

# 浅谈注浆加固技术在破碎炭质泥岩地层隧道大变形中应用

刘海英

滇西铁路建设指挥部 云南 大理 671000

**摘要:** 炭质泥岩广泛分布在我国各大地区,其工程特性复杂、强度低,具有各向异性及遇水泥化等特点,隧道在穿越此地层时极易出现大变形、塌方等严重工程事故。基于以上背景,本文依托大临铁路林保山隧道出口段,针对破碎炭质泥岩地层隧道大变形成因及注浆加固技术进行了研究,分析认为其大变形由围岩软弱、高地应力及遇水软化现象的综合作用所致;为有效地控制围岩变形,采用注浆加固技术对围岩进行预加固,并加强初期支护,保证了林保山隧道的顺利贯通,具有一定的工程价值。

**关键词:** 破碎炭质泥岩地层;林保山隧道;大变形;成因;注浆加固技术

**中图分类号:** U455.4 **文献标识码:** A

炭质泥岩作为一种典型的层状岩体,广泛分布于我国各大地区,在工程建设中不可避免地要穿越该地层。其工程特性复杂,强度较低,具有明显的各向异性,隧道通过炭质泥岩地层时极易出现大变形、塌方及掌子面失稳等工程事故,给施工带来了极大的困扰。

当前,学术界针对炭质泥岩地层隧道进行了一定的研究。赵明<sup>[1]</sup>依托东环高速其古顶隧道,采用室内试验和现场测试的方法,对炭质泥岩隧道大变形成因进行了分析,认为炭质泥岩的遇水软化、各向异性、流变性、开挖扰动是造成其大变形的主要原因;黄明琦<sup>[2]</sup>以黑龙江某铁路隧道为工程背景,提出“长锁脚锚管+双层初支+拱架纵向连接”综合控制技术,有效地控制了围岩变形;王世清等<sup>[3]</sup>依托兴源隧道,对炭质泥岩隧道变形控制技术进行了研究,提出适当预留、提高支护强度、快速开挖、及时封闭等措施,并采用现场监测的方法验证了其合理性;王生光<sup>[4]</sup>以兴源隧道为工程背景,采用数值模拟的方法炭质泥岩隧道三台阶七步法进行了优化研究,认台阶高度采用3.5m时能够减小围岩变形,且支护结构受力趋于有利;王鹏等<sup>[5]</sup>依托某隧道针对炭质泥岩与炭质砂岩互层地层隧道的大变形问题,提出改良4步CD法快速施工技术,有效地加快施工进度、控制围岩变形。

通过上述调研可以发现,当前针对炭质泥岩地层隧道的研究方向主要集中在大变形成因分析及控制技术方面,而对破碎炭质泥岩地层隧道的研究甚少,可供借鉴的工程经验不多。本文依托大临铁路林保山隧道,对其大变形成因进行了分析,并对破碎炭质泥岩地层隧道注浆加固技术进行了研究,具有一定的工程应用价值。

**作者简介:** 部门:大临段落指;职务:专业工程师;职称:工程师;手机号:18777307555。

## 1 工程概况

林保山隧道位于安乐站~南涧站区间,进口里程为DK54+233,出口里程为DK68+309,全长14076m,该测区属于中山剥蚀、侵蚀地貌,地形起伏大,冲沟深切发育,构造较复杂,基岩埋深不大,岩体破碎,岩质易风化。区内地下水以基岩裂隙水为主,局部可能富含岩溶水或断层裂隙水,易发水突(涌)水现象,不良地质主要为滑坡、顺层偏压、岩溶、有害气体、断层破碎带、高地应力、高地温等。

林保山隧道出口掌子面揭示岩性为炭质泥岩,中薄层状,强风化,围岩软硬不均。炭质泥岩质较软,耐崩解性差,上台阶层产状N74°W/26°SW,与线路夹角为76°。岩体破碎,闭合节理发育,局部为微张裂隙,陡倾节理贯通性较好,围岩整体性、自稳性较差,现场掌子面。

在隧道出口DK66+245.1~230段的施工中,出现了大变形的工程问题,钢架扭曲变形,初支严重侵限,最大变形量达0.56m,需要立即采取换拱及加固措施,严重影响了施工进度,造成了巨大的经济损失,本文依托林保山隧道出口段,对破碎炭质泥岩地层隧道大变形成因进行了行分析,并对其注浆加固技术进行了研究。

