

贵州省交通运输厅技术指南

JTT52/07-2024

贵州省公路连拱与小净距隧道技术指南 (试行)

2024-04-17 发布

2024-06-01 实施

贵州省交通运输厅 发布

贵州省交通运输厅技术指南

贵州省公路连拱与小净距隧道技术指南(试行)

JTT52/07-2024

主编单位：贵州省公路工程集团有限公司

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

贵州省交通建设工程质量监督执法支队

中南大学

参编单位：贵州黔贵路桥工程有限公司

贵州黔贵市政工程有限公司

批准部门：贵州省交通运输厅

实施日期：2024 年 06 月 01 日

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

山区高速公路建设中，地形复杂山区的公路选线，隧道方案为线路优化提供了最佳选择。连拱隧道、小净距隧道结构型式在总体路线线型、线隧衔接方式、征地、环保等方面具明显优势，近年来在山岭公路隧道建设及桥隧相连工程中受到青睐。然而连拱隧道常采用三导洞法施工，工序复杂，中墙受力和施工荷载转换频繁，整体式中墙连拱隧道还存在施工缝渗漏水弊端。小净距隧道（含隧道锚洞）存在双洞合理间距界限模糊、中夹岩柱加固及爆破控制、隧道先、后行洞施工扰动较大等问题。现行设计和施工规范仅对连拱隧道、小净距隧道和隧道锚做了部分指导性规定，尚缺详细的技术要求，其设计与施工技术规定有待进一步完善。为响应我国交通强国、绿色低碳战略及科学技术发展需求，解决公路连拱隧道、小净距隧道现场实际技术及施工难题，进一步规范 and 统一公路连拱隧道、小净距隧道工程技术要求而编制本文件。

本文件在现行标准、规范基础上，针对公路连拱隧道、小净距隧道的工程特点，系统地提炼与总结近几年贵州省连拱隧道、小净距（含隧道锚洞）等相关的设计和施工技术成果，吸收借鉴了国内外相关标准与先进技术。在相关工程案例实践验证的前提下，遵循“安全、耐久、经济、节能、环保”的指导原则，进一步统一了连拱隧道、小净距隧道相关的术语及划分标准，规定了勘测、设计和施工等相关的针对性技术要求，可用于指导桥隧或路隧相接的公路连拱隧道、小净距隧道（含隧道锚洞）、分岔隧道的设计和施工。

本文件共分9章，主要包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、基本要求、连拱与小净距隧道分类、勘察与测量、设计、施工、超前地质预报与监控量测，另有5个附录。

本文件系首次编制。希望各单位在执行过程中，结合工程实践认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见及有关资料寄交贵州省公路工程集团有限公司（贵州省贵阳市云岩区甲秀北路8号贵州公路集团大厦，邮编：550001），供今后修订时参考。

本文件由贵州省公路工程集团有限公司负责解释。

主编单位：贵州省公路工程集团有限公司

贵州省交通建设工程质量监督执法支队

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

中南大学

参编单位：贵州黔贵路桥工程有限公司

贵州黔贵市政工程有限公司

主要审查人员：梅世龙 谭捍华 母进伟 石大为 蒋永生 程永才 梁 栋

编写人员：计中彦 苟德明 杨黔江 张学民 张胜林 胡 涛 龙立敦 甘孟松
廖万辉 周后友 田洪松 杨 洪 阳军生 詹超宇 翁学新 廖加和
刘晓勇 龚 美 张朝强 杨春平 欧雪峰 范喜超 崔 炫 袁 立
李少方 王荣有 王朝国 韩光钦 吴哨兵 段武兵 安 航 张安睿
陈元忠 刘盛涛 周 旭 万 正 魏驰原 冉 锦 沈 阳 林文凯

目 录

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	3
5 连拱与小净距隧道分类	4
6 勘察与测量	7
7 设计	10
7.1 一般规定	10
7.2 总体设计	10
7.3 隧道线形设计	11
7.4 隧道断面设计	12
7.5 隧道洞口设计	15
7.6 隧道结构设计	16
7.7 隧道锚洞设计	24
8 施工	25
8.1 施工准备	25
8.2 施工控制要点	28
8.3 隧道锚洞控制要点	40
9 超前地质预报与监控量测	43
9.1 一般规定	43
9.2 监控量测	43
9.3 监测控制标准	46
9.4 爆破控制标准	47
9.5 风险管控	49
附录 A 无中导双层中墙连拱隧道衬砌支护参数	51
附录 B 近零净距隧道衬砌支护参数	52
附录 C 极小净距隧道衬砌支护参数	53
附录 D 较小净距隧道支护参数	55
附录 E 一般小净距隧道支护参数	56

贵州省公路连拱与小净距隧道技术指南(试行)

1 范围

本文件规定了贵州省公路连拱与小净距隧道技术指南的术语和定义、基本要求、隧道分类、勘察与测量、设计、施工、监控量测等。

本文件适用于贵州省（以钻爆法为主的）公路连拱隧道、小净距隧道的设计与施工。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6722	《爆破安全规程》
GB 50010	《混凝土结构设计规范》
GB 50086	《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》
GB 55008	《混凝土结构通用规范》
GB 55017	《工程勘察通用规范》
JTG 2232	《公路隧道抗震设计规范》
JTG 3370.1	《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》
JTG/T 3660	《公路隧道施工技术规范》
JTG B01	《公路工程技术标准》
JTG B04	《公路环境保护设计规范》
JTG B05	《公路项目安全性评价规范》
JTG C10	《公路勘测规范》
JTG C20	《公路工程地质勘察规范》
JTG D20	《公路路线设计规范》
JTG/T D70	《公路隧道设计细则》
JTG F80/1	《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》
JTG F90	《公路工程施工安全技术规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于文件。

3.1 连拱隧道 multi-arch tunnel

并行的两拱形隧道之间无中夹岩柱、共用一个中墙结构的 m 型隧道。包含整体式中期墙连拱隧道、复合式中墙连拱隧道、无中导双层中墙、无中导三层中墙连拱隧道。

3.2 中墙 middle wall

连拱隧道中用于连接主体结构并与主体结构共同受力的人工结构。

3.3 整体式中墙连拱隧道 integral mid-wall multi-arch tunnel

采用传统的中导洞法施工，中导洞开挖后整体浇筑中墙结构，两侧主洞衬砌拱圈支撑在中墙上的连拱隧道。

3.4 复合式中墙连拱隧道 composite mid-wall multi-arch tunnel

采用传统的中导洞法施工，中导洞开挖后浇筑中墙，两侧主洞初期支护支撑在中墙上，中墙两侧混凝土与主洞拱墙二次衬砌一起浇筑的连拱隧道。

3.5 直墙连拱隧道 straight middle wall multi-arch tunnel

中墙形状为直立等厚的连拱隧道。

3.6 曲墙连拱隧道 curved middle wall multi-arch tunnel

中墙形状为弧形曲线、厚度渐变的连拱隧道。

3.7 无中导双层中墙连拱隧道 double layers mid-wall multi-arch tunnel without middle drift

不设置中导洞，中墙结构由独立成环的防排水系统分隔成两层，两侧主洞拱墙二次衬砌分别与中墙一起浇筑的连拱隧道。

3.8 无中导三层中墙连拱隧道 three layers mid-wall multi-arch tunnel without middle drift

不设置中导洞，两侧主洞初期支护共用薄壁劲性中墙，中墙两侧混凝土与主洞拱墙二次衬砌一起浇筑的连拱隧道。

3.9 中夹岩柱 sandwiched rock and soil

小净距隧道开挖轮廓线之间的岩土体。

3.10 小净距隧道 neighborhood tunnel

根据并行隧道间距及中夹岩柱岩性等因素，细分为近零净距隧道、极小净距隧道、较小净距隧道与一般小净距隧道。

3.11 近零净距隧道 approximate zero distance tunnel

并行双洞之间中夹岩柱厚度小于 1.0 m，双洞彼此影响非常严重，中夹岩柱基本无自

稳和支撑能力。

3.12 极小净距隧道 extremely small clear distance tunnel

双洞之间中夹岩柱厚度极小，需采用注浆和对拉锚杆等特殊措施加固的小净距隧道。

3.13 较小净距隧道 smaller clearance tunnel

双洞之间中夹岩柱厚度较小，采用加长系统锚杆加固的小净距隧道。

3.14 一般小净距隧道 general small spacing tunnel

双洞之间不考虑中夹岩柱加固措施，仅通过施工控制措施解决相互影响的小净距隧道。

3.15 分岔隧道 branching-out tunnel

由双向行驶的单洞大跨度隧道或连拱隧道，经小净距逐渐过渡到分离式双洞的隧道。

3.16 隧道锚洞 tunnel-type anchor cavity

用于锚固桥梁缆索的倒塞式隧道状洞室。

4 基本要求

4.1 连拱与小净距隧道设计与施工应遵循“安全、耐久、经济、节能、环保”的基本原则。

4.2 连拱与小净距隧道设计应结合隧址区地形、地质、施工、运营等条件，进行安全、技术、经济和环保等要素的论证与比较，合理确定隧道线间距、支护参数和施工方法等。连拱隧道长度不宜大于 300 m，净距小于 0.8 倍开挖跨度段长度不宜大于 500 m。

4.3 连拱与小净距隧道应加强勘察工作，确定有针对性的勘察方案。

4.4 连拱、近零净距、极小净距、较小净距隧道先行洞结构支护参数应强于后行洞，提出后行洞施工扰动控制措施；明确小净距隧道中夹岩柱加固设计。

4.5 连拱与小净距隧道根据地形地质条件、隧道断面等明确隧道开挖方法，对于地形偏压、地质偏压及左右洞存在高差的连拱与小净距隧道，应明确先行洞和后行洞的施工顺序。

4.6 连拱与小净距隧道防排水设计应遵循“防、排、截、堵相结合”的原则，因地制宜，综合治理，构建防水可靠、排水通畅的防排水系统。

4.7 对于建设环境、地质条件复杂或偏压严重及施工风险高的连拱与小净距隧道，设计阶段宜进行安全风险评估，施工阶段应进行专项安全风险评估，并实施动态风险管理。

4.8 连拱与小净距隧道施工前应编制专项施工方案，经专家评审并按程序报批后实施。

- 4.9 连拱与小净距隧道施工应采用控制爆破，并进行爆破振动监测。
- 4.10 连拱与小净距隧道贯彻动态设计与信息化施工原则，加强超前地质预报和监控量测工作，为动态设计与施工提供依据。
- 4.11 连拱与小净距隧道设计与施工应积极稳妥地推广应用新技术、新工艺、新材料、新设备，提升技术和管理水平。

5 连拱与小净距隧道分类

5.1 采用中导洞法施工的连拱隧道分为整体式直中墙连拱隧道、复合式曲中墙连拱隧道；不设置中导洞的连拱隧道分为无中导双层直中墙连拱隧道和无中导三层直中墙连拱隧道、无中导双层曲中墙连拱隧道、无中导三层曲中墙连拱隧道。隧道断面布置可参考图 5.1-1 ~ 图 5.1-6。

