

# Application of Modification-free Construction Technology of Partition Lining Antiarc Surface in Large-span Continuous Arch Tunnel in South and North Peak Tunnels

Wei Wang Penggang Zhang

Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610500, China

## Abstract

Combined with the actual situation of the middle wall lining construction of the multi arch tunnel in the reconstruction project of national highway 526 in Daishan, Zhejiang Province, China, through the research on the middle wall lining construction technology of the long-span multi arch tunnel, this paper mainly summarizes the construction technology of the anti arc surface of the middle wall lining without modification, and effectively reduces the construction cost of concrete appearance defect elimination on the premise of meeting the specifications and actual construction needs, speed up the construction progress and obtain better economic and social benefits.

## Keywords

connecting arch tunnel; central partition wall lining; permeable cloth; free modification

# 大跨径连拱隧道中隔墙衬砌反弧曲面免修饰施工技术在南峰及北峰隧道中的应用

王伟 张朋岗

中国水利水电第五工程局有限公司, 中国·四川成都 610500

## 摘要

论文结合中国浙江省岱山526国道改建工程中的连拱隧道中隔墙衬砌施工的实际情况, 通过对大跨径连拱隧道中隔墙衬砌施工技术研究, 主要就中隔墙衬砌反弧曲面免修饰的施工技术上的总结, 在满足规范及实际施工需要前提下, 有效降低混凝土外观消缺的施工成本, 加快施工进度, 获得较好的经济效益和社会效益。

## 关键词

连拱隧道; 中隔墙衬砌; 透水布; 免修饰

## 1 引言

公路工程与市政工程的短隧道常选用连拱隧道的结构形式, 从节约用地、避免洞脸高边坡、进出口减少扰民征拆的目的出发意义重大。中导洞开挖支护后进行中隔墙衬砌, 支撑加固等强后进行主洞先行洞开挖, 但连拱隧道的中隔墙衬砌的反弧曲面易发生麻面、气泡、水波纹等质量外观缺陷。采用传统的模板表面打磨、改进脱模剂、模板开排气孔、减小分层厚度浇筑加强振捣等施工方式进行作业, 效率偏低、质量控制难度高, 效果仍不理想。因此, 通过在传统中隔墙衬砌的反弧曲面段防止外观缺陷的施工工艺的基础上进行优化和创新, 主要通过在中隔墙混凝土反弧曲面段易产生外观缺陷部位将钢模表面打磨光滑、粘贴混凝土高分子透水布

的工艺技术, 控制分层厚度加强振捣, 有效地解决了中隔墙衬砌混凝土拆模后反弧曲面段的麻面、气泡、水波纹等质量外观缺陷。

## 2 概述

中国浙江省舟山市 526 国道改建工程地处岱山岛, 路线主线共有 2 座隧道, 均为连拱隧道, 分别为北峰隧道工程及南峰隧道工程, 南峰隧道桩号为 K18+634~K18+925, 暗洞 177m, 明洞 110m; 北峰隧道桩号为 K13+964~K14+300, 暗洞 284m, 明洞 52m, 隧道左右幅主洞共用 1 个中隔墙, 连拱隧道采取先施工中导洞, 开挖支护后再进行中隔墙衬砌<sup>[1]</sup>, 最后完成隧道主洞先行洞开挖支护及二次衬砌施工的方法。其中中导洞分为 III、IV、V 级三种围岩, 对应结构尺寸(宽×高)分别为: 6.2m×5.55m、6.3m×6.25m、6.4m×6.3m 的城门洞型, 对应开挖断面积分别为 29.66m<sup>2</sup>、35.12m<sup>2</sup>、

【作者简介】王伟(1986-), 男, 中国四川德阳人, 本科, 工程师, 从事工程施工技术与管理研究。

35.92m<sup>2</sup>，施工工期为7个月。

连拱隧道中导洞的中隔墙衬砌的混凝土结构尺寸根据围岩级别不同分为Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级三种，采用C45P8防水混凝土结构形式如图1~图3所示。

