

隧道工程开挖支护的施工要点解析

柳殿霞

(中铁二十一局集团轨道交通工程有限公司, 山东 济南 250000)

【摘要】近几年, 国家逐步将发展重心转移到了基础设施建设上, 而高速铁路便是其中关键的一项, 对国民经济的发展起着举足轻重的作用。在这种情况下, 隧道工程已经引起了全社会的高度重视。开挖支护是高铁隧道建设中的一个重要组成部分, 本文通过简析济莱高铁寨山隧道的开挖支护施工, 明确隧道施工开挖支护的控制要点。

【关键词】隧道; 围岩; 施工; 开挖支护; 工序

一、引言

隧道工程的施工场地和环境都是不稳定的, 这就导致了高铁的建设很有可能会受到地形地貌和气候等自然环境的影响。施工现场的地质和地形状况越是复杂, 隧道开挖支护施工的难度系数就越高, 在地应力和地下水的作用下, 开挖支护的施工都会遇到很大的困难, 因此在施工中必须要了解有关开挖支护的施工要点, 才能保证隧道工程的施工质量和施工安全。

二、工程概况

寨山隧道, 全长 4812 米, 其中 III 级围岩 1919 米, IV 级围岩 1711 米, V 级围岩 1025 米, 洞口明洞 76 米, 洞身明挖 1 处 81 米, 最大埋深 204m, 此隧道是济莱高铁 2 标中最长的一座隧道, 隧区不良地质为岩溶、危岩落石, 隧道工程地质条件较复杂。

三、确定合理的开挖方法

在确定隧道开挖支护施工前, 应结合施工场地岩石的稳定性和所处的地质条件确定合理的开挖支护工艺, 该隧道施工方法主要有全断面法、台阶法、三台阶法加临时横撑、三台阶法加临时仰拱。

(一) 全断面法

全断面法施工适用于 III 级围岩。全断面法就是按照设计轮廓一次爆破成形, 然后修建衬砌施工方法。在用于 III 级围岩时, 围岩应具备从全断面开挖到初期支护前这段时间内, 保持其自身稳定的条件。

(二) 台阶法

台阶法施工适用于 IV 级围岩。施工中应注意以下事项:

- 隧道施工应坚持“弱爆破、短进尺、强支护、早封闭、勤量测”的原则。
- 每循环开挖进尺 IV 级围岩地段不宜大于 2 榀钢架间距。
- 钢架施工应严格按照设计要求设置拱脚垫板、垫槽钢等, 且钢架之间的纵向连筋钢筋应及时施做并连接牢固, 各施工工序间应注意互相保护, 严格按照作业程序操作, 避免施工机械对已完成的支护形成破坏, 以确保安全。

4. 对于软弱围岩及不良地质地段开挖后初期支护应及时施作并封闭成环, 非爆破开挖和爆破开挖初期支护仰拱应分别于 8h 和 12h 内完成开挖、架设钢架、喷混凝土作业, 仰拱距开挖工作面距离应尽量缩短。在保证施工安全的前提下, 初期支护封闭位置距掌子面距离, 二次衬砌距掌子面的距离应根据掌子面情况, 综合考虑施工机械、施工方法等因素综合确定, 并满足《高速铁路隧道工程施工技术规程》(Q/CR9604-2015) 要求。

(三) 三台阶加临时横撑法

三台阶法施工一般适用于 V 级围岩地段。施工中应注意以下事项:

1. V 级地段采用台阶法施工时上台阶每循环开挖支护进尺 V 级不宜大于 1 榀钢架间距, 边墙每循环开挖支护进尺不宜大于 2 榀钢架间距, 仰拱开挖前必须完成钢架锁脚。

2. 临时钢支撑均采用 18 型钢, 与钢架连接处均设钢垫板, 尺寸 24cm×30cm×1.6cm。

3. 复合式衬砌段在施工时, 须按有关规范及参考图的要求, 进行监控量测, 根据监控量测的结果进行分析, 确定灌筑二次衬砌的时机及调整支护参数, 必要时可采取喷混凝土封闭掌子面、增设临时支撑、初期支护补强等措施。

(四) 三台阶法加临时仰拱法

地质主要是浅埋段, 洞口易仰坡易坍塌, 正洞断层破碎带, 施工过程严格按照“弱爆破(机械开挖)、管超前、短进尺、强支护、早封闭、勤测量”的原则进行规范操作。施工中应注意以下事项:

