贵州省交通运输厅技术指南

JTZN52/T03-2025

公路隧道钻爆法机械化施工技术指南（试行）

Technical Guideline for Mechanized Construction of Highway Tunnel by Drilling and Blasting Method

2025-02-26 发布　　2025-02-26 实施

贵州省交通运输厅　发布

贵州省交通运输厅技术指南

公路隧道钻爆法机械化施工技术指南（试行）

Technical Guideline for Mechanized Construction of Highway Tunnel by Drilling and Blasting Method

JTZN52/T03-2025

主编单位：贵州贵黄高速公路有限公司
贵州省交通建设工程质量监督执法支队
参编单位：中交第二公路工程局有限公司
招商局重庆交通科研设计院有限公司
中交二公局第六工程有限公司
批准部门：贵州省交通运输厅
实施日期：2025 年 2 月 26 日

目　录

前　言 I
1　总则 1
2　规范性引用文件 1
3　范围 2
4　术语和定义 3
5　基本规定 5
5.1 工区建设 5
5.2 节能环保 5
5.3 作业安全 6
6　施工机械配置 8
6.1 一般规定 8
6.2 常用机械设备要求 8
6.3 机械化工装配套 10
6.4 维修保养 11
7　施工技术及质量控制要点 12
7.1 一般规定 12
7.2 超前支护施工 12
7.3 洞身开挖 13
7.4 初期支护施工 14
7.5 仰拱施工 17
7.6 防排水施工 19
7.7 二次衬砌施工 20
7.8 沟槽施工 22
8　信息化技术 24
8.1 一般规定 24
8.2 技术要求 24
9　附录 26
附录 A　（资料性）公路隧道钻爆法机械化施工常用设备参数 26
附录 B　（资料性）公路隧道钻爆法机械化施工三级配置 33
附录 C　（资料性）公路隧道钻爆法机械化施工典型案例 36
参考文献 42

前　言

为促进和推动公路隧道钻爆法机械化施工技术的发展，实现公路隧道的高质量、高效率、安全环保建设。受贵州省交通运输厅委托，由贵州贵黄高速公路有限公司与贵州省交通建设工程质量监督执法支队等单位提出并编制了本指南。

本《指南》在编制过程中，与现行国家、行业标准以及贵州地区相关标准进行了充分协调；吸纳了我国公路隧道钻爆法机械化施工实践经验；吸收借鉴了国内外相关标准与先进技术；为公路隧道钻爆法机械化施工标准化提供技术支撑。

本《指南》按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》、JTG A04-2013《公路工程标准编写导则》和《贵州省交通运输厅技术指南管理办法》给出的规则起草，分为九个部分：

——第 1 部分：总则

——第 2 部分：规范性引用文件

——第 3 部分：范围

——第 4 部分：术语和定义

——第 5 部分：基本规定

——第 6 部分：施工机械配置

——第 7 部分：施工技术及质量控制要点

——第 8 部分：信息化技术

——第 9 部分：附录

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题与意见，函告贵州省交通建设工程质量监督执法支队。联系人：龚美（地址：贵州省贵阳市毕节路 1 号贵州省交通建设工程质量监督执法支队；邮编：550081；邮箱：23506395@qq.com；电话：13985000196），以便下次修订时研用。

主编单位： 贵州贵黄高速公路有限公司

贵州省交通建设工程质量监督执法支队

参编单位： 中交第二公路工程局有限公司

招商局重庆交通科研设计院有限公司

中交二公局第六工程有限公司

主要审查人员：许湘华 梅世龙 胡　涛 龚　良 程永才 王先聪 柳治国 王　晓

编写人员： 杨黔江 龚　美 伏亚锋 郭　磊 郭鸿雁 张朝强 叶安萍 胡学兵
李文娟 谭龙梦 闫忠斌 林　朝 马建云 周云腾 吕群财 陈加宝
周　阳 王大兵 李　健 周　攀 徐　考 王　冲

1 总则

1.1 为规范公路隧道钻爆法机械化施工，使之符合技术先进、配套合理、安全可靠、节能环保的要求，制定本指南。

1.2 隧道施工应编制详细的施工组织设计，机械设备配置应满足隧道施工图或专项施工方案的相关要求。

1.3 隧道施工应遵守国家和行业的质量验收标准，建立洞身开挖、初期支护（含初喷混凝土、锚杆安设、钢筋网安装、固定拱架、复喷混凝土等）、仰拱施工、防水层铺设、衬砌混凝土浇筑、衬砌混凝土养护、电缆沟槽浇筑等质量保证体系，制定切实可行的质量管理制度，采取质量保证措施。

1.4 隧道施工应遵守国家和行业的安全生产法律法规，针对机械使用场景，制定切实可行的安全制度，并做好超前地质预报、监控量测等安全保障工作，宜优先采用自动化监控量测设备，可部署信息化平台，建立施工风险监控的信息化安全保障体系。

1.5 隧道施工应遵守国家关于生态保护、环境保护、水源保护的法律法规，采取防止噪声、粉尘、废水等污染环境的措施。

1.6 隧道机械化施工除应符合本文件的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

黔交质〔2021〕57 号 关于印发《贵州省交通建设质监平台物联网监控数据接口暂行标准（试行）》的通知；

黔交执质〔2021〕9 号 关于印发《贵州省高速公路建设项目隧道工程现场端信息化建设管理规定》的通知；

GB 50194《建设工程施工现场供用电安全规范》；

GB 12523《建筑施工场界环境噪声排放标准》；

GB 8978《污水综合排放标准》；

GB 3095《环境空气质量标准》；

JTG/T 3660《公路隧道施工技术规范》；

JGJ 34《建筑机械技术试验规程》；

DB52/T 1666《公路瓦斯隧道技术规范》《贵州省地方标准》。

3 范围

本指南适用于以钻爆法为主要开挖手段，并采用机械化工装配套施工的公路隧道工程。

4 术语和定义

4.1 钻爆法 drill blast

用人工或机械钻孔、装药，采用控制爆破方式开挖的隧道施工方法。

4.2 机械化工装配套 mechanized tooling matching

采用与工程状况相适应的多种机械设备组合。

4.3 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。

4.4 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，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。

4.5 平举台车 lifting jumbo

由平台举升机构、平衡底盘，液压控制系统与电气控制系统等组成，供锚杆安装、网片安装、炸材填装、检测排险和管路布置等作业的设备。

4.6 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。

4.7 湿喷台车 wet spray jumbo

由泵送系统、行走系统、液压系统、清洗系统与机械臂等组成，供混凝土喷射作业的设备。

4.8 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。

4.9 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。

4.10 养护台车 maintenance jumbo

由门架结构、喷淋系统、行走机构等组成，供隧道衬砌混凝土养护使用的移

动整体设备。

4.11 沟槽台车 trench jumbo

由台车结构、沟槽模板、行走系统等组成，供隧道沟槽浇筑成型作业的设备。

4.12 湿喷 wet-mix method

将喷射混凝土集料、水泥和水按施工配合比用混凝土拌和机拌和均匀后投入喷射机，在喷射机喷头处加速凝剂后喷出。

5 基本规定

5.1 工区建设

5.1.1 施工场地宜选取在地基稳定、地质情况良好的区域，并进行安全评估。场地的大小应满足设备存放及维修需求，并设置排污池和油水分离池。地面应硬化，并设置相应的排水坡度。

5.1.2 隧道施工作业区域空气压缩机应能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。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。

5.1.3 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现行的《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的相关要求。

5.1.4 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。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。

5.1.5 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。

5.1.6 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。线路末端电压降满足要求时，应在洞外设置变压器，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 6 ~10 kV /0.4kV 变电站供电。

5.1.7 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。

5.1.8 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）相关要求进行配置。

5.1.9 瓦斯隧道应满足现行的《公路瓦斯隧道设计与施工技术规范》（JTG/T 3374）及贵州省地方标准《公路瓦斯隧道技术规范》（DB52/T 1666）的相关要求。

5.2 节能环保

5.2.1 隧道施工应优先选择排污达标、噪声小和能耗低的机械，且宜优先选用电

力机械。

5.2.2 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。

5.2.3 凿岩施工宜采用湿法钻孔，洞内施工区域通风量应能保证有效除尘并置换新鲜空气进入作业面。

5.2.4 施工过程中机械设备与车辆应避免漏油，废油不宜进入水体。

5.2.5 施工期间应定期对排放的气体及污水进行检测，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。

5.3 作业安全

5.3.1 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。

5.3.2 操作人员应体检合格，无妨碍作业的疾病和生理缺陷，经过专业培训、考核合格取得操作证后，并经过安全技术交底，方可持证上岗；学员应在专人指导下进行工作。

5.3.3 特种设备作业人员应持有市场监管部门或行政审批部门颁发的特种设备作业人员证件，其他特种作业人员应持有相应的有效证件。

5.3.4 机械设备应按照出厂使用说明书规定的技术性能、承载能力和使用条件，正确操作，合理使用，严禁任意扩大使用范围。

5.3.5 机械设备使用与安全生产发生矛盾时，应首先服从安全要求。

5.3.6 机械设备作业前，施工技术人员应向操作人员进行安全技术交底。操作人员应熟悉作业环境和施工条件，听从指挥，遵守现场安全管理规定。

5.3.7 进入施工区域的操作人员和配合作业人员应按规定穿戴劳动保护用品。

5.3.8 操作人员在每班作业前，应对机械设备进行检查，使用前应先试运转。

5.3.9 操作人员作业过程中应集中精力正确操作，注意机械设备工况，发现设备异常和故障应及时排查、必要时应停机检查。

5.3.10 操作人员作业过程中不得擅自离开工作岗位或将机械设备交给其他无证人员操作。无关人员不得进入作业区或操作室内。

5.3.11 实行多班作业的机械设备，应执行交接班制度，认真填写交接班记录，

接班人员经检查确认无误后，方可进行工作。

5.3.12 施工区域应为机械提供道路、水电、机棚及停机场地等必备的作业条件，并应消除各种安全隐患。作业区域内应设置充足的照明。

5.3.13 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。

5.3.14 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。

5.3.15 当发生机械事故时，应立即组织抢救，保护好事故现场，并按国家有关事故报告和调查处理规定执行。

6 施工机械配置

6.1 一般规定

6.1.1 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。

6.1.2 隧道机械化施工机械包括凿岩台车、拱架台车、平举台车、湿喷台车、液压栈桥、挂布台车、模板台车、养护台车、沟槽台车及其他辅助设备等，施工中可根据实际情况灵活配置，非自制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。

