

下穿高速匝道浅埋黄土隧道施工技术研究

文 / 杨虔吉 中铁十一局集团有限公司

摘要: 依据暗挖隧道施工理论, 本文以青海省西宁市唐蕃隧道出口段施工技术为例, 通过应用浅埋黄土隧道与监控量测技术两者相结合, 解决浅埋黄土隧道在下穿高速公路匝道工程施工的问题, 有效解决隧道施工对地表沉降及地表构筑物的影响, 运用合理选择隧道开挖工法、超前支护措施和洞内外沉降监测手段, 为今后类似隧道工程施工提供可供借鉴的参考。

关键词: 下穿匝道; 隧道施工; 浅埋黄土

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.045

在符合公路隧道工程施工技术标准的前提下, 当工程处于特殊地段, 隧道埋深较浅, 围岩为黄土地质, 地表沉降变形控制要求高或者地表构筑物复杂等对隧道开挖震动和沉降变形要求严格的地段, 需要综合考虑各种因素, 结合现有施工技术并采取可靠的技术手段加以分析, 以达到工程顺利施工的目的。

一、案例概况

工程项目位于青海省西宁市, 隧道出口段下穿高速互通路基挖方段、路基高边坡及主线南绕城道路。在ZK6+020 (YK5+973.786) 位置, 隧道拱顶距离高速互通匝道路顶面13.82m, 距离南绕城主线道路顶面24.74m。在ZK5+860 (YK5+813.754) 位置隧道拱顶距离互通路基顶面19.30m。隧道下穿该段时采用 $\Phi 76$ 自进式超前中管棚, 双层初支结构, 洞内采用非爆开挖。施工过程中应加强地表及路面监测, 严格按照“管超前、严注浆、短进尺、强支护、勤量测、紧封闭”的原则进行施工。隧道下穿杨沟湾互通区左洞里程: ZK5+826~ZK6+115; 右洞里程: K5+791~K5+073隧道施工。

二、工程地质

隧道出洞口均布设于乐家湾镇杨沟湾村, 西宁市南绕城高速杨沟湾互通区, 现状为人工堆积地貌, 为交控集团信科公司办公区, 表层植被发育, 主要为人工种植的松树和低矮灌木。出洞口区域斜坡基本稳定, 未见滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象, 无冲沟对冲洞口。

根据区域地质资料以及工程地质调绘及钻探揭露, 隧址区出露基岩地层主要为加里东期侵入岩为主, 进出口斜坡区和桥隧相连路段以及沟谷地段和隧道洞身地表覆盖第四系。区域内主要为砂岩、砂质泥岩和花岗岩。隧道下穿杨沟湾互通A匝道处理深较浅, 埋设14m左右。^[1]

根据地下水在不同岩组中的赋存条件和水力特征的不同, 将隧道区内地下水划分为第四系松散岩类孔隙水、基岩裂隙水两种类型。第四系松散岩类孔隙水主要赋存于不同成因类型的第四系松散堆积层中, 隧址区出口、洞身右侧地表支沟、低洼地段主要岩性为坡洪积卵石、碎石土等, 接受大气降水及地表水补给。^[2]

三、施工方案简述

隧道下穿段落采用超前中管棚(单根长8m, 直径 $\Phi 76$ mm, 壁厚8mm)加超前小导管加强支护, 隧道下穿段按照双侧壁导坑法进行施工, 根据现场实际围岩,

若采用其它工法, 需报建设单位批准。施工过程中遵循“管超前、严注浆、短开挖、强支护、早封闭、勤量测”的原则, 按照设计图纸建议工法组织施工。开挖后及时实施钢支撑和挂网、喷、锚等联合支护, 支护采用I22b型钢架间距50cm布设+H18格栅拱架间距50cm布设。

隧道仰拱采用防干扰作业平台(栈桥式)施工, 二次衬砌采用65cm厚C35 P8钢筋混凝土, 混凝土由拌合站集中拌和供应, 衬砌台车整体衬砌, 施工时采用自制移动式栈桥过渡交通, 混凝土罐车运输至浇筑地点, 泵送混凝土入模, 附着式振动器配合插入式捣固棒捣固。

