

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1770—2023

公路隧道二次衬砌施工质量控制指南

Quality control guide for secondary lining construction of highway tunnel

2023 - 12 - 22 发布

2024 - 01 - 22 实施

陕西省市场监督管理局 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 1

5 钢筋加工及安装 2

6 仰拱衬砌及仰拱填充 4

7 拱墙衬砌 7

参 考 文 献 12

前 言

本文件按照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》的规定起草。

本文件由陕西省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：陕西交通控股集团有限公司、陕西省交通运输工程质量监测鉴定站、中交一公局第一工程有限公司。

本文件主要起草人：李昕、王天林、陈旭、李剑平、陈强、刘宏伟、王静华、钟祺、孙长海、雷双龙、常春辉、李金雷、田万良、王德魁、郭勇。

本文件由陕西交通控股集团有限公司负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：陕西交通控股集团有限公司

电话：029-87832666

地址：陕西省西安市太白南路9号

邮编：710065

公路隧道二次衬砌施工质量控制指南

1 范围

本文件提供了公路隧道二次衬砌施工质量控制要点、质量控制指标、常见问题及预防措施的指导和 建议。

本文件适用于新建、改扩建公路隧道二次衬砌施工质量控制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。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。

JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范

JGJ 107 钢筋机械连接技术规程

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

二次衬砌 secondary lining

在初期支护内侧施作的最终衬砌，一般采用模筑混凝土。

3.2

带模注浆 with mold grouting

在衬砌混凝土浇筑结束之后、初凝之前，通过设置在衬砌台车模板中心线位置的注浆孔进行注浆的 施工工艺。

3.3

无骨架台车 non-skeleton trolley

一种增加隧道内施工车辆通行空间，减小台车过车段通风阻力，实现全液压立模、脱模、自动行走 功能的衬砌浇筑台车。

4 总则

4.1 二次衬砌施工应加强质量管控，打造品质工程。

4.2 原材料各项指标应满足规范及设计要求。

- 4.3 二次衬砌施作时机宜根据监控量测反馈信息确定，并满足安全步距要求。
- 4.4 二次衬砌混凝土施工宜采用全液压自动行走、满足分仓布料的整体衬砌台车。
- 4.5 二次衬砌台车支架、模板应满足强度、刚度和稳定性要求，台车长度可根据隧道平曲线半径、纵坡等要素确定。
- 4.6 二次衬砌混凝土搅拌、运输、浇筑、振捣、拆模、养护及外观质量应满足《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660 要求。

