

浅析机场道面混凝土耐久性影响因素及提高措施

刘增辉

北京中航空港建设工程有限公司 北京 101300

摘要: 机场道面混凝土耐久性是保障机场安全高效运行的核心,受材料、施工、环境及运维等多因素耦合影响。本文结合混凝土微观结构与服役特性,系统分析了水泥性能、配合比、冻融循环、荷载作用等关键影响因素,明确各因素对道面劣化的作用机制。基于全寿命周期理念,提出优化原材料与配合比、规范施工工艺、强化环境保护及完善运维管理等综合措施,为提升道面服役寿命、降低运维成本提供实用技术参考。

关键词: 机场道面; 混凝土耐久性; 影响因素; 提高措施

引言: 机场道面作为航空运输关键基础设施,其混凝土耐久性直接关系航班运行安全与机场运营效能。随着航空业发展,飞机起降频次增加、荷载提升及极端气候频发,道面早期破损、寿命不足等问题日益突出。本文立足机场道面建设与运维痛点,结合材料科学与工程实践,深入剖析耐久性影响因素,探索科学提升策略,为高性能机场道面设计、施工与维护提供理论支撑和实践指导。

1 机场道面混凝土耐久性相关理论基础

1.1 机场道面混凝土的性能要求

(1) 力学性能: 需承受飞机起降的高频次重载作用,具备足够的抗压、抗折及抗冲击强度。机场道面长期承受飞机机身重量、轮胎冲击力及起降时的瞬时荷载,混凝土抗压强度需达到设计标准,抗折强度需满足道面抗裂、抗变形需求,抗冲击强度则能抵御飞机起降时的瞬时冲击,避免道面出现破损、断裂。(2) 耐久性能: 作为露天服役结构,需重点抵御冻融循环、磨损、化学侵蚀等作用,保障长期服役稳定性。机场道面所处环境复杂,四季温度变化、雨雪天气及化学物质接触均会影响耐久性,需具备优异的抗劣化能力,延长道面使用寿命。(3) 施工与使用性能: 需具备良好的和易性、成型性,便于现场浇筑、振捣成型,确保道面平整度达标;同时需适应机场露天作业的复杂环境,抵御风吹、日晒、雨淋等自然因素,成型后能快速达到设计强度,不影响机场正常运营^[1]。

1.2 混凝土耐久性的核心评价指标

(1) 抗冻融性能: 主要用于抵御低温冻融循环导致的结构破损,常用冻融循环次数作为评价指标。北方机场冬季气温较低,道面混凝土反复经历冻结、融化过程,易出现表面起砂、开裂,冻融循环次数越多,表明抗冻融性能越好,能适应严寒环境。(2) 耐磨性能: 需抵抗

飞机轮胎摩擦及气流冲击,以磨损量、表面硬度作为评价依据。飞机起降时轮胎与道面高频摩擦,同时气流携带杂物冲击道面,磨损量越小、表面硬度越高,道面抗磨损能力越强,可减少表面破损^[2]。(3) 抗侵蚀性能: 用于抵御雨水、融雪剂、飞机燃油等化学物质侵蚀,保障内部结构完整性。雨水冲刷、融雪剂残留及燃油泄漏均会腐蚀混凝土内部结构,抗侵蚀性能优异可避免混凝土出现酥松、剥落,维持结构稳定。

1.3 机场道面混凝土耐久性的影响机制

(1) 内部机制: 主要取决于混凝土微观孔隙结构、界面结合状态。混凝土内部孔隙的大小、分布及连通性,直接影响冻融循环、化学侵蚀的作用效果,孔隙过大或连通性强,易导致有害物质渗透;界面结合状态不佳,会出现骨料与水泥石分离,降低结构整体性,进而影响耐久性。(2) 外部机制: 荷载、环境等外部因素通过作用于混凝土表面及内部,加速性能劣化。飞机高频次重载会导致道面疲劳损伤,降低结构抗性;低温、雨雪、紫外线等环境因素会破坏混凝土表面结构,化学物质则会渗透内部,与水泥石发生反应,双重作用下缩短道面服役寿命。

2 机场道面混凝土耐久性影响因素分析

2.1 材料因素

(1) 水泥性能: 水泥强度等级、矿物成分及碱含量,直接影响混凝土抗折、抗侵蚀能力及抗冻融性能。高强度等级水泥可提升混凝土整体强度与密实度,减少孔隙率;矿物成分中,硅酸三钙、硅酸二钙含量合理可增强抗侵蚀性,而碱含量过高易引发碱-骨料反应,导致混凝土开裂;同时,水泥的水化反应充分与否,也会影响混凝土内部结构稳定性,进而降低耐久性。(2) 骨料质量: 粗细骨料的级配、含泥量、强度及耐磨性,决定混凝土密实性与结构稳定性。级配合理的骨料可减少混凝土孔

