

山区隧道穿越韧性剪切带的地质条件探讨*

王建鹏

(中铁第一勘察设计院集团有限公司 西安 710043)

摘要 研究了山区铁路隧道穿越脆韧性剪切带(断裂带)及与其次生的韧性剪切带时设计及施工围岩分级问题。从几何、小构造、运动形迹、组构特征、构造岩、糜棱岩、同变形变质及机械作用等方面探讨韧性剪切带特征,从宏观、微观、野外研究及测试、施工类比总结其围岩分级,对比韧性剪切带(脆韧性及韧脆性)与节理密集带内岩体的工程性质及工程设计的围岩分级的异同。确定了山区隧道通过韧性剪切带时应单独研究这种无明显破裂面围岩带的分级评价因素、评价结论和围岩分级原则,设计和施工需特别注意。可供构造带复杂山区类似工程参考。

关键词 韧性剪切带 特征 构造带 围岩分级原则

中图分类号:U452.1⁺1 文献标识码:A

GEOLOGICAL CONDITIONS OF DUCTILE SHEAR ZONE EXPOSED BY MOUNTAIN TUNNEL

WANG Jianpeng

(China Railway First Survey and Design Institute Group Ltd., Xi'an 710043)

Abstract The paper solves rock mass classification problem for design and construction of a railroad tunnel through the brittle ductile shear zone(faults) and its secondary ductile shear belt in mountainous area. It discusses the characteristics of ductile shear zones including the aspects of geometry, structure, movement track, tectonic, deformation and metamorphic mylonite, and mechanical action. It summarizes the construction surrounding rock classification from the aspects of macroscopical, microcosmic, field research and testing, analog, and compares engineering properties of rock mass and engineering design of the classification of surrounding rock between ductile shear zone(brittle ductile and brittle) and joint concentrated zone. Based on these results, the paper concludes that the mountain tunnel by ductile shear zone should be studied separately, especially on rock mass classification indexes and surrounding rock classification principle. Special attention should be paid on its design and construction.

Key words Ductile shear zone, Features, Tectonic belt, Surrounding rock classification principle

* 收稿日期:2013-01-20;收到修改稿日期:2013-05-28.

第一作者简介:王建鹏,主要从事铁路工程地质勘察设计工作. Email: 344541195@qq.com

1 引言

韧性剪切带 (ductile shear zone) 又称韧性断层, 这种带状展布在地壳一定深度下的高应变带, 是地表脆性断层向地壳深部延伸的部分, 与地表脆性断裂组成断裂的双层结构模式。20 世纪 70 年代以前集中于构造框架下的板块研究和接触带研究, 研究地壳的形成与演化, 我国主要为高等学校地质系和区域地调队的科研项目研究, 为理论概念研究阶段。引起了国际地质学界对韧性剪切带广泛关注的研究起于 20 世纪 70 年代初, Ramsay 和 Graham 系统地介绍了他们对韧性剪切带的研究成果; Sibson 对糜棱岩形成机制的再认识更是掀起对韧性剪切带及其显微构造强烈而持久的研究热潮^[1]。20 世纪 80 年代国际岩石圈计划中大陆造山带尤其是韧性剪切带的研究和大洋脊研究具有同等重要的意义。20 世纪 90 年代以来, 韧性剪切带的研究已进入到一个新时期, 其研究内容集中在以下几个方面: 剪切带几何学研究, 带外岩石有无变形和带内有无体积变化, 进而分类^[2]; 带内糜棱岩组成及其形成机制研究^[3, 4]; 组成物质及元素迁移及活化转移应力级别研究; 应力应变环境研究; 剪切带内组分活化、转移与应力的关系研究; 用现代激光分析技术与计算机模拟研究糜棱岩化过程与能量转换为生产实践服务是最新研究动向, 目前韧性剪切带作为大陆上研究最全面、最深入和详尽的构造带, 已经成为研究地壳运动规律及大陆山链岩石圈变形构造动力学的重要内容^[5]。其深入的理论研究的实践应用价值还不明显, 特别是韧性剪切带在工程中出现, 并且其天然条件通过施工改变后出现的应力应变环境调整、应变及能量转换, 这些新的表现诱发开挖韧性剪切带时的岩石大变形, 隧道难支护等工程问题。韧性剪切带中的隧道施工论著鲜有论述, 隧道穿越韧性剪切带时的工程地质应用还没有形成体系。在山区铁路隧道工程中, 地质报告及设计中常常提到隧道通过“断裂带”的情况, 其实侧重研究了有明显表现、区域特征及测试特点的韧性剪切带脆性断裂部分, 对岩石在塑性状态下发生连续变形的狭长高应变带的浅部表现研究得少, 其实, 一条断层在地壳上部是脆性变形而到下部深层则变为塑性变形, 断层由脆性断层变为韧性断层。经过造山抬升剥蚀, 在近地表也有表现, 大多数论述对韧性剪切带 (韧性断层) 浅部表现未做深入细致研究, 但工程实践中

