

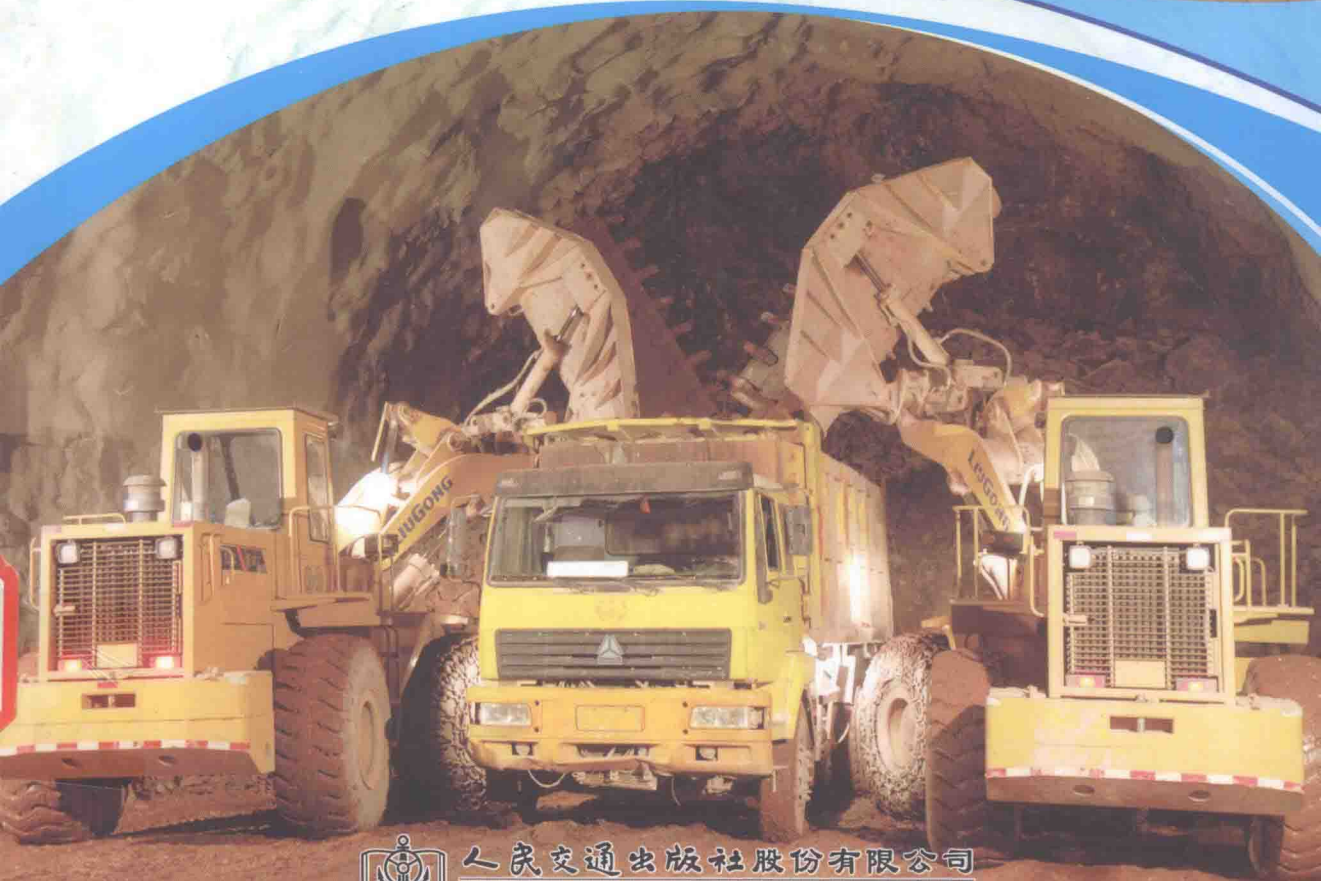


隧道工程修建关键技术丛书

# 铁路隧道施工新技术

TIELU SUIDAO SHIGONG XINJISHU

肖广智 编



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



隧道工程修建关键技术丛书

# 铁路隧道施工新技术

TIELU SUIDAO SHIGONG XINJISHU

肖广智 编



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

## 内 容 提 要

全书共分为9章,主要包括:客运专线隧道新技术综述,邻近既有线控制爆破施工技术,非爆破开挖施工技术,预切槽、预衬砌施工技术的研究与应用,软弱围岩大(全)断面施工技术,长大隧道施工机械化配套,防水板机械辅助铺设及超声波焊接施工工艺,中埋式止水带端头钢模板施作技术与工艺,以及铁路隧道除尘技术。附件1、附件2分别为日本、欧洲隧道施工技术考察报告。

本书可供从事隧道与地下工程建设管理、设计、施工的工程技术人员学习参考,同时也可作为相关院校师生的学习资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

