

# 高速公路隧道开挖超欠挖控制及支护技术优化

程 龙<sup>1</sup> 熊 雷<sup>2</sup>

1.湖北交投神宜建设管理有限公司 湖北 宜昌 443000

2.湖北交投建设集团有限公司 湖北 武汉 430000

**【摘要】**：高速公路隧道机械开挖中，超欠挖直接影响隧道成型质量、施工安全及后续支护效果，是黄土隧道施工的突出难题。某黄土高速公路隧道工程为依托，从地质条件、施工工艺、现场管理三个核心维度，分析隧道开挖超欠挖成因，阐述测量与轮廓控制、开挖参数优化、动态监测与实时调整三项超欠挖控制技术，针对初期支护参数、施工工艺及特殊地质段支护给出优化措施，结合同类工程实践经验完善技术方案，实现超欠挖管控与支护质量提升，为同类黄土高速公路隧道开挖及支护施工提供理论参考与实践借鉴。

**【关键词】**：高速公路隧道；超欠挖；开挖控制；支护优化；黄土围岩

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.064

我国高速公路建设向山区延伸，黄土隧道工程数量逐年增加，隧道开挖作为核心施工工序，施工精度直接决定工程整体质量与安全性。超欠挖是隧道机械开挖中普遍存在的问题，黄土沟壑区尤为突出，围岩自稳性差、含水率波动大，会加剧这一现象，增加施工成本、延误工期，还可能引发围岩坍方、支护侵限等安全隐患。分析超欠挖成因，探索科学有效的控制技术与支护优化措施，解决黄土隧道开挖精度不足、支护适配性差等问题，对保障高速公路隧道施工安全、提升工程质量具有重要现实意义，本文结合具体工程实例展开相关研究。

## 1 隧道开挖超欠挖成因分析

### 1.1 地质条件影响

地质条件是高速公路隧道机械开挖超欠挖的核心诱因，某黄土高速公路隧道地处黄土沟壑区，围岩自稳能力偏弱，土体含水率直接决定开挖轮廓稳定性。含水率在 8.4%~9.9% 区间时，围岩整体性较好，超欠挖处于可控范围；升至 15%~19%，围岩脱水收缩减弱，掉块概率上升；超过 23% 后黄土结构失稳，开挖中易出现坍方、局部溜塌，导致拱顶与边墙大范围超挖，围岩不均质性还会引发局部欠挖，破坏断面成型质量。

### 1.2 施工工艺影响

施工工艺参数设置不合理是超欠挖的直接诱因，该黄土隧道采用悬臂掘进机施工，开挖循环进尺、台阶长度、预留变形量等参数，均影响开挖精度。循环进尺过大会扩大围岩扰动范围，降低掌子面稳定性，诱发围岩变形与掉块，造成超挖；台阶过长会延迟仰拱闭合，削弱开挖面约束作用，导致轮廓变形失控；预留变形量与实际围岩变形不匹配，地质稳定段预留过多会形成额外超挖，破碎段预留不足则因围岩收缩产生欠挖。机械作业轨迹控制、喷射混凝土工序衔接不当，也会造成断面

局部凹凸，进一步加剧超欠挖问题。

### 1.3 现场管理影响

现场管理缺失会放大地质与工艺带来的超欠挖风险，该隧道施工中，技术人员为赶进度，未放样开挖轮廓线与周边孔位，仅依托上一循环初支断面作业，导致钻孔偏差累积，开挖轮廓偏离设计要求；部分操作人员缺乏机械开挖经验，未按工艺标准作业，掘进轨迹控制随意。现场工序监督不到位、质量验收流于形式，无法及时纠正开挖偏差，让超欠挖问题从局部蔓延至整体断面，影响隧道成型质量与后续支护施工。

## 2 隧道开挖超欠挖控制技术

### 2.1 精准测量与轮廓控制

精准测量与轮廓控制是黄土隧道施工中抑制超欠挖、保障工程质量和施工效率的基础核心手段。该黄土隧道采用悬臂掘进机作业，作业灵活但对导向精度要求较高，施工中用全站仪放样，将开挖轮廓线投射至掌子面，同时优化轮廓点布设密度，关键轮廓点加密至掌子面每米范围内，为悬臂掘进机切削作业提供清晰导向，从源头减少机械盲目作业引发的超欠挖隐患。开挖作业结束后，立即用激光断面仪对成型断面快速扫描检测，实时获取断面实际数据，与设计轮廓参数比对，快速锁定超欠挖具体部位、范围及深度，再通过人工配合机械，对局部欠挖区域精细化修整，同时科学预留 30cm 人工修整层，避免机械过度切削围岩造成超挖浪费，兼顾修整效率与施工精度。

