

文章编号: 1006- 2106(2009) 11- 0040- 05

# 新蜀河隧道炭质片岩大变形控制技术研究<sup>\*</sup>

苟 彪 张奕斌<sup>\*\*</sup>

( 中铁一局集团有限公司, 西安 710054)

**摘要:** 研究目的: 长距离的炭质片岩隧道施工中初期支护发生易发生大变形的情况, 支护变形、侵限, 给现场施工、进度、安全带来了极大的挑战。本文结合新蜀河隧道炭质片岩大变形施工技术, 结合以往大变形隧道施工的经验教训对单线铁路隧道炭质片岩的大变形控制技术及方案进行了总结, 为今后类似工程提供参考和借鉴。

**研究结论:** 单线铁路隧道采用 3 台阶临时仰拱法, 上台阶设置型钢混凝土仰拱后, 应严格地控制台阶、仰拱、二衬的步长, 在控制变形方面效果较为明显; 大变形隧道应根据监控量测资料预留适度的变形量, 对于防止前期初期支护破坏和后期护拱开裂, 以及控制工程成本都有着非常重要的意义; 隧道通过初期支护壁后注浆, 在钢架型号、接头形式位置和纵向连接设置等方面进行改进, 并在一定程度上抑制了变形发生; 施工中应对长台阶施工或中间拉槽的错误作法严格禁止。

**关键词:** 炭质片岩; 大变形; 临时仰拱

**中图分类号:** U456 **文献标识码:** A

## Research on the Control Technology for Large Deformation of Carbon Schist of Xinsuhe Tunnel

GOU Biao ZHANG Yi-bin

(China Railway First Group Co., Ltd., Xi'an, Shanxi 710054 China)

**Abstract Research purposes** The large deformation easily happens to the primary support during construction of long-distance carbon schist tunnel and the support deformation and fouling of clearance gauge bring about great challenge to the on-site construction, construction process and construction security. Combined with the control technology for the large deformation of the carbon schist of Xinsuhe Tunnel and the experience in construction of the large deformation tunnel in the past, this paper summarizes the control technology and control scheme for the carbon schist of single-track railway tunnel for providing the reference to the similar works.

**Research conclusions** The three-step temporary inverted arch method can be adopted to the single-track railway tunnel with strict control of the step lengths of the step inverted arch and secondary lining after installation of sectional concrete inverted arch on the top step for getting the perfect control effect. The appropriate deformation quantity should be remained in advance to the large deformation tunnel according to the monitored and measured data. This is essential to prevent of the support's damage in early-stage, the protected arch's crack in later-stage and the control of construction cost. The tunnel deformation is restrained to some extent after grouting through the back of the primary support wall and improvements of the type of steel frame, the form and location of the joint and installation of the vertical connection. The long step construction or kerve has to be forbidden during construction.

**Key words** carbon schist, large deformation, temporary inverted arch

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009- 07- 14

<sup>\*\*</sup> 作者简介: 苟彪, 1963年出生, 男, 高级工程师, 中铁一局集团有限公司副总工程师; 张奕斌, 1976年出生, 男, 高级工程师。

1 工程概况

1.1 工程基本情况

新蜀河隧道位于沪汉蓉通道胡家营至安康段,起讫里程为 DZK 222+ 201~ DZK 231+ 190 全长 8 989 m,设计为单线铁路隧道,是襄渝二线重点控制性工程之一。全隧道采用曲墙复合式衬砌、喷锚支护,弹性支承块式整体道床。隧道分 4 个工区组织施工,除进出口外,中部设 2 座斜井,其中渔王沟斜井长度 849.64 m,险滩沟斜井长度 992.14 m。