- 工序变化处之钢架应设锁脚锚(杆)管, 以确保钢架基础稳定, 下台阶安全, 防止塌方。
- 钢架之间纵向连接钢筋应及时施作并连接牢固, 临时横撑应与钢架连接, 以便及时封闭成环。
- IV、V 级地段采用台阶法施工时, 上台阶及中台阶每循环开挖支护进尺 V 级不应大于 1 榀钢架间距, IV 级不应大于 2 榀钢架; 边墙每循环开挖进尺不得大于 2 榀钢架间距, 仰拱开挖每循环进尺不得大

于 3m。

4. 各步台阶开挖长度不宜过长，第 4 步开挖后，及时施作仰拱，封闭成环。围岩封闭位置距掌子面不得大于 35m。

5. 复合式衬砌段在施工时，必须进行监控量测，二次衬砌距掌子面距离：IV 级围岩不得大于 90m，V 级围岩不得大于 70m。

6. 当岩体极破碎自稳性较差时，必要时可采用喷混凝土封闭掌子面或预留核心土的方法施工。

（五）微台阶开挖法

微台阶工法按“正工法、顺工序、配资源、抓安全、硬考核”的原则实施，关键在于各台阶长度、高度及工作量固化不变。以上台阶工序时长为关键线路，中下台阶各个工序与上台阶平行施工，以达到“负交接、零误时”的要求。

各台阶施工方法：

1. 上中下台阶钻爆施工

全标段隧道开挖均采用光面爆破，周边眼控制首先采用全站仪放出水平、高程方向的控制基准点，然后采用多断面激光水平仪在掌子面投影基准线，技术人员用钢尺精准布孔，施钻人员按照“定位、定人”精细钻孔，保证炮孔“准、平、直、齐”。

周边眼采用长短孔布置，减小周边眼孔底的偏移量造成的线性超挖。

严格按照光面爆破的要求调整了周边孔的装药结构，周边眼装药结构采用小直径药卷连续装药（直径 27mm，单根长 20cm，每卷重 100g），由毫秒导爆管雷管串联后依次起爆，起爆顺序为下台阶→中台阶→上台阶。

IV 级围岩每循环进尺 2.0m，立 2 榀拱架。上台阶配备 6 把风枪，中、下台阶各配备 4 把风枪；V 级围岩每循环进尺 1.2m，立 2 榀拱架。上台阶配备 4 把风枪，中、下台阶各配备 3 把风枪，三个台阶同时钻孔爆破。

2. 上台阶扒渣及吊运拱架

IV 级围岩爆破后，挖掘机将上台阶洞渣扒至中台阶，并修筑临时坡道，扒渣的同时装载机做好运送开挖台架及拱架的准备，上台阶洞渣清理完毕后，使用装载机将开挖台架及拱架运送至上台阶。

V 级围岩爆破后，挖掘机将上台阶洞渣扒至中台阶，扒渣过程中预留部分洞渣作为立架、钻孔作业平台，平台高度 1.2～1.5m，顶面长 2m，底面长度 3.5m，尾部修成斜坡便于喷射机械手作业。扒渣的同时装载机做好运送拱架的准备，上台阶洞渣清理完毕后，使用装载机将拱架运送至上台阶。

3. 上台阶立架，中、下台阶出渣

挖机先将中台阶洞渣扒至下台阶，然后挖机停在中台阶开始出渣，出渣的同时上台阶安装拱架。

4. 中、下台阶安装边墙钢架

出渣结束后，用装载机将边墙钢架送至中、下台

阶，开始安装，上台阶继续施作超前支护，上、中、下三个台阶同步平行作业。

四、简析施工工序控制要点

（一）大管棚及导向墙施工

施工工序：施工准备→开挖管棚施作平台→安装工字钢拱架→安装孔口管→安装导向墙模板→导向墙浇筑及拆模→大管棚钻孔→插入导管→放入钢筋笼→导管注浆→封孔。

导向墙施作前应先施作孔口管定位钢架及锁脚锚管，并将孔口管采用焊接的方式固定于钢架上，再浇筑导向墙混凝土。导向墙与定位钢架的总重量为 48.9T，经计算，考虑 1.2 安全系数，要求地基承载力不小于 165kPa，若地基承载力不符合要求时，进行地基处理或加深基坑深度。钻孔采用潜孔钻，管棚采用挖机推入孔内，如管棚长度达不到设计长度时，因无导向管，施工角度控制困难，为满足设计长度段落，施作超前小导管补强。

