

特长隧道泥石交接过渡段塌方处理

陈基武

中交一局厦门工程有限公司

摘要:通过对云南都香高速翠屏隧道右洞泥石流交接过渡段软弱地质段塌方的处理,最终圆满完成该段塌方的处理。在隧道位于浅覆盖,同时又由于泥岩与灰岩为主,属较软岩,岩体破碎,层间夹泥,呈典型的泥夹石结构,自稳能力较差的情况下,采用先反压回填,对掌子面进行封闭,在距离掌子面5m处增设临时护拱,掌子面封闭完成后小导管进行渣体注浆加固,再采用超前中管棚进行超前预加固,预留泵送管道,采用泵送混凝土填充空腔,然后采用三台阶预留核心土开挖工法,短进尺,初期支护拱架加大,间距缩小等措施进行处治,对今后施工过程中碰到类似的地质条件处理,具有一定的借鉴作用。

关键词:特长隧道;泥石交接;过渡段;超前预加固;泵送混凝土、塌方处理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.043

一、引言

随着隧道施工技术水平的不断,施工工艺水平日趋成熟,短平快的施工节奏,对隧道建设提出了更严格、更细致的要求。隧道现场施工过程中,冒顶片帮、掌子面坍塌、突泥涌水等不良地质灾害的频发,严重影响隧道施工进度。对于不良地质的处理是关键环节,也影响隧道的整体安全、质量和进度。在隧道施工中,掌子面坍塌现象尤为常见,却也是现场施工中较为棘手的困扰,故发生隧道塌方时我们应合理的选用科学的塌方处理措施,在日常做好超前地质预报的同时,要加强监控量测,根据现场情况及时调整设计及施工方案,特别注重在施工方案中选择以“管超前、弱爆破、短进尺、少扰动、早喷锚、强支护、勤量测、早衬砌”为安全施工原则,本文结合翠屏隧道的塌方处理施工经验、对于遇到穿越塌方段在处理过程中应注意的问题进行简要说明和探讨。

二、工程概况

翠屏隧道位于云南省昭通市鲁甸县,属双向四车道高速公路隧道,隧道净空为 $10.25 \times 5.0\text{m}$,隧道左长度为10133m,右洞长度为10046m,属于特长隧道。隧道位于2014年鲁甸地震中心点,隧道穿越多条断裂带,隧道岩体极破碎,防坍塌难度大,构造裂隙极发育施工难度

大。翠屏隧道右洞塌方段为YK44+585,该处覆盖层30m左右,围岩主要以泥岩与灰岩为主,属较软岩,岩体破碎,层间夹泥,呈典型的泥夹石结构,自稳能力较差,从设计图上看该围岩处岩体较为破碎,为块状砌体和块状镶嵌结构,掌子面前后皆是裂隙发育带,节理间存在弱夹层,夹泥较多,地下水呈潮湿或点滴状为主。

三、塌方过程情况

翠屏隧道右线塌方位于YK44+585处上台阶拱顶,该处隧道埋深28m左右,该段原设计围岩为IV级围岩,采用SF4c支护,但是该围岩段现场实际比设计更为破碎,稳定性较差,且掌子面夹泥严重,地下水呈点滴状渗透。于2019年6月5日晚9点左右翠屏隧道右洞掌子面YK44+585上台阶出渣后机械排险时,掌子面拱顶上方镶嵌状泥灰岩,自稳能力较差,加之裂隙水渗透导致岩层间泥层不断掉块,考虑现场施工安全,立即将人员撤离至安全地带,继续观察掌子面围岩情况,暂停施工,直到2019年6月5日13时25分掌子面处掉块不断加大,经现场实地观察,塌体从起拱线往上发展,高度约7m左右,塌腔逐渐形成倒“V”字形,同时在YK44+580-YK44+585段落上台阶拱顶初支表面出现局部变形和细微裂缝,但未发现明显沉降,现场并对该塌方段原地表进行观测,未发现地表有坍塌。

四、塌方原因分析

(1) 根据对翠屏隧道右洞山顶地表地质的考察和实际施工中的发YK44+585~YK44+593段隧道地表等高线密集,洞顶地表起伏较大,高差变化较大,且隧址地区属高原气候,气候明显受地形影响,特别受高程的控制,该隧址区5~6月份雨水较为丰富,开挖时天气连续降雨,地表水渗透基岩中,造成基岩强度降低,围岩自稳能力变。

(2) 根据设计图纸显示该段地质资料的显示,围岩为全风化Q4e1+d1围岩区。现场洞内为全风化凝灰岩加泥土。地下裂隙水为点滴状,拱顶为全风化凝灰岩遇水,变成泥,自稳能力差,掌子面形成一定高度的临空面,层与层之间逐渐剥离,围岩迅速失稳、坍塌,这是造成拱顶坍塌的主要原因之一。