6.2 常用机械设备要求

6.2.1 凿岩台车

6.2.1.1 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。

6.2.1.2 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。

6.2.1.3 设备主要技术参数及适用范围可根据附录 A.1 选取。

6.2.2 拱架台车

6.2.2.1 应具备进行钢架抓取、移动、就位和拼装等作业的能力。

6.2.2.2 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。

6.2.2.3 设备主要技术参数可根据附录 A.2~A.3 选取。

6.2.3 平举台车

6.2.3.1 应具备进行炸材填装、拱顶质量检测、风水管安装等作业的能力，并应有足够的强度、刚度和整体稳定性，能承受各种工况下的工作荷载。

6.2.3.2 设备主要技术参数及适用范围可根据附录 A.4 选取。

6.2.4 湿喷台车

6.2.4.1 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。

6.2.4.2 宜具备外加剂精确测量、自动调节及自动计量等功能。

6.2.4.3 设备主要技术参数及适用范围可根据附录 A.5 选取。

6.2.5 液压栈桥

6.2.5.1 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。

6.2.5.2 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。

6.2.5.3 设备主要技术参数及适用范围可根据附录 A.6 选取。

6.2.6 挂布台车

6.2.6.1 应具备防水卷材自动连续铺挂与固定的功能，并满足爬焊机焊接作业的条件。

6.2.6.2 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，应能承受各种工况下的工作荷载，自制台车应经过结构验算合格。

6.2.6.3 宜配备钢筋绑扎临时定位装置。

6.2.6.4 设备主要技术参数及适用范围可根据附录 A.7 选取。

6.2.7 模板台车

6.2.7.1 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。

6.2.7.2 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。

6.2.7.3 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。

6.2.7.4 设备主要技术参数及适用范围可根据附录 A.8 选取。

6.2.8 养护台车

6.2.8.1 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。

6.2.8.2 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。

6.2.8.3 自制台车应具备设计图纸、结构验算书等。

6.2.8.4 设备主要技术参数及适用范围可根据附录 A.9 选取。

6.2.9 沟槽台车

6.2.9.1 应具备电动行走及全幅快速、连续浇筑功能。

6.2.9.2 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。

6.2.9.3 应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。

6.2.9.4 设备主要技术参数及适用范围可根据附录 A.10 选取。

6.2.10 其他辅助设备

6.2.10.1 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。设备主要技术参数可根据附录 A.11 选取。

6.2.10.2 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 8.2.8 中相应的机械设备技术要求。设备主要技术参数可依次根据附录 A.12~A.16 选取。

6.2.10.3 锚注一体机应具有进行锚杆钻孔与注浆一体化施工的能力。设备主要技术参数可根据附录 A.17 选取。

6.2.10.4 自动注浆机应配备高压力、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。设备主要技术参数可根据附录 A.18 选取。

6.2.10.5 隧道铣挖机应具备中低硬度岩石掌子面的破岩能力，铣挖速度不宜小于 30m^3/h，并具有自行行走功能，设备主要技术参数可根据附录 A.19 选取。

6.2.10.6 隧道除尘净化设备应具备快速除尘、净化空气的功能，宜优选体积小、行走灵活的设备，设备主要技术参数可根据附录 A.20 选取。

6.3 机械化工装配套

6.3.1 隧道机械化工装配套应遵循以下原则：

6.3.1.1 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。

6.3.1.2 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。

6.3.2 隧道机械化施工应根据隧道工程规模、工程地质条件及主要施工方法分级制定机械配套方案，分级标准可结合工程实际情况参考表 6.3.2 确定。不同分级配套模式的主要施工机械设备应结合工程实际情况参考附录 B 进行配置。

表 6.3.2 隧道机械化施工配套模式分级

IV级中硬岩及以上围岩占比	三车道隧道			两车道隧道		
	L≥3km	3km＞L≥1km	L＜1km	L≥3km	3km＞L≥1km	L＜1km
≥70%	I	I	II	II	II	III
＜70%	I	II	II	II	III	III

注：①I级配套模式适用于机械化程度要求高的隧道工程。②II级配套模式适用于机械化程度要求较高的隧道工程。③III级配套模式适用于机械化程度要求较低的隧道工程。

6.3.3 对于岩溶、瓦斯隧道、断层破碎带等地质复杂隧道，在不具备进行大型机械化设备作业条件时，可根据实际情况配备凿岩机、锚杆机、喷浆机等传统设备进行施工作业，但应至少配备 1 台满足相关技术要求的长距离超前钻孔设备和洞内注浆设备等。

6.4 维修保养

6.4.1 采用机械化施工的隧道宜在附近设置修配车间，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。

6.4.2 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，并应定期保养。

6.4.3 操作人员应遵守机械设备有关保养规定，认真及时做好机械设备的例行保养，保持机械设备的完好状态。

6.4.4 机械设备使用的润滑油（脂）的品牌应符合出厂使用说明书的规定，并应按时更换。

6.4.5 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。

6.4.6 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。

6.4.7 机械设备维护人员应记录和保存设备日常维护信息数据。

7 施工技术及质量控制要点

7.1 一般规定

7.1.1 施工过程中，应详细记录超前支护、洞身开挖、初期支护、仰拱、防排水、二次衬砌与沟槽等分项工程的首件工程的施工工艺及投入的机械设备种类、型号、数量、状况，并评价首件工程质量，总结经验和分析存在的问题。