大管棚为超前支护，适用于自稳能力差的 V 级洞口地段，在隧道开挖前完成。大管棚施工时，注意运用测斜仪进行钻孔偏斜度测量，严格控制管棚打设方向，并做好每个钻孔的地质记录。

（二）喷射混凝土

隧道内部混凝土的喷射施工，主要是对存在裂缝的岩石进行再粘合，从而保证岩石之间存在着一定的咬合和嵌塞效应。为了确保喷射混凝土质量，减少回弹，降低粉尘，提高喷射作业工效，采用湿喷作业机械手喷射混凝土，初喷厚度 4cm，复喷在完成锚杆、钢筋网、型钢拱架安装后进行，喷射至设计厚度。技术控制要点如下：

1. 严格控制混凝土施工配合比，配合比经试验确定，混凝土各项指标都必须满足设计及规范要求，混凝土拌和用料称量精度符合规范要求。

2. 机械手性能良好，输送连续、均匀，技术性满足喷射要求的混凝土。

3. 喷射混凝土作业前，清洗受喷面并检查断面尺寸，保证尺寸符合设计要求。在受喷围岩明显凹凸不平处，先用不低于混凝土强度等级的喷射混凝土填平补齐，而后再喷射混凝土；喷射混凝土作业区有足够的照明，作业人员佩带好作业防护用具。

4. 喷射混凝土在开挖面暴露后立即进行，作业符合下列要求：

（1）喷射混凝土作业要分段分片进行，喷射作业自下而上；

（2）喷射混凝土分层进行，初喷厚度根据喷射部位和设计厚度而定。复喷混凝土在先喷一层凝固后进行，若终凝后或间隔一小时后喷射，受喷面要用水清洗干净；

（3）喷射混凝土喷头垂直受喷面，喷头距受喷面距离以 0.6～1.0m 为宜。喷头运行轨迹为螺旋状，使受喷面均匀、密实；

(4) 喷射混凝土施工中确定合理的风压, 保证喷料均匀、连续;

(5) 正常情况采用湿喷工艺混凝土的回弹量边墙不大于 15%, 拱部不大于 25%;

(6) 喷射混凝土终凝 2h 后开始洒水养护, 洒水次数以能保证混凝土具有足够的湿润状态为度, 养护时间大于 14d;

(7) 喷射混凝土表面密实、平整, 无裂缝、脱落、漏喷、空鼓等现象。

(三) 锚杆施工

采用锚杆支护技术, 可以有效地解决岩土工程中存在的各种变形问题, V b 边墙采用 HRB400 Φ 22 砂浆锚杆; V b 锚杆长 4.0m; 锚杆尾部端部均应配垫板、螺母。锚杆施作安排在初喷混凝土后进行, 按设计间距采用人工钻眼, 钻孔后, 经吹孔检查合格后开始注浆。施工时先将灌浆管插入孔底, 一边注浆一边徐徐将灌浆管向外拔, 注满浆后, 将加工好的锚杆打入孔内达到设计深度, 未达到设计强度 70% 时, 不得随意碰撞, 不得悬挂重物。锚杆安设后, 不得随意敲击。安装锚杆前应清除锚杆孔内的水和渣。

(四) 钢架施工

钢支撑技术是解决围岩刚度和变形问题的一种有效手段, 其应用将对隧道的建设起到很大的作用。钢架加工完成运至现场拼装, 安设前进行断面尺寸检查, 及时处理欠挖部分, 首先测定出线路中线, 确定高程, 然后再测定其横向位置。保证钢架正确安设, 安设拱脚或墙脚前清除垫板下的松碴, 将钢架置于原状土体上, 在软弱地段, 采用拱脚下垫钢板的方法。钢架与封闭混凝土之间紧贴, 在安设过程中, 当钢架与土体间有较大间隙时安设垫块, 两榀钢架间沿周边设 Φ 22 纵向连接筋, 纵向连接筋和靠防水板侧钢架主筋焊接成一体, 形成纵向连接体系, 拱脚高度不够时设置钢板调整。安设到位后再采用锁脚钢管对钢架进行固定, 钢管尾部与钢架焊接在一起。在施工过程中需加强对钢架安装以后的监控测量, 必要时采取有效措施进行加固, 以防止拱顶钢架下沉。

