

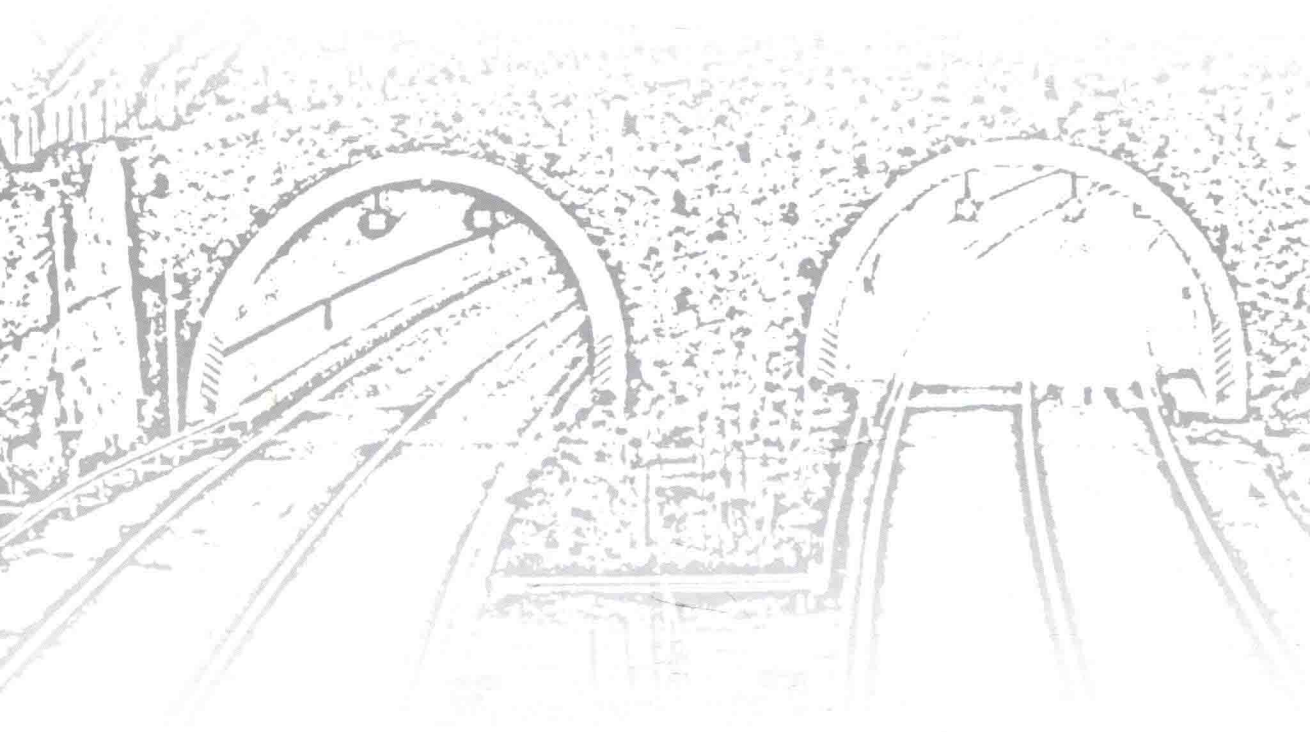


“十二五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

公路小净距隧道

GONGLU XIAOJINGJU SUIDAO

何 川 李玉文 姚 勇 田志宇 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

公路小净距隧道

GONGLU XIAOJINGJU SUIDAO

何 川 李玉文 姚 勇 田志宇 著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书主要以双洞小净距隧道设计、施工关键技术研究的内容为基础素材,将作者近年来在此领域的研究成果进行了总结。全书共分四篇:第一篇介绍了小净距隧道的国内外发展现状;第二篇介绍了本书的研究方法;第三篇对小净距隧道设计与施工中的关键技术问题分章进行了研究;第四篇是典型小净距隧道的设计施工实例,便于读者在前三篇理论阐述的基础上,更好地理解、应用小净距隧道的相关技术与成果。

本书可供从事隧道科研、设计、施工及建设管理的相关人员使用,也可作为高等院校隧道工程专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公路小净距隧道 / 何川等著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.2

