

文章编号: 0451-0712(2007)02-0177-05

中图分类号: U455.4

文献标识码: B

单洞法施工双连拱公路隧道的探索

刘仁阳

(中铁五局(集团)第五工程有限公司 昆明市 650118)

摘 要: 连拱隧道避免了洞口路基或大桥的分幅,与洞外线路连接顺畅,同时在适应地形条件、环境保护以及工程数量上都具有优越性。研究和发连拱隧道新的施工技术具有重要的意义和价值。本文就衡昆国道主干线(GZ75)富宁~广南高速公路 1 合同段上 3 座双连拱隧道大胆地采用了单洞法施工工艺,实践证明该工艺较常规的三导洞法和中导洞法施工在工艺、造价、工期以及安全质量上都有着明显的优点。单洞法施工技术的成功探索,给双连拱隧道的设计与施工开辟了一个新的思路。

关键词: 双连拱公路隧道; 单洞法; 施工; 探索

双联拱隧道在日本是从 1974 年在伊祖隧道首次采用的,我国也于 20 世纪 90 年代陆续开始采用。近年来由于高等级公路的修建、城市市区工程的增加、土地利用上的限制以及保护文物和环境等问题,不得不采用双连拱隧道^[1]。另外,我国是一个多山的国家,75%左右的国土是山地或重丘,“十五”期间,我国粤、浙、闽、湘、川、云、黔、甘、陕、晋、藏等许多省区在实施公路建设和规划时,都不可避免地遇到隧道群的建设问题,一些路段,隧道总长甚至达到线路总里程的 1/4,特别是在地形陡峻,脊谷相间的“鸡爪”形地带,线位在纵断面上或是高填深挖,或是桥隧相连,连拱隧道避免了洞口路基或大桥分幅,与洞外线路连接顺畅,同时在适应地形条件、环境保护以及工程数量上都具有优越性。随着国家西部大开发及“十一五”计划的进一步实施和深化,国内基础设施高速公路建设高潮迭起,研究和发连拱隧道新的施工技术具有重要的意义和价值。

1 常规施工工艺

1.1 三导洞法

三导洞分步施工法其工序流程为: I 中导洞超前支护; 2 中导洞开挖; III 中导洞初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土); IV 浇注中墙; V 左(右)侧导洞超前支护; 6 左(右)侧导洞开挖; VII 左(右)侧导洞初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土); VIII 左

(右)主洞超前小导管注浆预支护; 9 左(右)主洞上部开挖; X 左(右)主洞拱部初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土); 11 左(右)主洞中部开挖; 12 左(右)主洞下部开挖; XIII 左(右)主洞仰拱初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土); XIV 浇注左(右)主洞仰拱衬砌; XV 全断面模注左(右)主洞二次衬砌。三导洞分步施工法的施工工序如图 1 所示。

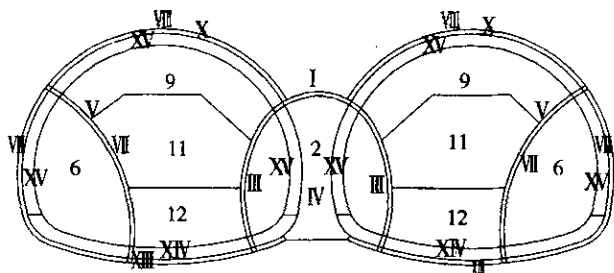


图 1 三导洞法施工工序设计

该方法缺点是:

(1) 由于施工工序多,对围岩和已建结构存在多次扰动,不同部位衬砌间隔时间长,使得施工缝更加明显化;

(2) 拱墙衬砌分步施工,防水系统施工质量难以保证,特别是中墙顶处易出现渗漏水现象;

(3) 从经济上考虑,由于多导洞开挖和支护,加大了成本,隧道造价高;

(4) 从工期上考虑,多导洞施工工序多,耗时长;

(5)施工工序分步多,施工断面小,不利于大型机械作业。

1.2 中导洞法施工

中导洞和中墙施工后,直接进行左、右正洞的开挖。中导洞施工法其施工工序流程为:Ⅰ中导洞超前支护;2中导洞开挖;Ⅲ中导洞初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土);Ⅳ浇注中墙;Ⅴ左(右)主洞超前小导管注浆预支护;6左(右)主洞上部开挖;Ⅶ左(右)主洞拱部初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土);8左(右)主洞下部开挖;Ⅸ左(右)主洞边墙初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土);10左(右)主洞仰拱开挖;Ⅺ左(右)主洞仰拱初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土);Ⅻ浇注左(右)主洞仰拱衬砌;ⅩⅢ全断面模注左(右)主洞二次衬砌。中导洞施工法施工工序如图2所示。

