

软硬岩结合处阻断水流通道施工技术

刘伟¹ 任晓飞²

1. 中铁十七局集团第一工程有限公司; 2. 成兰铁路有限责任公司

摘要: 本文通过对某隧道茂汶活动断裂带特殊地质条件下引发的隧道内软岩大变形段施工中遇到的实际问题, 通过对软岩大变形地段水文地质情况的分析、考虑施工过程中富水围岩中地下水对开挖松动圈及初期支护的影响, 制定了专项施工方案, 保证了隧道在施工过程中的安全质量, 同时消除大变形地段的诱导因素——地下水。

关键词: 软岩大变形; 地下水; 围岩; 松动圈

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.18.035

一、工程概况

(一) 隧道概况

某隧道位于车站~龙塘车站区间, 车站伸入隧道进口端, 进口段合修, 出口段分修, 线路设计为单面上坡。

某隧道所属区域构造为龙门山华夏系构造体系之九顶山华夏系, 包括三条NE向压扭性大断裂—映秀断裂、茂汶断裂、二王庙断裂。隧道进口附近发育茂汶活动断裂(龙门山后山断裂): 为一条北东向的压扭性大断裂。断层走向N40°E, 倾向NW, 倾角70°~80°, 破碎带宽度300~400m, 局部达450m。茂汶断裂也是龙门山断裂带主干断裂之一, 属于龙门山后山断裂, 总长约120km, 总体走向N30°~55°E, 倾向NW, 倾角50°~70°。晚第四纪以来, 断裂的平均垂直和水平滑动速率均在1.0±0.1mm/a, 历史上, 该断裂发生过1657年汶川6½级地震及多次5级左右中强地震, 现今小震也沿断裂密集成带分布^[1], 显示出一定的近代活动性。其未来可能发生地震的最大震级为7.6±0.2级。未来百年内可能发生的最大垂直位错量为(2.79±0.68)m, 水平位错为(3.32±1.11)m, 缩短量为(1.47±0.71)m。

茂汶断裂与某隧道相交隧道左线洞身里程D8K127+687~D8K128+080段, 右线相交于YD8K127+691~YD8K128+084段, 呈75°相交。

(二) 地质概况

1. 地层岩性

隧道穿越地层岩性为志留系群第五组(Smx⁵)绢云千枚岩夹灰岩、砂岩, 第四组(Smx⁴)炭质千枚岩、绢云石英千枚岩夹泥质灰岩, 第二组(Smx²)千枚岩夹炭质千枚岩、灰岩, 第一组(Smx¹)炭质千枚岩夹砂岩、灰岩; 奥陶系(O)灰岩、大理岩; 寒武系(Є)砂岩、泥灰岩、硅质岩、磷质灰岩; 断层角砾(Fbr)等。

茂汶断裂与某隧道相交区域断层上盘(NW盘)为奥陶系(O)灰岩、大理岩, 地层产状N52°E/76°NW, 下盘(SE盘)为志留系群第五组(Smx⁵)绢云千枚岩夹灰岩、砂岩, 地层产状为N56°E/71°NW。断层破碎带主要处于断

裂下盘的软质岩中。

2. 水文条件

隧道主要地表水为沟水, 隧道进口至D8K130+700段汇入湍江, 属于涪江水系; 其后汇入岷江, 属岷江水系。测区山高沟深, 大气降水以地表径流排泄为主, 少量表水下渗。进口段地表水主要汇入马蹄溪; 出口段地表水汇入核桃沟后, 最终流入岷江。

地下水以土层孔隙水、基岩裂隙水、构造裂隙水、岩溶水为主。区内裂隙发育, 基岩裂隙水较丰富。地下水主要接受大气降水及河水补给, 同时也向河流排泄。

二、大变形段软硬岩结合处水文地质分析

(一) 大变形地段水文地质分布

1) D8K127+560~D8K127+650段全长90m, 埋深410~421m。根据现场开挖揭示情况结合超前地质预报综合分析为IV级围岩。

该段岩性为志留系群第五组(Smx⁵)炭质千枚岩夹石英脉, 灰、灰黑色, 泥质结构, 千枚状构造; 无水; 受龙门山后山断裂带(茂汶断裂带)影响, 节理裂隙较发育, 岩体较破碎, 围岩稳定性较差, 局部有掉块现象。

