

野三关隧道历次突泥成因分析及经验教训

陈吉沿¹, 陈广勋^{2*}

1. 中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102627

2. 汉巴南城际铁路有限责任公司, 四川 南充 637600

摘 要 : 野三关隧道曾发生多次突泥, 成因各异, 有事前预见的, 也有突发性的, 为类似隧道施工提供经验教训。
关 键 词 : 溶腔; 成因分析; 经验教训

Cause analysis and lessons of past bursts of muddy water in Yesanguan Tunnel

Chen Jiyan¹, Chen Guangxun^{2*}

1.China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd. Beijing 102627

2.Hanbanan Intercity Railway Co., Ltd. Nanchong, Sichuan 637600

Abstract : Several mud flush experience has appeared during the construction of Yesanguan Tunnel and the causes varied. Some has been predicted correctly, while others happened without any hint. The experience discussed in this paper could guide the similar engineering.

Keywords : karst caves; causes; lessons

一、概况

野三关隧道坐落于巴东县野三关镇, 介于碗口河与支井河之间, 铁路里程标记为 DK116+203至 DK130+049, 总长度达到 13.846 公里, 是宜万铁路中最长的隧道, 同时作为全线的关键控制性工程。该隧道的最大埋深为 684 米, 且具有人字形的坡度^[1]。

在地质条件方面, 隧道穿越的地层极为复杂, 广泛分布着岩溶、断层破碎带、瓦斯、高地应力和沥青等不良地质现象, 这使得在施工过程中极有可能面临大规模至特大规模的突水突泥事件、大规模塌方、围岩的严重变形甚至失稳等重大地质灾害。鉴于这些风险, 野三关隧道被项目业主确定为全线中八座一级高风险隧道之一, 需要给予特别关注和监督。

二、DK124+583 突泥

(一) 预防措施

DK124+583 揭示前, 根据超前地质预报成果资料, 判释掌子面前方 1.5m 位置即遇溶腔, 溶腔内充填物以砂粘土为主, 溶腔水位、水压低, 揭示后有发生突泥的可能, 但不能预估揭示后什么时候会突泥, 根据四方会商决定如下:

1. 对视频监控系统进行检查、维护, 确保正常启动;
2. 揭示前野三关隧道出口、进口所有人员撤离出洞。
3. 爆破后是否出碴及人员何时进洞由四方根据现场情况决定。
4. 编制专项爆破方案, 报监理审批后实施。
5. 爆破后值班人员加强视频观察。
6. 四方决定恢复作业后, 该面边出碴, 边观察, 部分出碴后, 当晚该面作业需暂停, 留置观察。

该面于 2008 年 11 月 23 日 10 时爆破成功, 14:00 人员进洞, 其他作业面施工恢复^[2]。

(二) 判断和揭示后的实际情况

2008 年 11 月 24 日凌晨 3 点该作业面突泥, I 线突泥淤积长度 200m, II 线淤积长度 150m, 以泥和砂为主, 夹杂大石块, 无人员伤亡, 揭示后地质情况与揭示前判断基本一致, 如下图。



(三) 突泥成因分析

该作业面爆破后未立即突泥 (16h 后突泥), 应与在溶腔无水的状况下, 充填物具有一定的自稳能力有关, 但其自稳能力有限, 在某个时间段过后, 超过其自稳能力限制, 故发生突泥。

DK124+583 溶腔与已知的 602 溶腔在隧底虽未发生直接关联, 但岩溶隧道裂隙发育, 两溶腔在隧道上方某个位置应发生必然联系, 加之 602 溶腔与暗河联通, 602 溶腔水压通过裂隙传递至 583 溶腔充填物, 并将其击溃, 583 面突泥带水, 即是一佐证^[3]。

DK124+580 爆破后, DK124+583 面充填物失去了应有的支撑体, 形成临空面, 虽然充填物有一定时间的自稳能力, 但超过其临界时间之后, 临空面附近充填物坍塌, 上方充填物顺势下压, 冲击临近充填物, 形成突泥。

(四) 经验教训

DK124+583 溶腔位于深埋地层中, 溶腔内主要充填物为砂粘土。在这种砂粘土地层中, 存在渗水、流水、突水 (砂) 的风险。根据 DK124+583 溶腔的施工经验, 可以总结出以下施工步骤

作者简介:

1. 陈吉沿 (1998.05-), 男, 助理工程师, 本科, 土木专业毕业, 研究方向: 隧道与地下工程设计;

2. 陈广勋 (1971.05-), 男, 高级工程师, 本科, 土木专业毕业, 研究方向: 工程建设管理、隧道及桥梁工程的施工及施工监理, 邮箱: cgx1314@126.com。