【条文说明】 根据施工工法将连拱隧道分为传统中导法施工和改进不设置中导洞两类；通常只在两车道隧道中采用。

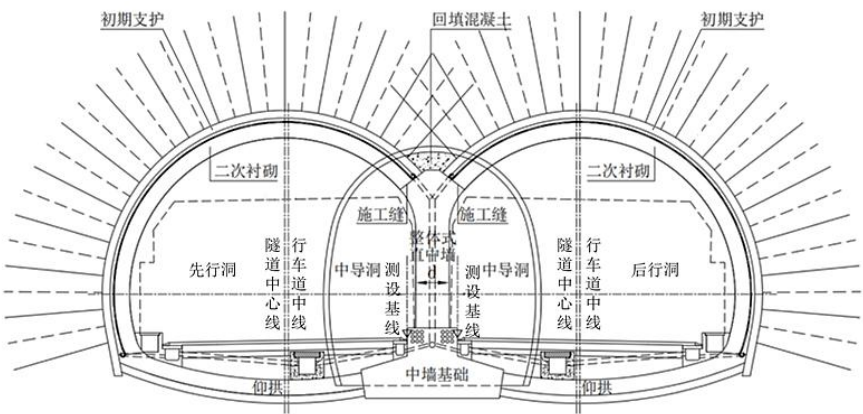


图 5.1-1 整体式直中墙连拱隧道

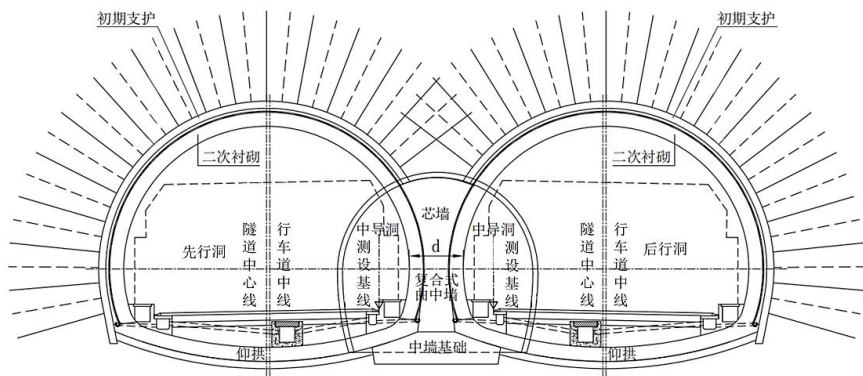


图 5.1-2 复合式直曲中墙连拱隧道

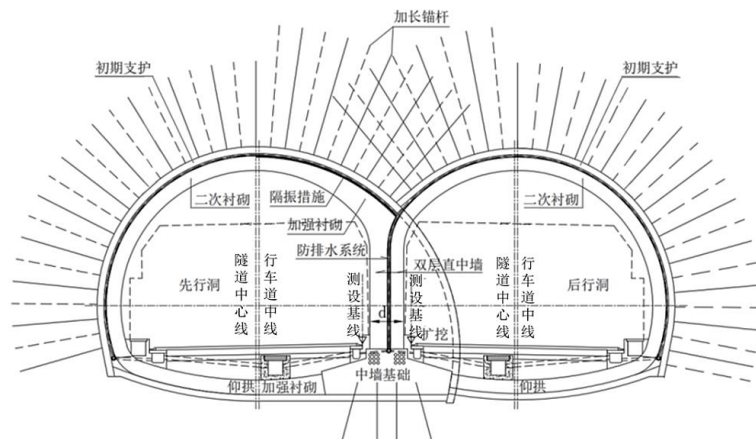


图 5.1-3 无中导双层直中墙连拱隧道

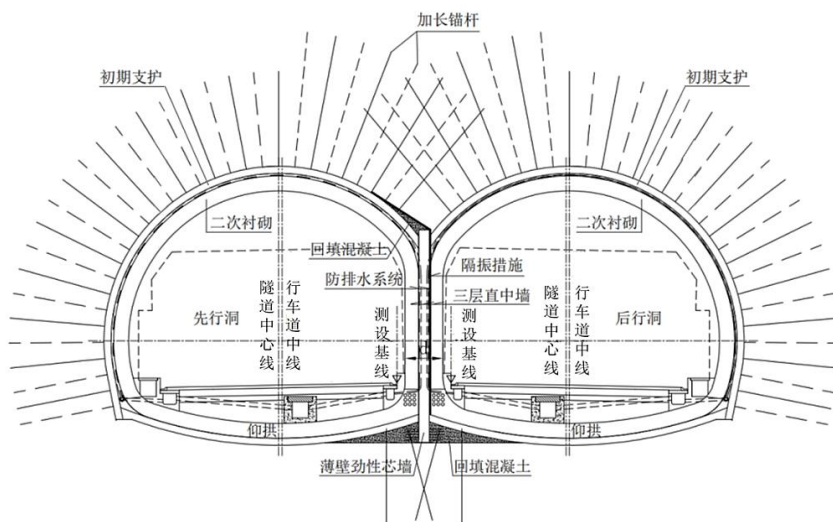


图 5.1-4 无中导三层直墙连拱隧道

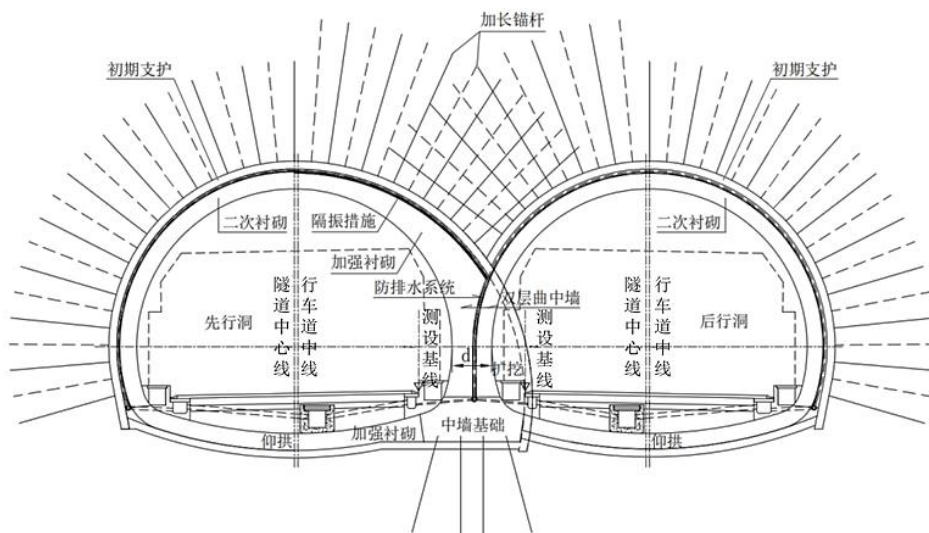


图 5.1-5 无中导双层曲中墙连拱隧道

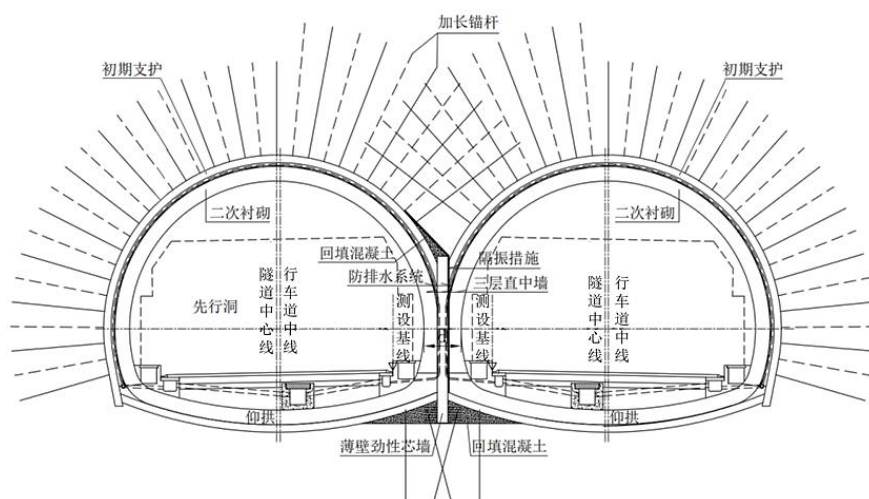


图 5.1-6 无中导三层曲中墙连拱隧道

5.2 小净距隧道分为近零净距隧道、极小净距隧道、较小净距隧道、一般小净距隧道。小净距隧道隧道布置可参考图 5.2-1 ~ 图 5.2-4。

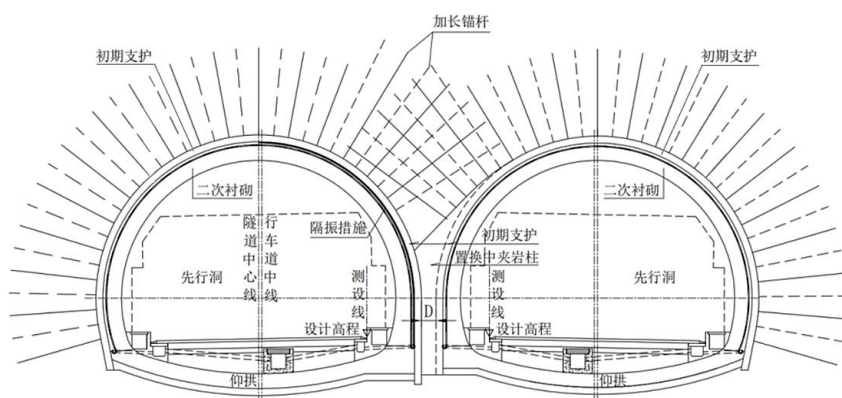


图 5.2-1 近零净距隧道

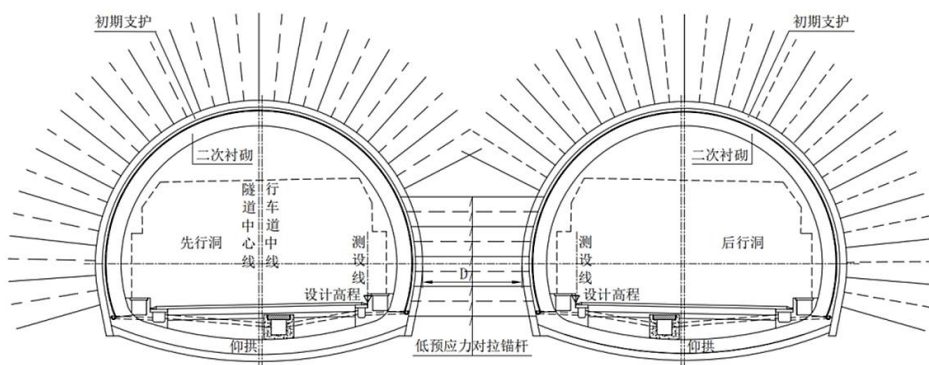


图 5.2-2 极小净距隧道

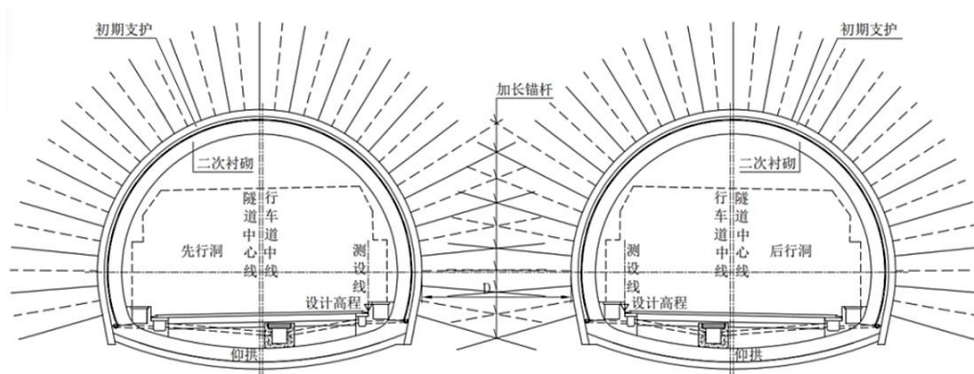


图 5.2-3 较小净距隧道

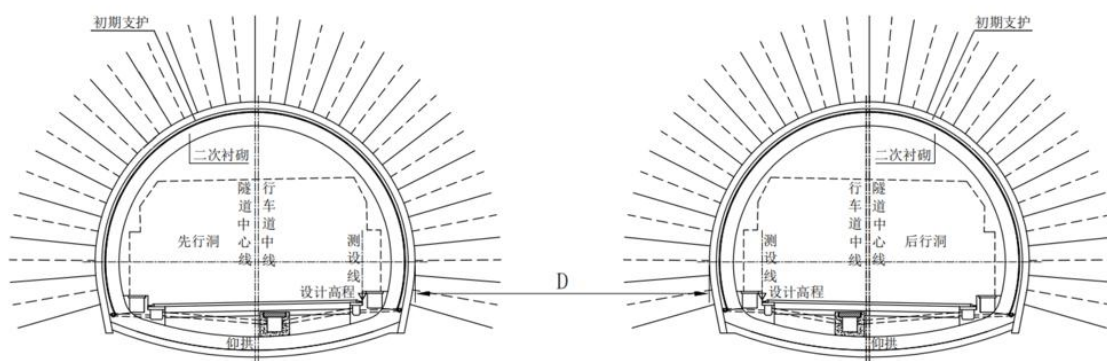


图 5.2-4 一般小净距隧道

6 勘察与测量

6.1.1 连拱与小净距隧道的勘察与测量工作应按《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660)、《公路勘测规范》(JTG C10)、《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)等相关要求执行外，还应按下列规定执行。

- 1 连拱与小净距隧道的勘察与测量工作编制勘察大纲，根据实际地形地质情况综合选取勘察技术方法及手段。
- 2 连拱与小净距隧道应按重要工点，并根据地质环境复杂程度布设勘探点，并应针对中夹岩柱范围的地质条件提出合理的勘察与测量手段。

【条文说明】 《公路工程地质勘察规范》(JTG C20) 将工程地质条件分为复杂、较复杂和简单三种，对隧道勘探点工作量的布设主要取决于地质条件，小净距隧道的受力比较复杂，地质条件决定了隧道的布置形式和中夹岩柱加固措施，除考虑地质环境复杂程度外，还应考虑小净距隧道的工程重要性，按重要工点布设勘探工作量。

- 3 连拱与小净距隧道穿越不良地层时，应开展地质专项勘察。应与整个公路建设项

目的勘察与测量工作统筹、协调进行，初勘、详勘阶段应适当增加工作深度要求，为各阶段隧道设计提供资料完整、准确的成果资料。

【条文说明】 小净距隧道只是整个公路建设项目的个别工点，其勘察与测量工作应与整个项目统筹、协调进行。但考虑到小净距隧道的受力比较复杂，特别是桥隧相接的复杂洞口，除常规的勘察与测量工作外，应增加初勘、详勘阶段勘察深度要求，包括水文地质勘察、地质探测、岩石力学参数测定、地下水位监测、环境影响评价等，隧道控制测量宜提前到初步设计阶段；桥隧相接洞口、地形偏压严重局部地段对隧道方案有重大影响时，初测阶段应进行中线及横断面测量，且每幅隧道纵断面测量宜布置左、中、右 3 条测线。地质勘察应根据地质环境复杂程度布设勘探点工作量，并应有针对中夹岩柱的勘察手段和方法，查明中夹岩柱的地质构造、岩层产状、软弱结构面等。

6.1.2 连拱与小净距隧道地质评价应采用定性和定量相结合的方法，核定隧道围岩岩性、划分并判定围岩等级，并重点评价隧道洞口滑塌、坍方、涌水涌泥、岩溶塌陷等地质灾害发生的可能性、洞口工程偏压状态、仰坡稳定性、周边环境影响，特别是中夹岩柱的地质构造、岩层产状、软弱结构面等物理力学参数。

6.1.3 地形陡峭、偏压严重、桥隧相接的小净距隧道洞口需要考虑隧道和桥梁结构的衔接和过渡，设计特殊的过渡段或转换结构，以适应净距的变化，确保结构的稳定性和安全性。应综合考虑桥梁与隧道布设进行联合勘察与测量，对桥梁岸坡及隧道仰坡稳定性进行综合评价，地质条件复杂时应进行专题研究。

6.1.4 地形图测绘范围应满足隧道布设、洞口选择及辅助施工通道设置等需要，地形测量应符合下列要求：

- 1 工可勘察阶段应收集已有的地形资料（1:50000 及 1:10000 地形图），并辅以必要的现场踏勘，全面了解和核对大范围的地形地貌，地形图范围应大于路线方案外中线外 1.0 km，且应满足方案比选的需要。

- 2 初步勘察阶段应在已收集的地形资料基础上，对路线方案走廊带进行 1:2000 ~ 1:1000 地形图收集或测绘工作，同时应对重要控制要素进行现场测量，对影响隧道方案的重要地段进行调绘测量，地形图范围应大于路线中线外 500 m，且应满足地质调绘和隧道布设、洞口设计以及辅助工程、排水弃渣等其它设计需要。

- 3 详细勘察阶段应对初测地形图进行现场核对及必要的修测和补充。

4 地形图测量应包含可能受隧道影响的地物、建构筑物、地下管线等，设计有特殊需求时，应根据需要扩大测绘范围或提高精度。

【条文说明】 参考《公路勘测规范》（JTG C10）、《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）等相关要求，根据小净距隧道各勘察阶段和设计需求确定了地形图测绘比例和测量范围。

6.1.5 隧道初测阶段可不专门布设隧道平面和高差控制网，但在布设路线控制网时每端应各布设不少于3个控制点，以方便相互校核，并纳入路线控制测量进行施测。与悬索桥、斜拉桥、拱桥等特殊桥梁相接的隧道，控制测量宜在初测阶段进行，宜采用独立平面及高程控制网，且平面控制网等级不低于二等。

【条文说明】 根据《公路勘测规范》（JTG C10）第8.9.1条隧道初测阶段可不专门布设隧道平面和高差控制网，但在布设路线控制网时每端应各布设必要的控制点，并纳入路线控制测量进行施测。考虑到与悬索桥、斜拉桥、拱桥等特殊桥梁相接的隧道，桥梁与隧道方案的平面位置较为明确，特殊桥梁和隧道相接工程的重要性，故提出适当加强初测工作，控制测量宜在初测阶段进行，宜采用独立平面与高程控制网，且平面控制网等级不低于二等。

6.1.6 定测阶段应进行隧道中线及横断面测量；桥隧相接洞口、地形偏压严重局部地段对隧道方案有重大影响时，初测阶段应进行中线及横断面测量，且每幅隧道纵断面测量宜布置左、中、右3条测线。

【条文说明】 根据《公路勘测规范》（JTG C10）定测阶段应进行隧道中线及横断面测量，在桥隧相接洞口、地形偏压严重局部地段对隧道方案有重大影响时，初测阶段进行中线和横断面测量可更加有效地评估方案的合理性，提出加强初测工作和纵断面测量要求。

6.1.7 隧道洞口位置前后各不小于50m范围，中线纵断面测量中桩间距不应大于10m，并根据地形变化情况进行加桩，地形复杂的洞口中桩间距不宜大于5m。隧道洞口所有中桩均应进行横断面测量，横断面测量范围应满足洞口及边仰坡设计需求，根据各断面的填挖高度、边仰坡开挖及其它特殊要求而定。

【条文说明】 根据《公路勘测规范》（JTG C10）隧道中桩和洞口横断面测量要求，根据隧道洞口设计提出横断面测量范围应满足洞口及边仰坡设计需求。

6.1.8 特别陡峻的深切沟谷地形、测设人员无法到达的隧道洞口，可采用无人机激光雷达点云技术等先进方法进行测绘，并在隧道施工过程中进行现场复测。

【条文说明】 特别陡峻的深切沟谷地形，测设人员无法到达的隧道洞口进行测量，宜采用无人机激光雷达点云技术等先进方法进行测绘，并在施工中具备条件后进行现场复测，及时调整隧道洞口方案。

6.1.9 与悬索桥隧道锚洞室近接的小净距隧道，应根据锚碇系统与隧道空间位置关系选取勘察手段和方法，隧道锚洞室宜沿锚索轴线布置斜向钻孔。

【条文说明】 与悬索桥隧道锚洞室近接的小净距隧道，隧道锚洞室可能分布在隧道上方或下方，应根据锚碇系统与隧道空间位置关系选取勘察手段和方法，隧道锚洞室地质对锚碇系统及洞室稳定性非常关键，宜沿轴线布置斜向钻孔，有条件 and 需求时小净距隧道可布置水平定向钻孔。

7 设计

7.1 一般规定

7.1.1 连拱与小净距隧道布置形式应根据公路线形、隧道间距、断面大小，综合考虑地质地形条件、周边环境、两端接线条件等因素确定，并进行全面技术经济比选。

7.1.2 桥隧相接的连拱与小净距隧道洞口应进行边仰坡稳定性评价，需处治时应进行综合处治设计。

7.1.3 连拱与小净距隧道洞口设计应合理选择明暗分界，尽量减少边仰坡开挖，避免产生高陡的人工边坡和破坏洞口自然环境。

7.1.4 连拱中墙侧与小净距隧道中夹岩柱侧宜形成闭合成环的排水系统。

7.2 总体设计

7.2.1 连拱与小净距隧道不应设置在地形偏压严重及滑坡、崩塌、岩堆、泥石流等不良地质地段。

7.2.2 连拱、近零净距、极小净距隧道应作为路线总体布设的重要因素。

7.2.3 隧道总体布设宜尽量避免采用连拱或近零净距隧道，洞口条件受限或与整体设计的悬索桥、斜拉桥等特殊桥梁相连的隧道，可采用连拱、近零净距或分岔隧道。

7.2.4 分岔隧道宜采用连拱经小净距逐渐过渡到分离式隧道，必要时洞口可采用单洞大跨

隧道，经连拱、小净距过渡到分离式隧道。

【条文说明】由于单洞大跨度隧道施工难度及造价较高，分岔隧道洞口段推荐采用连拱隧道，经小净距隧道逐渐过渡到分离式隧道。

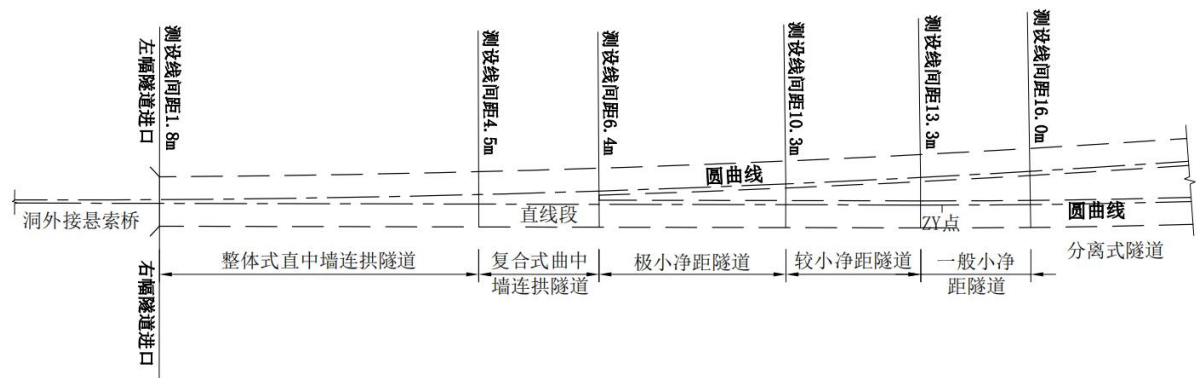


图 7.2-1 分岔隧道布置参考实例

7.2.5 地形陡峭无法布设施工便道及场地的洞口，可采用斜井、横洞等辅助施工通道反向掘进出洞，辅助施工通道应纳入隧道设计内容。

7.3 隧道线形设计

7.3.1 隧道洞口外为路基或普通梁桥时，宜在洞外设置曲线使隧道平面尽快分开；隧道洞口与特殊结构桥梁相接时，综合考虑桥梁设计及施工难度，洞口段宜采用直线或大半径曲线布置。

7.3.2 隧道线形应满足视距的要求，高速公路、一级公路隧道圆曲线半径宜满足表 7.3-1 的要求，不宜采用设加宽的圆曲线。

表 7.3-1 高速公路、一级公路隧道最小平曲线半径

设计速度（km/h）		120	100	80	60
小车视距（m）		210	160	110	75
货车视距（m）		245	180	125	85
下坡路段货车修正视距（m）		245～265	180～190	125～130	85～89
圆曲线半径（m）	行车方向左转	2100	1350	960	600
	行车方向右转	2000	1300	960	600

【条文说明】根据《公路工程技术标准》（JTG B01）、《公路路线设计规范》（JTG D20）相关规定，高速公路、一级公路的一般路段，每条车道的视距应满足停车视距要求，同时应采用下坡段货车停车视距对相关路段进行检验。综合考虑隧道内行车安全、行车舒

适性、洞内超高、停车视距及下坡路段货车停车视距检验等因素，高速公路、一级公路隧道最小平曲线半径宜满足 7.3-1 的要求，表中下坡路段货车修正视距参照《公路工程技术标准》(JTG B01)表 B.0.1-3 及隧道最大纵坡 3%的规定选取，参照《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)、《公路隧道设计细则》(JGT/T D70)等相关规范进行下坡路段货车视距验算。

7.3.3 不采用分段式通风隧道纵坡宜采用单向坡，采用分段式通风或地下水特别发育的长隧道、特长隧道可采用双向坡，隧道最小纵坡不小于 0.3%、最大纵坡宜符合表 7.3-2 规定。

表 7.3-2 隧道最大纵坡表

隧道长度	>3000 m	3000m ~ 1000 m	1000m ~ 100 m	<100 m
一般纵坡 (%)	2%	2.5%	2.5%	3.5%
最大纵坡 (%)	2.5%	3%	3%	5%

7.3.4 隧道纵断面不宜采用凹曲线，当隧道洞口需设置凹曲线时，洞口不应设置在凹曲线最低点，并应设置完善的排水系统。

7.4 隧道断面设计

7.4.1 隧道横断面设计应根据洞外路基或桥梁设计横断面确定隧道的测设基线、设计高程点、行车道中心线、路面横坡等指标。

7.4.2 隧道检修道或人行道高度应进行视距检验，满足视距通视要求，宜按表 7.4-1 取值。

表 7.4-1 隧道检修道或人行道高度

设计速度 (km/h)	120	100	80	60
检修道或人行道高度 (cm)	40 ~ 55	35 ~ 50	30 ~ 45	25 ~ 45

【条文说明】《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)规定隧道检修道或人行道高度可按 25 ~ 80 cm 取值，但其高度高于 55 cm 后会影响到货车视距不能通视隧道检修道或人行道，表 7.4-1 参考货车视距验算及省内外公路隧道设计，根据设计速度细化隧道检修道或人行道高度值。

7.4.3 桥隧相接洞口当桥梁伸入隧道时，应根据桥梁横断面拟定隧道内轮廓，隧道与桥梁之间应预留足够的施工空间。

7.4.4 根据隧道单洞开挖跨度及围岩条件，连拱与小净距隧道横断面布置形式参照 7.4-2 确定，小净距隧道中夹岩厚度根据围岩条件参照表 7.4-3 选取，当小于表中规定值时应进行专项论证。

表 7.4-2 不同型式的隧道横断面布置

隧道断面	连拱隧道			小净距隧道			
	整体式中墙连拱	复合式中墙连拱	无中导双层、三层中墙连拱	近零净距	极小净距	较小净距	一般小净距
两车道	$d \geq 1.2\text{m}$	$2\text{m} \leq d < 3\text{m}$	$d \geq 1.4\text{m}$	$0\text{m} \leq D < 1\text{m}$	$1\text{m} \leq D < 6\text{m}$	$6\text{m} \leq D < D1$	$D1 \leq D < D2$
三车道	$d \geq 1.6\text{m}$	$2.4\text{m} \leq d < 3.5\text{m}$	不采用	不宜采用	$3\text{m} \leq D < 7\text{m}$	$7\text{m} \leq D < D1$	$D1 \leq D < D2$
四车道	不采用	不采用	不采用	不采用	$6\text{m} \leq D < 9\text{m}$	$9\text{m} \leq D < D1$	$D1 \leq D < D2$

注: d 为中墙结构厚度(左右洞内轮廓最小净距), 见图 5.1-1 ~ 图 5.1-6; D 为中夹岩柱厚度, 见图 5.2-1 ~ 图 5.2-4。

表 7.4-3 小净距隧道中央岩厚度取值

岩石坚硬程度	围岩级别					
	V级 ($BQ \leq 250$)		IV ($250 < 2BQ \leq 350$)		III ($350 < 2BQ \leq 450$)	
	D1	D2	D1	D2	D1	D2
$R_c \leq 5\text{MPa}$ (极软岩)	1.5B	2.0B	—	—	—	—
$5\text{MPa} \leq R_c < 15\text{MPa}$ (软岩)	1.2B	1.7B	1.0B	1.5B	—	—
$15\text{MPa} \leq R_c < 30\text{MPa}$ (较软岩)	1.0B	1.5B	0.8B	1.3B	0.7B	1.2B
$R_c \geq 30\text{MPa}$ (较坚硬岩 ~ 坚硬岩)	0.8B	1.3B	0.7B	1.2B	0.6B	1.0B

注: B—隧道单洞开挖跨度。

【条文说明】 由于整体式中墙连拱隧道中墙顶与中导洞拱顶通常回填不密实、中墙顶与二次衬砌存在纵向施工缝、防水层不连续等缺点, 《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1) 规定宜采用复合式中墙连拱隧道, 未对整体式中墙的结构厚度进行规定, 在附录 P 规定两车道复合式中墙连拱隧道钢筋混凝土中墙厚度 $1.4 \sim 2.5\text{m}$, 三车道复合式中墙连拱隧道钢筋混凝土中墙厚度 $2.0 \sim 3.5\text{m}$ 。《公路隧道设计细则》(JTG/T D70) 第 13.6.3 条规定双车道连拱隧道设计为整体式中墙时, 中墙厚度不宜小于 1.4m , 设计为复合式中墙式, 芯墙厚度不宜小于 1.0m ; 三车道连拱隧道设计为整体式中墙时, 中墙厚度不宜小于 1.6m , 设计为复合式中墙式, 芯墙厚度不宜小于 1.2m 。根据贵州省桥隧相连工程实践, 连拱隧道中墙结构厚度增大会导致洞外斜拉桥、悬索桥桥幅加宽, 从而增加工程投资, 两车道整体式直中墙连拱隧道中墙结构厚度可适当减小至 1.2m , 通过加强中墙结构配筋满足结构安全。两车道复合式中墙 2.0m 最小结构厚度为 1.0m 芯墙加两侧各 0.5m 二次衬砌厚度, 两车道复合式中墙 2.4m 最小结构厚度为 1.2m 芯墙加两侧各 0.6m 二次

