



T/CECS G XXXX: 2025

---

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction  
Standardization

山岭公路隧道机械化施工标准  
(征求意见稿)

Standards for Mechanized Construction of Mountain  
Highway Tunnel

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

## 山岭公路隧道机械化施工标准

Standards for Mechanized Construction of Mountain Highway Tunnel

T/CECS G: XXX-XX-2025

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2025年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

北京



# 前 言

根据中国工程建设标准化协会公路分会《关于开展 2023 年第二批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2023]279 号）的要求，由招商局重庆交通科研设计院有限公司承担《山岭公路隧道机械化施工标准》（以下简称“本标准”）的制订工作。

为适应我国公路隧道工程建设需要，规范和统一山岭公路隧道大型机械化施工技术要求，提高公路隧道建造水平，完善公路隧道技术标准体系，在总结近年来山岭公路隧道机械化施工成熟经验和借鉴其他相关标准、技术成果的基础上，完成了本标准的制订工作。

本标准共分为 14 章，主要内容包括：1 总则、2 术语、3 基本规定、4 施工准备与机械配套、5 超前作业线、6 开挖作业线、7 装渣与运输作业线、8 初期支护作业线、9 仰拱及铺底作业线、10 防排水作业线、11 二次衬砌作业线、12 沟槽作业线、13 辅助作业线、14 信息化施工与管理。

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

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

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由招商局重庆交通科研设计院有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，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），或胡居义（地址：重庆市南岸区学府大道 33 号；邮编：400067；电子邮箱：hujuyi@cmhk.com），以便修订时研用。

**主编单位：**招商局重庆交通科研设计院有限公司

**参编单位：**青海省交通建设管理有限公司

青海省交通规划设计研究院有限公司

广东省高速公路有限公司

浙江数智交院科技股份有限公司

浙江交投交通建设管理有限公司

福建省高速路桥工程有限公司

**主 编:** 胡居义

**主要参编人员:** 张学强 陈红伟 江星宏 徐凯 蔡爽 郭鸿雁 皮小强 刘东星

**主 审:** 皓玉兰

**参与审查人员:**

## 目 录

1	总 则 .....	1
2	术 语 .....	2
3	基本规定 .....	3
4	施工准备与机械配套 .....	5
4.1	一般规定 .....	5
4.2	施工场地与临时工程 .....	6
4.3	风水电 .....	6
4.4	机械设备配套 .....	7
4.5	材料 .....	11
4.6	人员 .....	11
5	超前作业线 .....	12
5.1	一般规定 .....	12
5.2	超前地质预报 .....	12
5.3	掌子面稳定性评价 .....	13
5.4	超前支护及预加固 .....	14
6	开挖作业线 .....	19
6.1	一般规定 .....	19
6.2	钻爆设计 .....	19
6.3	钻爆作业 .....	20
6.4	开挖方法 .....	22
6.5	超欠挖控制 .....	22
7	装渣与运输作业线 .....	24
7.1	一般规定 .....	24
7.2	装渣作业线 .....	24
7.3	运输作业线 .....	25
7.4	施工要求 .....	26
8	初期支护作业线 .....	27
8.1	一般规定 .....	27
8.2	喷射混凝土施工 .....	27
8.3	锚杆施工 .....	28
8.4	钢筋网施工 .....	29
8.5	钢架施工 .....	29
9	仰拱及铺底作业线 .....	31

---

9.1	一般规定	31
9.2	仰拱开挖与基底处理	31
9.3	仰拱结构施工	32
9.4	铺底施工	33
10	防排水作业线	34
10.1	一般规定	34
10.2	排水施工	34
10.3	防水施工	35
10.4	止水施工	36
10.5	质量要求	37
11	二次衬砌作业线	38
11.1	一般规定	38
11.2	钢筋施工	38
11.3	衬砌浇筑	39
11.4	养护作业	41
12	沟槽作业线	42
12.1	一般规定	42
12.2	沟槽施工	42
12.3	质量控制	42
13	辅助作业线	44
13.1	一般规定	44
13.2	通风作业线	44
13.3	供电作业线	44
13.4	施工排水作业线	45
13.5	监控量测作业线	45
13.6	施工质量控制作业线	46
13.7	缺陷处理作业线	47
13.8	风险管理与应急救援作业线	47
14	信息化施工与管理	48
14.1	一般规定	48
14.2	技术要求	48

# 1 总 则

**1.0.1** 为提高山岭公路隧道建造水平，指导隧道机械化施工，保障施工安全和质量，提高施工效率，降低成本，制订本标准。

**1.0.2** 本标准适用于钻爆法施工的新建和改扩建山岭公路隧道大型机械化施工。

**1.0.3** 公路隧道机械化施工应根据机械化施工特点，加强施工安全管理和施工质量控制，应采用适宜的工法，积极推广适用于机械化施工的新技术、新工艺、新装备、新材料，提高施工技术水平。

**1.0.4** 公路隧道机械化施工应与信息化技术融合，统筹运用信息化、数字化技术进行施工管理，提高施工效率。

**1.0.5** 公路隧道机械化施工除应符合本标准的规定外，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

根据隧道工程条件配置适应的施工机械，选择适宜的工艺工法，通过合理的施工组织，依靠机械设备安全高效完成工程的作业方式。

### 2.0.2 机械配置

根据工程规模、场地条件和施工方法确定机械化施工需要的设备规格、型号、数量及其组合方式等，保证工程工期按期完成，实现预期经济效益和社会效益。

### 2.0.3 一洞九线

公路隧道机械化配套施工时，按照超前作业线、开挖作业线、出渣与装运作业线、初期支护作业线、仰拱及铺底作业线、防排水作业线、二次衬砌作业线、沟槽作业线、辅助作业线等九条线流水进行组织作业。

### 2.0.4 九台套

九台套是指山岭公路隧道钻爆法机械化施工的九种主要配套设备统称，包括凿岩台车、拱架台车、湿喷台车、自行式液压移动栈桥、挂布台车、二衬台车、养护台车、电缆沟槽台车和检测台车。

### 2.0.5 机械化施工分级

按照隧道施工配置的机械类型和程度进行分级，分为I级、II级、III级。代表隧道施工机械化配置程度，I级为最高水平机械配置。I级、II级要求配备凿岩台车，I级为包含九台套的全工序机械化作业，II级为大部分主要工序机械化作业，III级为不配备凿岩台车，但大部分主要工序为机械化作业。

### 2.0.6 辅助作业线

除九线以外的其它作业线，包括通风作业线、供电作业线、施工排水作业线、监控量测作业线、施工质量控制作业线、缺陷处理作业线、风险管理与应急救援作业线等。

### 3 基本规定

3.0.1 根据隧道施工九台套机械设备配置程度，施工机械化程度分级按表 3.0.1 确定。

表 3.0.1 机械化施工程度分级

I 级	全工序机械化，包含九台套的所有设备，凿岩台车、拱架台车、湿喷台车、自行式液压移动栈桥、挂布台车、二衬台车、养护台车、电缆沟槽台车和检测台车
II 级	包含凿岩台车、拱架台车、湿喷台车、自行式液压移动栈桥、挂布台车、二衬台车等 6 台套及以上主要设备
III 级	无凿岩台车，但包含拱架台车、湿喷台车、自行式液压移动栈桥、挂布台车、二衬台车等 5 台套及以上主要设备

#### 条文说明

国内目前企业标准和地方标准通常按是否配备凿岩台车作为划分机械化施工等级的标准，分为 I 级和 II 级。

根据调研结果，目前国内很多隧道施工没有配备凿岩台车，但其他设备配备比较齐全，实际上也是大型机械化施工的一种类型，也有些隧道虽然配备了凿岩套车，但其他设备不完全齐全。因此本标准在充分调研国内机械化施工水平的基础上，考虑隧道特点、综合造价，把机械化施工等级划分为 I 级、II 级和 III 级。I 级、II 级要求配备凿岩台车，I 级为全工序机械化作业，II 级为主要工序机械化作业，III 级为不配备凿岩台车，但主要工序为机械化作业。

3.0.2 公路隧道机械化施工应综合考虑地理环境、气候条件、地质条件、隧道规模、隧道断面等因素，合理配置机械设备，保障隧道施工安全和质量。宜按以下原则选择机械化施工配套等级。

1 特长隧道且 III 级和 IV 级围岩总长度占比大于 60% 的隧道应按 I 级机械化施工配套，占比小于 60% 的隧道应按不低于 II 级机械化施工配套。

2 长隧道且 III 级和 IV 级围岩总长度占比大于 60% 的隧道宜按不低于 II 级机械化施工配套；

3 其他隧道机械化施工配套等级宜按不低于 III 级配套。

3.0.3 公路隧道机械化配套应与工程地质、施工组织能力相匹配，宜一机多用，充分发挥机械化综合效率。

3.0.4 宜优先选用具备自动化、数字化功能的设备，以实现数据的自动采集、存储和数据信息共享功能，并通过信息化管理系统，定期进行统计分析。

3.0.5 机械配套方案应实现技术先进、成本合理，并考虑设备配置的通用性。

**3.0.6** 机械化施工应配备专业的机械操作人员，各工序应组建专业化作业队伍，培养一专多能的技术人才，提高机械化作业效率。

**3.0.7** 机械化施工过程应及时搜集、分析地质资料，结合监控量测数据成果，开展围岩及掌子面稳定性评估，及时优化施工工法、动态调整支护参数，确保支护结构安全和施工安全。

**3.0.8** 公路隧道钻爆法开挖应采用光面爆破技术。

**3.0.9** 应根据地质情况、施工环境、断面形式，设计及规范等要求编制监控量测实施细则，并纳入施工工序管理。

**3.0.10** 应制定科学合理的隧道施工管理调度体系，对人员、材料、机械设备和工序进行有效管理，实现工序的有效衔接，减少资源消耗，提高作业效率。

**3.0.11** 应建立使用、管理、维修和保养保障体系，保证机械使用安全，正常运转。

**3.0.12** 应建立安全风险管控机制，制定作业面管控标准，加强过程管控和工序安全质量管控。

## 4 施工准备与机械配套

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 隧道施工前，应组织设计文件交底，进行现场地质核查，编制施工组织设计。施工组织设计的编制应符合《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）相关规定，并结合施工实际优化施工组织设计，做好技术准备和组织落实工作。

**4.1.2** 应根据工程规模、大型机械化施工的技术要求等建立工地试验室。

**4.1.3** 应组建专业、稳定的隧道机械化施工管理、作业、维护队伍。

**4.1.4** 隧道供电、供水应与隧道机械配置相适应，照明供电线路与动力供电线路应分开布置，通风应满足《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的规定。

**4.1.5** 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。

**4.1.6** 施工前应进行机械化施工相关培训工作，加强大型机械装备作业安全警示教育。

**4.1.7** 结合各工点机械化配套情况进行施工便道、施工场地的布置与修建，水、电引入时应充分考虑大型机械设备负荷，确保机械设备及时进场、妥善停放、正常使用。

**4.1.8** 结合机械化配套情况，合理布设修配机构、车间或维修站，并配备相应的修理加工机械，储备一定数量的零部件或原材料。

**4.1.9** 隧道施工过程中应加强地质跟踪调查与超前地质预报，并进行掌子面稳定性预评价，将预报成果及时指导施工；同时应加强施工监控量测工作，宜采用自动化实时监控系统进行现场监控量测。

**4.1.10** 隧道施工应优先选择排污少、噪声小和能耗低的机械，且宜优先选用电驱动机械。

**4.1.11** 隧道施工前应根据隧道长度、断面大小、围岩地质条件、施工方法、辅助坑道设置等进行施工机械配置方案设计，并纳入隧道施工组织设计。

**4.1.12** 同一工区多作业面机械化配套，应统筹设备之间的综合调度，充分发挥设备的工作效率。

**4.1.13** 隧道机械化施工优先选用具备自动化、信息化、智能化功能的设备，实现参数的自动匹配、数据的自动采集、存储和分析功能。

**4.1.14** 隧道机械化工装配套应遵循以下原则：

**1** 施工机械配置应与主要施工方法相适应，且机械配置的生产能力应大于均衡施工能力，均衡施工能力应大于进度指标要求。

2 施工机械应科学配置，发挥机械的总体效率，应根据设备的使用频率，配置备用设备。

## 4.2 施工场地与临时工程

4.2.1 施工场地应符合现行《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的规定，还应满足各隧道机械设备的作业半径和临时停放、移动、拼装、维修保养等的场地要求。

4.2.2 大型机械设备的停放、维修保养场地应确保地基稳定、场地平整，并不受洪水、泥石流、塌方、滑坡及雪崩等自然灾害威胁，并根据设备保养要求，做好设备的防腐蚀、防落石冲击等防护。场地周边应设置排污池和油水分离池。