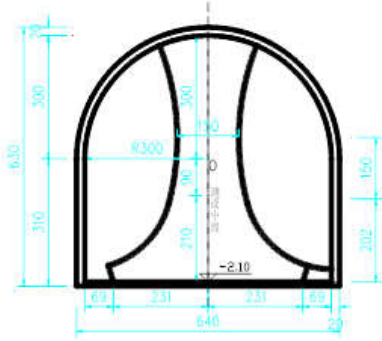


图1 V级围岩中隔墙

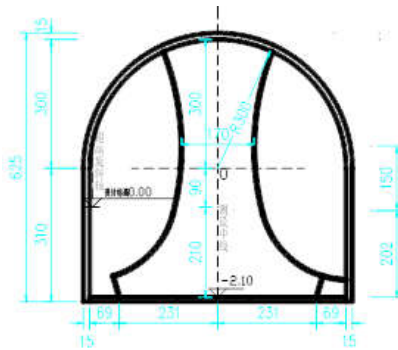


图2 IV级围岩中隔墙

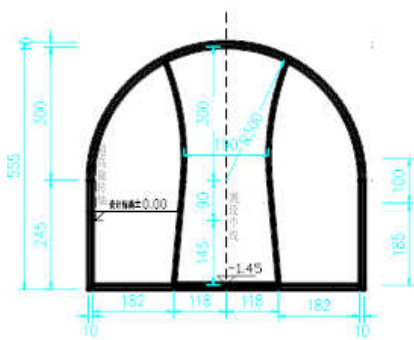


图3 III级围岩中隔墙

### 3 隧道中隔墙衬砌反弧曲面免修饰施工方法确定

#### 3.1 处理反弧曲面混凝土外观质量缺陷的工艺方法比较

##### 3.1.1 “模板表面打磨+改进脱模剂+模板开排气孔预防中隔墙衬砌”的施工方法

衬砌台车的钢模板每次使用前，采用角磨机进行表面

打磨，将残留的混凝土残渣打磨掉，使钢模板表面光滑，喷涂上均匀分布的改良后的脱模剂，使附着在反弧曲面上的气泡较均匀的分布，并在模板反弧段上开凿排气孔，排气孔直径小于10mm，间距大于400mm，为排出的气泡提供排气通道，使混凝土外观质量提升。

优点：以上传统预防混凝土外观缺陷的方法施工方便、灵活，结合减小及控制分层厚度浇筑，并加强振捣，可适当提升混凝土的外观质量。

缺点：①以上方法提升混凝土外观质量的效果仍然有限，每次需要人力物力加强打磨模板，特别反弧曲面钢模板表面，造成单一工序耗时较长；

②在钢模上开孔，对模板强度有所影响，易发导致衬砌完成后的结构尺寸偏差偏大、变形过大；

③在钢模上开的小孔易造成孔周围漏浆、麻面、明显色差等问题。

##### 3.1.2 “衬砌台车反弧曲面钢模板表面打磨光滑+粘贴混凝土高分子透水布+分层厚度加强振捣”的施工方法

衬砌台车钢模板反弧曲面粘贴高分子透水布，利用其透水吸附及排除气体、过多的水分的特性避免混凝土表面因气泡集中、水波纹及过振、混凝土和易性差等问题造成的混凝土表面出现的麻面、气泡集中、水波纹等重量外问题<sup>[2]</sup>。

优点：施工方便、快捷灵活、适用性强、便于操作、节约混凝土外观处理材料及人工劳动力成本，具有较快的施工速度。

缺点：①每仓混凝土需要投入透水布材料，增大了材料成本；

②如果透水布层被水泥浆充填，将无法顺利排出气泡及混凝土表面多余自由水分，需要打磨模板并粘贴一层新的透水布。

### 3.2 衬砌方案的选定

通过在传统预防反弧曲面混凝土外观质量缺陷的施工工艺的基础上进行优化和创新，主要通过在中隔墙混凝土反弧曲面段易产生外观缺陷部位将钢模板表面打磨光滑、粘贴混凝土高分子透水布的工艺技术，并控制分层厚度加强振捣，有效地解决了中隔墙衬砌混凝土拆模后反弧曲面段的麻面、气泡、水波纹等质量外观缺陷的问题。

