

基于胀缩总率的红黏土路基化学改良设计研究

王 森

中咨华科交通建设技术有限公司, 北京 100195

[摘要] 红黏土因其独特的物理和化学性质在土木工程中有着广泛应用, 但其明显的胀缩性对工程结构, 特别是路基建设, 构成了挑战。本研究旨在通过掺灰技术, 找到有效减少红黏土胀缩性的方法, 以提高其作为路基材料的性能。通过一系列试验室测试, 本研究探索了不同掺灰比例对红黏土胀缩性能的影响。结果表明, 6%的掺灰比例最为有效, 显著降低了红黏土的胀缩总率, 改善了其结构性能。然而, 本研究也揭示了一些局限性, 特别是关于试验室条件与现场应用之间的差异, 以及缺乏对改良后材料长期性能的评估。未来研究需要更全面地考虑这些因素, 进行现场试验和长期性能评估, 同时探索可能的其他改良技术。本研究的发现对于理解掺灰技术在红黏土改良中的应用, 以及指导相关土木工程项目具有重要意义。

[关键词] 红黏土; 掺灰技术; 胀缩性; 路基改良; 稳定性

DOI: 10.33142/ec.v7i1.10894

中图分类号: U414

文献标识码: A

Research on Chemical Improvement Design of Red Clay Roadbed Based on Total Swelling and Shrinkage Ratio

WANG Sen

Zhongzi Huake Transportation Construction Technology Co., Ltd., Beijing, 100195, China

Abstract: Red clay is widely used in civil engineering due to its unique physical and chemical properties, but its obvious expansion and contraction properties pose a challenge to engineering structures, especially roadbed construction. This study aims to find effective methods to reduce the expansion and contraction properties of red clay through ash mixing technology, in order to improve its performance as a roadbed material. Through a series of laboratory tests, this study explores the influence of different ash blending ratios on the swelling and shrinkage properties of red clay. The results showed that a 6% fly ash ratio was the most effective, significantly reducing the total expansion and contraction rate of red clay and improving its structural properties. However, this study also revealed some limitations, particularly regarding the differences between laboratory conditions and on-site applications, as well as the lack of evaluation of the long-term performance of improved materials. Future research needs to consider these factors more comprehensively, conduct on-site experiments and long-term performance evaluations, and explore possible other improvement technologies. The findings of this study are of great significance for understanding the application of ash mixing technology in improving red clay and guiding related civil engineering projects.

Keywords: red clay; ash mixing technology; expansion and contraction properties; roadbed improvement; stability

引言

红黏土, 作为一种特殊的土壤类型, 普遍存在于多个地理区域, 特别是在一些热带和亚热带地区^[2]。这种由灰岩风化而成的土壤, 因其独特的物理和化学性质而在土木工程领域有着广泛的应用。然而, 与此同时, 红黏土的一些不利属性, 如明显的胀缩性, 对土木工程项目, 尤其是道路和高速公路的路基建设, 构成了显著的挑战。胀缩性是指红黏土在遇水时膨胀, 在失水时收缩的特性, 这种显著的体积变化会导致严重的结构问题, 如裂缝、不均匀沉降和稳定性损失。这些问题不仅增加了工程的维护成本, 而且还可能缩短工程结构的使用寿命。因此, 控制和减少红黏土的胀缩性, 以及提高其在工程应用中的整体性能, 是当务之急。本研究的目标是通过一系列详细的化学改良试验, 探索有效减少红黏土胀缩性的方法。本研究采用了掺灰技术, 这是一种通过添加特定比例的石灰来改变土壤基本特性的方法, 旨在找到最优的掺灰比例, 以显著降低

胀缩总率并提高路基材料的性能。

1 红黏土的基本性质

1.1 地质成因

红黏土主要来源于灰岩的风化过程。在漫长的地质历史中, 灰岩经历了物理和化学风化, 导致其结构发生了根本性的变化, 最终形成了我们现在看到的红黏土。这一过程中, 富含铁的矿物因氧化作用而产生了鲜艳的红色。

1.2 物理和化学特性

红黏土具有一些独特的物理特性, 如较高的密度、较低的渗透性和明显的塑性。这些特性意味着红黏土在干燥时表现出很高的硬度, 在潮湿时则会变得相当黏稠和可塑。从化学角度来看, 红黏土含有较高比例的铁氧化物和其他矿物, 这些成分在其风化过程中起到了关键作用。

