

复杂地质条件下隧道燕尾段 支护体系现场监测试验分析

宋 杨^{1,2}, 娄国充¹, 高云娇¹

(1. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043;

2. 中国兵器工业北方勘察设计研究院有限公司, 河北 石家庄 050011)

摘要: 开展燕尾式隧道支护体系现场监测试验, 研究分析了围岩与初支接触压力、锚杆轴力、钢拱架应力和初喷砼层应力。试验结果表明: 大跨断面围岩压力对施工的动态响应明显, 连拱断面围岩压力伴随后行洞室开挖产生的空间效应变化显著; 锚杆多承受拉力作用, 大跨段锚杆支护效果较连拱段明显, 锚杆支护参数存在进一步优化的空间; 初喷砼层与钢拱架普遍承受压力作用, 均发挥了相应的支护作用。研究成果可为类似工程的修建提供参考。

关键词: 断层破碎带; 燕尾式隧道; 支护体系; 现场监测

中图分类号: U457 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)03-0043-05

0 引言

燕尾式隧道不但可以满足特殊地质及地形条件, 还可服从铁路总体线形规划和优化的要求, 与既有线路对接, 从而取得良好的技术经济效果。但燕尾式隧道结构型式复杂, 断面尺寸变化频繁, 在洞室开挖支护过程中, 围岩压力重分布和支护体系受力情况较一般结构型式的隧道更难掌握。目前, 张庆松等^[1]对庙坪隧道进行了支护体系受力监测; 孙明磊等^[2]结合南梁隧道喇叭口段, 开展了系统全面的监控量测工作; 袁勇等^[3]针对金竹林连拱隧道进行了现场监测; 周丁恒等^[4]对浅埋大断面大跨度连拱隧道支护体系进行了现场测试研究; 刘泉声等^[5]对龙潭隧道进行了大量现场监控量测; 但由于燕尾式隧道出现不多, 对其展开的现场监测试验的研究工作较少, 所以就戴云山隧道燕尾段施工过程中支护体系的受力特点进行了分析研究, 可为支护参数优化与现场施工提供科学的依据与参考。

1 工程概况

依托工程为新建向莆铁路 FJ-3A 标段内戴云山隧道, 隧道进口里程 DK422+816, 大跨加宽段最大开挖跨度 21.01 m, 高度 15.82 m, 开挖面积达 270 m², 至 DK423+505 里程处变化为左、右线两座隧道直到出口, 连拱段长 80 m, 至 DK423+585 里程处变化为小净距隧道。燕尾段处于 F4 断层影响带范围之内, F4 断层产状 165°∠60°, 与线路交角约为 45°; 断层以密集节带的形式表现, 局部沿节理面产生水平滑移, 地表宽度约为 3 m, 长度为 800 m; 该断层为左旋平移断层, 其上盘影响宽度约为 20 m, 下盘影响宽度约为 10 m, 在影响范围之内的岩石节理裂隙相对发育, 岩石破碎, 地下水为构造裂隙水, 较发育, 为强富水区。大跨段属煤系地层, 局部含软弱夹层, IV 级围岩; 连拱段受 F4 断层影响明显, 主要为 IV 级围岩, 局部 V 级。其中大跨段采用三台阶法开挖, 连拱段采用中导洞超前, 右洞全断面先行开挖施工。燕尾段支护参数列于表 1。

2 现场监测方案设计

燕尾式隧道作为一种典型的隧道结构型式, 同时具备多种隧道结构型式的特点。大断面隧道由于形

收稿日期: 2013-01-08

作者简介: 宋杨 男 1987 年出生 硕士研究生

状扁平,开挖后围岩稳定性变差,围岩应力更集中,松弛压力更大;连拱隧道施工工序繁多,施工干扰大,左右两洞相互影响明显。因此,加强对隧道燕尾段的现场监测显得十分必要,是快速安全施工的重要保证手段。现场围岩压力测试,锚杆轴力采用锚杆计量测,初喷混凝土层应力,钢拱架应力采用钢筋计量测,测点位置如图 1 所示。

