

软岩隧道中双层初期支护的应力情况分析

姚正源

(上海勘察设计研究院(集团)有限公司,上海 200093)

摘要: 两水隧道穿越的地层主要岩性为炭质千枚岩,地质情况较差,围岩破碎度高,节理发育。自 2009 年两水隧道开工建设以来,隧道工程问题层出不穷,出现了初期支护开裂、破坏,甚至出现二衬开裂、掉块,仰拱隆起等严重的隧道结构破坏现象,施工进度缓慢。在进口桩号为 DK359+712~DK359+742 段采用双层初期支护和单层二次衬砌的支护方式,取得了良好的效果。通过应力情况分析为炭质千枚岩隧道的支护选型提供了依据。

关键词: 软岩隧道;应力分析;双层初期支护;单层二次衬砌

中图分类号: U455.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)07-0073-04

Stress Analysis for Double Preliminary Support in Soft-rock Tunnel/YAO Zheng-yuan (SGIDI Engineering Consulting (Group) Co., Ltd., Shanghai 200093, China)

Abstract: The main lithology of the strata that Liangshui tunnel crossed is carbonaceous phyllite with poor geological conditions, the surrounding rocks are broken with high breaking degree and joint development. Since the construction of Liangshui tunnel in 2009, the problems of tunnel engineering have come out in an endless stream. The preliminary support cracking and failures happened, even serious tunnel structure failure such as cracking of the secondary lining, block falling and inverted arch uplift occurred, which led to slow construction progress. In the section of imported pile number of DK359+712~DK359+742, good results have been received by double-layer preliminary support and single-layer secondary lining. The analysis on the stress situation provides a basis for the support mode selection of carbonaceous phyllite tunnel.

Key words: soft-rock tunnel; stress analysis; double-layer preliminary support; single-layer secondary lining

1 工程概况

两水隧道位于兰渝铁路第 5 标段,起止桩号里程为 DK357+082~DK362+090,隧道全长 4928.35 m,为双线单洞铁路隧道。隧道洞身穿过地层主要为志留系中、上统炭质千枚岩、炭质千枚岩夹板岩、灰岩。炭质千枚岩呈深灰、灰黑色,含炭质,石英充填,鳞片变晶结构,片状构造,具丝绢光泽,污手。受构造影响,褶皱发育,薄片、薄层状岩层被节理切割成碎块状,岩体破碎,稳定性差,岩体强度低于 5 MPa,属极软岩,局部地段有渗水现象。表层风化层厚 4~6 m,存在孤石、围岩松散、结构不稳定易于造成滑坡、坍塌,处理不当会出现大坍塌。隧道围岩岩性以灰岩与千枚岩互层,千枚岩层理及节理裂隙较发育。

针对两水隧道这样的有围岩大变形情况的复杂地质情况隧道,在实际施工中采用了双层初期支护及单层二次衬砌的施工关键技术对隧道进行开挖。

2 双层初期支护

2.1 基本机理

双层初支的第一层支护和第二层支护在受力过

程中的受荷载情况是不同的。隧道向前开挖时,掌子面正前方的围岩应力已经有所释放,这一段围岩处于初始应力阶段,直到施作第一层初期支护后围岩的应力释放开始受到约束,随着施工进程的推进,围岩应力释放速度逐渐减慢,此时的第一层初支的变形速率也随之降低。跟进施作第二层初支,第二层初期支护的力学传递机理为:(1)围岩变形造成的挤压应力。隧道开挖后,围岩体由于受到扰动产生了应力释放,由初始应力状态转变为二次应力状态,同时围岩体进入塑性变形。施作第一层初支后,围岩体和初期支护结合,围岩体的变形受到了初期支护的约束,围岩的挤压应力传递到了初期支护上。第一层初期支护由于受力而产生了变形,这种变形随着围岩应力的不断释放而增长,在隧道工程中伴随有第一层初期支护开裂、钢架弯曲变形等现象。而后施作第二层初期支护,这样第一层和第二层支护协同作用形成了双层初支结构。在理论上,这样的支护结构既能让围岩体的应力得到一定量的释放,又能承担围岩变形产生的对支护结构的挤压应力,充分体现了对荷载在不同时空中支护的观念。

