

SmartMag 定向中靶系统工业试验研究

胡汉月¹, 向军文², 刘海翔¹, 陈剑焱¹

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要: SmartMag 定向中靶系统由安装于钻头后部的磁信标、安装于靶井中的磁信号采集探管、地表接口箱和磁信号解析软件等组成, 它通过测量磁信标在钻进过程中所产生的动态磁场, 从而解析出钻头和靶点之间的相对位置参量, 最终引导钻进进入靶区或避让靶区。介绍了 SmartMag 定向中靶系统在土耳其贝帕扎里天然碱矿采集卤钻井工程中的工业性入井试验的应用情况。该系统在前期研发中打下了良好的技术基础, 因此在首次入井试验中就取得了一次中靶的良好效果。

关键词: 定向钻进; 中靶; 靶区; 对接井; 水平井

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2010)04-0006-05

Industrial Test Research on SmartMag Target-hitting Guidance System/HU Han-yue¹, XIANG Jun-wen², LIU Hai-xiang¹, CHEN Jian-yao¹ (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Built with a magnet beacon sub, a magnetic signal acquisition unit, a magnetic sensor probe and a set of professional analysis software, SmartMag target-hitting guidance system interprets the geometry position correlation between the drilling bit and the sensor set in the target borehole and finally guides the drilling reaching or avoiding the target area. The paper introduced industrial test trial on SmartMag target-hitting guidance system. Based on the earlier researches, the successful operation results have been achieved during the practical test trial of the system.

Key words: directional drilling; target hitting; target area; intersected well; horizontal well

1 概况

1.1 项目开发背景

SmartMag 定向中靶系统源于中国地质调查局 2008 年立项的“高精度定向钻进中靶系统研究”项目。该项目旨在通过试验研究建立起定向钻进中靶模型, 引导钻进进入靶区, 实现精确中靶。其应用范围包括煤层气开发、盐卤等固体矿产的水溶开采和重力辅助蒸汽驱开采稠油矿等。

1.2 系统组成及工作原理

在硬件方面, SmartMag 定向中靶系统由旋转磁信标、探管、地表接口箱和笔记本电脑等组成。在软件方面, SmartMag 定向中靶系统由磁场信号采集与解析程序、结果分析程序和加密程序所组成。

如图 1 所示, 旋转磁信标安装于泥浆马达输出轴上, 其末端连接钻头。在泥浆马达驱动下, 磁信标与钻头一起旋转, 从而产生一个动态的旋转磁场。

测井绞车将探管下入目标井内靶点深度处, 采

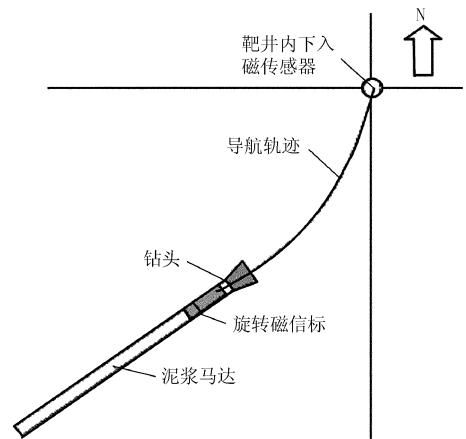


图 1 SmartMag 定向中靶系统工作示意图

集旋转磁信标产生的信号, 传输至地表接口箱。

地表接口箱用于向孔底探管提供电源供应, 并与探管之间进行数据通讯, 最终将信号传输传送给笔记本电脑, 完成数据采集工作。

笔记本电脑用于处理从接口箱接收的原始信

收稿日期: 2010-01-20

基金项目: 本论文内容源于中国地质调查局 2008 年立项的“1500 m 全液压地质取心钻探技术研究”的子课题“高精度定向钻进中靶系统研究”

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副经理、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, huhanyue001@hotmail.com。

