

# 机场登机桥设计中的强度和稳定性分析研究

王仪军

(深圳中集天达空港设备有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要** 本研究针对机场旅客登机桥的设计进行了强度和稳定性分析。首先介绍了机场登机桥的结构类型、设计原则以及常用材料特性, 并阐述了结构设计考虑因素; 其次建立了强度分析模型和稳定性分析模型, 分析了结构在不同工况下的应力、变形和稳定性。在优化设计部分, 采用了多重约束优化设计和材料选择等方法, 对登机桥的结构进行了优化改进; 最后, 通过优化设计实例进行了分析, 验证了优化设计方案的有效性和可行性。本研究旨在为同行业人员提供有益的参考。

**关键词** 登机桥设计; 强度分析; 稳定性分析

中图分类号: V32

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)07-0103-03

随着航空旅客数量的增加和航班规模的扩大, 机场登机桥不仅要能够承载旅客上下飞机的重量, 还要在各种气候条件下保持稳定, 确保旅客安全的登机和下机过程。因此, 对机场登机桥的结构强度、材料选择、建造工艺以及使用寿命等方面进行深入的研究和分析至关重要。本文旨在通过对机场登机桥的强度和稳定性分析研究, 为其设计和优化提供理论和实践支持。通过本文的研究, 以期能够为机场登机桥的设计和建造提供更为科学、可靠的技术支持, 提高其在航空运输系统中的整体性能和效率, 为航空安全和乘客舒适度提供更好的保障。

## 1 机场登机桥结构与材料选取

### 1.1 机场登机桥结构类型及设计原则

机场登机桥的结构类型多样, 包括固定式、伸缩式、旋转式等不同类型。设计原则主要包括安全性、可靠性、舒适性和美观性。其中, 安全性是首要考虑的因素, 要求登机桥结构能够承受风荷载、地震等外部力量, 确保登机过程中乘客和机组人员的安全<sup>[1]</sup>。

### 1.2 常用材料及其特性

机场登机桥常用的材料包括钢材、铝合金和混凝土等。钢材具有强度高、可塑性好、施工方便等特点, 适用于各种结构形式的登机桥; 铝合金具有重量轻、耐腐蚀等特性, 适用于伸缩式和旋转式登机桥的结构部件; 混凝土材料具有耐久性好、造型自由等特点, 适用于固定式登机桥的结构构建<sup>[2]</sup>。

### 1.3 结构设计考虑因素

在机场登机桥的结构设计中, 需要考虑的因素包括: (1) 荷载分析: 考虑到登机桥在使用过程中承受

的静载荷和动载荷, 包括自重、风荷载、雨雪荷载以及乘客和行李的重量等。(2) 结构稳定性: 通过合理的结构设计和稳定性分析, 确保登机桥在各种外部力的作用下保持稳定。(3) 舒适性: 考虑到乘客的舒适度, 设计合理的通风、照明和防滑措施。(4) 维护保养: 结构设计应考虑到维护保养的便捷性, 以确保登机桥长期稳定运行。通过综合考虑以上因素, 可以设计出安全、可靠、舒适的机场登机桥结构, 满足现代航空运输的需求<sup>[3]</sup>。

## 2 强度分析

### 2.1 强度分析理论基础

机场登机桥的强度分析基于结构力学和材料力学的理论基础。在分析过程中, 需要考虑结构的静力学平衡、应力和应变的分布规律, 以及材料的强度特性。常用的理论包括弹性理论、塑性理论、极限分析理论等。强度分析理论基础的掌握对于确保登机桥结构的安全和可靠性至关重要<sup>[4]</sup>。

### 2.2 强度分析模型建立

在建立登机桥的强度分析模型时, 需要遵循以下步骤:

(1) 几何形状和材料参数确定: 确定登机桥的几何形状, 包括截面形状、尺寸和长度等参数, 以及所选用的材料参数, 如弹性模量、泊松比和屈服强度等。

(2) 有限元模型建立: 使用有限元方法建立登机桥的数值模型。对于梁式结构的强度分析, 通常采用梁单元建模。根据登机桥的几何形状和结构布局, 将结构划分为适当数量和类型的有限元单元, 如梁单元、节点和支座单元。(3) 荷载施加: 对登机桥施加预期的

