

冰冻地区机场水泥混凝土道面冻融病害分析

王小建

北京金港场道工程建设有限公司 北京 100073

摘要: 在冰冻地区, 机场水泥混凝土道面的冻融病害问题一直是影响其使用寿命和运行安全的关键因素之一。本文首先分析了冰冻地区机场水泥混凝土道面冻融病害。阐述病害类型特征, 包括表面剥落、裂缝扩展等; 接着剖析了产生机理, 涉及静水压、渗透压等理论; 探讨环境、材料、施工、使用维护等因素对病害的影响; 最后提出了预防与修复措施, 预防有优化材料、加强施工控制等, 修复含表面修补、裂缝修补、局部更换、整体翻修, 以保障机场道面安全稳定运行。

关键词: 冰冻地区机场; 水泥混凝土道面; 冻融病害; 预防; 修复措施

引言: 冰冻地区机场水泥混凝土道面受特殊气候条件影响, 冻融病害问题突出, 严重影响其使用寿命与运行安全。冻融病害类型多样, 产生机理复杂, 涉及静水压、渗透压等多种理论。同时, 环境、材料、施工及使用维护等因素均会对其产生影响。本文将深入研究这些病害的类型、机理、影响因素, 并制定有效的预防与修复措施, 对于保障冰冻地区机场道面的安全稳定运行, 具有十分重要的意义。

1 冰冻地区机场水泥混凝土道面冻融病害类型及特征

表面剥落是冻融循环使道面表层水泥砂浆失去粘结力, 初期为细小颗粒脱落, 后形成不规则坑洼, 影响平整度与抗滑性能, 威胁飞机起降安全, 常发生在迎冰面或积水处。裂缝扩展是低温下混凝土内部水结冰膨胀对裂缝壁产生挤压应力, 融化时水分进入裂缝再次冻结产生新应力, 反复作用使裂缝恶化, 降低混凝土整体强度与刚度, 影响承载能力, 还成为水分和有害物质进入通道加速破坏^[1]。孔洞与疏松是冻融循环使混凝土内部水分冻结膨胀推开颗粒形成微小孔隙, 后连通扩大成孔洞, 同时骨料与水泥浆体粘结力减弱使结构疏松, 降低密度与强度, 让道面更易受破坏。整体强度下降是长期冻融破坏混凝土微观结构, 使骨料与水泥浆体界面过渡区劣化, 降低抗压、抗折等力学性能, 导致道面承受荷载时变形和裂缝增大, 缩短使用寿命, 增加维修成本。

2 冰冻地区机场水泥混凝土道面冻融病害产生机理

2.1 静水压理论

冰冻地区机场水泥混凝土道面内部有诸多孔隙与毛细孔道且充满水分, 环境温度降低时孔隙中水结冰体积膨胀约9%, 混凝土为刚性材料限制水膨胀, 在孔隙内产生静水压力, 当此压力超过混凝土抗拉强度, 混凝土便产生微裂缝, 冻融循环反复进行, 微裂缝不断扩展连通, 最

终致混凝土结构破坏。静水压力大小受孔隙大小、水的饱和度及降温速度等因素影响, 孔隙大小不同, 水在其中结冰膨胀时所受约束不同, 孔隙越大, 水膨胀空间相对越大, 但混凝土整体对其限制作用在局部体现时, 产生的静水压力往往越大; 水的饱和度越高, 意味着孔隙中可结冰的水越多, 结冰膨胀时产生的总体压力越大; 降温速度越快, 水快速结冰, 体积迅速膨胀, 混凝土来不及通过变形缓解压力, 静水压力也就更大。这些因素相互关联, 共同作用于混凝土冻融过程, 在冰冻地区机场水泥混凝土道面冻融病害产生中起着关键作用, 是理解道面冻融破坏机理、制定预防和修复措施的重要依据。

2.2 渗透压理论

混凝土内部不同大小孔隙中水冰点有差异, 小孔隙水冰点低, 低温下多为液态, 大孔隙水冰点高, 易结冰。大孔隙水结冰后蒸汽压降低, 小孔隙液态水经混凝土毛细孔道向大孔隙水迁移, 由此形成渗透压。渗透压使混凝土内部产生拉应力, 当拉应力超出混凝土抗拉强度, 混凝土便产生裂缝^[2]。渗透压大小受孔隙溶液浓度差、温度及混凝土渗透性等因素影响。孔隙溶液浓度差越大, 水迁移动力越强, 渗透压越大; 温度降低, 大孔隙水更易结冰, 蒸汽压变化更明显, 小孔隙水迁移更活跃, 渗透压增大; 混凝土渗透性决定水迁移难易程度, 渗透性越好, 水迁移越顺畅, 渗透压作用越显著。这些因素相互影响, 共同导致渗透压对混凝土产生破坏, 是理解机场水泥混凝土道面冻融破坏不可忽视的方面。

2.3 结晶压理论

冻融过程中混凝土内盐类等杂质会在冰—水界面结晶, 结晶体生长产生结晶压, 对混凝土起破坏作用。结晶压大小受结晶体形状、大小及生长速度等因素影响, 不同形状结晶体在生长时与混凝土孔隙壁接触方式不同, 对孔

