



T/CECS G XXXX: 20xx

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路隧道机械化施工技术规范

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道机械化施工技术规程

T/CECS G: DXX-XX-20XX

主编单位：交通运输部公路科学研究院

浙江台州沈海高速公路有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：2027年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2023 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2023]10 号）的要求，由交通运输部公路科学研究院作为主编单位承担《公路隧道机械化施工技术规程》（以下简称“本规程”）的制定工作。

本规程共设总则、术语、基本规定、施工准备、超前地质预报、超前支护、开挖、运渣与通风、初期支护、防排水、二次衬砌、附录 A 公路隧道机械化施工基本(标准)配置参数、附录 B 公路隧道机械化施工人员基本配置参考表、附录 C 机械设备要求共计 10 个章节，3 个附录。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由交通运输部公路科学研究院负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或郑子腾（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编 100088；电话：010-62079572；电子邮箱：郑子腾 13223351346@163.com），以便修订时研用。

主 编 单 位：交通运输部公路科学研究院 浙江台州沈海高速公路有限公司

参 编 单 位：

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

参 加 人 员：

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	3
4 施工准备	5
4.1 一般规定	5
4.2 施工场地与临时工程	5
4.3 施工人员、材料和设备	5
4.4 节能环保	6
4.5 风险控制	6
5 超前地质预报	7
6 超前支护	9
6.1 一般规定	9
6.2 超前管棚	9
6.3 超前小导管	11
6.4 超前锚杆	12
6.5 超前预注浆	14
7 开挖、运渣与通风	16
7.1 一般规定	16
7.2 开挖	17
7.3 装（运）渣	19
7.4 通风防尘	20
8 初期支护	22
8.1 一般规定	22
8.2 锚杆施工	22
8.3 钢筋网安装	24
8.4 钢架安装	25

8.5 喷射混凝土	27
8.6 仰拱施工	29
9 防排水	31
9.1 一般规定	31
9.2 施工期间排水	31
9.3 防水板铺挂及止水带安装	32
9.4 排水沟施工	34
10 二次衬砌	37
10.1 一般规定	37
10.2 钢筋安装	37
10.3 混凝土浇筑	40
10.4 混凝土养护	41
10.5 电缆槽施工	43
附录 A 公路隧道机械化施工基本(标准)配置参数	45
附录 B 公路隧道机械化施工人员基本配置参考表	49
附录 C 机械设备要求	51
C.1 凿岩台车	51
C.2 悬臂式掘进机	51
C.3 拱架台车	52
C.4 湿喷台车	53
C.5 液压栈桥	54
C.6 挂布台车	55
C.7 模板台车	56
C.8 养护台车	57
C.9 沟槽台车	58
C.10 其他辅助设备	59

1 总则

1.0.1 为规范与指导公路隧道机械化施工作业，满足技术先进、安全可靠、经济高效、节能环保的要求，制定本规程

1.0.2 本规程适用于钻爆法施工为主的公路隧道。

1.0.3 隧道机械化施工应贯彻“智能高效、经济合理、绿色节能”原则，统筹考虑工程规模、建设条件、施工工法及设备性能等影响因素科学选型与合理配套。

1.0.4 隧道机械化施工应积极而慎重地采用新技术、新材料、新设备与新工艺。

1.0.5 隧道机械化施工除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 机械化施工 mechanized construction

根据隧道建设条件选配适应的机械设备,通过合理施工组织安全高效完成隧道各工序作业。

2.0.2 凿岩台车 drill jumbo

由车架结构、行走机构、凿岩机构、电气控制系统等组成,供隧道岩面(围岩)钻孔成形和辅助炸材填装等作业的设备。

2.0.3 拱架台车 arch installation jumbo

由钢架安装机构、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,提供钢架安装、锚杆安装、网片安装、炸材填装、检测排险作业的设备。

2.0.4 液压栈桥 hydraulic trestle

由引桥、主桥、桥面横移机构、驱动装置、移动伸缩支腿、气控制系统与液压系统以及辅助安全系统等组成,供施工车辆通行和仰拱浇筑成型作业的设备。

2.0.5 挂布台车 waterproof board hanging jumbo

由台车结构、卷扬装置、环向导轨、自行电机系统与环向铺挂系统等组成,供隧道防水板铺挂作业的设备。

2.0.6 模板台车 form jumbo

由门架结构、大块模板、调整结构(液压或螺杆)、行走机构等组成,供隧道衬砌混凝土成形的移动整体设备。

3 基本规定

3.0.1 隧道机械化施工应按照隧道工程全生命周期理念，加强设计阶段机械化施工设计、施工阶段设备选型与组织设计及施工数据管理。

3.0.2 隧道机械化施工应结合隧道工程规模、建设条件、工程措施等因素，合理配置机械设备，科学确定施工工法及工序。

3.0.3 隧道机械化施工作业应按照图 3.0.3 流程实施。

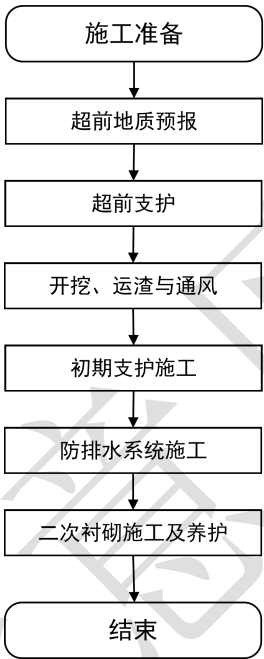


图 3.0.3 公路隧道机械化施工作业流程

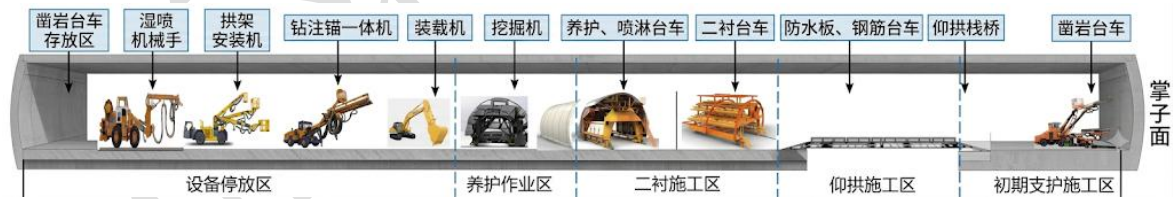


图 3.0.4 各作业线设备配置情况

3.0.4 隧道机械化施工前应合理规划施工场地，可参考图 3.0.4 布设机械设备，明确各工序施工机械设备及数量，确定配套施工工法、安全质量及风险管控等内容。

3.0.5 隧道施工机械设备应根据施工进度及时进场，施工过程中应加强设备的检测、保养与维护工作。

3.0.6 超前支护机械化施工应根据围岩及地下水条件、支护型式、孔径孔深、外插角和注浆要求，配置钻孔、安装、注浆设备，并对孔位、钻进姿态、注浆压

力、流量和注浆量进行过程控制。

3.0.7 开挖、运渣与通风机械化施工应根据围岩可挖性、断面规模、施工工法、循环进尺和运输组织，配置开挖、装运渣、通风除尘设备，并保持开挖、出渣、支护跟进能力匹配。

3.0.8 初期支护机械化施工应锚杆、钢筋网、钢架、喷射混凝土及仰拱作业要求配置机械设备，并对定位、钻注、举升、夹持、泵送、计量和作业参数进行控制。

3.0.9 防排水机械化施工应配防水板铺挂、止水带安装及排水作业设备，并对铺挂质量、焊接参数、止水构件位置和排水沟成品保护进行控制。

3.0.10 二次衬砌机械化施工应配置钢筋安装、模板定位、混凝土泵送布料、养护和沟槽成型设备，并对模板姿态、入模过程、拱顶密实、养护参数及预埋件位置进行控制。

3.0.11 当出现不良地质、有害气体超限、设备失稳等情况时，应停止相关机械化作业，采取处置措施并确认安全后恢复施工。

3.0.12 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进行管理，信息化工作应积极采用新技术、新设备、新方法。

4 施工准备

4.1 一般规定

4.1.1 隧道施工前，应开展现场调查、图纸核对及施工组织设计编制。

4.1.2 隧道开工前，应结合施工机械化设备配套完成分项工程划分、工程机械化施工方案编制及混凝土配合比设计等技术准备工作。

4.2 施工场地与临时工程

4.2.1 施工场地布置应遵循因地制宜、统一规划、安全便捷、节地环保的原则，满足机械设备安装、停放和维修保养等要求。

4.2.2 施工场地地面应硬化，并设置排污池和油水分离池。

4.2.3 隧道施工机械设备采用电力驱动时，施工场地宜配置充电站，充电站应满足《电动汽车充电站设计标准》（GB/T 50966-2024）的相关要求。

4.3 施工人员、材料和设备

4.3.1 隧道各工序机械化施工时，可按附录 A 配置设备。

4.3.2 隧道机械化作业的施工技术人员、质检人员、机械操作人员应具备相应专业资格，并经考核合格后上岗。

4.3.3 施工前应开展全员安全培训与教育，现场配备专职安全人员应符合安全生产标准化要求。

4.3.4 隧道施工材料质量应符合《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660-2020）的规定。

4.3.5 隧道机械化设备应具备合格证明，改装或自制装备应具备相关测试验证报告。

4.3.6 隧道机械化施工宜组建专业、稳定的作业队伍，负责设备进场、使用等的检查、维护及故障排除，配置可参考附录 B。

4.3.7 多臂凿岩机、湿喷机械手等整机设备进场时应开展验收与试运行。

4.3.8 拱架台车、自行式移动栈桥、二衬厚度预检台车、防水卷材作业台车、二衬台车、二衬养护台车和电缆沟槽台车等拼装设备，施工前应开展拼装测试。

4.3.9 现场拼装台车的机通净空应满足机械、车辆安全通行要求，机通边界

轮廓线应设置醒目的警示灯带及反光标识。

4.3.10 机械设备灭火器材配备及定期检查应符合《公路工程施工安全技术规程》（JTGF90）的规定。

4.4 节能环保

4.4.1 隧道施工设备应选择符合排污标准、噪声小和能耗低的机械，且宜优先选用电力机械。

4.4.2 隧道施工期间应采取有效措施，减少机械施工产生的废气、噪声、废液、振动等对周围环境造成的污染和影响。

4.4.3 隧道凿岩施工应采用湿法钻孔，洞内施工区域通风量应满足除尘及作业面空气置换要求。

4.4.4 隧道施工过程中机械设备与车辆应避免漏油，废油不应进入水体。

4.4.5 隧道施工期间应对排放的气体及污水定期检测，各项排放指标均应符合现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523）、《污水综合排放标准》（GB 8978）、《环境空气质量标准》（GB 3095）等有关规定。

4.5 风险控制

4.5.1 隧道机械化施工应建立全工序安全质量风险防控体系。

4.5.2 隧道机械化施工应根据隧道建设条件、超前地质预报信息、施工工法及工程设计信息等数据，按相关规定适时开展安全风险辨识、评估及其防控工作。

4.5.3 隧道机械化施工应依据风险评估结论，对风险等级较高的分部、分项工程编制专项施工方案。

4.5.4 隧道机械化施工应编制应急预案，储备应急物资，开展应急演练。

5 超前地质预报

5.0.1 超前地质预报应在隧道开工前根据隧道工程施工图设计文件完成超前地质预报实施方案编制。

5.0.2 超前地质预报应根据地质复杂程度确定重点预报区段及预报内容，并应遵循动态调整的原则及时调整地质预报方法和技术要求。

5.0.3 超前地质预报应采用综合预报方式，可采用地质调查与勘探相结合、物探与钻探相结合、长距离与短距离相结合、地面与地下相结合、超前导坑与主洞探测相结合等方式，对各种方法预报结果综合分析，相互验证。

5.0.4 隧道机械化施工应根据超前地质预报资料和掌子面揭示的地质条件，核查掌子面围岩结构面产状、发育程度、结合程度等特征及地下水状态。

5.0.5 超前地质预报钻孔设备选型及适用范围应符合下列规定：

- 1 超前钻探作业宜选用凿岩台车或多功能钻机。
- 2 加深炮孔探测、短距离超前钻探及需与开挖钻孔设备协同作业时，宜采用凿岩台车。
- 3 中短距离超前水平钻探、孔位角度调整频繁或需兼顾超前支护钻孔作业时，宜采用多功能钻机。
- 4 软弱破碎、富水或成孔稳定性较差地段，宜配置满足稳孔、护孔或孔口控制要求的钻具及辅助装置。

5.0.6 超前地质预报钻孔施工作业准备应符合下列规定：

- 1 超前钻探前，应收集和分析隧道勘察设计资料，编制超前钻探专项施工方案，明确钻探孔位、孔径、孔深、倾角、循环长度及搭接段参数。
- 2 作业前应检查凿岩台车或多功能钻机的钻具、供水、供电系统是否正常，台车就位后应立即张开支腿，确保停放稳固。
- 3 应根据超前地质预报设计方案确定钻孔位置、方向、数量及每次钻进深度。
- 4 隧道供电长度超过 500m 时，宜稳压或高压供电进洞。

5.0.7 采用凿岩台车或多功能钻机进行超前预报钻孔施工时，可按附录 C.1.6 所示工艺流程进行。

5.0.8 超前地质预报钻孔施工过程应符合下列规定：

- 1 采用凿岩台车进行超前钻探时，钻孔深度宜小于 30m，前后两循环钻孔应

重叠 5~8m。钻孔完成后应采用高压风清孔，清除孔内粉尘及岩屑。

2 采用多功能钻机进行超前钻探时，应根据地质条件合理选择钻进参数，钻进过程中应实时监测钻进速度、扭矩、压力等参数。

3 钻孔过程中应观察出水情况、钻速变化、卡钻等信息，并做好详细记录。

4 凿岩台车在隧道内行驶速度应控制在 3~5km/h。

5.0.9 出现下列情况之一时，应停止超前地质预报钻孔作业：

1 钻孔过程中出现卡钻、钻具损坏等异常情况时，应立即停止钻进，查明原因并处理后方可继续作业。

2 钻孔过程中出现突水、突泥等异常情况时，应立即停止钻进，并采取应急措施。

3 设备出现异常振动、异响或温升过高时，应立即停机检查。

5.0.10 施工中可利用凿岩台车随钻数据及钻孔内成像技术，预测隧道围岩力学及结构面参数。

5.0.11 施超前钻探完成后，应及时整理钻探记录、岩芯照片及分析结论，形成超前地质预报成果报告。

5.0.12 凿岩台车或多功能钻机钻孔施工质量控制标准应符合表 5.0.12 的规定。

表 5.0.12 凿岩台车或多功能钻机钻孔施工质量控制标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	钻孔位置（mm）	周边眼：±50	逐孔检查。	尺量
2	钻孔深度（mm）	±50	每一循环分别检测拱	尺量
3	孔径（mm）	≥锚杆杆体直径+15	部、侧墙或仰拱；随机 选孔、检测频率不小于 总量的 10%。	尺量