是能碰到韧性剪切带的。随着铁路建设的发展, 隧道设计长度和埋深不断增大, 碰到深部的塑性变形带越来越多, 这类韧性变形带的特点是在露头上一般见不到不连续面, 两盘的位移完全由岩石塑性流动而成, 似断非断, 错而似连, 剪切带中的矿物组分, 粒度和标志层都发生一定程度的变化。但是, 在施工掌子面上常常表现特殊。例如, 我国山岭铁路已通车的第一长隧道——乌鞘岭隧道, 通过由 4 条区域压性断层 (宽度合计 1587m) 构成的岭脊 8km 宽大挤压构造带, 穿越的构造岩带部分其实就是韧性剪切带, 剪切带累计长度大, 施工难处理; 南疆线土库段增建二线中天山岭脊段、岭中隧道洞身及洞顶多处分布的褶皱构造核部的构造带, 其实也是韧性剪切带; 兰渝铁路正在施工的隧道掌子面上, 韧性剪切带频繁出现, 表现为糜棱岩和构造岩大量出现, 岩石的变形伴随着破裂带中密集的碎裂流出现, 在摩擦—黏滞条件下的糜棱岩化流变可以使岩石中的软硬矿物发生不同程度的蠕变和破裂滑移^[6], 产生碎裂糜棱岩。这些应力应变复杂地段成为软岩大变形的主要段落。因此, 从施工开挖的实际表现研究韧性剪切带的地质特征, 从几何、小构造、运动形迹、组构特征、构造岩、糜棱岩、同变形变质及机械作用等方面探讨韧性剪切带特征, 从宏观、微观、野外研究及测试研究, 特别是综合围岩分级, 为山区隧道穿越韧性剪切带时设计人员怎样考虑地质条件提供建议显得非常重要, 解决韧性剪切带施工工程地质问题是其迫切的研究方向和价值所在。研究结论要用于实践, 并通过工程实践验证, 才有意义。

2 概况

阳安二线蒋家山隧道位于大巴山西脉米仓山中低山区, 进口位于阳平关东侧嘉陵江东岸, 出口位于既有线代家坝车站北侧约 220m 处, 走向与区内阳—勉大断裂 F_1 基本一致。 F_1 断裂带呈 NEE 向延伸, 为秦岭与米仓山 (大巴山支脉) 的分界线, 板块构造上为华北板块秦岭褶皱带与扬子板块的碰撞接触界线, 该接触界线在南秦岭东部研究相对深入, 西部情况更加复杂, 研究相对较少 (图 1)。在大地构造单元上隶属于扬子准地台的二级构造单元大巴山元台拗褶断带之北部西段, 包括勉略元古拱起、镇—宁元台拗折断束以及汉中新生代坳陷盆地等 3 个 3 级构造单元。

蒋家山隧道二线越岭方案, 海拔 560 ~ 1100m,

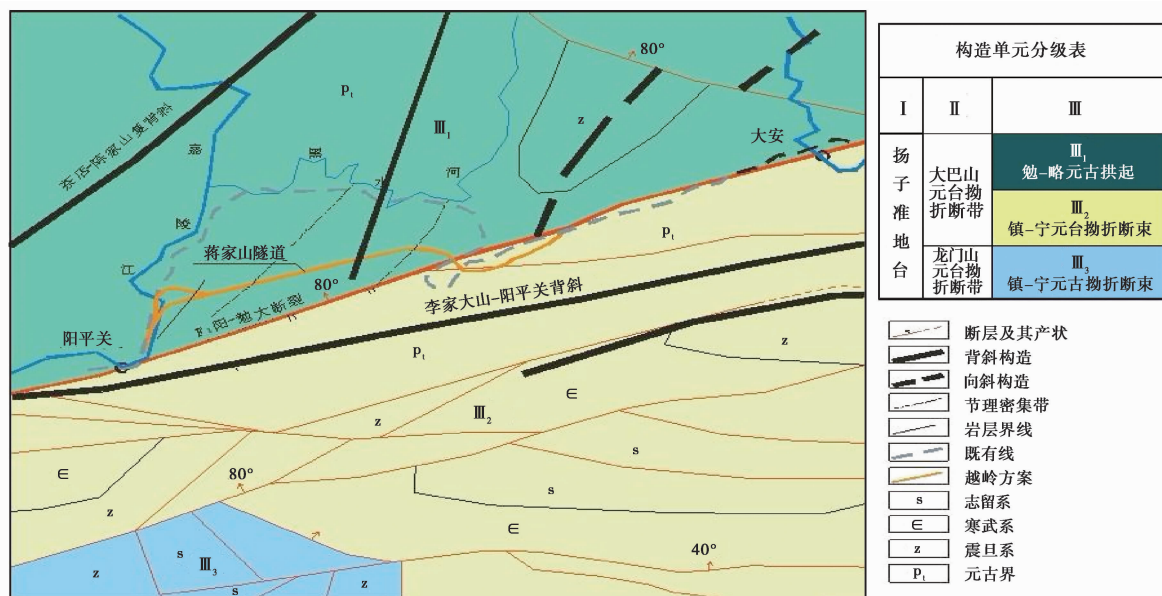


图1 蒋家山隧道穿越韧性剪切带构造刚要图

Fig. 1 Tectonic outline map of Jiangjiashan tunnel through structural outline of the ductile shear belt