衬砌厚度。两车道无中导双层中墙连拱隧道中墙 1.4 m 最小结构厚度为先行洞 0.8 m 加后行洞 0.6 m，两车道无中导三层中墙连拱隧道中墙 1.4 m 最小结构厚度为 0.4 m 薄壁劲性芯墙加两侧各 0.5 m 二次衬砌厚度。

小净距隧道中夹岩柱厚度取值表 7.4-3 根据《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1) 及《公路隧道设计细则》(JTG/T D70)，结合围岩 R_c 值、BQ 值和围岩级别进行了细分，参照重庆、广东等省份经验，结合贵州省公路隧道实际情况确定了小净距隧道两洞净距及中夹岩柱厚度，有条件情况宜优先采用施工难度及造价较低的较小净距或一般小净距隧道。表中单洞开挖跨度 B 两车道隧道按 13~14 m、三车道隧道按 17~18 m、四车道隧道按 21~22 m 考虑。

7.4.5 煤系地层、炭质泥岩、炭质板岩、炭质页岩等变形较大的软弱围岩地层，隧道净距不宜小于 2 倍开挖宽度。

【条文说明】 煤系地层、炭质泥岩、炭质板岩、炭质页岩等变形较大的软弱围岩地层，后行洞施工对先行洞扰动较大，容易导致先行洞发生仰拱底鼓、衬砌开裂等病害，结合贵州省个别隧道发生的病害，要求此类地层隧道净距不宜小于 2 倍开挖宽度。

7.4.6 中墙厚度大于 1.4 m 的两车道连拱隧道宜采用无中导双层直中墙连拱隧道，岩石单轴饱和抗压强度 R_c 大于 20 MPa 且围岩稳定性地层可采用无中导三层直中墙连拱隧道。中墙厚度 2~3 m 的两车道连拱隧道宜采用近零净距隧道。

【条文说明】 由于传统的连拱隧道施工需开挖中导洞，工序比较复杂，功效较低，且整体式直中墙连拱隧道纵向施工缝易发生渗漏水病害，根据云南及贵州省已实施的部分连拱隧道建设经验，中墙厚度大于 1.4 m 的两车道连拱隧道优先推荐采用无中导两层中墙连拱隧道，岩石单轴饱和抗压强度大于 20 MPa 且围岩稳定性地层可采用无中导三层中墙连拱隧道。中墙厚度 2~3 m 的两车道连拱隧道宜采用近零净距隧道。

7.4.7 隧道人行横通道不宜设置在连拱隧道、零净距隧道段，车行横通道及隧道紧急停车带不宜设置在近零净距、极小净距、较小净距段。

【条文说明】 连拱隧道、近零净距隧道段左右洞距离较小，设置人行横通道对隧道结构不利，同时也不利于人行横洞防火门开启和防止左右洞火灾时串烟。近零净距、极小净距、超小净距段左右洞距离较短，设置车行横通道不利于救援车辆迂回通行，同时紧急停车带断面较大，对近零净距、极小净距、较小净距隧道结构不利。

7.5 隧道洞口设计

7.5.1 连拱隧道、近零净距隧道、极小净距隧道宜采用左右洞在同一断面整体式洞门，较小净距、一般小净距隧道可选择采用整体式或错位分离式洞门，尽量减少洞口边仰坡开挖。

7.5.2 洞口浅埋偏压段小净距隧道施工顺序以地形地质确定，且应选择山体外侧隧道为先行洞，内侧隧道为后行洞。当外侧隧道为明洞时，应先施工外侧明洞反压回填后再施工内侧后行洞。

【条文说明】 洞口浅埋偏压小净距隧道施工工序受地形偏压角度、岩层产状等因素影响，但从总体来看，主要还是受地形偏压的影响较大，施工顺序宜以地形确定为主。查阅的相关文献，以山体外侧或山体内侧为先行洞的观点都有，考虑到山体外侧隧道埋深较浅，地质条件通常较内侧差，以山体外侧隧道作为后行洞，施工对先行洞围岩的二次扰动较大，对先行洞隧道结构不利，推荐选择山体外侧隧道为先行洞，内侧隧道为后行洞。当外侧隧道为明洞时，外侧明洞施工反压回填后可有效平衡山体围岩下滑力，对内侧暗挖隧道有利，应先施工外侧明洞反压回填。

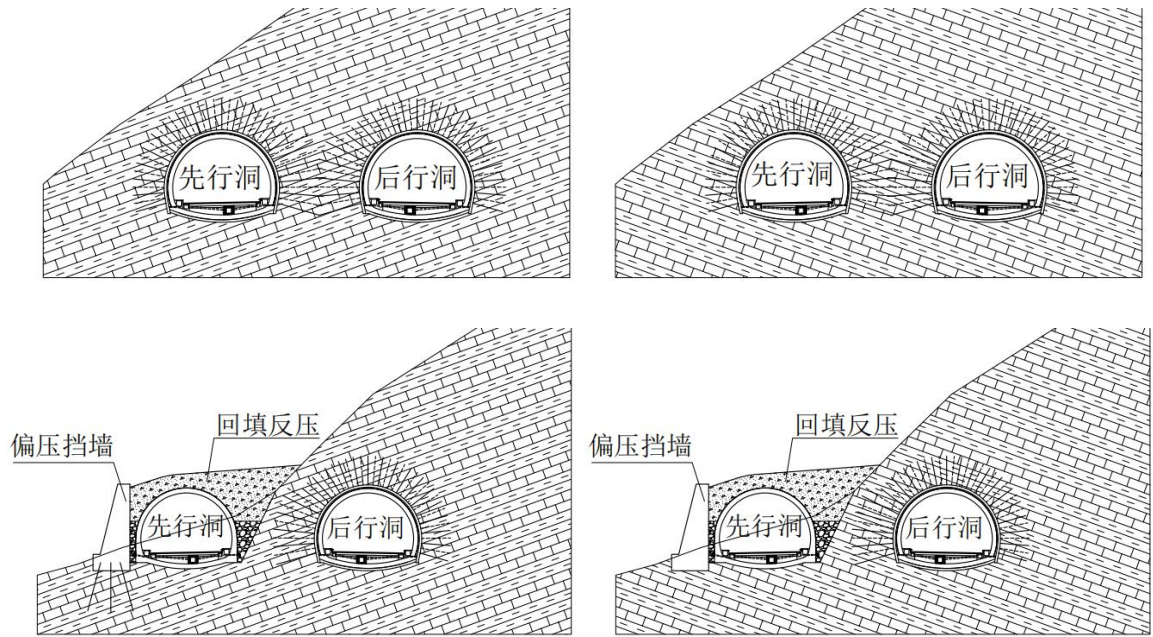


图 7.5-1 洞口浅埋偏压段小净距隧道施工顺序

7.5.3 连拱隧道、近零净距隧道左右洞不应存在明显高差，极小净距、较小净距、一般小净距隧道左右洞设计高程点连线水平夹角宜小于 30°。左右洞存在较大高差的小净距隧道，宜以较低幅隧道作为先行洞，较高幅隧道作为后行洞。

【条文说明】左右洞存在明显高差对连拱隧道、零净距隧道结构受力不利，极小净距、较小净距、一般小净距隧道可根据路线总体、洞外工程、地形地质等布置左右幅洞存在一定高差的隧道，但考虑到中夹岩柱稳定性及隧道车、人行横通道布置，左右洞设计高程点连线水平夹角宜小于 30° 。

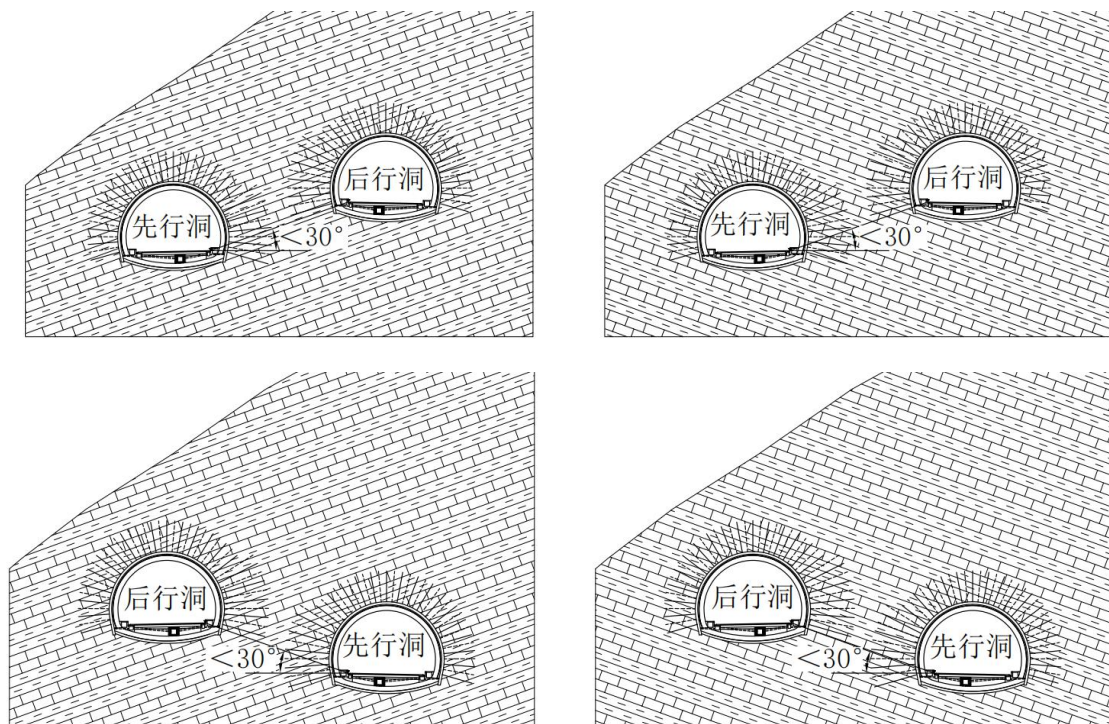


图 7.5-2 存在高差的小净距隧道施工顺序

7.6 隧道结构设计

7.6.1 无中导双层中墙连拱隧道应符合下列规定：

- 1 先行洞支护结构应适当加强，地质较差时初期支护应封闭成环。
- 2 中墙应设置基础，地基承载力应满足要求。
- 3 中墙顶鞍部应进行加强设计。
- 3 中墙顶鞍部先行洞初期支护与二次衬砌之间应设置隔振层，后行洞应采取施工扰动控制措施。
- 4 先行洞中墙部位衬砌厚度不宜小于 80 cm。

【条文说明】无中导双层中墙连拱隧道是在整体式中墙连拱隧道基础上改进施工工艺和隧道结构而来的隧道结构，根据贵州省及周边省份部分工程实践，首先应结合地形地质明确隧道的先行洞和后行洞，并对先行洞支护结构适当加强，地质较差时初期支护应封闭成环。中墙基础是该类隧道结构的关键部位，地基软弱时应设置注浆钢花管或系统锚杆

进行加固，同时左右洞拱部交叉部位宜采用加长注浆钢花管或系统锚杆进行加固。后行洞施工对先行洞中墙上部与后行洞交叉部位扰动较大，应设置减隔振措施，同时后行洞施工应采用施工扰动控制措施。后行洞初期支护置于先行洞中墙上部，先行洞中墙部位衬砌厚度不宜小于 80 cm。

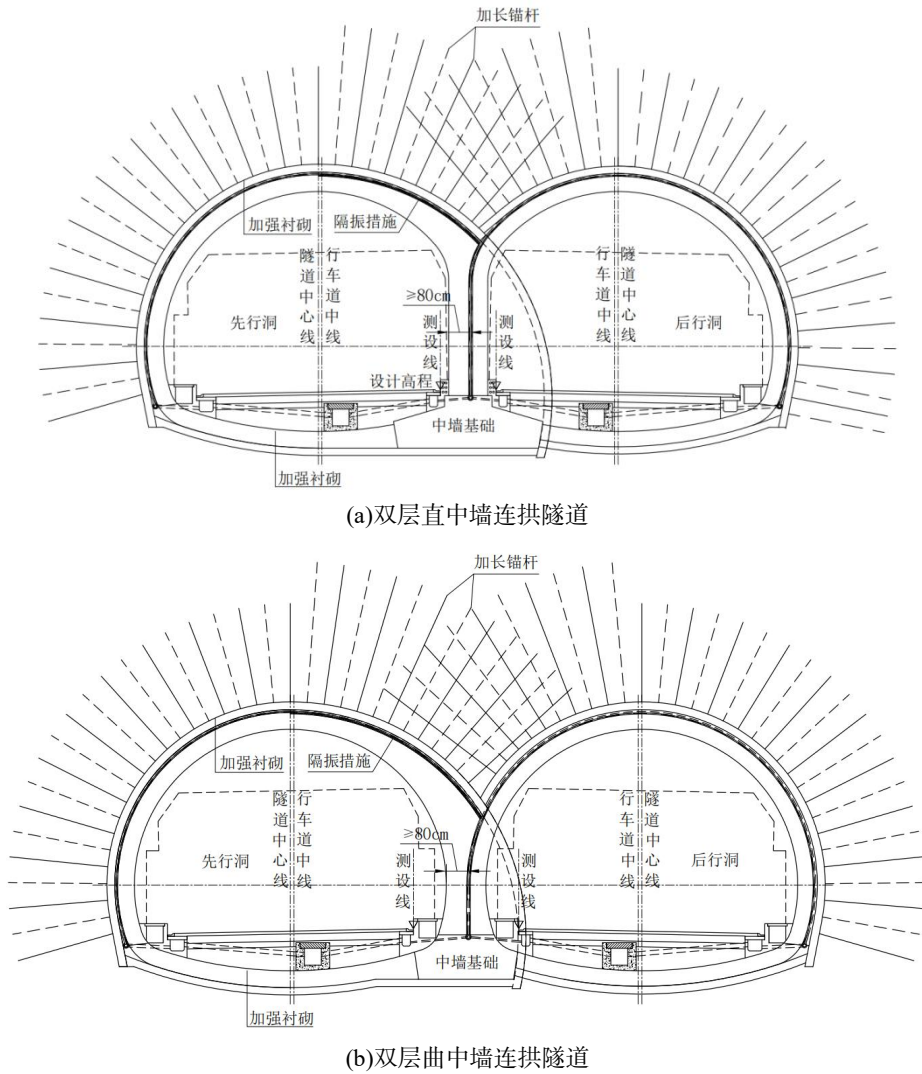


图 7.6-1 两车道无中导双层中墙连拱隧道

7.6.2 无中导三层中墙连拱隧道应符合下列规定：

- 1 先行洞支护结构应适当加强，地质较差时初期支护应封闭成环。
- 2 薄壁劲性中墙结构钢架宜采用 H 型钢；纵向连接钢筋不宜小于 $\Phi 22$ ，环向间距不宜大于 60 cm，必要时采用型钢纵向连接。
- 3 中墙底部钢架应设置垫板，回填混凝土强度等级不低于 C25。
- 4 中墙鞍部应进行加强设计。
- 5 先行洞中墙及墙顶鞍部初期支护与二次衬砌之间应设置隔振层，后行洞应采取施

工扰动控制措施。

【条文说明】 无中导三层中墙连拱隧道是在整体式中墙连拱隧道基础上改进施工工艺和隧道结构提出的一种新型隧道结构，首先应结合地形地质明确隧道的先行洞和后行洞，并对先行洞支护结构适当加强，地质较差时初期支护应封闭成环。薄壁劲性中墙是这种隧道结构的关键部位，其整体稳定性是隧道结构安全的关键，因此提出加强钢架纵向连接、加大底部钢架垫板面积及回填混凝土等措施，中墙基础地基软弱时应设置注浆钢花管或系统锚杆，左右洞拱部交叉部位宜采用加长注浆钢花管或系统锚杆进行加固。先行洞中墙部位紧贴后行洞围岩，应设置减隔振措施，后行洞施工应采用施工扰动控制措施。由于拱脚部位二次衬砌厚度较小，设置纵向排水管会侵占中墙侧衬砌厚度，可不设纵向排水管，直接将横向排水管引入路侧边沟。

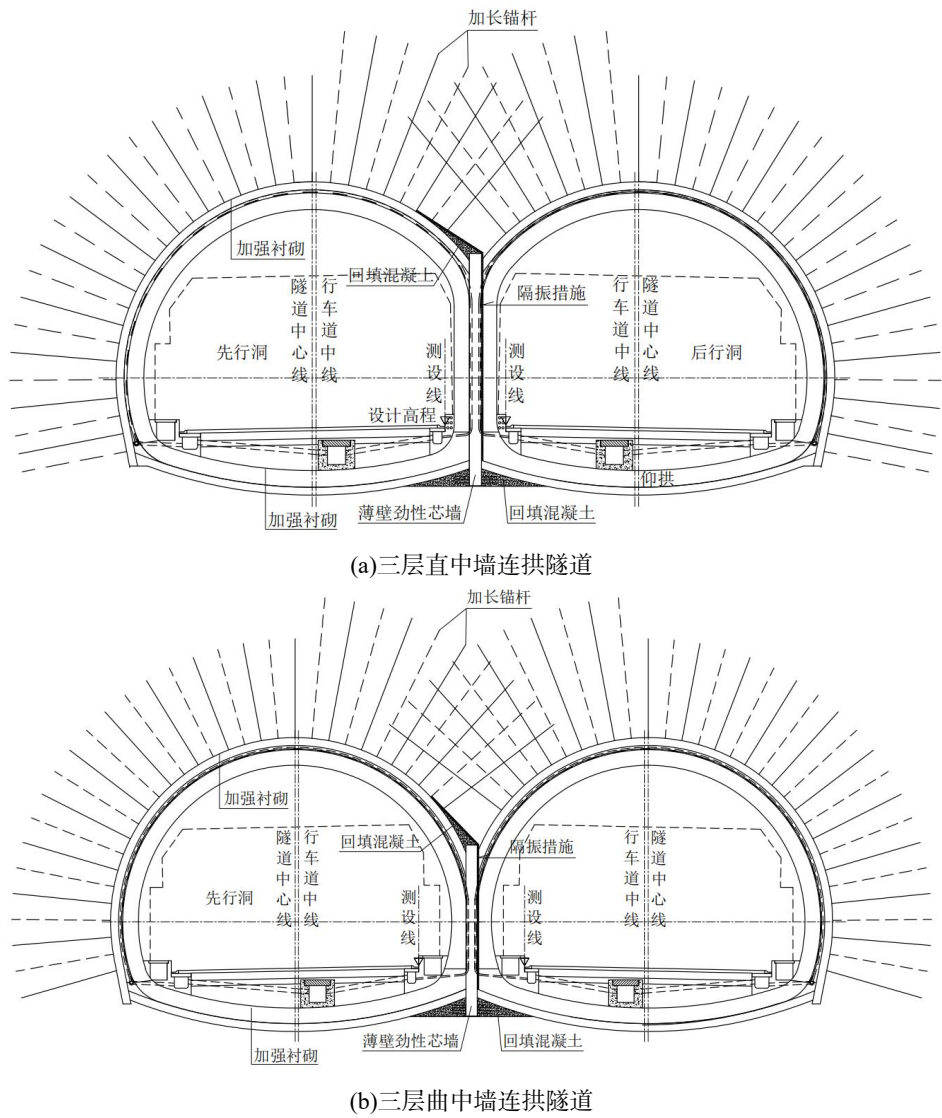
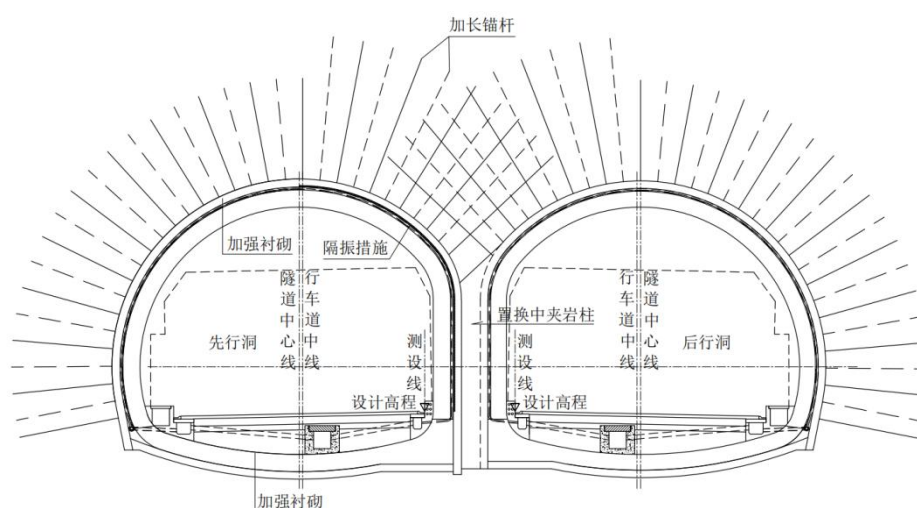


