

隧道排水系统结晶整治与预防研究

史凌杰

中铁十二局集团有限公司

摘要: 本文重点介绍铁路隧道排水系统结晶形成原因及整治预防措施。本文以银西铁路早胜隧道群为依托,研究隧道防排水系统施工完成后,在隧道排水管内生成的沉淀结晶物,与泥沙和围岩颗粒及围岩碎片共同作用,而堵塞失去排压泄水作用的泄水孔。长期造成衬砌背后水压过大,而对隧道造成较大隐患。因此该处理方法及设备应用具有推广意义。

关键词: 隧道排水系统; 结晶整治; 防结晶密封器

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.05.069

引言

铁路隧道排水盲管与排水沟作为隧道防排水系统重要组成部分,其通堵状态直接关系到铁路隧道服役性能。排水系统结晶堵塞现象会导致隧道排水系统整体失效,恶化了隧道结构受力与服役状态,进而导致衬砌开裂、渗漏水、挂冰等次生病害,严重影响到隧道结构服役与运营安全。故隧道排水系统结晶整治与预防十分重要。

一、排水盲管结晶程度分类

排水系统结晶程度,分为轻微结晶、中度结晶、重度结晶及无法疏通四种类型,各种结晶程度的评判标准如下:

(一) 轻微结晶

管口附着少量结晶体、泥沙、混凝土等,管壁内有结晶附着,结晶呈絮状,较易清理;管道轻微挤压变形;流水不受太大影响。

(二) 中度结晶

管口和管壁有大量结晶、泥沙、混凝土及其他异物附着。结晶呈硬化蜂窝状,有一定的疏通难度;管道中有1-3个结晶物、混凝土及异物堵塞点;管道出现中度变形;流水受结晶体堵塞影响较大。

(三) 重度结晶

管口完全堵塞,水流完全堵塞,结晶体呈硬质固体,疏通难度大;管口完全堵塞或管道内出现3个或以上较长堵塞点,管道因破损造成大量混凝土和泥沙渗漏与结晶体共同堵塞,疏通难度大;管道中出现严重变形及少量破损情况。

(四) 无法疏通

结晶体硬化,管道变形破损严重,管道内部为混凝土或泥沙堵塞,疏通设备无法疏通。采用开凿泄水孔方案。

二、结晶机理及影响因素研究

针对铁路隧道排水系统结晶堵塞问题,对铁路隧道

排水系统内外环境进行现场实测,开展结晶体X射线衍射、扫描电镜等测试及不同部位水样pH值与成分检验,模拟结晶体生成过程,分析结晶机理及影响因素,相关研究如下。

(一) 现场测试

为掌握排水系统外部环境对结晶影响程度,分别开展了隧道内、排水管内及排水沟内等不同部位温度、湿度、CO₂浓度等外界环境参数测试。

CO₂浓度测试结果见图 2.1.1所示

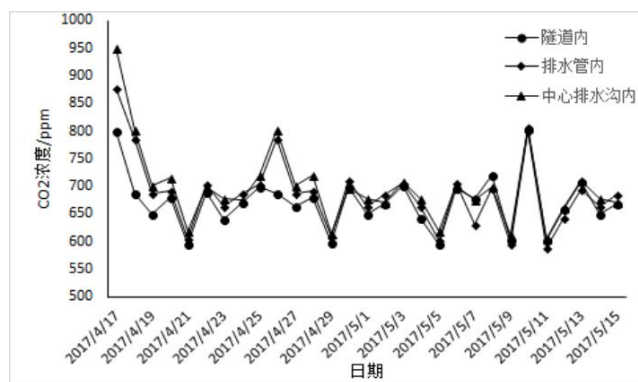


图 2.1.1 CO₂ 浓度测试结果

由图 2.1.1 可以看出,CO₂浓度主要集中在 690~850ppm 之间,约是正常空气中的CO₂的含量的2~3倍,其中排水沟与排水管内狭小空间内CO₂浓度高于隧道内CO₂浓度,这是由于隧道开挖、汽车运输出渣、喷射混凝土等施工作业,加之隧道内通风不畅导致的。

