对西康铁路软岩和极软岩隧道支护的认识

郑 伟 (铁道部第一勘测设计院,西安 710043)

摘要:西康铁路沿线软质岩带在秦岭以南分布较广。在软质岩带集中出露的地段,地质情况复杂,隧道围岩稳定性差,其工程地质特性随着岩层矿物质成分、产状、风化程度、地下水赋存特征的不同有很大差异。本文介绍了西康铁路南段软岩和极软岩带的设计指导思想,并结合西康线具体情况,具体分析了软岩极软岩对隧道施工的影响,对该类地层铁路隧道的设计、施工,提出几点建议,作为今后工作的借鉴。

关键词:软岩和极软岩;隧道;围岩支护设计;支护施工措施

中图分类号:TU457 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-3665(2001)04-0040-03

Abstract: Soft rock area distribute extensive at south area of Mountain Qin. Which Xikang railway go through. At the area of soft rock revealing, geological condition is very complexity, tunnel 's wall rock is unstable, Their geological features are greatly different because of vary kind of mineral element, rock occurrence, degree of rock weathering, character of underground water. Focusing on those point of soft rock 's character, this paper we introduce designing guidance ideology of tunnel timbering at flexible rock and special flexible rock area, and analyse soft rock infection to tunnel construction in detail. At the same time, author tries to bring forward some suggestions used for reference.

Key words: flexible rock and special flexible rock; tunnel timbering; wall rock timbering design; timbering construction

1 概况

西康铁路沿线软质岩带在秦岭以南分布较广,在软质岩带集中出露的地段,滑坡错落发育,地质选线对斜坡不良地段均作了绕避,绕避工程以隧道为主。长哨 – 安康东隧道占线路总长约 62%,隧道洞身围岩多为千枚岩和片岩组成的软岩带。当有地下水时,这些软质岩带围岩稳定性差,基底泥化严重,尤其是炭质、纯泥质极软岩带,在地下水的作用下,其强度迅速减弱,在施工中不断发生拱部坍方、边墙溜坍、支护变形、衬砌开裂等现象,对隧道工程的设计和施工有很大影响。因此加深对软岩和极软岩的工程特性的认识,总结设计、施工经验,有助于我们完善在此类地区的设计、施工。

2 软岩、极软岩的工程地质特性及支护设计

2.1 软岩、极软岩的工程地质特征

软岩主要指物理力学性质较低的、以粘土矿物和以云母为主的岩石,它的极限抗压强度一般小于 30MPa[1]。西康铁路的软岩主要包括绢云母千枚岩、泥质千枚岩、石英云母片岩,地形上显示缓坡。钙质千枚岩、石英片岩等硬岩,岩质较硬(岩块极限抗压强度 ≥ 3MPa),受构造影响岩体节理发育,节理宽张,节理面上有泥质物充填,岩体间结合力大大降低,工程地质性质与软岩相当,在洞身开挖临空的情况下,易发生层间剥落、掉块,顺层滑坍。一般软质岩在未受构造和地下水影响时,围岩类别为Ⅳ ~ Ⅲ类,反之为Ⅲ ~ Ⅱ类[2]。赵湾以南软岩带出露厚度较大,一般为数百米到几公里不等,大部分隧道处于软岩带中。

极软岩主要是指矿物成分以粘土、炭质和绢云母水云母为主的岩石,它的极限抗压强度一般小于 5MPa[1]。西康铁路的极软岩主要为碳质片岩、碳质千枚岩、泥质千枚岩、云母片岩、绢云千枚岩以及断层破碎带中的断层角砾和断层泥等,其中断层角砾、断层泥砾存在于大断裂、小断层和长大节理带中,呈切层分布,其余为顺层分布。其宽度从几米至数百米不等,分布在长大节理面上的极软岩层,最薄的厚度可以毫米计。极软岩一般呈泥状或角砾状,结合力极弱,易构成不良地质体及不良地质界面(如滑带、滑床),隧道洞身遇极软岩带时,易发生顺层滑坍和掉块,地下水多的情况下可产生流泥现象。洞身长段落顺软岩带走行,洞身开挖后,空间效应明显,易产生蠕动变形,引起支护

