

DB14

山 西 省 地 方 标 准

DB 14/T 715—2018
代替 DB14/T 715-2012

高速公路隧道工程施工指南

2018 - 08 - 05 发布

2018 - 10 - 05 实施

山西省质量技术监督局

发 布

目 录

目 录	1
前 言	2
高速公路隧道工程施工指南	3
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	4
4 总体要求	4
5 施工准备	5
6 洞口与明洞工程	9
7 开挖	12
8 初期支护	18
9 二次衬砌	23
10 监控量测与超前地质预报	26
11 防水与排水	27
12 辅助坑道	29
13 通风防尘、风水电供应与通信系统	32
14 不良地质和特殊岩土地段施工	37
15 路面及附属工程	42
附 录 A（规范性附录） 隧道围岩亚级分级及应用	45
A.1 亚级分级开挖方法的确定	45
A.2 围岩亚级的支护结构参数	45

前 言

本标准按照GB/T 1.1~2009给出的规则起草。

本标准是对原《高速公路隧道施工指南》（DB14/T715-2012）的修订，与之相比其主要技术变化如下：

- 增加了总体要求（见 4）；
- 增加了新技术、新工艺的要求（见 9）；
- 增加了路面精铣刨、蓄能发光涂料等内容（见 15）；
- 增加了隧道各安全控制的内容（见各章）；
- 修改了监控量测和地质预报内容（见 10，2012 年版附录 D）；
- 修改了不良地质和特殊岩土地段施工内容（见 14，2012 年版附录 B）；
- 修改了隧道路面相关内容（见 15，2012 年版 14）。
- 删除了附录 C。

本标准由山西省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：山西省交通运输厅、山西交通控股集团有限公司长治高速公路分公司、山西省交通科学研究院。

本标准主要起草人：高新文、王伟、赵景彭、秦荣旺、陈鹏、李爱军、李燕、韩伟华、武海鹏、李皎明、彭小庆、高辉、隋来才、张晓、武军、刘伟、吴天军、师永翔。

本标准于2012年12月首次发布，2018年8月第1次修订。

高速公路隧道工程施工指南

1 范围

本标准规定了山西省高速公路隧道工程施工的技术要求。主要内容包括：高速公路隧道工程施工术语、定义，总体要求，施工准备，洞口和明洞工程，开挖，初期支护，二次衬砌，监控量测与超前地质预报，防水与排水，辅助坑道，通风防尘、风水电供应与通信系统，不良地质和特殊岩土地段施工，路面及附属工程。

本标准适用于新建、改（扩）建高速公路隧道工程的施工，其它等级公路隧道施工可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。标注日期的引用性文件，适用于本文件。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 8076 混凝土外加剂
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 12523 建筑施工场界环境噪声排放标准
- GB 16542 罐笼安全技术要求
- GB 18173.1 高分子防水材料 第一部分：片材
- GB 20181 矿井提升机和矿用提升绞车安全要求
- GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范
- GB 50108 地下工程防水技术规范
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50720 建设工程施工现场消防安全技术规范
- JTG F10 公路路基施工技术规范
- JTG F30 公路水泥混凝土路面施工技术规范
- JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
- JTG F60 公路隧道施工技术规范
- JTG/T F60 公路隧道施工技术细则
- 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
- JTG F90-2015 公路工程施工安全技术规范
- JGJ 46 施工现场临时用电安全技术规范
- JGJ/T 281 高强混凝土应用技术规程
- JC 477 速凝剂
- 煤矿安全规程（国家安全监管总局第87号总局令）
- DB14/T 712 山西省高速公路施工驻地、场站、工地试验室建设指南
- DB14/T716 山西省高速公路路面工程施工指南

3 术语和定义

下列术语和定义及符号适用于本文件。

3.1

水压爆破

水压爆破是在每个炮眼内设计位置上按一定比例装放药包和水袋，以水作为传爆介质传播爆轰压力使围岩破坏，且空气冲击波、飞石及噪声等均可有效控制的爆破方法。

3.2

全断面深孔预（帷幕）注浆

属预注浆的一种。沿开挖轮廓线和开挖工作面，按一定的间距、直径、深度进行钻孔，向孔内压注某种浆液，因浆液扩散将钻孔周围一定范围内的围岩固结成一体形成的帷幕注浆。

4 总体要求

4.1 品质工程

践行品质工程理念，实现“优质耐久、安全舒适、经济环保、社会认可”的品质工程。

4.2 质量管理

推进工程施工标准化、精细化、工厂化，倡导工程全寿命周期集成化管理，全面提升工程质量。

4.3 安全施工

推进危险作业机械化、自动化，建立健全安全风险分级管控和隐患治理双重预防体系，提升应急处置能力，深化“平安工地”建设。

4.4 绿色环保

坚持因地制宜、就地取材的原则，合理利用土地资源，加强生态脆弱区域的环境检测与生态修复，有效降低对周边环境的影响，做到与自然融为一体。

4.5 节能减排

积极应用节能技术和清洁能源，推进废旧材料可再生循环利用，逐步淘汰高能耗陈旧设备与施工方法，优先选用清洁能源和符合国家标准的节能产品和设计理念。

4.6 科技创新

积极推广“四新”应用，开展技术攻关与“微创新”，大力推广性能可靠、先进适用的新技术、新材料、新设备、新工艺，全面提升科技创新能力。

4.7 信息化

贯彻落实工程管理信息化理念，大力推行工地智能化管理，逐步建立信息模型（BIM）技术，提升项目管理信息化水平。

4.8 文明施工

实现功能区域划分合理，功能齐全，整洁有序，操作标准、管理规范。

5 施工准备

5.1 一般规定

5.1.1 隧道施工前，应熟悉设计文件，领会设计意图，做好现场调查和图纸核对工作。

5.1.2 施工前，应做好下列核对工作：

- a) 隧道施工对地表和地下既有结构物的影响；
- b) 施工场地布置与洞口相邻工程、弃渣利用、农田水利、征地等的关系；
- c) 建筑物、道路工程、水利工程和电信、电力线路等设施的拆迁情况和数量；
- d) 施工中和运营后对自然环境、生活环境的影响及需要采取的保护措施；
- e) 承包人应全面熟悉设计文件，并做好图纸审核工作；
- f) 在施工调查和设计文件核对完成后，应将结果及存在的问题，以书面形式呈送建设项目合同规定的相关建设管理单位。

5.1.3 隧道施工应重视地质调查与超前地质预报工作。

5.1.4 根据工程规模、技术标准和 DB14/T 712 有关要求进行施工场地规划、驻地建设、拌和站和工地试验室建设，并通过业主组织的专项验收。

5.1.5 隧道开工前，应完成洞口前可能干扰洞身施工的相关工程。

5.2 技术准备

5.2.1 设计文件核对

设计文件核对的主要内容如下：

- a) 标准、技术条件、设计原则、工程数量等；
- b) 隧道的平面及纵断面；隧道的勘测资料：如地形、地貌、工程地质、水文地质、钻探图表等；
- c) 设计各专业的接口及相互衔接的施工方法和技术措施；
- d) 隧道穿过不良地质地段的设计方案，隧道施工对环境可能造成影响的预防措施；
- e) 洞口位置、洞门式样、洞口边坡与仰坡的稳定程度、衬砌类型、辅助坑道的类型和位置等；
- f) 实施性施工组织设计；
- g) 洞内外排水系统和排水方式等；
- h) 施工通风方案；
- i) 弃渣场的设计、位置及渣容量是否能满足施工需要和环保要求。

5.2.2 施工复测和控制测量

承包人应根据合同图纸和有关勘测资料，对交付使用的隧道轴线桩、平面控制三角网基点桩以及高程控制的水准基桩等，进行详细的测量检查和核对，并将测量成果报送监理工程师。承包人在放线中，除公里桩、平曲线基本桩外，应设置必要加桩；在工程实施中隧道中桩最大间距直线不得大于10 m，曲

