

文章编号: 1002-0268 (2003) 04-0052-05

广州黄埔大道隧道土建工程设计

刘爱荣¹, 王定文², 赖泉水²

(1. 广州大学, 广东 广州 510405; 2. 广州市政工程设计研究院, 广东 广州 510060)

摘要: 广州市黄埔大道隧道为城市车行隧道, 为不影响城市景观少建立立交桥(或跨线桥)的思路而设计的单向解决交叉口交通冲突的立交形式, 同时尽可能做到保护环境和美化城市景观。在结构上采用单箱双室矩形断面形式, 运用开天窗解决通风照明的问题。本隧道在广州是第一座, 在全国也是少见。

关键词: 车行隧道; 开天窗; 连续桩支护; 锚杆

中图分类号: U459.2

文献标识码: A

Introduction to the Design and Construction of Huangpu Tunnel

LIU Ai-rong¹, WANG Ding-wen², LAI Quan-shui²

(1. Guangzhou University, Guangdong Guangzhou 510405, China;

2. Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute, Guangdong Guangzhou 510060, China)

Abstract: The Huangpu tunnel is an urban underground tunnel motortraffic for in Guangzhou city. In particular it is designed as such instead of overpass or fly-over for the purpose of reducing its impact on urban landscape environment as much as possible. It is the first tunnel with blowholes on its top in Guangzhou, and also in China.

Key words: Tunnel for automobile; Blowholes on the top; Continuous pile protection; Anchoring bar

1 工程概况

黄埔大道规划为广州内环路七条放射线之一, 连通内环路与外环路(环城高速), 是广州东部出入主干道, 沿线交叉口较多, 车辆和流量大, 近年来长期处于交通饱和状态, 车辆行驶缓慢。为解决交通问题, 规划建设黄埔大道隧道。黄埔大道位于广州黄埔大道体育西路口至暨南大学门口段, 位于黄埔大道中线上, 隧道全长1 047.494m, 下穿体育东路口和天河

东路口。隧道北侧是天河区, 南侧是在建的广州新城市中心——珠江新城, 北侧高楼林立, 是广州近几年发展最快的区域; 南侧在建的珠江新城市中心规划起点高, 是广州未来城市 CBD 区域。西端敞开段长 180m, 东端敞开段长 169.899m, 体育东路口和天河东路口为暗埋段, 长度分别为 200m 和 205.095m, 体育东和天河东路之间为开天窗段, 长 292.5m。隧道净宽 26m, 全宽 28.8m, 平面布置图见图 1 所示。



图 1 隧道平面布置图 (单位: m)

2 工程地质及水文地质

2.1 工程地质

隧道范围内场地地层主体属中软地层, 地层由上而下分别为: 杂填土, 淤泥质粘土, 冲积层粉质粘土, 残积层粉质粘土, 强风化、中风化、微风化沙砾

收稿日期: 2002-07-29

作者简介: 刘爱荣 (1972-), 女, 山西离石人, 工学博士, 广州大学土木学院讲师。

岩。各层主要物理力学指标见表 1。

土层主要物理力学指标

表 1

层序	岩土名称	重度 (kg/m ³)	含水量 (%)	空隙比 e	液性指数	粘聚力 c	摩擦角 φ	压缩系数
2-1	淤泥质土	19.0	1.0	0.676	1.01	14.0	7.5	0.43
2-2	细砂	19.3	1.02	0.669	1.08	10.3	24.0	0.49
2-3	中砂	19.1	0.74	0.737	1.13	18.8	7.1	4.11
2-4	粉质粘土	19.4	0.88	0.792	0.66	35.1	24.2	0.28

2.2 水文地质

场区人工堆积层含上层滞水；冲积层之淤质土，粉质粘土及残积层之粉质粘土为相对隔水层，冲积层之细砂、粗砂层含孔隙潜水；强、中风化带岩芯裂隙发育，含裂隙水；场区主要含水层为冲积砂层，由于该砂层分布连续，整体厚度也较大，厚达 4.7~7.8m，场区水量丰富。地下水水位埋深为 1.5~1.8 米，水位升降与降雨有关。

