

对接井靶区建槽若干问题探讨

胡汉月

(中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000)

摘要:随着钻井采矿技术的应用从石油、盐井向天然碱井、煤层气等行业的日益拓展,钻进靶区面积越来越小,这对传统的中靶测量技术提出了严峻的挑战。不同时期的钻井测量技术,需要对应不同大小的靶区,以实现较高的连通率。针对 MWD 导向和高精度磁中靶导向技术,分析了各自的误差大小,提出了对靶区尺寸的基本要求。

关键词:建槽;磁测量系统;靶区;中靶

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)07-0020-04

Discussion of Cavity Development in the Target Area of Intersection Well Pair/HU Han-yue (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: As the applications of drilling mining technology are extended from petroleum and salt well to trona solution and CBM mining industries, the thin or weak ledges can provide only a smaller target area, which makes the target-hitting more and more difficult. Different kinds of ranging technology depend on different size of target cavities so as to realize the connection between the drilling well and target well. In this paper, the analysis is focused on the deviation errors produced by MWD and rotary magnet ranging system, and the appropriate size of the cavity development is proposed.

Key words: cavity development; magnetic ranging system; target area; target-hitting

1 对接井技术

对接井技术利用可溶性矿产的开采特征,采用定向钻进技术使地面相距数百米的两井或多井在地下目标矿层处定向对接连通,建立起循环采矿通道,以实现两井或多井连通采矿的目的。

随着对接井技术的不断发展,从早期应用于盐卤开采中,逐渐被应用于天然碱、芒硝开采中。2002年后,煤层气行业采用对接井(或称U形井)取代单井获得了成功,对接井在煤层气这个新的领域得到了广泛应用。

与传统的单井采卤或采气相比,对接井开采技术不但占地面积仅为前者1/2,而且采卤效率或采气效率比单井高出数倍,因而得到越来越广泛的应用。

2 对接井连通方法

如何使两口或多口井在目的矿层中连通,在各个不同历史时期,受制于当时的技术,其方法是各不相同的。

2.1 自然溶通

早期(1980年以前)的对接井连通方式是自然

溶解连通,在设计时控制好两井井距,在施工完两口直井后,各自开始建槽并投产开采。当单井开采腔直径接近于两井井距时,两井自然溶通。然后,自一井注水,从另一井取卤。

自然溶通的最大缺陷是连通时间较长。对于井距80m的两口盐井,需要6个月甚至12个月以上。在连通之前,其采卤的生产率较低,这对于溶解性较差的天然碱而言,更为明显。

2.2 压裂连通

20世纪八、九十年代,压裂连通较早用于盐井和碱井中。与自然连通不同,压裂连通具有立即连通、立即达产的优势。

在施工完两口直井后,在其中一口井中采用高压水泵注清水,在矿层裂隙中的渗透与溶解作用下,使两井连通。然后,自一井注水,从另一井取卤。

压裂连通的最大缺陷是连通的不确定性和对地层的破坏性。压裂连通的效果与地层的密实程度和裂隙发育程度相关,很难达到100%连通率。除此之外,在大量注入压力水的同时,矿层围岩受外力破坏,易产生坍塌并产生潜在的地表沉陷危害。

2.3 爆破扩腔连通

收稿日期:2014-02-07

基金项目:科技部公益性行业专项“深孔高温磁中靶系统研究”(201211064)

作者简介:胡汉月(1964-),男(汉族),湖北浠水人,中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师、国土资源部百人计划优秀人才、土耳其贝帕扎里天然碱采集卤钻井工程项目经理,地质工程专业,工学博士,从事定向钻进施工及技术研究工作,河北省廊坊市金光道77号, huanhanyue001@hotmail.com。