1.2 工程水文地质条件

隧道设计地质情况地层主要以石英云母片岩夹炭质片岩(或互层布置)为主,具有薄层状夹中厚层,节理裂隙较发育,片理面光滑,岩质软,层间结合差,易剥落掉块,局部夹有破碎夹层等状态。其中Ⅲ级围岩 6 780 m,Ⅳ级围岩 1 852 m,Ⅴ级围岩 357 m,在开挖过程中,实际揭示Ⅱ级围岩 2 614 m,Ⅳ级围岩 4 317 m,Ⅴ级围岩 2 051 m。据统计新蜀河隧道洞身从 DZK 224+ 025至 DZK 226+ 378约 2 353 m 连续出现大变形,初支变形侵限严重、多次拆换,施工进度缓慢,安全风险大,工程成本压力巨大,给施工带来了极大困难。国内专家认为是大变形最严重、施工难度最大的隧道之一。

2 对炭质片岩的认识

2.1 对变形原因的认识

新蜀河隧道揭示的炭质片岩是一种具有沿片理面蠕滑、软质岩流变和构造破碎综合特性的特殊劣质岩。综合分析其大变形的产生主要是由于炭质片岩强度低、具有变形长时段发展的流变性质,抗剪强度低且对振动影响很敏感,在区域地质构造作用下,地层强烈扭曲揉皱,产生大量密集的节理和顺层摩擦镜面,岩体的整体性遭到严重破坏,由于炭质滑膜的作用,岩体 C、φ 值极低,是导致初期支护开裂、变形侵限的基本原因。同时地下水较丰富,在地下水的作用下,变形的流变特性进一步放大,围岩强度和稳定性进一步降低。一般性支护很难控制变形,隧道中大段落初期支护侵限并二次拆换。

2.2 变形特点

2.2.1 围岩变形量大

Ⅴ级炭质片岩个别地段炭质含量高、地下水丰富,变形远远超出正常水平。累计平均变形量在 500 mm 以上,最大变形量在台阶结合处。DZK 224+ 780 中台阶处水平收敛变形总量达 1 260 mm, DZK 224+ 865 下台阶水平收敛变形总量达 2 250 mm,变形量测曲线如图 1 所示。

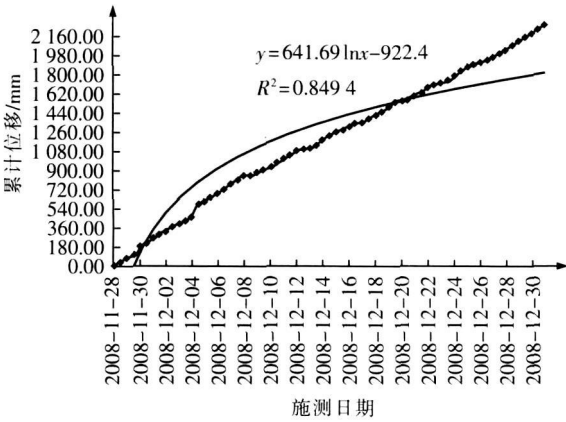


图 1 DZK 224+ 865 下台阶水平收敛量测曲线图

2.2.2 变形速率快

隧道开挖后,围岩正常日水平收敛达 30~ 50 mm,一般随隧道的掘进,变形也随之加快, DZK 224+ 865 处 10 天水平收敛超过 920 mm, 20 天累计变形量超过 1 560 mm,累计变形达 2 250 mm(见图 1)。

2.2.3 变形持续时间长

围岩变形持续时间较长,一旦开挖后形成临空面,即使有初支约束,变形也很难达到收敛状态,个别地段施工二衬之后依然存在变形。DZK 225+ 260~ + 286 段 4 组衬砌拱顶和拱腰出现明显裂纹,渔王沟斜井 DZK 225+ 864~ + 883 交叉口护拱混凝土出现开裂,可见变形持续时间长。

2.2.4 变形分布不均匀和不对称

隧道普遍存在左右侧变形不均匀和不对称现象,初期支护完成后,不同段落左右侧变形量不同。初期支护开裂掉块严重,侵占二衬空间,钢架扭曲,出现甚至被剪断的情况,而且左右侧有明显差异,并呈无规律性。其中 DK 225+ 761 上半断面侵限情况如图 2 所示。