3 设计技术标准

设计车速 60km/h；设计荷载汽-超 20，验算荷载挂-120，人群 3.5kN/m²；基本地震烈度 7 设防。隧道内平曲线半径 $R_{min} = 30000m$ ，竖曲线半径 $R_{凹_{min}} = 20000m$ ， $R_{凸_{min}} = 1500m$ ；隧道纵坡敞开段 $I_{max} = 5%$ ；暗埋段 $I_{max} = 3%$ ；净高 $H \geq 5.0m$ 。

4 结构设计与计算

敞开段：采用 U 断面，侧墙厚度为 0.4~0.8m，

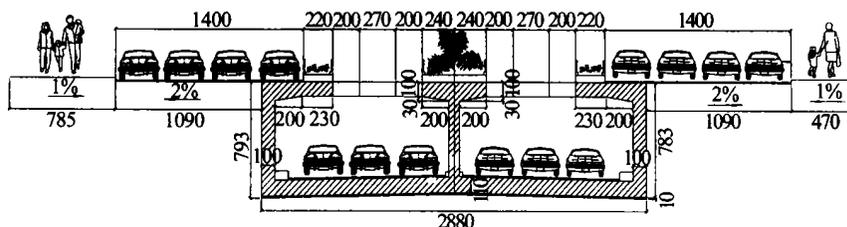


图 2 隧道开天窗段横断面布置图 (单位: cm)

这里重点介绍开天窗段结构设计计算分析。由于该段隧道顶板开天窗，顶板上种植绿化，并且有一个快车道。采用空间结构计算，取一段的一半进行分析，采用块单元，底板支撑在土弹簧上，土弹簧的刚度可采用如下 2 种方法计算：

底板厚度为 0.7~1.0m，埋深为 1.2~10.5m。该段计算模型为挡土墙和弹性支撑板。

暗埋段：为单箱双室断面，采用双向封闭行驶，这样可以减少噪音和晚上来往车辆照明灯的互相影响，增加行车安全。侧墙和底板均厚 1.0m，中墙厚 0.8m。墙顶最厚埋土深 3.0m，为回填中砂和 0.5m 厚绿化用土壤。该段简化为平面框架进行结构计算。

开天窗段：为了满足隧道照明要求，简化隧道通风设置，减小隧道内空气污染和行车噪音，改善隧道运营状况和降低运营维护成本，并为隧道内发生紧急情况提供人员撤离出口，在体育东路口和天河东路口之间设凸曲线，使隧道顶面刚好和地面齐平，同时隧道顶面又为地面提供部分车道。最后选择断面形式如图 2 所示，隧道顶板上沿行车方向开设 11×6m 天窗，为增加视觉效果，天窗四角设圆弧倒角，倒角半径为 2m。相邻天窗间为 1.0m 宽横撑。遂道开天窗段横断面图如图 2 所示。

1 假定土介质是线弹性的连续介质，等效土弹簧刚度由土介质的动力 m 值计算。

$$K_s = a \times b_p \times m \times z \quad (1)$$

式中， a 为土层厚度， b_p 为该土层在垂直于计算模型所在平面的方向上的宽度， z 为土层的深度。

2 运用有限元方法建立半无限体平面土体有限元模型，根据刚度定义：单位力作用下产生的位移的倒

数来计算土弹簧的刚度。

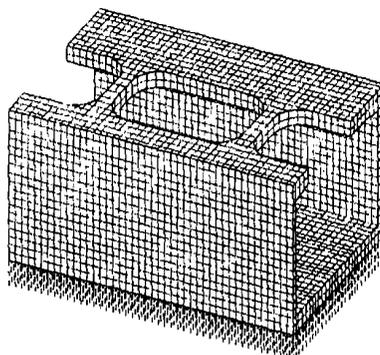


图 3 开天窗段结构计算单元网格 (块单元，底板虚线为土弹簧单元)

计算出土弹簧刚度, 结构划分块单元后计算模型如图3所示。块单元计算出来的是节点(或单元)应力, 取单位长度进行应力分析, 可按下述方法配置钢筋, 然后验算裂缝宽度。

