

炭质板岩隧道大变形控制施工技术

余春模, 孙慕楠

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要:隧道工程建设中, 软岩大变形是一种常见的地质灾害, 这种灾害的出现往往会导致隧道结构的破坏, 进而影响到隧道的正常使用。软岩大变形问题通常是由于软岩的强度和稳定性不足引起的^[1]。某铁路隧道开挖后揭示的围岩为陡倾极薄层板岩、千枚岩、炭质板岩等不良地层, 其岩体极为破碎, 岩石抗压强度低, 变形往往持续时间长, 若采取的支持措施不到位极易发生侵限情况^[2]。针对该铁路隧道已陆续出现一、二级软岩大变形的段落, 为了进一步提高软岩大变形应对处置的及时性和有效性, 保障隧道施工安全, 对施工现场实施的隧道软岩大变形分级判识标准及变形控制措施进行了总结, 旨在指导现场施工, 防止隧道变形严重甚至侵限的现象发生。

关键词:炭质板岩; 隧道; 大变形; 分级判识; 变形控制; 施工技术

中图分类号: [U25]; U215.7

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)05-0021-03

Construction Technology for Large Deformation Control of Carbonaceous Slate Tunnels

YU Chunmo, SUN Munan

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: In tunnel construction, large deformation of soft rock is a common geological disaster. The occurrence of such disasters often leads to the destruction of the tunnel structure, which in turn affects the normal use of the tunnel. The problem of large deformation of soft rock is usually caused by the lack of strength and stability of soft rock^[1]. After the tunnel is excavated, it is revealed that the surrounding rock is a steeply inclined extremely thin-bedded slate, phyllite, carbonaceous slate and other undesirable strata, the rock mass is extremely broken, the rock compressive strength is low, the deformation often lasts for a long time, and the support measures are not in place, which is very prone to erosion^[2]. In view of the sections of the railway tunnels where first and second level soft rock large deformations have occurred one after another, in order to further improve the timeliness and effectiveness of the response and disposal of large deformation of soft rock and ensure the safety of tunnel construction, this paper summarizes the classification and identification standards and deformation control measures of large deformation of soft rock in tunnels, so as to guide on-site construction and prevent the occurrence of serious tunnel deformation and even encroachment.

Key words: Carbonaceous slate; Tunnel; Large deformations; Grading discrimination; Deformation control; Construction technology

1 概述

某铁路隧道为双洞单线隧道, 左右线线间距为 35 m。隧道轮廓净空断面尺寸为 7.5 m×7.5 m(宽×高)。开挖揭示的围岩为深灰色板岩、含炭质板岩夹砂质板岩, 弱风化, 泥质结构, 薄~极薄层状构造, 层厚约为 0.8~8.0 cm, 岩质极软。受构造影响岩层面扭曲严重, 节理发育, 褶皱密集分布, 挤压痕迹明显, 偶见镜面现象, 围岩呈破碎~较破碎状, 左侧拱部的岩层层间结合极差。地下水呈弱发育, 开挖掌子面呈干燥~潮湿状。鉴

于软岩大变形是一种常见的地质灾害, 这种灾害的出现往往会导致隧道结构的破坏, 进而影响到隧道的正常使用, 为此, 为了进一步提高软岩大变形应对处置的及时性和有效性, 保障隧道施工安全, 对施工现场实施的隧道软岩大变形分级判识标准及变形控制措施进行研究非常有必要。

2 软岩大变形现场判识技术

在软岩大变形定量识别过程中, 首先需要对软岩的物理性质进行调查, 这些性质包括软岩的强度、变形量、渗透系数等^[3]。其定性判断主要是根据软岩的外观特征和实验结果进行推测。在该

收稿日期: 2024-04-28

过程中需要注意软岩大变形可能导致的安全隐患发生,如掌子面溜塌、掉块等。同时,还需要结合已有经验对软岩大变形进行综合分析,不仅有助于及时发现潜在的安全隐患,还能够提供有针对性的解决方案。综上所述,针对软岩大变形,可以按以下因素进行判识。

(1)导致大变形的影响因素。隧道所处的地应力环境、围岩岩性及构造特征、地下水、隧道埋深、施工工艺、断面大小和形状是影响隧道围岩发

生变形的主要因素。

(2)大变形类型。大变形的类型按地质情况分包括结构型、散体型和碎裂型;按变形特征分包括挤压型、荷载(水压、松散荷载)型等。

(3)大变形等级初判。基于岩质、层厚、完整程度、构造影响程度、钻孔缩径现象等因素并参考掌子面的自稳性、初期支护变形特征等定性判断大变形发生的可能性及等级。高地应力软岩大变形定性判据见表1。

