

新型材料在场道工程抗冻融性能中的应用

李彦哲

西北民航机场建设集团有限责任公司 陕西 西安 710075

摘要：本文探讨了新型材料在场道工程抗冻融性能中的应用。分析了场道工程冻融破坏机理，包括冻融循环作用原理、破坏形式及影响因素。介绍了高抗冻性材料、自修复材料和智能调湿材料等新型材料特性，以及它们在场道工程不同结构层次（面层、基层、垫层）的应用，阐述了对各层抗冻融性能的改善及与原有材料的兼容性、协同作用，为提升场道工程抗冻融性能提供参考。

关键词：新型材料；场道工程；抗冻融性能；冻融破坏机理；结构层次应用

引言：在寒冷地区，场道工程易受冻融破坏，导致结构损坏、使用寿命缩短。传统材料在抗冻融方面存在局限，难以满足实际需求。随着材料科学发展，新型材料不断涌现。研究新型材料在场道工程抗冻融性能中的应用，有助于提升场道工程质量，减少冻融破坏带来的损失，对保障机场等交通设施正常运行具有重要意义。

1 场道工程冻融破坏机理分析

1.1 冻融循环作用原理

冻融破坏的发生源于水在不同温度下的相变特性及其伴随的体积变化。当环境温度下降至冰点以下，场道材料内部孔隙中的自由水开始结冰，由液态转变为固态的过程中，体积发生膨胀。由于孔隙空间有限，这种膨胀并非均匀分布，而是在局部形成向外的挤压应力。随着冻结过程持续，应力不断累积，对材料结构造成持续性损伤。当温度回升，冰融化为水，体积收缩，原有应力释放，但材料内部已出现微裂纹等不可逆损伤。反复经历冻融过程，材料如同被不断拉伸与压缩，导致结构逐渐松动、强度下降。这种周期性的物理作用对材料的损害具有累积效应，随着时间推移，其破坏性愈加显著。这一过程不仅影响材料本身的物理性能，还加速了其他环境因素对材料的侵蚀。例如，在盐分存在的情况下，结冰过程会进一步加剧体积膨胀，使材料更容易发生开裂和剥落。水分在材料中迁移的过程也会带动可溶性物质的移动，导致部分区域因物质流失而结构疏松，从而降低整体耐久性。

1.2 冻融破坏的主要形式

冻融破坏在场道工程中主要表现为表面剥落、裂缝扩展和基层松散。表面剥落是最早出现的破坏形式，低温时冰的膨胀削弱了表层颗粒间的粘结力，在冰融化后，失去支撑的颗粒易在外力作用下脱落，形成坑洼。此类破坏通常最先出现在排水不畅或表面密实度不足的

区域，随着时间推移，剥落面积逐步扩大，影响通行安全和平整度。裂缝扩展则源于材料内部微裂纹在反复冻融中逐渐延伸，最终相互贯通，影响结构整体性和承载能力。裂缝的存在又进一步加剧水分渗透，使得冻融破坏进入恶性循环。裂缝不仅降低了结构的整体刚度，也容易成为车辆荷载作用下的应力集中区，从而引发更大范围的结构性损坏。基层松散是深层破坏的表现，水分在基层孔隙中反复迁移冻结，破坏颗粒间结合力，使原本紧密的结构变得松散，降低其对上层结构的支撑能力，进而引发更大范围的损坏^[1]。基层一旦出现松散，面层将失去稳定的承载基础，即使未直接暴露于严寒环境中，也会因受力不均而产生变形或沉陷。

1.3 影响冻融破坏的因素

冻融破坏的程度受多种因素共同影响。气候条件方面，温度频繁在冰点上下波动会增加冻融循环次数，湿度越高，材料吸水越充分，破坏越严重。长期处于高湿、温差大且寒冷的地区，场道更易受到冻融作用的影响，破坏速度明显加快。材料性质方面，孔隙率高、连通孔多或吸水性强的材料更容易受到冻融作用的影响，而强度较低的材料难以抵抗冰胀应力，更易受损。材料的组成和配比决定了其内部结构致密程度，进而影响其抗冻性能。例如，掺入适量矿物掺合料可以改善孔隙结构，减少连通孔数量，从而提高抗冻能力。这些因素相互作用，进一步加剧或减缓冻融破坏的发展进程。施工质量同样关键。若压实度不足，孔隙率增大，将加速水分侵入；层间粘结不良易在冻融作用下产生分离；养护不当也会降低材料整体性能，使其在寒冷环境中更易发生破坏。施工过程中应严格控制材料配比、摊铺厚度和压实工艺，确保各层之间良好衔接，提升整体结构稳定性。

