

某隧道软岩大变形施工技术

张福盛

甘肃铁科建设工程咨询有限公司 甘肃兰州 730030

摘要: 某隧道为新建老挝境内一带一路单线电气化铁路,隧道全长达7千米,设计为I级风险管理隧道,为全线控制性工程。隧道进口区域内围岩以泥质粉砂岩和炭质板岩为主,岩体抗压强度极低,属于软岩范畴,受构造应力场影响极易诱发高地应力软岩大变形现象。

关键词: 现场施工;现场开挖工法;质量保障

Construction technology of large deformation of soft rock in a tunnel

Zhang Fusheng

Gansu Tieke Construction Engineering Consulting Co., Ltd. Gansu Lanzhou 730030

Abstract: A tunnel is a newly built Belt and Road single-line electrified railway in Laos, with a total length of 7 kilometers, designed as a class I risk management tunnel, which is a control project of the whole line. The surrounding rock in the inlet area of the tunnel is mainly argillaceous siltstone and carbonaceous slate. The compressive strength of rock mass is very low, which belongs to the category of soft rock. It is easy to induce large deformation of high ground to stress soft rock under the influence of a tectonic stress field.

Keywords: site operation, Field excavation method, quality assurance

1 前期现场施工情况

1.1 地质情况

施工揭示该隧道进口工区K**+230~+370段自K**+230开始进入炭质板岩施工,洞身区域围岩为炭质板岩和泥岩,深灰、灰黑色,弱风化W2,薄层-中层状。岩层产状扭曲变形较严重,岩体挤压破碎强烈,节理裂隙发育,岩体呈板状、碎石状结构,炭质板岩质软,手掰可断,层面光滑,遇水易软化,未见地下水。

1.2 超前地质预报情况

该段围岩总体上为破碎~极破碎,节理裂隙发育,岩质较软,局部含水,稳定性差。预报围岩级别为V级。

1.3 支护措施和现场施工情况

(1) 围岩变更情况

K130+230~+300原设计为IV_a变更为V_c加强,K130+300~+330原设计为V_a变更为V_c加强,K130+330~+370原设计为V_a变更为试验段。

(2) 变更设计参数

1) 超前为 $\phi 42$ 小导管,环向间距40cm,纵向间距

2.4m,每根长4.5m;

2) 型钢支护:分别采用I18/I20/H175型钢拱架,间距60cm,纵向连接筋 $\phi 22$ 环向间距1.0m,采用 $\phi 8@20\text{cm}\times 20\text{cm}$ 的钢筋网;

3) 锁脚:两台阶,每个台阶处设置1道锁脚锚管, $\phi 42\times 3.5\text{mm}$ 锚管长4.0m;

4) 台阶处设置1块纵向垫钢板,尺寸为16mm \times 220mm \times 50mm;

5) 系统锚杆:边墙设置 $\phi 22$ 组合中空锚杆、边墙设置 $\phi 22$ 砂浆锚杆,长3.0m,环向间距1.2m*纵向间距1.0m;

6) 喷射混凝土为C25,厚度(钢架厚度+7cm)。

7) 衬砌采用C35钢筋混凝土,厚45cm,环向主筋采用HRB400 $\phi 20@25$ 。

(3) 现场开挖工法

1) 把爆破开挖调整为非爆破开挖,从K130+296.6采用铣挖机开挖,减小对围岩的扰动。采用洗挖机、三台阶不留核心土开挖。

2) 加快成环, 加强组织施工仰拱及二衬, 紧跟下台阶。

3) 通过监控量测数据分析, 适当调整预留变形量 30cm ~ 60cm 之间。

4) 根据沉降的变形速率, 暂停掌子面掘进, 增加临时支撑, 采用快速注浆工艺, 注浆加固。

5) 加强支护措施: 在原设计的基础上增设一道锁脚锚杆; 施作 $\Phi 89$ 、 $\Phi 108$ 长锁脚, 采用 16mm 毫米钢板将其相互焊接连接, 加强抗变形收敛能力; 加强支护型钢, 由 I18 工字钢调整为 H175 型钢; 台阶钢架接头处增设纵向连接工字钢 (I14); 增设双层纵向连接筋; 钢架所有连接板采用三面满焊, 加强钢架整体性。330 ~ +360 试验段把系统锚杆调整为 4.0m 长径向注浆管。

