

浅埋富水软弱围岩隧道支护 受力特征及方案研究

万飞¹, 谭忠盛², 杨森森², 马栋³

(1. 交通运输部公路科学研究所, 北京 100088; 2. 北京交通大学土木工程建筑学院, 北京 100044; 3. 中国铁建十六局集团有限公司, 北京 100018)

[摘要] 依托关角隧道河谷浅埋段, 展开富水软弱围岩隧道支护受力特征及方案的研究。对试验段的初支围岩压力、钢架应力、锚杆轴力、衬砌水压力进行现场监测, 结果表明: 初支应力不能得到有效控制, 突水突泥塌方现象时有发生, 现有的支护方案无法满足浅埋段安全施工要求。在监测数据基础上, 经过综合分析, 对支护方案作出调整。在V级围岩区段, 拱部120°范围设超前管棚和小导管, 宽大节理掌子面超前小导管注浆加固, 初期支护取消系统锚杆, 采用I20型钢钢架和拱墙设双层钢筋网; 在VI级围岩区段, 超前支护采用管棚工作室施作拱部180°及以下1 m范围的0°角长管棚, 全断面超前水平钻孔注浆, 初期支护取消系统锚杆, 采用I20型钢钢架、三台阶型钢临时横撑和双层防水板。研究成果可为河谷浅埋隧道支护方案的确定提供理论依据和基础数据, 为同类工程的设计与施工决策提供借鉴。

[关键词] 隧道工程; 河谷浅埋; 软弱围岩; 支护方案; 现场监测

[中图分类号] U45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)08-0045-09

1 前言

软弱围岩隧道浅埋段下穿河谷通常地下水富存, 裂隙间具较好的联通性, 洞内地下水与地表水联系明显, 且由于围岩软弱破碎, 强度低、透水性大、易变形, 随时都有可能给工程带来塌通、涌水、突水突泥的危险。

合理的支护方案的确定是隧道穿越软弱围岩段的关键所在。目前国内外诸多学者对其进行了大量研究并取得了一些成果^[1-6]。苟定才和黄润秋等^[7]对渝怀线圆梁山隧道冷水河水流进行观测, 研究结果表明冷水河河床在隧道冷水河谷浅埋段存在较大规模的渗漏, 建议施工中采取高压注浆止水措施。张青龙等^[8]基于现场监测资料对富水软岩隧道的变形特性及变形机制进行分析, 认为要尽量

减少对侧墙围岩的扰动, 采取措施对侧墙处围岩进行预先加固, 一次支护应及早封闭, 加强侧墙支护刚度。陈耕野等^[9]对韩家岭四车道特大断面隧道施工进行了应力测试, 认为喷混凝土和锚杆在初期支护结构中, 对围岩变形只起到协同与辅助的支撑作用, 钢拱架和围岩的自承能力起主要支撑作用。

关角隧道进口河谷浅埋段施工中出现了数次突发的地质灾害, 造成停工长达1年之久, 严重影响了工程进度。河谷浅埋段由于隧道与地表河沟有水力联通, 地表径流及降水对洞内围岩影响极大, 洞内围岩岩体破碎、来压快, 往往在未出现大变形的征兆下, 就突发塌方现象。为了获得河谷浅埋段的合理支护方案, 采用现场试验手段, 对围岩压力、钢拱架应力、锚杆轴力、衬砌水压力进行了监测工作。本文在监测数据的基础上, 分析了支护体系的

[收稿日期] 2013-03-26

[基金项目] 铁道部科技开发计划项目重点课题(2008G030-E)

[作者简介] 万飞, 1982年出生, 男, 山东东营市人, 博士研究生, 主要从事隧道及地下工程方面的研究工作; E-mail: dywf5167@163.com

受力特征,并对支护方案进行研究。

2 工程概况

新建的关角隧道是新建青藏铁路西格二线具有控制性、标志性特点的重点、难点工程,正洞总长度为 32.645 km,中铁十六局集团有限公司承担进口段 17.372 km(双线)施工任务,由正洞进口及 7 座辅助斜井(5 座斜井在 1 000 m 以上,最长斜井为 2 808 m)展开施工,正洞、斜井及横通道总长为 47.694 km(单线)。

关角隧道正洞进口海拔 3 447 m,施工经过河沟浅埋段 DYK281+765~282+165,局部埋深不足 40 m,此段围岩主要为志留系变质砂岩夹板岩,以变质砂岩为主,局部为夹板岩及少量千枚岩,变质砂岩占 70%,局部呈不等厚互层状。变质砂岩为中、细粒结构,中薄层状为主,单层厚 10~40 cm;板岩呈粉砂质、泥状结构,岩体受构造影响严重,节理、裂隙发育,岩体破碎,以 IV 级软石及 V 级次坚石为主。隧道上部为季节性流水河沟,丰水期水量较大,河沟内的卵碎石地层厚约 13 m,含水性、透水性好;下伏基岩节理、裂隙发育,节理、裂隙间具较好的联通性,洞身开挖后地下水与地表联通明显,地表水下渗较严重,洞内地下水较发育,正常涌水量 $Q_{st}=2\ 674.4\ \text{m}^3/\text{d}$,最大涌水量 $Q_{\max}=5\ 348.8\ \text{m}^3/\text{d}$,在水压力作用下,易发生突泥,如图 1 所示。