铁路隧道施工新技术 / 肖广智编. —北京:人民  
交通出版社股份有限公司, 2016.3

ISBN 978-7-114-12471-6

I. ①铁… II. ①肖… III. ①铁路隧道—隧道施工  
IV. ①U459.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 203592 号

书 名: 铁路隧道施工新技术

著 者: 肖广智

责任编辑: 卢 珊

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.cpress.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: 21.5

字 数: 500千

版 次: 2016年3月 第1版

印 次: 2016年3月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12471-6

定 价: 70.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

## 作者简介



肖广智,现任中国铁路总公司工程管理中心副总工程师,教授级高工,毕业于西南交通大学铁道工程系隧道与地下铁道专业。1984年7月至2005年9月,在中铁隧道勘测设计院工作,历任设计部副部长、副总工程师、总工程师;2005年9月至今,在中国铁路总公司(原铁道部)工程管理中心工作,历任桥隧部副部长、副总工程师。

长期从事隧道与地下工程的设计施工技术研究和管理工作。撰写论文二十余篇,获国家科技进步奖两项,省部级科技进步奖六项,国家优秀设计奖两项。曾获火车头奖章、詹天佑人才奖、茅以升铁道工程师奖等。

# 前 言

编者在从事铁路隧道技术管理工作中,组织研究、推动技术创新,推广新工艺、新工法。本人把近年来铁路隧道形成的部分新技术、新工艺、新工法进行了系统归纳和总结,形成了本书的主要内容。

全书共分为9章,第1章客运专线隧道新技术综述,对客运专线隧道设计施工新技术进行了概要介绍。第2章邻近既有线控制爆破施工技术,介绍了邻近既有线隧道减振控制爆破施工技术,水压爆破施工新技术,以及太兴铁路新风平岭隧道、渝涪二线新鱼嘴一号隧道等工程案例。第3章非爆破开挖施工技术,介绍了铣挖法、悬臂掘进机开挖法施工新技术,以及重庆铁路枢纽新红岩隧道、沪昆客运专线丫口寨隧道等工程案例。第4章预切槽、预衬砌施工技术的研究与应用,介绍了预切槽技术及其国内外发展现状,预切槽技术在蒙华铁路某隧道、宝兰客运专线洪亮营隧道等的研究与应用。第5章软弱围岩大(全)断面施工技术,介绍了岩土控制变形分析(ADECO-RS)工法,国内软弱围岩大断面传统隧道施工技术,软弱围岩隧道超前预加固大断面施工技术及工艺研究,IV、V级围岩隧道微台阶开挖施工工法。第6章长大隧道施工机械化配套,介绍了国外隧道施工机械化配套专项考察,贵广客运专线长大隧道施工机械化国产化配套研究与应用,隧道施工装备国产化研究,成兰铁路平安隧道全断面施工机械化配置及组织管理技术。第7章防水板机械辅助铺设及超声波焊接施工工艺,介绍了工艺原理、工艺特点、施工方法、工艺流程及操作要点、劳动力组织、主要机具设备、质量控制、安全注意事项、应用实例等。第8章中埋式止水带端头钢模板施作技术与工艺,介绍了衬砌台车端头定型钢模板的设计及制作、关键技术、施工工艺流程及操作要点、应用实例、应用效果比较等。第9章铁路隧道除尘技术,介绍了隧道除尘技术标准、工作程序、国外隧道除尘设备、国内铁路隧道干式除尘设备研发及使用效果。附件1、附件2分别为日本、欧洲隧道施工技术考察报告。

感谢云桂、贵广、成兰、兰渝、蒙华铁路客运专线有限责任公司,中铁第一勘察设计院集团有限公司,中铁二院工程集团有限责任公司,铁道第三勘察设计院集团有限公司,中铁第四、第五勘察设计院集团有限公司,中铁隧道集团有限公司,中铁二、六、十、十二、十七局集团有限公司,中铁瑞威基础工程有限责任公司,中国铁建重工集团有限公司,北京铁路局科研所等单位提供了工程案例及施工技术研究等相关资料。中国铁路总公司工程管理中心张民庆、刘俊成、游旭等参加了部分章节的编写工作。

由于时间急迫、编者水平有限,书中难免有错误之处,敬请读者批评指正!

