

# 两水平井“点对点”精确中靶对接施工技术

武程亮<sup>1</sup>, 商敬秋<sup>1</sup>, 陈剑焱<sup>2</sup>, 胡汉月<sup>2</sup>

(1. 山东省煤田地质局第二勘探队, 山东 济宁 272400; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**自煤层气水平对接井领域引入美国 Vector 公司生产的 RMRS 旋转磁测距系统以来,我国煤层气和水溶开采领域的定向对接井的施工技术取得了重大突破。然而,大多数应用仍局限于传统的 U 形井组,属于由一个垂直井和一个水平井组成的井组。而华晋焦煤柳林煤层气项目 DS 井组是由 2 个水平井组成的煤层气井组,采用国产“慧磁”钻井中靶引导系统使 2 井实现“点对点”对接。重点介绍了“点对点”精确中靶作业施工技术方法。

**关键词:**定向对接井;点对线;点对点;“慧磁”钻井中靶引导系统;煤层气井

**中图分类号:**P634.7   **文献标识码:**A   **文章编号:**1672-7428(2013)05-0004-04

**Accurate “Point to Point” Target Butting of Two Horizontal Wells/WU Cheng-liang<sup>1</sup>, SHANG Jing-qiu<sup>1</sup>, CHEN Jian-yao<sup>2</sup>, HU Han-yue<sup>2</sup>** (1. The Second Prospecting Team of Shandong Province Bureau of Coal Geology, Jining Shandong 272400, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Since the Rotary magnetic ranging system (RMRS) of America Vector Co. is introduced in CBM horizontal butted wells field, major breakthrough was made in the construction technology of directional butted wells both in CBM and solution mining industries in China. However, most application is still limited in U-shaped well group composed of a vertical well and a horizontal well. In a project of Huajin coking coal Co., DS well group is a coal-bed methane well group composed of 2 horizontal wells, by the target guidance system “Huici” which is made in China, “point to point” is realized. The paper introduced the technical methods of accurate “point to point” target construction.

**Key words:** directional butted wells; point to point; “Huici” target guidance system; CBM well

## 1 概述

20 世纪 90 年代,主动磁测量技术(Active magnetic ranging)诞生于美国,首先于石油行业得到应用,后来在煤层气、非开挖、煤矿救援井等范围得到拓展应用。2004 年以来,主动磁测量技术从美国进入中国市场,在石油、煤层气和采卤行业得到了越来越广泛的应用。2009 年,国产“慧磁”钻井中靶导向系统开发成功,并于 2011 年开始实现商用。

无论从美国进口的旋转磁测距系统(Rotary magnetic ranging system)系统,还是国产的“慧磁”钻井中靶导向系统,目前在国内的应用大多局限于 U 形井中靶作业方式,即靶井为直井的作业方式。通常,在靶井中下入磁测探管,采集水平井钻头处的强磁接头产生的旋转磁场,将采集的磁信号输入 PC 中,进行数据分析,得出当前钻头与靶井探管两者间的空间相对位置关系,调整钻进方向,使钻头准确进入靶区。

事实上,这种 U 形井中靶作业方式是一种“点对线”连通,它的靶区是一段直井段,并非真正意义上的“点对点”连通。2012 年 11 月中旬,我们承揽

并完成了华晋焦煤柳林煤层气项目 DS 井组施工工程,在使用 RMRS 仪器遭遇授权受限的条件下,启用了国产“慧磁”中靶引导仪器,完成了真正意义上的“点对点”对接施工,本文将介绍这种“点对点”中靶作业的实施过程和体会。

## 2 工程概况

### 2.1 工程来源及设计目的

华晋焦煤柳林煤层气 DS 井组位于山西柳林市曲河煤矿,其设计目的是探索井下瓦斯治理新方法,将地表钻井与巷道钻井结合在一起,形成采煤大巷周边的采气通道。如图 1 所示,该工程首先在煤矿井下巷道内施工一段钻孔,作为靶井;然后在地表施工一口水平井,进入煤层后落平,在煤层中穿行约 1000 m 后,与靶井连通,形成一个排水采气的通道。