5 钢筋加工及安装

5.1 施工工序

钢筋加工及安装宜按照下列工序图进行，钢筋加工及安装施工工序流程见图1。

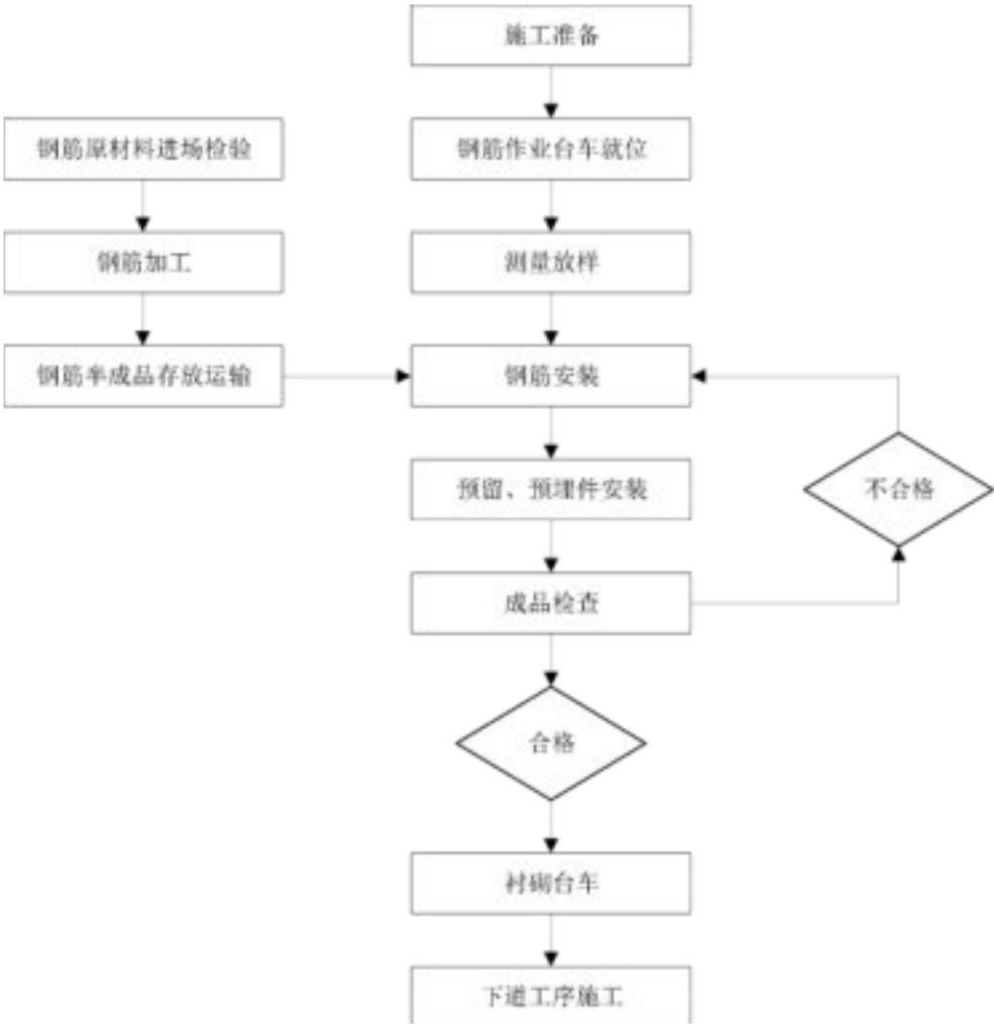


图1 钢筋加工及安装施工工序流程图

5.2 控制要点

- 5.2.1 钢筋宜采用工厂化集中加工。
- 5.2.2 钢筋表面应无削弱钢筋截面伤痕、无污染、无锈蚀。
- 5.2.3 钢筋定位宜采用定位卡具、架立钢筋及“L”型定位筋。

- 5.2.4 环向受力钢筋的搭接应采用焊接或机械连接。焊缝长度、厚度、宽度等应满足《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660 要求；机械连接应按《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 规定执行。
- 5.2.5 钢筋安装过程中应防止划伤、刺破、烧伤防水板。
- 5.2.6 仰拱预留钢筋应准确定位，并与拱墙钢筋连接，符合设计要求。
- 5.2.7 预埋件钢筋应预埋准确，固定牢固，防止发生偏位。
- 5.2.8 钢筋与模板相贴面宜设置混凝土垫块，垫块强度和耐久性不低于衬砌混凝土指标。

5.3 质量控制指标

质量控制指标见表1。

表 1 质量控制指标

序号	控制要素	控制指标
1	钢筋接头	1.在任一截面（1000 mm 长度范围）内，有接头的钢筋截面积不宜超过钢筋总面积的 50 %； 2.钢筋接头避开钢筋弯曲处，距弯曲点的距离不得小于钢筋直径的 10 倍； 3.钢筋丝头长度应满足产品设计要求，极限偏差应为 0 p~2.0 p。
2	钢筋加工	1.钢筋调直后的直线度宜小于全长的 1 %，无局部弯折； 2.光圆钢筋弯折的弯弧内直径宜大于 2.5 d，HPB400 钢筋弯弧内直径宜大于 4d； 3.受力成型钢筋顺长度方向全长的净尺寸允许误差为±10 mm； 4.钢筋弯曲角度误差≤1°。
3	钢筋搭接	1.钢筋安装单面焊接焊缝长度L≥10 d；双面焊接焊缝长度 L≥5 d； 2.相邻主筋搭接位置应错开，错开距离不应小于 1000 mm；同一受力钢筋的两个搭接距离不应小于 1500 mm。
4	垫块安装	1.垫块应按梅花形布置，垫块纵向、环向间距不宜大于 1.5 m； 2.衬砌钢筋垫块每平米数量宜不少于 4 块。