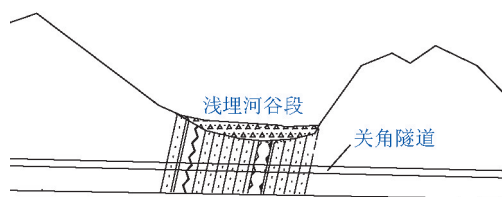


图 1 河谷浅埋段示意图

Fig. 1 Schematic diagram of shallow buried section under valley

在试验段将隧道的施工工法进行转换,改短两台阶法为三台阶预留核心土环坑法开挖,具体施工流程简化如下。

第 1 步:施作拱部超前支护后,上台阶预留核心土开挖,开挖高度 3 m,进尺 0.5 m,核心土高度为 1.5 m,长度为 2 m,两侧距开挖轮廓 2 m,三面按

施工需要适当放坡。开挖后立即进行支护。

第 2 步:中台阶在上台阶初期支护稳定后开挖,中台阶滞后上台阶约 3 m,中台阶开挖高度为 3.2 m,中台阶开挖时左右错开 1 m,开挖进尺 0.5 m,开挖后立即进行支护。

第 3 步:下台阶在中台阶初期支护稳定后开挖,下台阶滞后中台阶约 3 m,开挖进尺 0.5 m。下台开挖时左右错开 1 m。开挖后立即进行支护。

第 4 步:开挖核心土,开挖进尺与上台阶循环进尺相同。

第 5 步:仰拱开挖落底并及时施作仰拱初期支护和仰拱填充混凝土,及早封闭成环,保证距掌子面不超过 30 m。

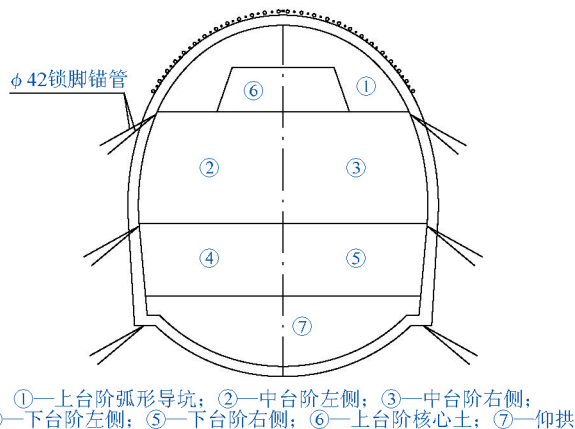


图 2 隧道施工步序图

Fig. 2 The excavation procedures of tunnel

试验段具体的支护参数如下。

1)超前支护:拱部 120°范围设 $\phi 42$ 超前小导管预支护,小导管长度为 3.5 m,注双液浆,环向间距 30 cm。

2)初期支护:边墙设 $\phi 22$ 砂浆锚杆,长 3.0 m,间距 1.2 m \times 1.0 m(环向 \times 纵向),按梅花型布置。拱墙网喷混凝土厚 25 cm,设 $\phi 8$ 钢筋网,网格间距 20 cm \times 20 cm,拱墙设 2 榀/m 的 I16 型钢钢架,仰拱素喷混凝土厚 10 cm,喷混凝土采用湿喷工艺施工。

3 测点布置

为了掌握浅埋河谷段隧道支护结构的受力特征,并最终确定其支护参数,共设置 2 个试验断面,监测内容见表 1,监测仪器布置如图 3 所示。

表 1 测试断面和项目

Table 1 Test sections and items

区段	工区	断面里程	量测项目			
			锚杆轴力	围岩压力	钢架应力	衬砌水压
浅埋河 沟段	Z1 斜井正洞	DK281+855	○	○	○	○
		DYK281+898	○	○	○	○

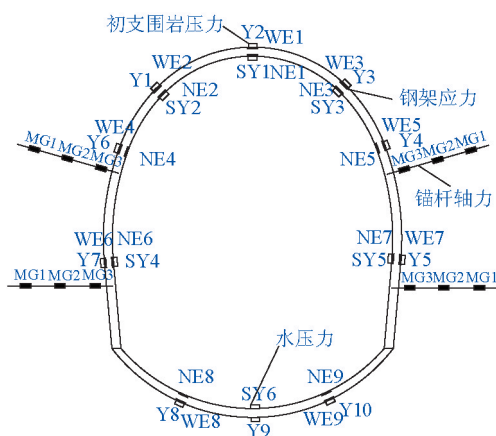


图 3 支护结构受力监测布置图

Fig. 3 Arrangement plan for measuring force in support system

根据开挖后的地质调查,两个监测断面的地质条件较为接近,地层以志留系变质砂岩为主,岩体受风化、构造影响严重,岩体破碎,层间结合力差。开挖后,拱墙掉块、拱部线状滴水、边墙股状出水,整体稳定性差。DK281+855 断面为 V 级围岩, DYK281+898 断面掌子面有突泥突砂现象、坍塌严重,为 VI 级围岩。河谷浅埋段围岩情况及试验断面情况如图 4 所示。

