

---

# 公路山岭隧道机械化 施工技术指南

2020年10月发布

2020年10月实施

---

浙江省交通运输厅

# 公路山岭隧道机械化 施工技术指南

主编单位：浙江省交通工程管理中心  
浙江交工集团股份有限公司  
浙江交工金筑交通建设有限公司

批准单位：浙江省交通运输厅

施行日期：2020年10月

# 公路山岭隧道机械化 施工技术指南

## 审定委员会

主任委员：陆耀忠

委 员：张治中、卞钧霏、袁霏龙、张 涛

## 编写组

主 编：宣剑裕

副 主 编：邵 宏 陈妙初

编写人员：戴晓栋 刘向阳 袁定辉 顾森华 林 春

刘国超 袁卫红 叶水标 李舒扬 肖凯锋

朱玉宝 谷传斌 洪祥水 赵志伟



# 目 次

前 言	III
1 总 则	- 1 -
2 编制依据	- 1 -
3 术语和定义	- 1 -
4 基本规定	- 1 -
5 施工准备	- 2 -
5.1 施工组织	- 2 -
5.2 施工场地	- 2 -
5.3 设备	- 2 -
5.4 施工人员	- 2 -
5.5 材料	- 2 -
6 多臂凿岩机	- 3 -
6.1 一般规定	- 3 -
6.2 设备选型原则及适用范围	- 3 -
6.3 作业准备	- 3 -
6.4 工艺流程	- 3 -
6.5 多臂凿岩机施工	- 4 -
6.6 质量控制要点	- 5 -
6.7 质量检验	- 5 -
7 拱架台车	- 6 -
7.1 一般规定	- 6 -
7.2 拱架台车基本要点	- 6 -
7.3 作业准备	- 6 -
7.4 工艺流程	- 6 -
7.5 拱架施工	- 7 -
7.6 质量控制要点	- 7 -
7.7 质量检验	- 7 -
8 湿喷机械手	- 8 -
8.1 一般规定	- 8 -
8.2 设备选型原则及适用范围	- 8 -
8.3 作业准备	- 8 -
8.4 工艺流程	- 8 -
8.5 湿喷混凝土施工	- 9 -
8.6 质量控制要点	- 11 -
8.7 质量检验	- 11 -
9 自行式移动栈桥	- 11 -
9.1 一般规定	- 11 -
9.2 设备选型原则及适用范围	- 12 -
9.3 作业准备	- 12 -
9.4 工艺流程	- 12 -
9.5 仰拱施工	- 12 -
9.6 质量控制要点	- 13 -
9.7 质量检验	- 13 -
10 二衬厚度预检台车	- 14 -
10.1 一般规定	- 14 -
10.2 预检台车基本要点	- 14 -

10.3	作业准备.....	- 14 -
10.4	工艺流程.....	- 14 -
10.5	二衬厚度预检.....	- 14 -
10.6	质量检验.....	- 15 -
<b>11</b>	<b>防水卷材作业台车 .....</b>	<b>- 15 -</b>
11.1	一般规定.....	- 15 -
11.2	防水板台车基本要点.....	- 15 -
11.3	作业准备.....	- 15 -
11.4	工艺流程.....	- 16 -
11.5	防水卷材施工.....	- 16 -
11.6	质量控制要点.....	- 17 -
11.7	质量检验.....	- 17 -
<b>12</b>	<b>二衬台车 .....</b>	<b>- 17 -</b>
12.1	一般规定.....	- 17 -
12.2	二衬台车基本要点.....	- 18 -
12.3	作业准备.....	- 18 -
12.4	工艺流程.....	- 18 -
12.5	二衬混凝土施工.....	- 19 -
12.6	质量控制要点.....	- 19 -
12.7	质量检验.....	- 20 -
<b>13</b>	<b>二衬养护台车 .....</b>	<b>- 20 -</b>
13.1	一般规定.....	- 20 -
13.2	二衬养护台车基本要点.....	- 21 -
13.3	作业准备.....	- 21 -
13.4	工艺流程.....	- 21 -
13.5	二衬混凝土养护.....	- 21 -
13.6	质量控制要点.....	- 22 -
13.7	质量检验.....	- 22 -
<b>14</b>	<b>电缆沟槽台车 .....</b>	<b>- 23 -</b>
14.1	一般规定.....	- 23 -
14.2	设备选型原则及适用范围.....	- 23 -
14.3	作业准备.....	- 23 -
14.4	工艺流程.....	- 23 -
14.5	电缆沟槽施工.....	- 23 -
14.6	质量控制要点.....	- 24 -
14.7	质量检验.....	- 24 -
附 录 A	(资料性) 公路山岭隧道钻爆法机械化施工基本(标准)配置参考表.....	25
附 录 B	(资料性) 公路山岭隧道施工人员基本配置参考表 .....	32
附 录 C	(资料性) 外购设备主要技术参数及设备选型要点参考表 .....	35
附 录 D	(资料性) 自制设备基本构造与主要技术参数 .....	39
附 录 E	(资料性) 杭绍台 3 标公路山岭隧道九台套机械化设备配置示例.....	52

# 前 言

为进一步提升公路山岭隧道机械化施工水平,浙江省交通工程管理中心联合浙江交工集团股份有限公司、浙江交工金筑交通建设有限公司等单位,对公路山岭隧道机械化施工及其成套设备应用开展了深入调研和系统总结,编制形成了《公路山岭隧道机械化施工技术指南》。

本文件对公路山岭隧道钻爆法施工的九种关键设备的作业准备、工艺流程、施工要点、质量控制要点、质量检验等作出了具体规定。

本文件为公路山岭隧道机械化施工及成套设备应用的指导性文件,本文件不涉及专利。



# 公路山岭隧道机械化施工技术指南

## 1 总 则

- 1.1 为提升我省公路山岭隧道机械化施工水平，规范机械化施工，特制定本文件。
- 1.2 本文件包括 14 章，5 个附录：1.总则、2.编制依据、3.术语和定义、4.基本规定、5.施工准备、6.多臂凿岩机、7.拱架台车、8.湿喷机械手、9.自行式移动栈桥、10.二衬厚度预检台车、12.防水卷材作业台车、13.二衬台车、14.二衬养护台车、14.电缆沟槽台车、附录 A（资料性）《公路山岭隧道钻爆法机械化施工基本（标准）配置参考表》、附录 B（资料性）《公路山岭隧道施工人员基本配置参考表》、附录 C（资料性）《外购设备主要技术参数及设备选型要点参考表》、附录 D（资料性）《自制设备基本构造与主要技术参数》、附录 E（资料性）《杭绍台 3 标公路山岭隧道九台套机械化设备配置示例》。
- 1.3 本文件适用于公路隧道钻爆法机械化施工。
- 1.4 公路山岭隧道机械化施工除应符合本文件外，尚应符合国家行业和省现行标准、规范的规定。

## 2 编制依据

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成，本文件是必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50205	钢结构工程施工质量验收规范
JTG F80/1	公路工程质量检验评定标准（土建工程）
JTG F90	公路工程施工安全技术规程
JTG/T 3660-2020	公路隧道施工技术规范

## 3 术语和定义

### 3.1

#### 九台套

九台套是指公路山岭隧道钻爆法施工的九种关键设备统称，包括多臂凿岩机、拱架台车、湿喷机械手、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。

## 4 基本规定

4.1 隧道机械化施工应建立完善的质量、安全、环境保护与文明施工管理体系，制定相应的管理制度，确保隧道施工质量，提升安全、环保及文明施工水平。

4.2 九台套机械设备包括整机外购配置及自加工拼装两类，具体分类如下：

- a) 整机外购配置设备：多臂凿岩机、湿喷机械手、自行式移动栈桥、电缆沟槽台车；
- b) 自加工拼装设备：拱架台车、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。

4.3 自加工拼装设备可自行加工拼装，也可由厂家根据隧道机械化装备需要加工制造现场拼装或整体外购配置，但其设备的加工质量应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

4.4 公路山岭隧道钻爆法机械化施工装备基本配置可参考附录 A，并结合施工实际完善优

化设备选型及配套数量。

4.5 拱架台车、二衬厚度预检台车、防水卷材作业台车、二衬台车和二衬养护台车等台车加工时应与隧道断面尺寸相适应，台车应功能完善、结构稳定。

4.6 九台套各设备作业应进行首件施工并及时总结，严格按照首件总结的相关工艺参数、技术指标开展隧道机械化施工，确保隧道施工质量。

4.7 隧道机械化施工过程中应加强监控量测与超前预报，根据隧道的围岩情况及时调整施工方法。

## 5 施工准备

### 5.1 施工组织

5.1.1 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。

5.1.2 宜组建专业、稳定的隧道机械化施工管理、作业队伍。

5.1.3 隧道供电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，供水、通风应满足《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的规定。

5.1.4 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。

### 5.2 施工场地

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化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。

### 5.3 设备

5.3.1 外购的隧道机械化设备应提供合格证明；自加工的隧道机械化装备须提供设计图纸与结构验算书。

5.3.2 做好多臂凿岩机、湿喷机械手的进场验收与试运行，确保各台车运行正常，性能稳定。

5.3.3 施工前应进行拱架台车、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台车拼装，确保结构稳定、运行良好。

5.3.4 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。

5.35 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。

5.3.6 各机械设备应按照《公路工程施工安全技术规程》（JTG F90）的规定配备消防器材，并根据安全规程要求开展定期检查。

### 5.4 施工人员

5.4.1 施工人员应符合《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）的规定，其配置可参考附录 B。

5.4.2 隧道机械化作业的施工技术人员、质检人员、机械操作人员应经考核合格后方可上岗。

5.4.3 做好施工前的全员安全培训与教育，现场配备专职安全人员，符合安全生产标准化要求。

### 5.5 材料

5.5.1 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。

5.5.2 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

械化连续施工的需要。

## 6 多臂凿岩机

### 6.1 一般规定

6.1.1 多臂凿岩机应具备钻凿爆破孔、锚杆孔的使用功能，并兼具管棚支护、超前探测等作业功能。

6.1.2 多臂凿岩机应具备使用说明书、产品合格证及备件一览表等。

6.1.3 供电、供水和通风应满足多臂凿岩机施工作业要求。

6.1.4 在围岩能满足自稳的条件下，上一循环支护宜预留下一循环机械开挖作业空间。

6.1.5 不应在作业现场维修设备或更换零部件等作业，机械臂下不应站人或随意走动。

6.1.6 施工前应对场地进行整平、压实，并在两侧设置临时排水沟，确保排水通畅。

6.1.7 应定期检查多臂凿岩机各制动装置。

### 6.2 设备选型原则及适用范围

6.2.1 多臂凿岩机选型应满足钻爆法施工时掌子面各孔位的精准定位与快速钻孔及锚杆准确快速打设的基本功能需要。

6.2.2 多臂凿岩机基本(标准)配置可参照附录 A，多臂凿岩机主要技术参数可参照附录 C。

6.2.3 隧道供电长度超过 500m 时，宜稳压或高压供电进洞。

6.2.4 多臂凿岩机适用于隧道二台阶及全断面开挖施工。

### 6.3 作业准备

6.3.1 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。

6.3.2 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。

### 6.4 工艺流程

多臂凿岩机施工工艺流程如图 1 所示。

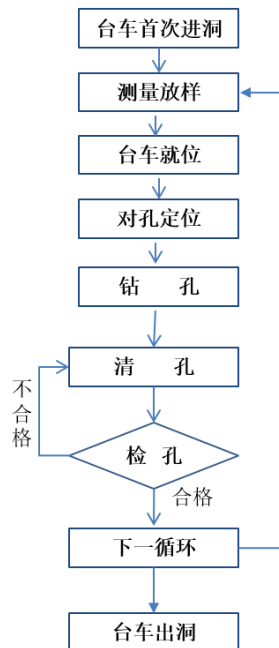


图 1 多臂凿岩机施工工艺流程图

## 6.5 多臂凿岩机施工

### 6.5.1 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) 不应在斜坡上停车。

### 6.5.2 测量放样：

- a) 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；
- b) 锚杆孔位应根据设计要求放样布点，锚杆孔位应画线标识。

### 6.5.3 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。

### 6.5.4 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，如图 2 a) 所示；其他类型多臂凿岩机宜采用人工辅助对孔定位，如图 2 b) 所示，其空位中心位置偏差不应大于 20mm。



a) 智能对孔定位示图

b) 辅助对孔定位示图

图 2 对孔定位示图

### 6.5.5 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，如图 3 所示；



a) 炮眼钻孔施工示图



b) 锚杆钻孔施工示图

图 3 钻孔示图

- 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。

#### 6.5.6 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。

#### 6.5.7 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。

#### 6.5.8 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；
- c) 应清洗台车外露部分，保持台车清洁。

### 6.6 质量控制要点

6.6.1 台车钻孔应根据围岩情况，经试验对比确定钻孔深度，确保周边眼眼底在同一垂直断面。

6.6.2 爆破后应根据开挖面轮廓线平顺度、超欠挖、两茬炮衔接段的台阶形误差及炮孔痕迹保存率等数据分析及时优化爆破参数。

6.6.3 钻进过程应跟踪检查锚杆孔的垂直度，如有偏差应进行纠偏，不能纠偏的应重新钻孔。

6.6.4 开孔与钻进过程应检查锚杆间距、深度等是否满足设计要求，如有问题，及时处理。

### 6.7 质量检验

6.7.1 每一循环炮眼或锚杆钻孔作业完成后，现场施工技术人员应及时对钻孔的孔位、深度、角度及清孔情况进行检验。

6.7.2 多臂凿岩机钻孔施工质量控制标准如表 1 所示。

表 1 多臂凿岩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	炮孔位置 (mm)	周边眼: $\pm 50$	逐孔检查。	尺量
2	锚杆孔位 (mm)	$\pm 150$	每一循环分别检测拱部、侧墙或仰拱; 随机选孔、检测频率不小于总量的 10%。	尺量
3	钻孔深度 (mm)	$\pm 50$		尺量
4	孔径 (mm)	$\geq$ 锚杆杆体直径+15		尺量
5	锚杆钻孔垂直度 ( $^{\circ}$ )	$\pm 20^{\circ}$		尺量

## 7 拱架台车

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 拱架台车应具备钢拱架安装、钻孔及装药作业等功能。
- 7.1.2 拱架台车应具有足够的强度、刚度和整体稳定性,能承受各种工况下的工作载荷。
- 7.1.3 自制台车应具备设计图纸、结构验算书等。
- 7.1.4 拱架台车供电和通风要满足拱架台车的安全施工作业要求。
- 7.1.5 施工前应对场地进行整平、压实,并在两侧设置临时排水沟,确保排水通畅。
- 7.1.6 拱架台车行走应缓慢,并定期检查各制动装置。

### 7.2 拱架台车基本要点

- 7.2.1 拱架台车加工前应编制作业指导书,并向操作人员进行交底。
- 7.2.2 拱架台车包括门架系统、行走系统、拱架安装系统、搬运系统、支撑系统和液压系统六部分。
- 7.2.3 上述系统的主要技术参数见附录 D。
- 7.2.4 拱架台车加工及安装要点:
  - a) 拱架台车应在经硬化的场地上进行放样画线、加工制作;
  - b) 拱架台车型钢、液压千斤顶等材料与台车应进行验收,合格后方可使用;
  - c) 拱架台车设计、加工、拼装的形状尺寸应与隧道施工断面相适应,拱架台车应结构合理、移动方便;
  - d) 拱架台车加工前应编制作业指导书,并向操作人员进行交底;
  - e) 拱架提升悬臂杆端头应设置挡块,杆顶面应铺设防滑垫,以防拱架倾覆和滑动。

### 7.3 作业准备

- 7.3.1 施工前应检查拱架台车液压支撑或螺旋支撑、拱架台车提升装置等主要装置,以及控制面板、油路、顶缸等主要部件,确保运行状态良好。
- 7.3.2 应对掌子面进行排险,防止松动石块掉落。

### 7.4 工艺流程

拱架台车施工工艺流程如图 4 所示



图 4 拱架施工工艺流程图

7.5 拱架施工

7.5.1 测量放样：

- a) 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。
- b) 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。

7.5.2 台车就位：

- a) 拱架台车应依据设计中线、拱顶高程及断面尺寸准确定位；
- b) 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。

7.5.3 台车行走：

- a) 拱架台车行走时应保证各机构同步行进；
- b) 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。

7.5.4 钢拱架安装：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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。

7.5.5 台车移位：

- a) 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；
- b) 拱架台车移位过程中应缓慢平稳，不应生拉硬拽；
- c) 拱架台车停放好后应做好制动与清理，确保施工车辆正常通行。

7.6 质量控制要点

7.6.1 应核对隧道开挖断面的中线、高程和轮廓，清理拱脚位置杂物，对超挖部分及时填充。钢拱架形成面应垂直于隧道中线，竖向不倾斜、平面不错位、扭曲。

7.6.2 拱脚标高不足时应设置钢板或混凝土垫块进行调整，混凝土强度不小于二衬混凝土强度。

7.6.3 应定期检查拱架台车顶部举升装置垂直度。

7.7 质量检验

每一循环钢拱架安装作业完成后，施工技术人员应及时进行质量检验，施工质量控制标准如表 2 所示。

表 2 钢架支护施工质量控制标准

序号	项目		规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	安装间距 (mm)		±50	逐榀检查	丈量
			平均值±50	隧道拱部、边墙共3条测线	地质雷达
2	钢架数量 (榀)		≥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	丈量
6	连接钢板 (个)		钢板平面无翘曲 连接螺栓个数≥4个	全部	逐个目测
7	安装偏差 (mm)	横向	向洞内偏差≤10	逐榀检查	经纬仪 全站仪
		竖向	≥设计标高，但不超过外放误差50		
		钢架平面翘曲	≤50		

