

# 深厚废石堆积层中凿井技术探讨

Discussion on technologies of shaft sinking in deep bedded deposit strata

安建英<sup>1</sup>, 崔传杰<sup>1</sup>, 李河<sup>2</sup>, 郭相参<sup>1</sup>

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司, 河北 迁安 064400)

**摘要:**针对马兰庄铁矿西风井处于深厚堆积层中的特性,井颈支护设计紧密结合施工方案,设计了独特的支护结构形式。经方案比选,采用工作面锚注加固法顺利完成了井颈段的施工。独特的支护结构和施工方案,是西风井井颈成功施工的关键。

**关键词:**堆积层; 注浆锚杆; 凿井; 承台

**中图分类号:** TD266      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-609X(2021)06-0031-04

**Abstract:** Considering the west vent shaft of Malanzhuang Iron ore mine is located in deep bedded deposit strata, a unique supporting structure is designed for the shaft collar by closely combining the construction scheme. As the result of trade-off study, the bolt-grouting support method was selected and successfully used in the construction of the shaft collar section. The unique supporting structure and construction scheme are the key to the successful construction of the west vent shaft collar.

**Key words:** deposit strata; grouting bolt; shaft sinking; bearing platform

## 1 前言

### 1.1 工程地质

马兰庄铁矿露天转地下开采工程,西风井受地形、征地等条件限制,最终确定的井筒位置在露天采坑排土堆积场内。

根据工勘资料,西风井井筒穿过的废石堆积层厚度约96 m,在堆积层之下依次为强风化混合花岗岩、中等~微风化混合花岗岩、微风化辉石斜长岩、混合花岗岩等岩层。堆积物为采矿废石,深度0~80 m,粒径大小不一,大者超过500 mm,小者0.50 mm;80~96.07 m堆积物为黄褐色强风化黑云混合片麻岩碎屑,局部夹大块碎石;堆积层总厚度96.07 m,标高220.35~124.28 m。强风化混合花岗岩层,厚度6.57 m;岩心极破碎,呈碎块~碎渣状;风化裂隙发育,水蚀、溶蚀明显,可见明显锈斑,为强透水岩层。

堆积层厚度大,堆积年代较短,结构较为松散,透水性强。在厚度超过100 m的这种不稳定的复杂地层中开凿竖井,对支护设计、施工方案和施工技术

都有很高要求,需要方案可靠、技术可行、经济合理,以保障施工安全和建设进度、节约建设成本。

### 1.2 设计概况

西风井井筒设计井筒净直径4.5 m,井口标高220.00 m,井筒深度432.5 m,为回风竖井;井筒内设梯子间,兼做矿山安全出口。

井颈段设计高度105 m,采用(喷)锚网+双层钢筋混凝土支护,支护总厚度600 mm。为了防止井壁“脱裤子”,根据采用的施工方法,在锁口增加了环形钢筋混凝土“承台”,用于分担、吊挂下部井壁重量,环形承台宽度2.0 m、高度1.3 m,结构类似牛腿;同时,在井颈中部和底部各设置1道高度2.0 m、宽度0.79 m的双锥形壁座<sup>[1]</sup>,并加大井颈段竖向钢筋面积,使竖(副)筋能够最大限度地承载井壁自重。

井颈段设(喷)锚网一次支护,在加固围岩、预防坍塌、分解井壁自重的同时,也是施工安全和施工质量保障的技术措施。

## 2 施工方案

### 2.1 施工方案

废石堆积层的稳定性、均质性等均较差,与原生第四系表土层有较大差异,因而施工难度更大。在厚大表土层中成功开凿竖井有许多案例和经验,但在深厚堆积层中开凿竖井的案例寥寥无几。针对本

[作者简介] 安建英(1963—),男,陕西永寿人,教授级高工,主要从事矿山井巷工程咨询、设计与相关研究工作。

[基金项目] 国家重点研发计划资助(2016YFC0600803)

[引用格式] 安建英,崔传杰,李河,等.深厚废石堆积层中凿井技术探讨[J].中国矿山工程,2021,50(6):31-34.

工程实际情况,凿井穿过堆积层有以下几种方案。

方案Ⅰ:地面预注浆加固废石堆方案。在井筒开凿前,于井筒周围钻注浆孔,深度穿过堆积层、强风化层以下不小于10 m;安装注浆管及止浆塞;用注浆泵把浆液经注浆孔注入堆积层裂隙及强风化层中对其进行加固,使堆积层稳定后再开凿井筒。注浆孔间距3~5 m。

方案Ⅱ:工作面预注浆加固废石堆方案。井筒掘进时,在井内浇筑混凝土止浆垫或预留止浆岩柱;打注浆钻孔安装注浆管,注浆加固堆积层并封水,之后再开凿;如此循环,直至穿过不稳定地层。注浆孔间距1.5~3 m,与井筒呈同心圆布置,孔底超出井筒掘进范围不小于1.0 m。每次注浆段高依据所采用的钻孔设备而定。