4.2.3 临时工程应遵循“安全可靠、简约适用、功能完善”的原则，落实“图纸化施工”要求。

4.2.4 施工现场应结合隧道机械化配套实际情况，充分考虑大型机械设备负荷、进场、停放、正常使用等要求，合理规划进场便道、施工水电等临建设施。

## 4.3 风水电

4.3.1 隧道施工作业区域空气压缩机应满足同时工作的各种风动机具最大耗风量和风压要求，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，并应符合以下规定：

1 隧道掌子面使用风压应不小于 0.5MPa，高压风管的直径应根据最大送风量、风管长度、闸阀等计算确定。

2 洞内外空气压缩机设置、高压风管路的安装使用、移动式空压机使用应满足《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的相关要求。

4.3.2 施工现场应有充足水源，应能确保凿岩台车正常运行，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。

4.3.3 供水管的现场使用应满足以下要求：

1 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。

2 供水管路的安装使用应满足现行的《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的相关要求。

4.3.4 隧道施工作业区电力配置应能满足同时工作的各种电动机具最大耗电量要求，并应满足以下要求：

1 线路末端电压降满足要求时，可在洞外设置变压器，再低压进洞。中短隧道当供电线路长度超出供电范围时，宜稳压或高压进洞。长、特长隧道应采用高压进洞方式供电，且应在洞内设变电站供电。

2 隧道施工低压供电、洞内供电线路布置和安装、洞内外变电站设置应满足现行的《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的相关要求。

3 隧道作业地段应有足够照明，不宜有炫光、爆闪，洞外照明按现行《建设工程施工现场供用电安全规范》（GB 50194）相关要求配置。

#### 4.4 机械设备配套

4.4.1 山岭公路隧道施工主要机械设备包括凿岩台车、拱架台车、湿喷台车、自行式液压移动栈桥、挂布台车、二衬台车、养护台车、电缆沟槽台车和多功能检测台车，其他设备包括多功能钻机、大功率挖掘机、大斗容量装载机、自卸车及变压器站、空压机房、变频通风机、高压泵站等辅助设备。

4.4.2 公路隧道机械化施工宜综合考虑地理环境、气候条件、地质条件、隧道规模、隧道断面等因素，合理配置机械设备，保障隧道施工安全和质量。施工机械配置时应考虑以下因素：

- 1 应充分考虑机械的使用环境要求，以及机械使用过程中对隧道内环境的影响。
- 2 机械自身的成本，以及机械施工过程中耗材的成本。
- 3 机械的保养及维护成本。

4.4.3 超前地质预报设备宜根据超前地质预报设计方案配置，且宜符合下列要求：

- 1 超前地质预报的方法与施工方法相适应，并贯穿施工全过程。
- 2 超前水平钻探可根据钻探需要选用凿岩台车、多功能钻机、中快速地质钻机，加深炮孔探测可采用凿岩台车。当有取芯要求时，宜配置相应的钻具。

4.4.4 超前预加固作业机械设备选型宜符合下列要求：

- 1 超前管棚、小导管、玻璃纤维锚杆等钻孔作业可选用凿岩台车或多功能钻机，掌子面喷射混凝土封闭宜采用混凝土湿喷台车。
- 2 掌子面预注浆作业宜配备高压力、大流量、低流速，且压力、流量可调、可传输注浆参数信息的注浆设备。

4.4.5 开挖作业机械设备选型宜符合下列要求：

- 1 I级、II级机械化配套采用凿岩台车钻孔作业，优先配置全电脑凿岩台车。
- 2 III级机械化配套宜采用多功能台架配合风动凿岩机进行钻孔作业。
- 3 遇水软化岩层或缺水地区宜采用气雾排渣方式钻孔作业。
- 4 装药作业可采用凿岩台车搭载散装乳化炸药单元或装药台车进行机械化快速装药。

4.4.6 出渣与装运作业设备宜根据断面大小、施工方法及工程进度等因素综合考虑，且宜符合下列要求：

1 装、运渣作业设备选型宜遵循挖、装、运机械能力协调配套的原则，运输机械设备配置能力不应小于挖装能力的 1.2 倍。

2 装渣宜采用不小于 2m<sup>3</sup> 的装载机、150~250m<sup>3</sup>/h 的大型挖掘机或者铲铣机。

3 扒渣宜采用挖掘机。

4 自卸汽车额定载质量大于 15t。

5 断面较小的斜井及平行导坑，装运设备的选型宜与辅助坑道相适应。

#### 4.4.7 初期支护作业设备选型宜符合下列要求：

1 锚杆施工宜采用凿岩台车或钻锚注一体机进行。

2 钻锚注一体机宜具备钻锚注一体化施工功能，并宜满足先锚后注式、先注后锚式锚杆施工要求。

3 注浆宜采用注浆台车或注浆泵，注浆台车或注浆泵宜满足单浆液和双浆液注浆要求，注浆流量和压力宜能单独控制，最大注浆压力应达到设计压力的 1.5~2.0 倍。

4 掌子面封闭宜采用混凝土湿喷机械手进行喷射混凝土施工。

5 钢拱架加工宜配置专用弯曲成型加工机械。

6 钢拱架安装应采用拱架安装台车或多功能台架，拱架安装台车宜满足单榀、多榀拱架安装需要。

7 混凝土湿喷机械手宜具有自动计量装置的混凝土搅拌站和混凝土运输车。

#### 4.4.8 仰拱及铺底作业设备选型宜符合下列要求：

1 仰拱及铺底作业宜使用自行式液压仰拱栈桥，栈桥有效作业长度宜不小于 24m，但也不宜过长。

2 自行式液压仰拱栈桥宜具备施工机械及车辆通行和仰拱施工作业的功能，并宜有足够的强度、刚度和整体稳定性。

3 自行式液压仰拱栈桥宜具备自动行走功能，自带动力源，无需其他设备辅助实现前进及后退。

4 自行式液压仰拱栈桥宜配备仰拱弧形外模，宜具备仰拱衬砌整体一次浇筑成型的功能。

#### 4.4.9 防排水作业设备选型宜符合下列要求：

1 隧道初期支护基面处理及防水板铺设作业宜具有防水板铺设、衬砌钢筋安装功能的综合作业台车。

2 防水板热熔垫片焊接宜采用超声波焊机或电热焊机施工，防水板接缝焊接宜采用调温、调速式自动爬行焊接机施工。

3 支撑台架宜不影响洞内机械和车辆通行，且宜有足够的强度、刚度和整体稳定性，宜能承受各种工况下的工作荷载，自制台车宜经过结构验算合格。

4 宜配备钢筋绑扎临时定位装置。

#### 4.4.10 二次衬砌作业机械设备选型宜符合下列要求：

1 衬砌台车宜采用整体模板，模板钢板厚度不宜小于 10mm，模板形状和尺寸宜与设计内轮廓相适应，底部模板曲率宜能与仰拱弧形模板顺接。

2 衬砌台车支撑台架宜不影响洞内机械和车辆通行，且宜有足够的强度、刚度和整体稳定性，能承受各种工况下的工作荷载。

3 衬砌混凝土宜配置具有自动计量装置功能的混凝土搅拌站，并配备混凝土搅拌运输车、混凝土输送泵及衬砌台车等机械设备。

4 衬砌混凝土浇筑宜采用具有自动布料系统、高频密实振捣、自行行走、自动闭锁、软搭接功能的衬砌台车。

5 衬砌台车宜具备智能监测系统，具有混凝土灌注压力监测、拱顶饱和度测量、入模温度记录等功能，实时监测混凝土浇筑状态。

6 隧道Ⅱ、Ⅲ级围岩分布较多，开挖与支护能力不匹配时，宜增加防水板台车和衬砌台车，提高施工效率。

7 衬砌混凝土养护宜采用具备自动温控养护、养护数据记录与处理、养护参数实时可视化功能的自动养护台车。

#### 4.4.11 沟槽作业设备选型宜符合下列要求：

1 水沟电缆槽作业宜采用整体式沟槽模板台车。

2 沟槽台车宜具备电动行走及全幅快速、连续浇筑功能。

3 沟槽台车配备有定形模架安装、固定和拆除系统及附着式数控振动器等。

#### 4.4.12 不同等级的机械化施工配套设备参考下表 4.4.12。

表 4.4.12 机械化施工配套机械参考表

工序	I 级配套		II 级配套		III 级配套	
	主要设备	辅助设备	主要设备	辅助设备	主要设备	辅助设备
超前作业线	凿岩台车	注浆台车或注浆泵	凿岩台车	注浆台车或注浆泵	湿喷台车	多功能钻机
	湿喷台车		湿喷台车			注浆泵
开挖作业线	凿岩台车	—	凿岩台车	—		多功能台架 风动凿岩机
出渣与装运作业线	—	挖掘机	—	挖掘机	—	挖掘机
		侧卸式装载机		侧卸式装载机		侧卸式装载机
		自卸汽车		自卸汽车		自卸汽车
初期支护作业线	凿岩台车		凿岩台车		拱架台车	风动凿岩机
	喷台车	搅拌运输车	拱架台车	搅拌运输车	湿喷台车	多功能台架

	拱架台车		湿喷台车			注浆泵 搅拌运输车
仰拱及铺底 作业线	自行式液压 仰拱栈桥	搅拌运输车	自行式液压 仰拱栈桥	搅拌运输车	自行式液 压仰拱栈 桥	搅拌运输车
防排水作业 线	挂布台车	焊接机	挂布台车	焊接机	挂布台车	焊接机
二次衬砌作 业线	二衬台车 养护台车	混凝土输送泵 搅拌运输车	二衬台车	混凝土输送泵 搅拌运输车	二衬台车	混凝土输送泵 搅拌运输车
沟槽作业线	沟槽台车	—	—	—	—	—
辅助作业线	检测台车		—	—	—	—

**4.4.13** 施工中机械设备宜根据实际情况灵活配置，外购设备应具有使用说明书、保养维修手册、产品合格证及备件一览表等；自加工的隧道机械装备应提供设计图纸与结构验算书。

**4.4.14** 凿岩台车、湿喷台车应做好进场验收与试运行，确保各台车运行正常，性能稳定。

**4.4.15** 施工前应进行拱架台车、液压栈桥、挂布台车、二衬台车、养护台车和电缆沟槽台车等台车拼装，确保结构稳定、运行良好。

**4.4.16** 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。

**4.4.17** 应组建机械化设备的专业维修队伍，负责设备进场、使用等的检查、维护及故障排除。

**4.4.18** 各机械设备应按照《公路工程施工安全技术规程》（JTGF90）的规定配备灭火器材，并根据安全规程要求开展定期检查。

**4.4.19** 凿岩台车、拱架台车、湿喷台车、液压栈桥等重要机械设备的作业区域应设置警示标志及安全措施。

**4.4.20** 机械设备排除故障或更换部件过程中，应切断电源和锁上开关箱，派专人监护，并悬挂“检修中，禁止合闸”等警示标志。备用的机械设备应悬挂“禁止合闸”等警示标志。

**4.4.21 维修保养的通用要求**

**1** 采用机械化施工的隧道宜在洞口附近设置停放场和修配车间，并配备相应的修理加工机械，储备一定数量的必要零部件和原材料。

**2** 施工单位应配置设备管理部门、生产部门和维修部门进行机械设备的日常管理。设备管理部门负责制定设备维护计划、维修方案，监督维修工作的执行情况；生产部门负责设备的实际操作使用，并定期向设备管理部门反馈设备运行情况；维修部门负责具体的设备维修工作，包括定期检查、维护、故障排除等。

**3** 机械设备操作人员应严格遵照机械设备的操作规程进行施工作业，施工前应进行设备调试、施工后应及时清洗。

4 机械设备应按照产品说明书进行定期检查和维修，所使用的材料应符合相关规定，保持机械设备的完好状态。

5 机械设备维修人员应记录和保存设备日常维修信息数据。

6 新机、经过大修或技术改造的机械设备，应按出厂使用说明书和现行的《建筑机械技术试验规程》（JGJ 34）的相关要求进行测试和试运转。

7 停用一个月以上或封存的机械设备，应认真做好停用或封存前的保养工作，并应采取预防风沙、雨淋、水泡、锈蚀等措施。

**4.4.22** 隧道施工机械设备上各种安全防护及保险装置、安全信息装置应齐全有效，应班前经检查验收合格后投入使用。在瓦斯、岩溶等特殊地质段落或特殊环境使用时，应制定专项安全措施或方案。

## 4.5 材料

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

**4.5.2** 隧道机械化施工前应配备不少于 7 天所需的隧道机械设备建材及耗材，以满足隧道机械化连续施工的需求。

**4.5.3** 材料进场前，应严格进行检查验收和取样送检，检验合格后方可进入现场；材料进场后，应分区、分类、定点存放，标识齐全，防止污染。

**4.5.4** 资源配置应按拟定的施工方案和进度安排，计算主要材料、施工机械、设备的数量和分阶段消耗量，并储备一定数量的零部件原材料。

## 4.6 人员

**4.6.1** 施工人员应符合《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的规定。

**4.6.2** 人力资源配置应按隧道规模、进度安排、工序专业类别等要求，编制人力资源需求和使用计划。

**4.6.3** 参与隧道机械化施工的项目管理人员、专职安全员，机械操作人员及特种作业人员等应经专门的安全培训，考核合格后上岗，特种机械操作人员应持证上岗。

**4.6.4** 对机械化施工及管理人员应进行岗前培训教育和技术交底，明确机械化施工的具体要求。

**4.6.5** 使用新设备、新材料、新技术、新工艺时，应对作业人员进行专门的安全生产教育和培训，明确新设备、新工艺存在的风险和应对措施。

**4.6.6** 施工项目应配备专业技术人员，且应根据不同类型的机械设备配备一定数量的维保人员。

## 5 超前作业线

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 超前作业线包括超前地质预报、掌子面稳定性评价、超前支护、超前预加固等。

