

# 小洋山隧道设计

王春梅

〔摘要〕 小洋山公路隧道为小间距群洞隧道，主洞跨度之大在国内较为罕见。本文主要介绍其设计构思以及洞身和洞口预支护措施等。

〔关键词〕 大跨度 隧道 设计

小洋山隧道是上海国际航运中心洋山深水港一期工程港区进港道路上的唯一隧道，为公路隧道。道路通过小洋山的方案起始为开山方案，后考虑到该方案对进港道路上自然景观的不利影响，故改为隧道方案。该隧道由主道隧道和辅道隧道组成，隧道之间的间距小。由于受道路线形控制，主道隧道采用双连拱结构，辅道隧道采用分离式结构。

此类群洞加大跨度隧道，在受力上存在诸多不利因素，当前可借鉴的经验和可类比的工程也很少，因而设计上有一定难度，许多方面尚在研究和积累经验阶段，需通过不断实践，总结出一套较为完善的设计理论和施工方法。

## 1 工程地质

### 1.1 地形地貌

大、小洋山所属的崎岖列岛为浙江天台山脉的向东北延伸入海部分，为一系列面积狭小的岛屿，呈鸡爪型地貌。

地形起伏变化较大，高架主道隧道地形起伏最大达35m；地面辅道隧道进口地形起伏最大达50m。两隧道地形起伏呈M型，两端较陡，顺山坡伸入大海，中间为一凹地，凹地最低标高：高架主道隧道为34m，辅道隧道线为39m。通过沿线地质调查未见天然滑坡不良地质现象。

### 1.2 工程地质

勘察区覆盖层厚度很薄，一般<1.5m，基岩岩性为花岗岩，根据其风化程度，可划分为强风化层、中风化层、微风化层。从钻探和物探成果来看，强风化层和微风化层厚度不大，一般不超过2.0m，微风化层厚度较大。由于覆盖层厚度薄，故基岩面顶板起伏与地形起伏基本一致，即地面高程高，基岩面高程也高。

从取上的岩芯来看，一般强风化层基本已风化成粘性土混砂砾或砂砾混粘性土状，花岗结构难辨，锤击易碎，铁镐易挖；中风化层结构清晰，岩芯比较破碎，大多呈短柱状，少量呈块状，裂隙比较发育，裂隙面常见铁质渲染，锤击能碎，铁镐不易挖；微风化层结构清晰，岩芯完整，岩芯柱面光滑，质地坚硬，锤击不易碎，铁镐难挖，但在局部地段，因地质构造运动产生的裂隙挤压破碎带的岩芯较破碎。

主道隧道围岩分类为：K31+678~+808为IV类围岩，K31+808~+815为III类围岩，K31+815~+948为V类围岩；辅道隧道围岩分类为：K31+663~+802为IV类围岩，K31+802~+809为III类围岩，K31+809~+962为V类围岩。

岩石基本物理力学性质：根据岩体试验结果可知，拟建隧道轴线区段围岩平均干密度为2.56g/cm<sup>3</sup>，平均湿密度为2.57g/cm<sup>3</sup>，

投稿日期：2004-3-2

46

平均吸水率为 0.55%，岩石干抗压强度平均值为 105.7MPa，岩石饱和抗压强度平均值为 84.3MPa，岩石弹性模量平均值为  $3.8 \times 10^4$  Mpa，泊松比平均值为 0.29。