表 2 钢架支护施工质量控制标准（续）

序号	项目		规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
8	钢架连接钢筋	数量（个）	≥设计值	全部	逐个清点
		间距（mm）	±50	每榀3处	尺量

## 8 湿喷机械手

### 8.1 一般规定

- 8.1.1 湿喷机械手应具备使用说明书、产品合格证及备件一览表等。
- 8.1.2 供电、供水和通风要满足湿喷机械手的安全施工作业要求。
- 8.1.3 施工前应对场地进行整平、压实，并在两侧设置临时排水沟，确保排水通畅。
- 8.1.4 湿喷机械手行走时应缓慢，定期检查各制动装置。
- 8.1.5 不应在作业现场维修设备或更换零部件，受喷面下不应站人或随意走动。

### 8.2 设备选型原则及适用范围

- 8.2.1 湿喷机械手选型应满足湿喷混凝土施工的连续性与均匀性工作性能的基本功能需要。
- 8.2.2 湿喷机械手基本（标准）配置可参照附录 A，湿喷机械手主要技术参数可参照附录 C。
- 8.2.3 隧道供电长度超过 500m 时，宜稳压或高压供电进洞。
- 8.2.4 湿喷机械手宜配备双动力作业系统。
- 8.2.5 湿喷机械手应具备速凝剂自动计量功能，能精确测量并自动调节添加量。
- 8.2.6 湿喷机械手应具备 2 个及以上相互独立的添加剂罐，罐的容量不小于 1000L。
- 8.2.7 湿喷机械手适用于二台阶及全断面施工隧道的混凝土喷射。

### 8.3 作业准备

- 8.3.1 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。
- 8.3.2 操作人员应佩戴专业防护用具。
- 8.3.3 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。
- 8.3.4 施工前应测量隧道开挖断面净空尺寸，包括隧道的断面轮廓、中线及高程，欠挖时应及时处理。
- 8.3.5 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。

### 8.4 工艺流程

湿喷混凝土施工工艺流程如图 5 所示。

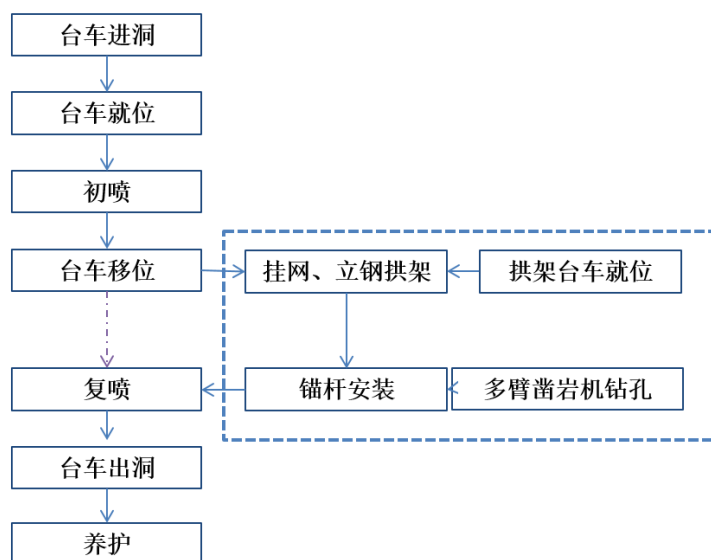


图 5 湿喷混凝土施工工艺流程图

## 8.5 湿喷混凝土施工

### 8.5.1 台车进洞:

- 湿喷机械手进洞前，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；
- 不应在斜坡上停车。

### 8.5.2 台车就位:

- 工作场地应平整，湿喷机械手就位后应立即张开支腿，确保台车停放稳固；
- 连接电源依次启动应急复位开关、空压机、液压系统等；
- 试运行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，严禁将喷枪对准施工人员。

### 8.5.3 初喷

- 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。如图 6 所示；



图 6 初喷示意图

- 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。

- c) 喷射时应分区施工，喷射顺序应“先墙后拱，自下而上”。如图 7 所示；
- d) 工作压力宜为 0.2MPa~0.7MPa；
- e) 喷射角度宜为  $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，喷头与受喷面的距离为 1m~1.5m。如图 8 所示；
- f) 初喷后，应及时进行钢筋网、钢拱架及锚杆施工。

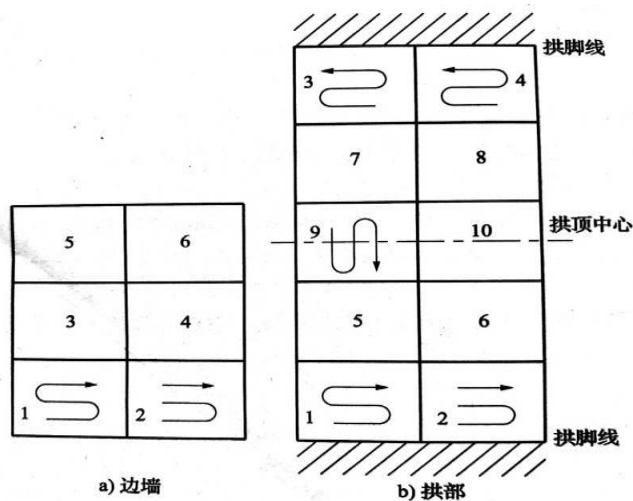


图 7 喷射顺序示意图

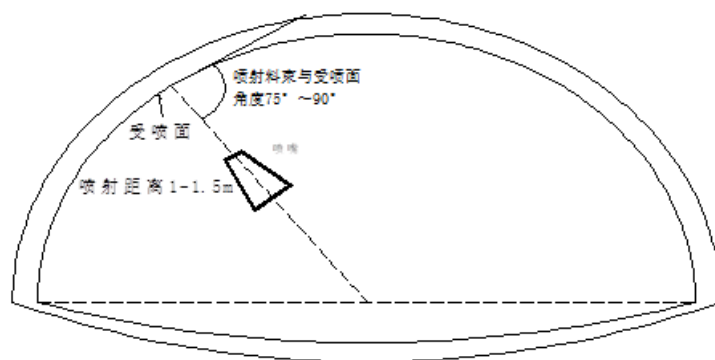


图 8 喷射距离与角度示意图

#### 8.5.4 台车移位:

- a) 湿喷机械手移位前，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；
- b) 湿喷机械手停放好后应做好制动。

#### 8.5.5 复喷:

- a) 在拱脚进行喷料时，喷头应稍微朝下喷射，保证拱脚与边墙衔接处的密实性；
- b) 喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射，并将钢拱架覆盖，钢拱架临空一侧喷射混凝土保护层厚度应满足要求。复喷时每层厚度拱顶不应大于 100mm，边墙不应大于 150mm；
- c) 在曲线段喷射时，前一榀拱架不能以后一榀为参照对象，应以本榀拱架刚好覆盖为标准；
- d) 喷射完成后应检查喷射混凝土表面平整度、掉块、空洞等。

#### 8.5.6 台车出洞:

- a) 湿喷机械手出洞前，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) 应将湿喷机械手停放在安全区域，各操纵杆置于零位；
- c) 应清洗湿喷机械手外露部分，保持台车清洁。

### 8.5.7 养护:

- a) 喷射混凝土终凝 2h 后应喷淋养护（可采用雾炮机，喷雾量不小于 12 L/min、水平转角不小于 160°、喷射范围不小于 9m），养护时间不少于 7d；
- b) 当隧道内环境日均温度低于+5°C时不应喷淋养护。

### 8.6 质量控制要点

- 8.6.1 复喷混凝土可分层多次施作。
- 8.6.2 后一层喷射混凝土应在前一层喷射混凝土终凝后进行，若终凝后初喷混凝土表面已蒙上粉尘时，应将受喷面吹洗干净后实施。
- 8.6.3 钢拱架与岩面间的间隙应用喷射混凝土填充密实，不应出现空洞。

### 8.7 质量检验

喷射混凝土作业完成后，施工技术人员应及时进行质量检验，施工质量控制标准如表 3 所示。

表 3 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 (MPa)	在合格标准内	按照《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660-2020附录B.3 检查。	
2	喷射混凝土厚度 (mm)	初喷厚度: 20~50; 最小厚度≥20  成品: 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≥50	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
			成品厚度每10m抽查2个断面, 每个断面从拱顶中线起每3m检查1点	钻孔法 全站仪 激光断面仪
3	空洞检测	无空洞、无杂物	每5m抽查1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、测线不少于5条测线, 连续检测, 厚度判定测点, 沿每条测线每3m取1个点。	地质雷达
4	喷射混凝土支护净空	不小于设计要求	每10m抽查3个断面	全站仪 激光断面仪
5	喷射混凝土平整度	$D/L \leq 1/6$	按段落里程不少于10%	直尺及塞尺
6	外观质量	喷射混凝土表面平顺、无空鼓、裂缝、松酥及掉渣等现象, 外露锚杆头、钢筋、螺杆等突出物已割除并找平处理。		
注: D——基面相邻两凸面间凹进去的深度; L——基面相邻两凸面间的距离 ( $L \leq 1m$ )。				

## 9 自行式移动栈桥

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 自行式移动栈桥（以下简称“栈桥”）应具备使用说明书、产品合格证及备件一览表等。
- 9.1.2 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。
- 9.1.3 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。

9.1.4 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。

9.1.5 栈桥左右幅之间空隙应配置安全网，防止人员坠落。

## 9.2 设备选型原则及适用范围

9.2.1 栈桥选型应满足施工机械跨越和连接仰拱施工作业面的两大功能的基本功能需要。

9.2.2 栈桥基本（标准）配置参照附录 A。栈桥主要技术参数可参照附录 C。

9.2.3 栈桥应满足仰拱施工安全通行及桥下仰拱施工要求。

9.2.4 栈桥宜采用模块化拼装式结构、全液压驱动方式和自动控制系统，以有利于快速模块化拼装。

9.2.5 栈桥主要适用于隧道仰拱施工。

## 9.3 作业准备

9.3.1 仰拱开挖完成后，栈桥应及时就位。

9.3.2 栈桥上通车前应检查行走系统、液压系统等。

## 9.4 工艺流程

仰拱施工工艺流程如图 9 所示。

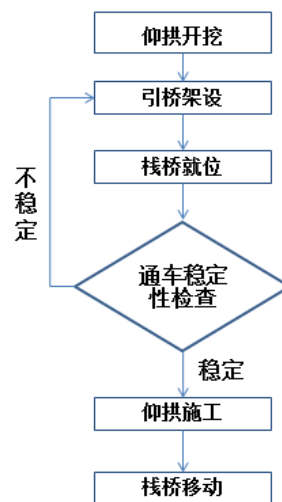


图 9 仰拱施工工艺流程图

## 9.5 仰拱施工

### 9.5.1 仰拱开挖：

- 仰拱开挖的长度应根据不同围岩情况确定；
- 软岩地段特别是处于洞口部位或洞内断层破碎带的隧道仰拱宜跳格开挖，严禁一次开挖范围过大。

### 9.5.2 引桥架设：

- 清除障碍物，场地平整；
- 打开液压系统电机，将短引桥升至最高、长引桥升至合适的高度。

### 9.5.3 栈桥就位：

- 将主桥轨道油缸提至顶端，并将轨道送到前方（对面）；
- 将主桥油缸放至底端，并将栈桥往前（对面）行走。依次循环至栈桥就位。如图 10 所示。



图 10 自行式移动栈桥就位示图

#### 9.5.4 通车稳定性检查:

- a) 施工技术人员严格检查栈桥拼装部位连接情况, 要求各部位无松动;
- b) 满载的运输车辆首次慢速通过栈桥, 由水准仪观测栈桥的大变形量(挠度), 应符合式(1)的要求。

$$f \leq \frac{L}{400} \quad (1)$$

式中:

f——栈桥的容许挠度, mm

L——栈桥的计算跨径, m

#### 9.5.5 仰拱施工:

- a) 仰拱开挖完成后, 应及时进行仰拱初期支护;
- b) 仰拱预埋钢筋露头部分宜采用定位卡槽控制钢筋间距、轴线、保护层厚度。

#### 9.5.6 栈桥移动:

- a) 当填充混凝土达到一定强度后方可移动栈桥, 继续下一循环的仰拱施工;
- b) 应清洗自行式移动栈桥外露部分, 保持台车清洁。

### 9.6 质量控制要点

9.6.1 栈桥移动前, 其各焊接部位不应有焊缝脱落、焊缝开裂等现象, 并对支撑系统进行仔细检查, 包括栈桥主梁及辅助构件有无开裂及变形, 发现问题不应进行栈桥的移动和架设, 待处理完成并检查合格后方可进行栈桥的移动和架设。

9.6.2 栈桥架设时应确保栈桥底面距仰拱填充层或调平层顶面高度大于 60cm, 并做好仰拱顶面的平整度控制。

### 9.7 质量检验

仰拱作业完成后, 施工技术人员应及时进行质量检验, 施工质量控制标准如表 4 所示。

表 4 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	按照《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660-2020 附录 B.1 检查。	
2	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 1 点	尺量
3	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	浇筑前, 水准仪
4	钢筋保护层厚度 (mm)	+10, -5	每 20m 测 5 点。	凿孔法 钢筋保护层测定仪

## 10 二衬厚度预检台车

### 10.1 一般规定

10.1.1 二衬厚度预检台车（以下简称“预检台车”）应具备快速检测初期支护喷射混凝土是否超限的功能。

10.1.2 预检台车应具有足够的强度、刚度和整体稳定性，能承受各种工况下的工作载荷。

10.1.3 自制台车应具备设计图纸、结构验算书等。

10.1.4 预检台车供电和通风要满足台车的安全施工作业要求。

10.1.5 施工前应对场地进行整平、压实，并在两侧设置临时排水沟，确保排水通畅。

10.1.6 预检台车行走应缓慢，并经常检查各制动装置是否失效。

### 10.2 预检台车基本要点

10.2.1 预检台车加工前应编制作业指导书，并向操作人员进行交底。

10.2.2 预检台车由行走系统、台车骨架、检测环及液压升降系统组成。行走系统宜采用电动遥控。预检台车设计与构造参照附录 D。

10.2.3 预检台车宜采用液压升降系统，满足不同二衬厚度检测要求。

10.2.4 预检台车的检测环应使用刚性材料制作，宜选用工字钢。

10.2.5 预检台车加工及安装要点：

- a) 预检台车应在经硬化的场地上进行放样画线、加工制作；
- b) 预检台车型钢、油缸等材料与台车应进行验收，合格后方可使用；
- c) 预检台车设计、加工、拼装的形状尺寸应与隧道施工断面相适应，台车应结构合理、移动方便。

### 10.3 作业准备

10.3.1 使用前应检查预检台车液压系统、油路等主要部件，确保运行状态良好。

10.3.2 使用前应通过对比试验验证预检台车检测结果的可靠性。

10.3.4 预检台车行走前应先割除初支表面外露锚杆、钢筋，并用水泥砂浆抹平。

### 10.4 工艺流程

二衬厚度预检施工工艺流程如图 11 所示。

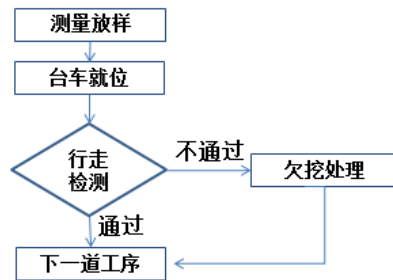


图 11 二衬厚度预检施工工艺流程图

### 10.5 二衬厚度预检

10.5.1 测量放样：

a) 应采用全站仪精确放样，确定待检隧道断面中心线，直线段宜每 10m 布设中桩，曲线段宜每 5m 布设中桩。轨道中心线应与隧道中心线重合；

b) 基面（轨道）高程测定频率 5m/次。

### 10.5.2 台车就位：

- a) 用液压控制系统调整预检台车高度并打开检测环，使检测环位于设计轮廓线并与隧道中心线重合；
- b) 应对检测环从拱顶到两侧复测不少于 5 个点坐标，确保检测环与设计轮廓线重合。

### 10.5.3 行走检测：

- a) 预检台车两侧应同步行走；
- b) 预检台车行走过程中，检测环应垂直于隧道中心线。

### 10.5.4 欠挖处理：

发现欠挖应及时处理，经验收合格后方可进入下一道工序。

## 10.6 质量检验

应严格控制欠挖。当岩层完整、岩石抗压强度大于 30MPa 并确认不影响衬砌结构稳定和强度时，每 1 m<sup>2</sup>内欠挖面积不宜大于 0.1 m<sup>2</sup>，欠挖隆起量不应大于 50mm。拱脚、墙脚以上 1m 范围内及净空图折角对应位置不应欠挖。质量控制标准同二衬台车。