编 者

2015年12月

# 目 录

第 1 章 客运专线隧道新技术综述	1
1.1 简述	1
1.2 客运专线隧道新技术	2
第 2 章 邻近既有线控制爆破施工技术	23
2.1 邻近既有线减振控制爆破施工技术	23
2.2 水压爆破施工新技术	67
第 3 章 非爆破机械开挖施工技术	79
3.1 铣挖法	79
3.2 悬臂掘进机开挖法	82
第 4 章 预切槽、预衬砌施工技术的研究与应用	100
4.1 预切槽技术简介	100
4.2 预切槽技术的国内外发展现状	103
4.3 预切槽技术在蒙华铁路某隧道的研究与应用	113
4.4 预切槽技术在宝兰客运专线洪亮营隧道的试验与应用	126
第 5 章 软弱围岩大(全)断面施工技术	137
5.1 岩土控制变形分析(ADECO-RS)工法简介	137
5.2 国内软弱围岩大断面传统隧道施工技术	143
5.3 软弱围岩隧道超前预加固大断面施工技术及工艺研究	149
5.4 IV、V级围岩隧道微台阶开挖施工工法	225
第 6 章 长大隧道施工机械化配套	232
6.1 国外隧道施工机械化配套专项考察	232
6.2 贵广客运专线长大隧道施工机械化配套研究与应用	242
6.3 隧道施工装备国产化研究	253
6.4 成兰铁路平安隧道全断面施工机械化配置及组织管理技术	262

<b>第7章 防水板机械辅助铺设及超声波焊接施工工艺</b> .....	280
7.1 工艺概况 .....	280
7.2 工艺原理 .....	280
7.3 工艺特点 .....	280
7.4 施工方法 .....	281
7.5 工艺流程及操作要点 .....	281
7.6 劳动力组织 .....	283
7.7 主要机具设备 .....	284
7.8 质量控制 .....	284
7.9 安全注意事项 .....	284
7.10 应用实例.....	285
7.11 工程应用结果评价.....	285
<b>第8章 中埋式止水带端头钢模板施作技术与工艺</b> .....	286
8.1 背景 .....	286
8.2 衬砌台车端头定型钢模板的设计及制作 .....	286
8.3 端头模板安装及止水带固定 .....	288
8.4 关键技术 .....	289
8.5 施工工艺流程及操作要点 .....	290
8.6 应用实例 .....	294
8.7 应用效果比较 .....	294
8.8 结论 .....	295
<b>第9章 铁路隧道除尘技术</b> .....	296
9.1 技术标准 .....	296
9.2 隧道除尘工作程序 .....	299
9.3 国外隧道除尘设备 .....	300
9.4 国内铁路隧道干式除尘设备研发及使用效果 .....	302
<b>附件1 赴日本隧道技术考察报告</b> .....	306
<b>附件2 赴欧洲铁路隧道技术考察报告</b> .....	315
<b>参考文献</b> .....	335

# 第1章 客运专线隧道新技术综述

## 1.1 简述

### 1.1.1 客运专线隧道的特点

客运专线隧道与普速铁路隧道相比其主要特点有四:一是列车在隧道内高速运行产生空气动力学效应;二是隧道面积大;三是工后沉降要求高(不大于15mm);四是洞口需设置缓冲结构。

### 1.1.2 高速列车在隧道内运行产生的空气动力学问题及工程措施

高速列车在隧道内运行产生的空气动力学问题有两个:一是瞬变压力造成旅客及乘务人员耳膜不适;二是在隧道出口产生微气压波,发出轰鸣声,引起扰民问题。

影响空气动力学效应的因素有两个:一是车辆因素,包括列车速度、列车横断面面积、列车长度、列车头部形状、列车的密封性;二是隧道因素,包括隧道横断面面积、隧道长度、隧道道床类型、洞口结构、辅助坑道。

因此,在高速铁路隧道设计时,应从车辆及隧道两个方面采取措施,以减缓空气动力学效应。当列车速度和隧道断面面积确定时,可通过提高列车密封性、改变列车头部形状等手段改善空气动力学效应引起的问题;当列车速度和参数确定时,可通过扩大隧道断面面积、充分利用辅助坑道、设置洞口缓冲结构等手段改善空气动力学效应引起的问题。

### 1.1.3 客运专线隧道的防水标准和技术措施

(1) 客运专线隧道的防水标准为一级。隧道防排水设计应采取“防、堵、截、排,因地制宜,综合治理”的原则,进行环境评价,重视环境保护。对下穿江、河、城市及对环境有特殊要求的隧道宜采取“全封闭,不排水”的原则;对岩溶、高压水和适当排放不会影响环境的隧道宜采取“以堵为主,限量排放”的原则;排水对环境确无影响时,宜采取排水的原则,并考虑排水措施的可维护性。

(2) 主要防排水措施,见表1-1。

主要防排水措施

表1-1

工程部位	防水措施
主体结构	混凝土自防水、防水板+土工布
截排水系统	排水盲沟、泄水洞、地表截水系统
施工缝、变形缝	中埋式止水带、遇水膨胀橡胶止水条、外贴式止水带、可维护注浆管、可卸式排水槽
堵水系统	围岩注浆、防水板背后注浆、局部注浆