图 7.6-2 两车道无中导三层中墙连拱隧道

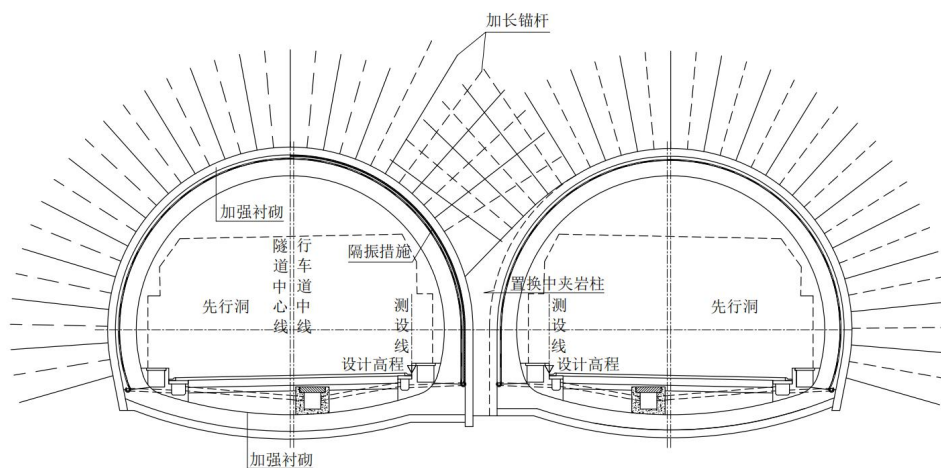
7.6.3 近零净距隧道应符合下列规定：

- 1 先行洞支护结构应适当加强，地质较差时初期支护应封闭成环。
- 2 中夹岩柱部位左右洞初期支护宜独立成环，中夹岩柱无法保留时可挖除中夹岩柱并采用不低于 C25 混凝土回填密实。
- 3 中夹岩柱鞍部应进行加强设计。
- 4 先行洞中夹岩柱及鞍部初期支护与二次衬砌之间应设置隔振层，后行洞应采取施工扰动控制措施。

【条文说明】 近零净距隧道是在复合式中墙连拱隧道基础上改进施工工艺和隧道结构提出的新型隧道结构，首先应结合地形地质明确隧道的先行洞和后行洞，并对先行洞支护结构适当加强，地质较差时初期支护应封闭成环。根据周边省份部分软弱地质条件下无中导连拱隧道中墙后行洞初期支护型钢拱架搭设在先行洞初期支护型钢拱架导致中墙部位衬砌开裂、破坏等病害原因分析，根据贵州省盘兴高速旧屋隧道、桐新高速梨树坪隧道工程经验，要求中夹岩柱部位左右洞初期支护宜独立成环，中夹岩柱可能无法保留时需挖除中夹岩柱并采用混凝土回填补强，回填混凝土强度等级不低于 C25。中夹岩柱部位地基承载力软弱会导致仰拱底鼓或中夹岩柱部位衬砌开裂、破坏，地基软弱时应设置注浆钢花管或系统锚杆，左右洞拱部交叉部位宜采用加长注浆钢花管或系统锚杆进行加固。先行洞中夹岩柱部位紧贴后行洞围岩，应设置减隔振措施，后行洞施工应采用施工扰动控制措施。



(a)近零净距直墙隧道



(b)近零净距曲墙隧道

图 7.6-3 两车道近零净距隧道布置横断面图

7.6.4 极小净距隧道应符合下列规定：

- 1 先行洞支护结构应适当加强，地质较差时初期支护应封闭成环。
- 2 中夹岩柱宜采用低预应力钢筋对拉锚杆进行加固，对拉锚杆直径不宜小于 25 mm，预应力不小于 10 kN，地质较差时宜先注浆加固后再设置对拉锚杆。
- 3 先行洞中夹岩柱及鞍部初期支护与二次衬砌之间宜设置隔振层，后行洞应采取施工扰动控制措施。
- 4 三车道、四车道极小净距隧道宜采用 CD 法或双侧壁导坑法分部开挖，宜将左右幅隧道中夹岩柱部位导坑作为先行导坑，中夹岩柱加固后再开挖其它部位。

【条文说明】 极小净距隧道是一种比较成熟的结构型式，左右洞施工顺序、爆破振动控制、中夹岩柱对拉锚杆是控制重点，三车道、四车道跨度较大，极小净距隧道宜采用 CD 法或双侧壁导坑法分部开挖，宜将左右幅隧道中夹岩柱部位导坑作为先行导坑，中夹岩柱加固后再开挖其它部位。

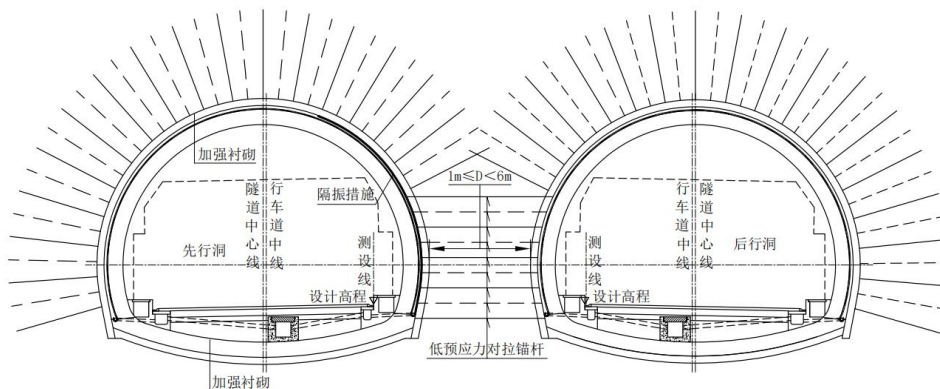


图 7.6-4 两车道极小净距隧道布置横断面图

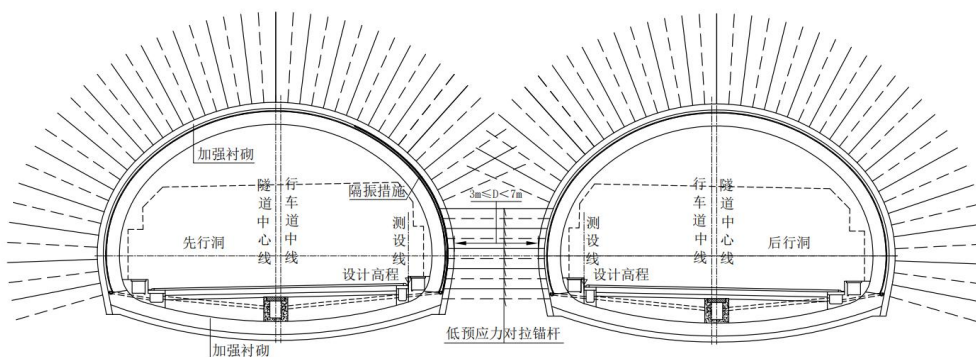


图 7.6-5 三车道极小净距隧道布置横断面图

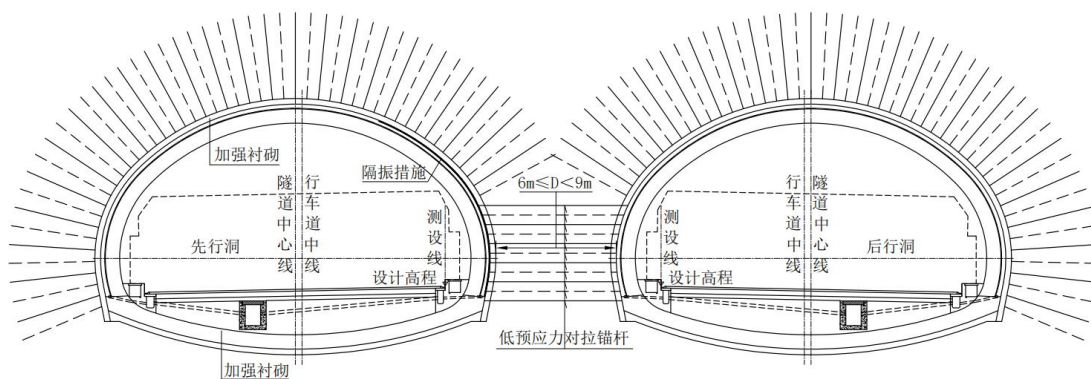


图 7.6-6 四车道极小净距隧道布置横断面图

7.6.5 较小净距隧道应符合下列规定：

- 1 中夹岩柱宜采用注浆钢花管或加长锚杆进行加固。
- 2 隧道施工应采用控制爆破并明确后行洞爆破振动速率，控制后行洞开挖面与先行洞的施工步距。
- 3 三车道、四车道较小净距隧道采用 CD 法或双侧壁导坑法分部开挖时，宜将左右幅

隧道中夹岩柱部位导坑作为先行导坑，中夹岩柱加固后再开挖其它部位。

【条文说明】 较小净距隧道是一种常用的隧道结构型式，左右洞施工顺序、爆破振动控制、中夹岩柱加固措施是控制重点，三车道、四车道跨度较大，较小净距隧道宜采用CD法或双侧壁导坑法分部开挖，宜将左右幅隧道中夹岩柱部位导坑作为先行导坑，中夹岩柱加固后再开挖其它部位。

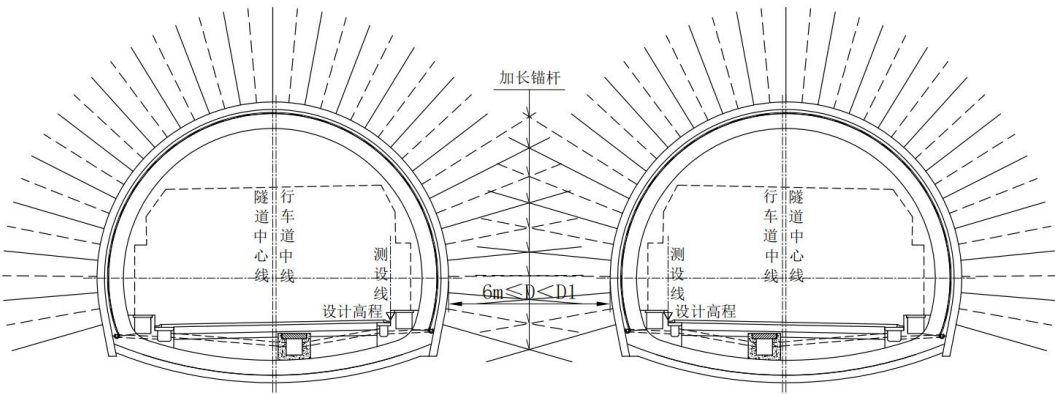


图 7.6-7 两车道较小净距隧道布置横断面图

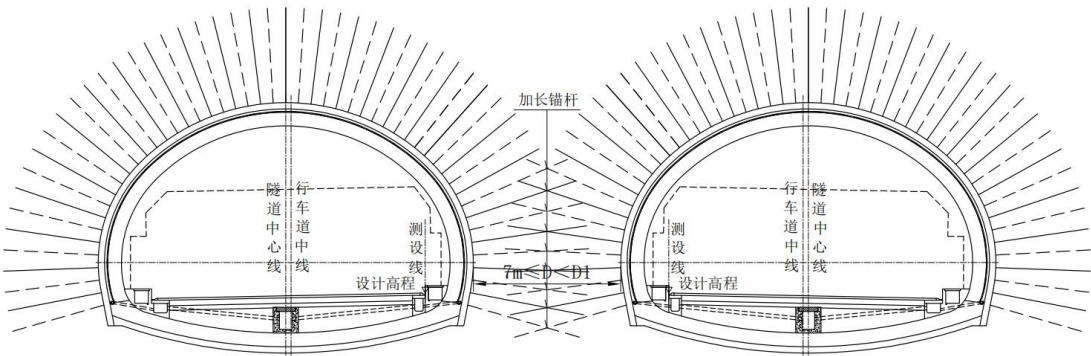


图 7.6-8 三车道较小净距隧道布置横断面图

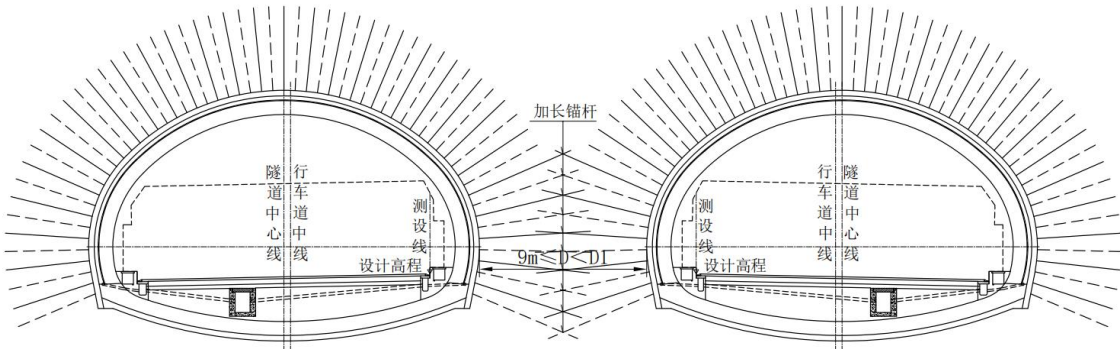


图 7.6-9 四车道较小净距隧道布置横断面图

7.6.6 一般小净距隧道应符合下列规定：

- 1 隧道支护结构可按分离式隧道进行设计。
- 2 可按分离式隧道开挖工法进行施工，但应控制后行洞开挖面与先行洞的施工步距。
- 3 地形偏压、地质较差时宜动态调整后行洞开挖方法，将中夹岩柱部位导坑作为先行导坑。

【条文说明】一般小净距隧道双洞彼此产生轻微影响，支护结构可按分离式隧道进行设计，无需特殊考虑支护结构与中夹岩柱加固措施，仅考虑施工控制措施解决双洞相互影响的小净距隧道。

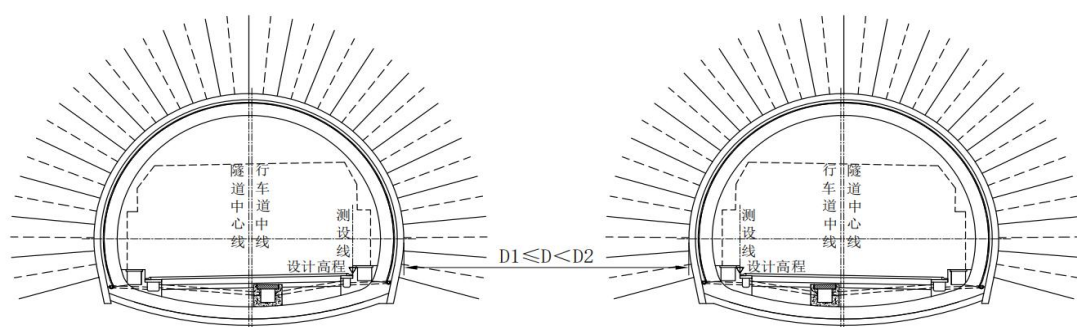


图 7.6-10 两车道一般小净距隧道布置横断面图

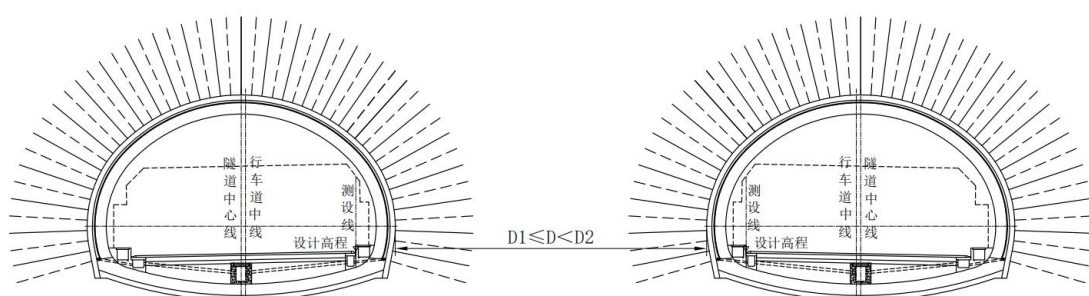


图 7.6-11 三车道一般小净距隧道布置横断面图

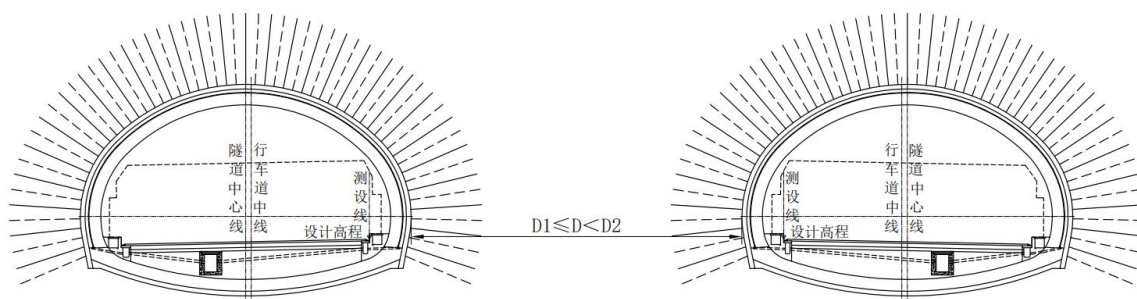


图 7.6-12 四车道一般小净距隧道布置横断面图

7.6.7 隧道支护参数可通过工程类比，参照本文件附录 A~E 选取，并按表 7.6-1 进行计算复核，施工阶段应结合现场监控量测信息进行优化调整。

表 7.6-1 无中导连拱及小净距隧道衬砌计算复核

结构型式 隧道断面	无中导连拱	近零净距	极小净距	较小净距	一般小净距
两车道	应计算	应计算	宜计算	可不计算	可不计算
三车道	不采用	专题研究	应计算	宜计算	可不计算
四车道	不采用	不采用	专题研究	应计算	应计算

【条文说明】一般地质条件下，两车道无中导双层中墙连拱、小净距隧道及三车道小净距隧道工程实例较多，设计及施工经验较成熟，隧道支护参数可参照附录 A~E 选取，并进行必要的计算复核，根据现场监控量测信息对支护参数进行调整。随着经济建设及城市发展，四车道一般小净距隧道在公路、市政工程中也有比较多的工程实例及成功经验，但工程实践中各设计单位拟定的支护参数存在较大差异，附录 E 拟定了四车道一般小净距隧道支护参数表，设计中可参照并经过计算复核后确定。三车道近零净距、四车道极小净距隧道工程实例较少，支护参数应进行专题研究后确定。

7.6.8 煤系地层、炭质泥岩、炭质板岩、炭质页岩等发生大变形或严重病害的软弱围岩地层，采用小净距隧道应加强支护结构复核算，必要时按特殊地质进行专门研究确定。

【条文说明】煤系地层、炭质泥岩、炭质板岩、炭质页岩是贵州省公路隧道建设中典型的软弱围岩，这类地层中隧道施工中初期支护变形较大，后期运营中发生路面开裂、仰拱底鼓、衬砌结构开裂剥落等病害，隧道设计中应重视类似地层中隧道的建设经验和教训，采用小净距隧道应加强支护结构复核算，必要时按特殊地质进行专门研究确定。

7.6.9 直墙连拱、直墙近零净距隧道行车方向左侧不设置检修道或人行道，应做好中墙及中夹岩柱侧管线预埋及机电预留预埋设计。

7.7 隧道锚洞设计

7.7.1 隧道洞口与整体设计的悬索桥相连，悬索桥设计采用隧道锚时，应根据隧道和隧道锚的空间关系，考虑结构受力互相影响、施工顺序干扰等因素进行综合设计。

7.7.2 隧道锚洞布置应根据地形地质条件、桥型等因素确定。

【条文说明】隧道锚洞布置应根据地形地质、桥型布置等因素综合确定，可选择布置在隧道上方、两侧或下方。

7.7.3 隧道锚洞布置于隧道上方时，隧道顶板与隧道锚洞底板的距离不宜小于 1.5 倍开挖宽度，当不满足该限值时应进行专题研究。

【条文说明】隧道锚洞布置于隧道上方时，隧道与隧道锚竖向重叠，应考虑隧道施工对锚碇系统的影响，合理确定隧道及隧道锚的施工顺序。隧道锚是悬索桥的重要结构，锚塞体提供了悬索桥主缆的抗拔力，因此对隧道顶板与隧道锚底板的距离进行要求，当不满足该限值时应进行专题研究，确保隧道锚能提供足够的抗拔力，确保桥梁和隧道结构安全。