收稿日期:2000-06-08;修订日期:2000-10-25

作者简介:郑伟(1968-),男,工程师,从事工程地质工作。

万方数据

破坏,引发坍方,增加施工难度。极软岩在无水状况下具有相当于Ⅱ类围岩[2]的工程特性,在有水和水量较大的情况下,有相当于Ⅰ类围岩的工程地质特征。

2.2　软岩、极软岩带的隧道设计

针对软岩带和极软岩带岩体软硬不均、层间胶结差、围岩自稳时间短、岩质较弱、基底承载力低及易泥化的特点,本线隧道设计规定一律采用曲墙带仰拱的衬砌形式,根据隧道设计技术规范和铁路隧道喷锚构筑法技术规则的要求,并结合西康线具体情况,对 2km 以上隧道采用复合衬砌,2km 以下隧道采用模筑衬砌设计。初期支护和施工支护均采用 200 号喷砼和系统锚杆支护,对于Ⅰ、Ⅱ类围岩地段一般采用先支护后开挖的原则,采用四边形格栅钢架和 φ42 小导管(或 φ22 锚杆)超前支护,复合衬砌的Ⅲ类围岩采用三角形格栅钢架。格栅钢架间距 0.6 ~ 1m 榀/米,永久衬砌采用 200 号砼模筑衬砌。建议采用先墙后拱法施工,设计参数见表 1。

表 1　围岩支护和衬砌参数表

Table 1　Data of tunnel timbering

围岩类别	模筑衬砌		复合衬砌	
	喷混凝土	衬砌(最大跨度)	喷混凝土	二次衬砌
Ⅰ	网喷 15cm	85cm	网喷 20cm	40cm
Ⅱ	网喷 10cm	75cm	网喷 15cm	35cm
Ⅲ	网喷 7cm	65cm	网喷 10cm	30cm
Ⅳ	素喷 5cm	40cm	素喷 8cm	25cm

表 1 中Ⅰ类围岩复合衬砌参数是堰岭隧道、吕河隧道洞身穿越的极软岩集中地段采取的特殊设计。

3　施工实例

3.1　软岩地层施工实例

吕河隧道位于汉江北岸谷坡,左邻襄渝铁路吕河隧道,线间距 40 ~ 80m,隧道进口洞身穿过云母石英片岩,云母含量较高,局部夹炭质片岩,原设计为Ⅱ ~ Ⅲ类围岩复合衬砌。因岩质软并发育一组缓倾节理,岩层有少量褶曲,岩层间裂隙水顺片理及节理下渗,软化了围岩,施工过程中,锚网喷初期支护及后续衬砌不及时,导致围岩失稳坍塌,坍方处理中又不恰当地进行清方,给塌方的发展和扩大提供了空间条件,自 1997 年 5 月 21 日 ~ 1997 年 12 月 6 日的六个半月时间内,在 DK215 + 151 ~ 192 范围内连续出现了 3 次大坍方,造成坍体周围岩松动,压力增大,地质条件恶化,+ 138 ~ + 157 已做的二次衬砌严重开裂,地表出现环形裂缝。既有的吕河隧道进口 60m 范围内发生变形掉块,严重影响新线施工和既有线的行车安全。据了解,既有的吕河隧道在同一里程处(两线相距 45 米)施工中也出现过大坍方,经调查分析认为新线和既有线坍方互相影响,已连成一体(围岩松动范围见图 1),根据围岩松

