隧道仰拱施工质量检测要点及现场控制对策

闫 晗

（四川蜀道工程咨询集团有限公司，四川 成都 610011）

摘 要 隧道仰拱是封闭隧道围岩、承受底部围岩压力和列车荷载的关键结构，其施工质量直接关系到隧道结构安全和长期运营稳定性，然而仰拱施工受作业空间受限、地下水影响、工序交叉多等因素制约，质量控制难度大。本文分析隧道仰拱施工特点与常见质量问题，从基底处理、钢筋安装、混凝土浇筑、仰拱成型与尺寸四个方面阐述质量检测要点，明确检测项目、检测方法和控制标准，并从基底处理、钢筋模板、浇筑过程、养护成品保护四个方面提出现场控制对策，以期为隧道仰拱施工质量管控提供参考。

关键词 隧道仰拱；质量检测；现场控制；基底处理；混凝土浇筑

中图分类号：U455 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.015

0 引言

隧道仰拱与二次衬砌共同构成封闭的承载结构，承受底部围岩膨胀压力、地下水压力和列车动荷载，是隧道结构体系的重要组成部分，其施工质量直接影响隧道整体稳定性和耐久性。然而，仰拱施工位于隧道底部，作业空间狭窄、通风条件差、地下水丰富，施工环境恶劣，同时仰拱施工与开挖、出渣、衬砌等工序交叉干扰大，质量控制难度高，施工中常出现基底清理不彻底、钢筋保护层不足、混凝土不密实、仰拱厚度不够等质量缺陷。因此，系统开展隧道仰拱施工质量检测要点及现场控制对策研究，对保障隧道结构安全具有重要意义。

1 隧道仰拱施工特点与质量问题

1.1 隧道仰拱施工特点

隧道仰拱施工具有四个显著特点：一是作业环境差，仰拱位于隧道底部，施工空间低矮狭窄，大型机械难以直接作业，多采用小型机械配合人工施工，作业效率低、劳动强度大；二是地下水影响大，隧道底部是地下水汇集区域，基底常有渗水、涌水，影响基底处理和混凝土浇筑质量；三是工序交叉干扰多，仰拱施工与掌子面开挖、出渣运输、拱墙衬砌等工序在同一隧道空间内交叉进行，相互干扰大，施工组织复杂[1]；四是质量隐蔽性强，仰拱施工完成后被填充层和路面覆盖，内部质量缺陷难以发现，一旦出现问题整改难度大、费用高。因此，仰拱施工必须加强过程检测和现场控制，确保每道工序质量合格。

1.2 仰拱施工常见质量问题

仰拱施工常见质量问题主要体现在四个方面：一是基底处理不到位，基底虚渣、积水、淤泥未清理干净即浇筑混凝土，导致仰拱与基底之间存在软弱夹层，承载力下降，运营后出现沉降和开裂；二是钢筋安装质量差，钢筋间距不均匀、保护层厚度不足、钢筋接头位置不符合规范，影响仰拱结构受力性能；三是混凝土浇筑质量缺陷突出，混凝土配合比不当、振捣不密实、施工缝处理不规范，导致混凝土出现蜂窝、麻面、孔洞、离析等缺陷，降低结构强度和耐久性[2]；四是仰拱几何尺寸不达标，仰拱厚度不足、弧度不准确、与拱墙衬砌连接不顺，影响结构受力和排水功能。这些质量问题若不及时发现和整改，将给隧道运营留下安全隐患。

2 隧道仰拱施工质量检测要点

2.1 基底处理质量检测

基底处理是仰拱施工的第一道工序，也是保证仰拱与围岩密贴、传递荷载的关键。基底处理质量检测重点包括三个方面：一是检测基底开挖断面，检查仰拱开挖深度和弧度是否符合设计要求，超挖部分是否用同级混凝土回填，欠挖部分是否处理到位，严禁出现欠挖导致仰拱厚度不足；二是检测基底清理质量，检查基底虚渣、淤泥、积水是否清理干净，基底岩石是否暴露新鲜面，有无松动岩块和软弱夹层，地下水是否引排到位，基底不得有积水和流水浇筑混凝土；三是检测基底承载力，采用动力触探或荷载试验检测

作者简介：闫晗（1989-），男，专科，助理工程师，研究方向：道路与桥梁工程。

基底地基承载力，软弱围岩段应重点检测，承载力不满足设计要求时应进行加固处理。基底处理完成后由监理工程师验收签字，合格后方可进入下一道工序[3]。

2.2 钢筋安装质量检测

钢筋是仰拱结构的主要受力材料，钢筋安装质量直接影响仰拱结构强度和抗裂性能，检测要点包括四个方面：一是钢筋规格和数量检测，检查钢筋品种、级别、规格、数量是否符合设计要求，钢筋质量证明文件和进场复检报告是否齐全合格；二是钢筋间距和排距检测，采用钢尺量测钢筋纵向和横向间距，每段检测不少于5处，间距偏差不得超过±10 mm，钢筋排距偏差不得超过±5 mm；三是钢筋保护层厚度检测，采用保护层测定仪或钢尺检测钢筋保护层厚度，仰拱底部保护层厚度不应小于50 mm，顶部不应小于40 mm，保护层垫块数量和强度应满足要求，每平方米不少于4块；四是钢筋接头检测，检查钢筋接头位置、搭接长度、焊接质量是否符合规范，同一截面接头数量不得超过50%，接头应错开布置。仰拱施工质量检测项目及标准如表1所示。