### 2.2 地下水平靶井和靶区

DS 水平井组的靶井是自煤矿大巷巷壁开孔、向煤层钻进的一段上扬水平孔。该水平段长约 60 m,顶角约为 115°,方位约为 80°。该上扬井段采用小型坑道钻机施工,在主孔施工完成后,其孔底采用

收稿日期:2013-03-18

作者简介:武程亮(1980-),男(汉族),山西阳泉人,山东省煤田地质局第二勘探队煤层气公司定向工程部部长,电气工程及其自动化专业,从事定向井施工与管理工,山东省济宁市嘉祥县中心西街 3 号(开发区天幕公司 506),wxwerrorsx@126.com。

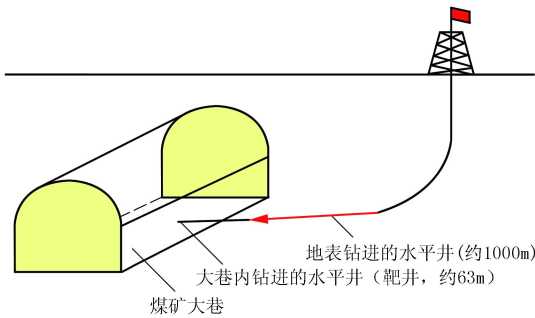


图1 华晋焦煤柳林煤层气 DS 井组示意图

Ø500 mm 钻头进行扩孔,扩孔长度约 3 m。扩孔的目的是增大靶区面积,以提高对接的中靶率。在扩孔完成后,在主孔内下入 Ø108 mm 钢管,避免在煤层中产生塌孔。

### 2.3 地表水平井施工

#### 2.3.1 水平井施工主要设备

水平井施工的主要设备见表 1。

表 1 DS 水平井施工主要设备表

名称	型号	数量	功率 /kW	制造 厂商	出厂 时间	使用 年限
钻机	T130DX	1 台		美国	2006.01	15
柴油机	12V190	2 台	588	济南柴油机厂	2006.03	15
柴油机	6135	2 台	88	贵州柴油机厂	2005.09	15
泥浆泵	3NB1300	1 台		兰州石油机械厂	2001.05	15
泥浆泵	TBW-1200	1 台		石家庄	2000.05	10
发电机	MY-200、MY-100	2 台		山东汶上	2005.04	10
测量系统	MWD 仪器	2 套		北京海蓝科技	2006.03	5
无磁钻铤	Ø121mm	2 根		中原特钢	2006.01	15
螺杆	Ø120mm	2 根		天津立林	2007.07	

#### 2.3.2 主要钻井技术参数

DS 水平井主要钻井技术参数见表 2。

#### 2.3.3 井身结构及钻具组合(见表 3)

表 2 DS 水平井钻井技术参数

序号	层位	井段/m	钻头			钻进参数			
			类型	直径 /mm	循环介质类型	钻压 /kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	排量 /(L·s <sup>-1</sup> )	泵压 /MPa
一开	第四系 - 上石盒子组	0.00 ~ 55.00	三牙轮	311.15	膨润土浆	10 ~ 30	20 ~ 30	30	6
二开	上下石盒子组、山西组	55.00 ~ 522.00	三牙轮	215.9	清水聚合物、清水	30 ~ 50	滑动 + 复合	30	8
三开	山西组	522.00 ~ 1582.00	PDC	152.4	清水	10 ~ 20	滑动 + 复合	30	10

表 3 DS 水平井井身结构及钻具组合

序号	井身结构	套管程序	钻进井段/m	钻具组合
1	Ø311.15 mm × 55.00 m	Ø244.5 mm × 55.00 m	0 ~ 55.0	Ø311.15 mm 牙轮钻头 0.30 m + 630 × 4A10 接头 0.52 m + Ø159 mm 钻铤 3 根 26.14 m + 4A10 × 310 接头 0.33 m + Ø121 mm 钻铤 2 根 17.84 m + Ø89 mm 钻杆 1 根 9.87 m
2	Ø215.90 mm × 522.00 m	Ø177.8 mm × 520.15 m	55.0 ~ 522.0	Ø215.9 mm 牙轮钻头 0.24 m + Ø165 mm 螺杆 7.64 m + 回压凡尔 411 × 410 0.36 m + 定向接头 411 × 410 0.59 m + Ø127 mm 无磁承压 9.22 m + Ø127 mm 钻杆 52 根 504.11 m
3	Ø152.40 mm × 1582.00 m		522.0 ~ 1582.0	Ø152.4 mm PDC 钻头 0.27 m + Ø121 mm 螺杆 5.42 m + Ø121 mm 定向接头 0.53 m + 331 × 310 回压凡尔 0.28 m + 311 × 310 定向接头 0.57 m + Ø121 mm 无磁钻铤 2 根 18.36 m + Ø89 mm 钻杆 160 根 1556.79 m