6) 对变形侵限部位, 更换初支。围岩变更由 IV 变为 V 级加强施工, 型钢支护采用 I18、I20、I22、H175 等, 预留变形由 10cm 调整至 65cm, 通过监控量测最大收敛变形量达 1846.26mm、拱顶下沉达 339.7mm (见下表: 围岩监控量测数据统计表), 初支大面积剥落、产生环向和纵向裂纹等, 拱腰和拱墙部位型钢扭曲变形严重等, 造成不同程度侵限, 后期再进行更换初支等措施进行返工处理, 在期间进行了应力变形监测, 相对变形量达 10%, 该处板岩单轴抗压强度 3.68MPa, 与洞身部位的最大水平主应力测值 23.92MPa 相比较, 强度应力比为 0.15, 属于 III 级软岩大变形。严重影响现场施工进度、安全隐患较大, 施工安全、质量很难保证。

围岩监控量测数据统计

| 序号 | 里程 | 单位 | 累计变形量 | | | 备注 |
|----|----------|----|--------|--------|---------|----|
| | | | 拱顶 | SL1 | SL2 | |
| 1 | K130+235 | mm | 90.9 | 200.7 | / | |
| 2 | K130+240 | mm | 133.4 | 201.05 | / | |
| 3 | K130+250 | mm | 175.7 | 316.77 | / | |
| 4 | K130+260 | mm | 278 | 380.03 | / | |
| 5 | K130+270 | mm | 316.5 | 420.65 | / | |
| 6 | K130+280 | mm | 257.2 | 390 | 393.45 | |
| 7 | K130+290 | mm | 281.9 | 267.42 | 255.45 | |
| 8 | K130+300 | mm | 175.5 | 162.95 | 456.84 | |
| 9 | K130+310 | mm | 266.5 | 300.4 | 441.76 | |
| 10 | K130+320 | mm | 408.3 | 678 | 800 | |
| 11 | K130+330 | mm | 325.1 | 536.4 | 536 | |
| 12 | K130+335 | mm | 339.97 | 554.4 | 1846.26 | |
| 13 | K130+340 | mm | 412.6 | 724.26 | 612.17 | |
| 14 | K130+350 | mm | 244.7 | 363.46 | 262.88 | |
| 15 | K130+360 | mm | 304.6 | 352.29 | 548.39 | |
| 16 | K130+370 | mm | 298.1 | 472.52 | 347.57 | |

2 专家会勘及原因分析

2019 年建设单位邀请相关专家踏勘了现场并组织召开了该隧道技术方案研讨会, 经研讨形成意见如下:

(1) 该隧道位于缝合带北边界, 进口段位于构造密集发育交汇区, 该段地层岩性为板岩、炭质板岩, 受构造挤压严重, 岩体破碎, 岩质软弱, 开挖过程中在地应力作用下发生软岩大变形, 相对变形量大于 10%, 强度应力比为 0.15, 属于 III 级软岩大变形。

(2) 软岩变形段建议调整开挖外轮廓为椭圆形, 考虑现场实际情况二衬内轮廓不变; 加强钢架支护及径向支护, 钢架可采用 H175 型钢, 系统锚杆采用长短结合, 长锚杆宜采用自进式锚杆。

(3) 进一步优化工艺工法, 做到“快挖、快支、快封闭”, 严格施工过程控制, 尽量避免初期支护变形侵限, 必要时可增设临时横撑。同时合理确定二衬施作时机。

3 开挖轮廓改变为椭圆形后的施工情况

3.1 严格执行超前地质预报

采用物探 (tsp、地质雷达和地质素描) 与钻探 (超前水平钻孔和加深炮口) 相结合的方式, 综合分析判断前方及周边围岩情况, 为掘进提供施工依据。

3.2 准确监测

软岩大变形段落变形速率较大, 现场需要严格执行《铁路监控量测技术规程》要求监测, 根据变形速率和洞径关系监测。及时采集数据, 掌握真实变形情况和左、右侧边墙收敛情况, 通过采用绝对坐标监测, 结合预留变形量、理论开挖断面、最早初支断面等数据, 做到对软岩大变形的有效监测方法, 及时反馈实际变形情况供全体管理人员参考, 制定针对性措施。

