

煤矿大孔径瓦斯排放井施工的关键技术

逢 碑,程志远,迟 波,王泽山

(东北煤田地质局 103 勘探队,辽宁 辽阳 111004)

摘 要:就大孔径瓦斯气排放井钻井施工中的若干关键技术问题进行初步的探讨;提出了大孔径瓦斯排放井施工的难点和解决方案。

关键词:瓦斯排放井;大口径垂直井;气举反循环

中图分类号:TD712⁺.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)S1-0119-05

随着国家越来越严格的煤矿安全生产管理制度和对环保节能减排项目支持力度的加大,为解决采煤与安全的两难问题,同时把威胁煤矿工人安全的瓦斯气转变为可利用的新能源,保证煤矿施工安全,最大限度释放矿井内的瓦斯气体,我国各大型煤业集团近年来均大规模投入资金,部署钻探瓦斯气抽采井。

其中,在新采区地面施工大口径垂直钻孔,集中抽排瓦斯并配套自备瓦斯发电厂成为最大的热点。本文就该类型钻井施工中的若干关键技术问题进行初步的探讨。

1 大孔径瓦斯排放井的发展趋势及常规技术要求

煤矿瓦斯排放井是随着瓦斯气发电技术的成熟在近几年大规模展开的,同时也为采煤企业带来了巨大的经济利益和安全价值。经过几年的发展,煤矿瓦斯排放井的设计直径越来越大,由过去 $\phi 400$ mm 以下发展到 $\phi 600$ mm 以上,更有一些高瓦斯矿井要求施工的直径超出 1000 mm,大有取代传统上排风竖井的趋势。

无论直径多大的瓦斯排放井,业主对钻井施工的常规技术要求都集中在以下 3 点:

(1) 钻孔垂直度要高,要求钻孔底端与采煤大巷能够在尽量少的挖掘工程量前提下实现简易对接,一般给定的井底位移允许值不会超过 5 m,并且因为井下工业广场的原因,多数附带方位要求。

(2) 套管与井壁之间的环空封固要好,防止上部含水层向井下漏水而需要增加井下排水投入。

(3) 套管的密封性要高,防止瓦斯抽排过程中的泄漏。

2 瓦斯排放井施工的技术难点及解决方案

业主从使用功能出发提出的要求虽然简单,但对于施工单位来说,大口径瓦斯排放井的施工难点却是多方面的。笔者所在单位近几年在山西、辽宁等地区施工了多口瓦斯排放井(见表 1),积累了一定的施工经验。现以这些工程的施工实践为基础,就该类工程施工技术的关键点分别进行说明。

表 1 施工的多口瓦斯排放井工程情况

建设单位	建设规模	开竣工日期	质量评价
山西华晋焦煤	$\phi 700$ mm $\times$ 403 m	2003.06 ~ 2003.10	优良
山西华晋焦煤	$\phi 700$ mm $\times$ 403 m	2003.11 ~ 2004.06	合格
沈阳煤业集团	$\phi 445$ mm $\times$ 570 m	2004.09 ~ 2005.11	优良
沈阳煤业集团	$\phi 311$ mm $\times$ 540 m	2004.10 ~ 2004.11	优良
沈阳煤业集团	$\phi 445$ mm $\times$ 610 m	2005.03 ~ 2005.06	优良
沈阳煤业集团	$\phi 445$ mm $\times$ 370 m	2005.08 ~ 2005.10	合格
沈阳煤业集团	$\phi 445$ mm $\times$ 870 m	2006.10 ~ 2007.04	优良

2.1 冲击、正、反循环设备工艺选择

限于地勘系统的装备水平和成本考虑,一般施工单位在接手大口径瓦斯排放井的任务时多选用 SPJ-2000/2600 + TWB-1200/7B 等类似型号的水源钻机组,一般不可能选用石油设备。但水源钻机组的泥浆泵排量不足,对于井径超过 500 mm 的钻孔排屑困难、效率不高,建议采用气举反循环工艺解决(见图 1)。气举反循环新技术是“国家科技成果重点推广项目”,具有操作简便、变换工艺容易、钻进效率高、钻头寿命长、成井质量好、井底清洁彻底、适应性强等一系列优点。