### 1.1.4 客运专线隧道结构耐久性要求及工程措施

隧道主体结构设计使用年限为 100 年,结构受裂缝影响敏感,为预防混凝土开裂,Ⅱ、Ⅲ级围岩二次衬砌应采用掺加纤维素纤维的配筋混凝土;由于轨道要求平顺,允许沉降值小,因此,软基地段隧道基底要进行处理,并对隧道底部结构进行加强,如仰拱厚度增加,仰拱配筋、整体施作仰拱等;为保证结构耐久性,选用优质的混凝土原材料、合理的混凝土配合比、适当的混凝土耐久性指标,对于严重腐蚀环境条件下的混凝土结构,除了对混凝土本身提出严格的耐久性要求外,还应有可靠的附加防腐措施。

### 1.1.5 长大隧道防灾救援技术

我国长大铁路隧道的防灾救援原则为以防为主,以引导旅客疏散为重点。设置双侧贯通救援通道,按照隧道不同长度采用定点救援站、待避所、紧急出口,以及防灾通风、照明、通信等措施。

## 1.2 客运专线隧道新技术

### 1.2.1 客运专线隧道的特点

与普速铁路隧道相比,客运专线隧道具有以下特点:

(1) 由于列车高速运行,引起的空气动力学问题;

(2) 隧道断面面积大(如在速度 350km/h 的条件下,隧道有效净空面积为  $100\text{m}^2$ ,开挖断面面积达  $170\text{m}^2$ );

(3) 由于开挖断面面积的增大,施工难度增加,特别是在浅埋和不良地质条件下的施工难度很大;

(4) 列车高速运行,对洞内轨道(包括基底结构,如仰拱或铺底)的影响增大,需要加强基底结构;

(5) 100 年使用年限和混凝土的耐久性要求;

(6) 新型的洞门形式和更高的洞口环保要求;

(7) 高标准的防水要求(一级防水标准);

(8) 长大隧道的防灾救援和运营通风要求。

### 1.2.2 高速列车在隧道内运行产生的空气动力学问题及工程措施

#### 1) 高速列车在隧道内运行产生的空气动力学问题

由于高速列车进入隧道产生瞬变压力造成旅客及乘务人员耳膜不适,舒适度降低,长期在这种条件下工作,会对铁路员工产生危害;高速列车进入隧道时,会在隧道出口产生微气压波,发出轰鸣声,如同“放炮”,引起扰民问题。隧道微气压波的发生见图 1-1。

影响空气动力学效应的因素有两个。

(1) 车辆的因素:列车速度、列车横断面面积、列车长度、列车头部形状、列车的密封性。

(2)隧道的因素:隧道横断面面积、隧道长度、隧道道床类型、洞口结构、辅助坑道。

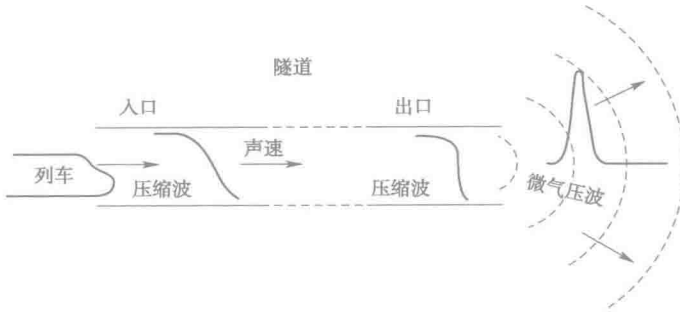


图 1-1 隧道微气压波的发生

## 2) 科研情况

(1)在“八五”国家科技攻关项目中,进行了“高速铁路隧道设计参数的建议值研究”,着重从隧道设计参数角度探讨解决高速列车进入隧道时的空气动力学效应引起的问题。特别是对隧道净空断面,洞口辅助结构物及竖井、斜井、横洞的设计参数提出了建议。

国外从隧道设计角度解决空气动力学效应引起的问题,主要通过以下两种途径:一种以日本新干线为代表,通过提高车辆密封强度来缓解车内瞬变压力,使之满足舒适度要求,同时修建洞口缓冲结构来消减洞口微压波;另一种以德国 NBS 为代表,主要通过放大隧道净空断面来解决问题。

我国高速铁路的隧道工程中采用放大隧道净空断面的措施来满足运营要求。

①提出双线(考虑会车)及单线隧道两个方案,见表 1-2。

隧道设计参数建议

表 1-2

方案	净空断面面积 ( $\text{m}^2$ )	车辆密封要求 $\tau$ (s)		洞口缓冲棚长度 (m)	与明线情况相比空气阻力增量(%)		
		300km/h	350km/h		平均	最大	会车
A	100	2.0(稍加密封)	4.0	11	3~13	15~30	30
B	70	1.2(稍加密封)	3.0	13	4~20	23~49	—