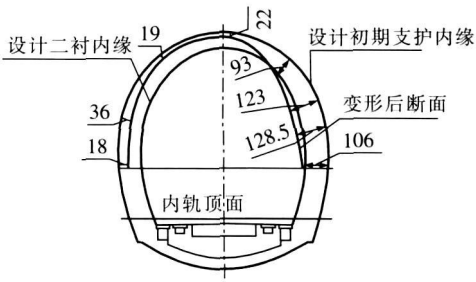


图 2 DK 225+ 761 上半断面侵限图 (单位: cm)

2.2.5 工序干扰易引起突变

岩体开挖支护后,初期支护变形较为平稳。但是受工序对围岩的扰动,变形加速的特征非常明显,特别是爆破、中台阶、下台阶落底、及仰拱开挖时产生突变现象,一次扰动变形量约为 10~ 15 mm。其带来的灾害也是最严重的,由于突变导致仰拱成环后来不及施

作二衬。衬支变形侵限的问题,甚至由于处理不当围岩失稳、坍塌的情况也多次发生。DK 224+780中台阶受工序干扰变形加剧情况如图 3所示。

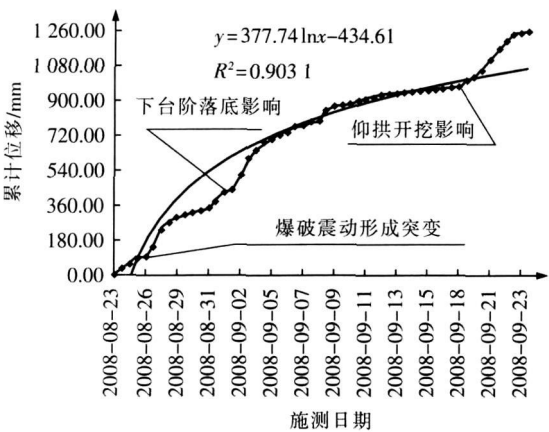


图 3 DK 224+780中台阶水平收敛量测曲线图

2 2 6 围岩遇水软化, 变形加剧

炭质片岩遇水软化, 见水呈泥浆状, 无强度, 且变形加剧。2009年 5月 15—16日大雨后, DZK 225+040里程上台阶局部有股状水流出, 变形开始加剧, 最大处一天变形 79 mm (对应第 15天)。量测曲线如图 4所示。

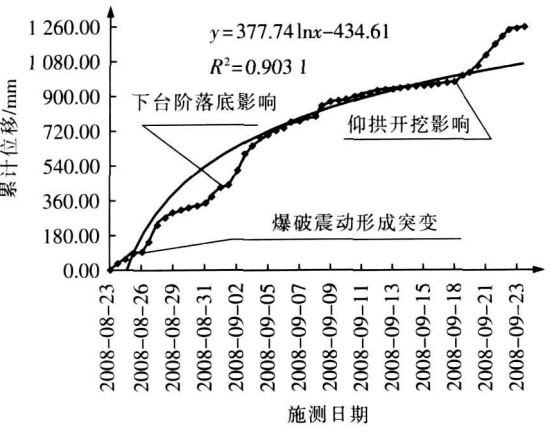


图 4 DZK 225+040水平收敛量测曲线图

3 施工中采取的主要工程措施

3 1 施工方法的选择

对大变形隧道遵循“支护强、快循环”的原则选择合理的施工方法。新蜀河隧道围岩自稳性极差, 台阶高度过大易发生偏邦、坍塌。应控制台阶的高度, 一般上、中台阶高度为 2~3 m, 下台阶 3~4 m 较为合适, 综合分析后现场采取超短三台阶法施工, 并根据围岩变形和人员机械配置情况在上台阶加设临时仰拱, 即三台阶临时仰拱法施工。

3 1 1 超短三台阶法

超短三台阶法上台阶高 3 m, 中台阶高 2.6 m, 下

阶高 3~7 m。为控制空间效应, 上、中台阶长度为 3~5 m, 下台阶长度 4~5 m, 二衬距掌子面距离控制在 16~23 m 之间。仰拱开挖及灌注采用小型栈桥过渡。