7.1.2 管棚钢管、小导管钢管、锚杆杆体、钢架构件等标准构件应采用工厂化集中加工。

7.1.3 隧道施工作业时，宜适当增加二次衬砌至掌子面之间的距离，具体距离应根据围岩条件、断面大小及工装配套等情况经论证确定，经论证符合要求的应配备凿岩台车。

7.2 超前支护施工

7.2.1 隧道超前支护施工主要包括：超前管棚、超前小导管、超前锚杆以及超前预注浆等作业。

7.2.2 采用机械化施工时，超前支护钻孔作业宜选用凿岩台车，超前预注浆作业宜选用自动注浆机。

7.2.3 采用凿岩台车进行超前支护钻孔施工时应符合下列规定：

7.2.3.1 钻孔施工应按图 7.2.3.1 所示工艺流程进行：

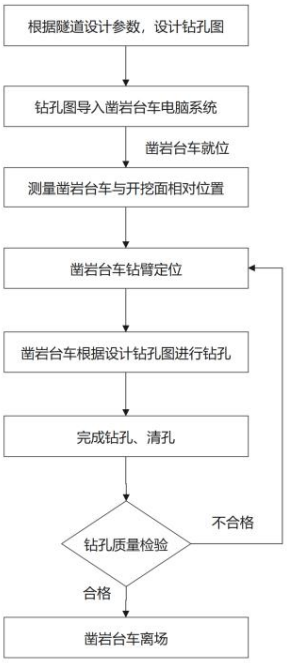

图 7.2.3.1 钻孔施工工艺流程及实施效果

7.2.3.2 凿岩台车在隧道内行驶速度应控制在 3~5km/h。

7.2.3.3 凿岩台车应支撑于稳固的地基上，防止在施钻时台车产生不均匀下沉、摆动、位移而影响钻孔质量。

7.2.3.4 钻进过程中应注意观察钻臂中的水流量及旋转压力，防止意外卡钻，造成设备损坏。

7.2.3.5 钻孔完成后应采用高压风清孔，并检查孔位、孔距、孔径、孔深及钻孔方向是否符合设计要求。

7.2.4 采用自动注浆机进行超前预注浆施工时应符合下列规定：

7.2.4.1 注浆施工应按图 7.2.4.1 所示工艺流程进行：

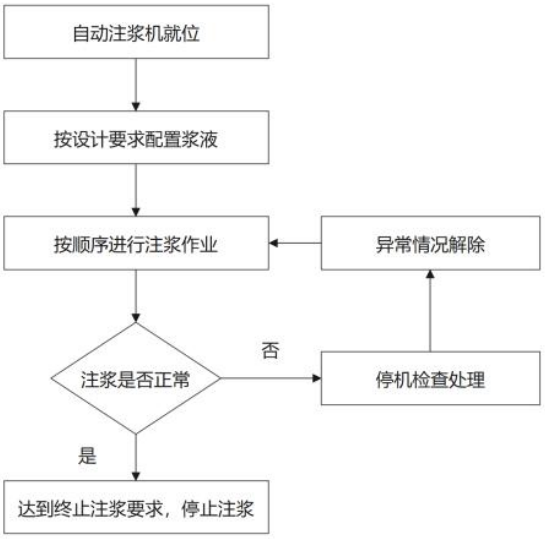

图 7.2.4.1 注浆施工工艺流程

7.2.4.2 注浆前应清洗孔内或管内沉积物。

7.2.4.3 注浆时宜按从上到下、从中间到两边的顺序进行。

7.2.4.4 单孔注浆量达到设计注浆量时，可作为结束注浆的标准。注浆压力达到设计终压并终压不小于 10min 时也可结束注浆。

7.3 洞身开挖

7.3.1 洞身开挖施工主要包括：炮孔布置与钻孔、装药、爆破等作业。

7.3.2 炮孔钻孔作业宜选用凿岩台车或经改装的凿岩机，改装凿岩机应具备自动采集和传输钻机转速、钻进速度与钻进深度等数据的功能。

7.3.3 采用凿岩台车进行洞身开挖炮孔钻孔施工时应符合下列规定：

7.3.3.1 钻孔施工应按图 7.2.3.1 所示工艺流程进行。

图 7.3.3.1-1 掌子面炮孔钻孔施工

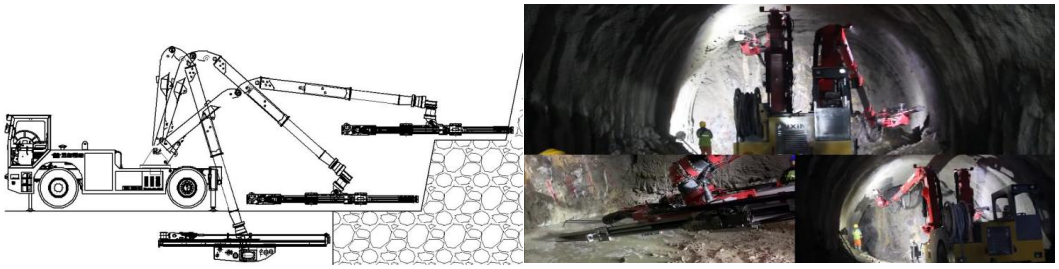

图 7.3.3.1-2 仰拱炮孔钻孔施工

7.3.3.2 凿岩台车在隧道内行驶、停放与作业应满足 7.2.3 条的相关要求。

7.3.3.3 钻孔作业前应校核开挖导线，确定凿岩台车定位坐标。

7.3.3.4 钻孔时应自上而下，按顺序施钻。

7.3.3.5 钻孔完成后应对孔内进行清理，并按炮眼布置图检查、记录，对不满足要求炮眼应重钻，再次检查合格后方可装药。

7.4 初期支护施工

7.4.1 初期支护施工主要包括：初喷混凝土、锚杆支护、钢筋网安装、钢架安装、复喷混凝土等作业。

7.4.2 钢架安装作业宜选用拱架台车，喷射混凝土作业宜采用湿喷台车，锚杆支护作业宜采用锚注一体机。

7.4.3 采用拱架台车进行钢架安装施工时应符合下列规定：

7.4.3.1 钢架安装施工应按图 7.4.3.1 所示工艺流程进行。

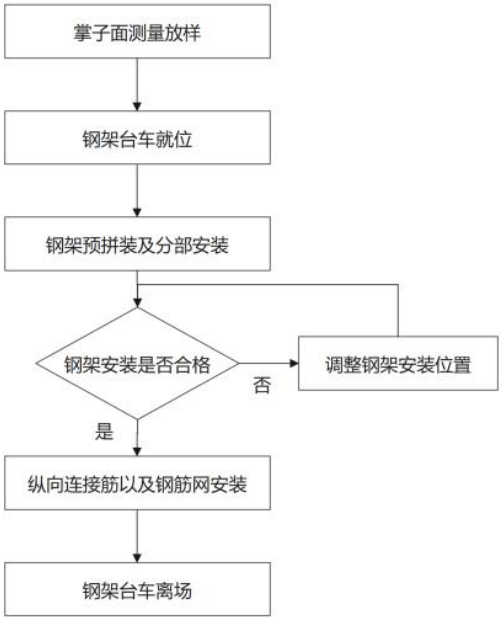

图 7.4.3.1 钢架安装施工工艺流程

7.4.3.2 钢架安装前应清除钢架拱脚虚渣，使之支承在稳固的地基上。

7.4.3.3 钢架应分节段拼装，节段长度应根据开挖断面大小、台阶高度及拱架台车工作能力确定。

7.4.3.4 钢架节段与节段之间应通过连接钢板用螺栓连接，连接时，连接螺栓应拧紧。相邻两榀钢架之间应采用钢筋或型钢按照图 7.4.3.4 所示进行连接。

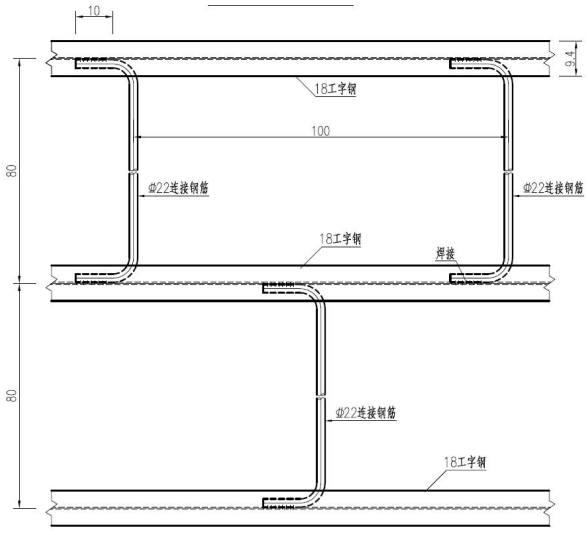

图 7.4.3.4 钢支撑连接大样图（单位：cm）

7.4.3.5 钢架安装后应检查钢架安装位置、间距、倾斜度等是否满足设计要求。

7.4.4 采用湿喷台车进行湿喷作业时应符合下列规定：

7.4.4.1 湿喷作业应按 7.4.4.1 所示工艺流程进行：

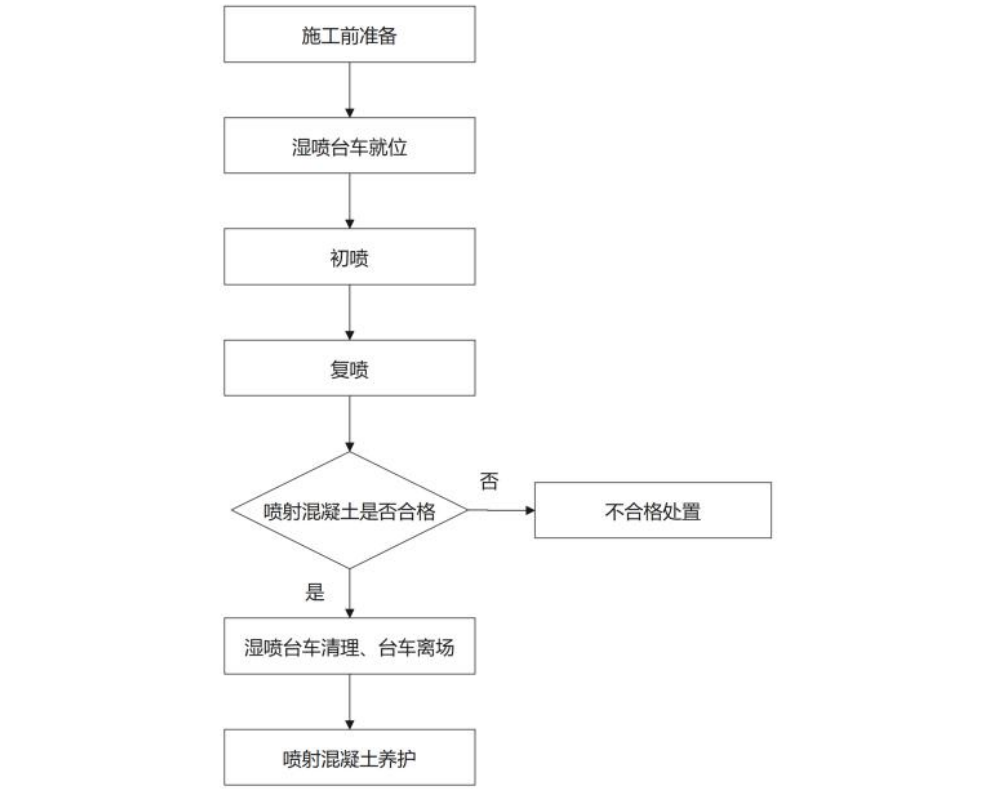

图 7.4.4.1 湿喷作业工艺流程及实施效果

7.4.4.2 湿喷作业前应清理作业面，并宜满足以下要求：

a）清除表面松土（石）、凿除欠挖。

b）对于硬质岩面受喷面，宜用高压水冲洗受喷面的浮尘、岩屑。

c）对于遇水容易潮解、软化岩面，宜采用高压风吹净面。

d）对于土质、泥化受喷面，湿喷作业前，宜先喷一层水泥砂浆，待终凝后再进行湿喷作业。

7.4.4.3 湿喷作业时应在受喷面设置控制喷射混凝土厚度的标志。

7.4.4.4 分层喷射时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。若终凝 1h 后再进行喷射时，应先用风或水冲洗喷层表面。