7.7.4 隧道锚洞布置于隧道两侧或下方时，隧道锚平面不应与隧道重叠，隧道锚洞与隧道之间应参照小净距隧道进行设计，考虑结构之间的相互影响。

【条文说明】隧道锚洞布置于隧道两侧或下方时，应考虑隧道锚及主缆与隧道的空间交叉和行车干扰，隧道锚平面不应与隧道重叠，隧道锚洞与隧道之间应按小净距隧道进行设计，考虑隧道锚洞与隧道结构之间的相互影响。

7.7.5 隧道锚布置与隧道上方时，可在隧道锚洞底部钻孔利用隧道排水系统排水，隧道锚布置于隧道两侧或下方时，宜根据地形地质条件考虑隧道锚洞的排水措施。

【条文说明】隧道锚洞室开挖后形成新的积水廊道，地表降雨下渗汇集于隧道锚洞室内对锚塞体及其周边围岩长期浸泡，对桥梁结构安全和耐久性影响较大，应设置排水系统，隧道锚布置与隧道上方时，可在隧道锚洞底部钻孔利用隧道排水系统排水，隧道锚布置于隧道两侧或下方时，宜根据地形地质条件考虑隧道锚洞的排水措施。

8 施工

8.1 施工准备

8.1.1 隧道施工前，应做好地质地形条件、周边环境、辅助坑道、桥梁岸坡、隧道洞口仰坡以及桥隧施工干扰等现场调查。

【条文说明】隧道施工前应综合考虑调查的阶段、方法、范围等，做好隧道地形地质、周边环境、辅助坑道、洞口工程、桥隧相接等部位调查，及时预报和解决施工中遇到的地质问题，为验证或修改设计、施工提供依据。

8.1.2 隧道施工前，应熟悉设计文件和地质勘查报告，做好相关的专项现场调查项目与图纸核对工作。

【条文说明】施工单位应熟悉隧址区地质特点，掌握设计意图与要求，认真复核专项工程施工工艺与控制要点，勘察应满足《工程勘察通用规范》（GB 55017）。

8.1.3 连拱与小净距隧道调查应重点关注中夹岩柱围岩条件，注重搜集隧道场区及邻近地

区水系分布，考察隧道所在地区的地形、地貌等地表条件，还应提出隧道建设对其环境影响评价和保护措施。

【条文说明】 中夹岩柱加固是小净距隧道的关键工序。小净距隧道勘察与施工应满足《公路环境保护设计规范》（JTGB04）、《公路项目安全性评价规范》（JTGB05）基本要求。应对中夹岩柱厚度、围岩条件、地下水水量及分布情况、不良地质构造等进行专门且详细的专项调查，实现隧道工程安全、质量、工期、环境和投资控制目标。

8.1.4 连拱与小净距隧道施工前应编制施工阶段安全风险评估报告，现场应监测并动态开展风险管理。

【条文说明】 隧道施工应进行施工安全风险评估，根据隧道特点建立风险控制及特殊情况预案，编制风险评估报告并组织专家评审。小净距隧道施工前专项风险评估结论及重大风险源清单应作为专项施工方案的主要依据之一。

8.1.5 连拱与小净距隧道专项施工方案应包括但不限于以下内容：

- 1 小净距隧道专项开挖爆破方案。
- 2 针对隧道中夹岩柱保护与加固，先、后行洞施工作业及技术要点。
- 3 隧道洞身防水工艺及洞口防排水治理。
- 4 隧道不良地质体控制与处理方案。
- 5 小净距隧道专项监控量测与管理方案。
- 6 施工期间的瓦斯防止措施和运营期间的瓦斯防泄露措施。

【条文说明】 小净距隧道专项施工方案的制订应满足 JTGB370.1《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》基本要求，并重点考虑开挖减小对中夹岩柱的扰动、保持中夹岩柱的稳定、缩短中夹岩柱处于不利状态的时间，必要时需对中夹岩柱进行加固。

8.1.6 施工平面布置应根据隧道长度、地形、地质、水文等条件，结合通风、防灾救援、排水、弃渣、工期和环境保护等要求，通过技术经济比较确定施工平面布置，尽量减少施工用地。

【条文说明】 隧道施工平面布置应以隧道洞口为中心布置，技术标准、运输要求，结合地形、地质、线路条件的影响、运营情况和既有隧道现状等，通过技术经济比较确定。

8.1.7 施工便道布置应遵循现场施工平面布置，随施工进度进行动态布置，并与隧道施工

阶段与重点工程相契合。桥隧相连和地形陡峭无法布设施工便道及场地的洞口，可采用斜井、横洞等辅助施工通道反向掘进出洞。

【条文说明】 施工便道建设应满足《公路工程施工安全技术规范》（JTG F90-2015）基本要求外，还需结合地方道路规划进行专项设计，注意减少与现有道路的交叉和干扰。

8.1.8 连拱与小净距隧道应根据施工项目的地质、水文及气候变化动态合理地安排施工工序，应满足以下规定：

- 1 若小净距隧道双洞间具有原土体，则在洞口切坡时宜保留。
- 2 并行双洞工作面应错开施工。
- 3 后行洞应根据隧道围岩情况加固中夹岩柱，极软弱围岩段应加固双洞相邻侧拱架。

【条文说明】 小净距隧道中夹岩柱受力极其复杂，为保证其安全施工，合理选择小净距隧道的施工方法、控制施工过程中关键点的变形和受力以及掌握先后行洞前后掌子面的间距就显得尤为重要。

8.1.9 小净距隧道现场施工总体原则先主体，后附属。隧道施工主要工序：测量放线→施工准备→洞口边仰开挖及支护→洞身开挖及支护→洞身混凝土衬砌（洞门施作）→隧道沟槽及其它附属工程，参考图 8.1-1 执行。

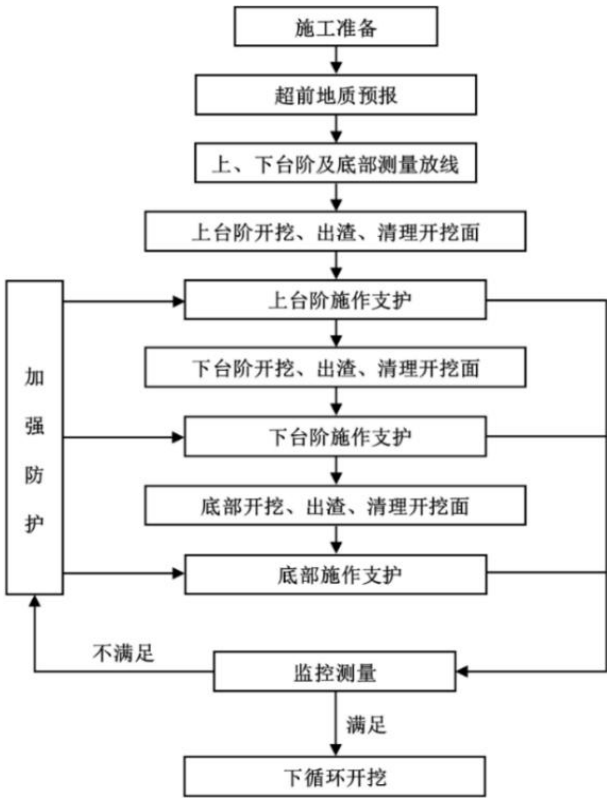


图 8.1-1 隧道施工工序流程图

【条文说明】小净距隧道施工工序流程应根据中夹岩柱的围岩等级而具体指出，提倡采用新技术、新工艺，提高工程质量，降低施工成本。

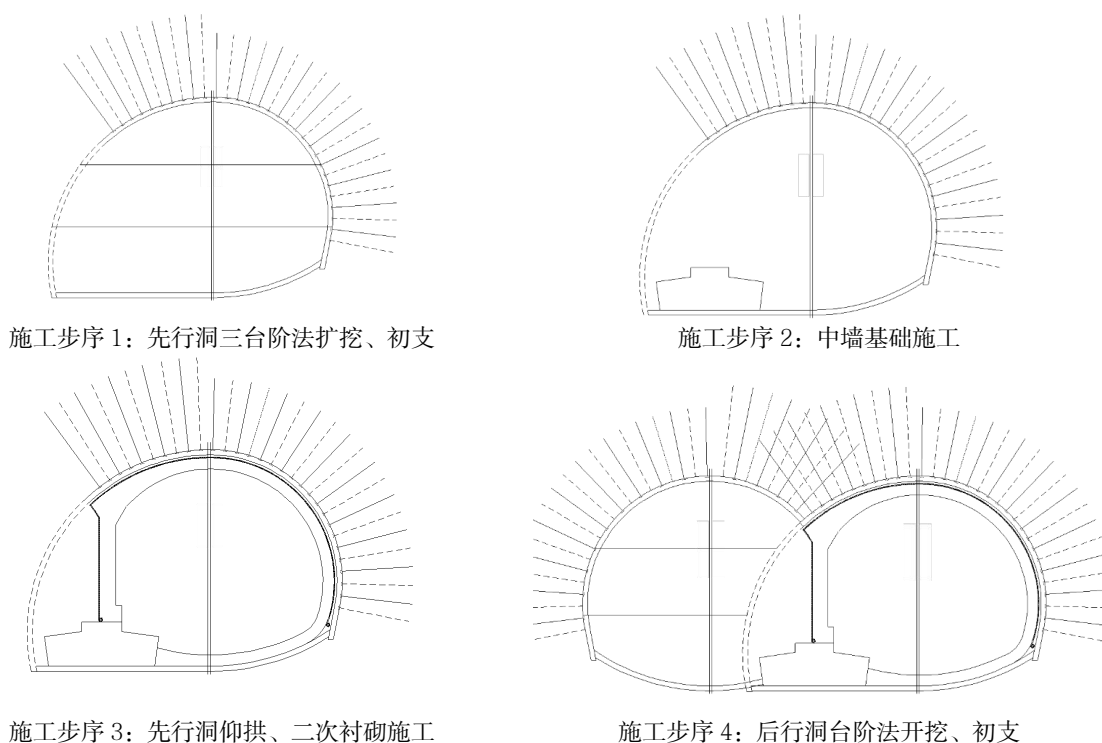
8.2 施工控制要点

8.2.1 无中导双层中墙连拱隧道施工及技术要点：

1 无中导双层直墙连拱隧道开挖宜遵循三台阶开挖工法，上台阶开挖每循环进尺按 1 榀钢架间距，下台阶开挖每循环进尺按 2 榀钢架间距，下台阶单侧拉槽长度宜不超过 15 m，下台阶左、右侧开挖宜前后错开 3~5 m。

2 无中导双层直墙连拱隧道采用凿岩机（手持式风钻、液压钻）和钻孔台车全液压钻机或风动钻机进行钻孔。应注意防止炮眼交叉打穿，炮眼总数不小于设计的 90%，掏槽炮眼位置误差不大于 5 cm。

3 施工顺序宜按先行洞扩挖、初支→中墙基础→先行洞仰拱、二次衬砌→后行洞开挖初支→临时支撑拆除→后行洞仰拱、二次衬砌的总体施工工艺流程进行组织施工，如图 8.2-1 所示。



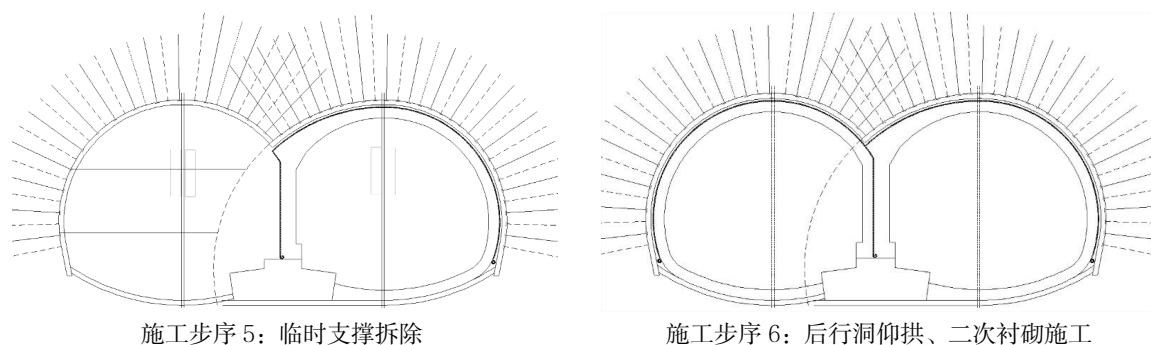


图 8.2-1 无中导双层直墙连拱隧道施工流程图

4 无中导双层直中墙施工总体流程为：中墙基础→先行洞二次衬砌→后行洞二次衬砌的总体施工流程。

5 双层直中墙浇筑应根据设计高度预留 80~100 cm 与洞身衬砌整体浇筑，浇筑完成后及时采用 C25 混凝土回填墙顶，以避免中墙顶脱空。

6 双层直中墙基础地基承载力不应小于设计要求，必要时可采用中空注浆锚杆对地基进行加固处理。

7 双层直中墙与主洞连接处一定范围内宜进行加筋处理，加强筋伸入中墙长度不宜少于 35 倍钢筋直径。

8 双层直中墙与主洞初支扩挖段应注意回填密实，采用方木横撑作为中隔墙支撑，横撑底部宜使用橡胶垫进行阻隔，避免破坏中隔墙墙体，临时支撑布置图见图 8.2-2。

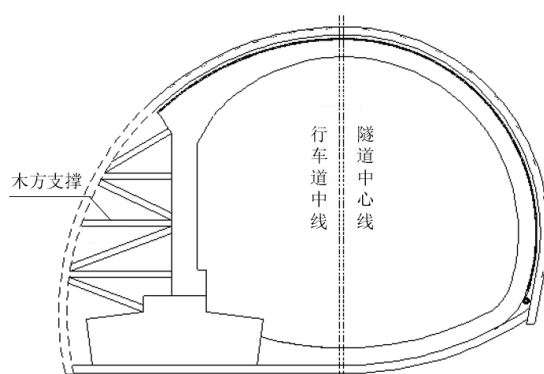


图 8.2-2 无中导双层直中墙临时支撑布置示意图

9 直中墙上部以及先行洞初支搭接处应减少或避免产生应力集中，宜采用中空注浆锚杆、系统锚杆与锁脚锚杆对左右洞交叉位置进行加固处理。

10 双层直中墙防排水布置宜采用左右洞共用排水系统通过中墙基础排水管将衬砌背后围岩渗水引排至中央排水沟的方式，中间夹层不宜小于 5 cm 布设防水板和环向排水管。

11 无中导双层直中墙连拱隧道墙身顶部应作加固处理，施工时对左右洞拱部交叉位

置采取加固处理，宜将中空注浆锚杆长度由 3.5 m 增加到 4 m，安装型钢拱架时应采用系统锚杆和锁脚锚杆对钢架进行固定，使型钢拱架与围岩形成一个整体。

12 无中导双层直中墙应采用复合式曲中墙排水型式，中墙排水管宜参照图 8.2-3 布置，做到拱部、墙部不滴水。

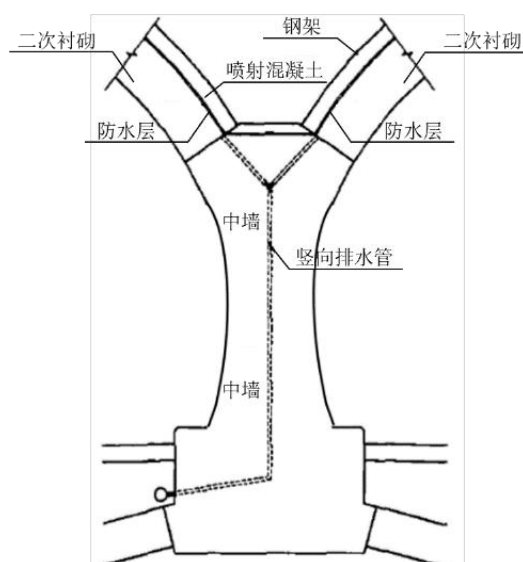


图 8.2-3 复合式曲中墙中墙防排水布置示意图

【条文说明】 无中导双层中墙连拱隧道中墙左右洞共用排水系统通过中墙基础排水系统将衬砌背后围岩渗水引排至中央排水沟中，根据中墙型式可分为双层直中墙连拱隧道、双层曲中墙连拱隧道。根据云南及贵州省已实施的部分连拱隧道建设经验，总结提出无中导双层中墙连拱隧道施工工艺要点。无中导双层中墙连拱隧道先行洞与后行洞均建议采用三台阶法开挖，宜按先行洞扩挖、初支→中墙基础→先行洞仰拱、二次衬砌→后行洞开挖初支→临时支撑拆除→后行洞仰拱、二次衬砌的总体施工工艺流程进行组织施工。下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度的 70%以后开挖，左、右侧开挖宜前后错开 3~5 m，并严格控制后行洞对先行洞的施工扰动。双层中墙连拱隧道对中墙承载力、中墙浇筑工艺、防排水施工工艺提出了更高要求，混凝土浇筑应满足《混凝土结构设计规范》(GB 50010)。中墙地基承载力不宜小于 500 kPa，中墙顶部与扩挖段浇筑时应采用方木横撑保证回填密实，同时左右洞拱部交叉部位宜采用加长注浆钢花管或系统锚杆进行加固。曲中墙施工立模较直中墙难度大，接线条件要求较高，防排水效果也较差。因此，双层曲中墙防排水工艺应根据中墙设计厚度与洞身接线要求综合确定，其它施工工艺可参考双层直中墙连拱隧道并结合现场执行。

13 无中导双层曲中墙连拱隧道施工开挖方法及工序可参考无中导双层直中墙连拱隧道执行。

8.2.2 无中导三层中墙连拱隧道开挖施工及技术要点：

1 无中导三层薄壁式直中墙连拱隧道宜采用三台阶法开挖。按先行洞开挖初支→先行洞仰拱、二次衬砌→后行洞开挖初支→后行洞仰拱、二次衬砌的总体施工工艺流程组织施工，施工工序流程图，见图 8.2-4。

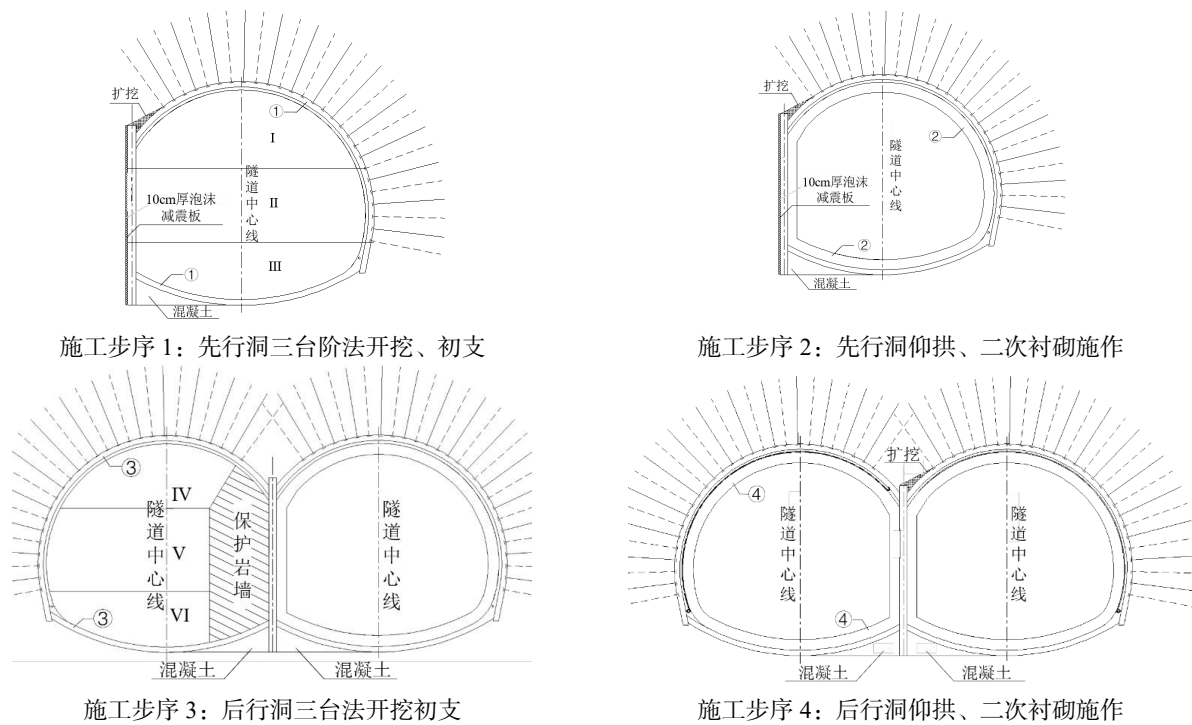


图 8.2-4 无中导三层薄壁式直中墙连拱隧道施工流程图

2 无中导三层直中墙连拱隧道上台阶开挖每循环进尺按 0.8 m（1 榀钢架间距），下台阶开挖每循环进尺按 1.6 m（2 榀钢架间距），下台阶单侧拉槽长度宜不超过 15 m，下台阶左、右侧开挖宜前后错开 3~5 m。

