

# 高原铁路隧道排水盲管结晶堵塞处置技术

成 军<sup>1</sup> 陈 林<sup>2</sup> 康禄财<sup>3</sup> 刘文琪<sup>4</sup> 董乾元<sup>5</sup>

1. 成都和拓土木工程有限公司 四川 成都 610031

2. 成都和拓土木工程有限公司 四川 成都 610031

3. 中国铁路青藏集团有限公司拉萨基础设施段 西藏 拉萨 850000

4. 中国铁路青藏集团有限公司拉萨基础设施段 西藏 拉萨 850000

5. 中国铁路青藏集团有限公司拉萨基础设施段 西藏 拉萨 850000

**摘 要:**高原铁路隧道排水盲管内结晶淤积堵塞,将会导致排水系统的过水能力丧失,甚者缩短了隧道使用的寿命,并可能对隧道内行车安全造成不利影响。依托令达拿隧道50m试验段工程案例,现场取样水质分析,对结晶物的组分物相定量,再结合专业的疏通清洗设备及工艺。试验结果表明:清洗前,盲管内结晶淤积严重,几乎直接被堵死;清洗后,管道内无结垢物,内壁光滑,排水顺畅,已达到预期清理目的,取得了较好的效果,为解决高原铁路隧道排水盲管结晶淤积堵塞问题提供了可行的技术方案。由此可以证明,该项处置技术是行之有效的。

**关键词:**高原铁路隧道;排水盲管;结晶堵塞;处置技术;疏通清洗

## 引言

隧道排水盲管在铁路、公路等交通基础设施中扮演着重要的角色,大量的碳酸钙结晶随着地下水的渗流显现,沉积在隧道排水系统中,造成隧道排水系统堵塞失效,从而出现大面积渗水、仰拱抬升乃至衬砌开裂掉块等危及隧道结构安全的问题<sup>[1-4]</sup>,给隧道的安全运营带来了巨大的威胁。

针对隧道排水管道内结晶淤积堵塞问题,国内外也有诸多学者开展一系列的相关研究工作。蒋雅君等<sup>[5]</sup>通过对岩溶区隧道进行系统性调研与分析,导致排水系统结晶堵塞的主要影响因素,包括CO<sub>2</sub>浓度、地下水、温度、pH值、离子种类和浓度等;郭小雄等<sup>[6]</sup>采用U型密封器来优化排水系统,抑制CO<sub>2</sub>浓度,控制结晶的生长速率,从而以预防管道结晶堵塞;刘士洋等<sup>[7]</sup>通过设计试验装置,在排水管内种植不同长度绒毛,试验结果表明,较好发挥植绒排水管破除结晶的作用;蒋雅君等<sup>[8]</sup>和李乃强等<sup>[9]</sup>分别使用有机酸循环清洗、高压清洗技术对公路隧道排水管道钙结晶物进行清除,其促进碳酸钙的溶解,清洗效果明显;钟文健等<sup>[10]</sup>依托广东某公路隧道结晶堵塞问题,提出排水系统结晶防护策略,并实时跟踪监测。综合上述情况来看,针对高原铁路隧道排水盲管内结晶淤积堵塞问题鲜有报道,就目前而言,只是定期通过人工清洗的方式,来清理排水沟内的白色结晶物,工作效率相对低下,未见对排水盲管结晶堵塞问题提出有效治理措施。

本文通过前期调研与方案的比选,提出适用于高原铁路隧道排水盲管疏通清洗设备及工艺,并进行了有效

的工程治理,以期改善排水系统的长期工作性能和耐久性,大大节省了施工建设与运营养护的资金,为后期高原铁路排水系统运营治理工作提供借鉴与参考。

## 1 工程概况

令达拿隧道位于林芝市朗县仲达镇境内,横跨林芝、山南两市。该隧道全长2515米,最大埋深约为322m,为单线隧道,设计时速160km/h,属于雅鲁藏布江缝合带,平均海拔3200m。该隧道自2021年6月投入运营以来,其排水系统结晶堵塞现象尤为严重,如图1所示,主要分布于排水管道内、初期支护喷射混凝土与衬砌表面、排水管出口附近表面、排水沟底等部位。这些结晶体的分布形态特征与流水区域重合,如呈条状或面状分布。在排水管道中,结晶体的形成最初出现在水流表面或管壁与水流的接触区域,晶体会逐渐沉积并粘附在管道内壁,随着时间的推移,逐渐积累最终导致管道堵塞。

通过对现场水质取样,取样位置于盲管管口,且无色、透明,利用原子吸收光谱仪和电感耦合等离子体质谱仪对水质进行水化学分析,依据规范《地下水水质分析方法》DZ/T 0064-2021,分析结果见表1中。由表1可以看出,水中钙离子的浓度含量较高,远超出饱和碳酸钙溶液中钙离子的理论浓度,pH值为12.89,呈碱性。