相对高差 300 ~ 600m。洞身地表起伏大,自然坡度一般 30° ~ 50°,局部大于 50°;洞身分布有众多小型“V”形侵蚀沟谷,多北西向、北东向展布,为季节性流水沟谷。本越岭隧道左、右线进口高程分别为 586m、893m,出口高程均为 710m。隧道最大埋深约 500m,最小埋深 20m。进口段左、右线绕行,并肩段落长约 6990m。左线起讫里程为 DzK4 + 830 ~ DyK14 + 055,其中 DzK4 + 830 ~ DzK8 + 211.74 段(长 3381.74m)为单绕段落。左线进口段平面位置与既有线魏家梁隧道相通,设计拆除既有线重建隧道。右线起讫里程 DyK4 + 555 ~ DyK14 + 055,全长 9500m,其中 DyK4 + 555 ~ DyK7 + 065.3 段(长 2510.3m)为单绕段落。本隧道共设斜井 4 处,其中左线单绕 1 处,其他段落并肩而行。隧道左、右线共同经过六处韧性剪切带(韧性断裂)及脆-韧性剪切大断裂 F₁。

3 韧性剪切带的形成与演化

阳一勉脆-韧性剪切大断裂及韧性剪切带是南秦岭西部被动大陆边缘演化发展的产物。演化历史可以概括为两个阶段:早古生代加里东期和晚古生代—中生代初海西—印支期。在印支期末,华北与扬子板块间的碰撞造山形成了今天的格局。表现为经历多期次的脆性断裂、韧性剪切、挤压推复的过程,从岩石的组成可以演化出该脆-韧性断裂的发

展历史。

阳一勉脆韧性大断裂所处古被动大陆边缘沉积体系包括从晚元古代、古生代到中生代中三叠统,地层中未见区域性显著角度不整合,在加里东期,汉勉地区发生了以断裂为主的地壳升降活动,调整原有结构并沉积晚古生代地层,晚元古—早古生代,华北和扬子板块分裂扩张,南秦岭地壳发生拉张断裂,形成地垒和地堑隆凹相间的陆缘构造带^[7]。海西期和印支早期,只是加里东期的延伸,也是由张性断裂控制着沉积。

直到印支末期,汉南扬子地块向秦岭带的挤压推进和巴山弧形断裂的自北而南、自东而西的斜向逆掩推复,与东部安康地区有较大区别,又受龙门山构造带自西而东的逆冲推复构造和碧口岩系的挤入使得南秦岭被动大陆边缘原有面貌受到很大破坏,从区域地质发展演化分析,可以看出勉略和汉中地区处于活动大陆边缘过渡邻接地带,又受印支—燕山期自西而东、自北而南、自东而西的多次逆冲推复构造作用,使该区出现很复杂的构造现状。周建勋等^[8]研究了华北—扬子板块主缝合带部位秦岭沙沟糜棱岩带的 P-T-t 演化路径,得出该糜棱岩化阶段处于中-高绿片岩相条件,但与南秦岭大陆边缘沉积岩系变质作用普遍较浅,主要为绿片岩相不同,勉县略阳一带古生界岩层变质可达角闪岩相,这与勉略地区沿阳一勉断裂串珠状分布的超镁铁质岩和碧口蛇绿混杂岩系所代表的复杂构造变动有关^[9]。

蒋家山地区变质程度有深有浅,岩相从绿片岩相到角闪岩相都有,反映不同的构造变动。

勉县—阳平关、勉县—洋县等断裂,经国家地震局测量队监测发现以 $0.01 \sim 0.06 \text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 的速度发生位移,这些断层的活动,使前期形成的岩体节理密集带、韧性剪切带及断裂带自身岩体更破碎、疏松。