3.3 优化设计参数、加强支护

(1) 调整开挖轮廓线, 加大初期支护边墙及仰拱曲率, 改善受力结构, 并考虑现场实际情况二衬内轮廓不变。

(2) 加强型钢支护, 型钢支护采用 HW175 型钢, 间距 0.6m。

(3) 钢架内外测均设置纵向连接钢筋, 并在上台阶拱脚处增设工 14 工字钢作为连接型钢。

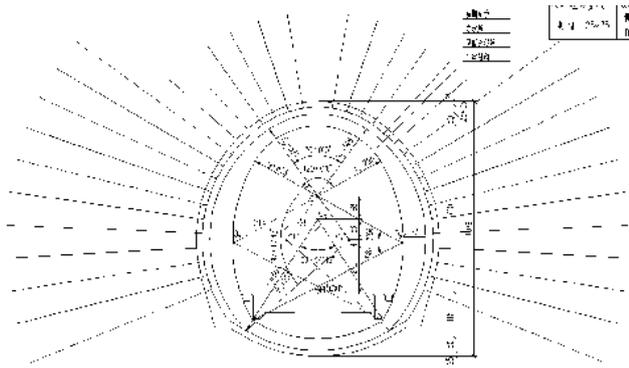
(4) 系统锚杆采用长短结合主动强支护。短锚杆 L=4m, 采用 $\phi 22$ 速凝药包锚杆; 长锚杆 L=8m, 采用 $\phi 32$ 自进式锚杆, 采用快凝早强浆液。

(5) 小导管超前支护, 拱部 140° 范围内设 $\phi 42$ 小导管超前支护, 环向间距 0.4m, 每环 27 根, 每根长 4.5m, 纵向每 2.4m 一环。

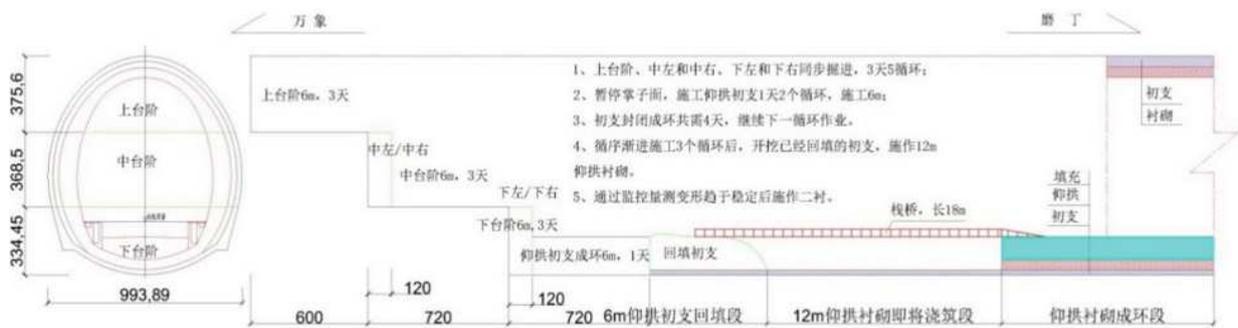
(6) 提高喷射混凝土强度, 有C25喷射混凝土调整为C30混凝土。

(7) 加强钢架连接板接头连接质量, 由原设计4颗M20*65高强螺栓调整为6颗, 且在钢架连接板采用三面满焊增强钢架整体性。

(8) 采用双锁脚, 每个台阶处在设计基础上增设1道锁脚。



优化后设计断面图



开挖工法示意图

(2) 严格执行“三检制”, 不合格的工序不验收, 确保各道施工工序质量满足设计要求;