## 11 防水卷材作业台车

### 11.1 一般规定

11.1.1 防水卷材作业台车（以下简称“防水板台车”）应具备防水卷材的铺设、安装及二衬钢筋安装的功能。

11.1.2 自制台车应具备设计图纸、结构验算书等。

11.1.3 防水板台车应具有足够的强度、刚度和整体稳定性，能承受各种工况下的工作载荷。

11.1.4 防水板台车供电和通风要满足台车的安全施工作业要求。

11.1.5 施工前应对场地进行整平、压实，并在两侧设置临时排水沟，确保排水通畅。

11.1.6 防水板台车行走应缓慢，并经常检查各制动装置是否失效。

### 11.2 防水板台车基本要点

11.2.1 防水板台车加工前应编制作业指导书，并向操作人员进行交底。

11.2.2 防水板台车的基本（标准）配置参见附录 A，防水板台车设计与构造参照附录 D

11.2.3 防水板台车宜采用轮式行走系统，台车主体应与行走箱体铰接固定。

11.2.4 轨道宜采用固定扇形轨道，双侧轨道中线应对称布置，并固定在主体台架上。

11.2.5 铺设小车宜采用双侧双排轮设计，采用双卷扬机驱动。

11.2.6 防水板台车的液压系统主要由液压泵站、阀组和支撑油缸组成。

11.2.7 防水板台车加工及安装要点：

- a) 防水板台车应在经硬化的场地上进行放样画线、加工制作；
- b) 防水板台车型钢、液压千斤顶等材料与台车应进行验收，合格后方可使用；
- c) 防水板台车设计、加工、拼装的形状尺寸应与隧道施工断面相适应，台车应结构合理、移动方便；
- d) 防水板台车加工前应编制作业指导书，并向操作人员进行交底；
- e) 防水板台车的主控柜旁宜配置警报器，行车前应启动报警器；
- f) 铺设轨道各端部应设置限位开关，防止铺设小车运行中失控。

### 11.3 作业准备

11.3.1 施工前应检查防水板台车支撑装置、牵引装置等，以及控制面板、油路等主要部件，确保运行状态良好。

11.3.2 作业前对应防水板台车进行试运行与试铺，检查防水卷材首次铺设效果，并总结台车的操控方式、防水卷材铺设松弛率、搭接长度、无损热粘的温度等主要施工工艺参数。

#### 11.4 工艺流程

防水卷材施工工艺流程如图 12 所示

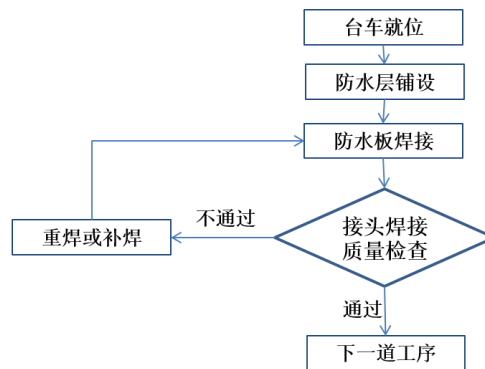


图 12 防水卷材施工工艺流程

#### 11.5 防水卷材施工

##### 11.5.1 台车就位：

- 防水板台车行走时应保证各机构同步行进；
- 行走过程中应保证防水板台车下端无障碍，确保台车行进顺畅；
- 防水板台车应依据设计中线准确定位；
- 防水板台车就位后应采用液压支撑或螺旋支撑，不应采用轮胎支撑受力。

##### 11.5.2 防水层铺设：

- 土工布铺设：启动往复式卷扬机使轨道小车带动卷筒沿环形轨道移动，完成土工布自动铺设。调整压紧装置使土工布保持平整并紧贴岩面；
- 土工布固定：土工布宜采用射钉加热熔垫片固定，其固定间距宜根据松弛率确定，热熔垫片宜采用红外线激光定位装置进行定位，如图 13 所示；



图 13 红外线激光定位射钉热熔垫片示意图



图 14 防水板铺设示意图

- 防水板铺设：启动往复式卷扬机使轨道小车带动卷筒沿环形轨道移动，完成防水板自动铺设。调整压紧装置使防水板保持平整并紧贴岩面，如图 14 所示；

- 防水板固定：应及时将防水板与热熔垫片用电磁焊机或超声波焊机焊接固定，每个热熔垫片焊接四个点，焊点应均匀分布，如图 15 所示。



图 15 防水板固定示意图

图 16 防水板焊接示意图

### 11.5.3 防水板焊接

防水板材料宜选用透明卷材，并采用自动爬焊机双缝焊接牢固，如图 16 所示。

### 11.5.4 焊缝质量检查

焊缝应顺直、无气泡、空鼓、皱折，并采用充气法检查焊缝质量。

### 11.5.5 重焊或补焊

防水板焊接存在缺陷时，应进行重焊或补焊。

## 11.6 质量控制要点

11.6.1 防水层应环向整幅铺设，幅宽宜为 3m-6m，拱部和边墙应无纵向搭接。

11.6.2 土工布接缝与防水板焊缝，及防水板焊缝与二衬施工缝均应错开 1 米以上。

11.6.3 应做好防水层成品保护。

## 11.7 质量检验

防水层作业完成后，应按照《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660-2020 中 11.4.7 的条款执行，施工技术人员应及时进行质量检验，施工质量控制标准如表 5 所示；止水带安装质量控制标准如表 6 所示。

表 5 防水板施工质量控制标准

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

表 6 止水带安装质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
1	纵向偏离 (mm)	±50	每环 5 处	尺量
2	偏离衬砌轴线 (mm)	≤30	每环 5 处	尺量
3	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。 注 2：偏离衬砌轴线，指偏离衬砌厚度的中线。 注 3：背贴式止水带仅检查其中“纵向偏离”，不检查其他两项				

## 12 二衬台车

### 12.1 一般规定

- 12.1.1 二衬台车应采用整体模板，具备混凝土逐窗入模布料功能。
- 12.1.2 自制台车应具备设计图纸、结构验算书等。
- 12.1.3 二衬台车应具有足够的强度、刚度和整体稳定性，能承受各种工况下的工作载荷。
- 12.1.4 二衬台车供电、供水和通风要满足二衬台车的安全施工作业要求。
- 12.1.5 台车行走时应缓慢，并定期检查各制动装置。

## 12.2 二衬台车基本要点

- 10.2.1 二衬台车加工前应编制作业指导书，并向操作人员进行交底。
- 12.2.2 二衬台车的基本（标准）配置参见附录 A，台车的设计与构造参照附录 D
- 12.2.3 二衬台车模板总成包括模板、托架、侧向液压油缸、脚部竖向千斤顶、脚部侧向千斤顶等。
- 12.2.4 二衬台车框架总成包括框架、横移油缸、顶升油缸、行走机构等。
- 12.2.5 二衬台车结构尺寸应准确，各种伸缩构件、液压系统、电气控制系统运行良好，各支撑机构设置合理；台车应能自动行走，并有闭锁装置，保证定位准确。加宽段宜采用加宽段专用台车。
- 12.2.6 二衬台车加工及安装要点：
  - a) 二衬台车型钢、液压千斤顶等材料与台车应进行验收，合格后方可使用；
  - b) 二衬台车设计、加工、拼装的形状尺寸应与隧道施工断面相适应，台车应结构合理、移动方便；
  - c) 二衬台车结构应能满足车辆通行与风、水、电管路布置；
  - d) 二衬台车加工前应编制作业指导书，并向操作人员进行交底；
  - e) 模板宜采用不小于 10mm 厚的钢制顶模、边模组成，顶模与边模采用铰接。模板应“品”字型整齐设置工作窗，窗口尺寸宜为 50cm×50cm，其纵向间距不应大于 2.5m，距端部不应大于 1.8m，环向高度宜为 2 m~2.5m；
  - f) 每层工作窗处应设置宽度不小于 60cm 的工作平台。顶部平台所有管路应按设计预埋位置安装，确保顶部平台平整；
  - g) 二衬台车顶模应预留注浆孔。

## 12.3 作业准备

- 12.3.1 作业前应确认电器设备、油路、水路、风以及电缆等完好后方可启动。
- 12.3.2 作业前二衬台车应进行试运行，包括二衬台车的机械系统、液压系统和电子操作系统，逐项检查台车正向、反向行走的稳定性、台车模板的液压油泵顶升稳定性、布料系统运行情况、台车机械振捣运行情况等，并总结台车的行走方式、台车就位与制动控制、布料系统操控等作业经验。
- 12.3.3 作业前应按设计图纸对衬砌内的预埋管线及机电安装基础、预留洞室等分门别类进行统计汇总，并向操作人员进行交底。

## 12.4 工艺流程

二衬混凝土施工工艺流程如图 17 所示

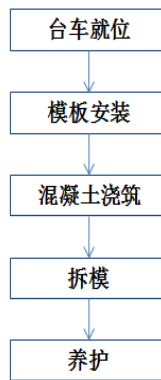


图 17 二衬混凝土施工工艺流程框图

## 12.5 二衬混凝土施工

### 12.5.1 台车就位：

- a) 二衬台车轨道安装前，应及时清理基面杂物；
- b) 二衬台车轨道顶面与隧道开挖基面应保持基本平行，当坡度较大时，应在距轨道端头不小于 3cm 的地方设置卡轨器，防止台车运行时脱轨；
- c) 二衬台车行走时应保证各机构同步行进；
- d) 行走过程中应保证二衬台车下端无障碍，确保台车行进顺畅；
- e) 二衬台车就位后应检查并记录中线、高程及断面尺寸等，同时应做好台车的支撑与加固。

### 12.5.2 模板安装：

- a) 二衬台车模板就位前应仔细检查防水板、排水盲管、衬砌钢筋、预埋件等隐蔽工程并做好记录，不符合要求的应进行返工处理；
- b) 二衬台车端部的挡头模板须保证设计衬砌厚度，并可适当调整以适应其不规则性，其单片宽度不宜小于 300mm，厚度不小于 30mm；
- c) 二衬台车模板与二衬搭接长度不宜小于 100mm，搭接处应加强封堵。拱圈边墙的纵向端头外露的，立模时应设置挡头板，挡头板应与岩面紧密接触；
- d) 止水带及止水条安装应采用专用模具准确安装。

### 12.5.3 混凝土浇筑：

- a) 混凝土应采用分料分窗自下而上分层、左右交替、从两侧向拱顶对称浇筑。两侧混凝土灌注面高差宜控制在 500 mm 以内，同时应合理控制混凝土浇筑速度；
- b) 冲顶混凝土浇筑时应通过端模最高处观察孔监视拱顶混凝土浇筑进展，待端模最高处泌出浓浆即可停止浇筑；
- c) 应根据不同部位选择插入式、附着式振捣器或两种组合的方式；
- d) 混凝土的入模温度，在冬季施工时不应低于 5℃，夏季施工时不应高于 32℃。

### 12.5.4 拆模：

当混凝土强度达到 5MPa 时方可拆模，拆模后应及时养护。

### 12.5.5 养护：

- a) 宜按 13.5 节二衬养护台车进行养护；
- b) 二衬混凝土养护期应不少于 14d。

## 12.6 质量控制要点

12.6.1 应根据台车长度及预留洞室位置规划、调整衬砌长度，避免施工缝设置在预留洞室位置或出现较长搭接。

12.6.2 仰拱与二衬的结合面应凿毛，模板底部应用砂浆找平，并加强封端处封堵及支撑。

12.6.3 混凝土浇筑前应检查各部位密封情况，特别是输送管道布置及接头的可靠性。

12.6.4 混凝土应尽可能直接入仓，不应冲刷防水板；砼输送管端部宜设置软管，管口与浇筑面的垂距宜小于 1.2m。

12.6.5 应定期检查台车液压支撑系统，及时维护或更换底部千斤顶。

## 12.7 质量检验

12.7.1 二衬台车模板安装质量控制标准如表 7 所示。

12.7.2 每一循环二衬混凝土施工作业完成后，施工技术人员应及时进行质量检验，施工质量控制标准如表 8 所示。

表 7 二衬台车安装质量控制标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率或检查部位	检验方法
1	台车加工尺寸 (mm)	±3 (与设计值偏差)	全部	尺量
2	模板厚度 (mm)	≥10	顶模及侧模	卡尺
3	模板平整度 (mm)	5	每 5 延米两侧边墙及拱部选 3 处，每处测 3 点	2m 靠尺和塞尺
4	平面位置及高程 (mm)	±15	全部	尺量
5	起拱线高程 (mm)	±10	全部	水准仪测量
6	拱顶高程 (mm)	+10, 0	全部	水准仪测量
7	台车液压伸缩机构及行走机构 (mm)	操作灵活，制动良好，无异响、无卡顿。	逐模检测	目测
8	台车就位 (mm)	±5	模板两侧及拱顶	全站仪
9	净空检测 (mm)	±50	模板两侧及拱顶	全站仪
10	挡头模版 (mm)	缝隙嵌堵密实，无漏浆。模板单片宽度≥300，厚度≥30。	逐模检测	尺量

表 8 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/T 3660-2020 附录 B.1 检查。	试件检测
2	衬砌厚度 (mm)	90%的检查点厚度≥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

## 13 二衬养护台车

### 13.1 一般规定

13.1.1 二衬养护台车应具备隧道二衬混凝土自动化养护功能。

- 13.1.2 自制台车应具备设计图纸、结构验算书等。
- 13.1.3 二衬养护台车应具有足够的强度、刚度和整体稳定性
- 13.1.4 二衬养护台车供电、供水应满足台车的安全施工作业要求。
- 13.1.5 养护用水应采用符合《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660 的规定。

### 13.2 二衬养护台车基本要点

- 13.2.1 二衬养护台车加工前应编制作业指导书，并向操作人员进行交底。
- 13.2.2 二衬养护台车的基本（标准）配置参见附录 A，二衬养护台车的设计与构造可参照附录 D。
- 13.2.3 二衬养护台车宜采用分离式电机控制，确保弯道处顺利通过。
- 13.2.4 二衬养护台车喷头距二衬混凝土面宜在 0.3m~0.5m 之间，水雾应能均匀喷洒到二衬混凝土表面。
- 13.2.5 二衬养护喷头应具备雾化功能，双排、交错布置，喷头间距应确保能全覆盖养护。
- 13.2.6 二衬养护台车加工及安装要点：
  - a) 二衬养护台车应在经硬化的场地上进行放样画线、加工制作，并能满足自动化、全覆盖喷淋养护混凝土的功能需要；
  - b) 二衬养护台车加工前应编制加工作业指导书，并向操作人员进行交底；
  - c) 二衬养护台车设计、加工、拼装的形状尺寸应与隧道施工断面相适应，台车应结构合理、移动方便；
  - d) 喷淋管道应环向均匀布置。

### 13.3 作业准备

- 13.3.1 作业前应确认电器设备、水路及电缆等完好后方可启动。
- 13.3.2 二衬养护台车启动前应保证台车水箱水量充足。
- 13.3.3 应在隧道内供水管每间隔 50m 设接水闸阀。

### 13.4 工艺流程

二衬混凝土养护施工工艺流程如图 18 所示。

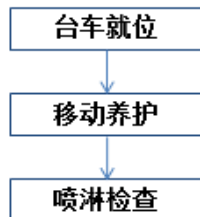


图 18 二衬混凝土养护施工工艺流程

### 13.5 二衬混凝土养护

- 13.5.1 台车就位：
  - a) 清除养护台车行走范围内的障碍物，打开养护工作示警灯；
  - b) 调试喷头，使养护用水呈水雾状态喷出。
- 13.5.2 移动养护：
  - a) 应保证养护台车匀速移动，移动速度不宜超过 6m/min；
  - b) 同一断面位置的持续喷水时间不少于 5s。
- 13.5.3 喷淋检查：
  - a) 应保证二衬混凝土表面湿润无漏喷；
  - b) 应保证养护台车的水箱水位处于正常位置。

### 13.6 质量控制要点

- 13.6.1 应定期检查水质，清理水箱内沉淀物。
- 13.6.2 应定期清理或更换喷头，确保喷水顺畅。
- 13.6.3 喷淋养护时间不少于 14 天。

### 13.7 质量检验

二衬混凝土养护质量控制标准如表 9 所示。

表 9 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(°C)	≥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

## 14 电缆沟槽台车

### 14.1 一般规定

- 14.1.1 电缆沟槽台车应具备电动行走及全幅浇筑功能。
- 14.1.2 电缆沟槽台车应具备设计图纸、结构验算书等。
- 14.1.3 电缆沟槽台车应具有足够的强度、刚度和整体稳定性。
- 14.1.4 电缆沟槽台车供电和供水应满足其安全施工作业要求

### 14.2 设备选型原则及适用范围

- 14.2.1 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。
- 14.2.2 电缆沟槽台车的基本（标准）配置可参照附录 A，主要技术参数可参照附录 C。
- 14.2.3 电缆沟槽台车适用于隧道电缆沟槽施工。

### 14.3 作业准备

- 14.3.1 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。
- 14.3.3 作业前应对预埋管线、洞室的预留位置等向操作人员进行交底。