有效措施为: 1. 加强对钢架的锁脚固定措施, 由于采用分部开挖方法, 拱部钢架安装后, 钢架暂时不能全面封闭成环, 拱部钢架必须采取锁脚措施, 将钢架两底脚牢固锁定, 以防止钢架下沉或两底脚回收。钢架架设时, 应在钢架拱脚及墙脚位置设 Φ 42 锁脚锚管共计 12 根, 每根长度为 $L=4.5\text{m}$ 的锁脚钢管锁定, 锚管采用钢花管, 压注水泥浆液进行锚固, 用 U 型钢筋将锚管和钢架焊接牢固。如地质较差时, 采用加长锁脚钢管长度和再增设一根锁脚钢管以加强钢架的稳定。2. 为防止钢架下沉, 在拱部钢架底部增设混凝土垫块。3. 钢架安装完成后, 及时进行喷射混凝土, 喷射时分层、分段进行, 螺旋形喷射, 钢架应全部被喷射混凝土覆盖, 保护层厚度不小于

30mm。4. 防止施工过程中的碰撞和损坏。

(五) 钢筋网施工

钢筋网支护是一种采用钢筋网来提升围岩稳定性的方法, 它采用的施工工艺和锚杆支护的施工工艺一样, 在锚杆支护过程中, 由于局部支护施工比较松散, 导致远离锚杆的围岩稳固性不佳, 很容易发生塌方, 因此, 钢筋网支护在加强锚杆支护的稳定性方面起到了很大的作用, 并且可以有效地解决锚杆支护无法稳定的“盲眼”问题。钢筋网片搭接长度不少于 1 个网格控制, 采用焊接连接。一般地段应先喷混凝土, 待表面平整时, 再铺挂钢筋网, 最后沿环向压紧后再喷混凝土。钢筋网应随受喷面的起伏铺设, 与锚杆或其它固定装置连接牢固。喷射中如有脱落的石块或混凝土块被钢筋网卡住时, 应及时清除。

(六) 监控量测

为了减少外部环境对隧道的影响, 提高隧道施工的安全性, 避免发生塌方等事故, 应进行监控量测。DK31+841 ~ DK31+898 段开展地表沉降观测, 观测点应在隧道开挖前布设, 并与洞内观测点布置在同一断面里程。拱顶下沉、净空变化监控量测断面间距: III级围岩不得大于 50m, IV级围岩不得大于 30m, V级围岩不得大于 10m。按设计要求对周边位移、拱顶下沉、浅埋段地表下沉等必测项目进行监测。浅埋段 DK31+841 ~ DK31+898 段开展地表沉降观测, 采用全站仪监测, 测点在隧道开挖前布设, 并与洞内测点布置于同一断面。沉降点横向间距 2 ~ 5m, 在隧道中线附近测点适当加密, 隧道中线两侧量测范围不小于 H_0+B 。

结论: 高铁的建设和运营是国家经济发展中的一个重大课题, 它对隧道开挖支护技术提出了更高的要求, 为了保证隧道的施工质量和施工效率, 采用合理的开挖支护技术是非常重要的, 它不仅可以保证隧道工程的施工安全, 还可以在在一定程度上延长工程的服务寿命。常用的开挖支护技术有全断面开挖技术、台阶法施工技术、分段开挖技术等。其中, 大管棚及导向墙施工、喷射混凝土施工、锚杆施工、钢架施工、钢筋网施工等是其重要的施工要点。为了提高隧道施工的安全性, 在隧道的施工作业中, 要进行必要的监控量测。

参考文献:

- [1] 王剑. 路桥隧道工程开挖支护的施工要点研究[J]. 工程建设与设计. 2018, (7):196.
- [2] 胡永胜. 路桥隧道工程开挖支护的施工要点解析[J]. 四川水泥. 2018, (11):143.
- [3] 王新生. 公路隧道工程建设的开挖支护施工及其管理[J]. 建筑工程技术与设计. 2018, (18):44-45
- [4] 吴琼. 路桥隧道工程开挖支护的施工要点研究[J]. 建筑工程技术与设计. 2018, (35):255.
- [5] 代鹏. 浅谈路桥隧道工程施工技术管理与质量控制[J]. 四川水泥. 2019, (2):164.