7.4.4.5 作业时喷嘴应垂直受喷面，喷头到受喷面距离宜控制在 0.6m~1.5m。

7.4.4.6 喷射混凝土终凝 2h 后，应进行养护。可采用喷雾养护，养护不宜少于 7 天。

7.4.5 采用锚注一体机进行锚杆施工时应符合下列规定：

7.4.5.1 锚杆施工应按 7.4.5.1 所示工艺流程进行：

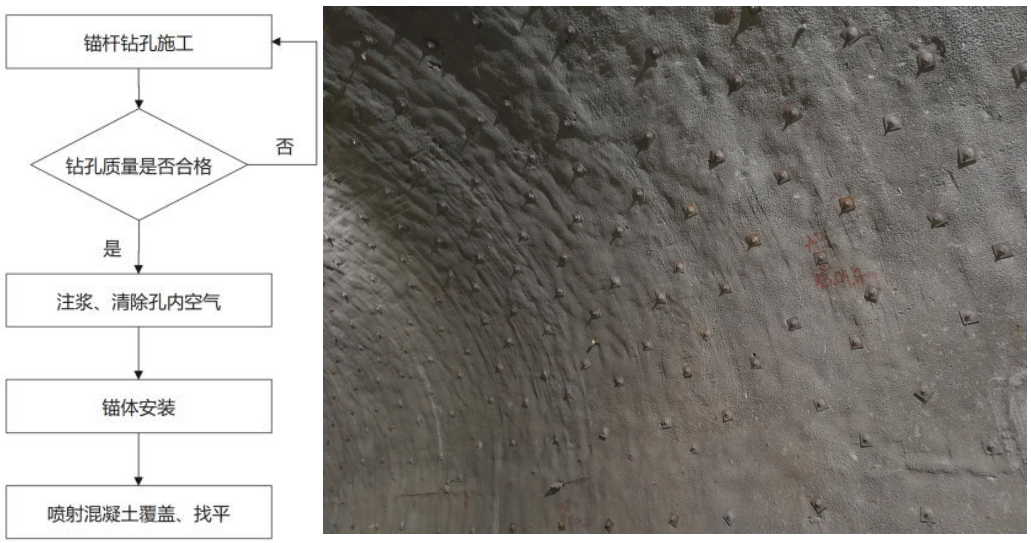

图 7.4.5.1 锚杆施工工艺流程及实施效果

7.4.5.2 不同类型的锚杆安装应满足现行的《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的相关要求。

