

文章编号: 0451-0712(2005)02-0156-04

中图分类号: U452.2

文献标识码: B

隧道穿越铁路的设计

张 迪

(铁道第四勘察设计院城建院隧道所 武汉市 430063)

摘 要: 介绍了杭州解放路隧道穿越沪杭铁路段的结构设计, 对超浅埋大跨近距双洞城市隧道穿越铁路的结构分析及铁路加固设计进行了探讨。

关键词: 超浅埋; 大跨近距双洞; 隧道; 设计

穿越铁路的隧道设计与施工, 国内有较多成功先例, 尤其是公路穿越铁路的实例不少, 但一般都采用箱涵顶进的方法; 在城市地铁建设中上海地铁和广州地铁均有穿越铁路的隧道工程, 均采用盾构法施工技术。南京地铁车站过车站站场隧道采用暗挖法施工, 但其断面较小。杭州解放路隧道穿越铁路段具有埋深浅、断面大, 为近距离双洞隧道, 在高水位粉土地层中修建, 且铁路列车运行速度降低不多的特点, 针对其特点采取了相应的设计与施工措施。

1 工程概况

杭州解放路隧道是连接杭州新老城区的重要道

路工程, 路线始于建国路和解放路交叉口, 在大学路口以东约 30 m 下挖, 采用隧道形式穿越解放路和环城东路交叉口三角地、环城东路、沪杭铁路、贴沙河、杭州清泰自来水厂及凯旋路后出洞后走明线, 其中暗挖穿越沪杭铁路起讫里程为 K0+629.4~+670 共 40.6 m, 隧道结构顶距离铁路轨顶的距离仅约 5.6 m。本段隧道位于平面直线以及坡率为 -0.359% 的纵坡上, 由上、下行分离式近距隧道组成, 结构净间距为 0.75 m, 双向四车道, 隧道建筑限界及衬砌内净空如图 1 所示。隧道道路等级为城市主干道, 设计车速为 50 km/h, 路面结构计算荷载为汽车-20 级, 挂车-100。

