

Analysis on the Drilling Practice of Gasification Coal Mining Fracturing Test

Zhu Xiaojie Liu Ya*

Inner Mongolia Geology and Mineral Resources (Group) CO. LTD, Hohhot

Abstract: The successful application of core drilling equipment and technology in large diameter drilling project is introduced through the drilling practice of gasification coal fracturing test in Tongliao area, Inner Mongolia. The technical measures to ensure the borehole perpendicularity, full hole casing, cavitation and other special processes and requirements are summarized.

Key words: Drilling works; Gasification coal mining; Drilling

Received: 2019-07-26; Accepted: 2019-08-15; Published: 2019-09-02

气化采煤压裂试验钻孔施工实例 探析

朱晓杰 刘 亚*

内蒙古地址矿产（集团）有限公司，呼和浩特

邮箱：2173640ly@sina.com.cn

摘 要：通过内蒙古通辽地区气化采煤压裂试验钻孔施工实例，全面介绍了岩心钻探设备及技术在大口径钻探工程中的成功应用。并对保证钻孔垂直度、全孔下套管、造穴等特殊工艺和要求所采取的技术措施进行了重点总结。

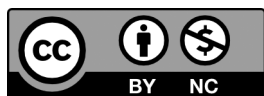
关键词：钻探工程；气化采煤；钻井

收稿日期：2019-07-26；录用日期：2019-08-15；发表日期：2019-09-02

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](#).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



气化采煤技术是 20 世纪 90 年代出现的一种新的采煤技术。它是将处于地下的煤炭进行有控制的燃烧,在热作用及化学作用下产生可燃气体,钻孔是作为向煤层送入引燃燃料和导出可燃气体的通道。该项采煤技术完全抛弃了传统的井巷采煤模式,具有安全性好、投资少、效益高、污染少等优点。褐煤煤化程度低、热值小,井巷开采褐煤投入大产出少,而我国褐煤探明储量高达 2000 多亿吨,这就为气化采煤技术展示了良好的广阔的发展前景。

钻探工程是气化采煤技术前期施工最重要的配套工程项目之一。近几年来刚刚出现的气化采煤新技术为钻探工程提供了前所未有的发展机遇和空间。本文结合内蒙古通辽境内施工的炉-3 井钻探施工进行总结。

1 地理、地层岩性概况

工地位于大兴安岭西南端西侧与内蒙古高原交界地带的盆地中,草原干旱气候,春秋季节多风沙,夏季少雨。稀疏草类植被,属严格受控的牧区。有草原路和拉煤路通往外界。

自上至下所见地层岩性为细砂、粗砂、含砾砂层、含砂泥岩、泥岩、煤层与泥岩互层等一套煤系地层。从钻探施工角度来看,不漏失、不造斜、进尺效率高,但近地表地层有时坍塌,泥岩地层缩径、造浆。

2 钻孔设计及要求

该基地设计了一组共 3 个钻孔,50 m 等距成直线排列。在距组孔东向延长线 150 m 处设计了一个对接井,在孔底将 3 个孔对接。要求全孔下入 $\varnothing 325$ mm 石油套管,总质量达 20 多吨,现有设备(钻机、钻塔等)及现有人力如何成功下管,是摆在我们面前的难题。因为是试验钻孔,所以在施工中对原钻孔设计的执行多有变动,以至于几次出现停钻待定的情况。

2.1 钻孔设计 (钻孔倾角 90°)

一开为 $\varnothing 104$ mm 导正孔。遇煤层取心, 准确确定煤层位置及选定目的煤层, 穿过煤层底板后转入二开; 一开施工孔斜度要求特别高, 一开终孔 350 m, 要求钻孔着陆点与靶点水平距离 ≥ 1.5 m。每 50 m 测孔斜一次, 孔斜超过 0.2° 必须纠斜。采用物探测井车全程测量。

二开为 $\varnothing 215$ mm 扩孔至 325 m, 要求扩孔与导正孔轴线一致。

三开为 $\varnothing 420$ mm 扩孔至 325 m。本阶段施工要求扩孔钻头加导正, 为下入 $\varnothing 325$ mm 石油套管做准备。