隙,提升密实度,增强抗冻融和抗侵蚀能力;含泥量过高会破坏骨料与水泥石的界面结合,降低粘结力,易引发结构破损;骨料自身强度与耐磨性不足,会导致混凝土表面磨损加快、整体强度下降,缩短道面服役寿命。(3)外加剂与掺合料:外加剂选型不当会降低耐久性,如缓凝剂用量过多会延长水化时间,影响早期强度形成;矿物掺合料(粉煤灰、硅灰等)的种类与掺量影响微观结构,合理掺加可填充混凝土内部孔隙,改善界面结合状态,提升抗冻融、抗侵蚀性能,但掺量过高会降低混凝土早期强度,需严格控制比例。

2.2 施工工艺因素

(1)配合比设计:水胶比控制不当、组分比例失衡,是导致混凝土孔隙率增加、耐久性下降的关键因素。水胶比过大,会使混凝土水化反应不充分,内部孔隙增多,抗冻融、抗侵蚀能力显著降低;胶凝材料用量不足、骨料比例失衡,会导致混凝土强度不足,易出现开裂、磨损等病害。(2)搅拌与振捣:搅拌不均匀会导致水泥与骨料混合不充分,出现局部强度薄弱区域;振捣不密实会产生蜂窝、麻面、空洞等缺陷,这些缺陷会成为雨水、化学物质渗入的通道,加速混凝土内部劣化,降低耐久性。(3)摊铺与养护:摊铺不平整会导致道面受力不均,局部荷载集中,易引发开裂;早期养护不到位,会使混凝土表面水分快速蒸发,产生干缩裂缝,这些微小裂缝会逐渐扩展,破坏结构完整性,影响长期耐久性^[3]。(4)接缝处理:接缝施工不规范,如填缝材料质量不佳、接缝宽度控制不当,会导致雨水渗入板底,侵蚀基层,同时传荷能力不足,引发板底脱空、道面开裂,严重影响道面使用寿命。

2.3 环境与使用荷载因素

(1)环境因素:温度交替变化会引发混凝土热胀冷缩,长期反复作用会产生温度裂缝;雨水冲刷会带走混凝土表面水泥浆,降低表面硬度与密实度;融雪剂的使用会对混凝土产生化学侵蚀,破坏内部结构;潮湿、严寒等气候条件的长期作用,会加剧冻融循环破坏,导致混凝土表面起砂、剥落。(2)使用荷载因素:飞机起降的高频次冲击荷载会使道面产生疲劳损伤,长期积累易出现开裂、沉陷;轮胎与道面的高频摩擦会加速表面磨损;施工或运维过程中的机械碾压、碰撞,会造成道面表面损伤,若未及时处理,会进一步发展为严重病害,降低耐久性。

2.4 设计与运维因素

(1)设计因素:道面结构设计不合理、厚度不足,未充分考虑当地气候与荷载特点,会导致道面受力不均、抗

劣化能力不足;未设置合理的排水系统,会导致雨水淤积,加剧道面侵蚀;接缝设计不当,会影响传荷能力与防水性能,引发相关病害。(2)运维因素:日常巡检不及时,无法发现道面微小裂缝、表面磨损等早期病害,导致病害持续发展;养护措施不到位,如未及时修补裂缝、未定期进行表面防护,会加速混凝土劣化;运维过程中操作不当,也会对道面造成额外损伤,影响耐久性。

3 提高机场道面混凝土耐久性的具体措施

3.1 优化原材料选择与配合比设计

原材料质量与配合比设计是提升机场道面混凝土耐久性的基础,需从源头严格把控,通过科学选型与配比优化,筑牢混凝土结构根基。(1)原材料选择:优先选用高抗折、高耐磨的道路硅酸盐水泥,其强度等级需匹配机场道面设计要求,矿物成分中硅酸三钙、硅酸二钙含量需合理控制,碱含量严格符合规范标准,避免因碱-骨料反应引发混凝土开裂,同时提升抗侵蚀、抗冻融性能;骨料选用优质级配的粗细骨料,控制含泥量不超过规范限值,确保骨料自身强度高、耐磨性好,级配连续合理,可有效提升混凝土密实度与结构稳定性,减少内部孔隙;外加剂需选用适配机场道面场景的类型,优先选择缓凝型、引气型外加剂,避免选型不当导致耐久性下降,矿物掺合料(粉煤灰、硅灰等)需根据混凝土性能需求,确定合理种类与掺量,其中硅灰可显著改善混凝土微观结构,粉煤灰可提升抗冻融能力,掺量需通过试验精准控制,兼顾早期强度与长期耐久性^[4]。(2)配合比优化:以提升混凝土密实性、抗冻融及耐磨性能为核心,精准控制水胶比,一般控制在0.45-0.55之间,避免水胶比过大导致混凝土内部孔隙率增加、结构疏松,或水胶比过小影响施工和易性;通过多次试验确定水泥、骨料、外加剂及掺合料的最佳用量比例,确保各组分搭配均衡,在满足力学性能的同时,最大限度降低内部孔隙率,提升混凝土抗劣化能力,为耐久性提供保障。