4 V 级围岩测试结果及支护方案

4.1 初支围岩压力

左边墙测点在测试过程中损坏,围岩压力时态曲线如图 5 所示,应力分布如图 6 所示。

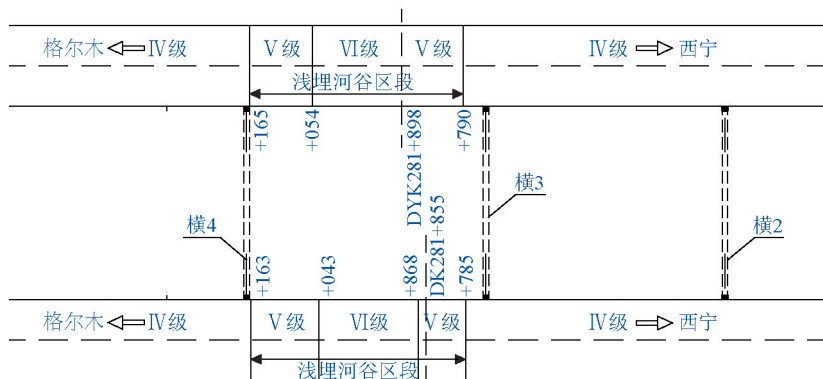


图 4 试验断面布置图

Fig. 4 Positions of test sections

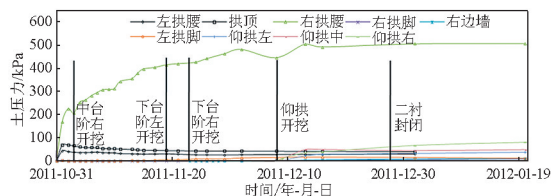


图 5 围岩压力时态曲线

Fig. 5 Timing curve of surrounding rock pressure

由图 5、图 6 可以看出:a. 中台阶右开挖当日,右拱腰处围岩压力突然降低,变化 19 kPa,在中台阶支护完成后,右拱腰处围岩压力又突然增大,变化达 47 kPa,其余测点处围岩压力在支护完成当日达到最大值,之后随时间逐渐减小;b. 仰拱开挖后,右拱腰处围岩压力减小,仰拱填充施作完成后,拱腰处围岩压力又增大,然后趋于稳定;c. 稳定后的断面土压在 8~507 kPa,断面压力分布不均,其中右拱腰处

压力最大,达到506.7 kPa。

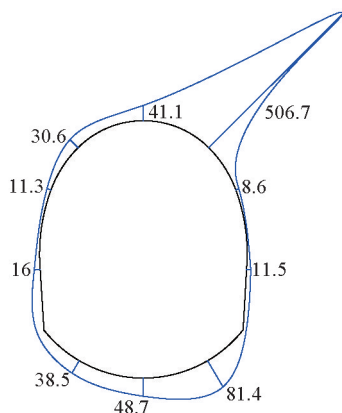


图6 围岩压力分布图(单位:kPa)
Fig. 6 Distribution maps of surrounding rock pressure (unit: kPa)

4.2 钢架应力

外环仰拱右,内环左拱脚、仰拱右测点在测试过程中损坏,钢架应力时态曲线如图7所示,应力分布如图8所示。

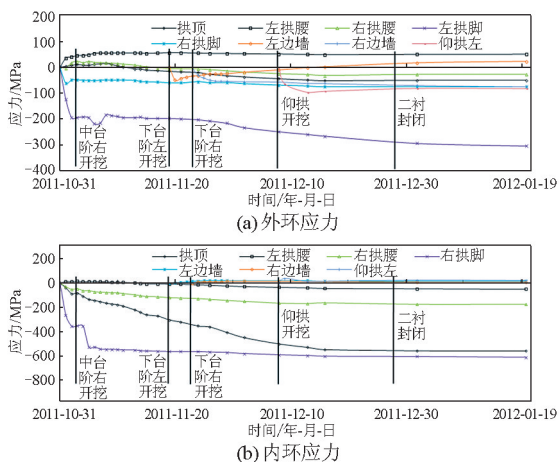


图7 钢架应力时态曲线
Fig. 7 Timing curve of stress in steel frame

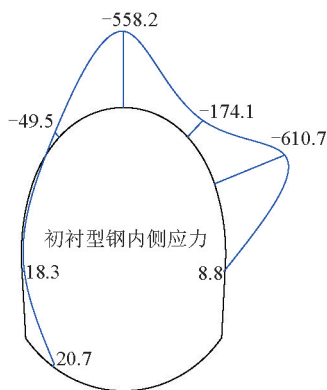


图8 钢架应力分布图(单位:MPa)
Fig. 8 Distribution maps of stress in steel frame (unit: MPa)