四开为 $\varnothing 480$ mm 扩孔至 60 m, 下入 450 mm 焊接套管。目的是保护 60 m 以浅砂层孔壁不坍塌, 保证在下入 $\varnothing 325$ mm 石油套管前的冲孔换浆工序顺利进行。

2.2 技术要求

(1) 为确保钻塔底座 (钢梁) 在本孔施工期内稳固、水平、不下沉, 平整机场时必须着地钢梁下制作混凝土垫层, 厚度 ≤ 150 mm, 面积是着地钢梁着地面积的 3 倍。

(2) 各径级钻进钻头上都必须加接钻铤, 钻铤组合重力不少于孔底所需压力的 70%, 以保证孔斜不超差。不允许用钻机油缸加压。

(3) 固井。固井的目的是固定石油套管和封闭管外空间。采用 625 号耐火水泥为主要固井材料, 由甲方委托专业固井队伍实施固井作业。候凝 48 h 以上方可透孔。

(4) 打压。固井完成后, 透孔穿过水泥心至煤层时即进行套管封闭打压。以水为介质往复泵施压, 泵压达到 4 MPa 时停泵, 要求 2 h 泵压下降不低于 3 MPa。打压的目的是检验固井质量, 避免日后投产时漏气。

(5) 冲孔。固井、透孔、造穴等各工序完成后都必须换浆冲孔, 以满足各工序对泥浆性能的需要, 最终一次冲孔要水清沙净孔底沉淀不超过 0.5 m 为止。

(6) 造穴。固井完成后一个非常关键的工序, 是在 $\varnothing 325$ mm 石油套管底端的目的层煤层进行造穴 (即扩大煤层孔径)。要求造穴完成后孔径 ≤ 500 mm, 造穴孔段不少于 5 m。为煤层燃烧提供尽可能大的空间, 同时也尽可能多的容纳

引燃燃料保证一次引燃成功。

3 钻探设备及管材、钻头

3.1 钻探设备

钻机：XY-5型钻机一台，动力为4105型涡轮增压柴油机，额定功率55 kW。该钻机立轴转速有8挡，低速有78、136 r/min，最高转速1246 r/min，最大扭矩5500 N° m，卷扬机最大提升力60 kN；水泵：BW-600/30型水泵一台，动力为4100型柴油机；钻塔：SG-18 m型钻塔一部；2.2 kW振动筛一台（自制）；泥浆搅拌机一台。

3.2 管材、钻头

钻杆：Ø50 mm钻杆400 m，Ø73 mm钻杆350 m，Ø159 mm钻铤20 m，Ø68 mm钻铤50 m。

钻头：Ø91 mm硬质合金肋骨钻头（自制，外出刃Ø104 mm），Ø215 mm三牙轮钻头（镶齿、钢齿两种），Ø250 mm三牙轮钻头（镶齿），Ø420 mm肋骨钻头（自制，在Ø219 mm岩心管上六等分焊制钢板至最大外径Ø420 mm），Ø127 mm扩底钻头（造穴用，所形成的钻孔孔径在280 ~ 600 mm之间），Ø219 mm透孔钻头，Ø303 mm透盲板钻头。

套管：Ø146 mm套管50 m，Ø450 mm焊接管60 m（由甲方提供），Ø325 mm石油套管330 m（由甲方提供）。

4 钻进工艺措施

4.1 防斜

一开钻进主要解决2个问题：一是采取煤层及其顶底板岩心，二是导正各径级钻孔。打直一开钻孔是重中之重。我们全力抓好以下几点：（1）安装设备环节首先做到基础平稳、牢固；（2）采用新直主动钻杆，装入立轴后用测量仪

器校直；（3）对工作中松动的钻机连接螺丝随时紧固防止钻机离位；（4）使用刚直岩心管换径时加导向，轻压慢转；（5）能用钻铤加压即用钻铤加压，使钻杆处于拉伸状态实现减压钻进；（6）弯曲超差的钻杆绝不入孔内使用；（7）积极配合物探测井人员及时测井，随时了解孔斜动态。

