

偏压小净距黄土隧道先行洞初支受力特性分析

宿钟鸣^{1,2}, 申俊敏^{1,2}, 薛晓辉^{1,2}

(1. 山西省交通科学研究院, 山西 太原 030006;

2. 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室, 山西 太原 030006)

摘要: 小净距黄土隧道在实体工程中的应用越来越多, 鉴于黄土隧道围岩参数的不确定性, 数值计算结果不能作为设计的直接依据, 现场监控量测在新奥法黄土隧道施工中的作用越来越重要。为更好地掌握偏压小净距黄土隧道先行洞初期支护的受力特性, 依托工程先行洞的典型断面布设监测点, 依据现场监控量测的结果, 从接触应力及喷混凝土应变角度出发, 重点分析了偏压小净距黄土隧道先行洞初期支护的受力特性, 得出了先行洞初期支护应力和接触应力的分布特点, 对小净距黄土隧道的设计和施工具有借鉴、指导意义。

关键词: 偏压; 小净距黄土隧道; 受力特性; 初期支护; 接触应力; 仰拱

中图分类号: U451+.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2013)04-0130-05

Mechanical Analysis of Primary Support in First-excavation Hole of Neighborhood Loess Tunnel under Unsymmetrical Pressure

SU Zhong-ming^{1,2}, SHEN Jun-min^{1,2}, XUE Xiao-hui^{1,2}

(1. Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan, Shanxi 030006, China; 2. Key Laboratory of

Transportation Trade for Highway Construction and Maintenance Technology in Loess Region, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

Abstract: The neighborhood loess tunnel is more and more widely used in actual projects. Due to the uncertainty of the parameters in surrounding rock, the results obtained from numerical calculation can not directly offer the basis for design, so the function of the field monitoring in the construction of loess tunnel by NATM is increasingly prominent. The monitoring points are fixed up on the typical section in order to well grasp the mechanical characteristics of primary support in the first-excavation hole of neighborhood loess tunnel under unsymmetrical pressure. Based on the monitoring results, the mechanical characteristics of primary support are analyzed from the perspective of contact stress and shotcrete strain. Then, the distribution characters of primary support stress and contact stress are obtained, which will offer reference and guidance to the design and construction of such tunnel.

Keywords: unsymmetrical pressure; neighborhood loess tunnel; mechanical characteristic; primary support; contact stress; inverted arch

0 前 言

我国分布着大约 $64 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的黄土, 约占国土面积的 6.3%。随着社会对交通需求量的不断增大, 黄土地区将建设越来越多的高等级公路。受地形条件的限制, 小净距黄土隧道在工程实体中的运用越来越多^[1-2]。根据复合式衬砌结构的承载机制, 初期支护是主要的承载结构, 研究其受力特性具

有重要的现实意义, 既是分析黄土隧道施工安全状况的重要依据, 也是评价黄土隧道初期支护参数设计合理性的基础^[3-6]。

目前对黄土隧道初期支护结构内力的研究多采用有限元方法、有限差分法、边界元法及离散元法等数值分析方法, 因黄土隧道围岩参数的不确定性, 其计算结果与实际受力有较大的出入, 不能作为设计的直接依据^[7-9]。新奥法施工的黄土隧道, 监控量

测是其中重要的一个环节,依据监测结果可判断隧道施工期的安全性和初期支护参数设计的合理性。因此,在黄土隧道尤其是小净距黄土隧道的施工中,现场监控量测的地位越来越重要,作用越来越明显^[10-11]。本文依托岢临高速公路龙王庙1号隧道,在现场监控量测的基础上,从围岩与初期支护接触应力、喷混凝土及仰拱受力角度分析偏压小净距黄土隧道施工时先行洞初期支护结构的受力特性。

1 工程概况

岢临高速公路龙王庙1号隧道位于临县侯家岩村北约1000m处,设计为左右线分离式,两洞中轴线间距25.1m~26.6m,左右洞净距为12.6m~14.1m,属于小净距隧道。右洞全长259m,起点洞口里程桩号为K112+989,洞口底板设计高程1171.1m,终点洞口里程桩号为K113+248,洞口底板设计高程1168.4m,洞体最大埋深57.7m,位于K113+100处。左洞全长274m,起点洞口里程桩号ZK112+984,洞口底板设计高程1171.1m,终点洞口里程桩号为ZK113+258,洞口底板设计高程1168.2m,洞体最大埋深64.3m,位于ZK113+140处。左右线均属短隧道,呈直线形布置。