号,进行解析后,最终计算出钻头与靶井之间的距离、顶角和方位偏差。

1.3 前期研究成果

SmartMag 定向中靶系统研究始于 2007 年年初,按拟定的技术路线,经过试验平台的建立、试验模型的建立、室内模型试验和室外模型试验,已取得了丰富的阶段性成果。野外地表试验表明:(1)在距离靶区 50~40 m 的范围内,该系统的测量和解析的顶角和方位偏差在 $\pm 3^\circ$ 以内,距离偏差为 $\pm 3\%$ 以内;(2)在距离靶区 40~30 m 的范围内,该系统的测量和解析的顶角及方位在 $\pm 2^\circ$ 以内,距离偏差为 $\pm 3\%$ 以内;(3)在距离靶区 30 m 以内的范围内,该系统的测量和解析的顶角及方位在 $\pm 1.5^\circ$ 以内,距离偏差为 $\pm 1.5\%$ 以内。这表明 SmartMag 定向中靶系统研究已具备了入井试验的基本条件。

1.4 系统特点

(1) SmartMag 定向中靶系统着重测量近靶点(60 m 以内)距离和方位,克服了传统 MWD 产生累计误差的固有缺陷,其偏差并不依赖于井距,因此其靶区直径可低至 1 m。

(2)传统的 MWD 系统通常以单多点(EMS)仪进行轨迹复检。但是,以同一种方法进行同一地点的轨迹复检,并不可靠。SmartMag 定向中靶系统抛开地磁,以人工营造磁场的方式检测钻头与靶点之间的方位和距离,具有异类方法检测的优势。

(3)采用传统 MWD 系统导航钻进,即使实现了连通,其中靶精度也不可获知,对该地区以后的钻井作业没有指导借鉴作用。SmartMag 定向中靶系统可总结出某一地区某种型号的 MWD 可能产生惯性偏差,从而对以后的钻井作业提供纠正偏指导。

(4)该系统具有距离靶点越近、测量信号越强、解析精度越高的特点。

1.5 工业性试验的目的

工业性入井试验是 SmartMag 定向中靶系统研究项目最后也是最重要的一环。由于直接应用于实际生产,因此入井试验可提供大量的第一手资料。

(1)考核系统入井作业的可靠性,包括信号传输、探管抗压、温度适应性和抗环境干扰能力等;

(2)检验系统的中靶精度;

(3)对比空气和大地地层分别作为磁传导介质时两者对测量解析精度的影响;

(4)检验钢套管对磁探管中的传感器的数据影响程度;

(5)检验解析软件的工作稳定性。

2 工业性入井试验

2.1 试验工地介绍

试验工程地处土耳其安卡拉省贝帕扎里镇,距首都安卡拉约 200 km。贝帕扎里天然碱矿是土耳其境内迄今为止发现的最大的天然碱矿,其地质储量为 2.37 亿 t。由于该矿埋深较大,硐室开采成本较高,因而采用了具有国际先进水平的对接井钻进与水溶采集卤相结合的开采方案。其中约 70000 m 的钻井工程由中国地质科学院勘探技术研究所承包施工。

2.2 试验基本条件

2.2.1 试验井组(H004LB)介绍

如图 2 所示,此次对接工程共由 4 个单井组成,其中水平井一口,垂直井即靶井共 3 口。水平井与 3 口靶井的地面距离分别为 196.5、352.8 和 567.8 m。四井连线基本在一条直线上,连线方位为磁北 14.5° 。井组施工完成后,在 L3 天然碱矿层中形成一个水平采矿通道,采用水溶采矿法获取天然碱卤水,最终加工成固体纯碱。试验井组各单井技术参数见表 1。

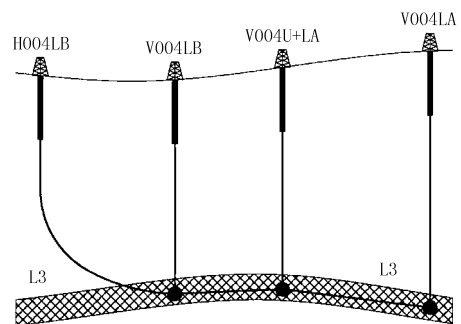


图 2 试验井组排布示意图(L3 为目标矿层)