4 隧道通过位置的地质情况

隧道经过处各冲沟表层分布有第四系坡、洪积细角砾土及膨胀土,出口分布有断层岩,隧道洞身岩性以中上元古界绿片岩为主,夹有千枚岩、局部有角闪岩及灰岩。

右线进口 DyK4+555 ~ DyK11+200 段,于 DyK5+800、DyK7+500、DyK8+700 处有背斜构造,于 DyK7+500 处穿越背形的一个次级背斜,与背斜夹角 42° ,背斜轴向 $N35^\circ E$,向东倾伏。该段分布有元古界中、上统绿片岩(绿泥石片岩、绿帘石片岩、阳起石片岩、绢云母绿泥石钙质石英片岩等)($Pt_{2,3}^{Sc}$),由于岩层倾角及褶皱轴部的多变性,褶皱核部地层受挤压、地下水等作用的影响,岩体较为破碎。该片岩以绿泥石、绿帘石为主,块状构造,片理发育,层间结合力一般,岩体褶皱普遍发育。强风化层一般厚 $10 \sim 15 \text{m}$,局部大于 20m ,IV ~ V 级围岩,IV 级软石;弱风化,III ~ IV 级围岩,V 级次坚石,片理产状多变,大体呈 NE 走向,向南倾居多。主要的片理为 $N50^\circ \sim 70^\circ E/50^\circ \sim 80^\circ S$ 。节理发育,主要的节理有: $J_1: N55^\circ W/81^\circ S$,节理延伸大于 5m ,间距 $0.2 \sim 0.4 \text{m}$,密闭; $J_2: N35^\circ W/71^\circ N$,节理延伸大于 5m ,间距 $0.1 \sim 0.2 \text{m}$,密闭; $J_3: N30^\circ W/85^\circ S$,节理延伸大于 30m ,间距 $0.2 \sim 0.3 \text{m}$,密闭。

DyK11+200 ~ DyK14+055(出口段),于 DyK11+500 处为背斜构造,分布绿片岩夹千枚岩($Pt_{2,3}^{Sc+Ph}$),岩体揉皱,局部风化面呈枯木状,强风化层一般厚 $10 \sim 20 \text{m}$,局部大于 30m ,IV ~ V 级围岩,IV 级软石;弱风化,III ~ IV 级围岩,V 级次坚石,岩层产状变化大,大体呈 NE 走向,向北倾居多。主要的产状为 $N30^\circ \sim 60^\circ E/40^\circ \sim 60^\circ N$ 。节理发育,主要节理有: $J_1: N50^\circ W/53^\circ N$,节理延伸大于 10m ,间距 $0.2 \sim 0.4 \text{m}$,微张,泥质充填; $J_2: N30^\circ E/65^\circ S$,节理延伸大于 10m ,间距 $0.4 \sim 0.8 \text{m}$,密闭; $J_3: N60^\circ W/80^\circ N$,节理延伸大于 10m ,间距 $0.6 \sim 1.0 \text{m}$,密闭。

于 DyK8+300 附近有角闪岩(φ_0),与绿片岩呈侵入体接触,显晶质结构,细-中粒结构,显条带状构

造,主要矿物为角闪石、斜长石,含少量白云母,石英脉体普遍发育,宽 $3 \sim 10 \text{cm}$ 。岩质坚硬,节理发育。强风化层厚 $2 \sim 5 \text{m}$,IV 级围岩,IV 级软石;完整基岩,III 级围岩,V 级次坚石。岩体产状为 $N44^\circ E/88^\circ S$,主要节理有: $J_1: N16^\circ W/64^\circ N$,节理延伸大于 5m ,间距 $5 \sim 10 \text{cm}$,密闭; $J_2: N81^\circ W/55^\circ S$,节理延伸大于 50m ,间距 0.1m ,张开约 2cm ; $J_3: N60^\circ W/42^\circ S$,节理延伸大于 5m ,间距 $0.1 \sim 0.2 \text{m}$,密闭。 $2^\#$ 斜井出口分布有灰岩($Pt_{2,3}^L$),位于韧性剪切带内,夹于片岩中,层厚 $1 \sim 7 \text{m}$,岩体破碎,岩质软,锤击易碎,V 级围岩,IV 级软石。节理较发育,产状 $N60^\circ \sim 78^\circ E/60^\circ \sim 85^\circ N$,风化层厚 $2 \sim 5 \text{m}$ 。

5 隧道通过的脆—韧断裂带、韧性剪切带及节理密集带特征

5.1 阳—勉脆韧性断裂带(F_1)

该断裂目前表现为一压性、脆韧性逆断层,断层规模大,形成于元古代晚期,至早古生代、中生代、新生代均有活动。浅部露头为脆性表现。 F_1 大断裂是本段线路方案的控制性因素。该断层西起阳平关东嘉陵江南岸,东至勉西,延伸长约 60 余公里,勉西以东隐入汉中盆地。自代家坝—勉西段线路基本平行或者走行于 F_1 断裂带,既有线代家坝至小寨长约 40km 的区间内,多次平行或斜交通过该断层,走行于断层带中的线路长度累计达 10.9km ,增建二线走行于断层带中的线路长度累计达 9.31km 。

