

双洞连拱隧道施工技术研究

郭艺辉* 吴金池 戚刘晓龙

中建一局集团第五建筑有限公司, 福建 353000

摘要: 双连拱隧道是由两座隧道通过共用的中墙连成一体的双洞隧道, 是一种较有发展前景而且发展较快的新型隧道结构, 该结构具有占地面积小、节省投资等优点, 但施工过程较为复杂, 技术难度高, 是近年来工程领域研究的热点。本文结合杨真隧道的现场情况, 从总体施工方案、施工实施步骤和施工方法等几个方面介绍了双洞连拱隧道的修建方法, 为该种类型的隧道施工积累了知识和经验。

关键词: 双洞连拱隧道; 施工工艺; 三导洞法

一、前言

目前连拱隧道开挖方法分为两大类^[1-2], 一类是以按两个独立单洞考虑的开挖方法; 一类是先开挖中导洞再修建中墙的开挖法。前一类工艺方法只适用于较好的硬质围岩条件, 不需要单独地开挖中导洞, 而中墙是在先行洞开挖中修筑。但目前大多数连拱隧道都是属浅埋和软弱围岩条件, 只能按后一类工艺方法进行施工^[3-4], 其传统常用的施工方法主要有三种三导洞法、中导洞正洞台阶法、中导洞正洞全断面法^[5-6]。本文以三导洞法在杨真隧道的应用为基础介绍该工艺的具体施工过程及相关技术, 为今后工程提供相关经验。

二、工程概况

杨真隧道位于福建省南平市, 北起内环路与马坑路交叉口处, 南至环城路(市拖拉机厂附近)弯道处, 里程为K0+070~K0+270。隧道结构为双洞连拱隧道, 明洞采用整体式衬砌, 暗洞采用复合式衬砌, 隧道长200 m。隧道采用双洞布置, 单洞宽度12.75 m, 隧道最大埋深45.6 m。

根据《公路隧道设计规范》(JTG3370.1-2018)表3.6.5, 对隧道围岩进行了分类, 地层岩性特征见表1, 整个隧道围岩等级为V级。隧址地未发现活动断裂带或断层通过, 但节理裂隙密集带通过区域透水性较好, 地表水对隧道洞身段施工有一定影响。单洞正常涌水量21 m³/d, 最大涌水量155 m³/d。

隧道处于闹市区, 洞口附近居民小区, 房屋多, 交通情况复杂(表1)。

表1 地层岩性特征表

地质年代	成因	层号	岩性特征	揭露厚度(m)
第四系	Q ₄ ^{ml}		杂填土: 杂色, 松散, 稍湿, 以生活垃圾及建筑垃圾为主, 含碎石、砾石等硬质杂质含量约25%~40%, 碎石粒径一般2~6 cm, 局部碎石粒径大于10 cm, 均匀性差, 回填时间≥10年。	1.10~16.30
二叠系	P _{2ep}	-1	全风化粉砂岩: 浅黄色、褐黄色。组织结构大部分已破坏, 散体状构造, 矿物成分主要以黏土矿物为主, 风化强烈, 岩体极破碎, 为极软岩, 岩体基本质量等级为V级。	2.6
		-2	砂土状强风化粉砂岩: 浅黄色、褐黄色。组织结构大部份已破坏, 散体状构造, 矿物成分主要以黏土矿物为主, 风化强烈, 岩体极破碎, 为极软岩, 岩体基本质量等级为V级。	6.80~31.90
		-3	碎块状强风化粉砂岩: 灰褐色、浅灰色。粉砂状结构, 碎裂状构造, 矿物成分主要以石英及黏土矿物为主, 裂隙发育, 风化强烈, 岩芯呈碎块状, 块状一般2~8 cm, 锤击易碎, 岩体破碎, 为软岩。岩体基本质量等级为V级。	1.60~10.10
		-4	中风化粉砂岩: 灰色、浅灰色。粉砂状结构, 块状构造, 裂隙较发育, 矿物成分以石英及黏土矿物为主, 呈中等风化状态, 岩体较破碎~较完整, 岩体基本质量等级为III~IV级。 中风化(炭质)粉砂岩: 灰黑色, 粉砂状结构, 块状构造, 成分以石英及黏土矿物为主, 裂隙发育, 呈中等风化状态, 岩体较破碎, 岩体基本质量等级为IV级。	5.80~6.90 16.5

