

富水软土地层浅埋大跨隧道设计

赖泉水 周江天

(广州市市政工程设计研究院) (深圳市市政工程设计院)

摘 要: 本文以一座设计开挖宽度近 20 m, 而覆盖层仅 3 m 左右的地下过街通道为例, 分析判断富水软土地层中采用浅埋暗挖法隧道设计施工存在的问题和解决的方法。

关键词: 浅埋暗挖 软土地层 结构防水 信息化设计

1 前言

1987 年竣工的北京地铁复兴门折返线工程, 成功地采用暗挖工艺设计施工, 并由此建立了“浅埋暗挖工法”。随后, 该工法不断地在北京、深圳、广州、福州、成都、郑州等城市地铁和市政工程中广泛应用, 取得了显著成效; 同时, 实践中也出现了一系列新情况、新问题, 以及某些传统的技术难点需要进一步研究解决, 如施工阶段地下水的处理与防范、施工安全与防沉技术、辅助施工措施配套和质量控制等等。珠江三角洲地区, 地下水补给来源充沛, 第四系地层具有饱和含水、低强度、高塑性和自稳能力差的特点, 给地下工程的实施增加很多难度。在广州市政改扩建工程建设中, 采用浅埋暗挖工法设计了一座双跨连拱的过街通道, 其总开挖宽度 1912 m, 结构总高 519 m, 扁平率仅为 0131; 而上部覆盖层厚度仅 3 m 左右, 覆跨比为 0115。本文通过广州黄埔大道~ 珠江大道人行隧道为例, 来简述这一工法在实际工程中所遇到的难点及解决办法。

2 环境特点

211 周边条件

过街隧道北端紧邻 24 层富星大厦和 9 层的商业住宅楼, 南侧是城市商务和金融中心——珠江新城, 隧道下穿黄埔大道。富星大厦的地下室与

过街道 1 号出入口紧连, 而 3 号出入口则与住宅楼基础密贴。隧道上部的覆盖土层只有 3 m 左右。黄埔大道为连接广州内环与外环的城市快速路, 交通十分繁忙, 要求隧道施工期间务必保证交通畅通。

212 地下管线

在黄埔大道及两侧人行道下面分布有多年埋设的各类地下管线。其中对隧道设计施工有较大约束的地下构筑物有: 一座 2 m × 3 m 的排不箱渠、数束特种电缆和光缆、2 条 220 kV 主电缆以及一条宽约 215 m、厚达 115 m 左右的通信电缆管排等。这些管线在平面上与暗挖隧道基本正交, 立面上距离较近, 施工中稍有不慎即造成不可估量的后果。

213 工程地质与水文地质

隧道所经地层主要是第四系粉质粘土, 拱部遇到部分人工填筑土。粉细砂层与中粗砂层呈透镜体状分布, 饱和含水, 也是隧道设计施工的困难所在。地下水位在地面以下 1~ 115 m, 高于隧道结构 2 m 以上。地层物理力学特性指标如表 1。

3 结构设计与防水设计

311 支护结构设计

结构形式为双跨连拱。每孔通行宽度为 8 m, 中间设钢筋混凝土柱。采用多心圆拱直墙带仰拱复合式衬砌。

表 1 地层物理力学特性指标

时 代	岩 性	含水量 W (%)	密度 Q(kN/m ³)	孔隙比 e	液限 w _L	塑限 w _p	内摩擦角 φ(°)	凝聚力 C(kPa)
Q ^Ⅲ	杂填土	2618	19158	01759	3915	2419	1314	3415
Q ^Ⅲ	粉质粘土	1118	20160	01476			1912	1716
	细 砂	2718	19111	01831	3718	2118	1515	3211
Q ^Ⅲ	粉质粘土	2616	19125	01789	3314	2113	1913	2910
	粉质粘土	2219	19170	01707	3210	2111	1916	3113

初期支护由格栅钢架、钢筋网与喷射混凝土组成,拱部为大半径圆弧单一拱顶,与直墙以小圆弧顺接,避免了中柱顶部出现“v”型汇水区。二次衬砌采用钢筋混凝土结构,拱部采用变截面形式,混凝土强度等级为C30。

