UDC

中华人民共和国行业标准 TB

TB XXXXX－20XX
P JXXX－20XX

铁路隧道大型机械化施工技术规程

Technical Specification for Construction of Railway Tunnel Using Mechanization

（征求意见稿）

20 XX—XX—XX 发布 20 XX—XX—XX 实施

国 家 铁 路 局 发布

中华人民共和国行业标准

铁路隧道大型机械化施工技术规程

Technical Specification for Construction of Railway Tunnel Using Mechanization

TB XXXXX—20XX

J XXX—20XX

主编单位：中国铁路经济规划研究院有限公司

中铁二局集团有限公司

批准部门：国家铁路局

施行日期：20XX 年 XX 月 XX 日

20XX 年·北 京

前 言

为统一铁路隧道机械化施工技术要求，提高我国铁路隧道工程机械化建造水平，在《铁路隧道全工序机械化设计施工技术规程》Q/CR9265 基础上，全面总结高原、郑万、西昆、长赣等铁路隧道机械化施工实践经验，吸纳铁路隧道机械化施工相关科研成果，编制了《铁路隧道大型机械化施工技术规程》。

本规程积极推行铁路隧道机械化、信息化，系统规定了洞口工程、超前地质预报及掌子面稳定性评价、开挖、支护、防排水、衬砌等全流程机械化施工关键技术要求，强化了施工机械配置维保、不良地质机械化施工等技术保障措施，为全面推进铁路隧道机械化施工，提升铁路隧道施工安全、质量保障水平提供技术支撑。

本规程由 13 章组成，包括总则、术语、基本规定、施工机械、洞口工程、超前地质预报、掌子面稳定性评价、开挖、支护与加固、防排水、衬砌、不良地质、信息化。

本规程的主要内容如下：

1. 明确了本规程适用范围，提出了隧道机械化施工遵循的总体原则。

2. 明确了铁路隧道机械化施工相关术语的定义和内涵。

3. 提出了隧道施工机械设备配置、施工组织、工序管理、风险评估、质量安全体系等基本要求。

4. 提出了隧道机械化施工主要设备的选型与配置建议。

5. 提出了隧道机械化施工进洞施工方法及技术要求。

6. 明确了隧道机械化施工超前地质预报及掌子面稳定性评价的技术要求。

7. 提出了隧道全断面法、微台阶法等机械化施工工法技术要求，明确了隧道开挖、超前支护、初期支护、防排水、二次衬砌等工序施工要点。

8. 明确了隧道不良地质段机械化施工要点。

9. 明确了隧道机械化施工信息化施工相关要求。

本规程系首次编制。希望各单位在执行过程中，结合工程实践，收集数据，总结经验。如发现有需要修改和补充之处，请及时将意见及有关资料寄交中国铁路经济规划研究院有限公司（北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号，邮编 100038）、中铁二局集团有限公司（地址：四川省成都市通锦路 16 号，邮编：610031），供今后修订时参考。

本规程由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位：中国铁路经济规划研究院有限公司、中铁二局集团有限公司。

参编单位： 国家铁路局工程质量监督中心、西藏铁路建设有限公司、中铁四局集团有限公司、西南交通大学、四川蜀道铁路投资集团有限责任公司。

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则 ..... - 1 -

2 术语 ..... - 2 -

3 基本规定 ..... - 3 -

4 施工机械 ..... - 4 -

4.1 一般规定 ..... - 4 -

4.2 施工机械选型与配置 ..... - 4 -

4.3 施工机械辅助设施 ..... - 8 -

4.4 施工机械维修保养 ..... - 9 -

5 洞口工程 ..... - 10 -

5.1 一般规定 ..... - 10 -

5.2 钻爆法进洞 ..... - 10 -

5.3 非爆开挖进洞 ..... - 10 -

6 超前地质预报 ..... - 12 -

7 掌子面稳定性评价 ..... - 13 -

8 开挖 ..... - 14 -

8.1 一般规定 ..... - 14 -

8.2 施工工法 ..... - 14 -

8.3 钻爆开挖 ..... - 16 -

8.4 非爆开挖 ..... - 17 -

9 支护与加固 ..... - 18 -

9.1 一般规定 ..... - 18 -

9.2 超前支护 ..... - 18 -

9.3 掌子面加固 ..... - 18 -

9.4 初期支护 ..... - 19 -

10 防排水 ..... - 21 -

10.1 一般规定 ..... - 21 -
10.2 仰拱防排水 ..... - 21 -
10.3 拱墙防排水 ..... - 21 -
10.4 施工缝（变形缝）防水 ..... - 21 -
10.5 洞室防排水 ..... - 21 -
10.6 沟槽防排水 ..... - 22 -
11 衬砌 ..... - 23 -
12 不良地质 ..... - 24 -
12.1 一般规定 ..... - 24 -
12.2 挤压性围岩大变形 ..... - 24 -
12.3 岩爆 ..... - 25 -
12.4 高地温 ..... - 25 -
13 信息化 ..... - 27 -
本规程用词说明 ..... - 28 -
《铁路隧道大型机械化施工技术规程》条文说明 ..... - 29 -

1 总则

1.0.1 为规范铁路隧道机械化施工，统一技术要求，提高铁路隧道建造水平，保障隧道施工安全和质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建和改建矿山法铁路隧道机械化施工。

1.0.3 铁路隧道工程应按设计文件开展机械化施工，并应满足工程结构安全、耐久性能和系统使用功能的要求。

1.0.4 铁路隧道机械化施工应遵循技术先进、安全适用和节能环保的原则配套机械和工装。

1.0.5 铁路隧道机械化施工应结合工程地质、水文地质、环境条件及技术特点开展风险管理，加强风险评估，制定风险控制措施和应急预案。

1.0.6 铁路隧道机械化施工应积极推行机械化、信息化、智能化、绿色化。

1.0.7 铁路隧道机械化施工除应符合本规程外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 铁路隧道机械化施工 mechanized construction of railway tunnel

隧道工程开挖、支护、防排水、衬砌、水沟电缆槽等工序作业中应用大型成套专用施工装备的施工模式。

2.0.2 凿岩台车 drill jumbo

用于隧道工程钻孔施工的设备，主要由凿岩机、钻臂、推进器、车架、行走机构、电气控制系统等组成。

2.0.3 拱架安装台车 arch installation jumbo

用于隧道工程拱架安装施工的设备，主要由拱架安装机构、平台举升机构、平衡底盘、液压控制系统与电气控制系统等组成。

2.0.4 钻锚注设备 drill-bolt-grout integrated machine

用于隧道工程锚杆施工的设备，主要由钻孔机构、锚杆安装机构、注浆系统、车架、行走机构、液压控制系统与电气控制系统等组成。

2.0.5 湿喷台车 wet spray jumbo

用于隧道工程喷射混凝土施工的设备，主要由泵送系统、行走系统、液压系统、清洗系统与机械臂等组成。

2.0.5 全断面法 full face method

按设计断面一次基本开挖成形的施工方法。

2.0.6 台阶法 bench cut method

开挖断面呈现为台阶形状的开挖方法，根据台阶数量可分为两台阶和三台阶法；根据开挖顺序可分为台阶同步开挖和台阶分步开挖。

2.0.7 掌子面稳定性 tunnel face stability

隧道掌子面及前方岩、土体的稳定状态。

3 基本规定

3.0.1 隧道机械化施工应综合考虑工程规模、建设工期、地质条件、隧道断面尺寸、经济性等因素合理配置施工机械装备，充分发挥机械装备的优势。

3.0.2 隧道机械化施工应合理规划作业工区，机械设备配置应满足均衡生产需求。

3.0.3 隧道机械化施工应综合考虑地质条件、断面尺寸、围岩稳定性等因素合理选择施工工法，采用先进、成熟的工装及工艺。

3.0.4 隧道机械化施工进度指标应结合地质条件、断面尺寸、机械配套方案等因素合理确定。

3.0.5 隧道机械化施工应将超前地质预报和监控量测纳入施工工序管理，并应结合超前地质预报、监控量测等信息，核实地质条件、掌子面稳定性，动态调整工程措施。

3.0.6 隧道机械化施工应建立健全安全生产管理体系，落实安全生产责任制，加强安全风险分级管控和隐患排查治理。

3.0.7 隧道机械化施工应建立健全质量保证体系，加强施工过程质量管控。

3.0.8 隧道施工机械的操作人员应接受培训、安全技术交底，考核合格后方可上岗。

3.0.9 隧道机械化施工宜通过试验合理确定工法工艺、施工步距、开挖循环进尺等。

3.0.10 隧道机械化施工应充分利用配套设备信息采集功能，预留数据接口，统一数据接口标准化协议。

4 施工机械

4.1 一般规定

4.1.1 隧道机械化施工应结合工程特点制定施工机械配置方案，并纳入隧道实施性施工组织设计。

4.1.2 隧道施工机械应根据断面尺寸、工区设置、辅助坑道设置、地质条件等因素选型配套，各作业面施工机械宜综合调度、统筹备用。

4.1.3 隧道机械化施工宜选择排污达标、噪声小和能耗低的机械。

4.1.4 隧道施工机械设备的安全装置应齐全有效。凿岩台车、湿喷台车、钻锚注设备、拱架安装台车、仰拱栈桥等大型机械设备的作业区域应设置警示标志。

4.1.5 隧道机械化施工的大型机械设备进场后应组织验收。

4.1.6 隧道施工机械设备在特殊作业场所或寒冷、高温、高原等特殊地区或时段使用时，应制定专项安全措施或方案。

4.1.7 隧道施工机械每班作业前，操作人员应检查机械设备并进行试运转，确认安全后，方可投入生产使用。

4.2 施工机械选型与配置

4.2.1 超前地质预报钻孔作业机械选型应符合下列规定：

1 根据隧道环境及特点和超前地质预报方案选取多功能钻机或凿岩台车，设备钻进深度不应小于 30m，并宜选用具备施工钻孔参数采集功能的多功能钻机。

2 加深炮孔施工宜采用凿岩台车。

3 有取芯要求时，应配置相应的钻具。

4 凿岩台车的凿岩机冲击功率不宜小于 21kW。

5 多功能钻机扭矩不宜小于 8kN·m，装机功率不宜小于 50kW。

4.2.2 超前支护与预注浆作业机械选型应符合下列规定：

1 隧道超前小导管、中管棚等钻孔作业宜采用凿岩台车，超前大管棚钻孔宜选用多功能钻机。

2 注浆应选取高压力、大流量、低流速设备，并具备压力、流量可调等功能。

3 作业工区设备配置可按表 4.2.2 选用。

表4.2.2 超前支护与预注浆设备配置建议表

机械名称	规 格	数量（台/套）	
		单线	双线
凿岩台车	2臂～3臂	1	1～2
多功能钻机	钻进深度≥30m	1	1
注浆设备	注浆压力≥2MPa，注浆流量≥3.5m^3/h	1～2	1～2

4.2.3 钻爆开挖作业机械选型应符合下列规定：

1 开挖钻孔应采用凿岩台车，作业范围、钻孔直径、凿岩机冲击功率等应满足钻孔作业需要，宜选用具备施工钻孔参数采集功能的凿岩台车。

2 装药作业可采用配备装药作业平台的凿岩台车，有条件时可选用多功能装药台车，台车作业区上部应具备防护措施。

3 作业工区设备配置可按表 4.2.3 选用。

表4.2.3 凿岩台车配置建议表

线路类别	规格	作业范围	钻孔直径	凿岩机 冲击功率	数量 （台）
双线	2臂～3臂	16m×11m（宽×高）	43mm～102mm	≥21kW	1～2
单线		9m×11m（宽×高）			1
双车道辅助坑道		7.5m×7.5m（宽×高）			1
单车道辅助坑道		6.5m×7.0m（宽×高）			1