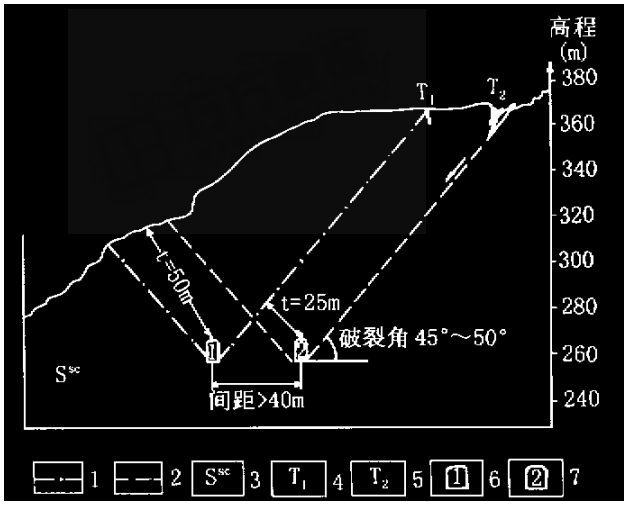

图 1　吕河隧道坍方围岩松动范围示意

Fig.1　Losse area of Luhe tunnel's wall rock

1 – 襄渝铁路塌方应力调整围岩松动区;2 – 西康铁路应力调整围岩松动区;3 – 云母片岩云母石英片岩夹薄层炭质片岩;4 – 七十年代初地面裂缝(访问);5 – 1997 年 10 月地面裂缝;6 – 襄渝铁路;7 – 西康铁路

动恶化的状况,在通过软弱围岩及坍方地段时,采用喷砼封闭软弱围岩和坍方体,采用 φ40 小导管超前支护,拱部或全断面双液预固结地层,短台阶开挖,结合喷锚支护措施增设 3 榀/2m 或 1 榀/1m 正方形格栅,强行通过了坍体和软弱围岩地段,加强衬砌,拱部衬砌背后压浆,以确保结构安全。为保证既有线的行车安全,对其破损的隧道也予以适当加固。

3.2　受结构和构造影响的软岩带施工实例

黄草坡隧道位于旬河右岸,洞身通过处,旬河岸边阶地的基座陡坎和隧道进出口出露的岩层为较硬的钙质千枚岩夹灰岩,岩性均较好,风化程度较低,围岩类别可达Ⅲ ~ Ⅳ类。施工揭露发现,隧道实际通过一个宽缓的区域倾伏向斜,隧道进出口(含阶地基座陡坎)的钙质千枚岩夹灰岩处于倾伏向斜的两翼,而隧道中部所通过的倾伏向斜的轴部是岩质软弱的泥质千枚岩。线路走向与岩层走向基本平行,软弱岩带层间胶结极差,易发生顺层滑坍。隧道距位于其东部的区域性断层 F_{46} 仅 400 ~ 500 m,受其影响,洞身岩层多有挤

万方数据

压、揉皱现象,并且北东向张节理及小正断层发育,岩体的完整性极差,隧道开挖遇不利结构面组合的情况时,极易坍塌。加之施工中围岩暴露时间长,施工支护和衬砌没有及时施作,施工积水及围岩渗水疏导不利,浸泡拱脚,软化围岩,从而多次引发坍方,在 Φ40 小导管双液注浆固结坍碴后,以格栅钢架配合超前管棚采用边支护边清方、快衬砌的措施通过坍体,但影响了施工进度,增加了施工投资。

3.3 极软岩带施工实例

堰岭隧道进口处有区域断层 F_{47}通过,断层带内的断层泥砾和两盘构造影响严重的泥质千枚岩、炭质千枚岩夹钙质千枚岩岩带,构成宽达近千米的极软岩带,设计为Ⅰ、Ⅱ类围岩复合衬砌,迈式锚杆或小导管配合钢架超前支护,双液注浆加固地层。1996 年 4 月开始进洞,采用短台阶法施工,由于岩质破碎松散,构造裂隙水发育,围岩遇水软化后呈泥状,无自稳能力。局部曾用横撑支顶,试图控制收敛变形,仍造成部分初期支护侵限。为此调整施工方法,改用微台阶留核心土法施工,上台阶采用双台阶,台阶宽度 1 ~ 2m ;挖装机配合人工开挖。隧道开挖一旦形成临空,周边围岩压力迅速释放,岩体变形较大。有些地段网喷砼等初期支护施作后,因承受不了持续增长的围岩压力,变形无法收敛。在地下水较大段落,围岩收敛无法稳定时,采用初期支护拱部增设系统锚杆和锁脚锚杆,提高支护和围岩支护共同变形能力 ;采用仰拱超前紧跟下部掌子面,以控制隧道边墙和底部变形 ;在增加初期支护强度的基础上,适当提前二次衬砌时间 ;对初期支护变形大、收敛快地段的二次衬砌中增设格栅钢架,予以加强 ;对水量集中地段采用导管,集中引排,以减少对拱脚和墙脚岩体的浸泡等措施,并加强科学管理,正常有序地解决克服了极软岩施工中的难题,施工中未产生坍方,进度也稳步上升,于 1998 年 6 月顺利通过该地段。