6 超前支护

6.1 一般规定

6.1.1 隧道机械化施工应根据围岩条件选取合适的超前支护措施并及时施作。

6.1.2 超前支护可选取超前管棚、超前小导管、超前锚杆与超前预注浆等措施。

6.1.3 超前支护各工序应根据围岩条件、作业空间及工艺要求，选用适宜的钻孔、注浆机械设备。

6.1.4 超前支护机械设备应满足孔位定位、钻进姿态控制、推进参数调节、作业数据记录和设备安全保护等要求。

6.1.5 超前支护机械化施工前，应通过首件工程或工艺试验确定设备组合、作业流程、钻进参数、注浆参数和质量控制指标。

6.1.6 超前支护机械化施工过程中，宜记录设备型号、孔位、孔深、钻进时间、推进压力、回转压力、注浆压力、注浆量及异常处置情况。

6.2 超前管棚

6.2.1 超前管棚机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 钻孔作业宜采用凿岩台车、多功能钻机或管棚钻机。当围岩整体性较好、成孔条件较好、孔深较短时，可采用凿岩台车；围岩破碎、富水、成孔困难、孔径较大或需跟管钻进时，宜采用多功能钻机或管棚钻机。

2 注浆作业宜采用自动注浆机、双液注浆机或注浆泵。

6.2.2 超前管棚机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 钻孔作业前应采用喷射混凝土封闭掌子面，形成 4~6cm 厚的止浆墙。

2 钻孔设备就位前，应复核作业空间、设备行走路线、支撑位置和管棚安装空间。

3 钻孔设备就位后，应校核设备姿态、钻臂工作范围、导向装置、推进装置和夹持装置。

4 钻具、套管、管棚钢管、连接件和注浆管路应与设备能力及设计参数相匹配。

5 注浆设备作业前，应检查压力表、流量计、安全阀、搅拌装置、输浆管路和数据记录装置。

6.2.3 超前管棚机械化施工应按图 6.2.3 所示工艺流程进行。

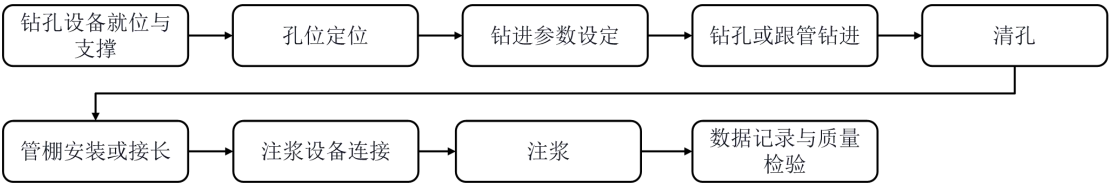


图 6.2.3 超前管棚机械化施工工艺流程

6.2.4 超前管棚机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 钻进过程中应根据围岩状态调整推进压力、回转速度、给进速度和冲洗水量。
- 2 钻孔方向偏差超出控制要求时，应利用设备导向或姿态调整装置纠偏。
- 3 跟管钻进时，钻具推进、套管跟进和排渣能力应协调匹配。
- 4 管棚顶进或接长过程中应控制推进速度和连接质量，钢管不应弯曲、变形或偏位。
- 5 注浆过程中应实时监测压力、流量和注浆量，注浆参数变化应及时记录。

6.2.5 出现下列情况之一时，应停止超前管棚机械化作业：

- 1 钻孔设备支撑失稳、钻臂动作异常或导向装置失效。
- 2 钻进过程中出现卡钻、塌孔、套管变形、钻孔偏斜不能纠正或钻进参数异常突变。
- 3 注浆过程中出现压力异常、管路堵塞、管路破裂、窜浆、跑浆或设备故障。
- 4 掌子面出现突水、突泥、掉块、开裂或其他失稳征兆。

6.2.6 超前管棚施工质量检验应符合表 6.2.6 的规定。

表 6.2.6 超前管棚施工质量控制标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	管棚孔位（mm）	±50	逐孔检查	尺量
2	钻孔深度（mm）	±50	逐孔检查	尺量
3	外插角（°）	≤15°（或符合设计）	逐孔检查	全站仪、量角器
4	管棚搭接长度（m）	≥3	逐环检查	尺量
5	注浆压力	符合设计要求，稳定时	逐孔记录	压力表

序号	项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
		间 $\geq 10\text{min}$		
6	注浆量	$\geq$ 设计注浆量的 80%	逐孔记录	流量计

6.3 超前小导管

6.3.1 超前小导管机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 小导管钻孔宜采用凿岩台车或多功能钻机，当孔深较短、孔位数量较多、作业空间满足钻臂展开要求时，宜采用凿岩台车；软弱破碎、富水或成孔稳定性较差地段，宜采用多功能钻机。

4 小导管注浆宜采用自动注浆机、双液注浆机或注浆泵，具备条件时可采用分流器进行多管同步注浆。

5 小导管端头加工及注浆孔加工宜采用专用加工设备集中完成。

6.3.2 超前小导管机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 钻孔设备就位前，应复核设备作业范围、钻臂展开空间和孔位布置。

2 钻孔设备就位后，应检查支腿、推进器、钻具、供风、供水、供电和控制系统。

3 小导管规格、长度、端头加工、注浆孔和连接件应与机械化安装及注浆要求相匹配。

4 注浆设备作业前，应检查压力调节、流量控制、浆液搅拌、输浆管路和分流装置。

6.3.3 超前小导管机械化施工宜按图 6.3.3 所示工艺流程进行。

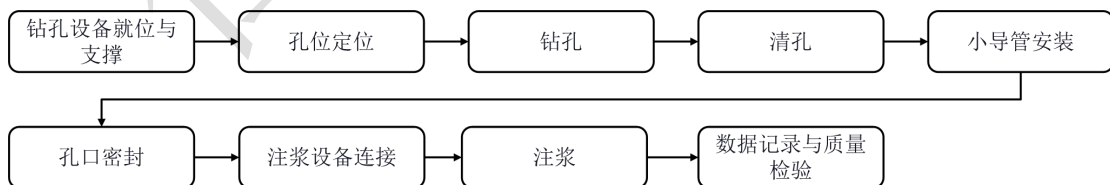


图 6.3.3 超前小导管机械化施工工艺流程

6.3.4 超前小导管机械化施工过程应符合下列规定：

1 注浆顺序应由下至上、先无水处后富水处，注浆量先大后小，注浆压力宜在 0.5~1.0MPa 范围由小到大增压，发现窜浆、漏浆、跑浆现象时，应隔孔注浆。

- 2 钻孔过程中应通过设备定位和钻臂姿态控制孔位、孔深和外插角。
- 3 成孔后应采用高压风或水清孔，清孔状态应满足机械化注浆要求。
- 4 小导管安装宜采用机械推送或辅助夹持装置送入。
- 5 注浆压力和流量应根据工艺试验及现场吸浆情况调整。
- 6 多管同步注浆时，各支路压力和流量应保持协调。
- 7 注浆数据和异常处置记录应完整。

6.3.5 出现下列情况之一时，应停止超前小导管机械化作业：

- 1 钻孔设备支撑失稳、钻臂动作异常或孔位偏差不能纠正。
- 2 钻进过程中出现卡钻、塌孔、堵孔或钻进参数异常。
- 3 注浆过程中出现堵管、窜浆、跑浆、压力异常、分流装置失效或设备故障。
- 4 掌子面出现掉块、开裂、突水、突泥或其他失稳征兆。

6.3.6 超前小导管施工质量检验应符合表 6.3.6 的规定。

表 6.3.6 超前小导管施工质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	小导管孔位（mm）	±50	逐孔检查	尺量
2	钻孔深度（mm）	±50	逐孔检查	尺量
3	外插角（°）	≤10°（或符合设计）	逐孔检查	全站仪、量角器
4	搭接长度（m）	≥1	逐环检查	尺量
5	注浆压力（MPa）	0.5～1.0（或符合设计）	逐孔记录	压力表
6	注浆量	符合设计要求	逐孔记录	流量计

6.4 超前锚杆

6.4.1 超前锚杆机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 超前锚杆钻孔及安装宜采用凿岩台车、多功能钻机、锚杆钻机或锚杆钻注一体机。当作业空间较大、孔位数量较多或需与开挖钻孔设备协同作业时，宜采用凿岩台车；软弱破碎、富水或成孔困难地段，宜采用多功能钻机或具备套管跟进能力的钻孔设备；需连续完成钻孔、送杆、注浆和数据记录时，宜采用锚杆钻注一体机。

2 锚杆钻注一体机的夹持、推进、送杆和注浆装置应与锚杆类型相匹配。

6.4.2 超前锚杆机械化施工作业准备应符合下列规定：

- 1 钻孔设备就位前，应复核锚杆孔位、孔深、角度、长度和作业空间。
- 2 钻孔设备就位后，应检查钻具、推进器、夹持装置、送杆机构、清孔装置和支撑状态。
- 3 锚杆杆体、垫板、螺母、注浆接头、浆液材料或锚固剂应与设备安装方式相匹配。
- 4 采用锚杆钻注一体机时，应检查注浆系统、计量系统和数据采集系统。

6.4.3 超前锚杆机械化施工宜按图 6.4.3 所示工艺流程进行。

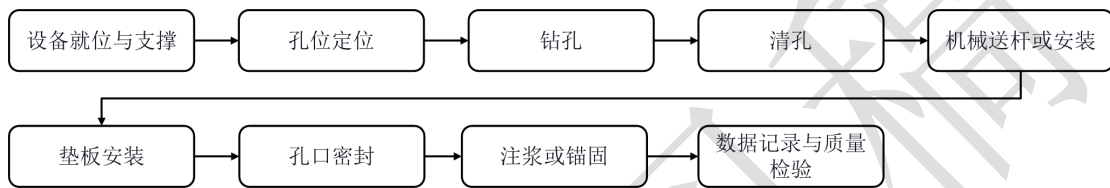


图 6.4.3 超前锚杆机械化施工工艺流程

6.4.4 超前锚杆机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 钻孔过程中应通过设备定位和推进控制保证孔位、孔深和角度。
- 2 成孔困难地段宜采用套管跟进或适配钻具钻进。
- 3 机械送杆时应控制推进速度和夹持力，避免杆体弯曲、损伤或偏位。
- 4 注浆过程中应控制注浆压力、注浆量和浆液连续性。
- 5 采用锚杆钻注一体机时，钻孔、送杆、注浆等参数应同步记录。

6.4.5 出现下列情况之一时，应停止超前锚杆机械化作业：

- 1 钻孔设备支撑失稳、夹持装置失效、送杆机构异常或钻臂动作异常。
- 2 钻进过程中出现卡钻、塌孔、孔位偏差不能纠正或钻进参数异常。
- 3 锚杆无法送入、杆体变形、垫板不能密贴或注浆不畅。
- 4 注浆过程中出现压力异常、浆液外漏、堵管或设备故障。
- 5 掌子面出现掉块、开裂、突水、突泥或其他失稳征兆。

6.4.6 超前锚杆施工质量检验应符合表 6.4.6 的规定。

表 6.4.6 超前锚杆施工质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	锚杆孔位 (mm)	±150	随机抽查不少于锚杆数的 10%	尺量

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
2	钻孔深度 (mm)	±50	随机抽查不少于锚杆数的 10%	尺量
3	孔径 (mm)	≥锚杆杆体直径+15	随机抽查不少于锚杆数的 10%	尺量
4	钻孔垂直度 (°)	±20	随机抽查不少于锚杆数的 10%	尺量
5	锚杆拔力 (kN)	符合设计要求	按锚杆数 1%做拔力试验,且不小于 3 根	拔力试验

6.5 超前预注浆

6.5.1 超前预注浆机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 超前预注浆宜采用自动注浆机、双液注浆机、注浆台车或注浆泵。自动注浆机适用于注浆参数控制、浆液拌制、浆液输送和数据记录要求较高的地段；双液注浆机适用于双液浆注浆作业；多孔、多点、连续注浆作业宜采用注浆台车。

2 富水、断层破碎带及自稳性差的软岩地段，宜采用压力、流量可调且具备自动记录功能的注浆设备。

6.5.2 超前预注浆机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 应复核注浆孔布置、孔深、注浆段长、浆液类型、注浆压力、注浆量和终浆标准。

2 应检查注浆机、搅拌机、储浆桶、输浆管路、压力表、流量计、安全阀和止浆装置。

3 注浆设备的压力、流量和计量装置应满足工艺试验确定的参数要求。

4 注浆前应完成管路连接、管路试压、孔内清洗和浆液试拌。

6.5.3 超前预注浆机械化施工宜按图 6.5.3 所示工艺流程进行。

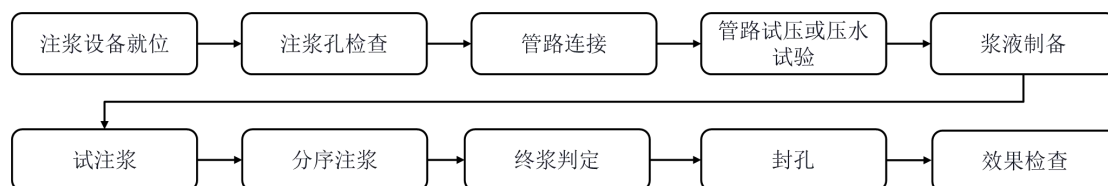


图 6.5.3 超前预注浆机械化施工工艺流程

6.5.4 超前预注浆机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 注浆设备应按试验确定的压力、流量和配比运行。
- 2 注浆过程中应实时监测压力、流量、注浆量和浆液状态。
- 3 注浆参数应根据压力变化、吸浆量、返浆和串浆情况调整。
- 4 注浆设备停机、换孔或换浆时，应及时冲洗管路。
- 5 注浆完成后应形成单孔注浆记录和循环注浆汇总记录。

6.5.5 出现下列情况之一时，应停止超前预注浆作业：

- 1 注浆压力超过设备或设计允许值。
- 2 注浆压力骤升、骤降或长时间不上压。
- 3 管路爆裂、接头脱开、安全阀失效或设备故障。
- 4 浆液外漏、窜浆、跑浆或堵管。
- 5 掌子面鼓胀、开裂、突水、突泥或围岩变形异常。

6.5.6 超前预注浆施工质量检验应符合表 6.5.6 的规定。

表 6.5.6 超前预注浆施工质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	注浆压力	符合设计要求，终压稳定时间 ≥10min	逐孔记录	压力表
2	单孔注浆量	≥设计注浆量的 80%（或符合设计）	逐孔记录	流量计
3	检查孔数量	≥注浆孔总数的 10%	逐循环检查	现场清点
4	检查孔出水量	符合设计要求（或出水量＜规定值）	逐孔检查	量测
5	检查孔取芯	浆液充填饱满，无较大空洞	逐孔检查	钻孔取芯观察

7 开挖、运渣与通风

7.1 一般规定

7.1.1 隧道开挖、装（运）渣与通风机械化施工应根据围岩级别、岩体完整程度、开挖方法、断面尺寸、循环进尺、作业空间和环境控制要求，配置开挖、装渣、运输、通风和除尘设备。

