

民航建筑抗震设计要点及优化路径探讨

杨学文

西北民航机场建设集团有限责任公司 陕西 西安 710075

摘要: 本文探讨民航建筑抗震设计要点与优化路径。首先分析民航建筑功能与结构特点, 阐述地震对其不同功能区域的影响及抗震需求。接着从场地选择、结构体系选型与布置、构件抗震设计、非结构构件抗震设计等方面提出设计要点。最后从创新设计理念、优化分析方法、应用新材料新技术、完善管理协作机制等方面探讨抗震设计优化路径, 为提升民航建筑抗震性能提供参考。

关键词: 民航建筑; 抗震设计; 设计要点; 优化路径

引言: 民航建筑作为航空运输体系关键组成部分, 包括航站楼、机库、塔台等, 其功能特殊且结构复杂。地震对民航建筑破坏形式多样, 可能影响人员疏散、飞机停放安全及空中交通指挥。因此, 研究民航建筑抗震设计要点, 探索优化路径, 对于保障建筑安全、维持航空运输正常运转具有重要意义。

1 民航建筑特点与抗震需求分析

1.1 民航建筑的功能与结构特点

民航建筑功能分区明确且专业性强。航站楼作为旅客集散核心区域, 需实现值机、安检、候机、登机等全流程服务, 内部空间需容纳大量旅客及行李处理、商业服务设施。其结构常采用大跨度空间结构, 通过桁架、网架或张弦梁体系构建无柱大空间, 满足旅客通行与候机需求, 同时设置多层连廊、高架桥连接不同功能区域。这种结构形式虽能提供开阔空间, 但自身重量大、节点复杂, 对结构整体稳定性要求极高。机库用于飞机停放、检修与维护, 需满足大型飞机进出与作业空间需求。其结构多为超大型大跨度形式, 部分机库跨度可达上百米, 高度超二十米, 采用钢桁架、钢网架或预应力混凝土结构。这类结构构件尺寸大、荷载重, 既要承受飞机起降产生的动荷载, 又要应对屋面雪载、风载, 结构受力复杂, 对基础承载能力和构件连接强度要求严苛。塔台作为航空交通指挥中枢, 承担空中交通管制与地面调度功能, 需保证管制人员全方位视野。其结构通常为高层细长形式, 高度从数十米到上百米不等, 多采用钢筋混凝土筒体结构或钢结构。为满足视野需求, 塔台上部结构向外悬挑, 导致重心偏高、抗侧刚度较弱, 在水平荷载作用下易产生较大位移。

1.2 地震对民航建筑的影响及抗震需求

地震对民航建筑不同功能区域破坏形式各异。航站楼大跨度结构在地震中易因水平地震力产生节点破坏、

杆件失稳, 导致屋面局部塌陷或整体垮塌。机电设备管线密集, 地震引发的晃动易造成管线脱落、断裂, 切断电力、通信与给排水系统^[1]。机库超大型结构在地震时基础易产生不均匀沉降, 导致结构倾斜, 大跨度屋盖可能因地震力产生扭转效应, 引发构件变形、连接部位开裂, 影响飞机停放安全与检修作业。塔台细长结构在地震作用下, 因高柔特性易发生鞭梢效应, 顶部结构位移放大, 导致墙体开裂、设备倾倒。其内部精密的航空管制设备对震动敏感, 轻微震动都可能造成设备故障、数据传输中断, 影响空中交通指挥。基于地震破坏特点, 民航建筑抗震有特殊需求。航站楼需保障人员快速疏散, 要求结构在地震中保持关键通道、楼梯间等竖向构件完整性, 避免因结构坍塌阻塞逃生路径。机电系统需具备抗震韧性, 关键设备采用抗震支吊架固定, 确保地震时不脱落、不停运, 维持应急照明、通风排烟系统运行。机库要保证飞机停放安全, 结构需具备高冗余度, 即使部分构件受损, 整体结构仍能维持承载能力。基础设计需增强抗沉降能力, 防止因地震导致基础破坏影响飞机起降与检修。塔台必须维持航空管制功能, 结构设计要严格控制地震位移, 减少鞭梢效应影响, 内部设备采用减震隔震装置, 确保地震时设备正常运行, 保障空中交通指挥不间断。

2 民航建筑抗震设计要点

2.1 场地选择与地基处理

场地选择直接影响民航建筑抗震性能。地震断裂带区域地壳运动活跃, 地震时地面易产生错动变形, 对建筑结构造成不可修复的破坏, 因此选址需避开断裂带影响范围。软弱场地土在地震波作用下会发生显著震动放大效应, 导致建筑基础产生过量沉降与不均匀变形, 应优先选择密实、均匀的中硬场地土。对于无法避开的局部软弱区域, 需评估其对建筑整体抗震性能的影响程

