浅谈隧洞开挖塌方处理技术应用

林道烛
浙江省隧道工程集团有限公司，浙江 杭州 310031

[摘要]隧洞施工中在不良地质围岩情况下，隧洞会造成塌方等事故，不仅会对隧道施工造成安全隐患，还可能导致地面建筑物、道路等设施的破坏。能否高效处理隧洞滑层问题是影响隧洞进度、工程质量的关键因素。对隧道塌方进行研究，制定相应的处理措施，对于隧道工程的顺利进行具有重要意义。以庆元抽水蓄能电站筹建期隧洞工程中的通风兼安全洞为例，探讨分析隧洞塌方的防治方案。

[关键词]隧洞施工；塌方；超前支护；滑层处理
DOI：10.33142/ect.v3i2.15503　　中图分类号：TU5　　文献标识码：A

Brief Discussion on Application of Tunnel Excavation Collapse Treatment Technology

LIN Daozhu
Zhejiang Tunnel Engineering Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310031, China

Abstract: In tunnel construction, accidents such as collapse can occur under adverse geological conditions, which not only pose safety hazards to tunnel construction, but also may cause damage to ground buildings, roads, and other facilities. The efficient handling of tunnel sliding layer problems is a key factor affecting tunnel progress and engineering quality. Studying tunnel collapse and developing corresponding measures is of great significance for the smooth progress of tunnel engineering. Taking the ventilation and safety tunnel in the construction period of Qingyuan pumped storage power station as an example, this paper explores and analyzes the prevention and control measures for tunnel collapse.

Keywords: tunnel construction; landslide; advanced support; sliding layer treatment

1 工程概况

庆元抽水蓄能电站筹建期隧洞工程位于浙江省丽水市，通风安全洞位于下水库的右岸，其进口位于下库环库公路起点附近，出口与地下厂房上层相连。隧洞总长1634.00m（其中分岔段长 30.00m），隧洞进口底板高程为690.50m，出口底板高程 588.50m，隧洞平均纵坡 6.36%。隧洞为直墙圆拱型断面，衬砌后洞径7.50×6.50m（宽×高）。现以桩号通0+630～通0+661塌方处理的方案予以介绍。

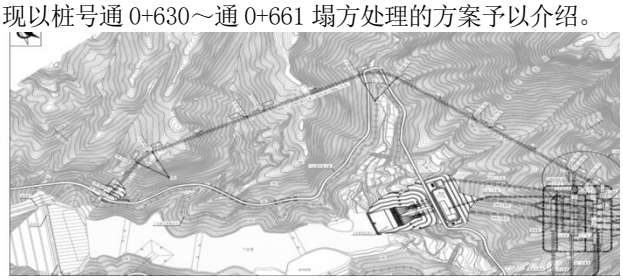

图1　工程总平面布置图

2 原断面支护设计

通风兼安全洞桩号通0+630～通0+660围岩判别为III类，采用全断面光面爆破开挖方法，III类围岩洞身段，采用锚喷网联合支护方式，系统锚杆Φ25@150×150cm，L=450cm、入岩 440cm，梅花型布置；喷10厚C25混凝土，挂φ8@20×20cm 网筋；洞身布置φ56、孔深 300cm、间排距 300cm 的系统排水孔，并用φ50 软式不透水管接入底部排水沟。

3 塌方产生原因及分析

3.1 超前预报

施工中，在开挖至该桩号附近，已进行地质预报。该桩号掌子面岩性为微新流纹质晶玻屑熔结凝灰岩，镶嵌结构；岩体完整性差，渗、滴水，裂隙较发育，经综合判断围岩为III类。根据已有预测图发现该桩号存在断层情况，但无明显塌方趋势。

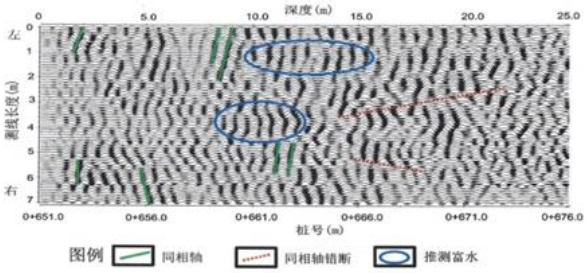

图2　超前预报探底雷达波形图

3.2 塌方产生原因

在该岩体中，主要发育了三组裂隙，这些裂隙之间的间距大约在0.2～0.5M之间。整体而言，岩体呈现出以镶嵌结构为主的特征，但其完整性相对较差。在左壁部分，沿着一些长大的裂隙，裂隙充填物为高岭土，局部的流水呈“小线状”。由于受到爆破振动、渗漏水以及重力等因