表1 高地应力软岩大变形定性判据表

大变形等级	围岩变形特征
一级 (轻微)	隧道围岩以较软岩为主,呈中厚层~较薄层,岩体较破碎~破碎,围岩等级为Ⅳ~Ⅴ级。开挖后围岩位移较大,持续时间较长
二级 (中等)	隧道围岩以软岩为主或为断层影响带,岩层多为较薄层,岩体破碎,钻孔有缩径现象,围岩等级为Ⅳ~Ⅴ级。开挖后围岩位移大,持续时间较长
三级 (强烈)	隧道围岩以极软岩为主或为断层角砾、蚀变带,岩层多呈中薄~极薄层,岩体破碎~极破碎,钻孔缩径现象较明显,围岩等级为Ⅴ~Ⅵ级。开挖后围岩有剥离现象,位移很大,持续时间很长
四级 (极强)	隧道围岩为极软岩或断层泥砾带,岩层多呈极薄层,岩体极破碎,钻孔缩径现象明显,围岩等级为Ⅴ~Ⅵ级。开挖后围岩剥离现象明显,围岩位移很大,持续时间很长

(4)结合表1中的定性判据。按照尽量不漏判的原则,具有下列情况的施工现场可直接按照大变形进行确认:岩性为薄层炭质板岩、千枚岩、云母片岩等层状软质岩,层厚小于1 cm,岩层陡倾(主控结构面倾角大于 60°),且主控结构面与隧道轴线的夹角小于 30° ,埋深达150 m;上述围岩位于断层附近且受断层影响严重,埋深达100 m;或位于大型背向斜核部附近或掌子面揭示复式褶皱发育,岩层分布不均匀、不连续,埋深达100 m;或地下水发育段。

3 针对软岩大变形采取的控制措施

针对软岩大变形隧道的施工应遵循“快开挖、快支护、快封闭”,“短进尺、快循环”的施工原则和“宁强勿弱、杜绝拆换”的理念^[4]。

3.1 超前支护措施

超前支护措施如采用小导管、管棚和玻璃纤维锚杆等对软岩大变形控制施工具有显著的效果,能够较好地防止施工期间上台阶掌子面围岩大面积掉块及坍塌,进而有效保障施工安全。

3.2 开挖工法及预留变形量

(1)开挖工法。应充分考虑围岩的自稳能力。一般采用微台阶法;当围岩自稳能力较差时应采用三台阶法施工。采用微台阶法应在上台阶开挖完成3 d内完成下台阶的施工,下台阶开挖完成6 d内完成初期支护封闭;若仰拱初期

支护闭环前临时停工,则需要施作临时横撑等以确保变形可控。

在施工现场应根据围岩的软弱情况进行分析,当施作超前支护后围岩仍发生大面积溜塌情况时需采用“爆破+机械”相结合的开挖工艺或实施全机械开挖,其爆破施工需要根据现场围岩情况进行爆破设计,通过优化炮眼布设、起爆顺序以及炸药量控制,动态调整爆破参数,尽量减少爆破对围岩的扰动,预防围岩内部松动圈扩散,充分发挥围岩的自承能力。

(2)预留变形量。预留变形量是隧道在施做完初期支护后其初期支护断面随时空效应产生的一定变形、为防止初期支护断面侵限所预留的变形量。

在确认支护措施施作到位的情况下,其预留变形量可根据对现场变形情况进行分析后做适当调整。当边墙与拱部变形差异较大时,其拱部、边墙部位的预留变形量可取不同值;两侧边墙之间的变形差异较大时,两侧边墙可采取不同的变形预留量。

3.3 初期支护措施

(1)钢拱架的安装。钢拱架安装前需要对拱架的外形、尺寸进行复核,待其无误后方可进行安装。安装钢拱架前及安装过程中由测量人员做好钢拱架的定位工作,安装完成后需进行复核以保

