

无机结合料稳定材料试验检测技术与质量控制研究

鲁振星

新疆北新科技创新咨询有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]无机结合料稳定材料是高等级公路基层、底基层的主要使用材料，在其试验检测过程中以及检测的质量管理直接影响到公路路面结构的寿命大小及服务能力。全面阐述了无机结合料稳定材料的组成特征以及对使用的性能要求，形成了包含原材料检验、配合比确定、力学性能检验、耐久性能检验、现制施工检验在内的完整的试验检验体系。针对原材料质量不稳定、检验结果误差大、检验仪器不够精确、现场施工与试验脱离的问题，从全环节上提出了质量管理方法。水泥稳定层有较高的稳定性和耐寒性能以及自身的整体性等优点，所以无机结合料作为重要的建筑原材料已经大量用于修建公路结构中的基层与底基层。健全和完善质量管理机制并加以信息化监测设备的应用可以很好地提高工程质量监管能力。

[关键词]无机结合料稳定材料；试验检测；质量控制

DOI: 10.33142/ec.v9i8.20235

中图分类号: TQ172.4

文献标识码: A

Research on Testing Technology and Quality Control of Stable Materials with Inorganic Bonding Materials

LU Zhenxing

Xinjiang Beixin Science and Technology Innovation Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Inorganic binder stabilized materials are the main materials used for the base and subbase of high-grade highways. The quality management of their testing directly affects the service life and service capacity of the highway pavement structure. A comprehensive exposition was made on the composition characteristics and performance requirements of inorganic binder stabilized materials, forming a complete testing and inspection system including raw material inspection, mix proportion determination, mechanical performance inspection, durability performance inspection, and on-site construction inspection. For the problems of unstable raw material quality, large errors in inspection results, inaccurate inspection instruments, and detachment between on-site construction and testing, quality management methods have been proposed from the entire process. The cement stabilized layer has the advantages of high stability, cold resistance, and overall integrity, so inorganic binders have been widely used as important building materials in the construction of base and subgrade layers in highway structures. Improving and perfecting the quality management mechanism and applying information monitoring equipment can greatly enhance the ability of engineering quality supervision.

Keywords: inorganic binder stabilized material; experimental testing; quality control

引言

自 90 年代开始，我国新建高速公路的底基层结构类型主要是无机结合料稳定底基层，半刚性底基层沥青路面已经成为中国高速公路底基层的主要类型之一，无机结合料稳定材料由于本身优良的整体性、较强的抗压强度及较低的成本使得它在道路基层及下基层的应用上占了很大优势，但是无机结合料稳定材料的质量问题也受到原材料品质、配合比的设计、施工方法以及养护措施等多个方面的影响，因此在修建道路的同时还需要考虑该道路的经济效益、节约成本等问题，尽量使建设达到最优。怎样在确

保工程质量的同时又节约成本，就成了工程领域的关键问题。近年来，交通部对《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》进行更新，在新版本规定中统一使用的是方孔筛，对无机结合料稳定材料粗、中、细粒土的规格界限做了具体的规定，增强了有关试验检测的要求标准。这对试验检测来说无疑是更加合理化的标准参考。但是通过具体的工程来看，检测结果失准、质量把控不到位、检测仪器误差大现象还是较为普遍的。所以针对无机结合料稳定材料试验检测技术和质量管理方面开展系统的分析研究对于提高路面工程质量有着非常重要的理论指导和技术支持意义。

1 无机结合料稳定材料概述

无机结合料稳定材料是把水泥、石灰及粉煤灰等无机结合料加入碎石、砂砾或土质材料中,在物理化学过程中产生一定强度和稳定的混合体。依据结合料种类不同可以分为水泥稳定类、石灰稳定类、石灰粉煤灰稳定类(二灰稳定类)和水泥粉煤灰稳定类等。在组成上,无机结合料稳定物是多相系统,包括固相(集料主体、结合料水化产物),液相(孔隙水),气相(孔隙)。集料构成材料主体骨架结构,结合料经过水化反应生成胶结物充填骨架间隙使之粘连成整体。对于水泥稳定材料最优含水量比素土接近,而石灰稳定材料最优含水量可能会比素土大1%~3%,这点对于施工过程中控制含水量有着很重要的参考价值,在公路工程中无机结合料稳定材料主要用于面层下的基层及底基层两种,水泥稳定碎石强度较高并且水稳定性较好,适用于高等级重交通公路基;石灰粉煤灰稳定材料后期强度增长较快,收缩裂缝较小,适用作为底基层或者低等级公路;复合稳定料可根据当地材料来源情况选择使用,经济效益较好。