**5.1.2** 超前作业宜配置凿岩台车、多功能钻机、长距离地质钻等机械钻探设备，并配备地质雷达、瞬变电磁仪、TSP 或 TGP 等物探设备。

**5.1.3** 机械化施工超前地质预报应进行掌子面稳定性预评价工作。

**5.1.4** 机械化施工软弱围岩应结合稳定性评价结果采用超前支护及掌子面预加固措施。

### 5.2 超前地质预报

**5.2.1** 公路隧道超前地质预报方法应结合施工方法、地质条件综合确定，超前地质预报工作应贯穿施工全过程。

**5.2.2** 超前地质预报可采用地质调查法、物探法、超前钻探法等。超前地质预报应以地质调查法为基础，结合物探、超前钻探等方法综合预报，各预报方法应包含下列内容：

**1** 地质调查法：包括隧道地表补充地质调查、洞内开挖工作面地质素描和洞身地质素描、地层分界线及构造线的地下和地表相关性分析、地质作图等。

**2** 物探法：包括弹性波反射法(地震波和声波法)、电磁波反射法、红外探测法、电法等。

**3** 超前钻探法：包括超前地质钻探、加深炮孔探测及孔内摄影。

**5.2.3** 超前地质预报宜根据地质条件选择短距离预报、中距离预报和长距离预报相结合的方式。

**1** 短距离预报：预报长度 30m 以内，可采用地质调查法、弹性波反射法、电磁波反射法、瞬变电磁法、以及小于 30m 的超前钻探。

**2** 中距离预报：预报长度 30m~100m。可采用地质调查法、弹性波反射法及 30m~100m 的超前钻探等。

**3** 长距离预报：预报长度 100m 以上。可采用地质调查法、地震波反射法及 100m 以上的超前钻探等。

**5.2.4** 根据地质复杂程度，物探法可选择地震波反射法、地质雷达法、瞬变电磁法的不同组合，超前钻探法可选择钻孔长度与钻孔数量的不同组合。

**5.2.5** 超前水平钻探可根据探测需要选用凿岩台车、多功能钻机、地质钻机等设备，当

有取芯要求，应配置相应的钻具。

**5.2.6** 隧道爆破后应进行掌子面图像采集，推测掌子面及前方岩体结构面倾向、倾角等产状信息。

**5.2.7** 凿岩台车随钻测量、掌子面图像识别结果应与地表、洞内地质洞查资料、已有地质资料对比印证，动态调整围岩信息及围岩等级。

### 5.3 掌子面稳定性评价

**5.3.1** 公路隧道机械化设计施工应开展掌子面稳定性评价工作，为开挖方法和超前支护措施提供依据。

#### 条文说明

掌子面稳定性评价和控制是机械化施工的重要举措。在机械化大断面开挖的条件下，掌子面的稳定不仅可以为大型机械装备提供更有利的作业空间，确保掌子面附近工作人员安全，同时对隧道围岩整体稳定性发挥重大的作用。

**5.3.2** 勘察设计阶段，设计单位应对掌子面稳定性进行初步评价，为超前支护措施及施工工法设计提供依据。

**5.3.3** 施工阶段，施工单位应及时对掌子面稳定性进行核实。当核实结果与初步评价不一致时，应报设计单位对掌子面稳定性进行再次评价。

**5.3.4** 公路隧道机械化施工应加强掌子面变形的观察或监测。

**5.3.5** 掌子面稳定性可分为稳定（LS）、暂时稳定（TS）、不稳定（US）三类别。施工阶段掌子面稳定性评价可采用定性与定量相结合的方法，综合分析确定掌子面稳定性类别。

**5.3.6** 掌子面稳定性分类应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组合确定，掌子面稳定性分类参见下表 5.3.6。

**表 5.3.6 掌子面稳定性分类表**

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	①硬岩、较破碎、涌流状； ②较软岩、较完整或较破碎、涌

		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	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
--	--	--	---

**5.3.7** 掌子面稳定量分类应根据围岩基本质量指标修正值[BQ]按表 5.3.7 确定。

**表 5.2 掌子面稳定量分类表**

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	$300 < [BQ]$	$200 < [BQ] \leq 300$	$[BQ] \leq 200$

**5.3.8** 掌子面稳定性与定量评价结果不一致时，应进行现场地质条件复核，并结合现场监测，重新进行评价。

## 5.4 超前支护及预加固

**5.4.1** 超前支护及预加固措施包含超前管棚（小导管、中空注浆锚杆）、掌子面喷射混凝土封闭、掌子面锚杆加固和掌子面预注浆等内容，同时应结合围岩自稳情况进行动态调整。

**5.4.2** 施工过程中应根据现场实际掌子面稳定性类别和开挖方法确定适合的超前支护和预加固措施。掌子面稳定性类别为稳定（LS）时，对掌子面局部掉块、危石等可采用喷射混凝土封闭；为暂时稳定（TS）时，可采用超前小导管（中空注浆锚杆）、掌子面喷射混凝土和掌子面锚杆进行联合支护；不稳定（US）时，可采用超前管棚（小导管）、掌子面喷射混凝土、掌子面锚杆或掌子面预注浆进行联合支护。

**5.4.3** 超前支护通常采用大管棚、中管棚、小导管、中空注浆锚杆。大管棚直径通常为 108~136mm，中管棚直径通常为 76~89mm，小导管直径通常为 42~50mm，中空注浆锚杆直径通常为 25~32mm。

**5.4.4** 超前支护宜充分利用凿岩台车或多功能钻机快速施工，提高钻孔效率。超前支护施工工艺流程如图 5.4.5 所示。

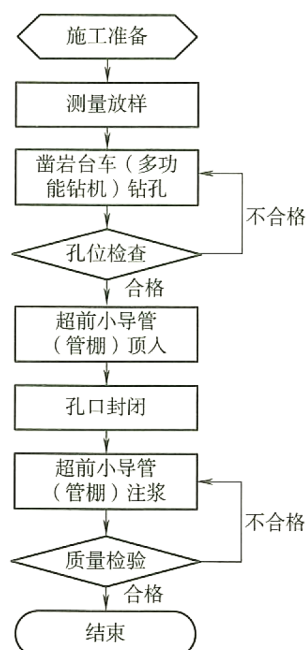


图 5.4.5 超前支护施工工艺流程图

5.4.5 超前小导管（中空注浆锚杆）施工时，应符合下列规定：

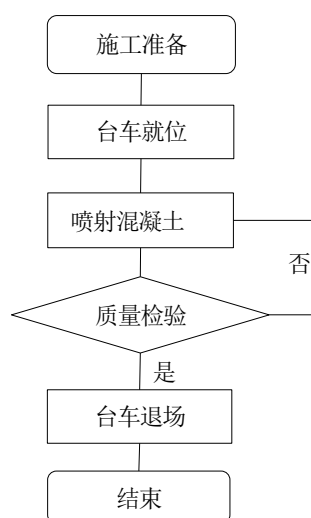
- 1 超前小导管外插角度不大于  $10^{\circ}$ 。
- 2 超前小导管尾端应支撑于钢架上，并应连接牢固。
- 3 超前小导管与围岩间出现间隙时，应采用喷射混凝土填满。
- 4 注浆应采用注浆单元，为加速注浆，可安装分流器同时多管注浆。
- 5 配制好的浆液应在规定时间内注完，随用随配。
- 6 开挖时导管间仍有掉块时，应立即补打导管，并应在下一环小导管施工时适当加密。

5.4.6 超前管棚施工施工时，应符合下列规定：

- 1 中管棚外插角度不大于  $10^{\circ}$ ，大管棚外插角度不大于  $5^{\circ}$ 。洞内大管棚宜设置管棚工作室。
- 2 管棚钻孔不应侵入开挖范围，钻孔机械应具有纠偏功能。
- 3 管棚按单双序号孔位错开  $1/2$  节长连接，节间用丝扣或内套管连接。
- 4 管棚顶入时，顶推力应适当，防止因顶推力过大导致管棚管口变形，无法接管。
- 5 管棚钢管应一次连续注满砂浆，注浆参数应根据现场试验确定，砂浆强度等级不应低于 M30。

**5.4.7** 超前预加固采用掌子面喷射混凝土封闭，应符合下列规定：

- 1 掌子面喷射混凝土宜采用与初期支护同等级混凝土，厚度不小于设计值。
- 2 掌子面喷射混凝土应在开挖后立即进行，喷射前应先清除受喷面上的浮图、会贫污等松散积料，并用高压风吹净。
- 3 原材料进场应进行速凝效果的试验，确定速凝剂的最佳餐料，初凝时间不超过 5min，终凝时间不超过 10min，水泥永和和水灰比应通过配合比选择试验确定。
- 4 掌子面喷射混凝土封闭施工工艺流程如图 5.4.7 所示。



**图 5.4.7 掌子面喷射混凝土封闭工艺流程图**

**5.4.8** 掌子面超前预加固采用锚杆加固时，应符合下列规定：

- 1 掌子面加固长锚杆宜采用玻璃纤维锚杆。

#### 条文说明

玻璃纤维锚杆是一种由玻璃纤维增强塑料（GFRP）制成的工程加固材料，其特点是高强度、轻质、耐腐蚀、绝缘性能好，但抗剪强度低。由于掌子面加固属于一种临时加固措施，后续要进行开挖破除，由于玻璃纤维锚杆具有抗剪强度低的特点，开挖过程中容易破除，所以成为掌子面加固常用的材料。

2 掌子面锚杆钻孔宜采用凿岩台车或多功能钻机，施作时应控制钻孔位置、深度和角度。

3 掌子面锚杆注浆材料应采用速凝水泥浆（砂浆）或树脂等材料，快速提供支护强度。

- 4 掌子面锚杆施工工艺流程如图 5.4.8 所示。

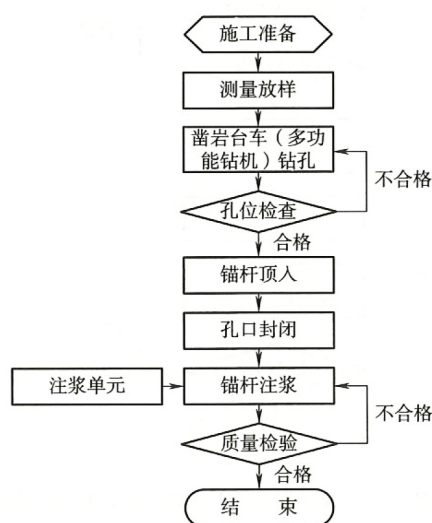


图 5.4.8 掌子面锚杆工艺流程图

5.4.9 掌子面超前预加固采用锚杆加固时，应符合下列规定：

- 1 富水、断层破碎带以及自稳性差的地层宜采用掌子面预注浆加固，为大断面开挖创造条件。
- 2 预注浆宜选择压力、流量可调式、可传输注浆参数信息的注浆设备，以保证注浆质量。
- 3 施工单位应结合设备性能进行注浆工艺试验。
- 4 掌子面预注浆宜采用压力、流量可调式、可传输注浆参数信息的高压注浆设备，以保证注浆质量。
- 5 浆液材料类型应根据水文地质条件、注浆目的、注浆设备性能等因素进行选取。
- 6 注浆过程应及时调整浆液配比或采取间歇注浆措施，确保达到注浆效果。
- 7 注浆孔间距、孔深、钻孔偏斜率及注浆效果检查可参照《公路隧道施工技术规范》JTG F60 的相关规定执行。
- 8 掌子面预注浆施工工艺流程图如图 5.4.9 所示。

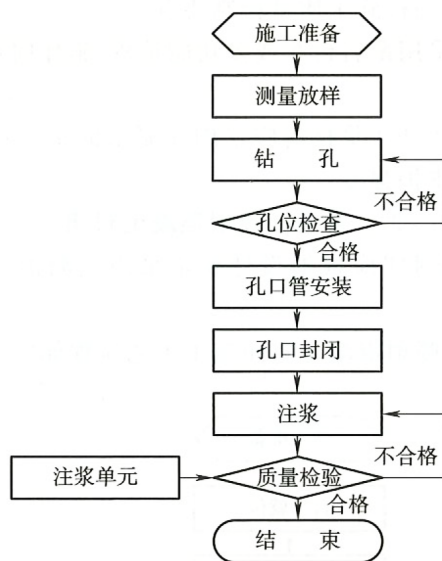


图 5.4.9 掌子面预注浆施工工艺流程图

## 6 开挖作业线

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 机械化施工隧道开挖应根据工程环境、地质条件、机械设备等因素，选择适宜的开挖工法，宜选择全断面法或上下台阶法，对软弱地层应通过超前预支护或预加固措施提高围岩自身稳定性，为大断面开挖创造有利条件。