## 2 大变形成因分析

### 2.1 围岩软弱

林保山隧道出口段位于瓦午村断层破碎带内,开挖揭示岩性为断层角砾,断层角砾由灰色中薄层炭质泥岩挤压形成,产状凌乱,多处可见挤压擦痕、镜面。炭质泥岩地层隧道围岩强度低,整体性、自稳性差,围岩自身的承载能力低,导致支护结构承受过大的松动荷载而发生大变形。

### 2.2 高地应力

该段埋深约430m，根据林保山隧道地应力测试报告本段最大水平主应力约12.2MPa，最大水平主应力优势方向N3°W~N11°W，最大主应力优势方向与线路夹角14~22°，根据现场测试岩体强度为1~1.5MPa，强度应力比0.22~0.33，位属于极高应力区，大变形等级为中等，并且该段内位处于断层破碎带内，断层使地应力赋存状态更加复杂，降低围岩强度和整体性，同时还会导致隧道受力不均现象。

### 2.3 遇水软化

钻探揭示线路左侧约20m附近存在岩性分界面，20m以前为断层角砾，20m以后岩性为钙质粉砂岩、泥质灰岩，岩质坚硬，局部分布方解石条带，地下水较发育。线路右侧33m范围内均为断层破碎带，地下水不发育，断层属于挤压性断层，断层角砾属相对隔水层。邻近钙质砂岩、泥质灰岩属相对富水体，岩体富水性差异大，在富水岩体与相对隔水岩体接触带岩体受构造影响剧烈，局部节理密集发育，形成相对地下水排泄通道，岩性接触带与线路呈小角度相交，在施工爆破震动影响下导致岩体松动，结构面闭合性变差，断层角砾遇水强度降低，导致线路左侧开挖轮廓外富水岩体内地下水沿富水岩体（砂岩、泥质灰岩）与相对隔水岩体（断层角砾）接触带运移软化断层角砾，断层角砾由炭质泥岩组成，具耐崩解性差，遇水易软化的特点，在地下水作用导致线路左侧岩体强度降低，引起线路左侧初期支护变形加剧，仰拱左侧边墙受牵引造成左侧仰拱产生上鼓。

## 3 注浆加固技术

### 3.1 技术参数

(1) 每开挖段对回填体表面采取挂网锚喷C25砼封闭，厚度30cm，钢筋网格间距20×20cm，作为止浆措施。

(2) 对开挖轮廓外8m范围内围岩全环高压注浆加固，注浆孔间距1.0m×1.0m（环×纵），结合现场钻孔和注浆设备（钻机：秋田115A，注浆泵：天津聚能90E-132Kw），外插角45°，孔深12m，孔径φ108mm，注浆管采用φ89mm无缝钢管（兼顾系统锚杆和超前支护），壁厚8mm。

(3) 注浆以加固围岩为目的，为控制水泥浆加固范围，注浆范围按开挖轮廓线外7~8 m注浆材料为水泥-水玻璃双液浆，开挖轮廓线外0~7m注浆材料为水泥浆；水泥浆和水玻璃占比1:1，水泥浆水灰比0.5:1~0.8:1，在可注情况下尽量稠密，注浆压力1~2MPa，注浆压力根据现场试验情况调整，根据现场试验情况调整，终压值不大于2Mpa。为确保注浆效果，采用间歇式注浆，注浆压力逐步增大。

(4) 隧道采用三台阶法进行开挖施工，同时对初期支护进行加强，加强支护采用HW175型钢架，纵向间距为0.6m；超前支护采用φ42小导管，纵向间距1.8m，长度3.5m，环向间距0.3m，每环35根。

### 3.2 工艺流程

注浆加固的工艺流程如图1所示。

### 3.3 施工工艺

#### 3.3.1 钻孔

注浆孔环纵向间距1.0×1.0m，外插角45°，孔深12m，开孔孔径φ108mm，注浆管采用φ89mm无缝钢管，壁厚8mm。钻孔时严格做好钻孔记录，钻孔完毕后及时清孔，验收合格后进行注浆管安装。

#### 3.3.2 安装注浆管

注浆管采用φ89钢花管，安装注浆阀门，采用锚固剂将注浆管与喷射混凝土间空隙封堵，防止注浆过程中漏浆。

#### 3.3.3 注浆准备

注浆前掌子面及回填洞碴面应喷射混凝土封闭，采取挂网锚喷C25砼封闭，厚度30cm，钢筋网格间距20×20cm，防止掌子面各处漏浆，注浆前进行管路调试，检查注浆管路及设备，确保注浆压力表完好。