3 无中导三层直墙连拱隧道采用凿岩机（手持式风钻、液压钻）和钻孔台车全液压钻机或风动钻机进行钻孔。应控制爆破进尺为 0.8 m，考虑各因素不确定性影响，炮孔深度定为掏槽孔 1.0 m、其它孔 0.8 m。

4 无中导三层直墙连拱隧道后行洞宜采用松动爆破+机械冷开的开挖方式，同时在加强层与未开挖的后行洞岩壁间设置 10 cm 厚的泡沫隔振板，后行洞开挖时靠隧道中心线侧预留厚 3~5 m 保护岩墙，以减小爆破振动对结构影响。

5 无中导三层直墙连拱隧道开挖时需考虑中间加强层型钢安装空间，先行洞上台阶开挖时需对加强层顶进行适当扩挖，扩挖范围为中部加强层厚度+泡沫减震板厚度。

6 三层薄壁式直中墙施工总体流程为：中间加强层→先行洞二次衬砌→后行洞二次

衬砌，第二、三层中墙与边墙及仰拱同时整体浇筑，无中导三层曲墙连拱隧道中墙施工工序可参照此执行。

【条文说明】 三层薄壁式直中墙加强层，每开挖一级台阶后，型钢采用连接钢板进行接长，波纹钢模板采用搭接 M20 高强螺栓连接。每开挖一级台阶，即施工相应高度的中间加强层，待下级台阶开挖后，将底部混凝土凿除，漏出型钢端头，进行型钢及波纹钢模板连接。中间加强层的具体施工步骤：上台阶开挖→安装 A 单元左侧波纹钢模板→安装 A、B 单元型钢立柱→A、B 单元锁脚锚杆、系统锚杆→安装 A 单元右侧波纹钢模板→将两侧波纹钢模板与型钢连接成整体→A 单元自密实砼浇筑→B 单元钢筋网、初支砼→中台阶开挖→安装 C 单元左侧波纹钢模板→C、D 单元型钢立柱向下接长→C、D 单元锁脚锚杆、系统锚杆→安装 C 单元右侧波纹钢模板→将两侧波纹钢模板与型钢连接成整体→C 单元自密实砼浇筑→D 单元钢筋网、初支砼→下台阶开挖→安装 E 单元左侧波纹钢模板→E、F 单元型钢立柱向下接长→E、F 单元锁脚锚杆、系统锚杆→安装 E 单元右侧波纹钢模板→将两侧波纹钢模板与型钢连接成整体→E 单元自密实砼浇筑→F 单元钢筋网、初支砼→仰拱开挖→G 单元型钢立柱向下接长→E 单元型钢安装→浇筑给 G 单元三角形基础→E 单元钢筋网、初支砼→仰拱、二次衬砌等施工，见图 8.2-5。

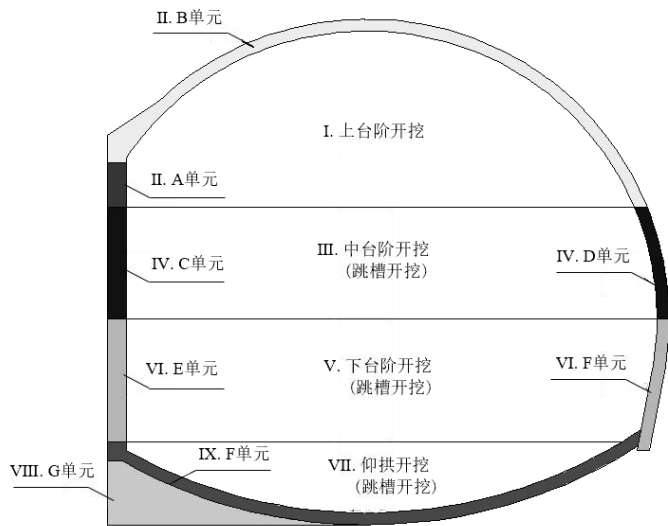


图 8.2-5 中间加强层的施工步骤施工流程图

7 三层薄壁式直中墙连拱隧道应设置纵横向钢筋将锚杆连接成整体以加固中墙基础，同时应对直中墙底部采用 C25 混凝土进行回填。

8 无中导三层曲墙连拱隧道先行洞与后行洞宜采用三台阶法开挖。按先行洞开挖初支→先行洞仰拱、二次衬砌→后行洞开挖初支→后行洞仰拱、二次衬砌的总体施工工艺流

程进行组织施工，施工流程图，见图 8.2-6。

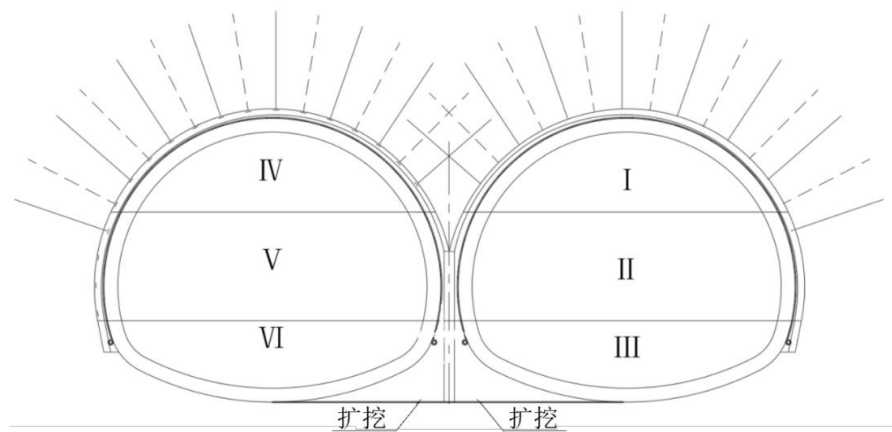


图 8.2-6 无中导三层曲墙连拱隧道施工流程图

9 无中导三层曲中墙现浇施工前应采用中间加强层增强刚度，加强中隔墙的临时支撑等手段以增强中墙顶部抗力。

10 无中导三层曲中墙隧道施工时应采用对称开挖，严格控制上、下台阶掌子面间距在 20~30 m，下台阶开挖 10 m 后立即施作仰拱，仰拱浇筑后 20 m 后施作二次衬砌。

11 无中导三层曲中墙隧道先行洞与后行洞下台阶开挖时，需由中线向内侧区域进行扩挖，以衔接中隔墙防水板与隧道拱部的防水板，曲中墙隧道中墙防水层应按分离式隧道型式设计，防水板及土工布按全断面布设。

12 主洞下台阶二次衬砌施作前，应采用 C25 混凝土填充扩挖部分以增强中墙基础底部刚度，并按设计要求检验其承载力。

13 无中导三层曲中墙施作施工缝必须凿毛处理，连接筋严格按照要求设置并焊接牢固。

14 无中导三层曲中墙其它工艺要点可参考三层直中墙施工视现场情况考虑。

【条文说明】 无中导三层中墙连拱隧道根据中墙型式可分为三层直中墙连拱隧道、三层曲中墙连拱隧道。中墙防排水布置类似于分离式单洞防排水系统，左右洞排水系统相互独立，将中墙划分为三层。宜按先行洞开挖初支→先行洞仰拱、二次衬砌→后行洞开挖初支→后行洞仰拱、二次衬砌的总体施工工艺流程组织施工。为方便安设中间加强层型钢，三层直中墙连拱隧道先行洞上台阶开挖时加强层顶需进行适当扩挖，扩挖范围为：中部加强层厚度+泡沫减震板厚度，待初支施工时用喷射砼回填至设计轮廓。为减弱后行洞爆破开挖对已施作的中隔墙加强层和先行洞二次衬砌的影响，在加强层与未开挖的后行洞岩壁间设置一层厚度为 10 cm 厚的泡沫隔振板，此外，后行洞开挖时靠隧道中心线侧预留厚 3 m

保护性岩墙，减弱后行洞爆破对先行洞围岩、初支结构的破坏，保证施工安全。先行洞初支完成后应及时设置临时支撑，采用锁脚锚杆防止围岩内挤及拱脚下沉保证施工安全。薄壁劲性中墙是这种隧道结构的关键部位，直中墙中间层应采用型钢、波纹钢模板包裹浇筑自密实混凝土的形式以提升承载能力，应采用 C25 混凝土填充扩挖部分以增强中墙基础底部刚度，并按设计要求检验其承载力。无中导三层曲墙连拱隧道中墙施工工序可参考三层直墙连拱隧道执行。

8.2.3 近零净距隧道施工工艺及控制要点：

- 1 近零净距隧道由于间距较小，应合理安排隧道的施工次序与施工方法，加强中夹岩柱的保护，在保障隧道开挖轮廓的前提下，控制好先行洞爆破对先行施工隧道的影响。
- 2 近零净距隧道开挖充分考虑和利用围岩的自承载能力。
- 3 近零净距隧道中夹岩柱无法保留时需挖除中夹岩柱并采用混凝土回填补强，回填混凝土强度等级不低于 C25，中夹岩柱部位二次衬砌应采用直角基础加宽。
- 4 近零净距隧道采取后行洞上断面的开挖，必须待先行洞二次衬砌施工并达到其设计强度后进行，且先行洞与后行洞上断面开挖距离不小于 25~30 m。
- 5 对于Ⅳ、Ⅲ级围岩，后行洞开挖可能会对先行洞的二次衬砌产生扰动，导致二衬开裂的风险增加。为了避免这种情况，可以考虑在后行洞开挖后再施工先行洞二次衬砌。
- 6 近零净距隧道由于中夹岩柱厚度较小，为避免纵向排水管侵占中墙侧衬砌厚度，可不设置纵向排水管，环向盲管直接引入中央排水沟或者两侧排水沟。

【条文说明】 近零净距隧道为双洞独立成环并挖除中夹岩柱，采用强度等级不低于 C25 混凝土回填补强的新型隧道结构。根据贵州省盘兴高速旧屋隧道、桐新高速梨树坪隧道工程经验，总结提出近零净距隧道施工工艺及控制要点。近零净距隧道施工工艺应充分利用围岩自承载能力，因此建议采用 CRD 法，兼有台阶法和双侧壁导坑法的优点，有利于围岩稳定，保证施工安全。同时后行洞施工应减少对先行洞与中夹岩柱部位的扰动，增设隔振措施。先、后行洞错距至少为 50 m，待先行洞变形稳定后再进行后行洞施工。中夹岩柱也是此类隧道控制重点，应采用强度不低于 C25 的混凝土进行回填并检验其地基承载力。因双洞间中夹岩柱厚度较小，可不设置纵向排水管避免侵限。

8.2.4 极小净距隧道施工工艺及控制要点：

- 1 极小净距隧道中，对中夹岩柱的加固方式主要有喷射混凝土加固。其它加固方式可

参考小净距隧道依照现场情况执行。

【条文说明】 喷射混凝土加固是利用压缩空气，将按一定配比的混凝土拌和料通过管道输送并高速喷射到中夹岩柱上凝结硬化，形成混凝土支护层，从而达到加固中夹岩柱的目的。常用湿拌法将预先配好的水泥、砂、石子和一定数量的速凝剂配比，装入喷射机，利用高压空气将其送到喷头和水混合后，以很高的速度喷向岩石或混凝土的表面而形成。宜采用普通水泥，要求良好的骨料，10 mm 以上的粗骨料控制在 30%以下，最大粒径小于 25 mm，不宜使用细砂。

2 极小净距隧道采用二次张拉预应力对拉锚杆进行中夹岩柱加固，根据现场条件，对中间岩柱附近区域进行注浆加固后进行首次张拉，再在先行洞开挖处锚杆端头实行二次对拉，中夹岩柱上部三角区围岩也应同时锚固，施工工艺可参考图 8.2-7。

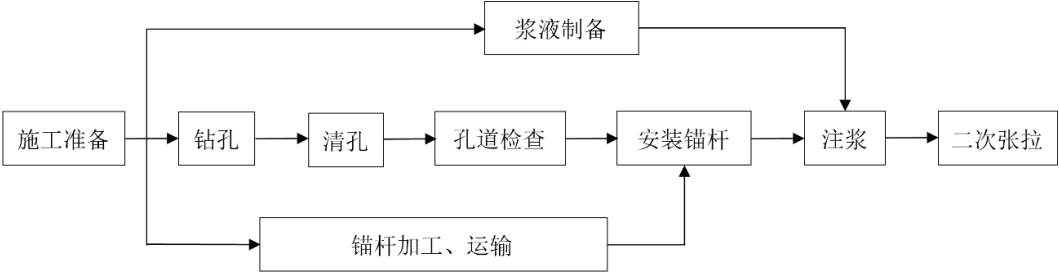


图 8.2-7 预应力注浆锚杆施工工艺图

3 极小净距隧道中夹岩柱厚度极薄，应着重控制其上部三角区域变形，施工中宜结合现场隧道开挖变形量测和围岩级别合理选用加固措施，具体可参考表 8.2-1。

表 8.2-1 中夹岩柱上部三角区加固措施

围岩级别	中夹岩柱上部三角区围岩加固对策
III	局部长锚杆加固
IV	注浆加固或预应力锚杆
V	注浆加固与预应力锚杆联合使用

4 极小净距隧道上、下台阶开挖每循环进尺不得大于 2 榀钢架间距，下台阶单侧拉槽长度宜不超过 1.5 m，下台阶左、右侧开挖宜前后错开 3~5 m，下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度的 70%以后开挖。

5 先行隧道开挖时，在靠近中夹岩柱的岩土体，宜采用合理的爆破参数及爆破减震

处理，以防止对中夹岩柱的整体性及稳定性造成太大影响，减轻中夹岩柱的损伤程度。

6 后行洞开挖时，为避免后行洞松动爆破对先行洞衬砌安全影响，一方面先行洞初支与衬砌之间设与铺设隔振板，另后行洞爆破引起先行洞爆破振速应控制小于 10 cm/s。

7 极小净距隧道扩挖断面时，对于靠近中夹岩柱的岩体，宜预留不少于 3 m 保护岩体，采用破碎锤逐步开挖，轮廓线预先施作密排钻孔形成破碎弱面，再行机械修整至设计轮廓，并及时进行初喷、立架和复喷支护。

8 极小净距隧道结构设计应根据地形地质条件明确先行洞与后行洞，并对先行洞支护结构适当加强。

【条文说明】 极小净距隧道是一种比较成熟的结构型式，根据贵州省六枝至安龙高速公路云庄隧道工程经验，总结提出极小净距隧道施工工艺及控制要点。两车道极小净距隧道建议采用台阶法施工，三车道、四车道跨度较大，极小净距隧道宜结合《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）合理选用 CD 法或双侧壁导坑法分部开挖。左右洞施工顺序、爆破振动控制可参考近零净距隧道控制工艺结合现场进行加强处理。中夹岩柱加固是此类隧道控制重点，极小净距隧道对中夹岩柱的加固方式主要有喷射混凝土加固、超前注浆预加固、加长锚杆、对拉锚杆加固以及组合等，工程支护应满足《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》（GB 50086）。对于靠近中夹岩柱的岩体，宜预留不少于 3 m 保护岩体，采用破碎锤分步开挖，并及时进行初喷、立架和复喷支护。

8.2.5 较小净距隧道施工工艺及控制要点：

1 较小净距隧道后行洞上断面的开挖，必须待先行洞二次衬砌施工并达到其设计强度后进行，且先行洞与后行洞上断面开挖距离不小于 50 m。

2 较小净距隧道爆破施工时，可在初支与中夹岩柱之间设置半圆形排水管，或者在初支和二次衬砌间设置泡沫薄板的方式进行有效隔振。

3 较小净距隧道中夹岩柱钢筋混凝土施工时，应定时监测中夹岩柱基础承载力，必要时采用中空注浆锚杆进行加固，锚杆长度应根据间距长度与围岩级别综合确定。

4 针对Ⅲ、Ⅳ级围岩，后行洞开挖可能会对先行洞的二次衬砌产生一定的扰动，进而增加二衬开裂的风险。为了最大程度地避免这种情况的发生，可以考虑在后行洞开挖完成后，再进行先行洞的二次衬砌施工。

【条文说明】 较小净距隧道是一种常用的隧道结构型式，针对较小净距隧道后行洞上断面的开挖，必须待先行洞二次衬砌施工并达到其设计强度后进行，上、下台阶开挖每循环进尺按 2 榀钢架间距，下台阶单侧拉槽长度宜不超过 10 m；下台阶左、右侧开挖宜前后错开 3~5 m，同一榀钢架两侧不得同时悬空；下部施工应减少对上部围岩、支护的干扰和破坏；下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度的 70%以后开挖，且先行洞与后行洞上断面开挖距离不小于 50 m 的管控措施，保证施工安全，提高施工效率。

5 较小净距隧道后行洞开挖时，采用光面爆破并结合左右洞之间的相互影响对爆破方案进行设计和验证，严格控制总药量及单段最大爆破药量。施工过程中需加强对先行洞衬砌结构的振动速度进行监控，控制爆破对后行洞的衬砌结构振动速度满足相关要求且不能对二次衬砌形成损伤。

8.2.6 一般小净距隧道施工工艺及控制要点：

1 小净距隧道应开挖时应遵循“管超前、严注浆、短开挖、强支护、早封闭、勤量测”的原则。

2 小净距隧道先行洞及仰拱施工工序应考虑相邻隧道爆破振动及中夹岩柱稳定性因素，中夹岩柱为软岩条件下，宜先于后行洞 2.5 倍洞径或 35 m 以上，中夹岩柱为较硬岩以上条件下，宜先于后行洞 1.0-2.0 倍洞径或 30 m 及以上。

3 小净距隧道衬砌结构应包括喷锚衬砌和模筑混凝土衬砌。在隧道开挖后应当紧随喷锚支护，维护隧道围岩稳定。

【条文说明】 喷锚衬砌也称喷锚支护，在复合式衬砌结构中称为初期支护；模筑混凝土衬砌在复合式衬砌中称为二次衬砌，满足《混凝土结构通用规范》（GB 55008）。喷锚支护是喷混凝土支护、喷混凝土+锚杆支护、喷混凝土+锚杆+钢筋网支护、喷混凝土+锚杆+钢筋网+钢架支护的统称。喷射混凝土强度等级不应低于 C20，厚度不小于 50 mm，喷射 1d 的混凝土抗压强度应不低于 8 MPa。

4 小净距隧道采用光面微差减振爆破等措施，严格控制爆破总药量和单段最大药量。

5 小净距隧道后行洞爆破施工中，需加强对先行洞衬砌结构的振速监控，严格控制先行洞中夹岩柱侧的衬砌结构振动速度在 10 cm/s 以内。

6 小净距隧道应严格控制超挖，对于超挖部分应回填密实；严重超挖部位应在初期支护上预留注浆管，初期支护封闭后及时注浆回填。

7 小净距隧道开挖后应按照表 8.2-2 进行洞身开挖质量检测。

表 8.2-2 洞身开挖质量检测

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	拱部超挖(mm)	II、III、IV级围岩 (硬岩、中硬岩、软岩)	平均 150, 最大 200	激光断面仪测试: 每 20 m 检查 1 个断面, 每个断面自拱顶起每 2 m 测 1 点
		V、VI级围岩 (破碎岩、土)	平均 100, 最大 150	
2	边墙超挖(mm)	每侧	+100, — 0	
		全宽	+200, — 0	
3	仰拱、隧底超挖(mm)		平均 100, 最大 200	水准仪: 每 20 m 检查 3 处

【条文说明】一般小净距隧道双洞彼此产生轻微影响, 支护结构可按分离式隧道进行设计, 无需特殊考虑支护结构与中夹岩柱加固措施。表 8.2-2 参考《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 基本要求并结合贵州省公路隧道实际情况确定了小净距隧道洞身质量检测控制基准。开挖过程中架子队专职测量人员应随时测定隧道轴线位置 和高程, 以免隧道线路进尺出现偏差, 每段开挖完成后, 工区现场管理人员通知测量监测部进行复核, 质检监督。复测结束后应及时绘制轮廓图, 并在出具复测数据时向现场管理、质检员、班组进行书面交底。