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

素的影响，桩号 0+635-0+660m 范围内顶拱和侧墙出现了失稳现象，最终导致了长度约为 25m、体积大约为 260m³ 的塌方。经过详细分析，掌子面侧墙围岩中发育的长大节理是导致塌方发生的主要原因。

除了上述客观因素外，在开挖过程中支护措施未能及时有效地实施，喷砼质量不符合规范要求围岩在失去必要的支撑后，也可能发生塌方，从而进一步增加了塌方的风险。附图 3 塌方断面示意图。

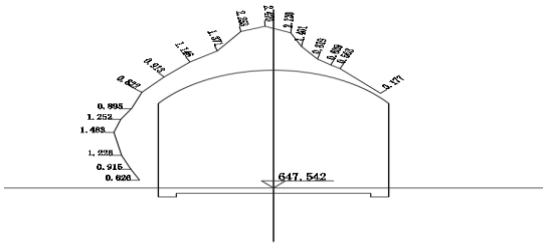

图 3　塌方断面示意图

4 塌方处理方案总体方案

为了确保塌方区域的安全与稳定，采取一系列加固措施。首先对塌方后方段（桩号 0+630-0+635m）进行加固，对塌方区域（桩号 0+635-0+660m）实施强支护，0+660m 之后开挖延伸段采用超前支护。在桩号 0+630-0+635m 的区域，采用钢拱架+锚喷网的联合支护方式，钢拱架的间距设置为 1 米。对于桩号 0+635-0+660m 的塌方区域，采用初喷+钢拱架+锚喷网的联合支护方式。桩号 0+660m 之后开挖延伸段采用小导管超前支护+初喷+钢拱架+锚喷网的联合支护方式。

4.1 0+630-0+635 支护参数

在桩号 0+630-0+635 的支护参数方面，选择使用 I18 工字钢作为钢拱架，拱架之间的间距@1.0×1.0m。连接筋采用Φ28 螺纹钢，间距@1.0m×1.0m，呈梅花型布置。根据Ⅲ类围岩的开挖断面，适当缩小钢拱架的尺寸。系统锚杆采用Φ28 螺纹钢、锚杆长度 L4.5m，间距@1.0m×1.0m，呈梅花型布置。钢笃网片采用直径Φ8m 成品钢筋片，网片间距@150×150。喷射混凝土的强度为 C25，厚度 h20cm。

4.2 0+635-0+660 支护参数

在桩号 0+635-0+660m 的支护参数方面，钢拱架同样采用 I18 型号的工字钢，但拱架间距调整为 0.75m；连接筋采用Φ28 螺纹钢，间距@0.75×0.75m。根据Ⅲ类围岩加强段的断面，采用机械破碎机对局部欠超部份进行修规。系统锚杆采用Φ28 螺纹钢、锚杆长度 L4.5m，间距@1.0 米×1.0m，呈梅花型布置；钢笃网片采用直径Φ8mm 的钢筋，间距@150×150。喷射混凝土的强度为 C25，厚度 h20cm。初喷厚度为 8cm。空腔部分采用同标号 C25 喷射混凝土进行回填。

4.3 0+660 之后延伸段支护参数

对于 0+660 之后的延伸段，超前支护将采用注浆小导管，规格为直径 D42 无缝钢管，壁厚 4.5mm，长度为 4.5m，环向间距为 30cm。在顶拱范围内，两个循环之间的搭接长度将控制在 2m，仰角控制在 8～10°。外露端头将与钢拱架可靠焊接。除了超前支护参数外，其它支护参数与桩号 0+630-0+635m 的支护参数相同。

5 0+635-0+660 塌方段处理施工流程

塌方体处理和清运（1.5～2.25m）→断面修整→初喷→立架→连接筋焊接→钢笃网片安装→锚杆造孔、安装、注浆→喷砼→进入下个循环。

5.1 塌方体处理和清运

塌方体清运采用 PC200 破碎机解小，50 侧卸式铲车装岩，20T 自卸车运输至卸渣场。循环进尺控制 1.5～2.25m。在进行塌方体处理和清运的过程中，首先使用 PC200 型号的破碎机对塌方体进行破碎，使其变成较小的块状，以便于后续的处理和运输。随后，使用 50 型号的侧卸式铲车将破碎后的岩石装入 20 吨的自卸车中。这些自卸车将岩石运输至指定的卸渣场。为了保证施工的连续性和效率，循环进尺被控制在 1.5～2.25m 之间，确保每个循环都能高效完成。

5.2 断面修整

采用 PC200 破碎机对局部欠超断面的围岩进行修规，循环进尺控制 1.5～2.25m。在塌方段处理施工流程中，断面修整是一个关键步骤。使用 PC200 型号的破碎机对那些未能达到设计要求的断面进行精细的修整工作。通过这种方式，可以确保断面的形状和尺寸符合施工标准。同样，为了保证施工的连贯性和效率，循环进尺被设定在 1.5～2.25m 之间，以便于后续施工步骤的顺利进行。