未试用过气举反循环技术的单位从常规泥浆正循环的观点出发总会对于井下安全存在各种的担心。实践证明,对于施工在侏罗、二迭、石炭等煤系地层的大孔径瓦斯排放井只要井身结构设计合理,保证

收稿日期:2007-05-30

作者简介:逢碑(1971-),男(汉族),辽宁朝阳人,东北煤田地质局 103 勘探队副队长、总工程师、高级工程师,水工专业,从事钻井施工、技术管理工作,辽宁省辽阳市白塔区繁荣路 159 号。

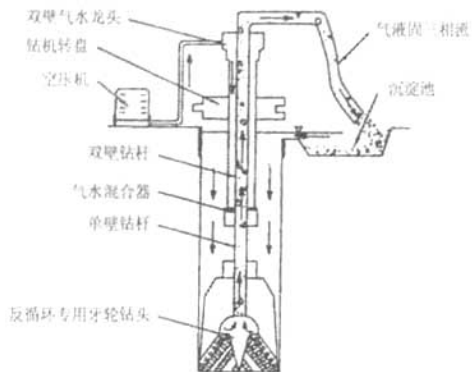


图1 气举反循环钻进示意图

好基岩以上的松散层封固质量,对于采用气举反循环技术施工时井壁稳定性等井下安全因素的过分担心是不必要的。

表1中所列的瓦斯排放井工程均采用了气举反循环工艺,通过实践对比分析,选用水源钻机组+气举反循环技术施工大孔径瓦斯排放井从经济效益和钻井安全性上能够接近或超过选用石油钻井设备。

另外,大口径瓦斯排放井的完井孔径巨大,常常相应的要求针对于基岩以上松散层封固的一开孔径接近或超过1000 mm。对于该井段的施工可以考虑采用桥梁、建筑桩基础施工常用的冲击反循环钻机,该类设备目前的钻深能力已经接近于 $\varnothing 2000 \text{ mm} \times 100 \text{ m}$,并且对卵石层、流沙层等复杂地层具备独特的优势。

2.2 转盘扭矩与通径

大孔径瓦斯排放井施工对转盘扭矩的要求也是必须考虑的一个问题。目前地勘机械厂家生产的水源钻机在转盘扭矩指标上已经达到了30~35 kN·m,虽然与石油钻井设备还存在着一定的差距,但从实践中看,在设计好钻井参数和选配好钻具结构的前提下,完全能够满足 $\varnothing 800 \text{ mm} \times 800 \text{ m}$ 钻井的使用要求。

如果转盘的通径无法满足各次开钻钻头通过的要求,就要在转盘移让和钻机底座等方面安排好解决方案。

2.3 钻塔和绞车的提升能力

大孔径瓦斯排放井完井套管的直径大、质量大,并且绝大部分情况下井底几乎没有预留沉砂口袋的空间,考虑到套管无法到底的可能性及固井的要求,不适于加装盲板,这就对钻塔和绞车的提升能力提出了较高的要求。在套管头变径处加装石油完井的浮箍浮鞋等套管附件来增大浮力,减轻下放提升力

是十分必要的。

虽然套管在敞口下放过程中受泥浆浮力和井壁摩擦力影响正常会减重20%左右,但是从安全的角度出发,即使加装了浮箍、浮鞋,在选择钻塔和绞车时最好按照计划入井套管总质量的1.5倍考虑才能够保证有效地处理下套管作业中可能遇到的复杂情况,这一点上不能存有侥幸心理。