1.3 胀缩性的内在机理

红黏土的胀缩性是由其内部的黏土矿物结构决定的。当水分被吸收时, 粘土层之间的距离会增加, 导致体积膨

胀；相反，当水分流失时，粘土层会靠拢，导致收缩。环境条件，特别是水分的变化，极大地影响了红黏土的这一特性，从而对土木工程结构产生了直接影响^[4]

2 化学改良方法

2.1 常用的化学改良剂和作用机制

在土壤改良领域，几种常用的改良剂包括石灰、水泥和粉煤灰^[3]。这些材料通常被混合到土壤中，以改善其结构和性能。

石灰：通过与土壤中的黏土矿物发生离子交换反应，石灰能够减少土壤的塑性和液限。此外，石灰还能诱导碳酸钙的生成，有助于提高土壤的密实度和承载能力。

水泥：当水泥添加到土壤中时，会与水反应生成水化硅酸盐凝胶，这种物质能黏结土壤颗粒，增强土壤的抗压强度和耐久性。

粉煤灰：作为一种含有硅酸盐和氧化铝的副产品，粉煤灰能与水和石灰发生泊松反应，形成类似水泥的结构，增加土壤的稳定性和承载力。

而在本研究中，我们专注于掺灰技术，这是一种通过向红黏土中添加石灰来改善其性质的方法。石灰与红黏土中的黏土矿物反应，导致粘土颗粒的离子交换，生成新的矿物，如钙硅酸盐，从而增强土壤的结构。这一过程通常伴随着 pH 值的上升，有助于中和土壤中的酸性组分。

2.2 掺灰技术的理论基础

掺灰技术是基于石灰与黏土矿物之间的化学反应。首先，石灰在水的作用下分解，生成氢氧化钙。氢氧化钙进一步与黏土矿物发生反应，形成较为稳定的化合物，如钙硅酸盐和钙铝酸盐。这些新形成的矿物具有较低的溶解度和较大的颗粒大小，能够填充土壤孔隙，提高其密度和承载力。

通过掺灰，红黏土的塑性指数降低，这意味着其水分敏感性减少，因此，胀缩性也随之降低。此外，新形成的化合物还能够抵抗水的渗透，减少水分对红黏土体积变化的影响。

2.3 对胀缩性的直接影响

研究表明，掺灰能够有效减少红黏土的胀缩性。首先，掺灰引起的黏土矿物结构变化导致土壤孔隙的减少，这减少了水分在土壤中的运动，从而减少了土壤吸水时的体积膨胀。其次，掺灰增加了土壤的抗剪强度，即使在潮湿条件下，也增强了土壤的结构稳定性，减少了水分引起的胀缩。

通过综合分析掺灰技术的理论基础和实际影响，我们可以清楚地看到，这种方法对于解决红黏土在土木工程中的应用问题具有重要意义。不仅如此，这种技术还为环境可持续性提供了保障，因为它减少了对新建材的需求并利用了现有资源。

3 试验设计与方法

为了精确评估掺灰技术对红黏土性能的影响，本研究采用了一系列详尽的试验设计和测试方法。以下部分详细

阐述了试验的材料、方法和参数。

3.1 试验材料与试验参数

试验所用的红黏土样本选自广西贵港地区某高速公路设计项目，取样深度 1.10~1.30m，收集后立即进行了必要的预处理，消除任何有机物和大颗粒杂质。样本的基本物理性质指标如表 1：

表 1 样本的基本物理性质指标

红黏土	液限%	塑限%	塑性指数	自由膨胀率%	胀缩总率%	CBR
样品 1	48.5	23.6	24.9	60	4.25	12.4
样品 2	52.7	26.1	26.6	77	4.99	11.9
样品 3	54.1	26.8	27.3	80	3.78	11.8
样品 4	48.5	23.5	25.0	60	3.66	12.5
样品 5	51.2	24.5	26.7	76	4.74	12.1

从表 1 中可以看出，样本的液限较高，在 50%左右；自由膨胀率位于 60%~80%之间，土层属于中等膨胀性土。胀缩总率位于 3.66%~4.99%之间，根据路基设计规范^[1]判定该区域红黏土若作为路基填料，具有中等膨胀性，而规范要求胀缩总率低于 0.7%方可进行路基填筑。

