

影响水井钻探效率的因素及提高钻井速度的关键技术

许刘万¹, 王艳丽¹, 刘江², 张进¹

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000; 2. 河北省地矿局第十一地质大队, 河北邢台 054000)

摘要:目前水井及地热井钻探效率不高已成为影响水资源开发利用进程的主要因素之一。在分析水井、地热井钻探效率低下原因的基础上, 针对不同影响因素, 并结合生产施工实际, 从优选钻井工艺方法、完善钻井设备配套方面进行论述。提出了大力推广应用地下水开发快速钻进技术——气动潜孔锤钻进技术和气举反循环钻进技术的建议。

关键词:水井; 钻探效率; 快速钻井技术; 气动潜孔锤; 气举反循环

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2014)04-0018-04

On Factors Affecting Well Drilling Efficiency and Key Technologies of Improving Drilling Speed/XU Liu-wan¹, WANG Yan-li¹, LIU Jiang², ZHANG Jin¹ (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. No. 11 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xingtai Hebei 054000, China)

Abstract: Low drilling efficiency in water well and geothermal well is one of the main factors affecting development and utilization process of water resources. On the basis of the analysis on the causes of low efficiency of water well and geothermal well drilling, according to different affecting factors and combining with the production practice of construction, the paper discusses the optimization of drilling process and improvement of drilling equipment, proposes the popularization of fast drilling technologies of pneumatic DTH hammer drilling and air-lift reverse circulation drilling for groundwater development.

Key words: water well; drilling efficiency; fast drilling technology; pneumatic DTH; air-lift reverse circulation

0 引言

为加快我国地下水资源勘探开发技术的发展速度, 满足人类对水的需求, 水井的钻进深度越来越深, 所遇地层更为复杂, 施工难度也不断增大, 所以提高钻进效率, 减轻劳动强度, 已对水井钻探技术提出了新的要求, 必须做到高效率低成本。从全世界看, 70%~90%城市生活饮水依靠地下水, 而我国80%以上湖泊已非净水。这样钻采地下水资源在世界钻探工业界一直占有非常重要的地位。原因是城市人口激增、工农业迅速发展、生活要求高标准; 使得地表水不可避免污染和土地沙漠化侵袭等, 导致地下水不断下降。另外, 对于一些干旱缺水地区, 群众打井乃至公益性打井限于缺乏新技术与设备, 原本就缺水而还用泥浆正循环钻进, 在很多情况下需要拉水, 当遇到漏失地层无形中增加了钻井成本。尤其在弱含水层泥浆渗入孔隙堵塞水路, 有时将含水层错判为无水。此外, 由于很多施工单位钻井工艺技术配套不完善, 钻井效率低已成为制约水井开发的“瓶颈”问题。

1 水井钻探与地下水之间的关系

水井钻探就是利用钻探设备和工艺方法, 很好地将地层中水资源合理开发利用的一项工程。而地下水是存在于地壳岩石裂缝或土壤空隙中的水。对埋藏于地表以下的各种状态的水, 我们把它统称为地下水。大气降水是地下水的主要来源。

根据地下水埋藏条件的不同, 地下水可分为上层滞水、潜水和自流水3大类。按含水层性质分类, 可分为孔隙水、裂隙水、岩溶水。

不同结构的含水特性对水井产量的影响如下。

(1) 干净的砂砾沉积岩是最好的取水源。这种结构岩层的吸水性强、含水率高并且水渗透性好。

(2) 砂和砂砾混合层。砂和砂砾混合层也是产水结构。因其含砂比例的高低不同而作为次一级的产水岩层。混合层含砂越少, 产水特性越高。

(3) 粘土结构。虽然粘土结构储水能力很强, 但是水很难在其中运动。这就意味着粘土结构不会向井内涌水, 因此它不是蓄水区。

(4) 砂岩。它是指粒度为0.0625~2 mm的砂

收稿日期: 2014-01-26; 修回日期: 2014-03-18

作者简介: 许刘万(1954-), 男(汉族), 陕西白水人, 中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师(二级), 探矿工程专业, 从事水文水井、工程钻探设备各类钻具及钻探工艺的研究、多工艺空气钻进技术推广工作及进口全液压力头车装钻机、国产各类钻机、机具的配套研究, 河北省廊坊市金光道77号, 13903168519@126.com。