取单位宽度断面, 根据计算结果画出应力图形, 假定所有拉应力均由钢筋承受, 则所需钢筋面积计算公式为

$$A_s = \gamma_s \times T / R_s \quad (2)$$

式中, γ_s 为钢筋安全系数, 取 1.25; T 为由钢筋承担的拉应力合力, 当截面宽度为 b 时, $T = \omega_1 b$; ω_1 为拉应力图形面积中扣除应力小于混凝土抗拉许可强度 $[R_t]$ 后的图形面积, $[R_t] = R_t / \gamma_c$; γ_c 为混凝土安全系数, 取 1.25。

5 基坑支护设计

由于在隧道两侧均为高层建筑, 很多建筑为上世纪80年代修建, 砌体结构, 扩大基础, 在施工工程中由于地下水位降低, 可能引起地基下沉导致附近建筑物倾斜。为避免这种情况发生, 根据基坑深度不同按如下情况采用支护方案:

(1) 当基坑深度在 14~4m 之间时, 采用密排人工挖孔桩+锚杆支护。挖孔桩直径 1.2m, 锚杆采用双根钢筋线。10~14m 深度采用两排锚杆, 7~10m 采用单排锚杆, 4~7m 深度不设锚杆。间隔施工浇筑挖孔桩, 相邻桩之间设橡胶止水带, 桩尖进入岩层或不透水层。

(2) 当基坑深度在 4~1m 时, 采用 U 形钢板支护。

(3) 基坑深度在 1m 以下, 不设支护。

(4) 在基坑深度较浅, 没有止水设置的区域在未开挖之前采用粉喷桩作止水幕墙阻止基坑开挖后地下水通过砂层流入基坑。

6 防水设计

采用多道设防、复合防水、节点密封的措施, 确保结构使用不渗不漏。采用结构自防水和外防水相结合。结构采用 C30 混凝土, 防水等级为 S8。

6.1 结构自防水

结构自防水方面采取如下措施:

(1) 为防止隧道纵向发生过大的收缩和尽可能消除地基不均匀导致的结构过大变形引起裂缝, 在纵向将结构分为多段, 结合混凝土浇筑量, 地质变化程度和理论计算以及以往工程经验选取分段长度为 20~30m。

(2) 采用双掺技术, 即掺入 8%~10% 等代替代水泥的抗裂防水剂; 掺入 15% 等代替代水泥的 I 级粉煤灰。

(3) 为降低混凝土水化热减少温差以防止温度裂缝的产生, 在混凝土浇筑前应对混凝土的水化热、收缩、温升和配合比等项目进行试验选择合适的水泥以及用量和配合比, 确定准确数量的添加剂。

(4) 由于在夏季施工, 堆料仓、运输皮带、浇筑仓均设置遮阳棚, 泵送管道用泡沫塑料包裹隔热。

(5) 冲水筛洗集料, 除去泥土和粉尘, 控制集料级配。

(6) 尽量安排在夜间浇筑混凝土, 控制入仓温度在 28° 以下, 必要时加入冰块拌和达到降温的目的。

(7) 在侧墙和顶板内设冷却管, 浇筑完成后 3 天在管内通凉水以降低混凝土由于水化热导致的温度升高, 保证冷却水与混凝土之间的温差不超过 20°。

(8) 底、侧、顶板浇筑间隔时间控制在 5~7 天内, 以减少相邻混凝土间的温差和约束。根据广州市地铁 1 号线的经验: 侧墙由于底板的约束容易开裂。此条控制措施非常重要, 必须严格遵行。

6.2 结构外防水

借鉴广州地铁结构外防水设计, 这里主要采用氯化聚乙烯防水卷材, 结构不同部位采用不同处理措施。

顶板防水层依次为: 防水砂浆保护层 50mm 厚, 氯化聚乙烯防水卷材 1.5mm 厚, 聚合物复合涂料 2mm 厚, 防水砂浆找平 20mm 厚, 结构顶板。

底板防水层依次为: 结构底板, 防水砂浆保护层 30mm 厚, 氯化聚乙烯防水卷材 1mm 厚, 聚合物复合涂料 1mm 厚, 防水砂浆找平 20mm 厚, C10 混凝土垫层。

