

软岩隧道大变形施工控制技术研究

丁 燕 方

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 都江堰 611830)

摘 要:云南省红河州建水(个旧)元阳高速公路项目他白依隧道为双线分离式四车道公路隧道。隧道施工过程中揭露的围岩均为全~强风化板岩、炭质灰岩,围岩破碎、松散,有千枚化现象,隧道开挖时出现围岩变形大的情况。阐述了从地质、施工等方面分析其变形产生的原因,以及采取的控制变形的施工措施,有效地抑制了变形,所取得的经验可为今后类似软岩大变形隧道施工参考。

关键词:软岩;大变形;变形控制;施工技术;他白依隧道

中图分类号:U45;U455;U456

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2020)06-0080-04

Study on Construction Control Technology of Large Deformation in Soft Rock Tunnel

DING Yanfang

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

Abstract: The Tabaiyi Tunnel of Jianshui(Gejiu)-Yuanyang Expressway Project in Honghe Prefecture of Yunnan Province is a double line separated four lane highway tunnel. The surrounding rock exposed in the process of tunnel construction is all fully ~ strongly weathered slate and carbonaceous limestone, which is broken and loose, and has phyllitization phenomenon. During the tunnel excavation, the surrounding rock deformation is large. This paper analyzes the causes of deformation from the aspects of geology and construction, as well as the construction measures to control the deformation, which effectively suppresses the deformation. The experience obtained can provide reference for similar large deformation tunnel construction in soft rock in the future.

Key words: soft rock; large deformation; construction technology; Tabaiyi Tunnel

1 概 述

云南省红河州建水(个旧)元阳高速公路项目他白依隧道为分离式隧道,隧道全长 2 615 m,开挖断面面积为 120 m²,开挖断面面积为 120 m²,最大埋深 297 m,属深埋长隧道。隧道揭露围岩均为全~强风化板岩、炭质灰岩,围岩破碎、松散,强度低、抗风化能力弱、遇水易软化,有千枚化现象;同时隧道围岩受龙岔河区域断裂及 F14 构造分布影响,断层及节理发育,整体稳定性差。

他白依隧道软岩大变形段落分布情况为:左线 1 273 m、占比 49%,右线 1 447 m,占比 56%。软弱围岩强度低、自稳能力差,隧道开挖后地应力重新分布使隧道周边产生了较大的松动圈。一旦工程措施和施工方法选择不当,极易发生初期支护变形侵限和隧道塌方等工程事故,严重影响施

工安全及施工进度。

他白依隧道 V 级较差围岩按施工方案采用三台预留核心土开挖,设计初支采用 I20a 工字钢、0.6 m/榀,系统锚杆采用 $\Phi 25$ 中空锚杆、长 3.5 m、间距 120 × 120 cm 梅花形布置。初支未封闭成环前围岩变形大,变形速率快,最大累积变形量达 97.6 cm,变形速率最高达 14.9 cm/d。隧道围岩大变形造成初支混凝土开裂、剥落,工字钢严重扭曲、断裂,最终导致初支侵限,造成大面积换拱。其变形特点为:(1)变形速率快,变形数值大。监控量测数据显示,隧道开挖揭露围岩后,拱顶下沉和水平位移的初始变形较大,变形速率快;初支封闭成环后,受隧道围岩塑性变形引起的挤压变形明显;(2)变形不均匀,非对称性特征显著。变形量、变形速率在不同段落存在差异,同断

收稿日期:2020-07-10

面左右侧变形存在差异;(3)变形周期长。上、中台阶施工后,随着开挖断面的加大,变形速率显著增大;仰拱封闭后,虽然变形趋于稳定,但初支钢架扭曲,喷射混凝土开裂、鼓包现象明显。

初期支护破坏的特征:隧道洞身连续揭露围岩为全~强风化板岩、炭质灰岩,围岩破碎、整体稳定性极差,开挖过程中掉块、溜塌现象时有发生。随着变形量逐渐累积,造成初支拱顶下沉和边墙挤压引起开裂、钢架扭曲折弯。经对监控量测数据进行分析得知其变形破坏规律为:当累计变形量达到15 cm前,初期支护稳定可靠;当累计变形量超过15 cm后,初期支护表面开始出现裂缝;累计变形量超过25 cm时,出现纵向和环向裂缝,混凝土开始崩落;当累计变形量超过40 cm时,初支喷射混凝土表面出现大量的裂缝、掉块,钢架扭曲,此时必须及时采取加固措施,否则存在坍塌的风险。