2.3 混凝土浇筑质量检测

混凝土浇筑是仰拱施工的关键环节，混凝土质量直接决定仰拱结构性能，检测要点包括三个方面：一是检测混凝土原材料和配合比，检查水泥、砂石、外加剂、水等原材料质量是否合格，配合比是否经试验确定，施工配合比是否根据现场砂石含水率调整，混凝土坍落度应控制在120 mm～160 mm；二是检测混凝土浇筑过程，检查混凝土是否分层浇筑、分层振捣，分层厚度不超过300 mm，振捣棒插入下层混凝土50 mm～100 mm，振捣至混凝土表面泛浆、不再下沉、无气泡冒出为止，严禁漏振、欠振和过振；三是检测施工缝处理质量，仰拱施工缝应设置在结构受力较小部位，施工缝处混凝土应凿毛清理、冲洗干净，浇筑前铺一层同配合比水泥砂浆，确保新旧混凝土结合良好。混凝土浇筑过程中监理工程师应旁站监督，做好浇筑记录[4]。

表1 隧道仰拱施工质量检测项目及标准

检测项目	检测方法	控制标准	检测频率
基底清理质量	观察+尺量	无虚渣、积水、淤泥	每浇筑段全数检查
基底承载力	动力触探/荷载试验	不低于设计值	每50 m不少于1点
钢筋间距	钢尺量测	±10 mm	每段不少于5处
钢筋保护层	保护层测定仪	底部≥50 mm，顶部≥40 mm	每段不少于10点
仰拱厚度	尺量/雷达检测	不小于设计值	每5 m不少于1断面
混凝土强度	回弹/取芯	不低于设计强度	每浇筑段1组试块
混凝土密实度	雷达/超声波	无蜂窝孔洞	每100 m扫描1次

2.4 仰拱成型与尺寸检测

仰拱浇筑完成后，应对仰拱成型质量和几何尺寸进行检测，确保符合设计要求。检测内容包括四个方面：一是仰拱厚度检测，采用钢尺在浇筑前量测基底到模板顶面的距离，或浇筑后采用地质雷达扫描检测，仰拱厚度不得小于设计值，局部厚度偏差不得超过-5 mm；二是仰拱弧度检测，采用弧形样板或全站仪检测仰拱内轮廓弧度，弧度应圆顺、与设计一致，不得出现突变和折角；三是仰拱与拱墙连接检测，检查仰拱与拱墙衬砌连接处是否顺接、钢筋是否连接牢固、混凝土是否结合密实，连接处不得出现错台和裂缝；四是仰拱表面平整度检测，采用2 m直尺检测仰拱表面平整度，偏差不得超过10 mm，表面不得有蜂窝、麻面、露筋等缺陷。仰拱成型检测合格后方可进行填充层施工。

3 隧道仰拱施工现场控制对策

3.1 基底处理质量控制

基底处理质量控制应坚持“挖到位、清干净、排通畅、验合格”的原则。在开挖控制方面，仰拱开挖应采用弱爆破或机械开挖，严禁超挖和欠挖，超挖部分用同级混凝土回填，不得用虚渣和片石填充，软弱围岩段应预留变形量，开挖后及时初喷混凝土封闭围岩。在清理控制方面，仰拱浇筑前采用高压水冲洗基底，将虚渣、淤泥、粉尘冲洗干净，积水采用潜水泵抽排，基底岩石暴露新鲜面，松动岩块人工撬除，确保基底干净、坚实[5]。在排水控制方面，基底有渗水时设置排水沟和集水井，将水引排至隧道两侧排水沟，严禁在有积水和流水的情况下浇筑混凝土，涌水量大时采用注浆堵水。在验收控制方面，基底处理完成后由施工单位自检，自检合格后报监理工程师验收，验收内容包括开挖断面、清理质量、承载力等，验收合格签