侧墙防水层依次为: 结构侧墙, 防水砂浆找平 20mm 厚, 聚合物复合涂料 1mm 厚, 氯化聚乙烯防水卷材 1mm 厚, 防水砂浆保护层 30mm 厚。

6.3 沉降缝(施工缝)处防水设计

地下结构在各种缝处的防水设计很重要, 从以往的工程看, 有缝的地方是防水最薄弱的地方, 是最早发生渗、漏的地方。

每节段间沉降缝(或收缩缝)处主要采用橡胶止水带作为关键防水屏障, 施工时严格控制止水带位置, 注意浇注混凝土时不能使止水带移位和发生折叠。

在侧墙和顶、底板的施工缝上, 采用 4mm 厚止水铜片止水。

7 抗浮锚杆设计

由于地下水位较高,隧道开挖较深,在大部分长度范围内,必须设置抗浮措施。传统的抗拔桩太浪费而且施工工期长,该隧道处拟设计抗浮锚杆,在隧道开挖至设计标高时,开始施工抗浮锚杆,锚杆采用Ⅱ级螺纹钢,直径32mm,锚杆长度采取7~10m,根据浮力大小采用不同的间距。锚杆上部做直钩伸入隧道底板。由于锚杆端部未设锚具,依靠混凝土和钢筋之间的粘结力来抵抗锚杆中的拉力,因此为了保证锚杆有效,针对混凝土和钢筋的粘结力的大小,作者在文献[1]中进行了推导,证明了这种设计是安全的。抗浮锚杆改善了隧道底板的受力形式,有利于底板的受力。

8 开挖过程监视和量测

在地下工程施工过程中,由于地质条件、荷载条件、材料性质和施工条件以及环境等因素的影响,使得设计中很难预测施工过程中可能遇到的各种问题,理论设计值还不能全面而准确地反映地下结构水土压力和工程上诸多因素的变化,因此,在理论分析指导下有计划地进行现场监测,以监测数据验证和优化设计是十分必要的。

在施工过程中,要求监测的项目有:桩顶水平位移和沉降;桩身位移;地下水位量测;锚杆拉力量测;周围地表及建筑物沉降量测、地下管线变形量测。施工过程中应根据监测信息反馈采取必要措施,确保基坑施工进度和街道周边建筑物安全。

9 防洪和照明设计

由于位于中国南方地区,年降水量很大,特别是受台风影响较大,8~10月间经常有大暴雨,因而防洪设计很重要。在路面入隧道处设一反坡(凸曲线)并设截水沟截断地面水,开口段每隔20m远设一道横向截水沟,在两侧墙底面设排水管,集截水沟中水入泵房。泵房设在体育东路口和天河东路口两暗埋段纵坡最低点,每个泵房内设两台备用发电机,保证在停电时能够发电抽水。在开天窗段中部设竖(凸)曲线使得开天窗段雨水大致平均流向两泵房(由于该段较长,天窗集水面积较大)。

隧道由于有敞开段和暗埋段,由于视觉有一个适应期,在白天,出入车辆由明和暗的转换容易造成汽车司机视觉盲区而导致交通事故。设计时采用照明灯光在一定距离范围调节洞口段光线由强至弱变化。在

开天窗段与暗埋段之间,车辆行驶较快,强弱光线引起的不适很明显,因此加大了该段调节距离,光线强度也作了相应调整。

10 施工过程简介

首先施工挖孔桩(由于砂层太厚,部分桩施工时变更为钻孔桩),然后分不同的开挖面开挖,开挖至设计锚杆位置以下20cm后施工锚杆并施加预应力,待锚杆中灌浆达到设计强度后再开挖下一层土。最后直至设计标高后浇筑结构。首先浇筑底板,然后浇筑侧墙,最后浇筑顶板,对施工缝进行处理以防施工缝漏水。最后回填并施工隧道内壁装饰工程。