表 1 H004LB 井组各单井技术参数

项目	井号	完井深度 /m	技套下入深度 /m	技套规格	目标开采矿层	目标矿层厚度 /m
水平井	H004LB	893.42	499.81			
第一靶井	V004LB	424.25	395.65	J55Ø139.7 ×7.72 mm	Layer3	1.3
第二靶井	V004U+LA	427.20	391.80		(L3)	1.4
第三靶井(终靶)	V004LA	455.48	415.50			1.5

2.2.2 主要施工设备及钻具

钻机:TSJ2000A 型

泥浆泵:QZ3NB-350 型和 TBW1200/7B 型

固井车:Huanghe-300 型

测井绞车:P-TDC-I-F3500m

螺杆马达:立林 5LZ95A × 7.0 (用于水平钻进),立林 5LZ120A × 7.0 (用于造斜钻进)

2.2.3 测井仪器

博创 AMS-27 随钻测斜仪, SmartMag 定向中靶系统。

2.3 中靶作业要求

按照设计要求,第一靶井和第二靶井不可直接连通,但钻进轨迹必须从靶井侧面 3~5 m 处经过,而且在垂直方向上必须位于矿层内。第三靶井作为最终靶点,必须以钻进方式直接钻通。

控制钻进不与第一靶井和第二靶井直接连通的目的是为了保证整个钻进过程中有一个正常的泥浆循环系统。一旦与第一靶井和第二靶井发生相连通,大量的高浓度碱水(180 g/L)将参与泥浆循环系统中,可能产生泥浆马达寿命缩短、套管内碱结晶无法施加钻压等不利因素。

当终靶连通后,建立起整个采矿通道的水溶循环,以水力溶解方式连通第一靶井和第二靶井。

2.4 中靶作业试验

中靶作业概况见表 2。

表 2 中靶作业概况

靶点	试验测试日期	测点 / 个	采集数据量 / 次	磁接头种类
第一靶井	2009.9.17~22	5	29	Ø120 mm 蜂窝分布型和 Ø95 mm 柱状线性分布型
第二靶井	2009.9.26	4	19	Ø95 mm 柱状线性分布型
第三靶井(终靶)	2009.9.30	4	20	Ø95 mm 蜂窝分布型

2.4.1 第一靶井 V004LB 避让作业

V004LB 为水平井中的第一个靶点,表 3 为其 5 次测量的参数。

表 3 第一靶井位置解析结果

测点	钻进参数				解析结果		
	传感器与靶点之间的高差/m	当前钻杆顶角/(°)	当前钻杆方位/(°)	水平井井深 MD/m	当前钻进方向与钻杆和靶点连线的立面夹角/(°)	当前钻进方向与钻杆和靶点连线的平面夹角/(°)	钻头与靶点的距离/m
1	3	85.3	15.5	500.9	-1.2	5.7	37.2
2	3	85.9	15.7	503.9	-0.5	6	33.9
3	3	88.1	15	510.9	4.75	8.3	27
4	3	90	14.4	521	8.7	13	15.7
5	3	89.3	15.3	529	18.9	30	7.76

如图 3 和图 4 所示,最后一次测量数据显示:(1)在垂直方向上,钻杆将从靶点以下约 0.5 m 处穿过,这表明钻进是在矿层中穿行的(该处矿层厚度约 1.3 m);(2)在平面范围内,钻头从靶点右侧(上方为正磁北)约 4 m 处穿过,因而控制其钻进轨迹不与靶井连通。实际的作业证明,该靶井没有直接钻进连通,其避让作业是成功的。