三、总体施工方案

第一, 根据杨真隧道的实际情况, 隧道入口位于内环路与马坑路交叉口, 与马坑路形成十字灯控平交口, 入口处

*通讯作者: 郭艺辉, 1994年1月, 男, 汉族, 福建漳州人, 现任中建一局集团第五建筑有限公司助理工程师, 本科。研究方向: 市政工程。

为创世小区及其配套地下停车场入口通道。因此,决定采用隧道出口端向入口端单向开挖方案,同时进行地下停车场入口通道改为下穿通道施工。

第二,隧道采用中导洞+左右导洞+主洞台阶法施工。以中导洞为主,确保中导洞先贯通,两侧导坑为辅助施工方向。中导洞贯通后,从中导洞进口端向出口方向浇筑中隔墙。待中隔墙混凝土达到设计强度,并将中隔墙侧面回填密实后,方可进行主洞掘进施工。同一端洞口左右两侧主洞掌子面间距应大于20 m。

第三,隧道掘进采用人工配合机械的方式,隧道洞渣采用无轨运输方式,隧道通风采用压入式机械通风。

四、施工步骤

洞口及明洞施工(截水天沟→边仰坡施工→明洞施工及洞门墙浇筑)→中导洞施工(超前地质预报→超前支护→开挖→临时支护→监控量测→中隔墙混凝土浇筑)→侧导洞施工(大管棚施工→超前支护→侧导开挖→支护→监控量测)→主洞施工(超前支护→开挖→初期支护→监控量测→仰拱及隧底填充→防排水施工→二次衬砌→机电、装修及路面)。

五、施工工艺及过程

(一) 开挖

1. 中导洞开挖

中导洞施工采用台阶法开挖,上台阶掌子面超前3~5 m,作为施工作业平台;开挖前先进行小导管超前支护施工;中导洞掘进主要以机械配合人工开挖为主,视围岩稳定情况,每循环进尺1.5 m,每0.5 m设置一道I18临时支护;初期支护采用锚、网、喷及钢拱架联合支护,紧跟掌子面及时施工。

中导洞开挖循环作业时间见表2。

表2 中导洞掘进作业循环时间表

项目	测量放样	超前支护	通风	出渣	架立钢架	锚网喷砼	合计
时间(h)	0.5	平均2.0	0.5	5.0	1.5	2.5	12
备注	每天进尺3 m,考虑施工干扰因素,每月平均进尺50 m。						

2. 侧导洞开挖

为防止侧导洞初期支护暴露时间过长,缩短侧导洞开挖支护至二次衬砌的间隔时间,且隧道长度较短。因此,侧导洞在中导洞贯通,中隔墙施作完毕后开始施工。右导洞先行开挖施工,待右导洞开挖进尺到达8~10 m后,同步进行左导洞的开挖施工。

侧导洞的开挖支护方法和作业周期于中导洞施工相同。

3. 主洞开挖

主洞待同侧侧导洞掘进10~15 m后开始施工,先施工右洞,待右洞掘进超过20 m后,再开挖左洞。主洞施工采用台阶法。

中导洞、主洞(含侧导洞)采用三导洞法开挖。

洞身开挖采用上台阶预留核心土法,以机械开挖为主,人工配合的方式进行。上断面比下断面超前20~30 m。

(二) 通风降尘及洞内排水

隧道内通风采用压入式机械通风,通风管采用软质风管。降尘则采用洒水喷雾的方法进行。隧道两侧应设置排水沟,排水沟不得侵入混凝土衬砌基础,并防止基础被积水浸泡。施工道路应设置横向排水措施,确保施工道路不积水,道路畅通。

(三) 装渣运输

隧道施工装渣运输工作采用无轨运输方式,主要包括弃渣的装、运、卸和洞外运进各种材料、工具、设备等。运输主要机械设备为装载机和自卸汽车。

(四) 支护

锚喷支护采用 $\phi 25$ 中空注浆锚杆、钢筋网、钢拱架、C25喷射早强混凝土等支护措施。为了缩短围岩暴露时间,抑制围岩变形,防止围岩在短时间内松弛剥落,应在掌子面开挖后立即进行支护施工。