(3) 依据超前地质预报结论,结合掌子面地质情况,隧址区域地表调查等综合分析,在掌子面前方20m

范围内，即YK44+585~YK44+605里程中围岩以强风化泥灰岩为主，临近岩性过渡段岩层整体破碎，节理裂隙发育，裂隙间大量夹泥，特别是起拱线往上至拱顶位置基本全部是水平节理裂隙发育，自稳能力差。

五、塌方处理方案比选

（一）方案一

掌子面暂停施工，待塌方体稳定后，快速对掌子面已塌方位置的土渣清理，观察塌腔规模，确认安全后，对塌腔位置岩壁进行速喷，然后重新进行开挖，加强监控量测，发现异常提前采取加固措施，对塌方段进行支护参数进行加强，进行塌方处的施工。

（二）方案二

对掌子面进行反压回填，掌子面进行封闭，采取双排小导管进行超前加固，重新开挖施工，对塌方段进行支护参数进行加强，进行塌方处的施工。

（三）方案三

对掌子面进行反压回填，防治塌体往掌子面前方向继续扩大，掌子面后方初支成形段利用反压体进行加固，防止变形和开裂。对YK44+580~YK44+585初支已变形段采取增加钢拱架加固措施，防治塌方向洞口方向蔓延，在YK44+583位置进行中管棚施工，使其在塌腔段落形成中管棚护拱，采用三台阶预留核心土工法进行施工，同时该段落初期支护参数进行调整加强，确保安全推进。

项目部对塌方体下方土体进行清理，清理过程中边清理边塌，为了确保安全而被迫停止。因此方案一不可行，安全风险极高，同时围岩长时间暴露可能会引起更大塌方。采用方案二，反压后进行开挖的断面过大，无法对隧道轮廓范围外的围岩进行超前预加固，加之反压回填渣过于松散导致开挖过程无法把控开挖进尺等影响会导致开挖过程出现二次塌方。最终采用方案三的处治措施，确保安全的前提下，采取超前中管棚的渣土注浆加固等措施，按照三台阶预留核心土工法，减小临空面，控制开挖进尺，稳步推进施工。

六、塌方处理技术方案

塌方发生后，项目部组织设计、监理、总包、项目公司等各方到现场实地踏勘，了解现场情况后，开会探讨研究，最终采用方案三施工方案，具体步骤如下：回填反压封闭掌子面→加固塌方周边支护→超前管棚稳定塌腔→洞内清渣→加强洞内坍塌处的初期支护→采用三台阶预留核心土工法开挖方式进行上台阶初期支护。

（一）回填反压封闭掌子面

1. 反压回填：为防止塌腔规模继续扩大，对掌子面

前方围岩和后方已施工完毕的初支，采用洞内反压回填土，将洞内轮廓内的塌腔层层回填，用挖机实行层层拍实，最终将塌腔封闭。

2. 回填土的加固处理：回填过程中适当放坡，修筑临时通道，确保后续施工。测量人员放样三台阶预留核心土位置的开挖轮廓线，采用回填土表面喷射10cm厚的C25喷射混凝土进行封闭，然后对回填土体进行超前小导管加固，小导管布设间距按照梅花型1.5m×1.5m，水泥浆液水灰比为1:1，注浆压力为0.5~1.0Mpa；现场采用隔空、分层多次注浆，确保注浆效果，土体间缝隙填充饱满，形成板结，提高整体强度。



图 1 回填土堆加固处理

（二）加固塌方周边支护

由于隧道塌方引起YK44+580~YK44+585段落上台阶拱顶初支表面出现局部变形和细微裂缝，经现场测量收集数据，整理分析该处沉降在设计预留变形量允许范围内，变形未侵入二衬净空。为了保证此段初支安全和防止此段在塌方处理过程中出现失稳情况，同时确保该段落初支结构的永久安全，防止塌方进一步向洞口方向蔓延，经对YK44+580~YK44+585段初支进行加固处理。

1. 变形初支段落回填：首先对YK44+580~YK44+585段已完工初支的上台阶进行渣土回填，将掌子面至仰拱段，从原有的施工上下台阶工法回填成上中下三台阶，较少上台阶作业面的临空高度，同时对变形左右两侧起到支撑作用，防止拱架受力，导致拱架沉降和周边收敛，同时对拱架和锁脚锚杆起到保护作用。

2. 变形初支段增设护拱：对塌场所引起支护存在局部变形和开裂的段落（YK44+580~YK44+585）的初期支护进行增设护拱，护拱采用I18工字钢，工字钢间距1.5m，各工字钢采用 $\phi 22@0.5$ 的钢筋作为纵向连接筋固定，在拱脚设置2根长3.5m的锁脚锚杆，使得因坍塌引起的初期支护发生变形段落形成整体受力，确保施工安全。