2 试验检测技术体系

2.1 原材料试验检测

原材料质量是评价无机结合料稳定材料的重要基础,对于水泥要测定它的凝结时间、安定性以及胶砂强度等,保证水泥活性符合设计规定的要求;对于石灰主要测定它的有效钙镁含量、细度和未消化残渣含量,有效钙镁含量会直接影响石灰的胶结能力;对于粉煤灰需要测试它的细度、烧失量以及 $\text{SiO}_2+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$ 总含量;对于集料来说,它的级配将会影响到混合料的压实性能和力学强度。要通过筛分试验来获取集料的级配曲线并检验其含泥量、针片状颗粒含量、压碎值等。试验集料的最大粒径应不大于25mm,最大不应超过40mm,粒径过大将不利于混合料的均匀性。

2.2 配合比设计试验

配合比的设计关键在于借助击实实验求得混合物的

最佳含水量以及最大干密度。击实试验分为轻型击实,重型击实两种方法,现在公路工程建设一般是采用重型击实的标准。在试验中需要准备五个或者六个不同含水量的试件并依次相差1~2%,并且最少有两个大于和两个小于最佳的含水量,绘制出含水量与干密度的关系曲线,形成一个“驼峰”状的曲线,在曲线上最尖端的点所代表的纵、横轴就是最大干密度和最佳的含水量。配合比的设计还必须经过无侧限抗压强度实验来检验强度指标。各种等级的道路对压实度要求有所不同,高速公路、一级公路水泥稳定类材料7d无侧限抗压强度一般为3~5Mpa,二、三、四级公路分别为2.5~3Mpa。无侧限抗压强度试验是检验无机结合料稳定材料基层与底基层应力状态的重要参数,表征了材料不受侧面压力影响时其承受垂直力的最大限度。

2.3 力学性能检测

力学性能检测主要包含无侧限抗压强度、劈裂强度及回弹模量三个部分。无侧限抗压强度是配合比设计及施工质量验收的重要参数,试验需制备标准圆柱体试件,在恒温恒湿环境下(温度 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $\geq 95\%$)养护到规定的龄期一般为7d、28d或90d。加载速率为1mm/min,记录破坏时的最大荷载值来确定其抗压强度值。试验表明无侧限抗压强度与28d强度成良好的线性关系,相关系数大于0.85左右,所以工程上一般用7天无侧抗压强度做为工程验收的一个重要指标。试件尺寸也是影响压强测试结果的重要因素之一,直径为150mm的试件所测得的压力强度较之直径为100mm的试件平均要小出10%-15%,所以在比较不同的工程项目之间的强度数值时也要保持一致性的试件直径。劈裂试验可以用来检测材料的抗拉强度情况,对于了解道路结构层次底部拉力状况也有一定的意义。回弹模量则是用来反映材料处于弹性区间的刚性性质,在进行道路结构设计的时候是非常重要的参考依据。这三个方面的力学性能指标彼此之间相互联系,相互依存,一起揭示材料力学特性的表现形式。

表1 无机结合料稳定材料主要原材料检测项目

材料类型	检测项目	检测方法	控制指标	主要设备
水泥	凝结时间、安定性、胶砂强度	GB/T1346、GB/T17671	初凝 $\geq 3\text{h}$, 终凝 $\leq 6\text{h}$	维卡仪、沸煮箱、抗折抗压机
石灰	有效钙镁含量、细度、未消化残渣	JTG E51 T0811~T0815	钙镁含量 $\geq 60\%$ (III级)	滴定装置、负压筛析仪
粉煤灰	细度、烧失量、 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量	JTG E51 T0816~T0820	烧失量 $\leq 20\%$, 细度 $\leq 25\%$	勃氏比表面积仪、马弗炉
集料	级配、含泥量、针片状含量、压碎值	JTG E42	根据设计级配范围	标准筛、振筛机、压碎值测定仪

