

随钻测量技术 (Measurment—While—Drilling) 被美国工业专家们简称为: MWD技术。该技术具有以下优点:

1. 能够同时完成钻进和测量任务;
2. 能够在钻进过程中及时地提供钻孔的地层压力、温度、视电阻率、自然电位和含可燃性气体或放射性等地层性能, 及时判明地层情况和发现矿层;
3. 能够及时、准确地测量钻进参数和孔底钻头工作状态, 有利于进行钻进工艺自动化和钻进参数的最佳控制, 并预防钻孔事故;
4. 能够及时、准确地掌握钻孔的孔斜情况, 在进行定向钻探时, 在地面上能够随时掌握钻孔的方位角、顶角和造斜工具面向角, 使定向钻探顺利进行;
5. 有利于矿床特性测量的研究和钻探方法机理的研究。

总之, 随钻测量技术在安全、定向钻探、钻进效率、地层评价等四个方面可及时提供50多个测量参数。

一、国内外随钻测量技术研制概况

目前, 国外研究随钻测量技术的国家, 主要有美、苏、法、英、西德等。苏联随钻测量技术应用于钻进参数测量的项目较多。法国主要研制杆杆电钻方面的随钻测量。英国、西德和美国研制的技术方法基本相同, 而以美国的技术最为全面和先进。第一种实用的仪器是美国布朗杰克逊 (Brown, Jackson) 公司生产的泥浆压力脉冲随钻测斜仪, 其资料出现在1960年。从70—77年, 美、英、法、西德等在这方面发表的有关专利就达50项之多。

MWD技术的发展, 吸引了几个国家的40多家公司, 每年花费总钻井科研费的四分之一, 约一千万美元。此项技术排在钻头和井底动力研究之前, 预计MWD系统的市场潜力到85年可望超过5亿美元/年, 将形成钻井仪表发展的一个高潮。目前统计共有二十一种定型MWD工具, 其中有七种可商业经销, 有七种正在现场试验, 另外七种还在设计或作实验室试验, 现在市场上出售的随钻监测工具, 以泥浆传送信号系统为主, 其次是导线传输系统。

我国是从64年开始进行随钻测量研制工作的。主要由石油部所属的五个单位对电磁波和声波的通道进

行了大量的研究, 对泥浆压力脉冲也进行了研究。例如: 随钻电声测斜仪, 试验深度超过700米; 电磁波超长波通道野外试验, 井深达到1205米; 泥浆压力脉冲井斜仪也作了下井试验。1977年以来, 继续研制泥浆压力脉冲随钻测斜仪和试制电缆式的遥测井斜仪。地质矿产部所属的有关单位开始进行了电磁波方面的地表试验, 对不同的岩层用低频电磁波进行地面发射和接收试验, 试验了信号衰减情况, 并设计了极低频钻孔测斜仪。有的单位自行设计了泥浆压力脉冲式随钻测斜仪。但是目前还没有一种方法在生产上取得成功。

二、随钻测量技术方法的分类和开展动向

根据解决信号通道的办法, 随钻测量技术方法可分为: 泥浆压力脉冲法, 导线法, 电磁波法以及声波法等主要方法。

(一) 泥浆压力脉冲法

此法发展较快, 处于领先地位, 目前已有较多的定型产品供给市场需要, 其基本原理, 就是在钻进过程中, 有意识地堵塞循环泥浆在钻具里的通道 (用调节阀或特殊钻具短节来控制), 改变泥浆流量大小或流通方向, 造成瞬时压力突变 (泵压增大或减少), 形成被编码的泥浆压力脉冲信号, 由钻具中的泥浆柱传送到地表, 被地面仪器接收和记录。使用泥浆压力脉冲法研制成功的随钻测量仪器种类较多, 如美BJ-休斯公司定型生产的遥测方位仪 (Teleorienter), 遥测井斜仪 (Teledrift) 和遥测宽角度井斜仪 (Wide angle teledrift) 等, 这三种仪器原理类同、价廉实用, 在市场上颇有销路; 又如美国特勒科 (Teleco) 公司生产的正压脉冲式遥测井斜仪以及吉尔哈特—欧文 (Gol) 公司和伊斯曼造斜公司 (Estman Whipstockinc) 共同研制的WOT负压脉冲式随钻测量仪, 在市场上也有定型产品销售。现着重介绍以下两种仪器:

1. 遥测方位仪 (Teleorienter)

仪器的用途和优缺点:

这是在定向钻探中的一种久经考验、有成效的井下定向仪器, 它可以遥测造斜工具面向。仪器是在接

单根时读数,一次测量不超过5分钟。

该仪器优点:可以在磁性矿区,套管里和高温钻孔里工作;在定向钻探时,能指示和消除井底动力马达反扭矩的影响,也能避免或减少不稳定地层卡钻的危险;井下仪器是全机械式,结构简单,结实可靠。主要缺点:传输信号是正压脉冲法,信号衰减大,并在正常钻进时要耗损一定的泵压。测量精度较低,每次只能测量一个参数。

井下仪器的构造和工作原理:

由图1可知仪器的主要结构由发讯部件(脉冲环,活塞杆,信号活塞和衬套),编码部件(编码杆,编码弹簧,编码球,主弹簧,制动管,偏重转子、离合器和弹簧a、b、c组成。在正常钻进时,泵压迫使信号活塞(11)处于最低位置,井下仪器各部弹簧均受压缩,编码杆(5)在弹簧a的压缩下处于最低位置。此时,偏重转子(7)与离合器(8)分开,并处于自由状态,重力促使偏重转子转到钻孔低边位置。泥浆通过脉冲环(1)、衬套(2)与信号活塞间隙以及井下仪器的内环状空间到孔底进行循环,维持正常钻进。当需要测量时,停钻停泵两分钟,此时信号活塞在主弹簧(3)作用下回弹上行,弹簧b和c回弹,迫使离合器与偏重转子相连,离合器一方面阻止偏重转子再转动外,还要带其上行,直到与制动管(6)中的任一个台阶相连则被顶住不动。同时编码弹簧(4)回

弹也使得编码杆上行,其锥形接头部份把编码球(10)顶出,活塞杆(12)被卡,信号活塞停止上行。再次开泵时,泥浆迫使信号活塞下行。在通过脉冲环时,因间隙小,将产生瞬时泵压升高(瞬时憋泵)。井下仪器也将产生一系列经编码的瞬时泥浆压力脉冲信号,由地面记录仪记录。

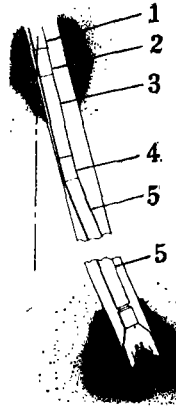


图2 BJ-1休斯公司遥测方位仪的井下仪器安装示意图

1—非磁性钻铤;
2—定向接头; 3—
遥测方位仪; 4—弯
接头; 5—井底动
力马达

信号脉冲的编码主要靠制动管端面有7个台阶。这七个台阶相对应井下仪器7个不同的偏心重锤止动区间,即造斜工具面向范围。每个台阶所示数字对应于信号脉冲个数。

井下仪器安装如图2所示,仪器要安装在井底动力马达和弯接头上的遥测接头里。

地面仪器主要设备包括:泥浆隔膜器,电阻应变式压力传感器和电子单笔记录仪等。

2. WOT负压脉冲随钻测量仪

该仪器由伊斯曼公司在导线遥测并斜仪(DOT)基础上研制成功的一种新的无导线定向仪器,它能够连续遥测造斜工具面向、钻孔方位角和倾

角,还能测量磁干扰和孔底温度。仪器也可在接单根时测量,一次测量不超过3分钟。

仪器的主要优点:

(1) 脉冲发生器中电磁控制阀是唯一运动部件,故障少;

(2) 电磁控制阀所需的电能很小,故井下发电机电功率也小;

(3) 比采用正压脉冲法仪器耗损的泵压和能量小;

(4) 当不发信号时,脉冲发生器的阀是关闭的,可免受泥浆冲刷磨蚀;

(5) 整套井下仪器有3个定型部件,能拆卸,便于携带和装运。

该仪器主要缺点:井下仪器复杂,需要电源,传输信号速度比电磁波和声波法慢。

井下仪器的结构和工作原理:全套井下仪器(见图3)由测量仪器短节部份(1—6);脉冲发生器短节部份(7—13)和发电机短节部份组成。电插头(8)将测量仪器(1)所需测量信号送入脉冲发生器的电子控制部件(14),经编码后的电子信号,

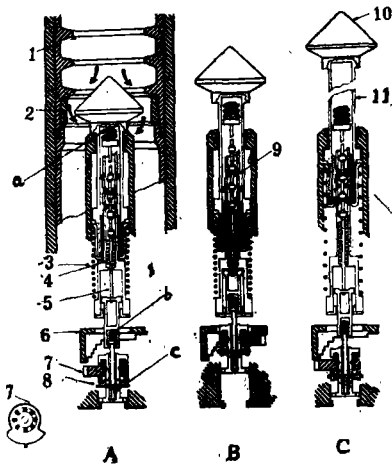


图1 BJ-1休斯公司遥测方位仪的井下仪器原理示意图

A—钻进时编码部件位置; B—记录1个信号时编码部件位置; C—记录7个信号时编码部件位置
1—脉冲环; 2—衬套; 3—主弹簧; 4—编码弹簧;
5—编码杆; 6—制动管; 7—偏重转子; 8—离合器;
9—编码球; 10—信号活塞; 11—活塞杆; a、b、c—弹簧

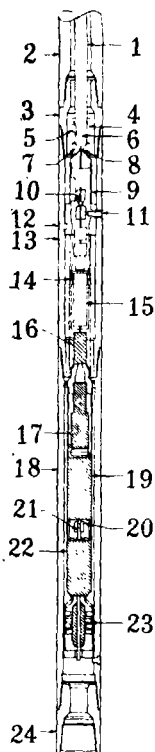


图 3 随钻测量仪 (WOT) 的井下仪器示意图

1—测量仪器 (DOT 探头—E/W 改进产品); 2—蒙乃尔钻链; 3—换向接头; 4—引鞋轴套; 5—定向键; 6—斜口管引鞋; 7—泥浆净化过滤器; 8—电插头; 9—GD 公司泥浆脉冲发生器; 10—电磁控制阀杆和座; 11—旁通管喷嘴; 12—固定螺栓; 13—脉冲发生器短节; 14—脉冲发生器和电子控制部件; 15—电压调节器和电子部件; 16—电缆插头; 17—容积补偿器; 18—发电机短节; 19—交流发电机; 20—联轴器; 21—花键连接件; 22—涡轮发电机组件; 23—分级式涡轮 (E/W 定型产品); 24—接头

又去控制脉冲发生器的电磁控制阀 (10), 使它按测量编码要求在一定时间间隔打开或关闭。当阀打开时, 泥浆则由旁通管喷嘴 (11) 进入外管与钻孔的环状空间, 压力下降。当阀关闭时, 压力升高, 恢复原泥浆循环泵压。这样造成一系列经编码的瞬时负压脉冲信号, 此信号被传输到地面仪器处理和记录。