## 4 大跨径连拱隧道中隔墙衬砌反弧曲面免修饰施工工艺

### 4.1 施工工艺原理

中隔墙衬砌混凝土的反弧曲面段距地板0.5~1.2m高度范围内，因振捣混凝土时排气困难，导致中隔墙衬砌反弧曲面段极难避免水波纹、麻面、气泡集中等混凝土外观缺陷的问题。连拱隧道中隔墙衬砌反弧曲面免修饰施工工艺方法，主要在中隔墙衬砌台车的反弧曲面段钢模板打磨光滑后，再

人工喷胶粘贴高分子透水布,利用高分子透水布的透水性避免混凝土表面水波纹及过振、混凝土和易性等问题造成的混凝土表面出现的麻面问题,通过透水布吸收部分混凝土结构表面游离的自由水分,改变结构物混凝土表面水胶比,提高表面混凝土强度及耐久性。混凝土采用调整的最优混凝土配合比、控制混凝土塌落度及和易性,分层卸平料厚度为0.3m,及时振捣排除混凝土内的气体,即可较理想的满足拆模后的中隔墙混凝土外观的要求,达到免修饰的目的。

#### 4.2 施工工艺流程

本工法施工工艺流程详见图4。

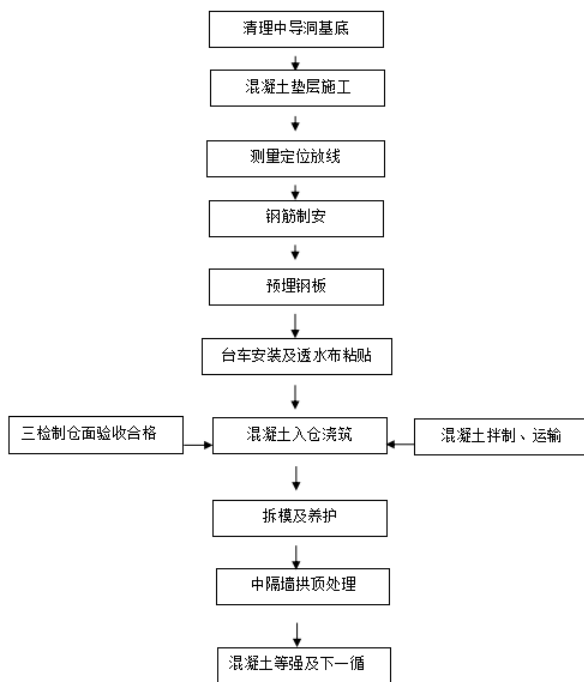


图4 反弧曲面免修饰混凝土连拱隧道中隔墙衬砌快速施工工艺流程图

### 5 连拱隧道中隔墙衬砌免修饰方法

#### 5.1 清理中导洞基底、垫层施工

中隔墙的底部的标高应低于结构底标高100mm,并将基底清理、压实整平。底清理完毕经验收合格后,开始浇筑C10素混凝土垫层,确保其强度达到90%以上或等强10d以上施做中隔墙混凝土,并保证模板台车就位及移动的安全、平衡稳定。

#### 5.2 测量定位放线

通过测量放出台车轨道及中隔墙的轴线进行轨道安装及钢筋定位安装,再进行模板安装及校核。

#### 5.3 钢筋制安

钢筋统一在集中钢筋加工场下料加工,采用成套数控加工设备确保钢筋加工的质量及高效性。半成品运至中隔墙仓面,受限空间作业,现场人工及小机具辅助进行安装,钢

筋的机械连接、绑扎、焊接接头的安装必须符合现行规范和验收要求。

环向受力筋与纵向分布筋每节节点应进行绑扎或焊接,已完成中隔墙衬砌的上一仓的纵向水平分布筋应预留出堵头模板30cm以上,并采用泡沫胶封闭防止漏浆,且预留纵向水平分布筋要与下一仓纵向水平筋焊接,增强中隔墙整体性。

