

富水砂层黄土隧道塌腔处治技术探析

张朝峰¹ 张惠翔²

1. 山东省交通工程监理咨询有限公司; 2. 山东交通学院

摘要:甘肃天庄高速赵沟隧道穿越富水砂层,该地层施工难度大、风险高,开挖施工过程中极易发生突水、涌砂等地质灾害。以该土洞段发生的三次较大的突涌塌腔为例,通过反压回填、喷砼封闭、打设管棚、灌注“棚盖”、径向加固等方面详细介绍了整个处理过程,保证了隧道后续施工的安全。

关键词:黄土隧道;富水砂层;隧道塌腔;处治技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.023

引言

我公司承监的甘肃天庄高速公路赵沟隧道地质情况多变,掌子面一直处于含砂富水地层中,富水粉细砂层颗粒松散,无黏聚力,遇水极易液化,开挖后易出现流砂、流泥造成拱顶坍塌,形成塌腔,对隧道结构和施工人员设备造成极大的危害。在右线出口段施工过程中共出现三次大的流水流砂。总监办、项目部根据现场实际情况,认真分析原因,及时采取紧急措施,防止塌腔进一步扩大,并先稳定掌子面,稳妥开挖掘进,同时对支护过后的塌腔段进行二次处理。

一、工程概况

(一) 隧道基本情况

赵沟隧道位于甘肃省天水市张家川县境内,地处黄土梁峁沟壑区,地势起伏较大,为典型的黄土隧道。本隧道为左右行分离式双洞特长隧道,右线里程YK69+765~YK73+995,长4230m;左线里程ZK69+767~ZK74+019,长4252m;隧道埋深19m~200m,为全线控制性工程。

(二) 水文地质条件

工程区地处陇东、陇西黄土高原温冷气候带。气候特征为春、秋短促,气温转变比较剧烈,多年平均降雨量546.8mm。最大积雪深度为15cm,标准冻土深度为42cm。

围岩分类为V级,其工程地质特征描述如下:

①黄土状土:灰黄色、灰褐色,湿,稍密状,部分岩芯中见腐植物及未腐化的树根、草根等。分布于隧道进口处。

②黄土:淡黄色,稍密,稍湿,具大孔隙,含少量钙质结核,湿陷等级III(严重)。隧道表层广泛分布。

③砂质泥岩(N):砖红色夹灰黄色,局部夹有砂岩薄层,泥质弱胶结,厚层状构造,成岩性差,节理裂隙不发育,岩芯呈柱状,柱长一般30~40cm,可见最长80cm,遇水易软化崩解,暴晒易龟裂,自由膨胀率29%~52%,具弱膨胀性,属极软岩,分布于整个隧址区。

二、塌腔处地质情况

出现塌腔位置地层岩性为新近系砂质泥岩,岩体较完整~完整,抗风化能力差,遇水易软化、崩解,失水易龟裂,具弱膨胀性,属极软岩,无地下水,雨季开挖后洞壁呈潮湿状或偶有点滴状渗水,[BQ]=227,围岩级别为V级。

在砂质泥岩中夹典型砂质地层,层厚2~5米左右,砂层内富水,开挖揭露后水流较大,随后逐步有所减弱,但没有停止,一直到塌腔处理过后仍有股状水流出,说明为典型的地下水,受地表降雨等影响较小。

三、三次塌腔基本概况

(一) 第一次塌腔(YK73+872)

2020年6月17日上午,赵沟隧道右线出口掌子面YK73+872上台阶开挖时,拱顶偏左侧1m左右出现一含水溶腔,溶腔内有流砂、并伴有掉块现象,约2小时后流砂和掉块减弱,主要有不定时的掉块出现,大小不等,此时形成塌腔约2*1.5*1.5m(环*纵*高)。

该塌腔位置距洞口97m,埋深40.8m,支护类型SVa(I20a工字钢间距75cm,C25喷射砼厚26cm,φ42×4mm超前小导管L=3.0m,环向间距40cm,35根/环)。



图1 YK73+872塌腔



图2 YK73+872塌腔

(二) 第二次塌腔 (YK73+772)

2020年7月21日晚11时左右, 赵沟隧道右线出口掌子面YK73+772上台阶开挖时, 拱顶偏右侧出现一含水溶腔, 有两处股状流水, 并一直有泥沙流出和掉块现象, 塌腔约7*10*8m (环*纵*高), 其中已初支完拱架背后约4m塌空, 掌子面向前约6m。

该塌腔位置距洞口197m, 埋深56m, 支护类型SVb (I20a工字钢间距100cm, C25喷射砼厚26cm, φ42×4mm超前小导管L=3.5m, 环向间距40cm, 35根/环)。



图3 YK73+772塌腔



图4 YK73+772塌腔出水

(三) 第三次塌腔 (YK73+696)

2020年8月20日上午9时左右, 赵沟隧道右线出口掌子面YK73+696上台阶开挖时, 拱顶偏右侧出现一含水溶

腔, 一直有大量泥沙流出和掉块现象, 塌腔约10*7*5m (环*纵*高)。

该塌腔位置距洞口273m, 埋深57m, 支护类型SVb (I20a工字钢间距100cm, C25喷射砼厚26cm, φ42×4mm超前小导管L=3.5m, 环向间距40cm, 35根/环)。