2 现场监控量测

2.1 传感器测试原理

钢弦式测试元件的基本原理是由元件内钢弦的应力变化转变为钢弦的振动频率变化,根据下式计算:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\sigma/\rho} \quad (1)$$

式中: f 为钢弦的振动频率; L 为钢弦的长度; ρ 为钢弦的密度; σ 为钢弦所受的张拉应力。

L 和 ρ 是定值,所以钢弦的频率只取决于钢弦上的张拉应力。从弹性理论可知,钢弦上产生的张拉应力与承压面压力成线性关系,钢弦频率与压力 P 的关系如下:

$$f^2 - f_0^2 = kP \quad (2)$$

式中: f 为受压后钢弦的频率; f_0 为未受压钢弦的频率; P 为所受压力; k 为标定系数。

2.2 监测目的和项目

为更好地了解偏压小净距黄土隧道先后行洞施工过程中先行洞初期支护结构的受力特点,进一步摸清后行洞施工对先行洞初期支护受力特性的影响,及时反馈监测信息,判断施工期先行洞的安全状

况,达到动态设计和施工的目的。如图1所示,在K113+110断面的拱顶 A 位置、左右拱腰 B 和 B' 位置、左右拱脚 C 和 C' 位置、左右中导 D 和 D' 位置及左右下导 E 和 E' 位置分别布设喷混凝土埋入式智能弦式应变计和双膜土压力盒,用以测试初期支护喷射混凝土的受力状况和初期支护与围岩之间的接触应力;在K113+095断面的仰拱底 F 位置和左右腰位置 G 和 G' 分别布设仰拱混凝土埋入式智能弦式应变传感器和双膜土压力盒,用以测试仰拱混凝土的受力状况和仰拱与围岩之间的接触应力(见图2)。受施工影响,K113+110断面左下导位置 E 和右中导位置 D' 处的传感器被破坏,未能监测到有效数据。

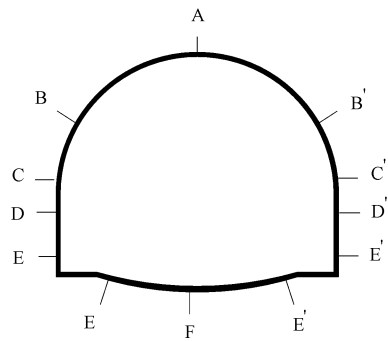


图1 先行洞 K113+110 断面监测点示意图

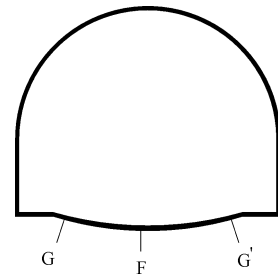


图2 先行洞 K113+095 断面监测点示意图

3 监测结果分析

受地形条件限制,龙王庙1号隧道先后行洞均采用从大里程端开挖的方案,先行洞K113+110和K113+095断面的各监测点按1次/d的监测频率进行日常监测,后行洞开挖距先行洞K113+110断面前10m位置处(即ZK113+120断面)时,加大先行洞监测断面各测点的监测频率,按2次/d的频率进行,后行洞开挖至K113+085断面后恢复1次/d的监测频率。各监测点的实测结果整理分析如下。