方案Ⅲ:工作面锚注加固方案。将锚固支护技

术和注浆加固技术相结合,利用中空锚杆兼做注浆管,在保证全长锚固的前提下,通过注浆材料改变废石堆的稳定性,提高其强度和自承能力,以保障能够顺利开凿井筒。锚杆间距1.0~1.5 m。

方案Ⅳ:锚网+吊挂井壁施工方案<sup>[2]</sup>。分层、分区块开挖井筒至掘进断面,每个区块开挖出来后立即打锚杆挂金属网;井筒掘进断面成形后,继续进行下一个分层掘进;达到一个段高后施工永久支护井壁。井壁为钢筋混凝土,上下两段井壁依竖向钢筋可靠连接,下段井壁自重部分依靠上段井壁承载,部分传递给围岩;在井口设置1个较大的钢筋混凝土承盘,承载下部井壁的自重;必要时通过设置壁座承载。

## 2.2 方案比较

以上4个方案的优缺点对比分析结果详见表1。

表1 各施工方案优缺点

| 名称               | 优点  | 缺点  |
|------------------|---|---|
| 方案Ⅰ<br>(地面预注浆)   | 可在施工准备期进行,有利于缩短建井工期;<br>井筒全深度可一次完成注浆;<br>凿井作业条件好、安全                     | 需大型钻机,钻孔偏斜不易控制;<br>浆液消耗量大;<br>采用分段止浆时,工艺较复杂;<br>打钻可能会出现塌孔、卡钻现象;<br>凿井需全断面打眼爆破 |
| 方案Ⅱ<br>(工作面预注浆)  | 注浆孔短,可使用轻便钻机;<br>孔斜容易控制,注浆效果较好,便于检测;<br>凿井不需全断面打眼爆破                     | 注浆施工需占用建井工期;<br>井下作业条件较差;<br>打钻可能会出现塌孔;<br>一次注浆加固段高较小                         |
| 方案Ⅲ<br>(工作面锚注加固) | 注浆孔短,使用凿岩机钻孔;<br>设金属网护壁时,对于注浆效果要求不是很高;<br>采用自钻式注浆锚杆,避免塌孔;<br>凿井仅需局部打眼爆破 | 注浆施工需占用建井工期;<br>井下作业条件较差;<br>一次加固处理段高小;<br>采用自钻式锚杆成本高                         |
| 方案Ⅳ<br>(锚网+吊挂井壁) | 井口布置简单;<br>工序简单,便于操作;<br>施工较安全;<br>凿井仅需局部打眼爆破,成本低                       | 段高小,井壁接茬多,混凝土质量不易保证;<br>钢材消耗量较大;<br>掘砌工序转换频繁,养护时间多,进度慢                        |

## 2.3 方案选择

西风井井颈段施工需要解决的关键问题是,如何保障开挖及开挖后堆积层井帮的自稳能力,同时还应避免混凝土永久井壁发生“脱裤子”。从有利于保证建井进度方面考虑,应优先选择方案Ⅰ。从注浆范围的可控性和节省成本方面考虑,应选择方案Ⅱ或方案Ⅲ。方案Ⅳ在技术上可行,其成本也最低,但井壁混凝土接茬多,浇筑混凝土时松散废石易混入其中,质量不易保证;在深度超过100 m的不稳定地层中,此法将会严重制约建井进度。

方案Ⅲ采用自钻式注浆锚杆,集钻孔、安装、注浆、锚固于一体,避免了打钻塌孔卡钻;可以按需较好地控制注浆范围,在保障堆积层井帮稳定、不垮塌的条件下,有利于节省建井成本;锚杆还可以与加固后的堆积层共同承载井壁重量,有利于防止井壁发生“脱裤子”;施工技术要求也不是很高,易于操作实施。因此,确定采用方案Ⅲ完成井颈段的施工。

## 3 施工工艺技术

### 3.1 注浆参数

与止水注浆不同,本工程注浆的目的主要是胶

结、加固井筒掘进断面以外的回填体废石,使其达到稳定,为开挖井筒提供相对稳定的工程地质条件。由于不需密实注浆,为了较好地控制注浆浆液扩散范围,节省工程成本,以较高浓度浆液、较低注浆压力、短段注浆为宜。

(1) 注浆孔数量: 按锚杆锚固技术要求并结合注浆工艺, 每圈布置注浆锚杆 17 个, 与水平面呈  $60^\circ$  夹角, 间距约 1 m, 层间距 1.7 m。

