

软弱腐殖土地层浅埋大断面隧道施工技术研究

朱雷敏¹, 沈以珍¹, 尹胜瑞¹, 宋克志²

(1. 中铁二十局集团 第四工程有限公司, 山东 青岛 266061; 2. 鲁东大学 土木工程学院, 山东 烟台 264025)

摘要:结合青荣城际铁路蓁山隧道工程,分析了其施工难点,根据工程地质和水文地质条件,对3台阶临时仰拱法的施工工艺流程及施工工序进行了设计,给出了初期支护及地层预加固施工参数。现场监控量测表明,地层沉降、拱顶沉降及净空收敛位移均控制在合理的范围内,其变化速率和发展趋势符合隧道施工的正常规律,说明在软弱腐殖土地层中采用3台阶临时仰拱法进行隧道施工是合理、可行的,可为类似地层条件下大断面隧道施工提供借鉴和参考。

关键词:大断面隧道;3台阶临时仰拱法;软弱腐殖土;施工技术

中图分类号:U 455.43 文献标志码:B 文章编号:1009-7767(2015)01-0090-04

Study on Construction Technology of Large-span Shallow Tunnel in Humus Soil Stratum

Zhu Leimin, Shen Yizhen, Yin Shengrui, Song Kezhi

隧道是一种特殊地下构筑物,常穿越地质情况复杂的地区,施工中常遇到大量地质灾害问题,因而围岩稳定性是隧道建设中最为关键的要素。影响隧道围岩稳定的因素包括地质因素和人为因素。其中,地质因素包括岩体结构特征、岩性、地应力、地下水等;人为因素包括隧道形状和尺寸、施工方法等。当隧道形状和尺寸按工程要求确定后,根据地质因素选择合理的施工方法尤为关键。近年来,随着隧道工程的快速发展,针对软弱、破碎围岩大断面隧道的环形开挖留核心土法、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法、3台阶7步开挖法和3台阶临时仰拱法等成为研究与应用的热点^[1]。3台阶法是以环形开挖留核心土法为暗挖法的基本模式,分上、中、下3个台阶进行开挖的一种方法,近年来在铁路大断面隧道中应用较多^[2-3]。3台阶临时仰拱法是将全断面分上、中、下3个台阶开挖,各台阶作临时仰拱(喷射混凝土+钢拱架),具有施工空间大、多工作面同步进行、初期支护操作便捷、围岩封闭及时等优点,在大断面软弱围岩隧道施工中得到了广泛应用^[4-6]。但由于地质条件的差异,3台阶临时仰拱法的工艺流程和技术特点亦有不同,笔者结合青荣城际铁路蓁山隧道出口段软弱腐殖土围岩条件,对3台阶临时仰拱法开挖方法及效果进行研究。

1 工程概况

青荣(青岛—荣成)城际铁路蓁山隧道全长5 510.0 m,位于山东省烟台市境内,为青荣城际铁路的控制性工程。蓁山隧道为双线铁路隧道,设计时速200 km/h,建筑限界采用《新建时速200~250 km客运专线铁路设计暂行规定》(铁建设[2005]140号)中的“客运专线铁路建筑限界”,轨面以上净空横断面面积采用81.37 m²。按照国际隧协定义,该隧道属于大断面隧道。

2 工程地质及水文地质条件

2.1 工程地质特征

1) 围岩级别

隧道出口段(DK210+475—DK210+513)地貌单元为丘山前倾斜平原,地形有起伏,该段线路平面图如图1所示。该地段现为厂房,原为水塘。水塘经多年人工填埋,已难见原始地貌。厂房区地面高程与勘测期间有较大变化。施工过程中发现该地段地质异常,随即对其进行补充勘探,完成12-ZBD-6883—12-ZBD-6890共计8个钻孔,并进行了设计变更。DK210+475—DK210+440段围岩分级由原设计的Ⅳ级修正为Ⅵ级,DK210+513—DK210+475段围岩分级由原设计的Ⅳ级修正为Ⅵ级。该段隧道埋深8~10 m,属于浅埋隧道。