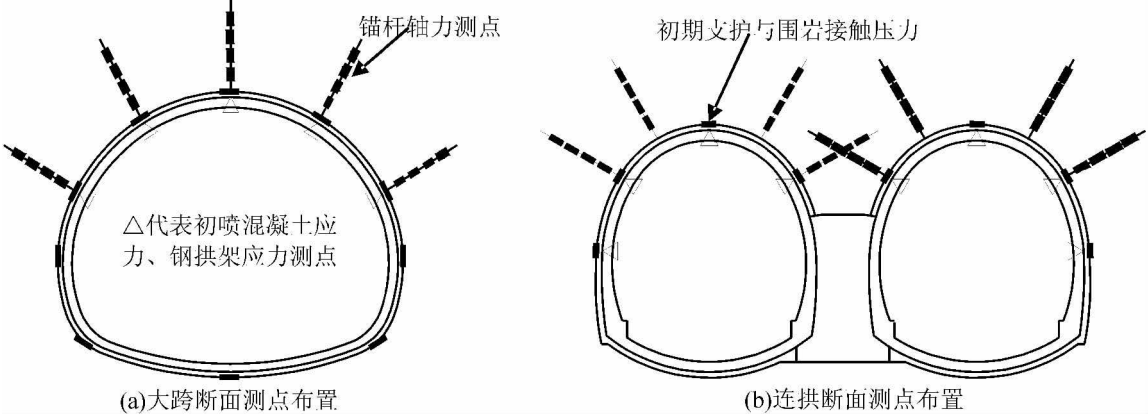


图 1 燕尾段测点布置图
表 1 燕尾段支护参数

项目		大跨段	连拱段
超前支护	小导管/mm	Φ42 × 3.5(壁厚)	Φ42 × 3.5(壁厚)
	长度/m	4	3.5
	环向间距/cm	40	40
中空注浆锚杆	直径/mm	Φ22	Φ22
	长度/m	4	3.5
	间距/m	环 1 × 纵 1	环 1.2 × 纵 1
钢筋网	直径/mm	Φ8	Φ8
	网格	20 cm × 20 cm	20 cm × 20 cm
钢拱架	截面类型	I22a 型钢	I18 型钢
	间距/cm	60	60
喷射混凝土	C25 合成纤维/cm	30	25
二次衬砌	C35 钢筋混凝土/cm	60	45

3 现场监测试验研究结果分析

3.1 围岩压力分析

3.1.1 大跨段围岩压力监测结果分析

图 2 分别为大跨段该监测断面围岩与初支接触压力时程曲线和最终围岩压力分布图。

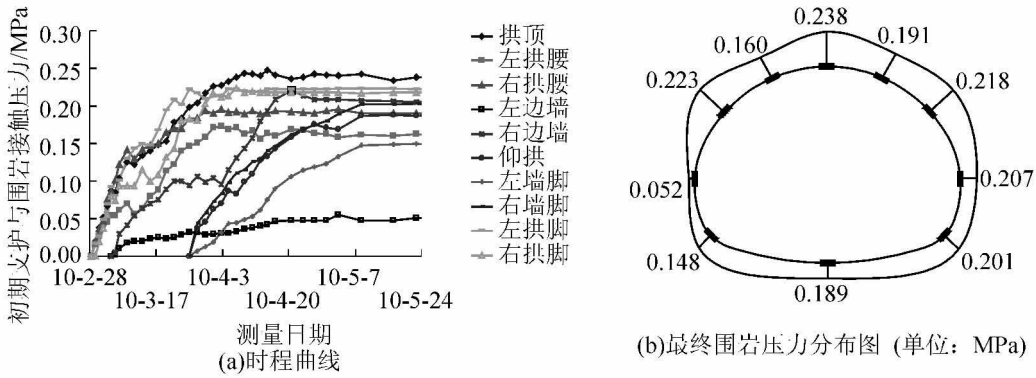


图 2 大跨断面初支与围岩接触压力

由于大跨段开挖跨度大,在开挖过程中围岩受施工扰动影响明显,围岩压力表现出明显的施工动态

响应特性^[6]。通过接触压力时程曲线可以看到,当上台阶开挖后,围岩与初支接触压力以较大速率增长;当中台阶进行开挖并通过该测量断面过程中,拱顶和拱腰处围岩压力均出现一定程度的回弹,继而又以一定的速率增长;这是由于中台阶开挖后,使上台阶钢拱架拱脚处失去了部分支撑反力造成的,所以应加强上台阶钢拱架与锁脚钢管的牢固焊接,确保上台阶钢拱架在未与中、下台阶钢拱架闭合前有较大的承载能力;下台阶开挖对该测量断面上部围岩压力影响较小。大约40 d后,围岩压力进入平缓期。图1(b)为该断面最终围岩压力分布图。从该断面最终围岩压力分布图可以看出:本断面最大围岩压力发生在拱顶处,围岩压力为0.238 MPa,断面围岩压力大小总体上为:拱顶>拱脚>拱腰>墙脚>仰拱>边墙,围岩压力已基本趋于稳定;拱顶处围岩压力大于左右拱腰处的围岩压力,说明侧压力系数小于1。一般的经验公式证明,深埋隧道左右两侧拱腰所受压力相同,并且小于拱顶围岩压力,这与实际测量结果基本吻合。

