

耳墙式异型护拱在隧道洞口偏压施工中的应用

高峰

(中交第一航务工程局有限公司)

摘 要:为解决岭顶隧道洞门墙体的偏压问题,消除偏压应力,采用异型护拱平台基础和锚杆在坡脚一侧基岩处进行加固,加强护拱内部隧道初期支护结构的整体性,形成复合护拱进洞支护结构体系,充分利用隧道拱腰处较大刚度和围岩自身稳定性的优势,同时在另一侧增设耳墙,以限制横向位移,使隧道拱腰部分的支护结构具有较强的整体性,实现了偏压应力的抵消,安全有效地解决了进洞施工的偏压隧道问题。避免了隧道洞口大开挖对环境的破坏,保证了隧道早进洞施工,在施工的经济性、工期、安全等方面都体现了一定的优点,同时也保证了隧道施工的安全性。

关键词: 公路隧道; 偏压应力; 异型护拱

山区高速公路隧道的建设会有很多的洞口面临着偏压、浅埋、小净距以及不良地质地形情况。隧道面临进洞困难因素越来越多,导致洞口工程施工越来越困难,且隧道施工受地形条件限制,浅埋偏压问题成为洞口工程施工的主要制约因素。因此,对高速公路隧道洞口浅埋偏压段的施工工艺进行研究,得到的施工方法和结论可在隧道施工中出现类似情况时提供借鉴。本文以浦清高速岭顶隧道进口洞口浅埋偏压施工为例,分析了该公路隧道浅埋偏压洞口的处理措施。

1 工程概况

浦北至北流高速公路岭顶隧道起止里程为 K61+163—K63+860, 全长 2 737 m, 为双洞单线隧道, 隧道区域路线整体呈东西走向, 隧道进口位于天池山大峡谷内, 地面标高 150~210 m, 相对高差约 60 m, 隧址区地层为第四系全新统残坡 ($Q_4^{\text{el+dl}}$) 粉质黏土, 坡积 (Q_4^{dl}) 碎石土、块石土, 泥盆系中统下段 (D_{2y}) 强—中风化砂岩、砂岩夹页

岩、页岩,中风化泥质砂岩,泥盆系下统(D₁)强—中风化砂岩夹页岩。洞口所在斜坡为顺向坡,且岩体在节理、裂隙的切割下易形成不稳定楔形体,楔形岩体沿软弱结构面向下堆积成现有的堆积体,在雨水冲刷及外力的扰动下易沿软弱面向下滑动。浅埋偏压隧道洞口施工危险性大。

2 施工方案

护拱采用 A、B、C 三种形式,按照 C 型、B 型、A 型分不同阶段先后浇筑。

超前大管棚共 33 根,分 2 批进行施工,第 1 批 27 根靠近挡墙部分,以护拱 C 作为导向墙自下而上进行打设,剩余大管棚以护拱 B 作为导向墙打设。护拱采用 $\phi 127\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 孔口管,通过现场测量及施工对其位置和角度进行调整,严格按照设计外插角进行施工。超前大管棚有效长度为 40 m,护拱偏压浅埋一侧施作 C30 钢筋混凝土结构耳墙,耳墙与护拱整体浇筑,同时施作。护拱结构平面见图 1。