占全部碎屑颗粒 50% 以上的陆源碎屑岩。如果在砂岩中粘土作为胶合剂使砂粘在一起,它是一个差的产水岩层。

(5) 石灰岩。在所有的沉积岩中它是一种极佳的水源地层。石灰岩通常含有较大的开口,例如地下溶洞,这些溶洞会含有高产水层但水质比较差。

(6) 玄武岩。较早的地床因为较密的挤压在一起,很致密,而不是好的产水岩层。如果它是发育较晚,它有海绵状结构发展,它就会是好的水源。

(7) 硬岩。这类岩石像花岗岩、斑岩和其它水晶岩通常都是差的产水层。最差的产水层是变质岩,例如片麻岩、片岩、石英岩、板岩和皂石。

2 水井钻探效率低下的原因分析

2.1 井身结构复杂,钻头匹配不合理

在水井、地热井钻探中,由于设计的孔径和井深各有不同,采用的井身结构也存在明显的差别。有许多单位在井身结构设计时考虑不周,前导孔三牙轮钻头直径选用不合理,导致扩孔组焊牙轮钻头加工复杂,甚至扩孔级数多,辅助时间长,工人劳动强度大,钻进效率低。因此在设计钻孔直径时应选用石油标准的牙轮钻头规格,否则需加工组焊牙轮钻头。逐级扩孔时前导孔标准牙轮钻头的选择,一定要利于扩孔组焊牙轮钻头的加工,以降低钻头加工成本。

2.2 钻进参数对钻进效率的影响

(1) 钻压。钻压的大小根据地层软硬程度来确定,同时还应考虑到钻头的质量、井身质量、钻具质量、冲洗液的排量和性能以及设备、动力等因素。目前石油钻井中,牙轮钻进常用的钻压范围,中硬~硬地层为每吋直径加压 15~20 kN,对于水井钻进,往往都达不到此值。

(2) 转速。一般机械钻速随转速的增加而提高,但受洗井条件、设备和钻柱强度、岩石性质等诸多因素的限制,不能任意增大转速。在良好的洗井条件下,井底的岩屑能被及时排出,反之会造成重复破碎,降低钻速且易造成泥包钻头。在深井井段应考虑设备动力的实际情况,以及钻柱的强度,一般应限制转速。若使用的钻具质量较差,用高转速容易造成断钻具事故。另外在研磨性大的地层钻进,如果转速过快,除降低钻头工作寿命外,施工成本也会增加,所以不提倡采用过快的转速钻进。

(3) 泵量。对于泵量的影响,它是随着冲洗液排量的加大,钻进效率也相应提高,钻头进尺也同时

提高,当排量加大到一定程度时,钻进效率的变化就不太明显了,一般要求冲洗液的上返速度应大于 1 m/s,不能小于 0.5 m/s,否则岩屑不能及时上返,容易产生重复破碎和孔内复杂情况。

2.3 钻井工艺技术相对落后

目前水井施工中,许多单位还不具备多工艺钻进技术条件,无法根据地层情况及时变换适宜的工艺方法(如气动潜孔锤钻进技术、气举反循环钻进技术、空气泡沫钻进技术等)。普遍采用的仍是泥浆正循环钻进技术,钻孔与钻杆之间的环状间隙大,泥浆上返速度极慢,携带岩屑的能力特差,导致重复破碎、施工周期长、孔内事故多,成本高等。

2.4 钻井设备不配套

为了降低钻井成本,有些单位选用的钻机设备功率小,不利于粗直径钻具的配套,关键时候提升能力小,处理孔内事故的能力差。出现这些问题主要是选购设备时对钻机的提升能力和扭矩没有了解,只注意到钻机生产厂家标的钻深多少米,忽视了所用钻杆直径和孔径的关系。再加之所配泥浆泵排量也小,不利于岩屑的排出。此外,对孔径、孔深和钻机以及泥浆泵的配套关系认识不清楚,严重影响了钻进效率。

3 水井钻进施工应注意的问题

3.1 施工前的组织准备问题

对水井施工设计方案要认真研究,科学合理的分配任务、组织生产,在施工之前一定要对设计书相关技术要求做好准备工作,分析施工的重点和难点,并做出具体的应对方案和保障措施,以引起全体施工人员的高度重视。

3.2 正循环钻进泥浆问题

提高正循环钻进效率的关键是如何保证泥浆的质量,维护、使用高效优质的钻井冲洗液是钻井工程安全、高效的前提。由于水井钻探口径大、地层相对复杂的特点,所以一定要严格按照泥浆设计方案执行,对水源要求保护,控制失水量和预防水层受到污染。

3.3 水井钻探成井质量问题

水井钻进是成井质量的保证,而成井质量好坏是完井的技术关键。在水井钻孔成井工艺方面,有些单位往往没有引起重视,冲孔换浆没按要求办、安装井管前没有探孔,井管与孔径的同心度差,下管因孔斜遇阻、填砾料同含水层满足不了要求、止水不彻