隧道防排水按照“防、堵、截、排结合, 因地制宜, 综合治理”的原则, 对地表水和地下水进行妥善处理。

四、施工关键技术

项目隧道出口为小净距、大断面、浅埋、黄土、下穿排洪渠、下穿高速互通隧道, 围岩破碎严重、结构裂隙发育、自稳性较差, 开挖后隧道出现沉降量较大, 收敛严重, 为控制隧道沉降量及收敛, 隧道采用型钢钢架与格栅钢架相结合的初期支护形式; 内、外层拱架交替布置, 且二者之间互不干扰, 具有支护效果好、施作难度小且易维护等优点, 从而保证了结构的稳定和施工过程的安全。

(一) 适用范围

本工艺适用于小净距、大断面、浅埋、黄土、下穿排洪渠、下穿高速互通隧道。^[3]

(二) 解决的问题

解决了小净距、大断面、浅埋、黄土、下穿排洪渠、下穿高速互通隧道沉降变形严重的问题。

(三) 工艺流程与操作要点

(1) 现场施工操作

在隧道开挖后, 迅速实施4厘米厚的混凝土覆盖, 随后构建型钢骨架, 并同步进行混凝土喷涂作业。待混凝土固化并具备承载力后, 进一步安装格栅钢架, 继续强化支撑, 形成双重支撑体系。这种复合结构的设计, 其支撑性能和刚性均超越单一支撑模式。

采用型钢骨架与格栅钢架的联合支撑体系, 显著提升了整体的支撑强度和稳定性。在隧道挖掘过程中, 当围岩因扰动而引发应力转移时, 这种结构能够有效地抵御和分散压力, 确保施工期间结构稳固且施工安全得以

保障。^[4]

(2) 关键技术应用

针对深度有限且围岩条件恶劣的大跨度隧道，其岩质脆弱，易碎且稳定性低，关键在于尽早实施有效的支撑以防止开挖后的显著形变。

通过4厘米厚的混凝土初期喷射填充，旨在强化岩体结构并减缓爆破裂隙的影响，确保岩体稳固。紧接着，第一层支撑体系采用高强度型钢钢架，其主要作用是控制并限制围岩的变形，促使岩体自身承载力得到充分发挥。第二层则引入格栅钢架支撑，它与第一层协同工作，共同承受围岩的压力，这样既保障了整个结构的稳定性，又确保了施工过程中的安全运行，形成了一种有效的多层防护策略。

(3) 施工工艺流程图

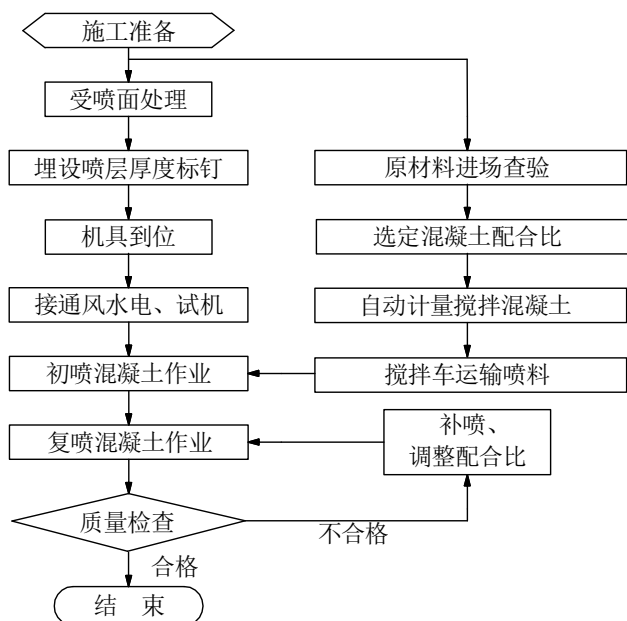


图 1 喷射混凝土施工流程图

(4) 质量管控关键点

遵循《公路隧道施工技术指南》和《钢筋焊接及验

收规程》，常规检验包括拱架精度、轴线偏差、尺寸精度、表面平整度、坡度一致性、挖掘误差、混凝土强度、厚度及锚杆拉力等，均需严格把控。

1) 钢架加工尺寸应满足设计要求，尤其是型钢拱架及格栅钢架的弧度要符合要求。连接钢板的厚度、尺寸、钻眼必须符合设计要求，所有焊缝厚度不得小于设计厚度，且焊缝饱满。螺栓孔必须用台钻钻孔，严禁使用氧焊切割成孔。螺栓、螺母按设计规格采用高强型螺栓，严禁用普通螺栓替代。