312 结构防水

结构防水按照“以防为主,多道设防,防排结合”的原则设计。

由于覆层太薄,地面降水经人工填筑土层会渗透到结构表面,故采用注浆止水的办法,初步将地下水封堵在结构之外;在初支与二衬之间设防水隔离层,避免地下水直接对二衬的侵蚀;为保证初支与地层之间密贴连续,初支背后还应进行回填注浆;二次衬砌的抗渗等级不小于0.18MPa,并加强变形缝与施工缝防水,以期实现结构自防水。

4 工程难点与技术措施

411 地下水对工程的影响

地下水对地下工程的影响,不仅影响构筑物在使用期内的耐久性与适用性,而且直接表现为影响工程建设期间的进度、投资与质量。

由于广州地区降雨量大,地下水补给来源充沛,而且水位高于结构顶部,施工期间,受开挖与暴雨的影响,场地地下水水位变化缺乏规律,同时随着渗流改变了原状土的物理力学特性,甚至传统意义上的相对隔水层——粘土由于裂隙出现也成为透水层,增大了水土流失的可能性。

412 施工期地面沉降的限制

地表的土壤(包括人工填筑土)受扰动后的承载能力将大幅度降低,加之地面重型超载双重作用,为保证道路的正常适用性和可修复性,对暗挖工艺提出了控制地面沉降的要求。同时,排水箱渠及其他众多地下管线的建筑材料和结构构造有很大区别,也对隧道施工防坍防沉提出了更高的要求。

413 紧邻建筑物的影响

无论隧道开挖还是出入口基坑的施工,必将对紧邻建筑物稳定性有一定的影响。关键在于如何将影响程度控制在不影响既有建筑物的正常使用。

414 结构计算与地层稳定性分析

41411 结构计算

结构上的作用借助矿山法成熟的经验^[1],隧道埋深较浅,按照松散土柱法进行计算。一般在渗透系数较大的地层中,采用水土分算;对于粘土土,采用水土合算较多。但由于该隧道施工横向展开比较大,反复扰动了上表层覆土,易造成次生人工裂隙甚至地层局部进入塑性,增大了渗透系数,所以,确定采用水土分算法进行计算分析。

隧道结构在按照承载能力极限状态分析时,由于其荷载的不确定性,或者说荷载—结构相互作用的不确定性,同一结构常常假定并简化为几种模式进行分析^[2]。采用静态法模拟分析施工阶段的各种工况,以检算初期支护与临时支撑的强度及稳定性;二次衬砌作为永久承载结构,考虑承受全部静水压力,按照使用期间发生的最不利情