试验中所用的主要改良剂为工业级石灰，其纯度超过 95%。掺灰比例是基于先前文献和预试验结果，分别设定为 4%、5%、6%、7%和 8%，按 93%压实度静压成型为重塑土后进行土的膨胀性试验。关键的试验参数还包括固化时间，分别选择了 7 天和 28 天，以评估掺灰反应在短期和长期的效果。

3.2 不同掺灰比例的设计

掺灰比例的选择旨在最佳胀缩性能改善和成本效益之间找到平衡。掺灰比例过低可能不会显著改善土壤性能，而比例过高则可能导致成本增加和处理复杂。本研究预计，随着掺灰比例的逐步增加，红黏土的性能会逐步提升，直至达到一个最优点。

试验的逻辑是在较低比例下观察土壤性能的基本变化，然后逐步提高比例，直到性能改善不再显著或开始递减。通过这种方法，本研究旨在确定一个理想的掺灰比例，使红黏土的胀缩性能得到最大程度的改善。

3.3 胀缩总率的测定方法

胀缩总率的测定是通过标准的土壤胀缩限测试完成的，该测试需要特定的试验设备，如胀缩盒、恒温干燥箱、精密天平等。在测试过程中，经过处理的土壤样本被置于胀缩盒中，并在控制条件下干燥至恒定重量，然后通过测量样本体积的变化来计算胀缩总率。

整个测试过程中，试验条件如预处理和固化程序、实验室环境条件（例如温度和湿度）以及使用的所有测量设备都是严格控制和标准化的，以确保数据的准确性和一致性。

通过这一严格的试验设计和方法，本研究确保了研究结果的可靠性和精确性，为进一步的分析和应用奠定了坚实的基础。

4 试验结果与分析

本节将详细讨论试验过程中收集的数据,并分析这些数据以确定掺灰技术在改善红黏土胀缩性能方面的有效性。

4.1 试验结果数据

4.1.1 试验数据描述

(1) 试验结果如表 2 所示:

表 2 红黏土不同掺灰比例下的胀缩总率

掺灰比例 (%)	0	4	5	6	7	8
胀缩总率 (%)	4.28	1.22	0.81	0.41	0.48	0.4

(2) 掺灰比例与胀缩总率的关系曲线如图 1 所示,横轴代表掺灰比例,范围为 0%至 8%,而纵轴则表示胀缩总率,从 4.28%到 0.4%。

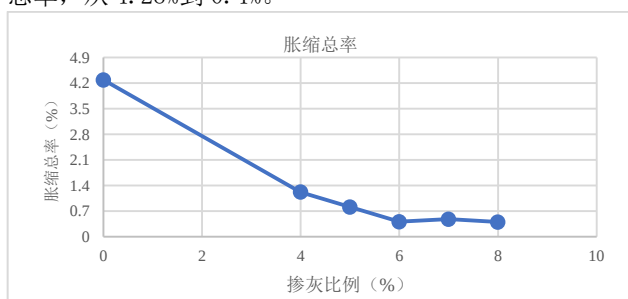


图 1 掺灰比例与胀缩总率的关系曲线

4.1.2 数据分析

基于表 2 的数据及掺灰比例与胀缩总率的关系曲线图,本研究对不同掺灰比例对红黏土胀缩性能的影响进行了详细分析。

首先,数据显示,在未掺灰的红黏土样本中(即 0%掺灰),胀缩总率为 4.28%。然而,当掺灰比例增加到 8%时,胀缩总率显著降低到 0.4%。这表明,相对于不掺灰的红黏土,掺灰技术能显著改善其胀缩性能。

进一步细分,4%掺灰比例下,胀缩总率已降至 1.22%,与未掺灰样本相比,减少了约 71.5%。随后,掺灰比例增至 5%,胀缩总率进一步降至 0.81%,与 4%掺灰样本相比,又降低了约 33.6%。值得注意的是,在 6%掺灰比例下,胀缩总率达到了本研究中的 0.41%,但当掺灰比例增加至 7%和 8%时,胀缩总率分别为 0.48%和 0.4%,表明胀缩性能的改进已逐渐趋于稳定。