**6.1.2** 为适应大型机械设备布置和作业的需要，仰拱与掌子面、二次衬砌与掌子面安全步距不能满足《公路工程施工安全技术规范》(F90-2015)要求时，可进行适当调整，但必须组织专家进行专项论证，并报相关部门审批，方可实施。

**6.1.3** 岩质地层隧道开挖应采用光面爆破技术，循环进尺应与机械设备、支护参数相匹配，严格控制超欠挖。

**6.1.4** 爆破作业及爆破物品管理，应符合现行《爆破安全规程》(GB 6722-2014)有关规定。

### 6.2 钻爆设计

**6.2.1** 钻爆设计应符合下列要求：

- 1 应设计掏槽眼、辅助眼、周边眼和底板眼的布置、深度、角度和数量。
- 2 应设计爆破器材、装药量和装药结构，起爆方法和爆破顺序。
- 3 应明确钻眼机具和钻眼要求，主要技术指标和必要的说明。

**6.2.2** 掏槽眼的形式应根据钻眼机具、断面大小、循环进尺、围岩级别以及爆破振动等要求选择。凿岩台车大断面施工掏槽眼宜采用楔形掏槽，角度应根据臂架长度、断面大小、循环进尺进行设计。

**6.2.3** 炮眼布置应满足下列要求：

- 1 周边眼应沿隧道开挖断面轮廓线布置，辅助眼布置应满足周边眼最小抵抗线要求。
- 2 硬质岩周边眼的轮廓线定位应处于断面设计轮廓线，软岩周边眼的轮廓线应适当向内收缩。
- 3 周边眼眼口位置误差不应超过 5cm，眼底不超过开挖断面轮廓 15cm。
- 4 其余辅助炮眼应交错均匀布置在光爆层内圈眼与掏槽眼之间。
- 5 光面爆破应结合现场实际进行试验，宜采用聚能水压爆破或长短眼结合钻孔工艺，优化装药结构，采用连续装药、间隔装药相结合的装药结构。

**6.2.4** 光面爆破参数应通过试验确定，并结合上一循环断面超欠挖情况及前方围岩情况

进行综合分析和动态调整。

### 6.3 钻爆作业

**6.3.1** I级、II级机械化配套施工的隧道应选用凿岩台车进行钻孔，宜优先配置全电脑凿岩台车。III级机械化配套施工的隧道可采用多功能台架配合风动凿岩机钻孔。

**6.3.2** 凿岩台车就位前，应对作业面基底进行平整处理，基底应密实，满足凿岩台车承载力要求，并保持掌子面至仰拱段临时水沟畅通。

**6.3.3** 作业前应确认电器设备、油路、水路及电缆等完好后方可启动。

**6.3.4** 每循环施工前应进行试钻，根据试钻的深度、推进速度、所需时间、间距，确定冲击压力、推进压力、旋转压力等关键参数。

**6.3.5** 上一循环支护应预留一定工作面，以保证下一循环掌子面周边眼钻孔起眼点外插角度准确。

**6.3.6** 开挖面凹凸较大时，应按实际情况调整炮眼深度和装药量，使周边眼和辅助眼底位于同一垂直面上。

**6.3.7** 凿岩台车施工工艺流程如图 6.3.7 所示。

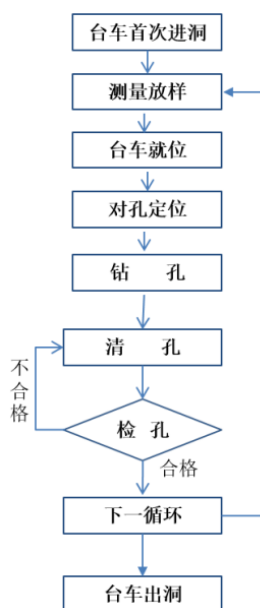


图 6.3.7 凿岩台车施工工艺流程

#### 1 台车首次进洞

- a) 台车进洞前，应查看场地周围，确认安全后，方可按照引导人员指示信号作业；
- b) 台车应停放在平地上，不应在斜坡上停车。

**2 测量放样：**每循环前准确放样，绘出开挖断面的中线和轮廓线，标识炮眼位置。炮眼数量、间距应严格按照钻爆设计要求控制，周边眼布设应根据爆破效果及时进行修正。

### 3 台车就位

- a) 工作场地应平整，台车就位后应立即张开支腿，确保台车停放稳固；
- b) 检查交流电是否已接通及相序是否正确；
- c) 应先用压缩空气排除管内的尘埃后接上水源。

### 4 对孔定位

- a) 多臂凿岩机就位后应根据爆破设计孔位准确定位；
- b) 采用全电脑多臂凿岩机时宜采用电脑智能对孔定位；其他类型凿岩台车宜采用人工辅助对孔定位，其空位中心位置偏差不应大于 20mm。

### 5 钻孔

a) 开孔作业时多臂凿岩机的推进梁定位盘应贴紧岩面，用低冲击压力开孔，在成孔中稳步推进凿岩作业。在钻孔过程中不应用钻机打击岩面，防止钻头因强烈冲击受到损伤；

b) 操作工应熟悉炮眼布置图，特别是周边眼位置及外插角，钻孔应准确。周边眼的误差不应大于 50mm，外斜率不应大于 50mm/m，眼底不应超出开挖轮廓线 100mm；锚杆钻孔应垂直岩面（或节理面），角度偏差不应大于 20°，孔位偏差不应大于 50mm。钻进过程中应时刻注意成孔情况，发现偏位时应及时调整，确保成孔质量；

c) 炮眼宜根据机械臂的数量分区分块、自上而下，按顺序施钻；

d) 开挖面凹凸较大时，应调整炮眼深度；炮眼位置凹凸不平时，应将待钻孔位置进行平整，再行施钻；

e) 开孔宜避开裂隙、夹层位置，并根据岩层产状及时调整爆破设计。掌子面有较大的裂隙、夹层时，可用炮泥填塞，减少爆破气压损失；

f) 施工时宜施钻一个标准炮眼，其余炮眼按此标准进行平行钻眼。

### 6 清孔： 应采用高压风或高压水将孔内残余泥浆、存水及石粉吹净。

### 7 检孔：

- a) 钻孔完成后，应按炮眼布置图对孔位、孔径、孔深进行检查，并做好检查记录；
- b) 炮眼不符合要求时应进行补钻，经检查合格后方可进行下道工序施工。

### 8 台车出洞

a) 台车出洞前，应查看场地周围，确认安全后，方可按照引导人员指示信号退场；

b) 应将台车停放在安全区域，将导杆和钻臂以行走状态摆成水平位置，各操纵杆置于零位；

b) 应清洗台车外露部分，保持台车清洁。

c) 长大隧道爆破时，设备距爆破作业点距离不小于 500m。

## 6.4 开挖方法

**6.4.1** 应根据地质条件、隧道开挖断面、机械装备性能选择开挖方法。不同围岩条件下机械化开挖方法可参考表 6.4.1。

**表 6.4.1 不同围岩条件机械化施工开挖方法**

序号	开挖方法		适用围岩级别	备注
1	全断面法		II~IV	II、III级围岩地段宜采用全断面法。IV级围岩一般地段采用适当的预加固措施后可采用全断面法
2	台阶法	两台阶法	IV~V	IV级围岩一般地段可采用两台阶法，V级围岩一般地段采用适当的掌子面预加固措施后可采用短台阶法
3		三台阶法	V	V级围岩特殊地段采用有效的预加固措施后可采用三台阶法

**6.4.2** 短台阶法台阶长度宜为 3~5m，上下台阶法上台阶高度宜为设计断面高度的 1/2~1/3；三台阶上台阶高 5m，中台阶高 3m，下台阶高约 3m。

**6.4.2** 机械化施工隧道开挖应根据围岩级别及其自稳能力控制施工步距，在条件允许的情况下，宜按《公路施工安全技术规范》（JTG F90-2015）执行；当施工步距不满足大型机械作业时宜适当调整，仰拱与掌子面的施工步距最大值可按 III 级围岩 110m，IV 级围岩 70m，V 级围岩 60m 控制，但必须组织专家进行专项论证，并报相关部门审批同意，方可实施。

### 条文说明：

根据《公路施工安全技术规范》（JTG F90-2015），仰拱与掌子面的距离 III 级围岩不得超过 90m，IV 级围岩不得超过 50m，V 级围岩不得超过 40m。通过对大量机械化施工隧道的调研，规范规定的施工步距很难满足机械化施工机械设备布置的要求，但一般在既有规范上增加 20m 长度是能满足机械设备展布的要求。因此本规范在既有规范基础上把施工步距最大值增加了 20m，以满足机械施工的要求。

## 6.5 超欠挖控制

1 软岩隧道可采用铣挖工装进行洞身轮廓修整，控制超欠挖。机械装备应根据不同的工况与条件配备不同的液压马达、铣刨鼓和切削齿，开挖和修整宜按自下而上、中间向周边、先硬后软的原则进行。

2 炮眼间距及用药量根据节理裂隙发育和岩石软硬情况进行修正，特别是周边眼间距和用药量。周边眼宜采用长短眼环交叉布置，利用短眼控制长眼爆破后部的欠挖。

3 根据监控量测数据调整预留变形量，合理调整开挖半径，控制开挖轮廓线。

4 应在保证掌子面稳定的前提下预留 1~2 品拱架空间，减少钻杆外插角。

5 硬岩钻孔时宜在凿岩台车上加装纠偏装置控制超挖，周边眼钻孔时科选用纠偏诱导技术，通过诱导机构使钻杆钻进过程呈弧形，使钻头实现向内便宜，大道控制超欠挖效果。

6 凿岩台车电脑推进压力、推进速度、旋转压力等钻孔参数应根据岩石具体情况调整，确保钻杆平稳按设计炮眼的角度推进。

## 7 装渣与运输作业线

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 装渣与运输作业线应根据隧道施工方法、开挖断面尺寸、运输距离、运输设备能力等因素，合理选择装渣、运输和弃渣设备和方式，确保施工安全、高效。

**7.1.2** 隧道装渣与运输作业线应结合隧道施工通风、排水和供电系统进行设计和布置，确保各系统之间协调配合。

**7.1.3** 隧道运输应建立运输调度机制，根据施工进度编制运输计划，制定运输管理规定，统一协调组织，提高运输效率，确保运输安全。

**7.1.4** 装渣与运输机械的使用、管理、维护和保养，应严格执行有关规定，保证机械使用安全，正常运转，防止发生机械事故。

### 7.2 装渣作业线

**7.2.1** 装渣设备应根据隧道断面大小、岩石硬度、装渣量等因素选择合适的型号和规格，优先选用侧卸式装载机或挖掘机。

**7.2.2** 装渣设备的选型应符合以下要求：

- 1 装渣设备应能在隧道开挖断面内发挥高效率；
- 2 装渣设备的装渣能力应与开挖土石方量及运输车辆的容量相适应；
- 3 装渣设备应具有移动、装卸方便、污染小的特点；
- 4 装渣设备应配备照明、信号和报警装置，确保操作安全。