②对于 A、B 两个断面方案,当车速分别为 260km/h 及 285km/h 时可采用不密封车辆( $\tau=0.7\text{s}$ )。

(2)结合遂渝线进行“高速铁路隧道空气动力学相关技术的研究与试验”,提出了我国高速铁路舒适度标准的建议值;通过三维数值模拟仿真,证实空气压力波动在隧道同一断面的不同位置呈现基本相同的规律,得出采用单维计算模型是可行的结论;针对各种不同速度提出了我国客运专线隧道净空断面面积以及相应参数( $\Delta P$ 、 $\tau$ );提出了加强隧道底部结构为主要特点的客运专线衬砌结构形式;发现渐变形(喇叭形)和阶梯形(圆柱形或方形)等不同形状的缓冲结构对减压效果的影响不是很显著,为结构简单起见,缓冲结构宜采用梯形,并提出了缓冲结构的主要设计参数。

(3)仍需研究的问题。

以前虽然进行了一些隧道空气动力学效应和相关设计参数的研究,基本解决了隧道设计,诸如净空、断面形式、缓冲结构物等问题,但之前的研究有较大的局限性,表现为原来隧道按有

砗道床考虑,而现在隧道为无砗道床;研究手段主要为类比、数值分析和室内试验,现场试验验证只在遂渝线做过一次;以前的研究是针对最不利隧道长度进行的,而对长隧道以及辅助导坑的影响还没有研究。因此,在隧道空气动力学效应方面,还存在以下问题需要研究:①适合我国国情的乘客耳膜舒适度准则及压力波阈值研究;②长隧道内空气压力波动规律的研究;③辅助导坑的影响;④无砗轨道隧道空气动力学特性研究(主要是首波形态,以及在传播过程中的激化,相应缓冲结构参数)。

### 3) 舒适度准则和缓冲结构物的设计

#### (1) 舒适度准则

由于双线隧道列车在隧道内交会的概率较小,特别是在相应于最大瞬变压力情况的最不利位置处会车的概率更小。因此,考虑会车情况时可采用较宽容值(3.0kPa/3s 及 1.25kPa/3s),相当于国外准则中的“极端场合”。而对于单线隧道,则需采用较严格的阈值(2.0kPa/3s 及 0.8kPa/3s),相当于国外准则中的“正常场合”。我国高速铁路隧道舒适度准则建议值见表 1-3。

我国高速铁路隧道舒适度准则建议值

表 1-3

铁路类型	隧道长度(占线路长度的比率)		关系	隧道密集程度(座/h)	瞬变压力(kPa/3s)
A(平原)	单线	小于 10%	而且	小于 4	2.0
B(平原)	双线	小于 10%	而且	小于 4	3.0
C(山丘)	单线	大于 25%	或者	大于 4	0.8
D(山丘)	双线	大于 25%	或者	大于 4	1.25

#### (2) 缓冲结构物的设计

设置基准:隧道洞口是否需要设置缓冲结构物,可根据洞口建筑物情况和洞口微压波峰值的大小来确定。缓冲结构物设置基准见表 1-4。

缓冲结构物设置基准

表 1-4

条 件		微压波峰值 $P_{max}$			
		日本	德国	我国客运专线铁路设计暂行规定	
洞口有建筑物	建筑物无特殊环境要求	建筑物处, $P_{max} < 20Pa$	最近住宅处, $P_{max} < 20Pa$	建筑物处, $P_{max} < 20Pa$	
	建筑物有特殊环境要求	按要求		按要求	
洞口有建筑物(或住宅距洞口大于 50m)		距洞口 20m 处, $P_{max} < 50Pa$	距洞口 50m 处, $P_{max} < 20Pa$	建筑物有特殊环境要求	距洞口 20m 处, $P_{max} < 50Pa$
				建筑物无特殊环境要求	不设

缓冲结构的形式:不同形状的缓冲结构,对缓解微压波的效果差别不显著,在缓冲结构上开口能显著缓解微压波的作用。

缓冲结构开口率:最佳开口率为 0.3 左右。

缓冲结构的长度:对于我国高速铁路的几种情况,提出缓冲结构的设计长度,见表 1-5。

缓冲结构长度(碎石道床)

表 1-5

列车速度 $v_0$ (km/h)	200		250		300		350	
隧道断面面积 $A_t$ ( $m^2$ )	52	80	52	80	70	100	70	100
缓冲结构计算长度 $L$ (m)	—	—	2.6	—	7.9	5.3	18	15
缓冲结构设计长度 $L'$ (m)	—	—	$d$	—	$d$	$d$	20	20

注: $d$ 为隧道直径。

表 1-5 仅适用于碎石道床的情况。考虑隧道长度增加时板式道床对微气压波的“激化”作用,Japan Railway Technical Service 及中铁第四勘察设计院集团有限公司与德国欧博迈亚公司咨询联合体咨询报告提出的适用于板式道床的缓冲结构长度要大得多,见表 1-6。