(2)承受第一层初期支护传递的应力。第一层初期支护在围岩的持续变形下自身也在产生着持续变形,由于第二层初期支护对第一层初支的约束性,使得第二层初期支护受到挤压。双层支护之间的混凝土成为了力学传递的介质,由于变形的不均匀性,双层支护之间存在着剪应力。这样的应力传递使得双层支护共同受力,共同变形。

2.2 技术特点

双层初期支护主要改善了3方面的问题:(1)传统的初期支护和二次衬砌的设计方法,实际变形量高于设计预留变形量,侵限情况频发。采用了双层初期支护和单层二次衬砌的设计后,累积变形量可以控制在600 mm以下,部分墙腰区域累积变形量可以控制在200 mm以下,基本符合了炭质千枚岩围岩隧道在V级围岩的情况下的累积变形量要求。(2)传统的初期支护和二次衬砌的设计方法,不能有效地控制隧道断面的变形速率,二次衬砌施作后受力较大容易出现开裂现象。采用了双层初期支护和单层二次衬砌的设计后,在整个隧道断面双层初期支护完成封闭成环后,断面的变形速率基本都可以控制在2.0 mm/d左右,基本满足了施作二次衬砌的条件。第二层初期支护可以紧跟第一层初期支护施作,也可以平行作业,施工进度不受影响,施工安全性得到了提高。(3)传统的初期支护和二次衬砌的设计方法,在两水隧道进口工段换拱情况频发,施工进度不能得到保障,基本上只能达到每个月掘进20 m的进度指标。采用了双层初期支护和单层二次衬砌的设计后,由于变形情况的改善,和结构承载能力的提高,基本上杜绝了拆换拱的现象,同时能够保证隧道进口段施工满足每个月40~50 m的进度指标,满足了隧道开挖要求。

2.3 施工流程

双层初期支护施作的关键在于施工各工序要紧凑进行,第一次初期支护开挖的各台阶长度要严格控制,适当时候可以采用微台阶法开挖掌子面,尽量地缩短施作第二层初期支护时掌子面与支护的距离,也就是缩短仰拱和掌子面的距离,防止隧道断面不能及时封闭成环,不能有效地控制应力的发展和围岩大变形,造成第一层初期支护变形或者侵限现象,导致二次初期支护无法施作的被动情况。双层初期支护施工图,如图1~3所示。