(二) 导线法

基本原理是使用带金属导线的特殊钻具, 或用电缆将信号从孔底直接传输到地面上来。用导线法传输信号衰减小, 设计方案便于加工制造, 缺点是造价高, 使用操作复杂。

目前, 国外采用导线法研制成功的随钻测量仪器仅次于泥浆压力脉冲法的仪器。在市场上销售的有美国科学钻井控制设备公司 (Scientific Drilling Controls) 的“EYE”遥测井斜仪 (图 4) 用于配合戴纳 (Dyna) 钻打定向井, 不停钻可连续测量定向的全部参数。该仪器是用绞车送一单芯电缆通过机上钻杆上部的水龙头和特殊液压封隔器至孔底来传输信号。此外美国伊斯曼造斜公司定型生产“DOT”遥测定向仪和法国石油研究所 (IEP) 研制的“AZINTAC”遥测定向仪等, 其原理和性能与“EYE”类似。最近, 美国 NL 斯珀林森 (NL Sparrow—Sun) 公司研制的单芯电缆系统, 其电缆不是通过机上钻杆上的水龙头,

而是通过装在钻杆上的侧入式接头, 使电缆在钻杆外面移动, 故加单根时不必将仪器从钻杆内提出, 可在地表直接进行。

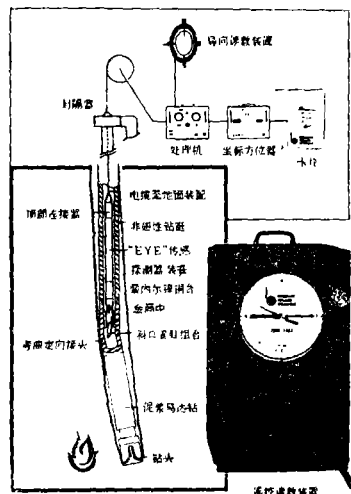


图 4 “EYE”遥测井斜仪操作系统示意图

(三) 电磁波法

电磁波法就是用低于 200 赫的低频电磁波通过地层和钻杆来传输信号。此法的优点: 在钻杆旋转和没有泥浆循环时, 也能传输信号, 并且速度快, 其缺点是大部分交变电流信号通过地层和钻杆散失, 同时需要一根 5 米以上的绝缘钻链。美国德维尔柯 (Develco) 公司还在研究一种垂直极化磁场法, 在物理性能方面比上述方法易控制, 与接触电阻无关, 对大气噪音不敏感。

(四) 声波法

基本原理是用声波发生器发出声波, 通过钻杆传输孔底的信息, 并在地面接收和处理。声波法优点是结构简单, 投资较省, 传输速度也较高。其缺点是受机场噪音干扰, 信号衰减大, 如不加重发器最多只能传输 300—400 米。目前, 除了美国斯珀林森公司, 研制了一种加重发器声波遥测仪外, 尚未见到声波法用于钻井测量方面的其它定型产品。美国石油科学公司和科学钻井控制设备公司, 还在试验零次扭转波的钻柱传输信号的新方法来解决传输声波过程中的信号衰减问题。

三、地质岩心钻探中开展随钻测量技术的探讨

目前随钻测量技术几乎全部应用在石油钻井。随着我国地质岩心钻探工艺的发展, 需要采用随钻测量 (下转第 46 页)

勘探所试验钻头钻进效果

表 3

钻头编号	钻孔编号	钻孔孔段 (米)	钻进岩层		使用 回次数	进尺 (米)	钻进时间 (时:分)	平均小时 效率 (米/小时)	平均 采取率 (%)	钻进参数			钻头最 终状态
			岩石名称	级别						钻压 (公斤)	转速 (转/分)	泵量 升/分	
392	ZK102号孔	61—215	蚀变花岗岩	9	66—203	32.27	19:00	1.70	90	500—600	700	35—40	正常磨损
411	ZK102号孔	128—137	蚀变花岗岩	9	106—121	8.57	5:15	1.63	84	500—600	700	35—40	非正常磨损
400	ZK102号孔	53—240	蚀变花岗岩	9	62—173	45.38	23:30	1.93	93	500—600	700	35—40	正常磨损
403	ZK102号孔	67—220	蚀变花岗岩	9	70—156	41.27	20:05	2.05	89	500—600	700	35—40	正常磨损
407	ZK102号孔	188—400	蚀变花岗岩	9	137—188	75.38	38:45	1.95	98	500—600	700	35—40	正常磨损