7.1.3 隧道施工装渣运输方式应根据隧道长度、断面大小、坡度、施工方法、机械配套及施工进度等要求综合考虑，可选择无轨运输方式、有轨运输或皮带运输方式。

7.1.4 隧道施工运输线路的空间应满足行车限界要求，并设置警示标志标牌及声光信号。

7.1.6 隧道机械化施工作业面稳定性为可控状态时，安全施工步距可按下列规定执行，必要时可组织专家论证后确定：

1 初期支护闭合成环的Ⅳ级围岩初期支护距掌子面距离不应大于 70m；Ⅴ级围岩地段宜采用初期支护仰拱紧跟掌子面施作，初期支护距掌子面距离不应大于 60m。

2 二次衬砌应在初期支护变形稳定后施作，二次衬砌距掌子面的距离应符合下列要求：

1) Ⅴ级围岩浅埋地段不应大于 200m，Ⅴ级围岩其他地段不应大于 300m。

2) Ⅳ级围岩地段不宜大于 500m，Ⅱ级、Ⅲ级围岩地段二次衬砌距掌子面的距离不予限制。

3) Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅴ级围岩交互的地段，应按较差围岩的标准进行控制。

3 现浇混凝土仰拱和仰拱填充、底板工作面距离掌子面距离，Ⅳ、Ⅴ级围岩不应大于 120m，Ⅱ、Ⅲ级围岩不应大于 140m。

4 Ⅳ、Ⅴ级围岩采用超前管棚及高压注浆加固后，每循环开挖进尺不应大于 4 榀钢架间距；采用超前管棚填充注浆或小导管超前注浆加固后，每循环开挖进尺不应大于 3 榀钢架间距。

7.2 开挖

7.2.1 开挖机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 隧道机械开挖宜采用凿岩台车、多功能钻机、悬臂式掘进机、液压水磨钻车等设备。其中，钻爆法开挖炮孔钻孔宜采用凿岩台车；作业空间受限、需兼顾超前钻探或支护孔施工时，宜采用多功能钻机；软岩、极软岩、泥质岩、强风化岩及可切割围岩地段，宜采用悬臂式掘进机开挖；对爆破振动控制要求高、邻近既有结构物、浅埋偏压、围岩破碎或不宜爆破地段，可选用液压水磨钻车、铣挖机、液压破碎锤、液压劈裂机等非爆开挖设备。

2 大断面隧道采用台阶法、预留核心土法或分部开挖时，开挖设备的作业半径、截割高度、行走宽度和转场能力应满足分部开挖要求。

3 凿岩台车、悬臂式掘进机和液压水磨钻车应具备姿态控制、作业参数显示、限位保护、异常报警和作业数据记录功能。

7.2.2 开挖机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 作业前应复核开挖方法、开挖轮廓、循环进尺、分部尺寸、设备作业空间和支护跟进距离。

2 凿岩台车作业前应完成支腿支撑、机身调平、钻臂动作试验、钻具检查及供水、供风、供电系统检查。

3 悬臂式掘进机作业前应检查截割头、截齿、装载机构、转载系统、履带行走、喷雾降尘、液压系统、电气系统和急停装置。

4 液压水磨钻车作业前应检查钻臂、钻具、供水系统、排浆排渣系统、液压系统、定位装置和作业平台稳定性。

5 多台设备交叉作业时，应划定设备回转、推进、截割、装载和人员避让范围。

7.2.3 钻爆法开挖机械化施工应按图 7.2.3 所示工艺流程进行。

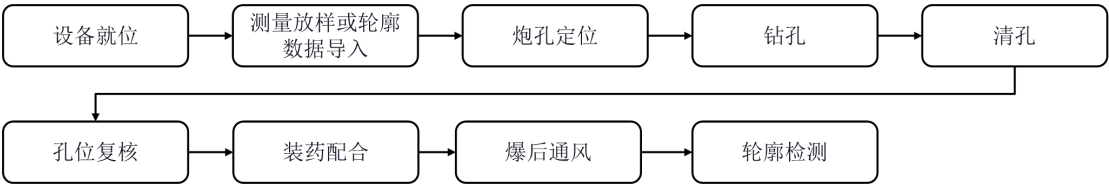


图 7.2.3 钻爆法开挖机械化施工工艺流程

7.2.4 悬臂式掘进机开挖应按图 7.2.4 所示工艺流程进行。



图 7.2.4 悬臂式掘进机开挖施工工艺流程

7.2.5 液压水磨钻车等非爆开挖宜按图 7.2.5 所示工艺流程进行。

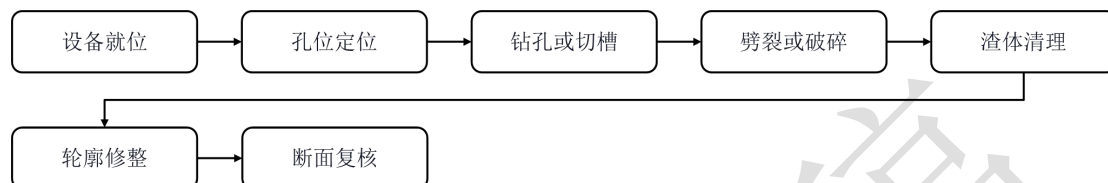


图 7.2.5 液压水磨钻车等非爆开挖施工工艺流程

7.2.6 钻爆法开挖机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 钻孔顺序宜按掏槽孔、辅助孔、周边孔、底孔分区实施，并结合钻臂覆盖范围优化。掏槽眼眼口间距和眼底间距允许误差 $\pm 5\text{cm}$ ，辅助眼眼口间距允许误差 $\pm 10\text{cm}$ ，周边眼眼口位置允许误差 $\pm 5\text{cm}$ ，眼底不得超出开挖断面轮廓线 15cm。
- 2 钻进过程中应根据围岩软硬、裂隙发育和返水返渣情况调整冲击压力、推进压力、回转压力和冲洗水量。
- 3 周边孔钻进应控制孔口位置、外插角和孔底偏差，具备条件时宜采用轮廓扫描成果修正孔位。
- 4 钻孔完成后应检查孔数、孔位、孔深和清孔质量，钻孔参数宜由设备自动记录。

7.2.7 悬臂式掘进机开挖过程应符合下列规定：

- 1 截割路线应根据围岩稳定性、断面形状和支护闭合要求确定，截割作业应遵循“由下向上、由外向里、先扫底后刷帮”的原则。
- 2 截割头进给速度、截割深度和摆动速度应根据围岩强度、节理发育和设备负荷调整。
- 3 截割过程中应连续启用喷雾降尘和除尘装置，并宜同步记录截割电流、油压、推进速度和异常负荷。
- 4 拱脚、边墙、仰拱及轮廓控制部位宜采用低扰动方式修整，不得强行超负荷截割。
- 5 遇夹硬岩、孤石、断层破碎带或涌水涌泥时，应复核设备适用性和开挖参

数。

7.2.8 液压水磨钻车等非爆开挖过程应符合下列规定：

- 1 孔位、孔距、孔深和切槽位置应根据设计轮廓、围岩条件和破岩方式确定。
- 2 钻孔或切槽过程中应控制设备姿态、推进压力、供水量和排浆排渣状态。
- 3 劈裂、破碎或铣挖作业应与钻孔、切槽工序配合实施，并应控制对保留围岩的扰动。

4 开挖轮廓修整宜采用小型机械或设备低功率工况完成。

5 施工废水、浆液和岩渣应及时收集、沉淀和清运。

7.2.9 开挖机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

- 1 设备支撑、行走、截割、钻进、液压、电气、喷雾或急停系统异常。
- 2 掌子面掉块、坍塌、突水突泥、有害气体超限或围岩变形异常。
- 3 钻孔偏差、截割偏差或开挖轮廓偏差经调整仍不能满足设计要求。
- 4 悬臂式掘进机出现截割电流异常升高、截齿异常损坏、机身失稳或转载系统堵塞。
- 5 液压水磨钻车出现供水中断、排浆不畅、钻具卡阻、孔壁失稳或作业平台失稳。

7.3 装（运）渣

7.3.1 装渣设备可按断面尺寸、台阶高度、渣体块径和开挖方式选用侧卸装载机、挖掘机、扒渣机、连续装渣设备或掘进机配套转载设备。

7.3.2 运渣方式可采用无轨运输、有轨运输或连续运输；长距离独头掘进、高海拔隧道或通风负荷较大的地段，宜对新能源车辆、皮带运输和内燃车辆进行综合比选。

7.3.3 施工作业地段的行车速度不得大于 15km/h，成洞地段不得大于 25km/h。在视线不良的曲线上，以及通过岔道和洞口平角道等处时，行车速度不得大于 10km/h。

7.3.4 隧道及辅助坑道可结合避车洞位置，每间隔 150~300m 设置汽车调头位置，掉头洞尺寸应满足洞内通用机械转弯半径，不宜小于 5m(深)×5.5m(宽)×4.5m(高)。平导错车道应结合断面尺寸和机械情况确定位置，间距不宜大于 150m。

7.3.5 装（运）渣机械化施工宜按图 7.3.5 所示工艺流程进行。

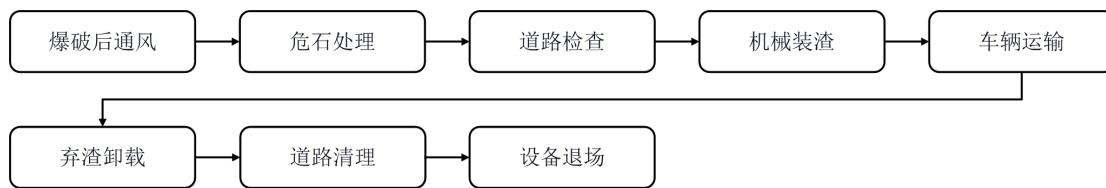


图 7.3.5 装（运）渣机械化施工工艺流程

7.3.6 装（运）渣作业前应确认通风排烟、危石处理、道路照明、排水、调头、错车和调度信号满足设备运行要求。

7.3.7 装渣设备回转范围、转载设备运行范围、运输车辆倒车路线和人员通行区应分区管理。

7.3.8 运输车辆出现制动失效、转向异常、超载偏载、视线受阻、道路积水打滑或有害气体超限时，应停止运行。

7.4 通风防尘

7.4.1 通风与除尘设备应根据隧道长度、断面、施工方法、开挖设备功率、运输方式和有害气体控制要求选用轴流风机、射流风机、风管、局部通风设备、湿式除尘设备、喷雾降尘装置或移动式除尘设备。

7.4.2 采用悬臂式掘进机、液压水磨钻车、湿喷机械手等机械设备作业时，宜与通风除尘设备联动运行。

7.4.3 通风与除尘机械化施工宜按图 7.4.3 所示工艺流程进行。

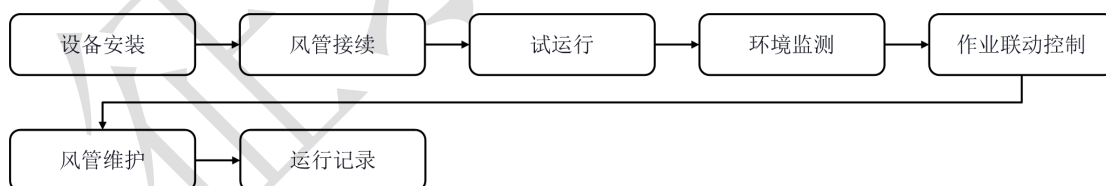


图 7.4.3 通风与除尘机械化施工工艺流程

7.4.4 通风与除尘作业前应复核风机能力、风管直径、风管出口位置、除尘设备布置、供电容量和环境监测点。

7.4.5 通风除尘运行过程中应监测风量、风速、粉尘、有害气体和风管漏风情况，并应形成运行记录。

7.4.6 风量不足、风管破损脱节、除尘设备失效、粉尘或有害气体超限时，应停止受影响区域作业。

7.4.7 隧道施工过程中的通风防尘作业应符合《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660-2020）相关规定。

征求意见稿

8 初期支护

8.1 一般规定

8.1.1 初期支护机械化施工应根据围岩级别、开挖方法、支护参数、施工步距和作业空间配置锚杆施工、钢筋网安装、钢架安装、喷射混凝土和仰拱施工等设备。

8.1.2 初期支护机械化设备的作业范围应覆盖相应支护部位，并应与开挖循环、出渣运输和二衬施工组织协调。

8.1.3 初期支护机械化施工的设备定位、作业参数、材料消耗、质量检测和异常处置记录应纳入信息化管理。

8.2 锚杆施工

8.2.1 锚杆施工机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 锚杆钻孔可采用凿岩台车、多功能钻机或锚杆钻注一体机。系统锚杆数量较多、孔位分布规则、需连续完成钻孔和注浆作业的地段，宜采用锚杆钻注一体机；断面较大、锚杆孔角度变化较多或与开挖钻孔共用设备时，可采用凿岩台车或多功能钻机。

2 锚杆钻注设备宜具备孔位定位、孔深控制、注浆压力与注浆量记录功能。

8.2.2 锚杆机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 作业前应复核锚杆类型、孔位、孔径、孔深、角度、长度和注浆材料。

2 设备就位后应检查钻具、夹持器、推进机构、注浆泵、管路、压力表、流量计和急停装置。

3 锚杆杆体、垫板、螺母、锚固剂或浆液应与设备送料、夹持和注浆装置相匹配。

4 锚杆作业平台和钻臂回转范围应满足支护部位施工和人员避让要求。

8.2.3 锚杆机械化施工宜按图 8.2.3 所示工艺流程进行。

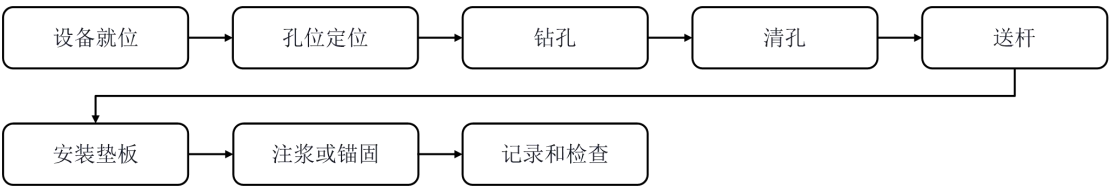


图 8.2.3 锚杆机械化施工工艺流程

8.2.4 锚杆机械化施工过程应符合下列规定：

1 钻孔过程应控制孔位、孔深、孔径和角度，软弱破碎围岩成孔困难时宜采用套管跟进或自钻式锚杆。

2 锚杆安装宜采用设备送料或推进装置送入，送杆过程中不得损伤杆体、螺纹和注浆通道。

3 注浆作业应控制注浆压力、注浆量和稳压时间，注浆数据应逐孔记录。

4 采用锚杆钻注一体机时，钻孔、送杆、注浆和记录宜连续完成。

8.2.5 锚杆机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

1 钻机支撑、夹持、推进、回转或注浆系统异常。

2 孔壁坍塌、卡钻、锚杆无法送入或孔内突水突泥。

3 注浆压力突变、长时间不上压、漏浆、串浆或管路堵塞。

4 围岩掉块、喷层开裂或监控量测异常影响作业安全。

8.2.6 锚杆机械化施工质量检验应符合表 8.2.6 的规定。

表 8.2.6 锚杆施工质量控制标准

序号	检查项目	施工控制值	检验频率	检验方法
1	锚杆数量(根)	满足设计要求	全部	现场逐根清点
2	锚杆拔力(kN)	28d 拔力平均值≥设计值， 最小拔力≥0.9 倍设计值	按锚杆数 1%做拔力试验，且 不小于 3 根	拔力试验
3	锚杆孔位(mm)	±150	随机抽查不少于锚杆数的 10%	尺量
4	钻孔深度(mm)	±50	随机抽查不少于锚杆数的 10%	尺量
5	孔径(mm)	锚杆钻孔直径应大于锚杆 杆体 直径+15	随机抽查不少于锚杆数的 10%	尺量
6	锚杆长度(m)	±100	随机抽查不少于锚杆数的 10%	尺量、物探法
7	锚固剂强度	满足设计要求	每进货批次	按产品标准检验
8	锚杆杆体外观	钢筋无锈蚀、杆体无凹痕、 无弯曲	随机抽查不少于锚杆数的 10%	目测
9	锚杆砂浆饱满度	饱满、密实、无空洞	随机抽查不少于锚杆数的 10%	物探法