5.4 常见问题及预防措施

常见问题及预防措施见表 2。

表 2 常见问题及预防措施

序号	常见问题	预防措施
1	钢筋堆放混料	钢筋分区存放至集中钢筋加工厂，并设置标识标牌。
2	钢筋保护层不足	1.采用定位架控制环向、纵向钢筋间距，确保骨架轮廓准确； 2.采用与结构同强度垫块，垫块绑扎牢固，满足钢筋保护层厚度要求，每平米垫块数量宜不少于4 块。
3	钢筋间距不符合设计要求	1.按照设计文件核查钢筋数量和规格； 2.钢筋纵向间距控制宜采用卡具定位； 3.钢筋层距宜采用“L 型筋”“箍筋”定位。
4	焊接质量不合格	1.焊接工人持特种作业证上岗； 2.焊接过程中宜采用二氧化碳保护焊。
5	仰拱钢筋弧度不符合设计要求	1.采用工厂化集中加工； 2.安装过程中采用定位钢筋控制弧度。
6	机械连接接头不紧密	1. 安装接头时可用管钳扳手拧紧，钢筋丝头应在套筒中央位置相互顶紧，标准型、正反丝型、异径型接头安装后的单侧外露螺纹不宜超过2p； 2.对无法对顶的其他直螺纹接头，应附加锁紧螺母、顶紧凸台等措施紧固。

5.5 质量检测

混凝土浇筑前对钢筋安装质量进行检测，衬砌钢筋实测项目见表3。

表 3 衬砌钢筋实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查频率	检查方法
1	主筋纵向间距 (mm)	±10	分别在两侧边墙、拱腰、拱顶位置逐根检测	尺量
2	主筋数量 (根)	符合设计	全部	逐根清点
3	两层钢筋间距 (mm)	±5	不少于3 m一个检查断面、且每模衬砌不少于2 个断面、每检查断面分别在拱脚边墙、拱腰和拱顶7 处以上	尺量
4	箍筋数量 (根)	符合设计	全部	逐根清点
5	箍筋间距 (mm)	±20	分别在两侧拱脚、边墙、拱腰、拱顶位置逐根检测	尺量
6	钢筋保护层厚度 (mm)	+10, -5	每模衬砌不少于两个断面，每个断面不少于5 点	钻孔法或钢筋保护层测定仪