2.4 井身结构与分级扩孔

在设计井身结构和分级扩孔的钻头程序时,应该对将要钻遇的地层进行充分了解,必要时还应先施工小井眼的地质先导取心孔以取得第一手的资料,指导整体施工设计。

在地质研究的基础上,综合考虑好以下几个方面的问题,一次性将施工设计定型,防止施工中途因调整方案而增加损失。

(1)根据表层以下是否还存在可能影响成井的复杂地层决定采取二开完井还是三开完井。

(2)保证一开基岩以上松散层封固质量,为整个井的施工打好基础。首先要确保钻进基岩足够的深度,防止二开中松散层出沙、掉块;其次要选好表层套管,可以采用螺旋焊管,但壁厚和圆度必须符合,抗挤能力要满足要求;最后要认真固好井。

(3)采用 $\varnothing 215 \text{ mm}$ 或 $\varnothing 311 \text{ mm}$ 钻头完成二开(三开)第一次钻头程序,目的是与防斜纠斜措施配合,确保打直中靶。

(4)采用气举反循环技术及组合牙轮钻头可以超级扩孔,按照近似于 $\varnothing 311 \text{ mm} \rightarrow \varnothing 660 \text{ mm} \rightarrow \varnothing 820 \text{ mm} \rightarrow \varnothing 1000 \text{ mm}$ 的钻头程序是完全可行的。

2.5 防斜纠斜

防斜和纠斜是大孔径瓦斯排放井施工最核心的工作,这不仅仅表现在能否顺利中靶,对钻井过程中的井下安全、套管下放、固井等方面都有重大影响。传统的防斜办法,如满眼钻具组合、钟摆钻具组合、塔式钻具组合等往往都是“轻压吊打”,以牺牲钻井速度为代价。即使如此,在高陡构造以及造斜能力强的地层中,也往往难以有效地控制井斜。现代防斜打直技术的核心是解决提高井身质量和钻井速度之间的矛盾,必须突破“轻压吊打”旧观念的束缚,积极探索新的防斜技术。这些新防斜技术的特征在于实现优质与高效的统一,即不仅是“防斜打直”,而且要“防斜打快”。

目前石油钻井行业用导向钻具进行定向井、水平井轨迹的连续控制技术已经很成熟。将这一技术应用到直井,可以做到开转盘钻直井(稳斜)和定向

纠斜,被称为“复合钻进”(见图2)。也就是用带有单弯或双弯壳体及稳定器的井下动力钻具组合,在开动转盘时(一般为一档转速),钻头的实际转速为螺杆输出转速与转盘转速之和。目前国内外采用这种技术比较普遍。

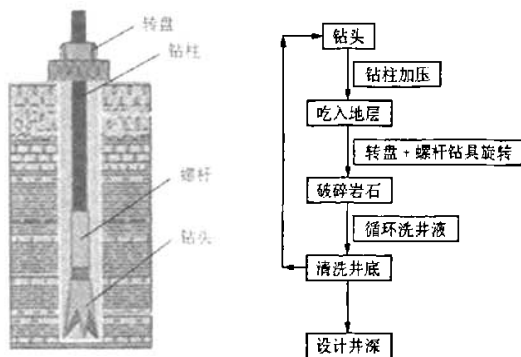


图2 “复合钻进”示意图

该项技术的优势在于以下几个方面:(1)螺杆钻具一般加钻压较小,不致于引起过大井斜;(2)因为导向钻具增强了钻柱的公转效应,可实现快速钻进,达到优质与高效的统一,与常规的防斜技术相比,既可以有效地控制井斜,又可以大幅度地提高机械钻速,往往可以收到较好的防斜效果;(3)由于导向钻进时钻头转速高于转盘转速,因而钻进速度较快;(4)一旦发生井斜需要纠斜时,可以转换成定向方式进行作业。

鉴于井径超过 311 mm 的螺杆钻具过于昂贵、对泵排量要求高、纠斜困难等因素,故设计采用 $\varnothing 215$ mm 或 $\varnothing 311$ mm 钻头完成二开(三开)第一次钻头程序,目的就是与“复合钻进”和定向纠斜配合确保打直中靶。施工设计中必须要安排好第一次钻头程序的井斜检测和井身轨迹控制,确保准确中靶、轨迹平滑。