4 分析与对策

综上所述,西康铁路隧道工程所遇到的软岩带和极软岩带,从岩性和构造上大体有以下 3 种类型 :其一,是由岩体岩性控制的软岩带,岩体为软质岩石,主要矿物成分为云母、粘土矿物,岩块整体强度低,施工开挖后,松动圈迅速扩大,围岩压力增高而产生较大变形,甚至坍方,如八亩坪隧道中部和吕河隧道进口 ;其二,是受结构构造影响的岩体,岩块强度较高,岩体节理裂隙(尤其是张节理)发育,岩体呈块状或碎裂状不连续介质,岩体强度受软弱结构面及地下水控制,稳定性差,隧道开挖临空后,易突然出现沿结构面的崩坍、破坏,直至引发大坍方,如金龙沟隧道。其三,是极软岩带,多为风化严重和受构造严重影响的软质岩,岩质松散破碎,在地下水的作用下,泥化严重,自稳能力极差,时间效应明显,开挖后如不及时采取有效制止岩体应力迅速增长的支护措施,该地层会在短时间内由弹性变形发展为塑性变形,直至岩体整体结构破坏,如堰岭隧道进口和殿沟隧道极软岩带的施工情况。

通过实践证明,整体岩性软弱的软岩带,其中的地下水、施工用水对洞身基底泥化的影响较大,设计中应超前评估、充分认识,提前设计应对措施,如曲墙加仰拱的衬砌形式,各种有效的喷锚支护、超前支护措施(超前锚杆、超前小导管)、仰拱加厚和提前施做的施工方法,及对地下水的引排处理,这样可以有效地防止由施工开挖后松动圈的迅速扩大而引发的坍方。

对于受结构构造影响严重的钙质千枚岩、石英片岩等较硬岩体,应充分认识节理、片理、小断层等结构面与隧道轴心线的关系和因此产生的构造偏压对衬砌和施工的影响。此类岩体衬砌应适当加强,施工中加强锚网喷支护,将块状岩体沿开挖轮廓与围岩结合成整体,构成较为稳定的‘自然拱”,防止突发性滑塌。对于结构面中泥质夹层较多的围岩,必要时增设超前锚杆或超前小导管配以格栅钢架来保证工程施工和使用功能。施工过程中,开挖临空面应及时喷拱封闭,根据其结构面的产状和间距,调整锚杆的密度、长度和格栅间距。及时处理小坍方,控制围岩松动圈的扩大,以避免进一步恶化地层的稳定性。

对极软岩的施工,严格按规范和设计要求施工,应采用短开挖留核心土、超前支护、提前施作仰拱、强衬砌、及时封闭等施工方法。重点应注意仰拱超前应紧跟下部掌子面,以控制隧道边墙和底部变形 ;施工中必须加强地下水的疏导和集中引排,以避免对拱脚、墙脚围岩的软化 ;而超前预注浆加固地层可有效改善和提高围岩的工程性质,阻断或减少地下水对围岩进一步软化,是对多年来先挖后支护施工方法的极大改进。

参考文献:

[1] 铁道部第一勘测设计院.铁路工程地质手册[M].北京 :中国铁道出版社,1975.

[2] TBJ.12 - 96.铁路工程地质技术规范[S].

万方数据

编辑 张明霞