4.2.4 非爆开挖作业机械选型应符合下列规定：

1 隧道开挖机械应与施工工法、围岩等级、岩石单轴抗压强度、岩体完整性、地下水状况及隧道开挖断面尺寸等相匹配。

2 开挖机械的作业范围、功率等应满足开挖断面、施工工期、施工组织需要。

3 软岩、土质隧道宜选用悬臂式掘进机、铣挖机，并宜满足连续切削能力；中硬岩隧道可选用重型液压破碎锤、岩石劈裂机；硬岩隧道可选用水磨钻机、绳锯、重型液压破碎锤等。

4 悬臂掘进机宜配置相应的除尘装置。

5 作业工区设备配置可按表 4.2.4 选用。

表4.2.4 非爆开挖机械配置建议表

机械名称	规格/作业范围	数量（台/套）
悬臂式掘进机	单线：4.9m×4.5m（宽×高） 双线：7m×6m（宽×高）	1
铣挖机	铣挖头≥400mm	1～2
破碎锤	炮钎直径≥85mm	根据需要配置
岩石劈裂机	钻孔深度≥300mm	根据需要配置
水磨钻机	钻筒长度≥500mm	根据需要配置
绳锯	切割角度360°	根据需要配置

4.2.5 装（运）渣作业机械选型应符合下列规定：

1 机械设备选型应综合考虑断面大小、施工方法及进度等要求。

2 挖、装、运机械能力应协调配套，运输机械配置能力不应小于挖装能力的 1.2 倍。

3 作业工区设备配置可按表 4.2.5 选用。

表 4.2.4 装（运）渣工序设备配置建议表

机械名称	规 格	数量（台/套）	
		单线	双线
挖掘机	斗容：0.2m³～1.2m³	1	1～2
装载机	斗容≥2m³	1	1～2
运渣车	载重：15t～40t	根据运距配置	

4.2.6 初期支护作业机械选型应符合下列规定：

1 锚杆作业宜选用钻锚注设备，双线隧道宜采用双臂设备。

2 钢架、钢筋网片加工应采用专用成型加工设备。

3 钢架安装宜选用拱架安装台车，拱架安装台车主臂承载能力不宜小于 3000kg，辅臂承载能力不宜小于 1500kg。

4 喷射混凝土应采用混凝土湿喷台车，作业高度不宜小于 16m。

5 作业工区设备配置可按表 4.2.6 选用。

表4.2.6 初期支护工序设备配置建议表

机械名称	规 格	作业范围	数量（台/套）
钻锚注设备	1臂～2臂	双线：16m×11m（宽×高） 单线：9m×11m（宽×高） 双车道辅助坑道：7.5m×7.5m（宽×高） 单车道辅助坑道：6.5m×7.0m（宽×高）	1～2
拱架安装台车	—	最大举升高度不小于 13m	1
混凝土湿喷台车	喷射能力≥30m³/h	作业高度不小于 16m	1～2

4.2.7 防排水作业机械选型应符合下列规定：

1 防水板作业台车长度不宜小于 6m，并应具备行走功能。

2 防水板有效铺挂幅宽不宜小于 3m。

3 作业工区设备配置可按表 4.2.7 选用。

表4.2.7 防排水工序设备配置建议表

机械名称	规格	数量（台/套）	
		单线	双线
防水板作业台车	长度：6 m～12 m	1	1

4.2.8 仰拱衬砌作业机械选型应符合下列规定：

1 自行式仰拱栈桥有效作业长度不宜小于 36m；单工作面长度小于 1.5km 的隧道，有效作业长度不宜小于 24m。

2 自行式仰拱栈桥主梁底至仰拱填充层顶有效作业高度不宜小于 0.8 m。

3 自行式仰拱栈桥应配置布料系统、弧形模板、附着式振捣器等。

4 自行式仰拱栈应合理布置相关管线（路）系统。

5 作业工区设备配置可按表 4.2.8 选用。

表 4.2.8 仰拱衬砌工序设备配置建议表

机械名称	规 格	数量（台/套）	
		单线	双线
自行式仰拱栈桥	有效作业长度≥24m	1	1

4.2.9 拱墙衬砌作业机械选型应符合下列规定：

1 衬砌台车第一层浇筑窗口距模板底部高度宜控制在 1.2 m 内，窗口纵向分布间距不宜大于 3m，每层窗口高差不宜大于 2 m，最后一层窗口距拱顶洞轴线的弧面距离不宜大于 1.5 m。

2 衬砌台车混凝土管路系统应形成封闭结构，宜具备带压浇筑功能。

3 设置混凝土浇筑与振捣窗口、附着式振动器、端模、分仓入模浇筑装置等。

4 衬砌台车拱顶浇筑口不应少于 3 个，拱部临近已衬端的浇筑口距台车端部不应大于 0.75 m。

5 衬砌台车宜具备行走、自动布料、自动振捣、拱顶防空洞监测、拱部插入式振捣、施工缝防顶裂装置、参数监测等功能。

6 衬砌台车宜配备施作环向 V 型施工缝的装置。衬砌台车端头应设置软搭接，端头模板拱顶最高处应设置观察窗。

7 衬砌钢筋作业可选用具备钢筋自动提升与分布功能的钢筋作业台车。

8 拱墙衬砌混凝土养护宜采用具备保温保湿功能的养护台车。

9 作业工区设备配置可按表 4.2.9 选用。

表 4.2.9 拱墙衬砌工序设备配置建议表

机械名称	规 格	数量（台/套）		备注
		单线	双线	
混凝土输送车	5 m³～12m³	—	—	根据运距配置
混凝土输送泵	≥40m³/h	1～2	1～2	—
衬砌台车	9 m～12m	1	1	—
钢筋作业台车	6 m ~12m	1	1	—

4.2.10 水沟电缆槽作业机械选型应符合下列规定：

1 隧道水沟电缆槽施工可选用整体式、分体式浇筑台车。

2 水沟电缆槽应采用钢模，模架长度应与衬砌台车长度匹配。

3 台车宜具备自行走功能。

4 台车宜配备模架安装、固定和拆除系统。

4.3 施工机械辅助设施

4.3.1 隧道机械化施工应因地制宜规划大型施工机械停放、维修及保养场地，维修及保养车间应设置必要的排污及油水分离设施。

4.3.2 隧道机械化施工单口掘进长度较长时，宜结合辅助坑道及辅助洞室合理设置机械设备存放洞室。

4.3.3 隧道机械化施工应合理设置施工供水系统，水量应满足凿岩台车等设备作业需要，工作面水压不应小于 0.3MPa，且应不低于设备正常运行所需水压。水管的直径应根据最大的供水量、管路长度、弯头、闸阀等条件计算确定。

4.3.4 隧道机械化施工应结合隧道单口掘进长度、施工机械配置、施工组织等因素，合理规划施工供电系统，并应符合下列规定：

1 电力配置应能满足同时工作的电动机具最大用电负荷要求。

2 线路末端电压降满足要求时，宜在洞外设置变压器。

3 供电线路长度超过 0.75km 宜采用稳压、升降压或高压进洞。

4 单口掘进长度超过 2km 宜采用高压进洞方式供电。

4.3.5 隧道机械化施工需外接供风系统时，空气压缩机应能满足同时工作的风动机具最大耗风量和风压要求，并应符合下列规定：

1 空气压缩机配置应考虑空气压缩机工作效率和分风及管路造成的风量、风压损失。

2 使用风压不宜小于 0.6MPa。

3 高压风管的直径应根据最大送风量、风管长度、闸阀设置等计算确定。

4.4 施工机械维修保养

4.4.1 隧道机械化施工的修配车间宜配备日常维保工具，储备常用易损件。

4.4.2 隧道施工机械投入使用前应按相关规定进行必要的调试。

4.4.3 隧道机械化施工操作人员每班作业前，应对机械设备进行检查，使用前应先试运转。发现设备异常和故障应及时排查。

4.4.4 机械设备操作人员应遵守机械设备有关保养规定，做好机械设备的例行保养。

4.4.5 隧道施工机械设备排除故障、更换部件、检查或保养过程中，应切断电源和锁上开关箱，并悬挂警示标志。

4.4.6 隧道施工机械设备维护人员应记录和保存设备日常维护信息。

5 洞口工程

5.1 一般规定

5.1.1 隧道洞口工程施工应结合地质条件、周边环境、施工安全等确定适宜的开挖方法，钻爆法开挖应制定针对性的爆破设计方案，并纳入隧道洞口工程施工方案。

5.1.2 隧道洞口存在危岩落石时，应先按设计要求完成洞口危石清理与加固、边仰坡、明（棚）洞、拦石沟（墙）等洞口挡护工程。

5.1.3 隧道进洞前应按设计要求完成相应的洞顶截排水设施、洞口超前支护、预加固、抗偏压挡护等工程措施。

5.1.4 隧道进洞前应结合洞口工程地质、围岩稳定性、开挖断面尺寸、支护参数、掌子面稳定性等因素进行进洞条件验收。

5.1.5 隧道洞口浅埋段施工应结合地质情况、隧道埋深、周边环境等因素，合理确定开挖工法、开挖循环进尺、仰拱临时栈桥设置、初期支护封闭成环距离、洞口第一环锁口二次衬砌施作时机等。

5.1.6 隧道洞口浅埋段应按设计要求开展地表沉降监测及信息反馈，加强洞口边仰坡及洞顶浅埋段地层稳定性观察。

5.1.7 隧道洞口软弱地层施工应加强施工用水管理，并做好渗水封堵或引排。

5.1.8 反向出洞施工时，出洞前应按设计要求完成洞口坡面挡护工程。

5.2 钻爆法进洞

5.2.1 隧道微台阶法进洞及洞口浅埋段施工应结合超前支护、预加固措施、掌子面稳定性、机械作业空间合理确定台阶长度和高度，并应符合下列规定：

1 台阶长度和高度宜满足机械化作业空间需要。

2 合理组织上下台阶施工，严禁钢架拱脚悬空。

5.2.2 隧道进洞及洞口浅埋段爆破开挖应采用控制爆破，洞口邻近建筑物时，应采取必要的爆破飞石防控措施。

5.2.3 隧道开挖掌子面围岩稳定性差、围岩变形速率较大时，应及时组织分析研判，必要时应提出调整施工工法，采取围岩预加固、预留核心土、临时仰拱、加强锁脚等工程措施。