和方案：

超前探孔：通过超前探孔技术，判定水流方向，测算总涌水量，确定裂隙发育段和裂隙发育度。这有助于分析前方地层在开挖后是否能够自稳，是否存在大量涌水、涌砂的可能，以及涌出水量是否会对施工造成重大影响。

控制涌水量：在开挖施工完成后，必须确保能够对涌水量进行有效控制，以防止施工过程中出现不可控的水流和泥砂涌入。

预防措施：当前方为淤泥或粉细砂层等充填性溶洞时，即使存在少量流水（例如每小时3至5立方米），也可能导致开挖后掌子面失稳，增加坍塌、涌泥、涌砂等灾害的风险。因此，在这种情况下，不宜采取直接开挖的方案，而应采取超前预支护的方式，以确保施工安全。

通过这些措施，可以有效降低施工过程中突水突泥的风险，确保隧道施工的安全和顺利进行^[4]。

三、DK124+587突石

（一）应对措施

泄水支洞释能降压成功后，经过四方会商，决定对DK124+580掌子面淤积段进行清淤工作，打开602溶腔正反2个工作面，以快速通过602溶腔，同时为防止隧底突出，采取如下应对措施：

1. 清淤：DK124+583面留置10m，清理部分淤泥后反压硬碴；

2. 超前支护：采用小导管或自进式锚杆，具体由施工单位现场决定。

3. 判断和揭示后的实际情况

部分清淤后该面向前压炮至DK124+587，爆破后，未有异常情况发生，出碴至该面线右时，上方石块突出，石块突出速度较慢，前期以大石块为主，后期大小石块交替突出，后反复清淤，反复突出，大小几十次，后停止清淤，每次突出物在100~400m³左右，如下图^[6]。



该面前期防灾重点集中于隧底，对掌子面周边突出估计不足。

4. 突出成因分析

在清淤过程中，经过观察，DK124+587面上方有一空腔，直立，高度、面积不详（光线较暗），该溶腔本身内有充填物，

出碴后，充填物坡脚被破坏，因其直立，故没有自稳能力，突出后，又形成坡脚堆挡，故不再突出，再清再突，如此反复^[5]。

根据602溶腔判释图，该溶腔较大，呈漏斗形，上大下小，内含充填物数量巨大；另溶腔壁坍塌也是一大因素。

5. 经验教训

DK124+587溶腔内充填物为石块，不能在某个部位自然形成较强的承重拱，因而遇此类溶腔采取反复清淤的方式不可行，另外即时清淤成功，溶腔壁也存在坍塌的可能，有落石现象，钢架支护作业人员安全也不能得到保障^[7]。

因此遇此类溶腔，还是应以超前预支护的形式通过。

四、DK124+602突水突泥

（一）预防措施

在DK124+604位置进行爆破后，掌子面推进至DK124+602，两个作业面均显示出较为完整的灰岩层，未观察到异常迹象。通过综合分析TSP203、地质雷达和超前探孔（包括超长炮孔）的数据，我们推断I线从DK124+600至DK124+630的地质状况与后方区域（DK124+630至DK124+670）相似。该区域的岩层主要由P1m+q厚层灰岩构成，存在发育的岩溶裂隙，这些裂隙与隧道近乎垂直或以大角度相交，贯穿I线和II线，主要沿着岩层的走向延伸，周围岩体相对稳定，没有发现异常现象^[9]。

鉴于现场地质状况和综合超前地质预报均显示该区域属于正常地质段，因此我们没有在该作业面采取额外的辅助预防措施。

（二）实际情况与预测后的结果

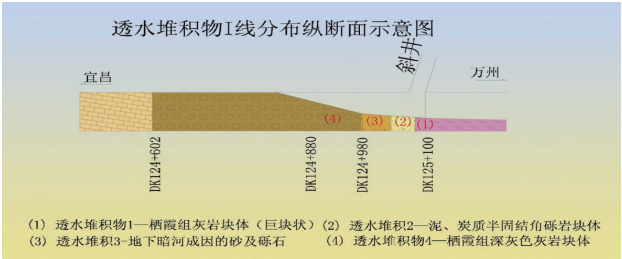
然而，在2007年8月5日凌晨0:57分，当出碴工作接近完成时，工作面右侧突然出现向上涌水现象，水势汹涌，迅速上涨，导致装载机被冲走，发生了突水突泥事件，如下示意图所示。



> 突出的石块

> 被洪水冲走毁损解体的50装载机

突发性透水事件伴随着大量泥沙和石块的喷发。在最初的30分钟内,涌出的水量高达151,000立方米,同时伴随着约53,500立方米的泥沙和石块,其冲击力足以将I线进口方向的一台9米长的衬砌台车(重约65吨)、一台120型号的挖掘机(约32吨)、两台斯太尔品牌的自卸车(每台约21吨)、一台沃尔沃品牌的装载机(约25吨)以及一台50型号的装载机(约21吨)冲至大约500米之外,导致这些机械设备严重损坏。一小时后,水流量有所下降,并且出现了周期性变化,大约每半小时水位就会上升或下降3至5厘米。石块堆积导致隧道约400米的长度受到影响,特别是在掌子面附近,隧道的横断面几乎被完全堵塞。