### 2.2 开挖参数优化控制

该黄土隧道基于极限含水率理念优化开挖参数，实时监测土体含水率，参照 8.4%~9.9% 的含水率区间，确定悬臂掘进机合理循环进尺，减少围岩扰动。结合 CTR300R 型悬臂掘进机

悬臂作业半径,优化台阶尺寸,上台阶4m、中台阶4.5m、下台阶3m,既保障机械作业空间,又维持断面稳定性。上下台阶喷射混凝土间隔严控在180min内,避免管路堵塞影响工序衔接,缩短掌子面暴露时间。通过参数动态匹配实现超欠挖精准管控,开挖效率达59m<sup>3</sup>/h,月进尺101m,超欠挖控制成效显著。

### 2.3 动态监测与实时调整

动态监测是实现超欠挖闭环控制的关键,布设拱顶沉降与水平收敛测点,开挖后12~24h内开展首次监测,二衬浇筑前持续稳定监测20d,全面获取围岩变形数据。依据监测结果修正不同围岩段预留变形量,III类围岩最终确定为5mm,浅埋破碎IV类围岩为12mm,洞门浅埋偏压V类围岩为20mm,使预留量与实际变形精准匹配,从源头规避超欠挖。监测数据可指导施工调整,实现围岩变形与开挖轮廓双重可控,保障隧道结构稳定。

## 3 隧道支护技术优化措施

### 3.1 初期支护参数优化

初期支护参数需匹配围岩特性与超欠挖控制需求,该黄土隧道结合围岩分级与变形监测数据,优化锚杆、钢架、喷射混凝土参数,采用MT2G型锚杆台车与科达KC30湿喷机械手配套作业,保障锚杆布设精度与混凝土喷射均匀性。不同围岩段调整钢架间距与喷射混凝土厚度,III类围岩简化支护参数,浅埋及破碎段强化参数设置,使支护刚度与围岩自稳能力协同适配。久马高速安羌隧道针对V级大变形围岩,优化支护参数提升结构刚度,其经验为该隧道支护参数适配设计提供实践参考,确保初支有效约束围岩变形(见图1)。



图1 初期支护参数优化

### 参考文献:

- [1] 张健.考虑多种因素大断面高速公路隧道超欠挖安全技术研究[J].建筑机械,2025,(01):167-172.
- [2] 李鹏,郭峰亮,罗霄飞.三叠系板岩高速公路隧道施工超欠挖控制技术研究[J].科技与创新,2023,(20):77-79.
- [3] 王小通.论高速公路隧道工程洞身开挖超欠挖控制[J].云南水力发电,2022,38(10):210-214.

### 3.2 支护施工工艺改进

支护施工工艺改进可提升初支质量与轮廓贴合度,该隧道采用机械化配套作业,超前支护、开挖、初支、仰拱等工序设备协同运作,实现初支一次成型。喷射混凝土工艺加以优化,湿喷机械手分层喷射,减少混凝土回弹,保障支护厚度均匀,避免支护不密实引发的围岩二次变形。利咸高速白岩坪隧道创新“三喷、两刮、一扫面”喷射工艺,搭配改良增黏剂提升支护质量,该隧道借鉴这一工艺改进思路,强化支护与围岩的密贴性,消除初支背后空洞,同时严控钢拱架安装精度,防止支护侵限,进一步巩固超欠挖控制成效。

### 3.3 特殊地质段支护强化

特殊地质段需针对性强化支护,应对超欠挖与围岩失稳风险,该隧道黄土含水率高、浅埋偏压、围岩破碎,开挖后立即用钢筋网加固,喷射混凝土封闭围岩,架设钢架形成刚性支护,配合超前导管注浆加固围岩,提升土体整体性。鱼宜高速竹山隧道针对岩溶、破碎带等不良地质,采用超前中管棚+小导管注浆、径向补强支护,该隧道结合黄土特性,优化超前支护与初期支护组合,采取短进尺、强支护、快封闭方式,有效控制拱顶沉降与水平收敛,避免围岩变形过大加剧超欠挖,保障特殊地质段隧道施工安全与断面质量。

## 4 结语

高速公路隧道开挖超欠挖控制的核心,是实现地质条件、施工工艺与现场管理的协同适配,支护技术优化则是巩固开挖质量、保障隧道结构稳定的关键。某黄土高速公路隧道为实例,明确地质条件复杂、施工参数不合理、现场管理缺失是超欠挖主要成因,通过精准测量、参数优化、动态监测等技术手段,有效控制超欠挖程度,同时优化初期支护参数与施工工艺,强化特殊地质段支护,实现开挖与支护协同管控。实践证明,所用控制与优化措施科学可行,能显著提升隧道断面成型质量与施工安全性,为同类黄土高速公路隧道工程提供实用技术参考,后续可结合更多工程实例完善技术体系。