由图7、图8可以看出:a.中台阶右开挖及支护对右拱脚内侧应力影响显著,应力变化达174 MPa;b.初支钢架内外侧主要受压,个别部位受拉,且拉应力较小,最大拉应力仅为50.7 MPa。右拱脚内侧压应力最大,达610.7 MPa;拱顶内侧压应力次之,为558.2 MPa。

4.3 锚杆轴力

锚杆轴力时态曲线如图9所示,锚杆轴力分布如图10所示。

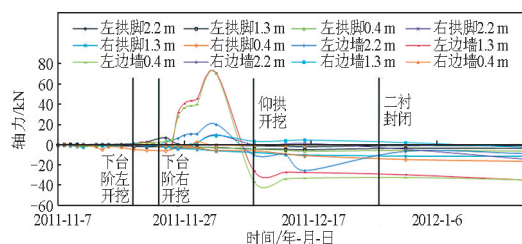


图9 锚杆轴力时态曲线
Fig. 9 Timing curve of axial force of rock bolts
注:0.4 m、1.3 m、2.2 m为传感器埋深

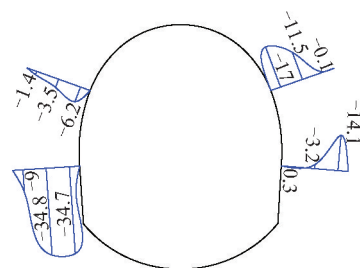


图10 锚杆轴力分布图(单位:kN)
Fig. 10 Distribution maps of axial force of rock bolts (unit: kN)

由图9、图10可以看出。

1)左边墙锚杆施作初期,轴力变化剧烈,0.4 m、1.3 m测点拉力最大值达到70.1 kN、2.2 m测点拉力最大值达到20.1 kN,之后随时间逐渐减小,并在仰拱封闭后开始趋于稳定。

2)各测点埋设初期均受拉,随时间逐渐减小。锚杆受力稳定后,各测点基本均受压,其中左边墙锚杆1.3 m测点处压力最大,达34.8 kN。

3)由锚杆前期受拉后期受压的规律可以看出,左边墙处围岩松动圈在逐渐扩大,当大于锚杆长度时,锚杆开始受压。在仰拱未封闭时,边墙块体会不断变形破碎,最终由形变压力转变为松散压力。

因此在仰拱未封闭段需要临时横支撑的辅助。

4.4 衬砌水压力

衬砌水压时态曲线如图 11 所示,水压分布如图 12 所示。

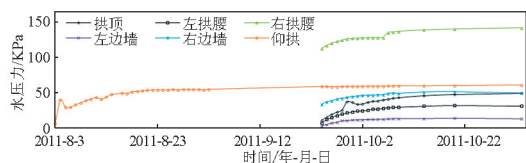


图 11 衬砌水压时态曲线

Fig. 11 Timing curve of water pressure on lining

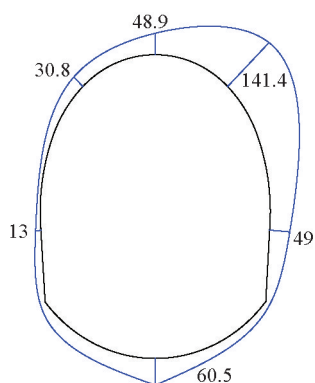


图 12 衬砌水压分布图(单位:kPa)

Fig. 12 Distribution maps of water pressure on lining (unit: kPa)

由图 11、图 12 可以看出:a. 各部位测点水压随时间而逐渐增大,二衬施作 15 天后达到稳定状态;b. 衬砌各部位稳定后的水压在 13~142 kPa,其中右拱腰和仰拱较大,分别为 141.4 kPa 和 60.5 kPa。

4.5 施工工序对支护体系的影响

1)中台阶开挖造成初支围岩压力、初支应力均出现先减小再增大的趋势,说明中台阶开挖破除了上台阶初期支护的下部支承,从而使初支围岩压力及初支应力都出现下降趋势,并在边墙支护施作后,随围岩压力释放系数的增大而增大。

2)下台阶开挖初支压力及支护应力基本没有影响,分析原因是因为初期支护喷混凝土已经凝固,达到设计强度,已经稳定,上部初期支护已形成整体。因此台阶设计时应该在初期支护喷混凝土稳定后再开挖下部台阶。