**7.2.3** 出渣与装运作业工艺流程如图 7.2.3 所示。

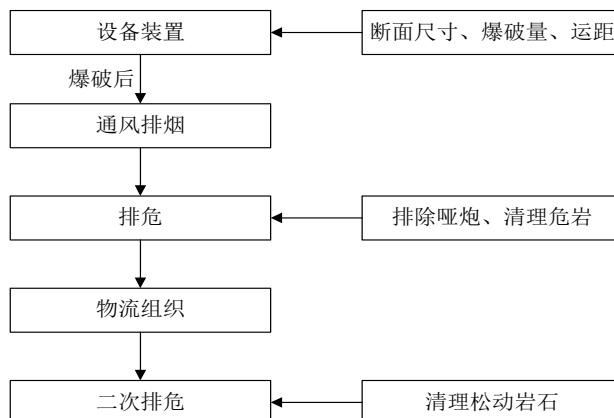


图 7.2.3 出渣与装运作业工艺流程

**7.2.4** 全断面开挖隧道装渣应采用大容量侧卸装载机或挖掘机。台阶法施工上台阶宜采用长臂挖掘机，下台阶宜采用装载机或挖掘机。

**7.2.5** 单向开挖的隧道，应根据技术经济及弃渣条件比选确定装渣方案，可采用转渣倒运的方式。

**7.2.6** 断面较小的辅助洞室可采用履带式扒渣机配合自卸汽车进行装渣运输作业。

**7.2.7** 应优先选择排污达标、噪声小的机械，洞内柴油机械应加设消烟净化装置或参入有净化添加剂，高原隧道或特殊隧道宜采用新能源装渣运输设备。

**7.2.8** 洞内装渣与运输应结合隧道通风除尘设备情况，从多方面降低粉尘危害，提高施工效率。

**7.2.9** 装渣作业应符合下列要求：

1 待装车的汽车应停在挖掘机最大回转半径范围之外，正在装车的汽车应停在挖掘机尾部回转半径之外。

2 正在装在的运输车应制动，驾驶员不得将身体的任何部位伸出驾驶室外，其他人员不得上下车和检查维修车辆。

3 运输车在挖装机械发出信号后，方可进入、驶出装车地点。

4 等待装车时，车辆之间应保持一定的安全距离。

### **7.3 运输作业线**

**7.3.1** 运输设备应根据运输距离、道路条件、载重量等因素进行选型，优先选用大吨位自卸汽车。

**7.3.2** 运输设备的选型应符合以下要求：

1 运输设备的载重能力应满足隧道出碴量的要求；

2 运输设备的外形尺寸应适应隧道断面和运输路线的要求；

3 运输设备应具有良好的制动性能和爬坡能力；

4 运输设备应配备可靠的安全装置和警示标志；

5 运输设备应便于操作和维护。

**7.3.3** 运输车辆应定期检查制动、转向系统和安全装置的完好性，大型自卸汽车应设置示宽灯或标志。

**7.3.4** 斜井内长距离斜坡运输，应在适当位置设置应急避险设施。

**7.3.5** 隧道仰拱填充、仰拱初期支护应及时施作，仰拱栈桥宜适时跟进开挖作业面，改善洞内运输路面条件。

**7.3.6** 隧道出渣运输应利用隧道信息化管理系统，充分利用信息化调度系统，对出渣车辆进行定位与调度，提高车辆利用效率。

**7.3.7** 汽车运输应符合下列要求：

1 施工作业地段的行车速度不得大于 15km/h，已做二衬地段不得大于 25km/h。在视线不良的曲线上，已经通过岔道和洞口平角道等处时，行车速度不得大于 10km/h。

2 自卸汽车卸渣时，应将车辆停稳制动，不得边卸渣边行驶；不得在坑洼、松软、倾斜的地面卸渣；卸渣后应及时使车厢复位，不得举升车厢行驶。

**7.3.6** 斜井采用有轨运输系统时，其提升设备应包括矿车、钢丝绳、绞车以及天轮等，侧卸式矿车斗容量敷设道岔及出渣运输车辆数量等宜根据专用调车设备和隧道掘进长度进行合理配置。

## 7.4 施工要求

**7.4.1** 出碴与装运作业线施工应符合以下安全要求：

1 装碴、运输和卸碴作业应统一指挥，协调配合；

2 运输线路或道路应设专人进行维修和养护，使其处于平整、畅通状态；线路或道路两侧的废碴和余料应及时清除；

3 应定期检查、维护、保养出碴运输车辆，使之处于完好状态；

4 严禁人料混载，不得超载、超宽、超高、超速运输；运装大体积或超长料具时，应有专人指挥，专车运输，并设置显示界限的红灯；运输车辆的车厢应具有良好的密封性，防止石碴在运输过程中洒落；

5 进洞的各类施工机械与车辆，宜选用带净化装置的柴油机动力。

**7.4.2** 仰拱栈桥宜采用自行式整体栈桥；仰拱栈桥引桥的最大纵向坡度宜不大于 25%。

**7.4.3** 二次衬砌施工完成后应加装隔离设施，人车分流。

**7.4.4** 出碴与装运作业线施工过程中，应采取以下环境保护措施：

1 加强通风管理，确保洞内空气质量符合相关标准要求；

2 定期对洞内空气进行检测，及时调整通风参数，保证施工人员的身体健康；

3 对装碴和运输过程中产生的粉尘进行控制，可采用洒水降尘等措施，减少粉尘飞扬；

4 在装碴点、运输路线等易产生粉尘的区域设置喷雾降尘设备，定期进行喷雾降尘。

## 8 初期支护作业线

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 公路隧道初期支护应综合考虑工程地质及水文地质条件、环境特征、施工条件等因素，合理选择配套机械和施工方法，应遵循“快支护、快封闭”的原则，减少围岩风化和控制围岩变形。

**8.1.2** 初期支护作业应选择污染小、作业人员少、强度低、效率高的组合模式，整个工序作业线设备应配套完整，相互协调。

### 8.2 喷射混凝土施工

**8.2.1** 隧道开挖后应采用全站仪和 3D 扫描仪相结合的方式对隧道断面测量和扫描，评价隧道开挖的超欠挖情况，喷射混凝土施工前对欠挖部位进行处理。

**8.2.2** 初期支护喷射混凝土应采用湿喷工艺，应采用混凝土湿喷台车进行施工作业。

**8.2.3** 软弱围岩地段应采用早高强喷射混凝土支护。早高强喷射混凝土应严格保证原材料质量及外加剂品质，配合比设计应满足喷射混凝土早期强度要求。

**8.2.4** 施工前应采用高压风将岩面吹净，保证混凝土基于岩面有效粘结。喷射应分区、分层、从底部向拱部自下而上进行，填满钢架、钢筋网与喷面之间的空隙。

**8.2.5** 施工前应进行喷射混凝土配合比试验，确定速凝剂掺量等参数；应进行试喷，确定工作压力、喷嘴距岩面距离及喷射角度等参数。

**8.2.6** 操作人员应佩戴专业防护用具。

**8.2.7** 岩面有少量渗水可适当增加速凝剂及水泥掺量，局部渗水可引排后喷射，当大量涌水宜采用堵、引相结合的方式处理。

**8.2.8** 湿喷台车喷射混凝土施工工艺流程见下图 8.2.9。

**1** 湿喷台车进洞前，应查看场地周围，确认安全后，方可按照引导人员指示信号作业。

**2** 工作场地应平整，湿喷台车就位后应在凭证的工作场地张开支腿，确保台车停放稳固；应按设置速凝剂掺量、伸展喷射臂、开风阀、计量泵、主机的顺序进行试运行，严禁将喷枪对准施工人员。

**3** 有拱架段初喷厚度宜为 2cm~5cm，喷射速度宜为 22 m<sup>3</sup>/h ~26m<sup>3</sup>/h，局部凹洼可结合初喷找平。无拱架段喷射混凝土厚度在 10cm 以下，宜从边墙到拱顶一次喷射到位。

**4** 喷射时应分区施工，喷射顺序应“先墙后拱，自下而上”。工作压力宜为 0.2MPa~0.7MPa；喷射角度宜为 75°~90°，喷头与受喷面的距离为 1m~1.5m。初喷后，应及时

进行钢筋网、钢拱架及锚杆施工。

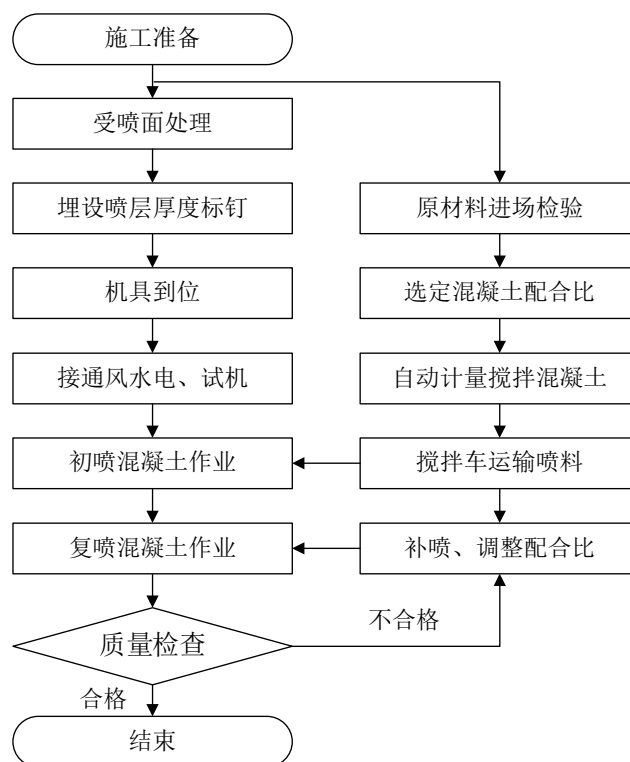


图 8.2.9 湿喷台车喷射混凝土施工工艺流程

### 8.3 锚杆施工

8.3.1 锚杆施工应在初喷后及时施作，通过机械快速施工。

8.3.2 锚杆施工宜优选选用凿岩台车、锚杆钻注一体机施工，通过机械臂和推进器安装锚杆，利用吊篮人工辅助作业平台注浆，实现钻孔与安装平行作业。

8.3.3 机械化锚杆施工应符合下列要求：

1 台车钻孔时，钻孔角度及方向应沿开挖轮廓线法线方向，对地质较差地段应根据岩层产状及节理裂隙发育情况，调整锚杆布设位置和角度。锚杆垫板与喷射混凝土面密贴，避免注浆后浆液溢出。

2 钻孔成孔后，应利用凿岩台车钻杆发箍抽插注水洗孔 2~3 次，将孔内岩屑冲洗干净。

3 利用凿岩台车吊篮安装锚杆，应将锚杆放置在吊篮的挂架中，锚杆头插入孔内，调整方向，举升操作平台，推送入孔。

4 现场应配备标准量具，宜将注浆设备与材料整合集中在车辆中，形成注浆工序单元，提高注浆施工效率。

5 锚杆钻孔、注浆应通过设备采集施工记录、实测参数等相关数据存储并传输至信息

化平台。

## 8.4 钢筋网施工

8.4.1 钢筋网应按设计网格尺寸在加工厂集中制作，钢筋网尺寸大小应方便运输和安装。

8.4.2 钢筋网应在初喷混凝土后铺挂，使其与喷射混凝土形成一体。

8.4.3 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后铺设。

8.4.4 钢筋网搭接长度应为 1~2 个网格，与锚杆或其他固定装置连接牢固。

## 8.5 钢架施工

8.5.1 钢架宜集中加工，采用冷弯成型，并应进行试拼装，以提高钢架的安装精度。

8.5.2 钢架施工应采用多功能拱架安装台车进行安装，优化拱架分节，提高施工效率。

8.5.3 采用多功能拱架安装台车应实现台车机械臂与吊篮相结合，拱架分节与台车机械臂抓举功能相适应，优化拱架安装顺序，快速形成闭环结构。

8.5.4 拱架安装台车施工工艺流程见下图 8.5.4。

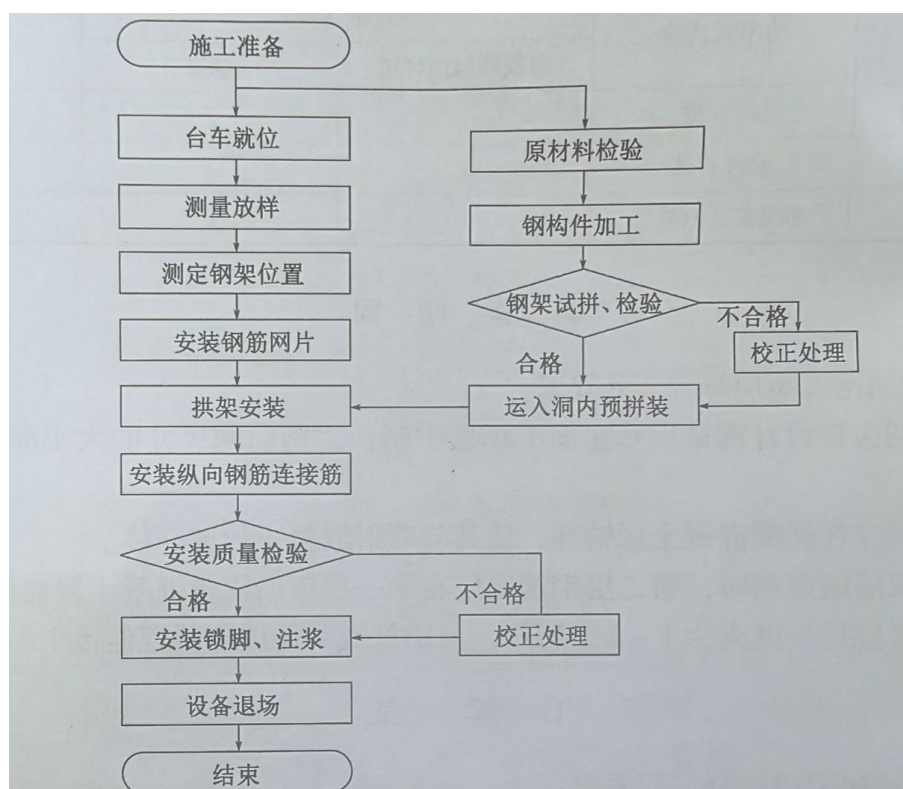


图 8.5.4 拱架安装流程图

1 每循环拱架安装前应准确放样并校核，控制点精度应符合《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的规定。测量人员应准确标识拱架安装的中线、标高及拱脚设计位置，超欠挖位置应及时处理。