一开前先人工挖一坑，下入焊在一起的两个普通油桶作表层护孔用。然后采用 $\varnothing 150\text{ mm}$ 硬质合金钻头钻进至 50 m 泥岩层下入 $\varnothing 146\text{ mm}$ 套管，再换 $\varnothing 91\text{ mm}$ 肋骨钻头在不需采取岩心的情况下钻进到 280 m，初见煤层开始采心，一直到 350 m 终孔。测井结果显示，各点孔斜最大 1.22° ，孔斜最小 0.12° ，满足钻孔设计要求。

4.2 钻进技术参数

不同岩层、不同钻头、不同孔深所选用的参数也不同，具体见表 1。

表 1 钻进技术参数表

孔段 /m	钻具形式	钻头外径 / mm	钻压 /kN	转速 / (r/min^{-1})	泵量 / (L/min^{-1})	泵压 /MPa
0 ~ 50	单管	150	50 ~ 70	150 ~ 300	150 ~ 400	0.5 ~ 1.5
50 ~ 350	单管投球	104	70 ~ 100	180 ~ 350	200 ~ 350	1.0 ~ 2.5
0 ~ 50	牙轮钻头	250	150 ~ 200	60 ~ 100	450 ~ 500	0.2 ~ 1.0
50 ~ 325	牙轮钻头	250	200 ~ 300	80 ~ 130	600	0.8
0 ~ 50	六翼肋骨	420	180 ~ 300	60 ~ 100	500	0.2 ~ 0.8
50 ~ 325	六翼肋骨	420	250 ~ 300	60 ~ 100	500	1.0 ~ 2.0

4.3 泥浆性能与净化

4.3.1 泥浆配方

本孔泥浆主要解决 2 个问题：一是上部砂层裸孔护壁；二是下部泥岩层造浆、膨胀缩径。因此，制定泥浆配方如表 2 所示。

表 2 泥浆配方表 / (kg/m^{-3})

泥浆类型	膨润土	氢氧化钠	中粘纤维素	KHm	PAM (未水解)	铁铬盐
优质普通泥浆	100 ~ 150	3 ~ 5	2 ~ 3		3	
KHm-PAM 泥浆	75 ~ 100	2 ~ 4	1.5	2.0	3 ~ 4	1.5

4.3.2 泥浆性能

优质普通泥浆用于开孔和各类砂层，加大粘度和密度，护孔、冲孔效果好。

KHm-PAM 泥浆用于泥岩等煤系地层的各级孔径钻进护孔，失水量小，泥皮薄，不缩径，流变性能好，泵压低，孔底干净，密度适中，维护容易，效率高。2 种泥浆的性能见表 3。

4.3.3 泥浆的净化和维护

煤系地层尤其是几次扩孔产生大量的岩粉和碎屑给泥浆的净化带来极大的困难。泥浆固相含量控制工作显得非常重要。我们采取以下几种办法清除泥浆中有害固相颗粒，最大限度地保持泥浆的性能。

（1）在泥浆回路上安装振动筛，保持其性能稳定，并经常清除筛面上的固相颗粒。

表 3 泥浆性能表

孔段 /m	泥浆类型	密度 / (g/cm ⁻³)	粘度 /s	pH 值	失水量 / [mL/ (30 min) ⁻¹]	含砂量 /%	胶体率 /%
0 ~ 50	优质普通泥浆	1.10 ~ 1.15	18 ~ 25	8	15 ~ 20	7	90
50 ~ 350	KHm-PAM 泥浆	1.05 ~ 1.10	15 ~ 20	8	12 ~ 18	5	95