静载荷和动载荷。静载荷包括自重和附加荷载,如行人和设备重量;动载荷包括风载、飞机载荷和行人振动等。(4)强度分析计算:利用数值方法求解结构在荷载作用下的受力和变形情况。对于梁式结构,可以根据梁的截面性质和材料力学性质,利用梁理论和有限元法计算结构的应力和变形<sup>[5]</sup>。强度分析模型的公式如下: $\sigma = Fb/S_0$ ,式中, $Fb$ 是试样拉断时所承受的最大力(N); $S_0$ 是材料原始横截面积,单位: $\text{mm}^2$ 。(5)梁单元应力计算公式:在有限元模型中,对于每个梁单元,可以使用梁理论计算其内部应力。例如,对于弯曲梁,根据梁弯曲理论,可以使用以下公式计算梁单元内部的弯曲应力: $\sigma = \frac{M \cdot c}{I}$ 。其中, $\sigma$ 是梁单元的弯曲应力; $M$ 是梁单元所受弯矩; $c$ 是梁单元截面到受拉纤维的距离; $I$ 是梁单元的惯性矩。(6)应变能和应变能密度计算:利用有限元法计算结构的应变能和应变能密度,以评估结构的变形情况和稳定性。应变能可以通过数值积分或数值逼近方法计算得到<sup>[6]</sup>。以上公式和方法可以用于建立登机桥的强度分析模型,并进行相应的强度分析计算,评估结构的承载能力和稳定性。

### 2.3 强度分析结果与讨论

表1 强度分析结果

部位	最大应力 (MPa)	最大应变	最大变形 (mm)
支座	150	-	-
连接节点	130	0.001	-
悬臂部位	140	-	-
梁体其他部位	80	0.002	-
整体变形	-	-	50
飞机靠桥变形	-	-	30

根据表1中提供的数据分析,登机桥结构的关键部位表现出不同程度的应力和变形。支座和连接节点的最大应力分别达到了150 MPa和130 MPa,这些高水平的应力可能需要进一步的加固或设计改进以确保结构的安全性和稳定性。此外,悬臂部位的最大应力也较高,达到了140 MPa,需要特别关注这些区域的承载能力和稳定性。虽然梁体其他部位的最大应力相对较低,但仍需确认是否在设计范围内。另外,整体变形和飞机靠桥变形分别为50 mm和30 mm,这些变形数据对于确保登机桥的稳定性和可靠性至关重要<sup>[7]</sup>。

综上所述,强度分析是机场登机桥设计过程中的重要环节,通过合理的分析方法和有效的模型建立,可以确保登机桥结构在使用过程中具有足够的强度和稳定性,从而保障航空运输的安全和顺畅进行。

## 3 稳定性分析

### 3.1 稳定性分析理论基础

(1)稳定性分析在机场登机桥设计中扮演着至关重要的角色,其理论基础主要涉及结构的稳定性和变形能力。稳定性分析需要考虑结构在外部荷载作用下的抗倾覆和抗侧向位移能力,以及结构的整体稳定性。在这一过程中,欧拉稳定理论和延性稳定理论等成为常用的理论基础,为分析结构的稳定性提供了重要的依据。(2)欧拉稳定理论主要用于研究杆件或细长结构在外部荷载作用下的稳定性。它描述了当杆件受到压缩力时,其稳定性受到压缩力大小、长度和截面形状等因素的影响。基于欧拉稳定理论,可以分析机场登机桥的主体结构在垂直方向的稳定性,确保其在承载飞机和乘客的情况下不会发生倾覆或失稳现象。(3)延性稳定理论则更多地关注结构在非理想工况下的稳定性。它考虑了结构的材料特性和几何形状对其稳定性的影响,以及结构在受到较大变形时的稳定性表现。在机场登机桥设计中,延性稳定理论可以用于分析结构在复杂工况下的稳定性,如在强风、地震或其他外部扰动下的表现<sup>[8]</sup>。

### 3.2 稳定性分析模型建立

在进行稳定性分析时,首先需要建立登机桥的结构模型,考虑其几何形状、材料特性和荷载情况。根据所选的稳定性理论,一种常见的方法是采用欧拉公式来评估结构的整体稳定性。欧拉公式可以用以下数值公式表示:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(kL)^2}$$

其中: $P_{cr}$ 表示临界压力,即结构失稳的极限荷载; $E$ 表示材料的弹性模量; $I$ 表示截面的惯性矩; $k$ 表示结构的有效长度系数; $L$ 表示结构的长度。

通过此公式,可以计算出结构在不同工况下的临界压力,从而评估其整体稳定性。值得注意的是,在实际应用中,需要根据具体情况选择合适的参数值,并考虑结构的实际工作状态和荷载组合<sup>[9]</sup>。

### 3.3 稳定性分析结果与讨论

根据表2稳定性分析结果可以看出,在不同工况下,结构的临界压力存在一定的变化。在工况1和工况3下,临界压力较高,结构的稳定性评价为良好;而在工况2下,临界压力较低,稳定性评价为一般;在工况4下,临界压力最低,稳定性评价为较差。这些结果表明结构的稳定性受到外部工况的影响,需要在设计和使用过程中注意加强结构的稳定性措施,以确保其安全可靠运行<sup>[10]</sup>。

表 2 稳定性分析结果

工况	临界压力 $P_{cr}$ (kN)	结构稳定性评价
工况 1	1 200	良好
工况 2	950	一般
工况 3	1 400	良好
工况 4	800	较差