## 3 “点对点”中靶作业方式

### 3.1 基本概念

所谓“点对点”方式,实质上是针对“点对线”而言的。在旋转磁测距系统诞生前,对接井的设计大多选择了一个水平井加一个垂直井的 U 形井方式,其目的是提高中靶的机率。在旋转磁测距系统实现推广使用后,由于中靶精度得以大幅度提高,2 个水平井的相互对接方式逐渐被采用。图 2 是典型的“点对点”连通方式。

### 3.2 两种作业方式的差别

#### 3.2.1 靶区面积不同

常规作业方式,以垂直井作为靶井,其底部采用扩孔钻头扩径,形成一段直径约为 50 ~ 60 cm 的靶区井段,其长度约为几米到十余米。在“点对线”

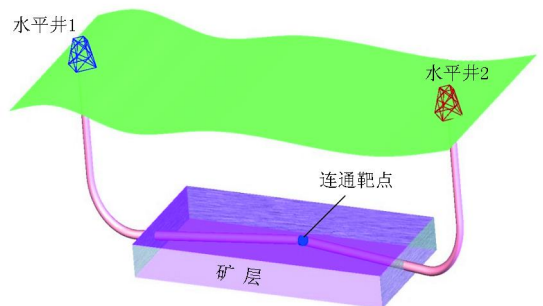


图 2 “点对点”连通示意图

方式下,靶区是一段直孔,其靶区较大,在垂直方向上出现 3 ~ 5 m 的测量误差并不影响中靶结果;而在“点对点”方式下,靶区面积缩减为一个直径与靶井底部直径相同的圆形区域,这时,无论是平面方向上还是立面方向上出现偏差,都可能导致中靶失败。

由于靶区面积较小,因为在“点对点”中靶作业方式下,作业难度较高,对测量精度和控制精度都要求极高。

### 3.2.2 测量波形特征不同

基于磁场传播理论可以推导出:当2个水平井井身轨迹近似在同一条直线上、且方向相反时,位于靶井中的探管的轴线磁分量将趋于0。这一现象在

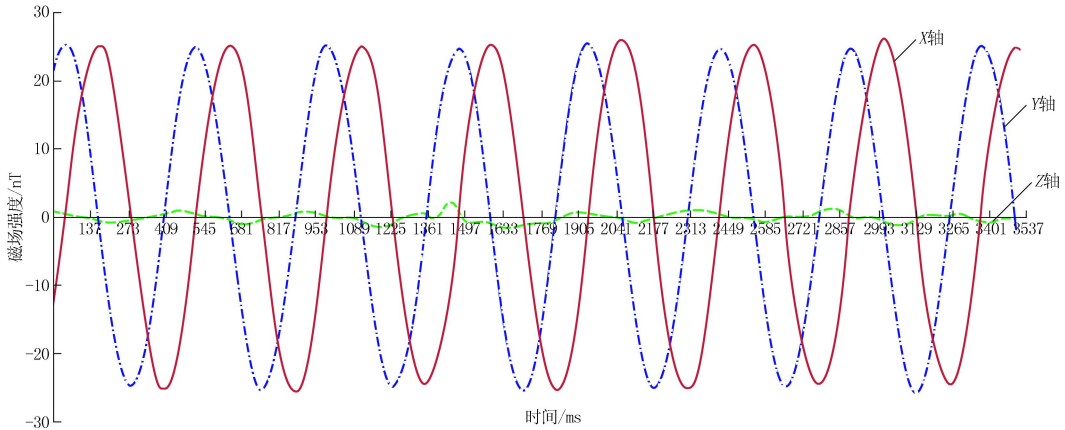


图3 探管轴线与钻头轴线重合时数据图(地表试验)

