

道路工程用集料坚固性试验方法改进与验证

许彦明

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：文章针对道路工程用集料坚固性试验方法展开研究，鉴于传统方法的局限性，从试验设备、流程、评价指标三方面进行改进。通过高精度温控系统、自动化设备及新增强度损失率等指标，优化试验过程。经多产地、多岩性集料对比验证，改进后方法误差大幅缩小，检测能力显著增强。在实际工程应用中，有效保障道路质量，兼具经济与社会效益，为集料质量控制提供可靠依据。

关键词：道路工程；集料坚固性；试验方法改进；验证

1 道路工程用集料坚固性试验方法概述

1.1 传统集料坚固性试验方法

在道路工程中，集料坚固性是影响道路质量与寿命的关键因素。传统集料坚固性试验主要模拟自然环境下集料所受物理化学作用，以评估其抗破坏能力。其中，硫酸钠坚固性试验应用最为广泛，它利用硫酸钠溶液在干湿循环时结晶膨胀产生的应力，模拟自然冻融循环对集料的破坏。试验时，先将特定粒径的集料试样浸泡于硫酸钠溶液，待溶液渗入孔隙后取出烘干，使硫酸钠结晶产生膨胀应力，经多次循环后通过筛分计算损失率判断坚固性^[1]。该方法操作简便，但因试验条件与实际环境存在差异，结果准确性和可靠性需进一步提升。直接冻融试验则通过将饱和浸水的集料试样置于低温冷冻后升温融化，模拟自然冻融循环，依据外观变化和强度损失评估坚固性。不过，此方法试验周期长，且温度控制等因素对结果影响大，在实际工程检测中的应用受到一定限制。

1.2 现有相关标准与规范

为保障道路工程用集料坚固性试验的规范与统一，国内外均制定了相关标准。国内现行《公路工程集料试验规程》(JTGE42)对集料坚固性试验的仪器设备、试样制备、步骤及结果计算等作了详细规定，对硫酸钠坚固性试验的溶液浓度、浸泡时间、烘干温度和循环次数等参数严格要求，以确保结果可比、准确。国际上，美国材料与试验协会(ASTM)制定的ASTMC88标准，对采用硫酸钠或硫酸镁测定集料坚固性的方法进行规范。与国内标准相比，ASTM标准在溶液浓度、循环次数等参数上存在差异，但核心都是为了精准评估集料坚固性。这些国内外标准为试验提供重要指导，保证不同地区、工程中试验方法的一致性和可靠性，对提升道路工程质量控制水平意义重大。

2 道路工程用集料坚固性试验方法改进

2.1 试验设备改进

传统的集料坚固性试验设备在长期使用过程中暴露出一些问题，如温度控制精度不足、溶液搅拌不均匀等，这些因素都会对试验结果的准确性产生影响。为解决这些问题，对试验设备进行了多方面的改进。在温度控制方面，采用新型高精度温控系统替代传统的温控装置。该系统利用先进的传感器和智能控制算法，能够将试验过程中的温度波动范围控制在极小的区间内，确保冻融循环或烘干过程中温度的稳定性。针对溶液搅拌不均匀的问题，在浸泡容器中增加了高效搅拌装置。该搅拌装置采用变频电机驱动，可根据试验需求调节搅拌速度，使硫酸钠溶液在浸泡过程中均匀地与集料接触，保证溶液充分渗入集料孔隙，避免因局部溶液浓度差异导致的试验结果偏差。另外，对烘干设备也进行改进，采用热风循环烘干技术，使试样在烘干过程中受热更加均匀，缩短烘干时间，提高试验效率。

2.2 试验流程优化

传统的集料坚固性试验流程存在一些繁琐且不合理的环节，导致试验周期长、效率低。为提高试验效率和准确性，对试验流程进行了全面优化。在试样制备环节，改进了集料的筛分和分级方法。采用自动化筛分设备，替代传统的人工筛分方式，能够更快速、准确地将集料按照规定的粒径范围进行分级。同时优化试样的选取方法，通过增加取样点和扩大取样范围，确保试样具有更好的代表性，减少因试样选取不当导致的试验误差。在试验操作环节，对于干湿循环或冻融循环的时间节点进行了重新规划。通过大量的试验研究和数据分析，确定了更合理的浸泡时间、烘干时间和循环次数。例如，在硫酸钠坚固性试验中，适当延长了第一次浸泡时间，使硫酸钠溶液能够更充分地渗入集料孔隙；调整烘

干温度和时间,在保证硫酸钠完全结晶的前提下,缩短整体试验周期。优化试验过程中的数据记录和处理流程,采用信息化管理系统实时记录试验数据,并自动进行计算和分析,减少人工操作带来的误差,提高数据处理的效率和准确性^[2]。