10	锚头	锚杆外露长度 $\leq 100\text{mm}$ 垫板与岩面密贴，无间隙	随机抽查不少于锚杆数的50%	目测、尺量
----	----	--	----------------	-------

8.3 钢筋网安装

8.3.1 钢筋网施工机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

- 1 钢筋网安装可采用拱架台车、挂布台车或多功能作业台车作为安装平台。
- 2 大断面、长距离运输或网片尺寸较大的地段，宜采用具备吊装、提升或临时夹持功能的作业平台。

8.3.2 钢筋网机械化施工作业准备应符合下列规定：

- 1 作业前应复核网片规格、尺寸、搭接长度、安装部位和喷射混凝土保护层要求。
- 2 作业平台、吊装装置、夹持装置和照明设施应完成检查。
- 3 网片运输和临时存放应采取防变形措施，并应满足设备吊装和人员操作空间要求。

8.3.3 钢筋网机械化施工宜按图 8.3.3 所示工艺流程进行。

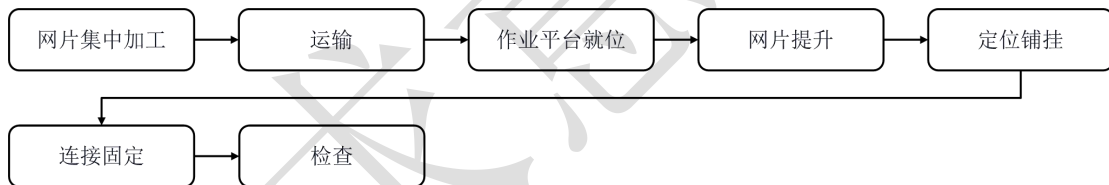


图 8.3.3 钢筋网机械化施工工艺流程

8.3.4 钢筋网机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 网片提升和铺挂应利用作业平台或吊装装置进行定位，不得碰撞已施工支护和监测元件。
- 2 网片应与围岩面或初喷面贴合，搭接、间距和保护层应通过定位装置或量测控制。
- 3 平台移动、网片提升和固定作业应协调进行，网片未固定前不得解除夹持或吊装约束。
- 4 钢筋网安装记录宜包括网片编号、安装部位、搭接长度和固定质量。

8.3.5 钢筋网机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

- 1 作业平台支撑、行走、升降或吊装装置异常。

- 2 网片变形、夹持失效、连接松动或侵入设计限界。
- 3 作业区域存在掉块、喷层开裂、人员误入设备作业范围等风险。
- 4 平台照明、供电或通信条件不能满足安装作业要求。

8.3.6 钢筋网机械化施工质量检验应符合表 8.3.6 的规定。

表 8.3.6 钢筋网施工质量控制标准

序号	检查项目	施工控制值	检验频率	检验方法
1	钢筋网格尺寸(mm)	± 10	每次铺挂分别在拱顶、边墙、仰拱抽查 2 个网格，分部施工每分部不小于 2 个点	尺量
2	钢筋网与受喷面的距离(mm)	≤ 50	每次铺挂分别在拱顶、边墙、仰拱抽查 2 个网格，分部施工每分部不小于 2 个点	尺量
3	搭接长度(mm)	$\geq 30d$ (d 为钢筋直径)，且不小于一个网格长边尺寸	每次铺挂分别在拱顶、边墙、仰拱抽查 2 个网格，分部施工每分部不小于 2 个点	尺量
4	钢筋保护层厚(mm)	≥ 20	纵向每 5m 分别在拱顶、边墙、仰拱检查 3 点	尺量、钻孔法
5	铺挂面积	满足设计要求	实测铺设面积，全部检查	尺量
6	钢筋网钢筋数量(根)	满足设计要求	全部	逐根清点、地质雷达
7	钢筋网钢筋外观	钢筋无锈蚀，杆体无凹痕、无弯曲	随机抽查，不少于钢筋数的 10%	目测

8.4 钢架安装

8.4.1 钢架机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 钢架安装作业宜采用拱架台车或拱架安装机。作业空间满足台车行走、支撑、回转和人员连接作业要求，且需兼顾钢筋网片、连接筋、锁脚锚杆辅助作业或高空作业平台功能时，宜采用拱架台车；大断面、全断面或台阶法施工，需完成钢架抓取、移动、举升、就位和拼装等连续作业时，宜采用拱架安装机。

2 钢架安装设备宜具备姿态显示、限位保护、同步举升和作业记录功能。

8.4.2 钢架机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 作业前应复核钢架型号、分节长度、连接板孔位、螺栓、锁脚锚杆和安装里程。

2 拱架台车就位后应检查行走、制动、支腿、举升、夹持、液压、电气和限位装置。

3 钢架节段重量、吊点位置和安装顺序应与设备额定载荷、举升高度和作业半径相匹配。

4 安装区域应满足台车支撑、钢架回转、人员连接和设备撤离要求。

8.4.3 钢架机械化施工宜按图 8.4.3 所示工艺流程进行。

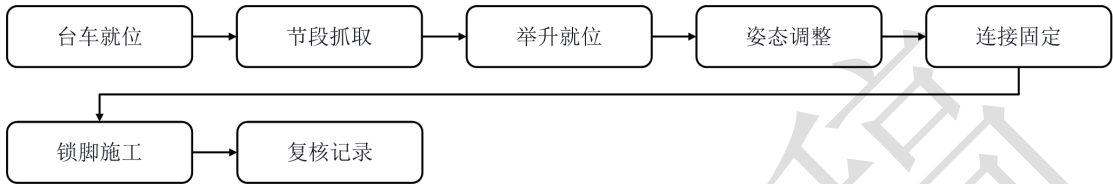


图 8.4.3 钢架机械化施工工艺流程

8.4.4 钢架机械化施工过程应符合下列规定：

1 拱架台车或拱架安装机就位后，应采用液压支撑、螺旋支撑或专用支腿承载，轮胎或履带不宜作为安装受力支撑。

2 钢架就位后应及时复核中线、高程、垂直度、间距和净空，调整完成前不得解除设备约束。

3 钢架连接、锁脚和纵向连接应在设备支撑稳定状态下实施。

4 拱架台车移动前应确认钢架固定质量和作业平台收拢状态。

8.4.5 钢架机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

1 台车支腿、举升、夹持、液压、制动或限位装置异常。

2 钢架节段变形、连接孔错位、吊点失效或临时支撑不稳。

3 安装位置偏差经调整仍不能满足设计要求。

4 围岩掉块、喷层开裂、掌子面失稳或人员进入设备危险范围。

8.4.6 钢架机械化施工质量检验应符合表 8.4.6 的规定。

表 8.4.6 钢架支护施工质量控制标准

序号	检查项目	施工控制值	检验频率	检验方法
1	安装间距(mm)	±50	逐榀检查	尺量
		平均值±50	隧道拱部、边墙共 3 条测线	地质雷达
2	钢架数量	不少于设计值	全部	逐榀清点、地质雷达
3	保护层厚度(mm)	临空侧保护层≥20	每 10m 抽查 3 处	凿孔检查
4	倾斜度(°)	±2	逐榀检查	铅锤法

5	钢架轴线连接偏位 (mm)		±3	逐榀检查	尺量
6	连接钢板		钢板平面无翘曲、 连接螺栓个数≥4	全部	逐个目测
7	安装偏 差(mm)	横向	向洞内偏差不大 于 10	逐榀检查	经纬仪、全站仪
		竖向	≥设计高程		
		钢架平面 翘曲	≤50		
8	钢架连 接件	数量(个)	不少于设计值	全部	逐个清点
		间距(mm)	±50	每榀 3 处	尺量

8.5 喷射混凝土

8.5.1 喷射混凝土机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 喷射混凝土作业应采用湿喷台车或湿喷机械手。大断面、长距离连续作业或喷射厚度较大的地段，宜采用臂架式湿喷台车；断面受限、局部补喷或辅助作业可采用小型湿喷机械手。

2 湿喷设备应具备混凝土输送、速凝剂自动计量、喷射参数调节、遥控操作和急停保护功能。

8.5.2 喷射混凝土机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 作业前应检查湿喷设备臂架、泵送系统、空压机、输送管路、喷嘴、速凝剂计量系统、遥控装置和急停装置。

2 混凝土配合比、坍落度、速凝剂掺量和泵送性能应满足湿喷设备连续喷射要求。

3 喷射区域、设备支撑位置、管路布置和人员避让范围应满足机械臂展开和回转要求。

4 作业前宜通过试喷确定喷射压力、喷嘴距离、喷射角度、泵送量和速凝剂掺量。

8.5.3 喷射混凝土机械化施工宜按图 8.5.3 所示工艺流程进行。

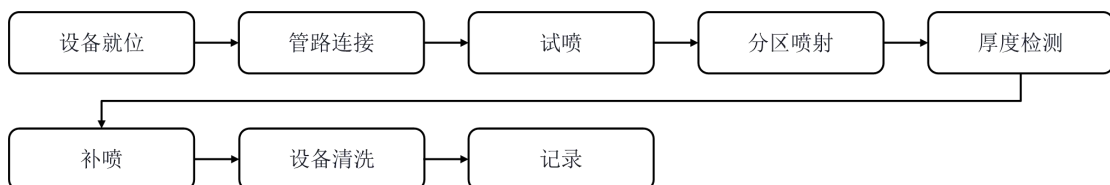


图 8.5.3 喷射混凝土机械化施工工艺流程

8.5.4 喷射混凝土机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 喷嘴与受喷面的距离、角度、移动速度和泵送量应根据试喷结果和回弹情况控制。
- 2 喷射作业宜分区、分段、分层连续进行，机械臂运行轨迹应覆盖设计喷射范围。
- 3 速凝剂掺量应采用自动计量装置控制，并应与混凝土泵送量联动。
- 4 喷射过程中应记录泵送压力、风压、速凝剂掺量、喷射方量、回弹和异常情况。

8.5.5 喷射混凝土机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

- 1 堵管、爆管、喷嘴异常、臂架动作异常或急停装置失效。
- 2 混凝土离析、坍落度异常、速凝剂计量失准或泵送压力异常。
- 3 喷层开裂、脱落、回弹异常增大或钢架背后填充不密实。
- 4 作业区域粉尘、有害气体、照明或人员避让条件不满足要求。

8.5.6 喷射混凝土机械化施工质量检验应符合表 8.5.6 的规定。

表 8.5.6 喷射混凝土施工质量控制标准

序号	检查项目	施工控制值	检验频率	检验方法
1	喷射混凝土强度	在合格标准内	按《公路隧道施工技术规范》(JTG/T3660-2020)附录 B.3 检查	—
2	喷射混凝土厚度	初喷厚度：20~50mm；最小厚度≥20mm	初喷混凝土厚度每作业循环检查一次，每次不少于 3 个点	钻孔法
		成品厚度：平均厚度≥设计厚度；60%的检查点厚度≥设计厚度；最小厚度≥0.6 倍设计厚度，且≥50mm	成品厚度每 10m 抽查 2 个断面，每个断面从拱顶中线起每 3m 检查 1 点 双车道隧道拱部、边墙共 3 条测线，三车道、四车道隧道拱部、边墙不少于 5 条测线，连续检测，厚度判定测点，沿每条测线每 3m 取一个点	钻孔法、全站仪、激光断面仪 地质雷达
3	空洞检测	无空洞，无杂物	每 5m 检查一个断面，每个断面检查不少于 3 点	钻孔法

			双车道隧道拱部、边墙共 3 条测线，三车道、四车道隧道拱部、边墙不少于 5 条测线	地质雷达
4	喷射混凝土支护净空	不小于设计	每 10m 抽查 3 个断面	全站仪、激光断面仪

8.6 仰拱施工

8.6.1 仰拱机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

- 1 仰拱开挖、支护、衬砌和回填施工应采用自行式液压栈桥。
- 2 自行式仰拱栈桥的有效跨度不应小于 2 倍衬砌长度，栈桥宜集成仰拱弧模、分离式端模、中心水沟槽模、混凝土浇筑溜槽、钢筋卡具、止水带张拉装置等工装，实现仰拱全幅整体浇筑。

8.6.2 仰拱机械化施工作业准备应符合下列规定：

- 1 栈桥两端地基应稳固，栈桥两端引桥的端头与地基有效搭接长度应不小于 1.5m，接坡应平顺。
- 2 栈桥应设置高度不低于 1.2m 的护栏，护栏具有醒目反光漆与醒目警示灯带；并在两端配备安全限速标志。
- 3 作业前应复核仰拱施工段长度、栈桥跨度、桥面宽度、车辆荷载、地基承载和运输组织。
- 4 液压栈桥应检查主桥、引桥、支腿、行走、液压、电气、限位、防滑和警示装置。
- 5 栈桥支撑位置和移动路线应避开软弱、积水、悬空和承载不足区域。
- 6 栈桥通行与仰拱作业应明确统一指挥和交通管制措施。

8.6.3 仰拱机械化施工宜按图 8.6.3 所示工艺流程进行。

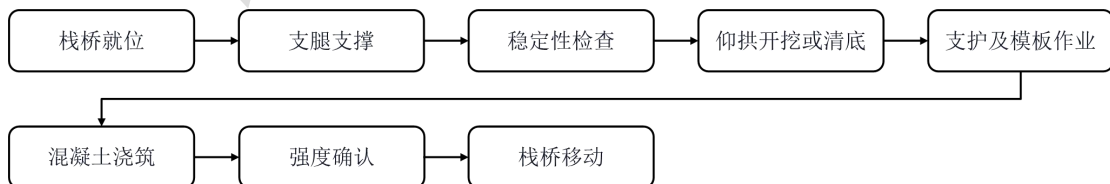


图 8.6.3 仰拱机械化施工工艺流程

8.6.4 仰拱机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 栈桥支腿应支撑稳固，桥面车辆通行荷载和速度应符合设备规定。