### 14.4 工艺流程

电缆沟槽台车施工工艺流程如图 19 所示。

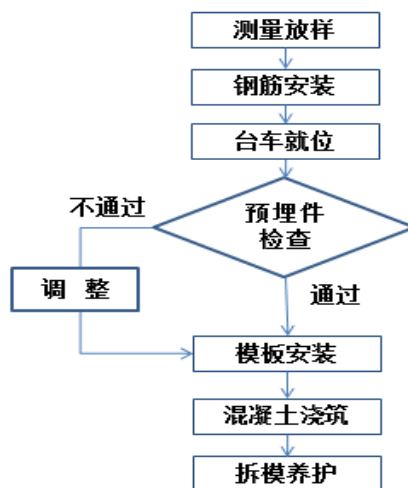


图 19 电缆沟槽台车施工工艺流程

### 14.5 电缆沟槽施工

#### 14.5.1 测量放样

应采用全站仪精确放样，确定电缆沟槽路缘侧边线，并用水准仪测出地面高程，以控制模板安装轴线与高程。

#### 14.5.2 钢筋安装

电缆沟槽墙体竖向主筋采用植筋胶植筋工艺，钢筋植入深度应不小于 250mm。

#### 14.5.3 台车就位：

- a) 电缆沟槽台车应依据隧道中线、施工控制点及电缆沟槽尺寸准确定位。
- b) 电缆沟槽台车就位后应及时设置支撑装置，保证台车整体稳定。

#### 14.5.4 预埋件检查

每循环作业前应检查管线、洞室、预埋件，防止混凝土堵塞管道。

#### 14.5.5 模板安装

模板安装应控制好顶面高程，确保线性平顺；端头模板安装应牢靠并封堵密实。

#### 14.5.6 混凝土浇筑

混凝土应分层对称浇筑，采用插入式振动棒振捣，振捣时不应触碰钢筋及模板。

#### 14.5.7 拆模、养护

当混凝土强度 $\geq 5\text{Mpa}$ 时方可拆模，拆模应按照端头模板、外模、芯模顺序进行。拆模后应及时进行养护，养护时间不应少于 14 天。

### 14.6 质量控制要点

14.6.1 应严格控制电缆沟槽的线型、标高、垂直度、沟底纵坡、顶面平整度。

14.6.2 电缆沟施工缝和沉降缝位置宜和二次衬砌相同。

14.6.3 拆模过程中禁止启动横向液压系统，避免模板横向移动破坏电缆沟槽结构。

14.6.4 预埋件及预埋管线位置在混凝土浇筑时应做好保护措施防止进浆堵管。

### 14.7 质量检验

每一循环电缆沟槽施工作业完成后，施工技术人员应及时进行质量检验，施工质量控制标准如表 10 所示。

表 10 电缆沟槽质量检验与控制标准

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）	$\pm 5$	水准仪，每模两侧各测 3 处
3	垂直度（%）	$\pm 0.1\%$	垂球，每模两侧各测 3 处
4	沟底纵坡（%）	$\pm 0.1\%$	水准仪，每模两侧各测 2 处
5	顶面平整度（mm）	$\leq 5$	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）	$\pm 3$	每施工缝处
7	金属管埋设（cm）	均由电缆沟底进入电缆槽内，管口应露出 20	随机抽检，每模 2 处

附 录 A  
(资料性)  
公路山岭隧道钻爆法机械化施工基本(标准)配置参考表

表 A.1 单洞双车道机械化基本配置参考表

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)		二臂*1(选配)		二臂*1(选配)				
2	拱架台车	移动式		选配		选配				
3	湿喷机械手	25 m <sup>3</sup> /h				选配				
4	防水卷材作业台车	移动式						1台		
5	二衬台车	移动式							1台	
6	二衬养护台车	移动式							1台	
7	二衬厚度预检台车	移动式							选配	
8	自行式移动栈桥	≥9m					1台			
9	电缆沟槽台车									选配
10	多功能作业台架			1台						
11	移动空压机	18~25m <sup>3</sup> /min		2台						
12	锚杆注浆泵	砂浆泵				1~2套				
13	混凝土输送泵	≥40m <sup>3</sup> /h							1台	
14	混凝土运输车	5~10m <sup>3</sup>							4~6辆	
15	仰拱模板台架						1套			
16	二衬台车布料系统									
17	自卸汽车	15~25T			4~6辆					
18	挖掘机	0.2~1.2m <sup>3</sup>		1台						
19	装载机	2~6m <sup>3</sup>			1~2台					
20	常规超前探孔	MK-5	1台							
21	地质雷达		1台							
22	发电机	250~500Kw		1台						
23	变压器	400KVA 以上		1~2台						

表 A.1 单洞双车道机械化基本配置参考表（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
24	抽水机						1~2 台			
25	雾炮机			1 台						
26	轴流风机	74~220kw		1 台						

表 A.2 单洞双车道机械化标准配置参考表

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）		三臂*1/二臂*1		三臂*1/二臂*1				
2	拱架台车	移动式		1台		1台				
3	湿喷机械手	25 m³/h				1台				
4	防水卷材作业台车	移动式						1台		
5	二衬台车	移动式							1台	
6	二衬养护台车	移动式							1台	
7	二衬厚度预检台车	移动式							1台	
8	自行式移动栈桥	≥9m					1台			
9	电缆沟槽台车									1台
10	多功能作业台架									
11	移动空压机	18~25m³/min		3台						
12	锚杆注浆泵	砂浆泵				2套				
13	混凝土输送泵	≥40m³/h							1~2台	
14	混凝土运输车	5~10m³							4~8辆	
15	仰拱模板台架						1套			
16	二衬台车布料系统									
17	自卸汽车	15~25T			4~8辆					
18	挖掘机	0.2~1.2m³		1台						
19	装载机	2~6m³			2台					
20	常规超前探孔	MK-5	1台							
21	地质雷达		1台							
22	发电机	250~500Kw		1台						
23	变压器	600KVA 以上		1~2台						
24	抽水机						2台			
25	雾炮机			1台						
26	轴流风机	74~220kw		1~2台						

表 A.3 双洞双车道机械化基本配置参考表

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）		二臂*1（选配）			二臂*1（选配）			
2	拱架台车	移动式		选配			选配			
3	湿喷机械手	25m³/h					选配			
4	防水卷材作业台车	移动式						2台		
5	二衬台车	移动式							2台	
6	二衬养护台车	移动式							2台	
7	二衬厚度预检台车	移动式							选配	
8	自行车式移动栈桥	≥9m						2台		
9	电缆沟槽台车									选配
10	多功能作业台架			2台						
11	移动空压机	18~25m³/min		5~8台						
12	锚杆注浆泵	砂浆泵					2套			
13	混凝土输送泵	≥40m³/h							2台	
14	混凝土运输车	5~10m³							4~6辆	
15	仰拱模板台架							2套		
16	二衬台车布料系统									
17	自卸汽车	15~25T			4~6辆					
18	挖掘机	0.2~1.2m³		2台						
19	装载机	2~6m³			2台					
20	常规超前探孔	MK-5	2台							
21	地质雷达		1台							
22	发电机	250~500Kw		2台						
23	变压器	400KVA 以上		1~2台						
24	抽水机							1~2台		
25	雾炮机			2台						
26	轴流风机	74~220kw		2台						

表 A.4 双洞双车道机械化标准配置参考表

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）		三臂*1/二臂*2		三臂*1/二臂*2				
2	拱架台车	移动式		2台		2台				
3	湿喷机械手	25m³/h				2台				
4	防水卷材作业台车	移动式						2台		
5	二衬台车	移动式							2台	
6	二衬养护台车	移动式							2台	
7	二衬厚度预检台车	移动式							2台	
8	自行式移动栈桥	≥9m					2台			
9	电缆沟槽台车									1-2台
10	多功能作业台架									
11	移动空压机	18~25m³/min		5~8台						
12	锚杆注浆泵	砂浆泵				2~4套				
13	混凝土输送泵	≥40m³/h							2~4台	
14	混凝土运输车	5~10m³							4~8辆	
15	仰拱模板台架						2套			
16	二衬台车布料系统									
17	自卸汽车	15~25T			4~8辆					
18	挖掘机	0.2~1.2m³		2台						
19	装载机	2~6m³			2台					
20	常规超前探孔	MK-5	2台							
21	地质雷达		2台							
22	发电机	250~500Kw		2台						
23	变压器	800KVA 以上		1~2台						
24	抽水机						2台			
25	雾炮机			2台						
26	轴流风机	74~220kw		2台						

表 A.5 双洞三车道机械化基本配置参考表

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）		三臂*1（选配）			三臂*1（选配）				
2	拱架台车	移动式		选配			选配				
3	湿喷机械手	25m³/h					选配				
4	防水卷材作业台车	移动式						2台			
5	二衬台车	移动式							2台		
6	二衬养护台车	移动式							2台		
7	二衬厚度预检台车	移动式							选配		
8	自行式移动栈桥	≥9m						2台			
9	电缆沟槽台车										选配
10	多功能作业台架			2台							
11	移动空压机	18~25m³/min		5~8台							
12	锚杆注浆泵	砂浆泵					2套				
13	混凝土输送泵	≥40m³/h							2台		
14	仰拱模板台架							2套			
15	混凝土运输车	5~10m³								4~6辆	
16	二衬台车布料系统									2套	
17	自卸汽车	15~25T				4~8辆					
18	挖掘机	0.2~1.2m³		2台							
19	装载机	2~6m³				2台					
20	常规超前探孔	MK-5	2台								
21	地质雷达		2台								
22	发电机	250~500Kw		2台							
23	变压器	400KVA 以上		1~2台							
24	抽水机							1~2台			
25	雾炮机			2台							
26	轴流风机	74~220kw		2台							

表 A.6 双洞三车道机械化标准配置参考表

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	主要 机械	多臂凿岩机	二臂（或三臂）		三臂*2		三臂*2			
2		拱架台车	移动式		2台		2台			
3		湿喷机械手	25 m³/h				2台			
4		防水卷材作业台车	移动式						2台	
5		二衬台车	移动式							2台
6		二衬养护台车	移动式							2台
7		二衬厚度预检台车	移动式							2台
8		自行式移动栈桥	≥9m					2台		
9		电缆沟槽台车								1-2台
10	辅助 机械 或设 备	多功能作业台架								
11		移动空压机	18~25m³/min		5~8台					
12		锚杆注浆泵	砂浆泵				1~2套			
13		混凝土输送泵	≥40m³/h							2~4台
14		仰拱模板台架						2套		
15		混凝土运输车	5~10m³							6~8辆
16		二衬台车布料系统								2套
17		自卸汽车	15~25T			6~10辆				
18		挖掘机	0.2~1.2m³		2台					
19		装载机	2~6m³			2台				
20		常规超前探孔	MK-5	2台						
21		地质雷达		2台						
22		发电机	250~500Kw		1台					
23		变压器	800KVA 以上		2台					
24		抽水机						2台		
25		雾炮机			2台					
26		轴流风机	74~220kw		2台					

注：1. 隧道钻爆法施工机械化成套设备的配置模型选择可根据单洞、双洞、车道数、隧道长度、地质构造与围岩等级综合考虑。  
 2. 机械化标准配置适用于1Km以上，地质条件较好（全断面开挖）或II级、III级及Iva级围岩的隧道施工。  
 3. 机械化基本配置适用于1Km以下，地质条件较复杂或II级、III级及Iva级围岩以外的隧道施工。

附 录 B

(资料性)

公路山岭隧道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	25 m <sup>3</sup> /h					操作工 2 人，普工 2 人			
4	主要 机械 操作 工及 辅工	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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /h							普工 1 人	
14	混凝土运输车	5~10m <sup>3</sup>							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	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	0.2~1.2m <sup>3</sup>		操作工 1 人, 普工 2 人						
19	装载机	2~6m <sup>3</sup>			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 人员 及管 理人 员	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							

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	
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  
(资料性)

外购设备主要技术参数及设备选型要点参考表

表 C.1 多臂凿岩机主要技术参数及设备选型要点

序号	项目	主要技术参数、选型	
1	整机	凿孔直径 mm	Φ33-Φ76
		钎杆长度 mm	2475/3090
		钻孔深度 mm	2100/2700
		钻孔速度 m/min	0.8~2
		适用断面 (b×h) m	5.0×4.0
		总功率 kW	55 或 55+2.2
		总重 t	不低于 13
2	底盘	最小转弯半径 m	5.3
		行走速度 km/h	2.4
		爬坡能力	±16°
		主泵	双联轴向柱塞
3	钻臂	形式	液压平动
		升降	升 45°降 20°
		摆臂	左 36°右 36°
		补偿行程 mm	1550
4	推进器	俯仰	俯 95°仰 3°
		回转	±180°
		推进行程 mm	2100/2700
5	多臂凿岩机	型号	国产为主, 进口为辅
		钻孔直径 mm	φ38-φ76 (推荐)
6	供气系统	供多臂凿岩机的气压 Mpa	0.3-0.6
		空压机排量 L/min	360
		工作最高压力 Mpa	0.7Mpa
7	供水系统	供多臂凿岩机的水压 Mpa	0.8
		供冷却器的水压 Mpa	0.6
8	电气系统	总功率 kW	55 或 57.2
		供电电压 V	AC660/1140
		电机转速 r/min	1470
		开关箱防爆形式	隔爆兼本质安全型
设备选型	<p>设备选型应符合以下要求:</p> <p>a) 多臂凿岩机的选型主要依据隧道开挖轮廓线尺寸(高度和宽度)、设备的适用范围(最大与最小尺寸)、隧道开挖方法(全断面或台阶法), 同时结合围岩的钻进速度和台班循环进尺, 选择采用单臂、双臂或三臂凿岩机;</p> <p>b) 对于双车道隧道(III级围岩全断面开挖一般洞高≤8m、洞宽≤12.6m), 1000m 以上长隧道可选用二臂或三臂各种凿岩机。对于三车道隧道或紧急停车带扩大断面(III级围岩全断面开挖一般洞高≥8.8m、洞宽≥16.6m), 应优先选用三臂凿岩机或一台二臂凿岩机与一台三臂凿岩机配套使用;</p> <p>c) 对于单边开挖 3000m 以上的特长隧道因进口多臂凿岩机有性能稳定、机保长度高等优势, 建议选用进口的二臂或三臂凿岩机;</p> <p>d) 对于IV级、V级围岩偏高的隧道, 全断面开挖施工长度相对较短时, 建议选用二臂凿岩机, 并通过调整上台阶开挖高度, 满足多臂凿岩机能进入开挖面, 提高隧道开挖施工的机械化水平;</p> <p>e) 对于人行横通、车行横通、配电洞室等小断面隧道开挖钻孔, 建议选用国产二臂凿岩机配合开挖。</p>		

表 C.2 湿喷机械手主要技术参数及设备选型要点

序号	项目	主要技术参数
1	外形尺寸(长×宽×高)	-
2	有效作业高度、宽度、距离	16700mmx28200mmx14300mm
3	最大爬坡能力	25 度
4	行驶速度	0~18Km/h
5	泵送额定压力	60~80bar
6	泵送理论值	0-30m³/h
7	整机重量	16200kg
8	空压机供风量	≥0-13m³/min
9	转弯内径	20~26m
10	转弯外径	61mm
11	额定风压	7bar
12	发动机功率	82KW
13	电气总输入功率	130KW
14	喷射骨料最大粒径	16 mm
设备选型	<p>设备选型应符合以下要求：</p> <p>a) 设备的外形尺寸大小、爬坡能力、喷射距离、最大喷射高度、最大喷射宽度、前方最远喷射距离、最小可喷射作业隧洞高度、行驶方向、方向盘整体可回转角度、喷射混凝土的适应性等技术指标等；此外，还应根据隧道规模，选择经济性最优的机型，对于俩车道以上的大断面隧道建议选用理论喷射方量 25m³/h 以上的机型；</p> <p>b) 湿喷机底盘决定了转场速度、灵活度和对道路工况的适应性。底盘参数主要关注驱动形式、动力系统、行走速度、转弯半径和爬坡能力；</p> <p>c) 最大理论排量是设备选型的主要参数，是体现生产效率的主要指标。允许的最大骨料粒径越大，越不易堵管；</p> <p>d) 臂架参数是湿喷机的主要参数，应结合工程断面、围岩等级、辅助工法、分部开挖情况进行选择。一般情况下，隧道围岩等级是变化的，因此既要考虑全断面施工，也要考虑分部开挖的需要。</p>	

表 C.3 自行式移动栈桥主要技术参数及设备选型要点

序号	项目	主要技术参数
1	通车限重	≤55T
2	通车限宽	<3.2m
3	有效跨距	12~24m
4	安全步距	V级围岩，距离掌子面：仰拱 35m、二衬 70m
5	工作方式	液压
6	行走方式	履带自行式
7	最大行走速度（m/min）	25
8	引桥坡度(%)	≤12°
9	驱动力(KN)	≥120
10	总功率(KW)	≥18.5
11	行走状态接地比压(MPa)	≤0.1
12	通车状态接地比压(MPa)	≤1
设备选型	设备选型应符合以下要求： a) 安全性，考虑结构稳定性； b) 一次施工长度以提高一次性混凝土连续浇筑，减少流水步距的循环时间； c) 液压控制：提高可靠性与工作平稳性； d) 通过荷载满足施工需要； e) 桥下空间，以有利于栈桥下混凝土的振捣和收面工作，提升混凝土浇筑质量。	

表 C.4 电缆沟槽台车的主要技术参数及设备选型要点

项目	单位	参数	
台车每模衬砌长度	mm	12000	
通过净空尺寸	mm	4600x5000	
台车行走速度	m/min	2	
水平调整量	mm	250+100（单边）	
系统压力	Mpa	16	
液压泵流量	L/min	14.6	
油缸最大行程	竖向脱模油缸	mm	1100/200
	中线调整油缸	mm	500
	水平调整油缸	mm	250
	侧向脱模油缸	mm	300
	行走顶升油缸	mm	250
	行走平移油缸	mm	200
设备选型	设备选型应符合以下要求： a) 隧道断面较小，可以采用施工台车模板； b) 如果隧道断面较大，台车横向跨度较大，可使用滑模施工； c) 如果隧道转弯半径较小，宜使用滑模施工； d) 直线占比较大时，为保证强弱电缆沟的一体性，建议采用电缆沟槽台车施工。		

附录 D  
(资料性)  
自制设备基本构造与主要技术参数

D.1 拱架台车基本构造与主要技术参数

D.1.1 拱架台车包括门架系统、行走系统、拱架安装系统、搬运系统、支撑系统和液压系统六部分。

D.1.2 拱架台车设计如图 D-1 所示:

D.1.2.1 门架系统

拱架台车的门架系统是台车的主体骨架，在台车的机架顶部设置有平台，提升机构设置在机架正面用于提升钢拱，搬运机构设置在平台上用于搬运提升钢拱，举升机构固定设置在搬运机构上用于举升顶拱至安装位置，支腿机构设置在机架上用于调整机架位置

D.1.2.2 行走系统

行走系统由纵向行走轨道与驱动机构组成，行走驱动机构设置在机架底部，带动拱架台车机架纵向运动。

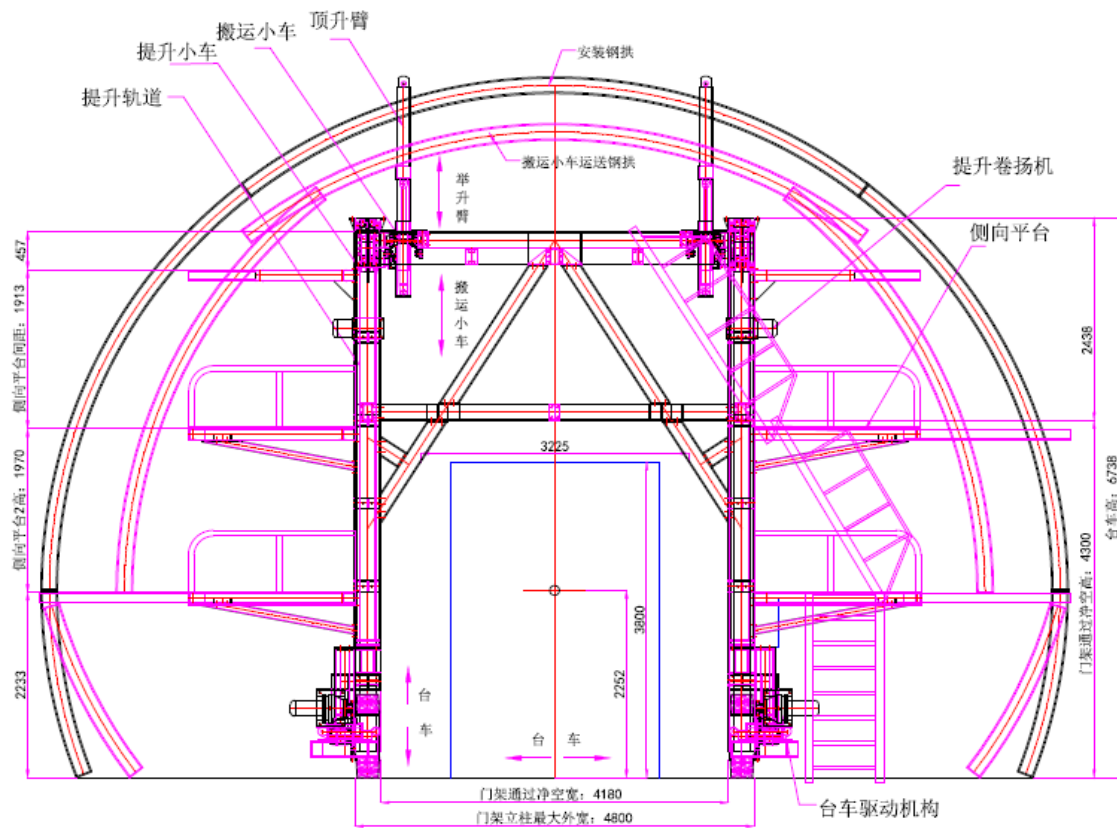


图 D.1 拱架台车结构设计图

D.1.2.3 拱架安装系统

拱架安装系统包括搬运装置、牵引装置、提升及举升装置等:

- a) 搬运装置包括搬运小车、小车驱动装置和升降装置。小车机架通过滚轮设置在平台上的搬运轨道上;升降装置用于升降托架将运送平台上的拱架转移至顶部托架;
- b) 小车由牵引装置牵引在暗埋式防尘防撞轨道中前后移动,小车有升降臂,可对拱架或其他设备、材料进行升降搬运;
- c) 拱架台车的提升装置包括运送平台、提升轨道和提升驱动装置,提升轨道固定设置在机架正面;
- d) 举升装置包括举升臂、举升臂滑座和举升臂油缸,举升臂滑座固定设置在托架上,举升臂滑座上端与托架表面在同一平面。

D.1.2.4 搬运系统

台车的提升机构包括运送平台、提升轨道和提升驱动装置，提升轨道为二根且固定设置在机架正面，运送平台设置在提升轨道上且通过提升驱动装置带动在提升轨道上升降，运送平台用于运送未安装连接的钢拱。

搬运机构包括搬运小车、小车驱动装置和升降装置，搬运小车包括托架和小车机架，小车机架上设置有滚轮，滚轮设置在滚轮轴上，小车机架通过滚轮设置在平台上的搬运轨道上，升降装置用于升降托架将运送平台上的钢拱转移至托架上。

举升机构包括举升臂、举升臂滑座和举升臂油缸，举升臂滑座固定设置在托架上，举升臂滑座上端与托架表面在同一平面上，举升臂设置在举升臂滑座中，举升臂油缸一端与举升臂滑座铰接，另一端与举升臂铰接。

#### D.1.2.5 支撑系统

支撑系统包括支腿滑套、支腿顶升油缸、支腿滑座、支腿平移油缸和支腿底座，支腿滑套与支腿滑座滑动配合，支腿滑套一端固定连接在机架底部，另一端与支腿顶升油缸固定连接。

#### D.1.2.6 液压系统

支腿机构包括支腿滑套、支腿顶升油缸、支腿滑座、支腿平移油缸和支腿底座，支腿滑套与支腿滑座滑动配合，支腿滑套一端固定连接在机架底部，另一端与支腿顶升油缸固定连接，支腿滑座固定设置在支腿滑座油缸安装箱上，支腿顶升油缸位于支腿滑座内且固定设置在支腿滑座油缸安装箱上，支腿平移油缸一端与支腿底座连接，另一端与支腿滑座油缸安装箱连接，支腿底座上设置有与支腿滑座油缸安装箱配合的滑轨，支腿滑座油缸安装箱通过卡槽限位在滑轨上。

D.1.3 拱架台车的主要技术参数见表 D.1 所示。

表 D.1 拱架台车设备系统主要技术参数参考表

设备主要部件	性能参数
行走系统	承重 25 t，移动速度 20 m/min
液压系统	油温工作区间 30~70oC
门架系统	承受面荷载 2.5 KN/m <sup>2</sup>
安装系统	单次提升 700KN
搬运系统	承重 3 t，移动速度 20 m/min
支撑系统	系统承受最大压力值 21 MPa
电力控制	工作电压 380 V

## D.2 二衬厚度预检台车基本构造主要技术参数

D.2.1 二衬厚度预检台车的骨架采用 14 号工字钢焊接而成，升降检测环由两组液压千斤顶支撑，升降检测环可根据二衬厚度调整高度，台车行走由电动行走系统自动行走。

D.2.2 二衬厚度预检台车的尺寸详见图 D.2~4 及表 D.2 所示。



图 D.2 二衬厚度预检台车正视 (I-I) 剖面图

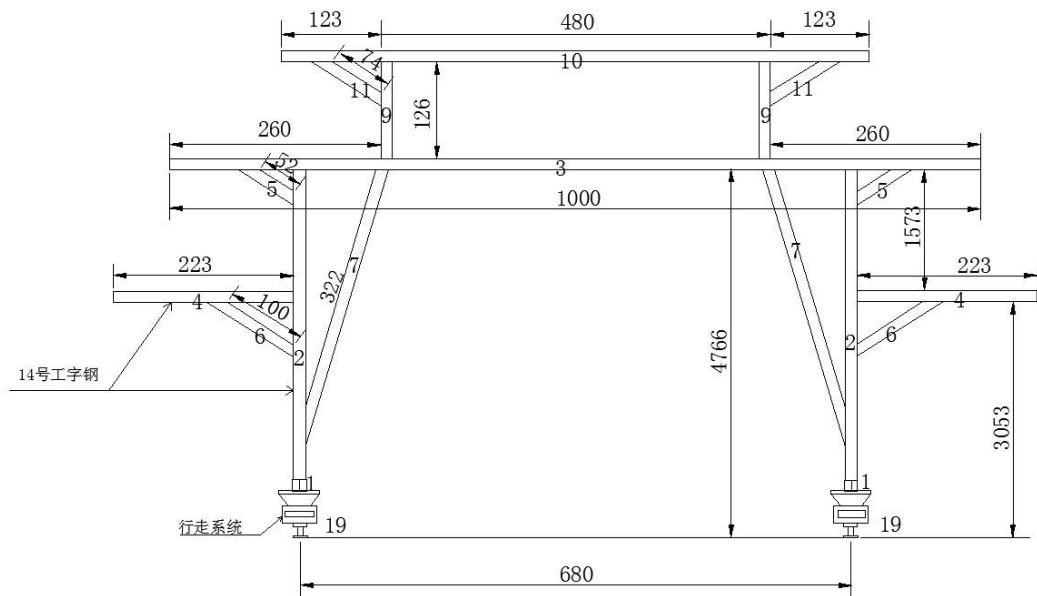


图 D.3 二衬厚度预检台车正视 (II-II) 剖面图

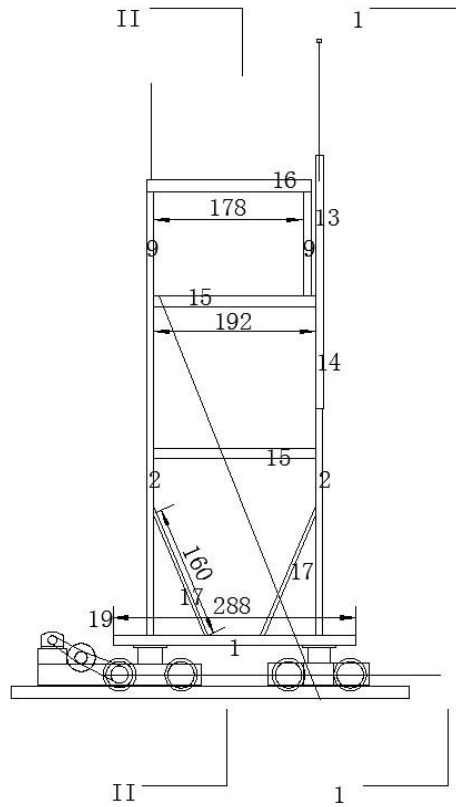


图 D. 4 二衬厚度预检台车侧立面图

表 D. 2 二衬厚度预检台车各杆件的材料名称、规格、数量参考表

杆件编号	材料名称	规格	数量
1	14 号工字钢	长度 2.88 米	2 根
2	14 号工字钢	长度 4 米	4 根
3	14 号工字钢	长度 10 米	2 根
4	14 号工字钢	长度 2.23 米	4 根
5	14 号工字钢	长度 0.52 米	4 根
6	14 号工字钢	长度 1 米	4 根
7	14 号工字钢	长度 3.22 米	4 根
8	14 号工字钢	长度 6.94 米	1 根
9	14 号工字钢	长度 1.26 米	4 根
10	14 号工字钢	长度 7.26 米	2 根
11	14 号工字钢	长度 0.74 米	4 根
12	14 号工字钢	长度 8.65 米	1 根
13	14 号工字钢	长度 1.06 米	2 根
14	14 号工字钢	长度 1.89 米	2 根
15	14 号工字钢	长度 1.92 米	4 根
16	14 号工字钢	长度 1.78 米	2 根
17	14 号工字钢	长度 1.6 米	4 根
18	/	22 号螺纹钢	/
19	/	行走系统	2 套
20	液压千斤顶	升降系统	2 个

### D.3 防水卷材作业台车基本构造

D.3.1 防水卷材作业台车由行走系统、主体台架、铺设轨道、铺设小车、扇形活动支撑以及液压系统、电气系统和钢筋定位胎架等组成。主体台架底部铰接在行走箱体上，铺设轨道和扇形活动支撑通过拼接筋板固定在主体台架上，工作平台和人行平台栓接在主体台架四周。

#### D.3.1.1 行走系统

新型防水板作业台车为轮轨式行走系统，整个台车主体铰接固定在行走箱体上。行走系统分为主行走和从动行走两部分，主行走系统为两个 4kW 电机减速机通过链条传动，带动从动行走系统运动，达到使整个台车运动的目的。

#### D.3.1.2 主体台架

主体台架采用模板台车常用的门架式结构，为整个铺设台车提供支撑。大净空设计，保证车辆从下方顺利通过，工作平台和行走平台栓接固定在门架的四周。工作平台为可伸缩。台架大都通过螺栓联接，拆装方便。防水卷材作业台车的基本构造可参见图 D-5~6 所示。

#### D.3.1.3 铺设轨道

铺设轨道为固定仿形轨道，采用双侧轨道中线对称布置，通过拼接筋板固定在主体台架上。每侧轨道由 7 块轨道通过拼接板焊接拼成弧状，每块轨道由上弧板，轨道腹板，下弧板焊接在一起。导向滑轮焊接在轨道外弧面上，起到钢丝绳导向作用。两侧轨道通过卷轴支撑拼接在一起。

#### D.3.1.4 铺设小车

铺设小车作用是装夹防水板并拖拽防水板沿固定轨道运行，是防水板作业台车的核心部件。铺设小车采用双排轮设计，两铺设小车骑跨在两侧轨道上，中间夹具总成通过螺栓固定在两小车上。夹具总成由架体、压杆组件和夹具组成。铺设小车采用双卷扬及驱动，能够同步动作，又能单独点动，这种方式能够有效解决铺设小车出现跑偏、卡轮现象，运行更稳定。

#### D.3.1.5 扇形活动支撑

贴合隧道面的扇形活动支撑装置，起着顶撑防水板的作用。扇形活动支撑由顶部支撑架和两侧部支撑架铰接而成，通过上部 4 根油缸和侧部 4 根油缸与主体台架拼接。待防水板铺设一环后，伸出顶部油缸，接着伸出左右两侧油缸，将防水板顶撑到贴近岩面的地方，工人进行防水板焊接。扇形活动支撑架采用焊接钢管经折弯后拼装焊接而成，强度高，焊后打磨平整光滑，在支撑防水板的时候不易损坏防水板材料。

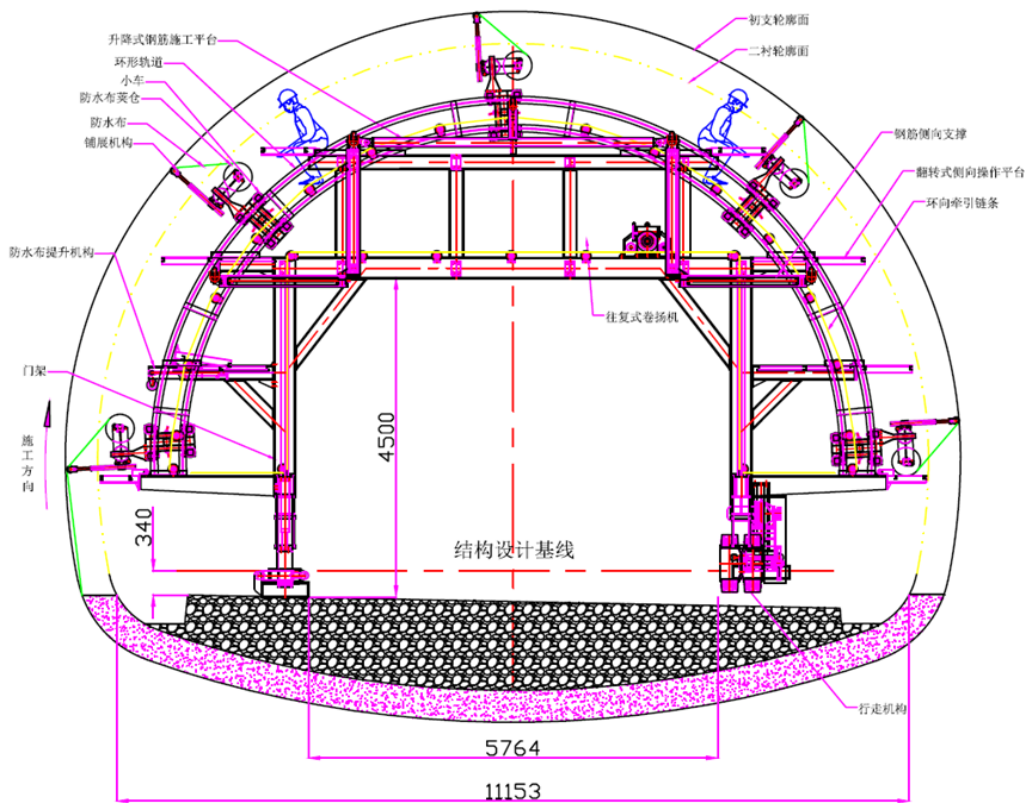


图 D.5 防水卷材作业台车正面结构设计图

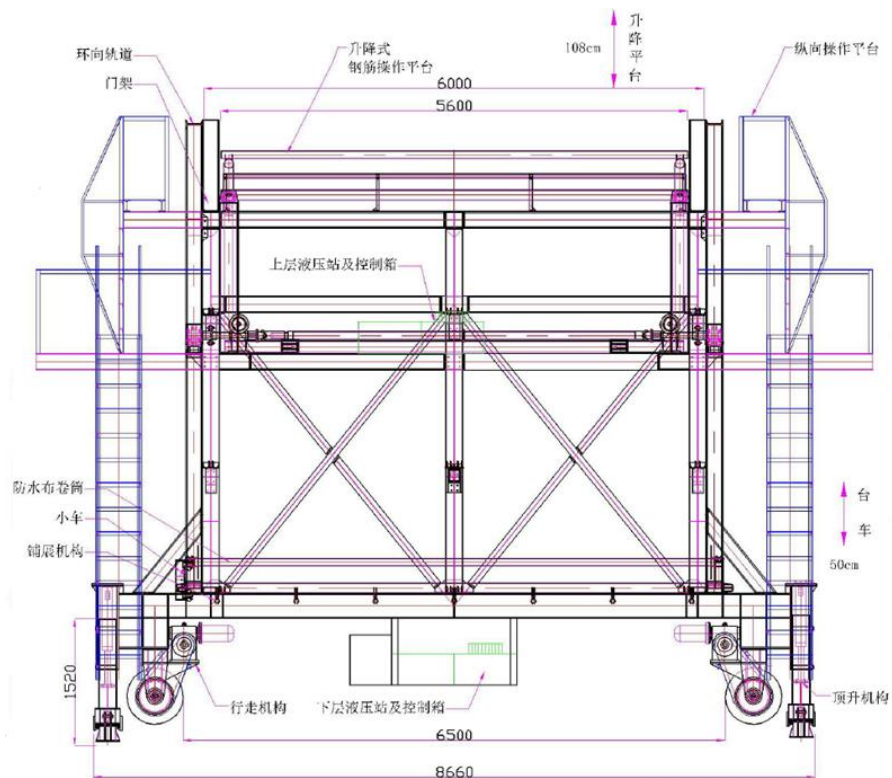


图 D.6 防水卷材作业台车侧面结构设计图

### D.3.1.6 液压系统

液压系统主要由液压泵站、阀组和支撑油缸组成。支撑油缸分为 3 组，顶升油缸和 2 组侧部支撑油缸。每组油缸加装同步阀，达到油缸同步动作的功能，大大降低油缸偏载问题。控制阀为电磁阀，能够实现自动控制，控制方式为台上、台下和遥控控制，方便工