### 1.3 水文地质

根据观测，勘察区地下稳定水位：主道为 +20.09m，辅道为 +14.25m。

## 2 隧道设计

### 2.1 技术标准

① 设计年限：100 年。

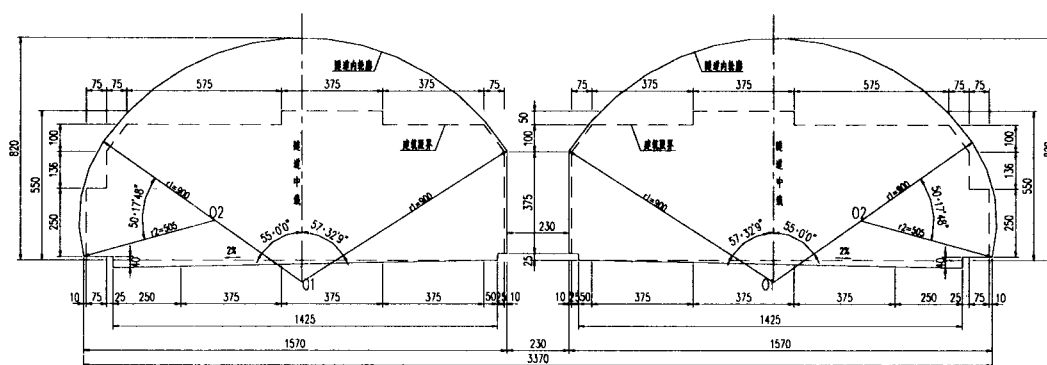
② 设计车速：高架主干道为 80km/h，地面辅道为 60km/h。

③ 建筑限界：

隧道有效净宽：主道（见图 1）：单向三车道，双向六车道，设 2.5m 宽紧急停车带，隧道单向路面宽度： $3 \times 3.75 + 2.5 + 0.5 = 14.25$  m。

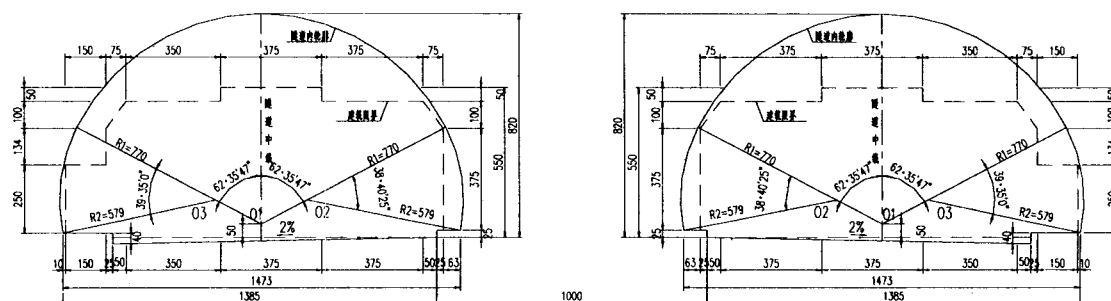
辅道（见图 2）：单向三车道，双向六车道，隧道单向路面宽度： $2 \times 3.75 + 3.5 + 2 \times 0.5 = 12$  m。

有效净高：普通车道 5m，超高车道 5.5m。



(单位: cm)

图 1 主干道隧道建筑限界图



(单位: cm)