采集隧道排水沟底的白色结晶物,并在实验室进行烘干、研磨等工序,对白色结晶物进行X射线衍射分析,根据其物相分析结果表明,见图2所示,衍射角度在29.44°,此时峰值强度最大,主要是以方解石(CaCO<sub>3</sub>)晶体为主,伴有少量石英物质,其中碳酸钙含量达98.7%。



图1 排水系统结晶堵塞

表1 现场水样化学分析结果

检测项目	离子浓度 (mg/L)	
阳离子	Ca <sup>2+</sup>	236.2
	Mg <sup>2+</sup>	0.00
	K <sup>+</sup>	67.2
	Na <sup>+</sup>	77.1
	NH <sup>4+</sup>	0.00
阴离子	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	36.64
	Cl <sup>-</sup>	122.8
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	40.47
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00
	OH <sup>-</sup>	226.1
总硬度	589.9	
侵蚀性CO <sub>2</sub>	/	
pH值 = 12.89		

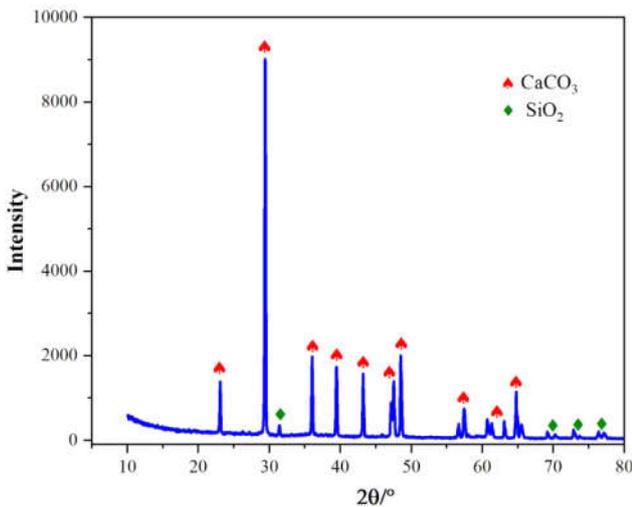


图2 结晶体XRD分析图谱

## 2 铁路隧道排水盲沟结晶堵塞整治

于2023年12月8日至12月14日，针对令达拿隧道的排水系统结晶堵塞现象，利用天窗时间对该段区间隧道里

程为DK209+580处进行50m试验段进行排水盲管检查、疏通清洗处置。

### 2.1 管道内窥镜检查

采用可视化探测系统管道内窥镜设备（如图3所示），7寸显示器，12V可充电电池，前端自带12个LED灯，可为管道内部摄像时提供照明，摄像头防护等级为IP68，玻纤硬质导线，可方便的将摄像头送入管道深处，长度20m。



图3 管道内窥镜

经管道内窥镜对环向盲管进行检查，环向盲管所采用材质为HDPE波纹管，直径为50mm，纵向每隔10m进行布设一根。由管道内窥镜检查结果可见，图4（a）中盲管内一半以上区域被大量结晶物堆积，而图4（b）中盲管内已完全被结晶物堵死，结晶堵塞现象越发严重，以至于管道内不能正常过流。

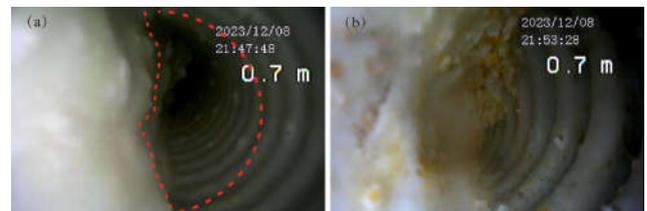


图4 盲管内窥镜检查结果

### 2.2 清理的工作原理与流程

针对以上排水盲管的结晶物堵塞问题,拟采用成都扬华源动新材料有限公司提供的多功能振动破碎机器人与高压水射流相结合的疏通清洗技术。多功能振动破碎机器人是便于快速组装、实现灵活运转和配备先进的自动化控制系统(见图5),是一种具备多种功能的机器人设备,主要通过改变振动强度频率和破碎头粉碎异物,已实现隧道排水管道内污垢物的破除任务。而高压清洗机(见图6)由可视化压力表、跳闸保护电控箱、多喷头式快插清洗管、多角度清洗喷头和可拆卸式滚轮等组成,主要通过增大水的流速和压力,最大流量不低于540L/h,最大工作压力为15MPa,使高压水流具有较强的冲击力和切割力,从而将管道内污垢碎屑物等杂质清除。结合以上两种设备的配合,已达到结晶物快速清洗,大大提高了铁道隧道排水系统疏通清洗的工作效率。



图5 多功能振动破碎机器人



图6 自主研发的清洗机

铁路隧道盲管疏通清洗技术工作流程,主要包括以下几个步骤:

- 1) 首先,前期准备工作。需配管道内窥镜一台、多功能振动破碎机器人一台、自主研发的清洗机一台、5000W发电机一台和集水箱4个等;
- 2) 定位定点。对令达拿隧道里程DK209+580处50m试验段的盲管定位找出,以此定点标记;
- 3) 根据可视化设备勘查结果进行研判。采用管道内窥镜对试验段标记的盲管依次巡检,判断管内是否存在异物并进行分类,如结晶物质、泥沙、混凝土和其他等,以及观察管道内壁波纹管的完整性程度;
- 4) 清洗管口。待清洗机准备完毕后,装上多喷头式快插清洗管,采用自主研发的清洗机对管口进行冲刷清洗;
- 5) 振动破碎。使用管道多功能破碎机,将振动破碎头塞入盲管内部,调至振动强度频率,使管道内结晶物粉碎破除;
- 6) 破碎物检查。再次用管道内窥镜检查管道内结晶物的破碎程度,已达到疏通的效果;
- 7) 管内清洗。将清洗机的多角度清洗喷头放入盲管内,通过改变流量和压力大小,使管道内的破碎结晶物随水流从盲管出水口流入排水沟中;
- 8) 清洗检查。继续使用管道内窥镜对管内进行检查,观察内壁是否清洗干净,是否还存在残留物。若还存有,继续反复以上步骤,直至清洗干净,保证管道内壁清洗效果最佳。
- 9) 最后,恢复整理。井盖恢复,并记录作业质量情况。

### 2.3 清洗后效果分析

疏通清洗完毕后,用管道内窥镜检查,见图7所示。由图可以看出,相对于清洗前管道内的结晶物严重堵塞问题,清洗后管道内的结晶物已经几乎完全清除,管道内壁无结垢现象,排水盲管过流畅通无阻,已达到预期清理的效果。

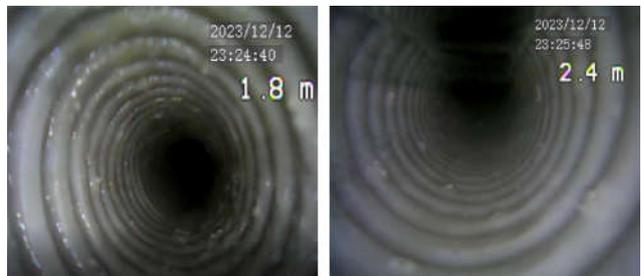


图7 清洗后管道内部情况

通过采用专业的疏通清洗设备及工艺,能够有效地清除排水盲管中的结晶淤积物。这不仅能改善排水系统

的疏水能力,从而显著提高了其清理的效率。

#### 结束语

针对令达拿隧道排水盲管结晶物堵塞现象,通过现场水质取样水质化学分析,测出水中钙离子的浓度含量严重超标,偏碱性。与此,还对管道内结晶物进行X射线衍射物相分析,发现结晶物中主要以方解石( $\text{CaCO}_3$ )晶体为主,且硬度大。

为了应对令达拿隧道排水盲管结晶体清理困难的难题,我们采取专业的疏通清洗设备及工艺。通过本次50m试验段的清理作业,已基本完全清除试验段排水盲管中的结晶体,延长了其使用的寿命,大大节省了隧道运维养护的成本,建议亟需开展全面后续清理工作。

#### 参考文献

[1]段海澎,陈发根,姚春江,等.岩溶区隧道结晶堵管现象及其诱发的风险问题浅析[J].土木工程学报,2020,53(S1):332-335.

[2]常凯,郭小雄,马伟斌等.铁路隧道排水盲管堵塞引起的外侧水压及衬砌应力变化规律研究[J/OL].铁道标准设计,1-10.

[3]蒋雅君,周睿,李乃强等.运营公路隧道排水系统病

害检查方法与技术要点[J].公路交通技术,2023,39(02):159-166.

[4]高春君,向立辉,张学富,等.不同水位下隧道排水管结晶堵塞引起的衬砌应力分析[J].重庆交通大学学报,2019,38(05):45-5.

[5]蒋雅君,杜坤,陶磊等.岩溶隧道排水系统堵塞机理的调查与分析[J].铁道标准设计,2019,63(07):131-135.

[6]郭小雄.铁路隧道排水系统结晶机理及应对措施研究[J].中国铁道科学,2020,41(01):71-77.

[7]刘士洋,高峰,周元辅,等.绒毛长度对隧道植绒排水管防除结晶效果试验[J].科学技术与工程,2019,19(09):234-239.

[8]蒋雅君,杜坤,周睿等.隧道排水盲管结晶有机酸清洗剂溶解效果试验研究[J].隧道建设(中英文),2021,41(S2):137-143.

[9]李乃强,蒋雅君,刘世圭等.基于高压清洗技术的运营公路隧道中央排水管清洗技术研究[J].隧道建设(中英文),2021,41(S2):647-654.

[10]钟文健,蔡有信,周瑜等.公路隧道排水系统防结晶养护策略[J].广东公路交通,2023,49(02):49-54.