3)仰拱封闭使初支压力和支护应力趋于收敛,说明仰拱的施作完善了初期支护体系,因此应尽早施作仰拱衬砌。

4)二次衬砌施作并未明显影响初支压力和支护应力,说明二次衬砌施作前初期支护已经稳定,二次衬砌基本不承受荷载,主要作为安全储备使用。

4.6 改进支护方案

由于施工中多次出现突泥和掌子面滑塌的现象,在施工后期对超前支护及初期支护进行了改进。超前支护形式为超前管棚和超前小导管,初期支护形式为喷锚支护,如图 13 所示。改进措施如下。

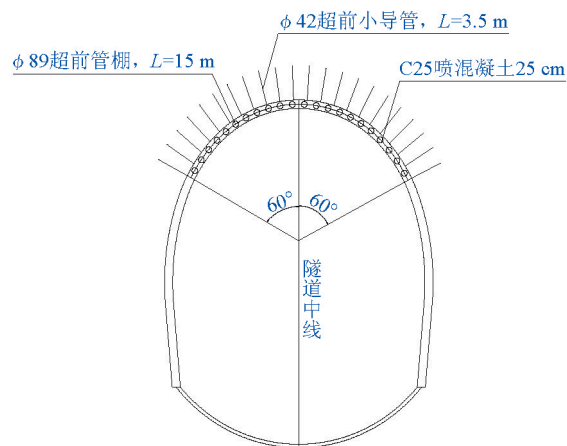


图 13 V 级围岩支护方案

Fig. 13 Support scheme in V class surrounding rock section

1)浅埋河谷段施工初期,采用小导管超前支护手段,在掘进至 DYK281+855 时拱部发生了突泥现象,说明小导管对拱顶的加固效果不理想。因此施工后期采用超前管棚对拱部进行超前支护,同时管棚太长时施作的精度就难以保证,有的管棚离开开挖轮廓线较远,如果不加以保护,这部分围岩很容易坍塌。并且长管棚注浆加固范围有限,很难达到 4 m 的加固圈。为此在开挖过程中,需施作小导管注浆补强。

2)由于拱墙渗水较严重,喷混凝土成形效果不理想,采用双层 $\phi 8$ 钢筋网可以有效减小喷混凝土的回弹率,并保证喷混凝土与岩面粘结牢固。

3)由锚杆试验结果看出,3 m 长锚杆不能穿过松动圈,锚杆未发挥支护作用。采用围岩松动圈理论,得到河沟浅埋段 V 级围岩锚杆长度至少应为 4.9 m。考虑到施工难度大和组合支护体系中各结构的支护机理不匹配的原因,建议取消系统锚杆。

4) 钢架试验结果显示钢架最大压应力达 610.7 MPa, 因此后期需要采用承载力更大的 I20 型钢钢架。

5) 由于隧道正处于浅埋河沟段, 洞周围岩破碎、裂隙发育, 稳定性差, 并与地表连通现象明显, 地表水下渗现象较严重, 已开挖地段拱墙沿裂隙有股状涌水, 且涌水量较大, 开挖揭露的宽大节理都有可能成为地表水的下渗通道, 在开挖前对节理进行超前加固, 对可能的透水通道进行封堵, 可有效地防止突泥突水现象的发生。

5 VI级围岩测试结果及支护方案

5.1 初支围岩压力

围岩压力时态曲线如图 14 所示, 应力分布如图 15 所示。

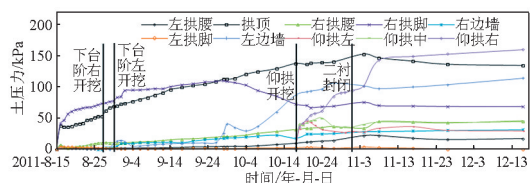


图 14 围岩压力时态曲线

Fig. 14 Timing curve of surrounding rock pressure

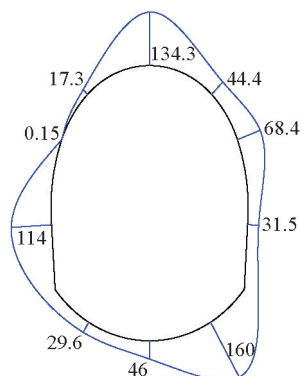


图 15 围岩压力分布图(单位:kPa)

Fig. 15 Distribution maps of surrounding rock pressure (unit: kPa)

由图 14、图 15 可以看出。

1) 下台阶右侧开挖后的两天内, 拱顶处围岩压力出现短期的突增, 平均变化率为 6.8 kPa/d。下台阶左侧开挖后, 右拱脚处围岩压力突然增大, 平均变化率为 5.5 kPa/d。其余测点处围岩压力缓慢增大。