2 软岩大变形原因分析

2.1 地质因素

(1)软岩系指强度低、孔隙度大、胶结程度差、受构造面切割及风化影响显著或含有大量膨胀性黏土类矿物的松、散、软、弱岩层的总称。软弱围岩的工程地质性质决定了其在隧道工程中的变形特征,即开挖后自稳能力差,表现出“自稳时间短、易坍塌”的特征。由于隧道的开挖,使先前支撑隧道洞身的围岩被移走,洞壁临空;造成围岩应力重新调整,围岩与洞壁均向隧道净空方向变形^[1]。

(2)具有膨胀岩性质的围岩在一定条件下体积膨胀,形成了较大的膨胀力。隧道变形段的围岩主要为炭质灰岩,含蒙脱石、绿泥石等,吸水后体积可膨胀10%~20%,围岩膨胀压力直接加荷在初支上产生了大变形^[2]。

2.2 设计因素

设计的支护参数仅仅是各种围岩在理论应力状态下的一种预案,但实际施工过程中存在的各种外界附加的因素会加剧软岩大变形的发生,其中较为突出的因素为地下水不同的赋存量引起的水岩耦合作用程度大小的不同,当水岩耦合作用力超过了工程设计初支所能承受的最大压力时将导致初支产生不同程度的变形。

2.3 施工因素

(1)施工过程中对围岩的扰动产生的变形。无论是钻爆开挖,还是机械开挖,从岩体结构受力分析上都会对围岩产生扰动,引起围岩应力的重新分布,达到新的自我稳定平衡状态,形成应力拱圈。对于软岩隧道,其塑性屈服破坏状态范围较大,自稳平衡状态所需的应力拱圈半径更大,因而隧道初支承受的荷载就更大。

(2)开挖工法不适应围岩的地质条件,不能有效地控制变形。选择开挖工法时,原则上应在确保安全的前提下从简单到复杂,尽量减少开挖步骤。较复杂的开挖工法主要表现在上、中、下台阶及仰拱等工序交叉施工,因其工序施工时间长,不能及时封闭成环,增加了初支的变形时间^[3]。

(3)封闭不及时造成围岩风化。围岩揭露后对其岩面未及时封闭,软岩在空气和水的作用下加快了风化,增大了松动圈的范围,降低了围岩强度;同时,初支若未及时封闭成环,将不能充分发挥环状支护结构的承载能力。

3 控制软岩大变形的主要措施

针对他白依隧道软岩大变形的变形原因及特点,经过项目部在现场反复研究和实践,主要从如何降低施工对围岩的扰动、提高围岩自身承载力以及从施工工艺上缩短工序作业时间、快速封闭成环、减少围岩变形的时间等方面采取了相应的控制措施,制定了“超前预报、少扰动、短进尺、加大预留量、先放后抗、加固围岩、勤量测、及早封闭初支成环并及时施作仰拱、跟紧二衬”的总体处理原则。

(1)超前地质预报。施工现场时常会遇到实际开挖揭露的地质情况与施工图中的地质情况存在较大的差异,进而引起技术措施和施工方法的变化。因此,施工阶段必须进行超前地质预报工作。超前地质预报主要采用地质素描、物探、超前钻探等方法。在破碎带和断层路段加强超前长、短钻孔,及时探明隧道前方的地质情况,特别是地下水的发育情况,严禁在未探明情况下盲目开挖。

(2)减少施工扰动,提高围岩的自稳性。施工过程中,应尽量减少诱发围岩变形的不利因素,控制围岩变形发展。一是采用超前大管棚、

超前帷幕注浆、超前小导管等预加固措施,对软弱破碎且富水段围岩进行主动加固;二是对于围岩破碎、自稳性差的段落宜采用三台阶预留核心土工法开挖,短进尺、及时封闭成环;同时,为尽量减少施工对围岩的扰动,将原钻爆工法调整为铣挖法施工^[4]。

(3)开挖短进尺,初支快速封闭成环,紧跟二衬。施工中应尽量减小单循环开挖长度,单循环开挖长度应不大于 1 榀拱架。缩短单循环作业时间以减少围岩变形的时间效应。每循环开挖完成后,立即对岩面喷射 4~6 cm 厚混凝土封闭,以减少岩面暴露在空气中的时间,防止围岩风化崩解。根据对监控量测数据进行的分析得知:当初支封闭成环、仰拱浇筑完成后,初支变形速率明显减弱。因此,在施工过程中应合理安排施工工序、缩短工序搭接时间,尽早封闭仰拱;同时,为紧跟二衬结构,采用 7.5 m 长钢模台车浇筑二衬混凝土,可有效缩短安全步距。对于软岩大变形隧道,为控制初支变形侵限,应将隧道安全步距尽量控制在仰拱距掌子面 25 m,二衬距掌子面 35 m 的范围内。