(1) 灰岩块石(巨块状);(2) 泥、炭质半胶结角砾岩块体;(3) 砂、砾石及灰岩角砾;(4) 灰岩块石

> 透水堆积物 I 线分布纵断面示意图

由于缺乏预示透水的征兆,且瞬间涌水量巨大,导致斜井工区的I线和II线上的5个作业面施工人员未能及时避险,结果有52人被困。尽管进行了紧急救援,但不幸仍有10人遇难,此次事故造成了高达6965万元的损失。

(三) 突水突泥成因分析

1. 结合初步勘察、透水后的补充勘探以及现场调查资料,我们认为此次事故的直接原因是高水压导致地下水沿隐蔽的富水构造传递压力,进而压裂了隧道临空面的完整围岩。这引发了隧道左侧的大规模崩塌,崩塌的岩体与隧道上方的岩溶管道相连,最终导致了与3号地下暗河的贯通,形成了一种复合成因的重大崩塌、突泥、突石透水事故。

2. 宜万铁路野三关隧道的参建各方对于该地区复杂的岩溶地

质结构认识不足,面对可能发生的复合成因崩塌、突泥、突石透水灾害,由于国内缺乏相关经验,导致在理论探索和工程实践中存在一定的滞后^[8]。

3. 国内现行的地质勘察规范和规程对岩溶的勘察和勘探仅作了一般性规定,对于深部复合成因的大型高压透水(泥、石)隐伏地质构造的勘探缺乏具体规定。特别是对于隧道上下方及两侧围岩的超前探测,缺乏明确的相关规定,导致在综合分析和解释相关数据时,缺乏统一的量化标准。

4. 在宜万铁路这样地质构造复杂的区域进行隧道施工时,现有的安全管理、技术手段和设备设施与工程实际需求之间存在不适应之处,需要进一步的改进和提升。

(四) 经验教训

尽管野三关隧道“8.5”重大透水事故是由自然灾害引起的安全事故,但其中的经验教训仍然具有重要的反思价值。

1. 提升对复杂成因透水灾害的认识

我们需要增强对隧道在高水压条件下可能遭遇的复杂成因崩塌、突泥、突石透水灾害的认识,并加大勘探力度。应综合运用多种勘测技术,以明确富水构造的分布范围、具体位置和水压力等关键特性。

2. 建立铁路隧道施工地质规范

我们需要进一步明确和细化隧道周边实时探测的技术要求、操作流程和方法。在规范中,应详细规定隧道施工超前预测和预报的方法与要求,强化对隧道掌子面前方及周围区域的探测工作,确保隧道周边的探测深度超过10米。

五、结语

由于国内地质预报技术手段有限,不能详细、准确探明溶腔规模,溶腔施工存在极高的安全风险,如何安全、有效通过溶腔需进一步摸索。

参考文献

- [1] 韩小敏. 宜万铁路野三关隧道高压富水岩溶治理技术[J]. 山西建筑, 2014, 40(02): 176-177.
- [2] 李忠. 在建铁路隧道水砂混合物突涌灾害的形成机制、预报及防治[D]. 中国矿业大学, 2009.
- [3] 孙国庆, 高广义, 肖盛能. 野三关隧道溶腔溃口处理技术[J]. 中国工程科学, 2009, 11(12): 77-81.
- [4] 陈礼彪. 山岭隧道施工期安全风险评价方法研究[D]. 武汉大学, 2014.
- [5] 张民庆, 孙国庆, 彭峰. 圆梁山隧道高压富水区径向注浆技术研究及应用[J]. 隧道建设, 2004, (05): 21-27.
- [6] 谢衡光, 陈广勋, 黄德川. 化解复杂岩溶隧道突水突泥风险应用技术研究[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(09): 73-77.
- [7] 杨有福. 超前地质预报在高风险岩溶隧道中的应用[J]. 四川地质学报, 2014(z2): 150-154.
- [8] 杜永昌, 王武现. 宜万铁路大支坪隧道高压富水溶腔处理技术[J]. 铁道建筑, 2011, 51(03): 66-69.
- [9] 陈广勋. TSP超前地质预报法在隧道工程中的应用[J]. 路基工程, 2009, (01): 185-187.
- [10] 陈广勋, 郑志勇, 张培元. 地质条件误判导致山岭隧道二衬开裂及对策[J]. 路基工程, 2008, (06): 191-192.