5.3 非爆开挖进洞

5.3.1 隧道非爆开挖进洞及洞口浅埋段施工应结合围岩强度及完整性、开挖断面尺寸

选择适宜的开挖机械和工艺，并应符合下列规定：

1 软岩地层宜采用挖掘机、液压破碎垂、铣挖机开挖。

2 硬岩地层可采用重型液压破碎、液压劈裂、绳锯、静态爆破等开挖。

3 岩石强度 50MPa 以下岩层可采用悬臂掘进机开挖。

4 机械开挖宜从上往下分层分区开挖，严禁掏槽倒悬开挖。

5 机械开挖应采取防控粉尘的措施。

5.3.2 隧道机械开挖进洞及洞口浅埋段施工应结合超前支护、掌子面稳定性、机械作业空间合理确定台阶长度和高度，并应符合下列规定：

1 台阶长度和高度应满足机械作业空间需要。

2 掌子面不稳定时，上台阶宜采用微台阶或预留核心土法。

5.4.3 隧道机械开挖进洞及洞口浅埋段施工应加强超前支护、控制开挖循环进尺，仰拱初期支护宜尽早封闭成环且不宜超过 35m。

5.4.4 隧道机械开挖进洞及洞口浅埋段施工应加强施工组织管理及工序衔接，严禁初期支护钢架拱脚长时间悬空。

6 超前地质预报

6.0.1 隧道工程施工应编制超前地质预报实施细则，纳入工序管理。

6.0.2 施工单位应确保具体实施超前地质预报的工作及提交资料的真实性和及时性。

6.0.3 隧道工程超前地质预报实施单位应配备专业人员和仪器设备，仪器设备的性能、精度及效率应满足相关要求，并应定期检查、标定和保养。

6.0.4 隧道工程超前地质预报应以地质调查法为基础，针对不同地段地质及预报目的，采用一种或几种方法相互补充和印证

6.0.5 物探应按搜集资料、踏勘、编制计划、施测、初步解释、最终解释、成果核对、报告编制的程序进行。物探手段应根据不良地质体与周围介质的物性差异确定。

6.0.6 超前钻探应根据探测对象、目的综合确定钻孔参数，取芯钻孔终孔后应拍摄岩芯照片留存，钻孔岩芯应妥善保管至该段隧道开挖通过后。

6.0.7 可能发生突泥涌水的地段，超前钻探钻孔内应设孔口管和止水装置等防突措施，防止高压水突出。

6.0.8 加深炮孔应根据探测对象、目的综合确定钻孔参数。

6.0.9 加深炮孔探测严禁在爆破残眼中实施。

6.0.10 超前地质预报报告内容应包括工作概况、采用的预报手段及预报结果、相互印证情况、综合分析预报结论、灾害警报、施工方法和施工措施建议等。

6.0.11 施工过程中应将实际揭示地质情况与预报结果进行对比分析，及时总结经验，指导和改进超前地质预报工作。

6.0.12 超前地质预报发现异常情况时，应及时通知相关各方，并采取应急处理措施。

7 掌子面稳定性评价

7.0.1 铁路隧道机械化施工掌子面稳定性可分为稳定（LS）、暂时稳定（TS）、不稳定（US）三种类别。

7.0.2 施工阶段应及时开展掌子面稳定性评价工作，核实稳定性与勘察设计阶段结果的一致性；掌子面稳定性评价工作可结合地质素描同步开展。

7.0.3 施工阶段掌子面稳定性评价可采用定性或定量评价方法确定掌子面稳定性类别。定性分类可根据掌子面岩石坚硬程度、岩体完整程度、地下水出水状态等因素按表7.0.3-1确定，定量分类可根据围岩基本质量指标修正值[BQ]按表7.0.3-2确定。

表7.0.3-1 掌子面稳定性定性分类参考表

围岩级别	掌子面稳定性类别		
	稳定（LS）	暂时稳定（TS）	不稳定（US）
Ⅲ	①极硬岩、较破碎、无水或滴状； ②硬岩、较完整、无水或滴状或线流状； ③较软岩、完整、无水或滴状。	—	—
Ⅳ	①极硬岩、较破碎、线流状； ②硬岩、较完整、涌流状； ③较软岩、完整、线流状； ④较软岩、较完整、无水或滴状； ⑤软岩、完整或较完整、无水或滴状。	①极硬岩、较破碎、涌流状； ②极硬岩、破碎、无水或滴状； ③硬岩、破碎或较破碎、无水或滴状； ④较软岩、完整、涌流状； ⑤较软岩、较破碎、无水或滴状。	—
Ⅴ	—	①极硬岩、破碎、线流状； ②硬岩、较破碎或破碎、线流状； ③较软岩、较完整或较破碎、线流状； ④较软岩、破碎、无水或滴状； ⑤软岩、完整或较完整、线流状； ⑥软岩、较破碎或破碎、无水或滴状。	①硬岩、较破碎、涌流状； ②较软岩、较完整或较破碎、涌流状； ③较软岩、破碎、线流状； ④软岩、较破碎或破碎、线流状； ⑤软岩、涌流状； ⑥全部极软岩； ⑦破碎、涌流状； ⑧全部极破碎围岩。

表7.0.3-2 掌子面稳定性定量分类表

掌子面稳定性类别	稳定（LS）	暂时稳定（TS）	不稳定（US）
定量分类标准	300< [*BQ*]	200< [*BQ*]≤300	[*BQ*]≤200

8 开挖

8.1 一般规定

8.1.1 隧道开挖应根据地质条件、断面尺寸、开挖方法、循环进尺及环境要求等因素选择机械设备。

8.1.2 隧道开挖轮廓线应结合预留变形量、开挖机械、施工误差、监控量测数据等综合确定。

8.1.3 并行隧道同向开挖的两个工作面应保持合理的纵向距离，不宜小于 30m；隧间净距较小时，应按设计采取措施防止后开挖隧道对先开挖隧道产生不利影响。

8.1.4 隧道贯通前，相向开挖的两工作面相距小 5 倍洞径时，应加强联系，统一指挥，距离小于 3 倍洞径时，应采取一端掘进，另一端停止掘进并采取掌子面稳定措施。

8.2 施工工法

8.2.1 隧道施工方法应综合考虑地质条件、断面尺寸、掌子面稳定性等因素确定。地质条件变化时，应及时调整施工方法，做好工序衔接，并采取相应的工程措施。

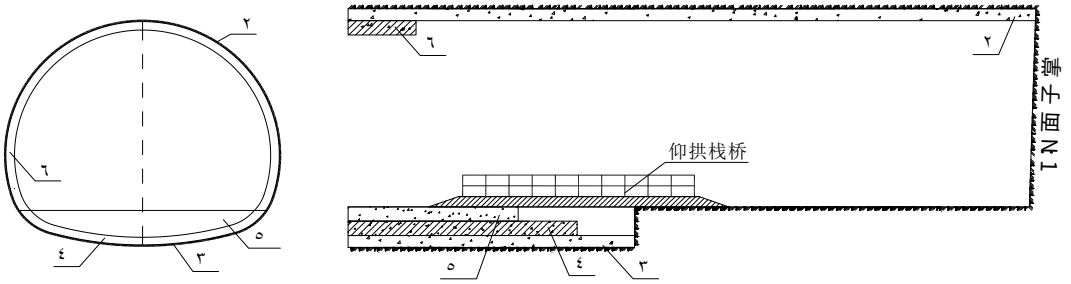
8.2.2 隧道施工步距和开挖循环进尺控制标准应由建设单位组织勘察设计、施工、监理等单位研究确定。实施过程中确需改变时，应履行变更设计程序，或经建设单位组织专家论证后方可实施，并应符合下列规定：

1 施工步距应综合考虑工程地质条件、工装配置、监控量测数据等因素。

2 开挖循环进尺应综合考虑工程地质条件、隧道断面、工装配置、工艺工法、监控量测数据等因素。Ⅱ级、Ⅲ级围岩开挖进尺不得大于 4.5m，Ⅳ级、Ⅴ级围岩开挖进尺不得大于 3 榀钢架间距。

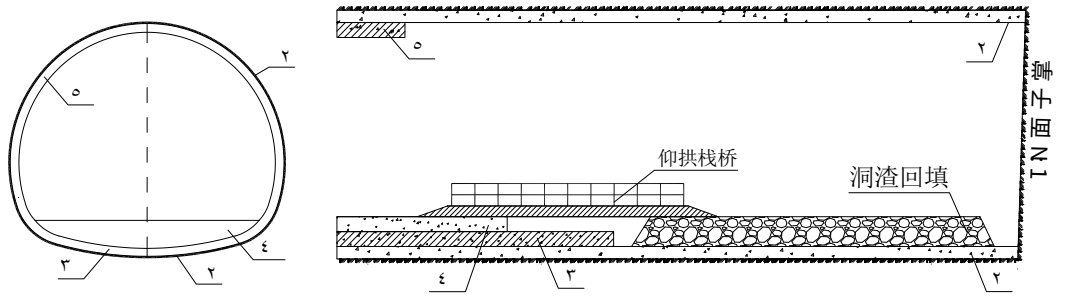
Ⅰ 全断面法

8.2.3 全断面法可选用全断面不带仰拱或全断面带仰拱的施工方法，一般适用于Ⅰ级～Ⅳ级围岩，Ⅴ级围岩在采取有效措施并经论证后可采用。施工工序见图 8.2.3-1、图 8.2.3-2。



I-拱墙初期支护　II-仰拱初期支护　III-仰拱衬砌　IV-仰拱填充　V-拱墙衬砌

图8.2.3-1 全断面法（不带仰拱）施工工序示意图



I-拱墙及仰拱初期支护　II-仰拱衬砌　III-仰拱填充　IV-拱墙衬砌

图8.2.3-2 全断面法（带仰拱）施工工序示意图

8.2.4 全断面法施工应符合下列规定：

1 开挖时应严格控制钻孔深度，掌子面可预留一定坡度，避免掌子面倒悬。

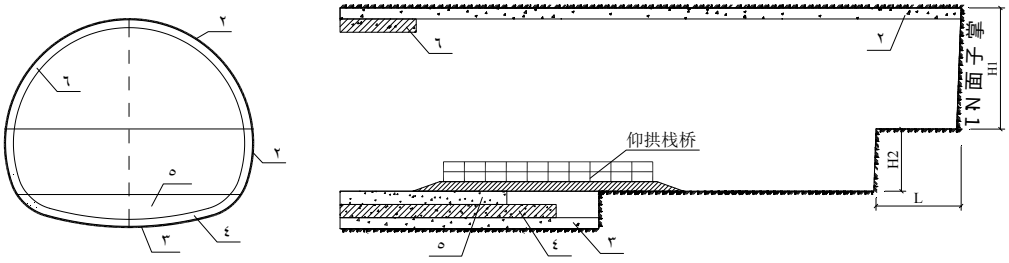
2 施工机械设备应合理调配，充分发挥机械化作业综合效率。

3 开挖后应及时施作初期支护。

4 加强地质核查和监控量测。

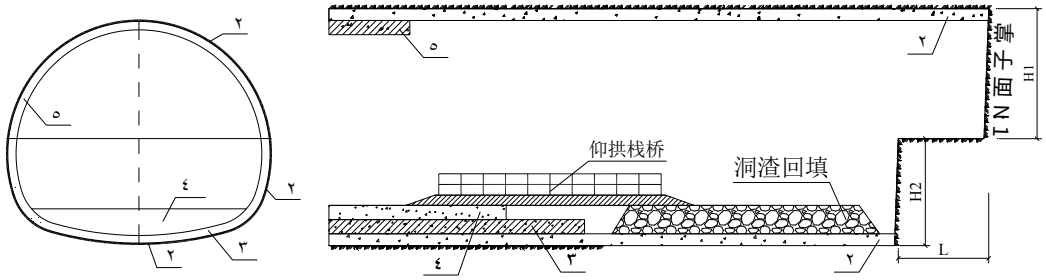
II 微台阶法

8.2.5 微台阶法可选用微台阶不带仰拱或微台阶带仰拱的施工方法，一般适用于Ⅳ级、V级围岩，台阶长度与高度应满足隧道掌子面稳定性和机械作业空间要求，施工工序见图 8.2.5-1～图 8.2.5-2。