2 拱架台车应依据设计中线、拱顶高程及断面尺寸准确定位；拱架台车就位后应采用液压支撑或螺旋支撑，严禁轮胎支撑受力。

3 拱架台车行走时应保证各机构同步行进；行走过程中应保证拱架台车下端无障碍，确保拱架台车行进顺畅。

4 钢拱架应分节段提升至工作平台后，由人工进行螺栓连接等辅助安装工作；

5 钢拱架安装后应及时打设锁脚锚杆（管），并与钢拱架焊接牢固；

6 钢拱架应紧贴岩面，必要时可在岩面挖槽就位或采用定位钢筋固定；

7 拱架台车移位前，应查看场地周围，确认安全后，方可按照引导人员指示信号移动；拱架台车移位过程中应缓慢平稳，不应生拉硬拽。

## 9 仰拱及铺底作业线

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 仰拱及铺底施工应在初期支护稳定后及时进行，以实现受力闭合体系和结构稳定。

**9.1.2** 仰拱及铺底施工应与开挖进尺协调，宜采用分段顺序衔接施工方式，避免形成长距离未封闭开挖段。

**9.1.3** 仰拱及铺底施工宜采用机械化作业台车或装配式预制构件，以减少人工作业强度。

**9.1.4** 仰拱与铺底的防排水设施应与主体结构同步实施，确保排水顺畅与结构防水一体化。

**9.1.5** 仰拱与铺底施工过程中应同步开展监控量测，重点监测收敛变形、仰拱隆起及底鼓发展情况。

### 9.2 仰拱开挖与基底处理

#### 9.2.1 仰拱开挖及施工应采用自行式移动栈桥施工，移动式栈桥主要要求如下：

**1** 仰拱施工应采用大跨度自行式移动栈桥，实现桥上通车过人、桥下钢筋绑扎，分段完成仰拱和填充混凝土浇筑，保持洞内平行作业，减少对掌子面开挖和支护的影响。

**2** 栈桥及其组件应具有足够的强度和刚度，确保车辆在满载时平稳与安全通行。

**3** 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。

**4** 栈桥有效跨度不小于两模衬砌长度，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。

**5** 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。

**9.2.2** 仰拱开挖应根据围岩条件合理选择开挖方式，宜采用机械化作业，并应保证开挖断面尺寸精度。

**9.2.3** 仰拱基底应清理浮石、整平，必要时进行压实，仰拱开挖深度与弧度应满足设计。

**9.2.4** 基底承载力应符合设计要求，当不足时，应通过注浆加固或其他增强方法处理。

**9.2.5** 仰拱开挖与基底处理流程如图 9.2.5。

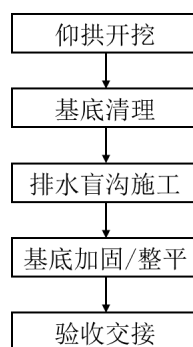


图 9.2.5 仰拱开挖与基底处理流程图

### 9.3 仰拱结构施工

9.3.1 仰拱及铺底钢筋宜集中加工并统一配送，施工现场应采用胎架定位，避免现场散拼。

9.3.2 装配式仰拱、铺底宜在工厂标准化预制，施工时采用机械吊装与定位设备，确保拼装精度和整体受力连续性。

9.3.3 现浇仰拱、铺底宜采用移动式模板台车，施工时应保证断面尺寸精度。

9.3.4 装配式仰拱、铺底构件应采用机械吊装与定位设备，安装精度应符合设计要求。

9.3.5 仰拱及铺底混凝土宜采用泵送施工并进行机械振捣密实，不得出现蜂窝、麻面、露筋。

9.3.6 装配式仰拱与铺底施工应保证受力连续、防水可靠，并采取措施对接缝进行密封与防水处理。

9.3.7 仰拱结构现浇作业流程如图 9.3.7。

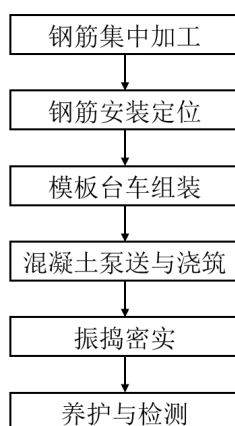


图 9.3.7 仰拱结构现浇作业流程图

9.3.8 仰拱结构预制作业流程如图 9.3.8。

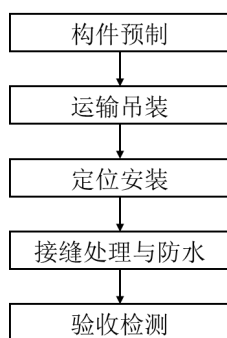


图 9.3.8 仰拱结构预制作业流程图

## 9.4 铺底施工

9.4.1 铺底施工应在仰拱完成并达到设计强度后进行，确保形成整体受力体系。

9.4.2 铺底混凝土应连续浇筑，宜采用泵送施工，减少施工缝。

9.4.3 铺底混凝土施工完成后，应按规范要求养护，并进行厚度、强度等质量检测。

9.4.4 铺底结构作业流程如图 9.4.4。

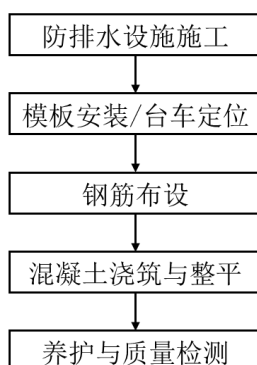


图 9.4.4 铺底结构作业流程图

## 10 防排水作业线

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 防排水措施应遵循“防排堵截相结合，因地制宜，综合治理”的原则，应对地表水、地下水妥善处理，形成完整的防排水系统，应使防水可靠、排水畅通。

**10.1.2** 二次衬砌施工前，应严格按照设计做好衬砌背后的防排水设施，防水层不得有影响衬砌厚度的皱褶、绷弦现象，二次衬砌背后纵向盲管，不得侵占二次衬砌结构空间。

**10.1.4** 防排水材料应满足国家、行业标准和设计要求，有出厂合格证明，并按相关规范进行检验。

**10.1.5** 隧道排水不得污染环境，不得造成农田水利设施、既有排水设施的损害。环境敏感区、可能对饮用水源造成影响的隧道，应制定专项排水方案。

**10.1.6** 施工期间排水设施宜与永久排水相结合，应配备足够的抽水设备和排水器材，并及时清理、疏通，保证施工和运营期间排水通畅，不得造成排水设施堵塞。

**10.1.7** 施工中应对洞内出水部位、水量大小、涌水情况、变化规律、补给来源、排泄去向等做好观测和记录。

### 10.2 排水施工

**10.2.1** 排水施工应结合工程地质与水文条件，通过标准化施工确保排水系统设计合理、施工规范，保障排水通畅，以满足隧道结构安全、运营环境及耐久性要求。

**10.2.2** 对于山岭公路隧道机械化施工期间的排水施工要求均遵循《公路隧道施工技术规范（JTG/T 3660-2020）》。

**10.2.3** 排水盲管和横向导水管施工应符合下列规定：

**1** 排水盲管的材质、强度、透水性应符合相关规范的规定，尺寸规格应满足设计要求，盲管不得有凹瘪、扭曲。

**2** 环向排水盲管、竖向排水盲管应紧贴初期支护表面敷设，布置间距应满足设计要求，应在有集中渗水位置敷设，在地下水较大地段应适当加密。

**3** 纵向排水盲管敷设的纵向坡度应与隧道纵坡一致，不得起伏不平，不得侵占衬砌结构空间。纵向排水盲管可选用梯形排水盲管。

**4** 环向排水盲管、竖向排水盲管与纵向排水盲管应采用三通连接，并应连接牢固。

**5** 环向排水盲管、竖向排水盲管、纵向排水盲管管体应采用土工布包裹。

6 横向导水管应采用硬质不透水管，横向导水管与纵向排水盲管应采用三通连接并应连接牢固，衬砌混凝土浇筑时应露出横向导水管管头。

7 横向导水管排水坡度不应小于设计值。

### 10.3 防水施工

10.3.1 防水施工工艺见图 10.3.1。

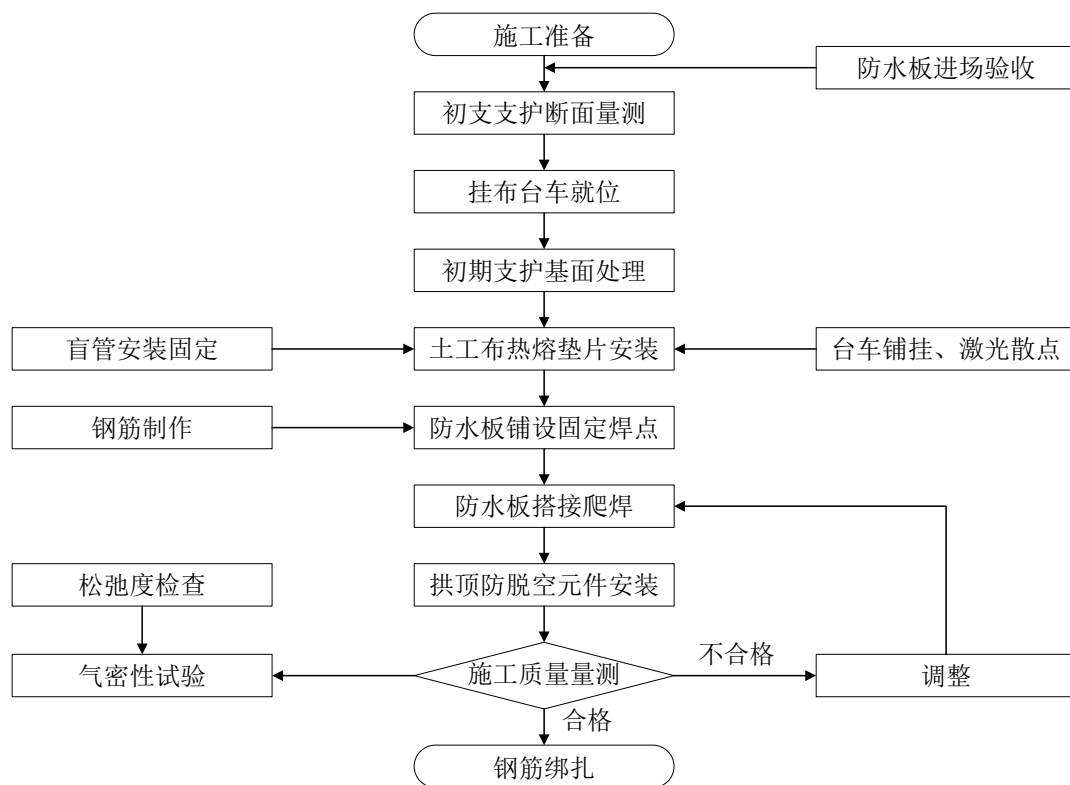


图 10.3.1 防水施工工艺流程图

10.3.2 防水层铺挂宜选用自动挂布台车，衬砌防水层焊接宜选用自动爬行焊接机。

10.3.3 防水层铺设应符合下列规定：

1 无纺布铺设前宜采用全站仪或三维激光扫描仪对初期支护面进行断面检测，欠挖位置应准确标记并及时处理。

2 防水板铺设前，应对初期支护表面进行处理：

a 锚杆头和钢筋露头应切除，并用细石混凝土抹平覆盖

b 凹坑深宽比大于 1/20 的部位，采用细石混凝土填平，基面严重不平整时，应进行复喷。

3 无纺布和防水板应分幅逐环铺挂，无纺布应先于防水板铺挂，每幅宽度宜为 2.5m~4.0m，铺挂顺序应从拱顶向两侧边墙环向展铺，松紧应适度。

4 无纺布应采用射钉枪射打铁钉，并采用热塑性垫圈固定；防水板应紧贴无纺布铺挂，宜采用自贴式防水板，应采用无钉铺挂，铺挂固定点间距拱部宜为 0.5~0.7m，侧墙宜为 0.7~1.0m，在凹处应适当增加固定点，与热塑性垫圈焊接固定，其粘结剥离强度应不小于防水板的抗拉强度。相邻两幅防水板之间应采用焊接连接，可边铺边焊。

#### 10.3.4 防水板焊接应符合下列规定：

1 相邻两幅防水板质检应采用焊接连接，可边铺边焊。防水板的搭接宽度不应小于 100m，宜采用自动爬焊机双缝焊接，双缝焊每条焊缝宽度不应小于 10m；无法采用自动爬焊机焊接的个别局部搭接位置，可采用手持焊枪焊接，焊缝宽度不应小于 20mm。