ISBN 978-7-114-12105-0

I. ①公… II. ①何… III. ①公路隧道—研究 IV. ①U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 042488 号

书 名:公路小净距隧道

著 者:何 川 李玉文 姚 勇 田志宇

责任编辑:温鹏飞

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.75

字 数:288千

版 次:2015年2月 第1版

印 次:2015年2月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12105-0

定 价:48.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

在地形、地质条件复杂的山岭区公路建设中会遇到大量的隧道工程,由于地形条件、路线总体线形要求或特殊的桥隧相连等因素影响,双洞分离式隧道方案往往会受到限制,通常需要采用连拱或小净距等特殊隧道结构形式。如果小净距隧道和双连拱隧道都能使用,则一般会对这两种方案进行比选,如京福高速公路把原设计的部分连拱隧道更改为小净距隧道、福建省漳龙高速把部分原设计的小净距隧道更改为连拱隧道。因此,有必要对这两种结构形式进行深入研究,以便在工程实践中选择最优方案,并促进这两种结构形式的进一步发展。

本书主要取材于西部交通建设科技项目“双洞小净距隧道设计、施工关键技术研究”的相关研究成果。重点介绍小净距隧道设计与施工中存在的重难点技术,包括小净距隧道的工程定义、分类及其中岩墙加固、支护体系、施工方法、爆破振动控制、监控量测体系及标准等。全书共分为四篇:第一篇介绍了小净距隧道在国内外的发展现状、主要技术特点、存在的主要问题;第二篇介绍了本书的研究方法,即数值计算、相似模型试验以及现场试验;第三篇对小净距隧道设计与施工中的关键技术分章进行了研究;第四篇为典型小净距隧道的设计施工实例。作者曾结合浙江省交通厅科技项目“连拱公路隧道综合修建技术研究”的研究成果,出版了针对连拱隧道的相关技术的《公路双连拱隧道》一书,某种意义上可将本书视其为姊妹篇。

感谢四川省交通厅公路规划勘察设计研究院、四川都汶公路有限责任公司、中铁二局第四工程有限公司等单位对课题研究提供的协助。同时,还要感谢参与课题的西南交通大学博士及硕士研究生所做的大量工作。

鉴于作者的水平及认识的局限性,书中如有不妥及谬误之处,望读者批评指正。

作 者

2014 年 12 月于西南交通大学

目 录

第一篇 公路小净距隧道的发展与现状

第一章 国内外设计施工现状	3
第一节 我国小净距隧道的历史.....	3
第二节 小净距隧道的基本特征.....	4
第三节 平行小净距隧道的技术特点.....	4
第四节 特殊形式的小净距隧道.....	9
第二章 国内外研究现状及存在的主要问题	13
第一节 小净距隧道合理净距	13
第二节 中岩墙加固技术	15
第三节 施工方法及控制爆破技术	16
第四节 监控量测体系与基准	17
第三章 与连拱隧道的比较	18
第一节 施工方法	18
第二节 防排水措施	19
第三节 中墙与中岩墙的比较	20
第四节 其他比较	20
第四章 研究思路 and 对象	24
第一节 研究思路	24
第二节 工程对象	24

第二篇 公路小净距隧道研究概要

第五章 理论分析及数值模拟研究	31
第一节 概述	31
第二节 小净距隧道相互影响的理论解析	31
第三节 数值模型的建立	39
第四节 小净距隧道行为特征二维静力数值模拟分析	45
第五节 小净距隧道行为特征三维静力数值模拟分析	52
第六节 爆破作用下小净距隧道行为特征数值模拟分析	55

第六章 模型试验研究	60
第一节 概述	60
第二节 模型试验设计	62
第三节 模型试验概况	68
第七章 现场试验研究	74
第一节 概述	74
第二节 测试项目与方法	76