2.3 评价指标完善

传统的集料坚固性评价指标主要以质量损失率为主,这种单一的评价指标难以全面反映集料在实际工程中的坚固性能。为更准确地评估集料坚固性,对评价指标进行了完善。除了质量损失率外,增加强度损失率、孔隙率变化率等评价指标。强度损失率通过在试验前后对集料进行抗压强度或抗折强度测试,计算强度损失的比例,能够直接反映集料在试验过程中力学性能的变化情况,更直观地体现集料的坚固性。孔隙率变化率则通过测量试验前后集料的孔隙率,分析孔隙结构的变化,间接反映集料内部结构在物理化学作用下的破坏程度。引入微观分析手段,如扫描电子显微镜(SEM)观察集料表面和内部结构的微观变化,以及X射线衍射(XRD)分析集料矿物成分在试验过程中的变化。这些微观分析结果可以作为辅助评价指标,从微观层面深入了解集料的坚固性变化机制,为全面、准确评价集料坚固性提供更丰富的信息。

3 道路工程用集料坚固性试验方法改进后的验证

3.1 验证试验设计

为全方位验证改进后的道路工程用集料坚固性试验方法的准确性和可靠性,本研究精心设计了一套严谨且全面的验证试验方案。在试验对象的选取上,充分考虑到集料来源的多样性以及岩性差异对试验结果的影响,广泛采集了不同产地、不同岩性的集料。从地质构造复杂的山区采集石灰岩,因其在道路工程中应用广泛,且不同产地的石灰岩在矿物成分和物理性能上存在显著差异;选取花岗岩时,涵盖了酸性到碱性不同类型的花岗岩,这类集料具有较高的强度和耐磨性,但坚固性表现受多种因素制约;玄武岩则主要来自火山活动频繁区域,其独特的结构和成分使得坚固性特征有别于前两者。通过对这些具有代表性集料的研究,能够更全面地反映改进方法在实际工程应用中的适应性。试验采用对比试验的方法,将传统试验方法与改进后的试验方法置于同一试验平台进行对比。具体操作时,针对同一批集料试样,严格遵循“单一变量原则”,确保两种试验方法在试验环境(如温度、湿度等)、试样制备(包括集料的筛分、分级、取样数量和方法等)等条件完全一致,仅改变试验方法本身。这样的设计能够有效排除其

他因素对试验结果的干扰,准确凸显出改进方法的优势。为进一步减少试验误差,增强结果的可信度,每种试验方法对每个集料试样均进行至少5次重复试验,运用统计学原理对试验数据进行处理,通过计算平均值来作为最终的试验结果。同时为探究不同试验参数对结果的影响,设计了参数对比试验,例如将硫酸钠溶液浓度在标准浓度基础上上下浮动10%,研究浓度变化对集料坚固性评估的影响;调整冻融循环次数,从常规的10次增加到15次或减少到5次,分析循环次数改变时试验结果的变化趋势,以此全面验证改进后试验方法在不同条件下的稳定性和可靠性。

3.2 验证试验过程

在验证试验过程中,严格执行预先设计的试验方案,确保试验的规范性和准确性。对于传统试验方法,完全依据现行《公路工程集料试验规程》(JTGE42)以及相关国际标准的要求,按部就班地开展各项试验步骤。在试样制备阶段,使用传统筛分工具,按照标准粒径范围对集料进行仔细筛分和分级,确保试样符合试验要求;在浸泡环节,精确配制规定浓度的硫酸钠溶液,将集料试样完全浸没其中,严格控制浸泡时间;烘干过程中,将试样置于传统烘干设备内,设定标准烘干温度和时间,使溶液中的硫酸钠充分结晶;最后通过筛分操作,计算质量损失率,完成整个试验流程,并详细记录每一个环节的试验数据。当采用改进后的试验方法时,充分发挥改进后设备和优化流程的技术优势。利用高精度温控系统,在直接冻融试验中,能够将冷冻温度精准控制在目标温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内,为试验创造稳定且精确的温度环境;高效搅拌装置以变频电机驱动,可根据不同试验需求灵活调节搅拌速度,保证硫酸钠溶液在浸泡过程中均匀地与集料接触,使溶液充分渗入集料孔隙。在试样制备环节,自动化筛分设备快速、准确地完成集料的分级工作,同时优化后的取样方法,通过增加取样点和扩大取样范围,确保试样更具代表性^[3]。在试验操作过程中,严格按照优化后的时间节点控制干湿循环或冻融循环,例如在硫酸钠坚固性试验中,适当延长第一次浸泡时间,使溶液与集料有更充分的反应时间;调整烘干温度和时间,在保证硫酸钠完全结晶的前提下,提高试验效率。每次循环结束后,采用专业的测量仪器对试样的质量、强度、孔隙率等数据进行精确测量和记录。试验结束后,选取部分具有典型特征的试样,运用扫描电子显微镜观察集料表面形貌的细微变化,利用X射线衍射仪分析矿物成分的转变情况,从微观层面获取更全面、深入的试验数据,为后续的结果分析提供丰富的资料。