3.1 初支受力分析

监测断面拱顶、拱腰及拱脚位置处的喷混凝土均处于受压状态,拱腰位置处监测值大于拱脚位置,

拱顶次之,混凝土喷射完毕后 10 d 左右,其受力变化幅度较大;仰拱开挖后其值出现了突变,随后有减少趋势;随掌子面不断推进,其值有不断增大的趋

势,但变化幅度较小;左边墙中导位置的受力明显高于右边墙下导位置(见图 3)。

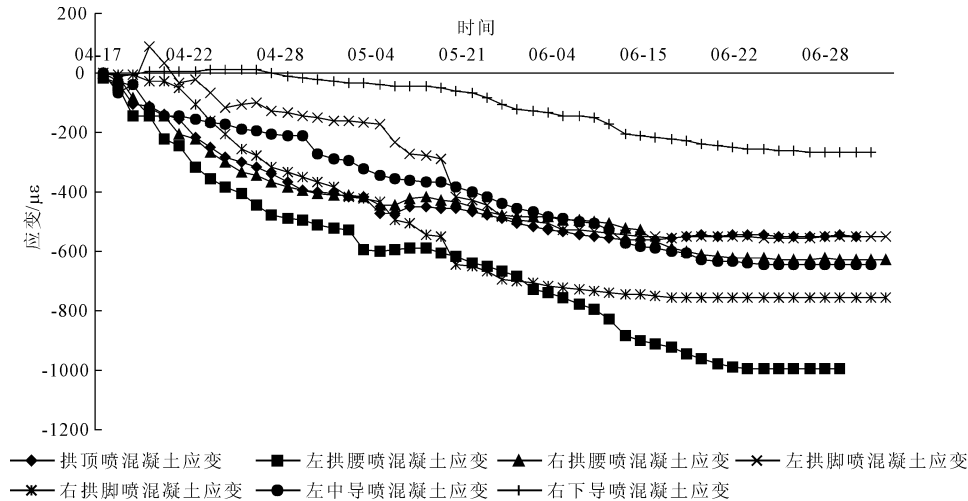


图 3 先行洞 K113+110 断面各监测点喷混凝土应变时程曲线

初支封闭后围岩应力重分布、偏压和后方洞施工是先行洞初支喷混凝土受力出现上述结果的原因。

3.2 接触应力分析

拱顶位置接触应力变化较为复杂,混凝土喷射完毕后 3 d 内其值由 3 kPa 急剧上升至 53 kPa,随后则逐渐降低。随掌子面向前推进其值逐渐增大后又逐渐减少。先行洞左中导开挖监测断面拱脚悬空和初支闭合成环是其值出现上述变化的原因。

左右拱腰处接触应力均经历了一个由小到大,再逐渐减少的过程,两者监测值相差不大。左侧拱脚处接触应力明显高于右侧。左边墙中导位置接触

应力经历了一个由小到大,最后渐趋稳定的过程,最大值为 61 kPa,右边墙下导位置变化幅度较大,曲线出现明显拐点,最大值为 275 kPa。

后方洞开挖至监测断面,因左侧边墙位置锁脚锚杆施工加剧了围岩扰动,使围岩松动区半径进一步加大是导致先行洞监测断面右边墙下导位置处接触应力急剧增大的原因。

整体上来看,监测断面各位置接触应力分布不均匀,受后方洞施工影响,先行洞右侧边墙(靠近中间岩柱)侧的接触应力较其它监测点处的值明显偏大(见图 4)。

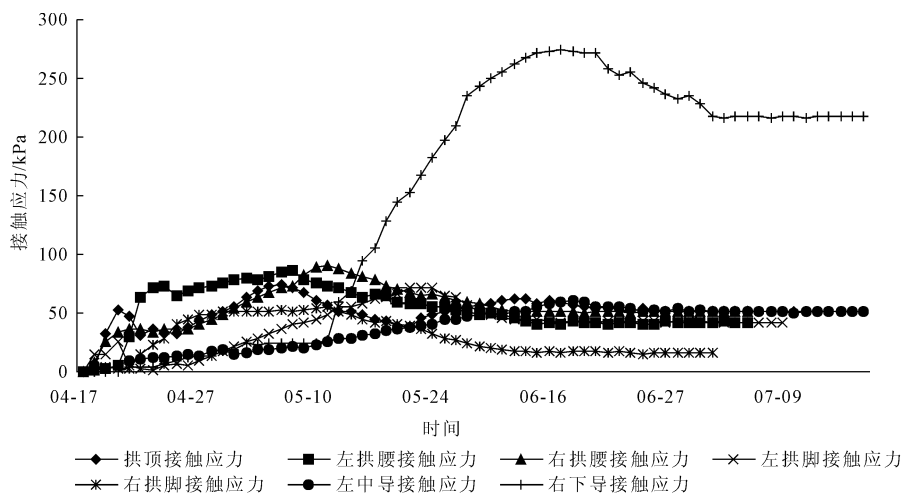


图 4 先行洞 K113+110 断面各监测点接触应力时程曲线

3.3 仰拱受力分析

仰拱及其填充混凝土浇筑完毕后,仰拱底部的接触应力达到了 99 kPa,随混凝土强度不断提高,接触应力则迅速下降,这一过程持续了 10 d 左右;随先行洞掌子面不断向前推进和后行洞施工影响,其值有不断上升趋势,稳定在 92 kPa,该值大于按 $P = \gamma h$ 计算值。说明仰拱底部不仅承受自身及其填充混凝土的压力,而且承受仰拱底鼓现象带来的形变压力,仰拱底部围岩应力的不断释放是其值较大的

根本原因。

仰拱右腰位置监测点的接触应力呈现出先减少后增大的现象,小于仰拱左腰位置之值。仰拱左右脚位置接触应力起伏较大变化复杂,均经历了先减少后增大,再减少后再增大的变化;仰拱右脚位置监测点接触应力明显高于左脚位置。