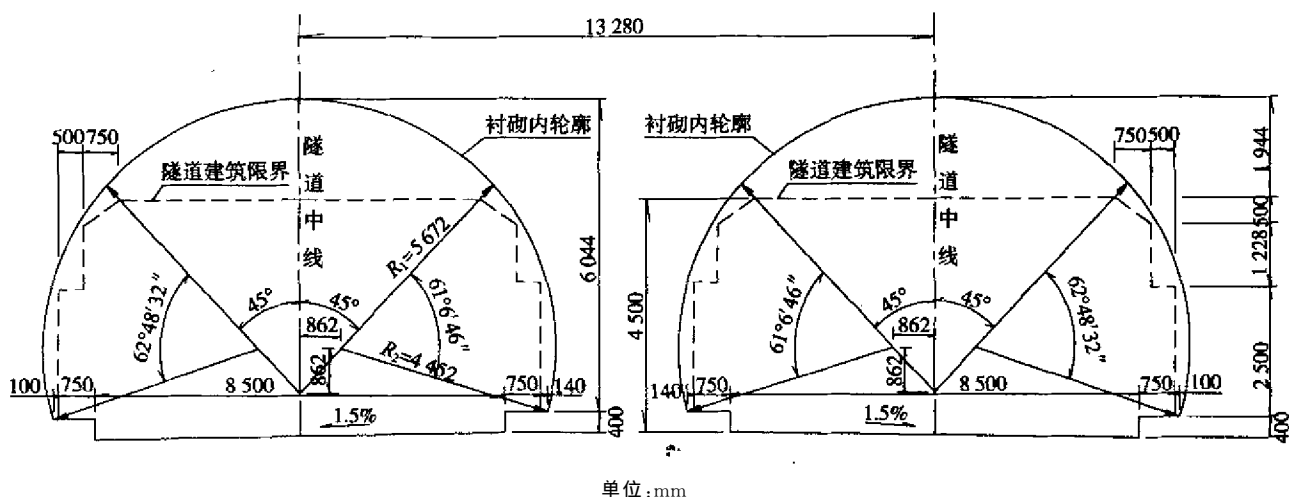


图 1 隧道建筑限界及衬砌内轮廓

2 地质概况

场区在地貌上属于钱塘江冲积平原, 沉积着较厚的砂质粉土层, 在第四纪历史时期, 场区曾经几度

发生海侵与海退, 沉积韵律发育明显, 在以陆相沉积地层之间发育着海相淤泥质粉质粘土地层。从勘探揭露的地基土岩性, 自上而下可划分为 8 层: 杂填土

万方数据

收稿日期: 2004-11-01

及素填土层,砂质粉土层,砂质粉土夹粉砂层,淤泥质粉质粘土层,粉质粘土层,粘土层,粉质粘土层,圆砾层。隧道穿越沪杭铁路的主要地层为砂质粉土夹粉砂层及砂质粉土层。

3 隧道结构分析与设计

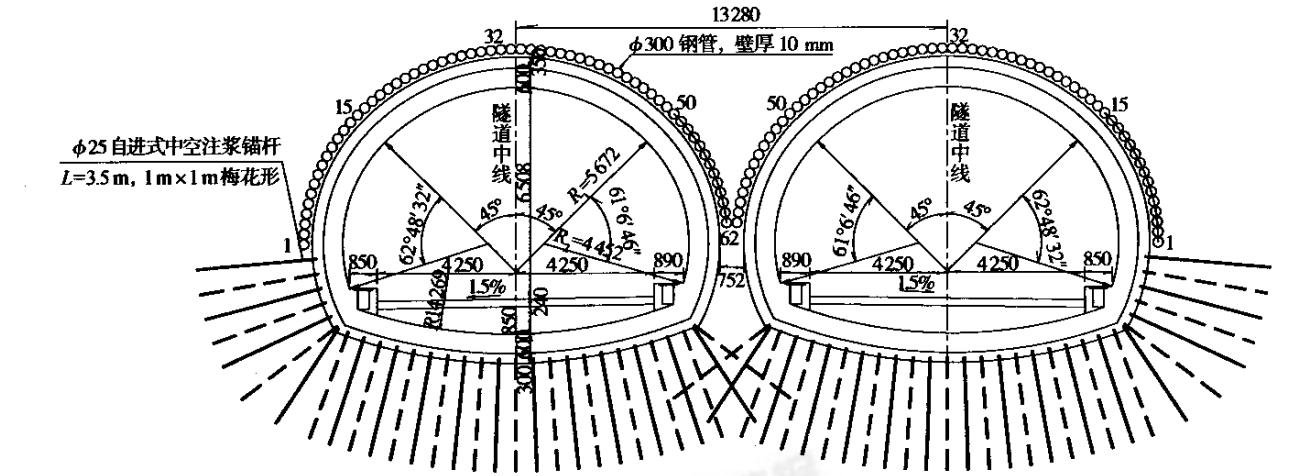
3.1 结构型式及支护参数

本段暗挖隧道衬砌结构按新奥法原理设计,采

用复合式衬砌结构,以喷钢纤维混凝土、钢架及锚杆为初期支护,模筑钢筋混凝土为二次衬砌。复合式衬砌的各项支护参数根据隧道埋置深度、结构跨度、受力特点并考虑施工因素,参照《公路隧道设计规范》以及国内外类似工程的经验拟定,见表1所示。隧道衬砌断面见图2。为控制隧道变形过大引起沪杭铁路的下沉,设计要求严格控制隧道超挖量以及施工误差,使隧道预留变形量不大于3 cm。

表1 衬砌支护参数

初期支护结构					喷钢纤维厚度		钢架间距		衬 砌		预留变形量
湿喷混凝土		φ25 自进式中空锚杆			拱墙	仰拱	规格	间距	拱墙	仰拱	
拱墙	仰拱	位置	长度	间距	cm	cm			cm	cm	
cm	cm		m	m				m			cm
30+5	25+5	半边墙及仰拱	3.5	1×1	30	25	I16 工字钢	0.5	60	60	3



单位:mm
图2 隧道衬砌设计

3.2 隧道辅助施工措施

针对本段暗挖隧道紧邻贴沙河,前后均为明挖基坑,且隧道通过地层为砂质粉土夹粉砂层及砂质粉土层,土层渗透系数大,列车从隧道顶部通过时引起土层震动等特点,采取了以下辅助施工措施。