度,综合判断是否具备建设条件。地基处理技术根据场地条件灵活选用。换填法适用于浅层软弱地基处理,通过挖除软弱土层,换填砂石、灰土等强度高、压缩性低的材料,提高地基承载力与抗变形能力,常用于航站楼附属设施等荷载较小的建筑。强夯法利用重锤自由下落产生的冲击力,夯实深层软弱地基,使土体密实度增加,适用于处理砂土、粉土、杂填土等多种土质,尤其适合大面积机库等对地基承载力要求高的建筑。桩基础通过桩身将建筑荷载传递至深层坚实土层,具有较高竖向与水平承载力,常用于高层塔台或大跨度航站楼,可有效抵御地震引起的水平力与竖向荷载变化。选择地基处理方式时,需综合考虑建筑类型、荷载大小、土层分布及地下水情况,确保地基与上部结构协同工作,增强整体抗震性能。

2.2 结构体系选型与布置

不同结构体系在民航建筑中有不同适用性。框架结构布置灵活,便于形成大空间,但侧向刚度较弱,地震作用下水平位移较大,适用于层数较低、对空间灵活性要求高的小型航站楼附属建筑。剪力墙结构侧向刚度大,抗侧移能力强,但空间分隔受限,常用于高层塔台核心筒结构,可有效抵抗水平地震力。框架-剪力墙结构结合两者优势,通过框架提供大空间,剪力墙承担大部分水平荷载,适用于大中型航站楼,既能满足功能需求,又具备良好抗震性能。筒体结构空间受力性能优越,常用于超高层塔台,通过内外筒协同工作,有效抵抗风荷载与地震作用引起的扭转效应。结构布置需满足抗震要求^[2]。平面布置上,建筑平面形状应力求规则、对称,避免采用L形、T形等复杂不规则平面,减少地震时因质量与刚度分布不均产生的扭转效应。竖向布置要求结构构件连续、均匀变化,避免竖向抗侧力构件不连续或刚度突变,防止薄弱层在地震中率先破坏。合理设置防震缝,将复杂建筑分割为多个规则单元,降低结构整体地震反应。同时优化构件布置,使结构传力路径明确、直接,避免应力集中区域,确保地震力有效传递至基础。

2.3 结构构件抗震设计

梁、柱在地震中承受复杂内力。梁主要承受弯矩与剪力,设计时需增大梁端塑性铰区域箍筋配置,限制混凝土受压区高度,提高梁的延性与抗剪能力,避免发生脆性剪切破坏。柱作为结构竖向承重与抗侧力构件,需控制轴压比,保证柱在地震反复荷载作用下具有足够延性;采用复合箍筋形式,约束核心区混凝土,增强其抗压强度与变形能力。合理设计梁柱截面尺寸比例,使构件在地震时能形成梁铰屈服机制,避免柱先于梁破坏。

节点是结构传力关键部位。设计节点时,保证梁、柱纵筋可靠锚固,采用机械连接或焊接方式增强钢筋连接强度;节点区箍筋加密配置,约束节点核心区混凝土,防止其在地震剪力作用下破碎。优化节点构造,使节点刚度与构件刚度匹配,避免节点过早失效导致结构整体破坏。楼板在地震中起到水平传力作用,需保证足够厚度以提供平面内刚度,通常采用双向双层配筋,增强楼板整体性;在楼板与框架梁连接处设置可靠锚固,确保水平地震力有效传递至竖向构件。

2.4 非结构构件抗震设计

围护结构在地震中易发生破坏。幕墙与主体结构采用柔性连接方式,设置减震连接件与变形缝,允许幕墙在地震时有一定位移空间,避免因主体结构变形导致幕墙玻璃破碎、构件脱落。填充墙与框架柱之间采用拉结筋连接,顶部采用斜砌方式或设置柔性材料,防止墙体在地震中倒塌伤人。应对围护结构进行抗震验算,确保其在地震作用下的稳定性。民航建筑内设备设施抗震设计至关重要。行李传输系统采用抗震支吊架固定,限制设备在地震中的位移,防止设备倾倒、传送带断裂。登机桥与航站楼、飞机连接处设置减震装置,吸收地震能量,保证登机桥在地震时仍能保持正常对接状态。塔台内航空管制设备采用隔震支座安装,降低地震震动对设备的影响;对关键设备线路进行抗震加固,采用柔性管线连接,防止因震动导致线路断裂、设备停运,确保地震时航空指挥系统正常运行。

3 民航建筑抗震设计优化路径

3.1 创新抗震设计理念

性能化抗震设计理念打破传统统一标准设计模式,以建筑功能需求为导向。民航建筑功能差异显著,航站楼需保障人员疏散,塔台要求维持指挥功能,机库要确保飞机停放安全。依据不同功能,可将性能目标分为防止倒塌、生命安全、可恢复使用等等级。例如,塔台作为航空交通核心枢纽,设定较高性能目标,要求地震后关键设备正常运行、结构无严重破坏;航站楼以人员安全为首要目标,确保地震时主要通道畅通。设计中通过性能化分析,针对性调整结构构件承载力、延性指标,采用基于位移的设计方法,使结构在不同水准地震作用下满足对应性能要求。多目标抗震设计理念综合考量多方面因素。在满足结构安全基础上,平衡经济性、适用性与耐久性。经济性方面,避免过度设计造成成本浪费,通过优化结构布置、合理选用材料降低造价;适用性要求设计时预留设备升级空间,满足民航建筑未来功能扩展需求;耐久性考虑环境因素对结构的长期影响,