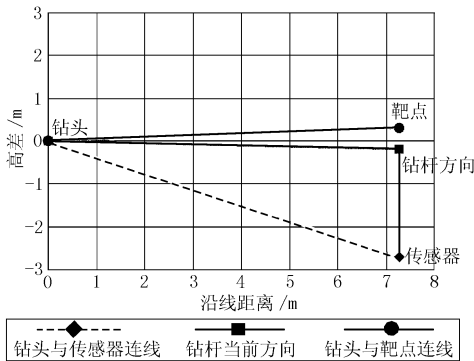


图 3 钻头距离第一靶点 7.8 m 处的相对位置立面示意图

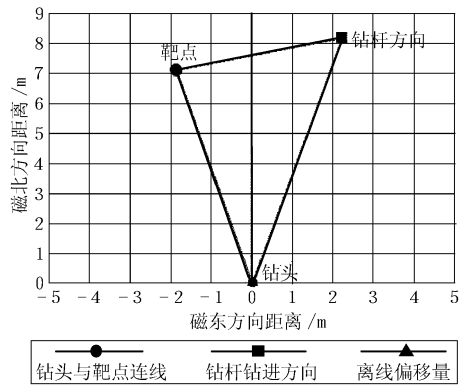


图 4 钻头距离第一靶点 7.8 m 处的相对位置平面示意图

靶点底部 0.3 m、右侧 3.1 m 处穿过。

2.4.3 第三靶点(终靶) V004LA 中靶作业

V004LA 为水平井中的第三个靶点(终靶),与前两次中靶的目的不同,第三靶点是需要直接中靶连通的。表 4 为其 4 次测量的参数。

图 5 和图 6 分别是 4 次中靶测量结果的立面位置解析图和平面位置解析图。图中 1、2、3、4 为四次测井时钻杆的位置, T1、T2、T3 和 T4 分别为解析出的、对应的靶点位置。从图中可看出, T1、T2、T3 和 T4 比较集中,这表明 4 次测量的解析结果具有较好的一致性。

2.4.2 第二靶井 V004U + LA 避让作业

V004U + LA 为水平井中的第二个靶点。第二靶井的中靶作业与第一靶井基本相同,也是属于避让作业。限于篇幅,不作赘述。实际结果是钻头从

表 4 第三靶点位置解析结果

测点	钻进参数				解析结果		
	传感器与靶点之间的高差/m	当前钻杆顶角/(°)	当前钻杆方位/(°)	水平井井深 MD/m	当前钻进方向与钻杆和靶点连线的立面夹角/(°)	当前钻进方向与钻杆和靶点连线的平面夹角/(°)	钻头与靶点的距离/m
1	3.7	88.1	13.4	856.8	2.64	-2.4	38.77
2	3.7	89.5	15.4	866	6.2	-0.12	27.74
3	3.7	89.5	16.5	875.3	8.11	2.7	18
4	3.7	91.2	15	884.8	21.74	4	8.48

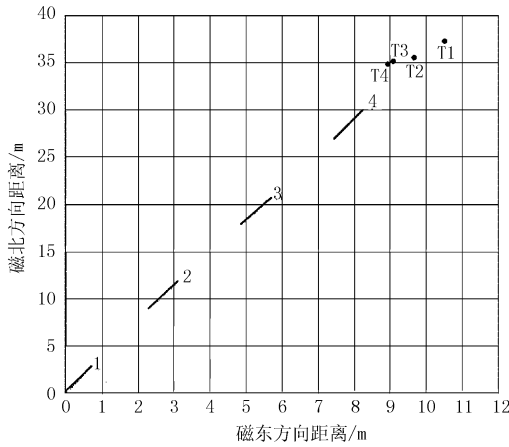


图 5 中靶靶点位置平面解析图

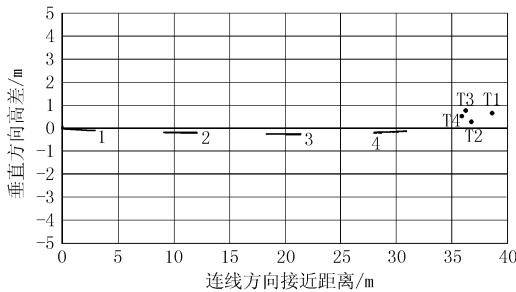


图 6 中靶靶点位置立面解析图

数据表明,最终接近靶点时,钻进的平面偏差约为 0.5 m,垂直偏差约为 0.6 m。实际钻进作业成功地实现了一次钻进直接中靶。在距离靶点中心约 1.3 m 时,钻具突然放空,无返浆,在第三靶井处同步观察到大量卤水涌出井口。