证钢拱架的安装精度。

立架过程中,必须加强对钢拱架薄弱位置的控制,确保连接板密贴。由于上台阶拱脚变形速率快、变形量大,因此,下台阶放样时必须复核上台阶拱脚的预留剩余量,动态调整钢拱架加工和放样的预留量,确保变形不能侵限;对于拱架连接处、拱脚部位受力薄弱、经常出现扭曲变形的情况,可以采取对拱架拱脚焊接加劲钢板的方式加强其薄弱位置的刚度,并在钢拱架间加强其纵向连接的刚度以减少拱架钢板的受力变形。

(2)喷射混凝土。软岩大变形段开挖后必须快速初喷封闭,防止薄层围岩剥落掉块;但部分极薄层围岩即使进行了初喷、由于锚杆施工时的扰动影响,其岩层剥落掉块现象同样严重。施工过程中可以根据实际情况调整工序顺序,立架完成后先喷射 10~15 cm 厚的混凝土后再进行锚杆施工,能够有效防止因钻孔扰动引起的围岩剥落掉块、超挖、松动圈变化等。喷射混凝土施工过程中若出现围岩剥落掉块时,一定要及时清理拱脚处的虚渣,防止围岩与喷射混凝土混在一起而影响支护的质量。

喷射混凝土采用机械手湿喷工艺,同时采用刚性刮板在混凝土初凝前进行平整度修整。可以考虑在钢拱架内外两侧分别挂设钢筋网片、喷射混凝土能够有效地与拱架形成整体,并可有效控制围岩的变形与掉块。

(3)系统锚杆支护。系统锚杆采用多臂钻或锚注一体机施工。作业空间受限时,可以采用手风钻施工长度 ≤ 5 m 的短锚杆。对于锚杆施作的角度和深度必须满足设计要求,同时确保注浆饱满,按规范要求锚固力检测。

3.4 仰拱施工

对于软岩大变形段落需及时封闭仰拱,特别是仰拱的初期支护,其为减小变形、提高围岩稳定性的措施之一;另外,加大仰拱的衬砌厚度、增大仰拱衬砌的曲率也有利于改善其受力状况。

(1)仰拱的初期支护。鉴于仰拱初期支护对围岩变形速率的控制效果明显,因此,仰拱初期支护封闭成环距掌子面的距离不得超过 30 m。采用微台阶工法施工、在下台阶钢拱架安装前,其上台阶钢拱架的拱脚部位由于受围岩变形挤压已发生形变,导致上、下台阶钢拱架的连接质量可能存

在不足。因此,施工过程中需要严格按照以下措施进行控制:

①严格复核钢拱架加工的质量。钢拱架出厂前,对其形状、尺寸、连接板进行复核,经确认无误后方可投入现场安装;

②在上台阶钢拱架安装过程中,需要保证拱脚处有足够的支撑强度并垫实;同时,加强拱脚锁脚锚杆的施工质量,控制钢拱架的变形速率;

③钢拱架安装过程中,由测量人员全程盯控。钢拱架安装前必须进行定位,安装过程中进行调整,安装后进行复测以保证钢拱架的安装精度;

④钢拱架完成安装后,由现场管理人员进行验收,对钢拱架的连接质量、间距、垂直度、弧度进行重点把控,验收通过后及时喷射混凝土封闭。

(2)仰拱衬砌。对于软岩大变形试验段均应设置带仰拱的模筑衬砌,并对衬砌仰拱弧度进行加深。仰拱应设置混凝土或钢筋混凝土衬砌。当辅助坑道仰拱衬砌为素混凝土时,其仰拱和仰拱填充均需设置高强度混凝土(不小于 C30)。

仰拱衬砌对控制围岩的变形速率效果显著,因此,需要加强对仰拱衬砌的施工组织安排。仰拱衬砌滞后仰拱初期支护的距离不得超过 2 板。

3.5 二次衬砌结构

对于大变形洞段的模筑衬砌应在围岩及初期支护变形基本稳定、变形速率明显减小并趋于收敛时施作。大变形洞段模筑衬砌的施作时机可按初期支护净空收敛变形速率小于 1 mm/d(7 d 平均值)确定并及时施作。

若初期支护的变形速率较大或出现突变存在一定的安全风险时,在施工现场需及时实施补打锚杆等支护措施,亦可采取加强配筋、提高混凝土强度等级等措施;当补打锚杆后其变形速率仍然较大、且预留变形量已不足 5 cm 时,需要进行衬砌跳仓浇筑,同时按相关要求做好监测工作。

