

CMA 膨胀土生态改性剂及施工关键技术

李博科¹ 高国文¹ 李永刚¹ 刘衍文¹ 高克²

1 中建铁路投资建设集团有限公司, 湖北 荆门 448000

2 中建铁投集团总承包管理公司, 陕西 西安 710000

[摘要] 结合新建沪渝蓉高速铁路武汉至宜昌段汉川东至宜昌北站前工程膨胀土发育地质条件, CMA 膨胀土生态改性剂的应用是采用一种化学方式处理膨胀土的施工技术, 该技术方法实用且简单, 提高了改性施工后的路堑边坡土体强度和稳定性, 起到了边坡绿化美化的功能。此文讨论了 CMA 生态改性剂应用技术对膨胀土路堑边坡改性以及边坡绿化恢复, 通过改性后的膨胀土具有较好的工程效果。

[关键词] CMA; 膨胀土; 生态改性剂; 施工技术

DOI: 10.33142/ect.v1i4.9300

中图分类号: U416.167

文献标识码: A

CMA Expansive Soil Ecological Modifier and Key Construction Technology

LI Boke¹, GAO Guowen¹, LI Yonggang¹, LIU Yanwen¹, GAO Ke²

1 China State Construction Railway Investment & Engineering Group Co., Ltd., Jingmen, Hubei, 448000, China

2 General Contracting Management Company of China State Construction Railway Investment Group, Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: Based on the geological conditions of the development of expansive soil in the Wuhan Yichang section of the newly built Shanghai Chongqing Chengdu high-speed railway from Hanchuan East to Yichang North Station, the application of CMA expansive soil ecological modifier is a construction technology that uses a chemical method to treat expansive soil. This technology method is practical and simple, improving the strength and stability of the cutting slope soil after modification construction, and playing a role in slope greening and beautification. This article discusses the application technology of CMA ecological modifier for the modification of expansive soil cutting slopes and the restoration of slope greening. The modified expansive soil has good engineering effects.

Keywords: CMA; expansive soil; ecological modifier; construction technology

1 工程概况

新建沪渝蓉高速铁路武汉至宜昌段汉川东至宜昌北站前工程 WYZQ-4 标段位于湖北省荆门市, 线路起自 DK124+132.62, 途经京山市雁门口镇、石龙镇、屈家岭管理区、易家岭办事处、长滩办事处, 钟祥市长滩镇、旧口镇、柴湖镇。线路起自京山市雁门口镇育山坡水库西侧, 沿西北走行经屈家岭管理区尔后再进入钟祥市境内, 跨 G42 沪蓉高速后在柴胡以北、罗城村西侧设钟祥南站, 至本段终点 DK168+976。正线长 44.843 公里, 其中桥梁 13 座 34.668 公里, 隧道 1 处 2.1 公里, 路基 14 段 8.075 公里, 桥隧比 82%。

二分部管段起该里程为 DK139+614.71 ~ DK153+645.24, 位于湖北省荆门市京山市和钟祥市境内, 线路长度 15.13km。主要施工项目为: 路基 1993.655m/4 段, 桥梁 13136.67m/5 座, 涵洞 5 座, 连续梁 5 联。

主要工程数量: 路基填方量 11.1 万方, 挖方量 15.47 万方, 级配碎石 3.38 万方, 螺杆桩 10330/115937m; 桥梁钻孔桩 3397 根/95547m, 承台 401 个, 墩台 401 个, (32+48+32)m 预应力连续梁 3 联, (40+72+40)m 预应力连续梁联, (60+100+60)m 预应力连续梁 1 联。

二分部其中 DK140+868.62~DK141+322.26 段区间路基、DK143+328.25 ~ DK143+646.9 段区间路基、DK149+830.640~DK150+825.580 段区间路基喷洒 CMA 生态改性剂。

2 施工特征

(1) 改善膨胀土的特性。

膨胀土的膨胀干燥特性是膨胀土中所含矿物质与水相互作用的结果。一层水吸附在膨胀土壤中矿物颗粒表面的一层。这层被吸附的水以静电重力的形式吸附在膨胀的土壤矿质颗粒表面。土壤风干可以去除大部分被吸附的水, 但环境湿度的增加会使其重新吸水。由于土壤扩张的矿物粒子很小, 表面面积较大, 吸附或排放的水必然导致土壤内湿滑和干裂, 从而对岩石和土壤项目造成损害。由于离心交换, 吸收的水吸引了土粒子表面的静电, 吸收的水变成了自由的水, 比普通土更好。