(1)全断面深孔预注浆

结合施工方法采用全断面深孔预注浆,在开挖轮廓线至以外1 m 范围内采用超细型 TGRM 灌浆料注浆,开挖轮廓线范围内采用粘土固化浆液注浆。针对隧道不同范围采用不同的注浆材料的目的是,超细型 TGRM 新型灌浆材料注入土体中,能降低土体的渗透系数而止水,提高土体的物理力学指标,用于隧道开挖轮廓外注浆能加强土体成拱后的自稳能力;粘土固化浆液注浆能降低土体的渗透系数而止水,增加土体的固结度,而对土体的强度增加不大,

从而有利于隧道采用人工开挖。

隧道周边地层注浆参数为:注浆孔环向与径向的间距均是1 m,钻孔孔径50 mm,注浆采用φ42 注浆管;超细型 TGRM 灌浆料浆液水灰比为1.5 : 1~2 : 1,超细型 TGRM 灌浆料掺量为每 m³ 浆液 450~550 kg;注浆压力0.2~0.3 MPa,注浆时应避免压力过大浆液冒出地面影响轨道。隧道开挖面注浆参数为:注浆孔水平与竖向间距均为1 m,钻孔孔径为50 mm,采用φ42 mm 注浆管;粘土水泥浆液水灰比为1.5 : 1~2 : 1,粘土固化剂掺量为每 m³ 浆液 1 kg,超细型 TGRM 灌浆料掺量为每 m³ 浆液 450~550 kg;对埋深小于10 m 的注浆孔注浆压力采用0.1~0.2 MPa,埋深10 m 以上的注浆孔注浆压力采用0.2~0.3 MPa。注浆顺序为由外到内,间隔注浆,即每环注浆孔间隔压注浆液,完成一环后再进行

下一环施工。注浆结束标准为:注浆压力逐步升高,达到设计终压并继续注浆 10 min 以上。

(2) 大管棚超前预支护

沿隧道拱部采用一层壁厚为 10 mm 的 $\phi 300$ 钢管作管棚超前预支护,管棚中心环向间距为 30.9 cm,管棚距离隧道开挖轮廓线 10 cm,管棚长 39.6 m。管棚采用夯管锤击法施工,管棚内在清孔困难情况下压注水泥—水玻璃浆液充填。

(3) 超强锚杆预支护

在隧道内设置长 3.5 m 的 $\phi 38$ SD 型自进式中空钢花锚杆作为超前小导管,沿隧道侧墙及仰拱周边布置,环向间距采用 40 cm,纵向间距结合钢架间距,采用 2.0 m 一环。

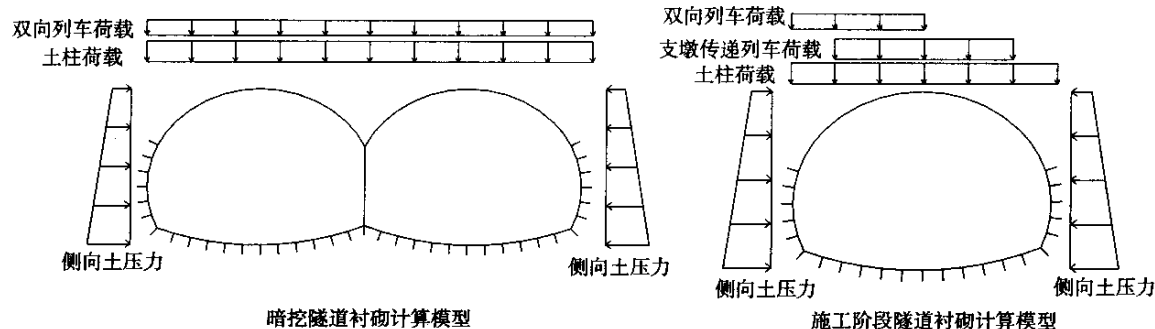


图 3 二次衬砌结构计算模型

(2) 施工阶段二次衬砌结构计算

先施工隧道在衬砌强度达到设计强度后,再施工相邻隧道时,洞顶将承受线路加固支墩所传递的列车荷载。故对施工阶段衬砌进行了强度检算。计算荷载为:洞顶荷载按《公路隧道设计规范》取洞顶覆盖层土柱压力+按《铁路桥涵设计规范》取双向列车中—活载+线路加固支墩压力,侧墙荷载取水土侧压力,计算中计入地震荷载组合。在施工阶段隧道二次衬砌按承受全部荷载的 70% 进行验算。计算模型见图 3。