2 栈桥下方作业与桥面通行应分区管理,车辆通行时不得进行影响栈桥稳定的支腿调整和模板移动。

3 仰拱混凝土浇筑宜采用泵送或移动布料装置,浇筑过程应避免冲击模板和支撑系统。

4 栈桥移动前应确认混凝土强度、轨迹障碍、液压系统和人员撤离情况。

8.6.5 仰拱机械化施工出现下列情况之一时,应停止相应作业:

1 支腿下沉、桥面超载、主桥变形、液压系统漏油或限位装置失效。

2 栈桥下方有人员停留且车辆需通行。

3 仰拱开挖范围出现涌水、基底软化、塌陷或承载不足。

4 模板、布料或泵送系统异常影响浇筑质量和设备安全。

8.6.6 仰拱机械化施工质量检验应符合表 8.6.6 的规定。

表 8.6.6 仰拱施工质量控制标准

序号	检查项目		规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	混凝土强度(MPa)		在合格标准内	按《公路隧道施工技术规范》(JTG/T3660-2020)附录 B.1 检查	—
2	坍落度(mm)	<100	±20	按《公路隧道施工技术规范》(JTG/T3660-2020)附录 B.1 每组试件一次	坍落度筒
		≥100	±30	按《公路隧道施工技术规范》(JTG/T3660-2020)附录 B.1 每组试件一次	坍落度筒
3	仰拱厚度(mm)		不小于设计值	立模后,每模端头作为一个检查断面沿模板弧线检测每一浇筑段不少于 2 个断面,每个断面不少于 5 点,模板每振捣窗检查一个点	尺量
4	仰拱底面高程(mm)		±15	每一浇筑段不少于 2 个断面,每断面检查不少于 5 点	混凝土浇筑前,水准仪

9 防排水

9.1 一般规定

9.1.1 防排水机械化施工应根据地下水发育程度、反坡排水条件、防水层类型和二衬作业空间配置机械施工设备。

9.1.2 防排水机械化设备的作业平台、照明、供电、升降、行走和防护装置应满足防水材料铺挂、焊接、检测和成品保护要求。

9.1.3 防排水机械化施工应控制设备行走、吊装、焊接和钢筋安装对防水层、排水管和止水带的扰动。

9.1.4 隧道防排水机械化施工内容应包括施工期间排水、防水板铺挂、止水带安装和排水沟施工等。

9.2 施工期间排水

9.2.1 隧道洞口、辅助坑道洞口、斜(竖)井洞口进洞开挖前应做好排水系统，完善排水设施，并应符合下列规定：

- 1 边坡、仰坡坡顶的截水沟出水口应接入周边排水沟渠。
- 2 洞外路堑向隧道内为下坡时，路堑边沟应做成反坡，不应将洞外水排入洞内。
- 3 洞顶排水沟应与洞门结构同时完成。

9.2.2 隧道施工为反坡排水时，应采用水泵抽水，并应符合下列规定：

- 1 应根据排水距离、坡度、水量和施工组织，编制反坡排水方案，选择水泵设置集水坑位置和容积、布置抽水管路。
- 2 集水坑位置不得造成围岩失稳和衬砌结构承载能力降低，不应影响隧道内运输。
- 3 井下工作水泵的排水能力应不小于 1.2 倍正常涌水量，并应配备备用水泵；井下备用水泵排水能力应不小于工作水泵排水能力的 70%。
- 4 突涌水隧道反坡施工时，应准备一定的抢险物资、设备，宜设置两个独立的供电系统和排水管路。
- 5 应做好停电时的应急排水预案和人员、设备的安全保障措施。

9.2.3 施工期间排水机械化施工应按图 9.2.3 所示工艺流程进行。

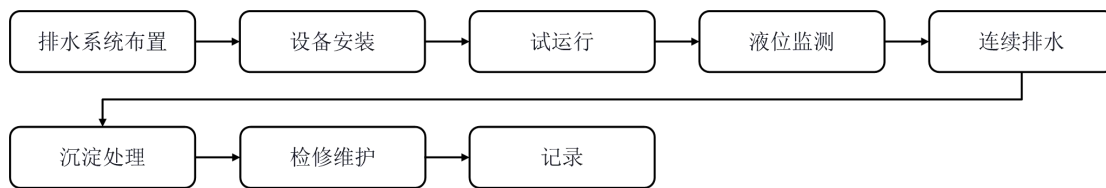


图 9.2.3 施工期间排水机械化施工工艺流程

9.2.4 隧道地下水发育时，可采用超前钻孔排水或开挖泄水洞排水等方式排放，并制定防止涌水、突水、突泥的安全措施。对岩溶地区应注意保留或恢复原有排水通道。

9.2.5 钻泄水孔排泄前方地下水时，应符合下列规定：

- 1 应根据工程地质与水文地质条件，以及地下水流的方向等因素确定钻孔位置、方向、数目和每次钻进深度。
- 2 超前钻孔深度不宜小于 10m，且应超出距开挖面 3~6 倍开挖循环进尺的距离。
- 3 钻孔时孔口应有保护装置，钻孔结束后，对水压较高的出水孔应安装闸阀。
- 4 隧道反坡开挖时，应配备足够的抽水设备。
- 5 非作业人员应撤出钻孔作业区。

9.3 防水板铺挂及止水带安装

9.3.1 防水板及止水带机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

- 1 防水板铺挂宜采用具有卷材提升、环向铺挂、作业平台和钢筋定位功能的防水板作业台车或挂布台车。
- 2 止水带安装宜利用衬砌模板台车、端模定位装置、专用夹具或止水带定位工装实施。
- 3 防水板幅间焊接应采用自动爬焊机，局部补焊、垫片固定和细部处理可采用热熔焊枪、电磁焊机或超声焊接设备。
- 4 大断面、二衬钢筋安装与防水层施工衔接紧密的地段，宜采用综合作业台车。
- 5 焊接设备应具备温度、速度、压力调节功能，检测设备应满足防水板焊缝

充气检验、真空检验或止水带接头检验要求。

9.3.2 防水板及止水带机械化施工作业准备应符合下列规定：

- 1 作业前应检查基面处理质量、欠挖处理、突出物清除、排水盲管固定和台车作业空间。
- 2 挂布台车应检查行走、制动、升降、卷材提升、作业平台、照明和漏电保护装置。
- 3 自动爬焊机、热熔焊枪、电磁焊机和检测设备应完成试运行、试焊和参数校核。
- 4 防水板、无纺布、止水带和焊接耗材应与设备工艺参数相匹配。

9.3.3 防水板及止水带机械化施工宜按图 9.3.3 所示工艺流程进行。

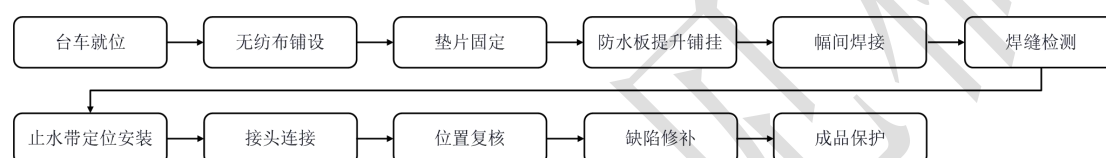


图 9.3.3 防水板及止水带机械化施工工艺流程

9.3.4 防水板及止水带机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 防水板铺挂应利用台车卷材提升和作业平台展开，铺挂松弛度应满足二次衬砌混凝土浇筑变形要求。
- 2 垫片固定宜采用定位或辅助焊接设备，固定点布置应与防水板受力和基面起伏相适应。
- 3 自动爬焊机焊接前应通过试焊确定温度、速度和压力，焊接过程中应保持设备行走稳定。
- 4 止水带应通过专用夹具、端模卡槽或定位工装固定，安装过程中不得扭曲、偏移或被模板挤压变形。
- 5 止水带接头连接设备应按试验确定的温度、压力和时间参数运行，接头完成后应检查外观、平顺性和密封性。

- 6 防水板焊缝、止水带接头、缺陷修补和复检结果应形成记录。

9.3.5 防水板及止水带机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

- 1 台车行走、升降、卷材提升、作业平台或定位工装异常。
- 2 焊机温度、速度、压力失控，防水板焊缝烧穿、漏焊、虚焊或严重皱褶。
- 3 止水带定位夹具、端模或模板台车变形、松动或限位失效。

- 4 止水带接头虚接、烧损、开裂、偏位、扭曲或被模板挤压变形。
- 5 基面尖锐凸出物、渗漏水或欠挖未处理影响防水层施工质量。
- 6 防水板、止水带被钢筋焊接、机械碰撞、车辆通行或模板就位损伤。

9.3.6 防水板及止水带机械化施工质量检验应符合表 9.3.6 的规定。

表 9.3.6 防水板及止水带施工质量控制标准

序号	检查项目		规定值或允许偏差		检验频率	检验方法
1	搭接宽度（mm）		≥100		每条环向搭接缝抽查不少于 5 处，纵向搭接缝每 2m 检测 1 处	尺量
2	缝宽（mm）	焊接	焊缝宽≥10		每条环向搭接缝抽查不少于 5 处，纵向搭接缝每 5m 检测 1 处	尺量
		粘接	粘缝宽≥50			
3	固定点间距（mm）	拱部	按设计要求； 设计无要求的， 0.5m~0.7m	±50	每 10m 拱部、边墙各检查 5 处	尺量
		侧墙	按设计要求；设计无要求的，0.7m~1.0m			
4	焊缝充气检查		压力达到0.25MPa时停止充气，保持 15min，压力下降在 10%以内		每 2 处搭接抽检 1 处	充气检查
5	铺挂松紧度		防水层任一点能接触岩面		每 10m 拱部、边墙各检查 5 处	两固定点之间同时两点触摸
6	纵向偏离（mm）		±50		每环 5 处	尺量
7	偏离衬砌轴线（mm）		≤30		每环 5 处	尺量
8	固定点间距（mm）		满足设计要求 设计无要求时，±50		每处止水带检查 5 点	尺量
注 1：纵向偏离，指止水带中线沿隧道纵向偏离施工缝。 2：偏离衬砌轴线，指偏离衬砌厚度的中线。 3：背贴式止水带仅检查其中“纵向偏离”，不检查其他两项						

9.4 排水沟施工

9.4.1 排水沟机械设备选型及适用范围应符合下列规定:

1 排水沟结构浇筑宜采用沟槽台车或自行式滑模一体机。其中, 排水沟与电缆槽同段施工、需连续快速浇筑或需控制线型、尺寸、标高和平整度时, 宜采用水沟电缆槽台车; 隧道断面较小的排水沟施工, 可采用施工台车模板; 隧道断面较大、台车横向跨度较大或转弯半径较小时, 可采用自行式滑模一体机。

2 沟槽台车应具备电动行走、模板定位、模板支撑、全幅浇筑及脱模功能，台车结构应具有满足施工工况的强度、刚度和整体稳定性。

3 沟槽台车选型应结合每模施工长度、通过净空、行走速度、模板水平调整量和液压系统参数确定。

9.4.2 排水沟机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 作业前应检查台车电气、油路、水路、电缆、行走系统、模板系统、液压系统和支撑装置，确认运行状态满足施工要求。

2 作业前应对排水沟位置、结构尺寸、预埋管线、预留洞室和预埋件向设备操作人员进行交底。

3 台车移动前应对模板表面进行清洁、打磨和整修，并检查预埋件安装情况。

4 排水沟测量放样应确定沟槽边线，并测定地面高程，作为模板安装轴线和高程控制依据。

5 模板组装完成后，应复核模板顺直度、平整度、接缝严密性和结构尺寸。

9.4.3 排水沟机械化施工宜按图 9.4.3 所示工艺流程进行。



图 9.4.3 排水沟机械化施工工艺流程

9.4.4 排水沟机械化施工过程应符合下列规定：

1 排水沟台车应依据隧道中线、施工控制点和排水沟结构尺寸准确定位，就位后应及时设置支撑装置，保证台车整体稳定。

2 模板安装应控制顶面高程和线型，端头模板应安装牢靠并封堵密实。

3 模板之间宜采用螺栓连接固定，模板缝隙应压紧。

4 每循环浇筑前应检查管线、洞室和预埋件，混凝土浇筑时应采取措施防止进浆堵管。

5 混凝土宜分层、对称浇筑；采用插入式振动棒振捣时，不应触碰钢筋及模板。

6 混凝土强度达到 5MPa 后方可拆模，拆模宜按端头模板、外模、芯模顺序进行；拆模后应及时养护，养护时间不应少于 14d。

7 拆模过程中不得启动横向液压系统，避免模板横向移动破坏排水沟结构。

9.4.5 排水沟机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

1 台车电气、油路、水路、电缆、行走系统、液压系统或支撑装置异常，影响台车定位、支撑或脱模作业。

2 模板顺直度、平整度、接缝严密性或结构尺寸复核不满足要求。

3 管线、洞室、预埋件位置未复核，或存在混凝土进浆堵管风险。

4 混凝土未达到规定拆模强度，或拆模作业可能造成缺棱掉角、芯模拔出困难。

5 拆模过程中需启动横向液压系统时，应停止拆模并重新核查模板受力和结构状态。

9.4.6 排水沟机械化施工质量检验应符合表 9.4.6 的规定。

表 9.4.6 排水沟质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	线型	平顺，无明显拐点	目测，随时观测
2	沟底标高（mm）	±5	水准仪，每模两侧各测 3 处
3	垂直度（%）	±0.1%	垂球，每模两侧各测 3 处
4	沟底纵坡（%）	±0.1%	水准仪，每模两侧各测 2 处
5	顶面平整度（mm）	≤5	三米直尺，每模两侧各连续 10 尺
6	施工缝和二衬砼施工缝偏差（mm）	±3	每施工缝处
7	金属管埋设（cm）	均由沟底进入沟槽内，管口应露出 20	随机抽检，每模 2 处

10 二次衬砌

10.1 一般规定

10.1.1 二次衬砌机械化施工应根据断面形式、衬砌长度、钢筋布置、混凝土供应能力和养护要求配置钢筋安装、模板台车、混凝土泵送、自动布料、养护和水沟电缆槽施工设备。

10.1.2 衬砌模板台车、布料系统和养护设备的作业能力应与混凝土供应、运输组织、防水层成品保护和施工缝设置协调。

10.1.3 二次衬砌机械化施工宜采集模板台车定位、浇筑窗口、泵送压力、浇筑方量、拱顶压力、养护温湿度和异常处置等信息。

10.2 钢筋安装

10.2.1 衬砌钢筋安装机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 衬砌钢筋安装宜采用具有作业平台、钢筋定位、提升和防水层保护功能的挂布台车或综合作业台车。