线上不得大于5 m，并明确标出用地界桩、路面和排水沟中心桩、辅助基准点以及其它控制正确放线的水平和垂直标桩，并做好如下列工作：

- a) 隧道控制桩和水准基点的交接。在业主主持下，由设计单位持交桩资料向承包人逐桩、逐点交接确认，遗失的应补桩；
- b) 对接收的控制桩和水准基点，按同等级测量精度进行复核；
- c) 测量复核结果应呈报监理工程师，审核批复后方可使用；
- d) 如隧道工程有其他参建单位，呈报测量成果结果应包含与相关单位联测对接资料。

5.2.3 试验工作

应做好工程所需材料的选择、混凝土的配合比、相关检测设备标定等试验工作。

5.2.4 实施性施工组织设计内容

实施性施工组织设计包括内容如下：

- a) 地理位置、地理特征、气候气象、工程地质、水文地质、工程设计概况、主要工程数量等；
- b) 合同文件关于工期、安全、质量、文明施工、环境保护等的要求；
- c) 施工条件、工程特征分析（特点、重点、难点）、施工方案；
- d) 承包人关于工期、安全、质量、文明施工、环境保护的控制目标；
- e) 项目经理部组织机构设置及岗位职责；
- f) 洞口生产场地布置及临时工程规划；
- g) 洞内、外管线布置及风、水、电供应方案；
- h) 编制各工序进度指标、施工总进度计划、单位工程施工进度计划及次级进度计划横道图、网络计划图并标明关键线路；
- i) 洞口工程、进洞、洞身开挖、钻爆设计、装渣运输、初期支护、二次衬砌、施工通风、施工排水、控制测量、施工测量、超前地质预报、监控量测等工序的施工方法、工艺流程、检验标准、实施要点；
- j) 机械设备配备、劳动力配备、主要材料分阶段供应计划、主要材料的采购、运输方式等；
- k) 材料检验、工程计量、资料归档、成本控制、职工培训计划等各项管理制度；
- l) 关于工程工期、工程质量、安全生产、文明施工、环境保护和雨季、冬季及高温季节施工的组织、技术、经济等保证措施及奖惩条例；
- m) 施工对环境的直接影响和潜在的影响，对各种影响因素所采取的预防和保护措施；
- n) 施工阶段风险评估和风险规避措施；
- o) 隧道施工地区发生自然灾害、施工中发生紧急情况时的应急预案。

5.2.5 技术交底

根据隧道施工设计图纸、实施性施工组织设计及相关标准，编制当前施工工序的图纸、技术要求、施工要点及质量控制要求等内容，并经项目部技术负责人签字后向各施工工队、作业班组、施工人员等逐级交底。

5.2.6 安全管理准备

5.2.6.1 隧道施工前应按照《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》要求开展安全风险评估，辨识施工过程中的主要危险源及危害因素，制定安全防护措施。并应根据工程建设条件、技术复杂程度、地质与环境条件以及工程建设经验，对隧道工程实施动态风险控制和跟踪处理。

- 5.2.6.2 应根据危险源辨识情况编制隧道坍塌、涌水突泥、触电、火灾、爆炸、窒息、有害气体等专项应急预案，并配备相应的应急救援机械设备、监测仪器、堵漏和清洗消毒材料、交通工具、个体防护设备、医疗设备和药品、生活保障和救援物资等应急资源，建立兼职救援队伍，定期组织应急演练。
- 5.2.6.3 每个隧道洞口应设置不少于 1 处抢险物资储备点。
- 5.2.6.4 特种设备、压力容器等操作人员应按照有关规定经专业机构培训，并应取得相应的从业资格。
- 5.2.6.5 隧道洞口与桥梁、路基等同一个工点有多个单位同时施工或洞内不同专业交叉作业时，应共同制定施工方案。
- 5.2.6.6 隧道洞口、开关箱、配电箱、台车、台架、仰拱开挖等危险区域应设置明显的警示标志。洞内施工设备均应设反光标识。
- 5.2.6.7 规划洞内道路行车路线、会车位置；实现人车路线分离。
- 5.2.6.8 洞内设置限速标志，运输车辆限速行驶。洞内倒车与转向，必须开灯、鸣笛；洞口、平交道口和狭窄的施工场地，应设置“缓行”标志，必要时宜安排人员指挥交通。
- 5.2.6.9 隧道内必须按要求配备消防器材。
- 5.2.6.10 超前地质预报和监控量测方案应纳入安全管理工作，及时为动态风险控制提供依据。
- 5.2.6.11 隧道内严禁存放汽油、柴油、煤油、变压器油、雷管、炸药等易燃易爆物品。

5.3 现场准备

5.3.1 人员的教育培训

- 5.3.1.1 隧道施工前根据安全风险评估、主要危险源及危害因素，对作业人员进行安全教育培训和安全交底，详细说明隧道安全的有关技术要求和重大危险源，考核合格后持证上岗，建立安全交底、考核、台账签字确认制度。
- 5.3.1.2 施工过程中应对职工加强技术培训和安全技术交底，在推广新技术和使用新型机械设备时，应对职工进行再培训和安全教育。

5.3.2 施工机械的配备

- 5.3.2.1 施工机械的配备应满足隧道实施性施工组织设计的要求，应配备污染少、能耗小、效率高的施工机械，并宜优先选择电动机械。
- 5.3.2.2 隧道机械设备的安装应选择适宜的地点，各项排放指标均应达到 GB 12523、GB 8978、GB3095 的规定。
- 5.3.2.3 按施工机械的用途，其进场、安装、调试与四通（水、电、道路、通信）一平（场地）应同步或交叉进行，使机械尽早投入施工，并逐步形成各工序的机械化作业。

5.3.3 施工场地布置原则

5.3.3.1 应有利于安全生产、文明施工、节约用地和保护环境；事先统筹规划，分期安排，便于各项施工活动有序进行，避免相互干扰。施工场地布置的内容有：

- a) 确定弃渣场的位置和范围；
- b) 轨道运输时，洞外出渣线、编组线、牵出线、其他作业线、卸渣码头及转运方式的布置；
- c) 汽车运输道路的引入和其他运输设施的布置；
- d) 确定风、水、电设施的位置；施工期间“三管两线”架设、安装顺直、整齐，按图 1 布置；
- e) 确定大型机具设备的组装和检修场地；
- f) 确定混凝土拌合站（场）、预制场及砂、石等材料场的布置；
- g) 确定各种生产、生活等房屋的位置；

h) 场内临时排水系统的布置。

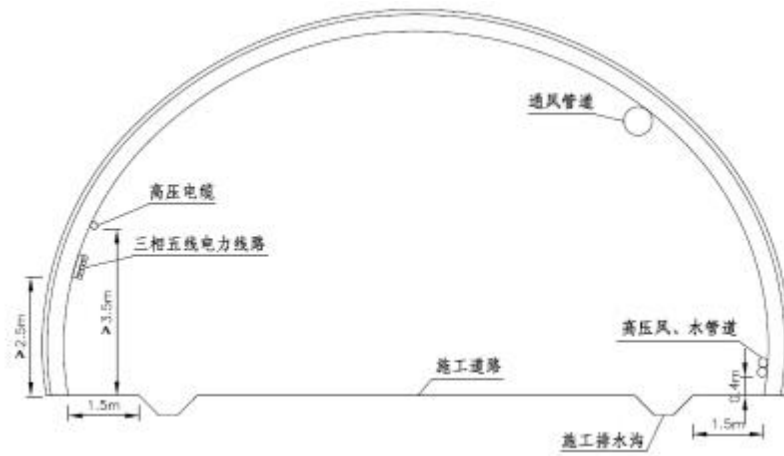


图1 风、水、电设施示例图

5.3.4 弃渣场

5.3.4.1 隧道弃渣原则上应按照设计弃渣场弃渣，不得随意乱弃。如需调整位置，应征得设计单位和当地政府相关部门批准后方可实施。

5.3.4.2 弃渣场选址不得占用其他工程场地和影响附近各种设施的安全；不得影响附近的农田水利设施，不占或少占农田；不得堵塞河道、河谷，防止抬高水位和恶化水流条件；不得挤压桥梁墩台及其他建筑物。