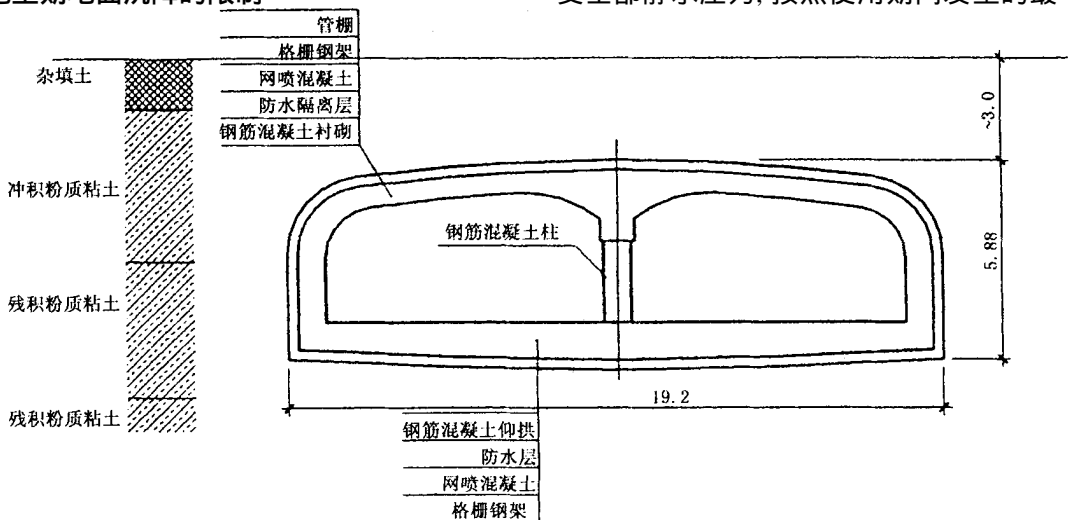


图1 隧道横断面图

单位: m

况下的地层压力和地面超载进行计算分析, 以及满足 7 度地震区抗震设防要求。

图 2 显示了在开挖阶段初期支护与临时支撑计算分析模型。

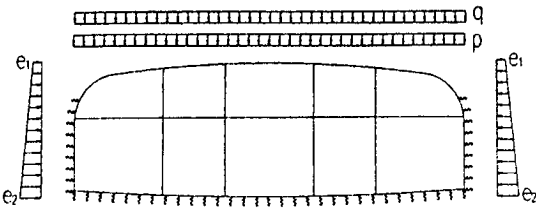


图 2 典型工况下结构计算简图

41412 地层稳定性分析

弹塑性有限元分析应用反转应力释放法动态地模拟施工进程, 直观地反映地层变位情况、地层应力重分布状态。经计算分析, 在掘进过程中, 软弱的地层极易进入塑性; 沉降槽的形成与地层能量释放有直接关系, 群洞效应将加剧沉降曲线的叠加和地中位移。这就要求隧道开挖之前, 通过预支护的手段将地层事先加固, 改良的地层与后期的支护结构协同作用, 以期达到共同承载的目的; 在开挖过程中, 强劲的支撑体系有助于遏制地面沉降, 但想达到与地层共同承载的目的, 尚需再次

改良地层; 提前施做刚度较大的二次衬砌与中柱, 可以起到加劲、减跨的效果, 限制地层变形。

415 施工方法

地下工程施工过程对地层的稳定性是非常大的, 加之结构的横向尺度近 20 m, 覆盖层又比较薄, 采用暗挖工艺必然要超前支护、分步施工。

首先, 应用管棚工法进行预支护, 改善浅表层地层的承载能力, 后期工序将在刚劲的管棚保护下安全作业。其次, 采用导洞法分步开挖, 中间导洞不仅可以超前预报地质情况, 而且选择和判定合理时机施做钢筋混凝土中柱; 各跨导洞开挖过程中, 结合监测的信息反馈, 适量地调整临时支撑, 确保工程建设的安全。在初支基本封闭后, 地层的变形也趋于稳定, 再浇筑二次衬砌可以减少施工作业缝, 保证结构的整体性和混凝土的质量; 但由于地层情况不利, 结构的扁平率小、拱部较平, 实际操作时前期变形过大, 提前施做中柱与边侧衬砌可以有效遏制地表沉降。

