

煤矿回风立井井筒掘进施工技术

李青山

中天合创煤炭分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要:在煤矿回风立井井筒的施工过程当中,由于煤矿地质环境复杂,常常会遇到许多影响施工安全的地理环境问题,不仅威胁着工作人员的人身安全,还会对施工的进度和施工质量产生影响。本文将分析表土层和基岩段特点,设计回风立井井筒施工方案。回风立井井筒掘进施工是整个矿山建设过程中最重要的环节之一,关系着整个矿井安全,无论是表土层施工还是基岩层施工都应该得到重视。

关键词:煤矿;回风立井;井筒

引言:回风立井的施工十分复杂,主要穿过表土和基岩两个部分。不同煤矿的回风立井工程需要面临不同的地质特征,掘进回风立井一直是煤矿工程的重难点。从90年代开始,我国回风立井平均深度为500米以上,且直径在6米到10米之间,虽然整个掘井工程量只占矿山建设工程的4%~5%,但工期时长却占25%以上。随着我国矿井建设技术与设备不断发展,我国回风立井施工技术已位于国际前列。

1 井筒地质

由于西翼风井未施工井筒检查钻孔,井筒地质条件参考内蒙古自治区煤田地质局117勘探队于2008年8月23日提供的《内蒙古自治区东胜煤田葫芦素矿井井筒检查报告》。主要内容如下:

1.1 围岩条件

根据主副井检孔资料,自上而下地层主要由第四系、白垩系、侏罗系组成。其中第四系冲积层主要由风积砂(成分为砂和亚砂土)、湖积物(成分为淤泥和各粒级砂)组成,松散砂土层分布广泛,结构松散,地层总厚度41.05m,基岩风化带厚度20~30m;白垩系志丹群主要由中粒砂岩和细粒砂岩组成,泥质填隙,岩石易风化,强度低,属软弱岩层,地层总厚度335.29m,累深376.34m;侏罗系为含煤地层,主要由中粒砂岩和细粒砂岩及砂质泥岩组成,属低~中等强度岩层。

1.1.1 第四系含水层主要有三层,埋深分别为9.7m、37.2m、26m,厚度分别为4.7m、11.20m、16.30m,水位绝对标高+1305.92m,钻孔单位涌水量 $q = 2.198 \sim 3.449 \text{ L/s.m}$,钻孔涌水量 $Q = 10.451 \sim 19.913 \text{ L/s}$,含水层富水性强。

检2号孔白垩系及侏罗系安定组未进行抽水试验,由于距1号井筒检查孔距离较近,且地层赋存稳定,因此白垩系含水层参数采用检1号孔抽水成果。

白垩系含水层主要有两层,埋深分别为111.5m、

146.2m,厚度分别为30.7m、34.7m,水位绝对标高+1310m,钻孔单位涌水量 $q = 0.302 \sim 0.304 \text{ L/s.m}$,钻孔涌水量 $Q = 1.095 \sim 7.279 \text{ L/s}$,含水层富水性极不均匀,富水性中等。

1.1.2 侏罗系中统安定组含水层主要有两层,埋深分别为389.15m、430.25m,厚度分别为5.55m、6.75m,水位绝对标高为+1307.14m,钻孔单位涌水量 $q = 0.0225 \sim 0.0229 \text{ L/s.m}$,钻孔涌水量 $Q = 0.303 \sim 0.912 \text{ L/s}$,含水层富水性弱。

1.1.3 侏罗系中统直罗组、延安组含水层主要有四层,埋深分别为556.4m、624.2m、665.6m、711.4m,厚度分别为4m、3.2m、18.8m、9.8m,水位绝对标高+1292.46m,钻孔单位涌水量 $q = 0.0333 \sim 0.0345 \text{ L/s.m}$,钻孔涌水量 $Q = 0.281 \sim 0.912 \text{ L/s}$,含水层富水性弱。

各含水层参数见表2。

筒最大需冷量峰值,有效减少了总机组配置。

为了保证冷冻站满足进、回风井冻结需要,实现快速降温,并配备备用机组灵活调配进、回风井冻结需冷量,冷冻站设计安装7组新型高效的双机双级壳管式螺杆制冷压缩机组,冷量富余系数13.2%,满足冻结施工需要。