5.3.4.3 弃渣场应按设计要求及时进行防护。当设计不能满足实际需要或无具体要求时，应根据地形地貌对弃渣场进行防护、排水系统经监理工程师批复后进行完善，以确保边坡的稳定，防止水土流失、泥石流、滑坡等危害。

5.3.4.4 弃渣场应按有关要求，及时做好临时用地复垦工作。

5.3.5 自办料场

5.3.5.1 当隧道弃渣指标符合规范要求、可作为结构用材料时，现场可建碎石场以充分利用隧道弃渣。

5.3.5.2 隧道碎石场加工碎石设备应采用带除尘装置的反击破碎石机并有配套的联合重筛设备，生产喷射混凝土碎石料应配备锤式碎石机。日产量 100 m³ 以上的碎石场宜配置自动或半自动水冲洗设备，以提高碎石质量。

5.3.5.3 应达到 GB 12523、GB 8978、GB3095 的有关规定。

5.3.6 危险品库

火工品库房的建设及管理除应符合国家及地方的有关规定外，还应符合以下要求：

- a) 建立健全火工用品管理制度，严格火工用品采购、储存、领取、使用、退库各个环节的管理和操作，做到全程监控，全程把关。承包人要定期对炸药库管理有关台账进行认真检查和清对，监理工程师要加强监督检查；
- b) 双洞中隧道及长隧道、特长隧道宜设专用火工品库房，其他短隧道可结合其他隧道及路基、桥涵施工集中设置。应根据施工进度计划安排及月循环进尺核定火工品库存容量；
- c) 其他危险品，如氧气、乙炔、油料及剧毒、放射性物品等应单独建库存储。

5.3.7 排水及污水处理

5.3.7.1 应在隧道洞口两侧设置排水沟，尺寸满足隧道排水需要（必须考虑雨季降水的影响），两侧水沟汇于集水井后排入污水处理池。

5.3.7.2 污水处理宜不少于3级沉淀，沉淀达标后方可排放。处理池宜采用浆砌或砖混结构，使用期间应不倒塌、不渗漏。

6 洞口与明洞工程

6.1 一般要求

6.1.1 隧道洞口开挖前，承包人应对洞口段地形地貌进行复测，认真调查地质情况，并编制隧道进洞专项施工方案，经监理单位专项审查后实施。

6.1.2 积极推广“零开挖”进洞理念。隧道洞顶至截水沟范围内的植被禁止砍伐破坏，分离式隧道中间山体和连拱隧道中导洞开挖时两侧山体应尽可能保护。

6.1.3 坚持适度防护原则，边坡工程要与生态环境相协调。以生态防护为主，合理进行支挡防护及坡率设计，努力减少工程性加固措施；对地形、地质较好的路段可尽量取消或减少圪工防护。

6.1.4 洞口设有明洞且洞门地质情况相对较好的隧道，可按先进暗洞，由内向外施作洞口明洞模筑衬砌，再进行洞身段开挖、初支、二衬施工；当洞口围岩条件很差时，要严格控制进洞施工顺序。应在完成套拱和超前大管棚后，立即进行明洞主体模筑衬砌施工，然后再进行暗洞浅埋段施工。

6.1.5 隧道二次衬砌施工完成50m(含明洞)后应及时完成洞门及边坡绿化。

6.1.6 隧道洞口附近场地须进行混凝土硬化处理。

6.2 施工要点

6.2.1 洞口土石方开挖

6.2.1.1 洞口边坡和仰坡的排水系统应在雨季之前完成。隧道排水应与洞外排水系统合理连接，不得侵蚀软化隧道和明洞基础，不得冲刷洞口前路基边坡及桥涵锥坡等设施。

6.2.1.2 洞口边坡、仰坡土石方的开挖应尽可能的减少对岩、土体的扰动，严禁采用大爆破；边坡和仰坡上可能滑塌的表土、灌木以及边坡和仰坡上的浮石、危石要清除或加固，坡面凹凸不平的应予整修平顺。

6.2.1.3 应在进洞前按设计要求对地表及仰坡进行加固防护；松软地层开挖边坡和仰坡时，宜随挖随支护，随时监测、检查山坡的稳定情况。当洞口可能出现地层滑坡、崩塌时，应及时采取预防和稳定措施稳定坡体，确保施工安全。

6.2.1.4 偏压洞口施工应在做好支挡、反压回填等工作后再开挖；开挖方法应结合偏压地形情况选定，不得人为加剧偏压。

6.2.1.5 洞口边坡及仰坡采用明挖法施工的，应自上而下分阶段、分层进行开挖。不得掏底开挖或上下重叠开挖。洞口有邻近建(构)筑物时，应采取微震控制爆破。

6.2.1.6 洞口永久性挡护工程应在土石方开挖后及时完成。

6.2.2 排水工程

6.2.2.1 截水沟、排水沟等浆砌工程应符合JTG F10中砌石工程的规定。

6.2.2.2 截水沟及排水沟的上游进水口应与原地面衔接紧密或略低于原地面，下游出水口应妥善引入排水系统。

6.2.2.3 反坡施工洞口，施工期间洞口应设渗水盲沟，并在两侧排水沟于洞口部位设浆砌片石隔墙和洞外隔离。

6.2.3 临时防护

- 6.2.3.1 坡面临时防护施工前，应将岩面浮渣及危岩清除干净并用高压风将坡面清理于净。
- 6.2.3.2 如坡体含水量较大或有地下水，坡面渗漏水较多，应增设泄水孔或平孔排水。

6.2.4 洞口地表加固

- 6.2.4.1 地层为堆积层、断层破碎带、砂砾（卵）土、砂土时，可采用地面注浆措施预加固。
- 6.2.4.2 有地下水地段，可按设计要求进行注浆止水。
- 6.2.4.3 地下水位较高的粉砂土、砂质粉土或淤泥质夹薄层砂性土的富水地层、且不适合于注浆堵水的隧道洞口段可进行井点降水。
- 6.2.4.4 洞口地基承载力不满足设计要求时，可采用换填、桩基等措施加以处理。

6.2.5 进洞辅助措施

- 6.2.5.1 注浆施工时应选择合理的注浆设备和施工工艺。单孔注浆压力和单孔实际注浆量等数据监理单位应记录签认，对小导管、管棚的安装和注浆应有影像资料。
- 6.2.5.2 套拱基础应设置在符合设计要求且稳固的地基上，地基承载力需满足设计要求，基坑的渣体杂物、风化软层和积水应清除干净。

6.2.6 进洞方法

6.2.6.1 一般要求

隧道进洞方法应根据地形地质情况，以保护环境、减少开挖为目标，因地制宜，灵活选择，及时调整。隧道洞口段的施工应遵循“早进洞、晚出洞”、“少刷、甚至不刷边仰坡”和“零开挖”绿色洞门的隧道进洞原则。

施工中应加强洞口施工放样，控制好预埋拱架，控制好超前小导管的角度，严格控制进尺；仰拱及填充及时跟进，保证受力成环；及时施工偏压墙，保证受力均衡；做好锁脚锚杆的施工质量控制；短进尺、弱（零）爆破开挖。

6.2.6.2 常用方法

- 6.2.6.2.1 管棚直接进洞法。隧道进洞方法通常采用管棚直接进洞，施作 2 m~3 m 长套拱，套拱施作完成后采用大管棚进洞，通常适用于地表浅埋的隧道。
- 6.2.6.2.2 双层小导管直接进洞法。通常适用于隧道洞口风化严重或遇到卵砾石地层、采用大管棚成孔十分困难的隧道。
- 6.2.6.2.3 管棚加小导管直接进洞法。介于管棚直接进洞法和双层小导管直接进洞法之间，通常适用于风化较严重、地表浅埋段较长的情况。
- 6.2.6.2.4 反压挡墙斜交进洞法。先开挖并施作山体外侧偏压挡墙基础及部分挡墙，将初期支护中下台阶钢拱架一次性埋置于挡墙内，并预留钢拱架接头，然后开挖靠近山体一侧隧道围岩，钢拱架垂直于正洞轴线布置，施作 2 m~3 m 长套拱，套拱施作完成之后采用大管棚或小导管进洞。
- 6.2.6.2.5 半明半暗进洞法。隧道进洞时有部分暗洞外露形成半明半暗结构。一般采用回填，增设护拱钢筋混凝土或型钢混凝土，侧向增设超前支护等措施进洞。
- 6.2.6.2.6 盖挖进洞法。隧道从山谷进洞时，形成暗洞顶部分出露或暗洞洞顶较长段落处于浅埋。一般在暗洞顶开挖成一个楔形体，采用增设护拱钢筋混凝土，回填浆砌片石及粘土隔水层，楔形体侧向设置防护措施。