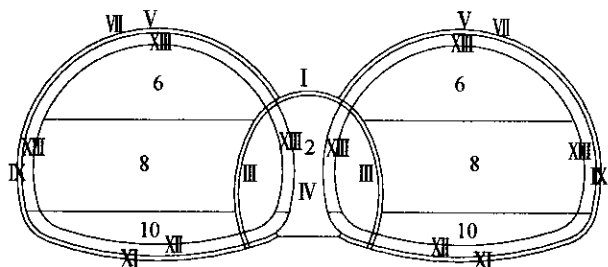


图2 中导洞法施工步骤设计

相对三导洞分步施工法,采用中导洞施工法减少了2个边导洞的施工,拱墙采取整体一次衬砌,具有工序较简单,机械化程度较高,减少了临时支护工作量,施工进度较快,节约了成本;而且中导洞先施工,起到了超前探明隧道地质情况的作用,为左右正洞施工创造了条件。

2 单洞法施工双连拱隧道工程实例

2.1 工程概况及地质水文情况

富宁隧道、菠萝山1号隧道、菠萝山2号隧道是国道主干线(GZ75)衡阳~昆明云南省境内富宁~广南(鸡街)高速公路1合同段上3座双连拱公路隧道,设计为单向行车双车道。富宁隧道左右幅起止桩号:K83+068~+325,全长257 m,Ⅱ类围岩123 m,Ⅲ类围岩43 m,Ⅳ类围岩92 m,纵坡采用+2.9%的单向坡,最大埋深46.31 m。菠萝山1号隧道左右幅起止桩号:K84+635~+825,全长190 m,Ⅱ类围岩73 m,Ⅲ类围岩117 m,纵坡采用+2.4%的单向坡,最大埋深56.32 m。菠萝山2号隧道左右幅起止桩

号:K85+065~+245,全长180 m,Ⅱ类围岩98 m,Ⅲ类围岩82 m,纵坡采用-1.26%的单向坡,最大埋深57.96 m。3座双连拱隧道设计的净跨×净高=9.75 m×5 m,中墙为曲墙形式。隧道位于南岭纬向构造带的西端,黔桂经向构造带的南缘,青藏滇缅印巨型“歹”字构造体系中部东支的东侧。隧道穿越地层层岩性主要为石炭系、泥炭系和二叠系,岩性主要为灰岩局部夹泥岩,其次为寒武系砂质板岩夹白云质灰岩,岩浆岩为辉绿岩。区内节理裂隙较发育,尤以剪切节理更多;隧道进、出口坡、残积层覆盖较厚。公路沿线地下水类型分布受地质构造的控制,水量丰富程度由地层岩性制约。大气降水是地下水的主要补给源,地貌特征影响地下水的迳流,河溪是地下水的排泄通道。隧道范围内主要以基岩裂隙水为主。隧道不良地质现象主要为岩溶、地下暗河等。

2.2 单洞法施工工艺

所谓“单洞法”,即是像分离式隧道一样按单个、独立隧道施工方式施工的方法。施工步骤如图3所示:1左洞拱部超前支护;2左洞拱部环形留核心土开挖;3左洞拱部初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土);4左洞上部核心土、下部开挖;5左洞边墙初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土,包括中导洞侧);6左洞仰拱开挖;7左洞仰拱初期支护(安装钢拱架、喷射混凝土);8左洞仰拱衬砌;9中导洞拱部超前支护;10中导洞开挖;11中导洞初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土);12中导洞衬砌;13左洞拱墙二次衬砌;14右洞拱部超前支护;15右洞拱部环形留核心土开挖;16右洞拱部初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土);17右洞上部核心土、下部开挖;18右洞边墙初期支护(安装钢拱架、锚杆、喷射混凝土);19右洞仰拱开挖;20右洞仰拱初期支护(安装钢拱架、喷射混凝土);21右洞仰拱衬砌;22右洞拱墙二次衬砌。