2 冻结施工

2.1 冻结开机运转

按照施工计划,进风井冻结机组于2016-11-05日开机运转,首先开机4组,开机14天盐水温度达到设计值,盐水去路温度随冻结时间变化见表2及图2。

通过积极冻结施工,进风井井30m水文孔于2016-11-16,开机冻结12天冒水;80m水文孔于2016-11-20,开机冻结16天冒水。比设计冒水时间提前19天;进风井盐水温度达到设计温度后,调减冻结机组至回风井,加强回风井筒冻结。施工中根据监测数据和分析结果,调节盐水流量,保证盐水温度,回风井两水文孔分别开机18天、30天冒水,进风井、回风井水文孔水位随冻结时间变化。

Table2.3 Table of pumping test results in the study area

| 含水层 | | 水位埋深 (m) | 单位涌水量 (L /s·m) | 渗透系数 (m/d) | 水化学类型 | 矿化度 (g/L) | 富水性强弱 |
|---------------------|---------------------------------|------------|-----------------|-----------------|--|-----------------|-------|
| 全新统冲洪积砂砾石层孔隙潜水含水层 | Qh ^{at+p} _i | 1.0~5.0 | 3.0~12.0 | | HCO ₃ -Ca·Mg 型 | 0.2528 | 强-极强 |
| 全新统风积砂层孔隙潜水含水层 | Qh ^{evl} | 1.5~4.0 | 0.25~1.00 | | | | 中等 |
| 上更新统萨拉乌苏组孔隙潜水含水层 | Qp ^{3s} | 19.15~25.7 | 0.0479~0.1423 | | | | 弱-中等 |
| 下白垩统志丹群孔隙承压水含水层 | K _{1zh} | 7.70~26.3 | 0.205~0.6458 | 0.243~1.48 | Cl·HCO ₃ ·SO ₄ -Na 及 HCO ₃ -Na 型 | 0.25284~0.76148 | 中等 |
| 中侏罗统安定组非煤碎屑岩类承压水含水层 | J _{2a} | 8.21~19.81 | 0.0541~0.0965 | 0.1612~0.499 | SO ₄ ·HCO ₃ -Na 型及 HCO ₃ ·CO ₃ -Na 型 | 0.3836~0.521 | 弱 |
| 中侏罗统直罗组非煤碎屑岩类承压水含水层 | J _{2z} | 4.48~26.3 | 0.061~0.2069 | 0.0718~0.3061 | SO ₄ ·HCO ₃ -Na 为主, 次为 SO ₄ -Na 型及 SO ₄ ·HCO ₃ ·Cl-Na 型 | 0.485~1.046 | 弱-中等 |
| 中侏罗统延安组含煤碎屑岩类承压水含水层 | J _{2y} | 5.86~68.66 | 0.000438~0.1226 | 0.004746~0.7108 | HCO ₃ -Na·Ca 为主, 次为 Cl-Na 型 | 0.2340~1.25 | 弱-中等 |

2.2 冻结掘砌施工

两井筒水文孔冒水后, 根据冻结测温资料数据分析, 结合现场实验验证, 井筒上下各层位含水层冻结壁均已交圈, 冻结壁的厚度及强度能够满足井筒试开挖要求。进风井于2016-12-12日进行正式开挖, 回风井于2016-12-16进行正式开挖。井筒开挖过程中, 对井筒工作面的施工情况进行跟踪监测, 及时掌握井帮温度数据, 图4-5分别为进风井及回风井东侧井帮温度及工作面空气温度随掘进累深的变化。

2.3 冻结监测施工

本工程在冻结施工期间进行了多项监测项目, 为井筒安全顺利通过冻结段起到了重要作用。

(1) 为确保井筒顺利施工, 为分析预测提供依据, 本工程采用CW-500型远距离多点数字测温仪等仪器对冻结站制冷系统运行工况指标监测(温度、压力、电流等)、冻结器的运行状况监测(流量、温度等)等, 确保冻结施工安全、高效。两井筒冻结盐水降温情况见表2。

(2) 水文孔水位监测。根据冻结壁内水文孔的水位变化情况, 可作为初步判断冻结壁是否正常交圈的手段之一。根据检测数据显示, 进、回风井水文孔分别比设计冒水时间提前19天、5天。水文孔冒水后, 进行水文孔冒水量监测及水压的监测并进行分析, 确保冻结壁形成的强度和厚度, 为井筒开挖提供科学依据。