3.1.2 连拱段围岩压力监测结果分析

隧道连拱段以中导洞超前,右洞全断面先行开挖施工。图3(a)、(b)分别为右、左洞围岩与初支接触压力时程曲线,最终围岩压力分布情况如图4所示。

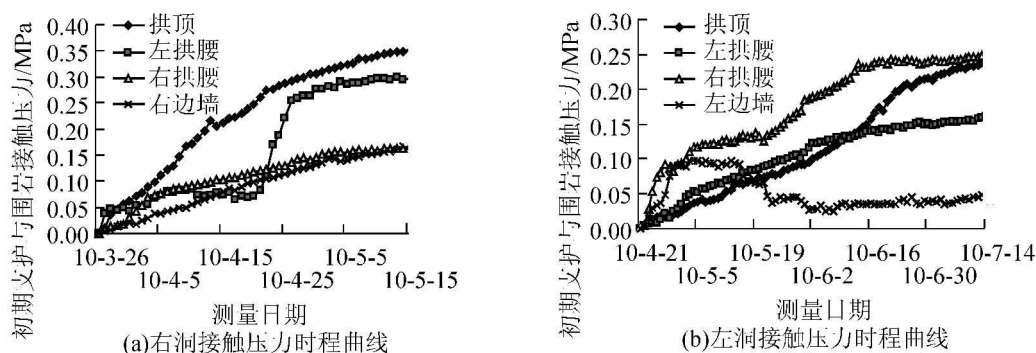


图3 连拱段初支与围岩接触压力时程曲线

(1) 从接触压力时程曲线可以看出:右洞最大围岩压力发生在拱顶位置处,约为0.355 MPa,而左洞最大围岩压力则出现在右拱腰处,约为0.244 MPa,两洞围岩压力最大值均出现在靠近中隔墙上方岩体处,说明中隔墙上方岩体扰动明显,是连拱段较为薄弱的环节。

(2) 当左洞进行开挖时,右洞左拱腰处围岩压力急剧增大,当左洞开挖面通过该监测断面一定距离后,右洞左拱腰处围岩压力才趋于稳定。

(3) 由于连拱段右洞先行开挖施工,使得周围岩体的内部应力得到一定程度的释放,加之后行左洞侧开挖面不断推进产生的空间效应,使先行右洞的围岩压力普遍大于左洞。

3.2 锚杆轴力分析

大跨断面与连拱断面锚杆轴力分布如图5所示,通过锚杆轴力现场测试结果可以看出:

(1) 大跨段锚杆轴力最大值为55.2 kN,发生在左拱腰位置;连拱段锚杆轴力最大值则出现在中隔墙上方,约为52.0 kN,说明该区域内岩体稳定性差,为连拱段较为薄弱环节,这与围岩压力监测结果相吻合。

(2) 纵向来看,大跨段锚杆轴力值普遍大于连拱段,这是因为大跨段开挖跨度大,松动区内的节理裂隙、破裂面更易扩展。

(3) 单根锚杆轴力最大值多发生在深度为2~3 m的位置,表明锚杆设计长度合理,有效穿透围岩松弛带,起到了加固松动区岩体的作用。

(4) 锚杆为全长粘结砂浆锚杆,其设计最大承载拉力为100 kN,压力为50 kN,实际监测锚杆轴力值

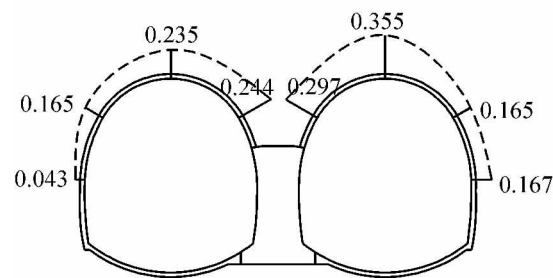


图4 连拱段初支与围岩接触压力分布图(单位:MPa)