爆破连通与压裂连通属于同一时期的技术,其目的都是缩短建槽时间、快速达产。针对新完井的盐井,特别是很难建槽的超薄盐层,爆破连通技术采用聚能药柱,将药柱下入至设定的爆破位置并由地面引爆。爆炸能量形成聚能切割射流,可在靶区形成一直径达8 m左右的圆柱状空腔,同时在溶腔外围盐层中形成大量的裂缝,增大岩盐溶蚀面积和溶剂渗透能力。与自然溶通相比,爆破扩腔连通可大幅缩短连通时间,但其对地层的破坏也是显而易见的。

2.4 测斜仪引导钻进连通

1990年,勘探技术研究所与湖南省地质矿产勘查开发局417队在湘衡盐矿首次实现了一个水平井与一个垂直井直接钻进连通,开创了全新的对接井直接钻进连通的时期。

定向钻进连通方法是指在水平井钻进过程中,采用单点测斜仪器或随钻测量系统(MWD)测量和控制钻头的行进方向,使其进入靶区,实现一个水平井与一个或多个直井之间的钻进连通。

与自然连通、压裂连通或爆破扩腔连通方法相比,定向钻进连通法具有快速达产、不破坏地层原状力学结构、避免通道堵塞等诸多优点。

2.5 高精度磁中靶导向系统引导钻进连通

定向对接井始于盐井采卤。早期的对接井是施工一口水平井与老井相连通。由于老井已生产多年,其矿层溶腔直径达数十米,因此,靶区目标较大,采用单点定向技术即可实现顺利连通。后来,对接井中的2口井均为新开井,此时可先施工垂直井,然后再施工水平井。在水平井施工期间,垂直井进行水循环建槽。由于盐的溶解性较好,一般经过1~2周的建槽,即可使溶腔达十余米。对于水平方向左右10~20 m、垂直方向约5 m的靶区而言,采用随钻测斜技术(有线或无线),其一次中靶率可达80%以上,二次中靶率可达95%以上。

但是,2003年以后,当对接井应用于天然碱矿时,对接连通的成功率受到了极大的挑战。由于天然碱矿层厚一般 <2 m,又由于其溶解性较盐差,因此,其建槽作业既费时间又费能耗。通常,采用流量 $20\text{ m}^3/\text{h}$ 、温度 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 的热水进行建槽,循环30天后,倒锥形溶腔的上部最大直径仅可达到5~8 m。

至2004年,随着对接井在煤层气开采中的推广应用,对接工艺对仪器提出了更高的精度要求。煤层气地层中的靶区不宜太大,否则易引起塌孔等事故。通常,在煤层气中实施对接的靶区直径为0.6

m以内。

总之,随着对接井的广泛推广应用,各应用领域也对钻进轨迹的测量与控制技术提出了更为严格的精度要求,传统的MWD随钻测量技术已经不能满足天然碱矿和煤层气井的中靶精度要求了。这时,高精度磁中靶导向系统应运而生。

高精度磁中靶导向系统并不是一项孤立的导向技术,严格意义上它是对传统MWD导向技术的一种修正与补充。传统的MWD在造斜段和水平段的导向过程中,受传感器本身的误差影响,会产生可观的累积偏差。而高精度磁中靶导向技术则在MWD初步导向的基础上,采用旋转磁技术对最后0~80 m的路径进行测量和纠偏作业,使钻头准确进入靶区范围内。

高精度磁中靶导向系统最大的优势是消除了传统MWD导向的累计误差。此外,其测量精度随着对靶点的不断趋近在不断地提升,在经过多次方向调整后,最终中靶时其绝对偏差可控制在各向30 cm以内。

3 对靶井建槽的几何尺寸要求

3.1 建槽的目的

所谓建槽(cavity development),原指在可溶性矿层中注入注剂或水,使矿层被溶解并形成一特定形状的空腔。

随着对接井技术的不断发展,它逐渐被应用于煤层气开采行业。这时,目标矿层不再是可溶性矿产了,其建槽的过程被称为“扩孔”或“掏穴”。

靶井建槽的主要目的是暴露矿层并扩大腔体,形成一个靶区,提高钻进中靶率。无论是在煤层气开采中,还是在可溶性矿产水溶开采中,其靶井建槽都是必不可少的一个步骤,它对于直接钻进连通是十分必要的。

