# 隧道岩溶洼地地基回填处理技术研究与应用

马辉山[1] 黄英全[1] 韦昌亮[1] 李侃[2] 黄超平[2] 邹红[3]
1 中国铁路南宁局集团有限公司柳州铁路工程建设指挥部
2 中铁十四局集团有限公司
3 邵阳学院土木与建筑工程学院
DOI:10.12238/btr.v8i4.4749

[摘 要] 根据地形与地表土抗渗要求,本文首先从三七灰土组成与制备、回填碾压等工艺进行地表土换填工艺进行了介绍,然后从监测点布置、监测原理跟方法介绍了水位智能检测体系,利用智能监测系统对三七灰土换填的抗渗性能与地下水位进行监测更新。监测结果表明：在雨水垂直迳流条件下,三七灰土回填土地段雨水含量与地下水位均满足相关技术标准,有效抑制了雨水垂直迳流对隧道衬砌等结构物的渗透,在类似工程中存在一定实用与推广价值。
[关键词] 渗透；岩溶洼地；三七灰土；水位监测
中图分类号：P332.3 文献标识码：A

## Research and Application of Backfilling Technologies for Tunnel Foundations in Karst Depressions

Huishan Ma[1] Yingquan Huang[1] Changliang Wei[1] Kan Li[2] Chaoping Huang[2] Hong Zou[3]
1 Liuzhou Railway Project Construction Headquarters, China Railway Nanning Group Co., Ltd.
2 China Railway 14th Bureau Group Co., Ltd. 3 College of Civil and Architectural Engineering, Shaoyang University

[Abstract] Based on terrain and surface soil anti-seepage requirements, this study first introduces the surface soil replacement technology through the composition/preparation of 3:7 lime-soil mixture (lime=3:7 by volume) and backfill compaction processes12. A smart water level monitoring system is then detailed, covering monitoring point layout, operational principles, and methodologies6. The intelligent system continuously tracks the anti-permeability performance of 3:7 lime-soil backfill and groundwater fluctuations35. Monitoring results demonstrate that under vertical rainwater runoff conditions, both moisture content in lime-soil backfill areas and groundwater levels comply with technical standards, effectively mitigating water infiltration into tunnel linings and adjacent structures. The methodology shows practical applicability and promotional value for similar karst depression projects.
[Key words] Seepage; Karst depression; 3:7 lime-soil mixture; Water level monitoring

## 引言

棋盘山隧道穿越石灰岩孤山,地表岩石裸露,溶沟溶槽发育,紧靠线路右侧及线路上方封闭岩溶漏斗及落水洞发育。地形陡峻,植被发育,山坡自然坡度一般30～50°。隧址区地下水主要为大气降水补给,以垂直迳流为主,在坡脚以泉的形式排泄或继续 向深部迳流。隧道穿越峰林孤峰地段,洞身在地下水垂直渗流带中穿过(图1所示)。

隧道对应地表为岩溶漏斗的地段,特别是岩溶漏斗内断裂构造破碎带地段为主要涌水地段雨季正常涌水量3810m³/d；若雨季遭遇五年一遇、十年一遇及五十年一遇暴雨,可能发生突水,其涌水量分别为41880m³/d、51320m³/d、72480m³/d。极易对隧道衬砌等结构物造成渗水等工程质量事故。

图1 隧道顶上方地表

鉴此：为了增强土体抗渗性能，本文采用三七灰土换填土对岩溶漏斗地表段进行处置[1-3]，对抑制雨水垂直迳流对隧道衬砌等结构物的渗透具有工程实用价值[4]。

## 1 回填工艺控制

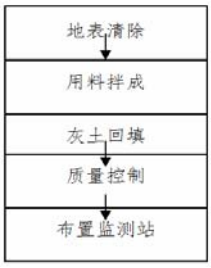


图2 三七灰土换挖回填施工流程图

1.1地表清除

在回填土之前，地表上草皮、杂物、树根淤泥[5]。同时，为排除积水，四周应设排水沟或截洪沟，以防止地面水流入填方区域或基坑（槽）浸泡地基，导致基土下陷（图3所示）。

图3 排水沟设置

挖除原地面软质土，按照现场放出的边线桩及下挖标高控制开挖，挖至设计换填标高后，用小翻斗车配合人工基底找平，并用水准仪控制设计高程。按照检验标准自检合格后，报监理工程师检查验收，验收合格后，开始进行3:7灰土填筑施工，验收标准见下表1所示：

表1 地面验收标准

| 项目 | 序号 | 验收项目 | 允许偏差值（mm） | | | | | 检验方法 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 基坑基槽 | 挖方场地平整 | | 管沟 | 地面基层 | |
| | | | | 人工 | 机械 | | | |
| 主控项目 | 1 | 标高 | -50 | ±30 | ±50 | -50 | -50 | 水准仪 |
| | 2 | 长度宽度 | +200 -50 | +300 -100 | +500 -150 | +100 | - | 经纬仪钢尺量 |
| | 3 | 边坡 | ±0.1% | | | | | 观察或用坡度尺测量 |
| 一般项目 | 1 | 表面平整度 | 20 | 20 | 50 | 20 | 20 | 用2m直尺和楔形尺检查 |

1.2用料拌成

三七灰土系用一定量的石灰与土拌合夯压而成，其强度随时间缓慢增长，具有一定的水稳定性和不渗水性（为原土的10~13倍），灰土体积比设计为3:7。土料采用就地挖出的粘性土及塑性指数大于4的粉土，土内有机含量不大于5%，土块粒径不大于15mm。石灰采用熟石灰粉，石灰等级不得小于Ⅲ级，含氧化钙70%以上，使用前3～4d消解并过筛，其粒径不应大于5mm，要求同产地、同品种、同规格。含水量的控制是关键环节，灰土垫层土料的施工含水量宜控制在最优含水量ωop±2%（一般最优含水量为14%~18%）的范围内，最优含水量通过击实试验确定。