第三篇 公路小净距隧道专题研究成果

第八章 小净距隧道定义与分类	85
第一节 小净距隧道定义	85
第二节 小净距隧道分类依据	86
第三节 小净距隧道分类建议	105
第九章 小净距隧道中岩墙加固技术	107
第一节 概述	107
第二节 理论分析	107
第三节 数值计算	115
第四节 模型试验	127
第五节 现场试验	130
第六节 小结及工程建议	131
第十章 小净距隧道支护体系与设计方法	132
第一节 概述	132
第二节 小净距隧道支护体系的选取原则及对策	132
第三节 小净距隧道荷载确定	147
第十一章 小净距隧道施工方法	154
第一节 概述	154
第二节 小净距隧道施工措施选取的原则及对策	154
第三节 相邻隧道掌子面合理距离	168
第四节 支护体系的施作时机	172
第十二章 小净距隧道施工控制爆破技术	173
第一节 概述	173
第二节 研究的主要方法与手段	173
第三节 结论及工程建议	184
第十三章 小净距隧道监控量测体系及监控基准	187
第一节 概述	187
第二节 现场监控量测的项目及测试方法	187

第三节	现场监控量测基准·····	192
第四节	现场监控量测实施方案的制定·····	194
第五节	小净距隧道现场监控量测的管理·····	195
第十四章	地形偏压下小净距隧道行为特征 ·····	198
第一节	数值模拟分析·····	198
第二节	模型试验研究·····	212
第三节	小结·····	222

第四篇 公路小净距隧道工程实例

第十五章	纳溪至宜宾高速公路南溪隧道 ·····	225
第十六章	映秀至汶川高速公路单坎梁子隧道 ·····	231
第十七章	映秀至汶川高速公路七盘沟隧道 ·····	235
第十八章	雅安至泸沽高速公路徐店子隧道 ·····	238
第十九章	广元至川甘界高速公路小净距隧道 ·····	241
第二十章	丽江至攀枝花高速公路小净距隧道 ·····	243
第二十一章	巴中至达州高速公路小净距隧道 ·····	246
第二十二章	小净距隧道设计与施工要点 ·····	249
参考文献	·····	252



第一篇 公路小净距隧道的发展与现状

第一章 国内外设计施工现状

在地形、地质条件复杂的山岭区公路建设中经常会遇到大量的隧道工程,因地形条件限制、路线总体线形要求或特殊的桥隧相连等情形,这些隧道工程的双洞线间距往往不能满足规范要求^[1-2],需要采用连拱或小净距等特殊隧道结构形式。自上世纪末以来,国内相继修建了大量的连拱隧道工程,主要集中在云南、四川、贵州、福建等省区。从连拱隧道的实施效果看,连拱隧道存在结构复杂、施工工序转换多、防排水质量不易保证等问题,近年来通过一些研究工作的开展和施工工艺的改进,这些问题也在逐步得到解决^[3-5]。相对而言,小净距隧道因其施工工序简单、工程风险较小、造价相对较低等优点,逐步得到了广泛的应用。

日本和欧洲国家在小净距隧道修建方面有大量成功的经验。日本的第二东(京)名(古屋)、名(古屋)神(户)等重要干线高速公路及中心城市周边公路中出现了大量小净距隧道,德国在七八十年代就出现了相应的工程实例,希腊在 2004 年的雅典奥运会基础设施建设中,也修建了大量的双洞小净距隧道。我国于 20 世纪 90 年代末开始建造小净距隧道,“京福高速公路”是我国第一次大规模推广小净距隧道的工程。近年来,通过工程实践,国内学者和广大建设者积累了宝贵的建设经验,但在小净距隧道的工程定义、分类及其中岩墙加固、支护体系、施工方法、爆破振动控制、监控量测体系及标准等工程措施方面,尚待开展深入、系统的研究工作。

第一节 我国小净距隧道的历史

在我国,小净距隧道出现的历史不久。铁路隧道采用这种结构形式较早,已建成的小净距铁路隧道如内昆线青山隧道,湘黔铁路娄底至怀化段线新坪渠隧道、新坪口隧道、新柳潭隧道,宝成复线须家河隧道,株六铁路复线关寨隧道,内昆铁路杨柳湾隧道,渝怀铁路板桃隧道等。宝成复线合站并行线位^[6-7]使得新老二座须家河隧道同居于嘉陵江陡岸的一个山嘴上,两座隧道均分别在 $R=400\text{m}$ 和 $R=405\text{m}$ 的同向曲线上,线间距进口端为 7.9m ,出口端为 7.5m ,两隧道之间的中墙厚度仅为 $1.9\sim 2.3\text{m}$;板桃隧道^[8]是渝怀