6.2.6.2.7 侧向进洞法。隧道进洞时，隧道洞口正面不具备进洞条件，由距洞口一定距离的洞身侧方进洞，进入洞身后再正常开挖。

6.2.7 明洞工程

6.2.7.1 明洞边墙基础应设置在符合设计要求且稳固的地基上，基坑的渣体杂物、风化软层和积水应清除干净，不得超挖回填虚土。

6.2.7.2 基础施工完成后应及时回填，避免雨水等侵蚀地基。

6.2.7.3 明洞衬砌及防水的施工要点与洞内二次衬砌基本相同，明洞衬砌与暗洞衬砌应连接良好。

6.2.7.4 明洞拱圈外模拆除、拱圈混凝土达到设计强度的70%后，应及时施作防水层及拱脚纵向排水管、环向盲沟。防水板应向隧道内延伸不小于0.5 m，并与暗洞防水板连接良好。

6.2.7.5 拱圈混凝土达到设计强度、拱墙背防水设施完成后，方可回填拱背土方。

6.2.7.6 明洞段顶部回填土方应对称分层夯实，每层厚度不得大于0.3 m，两侧回填的土面高差不得大于0.5 m，回填至拱顶后应分层满铺填筑。顶层回填材料宜采用黏土以利于隔水。墙背与岩壁空隙可根据大小选择与墙身同级混凝土、片石混凝土或浆砌片石回填密实。

6.2.7.7 使用机械回填时，拱圈混凝土强度应达到设计强度，且需先用人工填筑夯实回填至拱顶以上1.0 m后，方可使用机械施工。

6.2.8 洞门工程

6.2.8.1 隧道洞口应尽可能减弱人工痕迹，洞口应与自然景观相协调。

6.2.8.2 洞门拱墙应与洞内相邻的拱墙衬砌同时施工，连成整体，洞门端墙应与隧道衬砌紧密连接。

6.2.8.3 洞门端墙的砌筑(或浇筑)与墙背回填，应两侧同时进行，防止对衬砌产生偏压。

6.2.8.4 洞门建筑完成后，洞门以上仰坡的截水沟和墙顶排水沟及路堑排水系统应完好与连通。

6.2.8.5 隧道明洞回填和洞门施工完成后，应及时做好洞口边坡及仰坡的地表恢复，符合环境保护和水土保持要求。

6.2.8.6 隧道洞门装饰石材宜采用干挂方式。

6.3 质量控制要点

6.3.1 明洞顶应按设计要求保证明洞回填厚度，对于滑坡塌方的堆积物要及时清理，避免产生额外荷载。

6.3.2 严格控制混凝土配合比，做好混凝土的养生工作。

6.3.3 建立完善的排水系统，在明洞顶部填土至边坡交接处要增设截水沟，并经常保持良好状态。

6.3.4 明洞防水板应向洞内延伸足够的长度与暗洞防水板搭接良好，不得有通缝。

6.4 安全控制要点

6.4.1 洞口施工前，应先清理洞口上方及侧方可能滑塌的表土、灌木及山坡危石等。

6.4.2 洞口的截、排水系统应在进洞前完成，并应与路基排水顺接。

6.4.3 石质边、仰坡应采用预留光爆层法或预裂爆破法，不得采用深眼大爆破或集中药包爆破开挖。

6.4.4 洞口边、仰坡坡面防护应符合要求，洞口施工应监测边、仰坡变形。

6.4.5 洞口附近存在建(构)筑物且使用爆破掘进的，应采用控制爆破技术，并应监测振动波速及建(构)筑物的沉降和位移。

6.4.6 洞口施工应采取保护措施保护周围建(构)筑物、既有线、洞口附近交通道路。

6.4.7 洞口开挖宜避开雨季、融雪期及严寒季节。

6.4.8 洞口仰坡上方洞身范围内禁止修建施工水池。

7 开挖

7.1 一般要求

- 7.1.1 洞身开挖应根据隧道长度、断面大小、结构形式、工期要求、机械设备、地质条件等，选择适宜的开挖方案(包括开挖顺序、爆破、施工照明、通风、排水、支护、出渣等)。
- 7.1.2 开挖面作业人员不应超过 19 人。
- 7.1.3 隧道仰拱与距开挖面距离、二次衬砌距开挖面距离应符合晋交安监发[2009]327 号和 JTG F90 的相关规定。
- 7.1.4 洞身开挖应采用有利于减少围岩扰动的开挖方法。隧道爆破应采用光面爆破，必要时采用预裂爆破技术，不得二次爆破开挖。对不宜爆破的软弱围岩以及黄土地段，宜采用挖掘机配合装载机进行隧道开挖施工。
- 7.1.5 应采用有效的测量手段控制开挖轮廓线。
- 7.1.6 开挖爆破作业应在上一循环喷射混凝土终凝不少于 4 h 后进行。
- 7.1.7 隧道底部超挖应采用与衬砌相同强度等级混凝土浇筑，不得用洞渣回填。
- 7.1.8 隧道双向开挖的贯通位置不宜选择在Ⅳ级及以上围岩地段。双向开挖距离 100 m 时，两端施工应统一指挥，并采取浅眼低药量，控制爆破震动；当两开挖面间距为 15 m~30 m 时，应改为单向开挖，一端应停止开挖并将人员机具撤走，并在安全距离处设立警告标志。对采用单向开挖的隧道，出洞前应反向开挖不少于 30 m 且不小于洞口超前管棚长度，不得在隧道洞口处贯通。
- 7.1.9 双洞开挖时，应根据两洞的轴线间距、洞口里程距离、地质条件及其他自然条件，选择适当的开挖方法，确定好两洞开挖的时间差和距离差，并采取措施防止后行洞开挖对先行洞周壁产生不良影响。
- 7.1.10 瓦斯地层隧道施工应符合 GB 6722 的相关规定。
- 7.1.11 洞内应每隔 50 m 设置一个水准点。
- 7.1.12 在施工过程中，隧道围岩分类应根据开挖面的直接观察、围岩变形的量测结果、超前地质预报和岩层构造、岩性及地下水等情况进行动态控制，必要时及时调整支护参数。

7.2 开挖方法

7.2.1 隧道的开挖应与支护、衬砌施工相协调。一般开挖方法包括：全断面法、台阶法（两台阶、三台阶、三台阶七步开挖法）、环形导坑预留核心土法、中隔壁法(CD 法、CRD 法)、双侧壁导坑法、挑顶施工法及其它施工方法。其中全断面法、台阶法（两台阶、三台阶）、中隔壁法(CD 法、CRD 法)、双侧壁导坑法的主要开挖方法及开挖、支护顺序按 JTG/T F60 执行。

7.2.2 环形开挖留核心土法

7.2.2.1 环形开挖留核心土法是先开挖上部导坑弧形断面留核心土平台，再开挖下部两侧边墙、中部核心土的隧道开挖方法。

7.2.2.2 环形开挖留核心土法，将开挖断面分为上、中、下及底部四个部分逐级掘进施工，开挖进尺宜为 0.5 m~1.0 m；核心土面积不小于整个断面面积的 50%。上部宜超前中部 3 m~5 m，中部超前下部 3 m~5 m，下部超前底部 10 m 左右；上部开挖高度控制在 0.35 H 左右，中部台阶高度也控制在 0.35 H 左右，下部台阶控制在 0.3 H 左右。