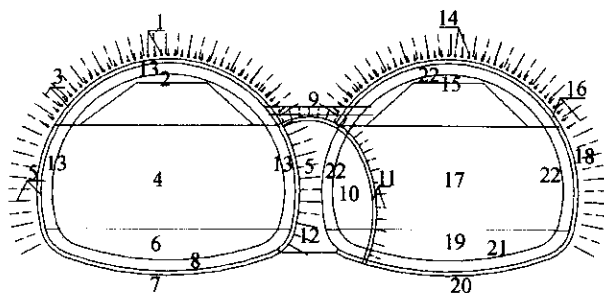


图3 单洞法施工步骤设计

单洞法施工中导洞是在正洞开挖一定距离后再用挖“马口”方式施工中导洞(见图3)。施工前先将下半断面初期支护按拱部支护形式接下来,使其闭合成环,然后在中导洞拱部进行超前支护,超前小导管根据围岩情况按双排或单排设置,纵向间距为25~50 cm, $L=500$ cm,注浆范围为拱部以上2 m,宽度为6 m。中导洞开挖进尺控制在2 m以内,并跳挖马口,洞口段从洞内向洞外逐段施工,并视围岩情况在洞口段10~20 m 拱部钢拱架底部增设 I 16 工字钢托梁,以确保挖马口施工安全。开挖后立即对中导洞

的正面、侧面、顶面进行锚喷射混凝土封闭。中导洞模注混凝土衬砌50 m左右,可进行另外一主洞开挖作业。

2.3 单洞法施工与原设计三导洞法施工工艺及工程造价对比

2.3.1 施工工艺对比

由于单洞法施工改变了原设计施工工艺,但正洞的施工参数基本不变,现将单洞法施工中导洞及侧导洞具体参数与原设计参数进行对比,见表1。

表1 单洞法施工与原设计三导洞法施工工艺参数对比

围岩类别、项目		中 导 洞	侧 导 洞
Ⅱ类浅埋	原设计	超前支护	$\phi 50$ 注浆导管, $L=4$ m,环向间距40 cm,注C.S浆
		初期支护	$\phi 22$ 早强砂浆锚杆, $L=2.5$ m,间距80 cm \times 100 cm,I 16 工字钢,纵向间距60 cm,喷C25 早强混凝土,厚18 cm
	实际施工	超前支护	拱脚1 m 范围内设双排 $\phi 50$ 注浆导管, $L=5$ m,纵向间距25 cm,注C.S浆,注浆范围为拱顶以上2 m
		初期支护	$\phi 22$ 早强砂浆锚杆, $L=2.5$ m,间距80 cm \times 100 cm(正面、侧面、顶面),正洞侧 I 20a 工字钢,纵向间距60 cm,喷C25 早强混凝土,厚18 cm(正面、侧面、顶面)
Ⅱ类深埋	原设计	超前支护	$\phi 50$ 注浆导管, $L=4$ m,环向间距40 cm,注C.S浆
		初期支护	$\phi 22$ 早强砂浆锚杆, $L=2.5$ m,间距100 cm \times 100 cm,I 16 工字钢,纵向间距80 cm,喷C25 早强混凝土,厚18 cm
	实际施工	超前支护	拱脚1 m 范围内设双排 $\phi 50$ 注浆导管, $L=5$ m,纵向梅花形,间距25 cm \times 25 cm,注C.S浆,注浆范围为拱顶以上2 m
		初期支护	$\phi 22$ 早强砂浆锚杆, $L=2.5$ m,间距100 cm \times 100 cm(正面、侧面、顶面),正洞侧 I 20a 工字钢,纵向间距60 cm,喷C25 早强混凝土,厚18 cm(正面、侧面、顶面)
Ⅲ类	原设计	超前支护	无
		初期支护	$\phi 22$ 早强砂浆锚杆, $L=2.5$ m,间距120 cm \times 120 cm,I 14 工字钢,纵向间距100 cm,喷C25 早强混凝土,厚15 cm
	实际施工	超前支护	拱脚1 m 范围内设双排 $\phi 50$ 注浆导管, $L=5$ m,纵向梅花形,间距50 cm \times 50 cm,注C.S浆,注浆范围为拱顶以上2 m
		初期支护	$\phi 22$ 早强砂浆锚杆, $L=2.5$ m,间距120 cm \times 120 cm(正面、侧面、顶面),正洞侧 I 20 工字钢,纵向间距100 cm,喷C25 早强混凝土,厚18 cm(正面、侧面、顶面)
Ⅳ类	原设计	超前支护	无
		初期支护	$\phi 22$ 早强砂浆锚杆, $L=2.5$ m,间距150 cm \times 150 cm,喷C25 早强混凝土,厚8 cm
	实际施工	超前支护	拱脚1 m 范围内设单排 $\phi 50$ 注浆导管, $L=5$ m,纵向间距50 cm,注C.S浆,注浆范围为拱顶以上2 m
		初期支护	$\phi 22$ 早强砂浆锚杆, $L=2.5$ m,间距150 cm \times 150 cm(正面、侧面、顶面),喷C25 早强混凝土,厚8 cm(正面、侧面、顶面)