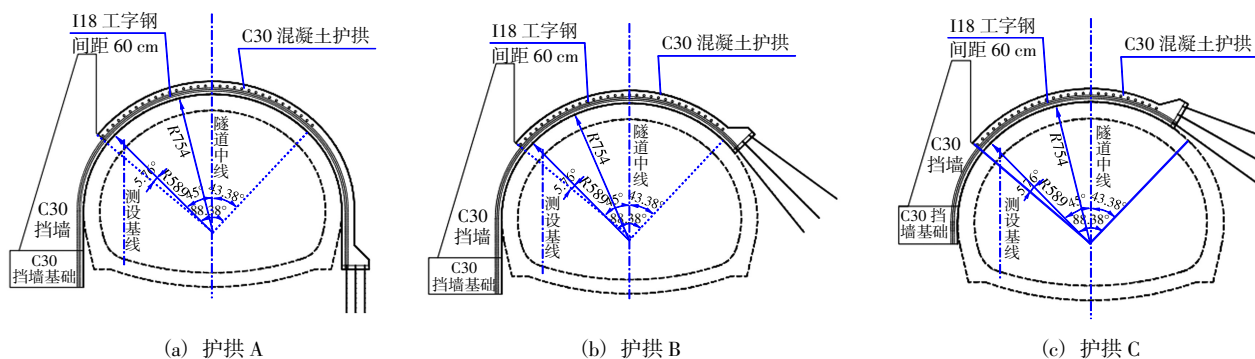


图 1 护拱A、B、C平面图

3 施工工艺

3.1 异型护拱施工工艺流程

异型护拱施工根据图纸设计分段开挖、支护、浇筑。具体施工流程：洞顶排水沟→测量放线→暗洞段挡墙浇筑、反压回填→洞口边、仰坡开挖、支护→C段边坡开挖、防护→C段挡墙基础开挖、浇筑→C段拱架安装、导向管安装→C段护拱混凝土浇筑→C段管棚钻孔、安装、注浆→B段边坡开挖、防护→B段挡墙基础开挖、浇筑→B段拱架、导向管安装→B段护拱混凝土浇筑→B段管棚钻孔、安装、注浆→A段边坡开挖、防护→A段挡墙基础开挖、浇筑→A段拱架、导向管安装→A段护拱混凝土浇筑→A段管棚钻孔、安装、注浆→护拱段反压回填→从进口端向出口端掘进至贯通。

3.2 施工方法

3.2.1 边仰坡施工

隧道仰坡设计坡比为1:0.5，自上而下逐层进行开挖，严禁掏底开挖，开挖至C型护拱顶标高后，线路右侧段开挖至既有边坡面，靠线路左侧开挖至C段挡墙基础底标高，根据边坡高度，现场采用两级坡，第一级开挖至距离C段挡墙基础底标高6.5 m时，预留2 m平台，再继续开挖至挡墙基础底标高。

3.2.2 边仰坡支护

边仰坡采用喷锚支护，采用逐层开挖、逐层支护方式，每层边仰坡开挖完成后，沿坡面方向打设砂浆锚杆，锚杆直径为22 mm，长度3.5 m，间距为1.2 m，采用梅花形布置。打设完成后灌注水泥砂浆，采用M30水泥砂浆，P·O42.5型号的水泥。施工完成后，在坡面挂设钢筋网，钢筋网采用直径为8 mm的钢筋焊接而成，网格间距20 cm×20 cm。挂网完成后喷射10 cm厚C20混凝土，对坡面进行防护。

3.2.3 护拱施工

边仰坡支护完成后，开始超前大管棚施工。超前管棚设置于隧道洞口，通过注浆对岩石缝隙进行填充，从而提高岩体对结构的弹性抗力及洞口围岩自身承载能力，改善隧道洞口受力条件，保证施工进洞安全。

护拱施工前为了便于混凝土及长管棚机械施工，护拱前留土平台，宽度不小于8~10 m。护拱钢拱架采用4榀I18型钢钢架，待基础混凝土达

到设计强度后，沿开挖轮廓线环向紧贴安装，每榀钢架间焊接间距为0.6 m，纵向连接采用 $\phi 25$ mm钢筋。导向管采用 $\phi 108$ mm×6 mm的无缝钢管，环向间距0.4 m，外插角为 $1^\circ\sim 3^\circ$ （不含线路纵坡），方向与线路中心线方向平行。

1) C段挡墙、护拱施工

首先对隧道线路中线、高程进行复核，根据设计图纸测量放样，在仰坡面标识出隧道中心线及外拱顶标高，在隧道仰坡处放样出隧道开挖轮廓线，同时标注出外圆弧，按照外圆弧进行导向墙模板搭设，搭设过程中，控制好导向墙内外模的高度及尺寸，并预留根据参考设计或实际情况相应的沉降收敛量。

