

隧道软弱围岩全环拆换施工技术及应用

罗祥

中铁十一局集团第五工程有限公司

摘要:近年来,铁路等基础设施工程建设快速发展。地质灾害导致已运行交通中断,“快、难、急、紧”为指导施工的隧道地质灾害整治工程便应运而生,隧道拆换在基建整治工程中得到了广泛的应用。在隧道整治施工中,拱顶下沉及支护变形等问题时有发生,这些问题很有可能诱发安全事故。合理采用拆换施工处理,既能确保施工的安全、质量和进度,又能获得经济效益。基于此,本文以大梁隧道全换拆换实际施工工程为例,对隧道软弱围岩拆换拱的施工技术进行总结,以期能为相关工程人员提供工作参考。

关键词:大梁隧道;软弱围岩;拆换拱施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.059

一、隧道概况

大梁隧道处于青海省门源县的一座典型的高山地带。该地区平均海拔3600~4200m,最高海拔为4430m。隧址区山高坡陡,基岩局部裸露,沟谷纵横交错,最大埋深823m。隧道入口和出口两端低,洞体位置较高,入口沟壑多,基本沿东西方向分布,沟槽中有季节性的水流和大量的块石堆积,出口在硫酸沟边的斜坡上。该隧道从K1965+525.16~K1972+092.82,是一条纵向斜率6%、-9%的双线隧道。在线路左边K1968+618处,设有一座纵向坡度为11%,长1070米的斜井。

二、地质背景分析

(一)大梁隧道软弱围岩变形情况

大梁隧道因地震严重受损,车辆无法通行。建设单位组织相关专家会议讨论显示,本次地震造成的隧道严重破坏主要是由于F5走滑型逆断层错动引起。隧道穿越的高角度逆断层,其在地震应力作用下的运动特点是上盘抬升,下盘相对下降,因此导致隧道在断层上盘边缘附近发生显著隆起,而过了断层带后仅发生较小的沉降。同时,根据F5断层的平面走向,它在地震错动期间,由断裂的南段上盘向上隆起,断裂的北段下盘则向西南方向移动,从而使断裂南段的线位东偏,断裂北侧的线位向西偏,离断裂带的位移也就越大。受损情况主要包括大梁隧道仰拱隆起、二衬边墙挤压开裂,二衬内挤3.0m,钢轨严重变形,造成大梁隧道部分段落需要复旧施工。基于此,本文主要介绍大梁隧

道K1971+341~K1971+427段(86m)做全环拆换施工技术。

(二)工程地质

1.地层岩性

该区段主要发育于奥陶系中统的砂岩、灰岩、板岩、二叠系砂岩,其中断裂碎裂岩和断裂泥砾,在斜坡和沟谷中有四系粉土、细角砾土、粗角砾土、碎石土、块石土等。

2.地下水

地表水不会直接影响隧道的建设,而地下水却对隧道的施工有很大的影响。隧道地下水的类型有第四系、基岩裂隙水、构造裂隙水。梁隧的最大涌水量为45860立方米/日。在拆除和置换隧道时,采取了逆向分层排水的措施,以解决施工中出现的涌水问题。

三、大梁隧道全环换拱施工技术

(一)拆换范围

全环拆换段落为K1971+341~K1971+427段86m。

(二)总体方案

在换拱施工之前,并根据隧道净空高度或围岩破坏程度先进行隧道施工区域内反压回填和预加固,过程中应保证换拱段的拱架支护预加固闭环成形,使换拱段初期的支护沉降达到稳定或不再沉降破坏。预加固可以采用钢拱架预加固技术、管棚预加固技术、反压回填技术和小导管注浆法对施工区域进行预加固,以保证隧道施工质量,保证施工的安全性,隧道拆换施工应严格遵循从上到下的顺序。

施工准备工作且拆换平台填筑完成后,按两台阶拆换,临时加固超前二衬破除施工长度不小于20m,初支及衬砌均按上下台阶分层拆换施工,上台阶拆换高度约6.5m,二次衬砌拆除每次长度3m,上台阶初支每次拆换1榀,下台阶初支每次拆换1~2榀,仰拱每次拆换及扩挖3m,6m施工一次仰拱及填充,拆换施工顺序:衬砌临时加固→临时加固拆除→二衬拆除→上台阶模筑支护、初期支护拆换→下台阶临时加固拆除→下台阶模筑支护、初期支护拆换→仰拱及填充拆换→防排水层挂设→二次衬砌施工→水沟电缆槽施工,在上台阶拆换达10m进行下台阶拆换,下台阶拆换达15m进行仰拱拆换,实现平行作业。