三台阶法施工工序及步长如图 5所示。

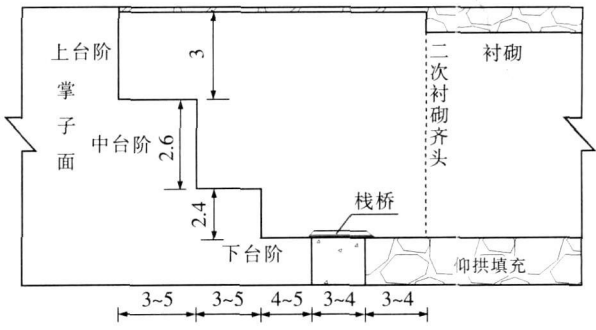


图 5 新蜀河隧道三台阶法施工工序及步长图 (单位: m)

3 1 2 三台阶加临时仰拱法

施工中根据围岩变形情况在上台阶底部设型钢混凝土仰拱, 有效的抑制变形。台阶高度同前述三台阶法。上台阶长度 5 m, 临时仰拱与初期支护同时成环。中、下台阶在临时仰拱保护下开挖, 左、右侧分台阶错开开挖, 左、右侧错开 2.5 m, L2 与 L3 纵向形成台阶, 台阶长度 2.5 m。下台阶长度 3 m, 正式仰拱施工后拆除临时仰拱。二衬距掌子面距离控制在 21.5~22.5 m 之间。上台阶采取人工翻渣, 下台阶挖掘机配合装载机装渣, 自卸车运输。变形地段施工约束效果较好, 但进度较慢。上台阶设置临时仰拱法施工工序及步长如图 6所示。

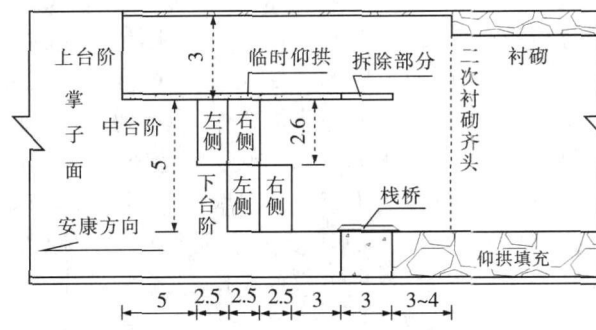


图 6 上台阶设置临时仰拱法施工工序及步长图 (单位: m)

3 2 强支护

新蜀河隧道炭质片岩地段开挖采用三台阶法施工, 施工参数如表 1所示。

3 3 预留适度的变形量

根据量测变形数据统计分析和现场实际施作情况, 新蜀河隧道预留变形量 50~70 mm 比较合适, 地质均匀段对称预留。地质左右不均匀, 变形不对称地段采取左右不对称预留, 预留时还需灵活掌握。

表 1 三台阶法施工参数表

序号	支护结构	项目名称	施工参数	备注
1	超前支护设计	超前小导管	$\phi 42$ 超前小导管, 长度 3.5 m, 间距 20 cm, 搭接长度不小于 2 m, 外插角不大于 $10^{\circ}$	原设计间距 30 cm, 搭接不小于 1 m。根据围岩变形情况在边墙处设置超前小导管
2	期支护	钢架	工 25 型钢, 2 榀 /m	原设计工 20 型钢
3		系统锚杆	拱部设 $\phi 22$ 系统砂浆锚杆, 长度 3.0 m, 间距 $100\text{ cm} \times 100\text{ cm}$	
4		钢筋网	挂设 $\phi 6.5$ $\phi 8$ 钢筋网, 网孔间距 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$	
5		喷射混凝土	C25 喷射混凝土 32 cm 厚	原设计 27 cm 厚
6	二衬		厚度 50~77 cm, 主筋 $\phi 25$ 的 C30 钢筋混凝土	外轮廓原设计为直边墙, 后改为曲边墙