这一系列数据明确指出,掺灰技术在红黏土胀缩性改善方面具有积极效果,并存在一个掺灰比例的最佳范围,使得胀缩总率达到最小值。

4.2 掺灰比例对胀缩总率的影响

数据分析表明,掺灰确实对红黏土的胀缩总率产生了显著影响。

当红黏土与石灰混合后,石灰与土壤中的黏土矿物发生化学反应,生成新的水泥矿物,如钙铝石和石膏。这些新生成的矿物有助于改变土壤的微观结构,使土壤颗粒间

的联系更加紧密,进而减少了土壤中的孔隙和连通道。这种结构变化使得水分在土壤颗粒间的运动减少,从而有效地抑制了土壤的胀缩行为。

此外,石灰作为一种碱性材料,可以中和土壤中的酸性组分,从而改善土壤的化学性质^[5]。这不仅有助于减少土壤的胀缩性,而且还能增强土壤的抗剪强度。这意味着,即使在湿润的环境条件下,掺灰后的红黏土仍然能够维持良好的结构稳定性,不容易发生滑移或塌陷。

与先前的研究一致,这些研究也都指出掺灰对土壤微观结构和化学性质的改善作用,从而达到改善土壤整体性能的目的。

4.3 最优掺灰比例的确定

基于试验结果,可以确定 6%是最有效的掺灰比例。在此比例下,红黏土胀缩总率达到 0.41%,根据路基设计规范^[1],胀缩总率小于 0.7%可用于填筑路基,且成本和复杂性仍在可接受的范围内。超过这个比例,胀缩总率的进一步降低并不显著,而且可能会引入额外的成本和复杂性。

这个最佳掺灰比例是基于红黏土的物理和化学性质,以及掺灰反应的动力学确定的。6%的掺灰比例为红黏土提供了足够的石灰来触发必要的化学反应,同时避免了过量石灰可能导致的不利影响,如过度固化或结构脆性。

在实际应用中,这个比例也是可行的,因为它考虑了现场施工的复杂性和经济性。此外,这一比例的选择也为未来相关工程项目提供了宝贵的参考,特别是在类似的土壤条件和环境因素下。

5 结论与建议

5.1 研究成果总结

本研究通过一系列详细的试验室测试,探讨了掺灰技术改良红黏土的效果,特别是在用作路基材料时。研究结果表明,通过适当比例的掺灰,可以显著改善红黏土的胀缩性能,提高其作为路基材料的适用性。

最重要的发现之一是,6%的掺灰比例对于改善红黏土的性能表现最为有效。这一发现为土木工程领域提供了新的见解,显示了化学改良方法在提升传统建筑材料性能方面的潜力。

5.2 存在的局限与未来研究方向

尽管本研究取得了一些重要发现,但也存在一定的局限性。首先,试验室条件下的测试结果可能与现场实际条件有所差异。现场的环境因素,如温度、湿度,以及土壤中的其他成分,都可能影响最终的应用效果。

其次,本研究未能涉及改良后红黏土的长期性能评估,这是判断其在实际工程应用中可靠性的关键因素。未来的研究需要在现场条件下评估材料的长期表现,特别是对环境变化和持续交通负荷的反应。

鉴于这些局限性,建议未来的研究应更加侧重于以下几个方面:

(1) 在不同地理和气候条件下进行现场试验,以验证试验室结果的适用性。

(2) 进行长期性能研究,特别是考虑到极端气候条件对材料性能的影响。

(3) 探索其他可能的改良技术或添加剂,这些可能与掺灰技术相结合,进一步改善红黏土的性能。

通过这些扩展研究,可以进一步加深对红黏土改良技术在土木工程中应用的理解,为未来相关领域的创新奠定基础。

[参考文献]

[1][1]中交第二公路勘察设计研究院有限公司.公路路基

设计规范:JTG D30-2015[S].北京:人民交通出版社.2015.

[2]刘武.高速公路石灰改良高液限红黏土试验研究[J].西部交通科技,2022(5):90-91.

[3]李鹏飞.高液限土路基改良设计探讨[J].交通世界,2023(17):46-48.

[4]李健.红黏土在公路路基中的路用性能研究[J].交通世界,2021(34):135-136.

[5]陈波,李进.石灰改良膨胀土掺灰量的室内试验研究[J].城市道桥与防洪,2011(5):184-186.

作者简介:王森(1990—),男,汉族,河北保定人,硕士,工程师,从事于公路路基路面设计工作。