I-拱墙初期支护　II-仰拱初期支护　III-仰拱衬砌　IV-仰拱填充　V-拱墙衬砌
L-台阶长度　H1-上台阶高度　H2-下台阶高度

图 8.2.5-1 微台阶法（不带仰拱）施工工序示意图



I−拱墙初期支护　II−仰拱衬砌　III−仰拱填充　IV−拱墙衬砌
L-台阶长度　H1-上台阶高度　H2-下台阶高度

图 8.2.5-2 微台阶法（带仰拱）施工工序示意图

8.2.6 微台阶法开挖应根据地质条件、断面尺寸、施工机械等因素合理确定工法参数，并应符合下列规定：

1 台阶长度宜控制在 3 m～5 m，上台阶高度不宜超过设计断面高度的 2/3。

2 台阶长度、台阶高度、台阶数量确需调整时，应在确保安全的前提下经论证后确定。

8.2.7 微台阶法施工应符合下列规定：

1 开挖循环进尺应与超前支护相协调。

2 各台阶应同时开挖，同时平行进行支护作业。

3 台阶左右侧应对称开挖。

8.3 钻爆开挖

8.3.1 隧道钻爆法开挖应采用光面爆破技术，控制一次同时起爆药量，减少对围岩的扰动。

8.3.2 隧道钻爆法开挖应根据地质条件、断面尺寸、开挖方法、循环进尺、爆破器材及环境要求等因素进行爆破设计，并应根据爆破效果优化爆破参数。

8.3.3 隧道钻爆法开挖掏槽形式应根据断面大小、循环进尺及爆破振速要求等选择楔形掏槽或直眼掏槽。

8.3.4 隧道钻爆法开挖凿岩台车钻眼作业、装药作业人员及区域宜相对固定。

8.3.5 隧道钻爆法开挖应结合凿岩台车钻孔直径选择适宜的药卷直径和装药结构。

8.3.6 隧道钻爆法开挖应结合围岩稳定性和凿岩台车结构特点采取合理的周边眼外插角控制措施。

8.3.7 隧道钻爆法开挖应及时总结爆破效果，优化爆破参数，可采取下列措施：

1 采用测量定位仪器提高开挖断面周边轮廓线和炮眼的放样精度。

2 周边眼开眼位置应根据围岩条件调整，并根据断面测量结果动态优化调整。

3 周边眼可采用长短眼结合，减小周边眼孔底超挖值。

8.3.8 遇水易软化的软岩地段钻孔作业宜采用减少用水量的钻孔清孔排渣工艺。

8.4 非爆开挖

8.4.1 隧道开挖机械设备选型应综合考虑岩石强度、工期、环境要求、施工工法、技术经济性等因素，可选用挖掘机、悬臂掘进机、铣挖机、液压破碎锤等机械。

8.4.2 隧道开挖采用悬臂掘进机、铣挖机时，应采取降尘、除尘措施。

8.4.3 隧道软弱围岩段采用机械开挖时，可采取预留核心土等措施稳定开挖工作面。

8.4.4 隧道采用悬臂掘进机开挖时，应根据岩性及岩石强度合理选择截割头类型、截割功率、截割范围，最大截割岩石单向抗压强度与围岩强度相匹配。

8.4.5 隧道采用铣挖机开挖时，应根据岩性及岩石强度合理选择铣挖头类型、截齿形式、截割范围，并应与岩石强度相匹配。

8.4.6 隧道采用液压破碎锤开挖时，应根据岩性及围岩强度合理选择液压破碎锤类型、液压破碎锤的功率、作业范围等参数，并应与岩石强度相匹配。

9 支护与加固

9.1 一般规定

9.1.1 隧道开挖后应及早完成初期支护，采用不带仰拱工法开挖时，仰拱开挖前初期支护应能发挥有效支撑作用，并应及时封闭成环。

9.1.2 初期支护背后超挖部分应采用喷射混凝土或泵送混凝土回填。

9.1.3 初期支护喷射混凝土应密实，并应与岩面、钢架、钢筋网等形成整体支护体系；防水层、衬砌应与初期支护紧密贴合。

9.1.4 钢筋（构件）加工场应结合加工数量、场地条件、周边环境、运距等因素合理设置，并宜采用信息化、智能化加工设备。

9.2 超前支护

9.2.1 隧道拱部超前小导管宜采用凿岩台车钻孔，并应符合下列规定：

1 清孔宜采用吹孔法。

2 小导管安设宜采用顶入法。

3 小导管孔口与注浆管之间可安装注浆管接头、控制阀门或采用止浆塞。

4 浆液应随用随配，配制好的浆液应在规定时间内注完。

9.2.2 隧道超前管棚施工宜采用钻孔顶入工艺、跟管钻进工艺、自进式管棚工艺，并应符合下列规定：

1 洞口管棚宜采用导向墙内埋设导向管定位，导向管应埋设准确、固定牢固，导向墙长度和厚度应符合设计要求。

2 洞内中管棚可不设工作室，大管棚根据长度可设工作室。

3 管棚单、双序孔的连接丝扣宜错开半个管节长度。

4 管棚安装后，管口应封堵钢管与孔壁间空隙，连接压浆管。

5 管棚注浆前，宜将管棚施工范围工作面用喷射混凝土封闭。

9.3 掌子面加固

9.3.1 隧道掌子面不能自稳的地段，应结合地质条件、现场情况按设计采用网喷、喷锚、超前注浆、玻璃纤维锚杆等掌子面加固措施。

9.3.2 隧道掌子面超前注浆作业前应对掌子面自稳性差的部位采取局部加固、反压、回填等工程措施。

9.3.3 隧道掌子面加固措施实施中应加强监控量测、有毒有害气体检测，并结合超前地

质预报做好安全防护。

9.3.4 隧道掌子面加固后应进行加固效果评价，满足要求后方可开挖。

9.4 初期支护

9.4.1 锚杆钻孔应符合下列规定：

1 钻杆应保持直线，宜与其所在部位的围岩主要结构面垂直。

2 孔位、深度及直径应符合设计要求。

3 钻锚注设备的顶托应顶紧岩面。

9.4.2 锚杆安装应符合下列规定：

1 采用引孔顶入法的锚杆，安装前应清孔，有水地段应先引出孔内水或在附近另行钻孔。

2 中空注浆锚杆和自进式锚杆应检查锚杆体中孔和钻头的水孔是否畅通。

3 全长粘结型锚杆孔内灌注砂浆应饱满密实，杆体插入锚杆孔时，应保持位置居中并旋转，充分搅拌粘结剂。

4 自进式锚杆杆体钻进至设计深度后，应用水或空气洗孔，并及时安装止浆塞。

5 锚杆应安装垫板，垫板应用螺帽上紧并与喷层面紧贴，未接触部位应楔紧。

6 砂浆应拌合均匀，随拌随用，一次拌合的砂浆应在初凝前用完。

7 锚杆安设后不得随意敲击，填充砂浆终凝前其端部不得悬挂重物。

9.4.3 隧道低预应力锚杆施工应符合下列规定：

1 涨壳式锚杆机械锚固件直径应与钻孔直径匹配，锚杆推进到位后，应旋转锚杆杆体确保涨壳锚固件有效。

2 树脂锚杆施工时，钻孔直径、锚杆杆体直径及树脂锚固剂直径三径应合理匹配； 并应通过试验合理确定药卷长度、搅拌转速、搅拌时间、锚固剂等强时间等。

3 锚杆预应力宜采用直接拉拔方式施加，并应能有效锁定。锚杆张拉设备应定期进行标定。

4 注浆应连续、稳压，孔口流出浓浆后方可停止。水泥基注浆材料现场制备时，配合比应通过试验确定。

9.4.4 隧道初期支护钢架采用拱架安装台车安装时，可采用组拼（铰接）工艺，安装前宜先施作钢架纵向连接钢筋和钢筋网，并应符合下列规定：

1 钢架宜在工厂验收合格后运输至作业面。

2 钢架安装前应清除拱脚底部的虚渣及杂物，钢架底部空隙宜采用钢垫板或混凝

土垫块支垫密实。

3 钢架安装宜采用激光定位仪等措施控制钢架位置、垂直度。

4 根据开挖进尺一次可安装单榀或多榀钢架。

5 钢架连接板间螺栓连接应牢固、密贴。

6 钢架安装完成后，应及时施作锁脚锚杆（管），钢架与锁脚锚杆（管）应连接牢固。

9.4.5 隧道喷射混凝土应采用湿喷工艺，并应符合下列规定：

1 喷射混凝土应结合设计要求、湿喷工艺，选择适宜的原材料进行配合比设计，并应进行早期强度验证。

2 喷射混凝土前应进行基面清理，基面股状涌水、渗水等应按设计要求采取局部注浆、围截注浆、排水盲管、排水板等封堵或引排措施。

3 初喷混凝土厚度不宜小于 4cm；喷射时应先填平岩面较大凹洼处。复喷混凝土应在钢筋网及钢架安装后及时进行，未设钢筋网及钢架时应及时复喷至设计厚度。

4 喷射作业应分段、自下而上连续进行，喷射角度应与受喷面垂直，喷嘴与受喷面的距离宜为 0.6m～1.8m。

10 防排水

10.1 一般规定

10.1.1 铁路隧道防排水施工应纳入机械化配套作业线管理。

10.1.1 铁路隧道拱墙衬砌排水、矮边墙排水和隧底结构排水应与沟槽排水系统可靠相连，并保证排水通畅。

10.1.3 隧道衬砌防水板作业应结合材料规格一次性铺挂，防水板作业台车长度应与防水板幅宽相匹配。

10.1.4 铁路隧道衬砌防排水施工前应进行工艺性试验，施工后应及时进行质量检验。

10.2 仰拱防排水

10.2.1 仰拱防排水施工宜采用专用作业平台。

10.2.2 仰拱矮边墙处防水层宜按照一次施工长度整幅铺设。

10.2.3 排水管应固定牢固，铺设顺直。

10.2.4 设置无砂混凝土块时，宜采用模具预制。

10.3 拱墙防排水

10.3.1 防水层铺设时初期支护喷射混凝土表面应平整，无尖锐物。

10.3.2 防水板尺寸及纵、环向一次铺设长度应根据隧道设计断面确定，单幅宽度不宜小于 3m。防水板环向搭接缝与衬砌施工缝（变形缝）或洞室有错开距离要求时，可调整防水板幅宽。