2) 型钢拱架及格栅钢架安装位置要准确，各节点要对齐，连接要牢固，确保拱架可靠受力。为防止钢架承载而下沉，钢架下端应设在稳固地层上，或设在为扩大承压面的钢板、混凝土垫块上。在开挖下台阶时，为防止钢架拱脚下沉、变形，可根据需要在拱脚下设纵向托梁，把几排钢架连为一个整体。

3) 在喷射混凝土作业时，应严格按照分层施工，出现超挖现象，应立即对超挖部分进行分层喷射混凝土，必要时，可铺设钢筋网。在第二层喷射混凝土施工时间间隔较长时，应对第一层初期支护面进行喷水清洗。

4) 初期支护拱架应尽早封闭成环，形成整体，以降低拱顶和地表沉降；同时加强监控量测，做好信息反馈，及时，采用临时支撑、封闭掌子面、补打注浆导管等措施控制变形。

五、开挖工法

隧道双侧壁开挖采用机械开挖，先行导坑与后行导坑错开距离不小于15m，侧壁导坑上、下台阶长度不大于10m，单侧壁上台阶每次循环进尺不大于0.5m（1榀钢拱架间距）；单侧壁下台阶每次循环进尺不大于0.5m（1榀钢拱架间距）；仰拱开挖循环进尺不大于3m（6榀钢拱架间距），施工中需考虑拱架安装施工操作距离不大于0.5m。开挖后加强钢拱架各节点锁脚导管质量管控，做好拱脚支垫采用预制混凝土垫块，洞内外防排水，洞内有积水时，设置集水坑后及时排出，避免拱脚处泡水，严格控制沉降，仰拱及时封闭成环，安全步距要求仰拱距离掌子面不得超过40m，二衬距离掌子面不



得超过70m。第一层钢拱架初期支护施工后及时施作第二层格栅拱架初期支护，两层初期支护错开距离不大于20m。

六、变形监测（限于篇幅，省略沉降变形曲线图）

（一）A 匝道右洞高速路面

数据分析：1. 2023年11月26日-2024年4月8日处于隧道开挖阶段受开挖影响最大累计变形13.0mm，本阶段监测115天，变形速率为0.12mm，变化趋势基本稳定。2. 2024年4月9日-2023年4月24日仰拱封闭成环，本阶段本阶段监测16天，累计变形2.40mm，变形速率为0.15mm，变化趋势基本稳定。3. 2024年4月25日-2024年4月28日已施作衬砌，本阶段本阶段监测4天，累计变形2.10mm，变形速率为0.52mm，变化趋势基本稳定。

（二）A 匝道右洞高速两侧边坡

数据分析：1. 2023年11月26日-2024年3月25日处于隧道开挖阶段受开挖影响累计变形8.30mm，本阶段监测100天，变形速率为0.08mm，变化趋势基本稳定。2. 2024年3月26日-2024年4月8日仰拱封闭成环，本阶段本阶段监测14天，累计变形1.10mm，变形速率为0.08mm，变化趋势基本稳定。3. 2024年4月9日-2024年4月28日已施作衬砌，本阶段本阶段监测20天，最大累计变形-1.90mm，变形速率为0.09mm，变化趋势基本稳定。

（三）A 匝道左洞高速路面

数据分析：1. 2023年11月26日-2024年4月20日处于隧道开挖阶段受开挖影响最大累计变形14.50mm，本阶段监测127天，变形速率为0.11mm，变化趋势基本稳定。2. 2024年4月21日-2024年4月28日衬砌封闭成环，本阶段本阶段监测8天，累计变形-0.7mm，变形速率为-0.08mm，变化趋势趋于基本稳定。

（四）A 匝道左洞高速两侧边坡

数据分析：1. 2023年11月26日-2024年4月21日处于隧道开挖阶段受开挖影响累计变形14.1mm，本阶段监测128天，变形速率为0.11mm，变化趋势基本稳定。2. 2024年4月22日-2024年4月28日衬砌封闭成环，本阶段本阶段监测7天，累计变形-3.20mm，变形速率为-0.40mm，变化趋势趋于基本稳定。