断层产状为 $N60^\circ \sim 80^\circ E/75^\circ \sim 80^\circ N$ 为主,局部发生扭转,倾向南。破碎带宽约 $50 \sim 300 \text{m}$,最宽达 320m 。该断层错断了元古界和志留系地层,断层北盘(上盘)岩性以元古界片岩、片岩夹千枚岩为主,岩质较硬,矿物成分以绿泥石、绿帘石、钠长石等为主,含绢云母、石英等,局部可见细小石英岩脉,产状多变,局部夹变质砂岩及千枚岩,风化层厚 $2 \sim 8 \text{m}$,断层南盘(下盘)为志留系千枚岩、千枚岩夹片岩,千枚岩矿物成分以绿泥石、绢云母为主,褶曲发育;片岩矿物成分以绢云母、绿泥石为主,鳞片变晶结构,片状构造。岩层产状多变,大致为北东—北西向,北倾,风化层厚 $2 \sim 8 \text{m}$ 。

断带物质由断层泥砾、压碎岩和碎裂岩组成。 F_1 断层破碎带北边界距线路约 $0.8 \sim 1.5 \text{km}$,出口段(DyK14+040 ~ DyK14+055,长 15m)位于断层破碎带内,该处断层走向与线路呈 65° 交角。构造泉沿断层破碎带呈线状展布。断层上盘多为片岩,性

脆,张性裂隙多,裂隙水一般较发育,岩层受挤压破碎,边坡稳定条件较差。下盘多为千枚岩、变质砂砾岩及灰岩等,多压性裂隙,呈封闭状,隔水条件较好,地下水一般出露较少,边坡较稳定。断层泥砾多分布于上盘,断裂带两侧边缘依次分布压碎岩和碎裂岩。结合钻探及大地音频电磁法(V8)测试,电阻率为 $80 \sim 150 \Omega \cdot m$ 。断层带围岩应为V级,影响带为IV级。

5.2 隧道经过的韧性剪切带特征

阳安二线蒋家山隧道母岩岩性主要为元古界的绿片岩、绿片岩夹千枚岩、角闪岩、灰岩及脆韧性、韧脆性剪切带岩石。隧道洞身除穿越 F_1 脆韧性大断裂外,左、右线主要穿过了6条韧性剪切带(左线1条,右线5条),从右线纵断面看(图2),各剪切带初始形成于深部,受秦岭抬升剥蚀影响,出现在地表或隧道一定的深度,其特征如表1。

依据野外和室内的几何学、运动学、构造学及组构特征研究,结合隧道洞身深孔钻探综合测试,及大地音频电磁法(V8)视电阻率彩色云图(表内为电阻率),电阻率= $100 \sim 250 \Omega \cdot m$ 的蓝色区域的岩心风

化破碎,颜色混杂,主要呈角砾土状,一般划分为V级围岩;电阻率= $250 \sim 750 \Omega \cdot m$ 的绿色区域的岩心呈原岩颜色,构造破碎,岩心碎块状为主,一般划分为IV级围岩;电阻率 $>750 \Omega \cdot m$ 的橘黄色区域的岩心相对完整,呈原岩颜色,岩心以 $30 \sim 50cm$ 的柱状为主,一般划分为III级围岩。

由上表可以看出,DyK9+025 ~ DyK9+265及DyK12+000 ~ DyK12+300段为V级围岩,其余段落为IV级围岩。

5.3 隧道通过节理密集带特征

根据地质调查统计,区内主要发育3组节理,其走向分别为NE、NNE、NW,且以NE向节理密集带最为发育,陡倾,倾角 $50^\circ \sim 80^\circ$ 。节理密集带节理产状与区内各类层状、片状构造的绿片岩、千枚岩岩层的产状一致。大量的野外调查显示,岩层多为中-薄层状,片理发育,云母、绿泥石等矿物沿片理面富集。片理产状受褶皱构造控制,变化较大。岩层产状以NE为主,NW次之,NE向以 $N50^\circ \sim 80^\circ E$ 为主,倾角为 $50^\circ \sim 80^\circ N$,局部为 $40^\circ \sim 80^\circ S$ 。NW向多为 $N25^\circ \sim 75^\circ W$,倾角 $30^\circ \sim 60^\circ N$ 。