10.3.3 多层以上的防（排）水板焊接时，搭接部位的焊缝应错开，不得有三层及以上的接缝重叠。

10.4 施工缝（变形缝）防水

10.4.1 止水带埋设应位置准确，固定牢固。混凝土浇筑前应保证止水带表面清洁、无污染。

10.4.2 止水带应防止撕裂、刺破，橡胶类止水带橡胶部分不得穿钉、打孔。

10.4.3 变形缝的位置、宽度、防水构造形式应符合设计要求。

10.4.4 变形缝填缝、嵌缝应密实。

10.5 洞室防排水

10.5.1 洞室应与正洞形成完整畅通的防排水系统，防水层铺设应圆顺，不得形成水

囊、积水槽。

10.5.2 洞室与正洞衬砌同步施工时，洞室的防水应与正洞防水同步施作。

10.5.3 洞室与正洞衬砌分别施作时，施工缝接头处应按要求设置防水设施。

10.5.4 深度 6m 及以下的洞室边墙纵向防水板（防排水板）宜整幅铺设，拱部环向防水板（防排水板）宜分幅铺设。

10.6 沟槽防排水

10.6.1 沟槽排水管应固定牢固，并应与矮边墙或填充预留孔位置对应。

10.6.2 沟槽施工前预埋排水管路应开展通水试验。

10.6.3 沟槽浇筑时应采取保护措施，不得堵塞预埋孔口。

10.6.4 沟槽与洞内其他排水设施各接口间应连接可靠，不漏水。

11 衬砌

11.0.1 铁路隧道衬砌应按照强度合格、尺寸达标、布筋规范、浇筑密实、不渗不裂的目标组织施工，并应符合《铁路隧道衬砌技术规程》TB 10126 的相关规定。

11.0.2 铁路隧道拱墙衬砌应与仰拱衬砌及填充统筹考虑留置施工缝、变形缝，应全环处于同一断面。变形缝的位置、宽度、防水构造形式应符合设计要求。

11.0.3 铁路隧道仰拱衬砌模板与拱墙衬砌台车模板的设计与加工应统筹考虑；仰拱填充施工应采用一次浇筑成型工装。

11.0.4 隧道仰拱衬砌施工应遵循“栈桥跨越、分区分段、整幅浇筑、快速封闭”的原则，宜按照开挖、仰拱、填充三个作业区的平行流水作业。

11.0.5 隧道拱墙衬砌应采用衬砌台车一次性浇筑，且一次性浇筑长度不应大于 12 m。施工前应确认净空断面、防排水系统、钢筋安装、预埋件等符合设计要求。

11.0.6 隧道拱墙衬砌采用蒸养时，蒸养台车宜采用全封闭包裹，有效长度应与衬砌台车长度相匹配。

11.0.7 隧道洞室与正洞衬砌同步施工时，洞室的防水应与正洞防水同步施作。分别施作时，环向、纵向施工缝接头处应按要求设置防水设施，并应做好与正洞防水系统的连接处理。

11.0.8 隧道沟槽应纵向分段施工，其分段宜与拱墙施工缝对齐，线形应顺直，顶面平整。预制沟槽盖板应采用工厂化生产，盖板铺设完成后，顶面应平整。

12 不良地质

12.1 一般规定

12.1.1 施工前应研究分析工程及水文地质资料，结合现场实际情况，进行风险评估，制定施工方案和应急预案，并做好各项资源储备。

12.1.2 不良地质和特殊岩土隧道应根据围岩特性及施工机械选择合适的施工方法，软弱破碎围岩应按设计采取超前支护或超前预加固等措施，确保掌子面开挖支护期间的自稳能力。

12.1.3 施工中应加强超前地质预报和监控量测，并根据其信息及时调整施工方案。当超前钻探出现异常或支护结构变形收敛达到设定的预警阈值时，应暂停掘进，及时分析原因，组织研究处理措施。

12.1.4 瓦斯隧道施工应符合现行《铁路瓦斯隧道技术规范》TB 10120 有关规定。

12.1.5 富水隧道施工应符合现行《铁路富水隧道技术规程》 TB 10123 有关规定。

12.2 挤压性围岩大变形

12.2.1 隧道挤压性围岩大变形段施工应根据围岩初始地应力、围岩变形特性、变形等级、结构受力性状、地下水活动状态等因素综合确定施工方案和应急预案。

12.2.2 挤压性围岩大变形隧道应配置相适应的超前支护和锚杆施工机械设备，设备宜具备施作中管棚、长锚杆（索）能力，施工过程中应加强施工质量管控。

12.2.3 挤压性围岩大变形隧道开挖和支护应符合下列规定：

1 隧道施工应确保所采取的围岩加固和支护措施的有效性，开挖后应及时施作初期支护，初期支护应尽早封闭成环，并及时注浆回填密实。

2 围岩条件发生变化时，应及时调整开挖循环进尺；并宜采用控制爆破、弱爆破开挖，条件适宜地段可采用机械开挖。

3 隧道开挖施工中应依据变形特点合理预留变形量，并根据监控量测信息及时修正。

4 多层支护应分层施作，并应根据预留变形量、监控量测数据分析确定每层允许变形量；后续支护应在前一层支护累积变形达到该阶段允许变形量前及时施作；变形速率过快时应及时采取围岩加固措施，避免支护侵限。

5 加强洞内施工排水管理，避免积水浸泡软化围岩。

6 施工中应及时开展测点量测数据的整理分析，发现异常时应分析原因并采取措施。

7 隧道初期支护表面有点滴状出水、大面积湿渍的，宜采用孔口管注浆回填密实。

12.2.4 隧道围岩变形速率过快时，可采用临时支撑、增设径向注浆、补打锚杆及锁脚锚管等变形控制措施。

12.3 岩爆

12.3.1 岩爆隧道施工应根据地质条件、预测岩爆等级、开挖断面等因素确定施工方法。轻微、中等岩爆段宜采用全断面法开挖；强烈、极强岩爆段宜采用全断面或微台阶法开挖；岩爆地段循环进尺不宜大于 3.0m。

12.3.2 岩爆隧道施工应根据开挖揭示的地质情况、岩爆发生情况、预测的岩爆等级，及时调整岩爆段支护参数、施工方案、施工组织。

12.3.3 岩爆隧道宜对岩爆危险作业区的开挖、装运、支护等机械设备安装防弹钢丝网、加厚防护钢板等防护措施，中等及以上岩爆段作业人员应穿戴防护服及防爆头盔。

12.3.4 岩爆隧道施工应加强对裂隙发育破碎围岩的支护，防止岩爆导致破碎围岩坍塌；岩爆爆坑应采用喷射混凝土、挂网喷射混凝土、打设锚杆等处治措施。

12.3.5 岩爆隧道施工应根据岩爆等级及时施作支护措施，并应符合下列规定：

1 轻微和中等岩爆段应及时施作支护措施封闭开挖面。

2 强烈和极强烈岩爆段应躲避岩爆危害，在相对安全的环境下施作支护措施。

3 施工中发生岩爆，应停机待避，利用岩爆间隙时间快速施作支护措施。

12.3.6 岩爆地段采用全断面带仰拱开挖工法时，初期支护设置全环钢架段落仰拱钢架施作时机可结合全工序机械化作业空间需求合理确定。

12.3.7 分修隧道掌子面、横通道、附属洞室等作业面，纵向错开距离宜不小于 30m，爆破作业时间宜适当错开。

12.3.8 隧道岩爆风险防控应以事前预测、过程防控为主，宜采用减少应力集中、超前能量释放、主动加固与被动防护相结合的防控措施。

12.4 高地温

12.4.1 高地温隧道超前地质预报除常规预报工作内容外，尚应重点探测掌子面及超前探孔内岩温、水（气）温、水量、水压、水质及有毒有害气体等。

12.4.2 高温热水段钻孔作业应采取防突措施，超前水平钻探应安装孔口管和止水阀，并

进行耐压试验。作业人员宜佩戴隔热面罩，穿戴隔热、通风性能良好的防护服。钻孔过程中应实时监测水温、水量、水压，发现异常应立即停止钻进，上报处理。

12.4.3 高地温隧道应根据原始地层温度进行热害等级划分。施工过程中可每 30m～50m 于隧道两侧边墙布置一个径向 3m 深的测温孔，用于岩温测量、热害等级确认。

12.4.4 高地温隧道施工中应采取降温措施，根据岩温、隧道内作业条件、施工组织等，合理采用通风降温、喷雾洒水、冰块、机械制冷等综合降温措施。

12.4.5 高温热水段施工应结合掌子面热水分布特征及出水情况，合理采用注浆封堵、隔热引排、冷水融合等综合措施，最大限度的减少热量释放。

12.4.6 高地温隧道应通过施工风温计算，确定散热所需的通风量，通风管出风口距掌子面距离不应大于 25m，高地温隧道独头掘进较长且存在一井多面的工况时，可采用风渠式通风或洞口压入+洞内风仓接力式通风。

12.4.7 高地温隧道爆破宜根据爆破器材工作温度分级专项设计。

12.4.8 高岩温隧道施工应加强衬砌混凝施工质量控制，并应符合下列规定：

1 选定合适的水胶比，宜采用低水化热水泥，并应满足耐久性要求。

2 按设计要求施作衬砌背后初期支护和防水层之间的隔热层，隔断从岩体传播的热量。

3 混凝土入模温度不宜大于 30℃，模板、钢筋、防水板温度与混凝土入模温度差不得大于 15℃。

4 衬砌混凝土保湿、保温养护期不应少于 14d。

12.4.9 洞内宜设置高温休息室，配备应急防护及医疗用品，凿岩台车、钻锚注一体机、拱架安装机等大型机械设备操作室可加装空调等制冷设备。

12.4.10 高地温隧道作业环境 WBGT 指数不宜高于 28℃，并应根据作业环境 WBGT 指数、劳动强度、接触高温作业时间确定高温作业危害程度等级，实行分级管理。

13 信息化

13.0.1 铁路隧道机械化施工应开展信息化工作并纳入施工组织和工序管理。

13.0.2 铁路隧道施工信息化应根据设计方案和应用需求配备必要的硬件、软件及网络环境，保证相关系统能够安全、稳定运行。

13.0.3 铁路隧道工程施工信息化网络建设应满足施工区域的覆盖、性能、用户容量和设备接入兼容性需求。

13.0.4 铁路隧道机械化施工宜采用具备信息化采集功能的施工装备，并应符合下列规定：

1 凿岩台车、地质钻机宜具备布孔、钻孔、设备施工日志等数据采集功能，钻孔数据应包括钻孔时间、钻孔深度、钻进压力、钻进速度等随钻参数。

2 钻锚注设备宜具备钻孔深度、位置、数量、注浆量、注浆压力、预应力等数据采集功能。

3 湿喷台车可根据需要采集外加剂流量、混凝土流量等数据。

4 衬砌台车宜具备环境温度及湿度、浇筑方量等数据采集功能。

5 养护台车宜具备养护时长、温度等数据采集功能。

13.0.5 铁路隧道机械化施工宜积极采用成熟可靠的围岩变形自动监测技术。

13.0.6 铁路隧道机械化施工信息化的数据采集应符合下列规定：

1 隧道人员及机械设备动态信息，监控量测信息，拌和站拌和机、工地试验室压力机和万能试验机等试验信息，应实现从相关仪器、设备或传感器直接采集数据、加密存储。

2 其他施工信息资料，可按照结构化后的格式人工输入相应的专业软件，并宜采用实名制。

13.0.7 铁路隧道工程施工信息化的数据处理应采用成熟可靠的专业软件进行分析处理。

13.0.8 铁路隧道工程施工信息化应符合信息安全相关管理规定。

本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

（1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

（2）表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

（3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

《铁路隧道大型机械化施工技术规程》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.1 隧道采用机械化施工，减少了隧道掌子面作业人员数量，减轻了劳动强度，降低了掌子面区域作业风险，能够为提升隧道工程机械化施工安全、质量和施工效率提供保障。

3.0.2 隧道机械化施工需要考虑工区作业范围，工区长度过小，机械设备施工时间过短，利用效率不高，不利于发挥机械化设备施工优势。结合指导性施工组织设计，工区采取适当增加单工作面掘进长度、减少辅助坑道、短隧道群合并工区施工等方式，提高配套机械设备设施的利用效率，发挥隧道机械化施工优势。

3.0.4 调研西渝、某高原铁路隧道机械化施工进度指标，具体如下：

（1）西渝高铁在 2024 年对机械化施工的隧道工程施工进度进行了统计分析，结果见说明表 3.0.4-1。

说明表3.0.4-1 西渝高铁隧道施工进度统计表

编号	围岩级别	正洞（m/月）	辅助坑道（m/月）
1	Ⅱ级	140～160	200~240
2	Ⅲ级	120～140	160~180
3	Ⅳ级	90～120	130~150
4	Ⅴ级	55～90	75~90