2) 仰拱封闭后, 各测点开始收敛, 趋于稳定。

3) 二衬施作后, 各测点均出现压力陡增或陡降的现象, 围岩迅速达到平衡, 且压力变化率不大。

4) 稳定后的断面压力在 0~160 kPa, 其中拱顶和仰拱右处压力较大, 分别为 134.3 kPa 和 160 kPa。

5.2 钢架应力

钢架应力时态曲线如图 16 所示, 应力分布如图 17 所示。

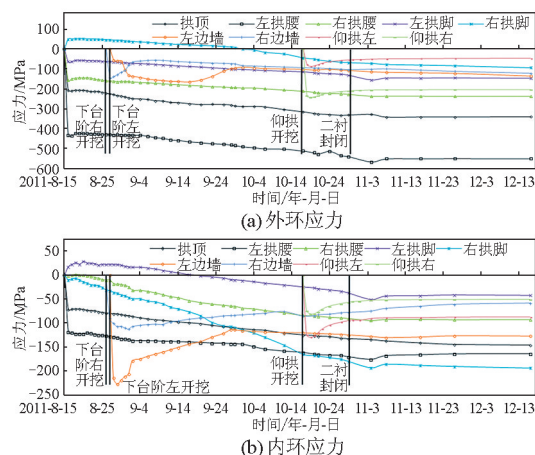


图 16 钢架应力时态曲线

Fig. 16 Timing curve of stress in steel frame

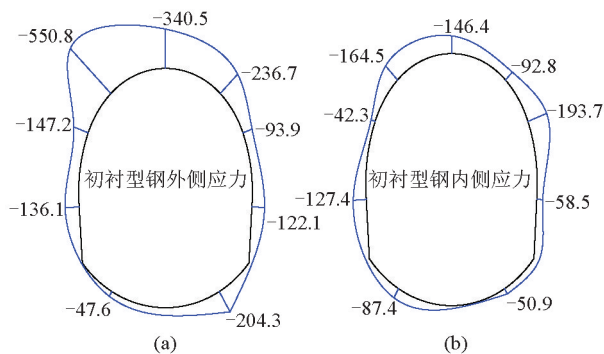


图 17 钢架应力分布图(单位:MPa)

Fig. 17 Distribution maps of stress in steel frame (unit: MPa)

由图 16、图 17 可以看出。

1) 初支钢架的内外侧均受压。左拱腰外侧应力最大, 达 560.8 MPa; 拱顶外侧压应力次之, 为 340.5 MPa。测试值已超过钢架强度, 分析原因是由于测试仪器为表面应变计, 通过测试钢架的应变从而换算出钢架应力, 说明此时钢架已经进入屈服阶段, 出现了大应变, 此时的应力值已无法代表钢架的真实受力情况。

2) 钢架施作初期, 钢架应力剧烈变化, 钢架在施作后立刻承担荷载, 最大应力变化率达到 433.9 MPa/d 出现在左拱腰处。

3) 仰拱封闭后钢架应力趋于稳定。二衬施工完成, 钢架应力变化率突增后, 才最终稳定。

5.3 锚杆轴力

右边墙 2.2 m 处测点在测试过程中损坏, 锚杆轴力时态曲线如图 18 所示, 锚杆轴力分布如图 19 所示。

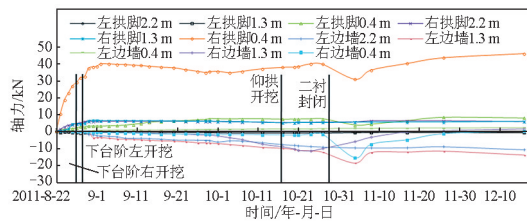


图 18 锚杆轴力时态曲线

Fig. 18 Timing curve of axial force of rock bolts

注: 0.4 m、1.3 m、2.2 m 为传感器埋深

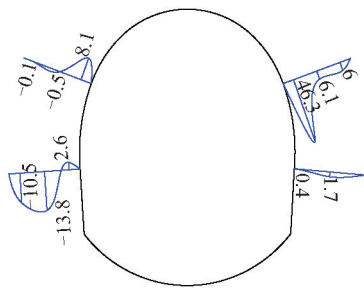


图 19 锚杆轴力分布图(单位:kN)

Fig. 19 Distribution maps of axial force of rock bolts (unit: kN)

由图 18、图 19 可以看出: a. 锚杆安设后, 其轴力随时间逐渐增大, 不同深度处测点的轴力差异较大, 各测点在施作 8 天后开始趋于稳定, 二衬施作后, 锚杆轴力突变后达到稳定状态; b. 右拱脚锚杆各测点均受拉, 0.4 m 测点拉力最大, 达到 46.3 kN, 其余测杆处各测点基本都受压, 左边墙处 2.2 m 测点压力最大, 达到 13.8 kN。