双层支护的施工工艺流程主要有3个步骤:(1)第一层初期支护。掌子面微台阶法上台阶开挖后

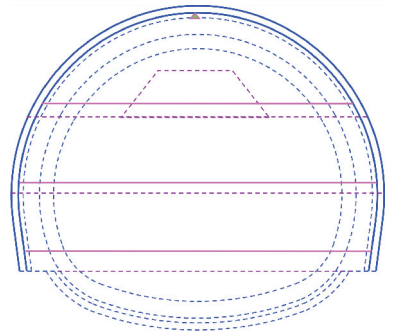


图1 第一层初期支护

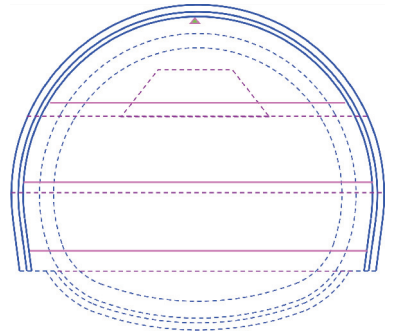


图2 第二层初期支护

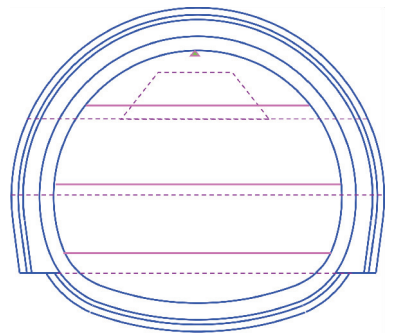


图3 二次衬砌

施作第一层初期支护,整个上台阶断面喷射3~5 cm厚的C25混凝土。全断面设立H175型钢钢架,钢架间距0.5 m,在H175型钢钢架拱脚底部大约高30 cm处,紧贴着型钢钢架两侧边缘,倾角30°往下设 $\text{O}89$ mm钢管锁脚锚杆,对钢架进行锁固,每榀钢拱架在左右两侧各设置1根,长3 m。复喷射C25混凝土至设计厚度30 cm,在拱脚处初期支护的混凝土层厚度可以适当加厚。隧道拱墙设置双层 $\text{O}8$ 钢筋网片,网格尺寸20 cm \times 20 cm。掌子面下台阶开挖后施作第一层初期支护,方法和上台阶一致。(2)第二层初期支护。第一层初期支护拱墙施工完成后,利用铺挂防水板台架安装第二层初期支护设H18型钢钢架,钢架间距1.0 m,一次可以安装3~4榀。第二层初期支护喷射C25混凝土,厚度

20 cm。在 I18 型钢钢架拱脚底部大约高 30 cm 处,紧贴着型钢钢架两侧边缘,倾角 30°往下设 $\Phi 22$ mm 砂浆锁脚锚杆,对钢架进行锁固,每榀钢拱架在左右两侧各设置 1 根,长 1.5 m。拱墙设置单层 $\Phi 8$ 钢筋网片,网格尺寸 20 cm \times 20 cm,采用 $\Phi 22$ 螺纹钢纵向连接,环向间距 1.0 m。(3)二次衬砌。根据要求在拱顶下沉速率和周边收敛速率满足每天变形量 < 2 mm 的情况下才可以施作二次衬砌,采用了双层初期支护和仰拱施作后,变形速率有了明显的收敛,基本复合了每天变形 < 2 mm 的要求。二次衬砌环向主筋采用 $\Phi 22$ 钢筋,主筋间距为 20 cm,纵向钢筋采用 $\Phi 14$ 钢筋,纵筋间距为 20 cm,箍筋采用 $\Phi 8$ 钢筋。二次衬砌,采用 C35 钢筋混凝土,拱墙厚度为 60 cm。

2.4 施工要求

两水隧道在双层初期支护的施工中有如下的要求:双层初期支护所使用的混凝土是早强型混凝土,混凝土要能够抵抗剪应力的作业,防止双层支护由于过大变形产生剪切破坏,同时还要保证第一层初期支护和第二层初期支护之间有一定的粘结强度。

3 应力分析

3.1 第一层初期支护应力分析

由图 4、图 5 可知,DK359+735 断面处第一层支护混凝土层应力在仰拱处达到最大值,最大值为 9.80 MPa,其次是左拱腰处应力值为 7.12 MPa,最小应力值为 0.13 MPa 出现在左墙腰处。总的来说,隧道断面左侧应力大于右侧,并不是对称分布。左拱腰处应力在初期处于比较复杂的应力情况,1 个月后进入增长阶段,在 2 个月后进入稳定阶段,呈现出台阶特征。仰拱处应力初期发展非常缓慢,在 40 d 后还是进入增长阶段,在将近 3 个月时进入稳定阶段,呈现出厂字形特征。左拱脚处应力在 15 d 后进入增长阶段,在 30 d 左右进入稳定阶段,整个应力变化时间短增长快,呈现出抛物线形特征。

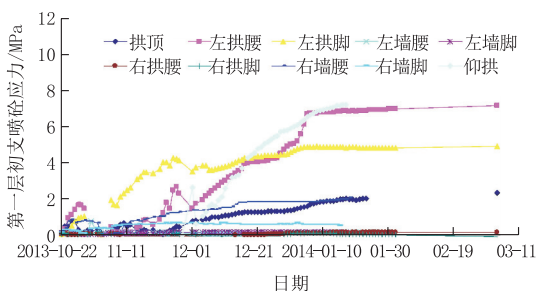


图 4 DK359+735 断面第一层初支混凝土层应力时间曲线

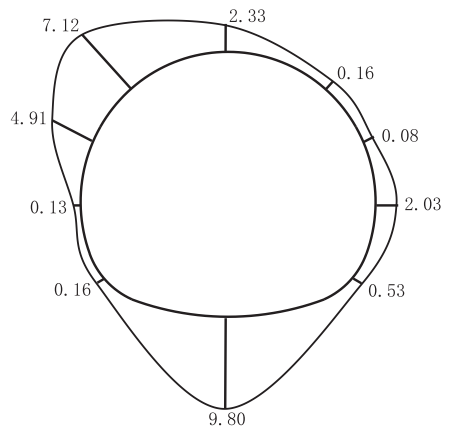


图 5 DK359+735 断面第一层初支混凝土层应力横断面分布(MPa)