2.6 大直径钻头的组配和加工

通过二开(三开)第一次钻头程序将井眼打直中靶后,下一步的问题就是扩孔至设计要求的井径,建议采用领眼扩孔牙轮组合钻头施工,其外形设计以图3所示的一种 $\varnothing 311$ mm $\rightarrow\varnothing 660$ mm 的组合形式为例。因该类组合钻头属于非标准型号,所以应尽量委托具备设计和加工经验的专业单位制作。

对于进场的组合牙轮钻头要仔细检查,常见的问题及采取的措施主要有:

(1)牙轮体质量不合格,以旧充新;

(2)牙轮体型号选用不一致,造成整体组合钻头的钻井参数不能控制,使用寿命不能把握;

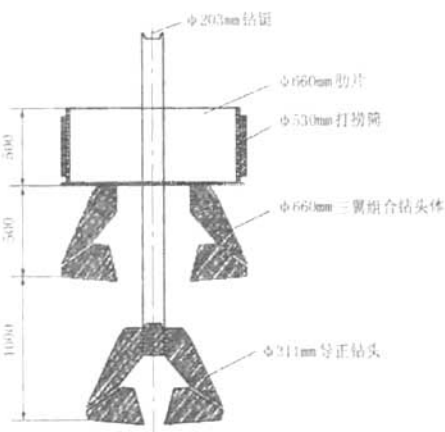


图3 领眼扩孔牙轮组合钻头示意图

(3)各部位的焊接质量、保护支撑存在问题,造成井下破坏;在新钻头进场和每次起钻后均要进行仔细的检查和补救;

(4)同直径组合钻头之间的直径偏差过大时,需要进行直径大小排队,先下井直径大的,后下井直径小的,并且每次起钻后均要进行钻头直径复查、记录;

(5)如采用气举反循环工艺需要及时总结适用性经验,综合设计好钻头的组合布局及排渣口位置,以利于充分利用气举反循环工艺对井底的清洁优势,提高钻进效率。

2.7 套管的相关计算

大孔径瓦斯排放井完井套管的计算也是施工设计的重要内容,下入井内的套管柱在下放、固井和以后的生产过程中,要受到各种外力的作用,为保证套管柱在复杂的外力作用下,不断、不裂、不变形,经得起高压挤注作业的考验,必须对套管柱的强度予以考虑,根据套管柱在井内的受力情况,正确地选择套管的钢级和壁厚,使套管柱既有足够的强度,满足安全生产和节约钢材,又能降低成本。

下入井内的套管柱主要受轴向拉力、外挤压力、内压力等几种力的作用,针对大孔径瓦斯排放井的具体情况,可以按各单向应力分别考虑的分析模式进行计算,不需要进行双轴或三轴应力分析。同时因为管柱采用焊接相联,所以也不需要象石油套管计算一样考虑接箍强度相关问题,仅需要对套管本体进行计算。

2.7.1 轴向拉力

套管在井内所承受的轴向拉力,主要由套管柱本身的重力产生,其大小受套管柱的长度、壁厚、外

径尺寸等因素影响,在井口处套管柱的截面最大,一般情况下在各种操作过程中产生的附加轴向力(如动载荷、摩擦力、碰压冲击等)都小于套管柱在井内泥浆中所受到的浮力。因此,设计套管柱时,一般按套管在空气中的质量计算轴向拉力。轴向拉力的计算和校核可按式进行:

$$W = SLQ < T = 10.2YA$$

式中: W ——井口处套管承受的轴向拉力, kg; L ——计算截面以下套管柱的长度, m; Q ——包括接箍在内每米套管的平均质量, kg/m; S ——API 安全系数, 取 1.6 ~ 2.0; T ——管体抗拉力(管体屈服强度), kg; Y ——管材屈服点(管材屈服强度), MPa; A ——管体截面积, cm^2