7.5 仰拱施工

7.5.1 仰拱施工主要包括：仰拱开挖、仰拱初期支护、仰拱衬砌以及仰拱回填等作业。

7.5.2 仰拱衬砌及仰拱回填浇筑施工宜选用液压栈桥。

7.5.3 采用液压栈桥进行仰拱衬砌及仰拱回填浇筑施工时应符合下列规定：

7.5.3.1 仰拱衬砌及仰拱回填浇筑施工应按 7.5.3.1 所示工艺流程进行：

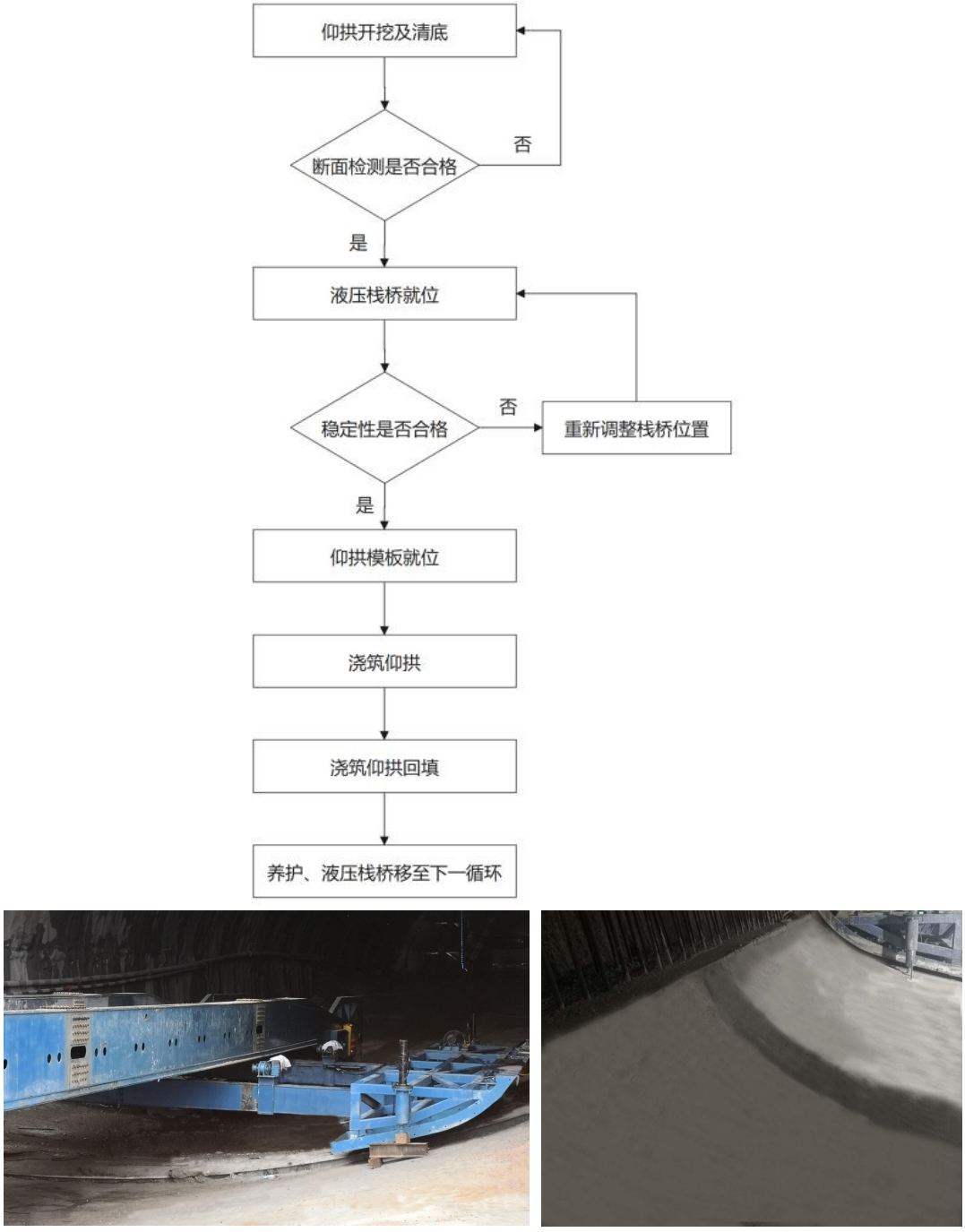

图 7.5.3.1 仰拱衬砌与仰拱回填浇筑施工工艺流程及实施效果

7.5.3.2 液压栈桥就位前应先清理栈桥桥面及支持区域内虚渣、碎石等障碍物。操控液压栈桥液压系统时，栈桥前后支撑应同时离地，保持桥面水平。

7.5.3.3 仰拱衬砌应与仰拱回填分开浇筑施工。

7.5.3.4 仰拱回填施工前应清除仰拱衬砌表面积水、杂物等，应保证仰拱回填顶面平顺，坡度符合设计要求。

7.5.3.5 车辆通过液压栈桥时，仰拱混凝土强度应到达脱模强度要求。

7.6 防排水施工

7.6.1 防排水施工主要包括：防水层铺挂与焊接、止水带安装、排水（盲）管施工、中心水沟施工等作业。

7.6.2 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。

7.6.3 防水层铺挂与焊接施工应按 7.6.3 所示工艺流程进行：

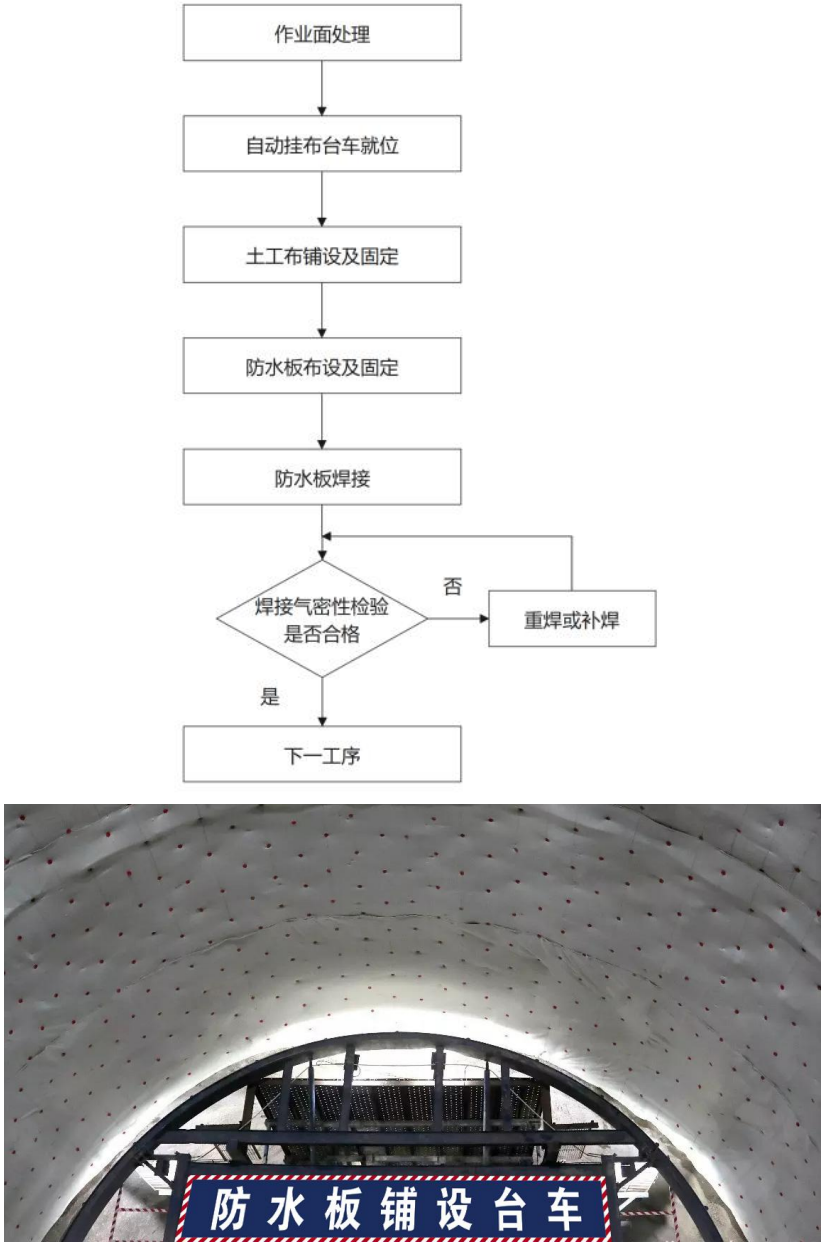

图 7.6.3 防水层铺挂与焊接施工工艺流程及实施效果

7.6.4 采用自动挂布台车进行衬砌防水层铺挂施工时应符合下列规定：

7.6.4.1 防水层铺挂前应检查初期支护内轮廓表面，并应符合下列规定：

a）应无钢筋和锚杆头外漏、尖硬物凸出、错台和急速凹凸现象。

b）应检查初期支护内轮廓表面平整度，平整度应符合 D/L≤1/6 的要求。（D 为初期支护表面相邻两凸面凹进去的深度，L 为相邻两凸面的距离，可取 1.5m）。

c）应检查初期支护内轮廓线，初期支护内轮廓线应满足设计要求。

7.6.4.2 无纺布和防水板应分幅逐环铺挂，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。

7.6.4.3 无纺布应先于防水板铺挂，应采用射钉枪射打铁钉，并采用热塑性垫圈固定。

7.6.4.4 防水板应紧贴无纺布铺挂，应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。

7.6.5 采用自动爬焊机进行防水板焊接施工时应符合下列规定：

7.6.5.1 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。

7.6.5.2 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。

7.6.5.3 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。

7.6.6 环向、纵向、横向排水（盲）管施工应符合设计与现行的《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的相关要求。

7.7 二次衬砌施工

7.7.1 二次衬砌施工主要包括：钢筋施工、混凝土浇筑、衬砌养护等作业。

7.7.2 钢筋施工宜选用自动挂布台车为作业平台；混凝土浇筑宜选用模板台车；衬砌养护宜选用带有随车养护装置的模板台车或专用养护台车。

7.7.3 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：

7.7.3.1 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。

7.7.3.2 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。

7.7.3.3 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。

7.7.4 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：

7.7.4.1 二次衬砌混凝土浇筑施工应按 7.7.4.1 所示工艺流程进行：

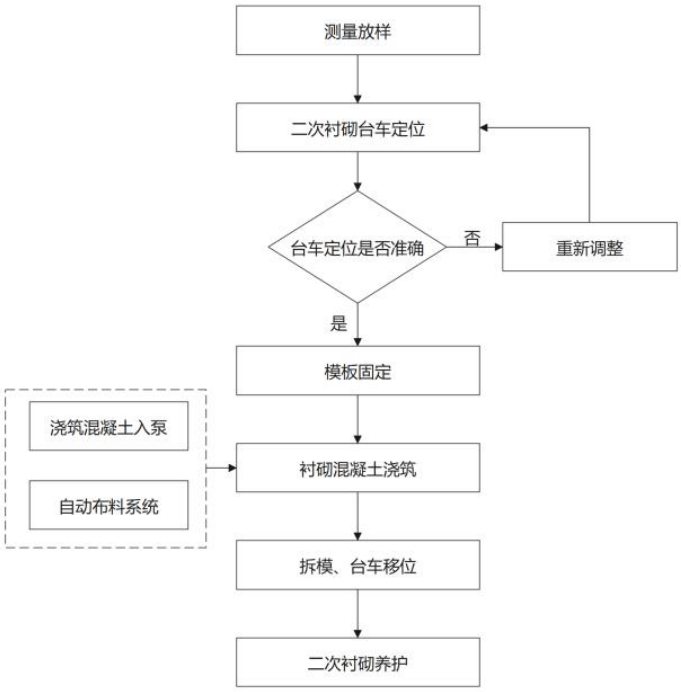

图 7.7.4.1 二次衬砌混凝土浇筑施工工艺流程

7.7.4.2 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。

7.7.4.3 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。

7.7.4.4 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。

7.7.4.5 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。

7.7.4.6 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。

7.7.4.7 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。

7.7.5 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：

7.7.5.1 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。

7.7.5.2 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。

7.7.5.3 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。

7.7.5.4 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。

7.7.5.5 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。

7.7.5.6 完成局部浇筑的分支管路应及时清洗。

7.7.6 采用带有随车养护装置的模板台车或专用养护台车进行衬砌养护作业时应符合下列规定：

7.7.6.1 二次衬砌模板应在衬砌混凝土强度达到规范要求后，方可拆除。

7.7.6.2 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。

7.7.6.3 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。

7.8 沟槽施工

7.8.1 沟槽施工主要包括：沟槽开挖、沟槽结构浇筑、盖板铺设等作业。

7.8.2 采用机械化施工时，沟槽结构浇筑宜选用沟槽台车。

7.8.3 采用沟槽台车进行沟槽结构浇筑施工应符合下列规定：

7.8.3.1 沟槽结构浇筑施工应按 7.8.3.1 所示工艺流程进行：

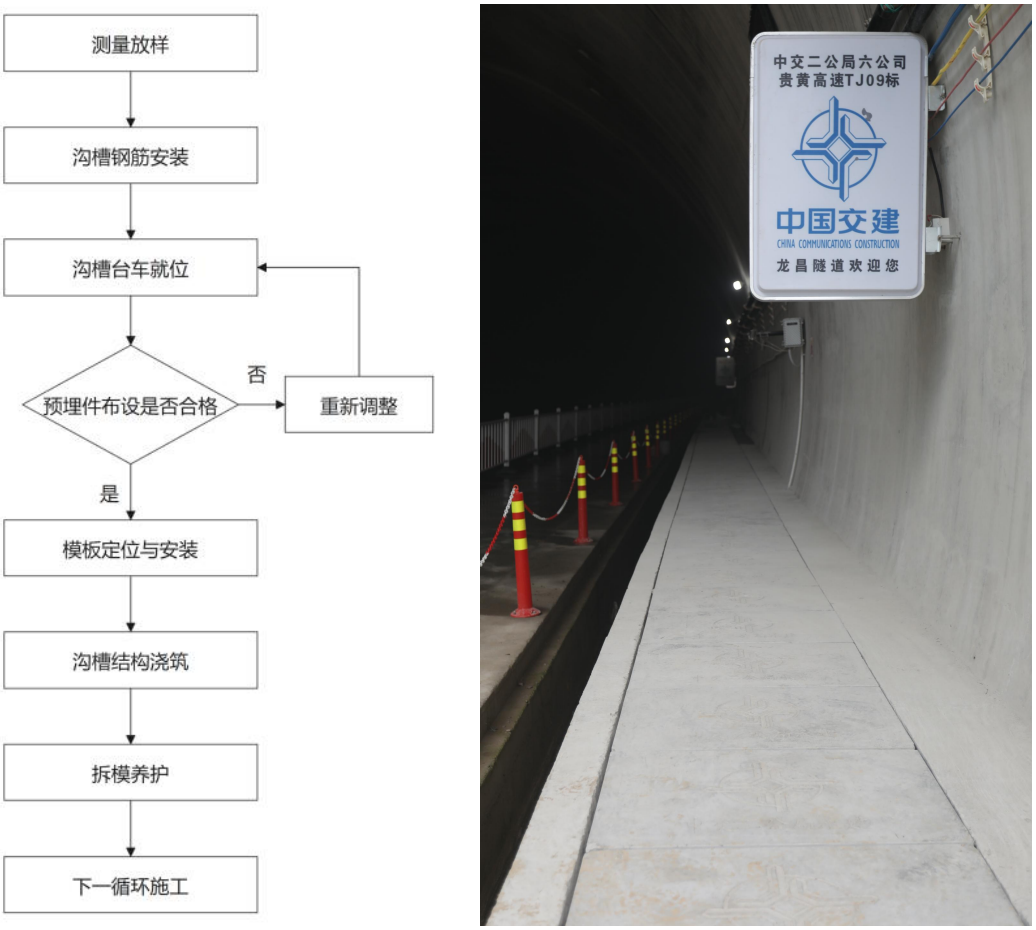

图 7.8.3.1 沟槽结构浇筑施工工艺流程及实施效果

7.8.3.2 沟槽台车移动前应对台车模板表面进行清洁、打磨、整修，并检查预埋件安装情况。

7.8.3.3 沟槽模板组装时模板之间应采用螺栓连接固定，模板之间缝隙应压紧。组装完成后应对模板的顺直度、平整度、接缝严密性和结构尺寸进行复核检测。

7.8.3.4 沟槽混凝土应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。

8 信息化技术

8.1 一般规定

8.1.1 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。

8.1.2 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。

8.1.3 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。

8.1.4 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。

8.2 技术要求

8.2.1 隧道机械化施工应按照《贵州省高速公路建设项目隧道工程现场端信息化建设管理规定》（黔交执质〔2021〕9 号）的要求设置隧道人员定位、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。

8.2.2 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。

8.2.3 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。

8.2.4 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。

8.2.5 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贵州省地方标准《公路瓦斯隧道技术规范》（DB52/T 1666）开展瓦斯气体专项监测。