（五）B 匝道左洞高速路面

数据分析：1. 2023年3月3日-2023年6月10日处于隧道开挖阶段受开挖影响累计变形-351.3mm，本阶段监测106天，变形速率为-3.30mm，变化趋势趋于急剧变形。2. 2023年6月11日-2023年7月4日仰拱封闭成环，本阶段本阶段监测24天，累计变形-202.8mm，变形速率为-8.30mm，变化趋势趋于急剧变形。3. 2023年7月6日-2023年8月2日已施作衬砌，本阶段监测27天，累计变形-41.9mm，变形速率为-1.55mm，变化趋势基本稳定。

（六）B 匝道右洞高速路面

数据分析：1. 2023年5月3日-2023年6月20日处于隧道开挖阶段受开挖影响最大累计变形-44.30mm，本阶段共监测36天，变形速率为-1.23mm，变化趋势趋于缓慢变形。2. 施作衬砌后变化趋势基本稳定。

（七）高速左洞高速路面

数据分析：1. 2023年9月3日-2023年10月15日处于隧道开挖阶段受开挖影响最大累计变形-189.0mm，本阶段监测44天，变形速率为-4.30mm，变化趋势趋于急剧变化。2. 施作衬砌后变化趋势基本稳定。

（八）高速右洞高速路面

数据分析：1. 2023年9月3日-2023年10月15日处于隧道开挖阶段受开挖影响最大累计变形-18.90mm，本阶段监测44天，最大变形速率为-0.42mm，变化趋势趋于缓慢变形。2. 施作衬砌后变化趋势基本稳定。

七、不足之处及改进措施

1. 工序衔接不紧密、各工序施工衔接时间较长，施工准备不够充分。工序间通知时间已经提前，工程机械及施工人员之间配合不熟练，造成准备时间较长。

2. 洞身开挖施工控制不足，造成局部超挖过大，另外也存在欠挖。造成欠挖处理困难，超挖较大造成初喷用时较长。

3. 经过初步设计阶段和施工图设计阶段的地质勘察才将隧道周围的地质调查清楚，并根据详细的地勘报告进行专项的下穿杨沟湾互通设计；下穿过程中根据围岩情况和现场实际施工进度对隧道下穿方案进行了多次调整，如：左右洞之间的距离进行了优化，对左右洞优先下穿也进行了调整等。

4. 根据现场实际施工进度、围岩状况、沉降变形情况、运营高速车流量对交通导改方案进行了多次优化。在隧道开挖施工过程中根据隧道沉降变形情况对开挖工法进行了调整及优化。如：双侧壁导坑法的先行导坑与后行导坑之间的距离，仰拱、二衬距离掌子面的长度，将原设计导洞两台阶开挖调整为三台阶开挖等。

5. 下穿高速隧道施工过渡段，受车流量影响易产生较大的扰动，在隧道开挖期间加强工法、工序流程、双层支护等各项施工技术参数控制，加密监测导改路面、地表，洞内隧道拱顶下沉、水平收敛、位移观测频率，强化数据互通共享、结果分析应用，确保隧道开挖和导改保通工作有序进行。

结束语

隧道作为地下构筑物，施工过程中不可避免的影响其上地质结构和地上构筑物的稳定，下穿高速匝道浅埋黄土隧道的施工技术研究，从初期支护的施工过程管控，开挖工法的合理选择以及准确判定，运用沉降变形监控量测的过程控制技术手段，通过科学合理的理论研究和全面分析，保证了隧道的施工质量和环境安全，对隧道工程施工技术研究和复杂环境下施工安全研究具有深远意义，为类似工程施工奠定重要理论依据。

参考文献

[1] 华科. 隧道超近距离下穿公路匝道的施工安全分析[J]. 四川建筑, 2015, (01): 211-213, 215.
[2] 张宇辉. 铁路隧道下穿高速公路匝道沉降分析[J]. 黑龙江交通科技, 2015, (19): 101-102.
[3] 杨钊. 大断面浅埋隧道下穿高速公路变形分析[J]. 运输经理世界, 2021, (12): 40-44.
[4] 施伯超. 浅埋隧道围岩稳定性与支护效果分析[J]. 福建建设科技, 2024, (03): 55-58.