7.2.2.3 核心土和下台阶开挖应在上台阶支护完成、喷射混凝土强度达到设计强度的 70%后进行。为防止上台阶初期支护下沉、变形，其底部宜加设槽钢托梁，托梁与钢架连为一体，钢架底部应按设计要求设置锁脚锚杆，并与纵向槽钢焊接。

7.2.2.4 每一台阶开挖完成后，及时喷射混凝土对围岩进行封闭，型钢钢架及锁脚锚杆架立后分层复喷混凝土至设计厚度。

7.2.2.5 土质隧道应以核心土为基础设立临时钢架支撑以支撑拱顶和拱腰，核心土应根据围岩量测结果适当滞后开挖。

7.2.3 三台阶七步开挖法

7.2.3.1 三台阶七步开挖法施工工艺流程见图 2。三台阶七步开挖法应以机械开挖为主，必要时辅以弱爆破，各分步平行作业，平行施作初期支护，各分部初期支护应衔接紧密，及时封闭成环。

7.2.3.2 仰拱应紧跟下台阶施作，及时闭合构成稳定的支护体系。

7.2.3.3 拱部超前支护完成后，环向开挖上台阶环形导坑，预留核心土长度宜为 3 m~5 m，宽度宜为隧道开挖宽度的 1/3~1/2。开挖循环进尺应根据初期支护钢架间距确定，最大不得超过 1.5 m，上台阶开挖矢跨比应大于 0.3。

7.2.3.4 中台阶及下台阶左、右侧开挖进尺应根据初期支护钢架间距确定，最大不得超过 1.5 m，开挖高度宜为 3 m~3.5 m，左、右侧台阶错开 2 m~3 m。

7.2.3.5 上、中、下台阶预留核心土开挖进尺与各台阶循环进尺相一致。

7.2.3.6 仰拱循环开挖长度宜为 2 m~3 m，开挖后及时施作仰拱初期支护。

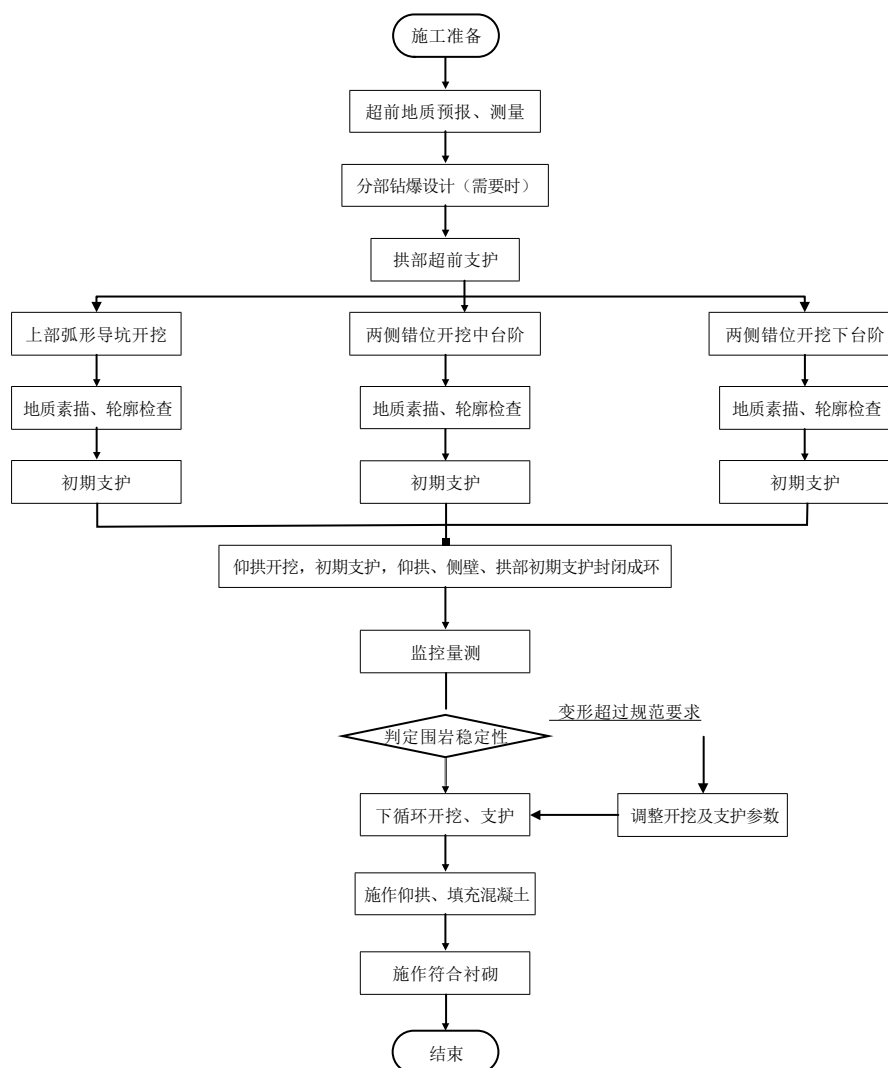


图2 三台阶七步开挖法施工工艺流程图

7.2.4 挑顶施工法

7.2.4.1 挑顶施工法示意图见图3。挑顶施工法是横洞施工到与主洞的上台阶利用小导洞沿主洞洞顶弧线轮廓向主洞的宽度方向爬坡直接挑顶，对小导洞部分的主洞进行初期支护后向主洞方向分台阶开挖支护的方法。

7.2.4.2 斜井进入正洞挑顶应采用垂直挑顶法。斜井掘进至与正洞隧道中线交点前 20 m 时，开挖按半径 20m 的曲线净空逐步加宽、加高，以满足各种机车、运输车辆的转弯半径及净空要求。斜井与正洞隧道断面交叉接触点按圆周施工。

7.2.4.3 挑顶起点从斜井外拱顶起，沿正洞外拱弧形开挖，宽度 2 m~3 m，预留核心土，两侧做成 5:1 坡度，每次开挖进尺不宜大于 1 m，并立即湿喷混凝土封闭开挖面，在达到正洞拱顶标高且拱部符合设计轮廓时，按照设计施作正洞初期支护。