（2）泥浆在地表上的循环路径长度 < 20 m，加大循环槽截面积以利于人工清除固相颗粒。设置 3 个泥浆坑，每个坑的容积在 10 m³ 左右。

（3）定期清理更换泥浆沉淀坑中的沉淀物。

（4）每进尺 50 m 要坚持大泵量冲孔一段时间，把孔底岩粉携带干净。

（5）机台配备漏斗粘度计、密度计等常用泥浆测试仪器。白班负责每班测试一次泥浆主要性能。及时添加必须的处理剂，使泥浆随时满足钻进需要。

（6）提钻时要坚持回灌泥浆，平衡地层压力。以防止上部砂层失稳坍塌，大量的砂砾进入泥浆或者埋钻。

5 成井工艺

5.1 井身结构（见图 1）

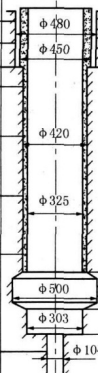
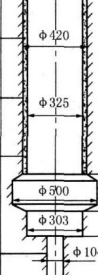



换层位置 /m	岩石名称	钻孔结构图 /mm	井管及换 径深度/m
15	覆盖层细砂		60
33	粗砂		
60	含砾砂层		
65	含砾泥岩		
180	泥岩		325
242	砂质泥岩		
318	泥岩夹薄煤层		
335	煤层		
335	煤层		331
			333
350	泥岩砾岩		

图 1 井身结构示意图

Ø480 mm 孔段深度至 60 m，本孔段下入 Ø450 mm 护孔管；

Ø420 mm 孔段深度至 325 m，本孔段下入 Ø325 mm 石油套管；

Ø500 mm 孔段深度在 325 ~ 330 m 间（造穴孔段）；

Ø303 mm 孔段深度至 333 m，固井后透孔形成；

Ø104 mm 孔段深度至 350 m，取心孔段。

在 Ø325 mm 石油套管与孔壁之环状空间充满 625 耐火水泥浆液。

5.2 下管

5.2.1 下表层套管（护孔管）

Ø450 mm 护孔管下入 60 m，因质量不大，采用钻机卷扬机直接提拉下放护孔（游动滑车为四绳、绳端在天车梁上）。具体下管方法是：下管前首先在护孔管上端 0.5 m 处对称气割出 Ø60 mm 圆孔，用 Ø50 mm 钻杆料作穿杠，把 1.5 m 长的钢丝绳套同游动滑车和穿杠连在一起提吊护孔管。上、下护孔管扶正对直后焊接，并在焊口处贴焊 3 ~ 4 个拉板。此护孔管是当地井管厂临时加工，质量不尽人意，存在圆度差、直径误差大、轴线不直、两端面与轴线垂直度不好等问题，给下管焊接带来很大困难。解决的办法是：先下比较直的管后再下

比较弯的管（意在防止底部弯管触进孔壁）；边焊边敲，用锤击法使其归圆。

5.2.2 下石油套管（井管）

Ø325 mm 井管下入 322 m，总质量 22 t。在不采取一定措施的情况下仅用现场设备根本无法顺利下管。我们在参考有关资料和借鉴前人经验的基础上，大胆创新，在下入的第 6 根井管底部内径焊一个 8 mm 厚的钢板（通称盲板），随着井管的不断下入，便形成了一个密闭的管状空间。通过计算，盲板下部 5 根井管质量为 3 t 多，钻机钻塔等设备设施均能承受。盲板上部每米空间产生的浮力为 95 kg，而每米井管质量仅为 63 kg，就是说每下入 1 m 井管，整个井管柱的质量将减轻 32 kg，也就是越下越轻。当整个井管柱下入井内达到 150 m 深度时，对游动滑车来讲承受的拉力将为零。但是在 100 m 多一点时就发现井管柱下降缓慢，根据经验，可向井管内灌注泥浆或清水以加重井管柱的整体质量的办法来解决，考虑后续钻穿盲板时会遇到其上下液柱压力差突然释放的麻烦，我们选择了与孔内泥浆密度相近的泥浆及时回灌到井管柱内，使下管工作进行得安全而又顺利。

Ø325 mm 井管壁厚 8 mm，螺纹连接。用 3 副自制 Ø325 mm 套管夹板夹住井管头部倒换使用。用直径 ≤ 20 mm 钢丝绳套连接套管夹板和游动滑车起吊井管。