3.2 第二层初期支护应力分析

由图 6、图 7 可知,DK359+735 断面处第二层初期支护混凝土层应力在右拱脚处达到最大值,最大值为 12.01 MPa,其次是左拱腰处应力值为 7.10 MPa,最小应力值为 0.06 MPa 出现在右墙脚处。总的来说,第二层支护混凝土层应力值在断面分布较为平均,图形基本为圆形。右拱脚处应力在 2~3 d 后开始进入增长阶段,整体增长速率较为快速,在大约 40 d 后进入稳定状态,呈现抛物线形分布。左拱腰处应力在 2~3 d 后开始进入增长阶段,整体增长速率较为缓慢,在 30 d 后进入稳定状态,呈现厂字形分布。

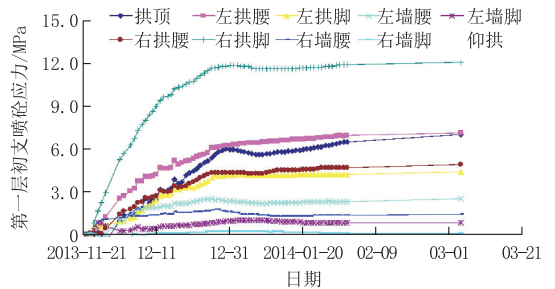


图 6 DK359+735 断面第二层支护混凝土层应力时间曲线

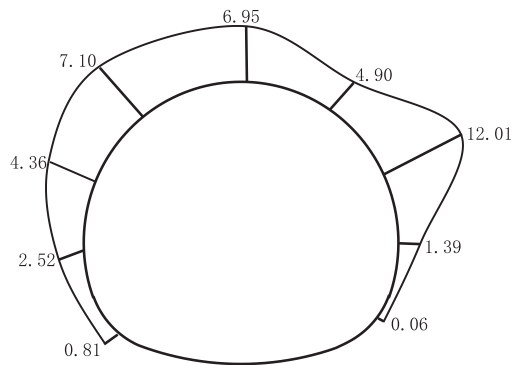


图 7 DK359+735 断面第二层支护混凝土层应力横断面分布(MPa)

3.3 二次衬砌应力分析

由图8、图9可知,DK359+735断面处二衬混凝土应力在右拱腰处达到最大值,最大值为2.28 MPa,其次是左拱脚处应力值为2.15 MPa,最小应力值为0.31 MPa出现在左墙脚处。总的来说,二衬混凝土应力值在2.5 MPa以下,在左右拱腰处应力值较大,左右边墙处应力值较小。隧道断面各点的应力时间曲线较为相似,应力在增长开始后的7 d基本趋于稳定,总体呈现S形分布。测点右墙腰处由于应力原件故障数据未测得。

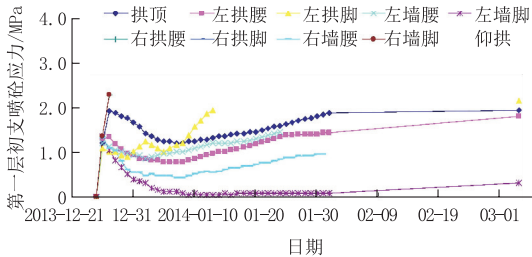


图8 DK359+735断面二衬混凝土应力时间曲线

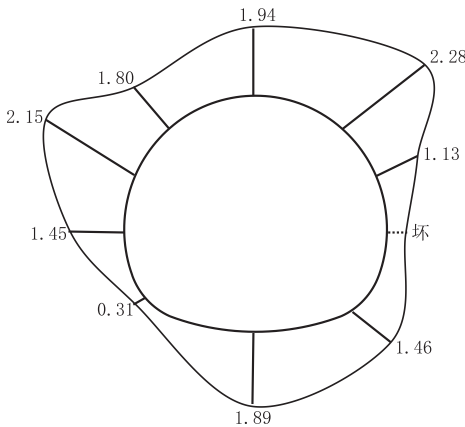


图9 DK359+735断面二衬混凝土应力横断面分布(MPa)