适用于板式道床的缓冲结构长度

表 1-6

隧道断面面积 $A_t$ ( $m^2$ )	缓冲结构长度(m)	隧道断面面积 $A_t$ ( $m^2$ )	缓冲结构长度(m)
100	35 ~ 40	70	50 ~ 60

注:1. 本表由 Japan Railway Technical Service 提供。

2.  $v = 350\text{km/h}$ , 隧道长度 200 ~ 3000m,  $A_t = 11.2\text{m}^2$  (日本新干线  $E_2$  系车)。

3. 设置基准:距离洞门 20m 处微气压波峰值小于 50Pa。

### (3) 缓冲结构设置情况

根据咨询报告,武广客运专线有 29 座隧道需设洞口缓冲结构,经过反复研究,在武广客运专线洞口环境条件要求较高的鹰嘴山等 10 座隧道的 14 个洞口设置缓冲结构,其他 19 座隧道预留以后设置条件。郑西客运专线、石太客运专线和哈大客运专线的部分隧道也设置了洞口缓冲结构。洞口缓冲结构效果图见图 1-2。

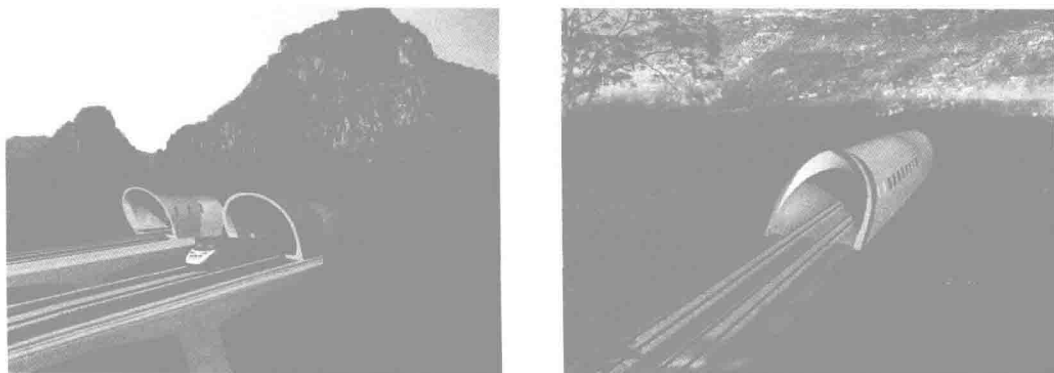


图 1-2 洞口缓冲结构效果图

## 1.2.3 隧道洞口形式及景观设计

### 1) 概述

按照《铁路主要技术政策》的规定,隧道洞门建设要考虑生态和环境保护的有关要求,但铁路隧道门的结构形式几十年来基本上没有太大变化,主要有端墙式、翼墙式、柱式、台阶式

等几种墙式洞门。随着隧道施工技术的发展和完善,对洞口进行适当的加固措施及早进洞已经完全成为可能。这种方法最大限度地减少了施工对洞口山体的破坏和扰动,对保持洞口山体的稳定 and 环境保护具有特殊的意义。斜切式隧道洞口因具有洞口开挖量小、洞口圪工少等特点,适应这种要求。国内公路系统,特别是高速公路隧道建设中,设计和建成了不少结构新颖,有利于生态和环境保护的新型洞门。国外很多隧道门的修建具有很高的艺术性,与周围环境完美地结合在一起,形式以斜切式隧道洞口较多,不破坏边、仰坡,与周围环境融合较好,形成一道风景。

随着社会的发展,人们对洞门建筑的要求已不仅仅停留在结构的功能上,而对美学和环境的要求越来越重视,力求达到建筑学、园林学、景观学和力学的完美统一。在当前对环境保护和结构美观要求以及在建筑设计中要求“以人为本”的呼声越来越高的情况下,旧有的铁路隧道洞门形式已经越来越不能适应当前社会飞速发展形势下的要求。在铁路隧道洞口设计中,对铁路隧道洞口进行新型结构与景观设计是完全有必要的,应该综合运用建筑学、园林学、环境美学等方面的理论,进行新型洞口段结构、材料、施工方法及洞口附近整体景观等方面的设计,以适应洞口环保、美观、结构安全和施工技术配套各方面的需要。

## 2) 新型洞口形式


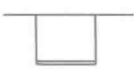
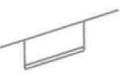