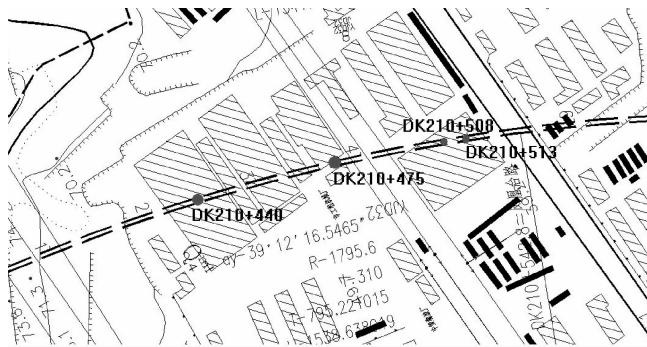


图 1 翠山隧道出口线路平面图

2) 地层岩性

根据钻探资料,该工点处地层岩性主要为:

①第四系全新统人工填土(Q_4^{ml}):素填土、人工填筑土;

②第四系全新统冲洪积层(Q_4^{al+dl})淤泥质粉质黏土、坡洪积层(Q_4^{pl+dl}):粉质黏土、黏土、砾砂以及细圆砾土;

③下覆古远古代吕梁期侵入岩($sY\gamma\gamma_2^1$):二长花岗岩。

3) 特殊土

该段隧道内拱部、上台阶及部分中台阶主要为素填土、人工填筑土、生活垃圾以及淤泥质粉质黏土。其中:素填土为软塑,人工填筑土为稍密,都没有压实;水塘底的淤泥质粉质黏土为软塑—流塑,强度低。上述土体在隧道开挖时对围岩稳定极为不利。

2.2 水文地质特征

隧道范围内地下水类型主要为第四系松散层孔隙潜水,其主要含水层为第四系冲洪积砂类土及填土,主要补给来源为大气降水及南部山区地下径流,以地下径流、大气蒸发为主要排泄途径。地下水位埋深2~3 m,赋水量较大。受地形控制,地下水由南向北径流,水位季节变幅约2.0 m。在水塘区取12-ZD-6686—12-ZD-6690共5组地下水样,根据水质分析报告可知,DK210+360—DK210+440段地下水对混凝土结构不具侵蚀性;DK210+440—DK210+513段地下水对混凝土结构具有硫酸盐侵蚀性,环境作用等级H2,具有氯盐侵蚀性,环境作用等级L1。