计算结果表明,二次衬砌结构在施工阶段内力最大弯矩为 $394.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$,在运营阶段内力最大弯矩为 $380.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$,结构以施工阶段的内力配筋。同时为保护施工阶段已施工的二次衬砌的结构安全,在隧道内采用 $\phi 609$ 钢管竖向支撑,间距为 2.5 m。

3.4 明暗挖分界处隧道掌子面的加固

暗挖隧道前后的明挖基坑深度约 15 m,隧道两侧设计采用钻孔咬合桩围护,钢筋混凝土内支撑、钢管支撑或锚索锚固。对于隧道开挖掌子面的基坑围护,为确保铁路列车的运行安全,须对铁路股道加固

3.3 结构分析与计算

对隧道的二次衬砌结构,采用 SAP84 通用结构分析程序对施工与运营两种工况,按荷载—结构模式分别进行了计算。

(1) 运营阶段二次衬砌结构计算

两隧道间最小净距不足 1 m,开挖前对隧道周边 1 m 范围土体进行预注浆加固,且相邻隧道间土体根据情况采用素混凝土换填,故可将运营阶段相邻隧道视作双连拱结构承受荷载。计算荷载为:洞顶荷载按《公路隧道设计规范》取洞顶覆盖层土柱压力+按《铁路桥涵设计规范》取双向列车中—活载,侧墙荷载取水土侧压力,计算中计入地震荷载组合。二次衬砌按承受全部荷载进行计算。计算模型见图 3。

卸载,并在掌子面基坑钻孔咬合排桩后面打设 4 排直径为 1 m 的高压旋喷桩加固,确保隧道掌子面的稳定。

4 铁路线路加固设计

4.1 地表沉降分析

设计中应用 2D- σ 有限元程序,采用隧道初期支护与地层共同作用的受力模式,模拟了隧道分步施工所引起地表及铁路沉降。计算模型是假定围岩为匀质、各向同性的弹塑性材料,按连续介质平面应变问题分析。采用 Mohr—Coulomb 屈服准则。计算边界为:水平方向取距开挖洞室中心点 3 倍开挖宽度作为边界,垂直方向取距开挖洞室中心点 3 倍开挖宽度作为边界。模拟开挖中,注浆及管棚对围岩的加固稳定作用,采用了提高其所处位置围岩级别参数的方法加以模拟。分析结果表明:左右隧洞逐步开挖比两洞同时开挖对地层应力及地表的沉降小;左右隧洞逐步开挖引起的地表沉降最大为 20 mm,沉降范围为左线隧道开挖轮廓外 4 m 至右线隧道开挖轮廓外 4 m,为保证列车运行安全,铁路股道须加固。