2.3.2 施工造价对比

计算出二者分别在全类围岩下,每延米造价差及隧道平均每延米造价节省的情况,见表 2。

根据单洞法施工与原设计三导洞法施工参数,

表 2 单洞法施工与原设计三导洞法造价比较(不含明洞)

隧道名称		围岩类型				总长度/m	每延米造价降低平均值/元
		Ⅱ类浅埋	Ⅱ类深埋	Ⅲ类	Ⅳ类		
每延米降低造价/元		11 669	10 486	6 221	—458		
富宁隧道	长度/m	97	0	45	82	224	6 135
菠萝山 1 号隧道	长度/m	35	34	97	0	166	8 243
菠萝山 2 号隧道	长度/m	33	39	62	0	134	8 804

2.4 施工工期对比

以富宁隧道为例,隧道全长 257 m,Ⅱ类围岩 123 m,Ⅲ类围岩 43 m,Ⅳ类围岩 92 m。三导洞法施工时工期:中导洞(Ⅱ类开挖 82 d+Ⅲ类开挖 22 d+Ⅳ类开挖 31 d)+中墙衬砌 30 d+左/右侧导洞开挖(Ⅱ类开挖 82 d+Ⅲ类开挖 28 d+Ⅳ类开挖 31 d)+左/右洞拱部开挖间隙 40 d+右洞开挖间隙 40 d+衬砌间隙 60 d=452 d。单洞施工法工期:右洞开挖(Ⅱ类开挖 123 d+Ⅲ类开挖 28 d+Ⅳ类开挖 31d)+左洞开挖间隙 95 d+衬砌间隙 60 d=337 d。中导洞工期—单洞工期=115 d。

三导洞施工工期长于单洞施工原因,主要是三导洞施工时必须先贯通中导洞后再施工侧导洞和主洞,而单洞施工时则是先施工主洞,中导洞开挖及衬砌与主洞可错开一段时间后同步施工,类似于同一个洞的上下断面同时施工一样,造成工期不同是施工组织的顺序不同引起的。因此,在工期上单洞施工明显优于三导洞法施工。

2.5 综合对比分析

在提出单洞施工法施工连拱隧道之前,我项目

部在征求业主同意的前提下,进行了大量的工程类比如铁路隧道中的大避车洞的施工,即是在正洞施工后再用挖马口形式施工避车洞^[2];公路隧道行车横洞施工也是正洞施工后再开挖横洞,说明只要注意施工方法,先开挖主洞再施工中导洞不是不可行。另外,我中铁五局五公司 2002 年 6 月在广西柳州市南二环路桐油山隧道(整体式中隔墙双连拱隧道)中已成功试行了此套方案,在施工过程中及 2004 年底通车运营后,均未出现安全和质量问题,因此,充分说明单洞施工方案是可行的、安全的。再次,以富宁隧道为例,工期提前 4 个月左右,并提高了机械设备、人员使用效率,左右洞及中导洞可平行作业,不会造成中导洞法施工时,正洞不能施工,人员设备闲置,使工程不变费用、管理费用、机械设备折旧费用等减少,估算约 90 万,折算成每延米节省投资 4 018 元,结合表 2,每延米总计可节约投资约 1.0~1.3 万元。因此,综合施工工艺、工程造价、工期等多方面因素,我部进行了大量调查、论证和分析,认为单洞施工方法优于三导洞或中导洞法施工。单洞法与三导洞法和中导洞法的施工对比见表 3。