铁路十大控制工程之一,隧道进口段I、II线两隧道开挖净距为 6.14m。

深圳、广州、南京、北京等地铁的修建中以及重庆的轻轨建设中,均出现了近距离施工和交叉重叠隧道的小净距隧道结构形式。深圳地铁一期工程^[9]罗湖站至大剧院站区间重叠隧道,最小净距仅 2.8m;广州地铁二期工程^[10-11]中的越秀公园车站、江南新村车站,采用了 3 孔隧道方案,3 孔隧道最小净距仅 2.7m。广州地铁一号线与二号线^[12]的换乘节点公园前站,两条线路的联络线在公纪区间接驳,同时在区间左右线之间还设置存车线和交叉渡线,于是形成单线、双线和三线隧道,由于开挖断面多次转换,所形成的双洞并行隧道最小间距仅为 0.85m;南京地铁南北线一期工程^[13]菊花台 2 号隧道出口和南北线南延支线左、右线隧道进口呈三洞相邻并排布置,正线隧道与左右线隧道净距只有 5.27m 和 1.69m 等。

在公路隧道方面,近年来这种结构形式相继被采用,如厦门市仙岳山隧道^[14]为城市道路交通隧道,为双车道双线隧道,中岩墙厚度为 19m;宁波镇海招宝山隧道^[15]是一座新建双线公路隧道,由上下行分离的两座独立且平行的隧道组成,单孔长 169m,单跨开挖宽度为 14.15m,高 12.35m,两隧道间净距小于 $0.28B$ (仅为 2.98~4.20m), B 为隧道开挖跨度,后同;深圳梧桐山隧道^[16]是沟通深圳、盐田港和香港的咽喉要道,由于受环境限制,下行隧道与上行隧道相距较近,中心距仅为 25m,边墙净距为 14m,远小于现行公路隧道设计规范要求;京福高速的里洋隧道^[17]、金旗山隧道^[18]等,都汶高速的紫坪铺隧道等均采用了小净距隧道结构形式。

第二节 小净距隧道的基本特征

小净距隧道在山区公路中主要修建在山岭重丘区埋深不大的丘陵部,在市区主要修建在受特殊地理条件限制或有特殊要求的区域。通过对国内外小净距隧道的调研发现,小净距隧道的长度都较短,且埋深也基本属于浅埋。

小净距隧道除了单独存在以外,还可作为采用组合结构形式的隧道的一部分。如厦门市成功大道梧村隧道,沿隧道轴线为双连拱隧道+小净距隧道+初期支护连拱隧道+分离式隧道,紫坪铺隧道为净距渐变小净距隧道+分离式隧道等。

小净距隧道的基本特征可以归纳为浅埋、中短长度,且多为考虑线路连接而修筑。

第三节 平行小净距隧道的技术特点

一、净距

小净距隧道与分离式隧道的区别在于小净距隧道双洞间的距离较小,先后行洞之

间的开挖会相互影响,不能按单洞进行考虑,且不同的洞间距对隧道的受力有很大的影响。表 1-1 为国内一些典型小净距隧道的隧道净距。

典型小净距隧道净距值

表 1-1

隧道名称	所在线路	净距值 (m)
紫坪铺隧道	都汶高速	3.73~12.36
联南隧道	京福高速公路	5
金旗山隧道	京福高速公路	5.1
仙岳山隧道	厦门城市主干道	16.5~22
招宝山隧道	宁波大桥工程	2.98~4.2

二、隧道跨度

隧道跨度是由隧道净空确定的,而隧道净空是由行车道数量、侧向宽度、余宽等众多因素决定的。由于两侧余宽和车道宽度等的标准和取值不同,隧道的跨度就有所不同。一般来讲,在我国目前所修建的双洞小净距隧道中,双向四车道占了绝大多数,如紫坪铺隧道[图 1-1a)]、三福高速公路的联南隧道、岳潜高速巴掌湾隧道、京福高速公路、宝田高速公路的多座小净距隧道等。随着国民经济的发展,交通量不断增大,伴随而来的是多车道小净距隧道数量的逐步增多,如福州国际机场高速公路鹤上隧道为双向六车道[图 1-1b)]、西岸隧道、黔灵山隧道为市政道路双向六车道、福州高速公路魁岐隧道为双向八车道。

