件应急救援体系研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2012.
- [2] Sarkani S, Lutes L D, Jin S, et al. Stochastic analysis of seismic structural response with soil-structure interaction [J]. *Structural Engineering and Mechanics*, 1999, 8(1): 53-72.
- [3] Ikeda K, Yokoyama M, Tomita K, et al. Vulnerability of the gradually elongated nerve to compression injury [J]. *Hand Surgery*, 2001, 6(1): 29-35.
- [4] Remo J W F, Pinter N. HAZUS-MH earthquake modeling in the central USA [J]. *Natural Hazards*, 2012, 63(2): 1055-1081.
- [5] Ellinwood B R. Earthquake risk assessment of building structures [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2001, 74(3): 251-262.
- [6] Chong Xu, Xiwei Xu, Yuan Hsi Lee, et al. The 2010 Yushu earthquake triggered landslide hazard mapping using GIS and weight of evidence modeling [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 66(6).
- [7] 杨玉成. 城市现有建筑物震害预测与防御对策系统的研究与应用 [J]. 中国科学基金, 1993(2): 111-114.
- [8] 高小旺, 钟树益. 地震作用下多层剪切型结构弹塑性位移反应的实用计算方法 [J]. 土木工程学报, 1984, 25(3): 79-87.
- [9] 成小平, 陈秀发, 彭涛, 等. 四川综合地震数据库接口的设计与实现 [J]. 计算机应用研究, 1989, 30(3): 58-63.
- [10] Liu J B. The effect of local irregular topography on seismic ground motion [J]. *Acta Seismologica Sinica*, 1996, 9(2): 309-315.
- [11] 黄龙生, 姜淑珍. 公路桥区域性震害预测 [J]. 地震工程与工程振动, 1995, 7(4): 113-117.
- [12] 赵成刚, 冯启民, 王前信, 等. 地下管线的模糊随机动力可靠性分析 [J]. 土木工程学报, 1992, 25(6): 66-72.
- [13] 张剑寒, 刘志杰, 王后裕. HAZUS 99 建筑震害预测方法中能力谱法的应用 [J]. 建筑结构, 2011, 41(S1): 245-248.
- [14] 吕大刚, 于晓辉. 基于地震易损性解析函数的概率地震风险理论研究 [J]. 建筑结构学报, 2013, 34(10): 41-48.

3 结论与展望

1) 结论

本文选取机场航站楼为研究对象, 运用能力-需求谱方法, 建立航站楼系统地震脆弱性评估模型。运用分析结果, 再采用直接经济分析法进行经济损失分析。此种方法可将风险评估的数据直接应用到损失评估中去, 可以充分利用数据。

当处于烈度为 8 的地震风险时, 根据地震动参数对飞机场航站楼进行风险分析得出: 航站楼处于轻微损伤的概率最大, 其概率高达 33%。再根据直接经济损失方法进行损失计算, 得出直接经济损失约为 1 531.404 万元。通过损伤概率计算, 为该机场航站楼进行保险方案设计, 得出该航站楼保额为 2 143.965 6 万元, 费率为 0.142 5 %, 从而计算保费为 30 551.509 8 元。

通过软件仿真, 可对机场运输系统进行风险预测, 并给相关管理人员提供一个风险管理参考依据, 同时也可作为防灾备灾的风险决策提供相关依据。此研究内容不仅可以有效识别出机场运输系统抗震薄弱环节, 完善承保相关事项, 而且还有助于机场认识自身不足, 并加以改善, 从源头处减少地震带来的损失, 具有现实意义。

2) 展望

在进行脆弱性曲线分析时, 采取多种方法进行对比分析, 以减少由于外界因素带来的误差; 在进行风险评估时, 可以增加环境、选址等因素; 进行保险方案探究时, 可增加环境因素对费率的影响。

- [15] Felsenstein D, Elbaum E, Levi T, et al. Post-processing HAZUS earthquake damage and loss assessments for individual buildings[J]. *Natural Hazards*, 2021, 105(1): 21-45.
- [16] 于晓辉, 吕大刚. HAZUS 相容的钢筋混凝土框架结构地震易损性分析 [J]. *工程力学*, 2016, 33(3): 152-160.
- [17] 李永梅, 李玉占, 杨博颜. 基于性能的钢框架结构地震易损性分析 [J]. *工程抗震与加固改造*, 2017, 39(4): 55-59, 46.
- [18] 杨妍, 李霖. 中外两种地震灾害经济损失评估模型比较研究 [J]. *国际地震动态*, 2016, 7(7): 27-31.
- [19] 郑山锁, 相泽辉, 郑捷, 等. 我国建筑物地震保险制度及保险费率厘定研究 [J]. *灾害学*, 2016, 31(3): 1-7, 19.
- [20] 邹亲敏, 冯启民, 莫善军. 建筑物地震损失风险与保险费用的确定方法 [J]. *地震工程与工程振动*, 2004, 24(1): 180-185.
- [21] 左哲. 基于地震动参数的大型储罐潜在危险性评估方法研究 [J]. *中国安全生产科学技术*, 2012, 8(5): 41-46.
- [22] Dorri R, Zadeh A M, Babadi M. New design for creating safe places to reduce earthquake loss and the best way to rescue and relief people[J]. *Geological Journal*, 2018, 8(9): 913-924.
- [23] Jaiswal K, Bausch D, Rozelle J, et al. Hazus® estimated annualized earthquake losses for the United States[R]. Boston: Federal Emergency Management Agency, 2017.
- [24] 潘晓红, 贾铁飞, 温家洪, 等. 多灾害损失评估模型与应用述评 [J]. *防灾科技学院学报*, 2009, 11(2): 77-82.
- [25] GB 50011—2010, 建筑物抗震设计规范(附条文说明)(2016 年版)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

Earthquake Risk, Loss Assessment and Insurance Options ——A Case Study of Airport Terminals

YANG Ying, WANG Xiao*, QU Na, LIU Tianqi

(College of Safety Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110000, China)

Abstract: Based on the structural response and damage characteristics of airport terminal system under earthquake, the framework and theoretical model of HAZUS disaster assessment and direct economic loss are introduced. Taking an airport terminal subjected to an earthquake with earthquake intensity of 8 as an example, the potential damage probability of the earthquake is quantitatively calculated, and the direct economic losses are calculated according to the damage probability, and the property damage insurance advices are given. The results show that when the terminal is at the risk of the intensity of 8, each system of the building is in different damage probability, among which there are more systems in slight damage, the probability is as high as 33%, and the direct economic loss is about 15.3404 million Yuan. Finally, the insurance scheme is explored. This study can provide a reference for the risk decision of disaster prevention and preparedness of airport terminal buildings.

Key words: airport terminal; earthquake; HAZUS risk assessment; assessment of direct economic losses; insurance