5.3 钢拱架制作、安装

钢拱架采用 I18 工字钢在加工厂加工，拱部采用三轴弯曲机按设计断面加工成型；每榀钢拱架加工厂预拼装，保证每榀拱架加工质量。自卸车运输至洞内，人工立架。每榀钢拱架立架先边墙后拱部，第一榀完成后再第二榀，及时焊接连接筋，再进入下个循环。

5.4 锚杆施工

锚杆造孔采用锚杆钻机成孔，螺杆式注浆机注浆、人工插锚的工艺，施工台车配合施工。

锚杆施工工艺流程：布孔定位→钻孔→冲洗、检查→注浆→插锚杆。

（1）布孔定位：按设图纸放样布孔；

（2）锚杆钻机车按要求的位置、角度和深度造孔，成孔后要将岩屑吹洗干净。

（3）注浆采用螺杆式注浆机注浆。浆液按设计配合比调试；。

（4）锚杆采用 Φ25 钢筋，浆注后，采用手风钻带套筒压送插锚。

5.5 挂网喷砼施工

钢筋网片采用成品 φ8 钢筋网片，与钢拱架焊接；

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

喷砼湿喷台车施工工艺；

喷砼材料由拌和站按生产配合比拌制，混凝土罐车动输至现场；

在砼喷射前洞壁采用高压风冲洗干净；

5.6 超前支护

超前支护采用单排 Φ42，L4.5m 注浆小导管，环向间距 0.3m，上倾角 10°；

小导管端头与立钢拱架焊接密实；

注浆应采用注浆泵注砂浆，注浆顺序遵循“由下至上，先稀后浓”原则；

注浆压力：一般为 0.5～1.0 MPa；浆液初凝时间：1～2 min；

采用水泥为 P.O.42.5 普通硅酸盐水泥，砂采用中细砂。

6 隧洞塌方防治措施

6.1 加强地质超前预报

为了有效预防隧洞塌方，需要加密超前地质预报的次数。通过地质超前预报，可以准确预测前方围岩的岩性、裂隙和地下水情况，为后续的施工提供重要的技术支撑。这是预防塌方的主要手段之一，能够为施工团队提供关键信息，从而采取相应的预防措施。

6.2 加强软弱围岩段排水

在隧洞施工过程中，应根据实际情况及时安装排水管，将水引流至临时排水渠。在爆破钻孔时，如果发现有裂隙水出现，也应立即进行引流处理。通过隧洞排水系统将水排至洞外，可以有效避免水对施工现场造成的影响，确保施工安全。

6.3 短开挖、强支护

隧洞项目施工周期长，工序繁多，不同工序之间需要较长的搭接时间，这很容易造成施工间隙岩石结构的变化，从而导致土质松动，引起塌方。为了确保岩石结构的稳定，在施工过程中，可以采取短开挖强支护的方式，缩短循环进尺，开挖完一循环后及时跟进支护，避免围岩长时间暴露，从而减少意外风险。

6.4 加强爆破控制

隧洞爆破是一个高风险环节，极易造成地下结构的破坏或岩石稳定性受损，从而产生安全隐患。因此，在爆破施工前，必须根据项目具体情况制定科学的爆破方案，确保各种参数符合方案规定，并严格执行技术指标。爆破效果不佳可能会导致隧洞超挖甚至塌方，因此合理控制爆破进尺、爆破范围，严格控制爆破药量是施工控制的关键。每次爆破后，应当及时记录爆破情况，并根据爆破效果及时对下一循环进行调整。

6.5 加强监测

在隧洞施工中，通过加强监测工作，可以有效避免各种施工事故的发生。通过监测数据，可以及时了解洞内围岩和支护的实际情况，这些数据对于指导后续施工的科学有序进行至关重要。监测结果可以作为调整施工方案和采取预防措施的重要依据。

7 结束语

隧洞施工中，在不良地质围岩段受地下水和爆破振动等外力的作用下造成隧洞塌方等性事故，通过本案例塌方处理措施和后期的预防处理，为以后遇到类似问题提供技术支持和实践资料。

[参考文献]

[1]王景义.输水隧洞弱胶结软岩洞段支护结构优化研究[J].水利科学与寒区工程,2021,4(5):162-164.

[2]李晓飞.断层构造带下支护方法和间距的优化选择[J].采矿技术,2020,20(1):54-56.

[3]刘洋.软岩隧道塌方处理技术[J].交通世界,2022(17):49.

[4]吴昊.隧道施工中塌方的原因及防治措施分析[J].工程机械与维修,2022(6):213-215.

作者简介：林道烛，男，天津大学土木工程，浙江省隧道工程集团有限公司，高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.