6 仰拱衬砌及仰拱填充

6.1 施工工序

仰拱混凝土衬砌及填充施工宜按照下列工序进行，仰拱施工工序流程见图2。

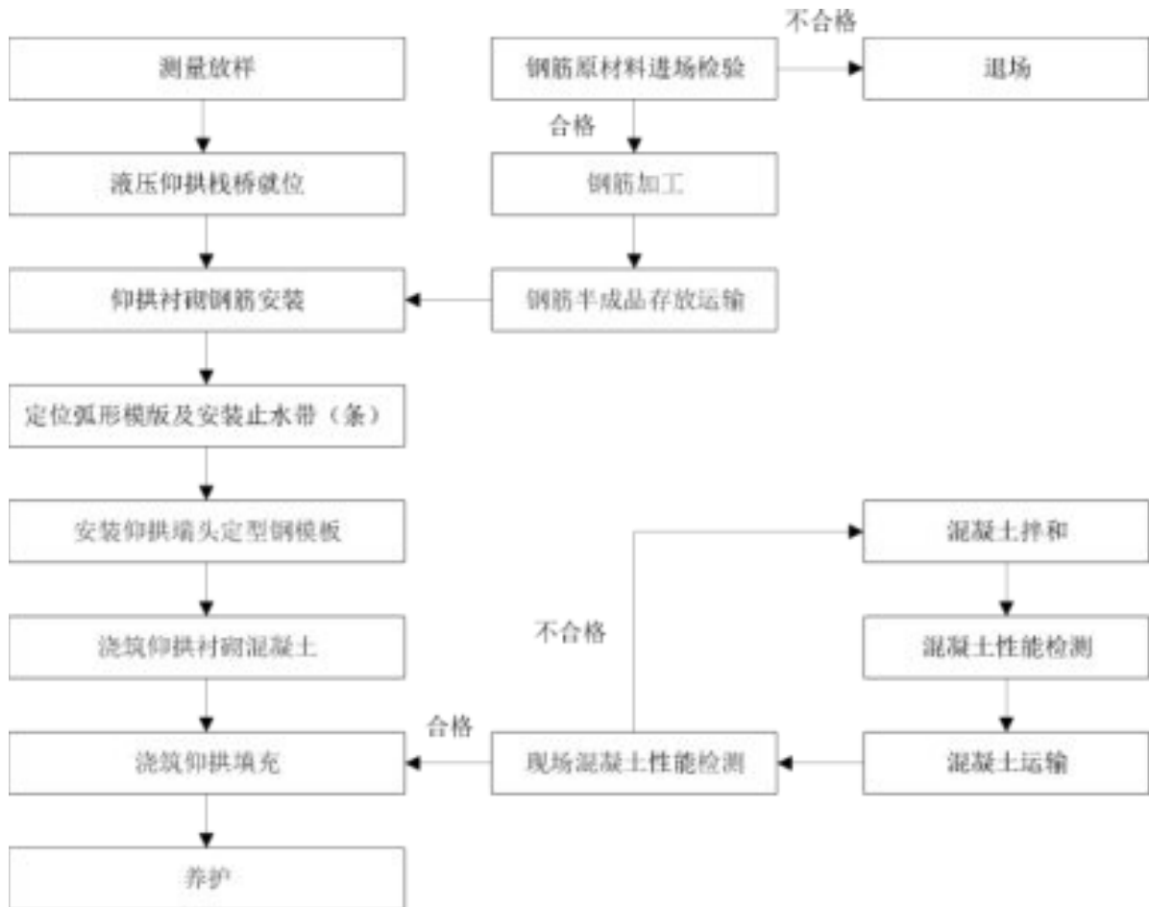


图 2 仰拱施工工序流程图

6.2 控制要点

- 6.2.1 隧底开挖断面、地基承载力应符合设计要求。
- 6.2.2 仰拱和底板施工前，清除底面虚渣、积水、淤泥等杂物。
- 6.2.3 混凝土浇筑宜采用自行式液压仰拱栈桥及整体弧形模板整幅一次浇筑成形，不得左右分幅浇筑。
- 6.2.4 仰拱结构层范围内的预埋管线应位置准确、固定牢固，施工中应采取保护措施。
- 6.2.5 端头模板宜采用可重复使用并能准确固定止水带的定型模板。
- 6.2.6 仰拱衬砌横向施工缝与填充混凝土横向施工缝宜错开设置，错开距离不小于 0.5 m。
- 6.2.7 仰拱衬砌变形缝和填充混凝土变形缝应在同一断面设置。
- 6.2.8 仰拱填充混凝土与仰拱衬砌混凝土分次浇筑，仰拱填充混凝土应在仰拱混凝土达到设计强度 70%后进行。
- 6.2.9 仰拱及仰拱填充混凝土施工采用插入式振捣棒，仰拱填充混凝土收面宜采用振捣梁。
- 6.2.10 仰拱混凝土衬砌与拱墙混凝土衬砌连接面规整、密实。仰拱混凝土衬砌和拱墙混凝土均为素混凝土时，仰拱与拱墙连接面应插连接钢筋，钢筋级别应不低于 HRB400、钢筋直径不应小于 20 mm、长度不应小于 500 mm，插入深度和外露长度均不应小于 250 mm，连接钢筋沿衬砌内外缘两侧布置，纵向间距不应大于 300 mm。当拱墙衬砌为钢筋混凝土、仰拱为素混凝土时，插入钢筋直径和布置间距应与拱墙受力主筋相同，并与拱墙受力主筋焊接。

6.3 质量控制指标

质量控制指标见表4。

表 4 质量控制指标

序号	控制要素	控制指标
1	模板安装、定位	1.仰拱模板振捣窗纵横向间距不宜大于 2.0 m，振捣窗不宜小于 450 mm×450 mm； 2.按照设计进行测量放样及模板定位，边墙脚平面位置及高程控制在±15 mm 范围。
2	混凝土浇筑	1.仰拱混凝土应整幅一次浇筑成型，一次浇筑长度不宜大于 5.0 m； 2.混凝土出料口距浇筑面的垂直距离应控制在 2.2 m 范围内； 3.混凝土入模温度控制在 5℃～32℃。
3	拆模、养护	1.仰拱填充混凝土养护宜进行洒水养护； 2.仰拱填充或调平层混凝土强度达到 5 MPa 后允许行人通行，强度达到设计强度的 100 %后方可允许出渣车辆通行。

