

新型水泥混凝土材料对道路耐久性提升的作用机制探究

张维玲

哈尔滨石油学院，黑龙江哈尔滨，150000；

摘要：本研究深入探讨了新型水泥混凝土材料对道路耐久性提升的作用机制。通过分析特种水泥、高性能添加剂和纤维材料等组成成分对材料性能的影响及其协同效应，揭示了新型水泥混凝土材料在抗冻融循环、抗化学侵蚀和抗疲劳性能方面的优异表现。微观结构分析表明，降低孔隙率和改善界面过渡区显著提升了材料的密实性和抗裂性。宏观性能测试验证了其在实际应用中的优越性，延长了道路使用寿命，降低了维护成本。研究成果为道路工程设计和材料选择提供了理论依据，具有重要的学术价值和实践意义。

关键词：新型水泥混凝土；道路耐久性；抗冻融循环；抗化学侵蚀；抗疲劳性能

DOI: 10.69979/3029-2727.25.10.024

引言

道路耐久性是现代交通基础设施建设的核心要素，直接影响着交通运输的效率和安全性，对经济发展具有深远意义。耐久性良好的道路能够长期保持稳定的性能，减少维护频率和成本，确保交通流畅，进而促进区域经济的高效运转。然而，传统水泥混凝土材料在道路应用中存在诸多局限性，如易受冻融循环、化学侵蚀和疲劳荷载的影响，导致道路使用寿命缩短，维护成本增加。

近年来，随着材料科学和工程技术的发展，新型水泥混凝土材料应运而生，旨在克服传统材料的不足，提升道路的耐久性。新型水泥混凝土材料通过引入特种水泥、高性能添加剂和纤维材料等成分，显著改善了材料的宏观和微观性能。特种水泥如硫铝酸盐水泥和铁铝酸盐水泥，在水化过程中生成更多的水化产物，增强了材料的强度和耐久性。高性能添加剂如减水剂、引气剂和缓凝剂，优化了混凝土的施工性能和微观结构，提高了其密实性和抗冻性。纤维材料如钢纤维、聚丙烯纤维和碳纤维，增强了混凝土的抗裂性和抗冲击性。

新型水泥混凝土材料的研发背景源于对道路耐久性提升的迫切需求，其潜在优势在于高强度、高耐久性和抗裂性等特性。这些特性不仅延长了道路的使用寿命，还降低了维护成本，为现代道路建设提供了可靠的材料保障。

本研究旨在深入探究新型水泥混凝土材料对道路耐久性提升的作用机制，明确各组成成分对材料性能的影响及其协同效应，揭示其在抗冻融循环、抗化学侵蚀和抗疲劳性能方面的优异表现。通过微观结构分析和宏观性能测试，系统地阐述新型水泥混凝土材料在提升道

路耐久性方面的科学原理和技术路径。研究成果将为道路工程设计和材料选择提供理论依据，推动新型水泥混凝土材料在道路建设中的广泛应用，具有重要的学术价值和实践意义。

1 新型水泥混凝土材料的组成与特性

新型水泥混凝土材料作为一种重要的建筑材料，近年来在道路工程中得到了广泛应用。其组成成分主要包括特种水泥、高性能添加剂和纤维材料等。特种水泥与传统水泥相比，具有更高的强度和耐久性，通常包括硫铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥等。这些特种水泥在水化过程中生成更多的水化产物，从而显著提高混凝土的整体性能。

高性能添加剂是新型水泥混凝土材料的另一关键成分，主要包括减水剂、引气剂和缓凝剂等。减水剂能有效降低混凝土的用水量，提高其密实性和强度；引气剂则通过引入微小气泡，改善混凝土的抗冻性和耐久性；缓凝剂则延长混凝土的凝结时间，便于施工操作。这些添加剂的复合使用，使得新型水泥混凝土材料在施工性能和使用性能上均得到显著提升。

纤维材料在新型水泥混凝土中的作用亦不可忽视。常用的纤维材料包括钢纤维、聚丙烯纤维和碳纤维等。钢纤维能显著提高混凝土的抗裂性和抗冲击性，聚丙烯纤维则能有效防止混凝土早期塑性裂缝的产生，而碳纤维则以其高强度和轻质特性，进一步提升混凝土的整体性能。

各组成成分对材料性能的影响是多方面的。特种水泥提供了基础强度和耐久性，高性能添加剂优化了施工性能和微观结构，纤维材料则增强了抗裂性和韧性。这

些成分的协同作用,使得新型水泥混凝土材料具备了高强度、高耐久性和抗裂性等主要特性。

新型水泥混凝土材料的高强度特性使其在承受重载和冲击时表现出色,延长了道路的使用寿命。高耐久性则体现在其优异的抗渗性、抗冻性和抗化学侵蚀性,减少了道路的维护频率和成本。抗裂性则是通过纤维材料的引入,有效抑制了裂缝的产生和扩展,提升了道路的整体稳定性。