(2) 注浆段高: 根据掘砌施工工艺, 取注浆段高 2 m。

(3) 注浆压力: 本注浆为非止水注浆, 不设止浆垫; 仅需维护开挖后井帮基本稳定, 不要求结石密实。因而采用低压注浆, 取注浆泵压  $\leq 0.5$  MPa。

(4) 注浆浆液: 采用水泥-水玻璃双液注浆。选用 P.O 42.5 水泥, 水灰比为 0.5:1; 水泥浆与水玻璃体积比为 1:0.6~1:1, 水玻璃模数 2.8~3.1, 波美度 38~40°Bé。

(5) 钻孔浆液注入量<sup>[3]</sup>

$$Q = \lambda \pi R^2 H \eta \beta / m$$

式中:  $Q$ ——钻孔浆液注入量,  $\text{m}^3$ ;

$\lambda$ ——浆液损失系数, 取  $\lambda = 1.5$ ;

$R$ ——浆液扩散半径, 取 0.5 m;

$H$ ——注浆段高, 取 2.0 m;

$\eta$ ——岩层裂隙率或砂土层的孔隙率, 取 14%;

$\beta$ ——浆液的有效充填系数, 取 0.86;

$m$ ——浆液结石率, 取 0.99。

计算得出, 钻孔浆液注入量为  $0.287 \text{ m}^3$ 。每个注浆孔水泥用量约 0.35 t, 每个注浆段水泥总用量 5.95 t。

### 3.2 注浆施工

#### 1) 注浆锚杆

采用自钻式注浆锚杆, 规格为  $\phi 32 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm}$ , 以中空钢管制作, 注浆液全长锚固。锚杆体上的注浆孔, 分布在距钻头 0.2~2.2 m, 孔间距 200 mm, 按螺旋状布置, 共 11 孔。

采用 YT-28 凿岩机驱动安装锚杆。沿井筒周围每圈均布锚杆 17 根, 开孔位置位于上段混凝土井壁下部约 500 mm, 向下与水平方向呈  $60^\circ$  夹角, 具体如图 1 所示。

锚杆竖向间距与浇筑混凝土井壁的段高一致, 为 1.7 m。

#### 2) 注浆加固

工作面设置一台 2TGZ-120/10.5 型注浆泵, 将

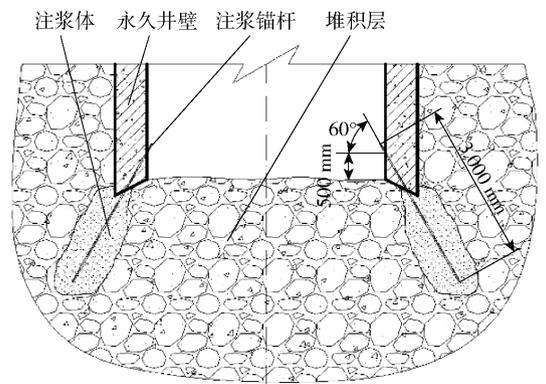


图 1 注浆锚杆施工示意图

高压注浆软管连接钻孔孔口管, 并安设高压阀门和压力表, 形成地面搅拌池→吸浆管→注浆泵→注浆孔(管)的注浆系统。每个注浆孔注入浆液量  $0.287 \text{ m}^3$  (合计水泥量约 0.35 t), 并须遵守注浆结束标准。

本工程注浆为固结注浆, 达到开挖后堆积层井帮有限稳定即可。据此, 确定注浆结束标准为: 现场注浆量控制以孔口返浆或上压为准, 并根据围岩稳定情况实时进行适当调整。

### 3.3 掘进与支护

(1) 选用 IV 型亭式凿井井架,  $\phi 2.5 \text{ m}$  双卷简单绳提升机单钩提升, 采用  $0.4 \text{ m}^3$  长绳悬吊抓岩机, 配  $2.5 \text{ m}^3$  座钩式吊桶自动翻碴。支护采用整体式金属模板, 段高 1.7 m (基岩为 3.4 m)。

(2) 先按设计要求施工好锁口承台, 再向下延深; 井筒深度达到 15 m 后, 下放悬吊吊盘, 安装固定盘和封口盘。采取短掘短砌施工方法, 段高 1.7 m; 采用一注一掘一支的施工循环。

开工时间选择在冬季, 至降雨季节即可完成井颈施工。

(3) 掘进。井口段采用挖掘机明槽掘进。井口段以下掘进, 以风镐松动废石, 必要时放小炮辅助松动。采用抓岩机装碴、废石吊桶提升, 人工辅助清底; 废石提升至地表后, 以卡车转运至排放地。

开挖顺序: 先在井筒中心掘出 1 个小井, 再向外扩挖至井筒掘进断面, 并及时挂网对井帮维护, 以防出现井帮片帮、冒落。采用  $C20 \times 1000 \sim 1200 \text{ mm}$  钢筋锚杆, 金属网直径 6 mm、网度  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 。