8.2.6 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。

8.2.7 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。

8.2.8 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：

8.2.8.1 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。

8.2.8.2 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。

8.2.8.3 注浆设备应自动采集注浆压力、注浆量、保压时间等数据。

8.2.8.4 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。

8.2.8.5 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。

8.2.9 隧道机械化施工应从施工过程上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。

8.2.10 隧道机械化施工信息化系统应根据《贵州省交通建设质监平台物联网监控数据接口暂行标准》有关要求，将信息化数据接入贵州省交通建设质监平台。

9 附录

附录 A（资料性）公路隧道钻爆法机械化施工常用设备参数

表 A.1　凿岩台车（三臂、轮式）主要技术参数表（参考型号：DW3-180/XE3C）

序号	项目	液压控制	全电脑控制
		技术参数	
1	适用隧道最小高度（m）	4	5
2	最大行驶速度（km/h）	14	15
3	底盘形式	工程底盘	
4	柴油机功率（kW）	180	155
5	额定冲击功率（kW）	22	22
6	适用钻孔直径（mm）	45～102	
7	冲洗水压（kPa）	2500（max）	600～1000
8	冲洗水量（L/min）	250	300
9	最大钻孔位置竖直高度（m）	-	13.3
10	最大钻孔位置水平距离（m）	-	17.4
11	一次推进钻孔深度（m）	5.20	5.25

表 A.2　拱架台车（轮胎式）主要技术参数（参考型号：XZGMT311）

序号	项目	技术参数
1	工作臂数量（个）	2
2	最大举升高度（m）	12.8
3	平台最大举升高度（m）	13
4	最小离地间隙（mm）	450
5	平台最大工作宽度（m）	26.5
6	爬坡能力（°C）	30
7	电机功率（kW）	37
8	最大行驶速度（km/h）	17

表 A.3　拱架台车（履带式）主要技术参数（参考型号：XM1200）

序号	项目	技术参数
1	最大举升高度（m）	12.5 m
2	最大水平外伸（m）	12 m
3	最小转弯半径(内侧)（m）	9 m
4	最大转弯半径(外侧)（m）	11 m
5	爬坡能力（°C）	20
6	单臂最大举升重量（kg）	1100

表 A.4　平举台车主要技术参数（参考型号：XZGT311）

序号	项目	技术参数
1	整车自重（kg）	25200
2	爬坡能力（%）	30
3	平台最大荷载（kg）	800/500
4	最大行驶速度（km/h）	18
5	装机功率（kw）	132
6	最大举升高度（m）	13
7	平台最大宽度（m）	2.65
8	平台臂伸缩级数（/）	2
9	回转幅角（°）	0~270
10	臂俯仰幅角（°）	-20~53
11	臂同步伸缩量（m）	0~2.9
12	工作平台回转幅角（°）	-90~90

表 A.5　湿喷台车主要技术参数（参考型号：ZTC-30）

序号	项目	技术参数
1	最大喷射量（m^3/h）	30
2	作业范围（宽*高）（m）	30 * 16.8
3	喷臂节数（/）	3

序号	项目	技术参数
4	喷臂旋转角度（°C）	360
5	喷射速度（m/s）	30～60
6	喷射回弹率（%）	<15
7	外加剂掺量精度（%）	<5
8	最大颗粒径（mm）	泵送>25，喷射>15
9	外加剂储存灌容积（m^3）	1
10	工作电机功率（kW）	55

表 A.6　液压栈桥主要技术参数（参考型号：RYA005）

序号	项目	技术参数
1	通过车辆形式	胶轮或履带式
2	控制方式	电动或液压
3	行走速度（m/min）	5
4	整机功率（kW）	12.5
5	设计载荷（kg）	6×10^4
6	通过车辆最大宽度（m）	3.4
7	步履长度（m）	4
8	升降速度（m/min）	0.5
9	跨度净空（m）	15.5

表 A.7　挂布台车主要技术参数（参考型号：FSG12）

序号	项目	技术参数
1	总功率（kW）	55
2	作业半径（m）	R6.95～R7.3
3	实用卷材宽度（m）	2～6.5
4	钢筋绑扎长度（m）	12
5	吊机起吊重量（kg）	1000
6	输入电压（V）	380
7	电气系统控制电压（V）	24
8	液压系统工作压力（MPa）	16

表 A.8　模板台车主要技术参数（参考型号：CQS12）

序号	项目	技术参数
1	整机重量（kg）	1.6×10^5
2	电总功率（kW）	90
3	最高行驶速度（m/min）	4
4	模板厚度（mm）	10
5	模板宽度（mm）	2000 mm
6	通车净空间（宽×高）（m）	3.9×4.5
7	一个工作循环理论衬砌长度（m）	12
8	衬砌混凝土理论泵送排量（m^3/h）	40
9	一环混凝土理论浇筑时间（h）	8
10	输送管路通经（mm）	125
11	带压浇筑系统	双浇筑技术
12	自动振捣系统	高频气动

表 A.9　养护台车主要技术参数（参考型号：YHS12）

序号	项目	技术参数
1	喷淋方式	雾化喷淋
2	行走方式	钢轨+滚轮
3	最大行走速度（km/min）	7.8
4	最大爬坡能力（%）	3
5	整机功率（kW）	20.8
6	养护范围（m）	12
7	供电电压（V）	380
8	温控系统	自动控温

表 A.10　沟槽台车主要技术参数（参考型号：暂无）

序号	项目	技术参数
1	液压站功率（KW）	雾化喷淋
2	系统压力（MPa）	钢轨+滚轮
3	驱动行走电机（KW）	7.8
4	平移机构油缸行程（mm）	3

5	顶升机构油缸行程（mm）	20.8
6	边模机构油缸行程（mm）	12

表 A.11　多功能地质钻机主要技术参数（参考型号：C6-2）

序号	项目	技术参数
1	整机重量（kg）	18000
2	电总功率（kW）	110（4P 380V）
3	最大钻孔深度（m）	150
4	钻孔直径（mm）	65~245
5	水平钻孔高度（mm）	-937~4820
6	推进速度（km/h）	0~1.5

表 A.12　气腿式凿岩机主要技术参数表（参考型号：YT-28）

指 标	单 位	参 数
1	凿岩速度（mm/min）	≥470（0.63Mpa）
2	凿岩耗气量（L/s）	≥81.6（0.63Mpa）
3	工作气压（MPa）	0.63
4	工作水压（MPa）	0.2
5	凿孔直径（mm）	34-45
6	最大凿孔深度（m）	5

表 A.13　锚杆机主要技术参数（参考型号：MT10D）

序号	项目	技术参数
1	整机重量（kg）	15300
2	总装机功率	63.5
3	工作电压（V）/频率（HZ）	380/50
4	额定冲击功率（kW）	18.5
5	额定冲击压力（MPa）	≤18
6	钻孔直径（mm）	43~105

表 A.14　喷浆机（大型）主要技术参数（参考型号：GHP3515H）

序号	项目	技术参数
1	整机重量（kg）	14500
2	理论喷射排量（m^3/h）	35

3	喷射混凝土最大粒径（mm）	15
4	混凝土水灰比	0.45~0.6
5	混凝土出口压力（bar）	83

表 A.15　喷浆机（小型）主要技术参数（参考型号：GYP-90D）

序号	项目	技术参数
1	整机重量（kg）	1550
2	理论喷射排量（m^3/h）	3~10
3	混凝土出口压力（bar）	6
4	料斗容积（m^3）	0.13
5	喷射混凝土最大粒径（mm）	15

表 A.16　高压注浆泵主要技术参数（参考型号：ZKSY90-125）

序号	项目	技术参数
1	整机重量（kg）	500
2	工作压力（MPa）	0~16
3	电机功率（KW）	11
4	出浆口直径（mm）	32
5	吸浆口直径（mm）	38

表 A.17　锚注一体机（锚杆机+注浆泵）主要技术参数（参考型号：ZSTD-150）

序号	项目	锚杆机技术参数
1	总行程（mm）	2700
2	进给压力（kg）	392~549
3	风压（kg/cm）	5~7
4	耗气量（m^3）	10~15
5	冲击频率（次/min）	880
6	冲击功（J）	333
7	外形尺寸（mm×mm×mm）	4000×2500×336

表 A.18　自动注浆机主要技术参数（参考型号：PCTS.LG2）

序号	项目	技术参数
1	整机重量（kg）	130

序号	项目	技术参数
2	电总功率（kW）	3.7
3	工作压力（MPa）	0~2MPa
4	电动机转速（r/min）	1440
5	灰浆输送量（m^3/h）	3~3.5
6	灰砂粒径（mm）	0~5
7	外形尺寸：长×宽×高（mm）	1580×300×300

表 A.19　铣挖机主要技术参数（参考型号：ER2000）

序号	项目	技术参数
1	额定功率（kW）	160
2	铣挖头直径（mm）	680
3	铣挖刀数量（个）	64
4	最大扭矩（N·m）	31500
5	最大切削力（N）	87500
6	最大工作压力（bar）	350
7	最小铣挖量（m^3/h）	12
8	最大铣挖量（m^3/h）	60

表 A.20　除尘设备主要技术参数（参考型号：SCC1500）

序号	项目	技术参数
1	整机重量（kg）	18200
2	发动机功率（KW）	132
3	电总功率（KW）	116
4	除尘风量（（m^3/min））	1500
5	除尘效率（%）	≥99