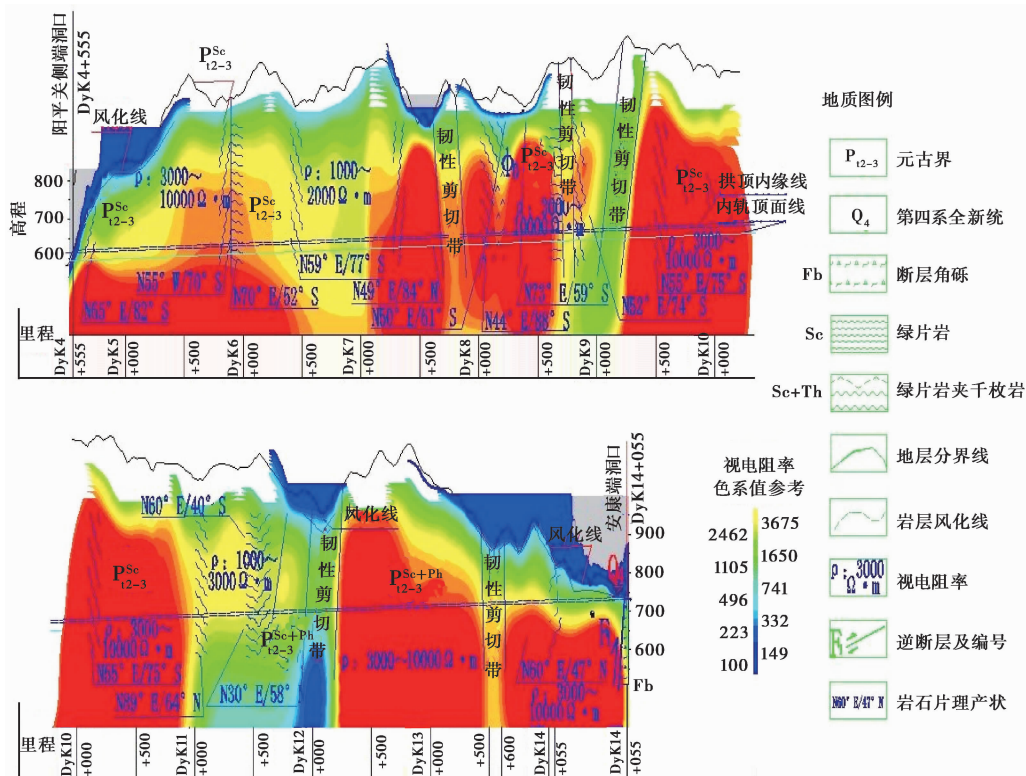


图2 蒋家山隧道右线纵断面

Fig. 2 Right line profile of Jiangjiashan tunnel

表 1 各韧性剪切带特征

Table 1 Characteristics of each ductile shear zone

韧性剪切带 里程位置	构造学		运动学		组构特征		几何学		电阻率 / $\Omega \cdot m$
	形态	小构造	变形	机械作用	岩性	动力变质岩	宏观露头	微观	
DzK6 + 505 ~ DzK6+555	单斜 N25°E/43°S	小揉皱密集	定向拉长	挤压细粒化、 左行剪切	以绿泥石片 岩、糜棱岩化 石英脉为主	糜棱岩化	多覆盖、低 洼负影像特 征, 延伸 2km	定向线理、 面理发育、 压力影、波 状消光	250 ~ 600
DyK7 + 675 ~ DyK7+875	茶店-陈家山 次级背斜 N43°E/88°S,	鞘褶皱	塑性拉长	挤压拉丝状、 沿裂隙重结 晶, 左行剪切	绿泥长英初 糜棱岩、绿帘 长英初糜棱 岩、绢云母长 英初糜棱岩	初糜棱岩	低洼负影像 特征, 延伸 3km	重结晶颗粒 增多, 碎斑 拔丝状, S-C 组构发育、 判定为左行	400 ~ 750
DyK8 + 725 ~ DyK8+815	背斜 北侧 N70°E/10°N, 南侧 N52°E/74°S	层状透 入面理	粒内塑 性变形	挤压左行剪 切	绿帘绿泥石 英初糜棱岩、 石英初糜棱 岩	初糜棱岩	平缓、稍显 低洼, 负影 像特征, 延 伸 1, 5km	重结晶矿物 多, 雁行状 定向排列	350 ~ 750
DyK9 + 025 ~ DyK9+265	单斜 N55°E/74°S,	流动 构造	面理、 线理变形	挤压碎裂, 动 态重结晶	长英质糜棱 岩、绿泥石化 长英质糜棱 岩、绢云母长 英质糜棱岩	糜棱岩	凹陷, 近下 盘具负影像 特征, 延伸 长 1km	基质动态重 结晶为主, 具旋转碎斑 系	100 ~ 250
DyK12+000 ~ DyK12+300	单斜 N50°E/55°N	致密 似层状	重结晶 塑性变形	挤压动态重 结晶, 分异出 浅深条带	绿泥石长英 质超糜棱岩、 绿帘石超糜 棱岩岩、绢云 母超糜棱岩	超糜棱岩	地表覆盖, 局部出露, 负影像特 征, 延伸长 7km	矿物动态重 结晶,	100 ~ 200
DyK12+480 ~ DyK13+620	单斜 N60°E/47°N	变晶结构	粒内塑 性变形	挤压碎基在 晚期静态重 结晶	绿泥石长英 构造片岩、绿 帘石构造片 岩、绢云母构 造片岩	构造片岩	负影像特 征, 延伸长 3km	早期压碎, 晚期静态重 结晶, 具 A 型褶皱	300 ~ 700

节理密集带的一般特征是岩体节理和风化裂隙发育-较发育, 多呈宽张, 部分微张, 间距 0.2 ~ 1.0m, 密集带宽度 10 ~ 50m, 节理面呈褐黄色或灰白色, 有高岭土、绿泥石及矿锈氧化物, 黏土矿物上有擦痕, 岩体破碎, 呈块石状镶嵌结构。较破碎-较完整, 电阻率 = 500 ~ 1000 $\Omega \cdot m$ 。