而在传统的“点对线”方式下,如果出现这种“测量盲区”现象,则可以通过上提或下放探管一段距离(3~5 m),即可使Z轴磁分量波幅得到提升,其波形质量可得到明显改善。

### 3.2.3 探管下入靶点的方式不同

“点对线”方式下,靶井是垂直井,因为采用铠装电缆利用探管自重即可将探管下入井底靶点处;“点对点”方式下,靶井段是接近水平的井段,需要采用水力冲下探管或钻杆送入探管的方式。

## 4 本工程对中靶作业的特殊要求

### 4.1 巷内进行中靶测量

靶井位于大巷内,探管需由位于大巷内的水平井中下入靶点位置,因此信号电缆也必须经由该水平井孔口引出。如果将信号电缆经斜井或通风井引到地面,则需要数千米电缆,且不是走直线铺设,因此布线难度较大。除此之外,过长的线路易受巷内杂散电流干扰,对信号的采集产生负面影响。因此,最终选择将中靶测量作业放在大巷内完成。

由于磁测量仪器必须置于井下大巷内,因此,所有配套装置必须满足井下防爆作业要求。经检验,“慧磁”钻井中靶导向系统的工作电压为直流DC12.7 V,且无外漏带电导线或端子等,符合井下仪器作业防爆要求。

### 4.2 靶点坐标数据不准确

“点对点”中靶作业时得到了验证。

在本次工程施工中,当钻头距靶井60 m时,探管也探测到强磁接头发出的信号,但Z轴磁分量却始终无法得到与其它两轴同一数量级别的波幅(如图3所示),这使得波形解析的精度较低。直到钻头与靶点两者距离约为50 m以下时,Z轴磁分量才得以上升,这时可计算出精度较高的测量结果。

在本次工程中,靶井井口位于井下大巷内,其井口坐标只能参照巷内其它标志点进行推算,因此其准确性存在较大的不确定性。

### 4.3 通讯

由于靶井与水平井两者分属地表和地下,所以传统的无线通讯如对讲机、移动电话等均无法实现通讯,而在采集磁信号时,这种通讯又是必不可少的,因此,在大巷中靠近靶井井口处安装了有线电话,以此保证巷内测量人员与机台工作人员之间可有效地通话,控制采样时间。

### 4.4 探管下入

本工程采用油田常用的抽油杆将探管送入孔底,探管信号电缆透明胶带捆绑在抽油杆的顶弧上部,避免在送入过程中与孔底产生摩擦。

## 5 中靶作业过程

### 5.1 第一次中靶作业

2012年11月7日,水平井井深钻进至1510 m处,按照水平井中心坐标和靶点坐标计算,此时钻头距离靶井底部(靶点)约60 m。在距离靶点40.6 m时,磁测量结果表明,如果按当前273°的方位继续钻进,那么钻头将在靶点左侧35 m处经过,钻头与靶点间的连线磁方位约为333°(见图4)。