附录 B（资料性）公路隧道钻爆法机械化施工三级配置

B.1 公路隧道机械化配套设备I级配置推荐表（1 个作业面）

工序	设备名称	规格	数量	备注
超前地质预报	多功能地质钻机或超长距离取芯钻机		1 台	多功能或千米级
洞身开挖	凿岩台车		2 台	兼顾加深炮孔，附带炸药装填设备
	挖掘机	1 m^3	1 台	带破碎锤，兼顾仰拱清底
	铣挖机	30m^3/h～60m^3/h	1 台	修边
出渣	装载机	≥3 m^3	2 台	
	自卸汽车	≥25×10^3kg	5 台	随运距增加
初期支护	湿喷台车	≥30m^3/h	1 台	
	混凝土搅拌输送车	≥8 m^3	2 台	与二次衬砌共用
	混凝土拌合站	≥90 m^3/h	1 套	
	拱架台车	三臂	1 台	
	平举台车		1 台	
	锚注一体机		1 台	
	自动注浆机或高压注浆泵	≥12 MPa	2 台	
仰拱施工	液压栈桥	满足两模仰拱作业长度	1 台	自带仰拱弧形模板
	自卸车	≥25×10^3kg	2 台	同出渣共用
	混凝土搅拌输送车	≥8 m^3	2 台	与二次衬砌共用
防排水	挂布台车		1 台	
二次衬砌	模板台车	9m～12m	1 台	
	混凝土输送泵	≥60 m^3/h	2 台	
	混凝土搅拌输送车	≥8m^3	≥6 台	随运距增加
	混凝土拌合站	≥90 m^3/h	1 套	
	发电机	≥250 kW	1 台	根据需要配备
二次衬砌养护	养护台车		1 台	
电缆沟槽	沟槽台车		1 台	
通风	除尘净化设备	最大处理风量 2000m^3/Min	1 台	车载式
	轴流风机	高性能及低漏风率风管	根据工点配置	
	射流风机			
排水设备	排水泵站		反坡隧道配置	

B.2 公路隧道机械化配套设备II级配置推荐表（1 个作业面）

作业工序	设备名称	规格	数量	备注
超前地质预报	地质钻机		1 台	

作业工序	设备名称	规格	数量	备注
洞身开挖	凿岩台车		2 台	兼顾加深炮孔
	挖掘机	1 m^3	1 台	带破碎锤处理欠挖
出渣	装载机	≥3 m^3	2 台	
	自卸汽车	≥25×10^3kg	5 台	随运距增加
初期支护	湿喷台车	≥30 m^3/h	1 台	
	混凝土搅拌输送车	≥8 m^3	2 台	与二次衬砌共用
	混凝土拌合站	≥90 m^3/h	1 套	
	拱架台车	三臂	1 台	
	平举台车		1 台	
	锚注一体机或锚杆机		1 台	
	自动注浆机或高压注浆泵	≥12 MPa	1 台	
仰拱施工	液压栈桥	满足两个仰拱作业长度要求	1 台	自带仰拱弧形模板
	挖掘机	1 m^3	2 台	与掌子面共用
	自卸车	≥25×10^3kg	2 台	同出渣共用
	混凝土搅拌输送车	≥8 m^3	2 台	与二次衬砌共用
防排水	挂布台车		1 台	
二次衬砌	模板台车	9 m～12 m	1 台	
	混凝土输送泵	60 m^3/h	2 台	
	混凝土搅拌输送车	≥8 m^3	≥6 台	随运距增加
	混凝土拌合站	≥90 m^3/h	1 套	
	发电机	≥250 kW	1 台	根据需要配备
二次衬砌养护	养护台车		1 台	兼顾修饰与检测
电缆沟槽	沟槽台车		1 台	
通风	轴流风机	高性能及低漏风率风管	根据工点配置	
	射流风机			
排水设备	排水泵站		反坡隧道配置	

B.3 公路隧道机械化配套设备III级配置推荐表（1 个作业面）

作业工序	设备名称	规格	数量	备注
超前地质预报	地质钻机		1 台	
洞身开挖	挖掘机	1 m^3	1 台	带破碎锤处理欠挖
	气腿式凿岩机	凿岩速度（mm/min）≥470（0.63Mpa）	6-8 台	需数字化改装
出渣	挖装机	≥80 m^3/h	2 台	
	装载机	≥2 m^3	2 台	

作业工序	设备名称	规格	数量	备注
	自卸汽车	≥25×10³kg	5 台	随运距增加
支护作业线	湿喷台车	≥30 m³/h	1 台	
	锚杆机	额定冲击压力（MPa）≤18	1 台	需数字化改装
	高压注浆泵	≥12 MPa	1 台	
	混凝土搅拌输送车	≥8 m³	≥2 台	与二次衬砌共用
	混凝土拌合站	≥90 m³/h	1 套	
	拱架安装台架		1 台	可自制
检铺底作业线	液压栈桥	满足一个仰拱作业长度要求	1 台	
	挖掘机	1 m³	1 台	与掌子面共用
	自卸汽车	≥25×10³kg	2 台	
	混凝土搅拌输送车	≥8 m³	≥2 台	与二次衬砌共用
	轴流风机	高性能及低漏风率风管	根据工点配置	
	射流风机			

附录 C（资料性）公路隧道钻爆法机械化施工典型案例

C.1 贵黄项目案例

C.1.1 贵黄 9 标龙昌隧道简介

龙昌隧道为贵黄高速九大控制性工程之一，左幅起止桩号为 ZK59+100～ZK61+270，全长 2170m；右幅起止桩号为 K59+100～K61+270，全长 2170m。隧道采用单洞三车道，洞身穿越地段以灰岩、白云岩为主，最大埋深 140m，围岩等级为IV、V级，其中V级围岩 350m，占总长 8.1%，IV级围岩 3990m，占总长的 91.9%。下面介绍设备用于龙昌隧道进口端，进口端占隧道总长 2170m 的一半。

C.1.2 设备配置

表 C.1.2 贵黄 9 标龙昌隧道施工主要机械设备配置表（双洞配置）

序号	机械名称	规 格	隧道长度＜1.0km		隧道长度≥1.0km		备注
			两车道	三车道	两车道	三车道	
洞身开挖							
1	凿岩台车	三臂、全电脑	/	/	/	2 台	拱架台车
2	气腿式凿岩机	YT-28	/	/	/	8 台	主要用于下导炮眼钻设
3	铣挖机	30m³/h～60m³/h	/	/	/	1 台	
4	破碎锤			/	/	1 台	
5	悬臂掘进机		无，贵黄项目隧道围岩强度高，不适宜采用此种机械				
6	空压机	20 m³/min	/	/	/	3 台	采用固定式，为下导打钻供风
7	挖掘机		/	/	/	2 台	
8	装载机		/	/	/	3 台	
9	自卸汽车			/	/	6 辆	
初期支护							
10	拱架台车	轮胎式	/	/	/	1 台	
11	湿喷台车	30 m³/h	/	/	/	1 台	进出口共备用 1 台
12	注浆机	MAI400NT	/	/	/	1 台	进出口共备用 1 台
防排水							
13	挂布台车	轮式	/	/	/	2 台	
衬砌混凝土							
14	液压栈桥	自行式液压 44 m	/	/	/	2 台	
15	模板台车		/	/	/	2 台	加宽段、横洞段各配置一套
16	混凝土泵车	90 m³/h	/	/	/	1 台	
17	混凝土运输车	8m³～12 m³	/	/	/	4 辆	根据运距具体配置
18	平举台车	轮胎式				/	拱架台车兼
其他配置							
19	沟槽台车		/	/	/	2 台	

序号	机械名称	规 格	隧道长度＜1.0km		隧道长度≥1.0km		备注
			两车道	三车道	两车道	三车道	
20	变压器	1250 KV	/	/	/	1 台	
21	变压器	800 KV	/	/	/	1 台	
22	增压器		/	/	/	2 台	
23	进洞电缆线	300×3+2 铜芯	/	/	/	2500m	主电缆
24	风机	115×2 变频	/	/	/	2 台	
钢筋加工场							
25	钢板切割机	数控等离子					
26	冷弯机						
27	网片排焊机	全自动					

C.1.3 成本分析

龙昌隧道采用架子队施工模式，成本测算比对机械化施工与传统劳务人工施工的成本比对，主要分析如下三项工序内容，具体如下：

凿岩台车开挖成本核算														
序号	机械名称	规格型号	燃油费（元）	电费（元）	折旧费（元）	劳保费（元）	配件及润滑油（元）	风水管线（元）	炸材（元）	操作手人工费（元）	架子队人工费（元）	管理人员工资（元）	费用小计（元）	费用合计（元）
1	凿岩台车	XE3C	25368.9	144801	2160734.76	14400	482159.88	339000	2185845.2	627960	997430.36	358146.25	7335846.35	14918188.38
2	凿岩台车	XE3C	26994.24	169864.5	1834100.56	14400	482159.88	339000	2185845.2	621460	997430.36	358146.25	7029400.99	
3	空压机	BK132-8G		115212	27199.84								142411.84	
4	空压机	BK132-8G		115212	27199.84								142411.84	
5	变频通风机	SPDZ-P-NO.125/2*110KW		96010	38048.68								134058.68	
6	变频通风机	SPDZ-P-NO.125/2*110KW		96010	38048.68								134058.68	
7	隧道开挖总量（m3）						325448							
8	凿岩台车开挖成本(元/m3)						45.84							
9	隧道出渣成本(元/m3)						24							
10	机械化开挖综合成本(元/m3)：						69.84							
11	人工开挖分包成本(元/m3)：						71.55							
12	机械化成本-人工开挖成本(元/m3)：						-1.71							
备注：综上分析机械化结合架子队施工模式开挖每方相比较传统施工劳务分包模式可节省 1.71 元/m3.														