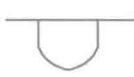



新型洞门的优点是建筑形式简约、装饰性建筑可繁可简,利于洞口周边环境保护,美观大方、自然。新型洞门的形式包括:直切、正切、倒切和经过艺术化处理的洞口形式。

(1) 新型洞门设计形式的基本功能:挡土挡水、维护山体平衡,洞内外衔接,铭牌标识,美学及景观功能。

(2) 基本造型设计见表 1-7。

基本造型设计

表 1-7

形 式	正 交		斜 交
	侧 面	平 面	
直切			
正切			
倒切			
弧形挡墙			

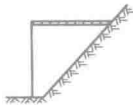
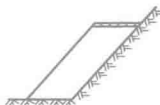
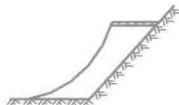


(3) 洞身延出式[突(凸)出式]切削形式见表 1-8。

(4) 加檐型见表 1-9。

(5) 喇叭口型见表 1-10。

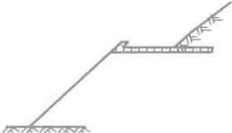
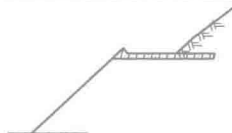

洞身延出式[突(凸)出式]切削形式

表 1-8

形式	直线形	曲线形
直切		
正切		
倒切		

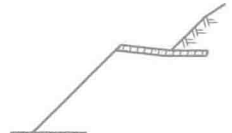

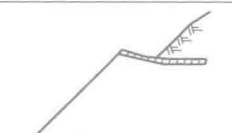
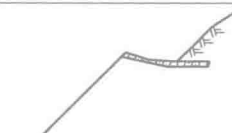
加 檐 型

表 1-9

 直沿型	
 斜沿 I 型	 斜沿 II 型

喇叭口型

表 1-10

 正切直线渐变 I 型喇叭口	 正切直线渐变 II 型喇叭口
 正切曲线渐变 I 型喇叭口	 正切曲线渐变 II 型喇叭口

### 3) 几种新型洞门适用的地形条件

#### (1) 正切式洞门

正切式洞门主要适用于以下地形条件:

- ①线路中线与地形等高线为正交;

- ②地面坡率一般在 1:2.5 ~ 1:0.5 之间;
- ③地表植被较好,无落石等不良地质情况;
- ④隧道出洞后无深路堑,路堑边坡无挡墙防护,或者隧道出洞后即接近路基填挖平衡点;
- ⑤洞口处汇水面积较小,洞口上坡面无须做截水沟。

(2) 倒切式洞门

倒切式洞门主要适用于以下地形条件:

- ①线路中线与地形等高线为正交;
- ②地面坡度较陡,坡率一般大于 1:0.5;
- ③洞口仰坡存在落石的可能性;
- ④隧道出洞后无深路堑,路堑边坡无挡墙防护,或者隧道出洞后即接近路基填挖平衡点;
- ⑤洞口处汇水面积较小,洞口上坡面无须做截水沟。

(3) 弧形挡墙式洞门

弧形挡墙式洞门主要适用于以下地形条件:

- ①路中线与地形等高线正交或斜交角度大于 70°;
- ②隧道出洞后为深路堑,路堑两侧边坡为挡墙防护,洞门弧形挡墙有条件与路堑两侧挡墙顺接。

4) 景观设计

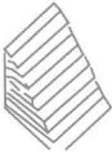








隧道洞口的景观要素,包括自然景观和人工景观及它们之间的协调。

(1) 自然景观

自然景观包括地形和地貌。地形分类见表 1-11。

地形分类

表 1-11

分类		以表面形态分类的坡面各类		
		直线坡面	山脊型坡面	谷型坡面
以垂直断面(纵断面)形态分类的坡面种类	等齐坡面	 等齐直线坡面	 等齐山脊型坡面	 等齐谷型坡面
	凸形坡面	 凸形直线坡面	 凸形山脊型坡面	 凸形谷型坡面
	凹形坡面	 凹形直线坡面	 凹形山脊型坡面	 凹形谷型坡面

地貌是指植被有无、植被组成发育程度、秃山岩石形态等。

## (2) 人工景观

人工景观包括:当地人文建筑文化(建筑符号),如西安古城墙建筑、藏式建筑;隧道孔数,如单洞、双洞及多洞、双连拱及多连拱;洞口相连工程,如桥隧相连、路隧相连、洞口设风机及辅助用房、双线水平之间未有开阔地带可造园,双线高低、前后、错落等;装饰材料(材质),如条纹、色彩、光线(照明)等;铭牌形式,如墙顶嵌入式、侧墙嵌入式、洞身侧壁镶嵌式、洞口架立式、洞口山体刻字、洞口建筑雕刻小品(孤石)。

## 5) 隧道洞口的施工工法

传统的隧道洞口的施工,是将洞口附近的地表植被全部清除,开挖出洞口的边坡和仰坡。这种施工工法,对地表的破坏较大,待隧道施工完成后,才对遭到破坏的边、仰坡采用水泥砂浆砌片石进行铺砌,使得隧道洞口整体人工雕琢的痕迹较浓,在建筑与自然环境的交融和协调方面略显不足。