底、洗井和抽水试验没有搞好,最后验收井出水量不够,水质达不到要求等。所以,成井工艺的目的主要是将含水层(目的层)的水经过疏通而能自由地流入井内。封闭或隔离非目的层,以防止地下含水层的水互相串通或污染含水层。这种有选择的疏通和封闭,是成井工艺要解决的主要问题,尤其在沿海地区施工以及地表水污染严重的地域,如何能取到淡水,这就要求止水的质量一定要高,成井工艺必须规范。

4 提高钻井效率的综合技术

钻井是一项开发利用地下水的入地工程,钻井技术的进步对抗旱打井有着举足轻重的作用。钻井关键技术研究与应用受到了高度重视并快速发展,常规钻探技术得到进一步强化,特色钻进技术优势逐渐显现,钻井装备与工程发展迅速,一些新的技术成果已在钻井中得到推广应用,现将有关提高钻井效率的技术措施探讨如下。

4.1 泥浆正循环牙轮钻进技术

在水井钻进中使用牙轮钻头已很普遍,除正确选择钻头型号外,还必须合理地确定钻进规程,这样才能提高钻进效率,延长钻头寿命,降低钻探成本,更好地发挥牙轮钻头在水井钻进中的优越性。

4.2 牙轮钻头的正确使用

(1)选择牙轮钻头型号尽可能适合岩性要求、钻头尺寸与钻孔的设计匹配,并按大小顺序排队使用。

(2)牙轮钻头钻进操作注意事项。

连接钻头时不能猛蹶,下部应放一垫木,下钻时要平稳,遇阻井段要慢,钻头若在中途扫孔,要计算好扫孔时间,防止事故发生,一般用扫孔时间的1.5倍折算为钻进时间。钻头下到距孔底7~8 m部位时,开泵循环然后下到孔底,正常钻进,严禁一次性下到孔底再开泵循环。反对加压起动转盘或动力头,防止憋坏钻头和扭断钻具。

钻头使用过程中若出现憋跳现象,应立即分析原因,检查地层有无变化,井壁有无坍塌掉块等。应立即分析调整参数,上提钻头用大泵量循环,如不能正常钻进,就要提钻检查。做好钻头在孔内工作情况的分析判断。另外要做好控制井斜的措施,减少钻具与钻孔的间隙,发挥满眼钻进与刚性防斜的作用。为了达到防斜目的,可采用牙轮钻头上部加扶正器和钻铤的方法。扶正器和井壁的间隙不能过大,一般经验为小于孔径6.5~10 mm即可。若扶

正器直径小于孔径30 mm以上,防斜效果会明显下降。

4.3 空气牙轮、泡沫牙轮钻进方法

目前这方面的钻进技术在我国有些单位已进行大胆试验应用。适合大多数地层,操作容易可控制复杂地质情况,投入成本低,但岩层钻进速度慢。

4.4 地下水开发快速钻进技术——气动潜孔锤钻进技术

这种钻进技术目前在基岩地层钻进水井应用较为普遍,钻进效率较高。其钻进速度是牙轮钻进的5~10倍,钻头寿命长,钻孔不易倾斜,有利于保护地下水或油气的渗透性。

4.4.1 空气压力的作用

空气压力主要有2个作用:一是驱动潜孔锤(冲击器)做功,使钻头高频冲击岩石破碎;二是克服水压,使井底的水和岩屑顺利排出井口。

4.4.2 空气流量的作用

空气流量主要有2个作用:一是满足冲击器的固有耗气量;二是在环隙中达到一定空气上返速度排出岩屑。

在重力作用下,10 m水柱的压力相当于1 bar(0.1 MPa)压力,要将井底的水返到地表,必需具备足够的压力。

例如300 m深的井,就需要30 bar(3 MPa)的气压才能将水柱顶出地表。

4.4.3 空压机的选择

(1)空压机压力的选择原则:压力尽可能比钻井深度大些。因为在钻进到含水层后,由于涌水较多,压差降低。空压机提供的压力要确保为潜孔锤(冲击器)提供足够的压差,使潜孔锤能够冲击岩石。

(2)空压机气量的选择原则:根据最小动能法的基本计算,并结合实际应用,总结出参考气量:

$$V = Q/A_{\text{环}}$$

式中: V ——岩屑上返速度, m/min; Q ——所需气量, m^3/min ; $A_{\text{环}}$ ——环状空间面积,即钻头孔径面积减去钻杆外径面积, m^2 。

有关正循环气动潜孔锤钻进相关实践技术数据参考见表1。

此表计算忽略了很多影响因素,而给出的最低岩屑上返速度仅供参考。换算出的15 m/s的最小环空流速实际效率较低,大块的岩屑不能被空气循环带出,而是需要钻头重复破碎后才能被返至地表,或岩屑与水结合形成泥圈粘结在潜孔锤与