6.4 常见问题及预防措施

常见问题及预防措施见表5。

表 5 常见问题及预防措施

序号	常见问题	预防措施
1	仰拱基底清理不彻底	混凝土浇筑前清除基底虚渣、杂物、淤泥、抽干积水，超挖部分可采用同等级混凝土填充。
2	仰拱混凝土断面不符合要求	1.混凝土浇筑前准确测量放线； 2.仰拱弧形模板定位准确。
3	仰拱填充表面不平整	1.混凝土浇筑完成后进行二次收面并检查验收； 2.仰拱填充混凝土顶面横坡、坡度应符合设计规定。

6.5 质量检测

仰拱混凝土实测项目见表6。

表 6 仰拱混凝土实测项目

项次	检 查 项 目	规定值或允许偏差	检查频率	检查方法
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	根据《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》 (JTG F80/1)	附录 D 检查
2	厚度 (mm)	不小于设计值	每 20m 检查 1 个断面，每个断面测 5 点	尺量
3	钢筋保护层厚度 (mm)	+10, -5	每 20m 测 5 点	尺量
4	底面高程 (mm)	±15	每 20m 测 5 点	水准仪

6.6 仰拱填充实测项目见表 7

表 7 仰拱填充实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查频率	检查方法
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	根据《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1)	附录 D 检查
2	顶面高程 (mm)	±10	每 20m 测 5 点	水准仪