4 结 语

若要获得一套行之有效的软岩大变形隧道变形控制方法,需要对隧道所处地段的软岩特性进行深入的研究,根据软岩具有的特性制定出有针对性的施工方案,合理安排施工顺序和方式,避免其对隧道结构造成过大的压力。对于已经发生变形的隧道,可以采用注浆加固、钢支撑加固等方式

(下转第 70 页)

在左岸主索落放全部贴坡时,在左岸端头布置汽车吊配合将主索自左岸坝端头截断,然后由汽车吊将主索吊放到左岸侧坝面公路上,并将主索卷盘回收。

3.10 效益分析

亭子口水利枢纽工程中的缆索起重机索道系统的主索拆除采用了文中所述的施工技术,工期缩短了1个月,减少了 $\Phi 52$ 临时承载索4根,长度为5 280 m, $\Phi 16$ 承码保距绳1 320 m,节约人工成本和设备使用成本约72万元,材料成本约50万元,总体节约施工成本122万余元。

4 结 语

在水电站建设过程中,缆索起重机拆除时水电站已进入生产运营期。缆索起重机的拆除需要保证电厂高压线的安全运行、坝顶及升船机引航道设备的安全运行和坝前库区的安全运行。缆索起重机拆除的最大安全风险在于缆索起重机索道系统主索的拆除施工。根据现有技术研发出的缆索起重机主索拆除施工技术,提供了一种更为安全、高效率、能够减少复杂施工环节、避免高空作业安全风险的缆索起重机主索拆除施工方法^[4-5]。

实践证明:该技术的应用能够满足缆索起重

(上接第23页)

进行补救,以提高隧道的稳定性。同时,针对变形产生的原因进行分析,找出施工过程中的薄弱环节,以便在今后的施工过程中加以改进。

总之,针对软岩大变形的现场判识和控制技术在实际工程中具有重要的意义。通过对软岩大变形进行深入研究,不断优化和完善控制技术,有助于降低软岩工程造成的风险,提高施工的安全性和经济效益。

参考文献:

- [1] 尹建勋. 软弱炭质板岩隧道大变形特征及应对措施研究[J]. 铁道建筑技术, 2019, 11(6): 32-34.
- [2] 郭新新, 朱安龙, 王万平, 等. 高应力炭质板岩隧道大变形特征及其机理分析[J]. 隧道与地下工程灾害防治, 2021, 7

机索道系统主索拆除的施工要求,切实做到了节能减排、节约人力、设备和材料资源,彻底解决了缆索起重机索道系统主索拆除的高空作业风险,保证了缆索起重机索道系统拆除的施工质量,创造出较大的社会效益,所取得的经验可为类似工程施工时借鉴。

参考文献:

- [1] 严自勉. 大中型水利水电工程施工用缆索起重机的选用和布置问题[J]. 发电技术, 2003, 24(3): 51-55.
- [2] 严自勉. 国产重型缆索起重机的发展与现状[J]. 制冷空调与电力机械, 2004, 25(3): 61-68.
- [3] 杨钦, 李承铭. ANSYS 索结构找形及悬链线的模拟[J]. 土木建筑工程信息技术, 2010, 2(4): 61-65.
- [4] 顾志刚, 王章忠. 小湾水电站左岸大坝混凝土施工[J]. 水利水电技术, 2009, 40(10): 76-79.
- [5] 陈启湘, 蔡扬. 构皮滩电站国产30 t缆索起重机技术特点与应用[J]. 水利电力机械, 2007, 29(10): 19-21.

作者简介:

王石连(1980-),男,广西桂林人,水电部副主任,副高级工程师,学士,从事水利水电工程建设技术与管理工
范道林(1978-),男,黑龙江齐齐哈尔人,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
刘晓军(1984-),男,四川眉山人,工程师,从事市政与建筑工程施工技术与质量管理工作。

(编辑:李燕辉)

(4): 46-48.

- [3] 张德华, 刘士海, 任少强. 基于围岩-支护特征理论的高地应力软岩隧道初期支护选型研究[J]. 土木工程学报, 2015, 5(1): 77-80.
- [4] 邓启华. 软岩大变形隧道变形规律及控制措施[J]. 施工技术, 2016, 14(12): 68-70.
- [5] 曹小平, 张云鹏. 高地应力板状软岩隧道大变形控制试验研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 22(1): 3-4.

作者简介:

余春模(1976-),男,四川仪陇人,工程师,从事建设工程施工技术与质量管理工作;
孙慕楠(1995-),男,天津宝坻人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与质量管理工作。

(编辑:李燕辉)