7.2.4.4 上导支护完成后，开挖核心土，沿隧道进出口方向各向两侧开挖，拱部钢架拱脚应与斜井钢架相接。形成施工作业空间后，分部进行下半断面开挖及支护。

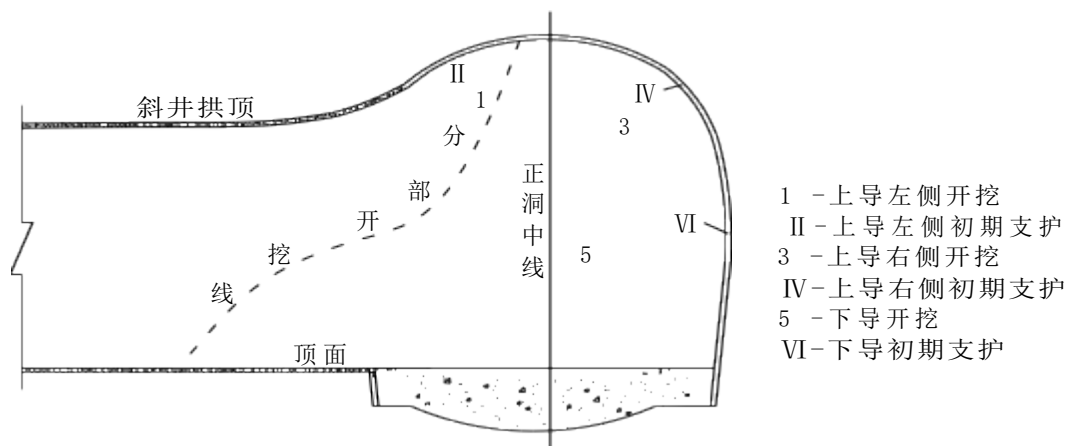


图3 挑顶施工法示意图

7.3 钻爆作业

7.3.1 常规爆破

7.3.1.1 钻眼前应定出开挖断面中线、水平线，用红油漆准确绘出开挖断面轮廓线，并标出炮眼位置，经检查符合要求后方可钻眼。

7.3.1.2 当开挖面凹凸较大时，应按实际情况调整炮眼深度，并相应调整装药量，除掏槽眼外的所有炮眼眼底宜在同一垂直面上。

7.3.1.3 根据不同炸药的性能，合理选择爆破炸药。对硬岩、长大隧道可选择爆速高、爆后炮烟少、有害气体含量低的水胶炸药。

7.3.1.4 宜配备专用炮泥机加工炮泥。

7.3.1.5 装药前用高压风水将炮眼内泥浆、存水及石粉吹洗干净，周边眼的堵塞长度不宜小于 40 cm。

7.3.1.6 装药需分片分组，按炮眼设计图确定的装药量自上而下进行。

7.3.1.7 联结起爆网路施工和瞎炮处理按 GB 6722 的有关规定执行。

7.3.1.8 爆破后必须经过通风排烟，排烟时间不得少于 15 min，且洞内空气质量符合 JTG F90 的相关要求。

7.3.1.9 爆破排烟后必须进行安全检查，确认安全后才能出渣。

7.3.2 水压爆破

7.3.2.1 隧道开挖施工宜采用水压爆破。

7.3.2.2 水压爆破施工应使用专用设备炮泥机和水袋自动封装机。

7.3.2.3 水压爆破的钻孔数量、布眼方式、起爆顺序、钻孔深度、周边眼装药量等都与常规起爆相同。

7.3.2.4 作业前必须对所有的操作人员进行装药工艺培训。

7.3.2.5 水袋装水不宜过满，堵塞时捣固密实。

7.3.3 质量控制要点

7.3.3.1 周边轮廓线的放样允许误差应为 ± 2 cm。

7.3.3.2 周边眼开眼位置视围岩软硬稍作调整：硬岩在轮廓线上；软岩可向内偏移 5 cm~10 cm。

7.3.3.3 尽量减小周边眼外插角的角度，孔深小于 3 m 时外插角的允许斜率宜为孔深的 5%；孔深大于 3 m 时外插角斜率宜为孔深的 $\pm 3\%$ ；外插角的方向应与该点轮廓线的法线方向相一致，并应根据不同的炮眼深度，适当调整斜率。

7.3.3.4 当隧道断面较大或地表建筑物对振动要求较严时，可采用小导洞超前，隧道开挖以“层层剥皮”成形，既能减轻爆破振动，又可提高光面爆破效果。

7.4 施工要点

7.4.1 两车道隧道洞口段土质和类土质、含水量大、承载力低的围岩宜采用环形导坑预留核心土法或者三台阶七步开挖法，当有沉降限制或其他要求时，可采用中隔壁法(CD 法)或交叉中隔壁法(CRD 法)施工。

7.4.2 三车道浅埋段的 V、VI 级围岩应按中隔壁法、交叉中隔壁法或双侧壁导坑法施工。

7.4.3 浅埋大跨度隧道及地表下沉量要求严格而围岩条件很差时，应选用交叉中隔壁法或双侧壁导坑法施工。

7.4.4 V 级围岩和浅埋段的 IV 级围岩每循环进尺宜控制在 1 榀钢拱架长度以内。

7.4.5 对土质隧道，应以核心土为基础设立临时钢架竖撑以支撑拱顶，核心土应根据围岩量测结果适当滞后开挖。

7.4.6 采用上下台阶法施工的隧道，台阶分界线不得超过起拱线；上台阶长度不得过长，应尽量采用短台阶，以便及时成环封闭，上台阶长度不宜超过 1.5 B；下台阶马口落底长度不大于 2 榀钢拱架的间距，应一次落底，并尽快封闭成环。

7.4.7 仰拱开挖应以人工配合机械开挖为主。

7.4.8 仰拱开挖当遇变形较大的膨胀性围岩时，底面与两隅应预先打入锚杆或采取其他加固措施后再开挖。

7.4.9 浅埋、偏压段开挖应注意以下内容：

- a) 偏压隧道施工前，应根据土压情况对偏压段进行平衡、加固处理。
- b) 在浅埋、严重偏压、自稳较差的地段施工时，应按设计采用稳定地层的地表砂浆锚杆和地表注浆等辅助工程措施。施工中应注意观察地形和降水、地质条件和地下水位的变化以及量测数据的突变等情况，预防突发事件的发生。
- c) 隧道浅埋、偏压段基底处理一般可采用旋喷桩、树根桩、灰土挤密桩、袖阀管注浆加固等方法。旋喷桩适用于砂类土、黏性土、黄土和淤泥等的隧道基底加固。树根桩适用于淤泥、淤泥土质、

黄土、黏性土、粉土、沙土、碎石土及人工填土等的隧道基底加固。灰土挤密桩适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等隧道基底加固，处理深度一般为 5 m~15 m。

7.4.10 塌方防治

7.4.10.1 加强地质超前预报和监控量测工作。

7.4.10.2 不得未经论证随意更改开挖方法；对隧道爆破方案充分论证，避免对围岩的扰动过大。

7.4.10.3 在软弱围岩条件下应及时施作仰拱，形成封闭的环状受力结构。根据局部地质状况，必要时采取超前锚杆、锁脚锚杆、管棚、注浆、小导管预注浆等措施。断层破碎带地段采用超前小导管或长管棚预注浆、短台阶开挖，开挖完后立即喷射混凝土封闭围岩。

7.4.10.4 断层破碎带地段施工，严格按照“早预报、管超前、预注浆、短台阶、短进尺、弱爆破、强支护、早成环、勤测量”的原则进行施工。

7.4.11 涌水防治

7.4.11.1 隧道涌水处理应符合“预防为主、疏堵结合、注重保护环境”的原则。

7.4.11.2 应根据工程地质与水文地质条件等因素，确定超前钻孔施工钻孔位置、方向、数目及每次钻进深度等，应保证钻孔排出的水迅速排至洞外。

7.4.11.3 采用超前预注浆堵水施工时，应按照本标准第 8.9 条的规定执行。

7.4.11.4 开挖后注浆堵水施工注浆范围应根据地质条件、涌水量、允许排放量、环保要求等因素确定，注浆类型应根据隧道开挖后的涌水规模及位置等因素选择。

7.4.11.5 采用平行坑道排水时，平行导坑、横洞的底高程应低于正洞底高程。

7.5 连拱隧道

7.5.1 连拱隧道应特别注意地形偏压带来的不利影响。

7.5.2 应合理安排两侧主洞开挖、初支、二衬等工序的先后顺序及步距，减少先行洞、后行洞施工时相互对围岩及结构的扰动。

7.5.3 一般情况下，连拱隧道施工不宜左右两洞同时开挖、衬砌。先行洞应选择在偏压侧及地质较为软弱的一侧；先行洞开挖超前另侧主洞 30 m，先行洞二次衬砌断面落后后行洞开挖面距离，现场可根据爆破震动监测结果确定，一般不小于 2 倍洞径。左、右洞须至少各配备一台二衬模板台车。

7.5.4 中导洞开挖对洞身围岩的情况先行探察，为主洞的开挖积累资料和摸索情况，并且及时与设计围岩进行对比，修正支护结构参数，以指导主洞的施工。

7.5.5 中隔墙顶部应与中导洞顶紧密接触，回填密实，模板宜采用定型钢模。

7.5.6 开挖先行主洞前，后行主洞围岩与中隔墙之间的空隙应按设计要求进行回填密实或支撑顶紧；爆破方案不得以中导洞作为爆破临空面。

7.5.7 主洞上拱部的开挖，应在中隔墙混凝土浇筑完毕并达到强度要求后进行。上拱部开挖前，应在中隔墙右(左)侧导坑空隙处用钢管设置横向水平支撑，防止中隔墙受到推力后产生变形。