5.4 衬砌水压力

衬砌水压时态曲线如图 20 所示, 水压分布如图 21 所示。

由图 20、图 21 可以看出: a. 由于仰拱超前二次衬砌施作, 仰拱测点首先承受水压, 并随着时间逐渐增大, 二衬施作后, 其他测点水压同样随着时间

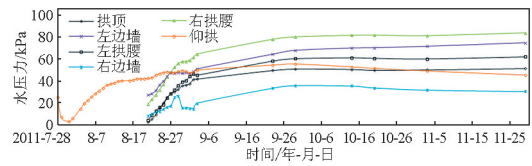


图 20 衬砌水压时态曲线

Fig. 20 Timing curve of water pressure on lining

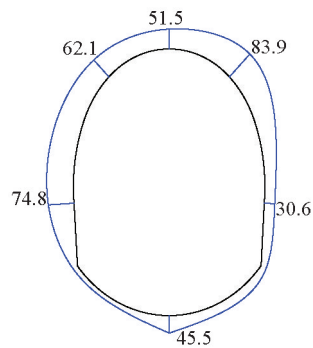


图 21 衬砌水压分布图(单位:kPa)

Fig. 21 Distribution maps of water pressure on lining (unit:kPa)

逐渐增大; b. 衬砌各部位水压分布较均匀, 稳定后的水压在 30~90 kPa, 其中右拱腰和左边墙较大, 分别为 83.9 kPa 和 74.8 kPa。

5.5 施工工序对支护体系的影响

1) 中台阶在上台阶支护 6 天后开挖, 此时喷射混凝土已硬化, 初期支护基本已经稳定, 上台阶初期支护基本不受中台阶开挖的影响。

2) 下台阶开挖对拱部测点压力影响明显, 即初支围岩压力受下台阶开挖和围岩压力释放的影响而突然增大。

3) 仰拱封闭使围岩压力和支护应力趋于收敛, 说明仰拱的施作完善了初期支护体系, 因此应尽早施作仰拱衬砌。

4) 二次衬砌施作后, 由于二次衬砌刚度很高, 限制了围岩压力的释放, 短时间内围岩达到稳定平衡状态, 因此初支压力、支护应力、锚杆轴力变化率突然增大, 之后达到稳定状态。

5.6 改进支护方案

超前支护形式为超前管棚、超前小导管和超前水平注浆加固, 初期支护形式为喷锚支护, 改进措施如下。

1) 在按照初期改进支护方案施工过程中, 超前管棚仰角过大, 管间和管下岩块掉落现象严重。施工中侧墙位置处多次出现裂缝、大变形, 如

DYK281+903~DYK281+914段线路右侧边墙钢架整体变形,最大变形量达42 cm,裂缝宽度约15 cm。因此后期采用管棚工作室施作0°角长管棚,将管棚施作范围由120°变更为180°及以下1 m。

2)由于地下水较发育,拱部线状滴水,边墙股状出水,掌子面有突泥突砂现象且坍塌严重。地下水的富存导致围岩整体性降低、承载能力下降,因此后期采用全断面超前水平钻孔注浆加固堵水,将地下水隔离于隧道之外。

3)采用围岩松动圈理论,得到河沟浅埋段V级围岩锚杆长度至少应为7 m。考虑到施工难度大和组合支护体系中各结构的支护机理不匹配的原因,建议取消系统锚杆。

4)由试验结果知围岩压力分布不均匀,拱顶和左边墙处压力较大,偏压现象较严重。上、中、下台阶设置I16临时横撑可以平衡洞室变形,抵抗偏压作用。

5)由于拱墙渗水较严重,为减小无纺布吸水后的作业难度,后期采用防水板代替无纺布,即铺设双层防水板。

6 工程应用效果分析

施工中塌方情况见表2。河谷浅埋段拱顶沉降如图22所示。

表2 施工塌方情况统计
Table 2 Collapse statistics

序号	里程	地质条件	支护方案	施工情况
1	DYK281+784~+791	V级	原设计支护方案	左侧滑塌
2	DYK281+855	V级	原设计支护方案	突泥
3	DYK281+914~+931	VI级	初期改进支护方案	坍塌
4	DK281+815	V级	原设计支护方案	拱部至右侧拱脚发生滑塌

由塌方发生情况可以看出,V级围岩区段采用原设计支护方案共发生三次滑塌、突泥现象,VI级围岩区段采用初期改进支护方案发生一次坍塌现象。在施工后期采用改进的支护方案后,未出现过塌方现象。

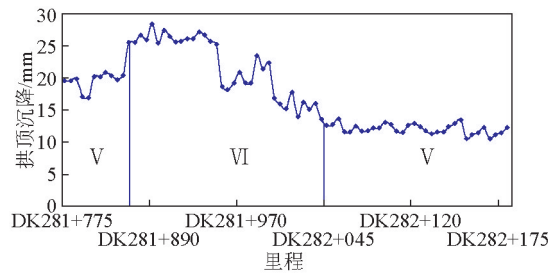


图22 河谷浅埋段拱顶沉降

Fig. 22 Vault settlement of shallow buried section under valley

由河谷浅埋段拱顶沉降曲线看出,V级围岩区段采用原设计支护方案拱顶沉降在20 mm左右,施工后期采用改进的支护方案沉降控制在12.5 mm左右。VI级围岩区段采用原设计支护方案拱顶沉降26 mm左右,支护方案改进后拱顶沉降控制在16.5 mm左右。