温度测试结果见图2.1.2所示。

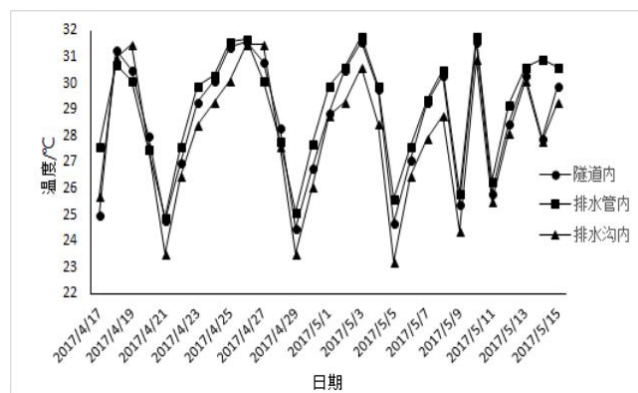


图 2.1.2 温度测试结果

由图 2.1.2 可知,隧道内、排水管内及排水沟内温度基本接近,但均高于测试期间隧道外部环境温度。

湿度测试结果见图2.1.3所示。

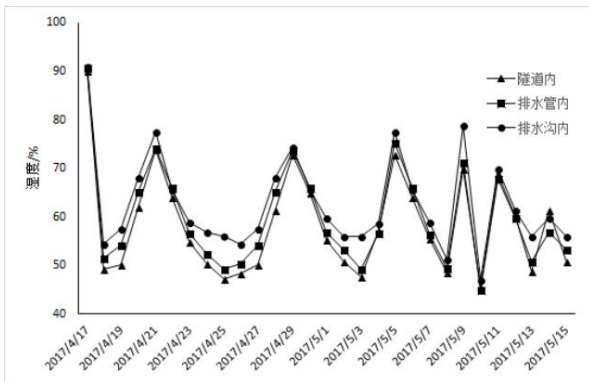


图 2. 1. 3 湿度测试结果

由图2. 1. 3可知，排水管内及排水沟内湿度高于隧道内，且均高于测试期间隧道外部环境湿度。

(二) 理化检验

分别选取5座典型隧道初期支护表面、排水管内、衬砌出水口附近进行结晶体现场取样，分析结晶体化学成分。

(1) 化学分析测试

为掌握结晶体化学组成及物质含量，进行了5组试样X荧光光谱测试，试样化学组成测试用设备为Thermo Scientific 公司Perform' x型荧光光谱仪，化学组成及物质含量检验结果见图2. 2. 1所示。

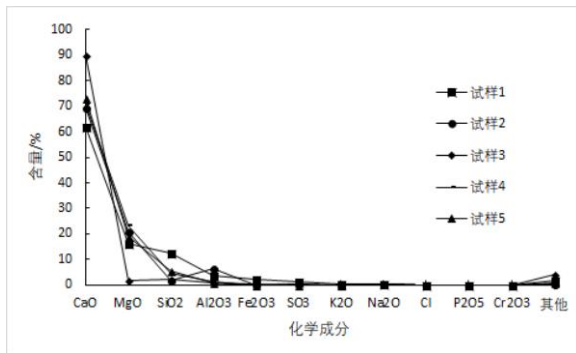


图 2. 2. 1 结晶体化学成分含量

由图2. 2. 1可以看出，结晶体化学成分以CaO为主，含量超过60%以上，其次为MgO，含量约为20%。

(2) 矿物组成测试

采用X射线衍射仪测定了结晶体矿物组成，试样矿物组成测试用设备为Rigaku公司 smartlab型X射线衍射仪，如图2. 2. 2所示。

试样矿物组成结果见图2. 2. 2 所示。

由图2. 2. 2可以看出5种试样中含量最多的物质均为碳酸钙类矿物，以方解石和球霏石的形貌出现；其次是一些镁质矿物，如白云石、氢氧化镁等；1#试样中少量的石英晶体，应是取样时混入的原岩杂质。