监测断面仰拱接触应力分布不均匀,其值在左右拱腰处最大,仰拱底部次之,左右拱脚位置处最小,大致上呈倒“猫耳朵”型分布(见图 5)。

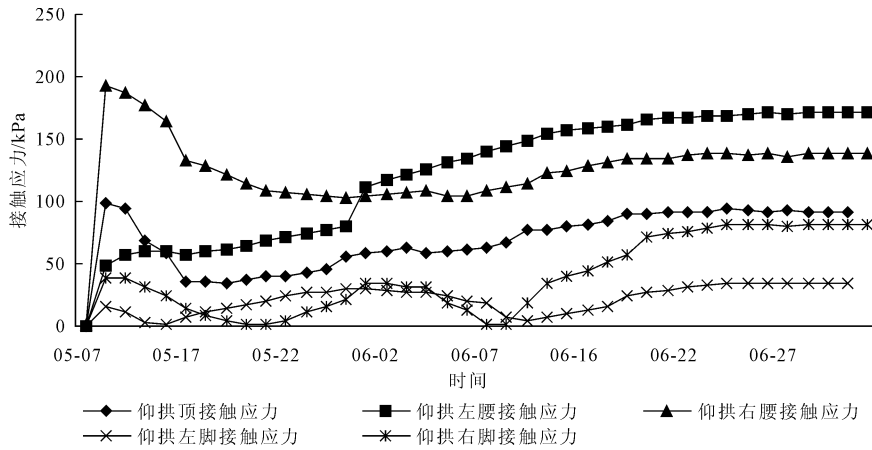


图 5 先行洞 K113 + 095 断面各监测点接触应力时程曲线

仰拱及其填充混凝土浇筑完毕后,仰拱底部监测点混凝土经历了压拉状态的转变,随龄期增长受拉趋势越来越强,但变化幅度不大;整体上来看,右腰位置混凝土(即靠近中间岩柱一侧)受拉趋势强于左腰位置,两者在量值上均大于仰拱底部混凝土应

变值;右脚位置混凝土拉应变值稍大于左侧值,其值小于其它监测位置。先行洞初期支护闭合成环后,围岩应力的不断调整是仰拱各监测位置出现上述变化的原因(见图 6)。

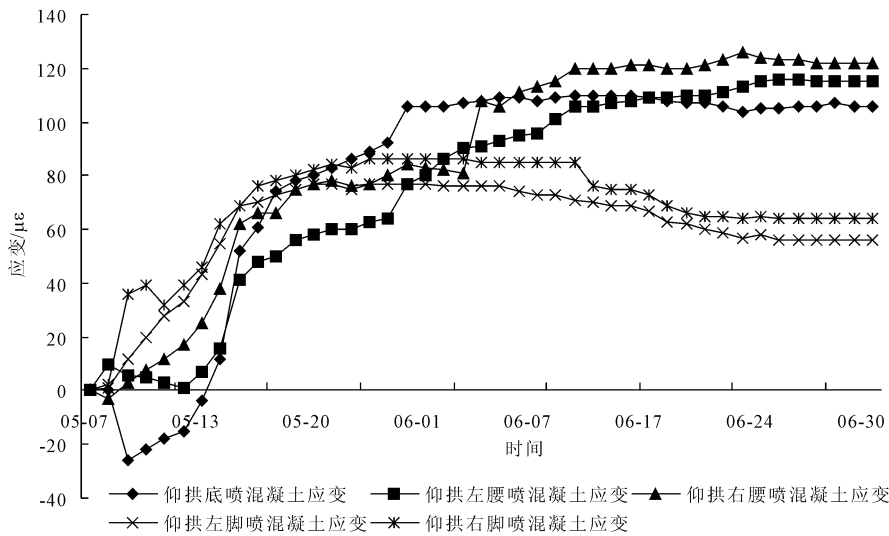


图 6 先行洞 K113 + 095 断面各监测点喷混凝土应变时程曲线

4 结 语

本文依据偏压小净距黄土隧道先行洞的现场监

控量测数据,从接触应力及喷混凝土应变角度重点分析了先行洞初支的受力特性,得出了以下几点结论:

(1) 先行洞初支喷混凝土以受压为主,拱腰位置处受力最大,拱脚位置次之,拱顶位置最小;受偏压和净距的影响,左边墙中导混凝土受力明显高于右边墙下导喷混凝土受力。

(2) 先行洞初期支护与围岩间接触应力分布不均匀,拱腰位置大于拱顶和拱脚位置;受后行洞施工影响,先行洞内侧边墙(靠近中间岩柱)的接触应力较其它位置监测值明显偏大。

(3) 先行洞仰拱受力分布不均匀,左右拱腰处受力最大,底部次之,左右拱脚处最小,大致上呈倒“猫耳朵”型分布。

参考文献:

- [1] 何志俊. 监控量测在公路黄土隧道洞口段的应用[J]. 山西交通科技, 2012, (3): 59-60, 71.
- [2] 展宏跃, 王起才. 浅埋偏压黄土隧道洞口段变形破坏分析及整治措施研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2009, 7(4): 117-120.
- [3] 赵勇, 李国良, 喻渝. 黄土隧道工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011: 124-153.
- [4] 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.
- [5] 李元松, 李新平, 代翼飞, 等. 隧道围岩与衬砌受力特性测试与数值分析[J]. 岩土力学, 2007, 28(7): 1348-1352, 1358.
- [6] 何英伟, 雷明锋, 彭立敏, 等. 软弱破碎围岩隧道初期支护受力特征测试分析[J]. 公路工程, 2009, 34(1): 132-135.
- [7] 蒋树屏, 赵阳. 复杂地质条件下公路隧道围岩监控量测与非确定性反分析研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(20): 3460-3464.
- [8] 舒志乐, 刘保县, 李月. 偏压小净距隧道围岩压力分析[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(3): 430-433.
- [9] 赵占厂, 谢永利, 杨晓华, 等. 黄土公路隧道围岩压力测试分析[J]. 现代隧道技术, 2003, 40(2): 58-61.
- [10] 龚建伍, 夏才初, 雷学文. 浅埋小净距隧道围岩压力计算与监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(Z2): 4139-4145.
- [11] 王明年, 翁汉民, 李志业. 隧道仰拱的力学行为研究[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(1): 46-53.

(上接第 118 页)

3 结 语

(1) 无论是平底锤还是球底锤, 随着夯击功能的增大, 桥台的水平向加速度和水平向瞬态位移值增大, 桥台水平向瞬态位移最大值一般出现在台顶以下约 $\frac{1}{3}$ 台高处; 水平向加速度和水平向瞬态位移随夯击次数产生波动变化, 开始随夯击次数的增加而增大, 达到一定夯击次数后, 又随夯击次数减小, 随后又有波动。

(2) 无论是平底锤还是球底锤, 夯锤越重, 对桥台的振动影响越大, 夯沉量随夯击次数的增加而增大。因此, 在落距一定的情况下, 采用合适的锤重和夯击次数可有效控制对桥台的动力影响。

(3) 比较模型试验所得数据可见, 球底锤比平底锤对桥台的振动影响小, 且采用球底锤比平底锤夯沉量明显的大, 有利于增大夯实效果。

参考文献:

- [1] 于克萍, 程侠, 折学森. 强夯处理黄土路堤的模型试验[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(4): 22-24.
- [2] 于克萍, 折学森. 强夯压实黄土路基的现场试验研究[J]. 长安大学学报(建筑与环境科学版), 2003, 20(2): 20-23, 32.
- [3] 杨智刚. 强夯桥台背路基土体变形的室内模型试验研究[J]. 路基工程, 2009, (4): 64-65.
- [4] 于克萍, 折学森. 桥台背路基受强夯振动力作用的模型试验研究[J]. 西北建筑工程学院学报(自然科学版), 2002, 19(4): 1-5.
- [5] 于克萍, 程侠, 折学森. 桥台背路基受强夯振动力作用时桥台的变形特性[J]. 长安大学学报(建筑与环境科学版), 2003, 20(3): 12-13, 43.
- [6] 范秋雁, 陈景河, 易剑辉. 强夯法中几个问题的室内模型试验研究[J]. 土工基础, 2005, 19(6): 64-67.
- [7] 费香泽, 王钊, 周正兵. 强夯加固深度的试验研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2002, 34(4): 56-59.
- [8] 费香泽, 王钊, 周正兵. 黄土强夯的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(4): 437-441.
- [9] 孔位学, 陆新. 强夯法加固软土地基有效加固深度研究[J]. 四川建筑科学研究, 2001, 27(4): 45-48.
- [10] 张平仓, 汪稔. 强夯法施工实践中加固深度问题浅析[J]. 岩土力学, 2000, 21(1): 76-80.