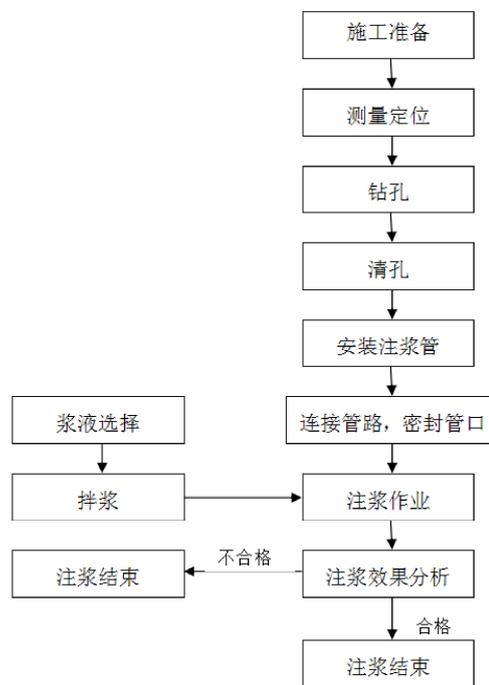


图1 注浆加固工艺流程图

#### 3.3.4 注浆

(1) 拌制水泥浆。钻孔快完成时按照水灰比0.8:1进行拌制；浆液搅拌均匀，先加水后加水泥拌和，搅拌时间为3~5min。

(2) 注浆顺序。实行跳孔注浆, 注浆顺序分别从下往上, 从两侧到拱顶。每孔注浆要连续, 注浆参数见表1。

表1 径向注浆参数表

序号	项目名称	注浆参数
1	加固范围	开挖轮廓线外8m围岩
2	扩散半径/m	1.5
3	注浆长度/m	12m
4	注浆压力/MPa	2.5MPa
5	注浆速度/(L/min)	20~110
6	终孔孔间距/m	1
7	围岩孔隙率/%	破碎带15~20%
8	浆液充填系数	0.8~0.9
9	浆液损耗系数	0.3

(3) 注浆异常情况处理。在注浆过程中出现跑浆、串浆、单孔受浆量特别大而压力不上升等异常情况, 及时采取措施加以处理。

1) 如注浆压力突然升高, 一般原因是管路堵塞、浆液过浓造成的, 应停止注浆进行检查, 此时更换清水待压力恢复正常, 若不行在旁边重新补孔注浆。

2) 当注浆量很大, 而泵压又长时间不上升, 出现这种现象的原因一般是超扩散或者浆液流失造成的。应该调整浆液浓度, 先稀后浓, 缩短浆液的凝胶时间, 控制注浆量。

3) 减少堵管情况出现, 可注一段时间后将后注2~3min的清水, 在注浆进程中清洗管路。注浆过程中注意观察初期支护的变形情况和喷砼表面情况变化。

### 3.3.5 注浆结束

每孔注浆压力达到设计2.5MPa终压, 并持压10min以上, 使浆液充分充满空间。

### 3.4 检查要求

注浆段的孔注完浆后, 每环于两注浆孔间选取一处钻孔, 确保1h内不塌孔, 不合格者应及时补钻孔注浆。

## 4 结论

本文以大临铁路林保山隧道为工程背景, 对破碎炭质泥岩地层隧道大变形成因及注浆加固技术进行了研究, 得到如下结论:

(1) 围岩软弱、高地应力及遇水泥化现象的综合作用是林保山破碎炭质泥岩地层隧道产生大变形的原因, 且各个因素相互影响, 相互发展。

(2) 采用注浆加固技术对破碎炭质泥岩隧道围岩进行预加固, 同时加强初期支护, 现场应用效果良好, 保证了林保山隧道的顺利贯通, 可在类似工程中推广应用, 具有一定的工程价值。

### 参考文献:

- [1]赵明.梅州东环高速公路其古顶隧道炭质泥岩大变形成因分析[J].广东公路交通,2019,45(04):232-236.
- [2]黄明琦.高地应力炭质泥岩隧道变形控制技术[J].铁道建筑技术,2015(07):26-28.
- [3]王世清,杨昌贤.炭质泥岩地层隧道变形控制技术研究[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2013,26(S2):115-118+122.
- [4]王生光.炭质泥岩隧道施工方法优化[J].南阳理工学院学报,2016,8(02):114-118.
- [5]王鹏,王相森.软弱富水大变形炭质泥岩与炭质砂岩互层地段改良4步CD法快速开挖施工技术[J].广东水利水电,2020(10):13-16.