#### 5.4 预埋钢板

中导洞中隔墙顶部两端及底部两侧墙各部位均设计有预埋钢板,使左右侧主洞初期支护钢支撑连接板与中隔墙上下两侧预埋板有效连接。

#### 5.5 台车安装

中隔墙衬砌钢模台车长度为9m,钢模台车利用独立行走结构,沿铺设固定的P24轨道进退,采用夹轨器锁定防止滑移,钢模板表面为10mm厚高强度钢板,根据中隔墙结构轮廓制作成型,竖向采用2cm厚钢板为外背楞,间距150cm,纵向采用10#槽钢作为内背楞,间距35cm,钢模台车应具有足够的刚度、强度、稳定性,避免混凝土跑模、爆模、变形过大引起混凝土结构尺寸偏差等问题。入料及振捣窗口分上下两层,窗口长×宽为45×45cm,梅花形交错布置,窗口为可启闭式。钢模板表面采用角磨机打磨光滑,特别模板钢板之间的焊缝拼缝存在毫米级别的轻微错台,采用高强度J506焊条将拼缝焊接牢固,并用手持式角磨机打磨错台部位至平整、顺滑,同时用环氧胶泥AB胶将其余钢板拼缝的缝隙填充至密实,等强后打磨光滑,使拆模后该部位混凝土外观整体平整光滑,消除绝大部分中隔墙拼缝错台问题,初步提升混凝土外观质量的目的<sup>[3]</sup>。

#### 5.6 高分子透水布粘贴

##### 5.6.1 透水布参数

透水布性能指标表如表1所示。

表1 透水布性能指标表

序号	项目	单位	性能参数	备注
1	平均孔径	μm	28	
2	排水能力	L/m <sup>2</sup>	≥3	
3	透气量	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> S	≤4	
4	保水量	L/m <sup>2</sup>		
5	断裂伸长	%	10	
6	相对密度			
7	耐热点	°C	140	
8	耐酸性		耐酸性良好	
9	耐碱性		耐浓碱	
10	耐磨性		优良	

##### 5.6.2 透水布粘贴范围参数及原理

中隔墙衬砌混凝土的反弧曲面段离地0.5~1.2m高度范围内因振捣混凝土时排气困难,导致中隔墙衬砌反弧曲面段极难避免水波纹、麻面、气泡集中等混凝土外观缺陷的问题。“连拱隧道中隔墙衬砌反弧曲面免修饰施工工法”主要在中隔墙衬砌台车的反弧曲面段钢模板打磨光滑后,再人工

喷胶粘贴一层高分子透水布,利用高分子透水布的透水吸附排除气体的特性避免混凝土表面因水波纹及过振、混凝土等问题造成的混凝土表面出现的麻面的问题,通过透水布吸收部分混凝土结构表面游离的自由水分,在堵头模板部位顺利排出,改善结构物混凝土表面水胶比及均匀性,提高表面混凝土强度,且混凝土透水布的保水作用,为混凝土养护提供了一个良好的条件,减少了细微裂缝的产生。高分子透水布喷胶范围为反弧曲面段离地 0.5~1.2m 高度,将高分子透水布平整地粘贴在衬砌台车钢模内侧,左右侧对称布置。衬砌台车其余部位钢模板均匀涂刷脱模剂,混凝土采用调整的最优混凝土配合比、控制混凝土塌落度及和易性,分层卸平料厚度为 0.2~0.3m,及时振捣排除混凝土内的气体,即可较理想的满足中隔墙混凝土外观的要求,达到免修饰的目的。具体见图 5。



图 5 钢模台车及高分子透水布示意图

### 5.6.3 透水布粘贴施工方法

①透水布粘贴施工前先将模板表面打磨除锈、打磨混凝土残渣、浆皮,并将灰尘、油污清洗干净,使模板表面清洁,无杂物,并确保模板干燥,从而人工使透水布喷胶均匀地喷涂到距地面 0.5~1.2m 高度范围的反弧曲面,并能够充分使透水布粘结在台车钢模板反弧曲面部位<sup>[4]</sup>。