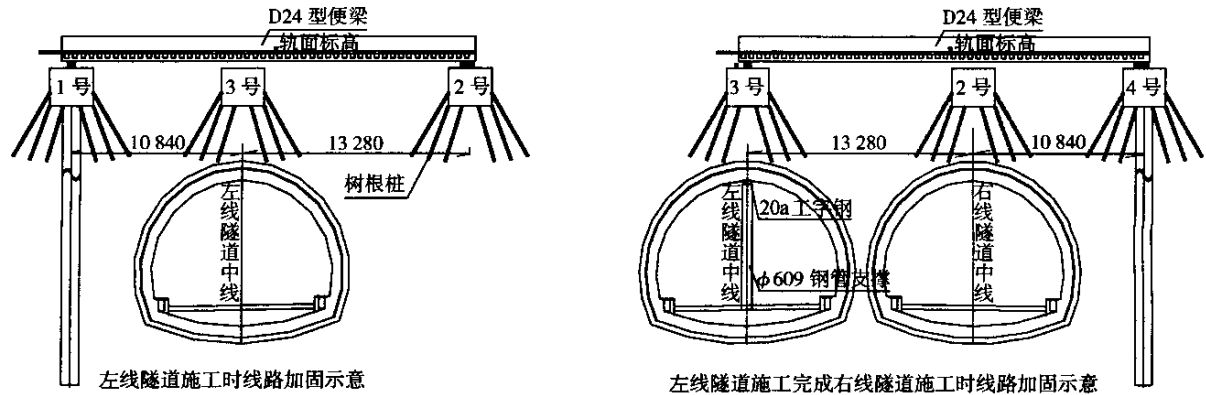
4.2 加固总体方案

采用D24 施工便梁分别加固一个洞身范围的轨道,待施工完一孔隧洞后移动到另一孔隧洞范围内加固。列车限速 45 km/h。

4.3 加固措施

对于铁路标准直线段,采用 D24 定型便梁加固铁路股道;对于铁路道岔段,将1 号、3 号道岔向上海

方向平行移动 38.325 m,拆运 5 号道岔,钉闭 7 号道岔,对道岔处的电力、通信、信号等设施进行改造,从而将隧道通过的铁路道岔段变为普通直线段,采用 D24 定型便梁加固铁路股道;待隧道施工完成后再恢复铁路原状。D24 便梁基础采用 20 号钢筋混凝土桩基础及支墩,如图 4 所示。



单位:mm
图 4 线路加固工序示意

4.4 加固施工工序

铁路线路加固施工工序流程见图 5。

5 暗挖施工原则及工法

5.1 施工原则

暗挖隧道施工应遵循新奥法的原理,坚持“管超前、严注浆、短开挖、强支护、早封闭、勤量测、衬砌紧跟、信息反馈、及时修正”的原则,开挖前做好管线探测和保护工作。施工中应加强铁路线路加固便梁支墩及地表沉降量测,发现沉降后及时补充道渣或加设垫块。

5.2 施工工法

暗挖隧道施工必须在铁路股道加固好后方可进行,且随明挖基坑的逐层开挖对暗挖隧道段进行注浆加固和打设长管棚。综合考虑本隧道埋置深度、地质条件、铁路列车影响及隧道施工工期较紧张等特点,隧道暗挖施工采用 CRD 工法分 6 块分别按上下台阶进行施工,并设临时仰拱和 I16 号工字钢支撑,并喷厚 20 cm 的 20 号混凝土,如图 6 所示。暗挖隧道施工采用人工挖土,相邻施工步骤台阶差不大于 4 m。