喷射砼成本核算												
序号	机械名称	规格型号	燃油费（元）	电费（元）	折旧费（元）	劳保费（元）	配件及润滑油（元）	操作手人工费（元）	架子队人工费（元）	管理人员工资（元）	费用小计（元）	费用合计（元）
1	湿喷机	XZPS30G	12068.9	94801	330734.76	10400	140203.55	327960	367430.36	242146.25	1525744.82	2984560.61
2	湿喷机	单臂 XZPS30G	11294.24	89824.5	304100.56	10400	142159.88	301460	357430.36	242146.25	1458815.79	
3	隧道喷射砼总量（m3）						11983.9					
4	喷射砼机械化施工成本(元/m3)：						249.05					
5	隧道喷射砼分包成本(元/m3)：						251					
6	机械化开挖-分包成本(元/m3)：						-1.95					

型钢支架成本核算												
序号	机械名称	规格型号	燃油费（元）	电费（元）	折旧费（元）	劳保费（元）	配件及润滑油（元）	操作手人工费（元）	架子队人工费（元）	管理人员工资（元）	费用小计（元）	费用合计（元）
1	拱架安装台车	XZGT311	36256.3	175635.2	1010216.76	152306	332163.25	522356	756230	286520	3271683.51	3271683.51
2	隧道型钢支架总量（kg）						2766620.6					
3	型钢支架机械化施工成本(元/kg)：						1.18					
4	型钢支架分包成本(元/kg)：						1.3					
5	机械化开挖-分包成本(元/kg)：						-0.12					

C.2 黑山项目案例

C.2.1 Vjeternik 隧道及 Vilac 隧道简介

Vjeternik 隧道为黑山南北高速公路项目最长隧道，左幅起讫桩号为 LK19+667.92～LK22+682.92，全长 3015m；右幅起讫桩号为 RK19+731.64～RK22+559.64，全长 2828m。隧道采用单洞两车道，洞身穿越地段以石灰岩、复理岩为主，最大埋深 185.84m，围岩等级 II、III、IV、V 级，其中V级围岩 298m，占总长 5.1%，IV级围岩 297m，占总长的 5.1%，III 级围岩 2021m，占总长的 34.6%，II 级围岩 3227m，占总长的 55.2%，进口端占隧道总长的一半。

Vilac 隧道为黑山南北高速公路项目两条三车道隧道之一，左幅起讫桩号为 LK13+897～LK14+688，全长 791m；右幅起讫桩号为 RK13+802～RK14+728，全长 926m。隧道采用单洞三车道，洞身穿越地段以石灰岩为主，最大埋深 56.3m，围岩等级 II、III、IV 级，其中IV级围岩 135m，占总长的 7.86%，III 级围岩 1080m，占总长的 62.90%，II 级围岩 502m，占总长的 29.24%。下面介绍设备用于 Vjeternik 隧道（两车道）进口端，和 Vilac 隧道（三车道）施工。

C.2.2 设备配置

表 C.2.2 黑山项目隧道施工主要机械设备配置表

序号	机械名称	规 格	隧道长度＜1.0km		隧道长度≥1.0km		备注
			两车道	三车道	两车道	三车道	
洞身开挖							
1	凿岩台车	两臂	/	1	1	/	和隧道初期支护共用一台（钻炮眼和锚杆孔）
2	气腿式凿岩机	YT-28	/	6	4	/	
3	铣挖机	30m³/h～60m³/h	/	/	1	/	
4	破碎锤			1	1	/	
5	悬臂掘进机		无，黑山项目隧道围岩强度高，不适宜采用此种机械				
6	空压机	20 m³/min	/	3	3	/	采用固定式
7	挖掘机		/	1	1	/	
8	拱架台车	轮胎式	/	/	/	/	
9	装载机		/	2	2	/	
10	自卸汽车			5	4	/	根据运距具体配置
初期支护							
9	湿喷台车	30 m³/h	/	1	1	/	
10	拱架台车	两臂	/	1	1	/	和洞身开挖共用一台（钻炮眼和锚杆孔）
11	平举台车	轮胎式	/	1	1	/	
12	注浆机		/	1	1	/	
防排水							

序	机械名称	规 格	隧道长度＜1.0km		隧道长度≥1.0km		备注
13	防水板专用台架	轮式	/	1	1	/	
二次衬砌							
14	模板台车		/	1	1	/	加宽段、横洞段各配置一套
15	混凝土泵车	60 m³/h	/	1	1	/	
	混凝土运输车	8m³~10 m³	/	3	3	/	根据运距具体配置

备注：根据欧洲标准和前南标准，有些材料应从当地供应商采购，不能自行加工或自行加工需要审批手续繁琐、审批周期长等缺点，如格栅拱架、岩石锚杆等，在机械配置时，不用考虑自行加工这批材料的设备。

C.3 大广项目案例

1）大广 A6 标武功山隧道简介

武功山隧道位于江西省赣州市南康区内，为分离式长隧道，左线隧道起讫桩号为 ZK40+100～ZK41+984，全长 1884m，最大埋深约 173m；右线隧道起讫桩号为 K40+076～K41+930，全长 1854m，最大埋深约 170m；隧道建筑限界净宽：14.75m，净高：5m；隧道平面左右线进口位于圆曲线上，出口位于直线上，左右线纵坡均为人字坡；进出口洞门均采用端墙式洞门；隧道洞身穿越地段以硅质板岩为主，其中III级围岩 617m，占总长的 33%，IV级围岩 972m，占总长的 52%，V级围岩 280m，占总长的 15%。

2）设备配置

大广 A6 标武功山隧道施工主要机械设备配置表（双洞配置）

序号	机械名称	规 格	隧道长度＜1.0km		隧道长度≥1.0km		备注
			两车道	三车道	两车道	三车道	
洞身开挖							
1	凿岩台车	三臂、全电脑	/	/	/	2	拱架台车
2	气腿式凿岩机	YT-28	/	/	/	10	主要用于下导炮眼钻设
3	铣挖机	30m³/h～60m³/h	/	/	/	1	
4	破碎锤			/	/	2	
5	悬臂掘进机		无，武功山隧道围岩强度高，不适宜采用此种机械				
6	空压机	20 m³/min	/	/	/	3	采用固定式，为下导打钻供风
7	挖掘机		/	/	/	3	
8	装载机		/	/	/	3	
9	自卸汽车			/	/	6	
初期支护							
10	拱架台车	轮胎式	/	/	/	1	
11	湿喷台车	30m³/h	/	/	/	1	进出口共备用 1 台

防排水							
12	挂布台车	轮式	/	/	/	2	
衬砌混凝土							
13	液压栈桥	44 m	/	/	/	2	
14	模板台车		/	/	/	2	加宽段、横洞段各配置一套
15	混凝土泵车	90 m³/h	/	/	/	1	
16	混凝土运输车	8m³～12 m³	/	/	/	6	根据运距具体配置
17	平举台车	轮胎式				/	拱架台车兼
其他配置							
18	沟槽台车		/	/	/	2	
19	变压器	1250 KV	/	/	/	1	
20	变压器	800 KV	/	/	/	1	
21	增压器		/	/	/	2	
22	进洞电缆线	300×3+2 铜芯	/	/	/	2200	主电缆
23	风机	115×2 变频	/	/	/	2	
钢筋加工场							
24	钢板切割机	数控等离子					
25	冷弯机						
26	网片排焊机	全自动					

参考文献

[1] 国发[2012]9 号 国务院关于印发质量发展纲要（2011-2020）的通知；

[2] 安监总管二[2014]104 号 国家安全监管总局交通运输部国务院国资委国家铁路局关于印发《隧道施工安全九条规定》的通知；

[3] 交办安监函[2022]660 号 交通运输部办公厅关于公路水运工程建设领域落实安全生产强化年工作部署的通知；

[4] 交规划发[2020]75 号 交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见；

[5] 交办安监函[2018]710 号 交通运输部办公厅关于开展公路隧道建设工程质量安全专项整治行动的通知；

[6] 交办安监[2016]193 号 交通运输部办公厅关于开展公路水运品质工程示范创建工作的通知；

[7] 交安监发[2016]216 号 关于打造公路水运品质工程的指导意见；

[8] 交办安监[2018]18 号 品质工程攻关行动试点方案（2018-2020）年；

[9] 黔交质〔2021〕57 号 关于印发《贵州省交通建设质监平台物联网监控数据接口暂行标准（试行）》的通知；

[10] 关于印发《贵州省高速公路建设项目隧道工程现场端信息化建设管理规定》的通知（黔交执质〔2021〕9 号）；

[11] 黔交质监[2022]2 号 省交通运输厅《关于进一步加强贵州省高速公路建设项目工程信息化管理的通知》。

[12] GB 6722《爆破安全规程》；

[13] GB 50194《建设工程施工现场供用电安全规范》；

[14] GB 12523《建筑施工场界环境噪声排放标准》；

[15] GB 8978《污水综合排放标准》；

[16] GB 3095《环境空气质量标准》；

[17] GB50052《供配电系统设计规范》；

[18] JTG B01《公路工程技术标准》；

[19] JTG 3370.1《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》；

[20] JTG/T D70《公路隧道设计细则》；

[21] JTG/T 3660《公路隧道施工技术规范》；

[22] JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准》；

[23] JTG F90《公路工程施工安全技术规范》；

[24] JTG/T 3374《公路瓦斯隧道设计与施工技术规范》；

[25] JGJ33-2012 《建筑机械使用安全技术规程》；

[26] JGJ 34《建筑机械技术试验规程》；

[27] DB52/T 1666《公路瓦斯隧道技术规范》《贵州省地方标准》。