7 拱墙衬砌

7.1 施工工序

拱墙衬砌混凝土施工宜按照下列工序进行，施工工序流程见图3。

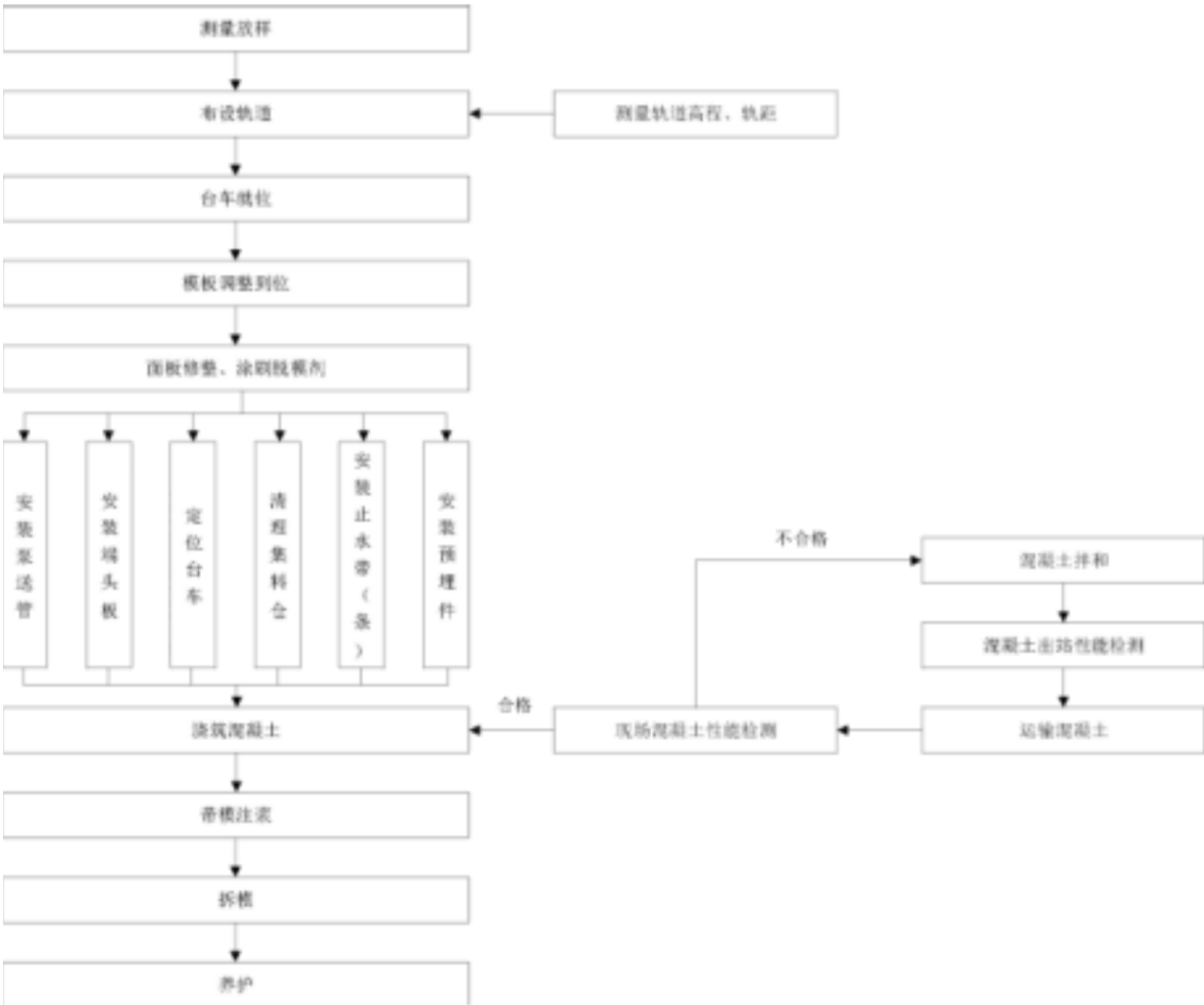


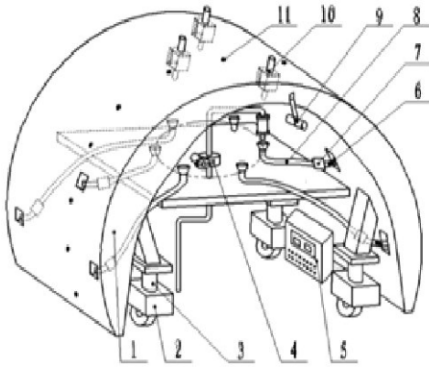
图 3 拱墙衬砌混凝土施工工序流程图

7.2 控制要点

7.2.1 拱墙衬砌模板台车的长度一般为 9 m~12 m，黄土隧道及平曲线半径小于 1200 m 的隧道台车长度不应大于 9 m。

7.2.2 拱墙衬砌台车面板厚度不小于 10 mm，每块宽度不小于 2.0 m。

7.2.3 台车宜采用分仓布料系统、软搭接装置和智能化端头模板。



注：1-衬砌台车；2-行走机构；3-液压系统；4-混凝土分配器；5-控制系统；6-温度传感器；7-流量计；8-布料系统；9-视频监控器；10-振捣装置；11-压力传感器