3 4 严格控制开挖进尺

施工中严格控制打眼深度和装药量, 减少对围岩的扰动, 每循环开挖进尺为 1.0 m, 爆破后预留核心土或及时喷射混凝土封闭掌子面。

3 5 设置临时仰拱

在上台阶底部设置临时仰拱, 提早封闭成环。临时仰拱采用工 25 型钢混凝土, 间距 50 cm, 在钢支撑拱脚上焊 100 mm  $\times$  100 mm  $\times$  10 mm 角钢与其牢固连接; 型钢下设  $\phi 8$  的钢筋网; 网格间距  $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ , 并与型钢焊接; 纵向设  $\phi 22$  螺纹钢连接, 间距 50 cm; 灌注前, 临时仰拱型钢底部应垫实, 灌注后, 上部铺设 20~30 cm 虚渣或设栈桥, 避免重车直接碾压, 破坏结构。

3 6 加强纵向连接

为了控制变形量, 提高初期支护的整体受力, 钢架的纵向连接由  $\phi 22$  螺纹钢改为 L45  $\times$  45 角钢连接。

3 7 增设锁脚锚管

钢架连接处设置不少于 4 根的锁脚锚管, 锚管采用  $\phi 42$  的小导管, 长度 6 m, 打设计角度  $45^{\circ}$ 。

3 8 加强钢架连接的强度

施工中钢架除普通螺栓连接外, 钢架连接板角度较大时, 采用弯形螺栓或钢架连接板处增设钢板“U”形卡, 提高连接的质量, 效果非常好。钢架连接形式如图 7 所示。

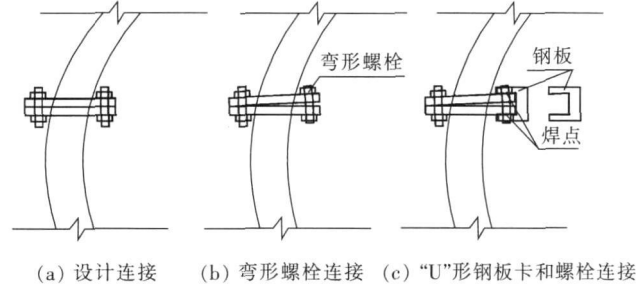


图 7 钢架连接形式图

3 9 钢架接头尽量避开同一截面

钢架拱部节点受力较薄弱, 接头处于同一截面上, 最易形成突变拐点, 施工中采取钢架接头错开的办法, 即 L1 拱架接头位置错开拱部正中, 同时左、右间隔设置, 效果较好。L1 钢架接头位置如图 8 所示。

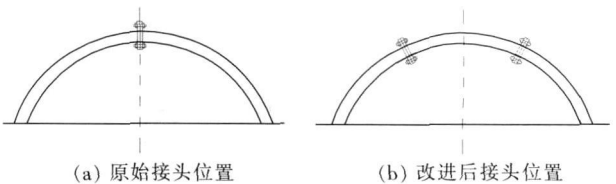


图 8 L1 钢架接头位置图

3 10 加强洞内排水管理

新蜀河隧道部分地段掌子面渗水较大, 加之风钻等施工用水, 易在台阶及仰拱低洼处汇水, 施工中对水的管理尤为重要。掌子面严禁积水浸泡拱脚, 中部设集水坑集中抽排, 并设专人管理。