(2) 改性土具有人工沉积岩的倾向

由于膨胀土生态改良剂去除了改性土壤中的水分和改性土壤在重力作用下受到挤压, 在形成石灰和离子的黏合作用下得到确认。形成紧凑的板块结构, 弹性好, 无裂缝, 倾向于人工沉积岩。

(3) 渗水不会造成岩土破坏

水需要孔隙才能渗透。水需要水才能进入。未处理的土壤有很多洞和缝隙，水很容易进入。被渗入的水也会被扩张的土壤粒子吸附，导致土壤膨胀，对土地工程造成破坏。经过土层经过扩张性土层生态改造，由于其排水作用，大部分孔被压缩，大部分空间将以重晶物质填充在缝隙中。虽然改性的土水可以进入，但水不会存在，吸尘和快速解套。因此，渗水不会造成岩土破坏。

(4) 生态环境保护

膨胀土生态改良剂的 pH 值，在 6 至 7 之间，没有毒、没有腐蚀、不容易燃烧、易爆、没有污染，属于生态环保的产品类别。改良后的土壤可种植灌木、花卉，具有绿化、美化环境的功能，符合水土保持、降噪、采光的特点。

(5) 经济适用性

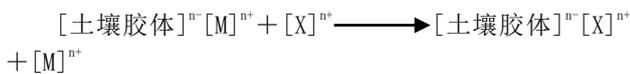
可根据不同的土地配制膨胀土生态改良剂，改良剂的边坡可按正常土坡的坡度率设计，节约土地，减少开挖量，工程成本低。

(6) 施工便捷

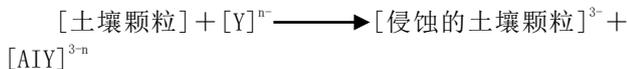
施工简单，工期短，施工进度快，可多组同时施工，平行流水作业。

3 施工工艺原理

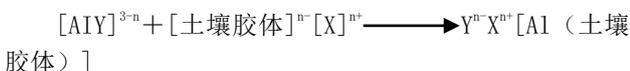
该混合土壤生态改良剂包括复合化学配方、水和充分搅拌的活性石灰。它具有电解和离子交换的功能，渗透性强，可溶于水。它解离了水中带正电荷的阳离子 $[X]^{n+}$ 和带负电荷的阴离子 $[Y]^{n-}$ 。这些阳离子与膨胀的土壤胶体表面的阳离子 $[M]^{n+}$ 交换。这些阳离子最初吸附在亲水膨胀的土壤颗粒表面，后来被亲水水平低、结合力强的铝离子及其水合物所取代。吸附的水在膨胀的土壤颗粒上的化学键被破坏形成自由水，修饰后的土壤颗粒形成化学键和网络结构，加速反应和离子交换。通过重力、蒸发、压实等作用消除游离水，改变膨胀土颗粒的结构特性，从而提高膨胀土的抗剪强度，提高其水的稳定性，并永久改变其性质。将膨胀土壤转变为非膨胀土壤。这比石灰土具有更稳定、更持久的作用。即：



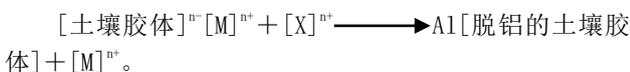
解离的阴离子与土壤铝形成复杂的相互作用：



铝离子 $[\text{AlY}]^{3-n}$ 与 $[\text{土壤胶体}]^{n-}[\text{X}]^{n+}$ 的树脂络合物，使树脂可再生：



总反应式是：



膨胀土壤的生态改造是通过电解和水中膨胀土壤颗粒之间的离子交换来实现的，从而达到改善膨胀土壤的目的。它不与土壤颗粒黏结，具有再生功能。当与膨胀土壤相互作用时，总量没有减少。它的功能不会随着时间的推移而消失。相反，只要膨胀的土壤中有水分的话，其功能继续发挥，其作用是永久性的和不可逆的。其作用过程大致如下：当膨胀土生态改良剂通过渗透喷洒时在土壤上达到一定深度时，也有可能通过土壤的毛细孔隙及其自身的含水量达到一定的深度。更重要的是，扩张土壤的生态温带具有较强的透水性和水溶性。它能与雨水一起进入雨水深度，基本解决雨水渗入扩张土壤的影响，充分处理大气排气层深度内的扩张土壤。