图 2 辅道隧道建筑限界图

④ 设计荷载：汽车—超 20 级（以集装箱卡车为主）。

⑤ 运营通风：经计算与分析采用自然通风。

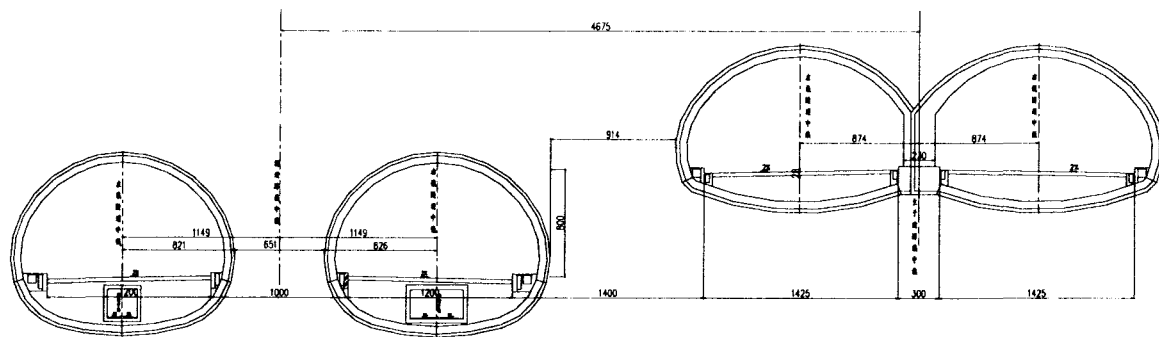
⑥ 照明标准：按短隧道进行照明。

## 2.2 隧道位置关系

主干道隧道为高架线路上的隧道，其进出口与桥相连，由于受道路线形控制，主道隧道采用为双连拱结构，隧道位于

K31+678~K31+948，全长 270m；辅道为地面上的隧道，采用分离式结构，隧道位于 K31+663~K31+962，全长 299m。主干道左线隧道与辅道右线隧道间净距为 9.14m~9.34m；辅道左右线隧道中线与辅道路线中线水平距离 11.49m，左右线隧道内侧净距为 6.51m~6.71m。主干道隧道与辅道隧道路面标高设计高差约 8m。

主道隧道和辅道隧道关系如图 3。



（单位：cm）

图 3 主道隧道和辅道隧道关系图

## 2.3 洞口设计

洞门设计时，综合考虑洞口的地形、地貌、地质条件以及防排水的情况，本着“早进晚出”的原则确定进洞开挖方案。洞门型式的选择主要考虑结构简洁，与洞口地形、地貌协调一致，并兼顾港区远期发展规划等因素，隧道门均采用削竹式洞门，洞门施工完成后要求地表尽量恢复原貌，并进行绿化。

为了实现“早进晚出”的原则，在隧道洞口设置了超前长管棚。设计要求在完成洞口截水天沟之后，开始进行洞口段边仰坡的开挖，边仰坡必须边开挖边防护，以防后期施工扰动、地表水下渗以及地下水渗流造成边坡失稳。开挖至成洞面时保留核心土体，然后施作长管棚。长管棚不仅为隧道开挖提供

保护，还可以稳定仰坡。因此，长管棚在这种大跨度隧道洞口施工中，尤其是地质条件较差时，其作用是显而易见的。

## 2.4 结构设计

隧道衬砌根据围岩类别、地形、埋深、相对位置关系、成洞条件等进行设计。由于各隧道进出口成洞条件困难，均设计了明洞衬砌。主道隧道进口设了 26m 明洞，出口设了 18m 明洞；

辅道隧道进口设了 13m 明洞，出口设了 21m 明洞，其余各段对应于围岩类别设计为复合式衬砌。

明洞衬砌采用厚 70cm（III类）和 60cm（IV类）的 C30 钢筋砼；暗洞衬砌采用复合衬砌，初期支护以系统锚杆、钢纤维喷混凝

上以及钢架共同组成，二次衬砌则由 C30 钢筋砼组成。复合衬砌支护参数首先根据围岩类别、工程地质水文地质条件、地形及埋置深度、结构跨度、相对位置以及施工方法等因素综合拟定，然后采用隧道结构计算程序进行结构内力分析与强度校核，以最终确定各支护参数。

主道隧道由于距离近（两隧道内壁仅 2.3m），明洞衬砌采用了对称的直中墙连拱结构型式（如图 6）；暗洞则采用了一种防水效果好，结构新颖的连拱形式。考虑到施工的先后，将中墙设计为不对称结构，并在先施工的右线隧道墙脚加了锁脚钢筋束，以增强其墙脚的稳定性。（如图 7）