隙壁产生的压力分布有差异,进而影响结晶压大小;结晶体越大,生长时所需空间越大,对周围混凝土挤压作用越强,结晶压越大;生长速度越快,单位时间内对混凝土产生的冲击力越大,结晶压也越大。当结晶压超过混凝土抗拉强度,混凝土便产生裂缝。同时,盐类结晶会使混凝土体积膨胀,进一步破坏混凝土结构。盐类结晶膨胀过程是渐进的,随着结晶不断增多,膨胀力持续积累,对混凝土内部结构造成持续挤压,使原本存在的微裂缝扩展、新裂缝产生,降低混凝土整体强度和耐久性,在冻融环境下,结晶压与盐类结晶膨胀共同作用,加速机场水泥混凝土道面破坏进程。

2.4 温度应力理论

冰冻地区气温起伏大,白天太阳辐射致道面温度上升,混凝土发生膨胀变形;夜晚气温下降,混凝土产生收缩变形。因混凝土与基层间存在摩擦力,且道面自身有约束作用,混凝土内部便会形成温度应力。温度应力大小与温度变化幅度、混凝土热膨胀系数、约束程度等因素相关,温度变化幅度越大,混凝土膨胀或收缩越剧烈,产生的温度应力越大;混凝土热膨胀系数不同,对温度变化的响应有差异,也会影响温度应力;约束程度越强,混凝土变形受阻越严重,温度应力随之增大^[3]。当温度应力超出混凝土抗拉强度,混凝土就会产生裂缝。此外,冻融循环会使混凝土内部结构改变,让其对温度变化更敏感,温度应力破坏作用更为突出。在反复冻融与温度变化共同作用下,混凝土裂缝不断扩展、增多,最终导致机场水泥混凝土道面结构性能劣化,影响其正常使用与耐久性。

3 冰冻地区机场水泥混凝土道面冻融病害影响因素

3.1 环境因素

(1) 温度,气温剧烈变化及频繁冻融循环会加速混凝土冻融破坏,冻融循环次数越多混凝土受破坏越严重,最低气温越低水结冰体积膨胀越大,产生压力越大对混凝土破坏越严重。(2) 湿度,决定混凝土内部水分含量,潮湿环境中混凝土更易吸收水分,为冻融作用创造条件,长期处于饱和水状态时冻融破坏最严重,干燥环境中混凝土内部水分少冻融破坏相对较轻。(3) 降雪与降水,会增加混凝土表面水分,使水分更易渗入内部,降雪后使用除冰盐时,盐溶液会加速水分向混凝土内部渗透,加剧冻融破坏,盐溶液降低水的冰点,使混凝土内部水分在更低温度下结冰,同时盐溶液的渗透压力也会增大,进一步破坏混凝土结构,且盐溶液还会腐蚀混凝土中的钢筋等金属部件,降低混凝土结构的整体强度和耐久性,多种因素共同作用导致冻融病害不断加重。

3.2 材料因素

其一是水泥品种与用量,不同品种水泥化学成分和矿物组成不同,硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥抗冻性较好,矿渣、火山灰质、粉煤灰硅酸盐水泥抗冻性较差,水泥用量少会降低混凝土密实度、增大孔隙率使抗冻性下降,用量过多会增加干缩产生裂缝降低抗冻性。其二是骨料质量,优质骨料强度高、粒形和级配良好、吸水率低,含较多软弱颗粒、杂质或吸水率高会降低混凝土抗冻性,骨料最大粒径也影响抗冻性,通常最大粒径越大抗冻性越差。其三是外加剂,合理使用可改善抗冻性,引气剂能在混凝土中引入大量均匀分布微小气泡,缓解水结冰压力提高抗冻性,减水剂可减少混凝土用水量,提高密实度增强抗冻性,不同外加剂通过不同作用机制共同提升混凝土在冻融环境下的性能,减少冻融病害的发生,保障机场水泥混凝土道面等结构的长期稳定性和耐久性。

3.3 施工因素

(1) 搅拌与振捣,搅拌不均匀会使混凝土内各材料无法充分混合,影响均匀性与密实度,振捣不密实会导致内部出现孔隙、蜂窝麻面等缺陷,降低抗冻性,所以施工时要严格控制搅拌时间与振捣工艺,保证混凝土均匀且密实。(2) 养护方面,其对混凝土强度发展与抗冻性至关重要,早期养护不良会让混凝土表面水分蒸发过快,产生干缩裂缝,降低抗冻性,在冰冻地区需采取适当保温保湿养护措施,像覆盖塑料薄膜、草帘等,防止表面水分过快蒸发与受冻。(3) 施工缝处理,施工缝是混凝土结构薄弱部位,处理不当易造成水分侵入通道,引发冻融破坏,施工时要严格规范处理施工缝,确保其密实性与平整度,只有做好搅拌与振捣、养护、施工缝处理这些施工环节工作,才能有效提升混凝土抗冻性,减少冻融病害发生,保障工程质量与使用安全。