图2 变形初支段护拱施工

(三) 稳定塌腔

在靠近塌方位置已支护好的第一榀拱架处布置 $\phi 70$ 超前中管棚(图7),对塌方段拱顶 90° 范围内进行加固,中管棚长度为9m,间距中至中40cm布置,然后对中管棚进行注浆处理,目的首先为了在一支护的初期支护与掌子面前方围岩有效连接,其次在塌腔反压土体上注浆固结加固,降低塌方段开挖过程中拱顶掉块,减缓掉落,加强塌方体周围岩体的稳定性,防治塌方范围的扩大,以稳定塌腔。同时在塌方处预留两根钢管,其中一根长度为6m的泵送管,用于对塌腔内泵送混凝土,形成护拱,确保后续施工过程中安全。另外一根为 $\phi 108\text{mm}$,长度为3.7m钢管作为泵送混凝土高度控制管和排气管。待反压土体和管棚注浆强度达到设计强度后,再泵送C15混凝土,厚度为2.0m,在塌腔位置泵送混凝土结束后在其泵送混凝土表面,从排气管在吹送一层厚度为1.5m的细砂,目的是为了防止在后期拱顶掉块对初期支护拱顶的冲击中起到缓冲作用。

(四) 加强坍塌处的初期支护

待混凝土强度达到设计强度后,开始采用挖机对回填土进行清除,观察塌腔处注浆效果和泵送混凝土质量,保证安全的前提下,再对坍塌处的初期支护进行施工,对注浆效果不好和泵送混凝土质量一般的地段,再增加超前小导管超前加固,确保施工安全和质量。

1. 三台阶预留核心土开挖:采用三台阶预留核心土工法进行开挖,控制开挖进尺,初期支护采用20b工字钢,间距由原来的1榀/0.8m调整为1榀0.6m,采用 $\phi 22$ 的钢筋作为纵向连接筋,环向间距为0.5m;在拱架的内外侧焊接 $\phi 8$ 双层钢筋网片,网格间距 $0.2\text{m}\times 0.2\text{m}$;施工 $\phi 25$ 中空注浆锚杆,锚杆长度4.0m,1.0m \times 0.8m梅花形布置,最后喷射25cm厚C25喷射混凝土。

采用三台阶预留核心土开挖施工,具体施工步骤如下:

①上台阶开挖高度控制在先2.0m,进尺控制在0.6m

(1榀),采用拉槽预留核心土的方式进行开挖及支护施工。

②待上台阶施工5m后进行中台阶施工,左右两侧错开3榀拱架,严禁左右两侧拱架对称悬空。

③中下台阶错开一段距离后,开始施工下台阶,下台阶的初期支护及仰拱初支及时封闭成环,确保整体受力。

2. 加强监控量测:隧道施工必须严格遵循短进尺、弱爆破、强支护的原则,开挖循环进尺应严格控制在0.6m(1榀)之内。采用机械开挖为主,人工配合修边,快速完成初期支护;及时布置监控量测点,勤观测,加大观测频率,及时收集数据,分析整理、反馈信息;在坍塌段开挖及初期支护顺利施工完毕后,加快该段落的仰拱和二次衬砌施工,及时封闭成环,确保施工安全。

七、 泥石流交接过渡段施工事注意事项

施工前应做好泥石流交接过渡段等不良地质的施工预案,进行应急演练,对泥石流交接段围岩出现坍塌等可能出现的后果采取相应应急处理措施;施工过程中应准确掌握过程地质和水文地质情况,隧道施工中加强超前地质预报,采用多种超前物探手段,根据超前地质预报结论进行对比分析,大致判断前方围岩情况,若出现预报掌子面前方有异常区域,应采用超前水平钻孔进行验证,根据钻探的结果,提前采取超前预加固措施,对掌子面前方围岩进行加固,开挖过程中,要严格控制开挖进尺,提高初期支护参数,后续各项工序稳步推进,确保现场安全有效可靠施工。

八、 结论

隧道施工中应重视超前地质预报,采用多种物探手段(地质雷达、TSP、瞬变电磁法、三维物探),加超前水平钻孔进行验证,若发现异常况应及时采取处理措施,避免出现大塌方,造成安全风险加大、工期滞后和不必要的损失。通过这次成功的处理泥石流交接软弱地质过渡段,为今后再次遇见类似围岩情况,具有一定的借鉴意义。

参考文献

[1]《复杂地质条件下隧道施工安全保障技术》林才奎,杨红军,方建勤,廖树忠等编著,北京:人民交通出版社,2010。
 [2]公路隧道施工技术规范JTG/T 3660-2020.北京:人民交通出版社,2020。
 [3]公路隧道施工技术细则JTG F60/T-2009[S].北京:人民交通出版社,2009。