选用耐候性材料、优化构造措施延长使用寿命。通过建立多目标优化模型,对不同设计方案进行综合比选,实现资源合理配置,如在满足抗震性能前提下,选择性价比高的结构体系和材料。

3.2 优化结构分析与计算方法

先进计算模型为抗震分析提供精准工具。有限元模型可对民航建筑复杂结构进行精细化模拟,将结构离散为众多单元,精确计算各部位受力与变形,适用于大跨度航站楼、复杂机库等结构分析,能详细分析节点应力分布、复杂空间结构传力路径。动力时程分析模型考虑地震动随时间变化特性,通过输入多条实际地震波,模拟结构在不同地震动下的响应,更真实反映结构地震反应,用于评估结构在罕遇地震下的性能。选择计算模型时,依据建筑结构特点、设计阶段和计算需求,如初步设计阶段采用简化模型快速分析,施工图设计阶段用精细化模型精确计算。不确定性分析与风险评估应对地震中的诸多不确定因素。地震作用具有随机性,不同区域地震动参数存在差异;结构参数如材料性能、几何尺寸也存在不确定性。引入概率分析、区间分析等方法,量化这些不确定性对结构抗震性能的影响。通过风险评估,确定结构在不同地震水准下的失效概率,识别薄弱环节,为设计优化提供依据。例如,针对地震动参数不确定性,采用概率地震危险性评估,为结构设计提供合理地震动输入参数。

3.3 加强新材料与新技术应用

新型抗震材料为结构性能提升提供可能。高性能混凝土强度高、耐久性好,能减小构件截面尺寸,减轻结构自重,同时具备良好韧性,在地震中延缓裂缝发展^[3]。纤维增强复合材料(FRP)轻质高强、耐腐蚀,可用于构件加固,提高构件承载能力与延性,如对既有民航建筑梁柱进行FRP加固,增强抗震性能。在应用新型材料时,需充分了解其力学性能和施工工艺,通过试验验证其在民航建筑环境中的适用性,确保与现有结构体系良好结合。新型抗震技术改变传统抗震思路。隔震技术通过在基础与上部结构间设置隔震支座,延长结构自振周期,减少地震力向上部结构传递,使结构地震反应大幅降低,适用于对震动敏感的塔台、航站楼等建筑。消能减震技术利用阻尼器消耗地震能量,在结构中设置黏滞

阻尼器、金属阻尼器等,地震时阻尼器率先耗能,减小结构地震位移和内力。引入新型抗震技术时,需结合建筑功能和结构特点进行技术选型和参数设计,确保技术应用效果。

3.4 完善抗震设计管理与协作机制

设计团队内部协作是保障设计质量的关键。建筑、结构、设备等专业在抗震设计中相互关联,建筑专业的功能布局影响结构选型,设备专业的管线布置需考虑结构抗震要求。建立定期沟通会议机制,各专业及时交流设计进展和问题,协同优化设计方案。采用协同设计平台,实现信息共享和实时交互,避免专业间设计冲突。例如,结构专业在确定柱网布置时,与建筑专业沟通功能需求,与设备专业协调管线穿越问题,确保设计各环节协调一致。设计与施工、监理单位的协作确保设计意图落地。设计单位向施工单位详细技术交底,解释抗震设计关键节点构造和施工要求;施工单位反馈现场实际情况,提出设计优化建议,如因施工工艺限制需调整节点构造。监理单位严格监督施工过程,确保抗震措施按图施工,对不符合设计要求的部位及时要求整改。三方建立畅通沟通渠道,通过联合检查、专题会议等方式,解决施工中出现的問題,保证抗震设计准确实施,提升民航建筑抗震性能。

结束语

民航建筑抗震设计涉及多方面内容,需综合考虑建筑特点、地震影响等因素。通过把握场地选择、结构体系选型与布置等设计要点,并从创新设计理念、优化分析方法、应用新材料新技术、完善管理协作机制等方面优化抗震设计,可有效提升民航建筑抗震性能。未来应持续关注抗震技术发展,不断改进设计方法,为民航建筑安全提供更可靠保障。

参考文献

- [1]张朝阳.建筑钢结构抗震设计及优化策略[J].陶瓷,2023(05):179-181.
- [2]王成磊.高层建筑结构抗震设计方法及结构体系创新研究[J].工程建设与设计,2022(04):13-16.
- [3]石里开.多层住宅建筑结构设计中心框架结构设计要点探究[J].中国建筑装饰装修,2024(17):124-126.