3.4 使用维护因素

其一是荷载作用,道面需承受飞机起降、滑行等荷载,过大荷载使混凝土产生裂缝与变形,降低抗冻性,冻融循环下裂缝迅速扩展加速破坏。其二是除冰盐使用,其会加剧混凝土冻融破坏,所以要严格控制用量与方法,减少损害,可采取机械除冰、热力除冰等替代方式降低使用量^[4]。其三是道面清洁与维护,定期清洁维护,及时清除杂物、积水等,能减少水分对混凝土侵蚀,延缓冻融病害发展,对出现的裂缝、坑槽等病害要及时修复,防止进一步扩大,这些病害若不及时处理,水分会更容易侵入混凝土内部,在冻融作用下造成更严重破坏,只有做好荷载控制、合理使用除冰盐以及加强道面清洁维护

与病害修复等工作,才能有效提升机场水泥混凝土道面的抗冻性,保障其长期稳定使用,确保飞机起降安全与机场正常运行。

4 冰冻地区机场水泥混凝土道面冻融病害的预防与修复措施

4.1 预防措施

优化混凝土材料选择与配合比设计是提升机场水泥混凝土道面抗冻性的基础,应挑选抗冻性佳的水泥品种,像普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥;严格把控骨料质量,选用质地坚硬、级配优良且含泥量低的骨料;合理运用引气剂、粉煤灰等外加剂与掺合料,以此提高混凝土抗冻性。同时依据工程要求与环境条件优化配合比设计,保证混凝土有足够水泥用量、适宜水灰比及良好施工性能。加强施工质量控制也至关重要,施工时要严格管控搅拌与振捣工艺,确保混凝土混合均匀、振捣密实,避免出现离析、空洞等问题;强化养护管理,采取保温保湿养护措施,为混凝土强度充分发展创造条件;做好道面排水设计,防止表面积水,减少水分对混凝土的侵蚀^[5]。改善使用环境能有效降低道面冻融破坏风险,在机场道面周围设置有效排水系统,及时排除表面积水,降低道面湿度,减少水分在混凝土孔隙中的积聚;合理使用融雪剂,挑选对混凝土腐蚀性小的品种,并严格控制使用量与使用时间,避免融雪剂残留对混凝土造成损害;加强对机场道面的维护管理,定期检查道面状况,通过专业检测手段及时发现潜在问题,如微裂缝、剥落等,并采取修补、加固等措施及时处理,防止问题扩大,延长机场水泥混凝土道面的使用寿命,保障其安全稳定运行。

4.2 修复措施

(1) 表面修补,用于处理表面剥落、孔洞等病害,先清除病害部位松动混凝土,用高压水冲洗表面后涂刷界面剂,再用与原混凝土强度等级相同或更高的水泥砂浆或细石混凝土修补,修补后养护确保修补材料与原混凝土粘结牢固。(2) 裂缝修补,针对不同宽度裂缝采取不同方式,裂缝宽度较小时采用压力灌浆法,将环氧树脂等修补材料在压力作用下注入裂缝填充,提高混凝土整

体性和强度;裂缝宽度较大时先在裂缝两侧开槽,植入钢筋后用混凝土填补修复。(3) 局部更换,适用于病害严重、无法通过修补恢复使用功能的部位,凿除病害部位混凝土,清理基层后重新浇筑混凝土,重新浇筑时注意与原混凝土衔接,保证新旧混凝土粘结良好。(4) 整体翻修,在机场水泥混凝土道面冻融病害非常严重,大面积出现表面剥落、裂缝扩展、整体强度下降等情况时采用,先拆除原道面,再重新进行基层和面层施工,施工过程中严格按设计要求和施工规范操作,确保新道面质量和性能,通过这些修复措施可有效恢复机场水泥混凝土道面的使用功能,延长其使用寿命,保障机场运行安全。

结束语

综上所述,冰冻地区机场水泥混凝土道面冻融病害严重影响其使用寿命与运行安全。病害类型多样,产生机理复杂,受环境、材料、施工及使用维护等多种因素影响。针对这些病害,需采取有效的预防与修复措施。预防上优化材料、加强施工控制、改善使用环境;修复上依据病害程度选择表面修补、裂缝修补、局部更换或整体翻修等方法。通过这些措施,可提升道面抗冻性,恢复其使用功能,保障机场安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 邹伟明.高寒地区机场道面的病害及防治措施探究[J].中国厨卫,2024,23(3):122-124.
- [2] 刘桂丽,吕磊,马晓飞.北部寒冷地域水泥混凝土道面病害维护方法研究[J].山西建筑,2025,51(14):6-11.
- [3] 胥欣,张正伟.寒区水泥混凝土机场道面抗冻性能研究[J].山西建筑,2025,51(19):144-147+151.
- [4] 赵得强,张欢,韩国明,周嘉禹,李文彬.极寒地区机场沥青道面快速维护技术及工程应用[J].工程技术研究,2021,6(4):155-156.
- [5] 高志斌,李克非.机场水泥混凝土道面成型阶段早期开裂成因与控制技术[J].中国民航大学学报,2024,42(5):66-72+82.