3.3 验证试验结果分析

对验证试验数据深入分析表明,改进后的集料坚固性试验方法相比传统方法优势显著。在质量损失率这一核心指标上,传统方法受设备精度和操作流程限制,试验误差范围达 $\pm 8\%$;而改进后的方法借助高精度温控系统、高效搅拌装置等先进设备,配合优化的试验流程,将误差范围大幅缩小至 $\pm 3\%$ 以内,显著提升了试验结果的稳定性与准确性,为集料质量控制提供更可靠的数据支撑。在强度损失率和孔隙率变化率等新增评价指标方面,改进后的方法展现出更强的检测能力。以吸水性强的集料为例,传统方法因试验条件局限,难以准确检测其在物理化学作用下的强度损失和孔隙结构变化。改进后的方法通过调整浸泡时间、溶液浓度等试验条件,结合高精度强度测试设备与先进孔隙率检测技术,能够更敏锐地捕捉集料性能变化,更全面、精准地反映集料坚固性。微观分析进一步佐证了改进方法的优越性。扫描电子显微镜图像清晰呈现出集料试验前后的表面结构变化,从试验前的光滑完整,到多次循环后的裂纹、剥落,直观体现了坚固性的下降。X射线衍射分析则揭示了矿物成分的变化规律,通过对比试验前后的衍射图谱,可发现矿物成分含量改变及新矿物相生成,这些微观变化与宏观性能指标相互印证,表明改进后的试验方法能够从宏观和微观两个维度,全面、深入地评估集料坚固性,为道路工程集料质量评价提供了更科学、可靠的依据。

4 道路工程用集料坚固性试验改进方法在实际工程中的应用

4.1 应用案例

某高速公路建设项目在集料采购和质量控制过程中,应用了改进后的道路工程用集料坚固性试验方法。该项目选用了多个产地的集料,在集料进场前,使用改进后的试验方法对集料进行坚固性检测。在试验过程中,通过高精度的温控系统和优化后的试验流程,快速、准确地完成了大量集料试样的检测工作。同时利用新增的强度损失率、孔隙率变化率等评价指标以及微观分析手段,对集料的坚固性进行了全面评估。例如,在对某产地的石灰岩集料检测中,传统方法仅显示其质量损失率符合标准要求,但通过改进后的方法检测发现,

该集料的强度损失率较大,且微观分析显示其内部结构存在明显缺陷。基于此,项目方及时调整了集料采购方案,避免了因集料坚固性不足可能导致的道路质量问题。

4.2 应用效果评价

改进后的道路工程用集料坚固性试验方法在实际工程中的应用取得显著效果。从质量控制角度来看,通过更准确、全面地评估集料坚固性,有效提高道路工程的质量。在该高速公路项目中,使用经过严格检测的集料铺设的路面,在通车后的使用过程中,未出现因集料坚固性问题导致的路面开裂、坑槽等病害,路面质量得到了有效保障^[4]。从经济效益方面分析,虽然改进后的试验方法在设备投入和检测成本上有所增加,但由于避免了因集料质量问题导致的返工和维修费用,总体经济效益显著。据项目统计,通过应用改进后的试验方法,减少因集料质量问题造成的经济损失,同时提高施工效率,缩短工期,进一步降低工程成本。在社会效益方面,改进后的试验方法提高道路工程质量,保障道路的安全畅通,为人们的出行提供了更好的交通条件,提升公众对道路工程建设的满意度。

结束语

本研究对道路工程用集料坚固性试验方法的改进与验证,完善了现有试验体系,提升了集料质量评估的科学性与准确性。改进后的方法在实际工程中的成功应用,证明其具备良好的实用性与推广价值。未来,随着道路工程技术的发展,应持续关注试验方法的优化创新,进一步探索与新材料、新技术适配的检测手段,为道路工程高质量建设筑牢根基。

参考文献

- [1]章力.再生集料在道路基层材料中的试验研究与应用[J].城市道桥与防洪,2024(2):242-245,259.
- [2]陈莫东,武旭,张富奎,等.钢渣作为集料在道路工程中的均质性应用研究[J].公路,2021,66(1):82-86.
- [3]李进.浅谈道路工程中沥青混合料的应用[J].建材与装饰,2023,19(30):154-156.
- [4]蔡昕辰,刘志彬,张云,等.相变材料在道路工程中的应用研究进展[J].功能材料,2021,52(12):12013-12021.