2 焊接时，焊缝接头应平整、不应有皱褶和空隙，焊接面应擦拭干净。

3 防水板焊接前应进行焊接试验，确定适宜的焊接温度和速度，不得出现烧焦和熔穿现象。

4 双焊缝焊接质量应采用充气法检查，充气压力在 0.25MPa 保持 15min 后，压力下降应小于 10%。

5 采用自爬怕焊机进行防水板焊接施工时应符合下列规定：

a 防水板与热塑性垫圈焊接、特殊连接处焊接、局部漏焊及破损补焊等应采用热塑焊枪焊接，同时应采用手持滚压轮滚压。

b 严格按设计数量设置焊点，宜采用红外线定位技术进行热熔焊点定位。

c 脱焊、漏焊、假焊处应及时补焊，焊焦、焊穿处应用同样的防水板焊贴覆盖，补焊范围应为损坏面积的 2 倍以上。

### 10.4 止水施工

#### 10.4.1 中埋式止水带施工应符合下列规定：

1 应埋设在衬砌结构设计厚度中央，平面应与衬砌表面平行、与衬砌端头模板正交，止水带中间空心圆环应顺施工缝、变形缝方向并与重合安装。

2 先浇一侧混凝土应采用定型挡头模板固定止水带，挡头模板应支撑牢固。

3 后浇一侧混凝土浇筑前应清除止水带上混凝土残渣，止水带有倒转、扭曲时应采取措施扶正。

4 混凝土浇筑时止水带不应移位、折曲、倒转。

5 在衬砌转角位置的止水带应采用连续圆弧过渡，胶止水带的转角半径不应小于 200mm，钢边止水带不应小于 300mm。

6 止水带周边混凝土振捣应能使止水带与混凝土紧密结合，不留气泡和空隙，并应防止振捣造成止水带偏位或破损。

#### 10.4.2 背贴式止水带施工应符合下列规定：

- 1 应在已铺挂的防水板上准确标出施工缝位置。
- 2 在混凝土浇筑前，背贴式止水带应沿施工缝位置铺设，止水带中线应与施工缝重合，止水带两边应与防水板焊接，位置偏差应不大于 10mm。
- 3 挡头模板应将止水带顶紧、密贴，混凝土浇筑时不应漏浆。
- 4 后浇一侧混凝土浇筑前应清除止水带残留混凝土。

#### 10.4.3 不得在止水带上穿钉、打孔，应防止止水带撕裂、刺破。

10.4.4 环向止水带的长度宜根据施工要求事先向生产厂家定制，避免接头。纵向止水带确需接头时，宜根据止水带材质和止水构造采用产品规定的方法连接。

### 10.5 质量要求

10.5.1 高速公路、一级公路、二级公路隧道拱部、边墙、设备箱洞不渗水，路面无湿渍，有冻害地段的隧道衬砌背后不积水、排水沟不冻结，车行横通道、人行横通道等服务通道拱部不滴水，边墙不滴水。

10.5.2 三级公路、四级公路隧道拱部不滴水，边墙不滴水，设备箱洞不渗水，路面不积水、不滴水，有冻害地段的隧道衬砌背后不积水、排水沟不冻结。

## 11 二次衬砌作业线

### 11.1 一般规定

11.1.1 二衬作业线宜配备自动化、信息化功能的混凝土拌和站及输送设备、衬砌台车、养护台车等。

11.1.2 二衬作业线应实现机械化协同作业，减少人工干预，确保施工效率及质量稳定性。

11.1.3 混凝土拌和、钢筋加工等应实行工厂化生产。

### 11.2 钢筋施工

11.2.1 二次衬砌钢筋可采用装配式钢筋网形式预制加工。

11.2.2 二次衬砌钢筋施工工艺流程如图 11.2.2 所示。

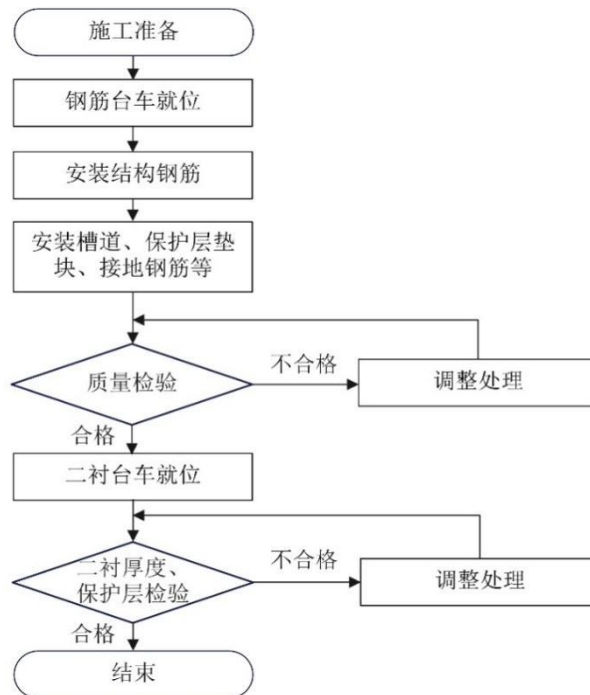


图 11.2.2 二次衬砌钢筋施工工艺流程图

11.2.3 采用自动挂布台车为作业平台进行钢筋施工时应符合下列规定：

1 钢筋在加工弯制前应调直，钢筋表面的油渍、铁锈等应清除干净，钢筋拉直、弯钩、弯折、弯曲应采用冷加工。横向钢筋与纵向钢筋的每个节点均应绑扎或焊接。

- 2 钢筋安装的长度、间距、位置、搭接长度、焊缝及保护层厚度应满足设计要求。
- 3 钢筋安装过程中应采用专用定位卡具对钢筋间距进行控制，确保钢筋线性顺直、间距均匀，并应对防水板进行保护，防止钢筋安装过程中划伤、刺破、烧伤防水板。

### 11.3 衬砌浇筑

**11.3.1** 衬砌宜采用智能衬砌模板台车施工。衬砌台车除应满足强度、刚度和稳定性等基本要求。

**11.3.2** 智能衬砌台车应具备混凝土带压浇筑、带模注浆、高频振捣器、拱顶插入式振捣、拱顶可视化浇筑以及防脱空预警等功能，实现二次衬砌逐层浇筑、逐窗振捣，保证衬砌施工质量。

**11.3.3** 二次衬砌施工前应采用 3D 扫描仪检查断面超欠挖情况，预估混凝土浇筑量，封顶时进一步确认混凝土量，保证混凝土供应到位。

**11.3.4** 衬砌台车模板与已衬砌段搭接部位应敷设橡胶等缓冲密封材料，避免已施作衬砌段混凝土受到损伤。

**11.3.5** 二次衬砌浇筑应从下至上利用灌注窗一次灌注，宜采用高压混凝土输送泵，泵送压力不小于 6MPa，拱顶混凝土至少采用 2 个浇筑孔浇筑。

拱顶混凝土浇筑时间宜控制在 2h 以内，搅拌后的混凝土应在 1/2 初凝时间内入泵，初凝前浇筑完成。

**11.3.6** 二次衬砌混凝土浇筑施工应按图 11.3.6 所示工艺流程进行。

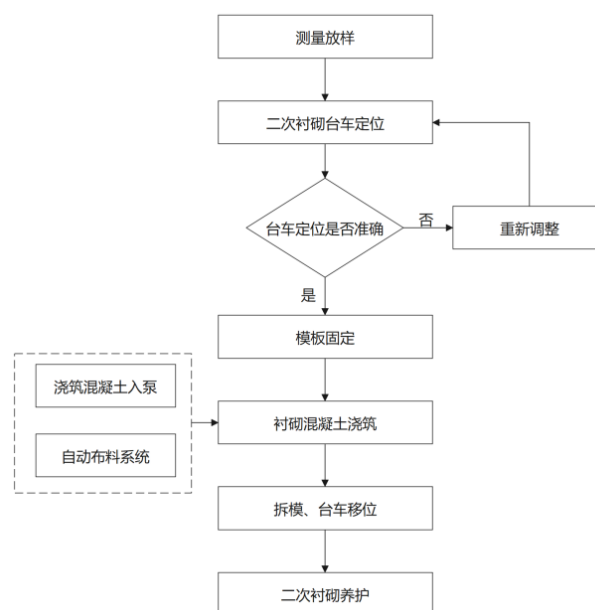


图 11.3.6 二次衬砌混凝土浇筑施工工艺流程

### 11.3.7 采用模板台车进行衬砌混凝土浇筑施工时应符合下列规定：

- 1 模板台车挡头模板宜采用可重复使用并能同时固定止水带的定型模板，且应便于固定。
- 2 按照要求提前做好注浆准备工作，确定注浆浆液配合比，严格控制好注浆压力、注浆流量，满足注浆结束标准。
- 3 拱顶宜采用带模注浆技术，以克服人为原因造成拱顶出现空洞，确保满足衬砌混凝土设计厚度。
- 4 衬砌背后空洞回填作业应在衬砌混凝土厚度达到设计厚度的条件下进行，并在下一环衬砌浇筑混凝土前完成。
- 5 台车带有拱顶浇筑监测系统，应时刻留意监测系统提示，并辅以人工观测的形式，确保拱部浇筑饱满。
- 6 采用带有附着式振捣器功能的，可采用附着式振捣器振捣，辅以人工插入式振动棒振捣的方式对浇筑混凝土进行振捣。

### 11.3.8 采用具有自动布料系统模板台车进行二次衬砌浇筑时应符合下列规定：

- 1 自动布料系统应按照“自下而上、左右对称、分层逐窗浇筑”的原则实现布料控制。

- 2 布料前应及时检查并清理布料管道内的混凝土余料或堆积的浮浆。
- 3 管路接口锁紧时应使用橡胶密封圈封闭管路的接口缝隙，并使用管卡锁紧。
- 4 锁紧机构应具有足够的预紧力，防止管卡在泵送过程中发生松动，导致漏浆。
- 5 浇筑泵送混凝土过程中应随时关注泵送状态，防止发生堵管、漏浆、管路爆裂、管路松动等问题。
- 6 完成局部浇筑的分支管路应及时清洗。