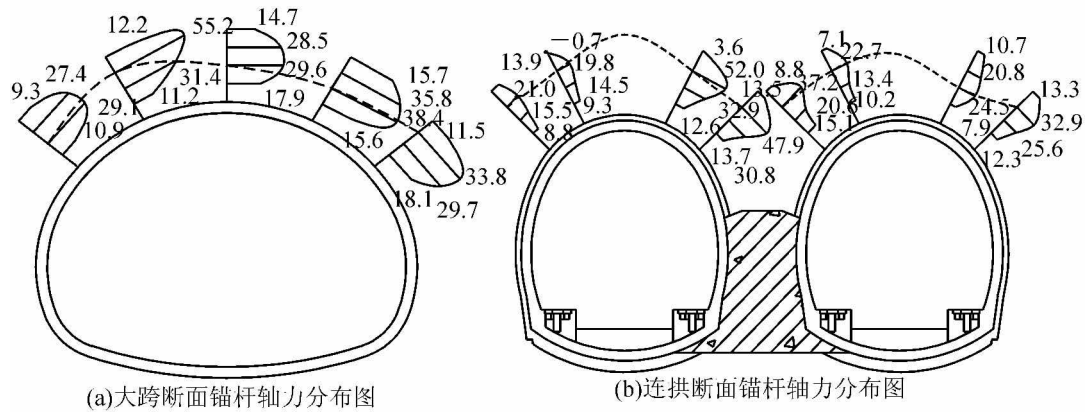


图 5 锚杆轴力分布图 (单位: kN)

均小于设计值,锚杆锚固力还有充分富余。

(5) 一般情况下,锚杆多承受拉力作用,只有在极少数情况下,锚杆才承受压力且压力值较小。

3.3 钢拱架应力分析

燕尾段钢拱架应力测试结果如图 6 所示。

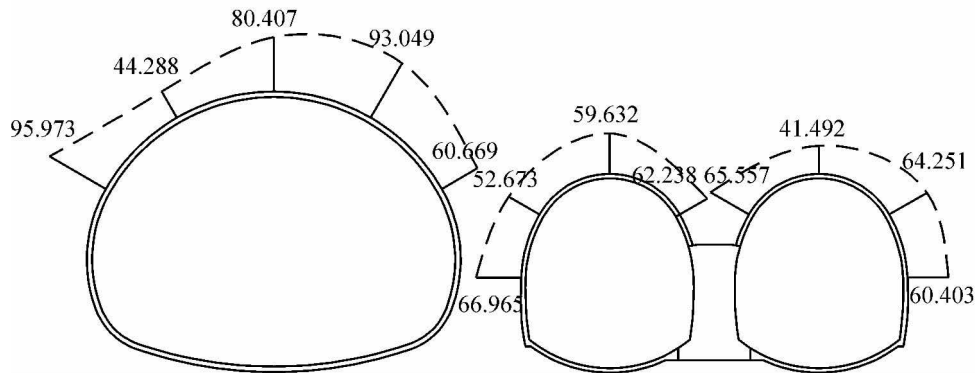


图 6 初喷砼层应力分布图 (单位: MPa)

(1) 从钢拱架应力监测结果来看,大跨监测断面钢拱架最大应力出现在左拱脚位置,应力值为 95.973 MPa,右拱腰处应力值次之,为 93.049 MPa;右侧应力分布较左侧均匀。

(2) 连拱段监测断面先行右洞钢拱架最大应力出现在左拱腰处,右拱腰和右边墙处次之,拱顶位置最小,应力值分别为 65.557 MPa, 64.251 MPa, 60.403 MPa, 41.494 MPa; 后行左洞左边墙处钢拱架应力最大,左拱腰处最小,应力值分别为 66.965 MPa, 52.673 MPa; 后行左洞钢拱架应力分布较先行右洞均匀。