人操作。液压系统最高工作压力 8 MPa，油缸伸缩速度 45 mm~60 mm/s，液压系统采用电机-双联泵组，在油缸伸出时，双泵工作，油缸缩回时单泵工作，不但能够有效降低能耗，还能降低系统工作压力。

#### D.3.1.7 电气系统

新型防水板作业台车可以实现台下主控柜、台上辅助电控柜和遥控 3 种控制方式，方便工人操作。主控柜旁装有报警器，行车前启动报警器，铺设轨道端部加装有 4 个限位开关，防止铺设小车运行中失控。台车上部还装有照明系统和急停开关，遇到紧急情况能够就近关闭主电源。

#### D.3.1.8 钢筋定位胎架

新型防水板作业台车主要功能是进行防水层的铺设，但仍配备有安装二衬钢筋对钢筋进行定位加工的功能。

D.3.2 钢拱架安装台车主要技术参数见表 D.3 所示。

表 D.3 防水卷材作业台车主要技术参数参考表

设备主要部件	性能参数
行走系统	承重 15 t，移动 20m/min
门架系统	承受面荷载 7 KN/m <sup>2</sup>
铺展机构	卷筒长度 6.5m
压紧装置	施加最大压力值 3 KN
提升装置	单次提升 150 KN
电力控制	工作电压 380 V
结构支撑系统	最高压力值 20Mpa
液压系统	油温工作区间 30~70°C
钢筋定位胎架	胎架间距 25 cm

#### D.4 二衬台车、二衬台车模板总成、布料系统基本构造

##### D.4.1 二衬台车构造

台车由模板总成、框架总成等组成，并配备新型浇筑系统，见图D.7~9所示。

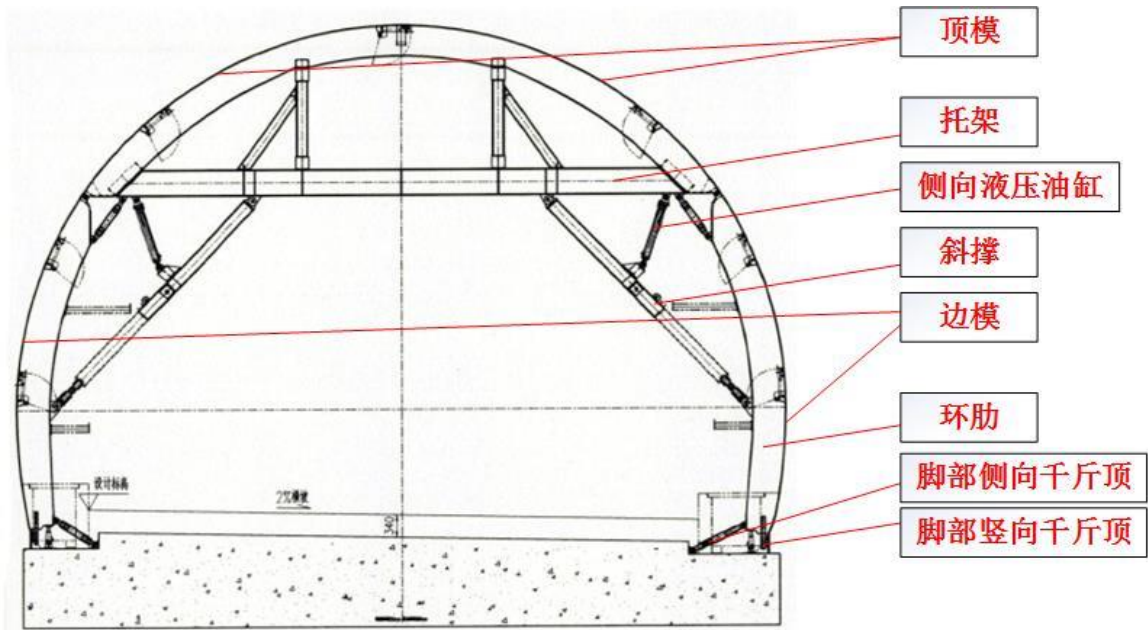


图 D.7 模板总成

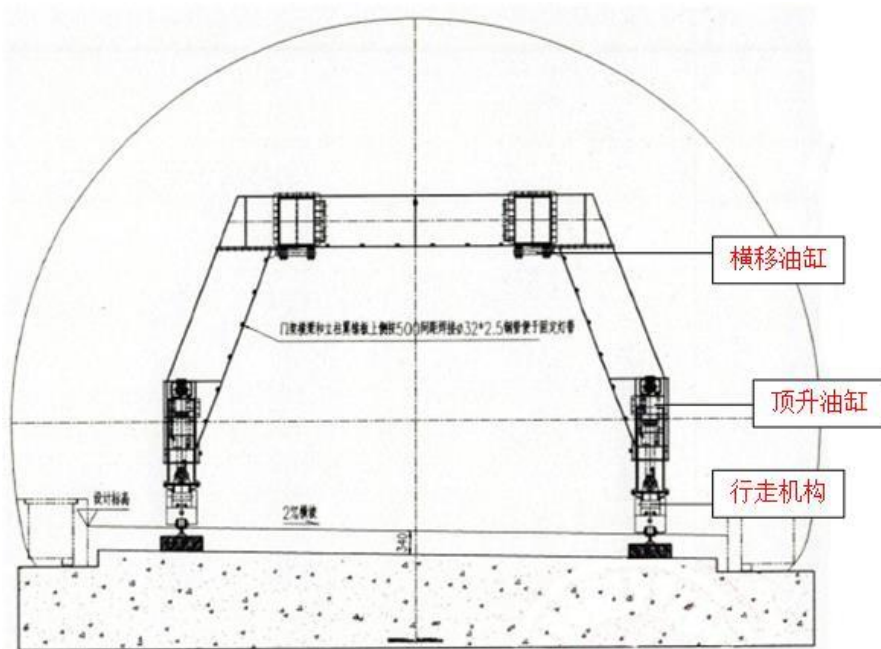


图 D.8 框架总成

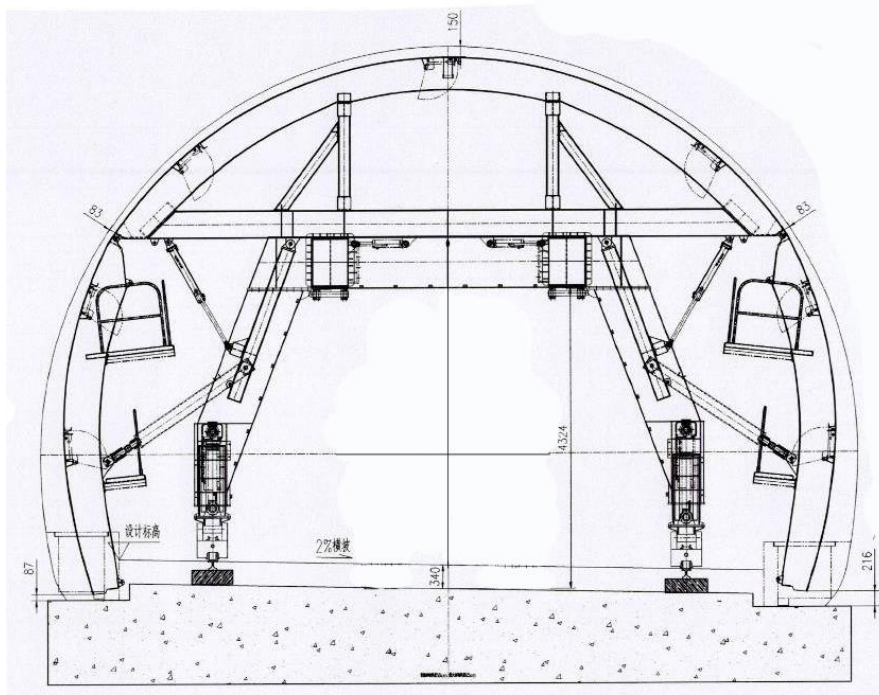


图 D.9 模板组合示意图

#### D.4.2 模板总成

模板总成包括模板、托架、侧向液压油缸、脚部竖向千斤顶、脚部侧向千斤顶等，见图 D-9。

两块顶模、两块边模构成横断面，两块顶模之间通过螺栓联成整体，顶模与边模通过铰耳轴联接。模板上开有成品字型排列的工作窗，顶部安装有 4 个可与输送泵相接的注浆装置，模板面板厚为 12mm。由于模板顶部受力较大，为保证模板的强度，防止局部变形，在顶模纵向每隔 1.5m 增加了弧形拱板。

#### D.4.3 密闭式布料系统：

- 布料机平台。平台的空间为  $10.5\text{m} \times 3.25\text{m} \times 1.5\text{m}$ ；
- 布料机。布料机由遥控器控制行走，行走形式为轨道式，如图 D.10；



图 D.10 布料机与行走轨道

c) 布料机出料口见图 D-11 所示，管道入料口为喇叭状，见图 D-12 所示。出料口插入入料口中，并采取密封措施可实现混凝土的输送。拱顶的入料喇叭口见图 D-13；



图 D.11 布料机出料口 图 D.12 入料喇叭口 图 D.13 拱顶入料喇叭口

d) 浇筑管路的布置。混凝土输送管路由钢管制作，浇筑管径为外径 15cm、内径 13cm，分层情况见图 D.14 和图 D.15。

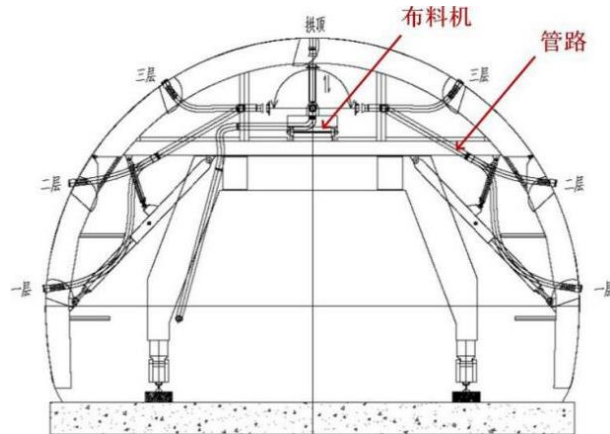


图 D.14 布料系统横向布置图

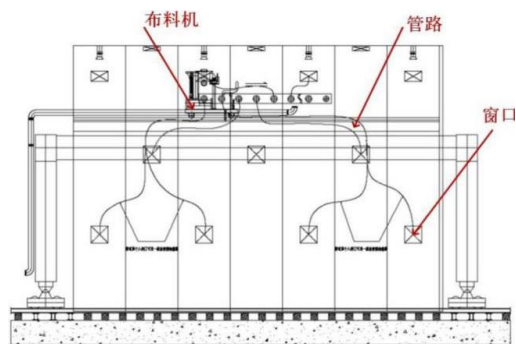


图 D.15 布料系统纵向布置图

#### D.4.4 开放式布料系统

滑槽式布料系统顶部平台均匀布设 3 个主料斗，纵向间距 3m，主料斗中间设人字型分料器，使混凝土向两侧均匀分料。每个主料斗左右两侧设主滑槽，主滑槽尾部接三通分流槽。三通分流槽以下设三级分滑槽，混凝土从分滑槽灌入模板工作窗，布料系统见图 H-10 所示，各部件见图 D-16 所示。主料斗、三通分流槽采用厚度 5mm 的钢板制作，分流串筒采用管径 20cm、壁厚 5mm 的钢管制作。

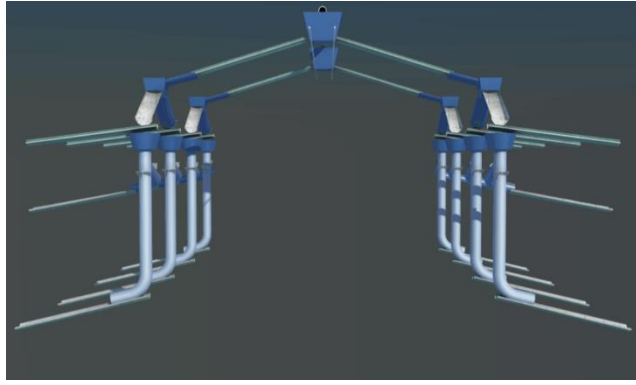


图 D. 16 滑槽分料系统



a) 主料斗及滑槽



b) 分流串筒

图 D. 17 滑槽布料系统部件图

### D.5 二衬养护台车基本构造

二衬养护台车采用角钢、轻型钢管、电机、履带等组成的一种设备，该设备可以 24 小时连续工作，将养护水经增压泵和旋转喷头进行雾化，并通过遥控行走对二衬混凝土进行全覆盖喷淋养护

二衬养护台车行走的装置采用与二衬台车同轨道，主水管道环向采用  $\phi 42$  钢管，分水管采用  $\phi 12.5$  镀锌钢管，喷头采用可调节喷雾器喷头（铜型），布置采用梅花型布置，距二衬轮廓 0.3m-0.5m，钢管在隧道布设高压水管侧设进水软管接头及开关闸阀，钢管另一侧端头封闭。隧道高压风管在二衬砼养护段间距 50m 设一接水闸阀，供应砼养护用水。

二衬养护台车基本构造如图 D18~D20 所示。

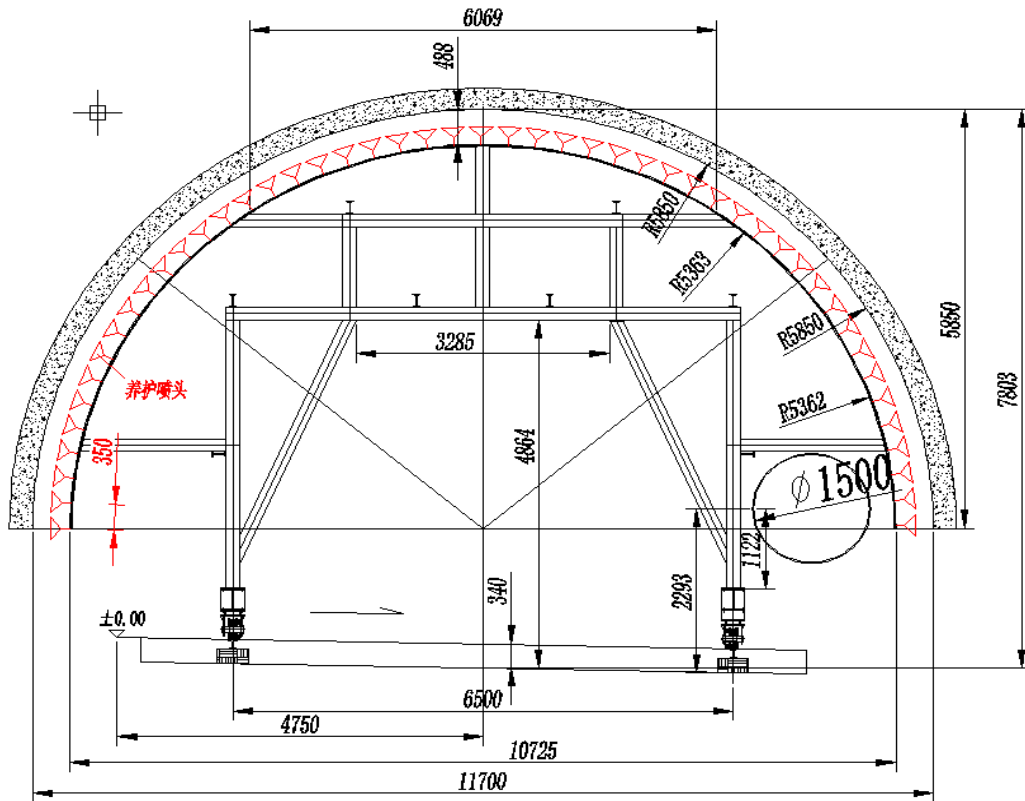


图 D. 18 二衬养护台车主视图

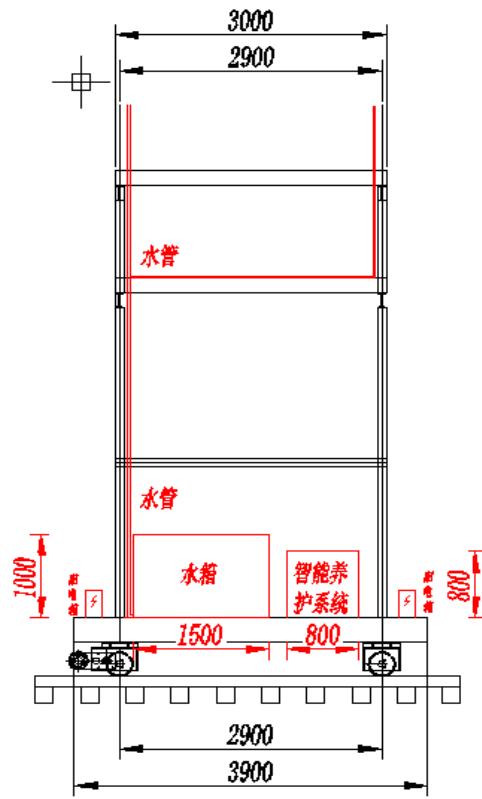


图 D. 19 二衬养护台车侧视图



图 D. 20 全自动轨道式二衬养护台车

## 附录 E

(资料性)