(3) 测温孔温度监测。进、回风井井筒均设计3个

测温孔, 在洛河组主要含水地层加密测点布置。采用国产的TZW-100多路数字温度采集仪监测冻结温度, 经过全面监测整个冻结壁在冻结过程中的发展情况, 掌握其施工过程中的温度分布规律, 正确判断冻结壁的交圈时间、厚度、温度, 预测冻土扩展情况, 并指导各井筒的冷量供应调整。

3 施工总结及建议

(1) 科学严密的组织管理是本项目各项要求顺利实现的决定性因素。各工作的如期开展、顺利进行, 使各项工作进展都能按照施工方案进行, 最终实现了进风井、回风井冻结段工程的顺利完成。

(2) 冻结施工中积极推广新技术的应用, 加强监测系统信息化、数据处理系统的智能化, 努力提高现代化信息施工技术, 是提高冻结施工效率的关键。

(3) 本工程通过两井一站设计、合理安排施工步骤, 科学调整开机配组, 做好冷量分配, 既做到了两井筒均提前开挖, 同时又是节约用电成本, 减少机组的占用费用。

(4) 西部软岩含水地层的设计原则应以封水为主。

(5) 建议在西部软岩地区, 为确保井筒冻结高效安全, 优先选用高效节水型冷凝器、新型干式蒸发器, 减少能耗, 提高效率; 应用盐水泵应加装变频装置, 进一步节约能耗。

3.1 简易设备施工方法

简易设备下的施工方法主要有以下几种：一是汽车起重法，具体操作为用一台汽车吊吊挂吊桶提升出矸，用另一台汽车吊挂NZQ2-0.11型抓岩机装矸，再用手持式气动凿岩机打眼。汽车吊虽然便于移动，前期准备工作较少，但是由于其滚筒直径较小，适用范围有限，同时提升力较小，出矸能力较差，成本较高。

二是建议井架法。这个方法主要需要用到三脚架，龙门架等井架方法，总体而言制作比较简单，安装步骤和流程较少，需要的提升设备较小，搭配0.5~0.75立方米的自翻吊桶和NZQ2-0.11型抓岩机就可以实现表土层掘进。但是由于设备提升力较小，所以施工效率很低，适用深度有限。

3.2 永久井架掘进方法

这种方法需要将井口的土地先做平整，然后在品种土地上安装永久井架和卸矸装置。永久井架掘进工程量较大，施工较为复杂，设备要尽量选择功率较大，使用效率较高的掘进设备。在这个过程中，可以根据回风立井，井筒的直径，选择合适的挖掘机型号，非特殊情况可以选择YC-35-7型挖掘机，适用范围较广。永久井架掘进方式可以有效缩短安装和拆卸设备的时间，同时提升挖掘效率，保障表土层施工的进度。除此之外，永久评价施工的方式还能有效缩短沿土层暴露在空气中的时间，降低岩土层崩塌的可能性，减少土壤污染。另外运用熔球艇加掘进的方式，还能有效减少人工，降低人力成本。

4 基岩层施工

基岩层施工主要是指在风化岩层或表土层下进行回风立井井筒施工，由于不同的矿山地理位置不同，回风立井穿过的岩层性质也各不相同，当前施工的主要方式是钻眼爆破。随着我国基岩层施工技术不断发展，我国基岩层施工已经实现机械化施工，施工主要以深孔光爆、设备大型化、支护机械化和注浆堵水打干井为主。钻眼爆破工程是整个回风立井掘进工程中最主要的施工工序，占整个掘进工程工期的20%以上，爆破效果直接影响回风立井井筒掘进工程的施工速度和施工质量。

4.1 凿岩机选择

我国的凿岩机较为长久的发展历史，上世纪50年代，我国自主研发了YT30型凿岩机，60年代开始引进日本322D型TY76LD型凿岩机以及瑞典BBD-9实行凿岩机等，此后我国又自主研发了外T-23型外T岗24型外TP-26型等新型凿岩机。当前YYG-90型液压凿岩机是我国最为先进和优越的设备，适合大型井筒掘进施工需要。但是在许多沥青施工过程中会选择操作简单装备简便的手持式凿岩机，虽然它的直径只有39~46毫米，但通过多台