3 11 拱背注浆回填

初期支护完成后, 采用小导管及时注浆回填。在中、下台阶落底时, 对变形的控制极为有利。

3 12 监控量测管理

新蜀河隧道成立专门的量测小组负责洞内观察和每日的量测工作, 做到数据真实、及时分析反馈、正确指导施工。

量测断面布置结合三台阶变形特点在拱顶处设一下沉观测点, 分别在 L1、L2 钢架拱脚处 (台阶) 设水平收敛量测线。量测断面布置如图 9 所示。

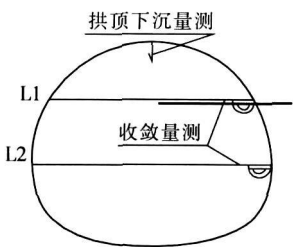


图 9 量测断面布置图

炭质片岩量测断面和量测频次均加密布置, 主要 监控量测项目及量测频率表如表 2所示。

表 2 主要监控量测项目及量测频率

序号	量测项目	量测仪器	量测频次		备注
			0~ 10 m	10~ 50 m	
1	拱顶下沉	水准仪	2次 /d	1次 /d	一般变形地段每 5 m 设一观测断面, 大变形段加密布置每 2 m 设置一观测断面
2	净空收敛	JSS30型收敛计	2次 /d	1次 /d	
3	隧道内目测观察	—	全长度, 各开挖面, 每次爆破后进行; 每次台阶落底 时进行		

4 结 论

- (1) 炭质片岩大变形隧隧道应严格遵循“短进尺、快循环、强支护、紧封闭、勤量测”的施工原则。在监控量测指导下实施隧道的开挖与支护工作。开挖中尽可能采取弱爆破, 减少对围岩的扰动, 并依据炭质片岩的特性加强拱脚支护和施工用水的管理。
- (2) 隧道宜采用三台阶临时仰拱法, 上台阶设置型钢混凝土仰拱后, 严格的控制台阶、仰拱、二衬的步长, 在控制变形方面效果较为明显。单线铁路隧道空间采用双层集装箱断面设计, 高跨比大, 不能有效发挥其结构受力的优点, 台阶法作业后限制了大型机械作业的空间, 应合理分割断面, 并在提高机械工效上作文章。
- (3) 大变形隧道应根据监控量测资料预留适度的变形量, 合理的变形量有利于最大的发挥初期支护和围岩的自稳性, 对于防止前期初期支护破坏和后期护拱开裂, 以及控制工程成本都有着非常重要的意义。
- (4) 隧道通过初期支护壁后注浆, 在钢架型号、接头形式位置和纵向连接设置等方面进行改进, 加强了初期支护结构强度, 改善结构受力特点, 并在一定程度上抑制了变形发生。
- (5) 对关键的工序应侧重配置资源, 尤其初期支护施作、二衬钢筋绑扎及混凝土施工。劳动力配置上

- 必须成立技术及技能过硬的专业班组, 提高工序质量、缩短循环时间。
- (6) 炭质片岩隧道围岩稳定性差, 施工中围岩失稳、坍塌现象时有发生, 储备足够的应急物资十分重要。如草袋、圆木、抽水机设备等。
- (6) 施工中严禁长台阶施工或中间拉槽的错误作法, 必须按既定施工方法及要求施工, 杜绝盲目和无序施工。
- 参考文献:
- [ 1 ] TZ 204— 2008, 铁路隧道工程施工技术指南 [ S].
- [ 2 ] 关宝树. 隧道工程施工要点集 [ M ]. 北京: 人民交通出版社, 2003
- [ 3 ] 王梦恕. 地下工程浅埋暗挖技术通论 [ M ]. 合肥: 安徽教育出版社, 2004
- [ 4 ] TB 10121— 2007, 铁路隧道监控量测技术规程 [ S].
- [ 5 ] 铁道部第二工程局. 铁路工程施工技术手册· 隧道 [ K]. 北京: 中国铁路出版社, 2000
- [ 6 ] 李国良, 朱永全. 乌鞘岭隧道高地应力软弱围岩大变形控制技术 [ J]. 铁道工程学报, 2008( 3): 54— 59
- [ 7 ] 苟彪, 等. 乌鞘岭隧道 F7断层大变形施工对策探讨 [ J]. 铁道工程学报, 2004(增刊): 23— 27.
- [ 8 ] 苟彪, 等. F7断层挤压性围岩大变形控制技术 [ J]. 铁道标准设计, 2005(9): 38— 40