图5 YK73+696塌腔



图6 YK73+696塌腔流砂、流泥

四、塌腔处治措施

(一) 现场措施

立即停止掌子面开挖作业, 撤离大部分施工人员, 现场安排值班领导、工区经理、三名作业人员和一台挖机, 引导水流, 挖临时集水坑, 做好防渗措施, 防止水流浸泡拱脚, 并将水及时抽排到洞外。

将现场情况及时上报给总监办、设计代表和项目公司相关领导。

值班人员随时观察塌腔出水情况, 并监控掌子面和拱顶的坍塌掉块情况, 监控量测频率调整到2h/次。

组织技术、测量人员和当地村民沿洞顶周边仔细搜索, 看有无贯通到地面的黄土洞穴或通道, 搜寻出水点地表周边1公里范围, 没有找到可疑孔洞。

(二) 较小稳定塌腔处理措施

第一次塌腔出水量变小、停止掉块后, 形成的塌腔较小。塌腔位置采取在上一循环拱架打设加密超前小导管, 环向间距由40cm调整为20cm, 连接筋间距调整为50cm, 挂设双层连接筋, 埋设2根注浆管, 立拱完成后喷射混凝土灌喷塌腔位置; 待初期支护封闭成环后利用

防水板台架注水泥浆。

(三) 较大不稳定塌腔处理措施

第二、三次塌腔形成的空腔较大，塌腔内一直有掉块，水流无减弱迹象，为保证作业人员安全，采取洞外拉渣反压回填、喷砼封闭掌子面、打设长管棚、泵送混凝土回填空腔的处理方案。

1. 反压回填

从弃土场拉渣进洞，用洞渣对掌子面回填形成反压，防止掌子面继续失稳。回填渣土形成斜坡道，同时修筑工人作业平台。

靠近顶部挖机无法施作的缺口人工码砌砂袋，砂袋宽度2m，砂袋后方用I18工字钢竖向支撑，下部支垫方木，上部与拱架焊接牢固，起到支撑初期支护拱架和阻挡砂袋滑落的作用，保证灌注混凝土时已完成初支段稳定。



图7 反压回填掌子面



图8 码砌砂袋、竖向支撑

2. 喷砼封闭

对整个渣体上部和砂袋喷砼封闭、喷射C25混凝土厚度不小于20cm，喷射混凝土前预留3根直径150mm的泵管，泵管按3m、4.5m和6m分开布置，与初支拱架焊接牢固，作为灌注C15混凝土的孔道。

3. 打设管棚

在靠近掌子面的初支混凝土上开洞，环向间隔打设 $\phi 108$ 钢管和 $\phi 42$ 钢管，间距30~40cm，形成管棚，钢管以向上 5° 的倾角打设，管棚长度10m，可利用挖机打入前方稳定土体，完成后钢管内注水泥浆。

管棚的作用就是起到串联泵送混凝土的作用，因为在灌注混凝土时，对塌腔内的情况不能完全掌握，有可能掉落的渣土较多，占据了部分塌腔空间，有可能对灌注的混凝土形成分隔作用，导致灌注的混凝土形成独立的大块，开挖后容易掉落，增加施工的危险性。通过管棚和导管的串联，可以使塌腔内的混凝土连接成一个整体，保证开挖后拱顶混凝土“棚盖”的完成连续性。

4. 灌注混凝土

从预留孔道向塌腔内灌注C15混凝土，混凝土根据现场情况分4~5次泵送，每次泵送30cm左右，暂停12小时，直至厚度在1.5m以上，形成类似“棚盖”的混凝土结构物，能够承受上部掉块的冲击。

5. 径向加固

靠近掌子面5m范围内初支用 $\phi 42 \times 4$ mm钢管L-3.5m径向加固，间距1.5m*1.5m，保证中、下台阶开挖时初支面稳定。

主要作用：受连续流水的影响，已支护完成的拱顶随着砂土的流失，拱顶一般会形成空洞，向后方延伸3~5米，高度几米不等，受水浸泡，靠近掌子面的初支背后围岩形成软泥状或含水极高，原有的锁脚已无法支撑后方拱架，在开挖落底时极易掉拱或坍塌。因此需要增加一些径向加固，保证此部分拱架落底时的安全性。

6. 开挖及支护

混凝土灌注完成24小时后，开始开挖掌子面前的反压洞渣，并逐步向前开挖，严格按三台阶预留核心土法施工，拱架间距调整为60cm，向塌腔前方加强5m，单榀开挖，每榀拱架打设超前小导管。直到掌子面的坍塌地段全部处理完毕。

7. 开挖过程中的补处理

在处理塌腔过程中，因拱顶还在掉块，占据了部分空洞位置，此部分混凝土灌注不到位，开挖后渣土掉落，形成部分空洞，需要进行二次灌喷处理，确保拱顶没有空洞，以保证后续开挖的安全。

8. 全部处理完毕，待坍塌地段仰拱封闭成环，填充施做完毕，在二衬混凝土施工前，利用泵送混凝土对坍塌部位的拱顶空洞进行低标号混凝土的回填，保证拱顶空洞全部回填密实，确保该段落不会遗留渗水、变形等病害。

五、处治效果

该隧道塌腔处理完成后，在塌腔部位二衬混凝土内埋设监控量测点长时间监测，至2021年8月，二衬混凝土未发现明显变化，无明显渗、漏水点，说明以上塌腔处理方法和安全与质量控制方法合理可行，值得类似工程参考借鉴，保证隧道塌腔处理效果。

参考文献

[1] JTG/T 3660-2020, 公路隧道施工技术规范。