字后方可浇筑混凝土，未经验收不得进入下道工序。

3.2 钢筋安装与模板控制

钢筋安装质量控制应从原材料、加工、安装、验收四个环节抓起。在原材料控制方面，钢筋进场时检查质量证明文件，按批次进行拉伸、弯曲等力学性能复检，不合格钢筋不得使用，钢筋存放应垫高遮盖，防止锈蚀和污染。在加工控制方面，钢筋在加工场集中加工，严格按设计尺寸下料弯曲，加工完成后分类堆放、标识清楚，钢筋表面不得有油污、锈蚀和损伤。在安装控制方面，钢筋绑扎前在基底弹出钢筋位置线，按线布置钢筋，确保间距均匀，钢筋交叉点采用铁丝绑扎牢固，必要时点焊固定，钢筋接头采用机械连接或焊接，接头位置错开布置，保护层垫块采用同强度混凝土垫块，绑扎在钢筋外侧，数量充足[6]。在模板控制方面，仰拱端头模板采用定型钢模板，支撑牢固、接缝严密，模板安装后检查位置、尺寸、垂直度，浇筑过程中安排专人看模，发现变形和漏浆及时处理。钢筋安装完成后经监理验收合格后方可浇筑混凝土。

3.3 混凝土浇筑过程控制

混凝土浇筑过程控制是保证仰拱质量的关键，应从拌合、运输、浇筑、振捣四个环节严格管控。在拌合控制方面，混凝土采用拌合站集中拌合，严格按施工配合比计量投料，拌合时间不少于 90 秒，每班检测坍落度不少于 2 次，混凝土和易性良好，不得出现离析和泌水。在运输控制方面，混凝土采用混凝土罐车运输，运输过程中罐体保持转动，防止离析，运输时间不宜超过 1 小时，到场后检查坍落度，损失过大时不得随意加水，应经试验人员调整。在浇筑控制方面，仰拱混凝土应从两侧向中间对称浇筑，分层厚度不超过 300 mm，连续浇筑不得中断，如必须中断应按施工缝处理，混凝土自由倾落高度不超过 2 m，超过时采用串筒或溜槽。在振捣控制方面，采用插入式振捣器振捣，振捣棒快插慢拔，插点均匀排列、逐点移动，移动间距不超过振捣棒作用半径的 1.5 倍，振捣至混凝土表面泛浆、不再下沉、无气泡为止，振捣棒避免碰撞钢筋和模板，振捣由有经验的工人操作，确保振捣密实。

3.4 养护与成品保护控制

混凝土养护和成品保护是保证仰拱后期强度和耐久性的重要措施，应高度重视。在养护控制方面，仰拱混凝土浇筑完成后 12 小时内开始养护，采用洒水保湿养护，养护时间不少于 14 天，炎热天气增加洒水次数，保持混凝土表面湿润，冬季施工应采取保温措施，采用保温材料覆盖，防止混凝土受冻，养护期间不得在混凝土表面行走和堆放重物。在成品保护方面，仰拱混凝土强度未达到设计强度 70% 前，不得在仰拱上通行车辆和堆放材料，强度达到 100% 后方可进行填充层施工，填充层施工时避免机械碰撞仰拱表面，施工车辆限速行驶，防止破坏仰拱混凝土。在质量缺陷处理方面，混凝土表面出现蜂窝、麻面等小缺陷时，经监理同意后采用同配合比砂浆修补，出现孔洞、露筋等严重缺陷时，应制定专项处理方案，经设计和监理同意后按方案处理，处理后重新检测验收。通过严格的养护和成品保护，确保仰拱混凝土强度正常增长、外观质量完好。

4 结束语

围绕隧道仰拱施工质量检测要点及现场控制对策主题，本文分析了隧道仰拱施工特点与常见质量问题，从基底处理、钢筋安装、混凝土浇筑、仰拱成型与尺寸四个方面阐述了质量检测要点，明确了检测项目、方法和标准，从基底处理、钢筋模板、浇筑过程、养护成品保护四个层面提出了现场控制对策。仰拱施工质量控制应坚持“预防为主、过程管控、逐道验收”的原则，将质量检测贯穿施工全过程，每道工序验收合格后方可进入下一道工序，才能有效避免基底不密实、钢筋保护层不足、混凝土不密实、厚度不够等质量缺陷。未来可进一步探索仰拱施工质量智能检测技术，利用地质雷达、物联网等手段实现质量实时监测和预警，推动隧道仰拱施工质量管控向智能化、精细化方向发展。

参考文献：

[1] 杨斌.新奥法隧道大跨度移动栈桥仰拱施工安全风险管理 [J]. 建筑机械化 ,2026,47(08):173-177.
[2] 王斐度.隧道仰拱病害成因分析及处治措施探讨 [J]. 交通世界 ,2025(09):147-149.
[3] 贺泳超 , 陈铖 , 孙涛 . 软岩隧道不良地质施工方法研究 [J]. 河南科技 ,2026,53(13):61-66.
[4] 柳殿霞.隧道仰拱施工关键技术及质量控制研究 [J]. 交通建设与管理 ,2026(03):80-81.
[5] 魏佳磊.公路隧道装配式仰拱结构设计与施工优化 [J]. 四川水泥 ,2025(12):187-189.
[6] 刘宏.高铁长大隧道仰拱混凝土机械化施工技术 [J]. 建筑机械化 ,2025,46(11):28-31.