(4)合理预留变形量,动态调整支护参数。目前,根据对该隧道前期已掘进段落监控量测变形数据的分析与总结后得知:放大预留变形量是控制变形、防止初支侵限的一种有效方法。为使初支在封闭成环前有足够的变形空间,对预留变形量进行加大调整,做到“先放”。结合局部洞段出现不对称变形的情况,采用了左、右侧不均衡性预留变形量的方式。同时,根据初支变形的时间~变形曲线,按照上导变形速率最快将预留量放大至 80~100 cm,将中导预留量适度调整至 50~60 cm,下导预留量调整至 40~50 cm。为抵抗并减缓周边围岩对初支结构产生径向剪切应力引起的变形,在施工过程中,适时调整支护参数以加强初支纵向与环向的刚度,做到“后抗”。加强初期支护的环向刚度,采用 I25 a、1 榀/0.5 m 封闭成环;同时,为加强初支纵向刚度,在钢架连接板处增设纵向 I14 型钢连接。

(5)采用径向注浆加固围岩。每循环初支完成后,立即进行径向注浆加固,让浆液充填岩石空

隙,使围岩与浆液组成密实连续体,有效地改善岩体的受力结构,增强围岩的自稳性,且径向加固的拱圈半径宜大于塑性变形区的厚度。考虑到仰拱下卧层软弱基础的因素,径向注浆环向范围应包含仰拱范围。注浆管采用 $\Phi 42$ 钢花管,间距采用 1 m \times 1 m,梅花型布置;对于正常软岩变形段其径向防护拱圈的有效半径可取 4.5 m;对于极软弱围岩且富水段落其有效半径可取 6~8 m。

(6)强化锁脚及脱空处理。钢架锁脚锚管的打设角度、锚管的根数、深度及尾端与钢架的连接节点是控制软岩大变形的重点控制环节。结合隧道作业空间因素的影响,锁脚锚管采用 $\Phi 76$ 、长 6 m 的钢管,打设角度为 45°,对初支沉降、收敛变形控制均具有良好的效果。软岩开挖后,其周边围岩自稳能力差,掉块、滑落、初支拱背脱现象较严重,为防止软岩松动圈范围加大,应对钢拱架背后或顶部的空腔喷混凝土填充,以确保初支结构能尽早与周边围岩形成共同作用力拱圈。

(7)加强监控量测,科学分析数据。监控量测是软弱围岩隧道安全施工的“眼睛”,是判断结构稳定性、指导软弱围岩隧道安全施工“最重要”的信息化手段。该隧道每个监测断面设 5 个位移量测项目:拱顶下沉、拱腰收敛、拱脚收敛、墙腰收敛、仰拱隆起,每 5~10 m 布设一个断面。当有渗漏水时宜适当加密,在初支完成后 4 h 内布置埋设点,于 12 h 内读取初始读数,每天至少进行一次监测,可根据变形情况增大量测频率,根据量测数据进行分析,判断围岩的变形情况是否处于正常状态,从而为施工安全和支护参数的确定提供科学的依据。^[5]

(8)采用四新技术,投入新设备。他白依隧道施工过程中,将超前地质预报工作纳入工序管理,同时采用卡萨格兰地 C6XP-C 多功能钻机进行超前钻孔详细探测前方围岩地质情况及赋水情况,为超前地质预报提供详细准确的地质资料。C6XP-C 多功能钻机可实现隧道内不同类型地质条件下的超前地质预报、超前管棚支护施工、钻注一体施工、高压旋喷、锚杆、锚索及岩石取样等施工。该钻机不仅功能强大,而且钻进长度大、效率高,对软岩大变形隧道超前探孔和围岩加固施

工能起到事半功倍的效果;同时,投入了机械臂湿喷台车,其喷混凝土作业效率高,能及时封闭围岩,同时减少了洞内作业人员,确保了施工安全。

4 结 语

他白依隧道软岩大变形段落占比较高,风险等级评估为Ⅳ级,变形控制成为该隧道掘进施工的重难点。通过该隧道软岩大变形段落的变形控制实践,笔者总结出以下施工技术措施:

(1)加强监控量测位移数据管理,对位移数据进行科学分析并适时采取相应的加强措施,这是控制软岩大变形首要的技术手段;

(2)放足预留变形量,做到“先放”“允许变形”是目前控制软岩大变形的一种有效手段;