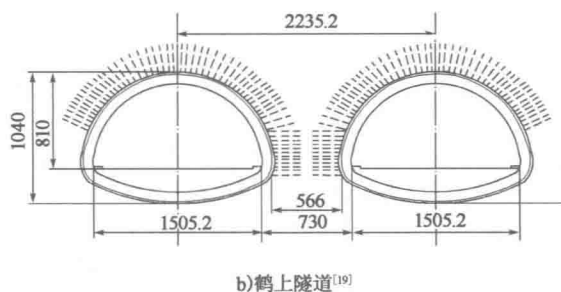
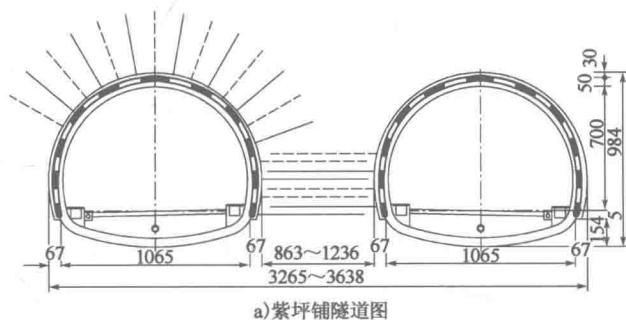


图 1-1 隧道跨度图(尺寸单位:cm)



三、施工

(一)中岩墙加固

从本质上讲,小净距隧道的结构形式与分片式曲中墙连拱隧道的结构形式是相同的,区别在于连拱隧道的中墙采用了混凝土,而小净距隧道的“中墙”是加固了的岩柱体。一般来说,中岩墙的加固方式主要采用注浆加固、贯通长锚杆加固、预应力锚杆加固以及集中方式组合等加固方法。国内一些典型隧道的中岩墙加固方式见表 1-2。

典型小净距隧道中岩墙加固技术统计表 表 1-2

隧道名称	围岩级别		
	Ⅲ级	Ⅳ级	V级
紫坪铺隧道	A+B	A+B	A+B
里洋隧道	A+B	A+B	A+B
金旗山隧道	A+B(局部)	A+B(局部)	A+B
石狮隧道	A+C	A+B	A+B
联南隧道	A+B(局部)	A+B	A+B

注:A代表小导管注浆;B代表水平贯通预应力锚杆;C代表系统锚杆。

(二)爆破振动

小净距隧道由于中岩墙较薄,隧道开挖爆破对中岩墙的稳定与相邻隧道结构的受力有重要的影响,这就对隧道的动力稳定性提出了要求。目前国内外多采用岩石的质点振动速度作为隧道爆破作用的动力稳定性判据。国内典型隧道的振动速度临界值见表 1-3。

典型小净距隧道爆破振动临界值表 表 1-3

隧道名称	所在线路	长度(m)	临界值(cm/s)
招宝山公路隧道	宁波大桥工程	169	12
梧桐山隧道	深圳罗沙公路	2270	Ⅲ级 6,Ⅳ级 4
椒金山隧道	大连市东北路	1098	10
小洋山隧道	上海国际航运中心	270	10
紫坪铺隧道	都汶高速	2500	15
大帽山隧道	泉州厦门高速公路	600(新建隧道)	V级 15,Ⅱ级~Ⅳ级 20

(三)开挖方法

常用的双洞小净距公路隧道的施工方法主要有单侧壁导坑法、双侧壁导坑法和超前导洞预留光爆层法等。秦峰等^[20]提出了中岩墙厚度为 5m 左右的双车道小净距隧道开挖方法,为小净距隧道施工方法的选择提供了有价值的参考(表 1-4)。国内一些典型小净距隧道的开挖方法见表 1-5^[20-21]。