3.2 建槽尺寸

不同的定向技术存在不同程度的偏差,因而,对靶井建槽的几何大小也有不同的要求。在钻进连通工艺中,采用单点仪定向时需要较大的建槽尺寸,采用随钻测量系统需要中等的建槽尺寸,而采用高精度磁中靶系统仅需数十公分的极小的建槽尺寸。下面根据随钻测量系统和高精度磁中靶系统2种方法的精度及偏差,推导出其对建槽尺寸的要求。

3.2.1 采用MWD引导时对建槽几何尺寸的要求

MWD测量的累积偏差随着钻进距离的增加而成正比增加,因此,在进行长距离定向对接时,受累积误

差的影响,中靶精度很难得到保证。采用 MWD 导向进行连通作业时,其最大的偏差源于其磁传感器及重力加速度传感器所产生的累积误差。其计算值为:

顶角误差 $\pm 0.15^\circ \sim \pm 0.2^\circ$;方位角误差 $\pm 1.0^\circ \sim \pm 1.5^\circ$;以 500 m 井距为例在水平方向上偏差 $\pm 8.7 \sim \pm 13.1$ m,在垂直方向上偏差 $\pm 1.3 \sim \pm 1.74$ m。

由此可见,由于重力加速度传感器的误差大大小于磁通门传感器的误差,导致顶角误差很小,而方位误差较大。最终,在水平方向上,可靠的靶区宽度要求达到 $\pm 8.7 \sim \pm 13.1$ m,而在垂直方向上,可靠的靶区高度 $\pm 1.3 \sim \pm 1.74$ m。理想的靶区的形状应该是一个椭球形状,其长轴位于水平面内,而短轴位于铅垂面内。然而,在实际的溶解建槽过程中,真实的溶腔是一个倒锥体,它并不利于精确的连通作业。

单独依靠随钻测量仪实施中靶作业存在中靶率较低等问题。即使定向钻进工程师在轨迹设计、施工工艺上作出多种富有针对性的技术改进,仍难以从根本上提高中靶率。

3.2.2 采用高精度磁中靶系统引导时,对建槽尺寸的要求

高精度磁中靶系统作为一种近靶点引导工具,它具有精度高、消除传统 MWD 累积误差等优点,从原理上可保证中靶成功率。然而,与其它任何仪器一样,它同样也存在一定的测量误差。尽管它的误差很小,但随着人们对靶区的面积不断压缩,这个较小的误差也会影响中靶率。

3.2.2.1 系统硬件误差

表 1 显示了中国地质科学院勘探技术研究所开发的“慧磁”钻井中靶导向系统的主要技术参数,从表中数据可看出,钻头距离靶点越近,其误差越小。

表 1 “慧磁”钻井中靶导向系统的主要技术参数

序号	测距/m	距离误差/%	方位和顶角误差/ $^\circ$
1	50~70	<15	<5.0
2	50~30	<12	<3.0
3	30~20	<10	<2.0
4	20~10	<8	<1.5
5	<10	<5	<1.0

3.2.2.2 MWD 数据误差

高精度磁中靶系统的软件解析过程中需由 MWD 提供钻头的当前方位和顶角,以此作为基础数据参与解析计算。一般而言,MWD 的顶角误差很小,基本不影响解析结果;但 MWD 的方位误差在

$\pm 1.5^\circ$ 的范围内,最终可能导致解析结果存在最大 $\pm 0.5^\circ$ 的误差。

3.2.2.3 司钻估算误差

在水平井中的 MWD 的传感器被安装于无磁钻铤中部,距离钻头有大约 10~12 m。然而,磁中靶系统需要钻头方位和顶角数据参与计算,这时应由司钻根据工具面向角及螺杆马达的造斜强度来估算钻头处的方位和顶角。司钻在估算时,可能会出现 $0^\circ \sim \pm 1.5^\circ$ 的方位误差,由此可导致解析结果中的方位会产生大约 $\pm 0.5^\circ$ 的方位误差。