3 分析

3.1 磁矩值对解析精度的影响

图 7 和图 8 是在水平钻进时采用两种不同磁信标接头所采集的磁三分量结果。两次测量中,钻头距离靶点的距离都是 38 m,但获取的磁信号质量相差很大。

造成这种结果的原因是两种磁信标接头的磁矩值不同。尽管采用了等重量的磁材料,但由于磁单元的排布方式不同,最终导致磁矩值有较大的差异。很显然,蜂窝状排布的磁信标比圆柱状线性排布的

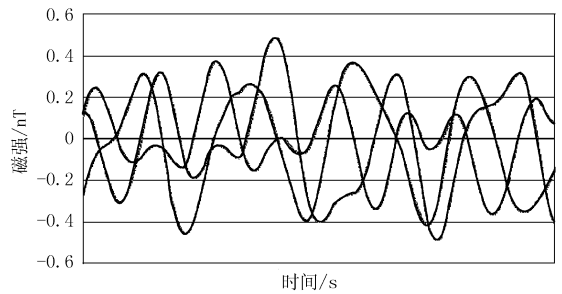


图 7 采用 Ø95 mm 柱状线性分布式磁信标在 38 m 处采集的波形

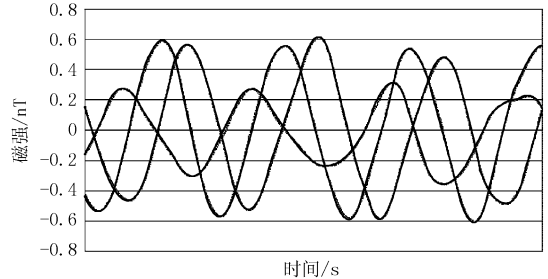


图 8 采用 Ø95 mm 蜂窝状分布式磁信标在 38 m 处采集的波形

磁信标具有较大磁矩值。

3.2 大地磁传导的影响

SmartMag 定向中靶系统前期试验研究都是在地表上进行的。与地表试验不同,在入井试验中,磁传导介质不再是空气了,而是各种不同岩性的地层。不同岩性的地层具有不同的相对磁导率,因而可能会对磁传导效果造成一定的影响。

在试验矿区中,勘探表明目标碱层所在的 Hirka 组内存在少量的硫铁矿成份。硫铁矿属于铁磁性矿体,但是由于其分布量较小,试验结果显示,磁传导基本不受其影响,解析精度也不受其影响。

3.3 铁磁性套管对探管中的磁传感器的影响

本次试验的井组全部采用钢套管固井,因而当探管中的磁传感器与钢套管之间的距离较近时,某些磁矢量会受到不同程度的影响。试验表明,磁传感器与钢套管之间的距离必须大于 1.5 m,否则会影响最终的解析精度。

为避免这种磁干扰,可以采用一根玻璃纤维套管作为最底部的套管。

3.4 系统可靠性及工业应用评估

截止2010年1月15日,SmartMag定向中靶系统在土耳其Beypazari天然碱采集卤钻井三期工程中已完成5个井组共8次中靶测量作业,其中2次为避让作业,6次为中靶作业,均取得了预期的效果。一次中靶率达100%,这表明该系统的测量精度完全满足靶区直径为1m的中靶要求。

然而,一套完善的中靶测量系统需要经过数十次甚至上百次的入井试验,才能最终实现工业化应用。下一步,该系统将分别在盐卤对接井、CBM开采井、非开挖铺管工程、煤矿通风井和稠油蒸汽重力开采应用等领域实施试验研究,并在大量的工业试验基础上,改进软硬件设计,最终实现其工业化生产的目的。

4 结论

(1)大地地层的相对磁导率非常接近1,其磁传导特性与空气介质基本相同,不影响钻头相对靶点的位置的解析精度。

(2)中靶结果解析精度与磁接头磁矩值相关。 $\varnothing 120$ mm蜂窝磁信标、 $\varnothing 95$ mm蜂窝磁信标和 $\varnothing 95$

mm柱状线性磁信标的有效距离分别为50、45和35m。

(3)磁信号的质量与转速稳定性有关,当泥浆泵输出排量出现脉动时,泥浆马达转速不稳定,此时磁信标所产生的磁场波形也相应的发生了畸变,最终会导致测量结果解析精度的下降。