若井帮出现较大空腔, 则采用木方背板及时支撑土体, 并与锚网可靠支撑, 减少土体塌落。

(4) 浇筑井壁。井口设置混凝土搅拌站, 采用自动计量装置上料, 以溜灰管下放混凝土, 经分料器分至 2 处入模。

按设计断面掘出1个段高并维护好井帮后,即绑扎钢筋、安装模板、浇筑混凝土。采用四面对称、分层浇筑,层层捣固,每分层约300 mm;振捣时,振捣器插入下分层内不小于50 mm,以使上下分层混凝土紧密连接。

绑扎钢筋时,竖向钢筋下端要埋入废石堆中,埋入长度不小于300 mm。上、下两段竖向钢筋之间以套筒联结。

(5)壁后空区处理。上模已浇筑井壁的壁后存在较大的塌落空区时,拆模后及时打注浆孔;本模混凝土浇筑完成后,以1:3水泥砂浆注填密实。

## 4 施工验证

(1)从2017年11月中旬施工准备开始,按照以上技术方案施工,至2018年5月下旬,顺利完成了施工准备工作和井颈段的施工。开挖中,除井帮局部偶有片帮外,未发生井帮较大面积垮落、井壁“脱裤子”等现象。

(2)工勘钻孔距井筒中心约20 m,实际施工到深度86 m时已进入强风化岩层,最终确定井颈底部壁座设于深度95 m,比依据工勘资料确定的高度减少了10 m。

(3)上部堆积层较为松散,注浆液消耗量基本与注浆设计一致;深部堆积层较为密实,注浆液消耗量大幅减少。

## 5 结论

(1)在厚度近90 m的废石堆积层中开凿竖井

鲜有先例。本工程的成功施工说明,支护设计合理、施工方法正确;支护设计要紧密结合施工技术方案,在维护井筒安全稳定的同时,还应适应施工方法。

(2)井颈设计的环形锁口“承台”、中间壁座等,为分解、承载井壁重量发挥了重要作用;自钻式注浆锚杆在胶结、加固围岩的同时,有效地分担了井壁自重。这些措施都很好地预防了发生井壁“脱裤子”。

(3)注浆要求达到堆积层井帮有限稳定,采用工作面低压、高浓度、短段注浆,既很好地控制了注浆液的扩散,又有效地胶结加固了井帮,也显著地节省了建设成本。

(4)施工时将砂浆锚杆改为自钻式注浆锚杆,将锚杆与注浆管合二为一,避免了重复打钻和发生卡钻,使锚杆锚固和注浆都得到保障。

(5)选择在冬季开工建设,避免了下雨可能导致废石堆积层的不稳定情况加剧等不利因素。

(6)本工程采用工作面锚注加固法通过深厚废石堆积层的成功施工,为相似地质条件的竖井施工提供了很好的例证。

### [参考文献]

- [1] 《采矿设计手册》编写委员会. 采矿设计手册(3)井巷工程卷[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1989.
- [2] 沈季良. 建井工程手册(第三卷)[M]. 北京:煤炭工业出版社,1986.
- [3] 崔云龙. 建井工程手册(下册)[M]. 北京:煤炭工业出版社,2007.

(上接第30页)

度范围约为混合岩2倍,大理岩侧最大底鼓位移深度范围约为混合岩4倍;地应力场Ⅱ型时,大理岩侧最大水平位移范围约为混合岩侧的5倍。

(3)岩层倾向层理构造对应力场影响明显,斜坡道轴线剖面模型的XX方向和ZZ方向应力云图在层理交界面处突变明显。

(4)双层喷锚网支护斜坡道较另外两种支护工况的变形大,其几乎不能控制底鼓变形;采用锚注支护的另外两种支护工况,其底鼓变形明显低于双层锚网喷支护工况,表明锚注支护对斜坡道底鼓控制效果明显。

(5)斜坡道变形破坏呈高应力全断面大变形失稳模式,呈现高应力影响显著、应力压挤底鼓破坏范

围大、持续时间长的特征。

(6)在高应力软岩变形控制中,多阶段联合支护中柔性支护适度变形,能够调整释放围岩压力。

### [参考文献]

- [1] 高谦. 高应力碎裂围岩巷道变形控制技术[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [2] 杨志强. 特大型镍矿工程地质与岩石力学[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [3] 龚声武,李夕兵. 软岩巷道锚注联合支护的数值模拟研究[J]. 矿业研究与开发,2007(4):67-69.
- [4] 周恒,漆泰岳,肖锋,等. 软岩巷道高强锚杆辅助锚注支护机理及应用[J]. 采矿与安全工程学报,2006(3):346-349.
- [5] 李红军,刘成禹,李云. 锚注联合支护效果的数值模拟研究[J]. 铁道工程学报,2010,27(7):1-5.