3.2.2.4 综合误差

综合误差由系统硬件误差、MWD 数据误差和司钻估算误差 3 项所组成。在这其中,MWD 数据误差和司钻估算误差是相对独立的,但系统硬件误差则是随钻头与探管间的距离的变化而变化。正常条件下的综合误差估算见表 2。

表 2 正常条件下的综合误差估算

距离靶点位置 /m	极限误差测量方向	MWD 的误差 / $^\circ$	司钻估算误差 / $^\circ$	系统硬件误差 / $^\circ$	综合角度误差 / $^\circ$	综合偏差 /cm
20	垂直方向	± 0.1	± 0.2	± 1.5	± 1.8	61.2
20	水平方向	± 0.5	± 0.3	± 1.5	± 2.3	78.2
10	垂直方向	± 0.1	± 0.2	± 1.0	± 1.3	22.1
10	水平方向	± 0.5	± 0.3	± 1.0	± 1.8	30.6

由表 2 可知,在垂直方向上,如果靶区能覆盖靶点上下 22 cm 的范围,即可满足中靶的要求,这对于靶井为直井的对接井而言,是很容易达到的,只要控制好循环注水管的下入深度位置在靶点上下 1 m 附近即可。

在水平方向上,综合偏差的极限值是 30.6 cm,这意味着在各种误差源的贡献全部趋于极值的情况下,要实现准确连通,靶区的半径 < 30 cm。事实上,这种极值状况并不常见,如果靶区半径达到 25 cm,那么在钻头的偏心振动及水流冲击的作用下,也是可以实现连通的。

3.3 工程实例

山东煤田二队在江苏淮安施工的一个盐井对接井组较好地说明了靶区的大小需求。该对接的靶井 SY4 是在 2006 年施工完成的一口垂直井,竣工后 7 年中未投入生产,井内结晶较严重。由于当时没有建槽,因此在施工水平井时,要求轨迹控制严格,实现精准中靶。

该水平井历经 3 次磁中靶作业才得以与靶井连通。第一次钻进至井深 2440 m,“慧磁”测量结果表明钻头在靶点左侧 2 m 处(因为泥浆马达的造斜率

不够,未能纠到靶点正中位置),结果未连通;第二次中靶作业首先起钻至井深 2349 m 进行侧钻施工,钻进至井深 2440 m,磁测量结果表明钻头在靶点右侧约 1.2 m,还是未能实现连通;第三次中靶作业将钻具退至井深 2366 m 进行侧钻,“慧磁”钻井中靶导向系统将钻头引导至以靶点右侧约 27 cm 处,最终在井深 2438 m 处实现两井连通。

3 次中靶作业证明该靶井的靶区没有任何扩腔。钻头分别自靶点左侧 2 m、右侧 1.2 m 和右侧 27 cm 经过,只有第三次才实现了连通。第三次中靶作业前虽然已知靶点位置,但关键是需要准确控制钻头轨迹,使之进入以靶点为中心、在左右方向上不超过 30 cm 的区间内。

4 靶井建槽方法

4.1 煤层气对接井的靶井建槽

煤是一种固体矿产,通常采用液体切割和机械切削相结合的方法来扩穴。由于煤层易坍塌,故扩孔直径宜控制在 60 cm 以内。通常,如采用“慧磁”

中靶导向系统进行引导钻进,扩孔直径控制在 0.5 m、扩孔段高度控制在 2~3 m,即可实现一次顺利连通,这已为大量的工程实践所证明。

在煤层中扩孔的基本步骤是:在套管固井候凝后下入扩穴钻头至预定位置,往钻杆内注入水、泥浆或高压空气;在压力流体的作用下,扩孔刀翼慢慢张开;在钻杆带动下转动,进行扩孔。