7 结语

通过对试验段支护结构的监测及结合试验数据对支护方案进行改进,综合分析后得到如下结论。

1)在浅埋河谷隧道V级围岩区段,现场试验结果表明钢架应力大,达到610 MPa,超过了I16型钢的屈服强度;围岩压力分布不均,说明围岩仍较破碎,注浆效果不明显;锚杆受压,3 m锚杆长度未穿过松动圈。经过对支护参数进行优化,超前支护变更为拱部120°范围超前管棚和小导管,取消系统锚杆,型钢变更为I20型钢,宽大节理掌子面超前小导管注浆加固,拱墙设双层钢筋网。

2)在浅埋河谷隧道VI级围岩区段,现场试验结果表明钢架应力变化剧烈且受力过大,荷载主要由钢架承担,施作后两天内便达到峰值,压应力达到560.8 MPa,超过了型钢的屈服强度;围岩压力分布不均匀,拱顶和左边墙处压力较大,说明拱部及边墙围岩破碎需要进行加固;锚杆大部分受压,3 m锚杆长度未穿过松动圈。经过对支护参数进行优化,确定了超前支护为管棚工作室施作拱部180°及以下1 m范围0°角长管棚和小导管,全断面超前水平钻孔注浆,取消系统锚杆,I16型钢临时横撑,双层防水板的支护方案。

采用改进后的支护方案,隧道安全快速地通过

了长达 400 m 的河谷浅埋段,测试数据为此类地层条件设计施工提供了重要的理论依据和基础数据。

参考文献

- [1] 赵 勇,刘建友,田四明. 深埋隧道软弱围岩支护体系受力特征的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(8):1663-1670.
- [2] 杨会军,胡春林,谌文武,等. 断层及其破碎带隧道信息化施工[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(22):3917-3922.
- [3] 韩桂武,刘 斌,范 鹤. 浅埋黄土隧道衬砌结构受力分析[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(增1):3250-3256.
- [4] 陈志敏,赵德安,李国良,等. 高地应力软弱围岩铁路隧道的衬

- 砌压力[J]. 中国铁道科学,2011,32(6):55-62.
- [5] 谭忠盛,喻 渝,王明年,等. 大断面浅埋黄土隧道锚杆作用效果的试验研究[J]. 岩土力学,2008,29(2):491-495,506.
- [6] 刘泉声,康永水,白运强. 顾桥煤矿深井岩巷破碎软弱围岩支护方法探索[J]. 岩土力学,2011,32(10):3097-3104.
- [7] 苟定才,黄润秋,蒋良文,等. 渝怀线圆梁山隧道冷水河谷浅埋段渗漏分析[J]. 地质灾害与环境保护,2001,12(1):48-50,57.
- [8] 张青龙,李 宁,曲 星,等. 富水软岩隧洞变形特征及变形机制分析[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(11):3917-3922.
- [9] 陈耕野,刘 斌,万明富,等. 韩家岭大跨度公路隧道应力监测分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(增2):5509-5515.

Study on support mechanical behaviour and scheme for shallow buried tunnel in weak surrounding rock with rich water

Wan Fei¹, Tan Zhongsheng², Yang Sensen², Ma Dong³

(1. Research Institute of Highway Ministry of Transport, Beijing 100088, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 3. China Railway 16th Bureau Group Co., Ltd., Beijing 100018, China)

[Abstract] Shallow buried section under river valley of Guanjiao tunnel has been done a series of research on support mechanical behaviour and scheme for tunnel in weak surrounding rock with rich water. Pressure of surrounding rock, stress in the steel frames, axial force of rock bolts and water pressure on lining are obtained by monitoring in test section. The result indicates that primary support can't be effectively controlled, inrush of clay and water and collapse occur sometimes, and the present support scheme can't meet the safe construction requirements. By a comprehensive analysis of monitoring data, adjustment to support scheme is made. In V class surrounding rock section, lead pipe-shed and small pipe is set in the range of 120° at arch part; grouting reinforcement with small pipe is conducted in wide joints of driving face. Five meters grouted rock bolts, I20 steel frames and double layer mesh at arch wall constitute the primary support. In VI class surrounding rock section, 0° lead pipe-shed set with pipe shed workroom in the range of 180° at arch part and 1 m below and whole section advance level drilling grouting are the main measures of advance support; 7.5 m self-drilling bolt, I20 steel frames, steel temporary support and double waterproof board constitute the primary support. These research results can provide theoretical basis and underlying data for support scheme for shallow buried tunnel under river valley, and have high referential value for design and construction decision-making of analogous project.

[Key words] tunnel project; shallow buried under river valley; weak surrounding rock; support scheme; field monitoring