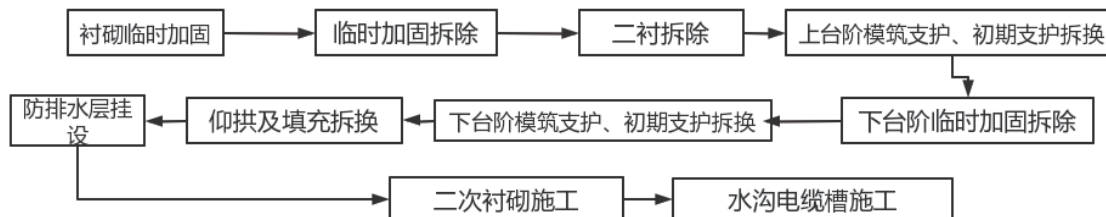


图3-1 拆换施工顺序

(三) 施工要求

大梁隧道进行换拱施工前需要设置环向临时支护，并进行围岩注浆加固。临时支护的目的是加强对换拱段变形的控制。在施工过程中，换拱段可能还存在较大变形。有必要在环向临时支护加竖撑以保证结构安全。注意钢拱架各焊接接头是否有拉裂现象，若有发现及时进行补焊和加固相邻区域。

在环向临时支护和原有支护结构间，采用锚杆楔压，临时环形支护的钢支承纵向间隔为1 m。拱架纵向采用Φ25@100钢筋连接，环向采用25@100U型箍嵌入初支，并在拱顶和拱肋两侧各增加50 mm的灌浆小导管（用U形箍筋固定长度 L=3.5 m）。下部为C25混凝土垫片，支架为30a型槽钢。采用环形临时支撑的钢拱桥，必须建立在牢固的地基上，不得有拱脚。临时支护的锁脚为Φ89式锁脚，并进行灌浆。

(四) 施工工艺

1. 钢架加固

临时加固需超前施工，采用挖机找顶完成后，拱墙均设置钢架套拱临时加固，拆换区进行径向注浆，套拱钢架采用拆换台架人工立架，锁脚采用人工手持风钻施工，拱架与拱墙间歇采用钢楔或木方楔紧，径向注浆采用锚注一体机。

拆换区K1971+341~+427段找顶后拱墙采用H175型钢钢架临时套拱固定措施：每榀钢架墙脚处每侧设置4根Φ42锁脚锚管，单根长4m。为加强钢架的整体性，钢架接头位置均设置两根Φ22钢架固定钢筋（每根长0.65m），与钢架焊接牢固；钢架底部两侧各设置一道通长32c槽钢；钢架纵向间采用工16纵向连接，环向间距1m。

套拱区15m找顶后拱墙采用H150临时钢棚架加固，纵向间距1榀/1.2m，每榀钢架墙脚处每侧设置4根Φ42锁脚锚管，单根长4m。拱部挂设双绞六边形防护网。

2. 混凝土切割拆除

道床板、仰拱及填充拆除采用切割与机械破碎结合。先用混凝土切割机沿隧道中线、水沟电缆槽边切纵缝，按间距60cm切横缝，切缝完成后用破碎机进行破碎。

道床板纵向钢筋为Φ20螺纹钢，横向以轨枕间距为间距进行切割，道床板轨枕间距为65cm，两块轨枕中间进行横向切割，切割深度为30cm；道床板横向钢筋均为Φ20螺纹钢。道床板宽度为2.8m，以中线为切缝进行纵向切割，切割深度30cm。二衬拆除分为有钢筋段拆除和无钢筋段拆除，两种情况拆除前要对不拆除段（分界处）进行物理隔离，对不拆除段做钢架支撑，分界处切缝隔开。

3. 径向小导管注浆

在进行实际的注浆施工之前，工作人员必须先展开注浆试验，并且将注浆的参数严格调整，保证与施工期间的施工速度和其他指标相匹配。注浆期间，必须对注浆情况进行严格的记录，具体内容包括孔位，孔深，孔径以及注浆的压力等等。除此之外，还需根据浆液的扩散情况以及注浆压力，对注浆的参数进行严格的调整。及时对检查孔进行检查，并对注浆的效果进行确认。在注浆效果检查完成之后，需马上将检查孔密封，从而保

证注浆的效果可满足后期隧道开挖的各项指标。

4. 注浆加固

(1) 径向注浆

K1971+341~+427（86m）段径向注浆参数：拱墙采用Φ42小导管径向注浆，小导管单根长5.5m，间距2m*2m；仰拱采用Φ108钢管花管径向注浆，钢管单根长9m，间距2.3m*2.3m。