2) D8K127+650~D8K127+687段全长37m, 埋深421~426m。根据现场开挖揭示情况结合超前地质预报综合分析为V级围岩。

该段岩性为志留系群第五组(Smx⁵)炭质千枚岩夹石英脉, 灰、灰黑色, 泥质结构, 千枚状构造; 无水; 受龙门山后山断裂带(茂汶断裂带)影响, 节理裂隙较发育, 岩体破碎, 围岩稳定性差, 拱部局部有掉块现象。

3) 大变形段D8K127+687~D8K128+080段全长393m, 埋深426~636m。根据现场开挖揭示情况结合超前地质预报综合分析为V级围岩。

该段岩性为茂汶活动断裂构造岩之糜棱岩、断层角砾等, 母岩为炭质千枚岩、千枚岩局部夹石英脉, 大理岩。千枚岩岩性松软, 遇水易泥化、软化(故又名软岩), 有胀缩性, 工程地质性质不好, 会导致变形量较大^[2]。抗风化能力差, 易风化形成岩屑, 产生碎落现象。软岩岩体常具有明显的破碎松散特征, 使得软岩隧道施工难度较大, 施工问题频发^[3]。D8K127+925~D8K128+010段局部有渗水、滴水现象, D8K128+045~D8K128+080拱部及拱腰局部基岩裂隙水发育, 以渗水、滴水为主, 受构造挤压影响严重, 岩体破碎~极破碎, 围岩呈粉末状, 稳定性差~极差。

4) D8K128+080~D8K128+200段全长120m, 埋深622~655m。根据现场开挖揭示情况结合超前地质预报综合分析为V级围岩。

该段岩性为奥陶系(O)大理岩, 细粒变晶结构,

中厚层状构造，节理裂隙发育，地下水较发育，以滴水、线状水为主，局部为股状水，受构造影响，岩体破碎，拱部掉块严重，稳定性差。

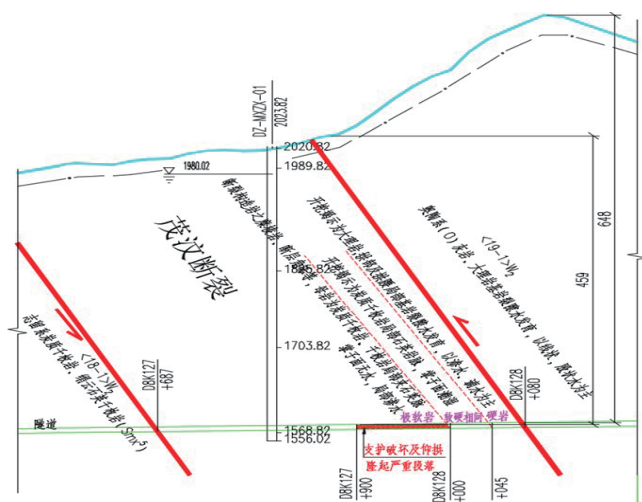


图1 现场软硬岩分界

(二) 地下水对隧道的影晌分析

地下水可以使围岩溶解、冲蚀、软化，从而降低围岩强度，对隧道结构构成威胁。地下水的存在，给施工带来巨大的困难，不仅增加施工难度，还可能带来安全隐患。侵蚀性地下水对隧道的衬砌结构造成侵蚀破坏，影响隧道工程结构的耐久性^[4]。

千枚岩地段本身围岩处于无水状态，邻近段落的大理岩地段也主要为围岩渗水，因此在正常施工中并不会导致地下水大量集聚浸泡围岩的问题。

但由于隧道上游围岩较富水，现场施工中若不注意水流的截排管控，使之在掌子面及特别是仰拱积水，则将引起围岩水环境的变化，极容易软化围岩，大大降低围岩强度，从而形成：围岩强度降低→围岩松动圈扩大→围岩松弛→地下水进一步下渗→围岩强度进一步降低→形成恶性循环，造成变形难以控制的后果。而这种情况一般对基础弱化作用更明显。