②按照距地面 0.5~1.2m 高度范围的模板尺寸裁剪透水布,模板边缘预留不少于 5cm,粘贴在衬砌台车末端堵头钢楞上,以加强透水布整体的粘结力及强度。

③将喷胶均匀地喷在模板表面及四周,喷胶不易过厚,避免胶水渗透透水布,影响透水布排水效果。模板拼缝处喷胶量应适当加大,确保粘贴牢固。

④粘贴透水布时,透水布毡面与模板密贴,先固定好

透水布起始位置,然后由一端向另一端人工铺展开压实,避免出现褶皱,确保透水布密贴在模板表面,如有褶皱,须将透水布掀起,重新粘贴平整密实。

⑤尽量不采用模板布搭接,避免产生人为造成混凝土表面外观轻微起伏不平;特殊情况如需两块透水布搭接,需先将两块透水布重叠 5cm,再在重叠中间位置切开,去掉割下的部分。在搭接位置,喷胶用量应略为增加,以确保拼缝平整相接,且不漏浆。

⑥透水布粘贴完毕,重新检查是否平整,是否存在褶皱和气泡,如存在上述问题,需及时处理。

⑦混凝土浇筑振捣。

中隔墙采用 C45P8 防水混凝土,混凝土在拌合站集中厂拌,水平运输采用 12m<sup>3</sup> 混凝土运输罐车运至现场,并采用 HBT60 混凝土输送泵送入仓,以插入式振捣器为主,注意振捣半径与振捣器匹配,严禁漏振、过振,并采用台车上布置的 10 个附着式振捣器辅助振捣,保证插入式振捣棒无法振捣的部位混凝土密实,方式为间隙式点振,时间为每次 6~8s。中隔墙混凝土衬砌,受混凝土输送泵的泵送距离的限制,中隔墙混凝土浇筑方向宜从隧道内至外进行,每 9m 一个循环。施工缝是中隔墙受力的薄弱面,每次接缝必须凿毛,且仓与仓之间的水平筋须焊接连接成整体,预留出堵头模板长度以 30cm 为宜。

浇筑前对支架、模板、钢筋保护层垫块和预埋件进行检查,并将模板内的杂物、积水和钢筋上的污垢清理干净;模板的缝隙填塞严密,均匀涂刷脱模剂。

浇筑时检查混凝土的和易性和入仓坍落度,混凝土分层浇筑厚度为 30cm,并用插入式振动器振捣密实。

浇筑混凝土过程中,应经常检查模板、钢筋及预埋件的位置和保护层的尺寸,确保其位置正确,不发生变形移位。并注意模板、支架等支撑情况,设专人检查,如有变形,移位或沉陷立即校正并加固处理后,方可继续浇筑。

### 5.7 模板拆除及养护

中隔墙模板应在混凝土强度达到 2.5MPa 以上进行拆模,且保证其表面及棱角不因拆除模板而受损坏;同时先拆除堵头模板观察混凝土色泽变化,以灰黑色转变为灰白色为宜,后利用液压及丝杠使钢模板与混凝土脱离。混凝土浇筑完成后,及时洒水养护,保持混凝土表面湿润,养护时间不小于 7 天。

### 5.8 中隔墙顶部处理

中隔墙顶部三角区密实度在浇筑过程中,因操作原因和混凝土工作性能会使顶部出现空隙,中隔墙顶部饱满度是控制重点<sup>[4]</sup>。

浇注封顶时,要加大泵送压力,且入料管要尽可能地伸到中导洞的顶部,尽可能地混凝土面提升至中导洞的拱顶,一方面对两侧肩部进行良好的封堵,另一方面节省注浆量。同时,采用环式卡扣将“人字型螺旋式顶推入仓及封

堵装置”及顶拱入料口快速封堵装置,如图6及图7所示,从而避免在推杆塞过程中出现混凝土回流的情况发生。在前期中导洞施工时拱顶处锚杆头应外露30cm以上,并与中隔墙顶部钢筋焊接在一起,以增加中隔墙与顶部围岩的结合力,上下形成受力整体<sup>[5]</sup>。