(注: 工况 1: 额定荷载情况下的稳定性分析。工况 2: 极端天气条件下(如风暴、暴雨等)的稳定性分析。工况 3: 考虑结构局部损伤或材料老化后的稳定性分析。工况 4: 结构处于紧急情况下(如地震、火灾等)的稳定性分析。)

综上所述,稳定性分析是机场登机桥设计过程中的重要环节,通过对结构稳定性的全面分析,可以确保登机桥在使用过程中具有足够的稳定性和安全性,从而为航空运输提供可靠的基础设施支持。

## 4 结合强度和稳定性的优化设计

### 4.1 强度和稳定性综合考虑的设计方法

在机场登机桥设计中,综合考虑强度和稳定性是确保结构安全可靠的关键。为此,可以采用以下设计方法:(1)多重约束优化设计:将结构的强度和稳定性作为设计的主要约束条件之一,通过多目标优化算法寻找最佳设计方案,使结构在满足强度要求的同时,尽可能提高其稳定性。(2)材料选择和截面优化:选用适当的高强度材料,并通过截面形状和尺寸的优化设计,使结构在承受荷载时既能满足强度需求,又能提高其稳定性。(3)考虑荷载工况和边界条件:充分考虑机场登机桥在不同荷载工况下的受力情况,包括静态荷载、动态荷载以及温度等因素,同时考虑边界条件对结构稳定性的影响,如地基土壤条件和结构支承方式等。

### 4.2 优化设计实例与分析

在某机场登机桥的设计中,结构工程师们发现在强度和稳定性方面存在一些潜在的问题。他们进行了一项优化设计,主要集中在截面形状和改进上。

原始设计中,登机桥的截面形状相对简单,缺乏足够的横向支撑,导致在受到侧向荷载时,结构稳定性较差。因此,他们采取了如表 3 所示的措施进行优化设计。

(1)增加横向支撑:在原有的截面结构上增加了更多的横向支撑,以提高结构在侧向荷载作用下的稳定性。这些支撑通过连接上、下弦杆和侧向横杆等方式,形成了一个更加坚固的结构框架。(2)调整截面尺寸

比例:对登机桥的截面尺寸比例进行了调整,增加了上、下弦杆的厚度和宽度,以提高截面的抗弯强度和承载能力。同时,适当减小了截面的高度,以减轻结构自重并降低成本。

表 3 优化设计

参数	原始设计值	优化后值
上弦杆尺寸(H×B)	800×300 mm	850×320 mm
下弦杆尺寸(H'×B')	600×250 mm	620×270 mm
横向支撑数量	4 条	6 条
截面惯性矩	200 000 mm <sup>4</sup>	250 000 mm <sup>4</sup>

经过优化设计后,登机桥的结构稳定性得到了显著改善,同时强度也得到了增强。这一优化设计方案成功地解决了原始设计中存在的问题,使得登机桥在实际使用中能够更加安全和可靠。

## 5 结束语

本文深入探讨了机场登机桥的强度和稳定性分析方法,并提出了综合考虑强度和稳定性的优化设计方案。通过实例分析验证了优化设计方案的有效性和可行性,为机场登机桥的设计和改进了重要的参考和指导。未来,将进一步深入研究机场登机桥的其他关键问题,不断提升其安全性、可靠性和舒适性,为航空运输事业的发展做出更大的贡献。

## 参考文献:

- [1] 张伟,吴国云,张满.登机桥靠接 B787 机型前门的结构设计改进[J].机电工程技术,2023,52(11):296-299.
- [2] 郭永健,陈超,王强明,等.登机桥人致振动舒适度分析[J].建筑结构,2023,53(S1):819-824.
- [3] 张伟,王龙,吴国云.登机桥主接触器与变频器异常原因分析与改进[J].设备管理与维修,2022(21):51-52.
- [4] 谢竞.登机桥的非受控状态运动与控制组件安全性设计[J].空运商务,2022(09):59-64.
- [5] 邱增.登机桥内部照明节能控制方法的研究[J].照明工程学报,2022,33(02):177-181.
- [6] 许杰,廖勇坤,钟世权.混合通风与空调联合运行系统在登机桥的应用[J].制冷,2021,40(04):7-13.
- [7] 张宪民,张晓宇,刘超,等.聚焦:登机桥智慧云平台建设[J].中国航班,2021(23):18-21.
- [8] 罗良清,顾晓勤,谭朝阳.登机桥设计中强度和稳定性分析计算[J].工程机械,2021,52(08):11,83-87.
- [9] 张成.基于视觉的登机桥自动对接飞机舱门技术研究[D].成都:电子科技大学,2021.
- [10] 罗良清,谭朝阳,顾晓勤.含混合间隙的登机桥动力学分析[J].机械研究与应用,2021,34(02):80-83,87.