表 1-4

开挖方法表

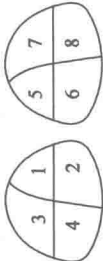
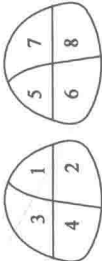
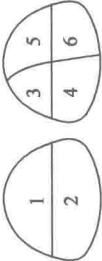
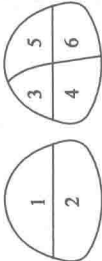
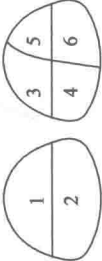
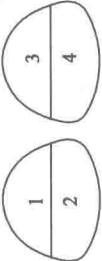
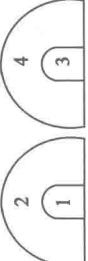
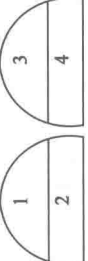
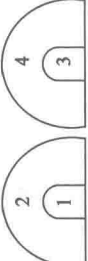
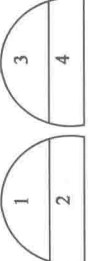
围岩级别	施工方法	开挖顺序图例(以左侧洞为先行洞为例)		
		A	B	C
VI	A 单侧壁导坑法			
V	A 单侧壁导坑法; B 上下台阶与正向侧壁导坑法			
IV	A 上下台阶与正向侧壁导坑法; B 上下台阶与反向侧壁导坑法; C 上下台阶法			
III	A 超前导洞预留光爆层法; B 上下台阶法			
II I	A 超前导洞预留光爆层法; B 全断面法			



表 1-5

典型小净距隧道开挖方法表

隧道名称	所在线路	开挖顺序图例(以左侧洞为先行洞为例)			
		III		IV	
		方法	图示	方法	图示
紫坪铺隧道	都汶高速	先行洞:上下断面台阶法; 后行洞:上下断面台阶法		先行洞:正向侧壁导坑法; 后行洞:正向侧壁导坑法	
		先行洞:上下断面台阶法; 后行洞:上下断面台阶法		先行洞:上下台阶法; 后行洞:正向侧壁导坑法	
董家堰隧道	贵阳绕城高速	先行洞:全断面法; 后行洞:上下断面台阶法		浅埋: 先行洞:上下断面预留核心土法; 后行洞:正向侧壁导坑法	
		先行洞:全断面法; 后行洞:上下断面台阶法		浅埋: 先行洞:上下断面预留核心土法; 后行洞:正向侧壁导坑法	

第四节 特殊形式的小净距隧道

我国的工程实践中,除了比较常见的平行双洞小净距隧道外,还出现了一些特殊形式的小净距隧道。这些隧道的力学特性与平行双洞小净距隧道有一定的差异,其施工与设计往往需要进行专门的研究。

一、不对称双洞小净距隧道

小净距隧道受力复杂多变,通常设计为左右洞对称,有利于克服受力不平衡的问题。但在一些特殊情况下需要设计成非对称形式,如厦门机场路一期工程的万石山隧道^[22],该隧道为双线双洞非对称小净距隧道,小洞为匝道隧道,断面较小,大洞为主线隧道,断面较大,双洞最小净距只有 2m。

二、小净距隧道群

群洞隧道不是单洞隧道的简单叠加,在其施工过程中应充分注意群洞间的相互影响,尽量避免或减小对相邻隧道的扰动和影响,以保证围岩的稳定和结构的安全。在小净距隧道群的施工过程中,各个单洞的开挖顺序显得尤其重要,图 1-2 为上海国际航运中心洋山深水港区小洋山隧道群单洞开挖顺序示意^[23]。

(一)连拱加小净距隧道群

1. 苏州凤凰山隧道

苏州凤凰山隧道工程^[24](图 1-3)位于吴中区木渎镇境内,属宝带西路延伸段改建工程的一部分,穿越七子山西北侧凤凰公墓区,隧址处为一小山体。凤凰山隧道由主洞隧道和南北附洞隧道组成,主洞隧道为 3 车道连拱隧道,供机动车通行,南北附洞隧道供非机动车和行人通行,主洞隧道和南北附洞隧道为小净距隧道。