1.3灰土回填

灰土中不得含有粒径过大的颗粒，粒径不得大于15mm。灰土拌和必须均匀，颜色要一致，并控制好灰土的含水量，以手攥成团，从一米左右高处自由落下后散落为宜，土中不得含有有机物或建筑垃圾。

灰土垫层就分层夯实，经湿润养护、晾干后方可进行下一道工序施工。灰土摊铺虚铺厚度一般为150~250m（夯实后约100~150mn厚），若垫层厚度超过250mm应由一端向另一端分段分层铺设夯实。夯实采用蛙式打夯机或木夯，大面积宜采用小型手扶振动压路机，夯打遍数一般不少于三遍，碾压遍数不少于六遍（图4所示）；人工打夯应一夯压半夯，夯夯相接，行行相接，纵横交错原则[6]。

图4 回填土分层压实

1.4质量控制

表2 灰土压实控制项目

| 项目 | 序号 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 | | 检查方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 单位 | 数值 | |
| 主控项目 | 1 | 地基承载力 | 设计要求 | | 载荷试验或按规定方法 |
| | 2 | 配合比 | 设计要求 | | 3:7 |
| | 3 | 压实系数 | 设计要求 | | 现场实测 |
| 一般项目 | 1 | 石灰粒径 | mm | ≤5 | 筛分法 |
| | 2 | 土料有机质含量 | % | ≤5 | 实验室焙烧法 |
| | 3 | 土颗粒粒径 | m | ≤5 | 筛分法 |
| | 4 | 含水量 | % | ±2 | 烘干法 |
| | 5 | 风分层厚度偏差 | mm | ±50 | 水准仪 |

三七灰土经过分层碾压，为保证其土壤抗渗性，压实度系数

与地面平整度等指标应达到如表2所示标准[7]。

1.5布置水位监测站

1.5.1水位计工作原理。TC-SW系列水位计采用高灵敏进口水压敏感集成元器件,将水压信号通过数据处理,最终可通过手持读数仪或自动监测系统读取。是一种测量路基、大坝等渗水压力的压力式传感器,由水压力计、透水石等部件组成,适用于不同地质层面的渗水压力测量,可进行长期自动化监测测量(图5所示)。

图5 TC-SW系列水位计

根据压力与水深成正比关系的静水压力原理,运用水压敏感集成元器件做的电压式高智能水位计。当传感器固定在水下某一点时,该测点以上水柱压力作用于水压敏感集成元器件,使元器件电阻发生变化,从而导致电压变化,这样即可间接测出该点的水位。

1.5.2数据采集终端。水位计采集终端,是一款高性能、高集成的智能低功耗产品,配套物联云平台实现远程数据采集、监控、分析、巡察、报警、归类、地理位置定位、数据报表曲线下载等。同时,可借助手机等移动设备APP软件实现随时随地监控报警等功能的产品,如图6所示。

图6 智能监测站实景图

## 2 效果分析

平台对数据进行存储和计算对数据进行展示,点击相应点位可以看到相应测点的最新数据,并可切换进入查看设备的具体数据以及计算数据和数据趋势图,监测站采集了2025年2月份数据罗列如下图7所示。


图7 水位监测曲线图

图7表明:在下大雨期间,最高水位为0.05m,变化量为0.01m,满足相关规范要求[8],三七灰土回填区域有效抑制了雨水垂直迳流影响。

## 3 结论

本文三七灰土回填技术的研究与应用,得出如下结论:

(1)通过三七灰土回填,最高水位控制在0.05m,满足相关规范标准,在类似工程中,三七灰土在抑制雨水迳流渗透这块具备一定实用与推广价值。(2)智能水位计与检测系统检测数据较为真实的反映了地表土渗透状况。(3)三七灰土在地表土换填与处置中表现出了较佳的抗渗性能,在类似工程中存在实用与推广价值。

**[项目来源]**

运营高铁隧道洞顶地表岩溶洼地、漏斗封堵关键技术研究及工程应用(建23-6);废料改性沥青的多尺度性能演化规律及耐久性性能提升研究(立项编号:25KYQDXX)。

**[参考文献]**

[1]王明清.深层强夯灰土挤密桩DDC在地基处理中的应用[J].建筑,2018,(19):76-77.

[2]李小伟,彭丽娟,张森安,等.灰土地基膨胀机理试验研究[J].山西建筑,2022,48(04):89-93.

[3]李志伟.湿陷性黄土和煤矸石回填土复合地基处理的设计方法[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(09):76-78.

[4]赵婧如,李嘉瀚,曹军,等.碱渣石灰土液限塑限测试及影响规律研究[J].福建建筑,2025,(03):65-67+77.

[5]朱佳龙.灰土换填法在湿陷性黄土路基处理中的应用[J].交通世界,2023,(11):101-103.

[6]赵文娟,宋鹏飞,何华飞,等.基于沉降控制的管廊基坑肥槽回填土参数研究[J].市政技术,2021,39(03):120-123.

[7]建筑地基基础工程施工质量验收标准:GB 50202-2018[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2018.

[8]地下水监测工程技术标准:GB/T 51040-2023[S]北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2023.

**作者简介:**

马辉山(1981--),男,汉族,广西柳州人,高级工程师,研究方向:隧道洞顶岩溶整治工装设备研究。