3 隧道施工难点

1) 该段隧道埋深8~10 m,隧道断面上半部为软流塑的人工填土,下半部为岩石或粉质黏土。软流塑的人工填土具有不均匀性、低强度和高压缩性、自重压

密性、高腐蚀性和污染性等特征。围岩变形控制非常困难,开挖后极易产生塌方,严重时会出现涌泥、涌水、坍塌甚至冒顶等现象,给工程施工安全带来极大的危害。

2) 地面沉降难以控制。在道路区,过大沉降易引起路面开裂甚至塌陷,影响交通安全;在管线和建筑物区,地面沉降过大,易造成地下管线破坏和建筑物开裂,危及建筑物安全。

4.3 台阶临时仰拱法施工技术

4.1 工艺流程

该段隧道设计采用3台阶临时仰拱法进行施工,其施工工艺流程如图2所示。

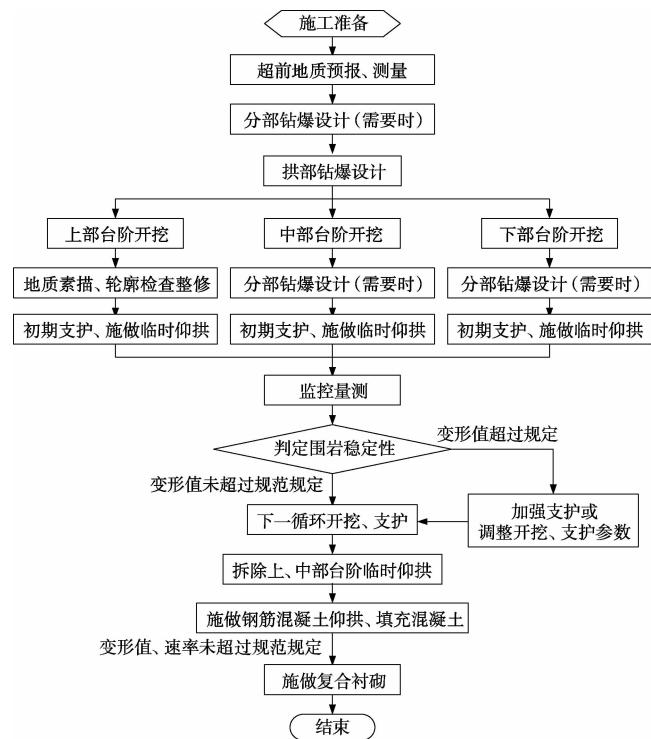


图 2 3台阶临时仰拱法施工工艺流程

4.2 支护及预加固参数

为控制和减小围岩变形,采取初期支护、临时仰拱、超前支护、开挖面加固及地表降水相结合的施工措施。

1) 初期支护

喷射C30混凝土,30 cm厚;Φ8钢筋网,网格20 cm×20 cm;钢架I22a,纵向间距0.5 m,Φ22连接钢筋,环向间距1.0 m;Φ22砂浆锚杆,长4.0 m,环向间距×纵向间距为1.0 m×1.0 m。

2) 临时仰拱

I18临时钢架,纵向间距1.0 m;10 cm厚C25喷射

混凝土；锁脚锚管为 $\varnothing 50 \times 3.5$ mm，长度 5.0 m 的小导管，每节点 4 根，并注水泥浆。

3)超前支护

拱部施作 $\varnothing 108 \times 6$ mm 管棚，长 10 m，环向间距 30 cm；管棚间加 $\varnothing 42 \times 3.5$ mm 小导管，长 4.5 m，环向间距 30 cm，纵向 1.5 m 施作 1 环，注水泥浆。

4)开挖面加固

上台阶开挖面采用 $\varnothing 42 \times 3.5$ mm 小导管加固，长 5 m，间距 1.2 m×1.2 m，注水泥-水玻璃双液浆。

5)地表降水

隧道两侧外壁 5 m 处设 2 口 $\varnothing 705$ mm 的降水井（应打设至隧道基底以下不小于 5 m 处）进行降水。

6)地表注浆

采用 $\varnothing 50 \times 5$ mm 的钢花管进行注浆，间距为 1.0 m×1.0 m，梅花形布置。钢花管在洞身范围内打设至洞顶，洞身范围外打设至隧道最大跨外侧 6.0 m 处，隧道纵向边缘线外侧 2~3 m 范围内钢花管间距可适当加密。