（2）某高原铁路 2024 年组织召开隧道进度指标评审专家会，确定的隧道施工进度指标见说明表 3.0.4-2。

说明表3.0.4-2 某高原铁路隧道施工进度指标表

工法分类		海拔	配套等级	Ⅲ级围岩（m/月）			一般地段（m/月）	
				一般	反坡	加强	Ⅳ级	Ⅴ级
正洞	单线正洞	高	大机	100	90	90	75	55
	双线正洞	高/低	大机/基本	105	95	95	80	55
	斜井施工正洞	高	大机	95	85	85	70	55
辅助坑道	平导/横洞自身成洞	高/低	大机	140	130	120	105	75
	斜井自身成洞	高	大机	130	120	110	100	70

3.0.5 隧道机械化作业采用凿岩台车、拱架安装台车等大型设备，作业空间要求较大，采用全断面法、微台阶法大断面开挖施工时，掌子面稳定性是隧道机械化大断面开挖施工需要考虑的重要因素，需要结合超前地质预报、围岩变形特性等研判掌子面稳定性，采取必要的风险控制措施，降低施工安全风险。

4.1.2 隧道施工机械选型配套是隧道机械化施工成败的重要影响因素之一，需要考虑断面尺寸、地质条件、装备制造水平等因素。断面尺寸主要是基于隧道设计时速及单双线隧道、单双车道辅助坑道确定；设计时速 160km 及以上的单线隧道、各速度目标值的双线隧道以及双车道辅助坑道对机械化作业机械的规格尺寸适应性较广；设计时速 160km 以下的单线隧道及单车道辅助坑道，初期支护后断面宽度一般小于 6.5m，对机械化作业机械规格尺寸要求较高。中吉乌铁路中吉友谊隧道设计时速 120km，轨距 1435mm 单线隧道断面仰拱填充顶面宽度 3m，选型时采用设备宽度 2500mm 的窄体凿岩台车。

4.1.6 隧道施工机械设备在特殊作业场所、特殊地段作业时，往往需要根据特殊要求和环境特点采取针对性措施，保障施工安全。如瓦斯隧道作业场所，其施工机械设备使用需满足《铁路瓦斯隧道技术规范》TB 10120 相关规定；如岩溶隧道作业场所，具有突泥突涌水风险的，采用配置相应的防突水、突泥功能的钻孔设备，超前钻孔的孔口管安装满足水压要求的止水阀门，作业时人员不站在孔口正面。

4.2.3 西渝高铁部分隧道采用了多功能装药台车作业，其最大作业高度 11m，最大作业宽度 14m，单层平台最大承载 300kg，平台呈阶梯状沿隧道断面分布，能满足作业区域覆盖全掌子面，可以满足 8 人～10 人同时装药作业。

4.2.7 川藏、长赣、西渝等部分高铁隧道采用的防水板作业台车，一般也具备衬砌钢筋安装功能，现场钢筋绑扎 4 人～7 人，防水板铺设 2 人。

4.2.8 为实现仰拱与填充混凝土流水快速施工，减少工序间干扰，给浇筑后的仰拱填充提供充分养护时间，结合隧道单工作面长度、围岩级别、成本控制等综合确定自行式仰拱栈桥的有效作业长度。隧道仰拱开挖、仰拱衬砌、仰拱填充交叉作业影响隧道施工进度，有效作业长度 36m 的自行式仰拱栈桥可以满足仰拱底部清理及初期支护、仰拱衬砌、仰拱填充混凝土 3 个工序平行作业，有利于加快施工进度。

4.2.9

7 长赣、西渝高铁部分隧道采用了具备整板钢筋提升与自动分布功能的防水板钢筋作业台车。钢筋绑扎 4 人～7 人，防水板铺设 2 人，12m 衬砌钢筋作业时长 10 小时，

环纵向钢筋层间距控制准确，保护层厚度得到有效控制。

8 寒区洞口段通常采用保温保湿养护台车+喷淋养护台车的双台车养护模式，二次衬砌先后采用保温保湿养护台车和喷淋养护台车进行养护，能够有效防止因养护水蒸发导致混凝土表面温度下降过快、内外温差过大出现裂纹、裂缝。

4.2.10 高原铁路、成渝中线、渝昆、成达万、西成等铁路隧道采用了分体桁吊式水沟电缆槽台车。桁吊式水沟电缆槽台车，由三部分组成：移动桁吊、水沟内模、水沟外模；台车作业臂具备左右伸缩功能，行走机构采用液压轮胎式，不需要铺设轨道，具备快速移动功能；桁吊式水沟电缆槽台车行走及横向电动葫芦移动采用无线遥控操作，降低人工劳动强度；水沟内模及侧模根据施工进度配置，每板配置长度 6m、12m，部分隧道配置 120m 模板。水沟电缆槽内模采用可收缩调节，混凝土浇筑完成后，混凝土达到拆模强度后，采用收缩剥离技术，把模板与沟槽剥离后再脱模。桁吊式水沟电缆槽台车施工见说明图 4.3.10。

为满足水沟电缆槽环向施工缝与拱墙衬砌、仰拱（填充）施工缝对齐的要求，水沟电缆槽模板配置长度与衬砌台车长度一般成倍数关系。



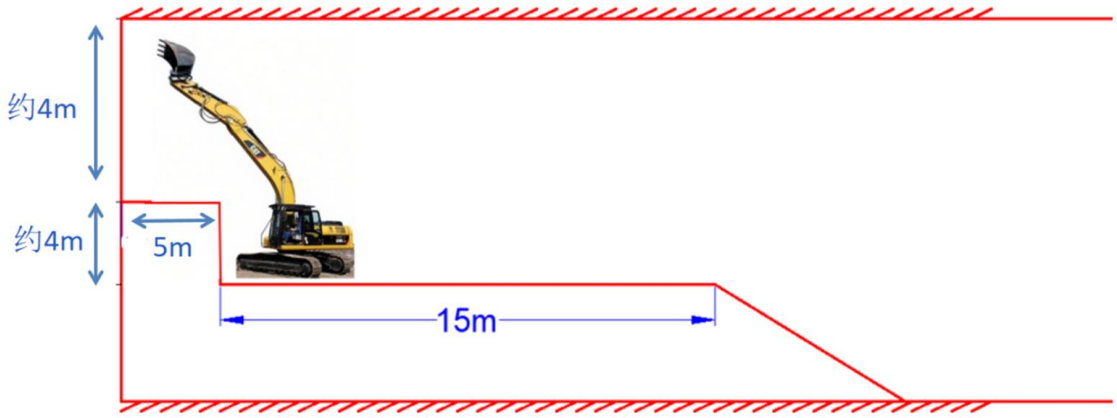
说明图 4.3.10 桁架式水沟电缆槽台车及模板吊装示意图

4.3.2 隧道机械化施工的凿岩台车、拱架安装台车等大型机械设备仅能够在洞内“直进直退”，无法掉头；隧道设计时速 160km 以下的单线隧道及单车道辅助坑道，初期支护后断面宽度一般小于 6.5m，自卸汽车、混凝土罐车等施工机械无法掉头；当受洞内空间限制时，机械化作业设备无法在洞内停放，影响机械化施工效率；因此，为提高机械设备的作业效率、优化运输组织，需要结合辅助坑道交叉口、综合洞室、横通道及调车洞等合理设置大型机械设备的存放洞室。

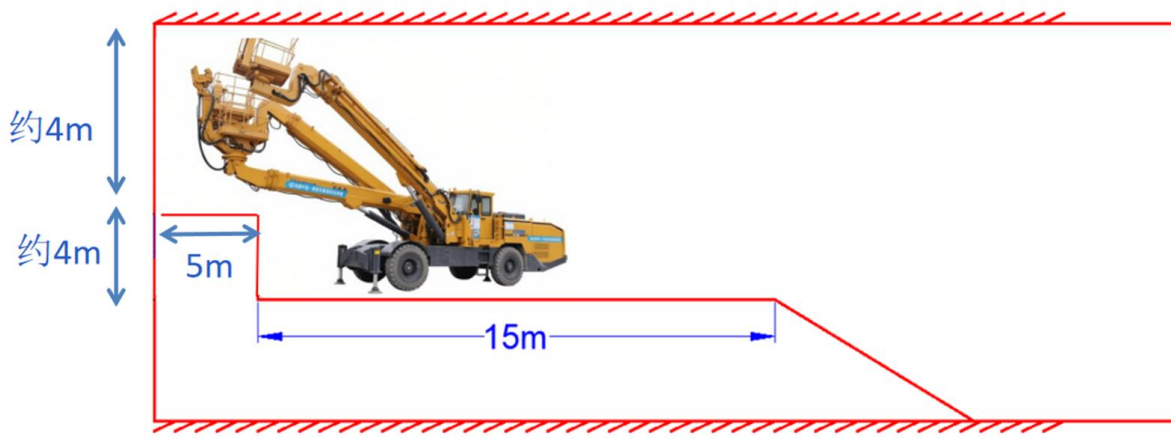
4.3.5

2 《铁路大型施工机械隧道混凝土湿喷机》（TB/T 3525-2018）第 5.9.5 条：外接气源时，空气压力不应低于 0.5MPa，供气量不应低于设备规定的最小值。施工现场喷射混凝土为防止堵管，施工风压一般为 0.6MPa～0.8MPa，随机配置空压机额定压力一般为 0.5MPa，难以满足施工要求，因此往往需要外接额定压力为 0.8MPa 的空压机施工。

5.1.5 川藏、长赣、温福、黔桂二线等铁路隧道洞口浅埋段施工结合地质情况确定相应的开挖工法。如长赣铁路江西段隧道机械化施工制定了《长赣高铁江西段隧道进洞施工指导性工法（试行）》，其中隧道洞口 V 级围岩土层或全强风化弱富水不偏压地段采用三台阶法开挖，上台阶为微台阶，中台阶长度满足挖掘机开挖出渣、拱架安装台车安装拱架、湿喷台车喷射混凝土作业长度，一般控制在 15m～18m。非爆开挖三台阶全工序机械化施工流程：隧道上、中台阶开挖、立架、装渣作业均在中台阶完成，待中台阶入岩后，掌子面封闭，下台阶跟进形成微台阶，调整为爆破施工。三台阶开挖工法见说明图 5.1.5-1~5.1.5-3。



说明图 5.1.5-1 三台阶开挖工法挖掘机开挖示意



说明图 5.1.5-2 三台阶开挖工法拱架安装作业工况示意



说明图 5.1.5-3 三台阶开挖工法拱架安装作业示意图

隧道洞口浅埋段施工，考虑仰拱移动栈桥整体长度较长，如 3 工位的 36m 栈桥加上前后引桥长度约 58m，为缩短仰拱初期支护封闭成环距离，一般采用临时栈桥满足仰拱开挖、设备通行需求。

部分隧道全工序机械化施工的洞口第一环拱墙二衬锁口施工步距分析：隧道洞口三台阶法施工，配套 36m 自行式仰拱栈桥、12m 拱墙二衬台车，按各工序最小作业空间需求分析。隧道仰拱初期支护封闭距离由上台阶开挖作业区、中台阶支护作业区、行车坡道段、栈桥搭接段、仰拱初期支护作业空间五部分组成：3m（上台阶长度）+15m（中台阶长度）+10m（行车坡道）+2m（栈桥搭接段）+5m（仰拱初期支护作业空间）=35m。仰拱衬砌施工距离由仰拱初期支护成型区、钢筋绑扎作业区、衬砌浇筑作业区、仰拱填充区组成：3m（仰拱初期支护成型区）+12m（仰拱钢筋施工区）+12m（仰拱衬砌施工区）+12m（仰拱填充区）=39m。拱墙二衬施工距离由拱墙防水、钢筋安装、二衬台车浇筑作业区组成：15m（防水、钢筋施工区）+12m（衬砌施工区）=27m。则隧道洞口段第一环拱墙二衬施工距离掌子面距离：35m（仰拱初期支护）+36m（仰拱+仰拱填充段）+15m（防水及钢筋施工区）+12m（衬砌施工区）=101m。