表 3 单洞法施工与原设计三导洞法的优缺点对比

序号	项目	三导洞法	中导洞法	单洞法
1	围岩适应条件	Ⅱ、Ⅲ类及土质松软地层	Ⅲ、Ⅳ类及以上	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类及以上
2	导洞数量	3	1	0
3	拆除临时支护次数	4(中导洞和侧导洞)	2(中导洞)	1(中导洞正洞侧)
4	围岩扰动次数	9	7	7
5	安全性	好	较好	较好
6	可使用施工机械	小型	小型或中型	大型
7	施工工序及工期	工序复杂,工期慢	工序较多,工期较慢	工序简单,工期快
8	工程造价及工效	造价高,工效低	造价较高,工效较低	造价低,工效高
9	围岩变化施工方法适应性	向低类容易,向高类难	向低类容易,向高类一般	向低类一般,向高类容易
10	施工管线布置	不方便	一般	方便

3 结语

事物的发展总是呈螺旋式上升、阶梯状前进的趋势,纵观我国十几年来连拱隧道的发展,恰好也符合了这样一个规律。由于连拱隧道跨度特大,所处地形及地质条件较差,在原有的施工水平下,只有采取“分割”断面的方法,逐项开挖,分次成型,像三导洞法施工,就形如“搭积木”的方法,先下后上最后成型。但繁琐的分割断面,反复地拆除、扰动,使原本降低的难度无形地又加大了,即施工难度系数总体降低不大。而单洞法施工就是认真总结了导洞施工存在不足的前提下,逆而行之的大胆探索。因为围岩类别是相对的、动态的,虽然原设计围岩为Ⅱ类或Ⅲ

类,但通过预加固、补强后很可能便成为Ⅲ类或Ⅳ类,围岩加强后,使原本必须缩小断面开挖变成可以直接按已经很成熟的单洞法开挖,这样便减少了后续导洞法施工的一系列上面所述的繁琐周折的工序,从而使施工难度得到了真正的降低。与此同时,根据交通部《2005 年公路工程质量状况统计分析报告》显示,2005 年全国纳入交通部重点建设计划的新开工及续建的公路重点项目共 434 个,项目总投资合计 12 272.6 亿元,建设里程 41 396 km。其中年内计划完工项目 106 个,预计新增通车里程 9 471 km^[7],分项统计详见表 4。

表 4 交通部公路重点建设项目统计

建设标准	高速公路/km	一级公路/km	二级公路/km	三级公路/km	独立桥梁/m	独立隧道/m
建设里程	25 534	3 105	7 659	5 098	116 777	47 858
计划竣工里程	5 459	922	2 338	752	14 000	3 430

按照国内高速公路及一级公路连拱隧道约占总里程的 5%估算,按每延米节省投资 1 万元,则可节省总投资达 143.195 亿元(不包含独立隧道),可见数字是非常惊人的。因此,积极探索双连拱隧道新的施工工艺对节省国家投资具有十分重要的意义。说到这里,针对双连拱隧道石家庄铁道学院提出了“Ⅱ、Ⅲ类围岩中,中洞超前的三导洞先墙后拱、分部施作”和“Ⅳ类及以上围岩,台阶法开挖隧道,跳槽开挖中墙马口”的施工方法,并采取“纵环排水管系统排水、防水板和二次衬砌加强防水、施工缝沉降缝密封防水和中隔墙顶排堵结合”的综合防排水技术^[8]。而同济大学的相关学者则提出了连拱隧道三层直中墙结构,并完善了连拱隧道结构成套的设计、施工及防排水技术,编写了成套连拱隧道设计图集与施工规程;同时提出了连拱隧道荷载模式及其确定方法,并且在隧道设计计算中应用了“广义梁单元”的概念与方法。从中可以看出,大量的工程实例和众多的设计理念使得双连拱隧道的设计与施工逐步走向了成熟,本文旨在在各位专家同仁的真知灼见基础上提出了常规但十分成熟的单洞法施工连拱隧道的“新”方法,从上面提到的我中铁五局五公司 2 个已建项目,说明单洞法施工是安全的、经济的和适用的。而且,单洞法施工双连拱隧道最具有创新意义的地方,本人觉得主要在于对“化难为易”不见得非要“化整

为零”,而是通过充分发挥自身的能动性,自力更生,这也恰好遵循了“新奥法”的宗旨——通过一定的技术措施充分发挥围岩的自承能力,使支护与围岩共同受力,变被动为主动,从而大大降低了施工难度,进而减少了工程造价和施工工期。

参考文献:

[1] 关宝树.隧道工程施工要点集[M].北京:人民交通出版社,2003.