表 1 正循环气动潜孔锤钻进孔径与钻杆直径获得的参考数据

钻孔直径/m	钻杆直径/m	最低岩屑上返速度/(m·min ⁻¹)	最高岩屑上返速度/(m·min ⁻¹)	实际岩屑上返速度/(m·min ⁻¹)
0.450	0.114	900	2100	900
0.450	0.089	900	2100	900
0.311	0.114	900	2100	900
0.311	0.089	900	2100	900
0.216	0.114	900	2100	1200
0.216	0.089	900	2100	1200

钻杆的轴间部位,下沉集满环空,最容易造成卡钻、埋钻事故。

4.5 地下水开发快速钻进技术——气举反循环钻进技术

气举反循环钻进技术是目前大口径深水井、地热井施工中的一项先进技术,国内许多单位将气动潜孔锤钻进技术与气举反循环钻进技术组合应用,有些单位将其作为水井钻进首选的技术大力推广,不论在国内还是国外承揽工程均取得了十分显著的经济效益。该工艺最大应用深度已达 4200 余米,国内最大特殊工程孔孔径已达 13 m。在一些复杂地层、大口径工程孔正循环无法钻进的情况下,这项技术可大显威力。岩屑在钻杆内上返速度快,减少了岩屑在孔内的重复破碎,提高了钻进效率,增加了钻头寿命,减轻了工人劳动强度,大大降低了钻进成本。

气举反循环钻进效率取决于压缩空气的压力和排量,以及气水混合器的沉没比。气水混合器需要有一定的沉没深度才能形成很好的气水混合流,因此该方法在 50 m 以浅效率较低,气水混合器的沉没比要达到 0.5 以上才能发挥良好的效果。

当气举反循环选定了空气混合室的最大安装深度后,即可计算出空压机的压力:

$$P = H\gamma_h \times 10^{-2} + \Delta P$$

式中: P ——空压机的压力,MPa; H ——混合室的安装最大深度,m; γ_h ——冲洗液的密度,kg/m³; ΔP ——空气在地面管道中的压力损失,一般 $\Delta P = 0.04 \sim 0.1$ MPa。

如果空气压缩机已确定,可用该式校核混合室的安装深度。

空气压缩机风量 Q 的计算,根据钻杆内混合流体上升的速度 v 和钻杆内径 d 来进行估算。其经验公式为:

$$Q > (1/4) \pi d^2 v$$

式中: Q ——所需空气的量,m³/min; d ——钻杆内径,mm; v ——钻杆内混合流体的上返速度,m/min。

实践总结的循环介质对钻进速度和钻头寿命的影响见表 2、表 3。

表 2 循环介质对钻头寿命的影响

循环介质功能	循环介质		
	空气	空气泡沫	泥浆
润滑	最好	较好	好
冷却	最好	较好	好
清洁	最好	较好	好
清除	依赖孔径和地形		
稳定孔壁	差	较好	最好
密封	差	较好	最好

表 3 循环介质对钻进速度的影响

钻孔速度	循环介质
最快 ↑ ↓ 最慢	空气
	空气/雾化
	空气/泡沫
	水
	泥浆

5 结语

钻井工程在水资源开发中有着非常重要的地位,水井钻进效率的提高,对于地下水的开发利用有着举足轻重的作用。因此,在钻进水井时,施工单位一定要注重设备的选型,积极学习和应用钻探新技术,不断提高钻进效率,降低钻探成本,同时在提高钻进效率时还要做好安全防护工作,保证水井成井质量的提高。

参考文献:

- [1] 许刘万,刘智荣,赵明杰,等.多工艺空气钻进技术及其新发展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10).
- [2] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.
- [3] 耿瑞伦.应用空气钻进技术钻采地下水严重缺水地区地下水勘查论文集[M].北京:地质出版社,2003.
- [4] 许刘万,伍晓龙,王艳丽.我国地热资源开发利用及钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4).
- [5] 史亚楠,刘庆礼,张西坤,等.水井钻机的选型与配套[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9).
- [6] 许刘万,曹福德,葛和旺.中国水文水井钻探技术及装备应用现状[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1).
- [7] 臧臣坤,张金昌,冯起赠.全液压力头水并钻机国产化若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2).
- [8] 李旭文,王亚平,张志斌.RPS3000 地热水井钻机特点分析[J].地质装备,2005,(3).
- [9] 中国地质调查局.水文地质手册[M].北京:地质出版社,2012.
- [10] 城乡建设环境保护部综合勘查院,山西省勘察院.供水管井设计施工指南[M].北京:中国建筑工业出版社,1984.
- [11] 许刘万,王艳丽,左新明.我国水井钻探装备的发展及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):1-7.
- [12] 许刘万,史兵言,赵明杰.反循环气动潜孔锤的研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(4):31-34.