凿岩机相互配合，能够有效提升凿岩速度，适合断面较小，岩石硬度较低的浅眼施工工程。

4.2 伞形钻架选择

伞形钻架是由钻架和重型高频凿岩机组成的风液联动导轨式凿岩机具。其结构精妙，动作过程十分灵活，是当前钻研速度最快的钻甲。我国自主研发的F GD系列，功能完善，能够适用于各种钻井场合。

4.3 爆破施工

当前我国回风立井，井筒掘进工程选择的爆破器材，主要有炸药和雷管。

首先是炮眼深度问题。根据《我国矿山井巷工程施工及验收规范规定》在使用手持式凿岩机的施工场合爆破炮眼以2m深度最为适宜，需要使用闪钻进行作业的掘进工程炮眼需要大于3.5m。需要注意的是，掘井深度越深、工程量越大，炮眼深度也越大，但当炮眼深度超过6米时，容易导致岩石破碎不充分，岩块破碎不均匀等问题，给其他施工项目带来困扰。除此之外，爆破炮眼深度还和炸药的性能有密切关系，炸药的种类和起爆方式不同，则炮眼深度需要进行相应调整。

4.4 其次是炮眼直径问题。手持式凿岩机钻眼施工时，主要采用标准直径 $\Phi 32 \sim 35\text{mm}$ 药卷，与之相匹配的炮眼直径为 $\Phi 38 \sim 43\text{mm}$ 。随着井筒工程规模增大，机械化水平和钻研深度都会随之提高，在这样的情况下小直径的炮眼不能满足爆破需求，通常会将炮眼扩大到35~55毫米。在炮眼直径和炮眼深度增加的过程当中，炸药药卷的直径也在不断加大，随着这三项数据的增大，爆破的速度，爆破的力度和爆破的距离也会随之增大，但这些数据有一个极限值，当直径超过极限，以上的数据将不会再随之增加。通过以上数据可以看出，想要加快爆破速度，应当在极限值范围内，增加炸药用量最大程度提高爆破效果。

4.5 最后是炸药消耗量。炸药消耗量是决定爆破效果的主要参数，如果炸药量较少，则会导致爆破力度不够，遇到大块头的岩石，爆破效果较差。如果炸药量过多，不仅会破坏设备，还会影响周围围岩的稳定性，给施工过程带来安全隐患回风立井井筒掘进施工是整个矿山建设过程中最重要的环节之一，关系着整个矿井安全，无论是表土层施工还是基岩层施工都应该得到重视。

5 质量要求

1) 井筒施工按《煤矿井巷工程质量验收规范》(GB50213-2010)、《煤矿井巷工程施工规范》(GB50511-2010)、《煤矿安全规程》(2011版)、《矿井安全质量标准化检验标准》等国家或行业颁发的

规程、规范、技术标准验收,合格品率为100%。

2) 为有效减少井壁解冻后的井筒漏水量,确保井筒总漏水量符合《煤矿井巷工程质量验收规范》(GB50213-2010),施工中应采取如下措施:

3) 接茬要求:主要指-543~-643.5m段井壁分段接茬处应采取防止漏水的止水措施。

4) 注浆要求:要有针对性的进行注浆封水,-533m以浅采用壁间注浆,-533m以深采用壁后注浆和接茬处注浆;注浆方式可采用预埋注浆管或现打注浆孔,具体由现场根据实际情况确定;注浆时间主要考虑工期要求,不能等到井筒完全解冻后注浆,原则上考虑双层井壁段

套完内壁后及时注浆,单层井壁段到底后及时注浆;现场也可以根据温度监测结果合理确定注浆时间。施工过程中抓好套壁质量,可以减少注浆工程量。

参考文献

[1] 刘志强. 矿井建设技术发展概况及展望[J]. 煤炭工程, 2018, (6): 44-46, 50.

[2] 代艳青, 谷雅楠, 连文学, 等. 立井井筒快速掘进技术[J]. 中州煤炭, 2012, (2): 43-45.

[3] 肖瑞玲. 立井施工技术发展综述[J]. 煤炭科学技术, 2015, (8): 13-17, 22.