7)二次衬砌

采用 C35 模筑混凝土，拱墙部位厚 55 cm，仰拱部位厚 60 cm。

4.3 施工步骤

施工步骤如图 3 所示。

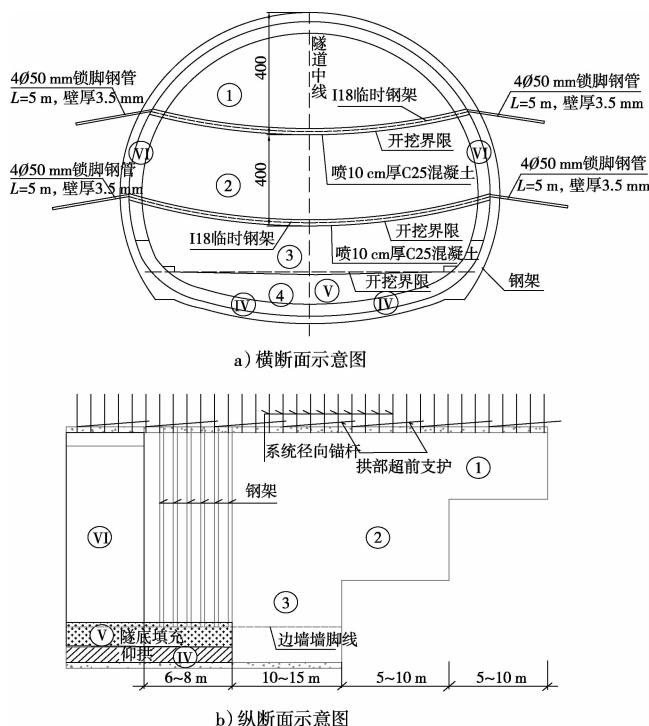


图 3 3 台阶临时仰拱法施工步骤

1)上台阶开挖及支护

开挖①部导坑，并预留核心土，施作①部导坑周边的初期支护。先初喷 4 cm 厚的混凝土，再铺设钢筋网片，然后人工配合机械架立型钢钢架。钢架设锁脚锚管。锁脚锚管设置于台阶钢架拱（墙）脚以上 30 cm 高度处，紧贴钢架两侧边沿按倾角 30°打入，并与钢架牢固焊接。

打设径向锚杆后复喷混凝土到设计厚度。底部架立临时仰拱，喷射 10 cm 厚混凝土封闭。开挖过程中，根据施工时围岩的地质情况及监控量测资料调整支护结构形式，必要时加设中间竖撑（采用圆木），以使围岩支护得到有利的保护和加强。

2)中台阶开挖及支护

在①部开挖 5~10 m 后，先拆除①部 2~3榀临时钢架，再人工配合机械开挖②部，开挖进尺为 2~3榀钢拱架间距。导坑周边部分初喷 4 cm 厚混凝土，铺设钢筋网片，架立型钢钢架，打设径向锚杆后复喷混凝土到设计厚度；架立临时仰拱，打设锁脚锚管，然后封闭临时仰拱。

3)下台阶、部分仰拱开挖及支护

在②部开挖 5~10 m 后，开挖③部，同时错开 2 m 开挖④部两侧边墙，以便施作钢架，每循环开挖进尺保持在 2~3 m。开挖边墙时，在拱脚处向开挖轮廓线外开挖 30 cm×30 cm×30 cm 的扩大拱脚，扩大拱脚采用 C30 喷射混凝土；施作台阶周边的初期支护。

4)部分仰拱开挖及支护

开挖④部其余仰拱部位，每次循环开挖进尺不大于 3~4 m；及时施作仰拱部位初期支护并封闭成环，封闭位置距离开挖面不得大于 35 m。

5)临时仰拱拆除及仰拱施作

根据监控量测结果进行分析，待初期支护收敛后，拆除②部临时仰拱；浇筑Ⅳ部仰拱及Ⅴ部仰拱填充（仰拱与仰拱填充充分施作）。

6)二衬施作

利用衬砌模板台车一次性灌筑Ⅵ部拱墙二次衬砌。

5.3 台阶临时仰拱法实施效果

施工过程中对该地段典型断面(DK210+510、DK210+505、DK210+500、DK210+495、DK210+489、DK210+484、DK210+479、DK210+474、DK210+469、DK210+464)进行了监控量测，以断面 DK210+479 的监控量测数据为例说明施工效果。隧道掘进过程中，其地表累计沉降、净空收敛位移及拱顶下沉的变化曲线分别如图 4~6 所示。

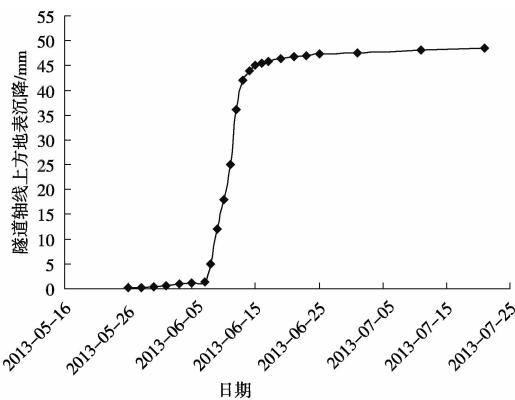


图 4 隧道轴线上方地表累计沉降变化

由图 4 可知,隧道轴线上方地表累计沉降一开始增加较为缓慢,这部分为先期沉降,沉降速率也较小;随后当隧道开挖面到达监测断面里程时,沉降发生突增,沉降速率也迅速增大;当初期支护甚至二衬施工完成后,沉降值和沉降速率逐渐趋于平缓和稳定。地表累计沉降变化符合正常规律。