7.6 小净距隧道

7.6.1 小净距隧道开挖方法的选择，应以减小对中岩墙的扰动，控制中岩墙的围岩变形，保证开挖过程中围岩的稳定性为原则，合理安排施工方法及施工工序。

7.6.2 小净距隧道爆破应进行专门设计，并进行试爆，测定震动值，严格控制爆破震动。先行洞与后行洞开挖面错开距离应大于 2B。当采用 CD 法或 CRD 法开挖时，后行洞宜先开挖靠近中岩墙侧。

7.6.3 小净距隧道施工应重点控制爆破对中岩墙的危害，相邻爆破分段起爆间隔时间宜不小于 100 ms。

7.6.4 对Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级围岩，小净距隧道双洞间相互影响程度划分和小净距隧道爆破震动速度控制标准按照 JTG/T F60 执行。

7.6.5 小净距隧道初期支护、二次衬砌应满足下列要求：

7.6.6 对于差围岩，应采用封闭的初期支护；对于好的围岩，初期支护可不封闭成环，但应尽早浇筑二次衬砌。

7.6.7 先行洞的二次衬砌宜在围岩变形基本稳定后进行，宜距离后行洞开挖面 2B 以上。

7.6.8 先、后行洞应各配备一台二次衬砌模板台车。

7.7 质量控制要点

7.7.1 严格控制欠挖，拱、墙脚以上 1 m 内断面严禁欠挖。

7.7.2 条件具备时宜采用光面爆破。

7.7.3 开挖轮廓线应按设计要求预留变形量，必要时根据监控量测情况及时调整。

7.8 安全控制要点

7.8.1 长度小于 300 m 的隧道，起爆站应设在洞口侧面 50 m 以外；其余隧道洞内起爆站距爆破位置不得小于 300 m。

7.8.2 装药、起爆、通风、盲残炮处置等应符合 GB 6722 的有关规定。

7.8.3 爆破后应按先机械后人工的顺序找顶，并应确认安全。

7.8.4 机械开挖应根据断面和作业环境选择机型、划定安全作业区域，并应设置警示标志。

7.8.5 人工开挖应设专人指挥，作业人员应保持安全操作距离。

7.8.6 两座平行隧道开挖，同向开挖工作面纵向距离应根据两隧道间距、围岩情况确定，且不宜小于 2B。

7.8.7 土质或软弱围岩隧道应加大预留贯通的安全距离。

7.8.8 隧道开挖开挖面至二次衬砌之间应设置逃生通道，随开挖进尺不断前移，逃生通道距离开挖面不得大于 20 m。逃生通道的刚度、强度及抗冲击能力应满足安全要求，且保证足够的长度的和可手动拆卸性，管壁厚不宜小于 10 mm，管内径不宜小于 0.8 m。

7.8.9 高压气、高压水钢管应尽可能靠近开挖面；钻孔台车应常备卸管头的扳手和应急照明工具。

7.8.10 长、特长及高风险隧道应设报警系统及逃生设备、临时急救器械和应急生活保障品等。

7.8.11 涌水段开挖宜采用超前钻孔探水查清含水层厚度、岩性、水量与水压。

7.8.12 台阶法和环形开挖预留核心土法施工，除应符合现行 JTG F60 的有关规定外，应根据围岩条件和初期支护钢架间距确定台阶上部开挖循环进尺，上台阶每循环开挖支护进尺。Ⅴ、Ⅵ级围岩不应大于 1 榀钢架间距，Ⅳ级围岩不得大于 2 榀钢架间距；台阶下部断面一次开挖长度应与上部断面相同，且不得超过 1.5 m。

7.8.13 中隔壁法施工应符合 JTG F60 的有关规定，且同侧上、下层开挖工作面应保持 3 m~5m 距离。

7.8.14 Ⅳ级及以上围岩仰拱每循环开挖长度不得大于 3 m，不得分幅施作。仰拱与开挖面的距离，Ⅲ级围岩不得超过 90 m。

7.8.15 底板欠挖硬岩应采用人工钻眼松动、弱爆破方式开挖。

7.8.16 栈桥等架空设施强度、刚度和稳定性应满足施工要求；栈桥基础应稳固；桥面应做防侧滑处理；两侧应设限速警示标志，车辆通过速度不得超过 5 km/h。

7.8.17 偏压隧道靠山一侧应加强支护，每次开挖进尺不得超过一榀钢架间距，并应及时封闭。

7.8.18 装渣与运输应符合 JTG F60 的有关规定，运渣车辆应状态完好、制动有效，不得载人，不得超载、超宽、超高运输。

7.8.19 装渣、卸渣及运输作业场地的照明应满足作业人员安全的需要，隧道内停电或无照明时，不得作业。

8 初期支护

8.1 一般要求

8.1.1 监控测量各预埋测点设置专用标志牌，标明测点的名称、部位、编号、埋设日期等；要加强教育，提高所有进洞人员保护意识，对测点进行妥善保护，不得任意撤换和破坏。

8.1.2 隧道支护宜根据现场监控量测结果，分析施工中的各种信息，及时调整格支护措施和支护参数。

8.1.3 施工中应做好地质描述和超前地质预报，根据围岩条件的变化，因地制宜，提前采取相应措施，做到安全可靠、经济合理。

8.2 喷射混凝土

8.2.1 一般要求

8.2.1.1 隧道开挖后应立即对岩面喷射混凝土，喷射混凝土应采用湿喷工艺。作业区粉尘浓度必须符合 JTG F60 第 13 章的规定；宜选定大容量的喷射机和喷射机械手。特殊地质条件下不能湿喷时需另行设计。

8.2.1.2 喷射作业应分段、分片依次进行，喷射顺序自下而上进行，每次作业区段纵向长度不宜超过 6m。

8.2.1.3 喷射混凝土作业需紧跟开挖面时，下次爆破距喷射混凝土作业完成时间的间隔不应小于 4 h。

8.2.1.4 喷射混凝土混合料应随拌随喷，回弹物不得重新用作喷射混凝土材料。

8.2.1.5 一次喷射厚度应根据设计厚度和喷射部位确定，初喷厚度宜为 40 mm~60 mm。复喷一次喷射厚度拱顶不得大于 100 mm、边墙不得大于 150 mm。首层喷混凝土时，要着重填平补齐，将小的凹坑喷圆顺。岩面有严重坑洼处采用锚杆吊模模喷混凝土处理。

8.2.1.6 喷射作业应以适当厚度分层进行，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。

8.2.1.7 若终凝后间隔 1 h 以上且初喷表面已蒙上粉尘时，受喷面应用高压风水清洗干净。

8.2.1.8 喷射混凝土作业时喷嘴应垂直岩面；喷嘴距岩面距离以 0.6 m~1.2 m 为宜，喷射料束与受喷面垂线成 5° ~ 15° 夹角时最佳；喷射时，应使喷射料束螺旋形运动；喷射机工作压力应控制在 0.1 MPa~0.15 MPa。

8.2.1.9 钢架与壁面之间的间隙应用喷射混凝土充填密实；喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射，并将钢架覆盖，保证将其背面喷射填满，黏结良好。拱脚基础喷射混凝土要密实，严禁基础悬空。

8.2.1.10 喷射混凝土终凝 2 h 后应喷水养护，养护时间不少于 7 d。隧道内环境温度低于 $+5^{\circ}\text{C}$ 时，不得喷水养护。

8.2.1.11 冬季施工时，喷射混凝土作业区的温度不应低于 5°C ，混合料进入喷射机的温度不应低于 5°C ，在结冰的岩面上不得进行喷射混凝土作业。混凝土强度未达到 6 MPa 前不得受冻。