2.4 耐久性性能检测

耐久性是衡量无机结合料稳定材料经久耐用程度的一个重要参考因素。干湿循环试验用于模拟材料处在干湿反复变化状态下的劣化趋势,通过对循环前后测定强度降低比例和质量降低比例来分析材料的湿度抵抗性。冻融循环实验针对的是寒冷地区的路面基层需要抵抗冻融的影响,其循环次数一般设置为五次或者十次冻融循环。从实验可以看出,在进行了五次冻融循环之后,水泥稳定碎石的强度损失率一般保持在 15%~25%之间,相比之下,石灰稳定材料的强度损失率达到 30%以上甚至是 40%,可见石灰稳定材料比水泥稳定材料更怕冷。抗冻能力大小也与材料自身的空隙有关,空隙率升高一个百分点,其冻融强度损耗费相应提升 2%~3%左右。抗渗性能检测是用来检验材料防潮防水能力的。用变水头渗透试验法测量无机结合料稳定材料渗透系数,水泥稳定碎石渗透系数一般为 $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$ 数量级,石灰粉煤灰稳定材料则较大一些。渗透系数越小的材料可以降低水分渗透造成的结构层损坏程度,延长路面使用寿命。

2.5 现场施工质量检测

施工现场检测为工程质量把好最后一关,压实度检测采用灌砂法或者核子密度仪法,灌砂法准确但是费时费力适合质量检查,核子密度仪可以快速检测但是必须经过核对标定过才能够使用,现场检测压实度应该每隔 200m 检测两个点,选取的位置要均匀分布并且不能重复在同一横截面上选取,如果现场压实度达不到设计要求,则需要及时查找原因然后进行补压,补压完之后还要再次检测直至合格。平整度检测采用 3m 直尺或者连续平整度仪,厚度检测可以通过钻孔取芯和雷达扫描完成,钻芯取样是最精确的一种厚度检测方式但是会造成局部损坏,需要立即用相同材料填补;雷达探测可以做到实时连续非接触式检测,但是要配合钻芯取样的标校,厚度测量精度控制在正负 5mm 以内;水泥或者石灰剂量监测使用的是 EDTA 滴定法,通过乙二胺四乙酸二钠与钙离子之间产生稳定的螯合作用来迅速测定出混合料中的结合料实际含量,与设计剂量对比差异要小于等于 0.5%,滴定实验需要在混合料拌和好之后 30min 之内进行完毕,否则结合料发生水化作用会损失一部分钙离子而造成测定偏低。

3 试验检测中存在的 key 问题

3.1 原材料质量波动问题

原料种类繁杂、批次间差别较大是造成混合料质量波动的主要因素之一。施工过程水泥强度不稳定、石灰有效

氧化钙降低、粉煤灰烧失量超标等情况也频频出现。一些施工队伍为了节省开支,在对进场材料检查过程中放松标准,使用不符合规定的材料,给工程质量留下了隐忧。同料场不同开采点的材料性质也有较大的差别,如果没有做到每一批次都进行检测而是根据经验来判断的话就会很容易地使得混合料强度变异系数过大,影响整个基层的均匀度。

3.2 检测数据误差与代表性不足

取样代表性差是造成检测数据不准确的主要因素。现场取样不符合相关标准的规定,取样地点、取样深度大小以及取样数量不合理致使试件不能如实体现工程实际质量水平;另外,由于试验方法不当或对试验数据进行错误处理所产生的偶然误差与系统误差也会引起检验结果与正确答案不符。每批次混合料最少取样数不得低于 3 个,并且取样的深度要达到整体结构层的厚度,单一地点取样不足以代表整体情况会导致强度测试结果的变异系数增大造成评价失误。

3.3 检测设备精度与维护问题

一些实验室的试验仪器没有按规定的时程开展定期检验,仪器不够精确造成测试结果准确度有所下降;压力机、天平、烘箱等重要仪器经常用过之后性能变差,如果不及及时重新标定就会带来误差累积问题。另外养护室温度、湿度调节不够精细,直接导致了强度试验结果的偏差。