本次灌浆材料为硫酸铝胶凝，其灌浆压力为1.5MPa，仰拱为2~3MPa。在压浆期实行空隙压浆，并实行挤密灌浆。在灌浆时，如果出现了灌浆现象，应将孔口阀封闭或堵死，等其他孔洞灌浆完成后，再重新开启，直到所有孔洞都满足灌浆的要求。孔口必须牢固地埋好，并有很好的防渗措施。单孔终点：在达到设计最终压力并持续10分钟后，单孔的进浆量不超过20升/分钟。完成灌浆要求：全部钻孔满足单孔施工要求，不存在漏浆。注浆施工流程见图3-2。

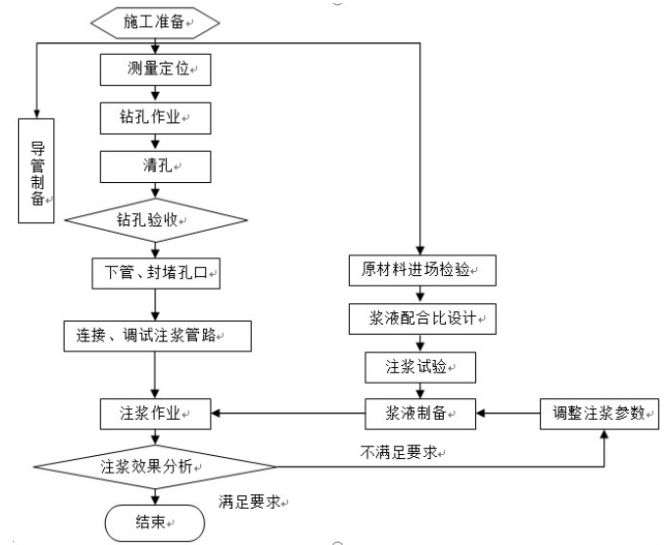


图3-2 拱墙注浆施工方法

拱墙全环注浆完成后，待强度达到后采用钻芯取样方式对注浆效果进行检验，建设、设计、监理等单位现场共同见证。如注浆效果不理想，可采用二次补注的方式再次注浆。

(2) 仰拱注浆

仰拱管桩注浆加固采用热轧无缝钢管制作，外径108mm，壁厚6mm。管桩前端20cm切削加工成锥形，管壁钻注浆孔，孔径10mm，孔间距15cm，梅花型布置，尾端1m范围内不打孔，全长为设计长度再加长20cm外露仰拱填充面高度，尾端管口焊接直径F100、6mm厚钢板封端，中间割口安装L30cm、F40进浆管，L20cm、F20排气管。管尾注浆头部分单独制作，管桩安装到位后，与注浆头焊接。

钻孔到达设计深度后，利用钻机向下冲击或人工在管口垫木块锤击安装Φ108钢管管桩。浆液采用硫酸铝水泥，水灰比1:1。注浆管连接注浆管，8号铁丝绑扎固定，打开放气阀，待有浓浆溢出后，关闭放气阀，向钢管内注入1:1水泥浆，注浆压力控制在2Mpa~3Mpa。注浆顺序：先注附近正常孔，再间歇注异常的孔；当注浆压力达到设计终压值并稳定持续10min不进浆的情况

下可结束注浆。注浆完毕后，孔口应采用浓水泥浆封闭，封孔深度不小于1.0m。

在完成钢管桩后10天内，对注浆情况进行监测，并在5.0 m处钻孔一次，以确保注浆充分。采用注浆法进行复合地基，其承载能力应达到200 KPa以上。注浆施工过程中严格控制以下参数：水泥原材、制浆水灰比、注浆压力、停浆标准、钻孔深度是否满足设计、注浆加固有效范围、注浆效果检验。注浆过程全程旁站。如效果检验不达标，应进行补注加固。

5. 钢架及衬砌拆除

拱墙二次衬砌拆除在注浆并拆除加固钢架后进行，采用挖掘机安装破碎头进行拆除，人工配合切割钢筋。拱部距仰拱填充顶面高度为9.6m，拱部二衬破碎锤采用反向安装破碎头，可向上冲击破除操作。

二衬混凝土破拆采用环形分割，每环3m，顺序自拱顶向下直至填充面进行破拆作业。二衬钢筋采用液压剪或人工气割切除，装载机清理地面碎渣后，移动轻便操作平台作业。具体技术要求如下：

(1) 模筑混凝土及初期支护拆除在3m二衬破除后实施，采用挖掘机安装破碎头进行拆除，必要时辅助爆破施工，自一端向另一端逐榀拆除。考虑安全和设备等因素，分上下台阶实施，上台阶高度6.5m。

(2) 每工作面在工作段拆换初支前安装10榀I20制作的临时支撑钢架，间距1m，防止拆换工作区后方原初支拱架发生意外变形垮落。

(3) 初支拆除以1榀钢拱架为一工作循环且每次拆除不大于0.6m，下台阶初支拆除以2榀钢拱架为一工作循环且每次拆除不大于1.2m，当前拆除范围内先将临时支撑拱架拆除，移向后方安装。