6 结语

杭州解放路隧道暗挖穿越沪杭铁路目前已竣工通车,从已施工情况看,证明设计采取的措施是合理的。

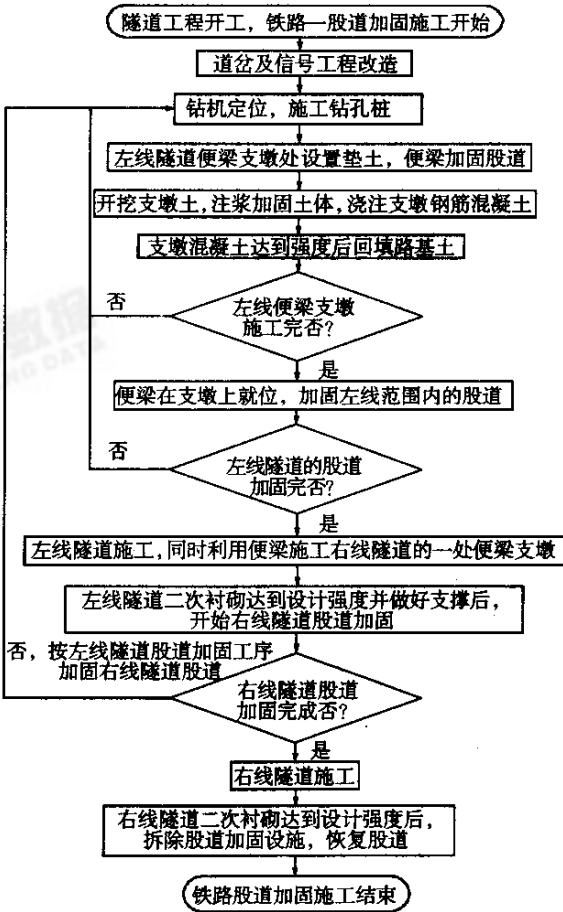


图 5 铁路加固工序

文章编号: 0451-0712(2005)02-0160-06

中图分类号: U453.1

文献标识码: B

铜锣山隧道新型洞门结构计算

李 强^{1,2}, 王明年², 林国进³

(1. 中交第一公路规划勘察设计研究院 西安市 710075; 2. 西南交通大学地下工程系 成都市 610031;

3. 四川省公路勘察设计研究院 成都市 610041)

摘 要: 结合有限元分析方法, 对铜锣山隧道邻水端新型洞门结构进行了三维数值模拟分析, 研究结果表明: 洞门衬砌结构只需构造配筋, 即可满足要求, 并进行了断面钢筋布置; 提出了基底最小承载力不应小于 0.5 MPa, 同时也表明, 基底应力全部为压应力, 洞门结构整体是稳定的。根据计算结果, 提出了相应的施工注意事项。

关键词: 新型洞门; 三维数值分析; 应力分布; 基底承载力

隧道洞口设计是洞口段、洞门以及其前后道路区间的一部分的设计总称。其中在洞口附近, 因为是明暗交接的地点, 宽度的减小、隧道壁的压迫感、坡度变化引起的适应性降低等, 都会引起速度的降低。为了尽量减轻洞口的这种状态, 使洞口周边的自然景观与洞门等协调, 并确保车辆行走从明处进入隧道的安全性, 就必须对隧道洞口段进行专项设计。但是, 在很长一段时间内, 都把洞口和洞门结

构等量齐观, 并把洞门当作一个能够承受背后山体土压力、稳定边坡、保护道路免于落石与雪崩等危害的防护承载结构。在设计观念上, 也常常以路堑方式设置洞门和开挖洞门, 因而, 在隧道洞口设计上, 大量采用端墙式或翼墙式洞门结构。洞门的修筑, 不仅改变了周边的自然环境, 破坏了既有的坡体自然平衡状态, 同时修筑的洞口及坡面的挡墙以及附属的构筑物对地区局部景观产生极大的影响。长期

收稿日期: 2004-08-16

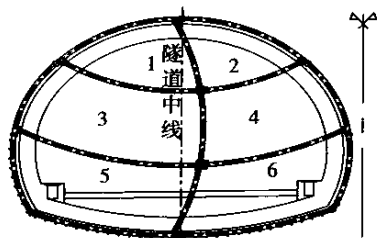


图 6 施工工法示意

浅埋近距大跨隧道暗挖穿越铁路施工, 尤其在高水位土体地层中, 防止地表发生大的沉降, 保证铁路运营的安全, 对铁路股道进行加固是非常必要的。从解放路隧道暗挖穿越地表未加固的环城东路段与加固后的铁路段地表沉降比较来看, 前者沉降达 17 cm, 后者目前只有 2~3 mm, 可见铁路股道的加固作用十分明显。

粘土固化浆液与 TGRM 灌浆液均是新型注浆

加固材料, 在本工程粉土粉砂地层中应用效果一般。粒径分析表明, 地层土体主要粒径范围与注浆材料粒径范围相差不大, 浆液难以在土体中形成渗透注浆堵塞土体孔隙而完全止水, 开挖结果表明在土体中浆液成脉状分布。因此对粉土粉砂粒径与注浆材料粒径相差不大时, 须通过试验确定其注浆参数。

本次设计中采用有限元程序模拟施工步骤对定性了解隧道开挖后周边土体应力场的变化及位移非常必要, 有针对性地采取了相应的施工措施。随着有限元技术的发展, 应更多地将有限元分析用于隧道工程的设计与施工中。

参考文献:

- [1] JTJ 026-90, 公路隧道设计规范[S].
- [2] 王新华. 粘土固化浆液在地下工程中的应用[M]. 北京: 中国铁路出版社, 1998.