(3) 扫描电镜观察

采用扫描电子显微镜 (SEM) 进行了结晶体微观形貌观测，结晶体在扫描电子纤维镜下的微观形态特征主要为微细晶尖，呈长针状从簇或短针状分枝的聚集体。

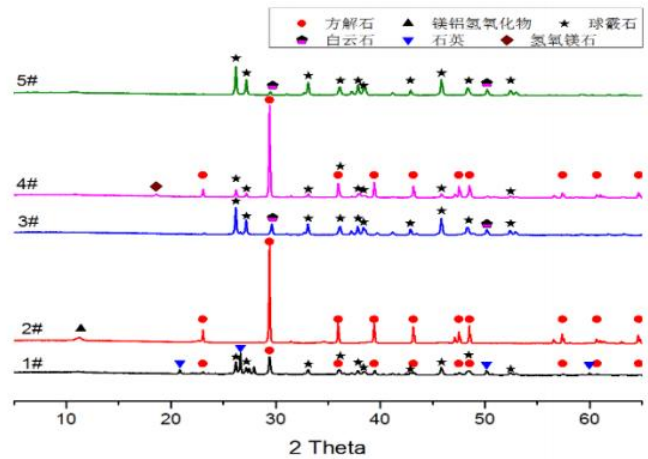


图2. 2. 2 结晶体矿物组成

(4) 水样检验

为掌握结晶影响因素，分别在隧道掌子面、初期支护表面、衬砌排水口分别提取了水样，检测水样pH值以及水体中主要离子含量。

水体pH值现场测试结果表明，未经过初期支护喷射混凝土的水体pH值为7左右，基本呈中性，渗透通过初期支护喷射混凝土后，pH值急剧增大，为13左右，呈强碱性。水样用高速离心机提取出待测试的水溶液。水样中离子含量测试结果见表2. 2. 1所示。

表2. 2. 1 水样中离子含量测试数据

水样位置	离子含量 (mg/L)					PH 值
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ba ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	
掌子面	3.32	0.15	0.08	12.91	14.69	7
初支表面	131.25	32.66	0.08	13.25	15.59	13
衬砌出水口	137.34	35.78	0.07	14.23	15.87	13

从水样检测结果可知，地下水渗透通过初期支护混凝土后，水体中Ca²⁺、Mg²⁺等浓度大幅增加，pH值亦明显增大。

(三) 模拟试验

在室温条件下，分别将水泥净浆试块浸泡于蒸馏水与0.1mol/L NaOH溶液中，模拟在不同环境（密封空气、流动空气、密封 CO₂）工况下结晶情况，试验工况及结果见表 2. 2. 2。

表2. 2. 2 结晶模拟实验结果表

序号	试验工况		试验结果	
	溶液	外界环境	结晶情况	PH 值
1#	蒸馏水	密封空气	未结晶	12~13
2#	蒸馏水	流动空气	结晶明显	12~13
3#	蒸馏水	密封 CO ₂	轻微结晶	7~8
4#	0.1mol/L NaOH	密封空气	未结晶	12~13
5#	0.1mol/L NaOH	流动空气	结晶明显	12~13
6#	0.1mol/L NaOH	密封 CO ₂	轻微结晶	8~9

结晶模拟试验结果表明：

(1) 1#~6#试样溶液均呈碱性，其中1#、2#、4#、5#pH值均在12~13之间，3#pH值为7~8，6#pH值8~9。这是由于水泥净浆试样浸泡在蒸馏水中，水泥水化过程中产生的Ca(OH)₂等碱性物质溶解到蒸馏水中所致。

(2) 3#与 6#未出现结晶体，1#与4#轻微结晶，

2#与5#结晶明显,结晶程度依次为3#=6#<1#<4#<2#<5#。密封空气与密封CO₂环境条件下,压力、温度等环境条件较为稳定,溶液中CO₂难以逸失,保证了化学平衡状态,有效抑制了结晶体沉淀生成;2#与5#在流动空气环境条件下,溶液中CO₂逸失,打破了化学平衡,有利于碳酸盐类结晶体生成。

(四) 研究结论

铁路隧道围岩裂隙水渗透通过初期支护喷射混凝土, Ca(OH)₂等碱性物质溶解于水中流失,使得在水体呈现强碱性, Ca²⁺、Mg²⁺等含量亦大幅提高。铁路隧道排水系统高温、高湿环境条件以及CO₂分压等的变化,致使碳酸盐快速结晶析出,沉淀集聚与排水系统内壁表面,长期结晶沉淀堵塞排水系统。为预防铁路隧道排水系统结晶堵塞,应采取全密封排水系统,保持排水系统内部环境稳定,抑制结晶体生成;建议采用无碱速凝剂,降低水体pH值及Ca²⁺等含量。同时,应加强隧道内通风换气、洒水除尘等作业,改善排水系统内外环境,降低温度、湿度、CO₂浓度等环境条件因素影响。

三、隧道排水系统结晶整治与预防措施

本文依托银西铁路早胜隧道群开展了一系列的排水管道防结晶治理试验,包括防结晶密封器对排水管道结晶的抑制作用试验、疏通试验等。

(一) 排水系统结晶整治

依据早胜隧道群排水盲管实际结晶及堵塞情况,可对疏通及不可疏通段现场试验所制定措施如下:

1、可疏通施工工艺

(1) 内窥镜检查盲管情况

通过控制器开启LED防水彩色旋转摄像头,摄像头由线缆深入管道内,管道内具体情况通过LED防水彩色旋转摄像头传播到彩色液晶显示屏上,从而反映出管道内部的具体情况。

(2) 排水盲管结晶堵塞疏通试验

主要采用高压泵给水加压,通过管头喷射水的压力进行管道内杂物及泥土冲洗,利用水压达到水切割效果,从而疏通管道。对于排水盲管管路正常,结晶体软化或硬化的工况,采用小直径14mm喷头疏通;对于管道压扁工况,采用8mm微型喷头疏通;对于微型喷头无法通过或混凝土注满工况,采用电动疏通系统破碎疏通。疏通过程辅助可视化探测系统进行。

(3) 排水沟泥沙物淤积堵塞疏通试验

更换大直径喷头并放入被清理水沟中,开机后观察到喷头流量较大,且水流速较快,喷头自进(前进)速度及力量都比较大,水沟内污物顺着水流方向全部排走,包括前期施工留下的一块约60厘米*10厘米*6厘米碎木头也被水流带走,疏通清理效果比较明显。

2、不可疏通施工工艺

对于隧道排水盲管完全失效,难以疏通的工况,可增设泄水孔。对试验段隧道侧沟未施工采用Φ100mm的泄水孔,泄水孔击穿至基岩,并深入基岩不小于0.5m,

内置新型耐沾污双壁波纹管;侧沟已施工泄水孔采取2%坡度进行打孔,从水沟内侧实施,泄水孔施工完成后在泄水孔内安装新型耐沾污双壁波纹管,接缝处使用锚固剂或快干水泥封堵。

(二) 排水系统结晶预防

采用防结晶排水系统,避免排水管道内空气流动,保持排水系统内压力、温度、湿度等环境条件稳定,抑制CO₂的逸失或补充,控制碳酸盐结晶沉淀生成。出水口安装U型密封器后,在保证排水顺畅的基础上,隔绝了排水系统内部空气对流交换,有效抑制了结晶体生成,同时U型密封器便于拆卸安装,可实现可维护。

1、试验步骤

在隧道内选取有水流动且结晶现象相似的排水管道作为试验点,将结晶清理干净后,在部分管道上安装防结晶密封器,并做好标记,与未安装防结晶密封器的管道做对比试验,对比相同时间内排水管道的结晶情况,并做好相应记录。

2、实验结果分析

通过安装防结晶密封器排水管道与未安装密封器的排水管道跟踪观察3个月情况对比发现:

未安装防结晶密封器的排水管道内结晶现象严重,在1周左右即形成絮状结晶物,1个月左右管道内即出现大量的硬质结晶体,2个月左右较为严重的管道内已被结晶体堵塞,严重影响了排水通畅性;

安装防结晶密封器的排水管道在1个月左右时,在防结晶密封器外壁会形成结晶体附着,但排水管道内并未出现明显结晶,2个月后拔出防结晶密封器,排水管道内无明显结晶体出现。

结论

为预防铁路隧道排水系统结晶堵塞,应采取全密封排水系统,保持排水系统内部环境稳定,抑制结晶体生成;采用双壁波纹管及标准化管件提高排水管环刚度、内壁光滑度与耐沾污性,降低排水管压扁破坏风险,亦缓解结晶体在排水管内壁上粘敷、淤积。铁路隧道排水盲管结晶堵塞与排水沟淤积堵塞,采用高压水疏通及可视化探测技术,配路合理疏通参数组合,可实现排水系统疏通。对于排水盲管完全失效,难以疏通,或隧底承载水压的工况,可增设泄水孔。

参考文献

- [1] 吴玉哲, 李冠鹏. 黄土隧道渗漏水结晶体组分特征及来源研究[J]. 现代隧道技术, 2020(06): 57.
 - [2] 曾祥纪, 刘华. 铁路隧道排水系统结晶堵塞量化研究[J]. 铁道勘察, 2022(06): 48.
 - [3] 王琰, 叶忠明. 隧道排水系统结晶堵塞病害研究[J]. 工程与建设, 2022(03): 36.
 - [4] 李敬伟, 严恩. 隧道排水系统结晶堵塞试验研究现状与发展[J]. 工程技术研究, 2021(6): 24.
- 作者简介: 史凌杰(1988.04-), 男, 山西运城人, 本科, 工程师, 从事铁路建设方面的工作。