4.2 在可溶性矿产(盐、碱、芒硝等)中的靶井建槽

由于可溶性矿产具有易溶的特性,因而其靶井建槽宜采用注水建槽的方法。

在仅采用 MWD 导向、不采用“慧磁”钻井中靶导向系统的条件下,为提高中靶率,需要进行长时间的建槽;在既采用 MWD 导向、又采用“慧磁”中靶导向系统的条件下,一般不需要特别建立循环系统针对靶井进行建槽,仅采用钻机自带的泥浆泵在靶点处循环半天或一天,同样可实现连通。

4.3 不同矿层中的建槽或扩穴要求

在不同矿层中,为满足井组连通,对靶井的建槽方式及时间有不同要求,详见表 3。

表 3 不同矿层中的靶井建槽或扩穴要求

序号	对接井开采的矿	仅采用 MWD 导向时靶井的建槽要求	采用 MWD 导向和“慧磁”中靶导向系统协同工作时靶井的建槽要求
1	盐类(NaCl、KCl)	建立专门的常温水循环管路进行 10~20 天的建槽作业	无需专门建立循环管路进行建槽,仅在生产套管固井后采用钻机泥浆泵在靶点处循环 12~24 h 即可;注意在套管底部预留 3~4 m“口袋”
2	天然碱(Na ₂ CO ₃ + NaHCO ₃)	建立专门的热热水循环管路进行 30~50 天的建槽作业	无需专门建立循环管路进行建槽,仅在生产套管固井后采用钻机泥浆泵在靶点处循环 24~36 h 即可;注意在套管底部预留 3~4 m“口袋”
3	煤层气(CH ₄)	在硬煤中可扩穴到 1 m,但仍难以实现中靶,可能需要借助水力压裂方法实现连通	采用扩穴钻头扩孔到直径 50 cm 即可,注意在目的煤层中应采用玻璃钢套管取代钢套管

5 结论

在两井井距约为 500 m 时,采用传统的 MWD 引导水平井与垂直井连通时,需要在靶井的靶点处营造一个水平方向上 10~20 m、垂直方向上 2~3 m 的靶区;而高精度磁中靶技术在对接井连通作业的应用,极大地降低了靶井的建槽需求,采用机械扩穴钻头或简易注水循环建槽的方法,在靶点处形成一个直径约 50 cm、高度约 1 m 的靶区,即可满足精确连通的要求。

参考文献:

- [1] 史兵言,李玉良.煤层气扩孔钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):5-7.
- [2] 商敬秋,武程亮,刘汪威,等.无建槽直井的定向中靶作业[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):13-16.
- [3] 武程亮,商敬秋,陈建垚,等.两水平井“点对点”精确中靶对接施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):4-7.
- [4] 陈剑垚,胡汉月.SmartMag 定向钻进高精度中靶系统及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):10-12.
- [5] 胡汉月.人工磁导航定向钻进中靶系统研究[D].北京:中国地质大学(北京),2008.
- [6] 胡汉月.对接井中靶利器——浅谈近靶点测量技术的发展与应用[J].中国井矿盐,2007,38(4):27-31.

宁夏煤田地质局最大孔径钻孔诞生

《中国矿业报》消息(2014-7-15) 宁夏煤田地质局第一工程处近日完工的老石旦煤矿缓坡副斜井通风立眼孔孔径达 1200 mm,这是该局迄今施工的最大孔径的钻孔。

老石旦煤矿通风立眼钻孔为该矿技改项目,由于该缓坡副斜井巷道施工为独头掘进,通风机长距离供风困难。为解决这一难题,宁夏煤田地质局第一工程处决定为其在巷道 2700 m 处施工通风立

眼孔,该孔设计深 291 m,孔径 1200 mm。

由于该钻孔孔径大、技术要求高,施工中需穿越采空区与巷道,并需下入总重达 38 t 的套管进行悬空固井,故施工难度很大。为此,宁夏煤田地质局第一工程处制订了详细的施工设计与应急方案,采用空气潜孔锤与反井施工相结合的工艺组织施工,从而确保了这一钻孔的顺利竣工。