水平段钻进使用的5LZ120型泥浆马达在煤层中的造斜能力仅为0.2°/m,很明显,在40 m的钻进

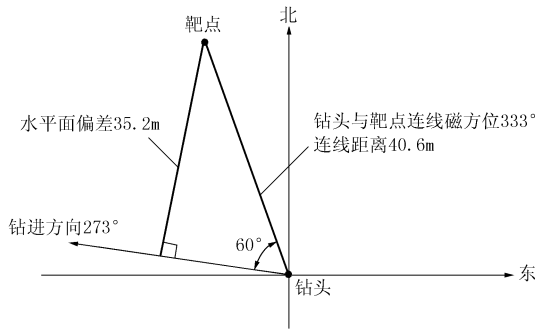


图4 第一次中靶作业测量结果的水平投影图

轨迹中纠回 $60^\circ$ 的方位角偏差是不可能的,因此放弃继续钻进,准备后撤分支后再进行中靶引导作业。

究其原因,出现较大的中靶偏差主要是因为靶点坐标计算误差过大。第一次中靶作业虽未成功,但它提供了靶点位置,为下一次继续钻进给予了基本方向。

## 5.2 第二次中靶作业

按照第一次中靶作业测量的结果,后撤钻头至井深1480 m处开始侧钻分支。2012年11月12日,在钻进至井深1520 m时,在靶井中下入“慧磁”磁测探管,开始引导钻进作业。然而,在测量距离约为60~50 m时,出现在磁分量中的Z值的幅值过小,且有较大的畸变,这直接导致了波形解析结果的精度较低。继续往前钻进,及至测量距离为50.7 m时,测量精度大幅提高,但这时方位偏差达 $13.2^\circ$ (见表4)。按照螺杆马达 $0.2^\circ/\text{m}$ 的造斜率计算,即使全力减方位,钻头也仅能钻至靶井右方5 m的位置,因为靶区直径仅为50 cm。显然,中靶存在较大的不确定性。最后决定终止当前钻进,撤回分支,重新对正靶点,实施第三次中靶作业。

表4 中靶测量结果

测次序号	距离/m	井斜偏差/ $(^\circ)$	方位偏差/ $(^\circ)$	精度
1	50.7	-2.8	13.2	1.10
2	46.4	-1.4	12.0	1.17
3	42.9	-1.0	11.4	0.74
4	38.8	-1.3	11.5	0.32

注:(1)精度系统越小,表明误差越小;精度1.0~2.0时,数据可定性;精度0.05~1.0时,数据可定量。(2)井斜偏差为正值,表明钻进方向有向上方的偏差,反之有向下的偏差;(3)方位偏差为正值时,表明钻进方向有向右方的偏差,反之有向左的偏差。

第二次中靶失利的主要原因可总结为:(1)当靶井与水平井轨迹几乎在同一轴线时,探管中的Z分量幅值过小,这属于设计造成的先天性缺陷,但结果导致解析精度过低,错失了60~50 m这一段最佳纠斜时机;(2)选用的螺杆马达在煤层中的造斜能

力过低。

## 5.3 第三次中靶作业

按照第二次中靶测量结果,再次后撤钻头至井深1504.22 m处开始侧钻分支,在钻进至井深1520 m时,在靶井中下入“慧磁”磁测探管,开始引导钻进作业。2012年11月14日,最后一次测量作业显示钻头在水平方向的偏差量为0.18 m,在垂直方向上的偏差量为0.42 m。测量完毕后,提出在靶井中的探管,并关闭靶井套管末端的截止阀,安排人员观察截止阀前端的压力表。

井深至1582.00 m时,巷内观察人员观察到压力表水压上升,于是打开截止阀,发现有压力泥浆流出,表明水平井与靶井已连通。

## 6 结论和认识

华晋焦煤DS井组是国内首次采用地面施工水平井与巷道施工的水平井进行连通的工程。该井组正式运行后,其产气量达 $16000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,取得了良好的采气效果。

(1)华晋焦煤DS井组的竣工为煤层气开采提供了一种全新的方法。在地表安置钻机向巷内周边区域钻进大位移水平井,克服了巷内钻井的局限性,相对于传统的井下钻井瓦斯排采方法,这种方式可获得较长的采气水平井段。

(2)常规煤层气对接井开采是在地表抽水,地表排气,而DS井组依靠重力即可排水,可实现井下排水,井下采气。

(3)DS井组的水平井与靶井近似在一条直线上,在中靶测量作业时会产生一个“测量盲区”,加大了施工难度。

(4)国产对接仪器“慧磁”钻井中靶导向系统具有无需外供电、体积小、中文软件界面等优点,可精确测量钻头与靶点之间的方位偏差、顶角偏差和距离,完全可满足两水平井之间的“点对点”对接的要求。

## 参考文献:

- [1] 陈剑焱,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.
- [2] 隆东,张新刚,岳刚,等. HO24U井施工工艺及精确中靶技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):5-8,12.
- [3] 胡汉月,向军文,刘海翔,等. SmartMag定向中靶系统工业试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(4):6-10.
- [4] 刘志强,胡汉月,史兵言,等. 煤层气多分支水平井技术探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(6):6-9.
- [5] 姚爱国,高辉,方小红. 定向钻进技术的发展与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):62-65.