变化,尤其是胎体配方的变化,即在胎体中增加一定比例的强研磨性材料。

其次,钻头内外径补强合理,进行生产试验的4个钻头,内外径都采用8颗聚晶和16颗天然金刚石补强,所以钻头内外径磨损小,这也是试验钻头寿命高的原因之一。

三、加强冲洗液排粉能力,保持孔内清洁

高研磨性地层,钻进效率高,产生岩粉多,一般很难充分沉淀。在使用PAM(PHP)无固相冲洗液后,

(上接第27页)

技术。例如:开展定向钻探工作,要求及时测量出钻孔方位、倾角和造斜工具的面向;需要研究合理钻进参数;需要测量井下电钻、涡轮钻以及螺杆钻的转速、扭矩和温度;测量冲击回转钻具的孔底冲击功和冲击频率;利用某些矿层特点,在钻井过程中进行预测报警,能及时发现矿层和防止打丢矿层等。

(一)地质岩心钻探工作对随钻测量仪器研制设计的要求

1. 必须设计适于小口径取心钻进随钻测量仪;
2. 仪器的可靠性好。在钻进中,研磨、冲蚀、振动、高压和潮湿等条件是影响仪器可靠性的主要因素,因仪器在井下工作,故其可靠性比一般仪器更为主要;
3. 必须保证达到设计精度或目的要求;
4. 重量轻,便于携带,适合于地质钻探工作,并需适应我国地质钻探技术现状;
5. 成本要低廉;

(二)研制随钻测量技术途径和方法

1. 信号通道

信号通道是随钻测量技术的关键问题。美国已总结了四种方法解决通道问题,其中以泥浆压力脉冲法较为成熟和实用,占有领先地位。所以我们应以泥浆压力脉冲法为起点,即拟用泥浆压力通道系统设计,

金刚石钻头寿命有一定提高(见表1资料)。

四、乳化液的合理使用

在水质和岩性比较适宜的情况下,使用太古油乳化液对钻具的减摩润滑,提高机械转速和进尺均起到良好作用。若用水泥护孔,需采用非离子型的乳化液,或使用纯碱(Na_2CO_3)洗孔一次,以沉淀水中的 Ca^{++} ,防止破乳。pH值以8左右为合适。

五、注意施工技术措施的配合

应坚持提钻回灌,平衡地层压力,以防孔壁坍塌。

解决岩心钻探孔底某个具体参数的传输问题,是可能在较短时间内获得成功的。同时应积极开展电磁波、声波通道的探索。目前,电磁波通道方法由于易受杂波干扰和衰减大,能量利用率低,致使信号的探测和回收均有困难,但是此法具有较高的传输信号速度,在钻具旋转和没有冲洗液时均能传输信号。声波通道方法易受现场杂音干扰,信号衰减大。但是此法结构简单,成本低。

2. 选择测量参数

一般说来,随钻测量回次中,测量参数越多,反映孔底情况越多。但是由于岩心钻探口径的限制,不可能同时放很多传感器。在初期应以解决实际测量问题的单参数测量为好。在向多参数过渡时,测量参数也不宜太多。

主要参考文献

- (1) «Oil & Gas J.»1978、1980
- (2) «PetrOleum Engineer»NO.12,1979
- (3) Operating Service and installation manual BI-HUGHES Inc 1980
- (4) “随钻测斜仪—‘科学眼’使用介绍”石油部斜井组 1981年3月
- (5) «测井技术»1981年1期 西安石油仪器厂
- (6) “美BI随钻测斜仪技术资料”江苏省石油指挥部第六普查大队1981年1月
- (7) 国外定向钻井测量技术发展概况,地质部勘探技术研究所1981年9月