2. 小洋山隧道

上海国际航运中心小洋山隧道^[23](图 1-4)位于东海崎岖列岛上的小洋山岛,由 1 座连拱隧道(主道隧道)、2 座单拱隧道(地面辅道隧道)及管线隧道组成。主道隧道长 270m,采用上下行隧道独立承载的叠合式中墙双连拱结构;辅道隧道左右线均长 304m,为 2 座分离式小净距隧道,管线隧道专为港区内供水、供电线路而设。

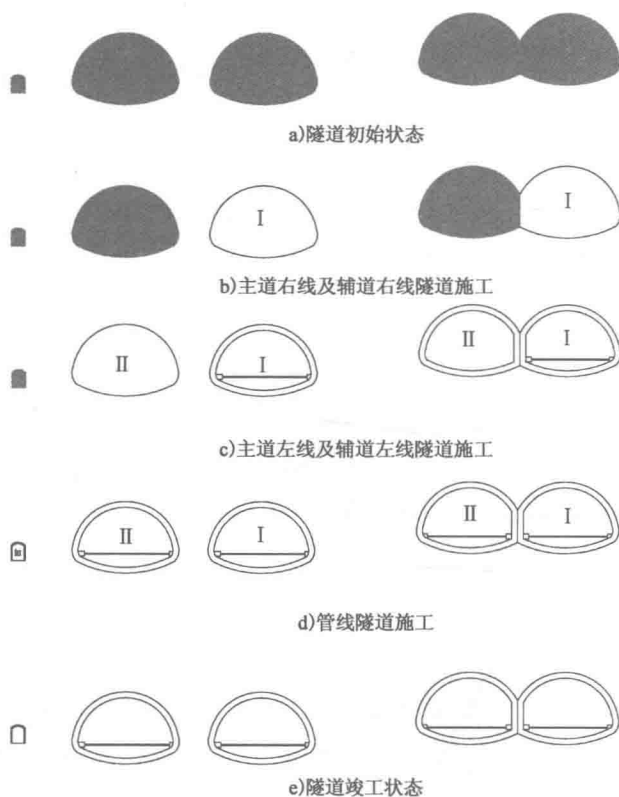


图 1-2 小洋山隧道群整体开挖顺序示意图

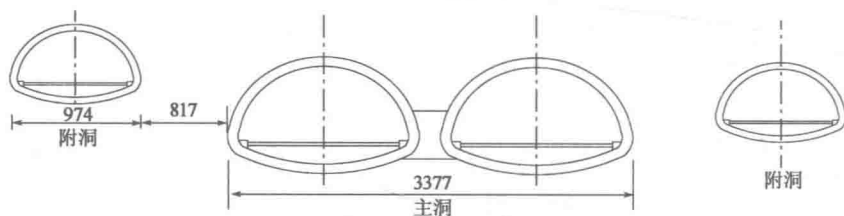


图 1-3 凤凰山隧道示意图(注:图中未画出初支,后同;尺寸单位:cm)

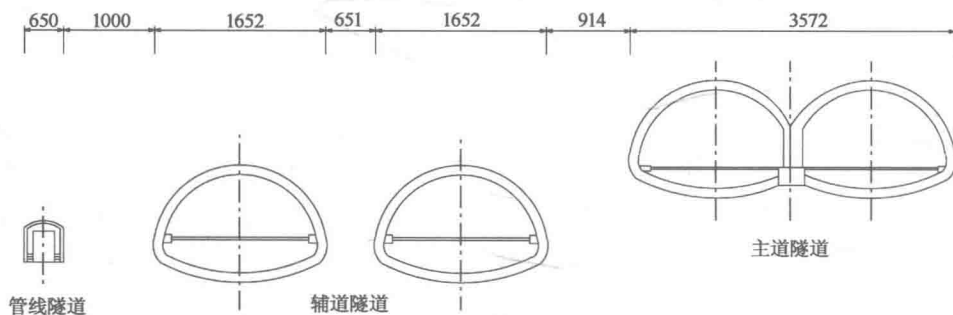


图 1-4 小洋山隧道示意图(尺寸单位:cm)