对基础平面位置进行测量放样，设计基础长度5 m，宽度4.2 m，高度2 m，放样完成后进行基坑开挖，开挖至基础底标高后进行承载力检测。检测合格后进行护拱与挡墙墙身混凝土浇筑，采用C30混凝土，分层浇筑并振捣密实。

在导向墙内设4榀I18工字钢架，以保证钢架能够直线打入，钢架间距0.60 m，距导向墙端头0.1 m。纵向连接钢筋长200 cm，采用 $\phi 22$ 钢筋按环向1 m间距布置。采用双面焊，焊缝长度不小于 $5d$ ，每榀钢架分为3个单元，每节钢架严格按照设计要求的尺寸及弧度进行加工制作，钢架两端均设置钢板作为连接板。

首榀钢架加工完成后进行试拼，以保证钢架连接后尺寸及弧度，试拼钢架周边拼装允许偏差为 ± 3 cm，平面翘曲应小于2 cm。钢架落底需置于稳固的基岩上。

导向管采用直径为127 mm，长度为2 m的无缝钢管，其壁厚为4 mm，环向间距与管棚间距保持一致，导向管间采用长75 cm， $\phi 25$ mm定位钢筋焊接固定。

按照设计要求，导向管应焊接在工字钢架上并焊接牢靠，防止发生偏移。导向管中心线偏位误差及尺寸误差均控制在10 mm内。

导向管安装时，要严格控制环向间距及纵向位置。为符合设计要求，可先将导向管的位置标定在工字钢架顶面，并按纵向与线路方向需一致，外插角角度为 $1^\circ\sim 3^\circ$ 的要求布置导向管。

套拱模板均采用5 cm厚木质模板，与挡墙模板一起安装加固，底模采用钢拱架弧形支撑，采用4榀I18型钢加工而成。外模采用弧形筋进行

加固,弧形筋采用 $\phi 22$ mm 钢筋,与内部钢拱架焊接牢固。挡头板同样采用 $\phi 22$ mm 钢筋,以相同方法进行固定。在模板安装、加固完成后,在拱顶、拱腰及挡墙中部及下部沿线路方向布置 10 根 $\phi 108$ mm 钢管,对导向墙模板进行整体支撑加固,防止混凝土的侧压力将导向墙模板沿线路方向推移。

混凝土浇筑前,须对模板尺寸位置,导向管位置、外插角进行复核检查。导向墙采用 C25 混凝土浇筑。混凝土浇筑完毕后立即覆盖养护,养护时间不得小于 7 d。待混凝土强度达到设计强度的 70% 后可拆除侧模及端模板,强度达到设计强度的 100% 后可拆除内模及支架。

C 型护拱混凝土达到设计要求强度的 100% 后,方可开始 B 型套拱部分边坡开挖及防护,施工过程与 C 型护拱相同,先进行钻机操作平台的开挖,保证充足的作业场地,然后开始 B 型护拱的超前大管棚钻孔施工,钻进过程中为防止堵孔,需安排专人进行扫孔,并清除管内的浮渣。

超前大管棚采用 $\phi 108$ mm $\times 6$ mm 的热轧无缝钢管连接而成,每节长度为 3 m,管棚在安装前用高压风对孔内进行扫孔、清孔,清除孔内浮渣,确保孔径(孔径不得小于 127 cm)、孔深符合要求,防止堵孔。管棚采用丝扣连接,丝扣长 15 cm,管棚逐节接长,采用长 30 cm $\phi 102$ mm $\times 6$ mm 的钢管作为接头钢管。顶管作业采用挖掘机配合人工的方法进行。护拱管棚安装完成后进行注浆施工。

B 段护拱施工方法与 C 段相同。

2) A 段护拱施工

A 段基础宽度 4.2 m、高度 2 m、长度 5 m,测量放样后开始开挖,开挖至设计标高后进行地基承载力检测,检测要求为 $[\sigma] \geq 300$ kPa。基础承载力检测合格后,开始进行基础浇筑,设计混凝土标号为 C30。