3.2 规范施工工艺与质量控制

施工工艺的规范性直接决定混凝土成型质量,需对施工全流程进行严格管控,减少施工缺陷,从施工环节提升耐久性。(1)搅拌与振捣控制:严格按照配合比要求控制搅拌时间与加料顺序,确保水泥、骨料、外加剂及掺合料混合均匀,避免局部组分失衡;振捣采用高频振捣设备,振捣时间与振捣强度需精准控制,确保混凝土振捣密实,杜绝蜂窝、麻面、空洞等施工缺陷,防止这些缺陷成为雨水、化学物质渗入的通道,避免加速混凝土劣化。(2)摊铺与养护优化:规范摊铺作业流程,控制摊铺速度与厚度,确保道面平整度达标,避免因摊

铺不平整导致局部荷载集中；根据施工环境温度、湿度制定科学的养护方案，早期养护需及时覆盖保湿材料，控制养护温湿度与养护时长，避免混凝土表面水分快速蒸发产生干缩裂缝，后期养护需持续跟进，确保混凝土充分水化，提升结构强度与密实度，减少裂缝产生。（3）接缝施工强化：采用合理的接缝形式，结合道面结构与运营需求，优化接缝间距与宽度；接缝施工过程中，严格清理接缝处杂物，采用优质密封材料进行密封处理，确保密封严密，同时提升接缝传荷能力，防止雨水渗入板底引发脱空、开裂，避免接缝处成为耐久性薄弱环节。

3.3 加强环境适应性与荷载防护

针对机场道面复杂的环境条件与高频次荷载特点，采取针对性防护措施，减少环境侵蚀与荷载损伤，延缓混凝土性能劣化。（1）环境防护：针对严寒地区，在混凝土配合比中添加引气剂，增强抗冻融性能，冬季可采用保温覆盖措施，减少冻融循环对道面的破坏；严格控制融雪剂使用，优先选用环保型融雪剂，避免过量使用导致化学侵蚀，同时优化道面排水设计，设置完善的排水系统，及时排出雨水、融雪剂溶液，减少水分淤积与侵蚀；对于潮湿、高温地区，可在道面表面涂抹防护涂层，提升抗渗、抗紫外线能力，抵御环境因素的长期作用。（2）荷载防护：合理规划飞机起降路线，优化航班调度，减少局部区域荷载集中，避免飞机高频次冲击同一区域道面；加强施工及运维过程中的机械管理，严禁重型机械违规碾压道面，避免造成表面损伤；定期检查道面表面磨损情况，及时处理磨损严重区域，减少轮胎摩擦对道面的持续损伤，延长道面服役寿命^[5]。

3.4 完善设计与运维管理体系

通过优化设计、强化运维，构建全生命周期的耐久性保障体系，确保道面长期稳定服役。（1）设计优化：结合机场运营需求、当地气候条件及荷载特点，优化道面结构设计，合理确定道面厚度与结构形式，增设完善的排水、防冻设施，提升道面耐久性储备；在设计过程中充分考虑碱-骨料反应、冻融循环等不利因素，提前采取

防控措施，避免设计缺陷导致的耐久性问题。（2）运维强化：建立常态化巡检机制，安排专业人员定期对道面进行全面排查，及时发现微小裂缝、表面磨损、接缝破损等早期病害，采取针对性修补措施，防止病害进一步扩展；推广新型养护技术，如裂缝灌浆、表面封层等，提升养护效果，延长道面使用寿命；加强运维人员专业培训，规范运维操作流程，避免运维不当对道面造成额外损伤。（3）新型材料应用：积极推广ECC、GFRP等新型高性能材料，其中ECC材料具备优异的抗裂、抗冲击性能，可有效减少道面裂缝产生，GFRP材料可提升混凝土抗侵蚀、耐磨性能；结合机场道面具体场景，合理选用新型材料，替代传统材料，进一步提升道面混凝土耐久性，满足机场长期运营需求。

结束语

综上所述，机场道面混凝土的耐久性是一项涉及材料、结构、环境与管理的系统工程。通过优化材料设计、严控施工全过程质量、强化环境适应性改造及建立智能化健康监测体系，可显著提升道面结构的服役寿命与抗损伤能力。未来研究应进一步结合绿色低碳理念与智能材料技术，推动道面工程向长效、智能、可持续方向发展。本文的分析与建议，期望能为我国机场基础设施的提质增效与安全运行提供有益的借鉴，助力航空运输事业的高质量发展。

参考文献

- [1] 张志凌. 机场道面耐久性混凝土施工的相关研究[J]. 山西建筑, 2023, 43(32): 133-135.
- [2] 刘庆涛, 王硕太, 孔祥海, 等. 机场道面混凝土耐久性研究[J]. 混凝土, 2022, 7(6): 13-15.
- [3] 项炳泉, 廖绍锋, 王爱国, 等. 新桥机场道面混凝土耐久性试验研究[J]. 安徽建筑, 2022, 19(4): 172-176.
- [4] 麻海舰. 寒区机场道面混凝土耐久性区划及抗冻性参数设计[J]. 南京航空航天大学, 2024, 7(12): 128-131.
- [5] 李强. 机场道面混凝土施工及其施工措施研究[J]. 绿色环保建材, 2022, 5(2): 138-140.