### 杭绍台 3 标公路山岭隧道九台套机械化设备配置示例

#### E.1 项目概况

杭绍台高速公路工程绍兴金华段起于钱江通道南接线与杭甬高速公路交叉的齐贤枢纽 (K0+000), 路线往南跨过杭甬运河, 下穿杭甬客运专线后, 沿绍齐公路延伸至鉴湖镇附近与绍诸高速公路交叉, 路线继续往南至甘霖与甬金高速公路交叉, 经新昌澄潭镇、镜岭镇、磐安胡宅乡, 终于白尖岭隧道进口 (K116+748), 路线全长约 112.8 公里。

杭绍台高速公路第 HST-TJ03 合同段路线起点桩号 K27+940, 位于鉴湖镇大窑山附近; 路线向南, 在鉴湖服务区西侧上跨绍诸高速, 经龙虎山久荣果园, 往南穿龙虎山水库库尾, 随后经葫芦嘴隧道、竹家坞隧道, 跨十里筠溪, 进入平水隧道至本合同段终点, 路线涉及村庄有坡塘村、栖凫村、芳泉村、秦望村等, 终点桩号为 K35+000, 路线全长 7.06Km, 主线范围内路基长 1499.4 米, 挖方 50.2 万方, 填方 16.4 万方 (含互通主线), 设大中桥 8 座, 共 2069.6m, 隧道 2.5 座, 全长 3491m。其中短隧道 2 座, 全长 965m, 特长隧道 0.5 座, 全长 2526m; 另设涵洞 5 道。本合同另设置鉴湖互通立交枢纽 1 处, 不含互通主线挖方 193.2 万方, 填方 30.1 万方, 另设 15 座匝道桥, 7 道涵洞; 绍诸拓宽起点桩号为 SZK25+580, 终点桩号为 SZK29+560, 全长 3.98Km。有绍诸拼宽桥 8 座, 拼宽涵洞 10 道。

本合同工程总造价为 91111.1089 万元, 工期为 45 个月。

项目承担单位自项目开始, 配备了隧道九台套机械设备, 开展了以全工序机械化快速施工技术的课题研究, 通过应用与实践, 取得了较好的效果。

#### E.2 多臂凿岩机

##### E.2.1 设备简介

多臂凿岩机机长 15.4m、宽 2.5m、高 3.6m、重 29.4t、推进梁长度 7.1m, 最大覆盖面积 8.42m(高)×14.21m(宽), 最大钻孔深度 6085mm, 电机总功率 180kW, 凿岩功率 25kW/93Hz。



图 E.1 多臂凿岩机

##### E.2.2 设备特点:

- 采用超大高频的冲击频率, 在保证最大的穿孔速度下, 极大的延长了钻具的使用寿命。同时多臂凿岩机采用三级缓冲, 钻具寿命超过同类;
- 采用中低压系统, 提高液压元件的工作寿命; 降低了液压元件的意外故障损失;
- 模块式结构: 冲击, 回转和冲洗分别为三个独立的模块。结构简单, 维修保养方便快捷;
- 多臂凿岩机采用柴油机驱动轮胎行走, 交流电机驱动液压凿岩的工作方式进行工作, 最大限度地保证了多臂凿岩机工作的机动性;
- 在多臂凿岩机操作手的监控下, 由电脑控制全自动完成钻孔和大臂定位动作。预先设

计的布孔图引导设备自动完成爆破孔钻凿。全部钻孔数据的收集、报告以及分析软件系统，保证可连续实现高生产效率、高成孔质量。多臂凿岩机除了适用于开挖面钻凿爆破孔，也可用于锚杆钻孔和管棚支护、超前探测等作业；

f) 标准配置的静音和减震型全密封驾驶室在行驶和作业中，为操作手提供了舒适、符合人体工程学、具有良好视野的工作场所。

### E.2.3 工艺对比：

a) 传统工艺：传统的隧道开挖钻孔都是由人工手持风钻施工，全断面开挖打孔需 18~21 人；施工时掌子面人员密集，且都暴露于围岩之下，安全风险极大；同时作业环境较差，对工人职业健康有较大危害；

b) 先进工艺：采用多臂凿岩机代替人工开挖钻孔，有效控制了掌子面作业人数；改善了施工环境，有效保证了作业人员安全及职业健康；提高了钻孔效率及钻孔质量，可有效提升光爆效果，加快工程建设。

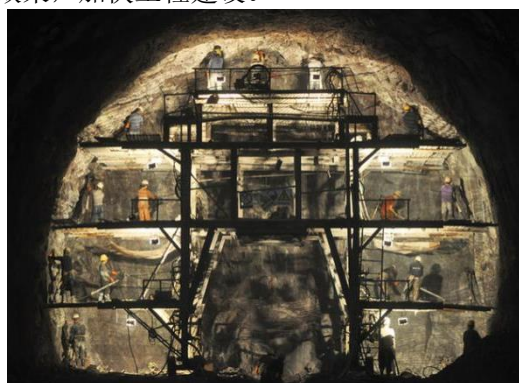


图 E.2 人工钻孔



图 E.3 多臂凿岩机钻孔

### E.2.4 优点分析

#### E.2.4.1 质安保证

可视化智能钻孔有效提高了整体成孔质量，为提升爆破效果创造了必要条件；同时能保证钻孔角度精准，有效解决了拱部锚杆角度偏差大的问题。

实现了机器换人，作业人数由传统的人工打孔约 18 人减少到 3 人，大大减少了掌子面作业人数；同时作业人员距掌子面安全距离保持在 6m 以上，处于已支护好围岩下施工，工人作业安全得到有效保证。

#### E.2.4.2 低碳节能

传统的人工钻孔以压缩空气作为动力，全断面开挖需至少 3 台空压机，每台空压机功率为 132kW、每小时耗电为 396 度；多臂凿岩机整机功率为 180 kW，每小时耗电 180 度；大大节约了能耗。

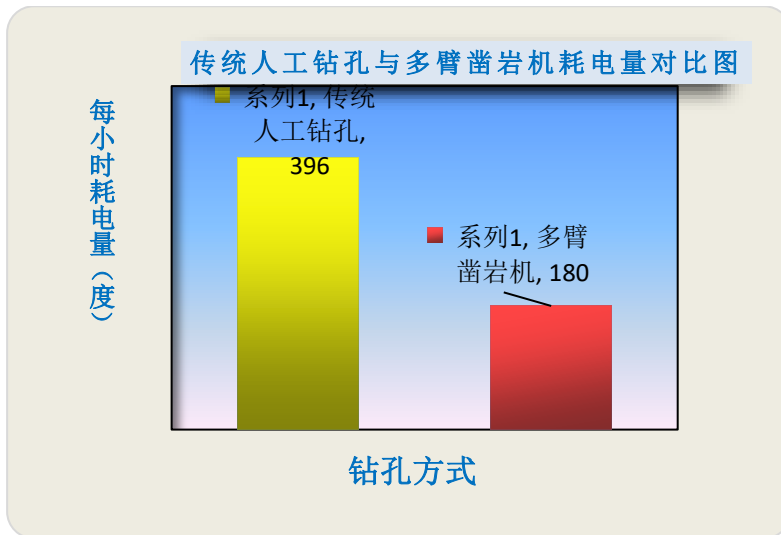


图 E. 4 人工钻孔与多臂岩机钻孔对比图

#### E.2.4.3 健康环保

人工钻孔噪音为 118.7dB，机械钻孔噪音为 96.4dB，噪音降低 18.8%；人工钻孔粉尘含量为 571 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，机械施工产生粉尘含量为 117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，机械作业较人工作业产生粉尘减少 79.5%，作业环境得到极大改善。



图 E. 5 健康环保检测

#### E.2.4.4 准确高效

人工施钻完全依靠操作工个人经验，不可控因素较多，钻孔效果良莠不齐；多臂凿岩机具有电脑辅助对眼功能，较人工开孔更为准确。同时钻孔深度及外偏角等参数设定好后可按统一标准施钻，如钻孔过程中钻杆发生偏移，操作工可根据屏幕显示数据及时调整钻杆角度，有效保证了钻孔的精度。钻孔速度快，钻孔速度最快能达到 4m/min，施工效率大为提高。



图 E.6 电脑辅助钻孔

### E. 3 湿喷机械手

#### E. 3.1 设备简介

湿喷机械手长 10m、宽 2.5m、高 3.1m、重 16t、电机总功率 134 kW，喷射距离在 1.5m 时最大喷射范围 17.26m（向上）×15.5m（向前）×7.83m（向下）。



图 E. 7 湿喷机械手

#### E. 3.2 设备特点：

a) 双转台 Z 形臂架：3 节 Z 型折叠布料范围大，布料灵活，能在无臂架动作的情况下进行弧面的布料，占用较小的施工场地。

b) 转台滑移，可实现转台沿底盘纵向滑移（工作状态下）2730mm，最大 3700mm，小臂还可以伸缩 1800mm，使侧向作业长度高达 4530mm 以上，设备一次定位，能够喷射长度为 4530mm 的作业区域。从而覆盖圆柱面的施工范围，极大地提高了作业效率。

c) 砼管采用钢管，快速接头连接，维修拆装方便快捷，砼管直径 3 英寸。通过铰点紧贴臂架，外观简洁易于操作，同时避免软管拖地，影响管路的使用寿命，以及由此带来的不安全因素。

d) 双动力作业系统，电机模式和柴油机模式下均可作业，隧道动力电源断电情况下，可以继续作业，可靠性高。添加剂计量系统采用液压驱动转子蠕动泵，能根据混凝土流量精确测量并自动调节添加量，经济性能更优越。

f) 独有的配置：配备 2×1000L 的添加剂罐，可分别盛放酸性和碱性的添加剂，极大的提高了工作效率；添加剂罐适用所有种类的液体添加剂。具有 2 种控制方式：自动控制与手动控制。流量调节范围 1L~24L/min，最大工作压力 1.3MPa。

g) 复合式大臂：大断面隧道通常分台阶开挖，复合式大臂能轻易地绕开台阶的前沿线，没有喷射死角。地下喷射作业量最大的是施喷隧道内壁，设备只需要转动垂直转盘这一个动作就完成对隧道轮廓的跟随。得益于水平转盘，设备均可以正面作业。

h) CAN 总线控制：德国 IFM 处理器，经汉化后界面亲切易学。若出现故障，故障诊断系统会显示故障代码，简单直观。

### E.3.3 工艺对比

E3.3.1 传统工艺：传统的喷射混凝土施工方法为干喷（潮喷），作业时伴随着浮石及混凝土料掉落的可能，安全风险大；同时粉尘大、回弹多、作业环境较差，对工人职业健康有较大危害。

E3.3.2 先进工艺：采用湿喷机械手代替人工喷射混凝土，加快了施工进度；改善了施工环境，有效保证了作业人员安全及职业健康；提高了喷射混凝土密实度，能有效避免空洞产生。



图 E.8 传统湿喷砼



图 E.9 湿喷机械手喷砼

### E.3.4 优点分析

#### E3.4.1 质安保证

作业人员处于已支护好围岩下施工，工人作业安全得到有效保证。同时电脑计量后混凝土与速凝剂同步稳定输出，解决了人工添加速凝剂误差大引起的混凝土强度不稳定。喷头360°无盲区作业，解决了喷射距离和角度受限造成的空洞，有效提高了混凝土密实度及平整度。

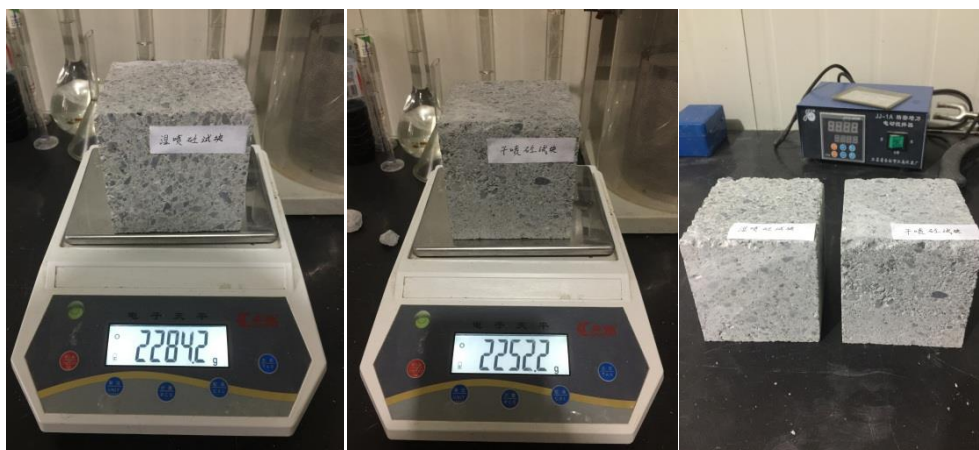


图 E.10 喷射混凝土检测

#### E.3.4.2 低碳节能

湿喷机械手整机功率为 134 kW，自带空压机，工作每小时耗电 134 度；传统施工方法两台喷浆机施工，需两台空压机，喷浆机功率 7.5 kW，空压机功率 132 kW，工作每小时耗电 279 度；大大节约了能耗。

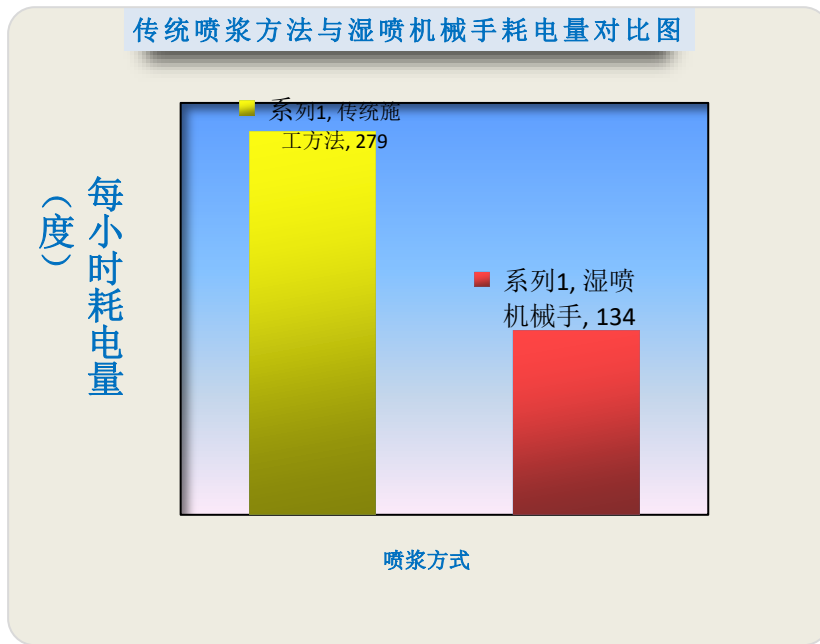


图 E. 11 传统喷浆与湿喷机械手施工电量消耗对比图

#### E.3.4.3 健康环保

机械施工产生粉尘含量为 170 ug/m<sup>3</sup>，而人工作业产生粉尘含量超过仪器测定限值 999 ug/m<sup>3</sup>，作业环境得到极大改善。



图 E. 12 采用湿喷机械手施工 PM2.5 检测

#### E.3.4.4 高效经济

传统的施工方法一台喷浆机每小时喷射方量为 5-7m<sup>3</sup>, 湿喷机械手每小时最快喷射方量为 30m<sup>3</sup>, 平均喷射速率为 18m<sup>3</sup>/小时; 按照隧道正常进尺(3m)、喷浆工程量按全断面计算, 人工喷浆需 6-8 小时, 而湿喷机只需 3 小时, 采用机械喷射混凝土每循环可节约用电 1392 度。节约能耗的同时, 混凝土回弹率也明显降低。根据现有数据统计, 机械喷射混凝土回弹率约 12%~20%较人工喷射混凝土回弹率降低约 20%。