图 4 自动分流布料系统

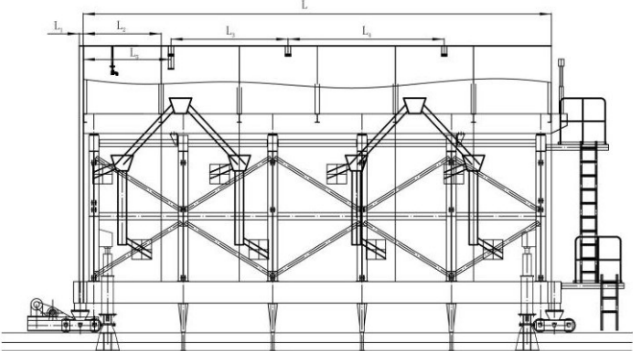


图 5 自动分流布料系统

7.2.4 放样时宜将设计衬砌轮廓线扩大 5.0 cm～8.0 cm，防止模板表面侵入衬砌内轮廓。

7.2.5 衬砌台车模板打磨完成后宜采用水溶性脱模剂均匀涂刷。

7.2.6 预埋（留）件、预埋管线数量、位置准确，固定牢靠。衬砌钢筋及预埋件经验收合格后进行台车定位，混凝土浇筑过程中应防止发生偏移。

7.2.7 堵头模板安装应拼缝严密不漏浆、支撑牢固，拆模后端头混凝土断面整齐、光滑平整。

7.2.8 拱墙混凝土配合比设计宜同时加入硅粉等掺和料及减水剂等外加剂。

7.2.9 输送管端部宜连接软管，软管口与浇筑面垂直距离宜控制在 2.2 m 以内，防止混凝土拌合物直接冲击防水板。

7.2.10 拱墙衬砌混凝土分层对称浇筑，应控制混凝土浇筑速度，两侧混凝土灌注面高差宜控制在 1.0 m 以内，同一侧混凝土浇筑面高差不大于 0.5 m。

7.2.11 拆除预留洞室模板时防止混凝土损坏，预埋管线孔预留穿线铁丝，封堵端头。

7.2.12 衬砌混凝土宜采用可控制温度、湿度、时间的智能喷淋台车进行养护。

7.3 质量控制指标

质量控制指标见表8。

表 8 质量控制指标

序号	控制要素	控制指标
1	台车就位	1.按照设计进行测量放样及模板定位，边墙脚平面位置及高程控制在±15 mm范围； 2.根据衬砌中线、边线及拱顶标高进行衬砌台车精确定位,台车拱顶高程控制在+10 mm～0 mm之间； 3.模板与已浇筑拱墙混凝土的搭接长度宜大于10 cm。
2	堵头板及止水带	1.台车端头的堵头板应按衬砌断面制作，保证设计衬砌厚度，其单片宽度不宜小于300 mm，厚度不小于30 mm； 2.背贴式止水带应与防水板密贴，中埋式止水带安装采用钢筋卡具定位准确、牢固，其纵向偏离不得大于±50 mm。

表 8（续）

序号	控制要素	控制指标
3	混凝土浇筑	1.在人行、车行、配电横洞施工时，交叉口应错开拱墙衬砌施工缝或沉降缝；施工缝、变形缝距预留洞室边缘距离不小于1.5 m； 2.混凝土入模温度宜控制在5℃～32℃； 3.混凝土浇筑前，现场检查混凝土坍落度，满足要求后进行浇筑；混凝土入模坍落度宜控制在160 mm～180 mm，墙部取低值，拱部取高值； 4.混凝土出料口距浇筑面的垂直距离应小于2.2 m； 5.混凝土浇筑宜连续进行，左右侧混凝土对称同步浇筑，两侧混凝土浇筑面高差不大于1.0 m，同一侧混凝土浇筑面高差不大于0.5 m； 6.拌和后的混凝土，在温暖干燥条件下一般要求在1 h内使用完毕，低温湿润条件下一般要求在2 h内使用完毕，已经达到初凝的混凝土，不得重新搅拌使用； 7.拱墙衬砌台车采用附着式振捣器，振捣时间宜为10 s～30 s。
4	混凝土脱模、养生	1.不承受荷载的拱墙混凝土强度应达到5MPa或达到设计要求的拆模强度后方可拆模； 2.养护周期不小于7 d，洞口100 m范围内养护周期不小于14 d；掺加引气剂或引气型减水剂时，混凝土养护时间不小于14 d。
5	带模注浆	1.在衬砌混凝土浇筑结束之后、初凝之前通过注浆孔从低端往高端进行注浆； 2.台车模板处出浆压力达到1.0 MPa未出浓浆，应更换注浆孔注浆，直至中间排气孔和端模排气孔流出浓浆时停止注浆； 3.注浆结束后，灌浆管孔应封堵密实。

7.4 常见问题及预防措

常见问题及预防措施见表9。

表 9 常见问题及预防措施

序号	常见问题	预防措施
1	衬砌混凝土局部蜂窝麻面	1.模板表面平整光滑，不得粘有干硬水泥砂浆等杂物，浇筑混凝土前，模板涂刷脱模剂； 2.严格执行混凝土配合比，做到计量准确，混凝土拌和均匀，坍落度适合； 3.混凝土浇筑分层入模，分层振捣，防止漏振； 4.混凝土浇筑前，严密封堵各种缝隙，以防漏浆； 5.曲墙反弧部位应提浆排气振捣。
2	衬砌混凝土裂缝	1.依据监控量测数据，确定二次衬砌施作时机施工； 2.混凝土连续浇筑，加强混凝土振捣； 3.混凝土的养护时间不得短于14 d； 4.衬砌类型变化处设置沉降缝； 5.严格控制钢筋保护层厚度。
3	衬砌强度不足	1.制定严格的材料进场验收程序，严禁不合格材料进场； 2.进场后的材料严格按照标准化施工要求存放； 3.严格按照标准化要求采用自动计量拌和设备； 4.及时检测进场砂石料含水率，并根据检测结果优化施工配合比； 5.冬季施工时，应采取混凝土拌和加热和运输保温措施。
4	衬砌厚度不足	1.提高开挖及初期支护施工测量放样精度，台车就位前复核检查，避免偏位； 2.防水板铺设前，检测拱墙衬砌断面空间，发现侵限及时处理； 3.防水层铺设应进行松弛度检查； 4.严格控制纵向排水管安装定位； 5.浇筑拱顶混凝土时，按纵坡由低到高的顺序推进。