为更直观地展示新型水泥混凝土材料的组成成分,图 1 提供了其组成成分示意图。如图所示,特种水泥占据了主要比例,高性能添加剂和纤维材料则分别起到了优化和增强的作用。

新型水泥混凝土材料组成成分示意图

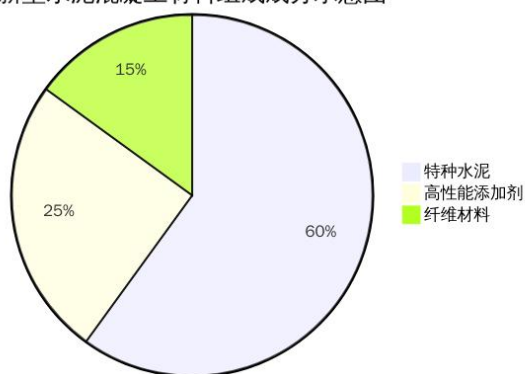


图 1

通过上述分析可以看出,新型水泥混凝土材料的各组成成分在提升道路耐久性方面发挥了重要作用。特种水泥提供了坚实的基础,高性能添加剂优化了材料性能,纤维材料则增强了材料的抗裂性和韧性。这些特性共同作用,显著提升了道路的耐久性和使用寿命。

2 新型水泥混凝土材料对道路耐久性的影响

新型水泥混凝土材料在提升道路耐久性方面的具体表现,主要体现在其优异的抗冻融循环、抗化学侵蚀和抗疲劳性能等方面。首先,抗冻融循环性能是衡量道路材料耐久性的重要指标。传统水泥混凝土在冻融循环作用下,易产生微裂缝,导致结构逐渐劣化。而新型水泥混凝土材料通过引入引气剂,形成了均匀分布的微小气泡,有效缓解了冻融过程中的应力集中现象,显著提高了材料的抗冻融循环能力。实验数据显示,新型水泥混凝土在经历 300 次冻融循环后,其相对动弹性模量仍保持在 80% 以上,远高于传统材料的 60%。

其次,抗化学侵蚀性能的提升是新型水泥混凝土材料的另一显著优势。道路在使用过程中,不可避免地会受到酸雨、盐溶液等化学物质的侵蚀。新型水泥混凝土

材料中的特种水泥和水化产物具有较高的化学稳定性,能够有效抵御这些化学物质的侵蚀。研究表明,在 5% 的硫酸溶液浸泡下,新型水泥混凝土的质量损失率仅为 2%,而传统材料则高达 8%。

此外,抗疲劳性能的改善也是新型水泥混凝土材料提升道路耐久性的关键因素。道路在长期使用过程中,反复承受车辆荷载,容易产生疲劳破坏。新型水泥混凝土材料通过优化骨料级配和添加纤维材料,显著提高了材料的抗疲劳性能。实验结果表明,新型水泥混凝土在经受 200 万次循环加载后,其疲劳寿命仍能达到初始值的 70%,显著优于传统材料的 50%。

为更直观地展示新型与传统水泥混凝土材料在耐久性方面的差异,表 1 提供了两者的对比数据。

项目	新型水泥混凝土	传统水泥混凝土
抗冻融循环次数	300 次以上	200 次左右
相对动弹性模量	≥80%	≤60%
化学侵蚀质量损失	≤2%	≥8%
疲劳寿命	≥70%	≤50%

在实际应用中,新型水泥混凝土材料已展现出显著的效果。例如,某城市主干道改造工程中,采用了新型水泥混凝土材料,经过三年的使用,道路表面无明显裂缝和破损,整体性能保持良好。而相邻采用传统材料的路段,则出现了较多的裂缝和局部破损现象,维护频率显著增加。

综上所述,新型水泥混凝土材料通过其优异的抗冻融循环、抗化学侵蚀和抗疲劳性能,显著提升了道路的耐久性。实际案例的应用效果进一步验证了其在道路工程中的优越性。这些特性不仅延长了道路的使用寿命,还降低了维护成本,为现代道路建设提供了可靠的材料保障。

3 作用机制探究

新型水泥混凝土材料在提升道路耐久性方面的优异表现,不仅体现在宏观性能的改善,更与其微观结构的变化密切相关。从微观角度分析,新型水泥混凝土材料的内部结构优化是其耐久性提升的关键因素之一。

首先,孔隙率的降低是新型水泥混凝土材料微观结构改善的重要特征。传统水泥混凝土中存在大量连通孔隙,这些孔隙易成为水分和侵蚀性物质的通道,导致材料性能劣化。新型水泥混凝土通过优化水泥浆体与骨料的界面结合,减少了大孔隙的形成,并形成了更为致密的微观结构。如图 2 所示,新型水泥混凝土材料的 SEM 图像清晰地展示了其较低的孔隙率和更为均匀的孔隙