(3) 纵向来看,大跨段钢拱架应力普遍大于连拱段钢拱架应力;钢拱架应力均在其强度容许范围之内,并且有充分的富余,可以保证隧道整体稳定性。

3.4 初喷混凝土层应力分析

燕尾段初喷砼层应力测试结果如图 7 所示。

(1) 从图 7 可以看出,大跨断面初期支护混凝土最大应力发生在拱顶,总体来看右侧大于左侧,与钢拱架受力情况较为吻合。

(2) 连拱段面右洞初支混凝土应力最大值发生在拱顶处,左洞最大应力出现在左拱腰处。

(3) 初支混凝土属柔性支护,允许围岩发生一定的变形收敛,普遍受到压力作用,并且应力分布较为均匀,所承受载荷均在混凝土设计强度范围之内。

4 结论

通过对复杂地质条件下隧道燕尾段支护体系的现场监测试验研究,可以得到如下结论:

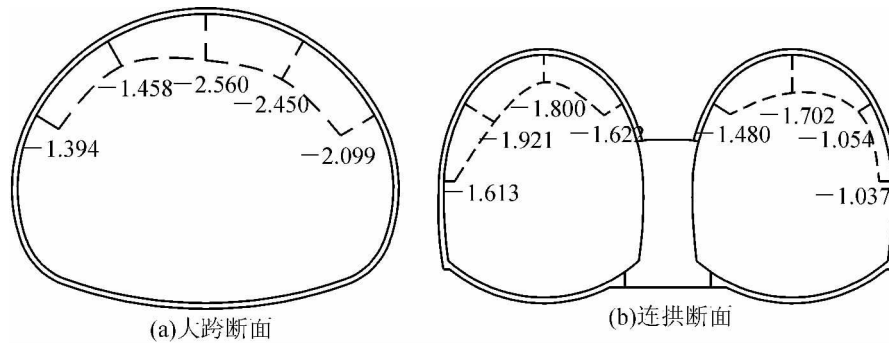


图7 初喷砼层应力分布图(单位:MPa)

(1) 大跨断面初支与围岩接触压力在中台阶开挖时较下台阶开挖响应明显,连拱断面初支与围岩接触压力较大值均出现在中墙上方岩体附近,后行左洞围岩压力普遍小于先行右洞,大跨断面开挖边界较连拱断面更为平滑,应力集中程度小于连拱断面。

(2) 大跨断面锚杆轴力普遍大于连拱断面,锚杆多承受拉力作用,并呈现两头小,中间大的轴力分布特点,监测数据显示锚杆支护参数存在进一步优化的空间。

(3) 初喷砼层属柔性支护,协调围岩变形,钢拱架属刚性支护,阻止围岩过度变形并承受大部分松弛载荷,初喷砼层与钢拱架均承受压力作用,大跨断面支护应力大于连拱断面。

(4) 根据监控量测数据统计分析反馈,隧道燕尾段支护体系受力均在材料设计强度允许范围之内,燕尾段整体稳定性较好,表明隧道燕尾段施工方法、施工工艺均合理有效。

参 考 文 献

- [1] 张庆松,李术才,李利平. 分岔隧道大拱段围岩稳定性监控与爆破振动效应分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(7): 1462-1468.
- [2] 孙明磊,朱正国,刘志春. 客运专线超大断面隧道现场监测分析研究[J]. 铁道建筑, 2009(10): 57-59.
- [3] 袁勇,王胜辉,杜国平,等. 双连拱隧道支护体系现场监测试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(3): 480-484.
- [4] 周丁恒,曹力桥,王晓彤,等. 浅埋大断面大跨度连拱隧道支护体系现场监测试验研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(10): 1573-1581.
- [5] 刘泉声,白云山,肖春喜,等. 基于现场监控量测的龙潭隧道施工期围岩稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 1982-1990.
- [6] 张永利. 大跨度浅埋软弱围岩隧道施工方法比较[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2012, 25(1): 68-70.

In-situ Tests on Support System of Swallow-tailed Tunnel Under Complicated Geological Conditions

Song Yang^{1,2}, Lou Guochong¹, Gao Yunjiao¹

(1. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. China North Industries NORENGEO Ltd, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: Field tests of support system are carried out to investigate surrounding rock pressure, bolt axial force, steel framework stress and shotcrete stress. The results show that the surrounding rock pressure has dynamic response to constructing in large-span section; the surrounding rock pressure of the double-arched section changes markedly with excavating of subsequent cavern; bolts are pulled mostly; the practical support effect of bolts is more superior in large-span section; the parameters of bolt supporting have a further optimized scope; and the shotcrete and steel arch structure serve the corresponding supporting function. The results are applicable to the other similar engineering projects.

Key words: fault fracture zone; swallow-tailed tunnel; support system; field test (责任编辑 车轩玉)