4 结论

(1)混凝土层的应力时间曲线主要特征是发展时间较长,发展较为缓慢。边墙部位为受力较小部位,应力值不大且增长速度较为缓慢。仰拱应力情况与拱顶应力情况较为相似。总的来说,应力时间曲线都处于波动变化状态,随着施工的进展应力有所改变。

(2)压力计监测数据拉应力为负值,压应力为正值。两水隧道支护结构各个测设断面应力值都为正数,说明了整个结构都处于受压状态,无受拉状态出现。在两水隧道这样的软岩隧道中,由于工程地质条件差、围岩较松散,围岩基本没有自稳能力,所以支护结构主要成为受压构件。

(3)在初期支护断面,围岩完整段喷射混凝土应力值应该为负值,即初期支护成型后反作用于围岩;

围岩稳定性差的断面喷射混凝土应力值应该为正值,即围岩对初期支护施加应力。第一层初期支护喷射混凝土层应力值都为正值,与两水隧道围岩稳定性差、围岩级别为V级软岩的工程地质情况吻合。

(4)由各测设断面的压力时间曲线可以看出,没有出现应力先增长后下降的“卸载”现象。说明整个隧道结构比较稳定,没有出现支护结构下沉的情况,没有出现支护结构应力调整再分配情况。

(5)由各测设断面的压力时间曲线可以看出,变化趋势基本都是“快速增长—缓慢增长—基本稳定”,表明两水隧道双层初期支护和单层二次衬砌的支护方式选择是合理的,该支护方式在软岩隧道中具有较大的应用空间。

参考文献:

- [1] 王佳欣,陈振邦,徐燕.偏压状态下非对称连拱隧道有限元分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(12):88-90.
- [2] 张颖.大前石岭隧道进口岩堆体的稳定性分析评价[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):90-92,89.
- [3] 李孝晋.高速铁路隧道塌方原因分析与施工处治技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):73-76.
- [4] 高攀科,毛红梅,宋秀清,等.隧道软弱断层破碎带施工控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):69-71.
- [5] 黄新梅.隧道双层支护及双层衬砌试验研究[D].陕西西安:长安大学,2014.
- [6] 邓成语.高地应力炭质千枚岩隧道支护及衬砌结构形式研究[D].河北石家庄:石家庄铁道大学,2014.
- [7] 吴广明.高地应力软岩大变形隧道施工技术[J].现代隧道技术,2012,49(4):94-98.
- [8] 孙伟刚,王成武,陈建.两水隧道软岩铣挖法施工技术[J].现代隧道技术,2011,48(2):170-173.
- [9] 吴广明,刘志春,吴晓辉.兰渝铁路两水隧道软岩大变形控制技术[J].铁道标准设计,2013,(12):82-86.
- [10] 李利平,李术才,赵勇,等.超大断面隧道软弱破碎围岩空间变形机制与荷载释放演化规律[J].岩石力学与工程学报,2012,31(10):2109-2118.
- [11] 宋嘉辉.高地应力千枚岩地层隧道大变形控制措施探讨[J].施工技术,2012,41(13):90-92.
- [12] 齐彪,周德军,王立英.基于灰色-马尔可夫链的隧道围岩变形预测研究[J].现代隧道技术,2013,50(1):80-86.
- [13] 齐彪,王立英,吴广明,等.兰渝铁路两水隧道施工技术[J].施工技术,2011,40(24):61-64.
- [14] 周毅,李术才,李利平,等.地层条件对超大断面隧道软弱破碎围岩施工影响过程规律的数值模拟分析[J].岩土力学,2011,(S2):673-678.
- [15] 王树军.软弱围岩隧道双层支护施工控制技术[J].桥梁隧道,2010,12(4):59-63.
- [16] 林著惠.大断面小净距双层初期支护的力学作用分析[J].福建交通科技,2011,(1):30-33
- [17] 王洪昌.双层初期支护在大变形隧道中的应用技术研究[D].四川成都:西南交通大学,2010.
- [18] Steiner W. Swelling rock in tunnels; Rock characterization, effect of horizontal stresses and construction procedures[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1993, 30(4):361-380.