2 新型材料在提升场道工程抗冻融性能方面的特性

2.1 高抗冻性材料

2.1.1 材料类型

高性能混凝土和特种水泥基材料,是具有高抗冻性的典型新型材料。高性能混凝土通过优化原材料选择和配合比设计制备而成,采用优质的水泥、精细级配的骨料以及高效减水剂等外加剂,使其具备优良的综合性能。特种水泥基材料则是在传统水泥基础上,通过调整水泥矿物组成或添加特殊组分制成,如铝酸盐水泥基材料、硫铝酸盐水泥基材料等,这些材料在性能上与普通水泥有显著差异。它们不仅早期强度发展快、耐化学侵蚀能力强,而且在低温环境下仍能保持良好的物理力学性能,特别适用于寒冷地区场道工程的建设与修复。

2.1.2 抗冻机理

高抗冻性材料抵抗冻融破坏的内在机制,源于其独特的微观结构与材料组成。以高性能混凝土为例,其低孔隙率是关键因素。通过精确控制水灰比,减少多余水分,利用减水剂的分散作用,使水泥颗粒更均匀地分布,降低材料内部的连通孔隙。致密的微观结构让水分难以侵入,即便在冻融循环中,也能减少因水分结冰膨胀带来的应力。这些材料良好的水化产物对提升抗冻性也有重要作用。特种水泥基材料在水化过程中,会生成不同类型的水化产物。如铝酸盐水泥水化生成的钙矾石和氢氧化铝凝胶,填充在材料孔隙中,进一步增强结构密实度。密实的结构不仅限制了水分迁移,还提高了材料整体强度,使其能够更好地承受冻融循环产生的应力,延缓冻融破坏进程。

2.2 自修复材料

2.2.1 自修复原理

自修复材料在场道工程中的应用基于不同的修复机制。一种常见方式是通过内置胶囊释放修复剂。在材料制备过程中,将装有修复剂的微小胶囊均匀分散在材料内部。当材料因冻融循环等因素产生裂缝时,裂缝扩展会刺破胶囊,释放出修复剂^[2]。修复剂与周围环境或材料成分发生反应,生成凝胶或结晶物质,填充裂缝,实现自我修复。微生物诱导碳酸钙沉淀也是自修复的重要原理。在材料中引入特定微生物菌种,这些微生物在适宜条件下能够利用材料中的营养物质进行新陈代谢。当材料出现裂缝,外界水分和二氧化碳进入,为微生物提供活动环境。微生物通过自身代谢作用,诱导碳酸钙沉淀,逐渐填充裂缝,恢复材料的完整性。

2.2.2 对抗冻融性能的提升作用

自修复功能对场道材料在冻融循环下的耐久性提升效果显著。冻融循环易使场道材料产生细微裂纹,若不及时修复,裂纹会不断扩展。自修复材料能在裂纹产生

初期迅速响应,及时填充裂缝。修复后的区域重新形成连续结构,阻止水分进一步侵入,减少下次冻融循环时冰膨胀产生的应力集中。随着冻融循环次数增加,自修复材料持续发挥作用,有效抑制裂缝扩展和破坏,延长场道工程的使用寿命。

2.3 智能调湿材料

2.3.1 调湿机制

智能调湿材料能够根据环境湿度自动调节自身含水率,从而维持材料内部环境的相对稳定。多孔材料和吸湿性聚合物是这类材料的代表。多孔材料具有丰富的孔隙结构,其孔径大小和孔隙分布决定了材料的吸湿和放湿能力。当环境湿度较高时,材料孔隙吸附水分;环境湿度降低,孔隙中的水分又释放到环境中。吸湿性聚合物则通过分子链上的亲水基团与水分子发生作用,实现对水分的吸附和脱附。这种双向调节功能有效减少了因湿度剧烈变化引起的体积变形和结构损伤,在冻融环境下尤为关键,有助于提升场道材料的耐久性和稳定性。

2.3.2 在抗冻融方面的优势

智能调湿材料通过控制材料内部湿度,降低冻融循环产生的应力。在冻融环境中,材料内部水分含量直接影响冻融破坏程度。智能调湿材料能够将材料内部湿度维持在相对稳定水平,避免因水分过多在低温下结冰膨胀,或因水分过少导致材料干燥收缩。在湿度变化频繁的区域,其自动调节含水率的特性,可减少水分在材料孔隙中的反复冻融,降低应力循环次数,从而提高场道工程的抗冻融性能,保障场道结构的稳定性和耐久性。

3 新型材料在场道工程不同结构层次的应用

3.1 面层材料应用

3.1.1 对面层抗冻融性能的改善

新型材料在场道面层的应用显著提升其抗冻融性能。高性能混凝土作为新型面层材料,凭借低孔隙率和致密结构,有效阻碍水分侵入^[3]。在冻融循环中,其内部水分含量少,结冰膨胀产生的应力小,从而减少表面剥落现象。添加特殊增强纤维的高性能混凝土,增强了材料韧性,在承受冻融应力时,能抑制裂缝的产生和扩展,延长面层使用寿命。部分特种涂层材料也被应用于场道面层。这些涂层具有憎水特性,可在面层表面形成保护膜,阻止水分渗透到材料内部。即便环境温度下降,因面层内水分少,冻融破坏程度大幅降低。此类涂层还能提升面层耐磨性和抗滑性,在增强抗冻融能力的同时,保障场道的使用安全与通行性能。