目前,在注重环境保护,讲究隧道洞口与自然环境协调,追求建筑结构物美观新理念的指导下,在隧道洞口的施工过程中,要求尽可能地保护原地表的植被不被破坏,或者为隧道洞口的绿化创造条件,这就要求对新型的斜切式洞门建立起一套有针对性的施工方法。根据目前施工的技术条件,一般情况下隧道洞口施工可采用以下两种施工方法。

### (1) 不破坏洞口边、仰坡的暗挖进洞施工方法

对于大部分洞口边、仰坡稳定的隧道均可以采用这种方法进行施工。如果隧道洞口段围岩较好(Ⅱ、Ⅲ级围岩),为不破坏洞口的原始地貌,在第一次进洞爆破开挖炮眼布置时,周边炮眼应当加密至间距30cm左右,并且应减少每个炮眼的装药量,必要时可以在隧道开挖轮廓线上预留一圈空炮眼,以减少爆破对洞口坡面稳定性的影响。如果隧道洞口段为Ⅳ、Ⅴ级围岩,坡面稳定且植被较好,要采取措施在施工进洞时减少对地表的破坏。施工时,在清理出洞口开挖面后,根据围岩稳定性和地下水发育情况,应先在开挖轮廓线外施作二环超前锚杆或超前注浆小导管进行预加固,锚杆或小导管的环向间距应在30cm左右,内外环的间距在50cm左右,然后采用人工或机械进行开挖,以减少对洞口围岩的扰动。

斜切式洞门是将隧道洞口段20~30m作为一个整体来看待的,衬砌时若能一次衬砌完成是最好的,但目前的施工工艺还难以达到,在进行分段衬砌时,段与段间应做好钢筋的连接和防水处理。

### (2) 洞口段明挖施工后回填覆土恢复植被的施工方法

有些隧道洞口段为Ⅳ、Ⅴ级围岩,拱顶覆盖层很薄或围岩稳定性很差,暗挖施工很难开挖进洞时,可以对洞口段进行明挖,待施工顺利进入暗洞后,再施作洞口段的混凝土衬砌,然后回填土与未开挖的地表顺坡,并人工种植植被。由于部分衬砌是明挖后施工,施工场地开阔,施工操作方便,对于有些洞口建筑形式较为特殊的隧道不失为一种简单易行的施工方法。

## 6) 隧道洞口段的防排水措施

采用斜切式洞门的隧道,如果在隧道洞口周围做上一圈截水沟,对隧道洞口的整体美观影响较大,因此,在隧道洞口坡面汇水量不大,通过洞口段的喇叭形翘起或洞门檐就可以解决的情况下,采用斜切式洞门的隧道可不再做洞口天沟。对于洞口坡面汇水量较大,确需在洞口上施作天沟的隧道,应结合环境施作天沟。



当隧道出洞方向为上坡时,应在距洞门1.0m处设横向截水沟一道,以防止洞外地表水通过路基流入隧道,并且洞外路基侧沟应做成底坡不小于2‰的反向排水沟。

采用明挖法施工的洞口衬砌段,衬砌外缘应敷设外贴式防水层。

#### 7) 洞口形式实例

洞口形式实例见图1-3~图1-6。

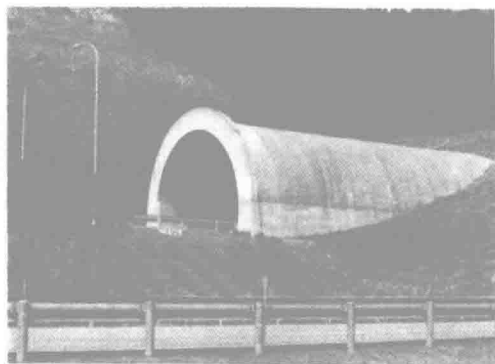


图1-3 直切



图1-4 正切



图1-5 倒切



图1-6 弧形挡墙

### 1.2.4 防灾救援理念及措施

我国长大隧道的防灾救援原则为:列车上“以防为主”,隧道内“以引导旅客疏散为重点”。通用措施为:双侧贯通救援通道,小于6km时,尽量拉出洞外;6~10km时,利用施工辅助坑道作为紧急出口;10~20km时,设紧急疏散点,防灾通风;大于20km时,设为两单线隧道,定点疏散,洞口充分利用施工场地,预留救援通道。

在德国,隧道可分为短隧道(500~1000m)、长隧道(1000~1500m)和特长隧道(>1500m)。以消防和防灾为基础,长隧道和特长隧道设计为两条单线隧道,两个单线隧道之间每1000m设计一横向通道。

#### 1) 防灾救援设计的基本原则

(1) 针对客运专线的营运特点,防灾设计贯彻“以防为主,以消为辅,防消结合,立足自救”的方针,充分体现“以人为本”的理念。