综上所述，某隧道左线大变形段变形加剧及仰拱隆起的主要原因是在特殊地应力条件下，地下水软化围岩是造成围岩大变形的因素之一。

考虑到大里程地下水会影响小里程后续大变形整治施工及后期运营阶段的安全，软化松动圈附近的千枚岩，加剧了初支拱墙变形与仰拱上浮的速率，成为隧道大变形段变形的诱导因素，于是在大变形软硬岩结合处采取袖阀管注浆阻断水流通道技术施工。阻断千枚岩与大理岩交界段大里程地下水流向小里程，确保隧道施工质量和运营阶段的安全。

三、阻水帷幕施工技术概要

全环阻水帷幕注浆加固围岩施作于隧道大变形段(D8K128+010~D8K128+028、YD8K128+015~YD8K128+035)。全环阻水帷幕为将大里程地下水有效阻隔，采用袖阀管全环径向注浆技术。根据之前现场测试松动圈变化确定中岩柱侧拱墙注浆范围应将中岩柱围岩裂隙全

部进行填充封堵，其余拱墙及仰拱范围加固至开挖轮廓线外8m范围。阻水帷幕施作里程示意图如下：

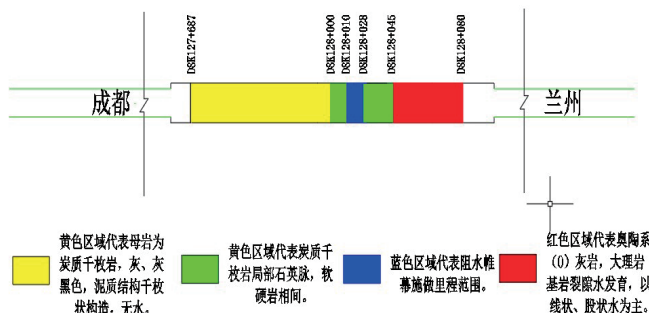


图2 阻水帷幕施作里程

(一) 设计要求

1) 孔位编号从拱顶开始环向依次为ZK-1~30，孔位夹角以隧道上半圆线路中线为始边，下半圆线路中线为终边，逆时针方向为正，顺时针方向为负。注浆孔口间距1.2m×2.4m(环×纵)，环向交错布置，终孔间距不得大于3米，中岩柱侧拱墙范围应将中岩柱围岩裂隙全部填充封堵，其余拱墙及仰拱范围内按开挖轮廓线外8米加固。

2) 设计参数：浆液扩散半径为150~200cm，单孔延米设计注浆量为0.35~0.5m³/m，注浆压力不宜小于2MPa，注浆分段长度为1-2m；注浆材料采用超细水泥(高强无收缩灌浆料)，注浆压力、扩散半径根据现场注浆试验及注浆的部位进行优化调整。

3) 注浆结束标准及注浆效果：注浆压力逐步升高至设计终压，继续注浆10min以上，结束时的进浆量小于20L/min；检查孔钻取岩芯，浆液充填饱。

(二) 袖阀管注浆原理

袖阀管注浆法通过孔内封闭泥浆(套壳料)、单向密封阀管、注浆芯管上的上下双向密封装置减小了不同注浆段之间的相互干扰，降低了注浆时冒浆、串浆的可能性。袖阀管注浆法特殊的注浆孔结构使注浆施工时可根据需要灌任一注浆段，还可进行同一注浆段的重复施工，分清层次，形成劈裂。下图是袖阀管注浆的工作原理图。