3.1.2 与原有面层材料的兼容性

新型面层材料与传统面层材料结合时,需考虑兼容

性问题以确保整体结构稳定。在结合方式上,对于表面涂覆型新型材料,需对原有面层表面进行预处理,如打磨、清洁,保证涂层与基层紧密粘结。对于替换型新型材料,要控制新旧材料的收缩膨胀性能一致,避免因变形差异产生层间裂缝。在材料性能方面,新型材料的弹性模量、热膨胀系数等参数应与传统材料相近。若新型高性能混凝土与传统混凝土弹性模量相差过大,在温度变化或荷载作用下,两层材料受力不均,易导致面层结构破坏。通过优化材料配合比,添加界面粘结剂等方式,可增强新型材料与原有面层材料的相容性,保障场道面层整体结构稳定。

3.2 基层材料应用

3.2.1 增强基层稳定性和抗冻性

新型材料在基层的应用有效改善其力学性能、水稳定性和抗冻融性能。一些新型水泥改良土材料,通过添加特殊固化剂,改变土壤颗粒结构,提高基层密实度和强度。密实的基层结构减少了水分侵入通道,降低冻融破坏风险。固化剂与土壤中的水分和矿物成分发生化学反应,生成稳定的胶结物质,增强基层抵抗冻融应力的能力,防止基层因冻融破坏而松散。泡沫混凝土作为新型基层材料,具有轻质、多孔特性。其内部封闭孔隙可阻断水分迁移路径,提高水稳定性。在冻融循环中,泡沫混凝土的多孔结构能缓冲冰膨胀产生的应力,避免基层结构受损。泡沫混凝土良好的隔热性能,可降低基层温度变化幅度,减少冻融循环次数,进一步增强基层抗冻性。

3.2.2 对基层排水性能的影响

新型基层材料对场道排水系统影响显著。具有高透水性的新型基层材料,如透水混凝土,能快速排出渗入基层的水分^[4]。在冻融环境下,及时排水可避免水分在基层孔隙中结冰膨胀,降低冻融破坏几率。这类材料还可与排水管道配合使用,形成完善排水体系,加速水分排出。部分新型材料通过优化自身结构提升排水性能。如采用特殊级配设计的基层材料,形成连通孔隙结构,使水分能迅速渗透并排出。良好的排水性能减少了基层含水量,从根源上降低冻融循环发生概率,保障基层稳定,为场道面层提供可靠支撑。

3.3 垫层材料应用

3.3.1 优化垫层功能

新型材料在垫层中的应用大幅提升其隔温、隔水和承载能力。聚苯乙烯泡沫板作为新型隔温垫层材料,具有极低导热系数,能有效阻止热量传递。在寒冷地区,可减少土壤冻结深度,减轻冻土对上部结构的影响。其轻质特性还能降低垫层自重,减少地基沉降。膨润土防水毯作为隔水垫层材料,遇水膨胀形成致密防水膜,阻止地下水向上渗透。在冻融环境中,有效隔断水分迁移通道,避免场道结构因水分侵入发生冻融破坏。新型高强度土工合成材料用于垫层,可提高垫层承载能力,分散上部荷载,增强场道整体稳定性。

3.3.2 与上下层材料的协同作用

新型垫层材料与面层、基层材料协同工作,共同提升场道工程抗冻融性能。隔温垫层材料降低基层温度变化,减少基层冻融循环次数,间接保护基层和面层。当垫层采用防水性能好的材料时,可减少水分对基层和面层的侵蚀,延长场道结构使用寿命。在承载方面,高强度垫层材料将上部荷载均匀传递到地基,减轻基层和面层受力。面层、基层、垫层材料相互配合,形成完整受力体系。如面层抵抗车辆磨损和冻融破坏,基层提供稳定支撑,垫层发挥隔温、隔水和承载作用,三者协同工作,有效提高场道工程在冻融环境下的耐久性和稳定性。

结束语

新型材料在场道工程抗冻融性能应用中展现出显著优势。高抗冻性材料、自修复材料、智能调湿材料等从不同方面提升场道抗冻融能力。在面层、基层、垫层不同结构层次合理应用新型材料,能有效改善场道性能,增强其稳定性与耐久性。未来,应进一步研发和推广新型材料,优化应用技术,为场道工程在冻融环境下的长期稳定运行提供保障。

参考文献

- [1]赵国银,刘贺.探究新型抗冻耐低温混凝土修复材料性能[J].建筑技术开发,2022,49(16):120-122.
- [2]赵多明.冻融-硫酸盐多因素耦合下新型抗冻耐酸耐盐混凝土材料研究[J].水利技术监督,2022(10):161-166.
- [3]顾志成.新型建筑材料在建筑工程结构设计中的应用分析[J].陶瓷,2022(07):110-112.
- [4]唐黎标.新型建筑材料在建筑工程中的应用[J].上海建材,2021(02):28-29.