表 9（续）

序号	常见问题	预防措施
5	衬砌背后不密贴或存在空洞	1.浇筑拱顶混凝土前，宜在衬砌台车最高位置处预埋溢流管，并使其紧贴防水层，在充分振捣后溢流管内持续流出混凝土浆液时，说明该段混凝土已浇筑饱满； 2.对拱顶混凝土不密贴现象，利用注浆孔进行充填注浆，浆液强度等级应满足设计要求； 3.及时对拱墙衬砌质量进行检测，发现空洞时，根据空洞大小制订相应方案进行处理。
6	预留预埋洞室、管线不符合设计	1.预留洞室衬砌模板宜采用定型钢模，确保混凝土浇筑过程中不移位、不变形； 2.加强预埋洞室技术交底和现场核查，防止尺寸错误和遗漏； 3.预埋管内预留穿线铁丝，并采取有效的管线定位与管口封堵措施；
7	仰拱与二次衬砌连接不密实	1.拱墙衬砌施工前应对纵向施工缝进行凿毛处理，清除混凝土浮浆及残渣，检查纵向止水带（条）。 2.仰拱混凝土衬砌和拱墙混凝土均为素混凝土时，仰拱与拱墙连接面应插连接钢筋，钢筋级别应不低于HRB400、钢筋直径不应小于20 mm、长度不应小于500 mm，插入深度和外露长度均不应小于250 mm，连接钢筋沿衬砌内外缘两侧布置，纵向间距不应大于300 mm。当拱墙衬砌为钢筋混凝土、仰拱为素混凝土时，插入钢筋直径和布置间距应与拱墙受力主筋相同，并与拱墙受力主筋焊接。

7.5 质量检测

拱墙衬砌混凝土实测项目见表 10。

表 10 拱墙衬砌混凝土实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查频率	检查方法
1	混凝土强度（MPa）	在合格标准内	每模取两组，每组 3 块试件	试件检测
2	衬砌厚度（mm）	90%的检查厚度≥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 2 m 间距检查一个点，台车每振捣窗检查一个点，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、四车道隧道在拱部、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 2 m	地质雷达
3	衬砌背后密实状况	衬砌背后无杂物、无空洞	拱墙、两拱腰、边墙脚	目测；地质雷达探测
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、变形缝表面错台（mm）	施工缝、变形缝±20	每条施工缝、变形缝边墙、拱腰拱顶不少于 5 处	靠尺、直尺
6	隧道净高（mm）	不小于设计值	每模检查 2 个断面	水准仪

表 10（续）

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查频率	检查方法
7	总宽度	≥设计值	每模检查 2 个断面，每个断面最大跨度位置和拱脚位置	卷尺、全站仪、经纬仪
8	中间偏差（mm）	≤20 mm	每模检查 2 个断面	卷尺、全站仪、经纬仪

参 考 文 献

- [1] 公路工程施工标准化指南系列.高速公路施工标准化技术指南（第五分册 隧道工程）.北京：人民交通出版社，2012.
- [2] 公路隧道质量安全管控提升指南.北京：人民交通出版社股份有限公司，2021.
- [3] 中华人民共和国行业标准.TB 10753-2010/J 1149-2011 高速铁路隧道工程施工质量验收标准.北京：中国铁道出版社，2010.
- [4] 中国铁路总公司企业标准.Q/CR 9604-2015 高速铁路隧道工程施工技术规程.北京：中国铁道出版社，2015.
-