节理密集带中, 含水层无明显界面, 埋深和厚度不稳定, 富水性差异较大。在岩石较完整地段, 富水性较差; 在岩石节理、裂隙发育段, 富水性较好。综合确定, IV级围岩为主, 局部V级。

6 韧性剪切带的隧道围岩级别

6.1 韧性剪切带围岩级别评价因素及问题

依照围岩岩体或土体特征、岩石坚硬程度、岩体的完整程度、风化程度、纵波速度、电阻率、埋置深度、地下水、高地应力的影响等因素综合评价^[10], 韧

性剪切带围岩的基本分级是V级。这是在准确认定为韧性剪切带的前提下确定出的施工围岩分级。但通常在初步设计时, 因为韧性剪切带在野外难以确认, 岩石组构常常只能划分到变质相, 取样室内磨片鉴定也是以岩性名称及某些主要显微特征为主, 定性判定, 做不到大面积的在正交显微镜及偏光显微镜下的精细研究。通常的地质报告也就综合考虑划分到岩类, 如该隧道的绿片岩、绿片岩夹千枚岩, 有时常常被定为节理密集带。一般无明显的物探异常, 就被定为IV级了。

6.2 韧性剪切带的基本特征

在构造学形态上, 韧性剪切带多表现为背斜或向斜核部, 或一翼, 小构造特发育, 带内带外岩体微构造形态不同。在运动学特征上, 机械挤压作用表现结果和变形机理很特别。在岩石组构特征上, 动力变质岩中的糜棱岩化岩石和构造片岩发育, 绿片岩至角闪岩相均有产出。地表宏观上长呈现平缓或

负影像特征。微观上,颗粒、基质变形,新矿物和压力影的出现,波状消光及面理、线理明显。电阻率均质多小于 $500 \Omega \cdot m$ 。

该段地下水主要为基岩裂隙水,主要分布在节理缝与空隙中,水量较丰富,常以泉水形式排泄。含水层主要为揉皱严重的破碎岩体。因地下水沿韧性剪切带渗透、富集,降低了岩体强度,隧道施工将可能出现突水、涌水现象,埋藏较深的剪切带的地下水具有一定承压性,对隧道施工安全存在较大影响。

隧道有多处挤压性质剪切带,是动力集中的部位,施工时应力重分布表现突出,常伴随软岩大变形。

6.3 韧性剪切带围岩级别评价

韧性剪切带内主要是糜棱岩类,再受地下水、浅埋(破碎)或高地应力(变形大)的影响,开挖后会表现出工程软岩特性^[11],一般IV级支护措施是控制不了变形的。因此,如果有韧性剪切带的特征出现,就应详细划分该工程地质段落,详细确定围岩级别,建议以V级为韧性剪切带的基本围岩分级。对该带内电阻率= $2 < 50 \sim 750 \Omega \cdot m$ 的区段采用V级一般措施,对电阻率= $100 \sim 250 \Omega \cdot m$ ^[12]的区段采用V级加强措施。可与断层带采取同级支护措施,仅措施程度有所差异。对蒋家山隧道韧性剪切带围岩分级及支护措施建议如下(表2)。

7 脆韧性剪切带、韧性剪切带、节理密集带的围岩分级成果

7.1 基本规律

7.1.1 脆韧性剪切带(断层带)

该隧道脆韧性剪切带断带物质由断层泥砾、压碎岩和碎裂岩组成。断层泥砾带基本分级为V级。当含水或应力挤压时,V级加强;当含水,泥化带大于2m时,按VI级设计;断层影响带构造岩带(碎裂岩、压碎岩、构造片岩、糜棱岩部分)基本分级为IV级加强措施。含水或破碎时,V级设计措施;含水、破碎、高应力时,V级加强措施。开挖及支护措

施随含水情况及泥砾带组成等其他因素有所增减。

7.1.2 韧性剪切带

依据韧性剪切带围岩级别评价,糜棱岩化岩石、初糜棱岩、糜棱岩、超糜棱岩、构造片岩基本分级应为IV级加强措施。含水或破碎时,为V级措施;含水、破碎、高应力时,为V级加强措施。可与脆韧性剪切带(断层带)采取同级支护措施,仅措施程度有差异。

7.1.3 节理密集带

节理密集带的围岩分级与岩性及构造关系较大,基本分级为IV级,对工程软岩、含水的较破碎岩体,按V级措施;含水的高应力软岩采取V级加强措施,可采取注浆加固后分步开挖和支护。

7.2 相互关系

脆韧性剪切带、韧性剪切带、节理密集带之间既有联系,也有区别。要以某处的围岩影响因素综合评价。总体上,脆韧性剪切带工程性质最差,其次为韧性剪切带,再次为节理密集带,因影响因素不同,设计和施工围岩分级有时很接近,必须重点关注。