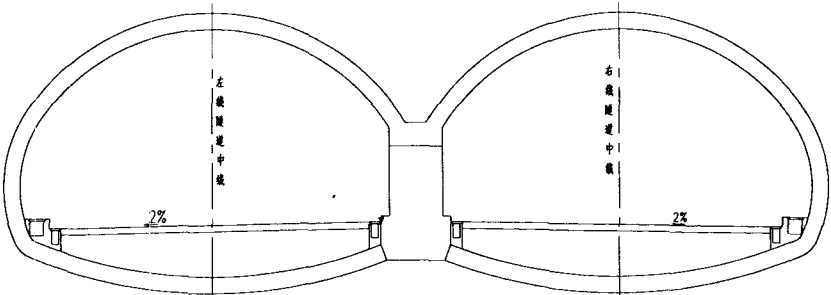


图 6 主道隧道明洞衬砌断面

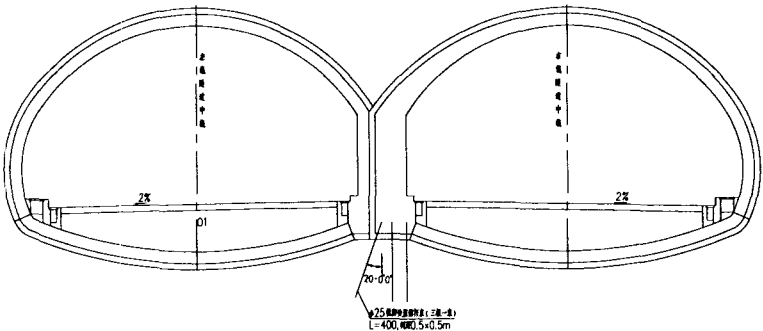


图 7 主道隧道暗洞衬砌断面

辅道隧道由于距离相对大些，采用分离式结构。同样，考虑到施工的先后以及施工时各隧道之间的相互影响，把右线隧道区别于左线隧道设计，而且左线隧道右侧边墙的系统锚杆作了加强设计，以稳固两隧道之间

岩体的作用。  
主道隧道和辅道隧道各暗洞衬砌设计支护参数分别见表 1 和表 2。

高架主干道隧道复合衬砌支护参数表

表 1

项 目		围岩类别	位置	规 格
初期 支护	工字钢架 (工 20b)	III	拱墙、仰拱	间距 0.8m
	格栅钢架 (14×14cm)	IV	拱墙	间距 1.0m
	HBC22N 组合式锚杆	III	拱墙、仰拱	间距 0.8×0.8m, L-4.5m
		IV	拱墙	间距 1.0×1.0m, L-4.0m
		V	拱部	间距 1.2×1.2m, L-3.5m
	C25 钢纤维喷混凝土	III	拱墙、仰拱	28cm
		IV	拱部	23cm
	C25 聚丙烯纤维喷混凝土	V	拱墙	18cm
二次 衬砌	C30 防水钢筋混凝土	III	拱墙、仰拱	55cm
		IV	拱墙	50cm
		V	拱墙	45cm
	C30 混凝土	IV~V	底板	20cm

辅道隧道复合衬砌支护

表 2

项 目		围岩类别	位 置	规 格
初期 支护	格栅钢架 (14×14cm)	III	拱墙、仰拱	间距 0.8m
	格栅钢架 (10×10cm)	IV	拱墙	间距 1.0m
	HBC22N 组合式锚杆	III	拱墙、仰拱	间距 0.8×0.8m, L-4.0 (4.5) m
		IV	拱墙	间距 1.0×1.0m, L-3.5 (4.0) m
		V	拱墙	间距 1.2×1.2m, L-3.0m
	C25 钢纤维喷混凝土	III	拱墙、仰拱	23cm
		IV	拱部	18cm
	C25 聚丙烯纤维喷混凝土	V	拱墙	18cm
二次 衬砌	C30 防水钢筋混凝土	III	拱墙、仰拱	55cm (右线) 50cm (左线)
		IV	拱墙	50cm (右线) 45cm (左线)
		V	拱墙	45cm (右线) 40cm (左线)
	C30 混凝土	IV~V	底板	20cm 厚