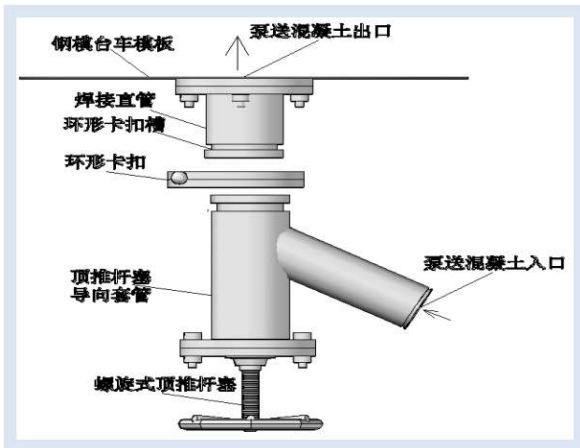


图6 人字型螺旋式顶推入仓及封堵装置图

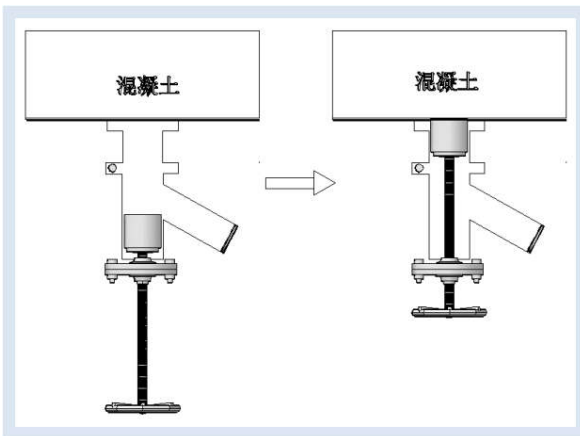


图7 螺旋顶塞快速封堵装置图

顶部空腔采用中隔墙两侧预埋的注浆管进行回填灌浆处理密实,根据现场施工及围岩实际情况,注浆孔设置间距不应大于5m,灌浆管采用水泥浆完全封堵。中隔墙顶部注浆方法如图8所示。

在中隔墙墙顶回填完成,浆液强度及中隔墙混凝土强

度达到设计强度后方可开挖主洞。

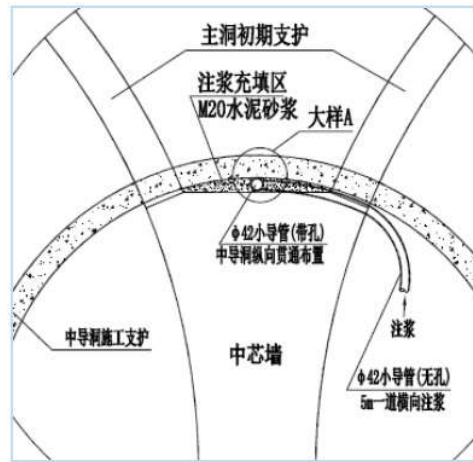


图8 中隔墙顶部注浆填充示意图

## 6 结语

通过对连拱隧道中隔墙衬砌反弧曲面消除质量外观缺陷的免修饰施工技术的研究,创新优化传统工艺,采用高分子透水布在中隔墙衬砌反弧曲面的应用,成功克服了在中隔墙衬砌施工的反弧曲面易发气泡、麻面、水波纹等外观质量缺陷的施工难题,达到了混凝土衬砌表面免修饰的目的,对中隔墙衬砌的实体外观质量得到提升,节约了处理中隔墙衬砌消缺的工程成本,较大地提高了中隔墙的衬砌施工效率,减少了劳动力及消缺材料物资的成本投入,降低了施工风险。该技术在连拱隧道中隔墙衬砌施工中成功的应用,为该类公路隧道工程施工积累了经验,取得了较好的经济效益和社会效益。

## 参考文献

- [1] JTGT 3660—2020 公路隧道施工技术规范[S].
- [2] 张润芝.墩柱模板布施工工艺[J].城市建设理论研究(电子版),2015,5(31):1422-1423.
- [3] 王豪.浅谈整体式桁架模板在桥墩安装施工中的质量控制[J].现代企业文化,2017(2):192.
- [4] 程学强.公路连拱隧道中隔墙顶部回填方法及控制要点[J].价值工程,2014,33(10):2.
- [5] 张黎,陈小锐,段建军.隧道可视化带模注浆施工技术研究及应用[J].四川水利,2018,39(5):86-89.