(3)对软弱围岩塑性变形区域进行径向注浆加固,加强了围岩的自稳性,改善了周边围岩的塑性变形状态并使其达到弹性应力分布状态,是控制软岩大变形、减少产生变形内部因素的根本方法之一;

(4)改变工法、动态调整支护参数,减少围岩

扰动,做到“后抗”是控制软岩大变形、减少产生变形外部因素的重要方法之一;

(5)科学管理、合理地安排施工工序、紧凑工序搭接、尽早封闭仰拱、二衬结构,能够有效控制变形。

参考文献:

[1] 何满潮,景海河.软岩工程地质力学研究进展[J].工程地质学报,2000,8(1):46-62.

[2] 朱训国,杨 庆.膨胀岩的判别与分类标准[J].岩土力学,2009,31(增2):174-177.

[3] 邵大鹏.软岩大变形隧道成因分析及控制施工技术[J].四川建材,2013,39(3):136-138.

[4] 张顶立,王梦恕,高 军.复杂围岩条件下大跨度隧道修建技术研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(2):290-296.

[5] 雷 军,张金柱,林传年.乌鞘岭特长隧道复杂地质条件下断层带应力及变形现场监测分析[J].岩土力学,2008,29(5):1367-1371.

作者简介:

丁燕方(1985-),男,安徽淮北人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

中国水电十局有限公司在蓉召开施工技术交流会

11月25~26日,公司2020年度施工技术交流会在成都地铁19号线土建工程项目经理部如期举行。公司党委书记、董事长何其刚,总经理陈勇,副总经理兼总工程师陈茂,副总经理高建,工会主席向学忠出席会议。公司各分局在建项目技术人员共计130余人参加。会议由公司副总工程师、工程管理部主任苏小明主持。

会上,何其刚董事长对公司技术创新工作提出六点要求:一是系统谋划公司“十四五”科技创新规划与布局,明确市场需求,聚焦技术和管理短板,强化对各单位、项目部技术创新工作的指导,形成技术驱动型核心竞争力;二是持续加大关键核心技术的攻关力度,以产业升级为契机强化重点业务特别是新兴业务高质量发展的技术和人才供给,提高市场适应能力;三是持续推进技术成果转化,加大重大专项成果的应用与推广力度,加快先进技术、方法及工艺在公司的广泛应用,不断提高工程的技术含量;四是积极推动信息化深度融合,要学习、探索、研究大数据、BIM等先进理念和技术,探索建立工程数据一体化平台,不断提高公司对项目的管控能力;五是建立健全创新评价和激励机制,实施突出技术创新导向的绩效考核评价和激励政策,加强对技术创新的政策倾斜和资金扶持,把科技创新政策用好、用活、用到位;六是坚持初心使命,全面加强党在企业创新发展中的核心领导作用。

何其刚董事长强调:当前,公司正处在转型升级的关键时期,要实现增长方式的转变,提升公司的核心竞争力,必须重视技术创新的根本动力,营造出公司“学习新技术、用好新技术、推广新技术、创造新技术”的氛围,以领先适用技术与管理创新为驱动,推动公司不断向技术密集型、管理密集型企业的转型升级,打造国际一流的质量效益型综合建筑服务商。

谈到将技术创新转化为生产力,陈勇总经理指出:一是要强化技术创新工作,以技术创新促进效益、特色、质量、安全等工作的提升,加强对重点业务、战略性新兴业务等方面技术人才的培养,切实增强公司的技术竞争力;二是要围绕提质增效,切实开展技术创新和施工管理工作,强化对技术成果的推广应用,侧重于服务现场,帮助重点项目理清思路,制定整改措施,提升项目履约质量;三是要切实推进技术总结和创新工作,及时总结施工过程中先进的技术方案和经验,将其提升为省级、国家级工法和专利技术;对于已经具有的成熟的管理经验、技术工艺和标准规范,一定要认真遵守,将其切实应用到施工实践中去,实现技术与质量、安全的协同发展。

陈茂副总经理围绕公司提质增效工作对公司的科技进步工作和技术管理工作等方面提出了具体的要求。与会代表结合《低瓦斯地层地铁区间盾构机适应性和可靠性研究与应用》《新建地铁车站大断面下穿既有地铁车站暗挖及沉降控制研究与应用》等18篇优秀论文,围绕公司“四新”技术成果和先进的施工技术经验进行了交流探讨。会议期间,全体代表参观了成都地铁19号线土建工程项目工区。

(供稿:李林峰 张娜)