2.7.2 外挤压力

外挤压力是沿着套管外壁周围分布的径向力,其方向垂直于套管轴线,主要来源于套管内泥浆液柱的压差或地下流体压力。套管内部液体全部掏空时(如加装浮箍、浮鞋),井底套管处所受的外挤压力最大。因此,从安全角度考虑,就以固井中出现套管掏空的情况计算最大外挤压力。计算公式如下:

$$P = 0.01H\gamma$$

式中: P ——外挤压力, MPa; H ——套管柱长度, m; γ ——井内液体密度, g/cm^3 。

按 API 标准抗挤安全系数应取 1.00 ~ 1.15。

在设计套管柱时,应根据套管在外挤压力作用下不同的破坏形式,采用不同的理论公式计算套管的抗挤强度。

(1)形式 1: 屈服挤毁强度

当 $(D_c/\delta)_{yp} \leq (D_c/\delta)_{pe}$ 时,

$$P_{\infty} = 2Y_p \{ [(D_c/\delta) - 1] / (D_c/\delta)^2 \}$$

其中:

$$\left(\frac{D_c}{\delta}\right)_{yp} = \frac{A - 2 + \sqrt{(A - 2)^2 + 8(B + 0.0068947C/Y_p)}}{2(B + 0.0068947C/Y_p)}$$

$$A = 2.8762 + 1.5485 \times 10^{-4} Y_p +$$

$$4.47 \times 10^{-7} Y_p^2 - 1.62 \times 10^{-10} Y_p^3$$

$$B = 0.026233 + 7.34 \times 10^{-5} Y_p$$

$$C = -465.93 + 4.475715 Y_p - 2.2 \times 10^{-4} Y_p^2 + 1.12 \times 10^{-7} Y_p^3$$

(2)形式 2: 塑性挤毁强度

当 $(D_c/\delta)_{yp} \leq (D_c/\delta) \leq (D_c/\delta)_{pe}$ 时,

$$P_{\infty} = Y_p [A / (D_c/\delta) - B] - 0.0068947C$$

其中:

$$(D_c/\delta)_{pe} = \frac{Y_p(A - F)}{0.0068947C + Y_p(B - G)}$$

$$F = \frac{3.238 \times 10^5 \left(\frac{3B/A}{2 + B/A}\right)^3}{Y_p \frac{3B/A}{2 + B/A - B/A} \left(1 - \frac{3B/A}{2 + B/A}\right)}$$

$$G = FB/A$$

(3)形式 3: 过渡挤毁强度

当 $(D_c/\delta)_{pe} \leq (D_c/\delta) \leq (D_c/\delta)_{te}$ 时,

$$P_{\infty} = Y_p [F / (D_c/\delta) - G]$$

其中:

$$(D_c/\delta)_{te} = [2 + (B/A)] / (3B/A)$$

(4)形式 4: 弹性挤毁强度

当 $D_c/\delta \geq (D_c/\delta)_{te}$ 时,

$$P_{\infty} = 3.228 \times 10^5 / [(D_c/\delta)(D_c/\delta - 1)^2]$$

式中: D_c ——套管外径, mm; δ ——套管壁厚, mm; Y_p ——管材屈服强度, MPa; P_{∞} ——抗挤强度, MPa; $(D_c/\delta)_{yp}$ ——屈服挤毁与塑性挤毁交点的径厚比; $(D_c/\delta)_{pe}$ ——塑性挤毁与过渡挤毁交点的径厚比; $(D_c/\delta)_{te}$ ——过渡挤毁与弹性挤毁交点的径厚比。

2.7.3 内压力

在进行大孔径瓦斯排放井的套管计算时,当套管满足抗拉和抗外挤强度要求时,抗内压强度往往也能满足,故一般不需要作抗内压强度核算。

通过套管柱受力分析,可以根据上部受拉力最大、下部受外挤压力最大的规律,在施工设计中对接管柱上部、中部、下部选择不同钢级、厚度的套管规格,达到安全、节约的目的。

2.8 套管焊联与下放

(1)实践证明,采用厚度大于本体的接箍、管柱上部增加备板的方法能够保证联接质量。

(2)管柱的焊接工艺和焊材选择必须经过专业人员的设计,进行拉伸实验,制定标准程序,落实焊工操作责任,以确保接头部分的强度不低于管材本体强度。

(3)操作中注意焊口下井之前的必要冷却时间。

(4)地面套管准备操作中要保证接箍与本体的焊联对正;整体管柱的垂直度控制,可采用成直角的两台经纬仪联合监测;同时要防止在接头处出现硬弯,即要同时保证每两根套管之间的联接垂直度和管柱的整体轴线平直。