3.4 现场施工与试验检测脱节

施工与检测分别由不同的单位负责,相互间联系不到位致使检测成果未能及时反馈到施工当中去。室内配比设计所用材料与工程实际使用材料有区别,击实试验确定的最大干密度与施工现场实际压实情况不符,使得压实度评定出现偏差。

3.5 质量控制体系不完善

一些建设工程项目的质量管理不到位,没有形成系统的质量管理监控机制,全过程、全方位的质量追溯机制缺失严重,检测频率低、检测内容不全面、检测报告不合格的现象比较普遍,导致质量问题不能够被及时查出与解决。

4 全过程质量控制措施

4.1 原材料与配合比优化控制

原材料质量把控要从源头开始。对水泥、石灰等结合料设立进场验收台帐,批批检验主要性能指标,杜绝不合格材料进场^[1]。集料分规格分区存放避免杂料混入及污染。配合比设计方案中充分考虑到原材料的差异性,通过多种方案对比选择最合理的配合比并制定施工配合比适时更

新制度。

4.2 拌和、运输与摊铺碾压控制

在混合料拌制时使用 EDTA 滴定法对水泥或石灰剂量进行快速测试以检验施工配合比是否正确。拌合的时间要充分,使结合料可以在集料上均匀地扩散开来,在运输的过程中要加以遮盖以免水分的流失^[2]。摊铺的速度与拌合的能力保持一致,防止长时间的等待而造成浪费。碾压顺序是先轻后重,先慢后快,碾压的遍数以及搭接宽度都要严格的掌握。

4.3 养生阶段质量控制

养护是无机结合料稳定材料强度建立的重要时期,一定要保证结构层表面一直处在潮湿环境中,可以利用盖上土工布并且浇水的方法来达到保湿的作用,对于不同材料的不同气候环境来说养护期也是不一样的,以水泥稳定物为主一般不少于 7 天,石灰稳定物不少于 14 天,在此期间不得有车辆通过。

4.4 试验检测全过程质量管理

建立健全从原材料进场到成品出厂的一系列检测机制,确定各个工序中的检验项目以及检验频率、检验准则等^[3]。开展平行试验和见证试验,保证检测数据的真实性可靠度,检测数据应进行信息化管理,实时上传,检索及统计。

4.5 信息化与智能化检测技术应用

核子密度湿度仪可以迅速快捷而准确地测出路基土体表层的密实程度以及含水率,但是需要经过校准并且要考虑土质成分的影响,智能检测设备比如探地雷达、红外成像等能够进行路面结构层厚度及平整度的快速判断。建

立质量管理监控和预报体系,在检测结果达到预警状态的时候系统自行报警提醒工作人员做出调整。

5 结语

无机结合料稳定材料试验检测以及质量控制工作是影响公路工程路面工程质量的关键因素。建立涵盖原材料、配合比设计、生产和竣工产品的全套试验检测机制,在此基础上全面排查原材料质量浮动、检测数据偏差、检测设备精度、施工过程与试验分离等问题,并有针对性地实施质量管理对策可以有效提高工程质量管理效果。从无机结合料配合比出发进行级配组成的试验检测、水泥(石灰)剂量的试验检测、无侧限抗压强度等试验检测项目都符合相关规定的要求。由此可见,科学合理的试验检测程序和有效的质量控制政策是实现无机结合料稳定材料工程质量控制的基础前提。今后要继续加强智能监测技术及大数据管理模式的研究应用,在现有的基础上完善质量动态监控机制,促进无机结合料稳定类材料工程施工技术更上一层楼。

[参考文献]

- [1]王贵琴.关于公路水泥稳定碎石层试验检测技术的分析[J].内蒙古科技与经济,2025(3):157-160.
- [2]张国忠.公路水泥稳定碎石层试验检测技术的应用探究[J].建材发展导向,2024,22(4):40-42.
- [3]罗宇.公路水泥稳定碎石层试验检测技术要点[J].大众标准化,2025(18):181-183.

作者简介:鲁振星(1974—),毕业于西南大学土木工程专业,中级工程师,现就职于新疆北新科技创新咨询有限公司。