本隧道主道隧道跨度大,辅道隧道与主道隧道之间及辅道隧道与辅道隧道之间的不利影响亦较大,故初期支护的承载力更显得至关重要。设计中采用了纤维喷混凝土,以便及时有效地封闭围岩。同时,设计中采用了组合式中空锚杆作系统锚杆,该锚杆不论是用于软岩时作全长粘结型,还是用于硬岩时作端头锚固型都可以得到满意的效果,从而提高周围岩体的强度,达到改善整个结构受力条件的目的。

根据全隧道地质情况和埋深分析,其余地段为深埋,设计中,我们根据隧道埋深来确定支护结构的强度。初期支护主要为施工开挖以及二次衬砌的施作提供可靠的保护,二次衬砌设计为主要的承载结构。结构计算采用荷载-结构-弹性抗力模式,全部设计荷载中扣除初期支护承担的部分,剩下荷载全

部由二次衬砌承担。经计算分析,初期支护能够承受设计荷载的30%~70%,具体情况与围岩自身的强度和埋置的深度等有关。因此,我们要求二次衬砌的施作应适当紧跟开挖面,以保证施工过程中的安全。

## 2.5 辅助施工设计

设计中采用的主要辅助施工措施有:超前长管棚、超前小导管和超前锚杆。

隧道进口均采用了一环长41m的管棚,洞身浅埋段采用了两环长16m的管棚,出口采用了一环长21m的管棚;其余地段根据具体情况分别采用了超前锚杆和超前小导管预支护。且III类、IV类初期支护均采用了钢架加强衬砌。

## 2.6 施工顺序设计

各隧道施工顺序如图8。

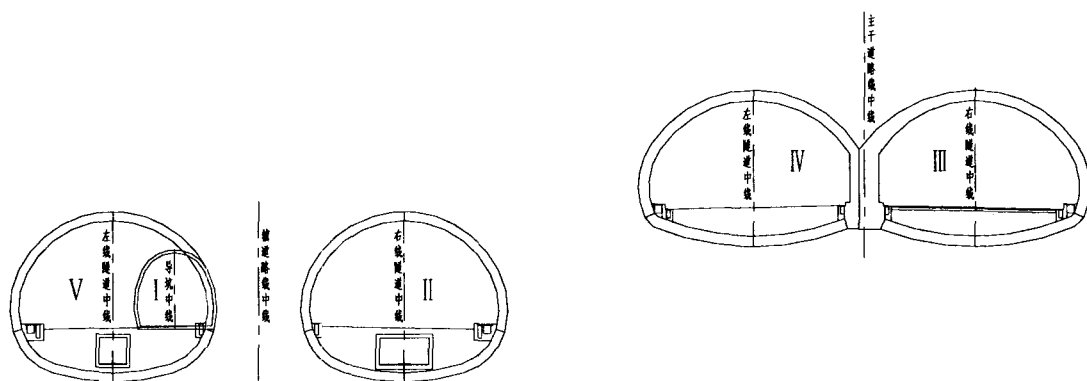


图8 隧道施工顺序横断面图

根据工期的要求以及港区道路建设的统筹安排,我们设计的施工顺序为:辅道左线隧道便道导坑施工、辅道右线隧道施工、主干道右线隧道施工、主干道上左线隧道施工以及辅道左线隧道施工。修建便道导坑的目的在于与港区内的施工便道连通,故需先行施工。