[2] 铁道部第二工程局.铁路工程施工技术手册(隧道)[M].北京:中国铁道出版社,1995.

[3] 何林生,王明年.复杂地质条件下公路隧道施工方法[A].1999 全国公路隧道学术会议论文集[C].

[4] 姚振凯,黄运平,杨敦才,等.中导洞—核心土工艺施工三车道公路连拱隧道成功探索.公路,2006,(5).

[5] JTJ042—94,公路隧道施工技术规范[S].

[6] JTG D70—2004,公路隧道设计规范[S].

[7] 交通部.2005 年公路工程质量状况统计分析报告[R].2006.

[8] 陈晖.双跨连拱高速公路隧道成套技术新进展综述[Z].2005.

[9] 同济曙光—岩土及地下工程设计与施工分析软件[Z].

[10] 我国公路隧道建设技术的现状及展望[J].交通世界,2005,(3).

文章编号: 0451—0712(2007)02—0182—06

中图分类号: U457.5

文献标识码: B

明月山隧道涌突水处理设计与施工

陈贵红¹, 刘传兵², 林国进¹

(1. 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院 成都市 610041; 2. 中铁二局集团第二工程有限公司 成都市 610031)

摘要: 明月山隧道水文地质条件复杂,岩溶地下水发育,施工过程中发生大的涌突水,掌子面最大流量达15万m³/d。设计采用先在突水点设止浆墙,然后再对前方围岩进行全断面深孔预注浆进行堵水,施工实践表明该处理方式是成功的,目前,隧道施工已顺利通过突水地段。本次注浆堵水的成功为隧道涌突水的处理积累了经验,可供类似工程借鉴与参考。

关键词: 隧道工程; 岩溶; 注浆; 止浆墙

1 工程概况

明月山隧道是沪蓉国道主干线支线重庆垫江~四川邻水高速公路的控制性工程,长6 560 m,双向四车道,设计行车速度为80 km/h。全隧地质条件复杂,地下水丰富,主要工程地质问题有岩溶突泥、突水、薄煤层低瓦斯、煤层采空区、老窖积水、断层破碎带等。隧道近垂直穿越明月山背斜,背斜两翼为三叠系上统须家河组砂页岩和侏罗系下统珍珠冲组砂泥岩,背斜轴部为三叠系中下统碳酸盐岩类,因受两侧

碎屑岩所构成的中低山岭脊夹峙,具备有利的岩溶发育条件,岩溶地层长约2 000 m,其中F₁断层下方嘉陵江组灰岩为岩溶较强发育带,见图1所示。根据地勘资料,施工期间单洞丰水期总涌水量可达13.5万m³/d,施工过程中具有突泥、突水的可能,最大瞬间涌水量可达894~2 978 m³/h。为了保证施工安全及保护生态环境,岩溶地下水处理坚持“以堵为主,限量排放”的设计思想,采用注浆作为堵水的主要手段。

收稿日期: 2006—08—14

Exploration of Double-Arch Highway Tunnel
Constructed by Single-Tunnel Method

LIU Ren-yang

(The Fifth Engineering Co. Ltd of China Railway Fifth Engineering Bureau, Kunming 650118, China)

Abstract: The adoption of double-arch tunnel escapes separating the roadbed or bridge at tunnel openings, and makes the route inside and outside the tunnel smoother. At the same time, the double-arch tunnel has a lot of superiorities such as suiting the landform, availing to environment protection and reducing the work quantity. Therefore developing the construction methods of double-arch tunnel is great significance. In this paper, the single-tunnel construction technology adopted at the three double-arch tunnels located in No. 1 Contract of Funing-Guangnan Expressway is introduced. Compared with three-pilot heading or one-pilot heading(middle-pilot heading) methods, it has obvious advantages in technics, cost, time limit, safety and quality. The successful adoption of the single-construction technology gives a new way to design and construction of the double-arch tunnel.

Key words: double-arch; highway tunnel; single-tunnel method; construct; exploration