8.2.7 小净距隧道宜结合工程实际参照表 8.2-3 建议值预留变形量, 并根据监控量测反馈数据及时动态调整预留变形量。

表 8.2-3 小净距隧道预留变形量 (mm)

围岩级别	两车道	三车道	四车道
III	20~50	30~80	通过工程类比与计算分析确定
IV	50~80	60~120	
V	80~120	100~150	

【条文说明】根据《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)、《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660) 相关要求细化后列出小净距隧道预留变形量要求。隧道预留变形量不仅随围岩类别、水文地质和隧道宽度不同而异, 而且与施工方法、初期支护、辅助工程措施等密切相关, 因此施工中根据隧道现场监测数据及时调整, 多车道小净距隧道预留变形量可通过工程类比与计算分析确定。

8.2.8 小净距隧道中夹岩柱加固采用的加固措施主要包括注浆加固、加长锚杆、对拉锚杆等, 见图 8.2-8~8.2-10。锚杆施作与注浆工艺应随围岩等级、净距、不同加固措施组合情况进行调整。

【条文说明】①中夹岩柱厚度大于 $1.0B$ 时宜采用注浆加固法：小导管注浆孔应大于钢管直径 $3\sim5\text{ mm}$ ，严格按照设计要求施工，确保钻杆方向以及平插角度，钻孔完成后需要采用高压风清孔。可以采用锤击打入或者钻机顶入安装小导管，顶入长度应大于设计长度的 90% ，安装完成后采用高压风清除管内砂石，并采用塑胶泥封堵孔口缝隙。根据注浆设计，选择适合的浆液和配比，注浆压力宜为 $0.5\sim1.5\text{ MPa}$ 。当注浆孔压力达到设计值时，需要持续注浆 15 min 且进浆量达到设计值时方可停止注浆。②对拉预应力锚杆加固法：对于中夹岩柱小于 6.0 m 时，宜采用贯穿双洞水平低预应力对拉锚杆，锚杆间距为可参考相关规范并结合实际现场经验确定。纵向施作范围根据先行洞开挖揭露围岩情况及岩柱厚度综合考虑确定，初步确定按对拉锚杆进行加强的范围。③加长锚杆：可以通过局部加强锚杆的方式，对中夹岩柱部分区域进行加长锚杆加固，锚杆加长长度。

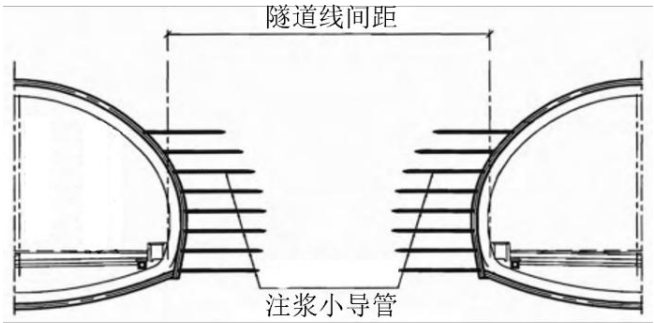


图 8.2-8 注浆加固法

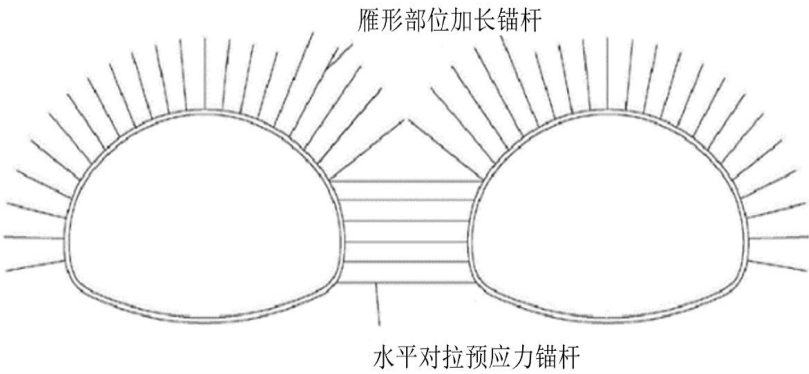


图 8.2-9 对拉预应力锚杆

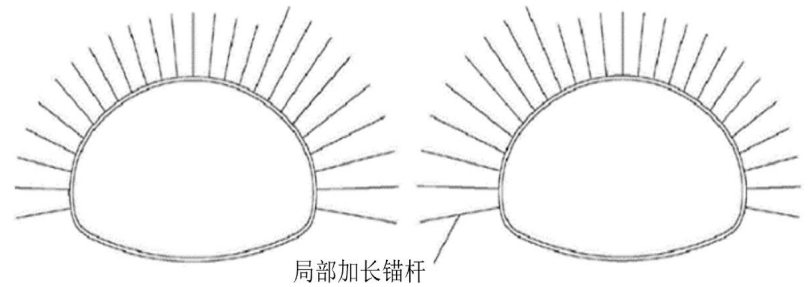


图 8.2-10 中夹岩柱范围加长锚杆

8.3 隧道锚洞控制要点

8.3.1 隧道锚洞施工应遵循下列规定：

1 减小开挖对围岩的扰动，严格控制施工时隧道锚洞顶沉降和水平收敛位移，保证洞室围岩的稳定性，采用超前支护，短掘短支的开挖原则，开挖面应平顺，严格控制超欠挖。

2 隧道锚开挖时应采取控制爆破、短开挖、早支护等施工方式，特别是在围岩地质条件较差的情况下，应采用超前支护和掌子面封闭等方法，尽量减少开挖对围岩的扰动，保证岩体的完整性，提高围岩自承能力。

3 大倾角变截面隧道开挖工艺及其稳定性。开挖时要考虑大坡道的进出以及先后开挖的变坡情况。

【条文说明】 隧道锚是在岩体内开凿隧道，在洞室的底部设置锚碇板或填塞混凝土作为锚塞体，借此来承受缆索的拉力。隧道锚在结构上与常规隧道最大的区别在于其倾角较大、断面逐渐扩大且属于大断面隧道、开挖时要求对围岩的扰动小，左右隧道锚属于小净距隧道开挖时相互影响，这就导致了隧道锚在开挖支护时难度加大。因此，减小开挖对围岩的扰动，严格控制施工时隧道锚洞顶沉降和水平收敛位移，采取控制爆破、短开挖、早支护等施工方式以保证洞室稳定性，同时针对大倾角变截面隧道应综合考虑大坡道的进出以及先后开挖的变坡情况。

8.3.2 隧道锚洞开挖台阶长度的合理取值范围建议 4.8 m~6 m。后锚室开挖完成后依次进行锚塞体浇筑和前锚室的二次衬砌。

【条文说明】 隧道锚的施工一般来说采用新奥法理念指导施工，可采用台阶法施工或分步开挖法，减少施工过程中对围岩以及施工完成衬砌的扰动，尽量发挥围岩的自身承载能力。因此，根据贵州省公路工程集团有限公司承建的翁凯高速公路四坪隧道桥隧道相接工程经验并结合相关规范，对隧道锚洞合理台阶长度进行限定。

8.3.3 隧道锚洞的施工工艺流程：散索鞍基础开挖→前锚室第一次开挖→超前支护进洞→前锚室第二次开挖及初支→隧道锚出渣系统搭设→散索鞍施工→锚塞体、后锚室开挖及初支→后锚室二次衬砌→前锚室二次衬砌，隧洞二次衬砌采取先施作底面再施作边墙及拱顶部位二次衬砌的施工顺序。

8.3.4 隧道锚洞开挖支护前需对洞周 4 m 范围内的裂隙及溶洞等进行压浆封闭、封堵，以

提高围岩的整体性，同时在左右两侧锚碇各设排水系统一套，应采用湿喷工艺施工喷射混凝土，钢架后严禁填塞碎石和木料。

【条文说明】 在隧道锚洞的开挖过程中如遇溶洞，可根据开挖揭示的岩溶规模及性状，在征得监理和设计单位同意的前提下，采用相应的处理措施，保证结构和后期设备的正常使用和结构耐久性。对于规模较大、充填物多的溶洞，应首先解决围岩稳定及安全问题，根据岩溶水的分布和渗流情况，采用堵排结合的排水系统设计，强化锚碇的排水功能。清除口门部分填充物后采用湿喷工艺回填微膨胀混凝土，其回填混凝土中应布置钢筋，后期要形成岩塞并可进行一定范围内的固结灌浆。

8.3.5 在锚洞基坑开挖过程中，应根据现场岩体的变化情况选择合适的开挖方式。并且随着开挖工作的持续进行，坡面防护工作也紧随其后，做到开挖一级，支护一层，避免坡面失稳。

【条文说明】 由于锚碇基坑开挖边坡较高，需注意高边坡、顺层边坡的稳定、局部坍塌等情况，基坑开挖施工前，应清除坡顶线内、外的松动岩石、碎石，防止因施工开挖下落、滑动；边坡开挖前，必须做好所有开挖坡面的防、排水工程。由上至下按设计图纸分级开挖，必须边开挖、边防护，严禁先开挖坡脚，杜绝待边坡开挖完毕后再防护的情况。当开挖边坡地质情况与设计不一致时，可视实际情况作相应调整。

8.3.6 隧道锚锚塞体及后锚室段开挖方式可视前锚室开挖支护情况决定，若前锚室开挖后围岩状况良好，锚塞体及后锚室段先开挖的洞室可考虑采取台阶开挖的方式，后开挖的洞室考虑采取分部开挖的方式，并避免对两隧洞间岩柱的扰动。

【条文说明】 隧道锚工程地下开挖工艺复杂、施工风险大、施工进度慢，对施工管理要求较高，施工中应严格遵守安全管理制度，严格按照设计文件施工，并根据超前地质预报及监控量测信息实施动态管理。隧道锚锚塞体及后锚室段开挖方式可视前锚室开挖支护情况决定，若隧道锚洞口段强风化层节理裂隙发育，岩体破碎，呈碎裂结构，碎块间结合差，粘结强度弱，前锚室段宜采用环形开挖预留核心土法施工。

8.3.7 待线路主洞洞口段施工完成后方可进行隧道锚洞施工，为保证隧道锚锚塞体的承载力，隧道锚锚塞体应待线路主洞支护结构完成且稳定后方可进行锚塞体混凝土浇筑。

【条文说明】 为保证隧道锚锚塞体的承载力，隧道锚塞体应待隧道线路洞口段支护结构完成且稳定后方可进行锚塞体混凝土浇筑。此外，应加强施工期锚塞体的振动及变形

监控，并采取有效控制措施，尽量减少对主洞施工对隧道错围岩与支护结构的扰动。

8.3.8 隧道锚与隧道按先行后行错开交叉影响段进行施工组织，待两侧隧道锚前锚室开挖超过交叉段且初支强度达到设计要求后，方可进行主洞开挖。

【条文说明】 隧道锚与线路主洞隧道空间上存在交叉影响段时，故在不影响双方正常施工和耽误工期的基础上，需对隧道与隧道锚交叉段的施工采取适当的措施，来保证施工的安全性。针对隧道与隧道锚交叉地段，施工中必须做好超前地质预报及岩溶等不良地质探测，交叉段在施工过程中要实时做好隧道、隧道锚的拱顶沉降和周边收敛等变形监测。当隧道左右中夹岩柱体较差或围岩变形较大时要适当加强隧道壁后注浆。待两侧隧道锚开挖长度应超过交叉段且初支强度达到设计要求后，方可进行主洞线路的开挖。

8.3.9 为保障施工安全高效进行需加强中夹岩柱的不良地质探测和处理，施工中须做好超前地质预报及岩溶等不良地质探测。针对隧道与隧道锚交叉地段，将超前地质预报纳入施工工序，做到先探测、后施工，不探测、不施工，采用长短距离探测结合，多种探测优势互补的方法，此外还要在增加探测次数及探测孔数量，提高超前探测的准确度。

【条文说明】 具体做法有：每次放炮后对掌子面进行地质素描，以初步推断前方岩层情况；采用 GPR（地质雷达）进行近距离探测，进一步强化、补充和验证。此外对于交叉段，掌子面前方、上方及仰拱底部均应探测；针对若穿越地下水的富集地带，施工到该段时，应提前 20~30 m 采取 TEM（瞬变电磁仪法）短距离探测地下水的情况；在部分地段结合 GPR、TEM 等预报结果确定是否需要打探孔以及探孔位置和数量（1~5 个为宜，钻孔时应对钻进速度、取芯情况（岩芯采取率、RQD 值）、出水点位置、流量、水压、水温及出水状态等作详细记录，必要时作水质分析判断地下水的腐蚀性等，并视最终探测结果，必要时补充围岩深孔注浆加固措施。

8.3.10 交叉段在施工过程中实时对隧道、隧道锚拱顶沉降和周边收敛等变形进行监测，如发现围岩产生变形过大等现象时应做到：

- 1 停止继续掘进，立即施做初期支护，仰拱封闭成环。
- 2 径向施作注浆小导管，加固围岩松动圈（有水地段注双液浆，无水地段注单液浆），并及时打设锁脚锚杆，小导管注浆。
- 3 对侵限段拱架进行换拱处理。
- 4 加快二次衬砌施工等。

8.3.11 在隧道与隧道锚施工的同时,为了减小主线隧道与隧道锚洞室爆破作业的相互影响,施工应控制爆破,严格控制爆破振速在不大于 15 cm/s。施工过程中应严格落实爆破振速监测,并根据监测结果调整最大单段药量等参数。

9 超前地质预报与监控量测

9.1 一般规定

9.1.1 隧道施工应进行监控量测设计,监控量测应作为关键工序纳入现场施工组织。应交由具有相应资质的第三方实施监测,并实时反馈施工。

9.1.2 监控量测工作应包括以下基本内容:

- 1 应对观测点周围环境状态进行观察判断,监控量测过程中应保证作业平台稳定牢固、安全防护到位,作业时应照明充足。
- 2 监控量测项目应与超前地质预报工作相契合,动态协调监控必测与选测项目。
- 3 随时观察施工环境及周边安全状态,调整监控量测断面布设间距、频率,控制基准。

9.1.3 施工现场应建立严格的超前地质预报与监控量测数据复核、审查制度,保证数据的准确性,如有量测数据缺失或异常,应及时采取补救措施并做出详细记录。

9.1.4 隧道施工和监控量测工作应密切配合,监控量测元件的埋设与监控量测应列入工程施工进度控制计划中,尽量减少对施工工序的影响,根据监控量测反馈设计与施工。

9.2 监控量测

9.2.1 连拱与小净距隧道监控量测应根据不同围岩级别制订专项量测方案,把洞内收敛变形、浅埋段地表沉降、中夹岩柱稳定性、中隔墙受力、先行洞衬砌内力、后行洞爆破振动对先行洞支护结构安全影响等作为监控量测的重要指标,必测、选测项目参考表 9.2-1~表 9.2-2 确定。

表 9.2-1 监控量测必测项目

序号	监控量测项目	常用量测仪器	备注
1	洞内、外观察	现场观察、数码相机、罗盘仪	/
2	拱顶下沉	水准仪、钢挂尺或全站仪	/
3	净空变化	收敛计、全站仪	/

表 9.2-1 监控量测必测项目 (续表)

序号	监控量测项目	常用量测仪器	备注
4	地表沉降	水准仪、全站仪	隧道浅埋段
5	拱脚下沉	水准仪、全站仪	不良地质和特殊岩土隧道浅埋段
6	拱脚位移	水准仪、全站仪	不良地质和特殊岩土隧道浅埋段
7	爆破振动	测振仪	中夹岩柱、先行洞、周边建筑物
8	先行洞钢架内力	应变计	每代表性地段 1~2 个断面, 每断面钢架内力 3~7 个测点
9	初期支护与二次衬砌间接接触压力	压力盒	每代表性地段 1~2 个断面, 每断面钢架内力 3~7 个测点
10	先行洞二次衬砌内力	混凝土应变计、钢筋计	根据不同的埋深和围岩等级在每个断面上布置至少 1 个测试点, 以确保测试的全面性和准确性

表 9.2-2 监控量测选测项目

序号	监控量测项目	常用量测仪器
1	围岩压力	压力盒
2	喷射混凝土内力	混凝土应变计
3	围岩内部位移	多点位移计
4	隧底隆起	水准仪、全站仪
5	孔隙水压力	水压计
6	水量	三角堰、流量计
7	纵向位移	多点位移计、全站仪

表 9.2-3 洞内收敛变形断面布设断面

隧道分类	断面间距 (m)		
	围岩级别		
	V级	IV级	III级
近零净距隧道	2~3	3~5	5~10
极小净距隧道	3~5	5~10	5~10
较小净距隧道	5~10	5~10	10~15
一般小净距隧道	5~10	10~15	15~20

9.2.2 浅埋隧道地表沉降测点应在隧道开挖前布设, 地表沉降测点和隧道内测点应布置在同一里程断面。一般条件下地表沉降测点纵向间距应按表 9.2-4 的要求布置。

表 9.2-4 地表沉降测点纵向间距

隧道分类	纵向测点间距(m)		
	埋深与开挖深度		
	$H_0 \leq B$	$B < H_0 \leq 2B$	$2B < H_0 \leq 2.5B$
近零净距隧道	3~5	5~10	10~15
极小净距隧道	5~10	10~15	10~15
较小净距隧道	10~15	15~20	15~20
一般小净距隧道	15~20	20~30	30~40

注：表中 H_0 为隧道顶板到地表的垂直距离， B 为隧道单洞跨度。

9.2.3 隧道地表沉降测点横向间距宜为 2 m~5 m。在隧道中线附近测点应适当加密，隧道中线两侧量测范围应不小于 $H+B$ ，其测点布置如所示。极小净距、较小净距量测间距应适当加密，范围应适当加宽。

9.2.4 隧道施工影响范围内应根据设计要求和工程需要对周边建（构）筑物对沉降、倾斜、裂缝等振动等内容进行监测。

9.2.5 隧道周边建（构）筑物沉降测点的数量和布置位置应根据工程地质和水文条件、建（构）筑物外形特征、基础型式、结构种类及其重要程度和与隧道间距等因素综合考虑。测点布置应符合下列规定：

- 1 一般建（构）筑物测点应埋设在其拐角及其中部位置。
- 2 高层建（构）筑物测点宜布置在沿周边与基础轴线相交对称位置，且测点布置不少于 4 个。
- 3 对于桥梁工程测点应布设在墩台、盖梁及梁板等结构上。

9.2.6 隧道周边重要的高层建（构）筑物、桥墩或有特殊要求的建（构）筑物应进行倾斜监测。监测频率应符合表 9.2-5 规定，对于变形敏感或有特殊要求的建（构）筑物应增大监测频率。

表 9.2-5 建构筑物沉降和倾斜监测频率

隧道距周边建（构）筑物距离 L (m)	监测频率
$L \leq 2.5B$	1~2 次/d
$2.5B < L \leq 5B$	1 次/2d
$L > 5B$	1 次/(3~7)d

9.2.7 隧道周边建（构）筑物裂缝监测应测定裂缝分布位置、轴向、长度、宽度及深度等。

9.2.8 无中导双层直中墙施工过程中应重点监测先行洞与后行洞初支连接节点处初支钢拱架应力转换，应力监测点布置宜参考图 9.2-1。重点关注爆破振动时二次衬砌混凝土应力。

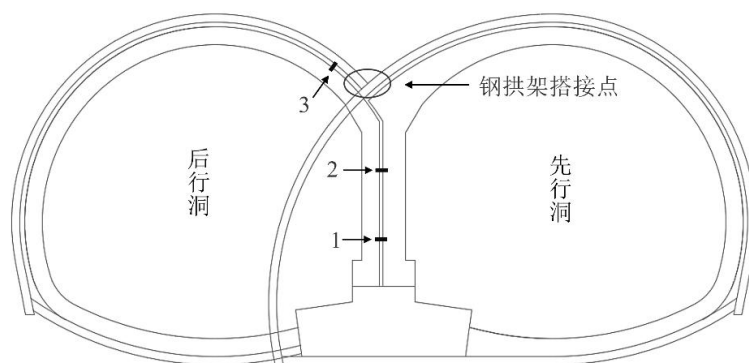


图 9.2-1 无中导双层直中墙测点布置示意图

9.3 监测控制标准

9.3.1 洞内必测项目的监控量测频率应根据测点距开挖面的距离及位移速度分别按表 9.3-1，表 9.3-2 确定，原则上采用较高的频率值。出现异常情况或不良地质时，应增大监控量测频率，必要时进行连续观测。