基础浇筑完成后安装 I18 护拱钢拱架。工字钢拱架设完成后进行导向管施工。导向管采用直径为 127 mm 的无缝钢管,长度为 5 m,壁厚为 4 mm,环向间距与管棚间距保持一致,导向管间采用 $\phi 25$ mm、长 75 cm 定位钢筋焊接固定。

A 型护拱导向管共计 18 根,施工过程中严格控制孔口的位置、倾角及外插角。套拱模板及支撑体系采用与 C 段护拱相同方法固定,护拱及挡

墙混凝土一次浇筑完成。导向管采用长度为 75 cm 的 $\phi 25$ mm 螺纹钢筋作为固定钢筋与拱架焊接牢固,焊接均采用双面焊缝,焊缝长度不小于 125 mm。套拱外模采用弧形筋加固,弧形筋为 $\phi 22$ mm 钢筋,与内部钢拱架焊接牢固。混凝土浇筑时应分层浇筑、分层振捣密实,浇筑完成后及时养护。

3) 管棚注浆

注浆时应按“先上后下”、“先单液浆、再双液浆”、“先稀后浓”的原则,隔孔注浆,为了保证施工质量,对注浆量与注浆压力进行双向控制。

管棚注浆采用 5% 水玻璃与水泥浆液混合溶液进行注浆,注浆参数应通过现场测试确定,注浆参数初步拟定如下^[1]:水泥浆水灰比 0.6;水玻璃浓度 35°Bé;水玻璃模数 2.4;注浆压力初压 0.5~1.0 MPa、终压 2.0 MPa。为保证超前大管棚的强度和刚度,待注浆完成后,及时将管内剩余浆液清除,并填充 M30 水泥砂浆。

4) 反压回填

反压回填范围如图 2 所示,采用 C15 混凝土进行浇筑,挡墙范围内顶部设置隔水层,厚度 50 cm,采用黏土铺设。挡墙外侧空隙回填采用 M7.5 浆砌片石。

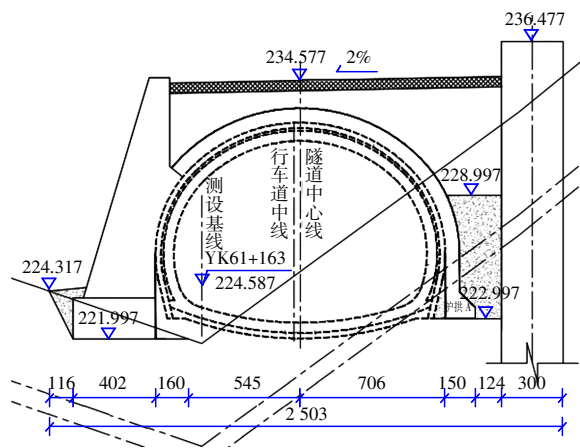


图 2 回填反压示意图(cm)

5) 检查验收

为确保耳墙式护拱工艺流程中的各项工序质量,确保护拱的结构尺寸能有效结合围岩形成复合型支护结构,主要验收以下内容:

①根据现场情况放线,确定套拱里程桩号及拱架加工尺寸。

②拱架安装严禁存在扭曲现象,倾斜度应符

合设计要求,拱架间采用纵向连接钢筋进行加密。

③导向管安装时根据隧道进洞的转弯及纵坡等合理确定导向管倾角、外插角,通过固定钢筋将导向管与拱架固定在一起,并且使导向管紧贴岩面。

④模板安装时保证拱架的保护层不小于 5 cm,混凝土浇筑时要充分振捣,套拱混凝土强度达到设计强度的 80%后进行管棚钻孔。

⑤管棚钢管送管时相邻钢管接头不能在同一截面,相邻 2 个接头距离不小于 2 m,同一里程桩号接头不超过 50%。

⑥压浆起始压力应为 0.5~1.0 MPa,终压应为 2 MPa,持压时长不少于 10 min,如浆液无法注入或者出浆口出浆,说明压浆已满^[2]。

6) 监测监控

洞口工程施工过程中加强对边仰坡的监控量测,施工前在边仰坡埋设沉降(位移)观测点进行地表及边仰坡沉降位移观测。

在隧道洞门以及隧道浅埋段(Ⅲ级围岩和Ⅳ级围岩隧道埋深 H_0 小于 2 倍隧道宽度 B ,Ⅴ级围岩洞顶埋深 <40 m)布置地表沉降监测断面,断面纵向间距 5 m,地表沉降量测的断面布设形式见图 3,测点横向间距为 2~5 m,根据现场实际情况适当调整断面位置或加密测点^[3]。

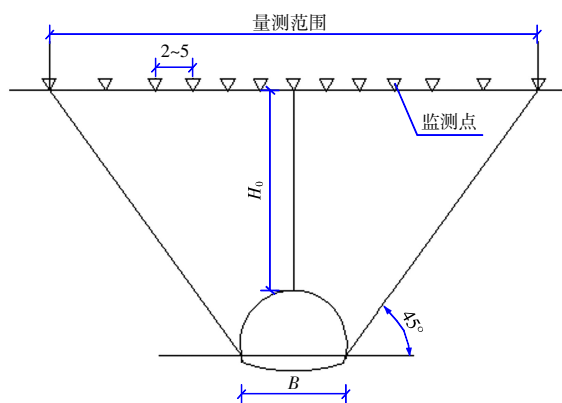


图 3 地表沉降量测断面布设图(m)

后视点布置应按照远离施工影响区域、平整且易于保护的原则进行选点布置。测点布设时先开挖直径 150 mm、深度 0.3~0.5 m 的基坑,埋设直径 25 mm 的螺纹钢筋后采用混凝土浇筑,以防

止测点移动,端部用红喷漆喷涂,测点上部采用覆盖钢板进行保护。

采用水准或三角高程方法进行测量,将地表上每一测点与后视不动点对比可得地表测点的高程,通过前后 2 次高程结果之差即可得到本次和上次测量期间的地表沉降量。

根据现场变形速率进行最终变形值预测,当预测值超过容许变形值或者净空变形速率持续增长时立即停止开挖,所有人员撤出隧道,然后根据现场实际情况制定解决措施,加强围岩支护。加固后,对已加固的围岩再继续观测,直到准确判断出地表沉降趋于稳定时才能恢复开挖。

4 效果分析

1) 提高施工安全性,采用 3 段异型护拱,减少常规防护形式因工序繁琐增加的施工风险,有效利用洞口有限的地形施工,规避因工序繁琐产生的安全风险和因地形受限增加的安全风险。

2) 缩短洞口工程施工时间,由于采用异型护拱改变防护形式,优化施工工艺,缩短了洞口工程施工时间 1 个月。

3) 减少对洞口植被的破坏,利用异型护拱在有限空间施工洞口工程,能避免大面积开挖对洞口植被的破坏,保持洞口植被的完整性。

5 结语

岭顶隧道实践表明,采用耳墙式护拱,通过增设分段式套拱使围岩与护拱紧密贴合,形成一个完整的整体,有效降低了拱顶与拱腰连接处的围岩压力,较好地解决了应力变化处结构变形问题及围岩差引起的施工困难和施工风险。通过优化边仰坡施工工艺,减少传统护拱繁琐的施工工序,缩短了施工时间,降低了施工成本,提高了施工安全性。同时因为减少边仰坡刷坡量,有效降低了对既有植被的破坏,对洞口植被的保护效果显著。

参考文献:

- [1] 张双智. 长大管棚超前预加固技术在隧道施工中的应用[J]. 山西建筑, 2013(16): 151-153.
- [2] 余健雄. 浅谈隧道长管棚施工技术及其质量保证措施[J]. 珠江水运, 2017(14): 89-90.
- [3] 聂田. 基于大跨径隧道塌方原因分析及处理措施研究[J]. 价值工程, 2019(1): 96-98.