(3) 加强后期施工质量验证、变形监测, 以结果评定施工方法、质量是否得当, 不足之处及时改进。

4 质量保障措施

①开挖

隧道开挖过程中恪守“重勘察、防治水、预加固、强支护、分部挖、短进尺、少扰动、快封闭、勤量测”的原则。最大限度的利用围岩本身具有的支承能力, 减少变形, 坚持采取非爆破开挖方式。

②超前支护

a. 小导管的外插角根据注浆胶结拱的加固厚度确定, 为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 导管安装前, 将工作面封闭严密, 并正确测放出钻设位置后方可施工。

b. 注浆前喷射砼封闭作业面。防止漏浆, 喷射厚度不宜小于50mm。

③初期支护

3.4新工法、新工艺

(1) 快速封闭: 结合单线隧道机械设备难以施展、利用率较低, 开挖、运输难度极大情况, 现场摸索出了一种适合单线隧道三台阶不留核心土的快速封闭施工方法, 做到上、中、下各台阶同时掘进, 各台阶长度不超过6m, 仰拱初支不超过6m封闭成环后再次回填, 达到仰拱初支7-8天则封闭成环, 初支封闭成环距掌子面不超过15m, 仰拱初支成环宜18m后及时施作仰拱衬砌。(见下图)

(2) 非爆破: 把爆破法开挖改为机械法开挖, 采用洗挖机开挖消除爆破振动对围岩的扰动。

(3) 采用快速注浆工艺, 在打钻和立架工序时施作径向注浆及锁脚锚管注浆, 以提高施工效率, 减少工序用时。

3.5严格管控、规范施工

(1) 加强技术交底培训、参观学习等, 让作业人员明白怎么施工, 拥有较强的规范施工意识;

支护型式主要有砂浆和自进式锚杆、钢筋网、喷射混凝土, 工字钢拱架。施工中采取的锚杆网喷混凝土初期支护首先必须具有足够的强度和刚度, 且必须满足设计要求。初支施工后锚杆位置掏凹槽, 便于后期锚杆外露采用砂浆抹平处理。

④锚杆网喷混凝土支护

锚杆的类型和布置, 必须符合设计要求, 锚杆钻孔保持直线, 并与所在部位的岩层主要结构面垂直。锚杆安装前, 除去油污锈蚀并将钻孔吹洗干净。钢筋网随受喷面起伏铺设, 与受喷面的间隙为3cm。钢筋网的喷混凝土保护层厚度不得小于2cm。

钢筋网与锚杆或其它固定装置连接牢固, 网片之间搭接长度不小于200mm, 在喷射混凝土时钢筋不得晃动。锚杆、钢筋网安装经检验合格后, 及时喷射混凝土, 并确保在4h内不得进行爆破作业。