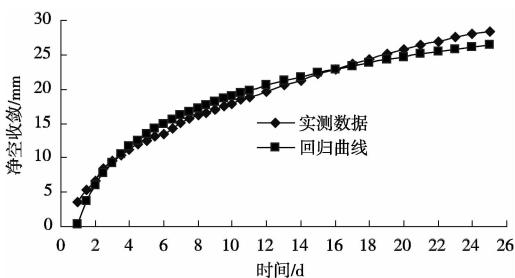


图 5 净空收敛位移变化

从图 5 可以看出,截止到 2013 年 7 月 1 日,蓁山隧道出口段上台阶净空变化量即周边水平净空收敛变化曲线主要呈对数曲线型,并逐渐趋于稳定。此时,周边水平收敛速率 0.06 mm/d,不超过基准位移速率 0.2 mm/d,位移收敛率 92.12 %,大于基准收敛率 90 %,符合要求。在位移收敛稳定的相应日期,围岩基本稳定,位移收敛完成,可以施作二衬。

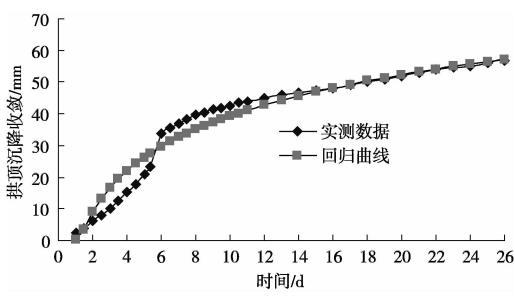


图 6 拱顶下沉变化

从图 6 可以看出,截止到 2013 年 7 月 1 日,在距离开挖面较远、早期开挖的断面拱顶下沉速率较小,即距开挖面较远的断面沉降速率都不超过 5 mm/d,拱顶下沉收敛曲线呈对数曲线型,速率趋向稳定。收敛速率 0.07 mm/d,不超过基准位移速率 0.2 mm/d,位移收敛率 91.05 %,大于基准收敛率 90 %,符合要求。在拱顶下沉稳定的相应日期,围岩基本稳定,拱顶下沉基本完成,可以施作二衬。

6 结语

1)笔者以青荣城际铁路蓁山隧道出口段为研究对象,分析了软弱腐殖土地层大断面隧道施工的难点,据此确定了 3 台阶临时仰拱法的施工工艺和地层预加固措施。

2)施工中对地表沉降、拱顶下沉及净空收敛进行监控量测和预测,确定了每个工序的施作时机。监控量测表明,沉降值和沉降速率处于正常值范围,地表累计沉降变化符合隧道施工的正常规律;周边水平净空收敛变化曲线和拱顶下沉收敛曲线呈对数曲线型,位移收敛率和沉降速率符合要求,能在正常工期内逐渐趋于稳定。

3)3 台阶临时仰拱法在软弱腐殖土地层条件下的成功应用,拓展和丰富了其应用范围,可为类似地层条件下大断面隧道施工提供借鉴和参考。MET

参考文献:

- [1] 杨仲杰.客运专线特大断面隧道开挖方法研究[J].铁道建筑,2008(5):60-64.
- [2] 陈立保.三台阶法在客运专线山岭隧道软弱围岩中的推广应用[J].铁道工程学报,2008(12):72-74.
- [3] 宋从军,郭军,张长亮.三台阶工法的地层使用条件研究[J].公路隧道,2013(1):27-30.
- [4] 刘军.三台阶临时仰拱法在大断面软弱围岩隧道大面积塌方中的应用[J].工程建设,2013,45(2):53-56.
- [5] 夏善明.三台阶临时仰拱法在软弱围岩隧道中的应用[J].科技与企业,2013(24):210-211.
- [6] 卢燕,杨阳.沪昆高铁白力坞隧道三台阶临时仰拱法开挖技术[J].黄河水利职业学院学报,2014,26(1):31-35.

收稿日期: 2014-07-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51278237);山东省科技发展计划项目(2011YD05004)

作者简介: 朱雷敏,男,教授级高级工程师,硕士,主要从事隧道及地下工程方面的施工与研究工作。