2 大断面、双层钢筋或预埋件数量较多的地段，宜采用分层作业平台和专用定位卡具。

3 钢筋加工宜在加工厂采用数控弯箍机、数控弯曲机、数控切断机和钢筋配送设备集中完成。

10.2.2 衬砌钢筋安装机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 作业前应复核防水层保护状态、钢筋规格、间距、层距、保护层、预埋件和接地连接要求。

2 作业台车应检查行走、制动、升降、平台、防护栏杆、吊装装置、照明和漏电保护装置。

3 钢筋定位卡具、垫块、连接设备和临时固定装置应满足机械化安装精度要求。

4 钢筋吊装、转运和绑扎作业不得损伤防水板和止水带。

10.2.3 衬砌钢筋安装机械化施工宜按图 10.2.3 所示工艺流程进行。

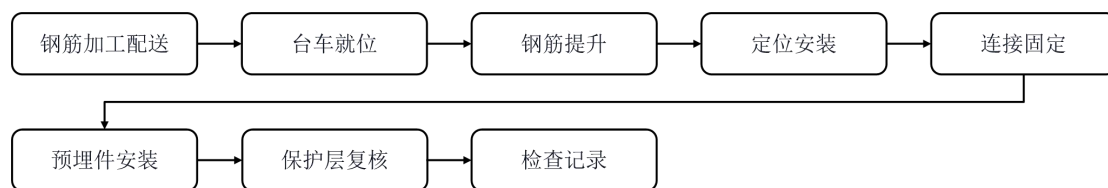


图 10.2.3 衬砌钢筋安装机械化施工工艺流程

10.2.4 衬砌钢筋安装机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 钢筋安装应采用定位卡具控制主筋间距、层间距和保护层厚度。
- 2 作业平台升降、钢筋提升和人员操作应统一指挥，钢筋未固定前不得解除吊装或夹持约束。
- 3 钢筋连接设备作业时应采取防火隔离和防水层保护措施。
- 4 钢筋安装完成后应复核模板台车通过净空和防水层成品保护情况。

10.2.5 衬砌钢筋安装机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

- 1 作业台车行走、升降、吊装、平台或防护装置异常。
- 2 钢筋变形、定位卡具失效、连接质量异常或侵入模板台车运行限界。
- 3 防水板、止水带、排水管或预埋件被损伤。
- 4 作业区域照明、供电、防火或人员避让条件不满足要求。

10.2.6 衬砌钢筋安装机械化施工质量检验应符合表 10.2.6 的规定。

表 10.2.6 衬砌钢筋施工质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	主筋纵向间距 (mm)	± 10	分别在两侧边墙、拱腰、拱顶位置逐根检测	混凝土浇筑前，尺量
2	主筋数量	符合设计	全部	混凝土浇筑前，逐根清点
3	两层主筋间距 (mm)	± 5	不小于 3m 一个检查断面，且每模衬砌不少于 2 个断面，每检查断面分别在拱脚边墙、拱腰和拱顶 7 处以上	混凝土浇筑前，尺量
4	箍筋数量	符合设计	全部	混凝土浇筑前，逐根清点
5	箍筋间距 (mm)	± 20	分别在两侧拱脚、边墙、拱腰、拱顶位置逐根检测	尺量

序号	检查项目			规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
6	限（定）位钢筋数量			符合设计	全部	混凝土浇筑前，逐根清点
7	限（定）位钢筋间距（mm）			±100	分别在两侧拱脚、边墙、拱腰、拱顶位置逐根检测	尺量
8	纵筋间距			符合设计	全部	混凝土浇筑前，逐根清点
9	绑扎搭接长度	受拉	HPB级钢	30d	每搭接处	混凝土浇筑前，尺量
			HRB级钢	35d		
		受压	HPB级钢	20d		
			HRB级钢	25d		
10	钢筋焊接、连接			符合规范	每处	混凝土浇筑前，目测、尺量
11	钢筋保护层厚度（mm）	混凝土垫块厚度	不小于设计值	不小于3m一个检查断面，且每模衬砌不少于2个断面，每检查断面分别在拱脚边墙、拱腰和拱顶7处以上	混凝土浇筑前，目测、尺量	
		钢筋与模板间隙、钢筋与防水层间隙				
		混凝土保护层	+10， -5	每模衬砌不少于2个断面，每个断面不少于5点	混凝土浇筑后，钻孔法或钢筋保护层测定仪	
12	钢筋直径d			符合设计	抽查5%	混凝土浇筑前，目测、尺量

10.3 混凝土浇筑

10.3.1 混凝土浇筑机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

- 1 二次衬砌混凝土浇筑应采用整体式衬砌模板台车，并应配套混凝土输送泵、布料管路和振捣装置。
- 2 大断面、长距离泵送或质量控制要求较高的地段，宜采用自动布料系统、逐窗入模系统、拱顶带模注浆装置和压力监测装置。
- 3 模板台车应具备行走、定位、调平、支撑、模板收放、限位闭锁和工作窗分区浇筑功能。
- 4 混凝土拌和、运输和泵送设备能力应与单模浇筑方量和连续浇筑时间相匹配。

10.3.2 混凝土浇筑机械化施工作业准备应符合下列规定：

- 1 台车就位前应检查模板尺寸、台车中线、高程、净空、接缝、支撑机构、液压系统、端模和止水带固定。
- 2 泵送设备、布料管路、工作窗、振捣器、拱顶压力监测和带模注浆装置应完成检查和试运行。
- 3 混凝土配合比、坍落度、和易性、运输时间和供应能力应满足连续泵送和分窗浇筑要求。
- 4 防水层、钢筋、预埋件、预留孔洞和施工缝处理应经复核后方可进行台车封闭。

10.3.3 混凝土浇筑机械化施工宜按图 10.3.3 所示工艺流程进行。

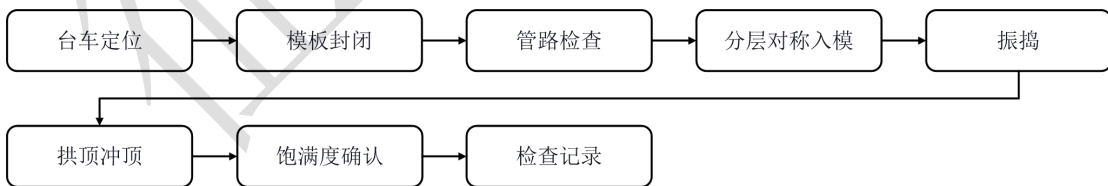


图 10.3.3 混凝土浇筑机械化施工工艺流程

10.3.4 混凝土浇筑机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 模板台车定位后应锁定行走和支撑装置，浇筑过程中应监测台车位移、模板变形和两侧高差。
- 2 自动布料或逐窗入模应按自下而上、左右对称、分层分窗的原则实施。
- 3 泵送压力、浇筑方量、入模窗口、振捣时间和拱顶压力应记录完整。

4 拱顶冲顶、带模注浆或饱满度检测应与模板台车预留孔、监测装置和注浆设备配套实施。

10.3.5 混凝土浇筑机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

- 1 泵送管路堵塞、爆管、漏浆或泵送压力异常。
- 2 模板台车位移、支撑失稳、模板变形、端模跑模或两侧高差超限。
- 3 自动布料、振捣、压力监测、带模注浆或饱满度检测装置异常。
- 4 混凝土供应中断、工作性能异常或已浇筑部位出现离析、冷缝风险。

10.3.6 二次衬砌混凝土机械化浇筑质量检验应符合表 10.3.6 的规定。

表 10.3.6 二衬混凝土施工质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	按照《公路隧道施工技术规范》(JTG/T3660-2020)附录 B.1 检查。	试件检测
2	衬砌厚度 (mm)	90%的检查点厚度 $\geq$ 设计厚度；最小厚度 ≥ 0.5 倍设计厚度	立模后，每模端头沿模板弧线不大于 2m 间距检查 1 个点，台车每振捣窗检查 1 个点，两侧拱脚必须检测	尺量
			混凝土浇筑后，双车道分别在隧道拱部、边墙设不少于 3 条测线，三车道、四车道在拱部、边墙设不少于 5 条测线，连续测试。厚度判定测点沿测线间距不大于 2m。	地质雷达
3	衬砌背部密实状况	衬砌背后无杂物、无空洞	拱顶、两拱腰、边墙脚	目测，地质雷达
4	墙面平整度 (mm)	拱、墙部位 ≤ 5	每模边墙、拱腰、拱顶不少于 5 处	2m 靠尺，顺隧道轴线方向靠紧衬砌表面
5	施工缝表面错台 (mm)	施工缝、变形缝 ± 20	每条施工缝边墙、拱腰、拱顶不少于 5 处	靠尺、塞尺

10.4 混凝土养护

10.4.1 衬砌养护机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

1 二次衬砌养护宜采用自动喷淋养护台车、蒸汽养护台车或模板台车随车养护装置。

2 干燥、低温、高温或长大隧道地段，宜采用具备温湿度监测、自动控制和

分区喷淋功能的养护设备。

3 养护设备应满足拱顶、边墙和施工缝等部位全覆盖要求。

10.4.2 衬砌养护机械化施工作业准备应符合下列规定：

1 作业前应检查水箱、水泵、喷头、管路、行走机构、制动、漏电保护、温湿度传感器和自动控制装置。

2 养护供水、供电、排水和台车行走线路应满足连续养护要求。

3 喷头布置、喷淋压力、雾化效果和移动速度应经试运行确认。

10.4.3 衬砌养护机械化施工宜按图 10.4.3 所示工艺流程进行。



图 10.4.3 衬砌养护机械化施工工艺流程

10.4.4 衬砌养护机械化施工过程应符合下列规定：

1 养护台车喷头距衬砌表面的距离宜根据雾化效果确定，并应保证喷淋覆盖连续均匀。

2 养护过程应监测衬砌表面湿润状态、洞内温湿度和设备运行状态。

3 养护台车移动不得碰撞衬砌表面、预埋件、照明通信设施和其他施工设备。

4 应保证养护台车匀速移动，移动速度不宜超过 3m/min，喷头距二衬混凝土表面宜为 0.3m~0.5m，水雾能均匀喷洒到二衬混凝土表面，同一断面位置的持续喷水时间不少于 5s，喷淋养生时间不少于 7d。

5 应定期检查水质，清理水箱内沉淀物，定期清理或更换喷头，确保喷水顺畅。

6 养护时间、温湿度、喷淋频次和异常处置应形成记录。

10.4.5 衬砌养护机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

1 水泵、喷头、管路、蒸汽发生、温湿度控制或行走机构异常。

2 供水、供电、排水或漏电保护不满足设备运行要求。

3 养护台车与运输车辆、模板台车或洞内设施存在碰撞风险。

4 衬砌表面出现异常裂缝、剥落或温湿度突变需复核养护参数。

10.4.6 衬砌养护机械化施工质量检验应符合表 10.4.6 的规定。

表 10.4.6 二衬混凝土养护质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	喷洒水雾状态	均匀、无漏喷现象	目测，随时
2	台车行走速度（m/min）	≤6	秒表，2 次/每日
3	气温(℃)	≥5	温度计，1 次/每日
4	湿度(%)	≥80	湿度仪，1 次/每日
5	二衬混凝土表面状态	湿润	目测，随时

10.5 电缆槽施工

10.5.1 电缆槽机械设备选型及适用范围应符合下列规定：

- 1 电缆槽施工宜采用沟槽台车。
- 2 长距离连续施工、断面尺寸统一和线形控制要求较高的地段，宜采用具备行走定位、模板同步收放、标高调节和预埋件定位功能的沟槽台车。
- 3 混凝土浇筑可配套小型泵送、滑模、布料或振捣设备。

10.5.2 电缆槽机械化施工作业准备应符合下列规定：

- 1 作业前应复核沟槽线形、标高、断面尺寸、预埋管线、接地端子和盖板预留要求。
- 2 应检查行走轨迹、模板尺寸、同步收放、支撑、振捣、布料和脱模装置。
- 3 台车行走面、供电线路、照明和混凝土运输通道应满足连续作业要求。

10.5.3 电缆槽机械化施工应按图 9.4.3 所示工艺流程进行。

10.5.4 电缆槽机械化施工过程应符合下列规定：

- 1 沟槽台车定位应控制中线、标高和模板几何尺寸，模板闭合后应复核预埋件位置。
- 2 混凝土布料和振捣应与台车模板刚度、浇筑速度和脱模时间相匹配。
- 3 台车移动前应确认混凝土强度、模板收拢、预埋件保护和轨迹障碍。
- 4 施工过程应记录台车定位、浇筑方量、脱模时间和异常处置情况。

10.5.5 电缆槽机械化施工出现下列情况之一时，应停止相应作业：

- 1 台车行走、模板收放、支撑、布料、振捣或脱模装置异常。
- 2 模板变形、沟槽侵限、预埋件偏位或盖板安装尺寸不满足设计要求。
- 3 混凝土堵管、离析、漏浆或强度未满足脱模要求。
- 4 台车移动线路存在障碍、积水、沉陷或与洞内运输冲突。

10.5.6 水沟电缆槽机械化施工质量检验应符合表 9.4.6 的规定。

征求意见稿

附录 A 公路隧道机械化施工基本(标准)配置参数

土质隧道单洞双车道机械化基本配置参考表 A.1。

表A.1 黄土隧道单洞双车道机械化基本配置参考表

序号	设备		规格	超前防护区	开挖区	初期支护区			二衬施工区		
				超前预报作业线	开挖作业线	出渣装运作业线	初期支护作业线	仰拱作业线	防排水作业线	二衬作业线	沟槽作业线
1	主要机械	多臂凿岩台车	二臂(或三臂)								
2		悬臂掘进机	步履式								
3		多功能台架	移动式				选配				
4		拱架安装台车	车载式				1台				
5		数字锚杆台车	单臂(或双臂)				选配				
6		湿喷机械手	25m³/h				1台				
7		自行式移动栈桥	移动式					1台			
8		防水卷材铺挂台车	移动式						1台		
9		二次衬砌台车	移动式							1台	
10		二衬养生台车	移动式							1台	
11		电缆槽台车	≥9m								1台
12	辅助机械或设备	数控工字钢冷弯机	18m³/min~25m³/min				1台~2台				
13		钢筋网片 排焊机	砂浆泵				1套~2套				
14		混凝土输送泵	≥40m³/h							1台	
15		混凝土运输车	5m³~10m³							4辆~6辆	
16		仰拱模板台架						1套			
17		自卸汽车	15t~25t			4辆~6辆					
18		挖掘机	0.2m³~1.2m³		2台						
19		装载机	2m³~6m³			1台~2台					
20		地质雷达		1台							
21		发电机	250 kW~500 kW		1台						
22		雾炮机			1台						
23		轴流风机	74kW~220kW		1台						