7.0.1 吸纳郑万高铁湖北段隧道机械化科研成果，将掌子面稳定性划分为稳定

（LS）、暂时稳定（TS）、不稳定（US）三种类别，并定义为：稳定指掌子面开挖后能保持长期稳定，暂时稳定指一般条件下掌子面开挖后能在一个正常开挖支护作业循环时间内能保持稳定，不稳定指掌子面开挖后在一个正常开挖支护作业循环时间内失稳。

7.0.2 勘察设计阶段，设计单位一般会开展掌子面稳定性的初步评价。施工阶段，施工单位的重点工作是及时根据超前地质预报资料和掌子面实际揭示的地质条件，核查与掌子面稳定性评价有关的地质参数，重点核查围岩岩性、结构面发育程度、产状及结合程度、地下水状态等特征，必要时往往还需要开展地应力等测试工作。当核实结果与初步评价不一致时，则需要设计单位对掌子面稳定性进行再次评价，动态调整工程措施。

8.1.4 隧道双向开挖接近贯通面时，所规定相向开挖两工作面距离是根据隧道爆破力的影响范围，并考虑了断面断面尺寸等因素。对于土质或岩层破碎的隧道，还需要适当加大预留贯通的安全距离。

8.2.2 建设单位组织确定隧道施工步距和开挖循环进尺控制标准，具体案例如下：

（1）京昆高铁西昆公司印发的《京昆高铁西昆公司关于进一步明确隧道施工安全步距与开挖进尺等技术规定的通知》（京昆西昆铁工程〔2024〕72 号）规定了安全步距和开挖循环进尺控制标准。

安全步距：“Ⅳ、Ⅴ级围岩，仰拱有钢架时初期支护封闭位置距离掌子面不应大于 70m。特殊地段（断层破碎带、交叉跨越段、浅埋段等）仰拱初期支护封闭位置距离掌子面不应大于 35m。Ⅳ级围岩（仰拱有钢架）、Ⅴ级围岩，仰拱二次衬砌距离掌子面不应大于 100m；Ⅱ、Ⅲ级围岩、Ⅳ级围岩（仰拱无钢架），仰拱二次衬砌距离掌子面不应大于 110m。其中：仰拱至掌子面同时存在Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级围岩，Ⅳ、Ⅴ级围岩长度小于 50m 时，加强监控量测，在变形可控条件下，按Ⅲ级围岩步距控制值标准。拱墙二次衬砌距离掌子面不应大于 240m。”

开挖循环进尺：“Ⅱ、Ⅲ级围岩每循环开挖进尺不应大于 5m；Ⅳ级围岩全断面法每循环开挖进尺不超过 3 榀钢架，Ⅳ级围岩同步两台阶法每循环开挖进尺宜为 2 榀～3 榀钢架且不应大于 3.6m；Ⅴ级围岩每循环开挖进尺宜为 1 榀～3 榀钢架且不应大于 3m。隧道仰拱初期支护设计有钢架时，Ⅳ级围岩仰拱每循环开挖进尺不宜大于 3 榀钢架；Ⅴ级围岩仰拱每循环开挖进尺不宜大于 3m。无仰拱钢架时，每循环开挖进尺不宜大于 6m。”

（2）某高原铁路 2024 年印发的隧道开挖工法及安全步距管理规定。

安全步距：“隧道进洞洞口段（含辅助坑道）70m 范围内，初支钢拱架封闭成环距掌子面距离不大于 35m（无初支钢拱架的，仰拱及底板参照执行）；进洞洞口段（含辅助坑道）90m 范围内，完成第一板锁口二衬。洞身（含辅助坑道）段落初期支护设计为全封闭钢拱架段落，一般地段封闭成环距掌子面不大于 65m；其他软弱破碎、富水、浅埋、严重偏压、冰碛层等特殊地段封闭成环距掌子面不大于 35m。仰拱（底板）距掌子面安全步距不大于 120m，围岩较差地段仰拱应尽可能紧跟封闭成环的初支。II、III 级围岩二衬距离掌子面安全步距不大于 300m，IV 级围岩二衬距离掌子面安全步距不大于 200m，V、VI 级围岩二衬距离掌子面安全步距不大于 150m。围岩由好变差时，变差围岩段仰拱初支封闭成环距掌子面距离执行仰拱开挖本身围岩安全步距要求；变差围岩掘进≤65m 时，仰拱和二衬安全步距按照围岩变化分界点前的围岩等级执行；变差围岩掘进>65m 时，仰拱和二衬安全步距按照当前掌子面围岩等级执行。”

开挖循环进尺：“VI 级围岩各台阶开挖循环进尺不得大于 1 榀钢架间距。V 级围岩采用微台阶法、台阶法、三台阶法施工时，上台阶开挖循环进尺不得大于 2 榀钢架间距，中下台阶开挖循环进尺不得大于 3 榀钢架间距，且不大于 3m。IV 级围岩采用微台阶法、台阶法、三台阶法施工时，各台阶开挖循环进尺均不得大于 3 榀钢架间距，且不大于 3m。全断面开挖正洞每循环进尺不得大于 3m、辅助坑道每循环开挖进尺不得大于 3.5m。仰拱开挖进尺：有仰拱钢架地段，VI 级围岩仰拱开挖循环进尺不得大于 2 榀钢架间距；V 级及以下围岩仰拱开挖循环进尺不得大于 3 榀钢架间距，且不大于 3m。无仰拱钢架地段，仰拱开挖循环进尺不得大于 6m。”

8.2.4

1 隧道全断面法开挖施工掌子面直立高度较高，掌子面倒悬不利于掌子面围岩稳定，爆破后有掉块风险。为提高掌子面的稳定性，爆破设计充分考虑爆破炮眼深度，将掌子面预留一定坡度，确保施工安全。

8.2.6 采用微台阶法施工时，台阶长度的确定主要考虑两个方面：一是初期支护封闭成环的时间要求，围岩稳定性愈差，闭合时间要求愈短；二是上台阶开挖、支护（钢架、锚杆）、出渣机械设备所需的作业空间要求。掌子面稳定性较差时，通过设置台阶抑制掌子面挤出变形，从而提高掌子面整体稳定性。

8.3.1 采用光面爆破技术目的是减少超欠挖，同时减轻对围岩的扰动，有利于充分发挥

围岩的自承能力，提高喷锚质量；一般通过控制循环进尺和减少一次同时爆破的药量，减轻对围岩的扰动。

某高原铁路隧道为使爆破后开挖断面能够形成设计要求的轮廓线并减少对围岩的扰动，周边眼采取不耦合装药、间隔装药等措施，控制周边眼装药量，使爆力分布均匀，达到良好的爆破效果。

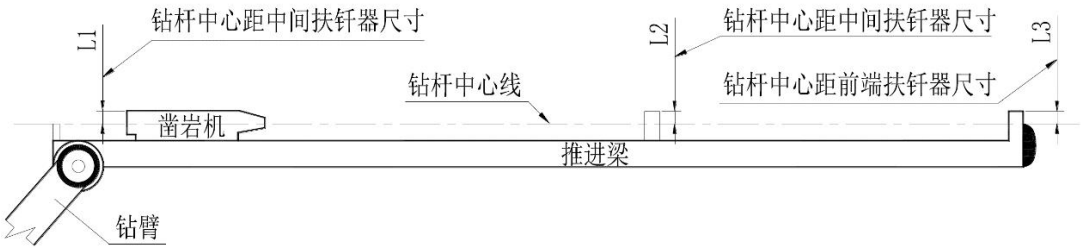
部分隧道采用水压爆破，通过水袋代替一部分炸药，使传能介质由气体变为水，同时因为“水楔”效应提高爆破时的传能效率，提升爆破时作用在岩体中的效能。水压爆破与常规爆破相比，水压爆破是将水袋和炮泥填充到炮眼中，其他爆破参数计算与设计同常规爆破；周边眼间隔装药之间的间隙采用水袋充填。

部分隧道采用聚能爆破，利用“V”型聚能装置，在爆破时使爆破产物聚集起来，产生射流，提高能量密度，增强爆破破坏作用。爆炸产物沿聚能穴的轴线方向射出一股高温、高压、高速和高密度的聚能流，使能量集中在较小的断面上，提高了局部的破坏作用。

部分隧道采用聚能水压爆破，综合利用上述两种爆破的原理，在常规爆破的基础上，采用聚能穴、聚能管、沙袋等器材，在周边孔间隔装药的炸药端头加入聚能穴，利用聚能效应提高传爆距离，聚能穴代替导爆索。在炮孔底部放入水袋，在孔口放入水沙袋，利用“水楔”作用和爆破水雾，起到堵孔、降低炸药单耗和降尘的作用；利用水介质的近似不可压缩性及缓能效应，在减少爆破能量损失的同时降低孔壁上的爆破振动。

8.3.4 凿岩台车钻眼和装药过程中通过划分作业区域，指定机械臂施钻固定区域，每个区域固定作业人员装药。有利于现场根据上一循环爆破效果及时控制和调整钻眼角度、长度、间距，装药结构和装药量，从而提高现场爆破效果。

8.3.6 采用凿岩台车开挖时，受凿岩台车的推进梁和钻杆位置结构影响（示意图见说明图 8.3.6），周边眼外插角会受到一定影响，导致外插角偏大。



说明图8.3.6 凿岩台车推进梁结构示意图

凿岩台车钻爆作业的周边眼外插角受推进梁影响较大，结合围岩稳定性和凿岩台

车结构特点，通常有长短眼结合、安全前提下掌子面预留作业空间等方式减小周边眼外插角，以减少超欠挖。部分建设项目的施工经验如下：

（1）郑万高铁：结合凿岩台车三维扫描系统或专用断面扫描设备，对开挖断面进行扫描，动态调整钻爆参数，结合开挖设备情况采取有效措施控制隧道超欠挖。开挖中采取周边眼长短结合、控制开挖循环进尺、优化钻爆设计、合理预留作业空间等措施控制超挖。

（2）西昆高铁：开挖后围岩稳定，确保凿岩台车作业安全时，在初喷混凝土后初期支护钢架安装前施作下循环周边眼，以此减小凿岩台车钻孔周边眼外插角，减小超挖。

8.3.7

1 川藏、西渝、长赣等铁路隧道为提高凿岩台车钻孔开孔位置精度，部分隧道采用了炮孔激光定位仪，利用激光定位周边眼钻孔位置。全电脑凿岩台车利用自带钻孔定位功能实现钻孔定位，将爆破设计参数输入全电脑凿岩台车，台车自动寻孔钻孔。

2 周边开眼位置根据岩层特点合理调整确定，通常硬岩地层在轮廓线上，软岩地层向内偏移 5cm～10cm，以此减少开挖爆破超挖，并根据断面测量结果、围岩变形数据动态优化调整。

3 部分隧道钻孔深度大于 3m 时，周边眼结合钻孔深度和围岩条件采用了长短眼结合钻孔，减小周边眼孔底外放量。

8.3.8 长赣、黔桂二线等铁路隧道在泥岩、板岩地层采用凿岩台车钻孔时，对设备进行了改进，增加气雾排渣功能，减少凿岩台车钻孔用水量，从而减小钻孔用水量对软弱围岩的软化影响。