1. 锚杆施工

隧道锚杆采用 $\phi 25$ 中空注浆锚杆。按照设计间距100 cm \times 100 cm布孔;钻孔方向尽可能垂直于结构面或初喷混凝

土表面；成孔后采用高压风清孔。

2. 钢筋网

钢筋网在洞外钢筋加工场提前加工成型。钢筋种类及网格间距应符合设计要求，按 $\phi 8$ 钢筋网 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 加工制作。安装搭接长度为1~2个网格，采用焊接方式连接。钢筋网片随喷射混凝土表面起伏铺设。与锚杆或其他固定装置连接牢固。

3. 钢架

本隧道均采用钢架支护，钢架按设计预先在洞外钢筋加工场加工成型，在洞内用螺栓连接成整体。型钢钢架采用冷弯成型。每榀钢架加工完毕后放在平整地面上进行试拼，平面翘曲度应符合规范要求。

4. 喷射混凝土

隧道初期支护喷射混凝土设计厚度为22~29 cm，设计强度等级为C25。喷射混凝土的配合比设计应满足的要求是强度应符合设计要求，管路不发生堵塞、喷射混凝土可向上喷射至设计厚度。

(五) 二次衬砌

1. 防排水

防水层和初期支护之间的拱墙环向设置 $\phi 50$ 单壁波纹管，纵向间距为10 m/环；拱墙墙角纵向设置 $\phi 110$ HDPE双壁打孔波纹管，横向设置 $\phi 110$ HDPE双壁无孔波纹管，间距为10 m/道。

防水层采用土工布与防水板分离的防水结构，防水层的施工应在初期支护变形基本稳定后，二次衬砌浇筑前进行。

2. 二次衬砌浇筑

在围岩和初期支护变形基本稳定，满足条件后，进行二次衬砌施工，二次衬砌采用全液压衬砌台车一次浇筑成型。

3. 注浆回填

为保证初期支护与二次衬砌密实无空洞，在初期支护完成后，二次衬砌前用探地雷达对初期支护背后进行检测，如若发现空洞应及时进行注浆回填；二次衬砌时，每隔5 m在拱部预埋一根 $\phi 42$ 注浆管。注浆应在衬砌混凝土达到设计强度后进行。注浆材料为水泥砂浆（水灰比1:1，砂灰比2:1），注浆从低标高注浆孔开始，注浆压力不低于1 Mpa，直至高标高拱顶注浆孔冒浆为止。

(六) 施工用水及照明

施工用水由隧道出口处的边坡顶部平台设置的蓄水池提供，辅以水泵增压。洞内采用LED灯照明。

(七) 隧道主体工程进度安排

隧道主体工程计划在15个月内完成。

(八) 施工监测

监控量测是为了及时掌握围岩和支护的动态信息，并反馈到施工作业。通过对围岩和支护的位移、应力监测，及时提供准确的数据和可靠的预测，修改支护系统设计；对已经开挖、支护段的力学状态进行评价，发现危险时及时采取必要的补救措施。确保隧道安全、经济、快速施工。

六、结语

目前，国内外对于城市复杂环境下的双洞连拱隧道施工尚无完善的施工规范，此类隧道的设计和施工经验较少，尚处于探索研究阶段。因此，针对杨真隧道工程进行城市复杂环境双连拱隧道安全高效施工关键技术研究，具有重要的时代背景和研究价值，不仅对该工程施工的安全、进度和质量有所保障，也能够得到推广到其他类似工程，具有良好的推广应用前景。

参考文献：

- [1]刘波,张洪杰,刘念,王妙然.北京地铁双连拱隧道施工风险评价与控制实例研究[J].安全与环境学报,2012(06):228-232.
- [2]杨春.不良地质地段双连拱隧道施工技术研究[J].中国科技信息,2012,000(001):59-60.
- [3]胡宸阳.城市复杂条件下双跨连拱隧道施工力学效应研究[D].中国铁道科学研究院.2014.
- [4]陈青帅.城市软岩双连拱隧道施工力学行为研究.西南石油大学.2016.
- [5]胡红卫.公路双连拱隧道的围岩稳定与施工工艺研究.昆明理工大学.2007.
- [6]王志岳.广梧高速某双连拱隧道施工技术研究.华南理工大学,2010.