(4)SmartMag定向中靶系统首次入井取得了一次钻进直接中靶的良好效果,这表明其测量精度较高,完全能够满足对接井中靶与避让作业的要求。

参考文献:

- [1] 胡汉月.对接井中靶利器[J].中国井矿盐,2007,38(2):27-31.
- [2] 胡汉月,向军文,董迪壮.土耳其贝帕扎里天然碱矿钻井工程MWD实地校核[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(7):1-4.
- [3] 周铁芳,向军文.采卤对接井钻井技术在井矿盐中开采中的应用[J].中国井矿盐,1996,(1).
- [4] 胡汉月,刘强.岩石非开挖冲击回转导向钻进施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):85-91.
- [5] 胡汉月,陈庆寿.RMRS在水平井钻进中靶作业中的应用[J].地质与勘探,2008,44(5):89-92.

2000 m地质岩心钻探关键技术与装备研制成功

本刊讯 2010年4月10日,应用中国地质科学院勘探技术研究所最新研制的YDX-5型全液压地质岩心钻机(设计钻深能力2000m)及N级口径($\varnothing 76$ mm)绳索取心钻具施工的山东省乳山金青顶金矿区ZK43-1孔顺利结束,终孔深度达到2212.80m。这一钻进深度创造了目前国内全液压地质岩心钻机最大应用深度纪录。此前,ZK43-1钻孔曾使用该钻机和H级口径($\varnothing 95$ mm)绳索取心钻具钻进1461.90m,随后下入了相同深度的 $\varnothing 91$ mm \times 4.5 mm技术套管,创造了国内H级绳索取心钻进深度及岩心钻探套管应用深度的两项最深纪录。ZK43-1钻孔自2009年8月1日开钻,至2010年4月10日终孔,全孔平均钻进时效为1.64 m/h,岩心采取率为98.75%,钻孔质量优良。

“863”重点项目“2000 m地质岩心钻探关键技术与装备”研究成果,是由中国地质科学院勘探技术研究所牵头负责联合北京探矿工程研究所、中国地质科学院探矿工艺研究所、中国地质大学(武汉)、吉林大学、中国地质装备总公司等多家单位联合攻关共同完成的。成果包括YDX-5型全液压岩心钻机、高压泥浆泵、泥浆制备固控设备、高精度钻探参数监测系统钻探设备,及不对称梯形螺纹扣型的高强度绳索取心钻杆、大深度绳索取心液动锤、超高胎体二次镶焊金刚石钻头、新系列高强度套管、不提钻换钻头钻具等先进工艺器具。

YDX-5型岩心钻机在大通孔氮气弹簧卡盘、长行程给进桅架、多挡无级调速动力头等核心部件和关键技术方面取得了突破,具有钻进能力大、工艺适应性强、稳定性好、移动

便利、使用维护方便等特点。配套液压泥浆泵在使用孔底动力机具的高高压工况下实现连续稳定的运转。泥浆制备固控设备确保了钻孔冲洗液性能稳定,有效地防止了绳索取心钻杆内壁结垢。钻探参数监测系统确保了钻孔施工安全,明显降低了钻孔事故率。高强度双密封不对称梯形扣绳索取心钻杆(N级及H级口径两种规格)采用了新开发的XJY-850无缝合金钢管材,管材机械性能达到国际先进水平,几何精度明显提高。钻杆韧性好、强度高,耐磨性、密封性明显改善,螺纹副拧卸扭矩低。大深度绳索取心液动锤在高背压条件下稳定工作,提高了钻探效率,降低了钻孔弯曲度。超高胎体二次镶焊金刚石钻头硬岩最长使用寿命超过110m,大大减少了钻探辅助时间。新系列高强度套管明显降低了钻孔环空流体阻力损失,保证了深孔技术对策的顺利实施。

ZK43-1钻孔试验示范工程高质量圆满完成,标志着2000 m地质岩心钻探关键技术与装备研制成功。