分布，有效阻断了水分和侵蚀性物质的侵入路径。

其次，界面过渡区的改善也是提升耐久性的重要机制。界面过渡区是水泥混凝土中最薄弱的环节，易形成微裂缝和缺陷。新型水泥混凝土材料通过添加纳米材料和高效减水剂，显著提升了界面过渡区的密实度和强度。实验研究表明，新型水泥混凝土的界面过渡区厚度较传统材料减少了约 30%，且界面区的显微硬度提高了 20% 以上，有效减少了微裂缝的产生和发展。

此外，新型水泥混凝土材料与环境的相互作用对其耐久性也有显著影响。在冻融循环过程中，材料内部水分的冻结和融化会导致应力集中和微裂缝扩展。新型水

泥混凝土通过引入引气剂，形成了均匀分布的微小气泡，这些气泡在冻融过程中起到了应力缓冲作用，显著降低了冻融损伤。同时，特种水泥和水化产物的高化学稳定性，使得新型水泥混凝土在酸雨、盐溶液等化学侵蚀环境下，仍能保持较好的结构完整性。

综上所述，新型水泥混凝土材料通过降低孔隙率、改善界面过渡区以及优化与环境的相互作用，从微观层面显著提升了道路的耐久性。这些微观结构的变化不仅增强了材料的抗冻融循环和抗化学侵蚀能力，还提高了其抗疲劳性能，为道路工程的长期稳定性和使用寿命提供了有力保障。

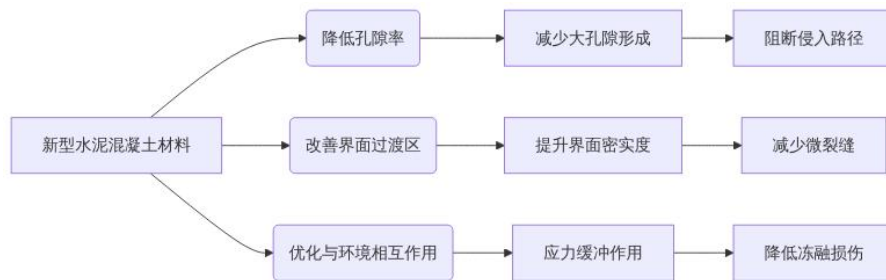


图 2

图2展示了新型水泥混凝土材料的微观结构示意图，从中可以直观地观察到其孔隙率和界面过渡区的优化情况。

4 结论与展望

新型水泥混凝土材料在提升道路耐久性方面的研究成果表明，其通过引入特种水泥、高性能添加剂和纤维材料等成分，显著改善了材料的宏观和微观性能。特种水泥如硫铝酸盐水泥和铁铝酸盐水泥，在水化过程中生成更多的水化产物，增强了材料的强度和耐久性。高性能添加剂如减水剂、引气剂和缓凝剂，优化了混凝土的施工性能和微观结构，提高了其密实性和抗冻性。纤维材料如钢纤维、聚丙烯纤维和碳纤维，增强了混凝土的抗裂性和抗冲击性。

研究表明，新型水泥混凝土材料在抗冻融循环、抗化学侵蚀和抗疲劳性能方面表现出色。其抗冻融循环能力显著提高，经历多次冻融循环后，相对动弹性模量仍保持在较高水平。抗化学侵蚀性能的提升，使其在酸雨、盐溶液等环境中表现出优异的稳定性。此外，抗疲劳性能的改善，延长了材料在反复荷载作用下的使用寿命。

未来研究方向应进一步探究各组成成分的协同效应及其对微观结构的影响，开发更高性能的新型水泥混凝土材料。同时，研究其在不同环境条件下的长期性能表现，建立更为完善的耐久性评价体系。应用前景方面，

新型水泥混凝土材料有望在高速公路、桥梁等重大基础设施中得到广泛应用，提升工程质量，降低维护成本，推动交通基础设施的可持续发展。

参考文献

- [1] 易志坚, 新型聚合物改性水泥混凝土路面耐久性与应用关键技术研究. 重庆市, 重庆交通大学, 2012-01-11.
- [2] 王琦. 路面混凝土抗冻性分析及新型路面材料的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2012.
- [3] 汪展翅, 燕平, 易卫锋, 等. 新型水泥混凝土桥面防水层性能试验研究[J]. 公路, 2018, 63(11): 60-66.
- [4] 宁国芳, 刘锋, 郭壮. 机场道面新型混凝土性能研究概况[C]//天津大学. 第十三届全国现代结构工程学术研讨会论文集. 广东工业大学土木与交通工程学院, 2013: 1621-1626.
- [5] 孔亚宁, 周建伟, 高育欣, 等. 石膏矿渣水泥混凝土抗硫酸钠侵蚀性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2022, 41(08): 2844-2850. DOI: 10.16552/j.cnki.issn1001-1625.2022.08.026.

作者简介：张维玲（1980.12-）女，汉，黑龙江齐齐哈尔，大学本科，副教授，研究方向：水泥混凝土材料的技术性质。