(4) 断面开挖后，测量断面轮廓，个别处理侵限部位，保证8-10cm预留变形量，具体参数以现场试验为准。

(5) 拆除过程中必须由专职安全员进行监督指挥，保证安全。

(6) 初支拆除每工作面配1台破碎锤施工。每工作面破碎拆除与拱架安装、锚喷支护流水作业，为提高机械利用率，在二衬拆除提供足够空间后，在拱架安装、锚喷作业时，凿除机械向前跳两板开槽口进行初支拆除作业，并安排一台架准备进行该处的拱架切割作业及安装锚喷作业。

6. 初期支护恢复

初期支护施工过程中，上台阶采用拆换台架并增加高度，使满足人工安装钢架需要，下部留有车行通道。下台阶拱架高度约2.5m，台阶拱架开挖、安装左右侧前后应错开施工，错开距离不小于3m，不得同时令上台阶拱架悬空。待施工锁脚后喷射初期支护混凝土。

喷射混凝土作业应按分段、分层顺序进行，每次喷入混凝土后应立即进行密封。采用先砌墙、后拱、由底向上的施工方法，以提高施工效率，确保施工质量。若岩体表面不平，则必须喷出凹面，再进行整平。在喷油过程中，喷嘴必须沿着螺旋状的轨迹缓慢、均匀地运动，并按下半个圆周。在垂直方向上，喷射和搅拌应该以“S”字形进行。喷射出直径30厘米左右的螺旋。物料的流速是一致的。在垂直方向上，从前一列开始，按

顺序进行喷洒。排间的搭接不得少于2~3厘米，喷淋混凝土层必须平滑。

在喷射之前，清除岩石表面的松散石块，并在喷射过程中设置喷层厚度控制标钉，每隔1-2米设置一次。喷淋施工分为初喷和复喷，在开挖（或分段开挖）结束后，应尽快对岩石表面进行封堵，避免表面的剥落。在锚杆、挂网、钢架安装完成后，再喷混凝土，尽早形成联合支护系统，防止围岩的变形。在钢框架之间用水泥喷涂，厚度不能低于4厘米。

7. 仰拱拆除扩挖

原设计填充层为C25素混凝土，采用风枪钻孔，松动爆破法拆除，滞后于下台阶15m，可根据作业面进行调整。在仰拱注浆后，填充面以下二衬仰拱采用常规破碎锤、配合人工切割钢架及钢筋拆除。拆除3m，利用破碎锤配合松动爆破法按变更断面进行扩挖，清除虚渣后安装仰拱拱架、喷混凝土初支封闭。满6m后及时安装底板钢筋、施工仰拱底板及填充。

8. 二次衬砌施工

拱墙二次衬砌采用全截面钢模液压衬砌台车、混凝土搅拌车运输、泵送、混凝土浇筑、振动锤振动。挡土头模板采用全钢模。混凝土应均匀分层，并在同一时间进行浇注和振动。台车的最大下降高度不得超过2米，前、后混凝土的高度不得超过0.6米，两侧的混凝土高度不得超过0.5米，以避免因混凝土的偏心而造成的台车倾斜。在初支表面铺设土工布，并安设热熔垫圈（拱部间距50cm，边墙间距80cm），采用超声波焊接热熔垫圈和防水卷材。在明暗交界处、围岩变化处按设计设置变形缝。

混凝土浇筑必须持续进行。若因某些原因断续，其间隔时间应该比上一层混凝土的初凝或再塑的时间短。现场用布料系统分层逐窗浇筑，拆模时间、养护时间等混凝土参数根据首件工程试验参数确定并不得小于设计、规范要求。

四、结语

总之，换拱施工技术是一种破坏原有应力体系平衡、先解除围岩压力再进行限制的新的平衡的技术。初期支护拆除时，由于隧道已经形成稳定状态，再次拆除必然引起新的应力分布，拆除完成后应及时重新立架封闭围岩，及时布设监控点获取原始数据进行观测。过程中对早期初期支护限制的原因分析，隧道换拱应从4个方面着手。

1) 加固地表或既有衬砌，减少对既有衬砌、围岩的扰动。

2) 换拱前，对侵限段初期支护采用拱架、径向注浆加固后墙；危险地段时，可以采取管棚施工。

3) 初期支护拆换开挖主要以冲击锤破拱为主，辅助以爆破松动掘进方式，拱架逐次置换或间断置换。

4) 内衬应按照更换段进行，以确保更换段不会再次变形和沉降。

参考文献

[1] 黄俊平. 不同地质条件下的隧道初支换拱施工技术及应用[J]. 福建交通科技, 2019 (02).

[2] 王程伟. 浅谈隧道初期支护换拱施工技术[J]. 水利水电施工. 2017 (05).