⑤喷射混凝土

采用湿式喷射法工艺, 由拌和站集中供应。喷射混

变更后监控量测数据统计表

| 部位 | 监测点 里程 | 拱顶测点 | | | 左侧点 | | | 右侧点 | | |
|-----|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 累计变形 | 预留变形量 | 剩余预留量 | 累计变形 | 预留变形量 | 剩余预留量 | 累计变形 | 预留变形量 | 剩余预留量 |
| 上台阶 | 375 | 215.5 | 600 | 384.5 | 270.2 | 600 | 329.8 | 349.4 | 600 | 250.6 |
| | 380 | 231.2 | 600 | 368.8 | 211 | 600 | 389 | 346.4 | 600 | 253.6 |
| | 385 | 319.8 | 600 | 280.2 | 280.7 | 600 | 319.3 | 372.4 | 600 | 227.6 |
| | 390 | 280.7 | 600 | 319.3 | 320.4 | 600 | 279.6 | 369.4 | 600 | 230.6 |
| | 395 | 118.6 | 400 | 281.4 | 229.5 | 400 | 170.5 | 209.3 | 400 | 190.7 |
| | 400 | 102.5 | 400 | 297.5 | 262.4 | 400 | 137.6 | 212.9 | 400 | 187.1 |
| | 405 | 76.8 | 400 | 323.2 | 235 | 400 | 165 | 243.8 | 400 | 156.2 |
| | 410 | 30.4 | 400 | 369.6 | 194 | 400 | 206 | 220.2 | 400 | 179.8 |
| 中台阶 | 375 | | | | 222.1 | 600 | 377.9 | 365.9 | 600 | 234.1 |
| | 380 | | | | 212.7 | 600 | 387.3 | 362.6 | 600 | 237.4 |
| | 385 | | | | 220.5 | 600 | 379.5 | 397.6 | 600 | 202.4 |
| | 390 | | | | 100.1 | 600 | 499.9 | 233.2 | 600 | 366.8 |
| | 395 | | | | 185 | 400 | 215 | 216.7 | 400 | 183.3 |
| | 400 | | | | 125 | 400 | 275 | 223.1 | 400 | 176.9 |
| | 405 | | | | 153.7 | 400 | 246.3 | 231.8 | 400 | 168.2 |
| | 410 | | | | 162.5 | 400 | 237.5 | 224.7 | 400 | 175.3 |
| 下台阶 | 375 | | | | 107.6 | 400 | 292.4 | 63.2 | 400 | 336.8 |
| | 380 | | | | 97.9 | 400 | 302.1 | 76.4 | 400 | 323.6 |
| | 385 | | | | 91.4 | 400 | 308.6 | 99.2 | 400 | 300.8 |
| | 390 | | | | 85.4 | 400 | 314.6 | 84.3 | 400 | 315.7 |
| | 395 | | | | 72.5 | 200 | 127.5 | 64.1 | 200 | 135.9 |
| | 400 | | | | 66.6 | 200 | 133.4 | 101.5 | 200 | 98.5 |
| | 405 | | | | 70.3 | 200 | 129.7 | 89.4 | 200 | 110.6 |
| | 410 | | | | 57.6 | 200 | 142.4 | 120.2 | 200 | 79.8 |

混凝土作业分片依次进行，喷射作业自下而上，先喷钢架支撑与拱墙壁间混凝土，后喷两拱架之间混凝土。

混凝土喷设采取分层喷射，后一层喷射在前一次喷射混凝土终凝后进行。喷射混凝土时，喷头垂直于受喷面，喷头离受喷面的距离保持在0.6 ~ 1.2m之间。喷射混凝土的表面确保密实、平整，无裂缝、脱落、漏喷、漏筋、空鼓、渗漏水等现象。

⑥型钢钢拱架支护

钢架为H175型钢，严格验收出厂质量，确保精度、连接质量满足规范要求。

⑦变更施作后监控量测数据统计（见上表）

5 初步结论

(1) 高地应力软岩大变形的隧道，首先要对预留变形量进行分析和预测，开挖时留足变形量，避免造成初支侵限二次拆除。

(2) 采用椭圆形断面符合铁路单线隧道高地应力软岩大变形的特点，采取短台阶分部开挖，及早对初支封

闭成环，仰拱及时施作，结构的及时封闭是抑制高地应力大变形的主要措施之一，是较为合理的稳步施工方法。

(3) 根据围岩变形处理，松散变形在洞壁周围，采用长短锚杆结合的方式在洞壁周围进行加固，达到抑制变形速率的作用。

(4) 监控量测是高地应力隧道施工必不可少的手段和工序之一，量测数据要及时分析、反馈，以指导现场施工。

参考文献：

[1]王辉麟, 蒋秋华, 索宁, 马伟斌, 赫永锋. 铁路隧道施工安全管理与风险预警技术的应用[J]. 铁道建筑, 2013 (03): 72 ~ 74

[2]刘金山. 隧道工程施工技术管理要点[J]. 铁道建筑技术. 2012, 13 (6): 23-29

[3]周子健. 高速公路隧道施工全过程风险动态分析与反馈设计方法研究[J]. 黑龙江交通科技, 2015 (4): 159, 161.