土质隧道单洞三车道机械化基本配置参考表 A.2。

表A.2 土质隧道单洞三车道机械化基本配置参考表

序号	设备	规格	超前防护区	开挖区	初期支护区			二衬施工区		
			超前预报作业线	开挖作业线	出渣装运作业线	初期支护作业线	仰拱作业线	防排水作业线	二衬作业线	沟槽作业线
1	主要机械	多臂凿岩台车	二臂(或三臂)							
2		悬臂掘进机	步履式							
3		多功能台架	移动式				选配			
4		拱架安装台车	车载式				1台			
5		数字锚杆台车	单臂(或双臂)				选配			
6		湿喷机械手	25 m³/h				1台			
7		自行式移动栈桥	移动式				1台			
8		防水卷材铺挂台车	移动式					1台		
9		二次衬砌台车	移动式						1台	
10		二衬养生台车	移动式						1台	
11		电缆槽台车	≥9m							1台
12	辅助机械或设备	数控工字钢冷弯机	18m³/min~25 m³/min				1台~2台			
13		钢筋网片 排焊机	砂浆泵				1套~2套			
14		混凝土输送泵	≥40m³/h						1台	
15		混凝土运输车	5m³~10m³						5辆~7辆	
16		仰拱模板台架					1套			
17		自卸汽车	15t~25t		5辆~7辆					
18		挖掘机	0.2 m³~1.2m³	1台			1台			
19		装载机	2m³~6m³		2台					
20		地质雷达		1台						
21		发电机	250kW~500kW	1台						
22		雾炮机		1台						
23		轴流风机	74kW~220kW	1台						

石质隧道单洞双车道机械化基本配置参考表 A.3。

表A.3 石质隧道单洞双车道机械化基本配置参考表

序号	设备		规格	超前防护区	开挖区	初期支护区			二衬施工区		
				超前预报作业线	开挖作业线	出渣装运作业线	初期支护作业线	仰拱作业线	防排水作业线	二衬作业线	沟槽作业线
1	主要机械	多臂凿岩台车	二臂(或三臂)		选配1台						
2		悬臂掘进机	步履式								
3		多功能台架	移动式				选配				
4		拱架安装台车	车载式				1台				
5		数字锚杆台车	单臂(或双臂)				选配				
6		湿喷机械手	25m³/h				1台				
7		自行式移动栈桥	移动式					1台			
8		防水卷材铺挂台车	移动式						1台		
9		二次衬砌台车	移动式							1台	
10		二衬养生台车	移动式							1台	
11		电缆槽台车	≥9m								1台
12	辅助机械或设备	数控工字钢冷弯机	18m³/min~25 m³/min				1台~2台				
13		钢筋网片 排焊机	砂浆泵				1套~2套				
14		混凝土输送泵	≥40 m³/h							1台	
15		混凝土运输车	5m³~10m³							4辆~6辆	
16		仰拱模板台架						1套			
17		自卸汽车	15t~25t			4辆~6辆					
18		挖掘机	0.2m³~1.2m³		1台						
19		装载机	2m³~6m³			1台~2台					
20		地质雷达		1台							
21		发电机	250 kW~500kW		1台						
22		雾炮机			1台						
23		轴流风机	74 kW~220kW		1台						

石质隧道单洞三车道机械化基本配置参考表 A.4。

表A.4 石质隧道单洞三车道机械化基本配置参考表

序号	设备		规格	超前防护区	开挖区	初期支护区			二衬施工区		
				超前预报作业线	开挖作业线	出渣装运作业线	初期支护作业线	仰拱作业线	防排水作业线	二衬作业线	沟槽作业线
1	主要机械	多臂凿岩台车	二臂(或三臂)		选配2台						
2		悬臂掘进机	步履式								
3		多功能台架	移动式				选配				
4		拱架安装台车	车载式				1台				
5		数字锚杆台车	单臂(或双臂)				选配				
6		湿喷机械手	25m³/h				1台~2台				
7		自行式移动栈桥	移动式					1台			
8		防水卷材铺挂台车	移动式						1台		
9		二次衬砌台车	移动式							1台	
10		二衬养生台车	移动式							1台	
11		电缆槽台车	≥9m								1台
12	辅助机械或设备	数控工字钢冷弯机	18m³/min~25 m³/min				2台~3台				
13		钢筋网片 排焊机	砂浆泵				2套~3套				
14		混凝土输送泵	≥40 m³/h							1台	
15		混凝土运输车	5m³~10m³							5辆~7辆	
16		仰拱模板台架						1套			
17		自卸汽车	15t~25t			5辆~7辆					
18		挖掘机	0.2m³~1.2m³		2台						
19		装载机	2m³~6m³			2台					
20		地质雷达		1台							
21		发电机	250kW~500kW		1台						
22		雾炮机			1台						
23		轴流风机	74kW~220kW		1台						

附录 B 公路隧道机械化施工人员基本配置参考表

表B.1 隧道施工人员基本配置参考表

序号	设备	规格	一、超前防护区	二、钻爆开挖区	三、初期支护区			四、二衬施工区		
			超前预报作业线	钻爆作业线	出渣装运作业线	初期支护作业线	仰拱作业线	防排水作业线	二衬作业线	沟槽作业线
1	多臂凿岩机	二臂（或三臂）		操作工 3 人，炮工 8 人		操作工 3 人，普工 3 人				
2	拱架台车	移动式		操作工 2 人，普工 3 人		操作工 2 人，普工 3 人				
3	湿喷机械手	25m ³ /h				操作工 2 人，普工 2 人				
4	防水卷材作业台车	移动式						操作工 4 人，普工 2 人		
5	二衬台车	移动式							机械工 3 人，普通工 2 人	
6	二衬养护台车	移动式							操作工 1 人，普工 1 人	
7	二衬厚度预检台车	移动式							操作工 1 人，普工 1 人	
8	自行式移动栈桥	≥9m					操作工 1 人，普工 1 人			
9	电缆沟槽台车									操作工 2 人，普工 2 人
10	多功能作业台架			普工 2~3 人						
11	移动空压机	18~25m ³ /min		操作工 2 台×1 人，普工 2 台×1 人						
12	锚杆注浆泵	砂浆泵				操作工 2~3 人				
13	混凝土输送泵	≥40m ³ /h							普工 1 人	
14	混凝土输送车	5~10m ³							驾驶员 5~6 人+普工 2 人	

表 B.1 隧道施工人员基本配置参考表（续）

序号	设备		规格	一、超前防护区	二、钻爆开挖区	三、初期支护区			四、二衬施工区		
				超前预报作业线	钻爆作业线	出渣装运作业线	初期支护作业线	仰拱作业线	防排水作业线	二衬作业线	沟槽作业线
15	辅助机械操作工	仰拱模板台架						普工 2 人			
16		二衬台车布料系统									
17		自卸汽车	15~25T			驾驶员 4~6 人+普工 2 人					
18		挖掘机	0.2~1.2m3		操作工 1 人，普工 2 人						
19		装载机	2~6m3			操作工 1~2 人，普工 2~3 人					
20		常规超前探孔	MK—5								
21		地质雷达		记录员 1 人							
22		发电机	250~500Kw		电工 1~2 人						
23		变压器	400KVA 以上		电工 1 人						
24		抽水机						普工 1 人			
25		雾炮机			普工 1 人						
26		轴流风机	74~220kw		普工 1 人						
机械化作业各工段人员数量汇总				1	29~31	9~13	17~18	5	6	17~18	4
传统施工各工段人员数量汇总				2	55~65	35~40	45~50	18~20	18	25~30	16~18
27	隧道各作业线施工及管理人員	试验员	2~3 人								
28		检测员	2~3 人								
29		测量员	2~3 人								
30		专职安全员	2~3 人								
31		钢筋工	18~25 人（仰拱、二衬、初期支护及电缆沟槽等钢筋加工、制作，台车加工）								
32		电焊工	4~6 人（同上）								
33		机修人员	2~3 人（设备小修养护）								
34		收料员	1~2 人								
35		辅助工	6~8 人（根据各作业线工作需要调配）								
36		装卸工	5~6 人（根据各作业线工作需要调配）								
37		现场管理员	3~5 人（根据各作业线工作需要调配）								
38		后勤人员	4~6 人								
39		技术人员	2 人								
40		技术负责人	1 人								
41		隧道负责人	1 人								

附录 C 机械设备要求

C.1 凿岩台车

- C.1.1 应具备不同地质条件下进行爆破孔、锚杆孔、超前孔钻凿作业的能力。
- C.1.2 应具备精准定位孔位、快速钻孔及锚杆准确快速打设等功能，且钻孔过程中可根据围岩状况自动调整推进动力。
- C.1.3 凿岩台车的凿岩机冲击功率不宜小于 21kW。
- C.1.4 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，可选用具备自动布孔、钻孔、轮扫描等功能的凿岩台车。
- C.1.5 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。
- C.1.6 采用凿岩台车进行超前地质预报、超前支护钻孔或开挖炮孔施工时可按图 C.1.6 所示工艺流程进行。

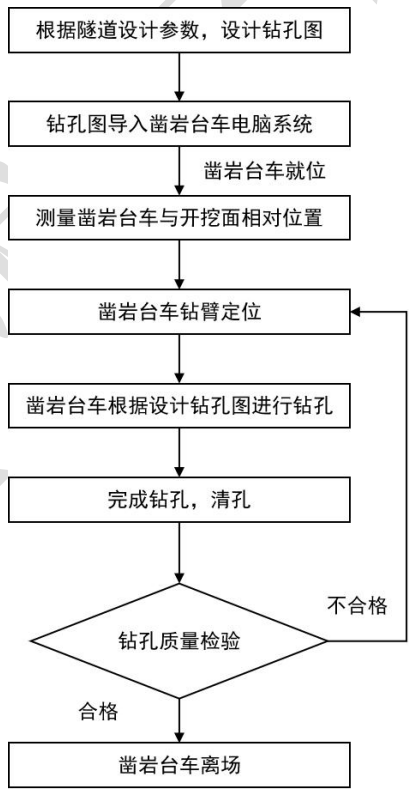


图 C.1.6 钻孔施工工艺流程

C.2 悬臂式掘进机

- C.2.1 悬臂式掘进机选型应满足隧道洞身开挖的基本功能需要。

C.2.2 悬臂式掘进机适用于隧道洞身两台阶法或全断面法开挖。

C.2.3 悬臂式掘进机应选配干、湿式除尘系统。

C.2.4 悬臂式掘进机适应隧道纵向工作坡度范围 $-16^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 。

C.2.5 悬臂式掘进机宜采用 1200V 电压进洞，10kV 变压器与掌子面距离 L 不大于 500m，主电缆可采用 3 根 $\times 95\text{ mm}^2$ 纯铜电缆。