8 结论

山区增建二线,因正线占据了工程地质条件较好的位置,在新标准、有限的地段选择二线更加困难。受地质条件影响较大,应在详细调查了解既有病害及该地区地质构造和岩性特征的基础上,结合方案现场实际情况,采用遥感判释、地质调绘、综合物探、地应力等原位测试、钻探、挖探以及室内试验、磨片鉴定等地质综合勘察方法,重点进行详细山区地质调查和比选,摸清楚各类构造带的性质,结合既有工程设置隧道通过原则。地质报告应重点加强隧道洞身围岩地质条件的综合分析,进一步落实和确定隧道各段的围岩分级。韧性剪切带(韧性断层)不能等同于其周围围岩,应单独研究其分带。报告应说明断裂带、韧性剪切带、节理密集带的围岩分级依据考虑了哪些影响因素,怎样将各构造带围

表2 蒋家山隧道韧性剪切带围岩分级及支护措施

Table 2 Ductile shear zone in surrounding rock classification and support measures along Jiangjiashan tunnel

剪切带位置	DzK6+505 ~ DzK6+555	DyK7+675 ~ DyK7+875	DyK8+725 ~ DyK8+815	DyK9+025 ~ DyK9+265	DyK12+000 ~ DyK12+300	DyK12+480 ~ DyK13+620
围岩分级	V	V	V	V	V	V
支护措施	一般措施	一般措施	一般措施	加强措施	加强措施	一般措施

岩分级基本规律和相互关系应用于设计,采取哪些合理的超前预报、开挖和支护技术。特别是如何采取加强支护或降低地应力等措施控制隧道施工中产生的软岩大变形。为隧道分段出水量确定及可能出现的突泥突水制定对策。

参 考 文 献

- [1] 胡玲. 韧性剪切带研究现状及发展趋势[J]. 地质力学学报, 1996, (3): 8~9.
Hu Ling. The ductile shear zone status and development trend of. Journal of Geomechanics, 1996, (3): 8~9.
- [2] 林传勇, 何永年, 史兰斌. 岩石的韧性剪切和脆-韧性转换变形[A]. 当代地质科学前沿[C]. 北京: 地质出版社, 1992, 183~190.
Lin Chuanyong, He Yongnian, Shi Lanbin. The brittle-ductile transformation during the ductile shearing of rocks. The Frontier of Geosciences. Beijing, Geological Publishing House, 1992, 183~190.
- [3] Sibson R H. Fault rock and fault mechanisms [J]. Journal of Geological Society, 1977, **133**: 191~221.
- [4] Twiss R J. Variable entitiuty piezometric equations for dislocation density and subgrain diameter and their relevant to olivine and quartz; Inmineral and rock deformation laboratory studies. In: Hobbs B E, et al., eds Geophysical Monography, 1986, **36**: 247~261.
- [5] 许志琴, 崔军文, 张建新. 大陆山链变形构造动力学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996, 166~184.
Xu Zhiqin, Cui Junwen, Zhang Jianxin. The Tectonics of Mountain Chains. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996, 166~184.
- [6] Ismat Z Mitra G. Folding by cataclastic flow at shallow crustal levels in the Canyon Range, Sevler orogenl belt, west-central Utah [J]. Journal of Structural Geology, 2000, **23**: 355~378.
- [7] 张国伟, 等. 秦岭造山带的形成及其演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1988, 128~129.
Zhang Guowei, et al. Qinling Mountains Orogenic Belt and the Formation and Evolution. Xi'an: Northwestern University Press, 1988, 128~129.
- [8] 周建勋, 张国伟, 等. 秦岭商丹带沙沟糜棱岩带的显微构造及其(p)-T-t 演化路径的再认识[J]. 地质科学, 1996, **31**(1): 33~42.
Zhou Jianxun, Zhang Guowei, et al. Microstructures and recognition of (p)-T-t path in the Shagou mylonite zone of the Shangdan zone, Qinling belt, China. Acta Geologica Sinica, 1996, **31**(1): 33~42.
- [9] 于在平, 孙勇, 等. 秦岭沙沟韧性剪切带长英质糜棱岩的变形变质作用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1996, **26**(4): 331~334.
Yu Zhaiping, Sun Yong, et al. Qinling Mountains Shagou ductile shear belt felsic mylonites of deformation and metamorphism. Journal of Northwestern University (Natural Science Edition), 1996, **26**(1): 331~334.
- [10] 铁道第一勘察设计院. 铁路工程地质勘察规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2007, 112~113.
The First Railway Survey and Design Institute. Railway Engineering Geology. Beijing: China Railway Publishing House, 2007, 112~113.
- [11] 何满潮, 景海河, 孙晓明, 等. 软岩工程地质力学研究进展[J]. 工程地质学报, 2000, **8**(1): 47~48.
He Manchao, Jing Haihe, Sun Xiaoming, et al. Research progress of geological mechanics of soft rock engineering. Journal of engineering geology, 2000, **8**(1): 47~48.