设计推荐图 3 所示的施工步骤。

5 监控量测与信息反馈

目前地下工程设计多以工程类比为主, 理论

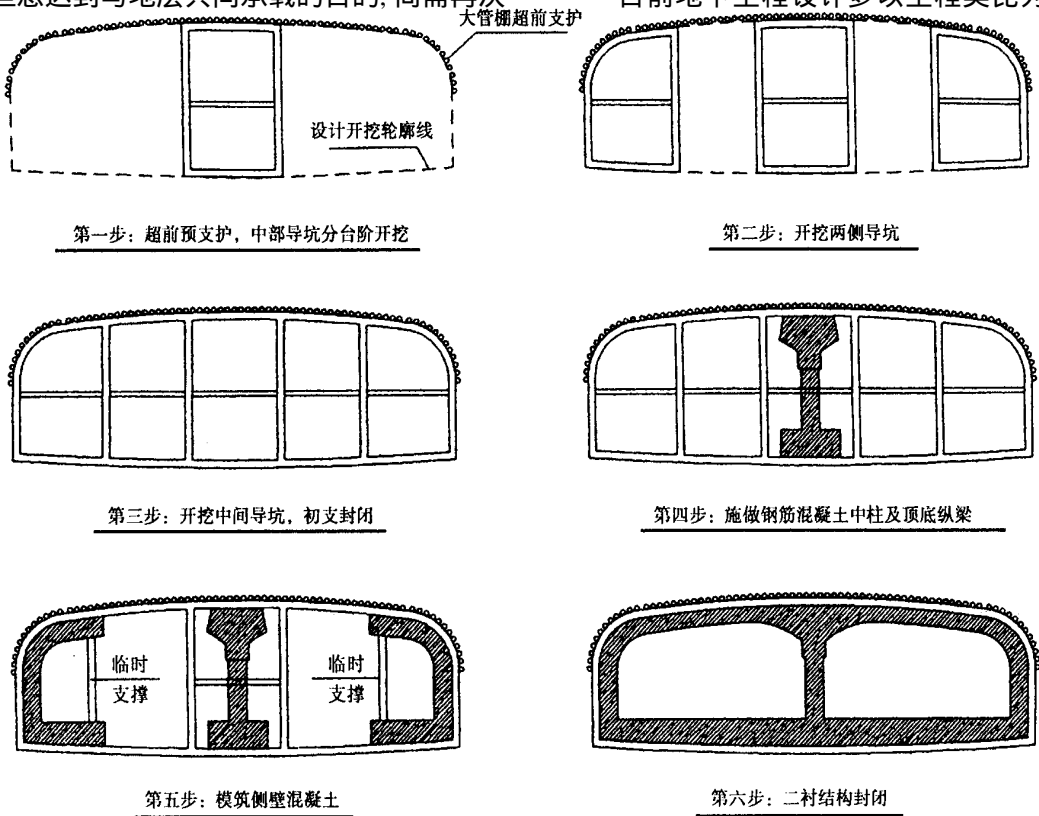


图 3 施工方法示意图

计算常常作为定性分析,而监控量测则可以准确地反映施工过程中地层与支护结构应力、应变的动态变化过程,验证设计效果;通过数据处理和信息反馈,掌握地层稳定性的变化规律,以补充完善设计。

根据信息化施工原理,设计考虑了地面沉降、拱顶下沉、净空变形和格栅钢架应力等量测项目。施工过程中,严格按照监控量测和信息反馈程序分析判断各阶段地层的稳定性,有效地控制了地面下沉和结构变形,从而实现施工期间黄埔大道不间断行车。

6 结束语

通过黄埔大道~珠江大道过街通道的设计与施工,基本解决了富水软土地层中暗挖工艺的防沉、防坍和地下水防范等技术难题。

(1) 选择合理的辅助性施工措施是设计与施工的关键。管棚法普遍,但其钻孔工艺对浅层地表土扰动比较大,适当间隔作业并及时注浆才能起

到限制地面沉降的功效。

(2) 二次补强注浆,可以改良和加固人工扰动后的地层,对后继工序实施提供安全有效的保证。

(3) 在粉质粘土中注浆难度大——压力低,缺乏效果失去意义;压力高,对浅埋工程,可能造成地面隆起,同时造成卸压,影响加固效果。应该从注浆的材料、设备、工艺与管理等方面综合分析,因地制宜来确保地层改良效果。

(4) 分步施工的临时支撑间距应有效控制,作到稳扎稳打,步步成环。

(5) 浅埋暗挖工法依然存在一定风险,在工艺可行、技术可靠的情况下,应加强管理措施,建立和保障监控量测和信息反馈制度,才能有效地解决工程中各种各样的技术难题。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准 1 铁路隧道设计规范 TB 10003-991 中国铁道出版社,北京 11999
- [2] 孙均、侯学渊 1 地下结构 1 科学出版社,北京 11987

(收稿日期: 200205220)