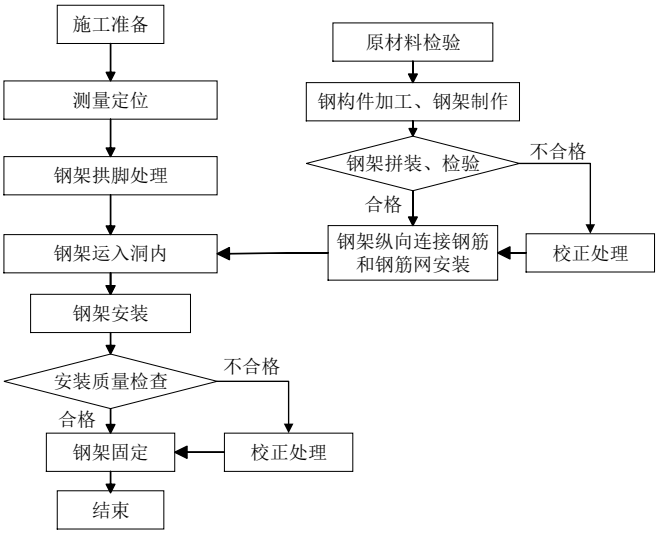
8.4.2 悬臂掘进机开挖是通过电机驱动截割头高速旋转冲击破碎岩体，配合悬臂多自由度摆动实现开挖断面成型；铣挖机通过液压马达驱动滚筒低速回转，利用截齿静力切削剥离岩土，依赖挖掘机臂架运动控制轨迹。设备冲击、剪切、挤压应力使脆性材料崩解，瞬间产生大量微米级颗粒；刀具与岩体剧烈摩擦产生高温，部分矿物受热微爆或进一步研磨成细尘；已破碎颗粒在装载、转运过程中再次碰撞破碎；截割头旋转搅动周围空气形成局部湍流，加之设备行走或物料下落冲击，使松散粉尘悬浮扩散 。因此，悬臂掘进机、铣挖机开挖过程中，部分隧道采用“内/外喷雾湿式截割 + 配套除尘装置 + 通风稀释 + 个体防护”综合降尘、除尘措施。

9.1.2 隧道开挖超挖后，通常采用喷射混凝土直接喷射回填，但受围岩节理、裂隙等影

响出现大的超挖时，初期支护施工时预留混凝土泵管，通过泵送混凝土回填密实。

9.2.2 地层易于成孔时，超前管棚施工一般采用钻孔顶入工艺；不易成孔时，一般采用跟管钻进工艺、自进式管棚工艺。

9.4.4 拱架组拼（铰接）安装工艺是在洞外或隧道内拼装多榀钢架，钢架上安装纵向连接筋和钢筋网；钢筋网和连接筋安装质量检查合格后，运输至隧道掌子面钢架安装区，采用拱架安装台车进行举升钢架安装。工艺流程见说明图 9.4.4。



说明图9.4.4 组拼钢架施工工艺流程图

相比传统的人工测量和拉线定位方法，激光定位仪利用高精度激光束定位，有效减少人为误差。在钢架安装过程中，通过激光定位仪实时监测钢架的位置和垂直度变化情况，及时纠偏，保证安装质量。 使用激光定位仪可以简化测量和定位流程，减少施工过程中的反复测量和校正工作，加快钢架安装的速度，缩短工序周期。

10.1.5 为提高铁路隧道防排水施工质量，高原铁路隧道衬砌防排水施工由各标段组织开展“试点先行、样板引路”工程，通过工艺优化和标准化管理施作样板段，固化工艺流程和质量控制要点，并通过现场观摩、经验交流、技术交底及验收合格后，全标段推广，取得了良好效果。

10.2.2 按仰拱一次浇筑长度，一次性裁剪矮边墙整体通幅防水板，减少防水板环向焊缝，仅在环向施工缝处有一道焊缝，有利提升矮边墙防水板防水效果。

10.4.4 变形缝是为适应衬砌结构沉降、收缩、温度伸缩预留的空间，密实的填缝料能随缝宽变化压缩、拉伸、剪切，使接缝处的变形平缓过渡，避免应力集中导致混凝土崩角、剥落，有利于保护相应位置的防水系统。

10.5.4 洞室往往是渗漏水的高风险区域，深度 6m 及以下的洞室边墙纵向防水板采用整

幅安装，有利于减少防水板焊缝数量，避免多层防水板 T 型焊缝叠加，提高防水的可靠性。

11.0.3 仰拱矮边墙顶部纵向施工缝，是地下水汇集、最易渗漏位置。若两套模板分开设计加工，极易出现：矮边墙顶面高度偏差、内外轮廓线型错位、止水带安装槽尺寸不统一、搭接台阶宽窄不一。统筹设计可统一起拱线标高、轮廓曲线、施工缝台阶构造、止水带预埋卡槽，浇筑后接缝顺直、密封构造贴合，避免错台、缝隙、止水带扭曲失效。

11.0.6 蒸养台车有效长度与衬砌台车长度匹配，可实现一板衬砌完整独立养护，无分段、无养护盲区。若长度不匹配：偏短会出现后半段衬砌无蒸养、前期失水开裂；偏长会覆盖上一板已完成养护段落，造成重复高温蒸养，混凝土养护条件不均。

12.3.1 针对不同等级岩爆隧道开挖工法、循环进尺、爆破控制及钢架支护封闭距离作出统一规定。轻微、中等岩爆围岩应力释放程度相对可控，采用全断面法可减少围岩多次扰动，保持围岩整体性；强烈及以上岩爆地段地应力剧烈释放、围岩崩落风险高，可根据现场岩体完整程度、出渣及支护施工条件选用全断面法或台阶法。根据高原铁路多吉隧道岩爆段落施工经验，中等岩爆初支钢架间距为 1.2m～1.5m，强烈岩爆初支钢架间距为 1m～1.2m，开挖中等岩爆进尺为 3m、强烈岩爆进尺为 2m，且拱架距离掌子面小于 1 榀钢架间距，实际钢架安装前，开挖临空面超 3m，对岩爆控制影响不大，未加剧岩爆的发生，故建议强烈、极强岩爆段循环进尺不宜大于 3.0m。

12.3.6 岩爆地段一般为硬质岩隧道，围岩级别以Ⅱ~Ⅲ级为主，掌子面自稳能力较好，采用全断面带仰拱一次开挖成型可避免仰拱部分在后方二次爆破，施工工效较高。高原铁路隧道为保证运营期的安全，岩爆等级中等及以上段落初期支护采用全环钢架结构，因机械化配套平行作业条件下，考虑打孔装药、出渣、支护等工序和匹配的凿岩台车、拱架安装机、钻锚注一体机、湿喷台车、自行式液压仰拱栈桥等设备作业空间需求，明确采用全断面带仰拱一次开挖成型工况下，初期支护仰拱钢架最远可滞后掌子面 65m 施工，实现开挖、支护快速跟进，并有效防控岩爆灾害，以上成果在拉月、易贡、多吉、伯舒拉岭、果拉山、邦达等岩爆风险较高的隧道工点得到大量实践应用。

12.3.7 岩爆隧道洞室交叉口附近是多洞室效应与时滞型岩爆的高发区。高原铁路多吉隧道 3 号斜井在转正洞施工时，在横通道完成爆破作业后，受群洞效应影响，左线大里程、左线小里程、斜井辅助坑道以及斜井支洞发生链式极强岩爆，造成斜井 X0+180～

X0+000 段、斜井支洞 X0+050～X0+000 段、正洞左线大小里程段出现不同程度损坏。经研究论证，群洞效应是导致本次岩爆危害显著增大的核心诱因。由于多个开挖面空间距离较近，爆破作业产生的扰动相互作用，使得岩爆影响相互叠加，最终增大了岩爆能量与危害程度。因此，左右线、正洞与横通道、应急救援站等同向爆破作业的工作面之间，空间错距大于 30m 可有效降低爆破振动叠加效应，减少相邻工作面围岩片裂、掉块风险。同步要求各作业面爆破作业时间适当错开，避免多点同时起爆造成振动超限、冲击波互通，保障多工作面平行施工安全，降低相互施工干扰。

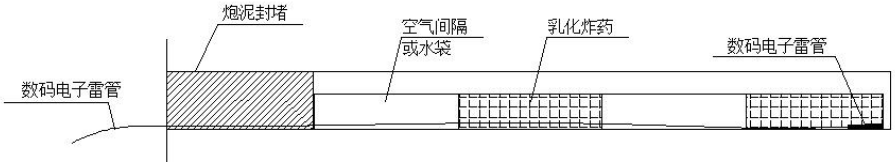
12.4.6 高原铁路隧道长大辅助坑道多、独头掘进距离长，通过现场试验试点先行、依托推广应用的方式，通风方式基本采用洞口压入+洞内风仓接力方式，并在拉月、易贡、伯舒拉岭、多吉等高地温隧道大量应用，研究按照以下原则进行隧道施工通风。

洞口压入式：高地温隧道(高地温指打孔测试岩温温度，不包括水温):独头掘进长度≤4.0km(28°C≤t<37°C)、≤3.5km(37°C≤t<50°C)、≤3.0km(t≥50°C)。(原则上一台风机负责一个作业面)

洞口压入+风仓接力式：高地温隧道:最远独头掘进长度>4.0km(28°C≤t<37°C)、>3.5km(37°C≤t<50°C)、>3.0km(t≥50°C)且存在一井两面及以上工况时，宜优先考虑洞口压入+风仓接力式通风。

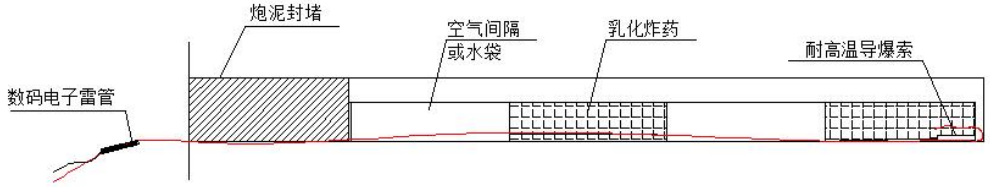
12.4.7 某高原铁路高地温隧道分级爆破方案如下：

（1） 炮孔内温度≤70℃。正常连接起爆，一般由数码电子雷管在孔底起爆炸药。



说明图 12.4.7-1 周边眼装药结构示意图（炮孔内温度≤70℃，间隔装药）

（2）炮孔内温度＞70℃。采用数码电子雷管在孔口引爆耐高温导爆索（工作温度可达 120℃），由耐高温导爆索孔内引爆炸药。



说明图 12.4.7-2 周边眼装药结构示意图（炮孔内温度＞70℃，间隔装药）

12.4.8 高原铁路隧道衬砌在防控混凝土裂纹和表观质量等方面进行了大量的探索实践，

编制下发了加强混凝土质量管理的规定，明确隧道衬砌混凝土采取蒸汽养护+喷淋养护相结合的方式，隧道二衬蒸汽养护时间不少于 3 天，恒温温度宜为 25~35℃，湿度控制在 90%以上，蒸汽养护结束后紧跟喷淋养护，养护总时间不少于 14 天，以上规定在拉月、易贡、多木格、多吉、伯舒拉岭等高地温隧道得到大量实践应用，高地温案例涵盖低高温至超高温所有工况，现场反馈应用效果良好，衬砌混凝土实体强度和外观质量满足相关规范要求。