(5)根据套管柱的具体情况设计加工好安全适用的卡、吊器具。

(6)下套管前采用一根 8 ~ 10 m 的套管加工成接近于钻头直径的通井管进行通井并消除局部的

“狗腿”是十分必要的。

(7)套管底口要考虑扶正或防刮井壁的外型处理。

(8)下套管前一定要反复校核井深数据、套管编号及联接长度。

2.9 固井

固井是大孔径瓦斯排放井完井过程中的重要工作,工艺的选择、工具的加工、专业队伍的介入、程序的衔接、关键点的控制都决定着固井质量的好坏。

(1)大孔径瓦斯排放井的套管直径过大无法采用石油标准固井工具,在实践中,仿照石油碰压固井工艺自制井口水泥头装置+木质压塞,使用效果很好,也可以选用浮箍浮鞋+钻杆插入+井口封闭的工艺方法(内管法)。

(2)特别注意大孔径瓦斯排放井固井设计需要做防套管上浮计算和需要的重泥浆准备。

(3)因固井的水泥量很大,必须采用石油专业固井公司的新型大排量车组尽量缩短打灰和替量时

间,必要时添加缓凝剂。

(4)为防止扫塞过程中破坏套管及底部固井质量,套管内可能会留下一定厚度的水泥薄环未被清理干净,这一点要向业主说明,在管线对接时预留排渣口。

3 结语

大孔径瓦斯排放井的造价普遍较高,如果对施工过程中的关键技术把握不好会给施工单位造成巨大的经济损失,笔者希望通过本文能够给将来施工该类型钻井工程的相关单位提供一些借鉴。

参考文献:

- [1] 许刘万. 水井气举钻探新技术推广应用市场综述[R]. 廊坊:中国地质科学院勘探技术研究所,2003.
- [2] 李成铭. 新编石油钻井工程实用技术手册[M]. 北京:中国知识出版社,2006.

(上接第118页)

4 结语

通过开展塑衬双层贴砾滤水管和U-PVC塑料井管快速连接在山西应县地方病高发区示范井中的应用,较好地进行了一次开采新技术在粉细砂地层成井中的尝试,为今后在地方病严重区粉细砂地层成井积累了经验,为更广泛推广应用新型成井管材提供了技术支撑,但也存在一些问题,现将体会归纳如下,供各位同行参考。

(1)塑衬双层贴砾滤水管滤水挡砂性能好,通过大泵量抽水洗井,水中没有发现沙子,适合于粉细砂地层成井。

(2)快速横销连接具有连接速度快、连接可靠、连接强度较高的特点,加工容易,使用方便,连接速度较常规丝扣连接节省时间30%以上,实现了井管的快速连接。

(3)使用塑料井管一定要选择材质好、弹性模量高、耐老化性好的塑料管,最好避开寒冬季节施工,因气温低时塑料井管性脆,抗拉和抗挤毁强度降低,容易生成井和安全事故。

(4)横销连接要解决销孔的密封问题,否则容易引起水层串层混合。

(5)横销连接存在的另外一个问题是不能抗负荷较大的扭拒。

参考文献:

- [1] 国内外地下水勘查新技术专集[Z]. 北京:中国地质调查局,2004.
- [2] 中国地质调查局. 西部严重缺水地区人畜饮用地下水勘查示范工程[M]. 北京:中国大地出版社,2006.
- [3] 韩广德. 中国煤炭工业钻探工程学[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000.
- [4] 编写组. 钻探技术手册(上、下)[M]. 北京:地质出版社,1977.