4 工艺流程及操作要点

4.1 施工工艺流程

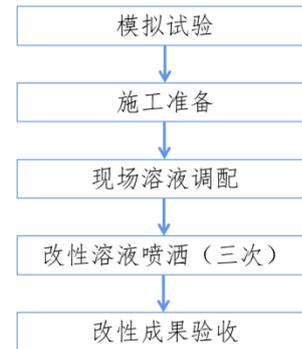


图1 CMA 膨胀土生态改良剂施工工艺流程

4.2 操作要点

(1) 实验室模拟试验

膨胀土具有相同的工程特征，但不同区域的矿质和化学成分不同。通过试验验证了产品对膨胀土的改性效果，并选择了最合适的配方，以保证工程质量。

认真开展实地调查，收集当地气候条件、降雨穿透深度和大气风化层撞击深度的数据。从膨胀土剖面上的不同位置采集原土样品，通过室内试验获得原土的各种指标。

在原始土壤指数和相关调查资料的基础上，在实验室制备了几个膨胀土小样品，并对原始土壤样品进行了模拟修正试验。通过比较试验结果，选择土壤的最佳配方，确定单位面积的喷洒量和频率。具有最佳配方的改良土壤样品必须符合非膨胀土的标准。

实验室测试内容：液体极限、收缩极限、加湿、自由扩展速度，粒子分析，最大干密度，最佳水体，密封性，承载率，压力强度无限，直接排量，扩展速度，扩展速度，收缩（线收缩，体积收缩、收缩极限）。实验室检测和检测各项指标作为指导修改施工的依据。

采用原状土样的分布和取样方法以及原状土和改良土的检测技术均按 GB/T50123-1999《土工试验方法标准》和 DT-82《土工试验规程》执行。

(2) 施工准备

改造前应按必须完成相关工程设计的施工和验收,避免更新后对地面的扰动影响更新效果;重建前,应仔细检查土壤水分和脆弱性,并保持土壤干燥。建议他们在地面出现裂缝的情况下建造;CMA 改性剂的混合比例应为浓液:水:水合石灰=1:100:5,按水+浓液+石灰的顺序充分搅拌;生态改性剂喷洒前需将路堑边坡开挖刷坡到位;路堑边坡、路堑基床、挡土墙墙背、侧沟、边坡平台等均可以通过喷洒 CMA 膨胀土生态改性剂进行改性。

(3) 现场溶液调配

现场使用容量为 200L 的塑料水桶作为溶液调配容器,根据配合比浓缩液:水:熟石灰=1:100:5,每桶 CMA 生态改性剂所添加的浓缩液、水、熟石灰重量分别为 1.89kg、188.68kg、9.43kg。每桶改性剂中浓缩液、水、熟石灰添加的重量必须现场通过电子秤进行称量,按照添加次序依次添加,禁止随意改变配合比。

扩大土壤生态修复应满足企业标准“扩大土地生态改善”(Q/WZC01-2019 年)的质量要求;在节水后煮熟的石灰粉质量应达到世界一流标准,其活性材料 CaO+MgO 含量应不低于 70%。

水溶液的水应满足以下要求:①颜色不得超过 15 度,不同颜色的浊度不得超过 5 度;②无可见悬浮物;③没有气味。

(4) 喷涂改性溶液

地基处理完成后及时喷洒 CMA 膨胀土生态改性剂,再铺设桩顶垫层;边坡开挖后及时喷洒 CMA 膨胀土生态改性剂,再进行支挡防护。

将制备好的 CMA 膨胀土生态改良剂水溶液按设计喷施量均匀喷洒在膨胀土表面,通过渗透方式渗透到土壤中。第一次喷洒完成后,间隔时间一般在 1 天左右,待土体干燥后,用同样方法再喷洒下一次,在一般情况下膨胀土生态改性剂水溶液喷洒次数为三次。膨胀土生态改性剂用量实行总量控制,每平方米改性剂水溶液用量不得小于 20kg,小于 20kg 则要进行补喷。

现场喷洒必须保证土壤是干燥的,土壤表面最好有裂缝。施工应在晴天进行。每次喷射应该是连续的,改性剂应均匀喷洒在土体表面上被土体吸收不再流淌为宜,喷洒速度不宜过快,以便于土体充分吸收。