#### E. 4 自行式移动栈桥

##### E. 4.1 设备简介



图 E. 13 自行式移动栈桥

自行式移动栈桥循环衬砌长度: 12m, 功率: 13.5kW, 横移速度: 0.5m/min, 起吊小车移动速度: 10 m/min, 通行长度: 28.3m, 栈桥移动速度: 2.5 m/min, 最大坡度: 5%, 小车起吊重量: 5T×2。采用遥控液压操作, 具备前、后、左、右移动功能, 行走采用电控专用小车, 整个栈桥就位无需人工铺轨, 1 人即可操控。

##### E. 4.2 设备特点

E.4.2.1 栈桥的移动: 轨道通过承重轮和勾轮与行走架相连, 轨道上设有驱动装置, 驱动装置通过连接在行走架上的牵引链条带动栈桥移动。

E.4.2.2 栈桥的支撑: 通过每条轨道设置的 66 个高弹性橡胶垫及垫板将栈桥重量传递到混凝土上, 以保证混凝土受力均匀。

E.4.2.3 在长引桥上设置有小车轨道, 小车通过承重轮在轨道上行走, 小车上设置有驱动装置, 驱动装置通过牵引链条带动小车移动。

E.4.2.4 采用遥控液压操作, 具备前、后、左、右移动功能, 行走采用电控专用小车, 整个栈桥就位无需人工铺轨, 1 人即可操控。自动化程度及安全性高于目前已知各类栈桥。

**(5) 载荷能力达 65t。**

##### E. 4.3 工艺对比

E.4.3.1 传统工艺: 仰拱段临时通行采用工字钢加钢筋焊接制成简易栈桥, 其安全稳定性较差, 移动时易对已浇好仰拱产生破坏; 仰拱浇筑采用组合木模施工, 施工缝较多, 线型不易控制。

E.4.3.2 先进工艺: 采用自行式移动栈桥施工, 加快了施工效率、降低了工人劳动强度; 减少了施工缝, 提高了防水效果; 安全稳定性更高, 有利于成品保护。



a) 简易栈桥



b) 自行式移动栈桥

图 E. 14 简易栈桥与自行式移动栈桥对比图

#### E. 4. 4 优点分析

自行式移动栈桥采用液压控制，1人操控电控专用小车控制前、后、左、右移动，整个移动过程无需人工铺轨，避免了简易栈桥移动过程中机械吊装产生的安全风险。仰拱端头模板可随栈桥移动进行整体装、拆，有效降低劳动强度；较简易栈桥桥下作业空间大，方便施工作业。



图 E. 15 自行式移动栈桥的车辆通行效果

#### E. 5 拱架台车

##### E. 5. 1 设备简介

拱架台车由行走系统、液压支脚系统、钢拱升降系统组成。工作时将4个液压支腿放下，台车稳定性较传统台车有大幅提升；同时可实现上下前后移动、调整台车中线，克服平面翘曲、倾斜等质量通病，提高安装精度。由台车自带升降系统进行拱架搬运，实现了半自动化拱架安装，避免了机械吊运拱架带来的安全隐患，同时降低了劳动强度。



图 E. 16 拱架台车

## E. 5. 2 设备特点

- E.5.2.1 可用于钢拱安装，喷锚及钻孔作业；
- E.5.2.2 台车设计有搬运小车搬运钢拱，小车可由牵引机构牵引在暗埋式防尘防撞轨道中前后移动；
- E.5.2.3 搬运小车有升降臂升降；
- E.5.2.4 搬运小车上安装有顶升油缸及顶升臂，可将钢拱托举至隧道拱顶位置；
- E.5.2.5 台车安装有实心橡胶轮及驱动机构；
- E.5.2.6 台车设计有液压支腿，可上下及左右调整台车，在台车走偏时还可纠正台车方向；
- E.5.2.7 台车采用液电遥控操作。

## E. 5. 3 工艺对比

E.5.3.1 传统工艺：利用机械将拱架吊运至台车后由人工进行安装，吊运过程中安全隐患较大；安装过程中拱架顺直度、连接板对接偏差较大，总体安装质量不易控制。

E.5.3.2 先进工艺：采用拱架台车安装杜绝了拱架吊运过程中的安全隐患，同时降低了劳动强度；顶部搬运小车可精确控制安装间距、提高拱架安装质量。



图 E. 17 拱架台车提升拱架

## E. 5. 4 优点分析

E5.4.1 拱架由台车液压系统举升至安装高度，通过前后牵引装置将拱架精确定位，操作人员仅需进行螺栓连接紧固，提高了安装精度，缩小了拱架安装间距、倾斜度偏差。传统拱架安装时间一般需要 4 小时，台车拼装仅需要 3 小时，达到“及时支护”的设计理念，降低隧道施工过程中的作业风险。

E.5.4.2 液压支腿可有效保证台车施工过程中的整体稳定性，确保施工安全；杜绝直接由人力配合机械进行钢拱架吊运安装过程中的安全隐患，降低劳动强度。施工人数由传统 9 人减少至 5 人。

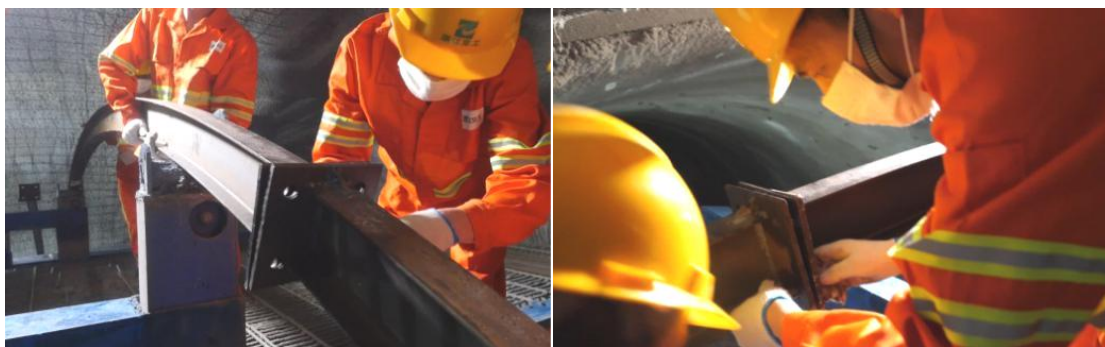


图 E.18 利用拱架台车安装拱架的操作实例

## E.6 防水卷材作业台车

### E.6.1 设备简介

防水卷材作业台车配备自行系统、牵引小车、卷筒和压紧装置等，通过液电遥控系统控制台车行走及卷材自动铺设、压紧等作业，一次铺设长度可达 6m，节约材料同时减少接缝，改善防水效果。人工只需对铺设好的防水材料进行固定焊接，显著降低劳动强度，提高工作效率。



图 E.19 防水卷材作业台车

### E.6.2 设备特点

E.6.2.1 防水布铺展机构包括防水布小车、防水布卷筒和防水布压紧机构，防水布小车设置驱动机构带动防水布铺展机构在轨道上运动，每组轨道均包括上层轨道和下层轨道，在上层轨道和下层轨道上，防水布小车上设置有连接梁，防水布卷筒和防水布压紧机构设置在连接梁上。

E.6.2.2 连接梁上还均匀设置有多夹具，防水布压紧机构通过夹具设置在连接梁上。

E.6.2.3 防水布压紧机构包括压轮、压轮座、压轮伸缩杆和压轮套筒，压轮座与压轮套筒之间设置有弹簧。

E.6.2.4 双层轨道，采用双电机驱动，双自锁减速器通过传动轴串联驱动，保证两个小车同步运转，确保施工质量和施工安全。

E.6.2.5 台车采用遥控控制。

### E.6.3 工艺对比

E.6.3.1 传统工艺：由人工进行防水板挂设，劳动强度大、且施工缝较多、接缝处搭接宽度不易控制，影响防水效果。

E.6.3.2 先进工艺：采用防水卷材作业台车施工，人工只需对铺设好的防水卷材进行焊接，

大大降低了劳动强度，提高了工作效率。同时将单次铺设门幅由常规的2m提升到6m，既节约了材料搭接又减少了接缝，大大改善了防水效果，有效提高了施工质量。



a) 传统人工铺设

b) 台车自动铺设

图 E.20 传统人工铺设与防水板铺设防水板效果对照

#### E.6.4 优点分析

E.6.4.1 采用防水卷材作业台车配合红外线定位和超声波热熔垫片焊接工艺，并使用台车自带压紧功能，能保证防水材料有良好的松弛度，有效提高防水板整体平整度和铺设质量，同时减少接缝数量，显著提升防水效果。台车配备的二衬钢筋定位胎架，有效提高二衬钢筋安装质量。简易台车铺设一模二衬长度(10m)防水材料需要操作5小时，使用防水卷材作业台车铺设用时4小时，进度效益提高20%。采用机械铺设防水材料明显降低劳动强度，减少接缝材料。

E.6.4.2 简易防水卷材作业台车需要人工铺设和固定，人员频繁上下台车，登高作业安全风险较大；防水卷材作业台车采用机械自动铺设，有效保障施工安全。



图 E.21 热熔垫片安装



图 E.22 防水板热熔焊接

#### E.7 二衬厚度预检台车

##### E.7.1 设备简介

二衬厚度预检台车由行走系统、台车骨架、检测环及液压升降系统组成。台车就位定好中线，调整好底部轨道高程后，通过液压系统调整检测环半径至设计的断面轮廓然后，开动自动行走测定初支断面是否侵限，从而检测出即将施作的二衬厚度是否满足设计要求。有效解决了传统检测方案激光断面仪无法对初支断面全覆盖检测，及时发现处理初支侵入二衬的情况等问题。



图 E. 23 二衬厚度预检台车

### E. 7. 2 工艺对比

传统检测方法采用激光断面仪无法对初支断面全覆盖检测，存在初支侵入二衬的情况。采用二衬厚度预检台车对初支断面进行检测可避免上述情况发生。

### E. 7. 3 优点分析

操作简单，对初支断面进行全范围检测，确保二衬厚度满足设计要求；二衬厚度预检台车开启行走开关就能自行移动检测，行走过程无法通过欠挖部位，可在台车上及时处理，检测期间不影响隧道通车。

## E. 8 二衬台车

### E. 8. 1 设备简介

台车由模板总成、托架总成、平移机构、门架总成、主从行走机构、侧向液压油缸、侧向支承千斤顶、台架支承千斤顶等组成，并配备新型浇筑系统。

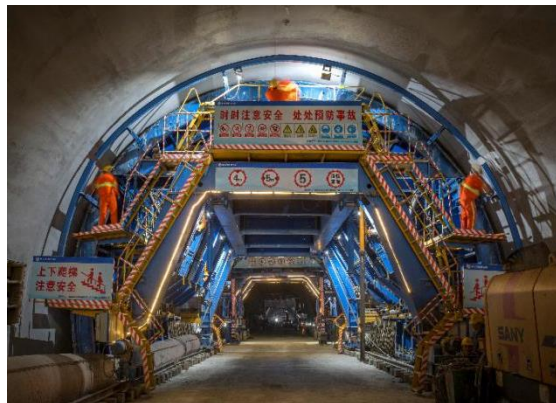


图 E. 24 二衬台车



图 E. 25 布料系统

### E. 8. 2 设备特点

#### E.8.2.1 模板总成

模板由两块顶模、两块边模构成横断面，顶模与顶模之间通过螺栓联成整体，顶模与边模通过铰耳轴联接。模板上开有成品字型排列的工作窗，顶部安装有 4 个可与输送泵相接的注浆装置，模板面板厚为 12mm。由于模板顶部受力较大，为保证模板的强度，防止局部变形，在顶模纵向每 1.5m 的模板中部增加了弧形拱板。

#### E.8.2.2 平移机构

台车左右各设置一套平移机构，由一台支承在门架边横梁上的液压泵站和两个水平方向上的油缸组成，油缸用来调整模板位置，使衬砌中心与隧道中心同心度符合设计及规范要求。

#### E.8.2.3 门架总成

门架是整个台车的主要承重构件，它由横梁、立柱及纵梁通过螺栓联接而成，各横梁及

立柱间通过联接梁及斜拉杆联接。门架横梁及立柱由钢板焊接成工字形截面；纵梁采用箱形截面；由于门架高度较高，为保证整个门架的强度，刚度和稳定性，在门架横梁与立柱之间增加了辅助斜支撑。

#### E.8.2.4 行走机构

二衬台车主从行走机构各两套，它们铰接在门架纵梁上。主行走机构行走速度约为7m/min。

#### E.8.2.5 侧向液压油缸

侧向液压油缸主要是为模板脱模、立模而设立，同时起着支撑模板的作用。

#### E.8.2.6 侧向螺旋千斤顶

安装在门架上的螺旋千斤顶用来支撑模板，承受灌注混凝土时产生的压力，防止侧向液压油缸受力后内泄，使模板产生位移。

#### E.8.2.7 台架支撑千斤顶

门架支撑千斤顶连接在门架纵梁下面，台车工作时，支撑在轨道面上，承受台车和混凝土的重量，改善门架纵梁的受力条件，保证台车工作时门架的稳定。

### E.8.3 工艺对比

**E8.3.1 传统工艺：**传统二衬台车由小块模板拼接组成，二衬成品拼缝较多；浇筑系统由主料斗加2个溜槽组成，浇筑过程易导致混凝土离析且同一窗口浇筑混凝土时间过长易产生“人字形冷缝”影响二衬内在及外观质量；传统台车靠门架承重，需在已浇筑好的仰拱上打洞支撑丝杆，导致仰拱表面被破坏；台车门架各类支撑过多，导致二衬浇筑时通风管道无法通过台车，影响掌子面供风。

**E8.3.2 先进工艺：**二衬台车采用逐窗入模布料，混凝土统一泵送到顶部运料小车，再分级逐窗入料，有效改善了混凝土离析、堵塞等问题，减少了冷缝等内在和外观质量通病；逐窗入模简化了混凝土输送管的拆接工序，避免传统浇筑过程中人员频繁上下台车、在低矮狭窄空间行走更换入仓口的安全隐患。二衬台车设计预留了风、水、电管路通道，相比传统的二衬台车显著增大了通行空间，风、水、电管路从台车底部穿过不受挤压。

### E.8.4 优点分析

**E.8.4.1** 二衬台车采用整体模板减少面板拼缝；起拱线至边墙部位面板采用整体加工成型，窗口面板弧度与模板一致，减少了台车纵向拼缝，提高二衬外观质量；二衬混凝土逐窗入模工艺保证台车同步分层对称浇筑，解决传统浇筑工艺中出现的冷缝、人字坡等外观质量通病；模板整体受力结构可将荷载通过千斤顶直接传递至地基(仰拱)，支撑固定在电缆沟槽内侧，可有效的保护仰拱成品不被破坏；带模注浆系统及时消除空洞，解决了后期注浆效果差、影响二衬结构受力的问题。

**E.8.4.2** 传统台车布料系统上下窗口、左右模仓须经常更换，人员频繁上下台车在低矮狭窄空间行走，安全隐患较大易发生机械伤害及高空坠落伤亡事故；逐窗入模新型台车简化混凝土输送管的拆接工序，一次完成混凝土灌注作业安全性明显提高。

**E.8.4.3** 无门架结构增加台车下行空间，确保施工车辆、机械设备、通风管道顺利通过，避免二衬对其他工序的影响，同时逐窗入模工艺加快混凝土浇筑速度。

**E.8.4.4** 传统台车左右模仓轮换灌注，拆接输送管时管内混凝土不能使用，同时间隙停工次数较多会引起输送泵堵管，造成混凝土浪费；二衬台车免除输送管的拆接，避免管内混凝土损失。一模浇筑时间由传统8小时降至6小时，同时降低工人劳动强度。



a) 逐窗入模



b) 带模注浆



c) 风带过二衬台车无挤压



d) 风带过二衬台车被挤压



e) 丝杆支撑在电缆沟槽



f) 丝杆支撑在仰拱调平层

图 E. 26 传统二衬台车与优化后二衬台车对照

## E. 9 二衬养护台车

### E. 9.1 设备简介

养护台车由角钢、轻型钢管、电机、履带等组成，养护水经增压泵和旋转喷头达到雾化效果，通过遥控行走对二衬混凝土进行全覆盖喷淋养护。

## E.9.2 优点分析

二衬拱顶距离地面约 7.7 米，传统的水管喷水方法无法养护二衬拱顶。养护台车环形布置可 360°旋转的喷头，水雾均匀覆盖二衬混凝土表面；通过电动匀速移动喷水保湿，养护长度不受限制，提升养护质量。二衬养护台车可远距离控制喷淋和台车移动，避免人工喷水淋湿身体对施工人员健康的影响。



图 E.27 二衬养护台车

## E.10 电缆沟槽台车

### E.10.1 设备简介

电缆沟槽台车由行走、侧向液压、侧向机械锁紧系统组成。采用 10.5m 整体钢模，实现与二衬施工缝通缝，减少电缆沟槽墙身面板拼缝、错台与沉降裂缝。左、右幅电缆沟槽一次成型，有效保证了电缆槽线型、尺寸、标高、平整度。

### E.10.2 优点分析

电缆沟槽台车浇筑的成品具有线型平顺、尺寸标准，接缝错台少，保证车道净宽，外观优美等特点，同时提高了盖板铺设质量。



图 E.28 电缆沟槽台车