为了加快速度,缩短工期,具体施工时可考虑辅道右线隧道与主干道上右线隧道同步施工。主干道上左线隧道施工应在右线隧道模

筑衬砌达到设计强度后进行,且其先行开挖面应滞后右线隧道模筑衬砌不小于50m。辅道左线隧道施工应在辅道右线隧道路面或临时路面完成并可以投入使用后进行。

各隧道应严格按新奥法原理组织施工,根据工程情况和监控量测结果,III类围岩考虑采用CRD法施工、IV类和V类围岩考虑采用CD法等施工方法施工。

## 2.7 监控量测设计 (下转第85页)

无以伦比的重要意义。信息化对于提高档案管理的标准化水平,强化服务功能,增强档案工作的技术含量,推动技术档案管理人才、技术、理论等各方面的发展,也具有不可替代的作用。我院是高科技密集型企业,计算机应用水平高,生产人员人手一机,网络完善,加快推进技术档案的信息化,具有独特的重要意义和坚实的物质基础。

## (2) 制定档案信息化规划。

技术档案信息化是一个逐步推进的过程,对于我院来说,是一项复杂的系统工程,必须引起院技术管理和档案主管部门的重视,把档案资源的信息化作为院信息化的重要工作,科学规划,协调推进。信息化发展规划要结合院改企建制规划,对于其中涉及的资源配置、协作开发、网络共享等问题,

要进行充分的可行性分析,以期稳步推进。

## (3) 要加快资源库和网络建设。

信息化的主要工作内容有资源库建设和网络建设两方面。加快资源库建设一是要加快既有技术档案的数字化,二是要理顺新产生技术档案的数字化制作。我院的技术档案来源于各专业生产单位,且数量巨大,信息化要以各生产单位为支点实施,采用分别制作,集中汇总管理的方式。档案管理部门要制定统一的格式、内容等标准。考虑到维护需要,传输网络可交由信息中心负责,但传输系统应自成一体。传输系统所需要的软件可以在分析既有软件适用性的基础上,对外招标开发。考虑到维护知识产权的需要,传输协议制定要符合院关于保密工作的有关规定。

(专业评审:张跃宏 责任编辑:邓富甲)

(上接第 51 页) 为了保证施工过程中的安全,为修正支护参数提供可靠的依据,全面研究新型连拱隧道以及小间距隧道荷载产生的机理和结构受力形态,为今后此类设计积累经验,在设计中我们将隧道的监控量测作为一个重点,提出了较为详尽的监控量测项目及要求。其中分必测项目和选测项目:

必测项目包括:洞内、外观测(包括洞内地质情况描述、支护表面裂缝观测、地面沉降观测)、洞内拱顶下沉量测、洞内周边收敛量测、爆破震动检测、主隧道右线及辅道隧道右线二次衬砌钢筋应力量测。

选测项目可根据工程情况和施工需要有针对性的选择采用。选测项目主要有围岩及衬砌压力量测、锚杆应力及围岩位移量测、主辅道左线隧道二次衬砌钢筋应力量测等。

## 3 结语

(1) 主干道隧道结构新颖,为国内第一座复合式中墙连拱隧道。目前国内连拱隧道中墙均为整体式钢筋混凝土或混凝土结构,

本设计所采用的复合式中墙结构,可以彻底解决中墙的防水问题。

(2) 本隧道结构新颖、跨度大、间距小,目前国内尚无实践经验可供借鉴,有关群洞的围岩压力与支护参数需在施工过程结合测试结果进一步验证核实,具有一定的研究价值。

(3) 本隧道施工技术复杂,施工过程中应合理安排各隧道的施工次序,采用先进的施工方法(CD法和CRD法),充分考虑和合理利用群洞开挖过程中围岩的力学变化,加强洞与洞间岩柱体的保护,确保围岩稳定;严格进行控制爆破,在保证开挖轮廓圆顺的同时,应控制好施工隧道爆破对先施工隧道的影响,确保施工安全。

(4) 该隧道跨度大,部分地段埋置浅,且为小间距群洞隧道,因此施工中监控量测十分关键。通过现场的认真测量,掌握地面及洞内位移动态,并依靠实测数据修正设计参数和施工工序,保证施工安全。根据上述数据,总结实践经验以指导以后类似隧道的设计。

(专业评审:颜志伟 责任编辑:邓富甲)