施工时桩顶最大位移仅10mm。基坑周边地面没有可见裂缝产生,未对周围结构产生任何影响。

11 工程造价

该隧道于2000年12月建成通车,总造价为3.03亿人民币,单位面积工程造价达到8000元人民币,工程费用较高,导致费用较高的原因大致有以下几点:

1. 由于地质情况较差,砂层很厚(施工时经常有流沙现象),采用的支护桩的比例较大,支护结构大约占总造价的1/3。
2. 隧道经过处地下管线和污水渠箱均需改造或进行保护,特别是地铁供电电缆的保护造价较高。
3. 在体育东路口南北向有一段电力渠箱也属该隧道土建范围。
4. 附属工程中,有两座人行过街地道也属该隧道土建范围。

12 结语

(1) 采用下穿隧道解决城市道路交叉口交通单向冲突是一个较好的方法,既能满足交通功能,又不影响周围景观,同时还能降低汽车噪音。但是对于全互通式交通,由于结构和空间限制,隧道结构不能满足交通要求。

(2) 城市隧道都是浅埋地下结构,其结构断面受到限制,采用矩形断面能充分利用空间,但其断面结构尺寸偏大;同时,城市地下管线对隧道结构的影响较大,在繁华的老城区采用下穿隧道是不经济的,但是对于新城区,下穿隧道解决直行交通是较优选择。

(3) 采用锚杆排桩作支护结构能够满足大开挖施工要求,如果能够把支护结构作为隧道结构的一部分会更加合理、经济。

(4) 虽然结构上比较复杂,但是采用开天窗结构取得了较好的设计效果,解决了城市长大隧道设计中比较难处理的通风和照明问题。同时减少了运营维护费用。

(5) 排水防洪是城市隧道设计的一个关键环节,特别是在年降水量较大的华南地区,因此隧道排水及其供电系统是要有足够的储备才能满足暴雨时应急要求。

(6) 地下工程防水设计很重要,减少结构裂缝的

措施必须有效,施工时认真贯彻设计意图提高混凝土浇注质量是减少裂缝的关键。

参考文献:

[1] 刘爱荣,王定文. 钢筋与混凝土间的粘结应力理论解及其应用 [J]. 广州大学学报, 2001 (11).
[2] 施仲衡,主编. 地下铁道设计与施工 [M]. 陕西科学技术出版社, 1997.
[3] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制 [M]. 中国电力出版社, 1999.

(上接第40页)

(2) 桥区出现了新的不正常水流,如横流、强流等。

(3) 流向与桥梁轴线法线方向存在一定夹角,船舶驶过时的困难大为增加。

(4) 航标完善后与习惯航线的区别。

(5) 桥区的交通安全管理规则必须严格遵守。

船舶在航道中航行时,岸壁效应和船间效应可能使船舶偏离原航向,而发生碰撞,船舶保向性衡量指标为在正常气象条件下,为维持直航所操的平均舵角应不超过 5° ,因此对在桥区受限水域的船舶航行引航要充分考虑到各种效应,对主流流向与桥梁轴线法线方向夹角过大引起的整个主流具有横流的特点要准确把握^[2]。另一方面设计时要尽量缩减此夹角,保证船舶航行的安全和桥梁桥墩的安全。

7 结语

桥梁通航净空尺度和技术要求论证是一门随着交

通综合运输体系的发展而发展起来的一门交叉学科,涉及到桥梁工程、水运规划、港口工程、船舶操纵、工程水文等学科,其所提供的论证成果是桥梁设计的基础资料和设计依据,鉴于桥梁建设的重要性,应慎之又慎,本着科学和实事求是的态度,通过分析桥区气象、水文、地形、地貌资料,结合平面二维潮流泥沙数值模拟成果,进行桥区水道建桥前后海床、河床的演变分析。通过通航条件、港口条件、水流条件的论证分析,进出港航道、港口、船型论证,过桥运量分析和预测,设计最高、最低通航水位论证,结合有关部门的要求和通航孔数、布置型式要求,提出桥梁通航净空尺度和技术要求,使公路运输与水路运输相互促进、协调发展。

参考文献:

[1] 袁伯永. 桥梁工程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001: 438 - 441.
[2] 郭国平. 船舶操纵 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998: 33- 43.