《城市道桥与防洪》投稿须知

1 来稿请署作者真实姓名、性别、出生年月、民族、籍贯、学位、工作单位、职务、职称、从事何项工作及详细通讯地址、邮编、电话。

2 文章须写出摘要(200字左右)、关键词(3~8个),正文一般控制在3000~4500字左右。文章题目、摘要、关键词、作者单位,最好有英文译文。

3 插图清晰,数量尽量少,写出图名,一般只要简单示意图,大小适当(少占版面);表中各种量及计量单位一定要填满。

4 计量单位及表示符号一律按《中华人民共和国法定计量单位》规定;专业术语、各种物理量及参数等,使用现行的国家标准、行业标准和规范,且忌用多个字母构成一个量的符号。

5 文章内容涉及到国家标准、行业标准、规范规程时,请注意:一定要用新标准、新规范、新规程。

6 凡撰写工程技术总结的文章,望能提供1~3幅彩色工程照片。

7 稿件文责由作者(第一作者)自负;对刊用稿件,本刊有权作文字性修改和删节,如不同意,请首先声明。不刊用的稿件,不退稿,请作者自行留底。

8 因本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者不同意将文章编入该数据库,请投稿时声明。

· 短讯 ·

2002年9月11日下午5时许,上海磁悬浮列车“飞”起来。列车试运行的速度为10 km/h,行驶平稳,列车车身离开车轨1 cm。

close ring status in accordance with definite optimum control law to adjust and control the various construction sections so as to reach the design requirements

Keyword: construction, error control, Kalman Filtering Method, cable-stayed bridges

Consolidation Treatment of Ground Foundation Stability Loss of Drainage Box Culvert *L in X iao* (47)

Abstract: Shantou City faces to sea, it belongs to seaside city. The poor geological conditions restrict the construction progress of the urban structures. A drainage box culvert project of Nanbin Road in Shantou City is located silt course of sea beach with more than 20m in thickness. The geographical position and geological condition are more special. The paper introduces briefly the course of consolidation treatment of high pressure chemical churning piles of the ground foundation of the box culvert. And it puts forward the method of soft soil foundation treatment of the engineering structures, taking it as the example so as to avoid the structures' destruction by the poor geological conditions and the uneven ground settlement in the earlier stage of the original soil foundation. So the structures can not meet the use function and reduce the use standards of the structures.

Keyword: drainage box culvert, high pressure chemical churning, consolidation of soft soil foundation, high pressure churning grouting by single pipe method

Analysis of Influence of Mud Proportion on Quality of Cast-in-place Piles *N iu RunM ing* (50)

Abstract: The paper introduces the influence of mud proportion on the excavated hole, the hole cleaning of the cast-in-place and concreting. And it puts forward the corresponding technical measures.

Keyword: cast-in-place piles, mud, proportion

Design of Large-span Tunnels of Shallow Embedment of Rich Water Soft Soil Stratum *L ai QuanShui, Zhou J iangTian* (52)

Abstract: The paper analyzes and judges the problems and the methods existed in rich water soft soil stratum by shallow embedment and conceal excavation method for designing and constructing tunnels. The example is an underground passage over street with about 20m of the design excavation width and about only 3m of covering.

Keyword: shallow embedment and conceal excavation, soft soil stratum, waterproof of structures, informationization design

Brief Introduction of Design of Wenchuan Road Grade Separation *L uo J ianH ui* (56)

Abstract: Wenchuan Road Grade Separation in Shanghai is not only a hub class grade separation which intersects the express road with the main trunk road, but also is the first public transport hub in China at which the various travelling modes such as metro, public transport, automobiles and non-motorized vehicles etc. are converged. When designing the grade separation, it shall not only to attention to the improvement of traffic function, but also reflect the design idea of "Taking people as the foundation, giving priority to public transport." The paper introduces the design of Wenchuan Road Grade Separation Project.

Keyword: Wenchuan Road Grade Separation, design, Shanghai City

FLOOD CONTROL & DRAINAGE

Preliminary Approach to Urban Flood Control Informationization Construction in Taiyuan *L iang ChengGang, Chang J inX ian* (58)