甲方要求丝扣连接要紧密牢靠，对个别拧不到底的丝扣要实施焊接，必须保证牢固、密封性能好，不允许丝扣处漏气漏水。

5.3 固井

为保证固井质量好、效率高、成本低，甲方将固井工序委托专业固井队伍承担。我们所要做的配合工作主要有：（1）准备好 625 耐火水泥 28 t；（2）在现场选址挖一个可以储存 50 t 清水的水源坑，坑内铺塑料布并储满水；（3）把盲板钻掉，孔底冲洗干净，保证井管底部煤层在一定压力下能够被泥浆冲开，井管内外沟通；（4）现场备好功率足够的电源（柴油发电机组或国电）、电焊、气焊设备及器材，还有抽水泵等；（5）用一钢板将井管上端口焊死，钢板中心开一直径 50 mm 的孔，将一短钢管焊在孔的周围，钢管上端螺纹连接固井泵的

高压管接头，钢管侧面设置一个通路安装一个量程 ≤ 4 MPa的防震压力表（可用水泵压力表）。

正式固井前首先利用泥浆进行试循环，在固井设备的高压力和大泵量作用下，打通井管内外通道，保证水泥浆液灌注成功。

水泥浆液灌注要一次性完成，中间绝对不能停顿，泵量也要均匀。水泥浆液灌注完成后马上灌注替浆清水，在孔壁不漏失情况下，灌注替浆清水完成的表现是，在井管外排出的泥浆变成了水泥浆液，说明井管外环空全部被水泥浆液所充填。如果孔壁漏失且在底部（表现为泵压低，在孔口见不到水泥浆液）则宣告固井失败。

5.4 透孔

水泥浆液候凝 48 h 后可以透孔。透孔的目的就是把井管内底部残存的已凝固了的水泥钻掉清除，把目的层煤层很好地暴露出来。采用筒状钻具，外径 $\varnothing 273$ mm，壁厚 8 mm 的无缝钢管，直接在管子底端镶焊大八角硬质合金，为保证尽量大的外径，还加焊了肋骨，钻头外径达到 $\varnothing 303$ mm，井管内径 $\varnothing 309$ mm。 $\varnothing 273$ mm 管子上端与 $\varnothing 73$ mm 钻杆形成的台肩要焊防止上提卡钻的钢筋，因为该钻具要整体超过井管底端近 10 m。

5.5 造穴

造穴就是在井管底端的煤层中进行扩孔。要求扩孔后孔径 ≤ 500 mm，扩孔段 ≤ 5 m。造穴完成后再次冲孔保持孔底干净。造穴钻进是用甲方设计加工的扩孔钻具完成的。

扩孔钻进要点是：从井管底端下 5 m 多开始向上提拉回转，在不憋泵的情况下尽量加大泵量，扩孔初期只回转不提升 10 min 左右，泵压开始下降时给压上升（钻具外径随着煤层破坏而加大，钻具的通水孔逐步变大，泵压降低，当泵压低到 1 MPa 时钻具外径 ≤ 500 mm），边回转边上下串动钻具，使孔壁规则。

6 结语

(1) 应用岩心钻探设备及岩心钻探技术施工气化采煤压裂试验等大口径中深孔是可行的,尤其是在一开小径孔采心钻进中比其它大型设备(水井、石油等设备)操作方便、效率高、效果好。

(2) 气化采煤作为一种全新的采煤技术,还有很多问题亟待解决,希望相关科研、工程技术人员付出更多的精力研究和解决有关问题,为钻探工程积极开拓这一新的服务领域创造条件。

(3) 岩心钻探设备和钻进技术能够较好地适应气化采煤试验钻探还需在设备的改造、更新以及技术的提高完善等方面做很多的工作。

参考文献

- [1] 汤凤林,段隆臣.无井式煤炭地下气化技术大有作为——访问乌兹别克斯坦安格连煤炭地下气化站体会[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(6).
- [2] 张祖培.煤炭地下气化技术[J].探矿工程,2000(1).
- [3] 柳少波,洪峰,梁杰.煤炭地下气化技术及其应用前景[J].天然气工业,2005(8).
- [4] 张祖培,徐会文,刘光华.双阳煤矿煤炭地下气化的应用研究[J].探矿工程,2003(S1).