喷洒后应经过一场雨的渗透,将改性剂通过雨水渗透到深层。

养护膜内高分子材料吸水膨胀后,厚度达 3-5mm,膜内高分子材料呈透明状;反之,水分不足,此时可从界面处加水,以保证固化膜中的高分子材料吸收足够的水分。

(5) 修改结果的验收

经过几次大雨,待改性过程基本完成后,即可对改性土进行试验(这里的大雨是指雨量大、持续时间长的降雨,

此降雨对未经处理膨胀土体产生一定的破坏作用)。检测可采用目测与试验检测相结合的方法进行,试验检测则委托国家级 CMA 资质检测机构承担。

改性效果以确保膨胀土土体稳定为前提,结合室内外试验检测的各项指标进行综合分析,按有关膨胀土判别标准评定。根据膨胀土生态改良剂的改性原理,改良土壤深度和改良不同指标与土壤气泡和周期系数有关。由于酷刑的密度,土壤的渗透系数决定了膨胀土生态改良剂的破坏程度和改性功能。即降雨强度大,土壤渗透系数大,破坏程度显著,扩大后土地生态改善效果也有所改善。而反之亦然。雨水的进入深度不会对泥土造成破坏,道路和坡仍处于稳定状态。

5 效益分析

相对于常规做法采用的挖除换填方式,CMA 膨胀土生态改性剂产生的经济效益尤为明显。沪渝蓉项目二分部管段内 DK140+868.62 ~ DK141+322.26 段区间路基、DK143+328.25 ~ DK143+646.9 段区间路基、DK149+830.640 ~ DK150+825.580 段区间路基喷洒 CMA 膨胀土生态改性剂共计 40068 m²,配备 3 个劳务班组,挖除换填深度不小于 3 米,采用挖除换填方式进行膨胀土改性时,挖除阶段每个班组需至少配备 2 台挖机、10 台自卸车、4 名工人,换填阶段每个班组至少配备 2 台挖机、5 台自卸车、1 台铲车、1 台推土机、1 台平地机、1 台压路、8 名工人。挖除土方实方至少 120204m³,每个班组一天挖除清运土方为 20*10/1.2*10=1666m³,三个班组每天挖除清运 5000 方,挖除完成需要 24 个工日。换填三七灰土压实方为 120204m³,每个班组每天路堑边坡只能换填 20*10/1.2*5=833m³,或路基 30*10/1.2*5=1250m³,平均每个班组每天换填 1041.5m³,三个班组每天换填 3124.5m³,有效时间为 38.5 个工日,由于换填结果需要试验检测,外加天气等不可抗力因素,二分部挖除换填膨胀土至少需要 2.4 个月。

而采用 CMA 膨胀土生态改性剂每施工班组只需配备 8 名工人,一个施工班组每工日可完成喷洒面积 2000 ~ 2500m²,可多组同时施工,平行、流水作业。减少了人员、材料、机械的大规模投入,节省了成本,缩短了施工工期,为后续边坡防护、路基填筑等施工争取了宝贵的工期,对后续新开项目招标单价起到重要意义,贯彻落实低成本运营。

6 现场实施照片



图 2 地基喷洒 CMA 改性剂

图 3 边坡喷洒 CMA 改性剂

[参考文献]

[1]刘书鹏,王锦辉,刘鸿锐,等.CMA 生态改性剂在膨胀土深挖路堑边坡中的应用[J]. 建筑工程技术与设计,2018,10(36):22-23.

[2]李晓鹏. 膨胀土液态稳定固化剂的研究与应用[J]. 广西大学,2011(21):20.

[3]李艳霞,李实杰,兰红波. 膨胀土改良研究现状综述[J]. 城市建设理论研究(电子版),2015(15):36-37.

作者简介: 李博科(1990.6—), 毕业院校: 西安科技大学, 所学专业: 工程力学, 当前就职单位: 中建铁路投资建设集团有限公司, 职务: 总工程师, 职称级别: 工程师;
高国文(1994.5—), 毕业院校: 北京科技大学, 所学专

业: 土木工程, 当前就职单位: 中建铁路投资建设集团有限公司, 职务: 项目工程技术部部长, 职称级别: 助理工程师; 李永刚(1993.1—), 毕业院校: 兰州交通大学, 所学专业: 地理信息系统, 当前就职单位: 中建铁路投资建设集团有限公司, 职务: 项目经理, 职称级别: 工程师; 刘衍文(1984.6—), 毕业院校: 西南交通大学, 所学专业: 水文地质与工程地质, 当前就职单位: 中建铁路投资建设集团有限公司, 职务: 项目经理, 职称级别: 高级工程师; 高克(1990.6—), 毕业院校: 西安建筑科技大学, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 中建铁路投资建设集团有限公司, 职务: 项目副经理, 职称级别: 助理工程师。