**11.3.9** 二次衬砌拆模时的混凝土强度应达到 8MPa；拆模时混凝土内部与表层、表层与环境之间的温差不得大于 20℃，结构内外侧表面温差不得大于 15℃，混凝土内部开始降温前不得拆模。

#### **11.4 养护作业**

**11.4.1** 宜采用汽雾养护法，混凝土表面湿度应达到 90%以上，养护时间应满足规范要求。

**11.4.2** 宜采用自行式二衬自动喷雾（喷淋）养生台车；高寒地区宜采用智能蒸汽养生台车。

**11.4.3** 二次衬砌养护台车应紧跟模板台车，养护不到的部位应增加其他辅助措施，确保二次衬砌全范围养护。

## 12 沟槽作业线

### 12.1 一般规定

12.1.1 沟槽宜采用自行式一体化沟槽模板台车施工，并配置边墙凿毛机等设备。

12.1.2 电缆沟槽台车的选型应满足隧道电缆沟槽连续、快速施工的基本功能需要，同时应具备电动行走及全幅浇筑功能。

### 12.2 沟槽施工

12.2.1 沟槽混凝土施工宜结合预埋管线和预埋洞室设计统筹安排，保证预埋管线相通。

12.2.2 沟槽施工前，宜采用凿毛机对衬砌混凝土边墙进行凿毛处理。

12.2.3 作业前应确认电器设备、油路、水路以及电缆等完好后方可启动。

12.2.4 沟槽台车施工应遵循“准备-定位-浇筑-脱模-养生”的标准化流程。

12.2.5 沟槽结构施工工艺流程如图 12.2.5 所示。

### 12.3 质量控制

12.3.1 沟槽混凝土纵向宜根据不同结构类型、地质条件、温湿度变化、结构形变等因素分段施工。

12.3.2 沟槽施工缝宜与仰拱和拱墙二次衬砌的环向施工缝（或变形缝）对齐。

12.3.3 沟槽台车移动前应检查台车的行走系统、模板系统、支撑系统是否完好，重点检查模板的平整度、拼接缝密封性，避免浇筑时出现漏浆，并检查预埋件安装情况。

12.3.4 每次浇筑前，使用全站仪对台车模板进行二次定位，重点监控沟槽的中心线、高程及侧壁垂直度；定位完成后，采用斜撑或顶丝固定模板，防止浇筑时移位。

12.3.5 沟槽混凝土施工宜采用中低坍落度混凝土。

12.3.6 混凝土浇筑宜采用插入式振捣棒配合附着式振捣器进行振捣。

12.3.7 沟槽混凝土宜在达到规定强度后进行脱模作业，防止脱模过早造成混凝土缺棱掉角，或者脱模过晚不利于芯模拔出，脱模后宜及时覆盖保温保湿养护。

12.3.8 施工时应做好预埋泄水管的安装和疏通，防止混凝土堵塞管孔。

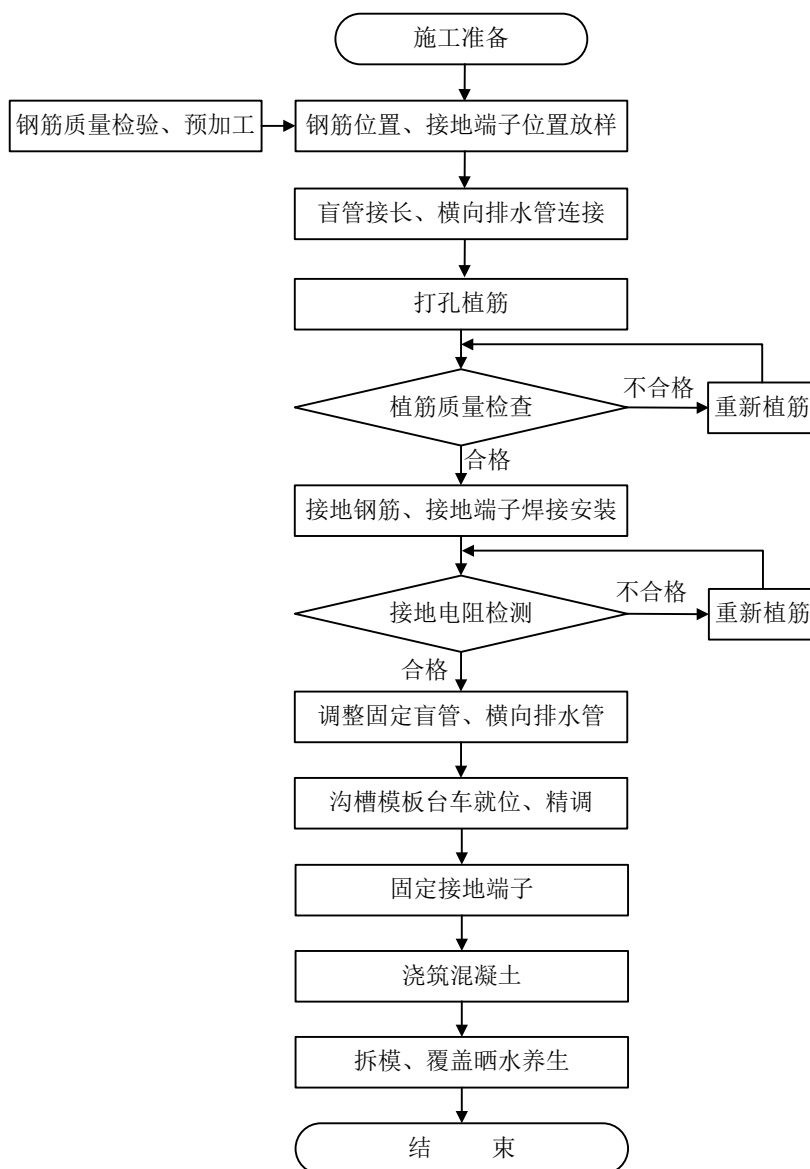


图 12.2.5 沟槽施工工艺流程

## 13 辅助作业线

### 13.1 一般规定

**13.1.1** 辅助作业线主要包括通风作业线、供电作业线、施工排水作业线、监控量测作业线、施工质量控制作业线、缺陷处理作业线、风险管理与应急救援作业线等。

**13.1.2** 辅助作业线应与主体工序统筹策划、平行组织，保证施工连续性与安全性。

**13.1.3** 辅助系统宜采用机械化、自动化与在线监测手段，并设置必要冗余，确保关键设施发生故障时可快速切换。

**13.1.4** 辅助作业线的安全、质量与环保控制应纳入施工组织设计及专项方案，并实行动态校核与优化。

### 13.2 通风作业线

**13.2.1** 施工通风应采用主/备风机与风筒系统，满足掌子面机械化施工空气质量与施工温湿度等安全要求。

**13.2.2** 风筒铺设应平顺、接口密封、悬挂牢固。

**13.2.3** 通风系统应配置在线监测与一键切换功能。

**13.2.4** 通风作业流程如图 13.2.4。

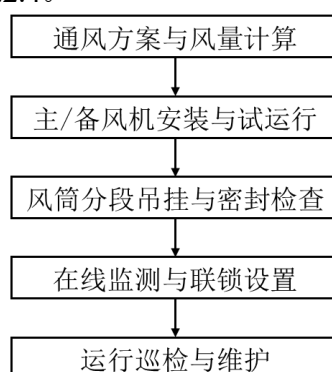


图 13.2.4 施工通风作业流程图

### 13.3 供电作业线

**13.3.1** 施工供电应实行分级配电与双重保护，配电装置设置在通风良好位置。

**13.3.2** 电缆宜机械化敷设并采取固定与防潮措施。

**13.3.3** 机械化施工高功率设备启停应纳入负荷管理，供配电参数实施在线监控。

**13.3.4** 供电作业流程如图 13.3.4。

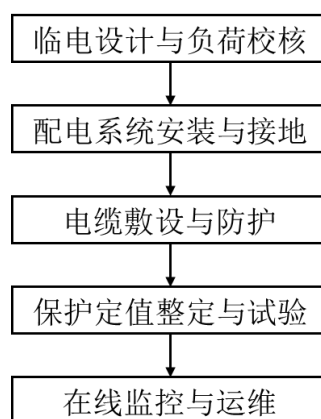


图 13.3.4 供电作业流程

### 13.4 施工排水作业线

13.4.1 排水系统应考虑机械施工排水特点，并与永久排水衔接布置，设置集水井和自动水泵。

13.4.2 排水沟与盲沟应保证纵坡与通畅，必要时分级排放。

13.4.3 排水作业流程如图 13.3。

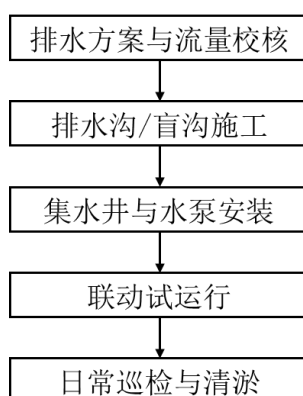


图 13.4.3 排水作业流程图

### 13.5 监控量测作业线

13.5.1 监控量测应包应覆盖掌子面稳定性监测、初支稳定性监测与支护变形、内力与渗水等指标。

13.5.2 测点布设与设备安装应形成实施方案并动态调整。

13.5.3 监测数据应在线采集、实时判别并反馈施工。

13.5.4 监控量测作业流程如图 13.5.4。

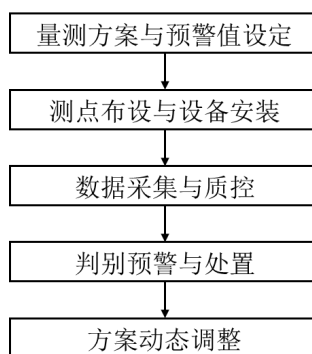


图 13.5.4 监控量测作业流程图

### 13.6 施工质量控制作业线

13.6.1 宜配置高空检测台车。采用三维激光扫描进行断面复核、支护厚度与衬砌轮廓检查。

13.6.2 扫描数据应与设计模型比对，实现偏差判定与预警。

13.6.3 三维激光扫描作业流程如图 13.6.3。

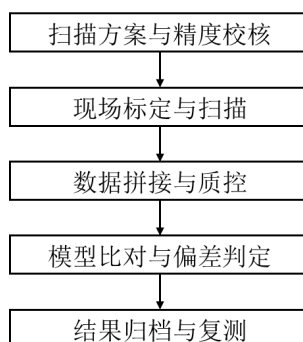


图 13.6.3 三维激光扫描作业流程图

13.6.4 支护与衬砌的外观、厚度与强度应按阶段进行检测。

13.6.5 检测批次与抽检比例应与施工进度匹配，结果应归档。

13.6.6 施工质量检测流程如图 13.6.6。

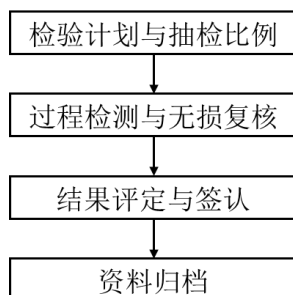


图 13.6.6 施工质量检测流程图

### 13.7 缺陷处理作业线

13.7.1 宜采用机械化措施进行施工缺陷处理，保障处理过程质量与工效。

13.7.2 对空洞、裂缝、渗漏等缺陷应分类评估并编制处治方案。

13.7.3 处治完成后应复测并纳入监测清单。

13.7.4 缺陷处理作业流程如图 13.7.4。

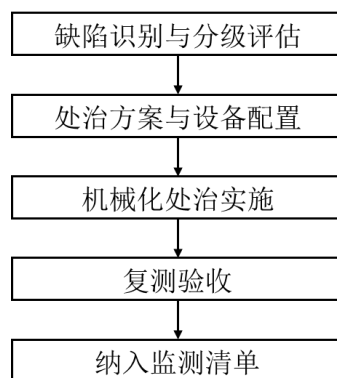


图 13.7.4 缺陷处理作业流程图

### 13.8 风险管理与应急救援作业线

13.8.1 应建立风险分级管控与隐患排查机制，实行作业许可和设备点检。

13.8.2 关键设备应与监测预警系统连锁，形成闭环管理。

13.8.3 应结合机械化施工特点，建立涵盖通风、供电、火灾、涌水与运输事故的应急预案。

13.8.4 应急设施与物资应保持可用状态，并定期演练与评估。

13.8.5 风险管理与应急救援作业流程如图 13.8.5。

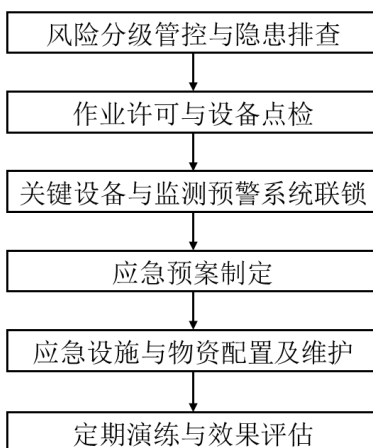


图 13.8.5 风险管理与应急救援作业流程图

## 14 信息化施工与管理

### 14.1 一般规定

**14.1.1** 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。

**14.1.2** 隧道机械化施工信息化应配备满足要求的仪器设备、硬件、软件及网络环境和必备的数据采集终端等。

**14.1.3** 隧道机械化施工信息化数据传输应选用稳定可靠的传输方式，并具备数据加密和断点续传功能。

**14.1.4** 隧道机械化施工信息化相关人员应及时采集、上传原始数据，确保数据真实、连续、可靠，根据平台的预警信息，及时反馈，采取相应工程措施。

### 14.2 技术要求

**14.2.1** 隧道机械化施工应配备隧道人员定位、视频监控、安全步距监测、粉尘及有害气体监测、监控量测及超前预报等系统及相应管控措施。

**14.2.2** 隧道人员定位管理采集的数据应包括人员信息（年龄、性别、班组、部门、职务、身份证号、手机号码）、进出洞时间、实时位置等。

**14.2.3** 隧道换拱、塌方段处理、涌水作业面、地层不稳定作业面等应加强监控的作业面应接入视频监控。竖井、斜井等重点部位施工时宜接入视频监控。其他重点施工部位（拌和站、钢筋场等），可根据需要自行安装。隧道工程施工现场应设置现场视频监控室。

**14.2.4** 安全步距应按“二次衬砌-掌子面”、“仰拱-掌子面”两种类型分类管理。数据采集装置宜在模板台车端头（靠近掌子面端）安装。

**14.2.5** 粉尘及有毒有害气体监测应包括粉尘 PM10、瓦斯、氧气、一氧化碳、硫化氢等气体浓度。瓦斯隧道工程应按现行的《公路瓦斯隧道设计与施工技术规范》（TG/T 3374）开展瓦斯气体专项监测。

**14.2.6** 隧道监控量测项目、断面及测点布设、监测频率、预警控制值等应参照现行的《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）执行，信息化监控量测系统应与门禁进入系统联动，并符合国家现行测量、监测标准与软件工程标准规范。

**14.2.7** 超前地质预报工作应按照现行的《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）要求实施，并重点对现场调查、采集的原始资料和分析结论等内容进行信息化管理。

**14.2.8** 应对隧道施工机械设备实施信息化管理，自动采集施工数据，实时上传至信息化管理平台。具体数据采集技术要求如下：

1 凿岩台车应自动采集钻孔数据、实际炮眼位置、锚杆钻孔情况，并具备自动生成隧道地质分析轮廓揭示图、地质分析断面揭示图、开挖及支护轮廓线扫描图等。

2 地质钻机、气腿式凿岩机、锚杆机等设备应自动采集钻机转速、风压及钻孔深度等数据。

3 注浆设备应自动采集注浆压力、注浆量、保压时间等数据。

4 湿喷台车、喷浆机等设备应自动采集喷浆速度、喷浆压力与喷浆量等数据。

5 模板台车应通过传感器对混凝土入模温度、台车自身应力等数据进行自动采集。

**14.2.9** 隧道机械化施工应从施工过程中对原始数据进行收集分析，对工程施工质量进行数字信息化管理。