C.2.6 悬臂式掘进机适用于围岩强度不大于 21.5 MPa 的石质隧道或黄土隧道施工。

C.2.7 以两台阶法为例，悬臂式掘进机施工可按照图 C.2.7 所示工艺流程进行。

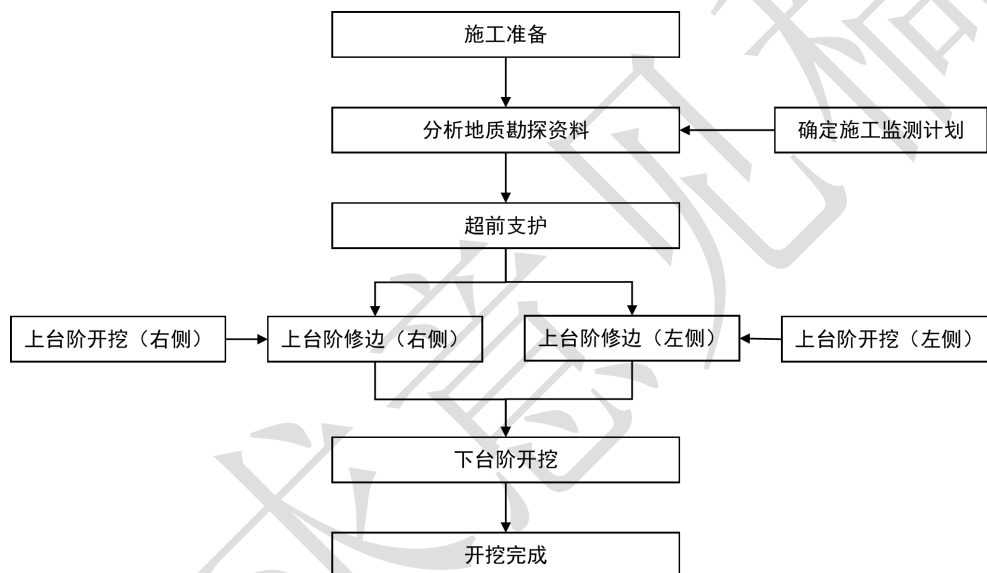


图 C.2.7 悬臂式掘进机施工工艺流程

C.3 拱架台车

C.3.1 应具备进行钢架抓取、移动、就位和拼装等作业的能力。

C.3.2 应具备可快速转换成钢筋网片、锚杆、连接筋等安装作业平台的能力。

C.3.3 拱架台车最大举升高度不宜小于 13m。

C.3.4 可配合 7 点激光定位技术，提升拱架安装精度。

C.3.5 宜适配多榀格栅钢架同步安装，形成模块化集成作业，减少围岩暴露时间。

C.3.6 采用拱架台车进行钢架安装施工可按图 C.3.6 所示工艺流程进行。

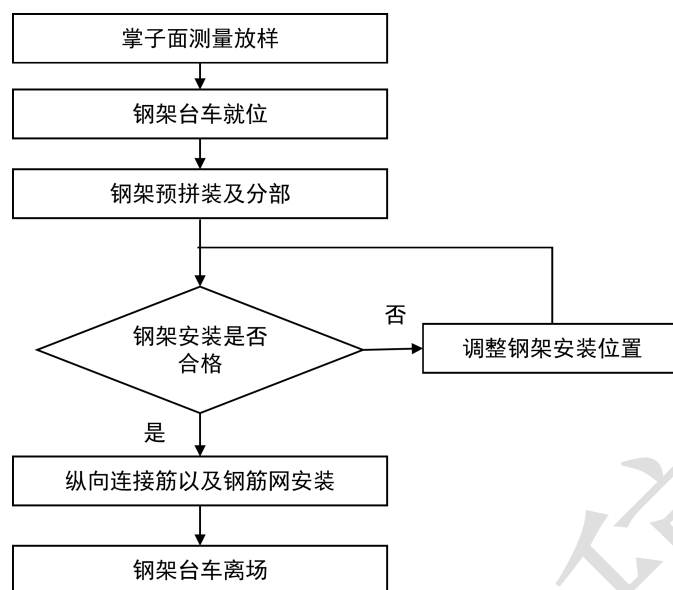


图 C.3.6 钢架安装施工工艺流程

C.4 湿喷台车

C.4.1 应具备进行 360° 旋转无死角、连续、均匀湿喷混凝土作业的能力。

C.4.2 宜具备外加剂精确测量、自动调节及自动计量等功能。

C.4.3 喷头距岩面距离宜为 0.8-1.5m，喷射角度与岩面夹角不宜小于 70°，喷层密实度不宜小于 95%。

C.4.4 适配高地温环境，混凝土输送系统应具备耐高温保护，防止速凝剂失效。

C.4.6 机械臂最大作业半径宜大于 12m，覆盖隧道拱顶至边墙底部，无喷射死角。

C.4.7 湿喷台车作业可按 C.4.7 所示工艺流程进行。

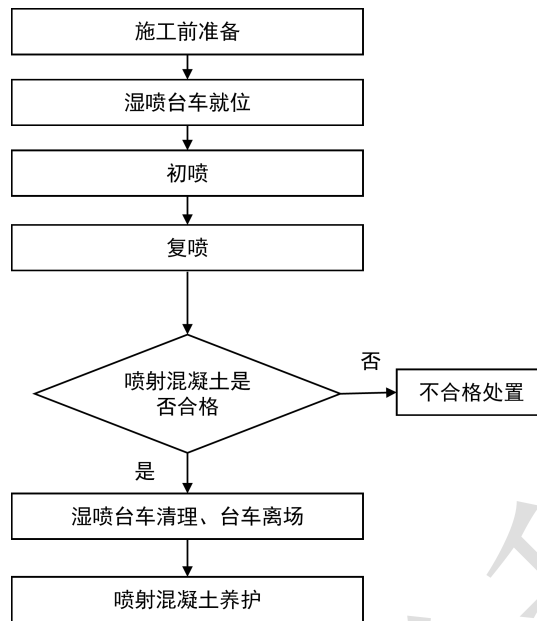


图 C.4.7 喷射混凝土作业工艺流程

C.5 液压栈桥

C.5.1 应具备施工机械及车辆通行和仰拱施工作业的功能，并应有足够的强度、刚度和整体稳定性。

C.5.2 宜配备仰拱弧形外模，应具备仰拱衬砌整体一次浇筑成型的功能。

C.5.3 应具备“通行-浇筑”双模功能，主桥承载能力不小于 50kN/m^2 ，可承受渣土车、装载机通行，同时为仰拱混凝土浇筑提供作业平台。

C.5.4 采用液压栈桥开展仰拱作业可按 C.5.4 所示工艺流程进行。

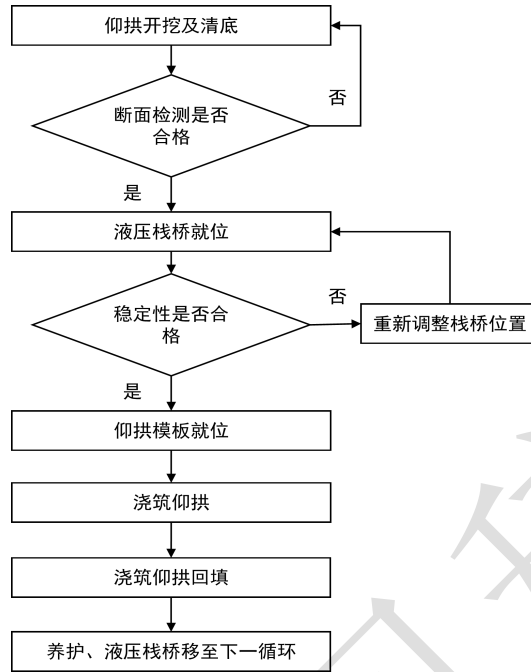


图 C.5.4 仰拱作业工艺流程

C.6 挂布台车

C.6.1 挂布台车宜具备防水卷材提升、环向铺挂、作业平台和焊接辅助功能，并应满足防水板焊接检测作业要求。

C.6.2 挂布台车支撑台架应满足洞内机械和车辆通行要求，并应具备足够的强度、刚度和整体稳定性；自制台车应进行结构验算。

C.6.3 挂布台车可配置钢筋定位、垫片定位、照明、漏电保护和安全防护装置。

C.6.4 采用挂布台车开展防排水作业时，可参照图 C.6.4 所示工艺流程进行。

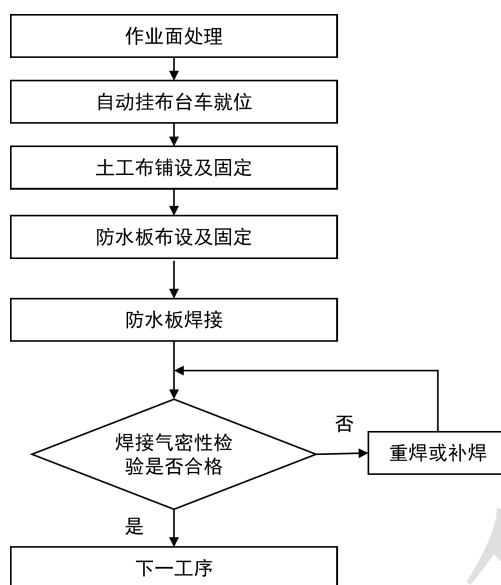


图 C.6.4 防水层铺挂与焊接施工工艺流程

C.6.5 采用挂布台车或综合作业台车进行二次衬砌钢筋施工时，可参照图 C.6.5 所示工艺流程进行。

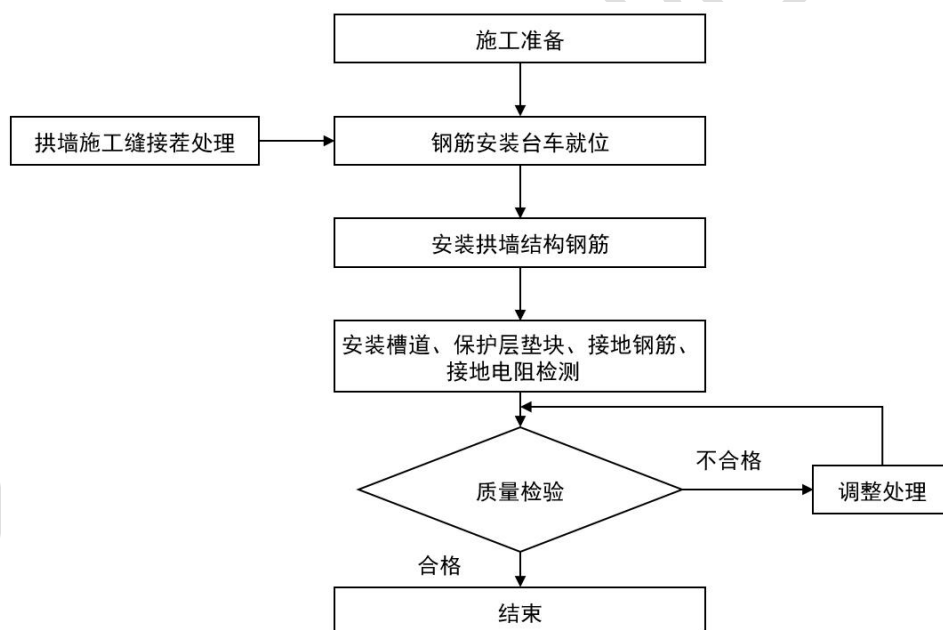


图 C.6.5 二次衬砌钢筋施工工艺流程

C.7 模板台车

C.7.1 应采用整体模板，模板钢板厚度不宜小于 10mm，模板形状和尺寸应与设计内轮廓相适应，底部模板曲率应能与仰拱弧形模板顺接，应具备混凝土分窗入模布料功能。

C.7.2 支撑台架应不影响洞内机械和车辆通行，且应有足够的强度、刚度和

整体稳定性，能承受各种工况下的工作荷载。

C.7.3 应具备自行行走、自动闭锁及软搭接功能，并应配备翻转端头模与附着式振动器等装置。

C.7.4 应具备二次衬砌拱墙混凝土一次浇筑功能，模板采用整体式钢结构。

C.7.5 需配备“隧道二衬拱顶空洞预防监测仪”，实时监测拱顶混凝土饱满度，防止空洞产生。

C.7.6 采用模板台车开展二次衬砌混凝土浇筑施工可按图 C.7.6 所示工艺流程进行。

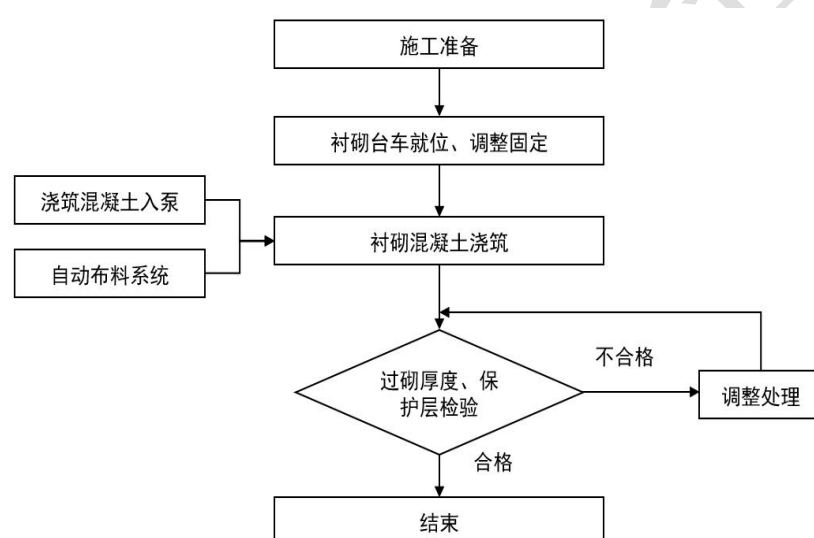


图 C.7.6 二次衬砌混凝土浇筑施工工艺流程

C.8 养护台车

C.8.1 应具备自行行走功能。喷头应具备水雾化喷洒功能，固定喷头间距或移动喷头应能确保衬砌表面全覆盖喷洒。

C.8.2 宜配置湿度、温度传感器、触屏 PLC 一体自动控制系统及余水回收系统。

C.8.3 需适配高地温、低湿度环境（如高原段），养护水温控制在 15-25℃，避免温差过大导致衬砌开裂。

C.8.4 养护范围覆盖隧道拱顶至边墙底部。

C.8.5 二衬养护台车施工可按照图 C.8.5 工艺流程进行。

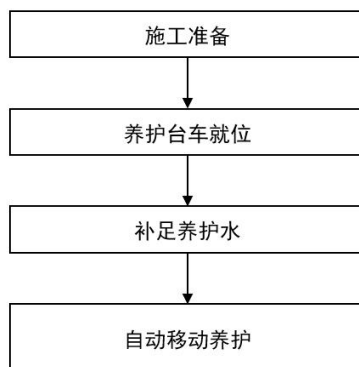


图 C.8.5 二衬养护台车施工工艺流程

C.9 沟槽台车

C.9.1 应具备电动行走及全幅快速、连续浇筑功能。

C.9.2 应具有足够的强度、刚度和整体稳定性，能承受各种工况下的工作荷载，自制台车应具备设计图纸、结构验算书等。

C.9.3 沟槽台车施工可按照图 C.9.3 工艺流程进行。

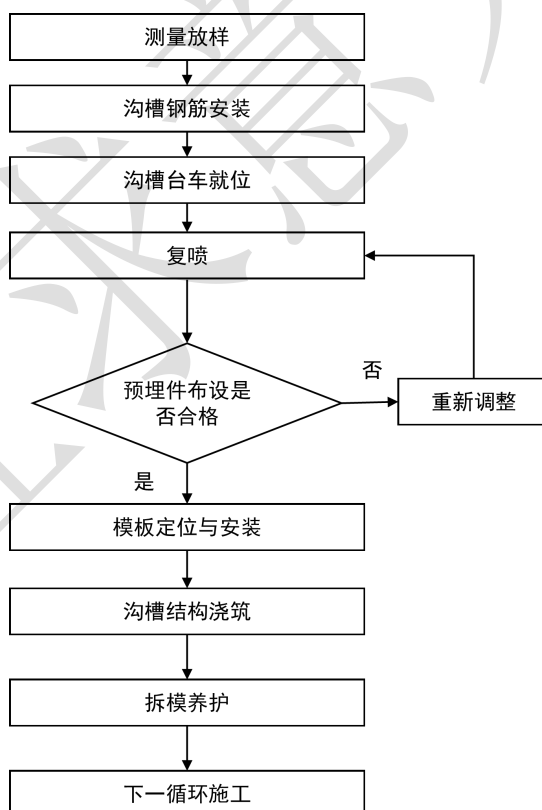


图 C.9.3 沟槽台车施工工艺流程

C.10 其他辅助设备

C.10.1 多功能地质钻机宜具备钻探探测、数据采集、预报分析等功能。

C.10.2 气腿式凿岩机、锚杆机、喷浆机与高压注浆泵应进行数字化改装，改装后应满足具备相应的机械设备技术要求。

C.10.3 自动注浆机应配备高压、大流量装置，且压力、流量可调节，并应具备浆液稠度控制、浆液拌制与浆液输送全自动化的功能。

C.10.4 采用自动注浆机进行超前预注浆施工时注浆施工可按图 C.10.4 所示工艺流程进行。

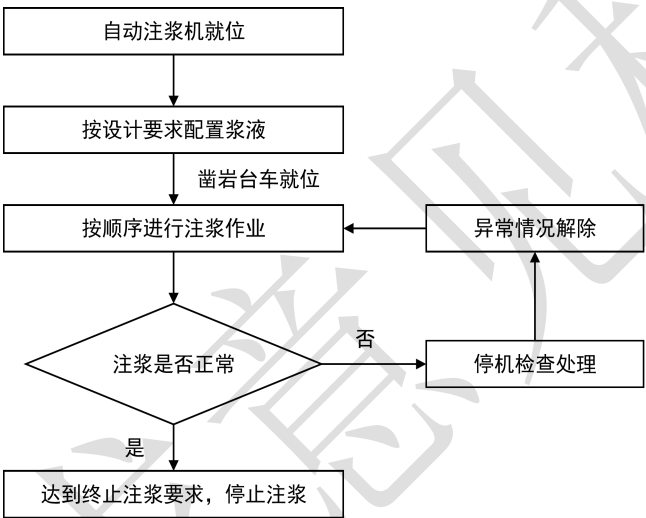


图 C.10.4 注浆施工工艺流程

C.10.5 采用锚注一体机进行锚杆施工时可按 C.10.5 所示工艺流程进行。

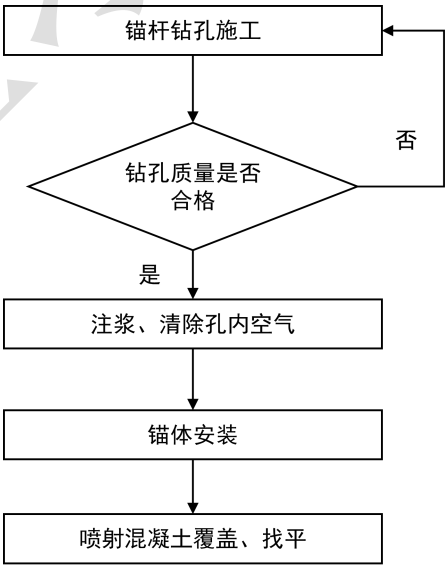


图 C.10.5 锚杆施工工艺流程