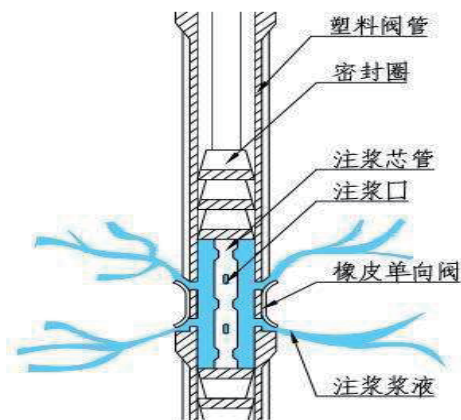


图3 袖阀管原理图

在施工时，塑料单向阀管每一节均应作检查，要求管口平整无收缩，内壁光滑。事先将每6节塑料阀管对接成2m长度作备用。准备插入孔内时应复查一遍，必须旋紧每一节螺纹。

套壳料（封闭泥浆）的作用是在袖阀管周围形成具有一定强度的保护层，注浆时浆液在袖阀管有出浆孔的部位挤碎套壳料，而上部和下部的套壳料仍具有一定强度，可以阻止浆液的上下流动，这样浆液就只在一定范围横向流动。双塞管的作用是增压，当浆液通过注浆内管进入双塞管后，浆液从内管上的出浆孔流出。当浆液进入袖阀管和双塞管中间时，在压力作用下，橡皮帽被顶起，随着浆液的聚集，压力达到一定程度后，袖阀管外侧的橡皮帽被胀开，套壳料被挤碎，从而浆液被挤压到围岩中。

（三）机械设备配置

钻孔设备采用55kwZML-160型电气联动履带式潜孔钻机2台（其中一台经改装增长桅杆后可打设9.5m高拱顶），潜孔锤钻头直径110mm；

注浆设备采用ZB2-150P型注浆泵（最大压力可达10MPa），注浆机采用无级变速电机，配置传感式抗震压力表，可以实现稳压注浆。

注套壳料设备采用ZBSB-148~23/4-15型（原SYB140-4型）

直径78cm的浆液搅拌桶，可收缩式注水封孔器及手动压水泵，直径15mm长度1.5m的注浆芯管（镀锌管）

（四）清孔及下入袖阀管

成孔后拔出孔内钻杆，将袖阀管（外径50mm、壁厚3mm、内径42mm，市场上壁厚5mm的需要订做）分节拼装，安装居中环（确保袖阀管位于钻孔的中心，保证套壳料灌注密实）及导向尖锥。将一长一短两根直径15mm的PVC管（注套壳料及排气使用）采用胶带固定于袖阀管壳体两侧。全部拼装完成后，将袖阀管人工下入孔底。袖阀管下到位后将孔口用保护帽套好。袖阀管下入孔内后，采用堵漏王及锚固剂进行封孔，封孔长度需达到50cm，凝固60min后开始注入套壳料。



图4 居中环



图5 排气及注浆管

（五）灌注套壳料

钻一孔注一孔，防止发生塌孔和埋管。将配好的套壳料用注浆泵压入4分塑料管，套壳料会从孔底向外返浆，达到置换孔内空间、填满套壳料的目的。待6分钢管开始溢浆（角度向上的孔：采用孔口向孔底注浆，排气管伸入孔底），说明孔内套壳料已经注满。为保证套壳料的密实，当灌注压力达到0.2~0.6MPa，持压5~10s再停止灌浆。

四、结束语

通过此次对某隧道大变形地段全环止水帷幕注浆加固围岩方案的实施，解决了施工过程中富水段岩层地下水流向小里程方向，避免地下水对小里程千枚岩稳定性的影响并且保证初支稳定性，确保了左线大变形地段整治施工的安全质量，减缓了地下水对仰拱上浮的影响。保证隧道顺利竣工及后期运营阶段的安全使用。

参考文献

- [1] 中铁二院工程集团有限公司. D8K130+206.5某隧道地质说明[Z]. 新建成都至兰州施工图, 2012: 05
- [2] 张湑. 炭质千枚岩隧道模型试验及支护结构优化研究[D]. 成都理工大学, 2018
- [3] 吴永胜, 谭忠盛, 喻渝, 姜波, 余贤斌. 川西北茂县群千枚岩各向异性力学特性[J]. 岩土力学, 2018, 39(01): 207-215.