表 9.3-1 按位移速度确定的监控量测频率

隧道分类	监控测量频率				
	位移速度 (mm/d)				
	≥ 5	1 ~ 5	0.5 ~ 1	0.2 ~ 0.5	< 0.2
近零净距隧道	(5 ~ 8)次/d	(4 ~ 6)次/d	(3 ~ 5)次/d	(2 ~ 4)次/d	(2 ~ 3)次/d
极小净距隧道	(4 ~ 6)次/d	(3 ~ 5)次/d	(2 ~ 4)次/d	(2 ~ 3)次/d	1 次/d
较小净距隧道	(3 ~ 5)次/d	(2 ~ 4)次/d	(2 ~ 3)次/d	1 次/d	1 次/2d
一般小净距隧道	(2 ~ 4)次/d	(2 ~ 3)次/d	1 次/d	1 次/2d	1 次/3d

表 9.3-2 距开挖面距离确定监测频率(mm)

隧道分类	监控测量频率			
	监控量测断面距开挖面距离(m)			
	(0~1)B	(1~2)B	(2~5)B	$> 5B$
近零净距隧道	5 次/d	4 次/d	3 次/d	2 次/d
极小净距隧道	4 次/d	3 次/d	2 次/d	1 次/d
较小净距隧道	3 次/d	2 次/d	1 次/d	1 次/d
一般小净距隧道	2 次/d	1 次/d	2 次/(2d~3d)	2 次/(3d~5d)

注：表中 B 为隧道单洞跨度。

9.3.2 监控量测控制基准应根据隧道中夹岩柱地质条件、隧道结构的稳定性以及周围建（构）筑物特点和重要性等因素制定，并根据工程实际情况或类似工程资料分析确定如下：

- 1 隧道初期支护极限相对位移在监控量测前期可参照表 9.3-3 选用。
- 2 位移控制基准应根据测点距开挖面的距离按表 9.3-4 确定。

3 地表沉降控制基准应根据隧道地层稳定性、中夹岩柱围岩性质、周围建（构）筑物的安全要求分别确定，取最小值。

表 9.3-3 允许水平相对收敛值（%）

围岩级别	隧道埋深 H (m)		
	$H \leq 50$ m	$50 < H \leq 300$ m	$H > 300$ m
IV	0.15~0.50	0.40~1.20	0.80~2.00
V	0.20~0.80	0.60~1.60	1.00~3.00

注：水平相对收敛值指收敛位移累计值与两测点之间距离比。硬质围岩隧道取表中较小值，软质围岩隧道取表中最大值。拱顶下沉允许值可按本表数值的 0.5~1.0 倍采用。表所列数值在施工过程中可通过实测和资料积累做适当修正。

表 9.3-4 位移控制基准

类别	U_{1B}	U_{2B}	距开挖工作面距离大于 $2B$
允许值	$65\%U_0$	$90\%U_0$	$100\%U_0$

注：B 为隧道开挖宽度； U_{1B} 为距开挖工作面 $1B$ 范围内的位移值； U_{2B} 为距开挖工作面 $1B \sim 2B$ 范围内位移值； U_0 为位移控制基准值， $U_0 = \text{两测点间距离} \times \text{允许水平相对收敛值（或拱顶下沉允许值）}$ 。

9.3.3 应保证隧道内检测、监测、通风系统运行状态良好，报警、预警、通讯信号、自动控制系统有效运转。信息反馈应根据量测数据分析结果，评价隧道结构的安全性、支护参数的合理性及施工方法的适宜性，并提出相应工程对策与建议，指导施工。

9.3.4 隧道施工过程中，按规范要求的频率进行日常监测工作，及时收集既有隧道衬砌变形信息指导新建隧道施工，监控系统如发生预警或现场观测变形较大，则加强监测频次至频次为 1 次/d 或 2 次/d，直至预警消除。

9.4 爆破控制标准

9.4.1 爆破工程监测应满足下列要求：

- 1 隧道重点地段应按设计要求安排小型试验爆破，并根据试验结果修改爆破设计。
- 2 应针对爆破工程要求进行监测点布置。
- 3 监测设备应满足精度要求，宜实现自动化监测。
- 4 监测设备的安装，应满足设计要求。

9.4.2 为了真实反映后行隧道爆破施工对先行隧道的影晌程度，同时验证数值模拟可靠性，应监测先行隧道迎爆侧振速及混凝土一次衬砌应变，振动测试测点按 5 m 间距依次布置。

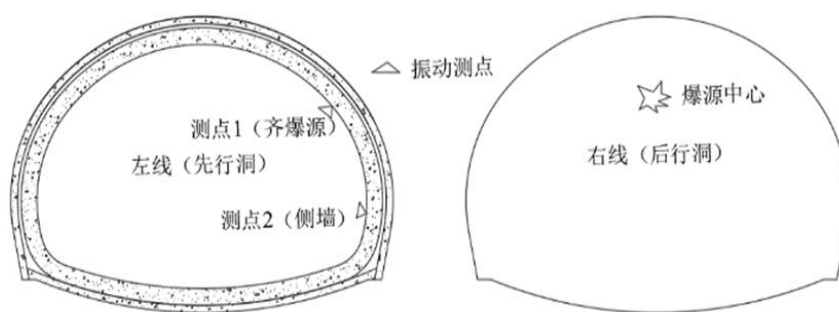


图 9.4.2-1 爆破影响测试断面布置图

9.4.3 后行洞爆破最大单段药量，根据《爆破安全规程》（GB 6722）规定：

$$Q_{\max} = R^3 \left(\frac{V}{K} \right)^a \quad (9-1)$$

式中：\$R\$ 为爆破振动安全允许距离；\$Q\$ 为炸药量，齐发爆破为总药量，延迟爆破为最大一段药量；\$V\$ 为保护对象所在地质点振动安全允许速度；\$K\$、\$a\$ 为与爆破点至计算保护对象间的地形、地质条件和衰弱指数，根据经验系数得出，具体见表 9.4-1。

表 9.4-1 \$K\$、\$a\$ 值

序号	岩性	\$K\$ 值	\$a\$ 值
1	坚硬岩石	50 ~ 150	1.3 ~ 1.5
2	中硬岩石	150 ~ 250	1.5 ~ 1.8
3	软岩石	250 ~ 300	1.8 ~ 2.0

9.4.4 小净距隧道后行洞爆破开挖时，应将先行洞衬砌最近爆心距处的振动速度控制在不大于 10 cm/s，依此控制标准控制最大单段药量。进入小净距隧道段施工前，应选择合理试验段开展试爆并测试先行洞衬砌振速，确定适于场地条件的 \$K\$、\$a\$，并根据式（9-1）复核后行洞爆破最大单段药量，当不满足表 9.4-2 爆破振动安全允许标准时，应调整开挖工法并采取合理的减振隔振措施。

表 9.4-2 振动安全允许标准

序号	保护对象类别		安全允许质点振动速度（cm/s）		
			\$f \leq 10\$ Hz	\$10 \text{ Hz} < f \leq 50\$ Hz	\$f > 50\$ Hz
1	交通隧道		10 ~ 12	12 ~ 15	15 ~ 20
2	混凝土龄期（d）	初凝 ~ 3	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0
		3 ~ 7	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 5.0	5.0 ~ 7.0
		7 ~ 8	7.0 ~ 8.0	8.0 ~ 10.0	10.0 ~ 12.0

9.4.5 隧道周边存在噪音敏感区时，爆破应采取降噪措施并进行必要的爆破噪声监测。

9.5 风险管控

9.5.1 隧道监控量测应科学合理，施工中应按《爆破安全规程》（GB 6722）规定实施，施工监测过程中做好风险预警和风险管控，保证施工过程安全。

9.5.2 风险管控应包括以下内容：

- 1 应建立健全隧道监测预警风险控制体系。
- 2 隧道监测预警应按相关规定进行风险辨识、评估。
- 3 应依据监测预警的数据进行风险评估结论，对风险等级较高的分部分项工程编制专项施工方案。
- 4 应编制应急预案，储备应急物资，开展应急演练。

9.5.3 隧道监测预警可根据位移值及变形速率设立如表 9.5-1 所示的三级预警级别，及对应管理等级和对策。

表 9.5-1 监测预警三级控制表

预警等级	判别标准			预警对策
	距离开挖面 1B	距离开挖面 2B	趋势	
三级 (蓝色)	$U < U_{1B}/3$	$U < U_{2B}/3$	发生有一定的位移量，但变形曲线增长缓慢或趋于平稳	将变形情况报告管理人员，同时可正常施工
二级 (黄色)	$U_{1B}/3 \leq U \leq 2U_{1B}/3$	$U_{2B}/3 \leq U \leq 2U_{2B}/3$	位移速率变化保持基本不变，变形曲线呈线性增长	应加强支护
一级 (红色)	$U > 2U_{1B}/3$	$U > 2U_{2B}/3$	变形异常加速，变形曲线上扬，无收敛迹象	工程师现场调查，采取紧急措施

注：U 为实测位移值， U_{1B} 为、 U_{2B} 按表 9.4-4 确定的位移值。

9.5.4 监控量测数据处理分析结果可用于围岩稳定评价和预警管理，根据结果判断稳定性和安全性，并给出应对措施建议。

- 1 位移监控量测结构预警等级及应对措施应符合表 9.5-1 的要求。
- 2 洞内外观察结果预警等级及应对措施宜按表 9.5-2 的要求执行。
- 3 选测项目的预警等级应根据设计文件要求及监测控制基准等综合确定。

表 9.5-2 洞内外观察结果预警等级及应对措施

预警等级	判别标准	应对措施
黄色	1. 初期支护、二次衬砌结构出现变形、位移、沉降和裂缝，渗漏水，隧底隆起等，发展缓慢。 2. 隧道掌子面出现喷水现象或水体颜色及浑浊程度发生变化。 3. 地表出现裂缝。 4. 周边建（构）筑物出现轻微开裂、变形或不均匀沉降。	加强监控量测，必要时采取相应工程措施
红色	1. 初期支护、二次衬砌结构出现明显变形、位移、沉降且发展较快；裂缝密集，且呈剪切性裂缝；混凝土出现压裂、起层和剥落，混凝土块有可能掉落。 2. 隧道掌子面或周围岩土出现突水、突泥、坍塌迹象，或出现异响，出水量有明显增大趋势。 3. 地表突然出现明显沉降或较严重的突发裂缝、坍塌，树木或电杆明显倾斜 4. 周边建（构）筑物出现危机正常使用功能或结构安全的过大沉降、倾斜、裂缝等。	暂停施工，立即采取相应工程措施

附录 A
(规范性)
无中导双层中墙连拱隧道衬砌支护参数

表 A.1 两车道无中导双层中墙连拱隧道先行洞支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌 (cm)		
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	中墙	仰拱
	拱墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)			
Va	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.5~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.5~0.8	20~22	60~65 钢筋砼	≥80 钢筋砼	60~65 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	≥80 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vc	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	≥80 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVa	24~26	24~26	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	全环 0.8~1.0	18~20	50~55 钢筋砼	≥80 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVb	24~26	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	18~20	45~50 钢筋砼	≥80 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVc	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	16~18	40~45 钢筋砼	≥80 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IIIa	20~22	—	拱墙	2.0~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40~45 钢筋砼	≥80 钢筋砼	—

注：钢架截面高 16~22cm 宜选用工字钢，14cm 以下可选用工字钢或格栅钢架。

表 A.2 两车道无中导双层中墙连拱隧道后行洞支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌 (cm)		
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	中墙	仰拱
	拱墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)			
Va	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.5~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.5~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	≥55 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	≥55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
Vc	24~26	24~26	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	18~20	50~55 钢筋砼	≥55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVa	24~26	24~26	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	拱墙 0.8~1.0	18~20	45~50 钢筋砼	≥55 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVb	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	16~18	45~50 钢筋砼	≥55 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVc	20~22	—	拱墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40~45 钢筋砼	≥55 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IIIa	20~22	—	拱墙	2.0~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40 钢筋砼	≥55 钢筋砼	—

注：钢架截面高 16~22cm 宜选用工字钢，14cm 以下可选用工字钢或格栅钢架。

附录 B
(规范性)
近零净距隧道衬砌支护参数

表 B.1 两车道近零净距隧道先行洞支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.5~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.5~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vc	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVa	24~26	24~26	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	全环 0.8~1.0	18~20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVb	24~26	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	18~20	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVc	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	16~18	40~45 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IIIa	20~22	—	拱墙	2.0~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40~45 钢筋砼	—

注：钢架宜选用工字钢。

表 B.2 两车道近零净距隧道后行洞支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.5~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.5~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
Vc	24~26	24~26	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	18~20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVa	24~26	24~26	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	全环 0.8~1.0	18~20	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVb	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	16~18	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVc	20~22	—	拱墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40~45 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IIIa	20~22	—	拱墙	2.0~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40 钢筋砼	—

注：钢架宜选用工字钢。

附录 C
(规范性)
极小净距隧道衬砌支护参数

表 C.1 两车道极小净距隧道先行洞支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.5~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.5~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vc	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.8~1.0	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVa	24~26	22~24	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	全环 0.8~1.0	18~20	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVb	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	16~18	40~45 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IVc	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	16~18	40~45 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IIIa	20~22	—	拱墙	2.0~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40 钢筋砼	—

注：钢架宜选用工字钢。

表 C.2 两车道极小净距隧道后行洞支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.5~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.5~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
Vc	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	18~20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVa	22~24	22~24	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	全环 0.8~1.0	16~18	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVb	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	16~18	40~45 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IVc	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40~45 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IIIa	20~22	—	拱墙	2.0~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14	40 钢筋砼	—

注：钢架宜选用工字钢。

表 C.3 三车道极小净距隧道先行洞支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	28~31	28~31	拱墙	4.5~5.0	0.5~0.6	拱墙双层 @20×20	全环 0.5~0.6	22~25	65~70 钢筋砼	65~70 钢筋砼
Vb	28~31	28~31	拱墙	4.5~5.0	0.6~0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6~0.8	22~25	65~70 钢筋砼	65~70 钢筋砼
Vc	26~28	26~28	拱墙	4.5~5.0	0.6~0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	60~65 钢筋砼	60~65 钢筋砼
IVa	26~28	0 或 26~28	拱墙	4.0~4.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	拱墙 0.6~0.8	20~22	60~65 钢筋砼	60~65 钢筋砼
IVb	26~28	—	拱墙	4.0~4.5	0.8~1.0	拱墙 @20×20	拱墙 0.6~0.8	20	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
IVc	24~26	—	拱墙	4.0~4.5	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	18~20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IIIa	22~24	—	拱墙	3.5~4.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	16~18	45~50 钢筋砼	—

表 C.4 三车道极小净距隧道后行洞支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	28~31	28~31	拱墙	4.5~5.0	0.5~0.6	拱墙双层 @20×20	全环 0.5~0.6	22~25	60~65 钢筋砼	60~65 钢筋砼
Vb	28~31	28~31	拱墙	4.5~5.0	0.6~0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6~0.8	22~25	60~65 钢筋砼	60~65 钢筋砼
Vc	26~28	26~28	拱墙	4.5~5.0	0.6~0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
IVa	26~28	0 或 26~28	拱墙	4.0~4.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	拱墙 0.6~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVb	26~28	—	拱墙	4.0~4.5	0.8~1.0	拱墙 @20×20	拱墙 0.6~0.8	20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVc	24~26	—	拱墙	4.0~4.5	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	18~20	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IIIa	22~24	—	拱墙	3.5~4.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	16~18	40~45 钢筋砼	—

附录 D
(规范性)
较小净距隧道支护参数

表 D.0.1 两车道较小净距隧道支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.5~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.5~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
Vc	26~28	—	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	18~20	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVa	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	拱墙 0.8~1.0	16~18	40~45 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IVb	20~22	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	14~16	40~45 钢筋砼	40~45 钢筋砼
IVc	20~22	—	拱墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14	35~40	35~40
IIIa	15~20	—	拱墙	2.0~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	—	—	35~40	—

注：钢架截面高 16~22cm 宜选用工字钢，14cm 以下可选用工字钢或格栅钢架。

表 D.0.2 三车道较小净距隧道支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	28~31	28~31	拱墙	4.0~4.5	0.5~0.6	拱墙双层 @20×20	全环 0.5~0.6	22~25	60~65 钢筋砼	60~65 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	4.0~4.5	0.6~0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	60~65 钢筋砼	60~65 钢筋砼
Vc	26~28	26~28	拱墙	4.0~4.5	0.6~0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6~0.8	20	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
IVa	22~24	—	拱墙	3.5~4.0	0.6~0.8	拱墙 @20×20	拱墙 0.6~0.8	18~20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVb	22~24	—	拱墙	3.5~4.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	拱墙 0.6~0.8	18~20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVc	22~24	—	拱墙	3.5~4.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	16~18	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IIIa	20~22	—	拱墙	3.0~3.5	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40~45 钢筋砼	—

附录 E
(规范性)
一般小净距隧道支护参数

表 E.1 两车道一般小净距隧道支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	26~28	26~28	拱墙	3.0~3.5	0.5~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.5~0.8	20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
Vb	24~26	24~26	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	18~20	50~55 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vc	24~26	—	拱墙	3.0~3.5	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	18	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVa	22~24	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	14~16	40~45 (▲)	40~45 (▲)
IVb	20~22	—	拱墙	2.5~3.0	0.8~1.0	拱墙 @25×25	拱墙 0.8~1.0	14	40~45	40~45
IVc	20~22	—	拱墙	2.5~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14	35~40	—
IIIa	15~20	—	拱墙	2.0~3.0	1.0~1.2	拱墙 @25×25	—	—	35	—

注：钢架截面高 16~22cm 宜选用工字钢，14cm 以下可选用工字钢或格栅钢架。

表 E.2 三车道一般小净距隧道支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	28~31	28~31	拱墙	3.5~4.0	0.5~0.6	拱墙双层 @20×20	全环 0.5~0.6	22~25	60 钢筋砼	60 钢筋砼
Vb	26~28	26~28	拱墙	3.5~4.0	0.6~0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6~0.8	20~22	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
Vc	26~28	—	拱墙	3.5~4.0	0.6~0.8	拱墙 @20×20	全环 0.6~0.8	20	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
IVa	24~26	—	拱墙	3.5~4.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	拱墙 0.8~1.0	18~20	50~55 钢筋砼	50~55 钢筋砼
IVb	22~24	—	拱墙	3.5~4.0	0.8~1.0	拱墙 @20×20	拱墙 0.8~1.0	16~18	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IVc	22~24	—	拱墙	3.0~3.5	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	16~18	45~50 钢筋砼	45~50 钢筋砼
IIIa	20~22	—	拱墙	3.0~3.5	1.0~1.2	拱墙 @25×25	拱墙 1.0~1.2	14~16	40~45	—

表 E.3 四车道一般小净距隧道支护参数

支护类型	初期支护								二次衬砌	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网 间距 (cm)	钢架		拱墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度	纵向间距		间距 (m)	截面高 (cm)		
Va	30 ~ 32	30 ~ 32	拱墙	4.5 ~ 5.0	0.5 ~ 0.6	拱墙双层 @20×20	全环 0.5 ~ 0.6	HW 型钢 20 ~ 25	75 钢筋砼	75 钢筋砼
Vb	30 ~ 32	30 ~ 32	拱墙	4.5 ~ 5.0	0.5 ~ 0.6	拱墙双层 @20×20	全环 0.5 ~ 0.6	HW 型钢 17.5 ~ 20	70 ~ 75 钢筋砼	70 ~ 75 钢筋砼
Vc	30 ~ 32	30 ~ 32	拱墙	4.5 ~ 5.0	0.6 ~ 0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6 ~ 0.8	HW 型钢 17.5 ~ 20	65 ~ 70 钢筋砼	65 ~ 70 钢筋砼
IVa	28 ~ 30	28 ~ 30	拱墙	4.0 ~ 4.5	0.6 ~ 0.8	拱墙双层 @20×20	全环 0.6 ~ 0.8	I22b	60 ~ 65 钢筋砼	60 ~ 65 钢筋砼
IVb	28 ~ 30	28 ~ 30	拱墙	4.0 ~ 4.5	0.8 ~ 1.0	拱墙双层 @20×20	全环 0.8 ~ 1.0	I22b	60 ~ 65 钢筋砼	60 ~ 65 钢筋砼
IVc	26 ~ 28	26 ~ 28	拱墙	4.0 ~ 4.5	0.8 ~ 1.0	拱墙 @20×20	全环 0.8 ~ 1.0	20 ~ 22	55 ~ 60 钢筋砼	55 ~ 60 钢筋砼
IIIa	20 ~ 22	—	拱墙	3.5 ~ 4.0	1.0 ~ 1.2	拱墙 @20×20	拱墙 1.0 ~ 1.2	18 ~ 20	50 ~ 55 钢筋砼	50 ~ 55 钢筋砼