8.2.1.12 为了防止后续的防水卷材破损，喷射应使围岩的凹凸完全被覆盖，喷层表面应进行平顺处理。

8.2.2 施工要点

8.2.2.1 喷射混凝土作前应清除松动岩块，清洗岩壁面粉尘，清除边角处的岩屑、杂物等。

8.2.2.2 岩面有渗水出露时，应先引排处理。当局部出水量较大时，可采用埋管、凿槽、设置树枝状排水盲沟等措施，将水引导疏出后再喷射混凝土。

8.2.2.3 应埋设标志或利用锚杆外露长度以控制喷射混凝土的厚度，以确保最小厚度满足设计要求。

8.2.2.4 在混合料中添加钢纤维时，宜采用钢纤维拌料机。

8.2.2.5 喷射混凝土原材料应符合以下规定：

- a) 水泥：宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。特殊情况下可采用特种水泥，采用特种水泥时应进行现场试验，指标应满足设计要求；
- b) 粗集料：应采用坚硬耐久的碎石或卵石，最大粒径不应大于 13.2 mm，其压碎值应 \leq 16%，针片状颗粒含量 \leq 25%，含泥量 \leq 2.0%；
- c) 细集料：要求采用连续级配、坚硬耐久、颗粒洁净、粒径小于 4.75 mm 的河砂或机制砂，细度模数宜大于 2.5，其含泥量 \leq 5.0%；
- d) 外加剂：应符合 GB 8076、GB 50119、JGJ/T 281 和 JC 477 的规定，且不应使用含氯盐的外加剂；
- e) 速凝剂：应根据水泥品种、水灰比等，根据不同掺量的混凝土试验选择掺量，使用前应做好速凝效果试验，要求初凝不应大于 5 min，终凝不应大于 10 min。应采用液体速凝剂，严禁采用粉体速凝剂；
- f) 水：应采用饮用水，指标符合 GB 5749 的规定；
- g) 外掺料：外掺料剂量应通过试验确定，加外掺料后的喷射混凝土性能应满足设计要求。

8.2.3 喷射钢纤维混凝土除满足喷射混凝土原材料要求外，还应符合下列要求：

8.2.3.1 钢纤维内不得有明显的锈蚀、油脂及其他妨碍钢纤维与水泥粘结的杂质，其中因加工不良造成的粘连片、铁屑及杂质不应超过钢纤维重量的 1%。钢纤维内不得混有妨碍水泥硬化的化学成分。

8.2.3.2 钢纤维宜用普通碳素钢制成，钢纤维抗拉强度 \geq 600 MPa，钢纤维应能承受一次弯折 90° 不断裂。钢纤维长度宜为 20 mm~35 mm，并不得大于输料软管以及喷嘴内径的 0.7 倍，长径比宜为 40~80。

8.2.3.3 钢纤维掺量宜根据弯曲韧度指标确定，并应考虑到喷射时钢纤维混凝土各组分回弹率不同的影响。喷射钢纤维混凝土的钢纤维的实际含量不宜大于 78.5 kg/m³（体积率 1.0%）。最小含量可依据钢纤维的长径比参照表 1 选用。

表1 钢纤维混凝土中钢纤维的最小实际含量要求

钢纤维的长径比	40	45	50	55	60	65	70	75	80
最小实际含量 (kg/m ³)	65	50	40	35	30	25	20	20	20
最小实际体积率	0.83	0.64	0.51	0.45	0.38	0.32	0.25	0.25	0.25

8.2.3.4 喷射钢纤维混凝土的强度等级不应低于 C25，并应满足结构设计对抗压强度、抗拉强度、抗折强度的要求。喷射钢纤维混凝土使用的水泥强度不应低于 42.5 MPa。

8.2.3.5 喷射钢纤维混凝土采用的骨料应采用连续级配，粗骨料最大粒径不宜大于 10 mm；砂率不应小于 50%。

8.2.3.6 喷射钢纤维混凝土的原材料中宜加入硅粉或粉煤灰等活性掺合料。硅粉的掺量宜为水泥重量的 5%~15%，粉煤灰的掺量宜为水泥重量的 15%~30%，掺合料掺量的选择通过试验确定。

8.2.3.7 喷射钢纤维混凝土宜掺入无碱速凝剂、高效减水剂和增塑剂，其品种和剂量应通过试验或工程经验确定，并应经现场试喷检验。

8.2.3.8 喷射钢纤维混凝土配合比设计应根据喷射钢纤维混凝土抗压强度要求确定水胶比，根据弯曲韧度比和弯拉强度要求确定钢纤维掺量。

8.2.3.9 喷射钢纤维混凝土的拌合工艺应确保钢纤维在拌合物中分散均匀，不产生结团，宜采用将钢纤维、水泥、粗细骨料先干拌后加水湿拌的方法，干拌时间不得少于 1.5 min。钢纤维混凝土的拌合时间应通过现场拌合试验确定，不宜小于 3 min（较普通混凝土要求的拌合时间延长 1 min~2 min）。

8.2.3.10 喷射钢纤维混凝土的表面宜再喷一层厚度为 10 mm 的水泥砂浆，其强度不应低于喷射钢纤维混凝土的强度。

8.2.4 质量控制要点

8.2.4.1 喷混凝土强度检验可从下列方法中选择：

- a) 用喷大板切割试块（100 mm 的立方体），在标准养护条件下养护 28 d，用标准试验方法测得的极限抗压强度乘以 0.95；
- b) 当不具备制作抗压强度标准试块条件时，可喷制混凝土大板，在标准条件下养护 7 d 后，用钻芯机取芯制作试块，芯样边缘至大板周边的最小距离不小于 50 mm；
- c) 可直接向边长 150 mm 的无底标准试模内喷射混凝土制作试块，抗压试验加载方向应与试块喷射成型方向垂直，其抗压强度换算系数应通过试验确定。

8.2.4.2 喷混凝土的厚度应符合下列要求：

- a) 平均厚度大于设计厚度；
- b) 检查点数的 90% 及以上厚度大于设计厚度；
- c) 最小厚度不小于设计厚度的 4/5。

8.3 锚杆

8.3.1 锚杆钻孔宜采用三臂凿岩台车进行施作，根据断面尺寸选择台车数量。

8.3.2 锚杆施作位置用红漆进行标识，锚杆应安装垫板，垫板应与喷射混凝土紧密接触。锚杆头采用专用防护套保护，避免刺破防水板。

8.3.3 钻孔深度不应大于锚杆杆体有效长度 100 mm。

8.3.4 钻孔宜保持直线，系统锚杆钻孔方向宜与开挖面垂直。当岩层层面或主要结构面明显时，应尽可能与其成较大交角，但与开挖面的垂直偏差不应大于 20°。

8.3.5 水泥砂浆锚杆孔深允许偏差为 ±50 mm。早强药包锚杆孔深应与杆体长度配合适当。

8.3.6 锚杆杆体宜选用 HRB335、HRB400 钢，杆体屈服抗拉力 ≥150 kN，强屈比 ≥1.2；锚杆用的各种水泥砂浆强度不应低于 M20；锚杆垫板材料宜采用 Q235 钢材。

8.3.7 安装时应确保垫板与锚杆轴线垂直，与喷射混凝土层紧密接触。当锚杆孔的轴线与孔口面不垂直时，可在螺母下安装楔形垫块或是在垫板后用砂浆或混凝土找平。

8.3.8 普通水泥砂浆锚杆施工应符合下列规定：

- a) 宜选用螺纹钢筋作锚杆。锚杆外露端应加工 120 mm~150 mm 的标准螺纹，并采用配套标准螺母；
- b) 砂浆应随拌随用，一次拌和的砂浆应在初凝前用完，已初凝的砂浆不得使用；
- c) 注浆开始或中途暂停超过 30 min 时，应用水润滑灌浆管及其管路。浆管向孔底送，使砂浆孔内多余的水挤出孔外，之后随水泥砂浆的注入缓慢匀速拔出。灌浆压力不宜大于 0.4 MPa；
- d) 砂浆灌注后应及时插入锚杆杆体。若孔口无砂浆流出，则应将杆体拔出重新灌浆。

8.3.9 中空注浆锚杆施工应符合下列规定：

- a) 中空注浆锚杆施工时应保持中空通畅，并留有专门排气孔。螺母应在砂浆初凝后拧紧，并使垫板与喷射混凝土面紧密接触；
- b) 中空注浆锚杆应有锚头、垫板、螺母、止浆塞等配件；
- c) 注浆过程中，注浆压力应保持在 0.3 MPa 左右，待排气口出浆后，方可停止灌浆。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/958035131054006106>