

钻井成井工艺对出水量的影响分析及技术措施

魏碧波

(山西省第三地质工程勘察院,山西 晋中 030620)

摘 要:通过 2 口基岩深井施工实例,分析、探讨了钻井成井工艺对出水量的影响以及应采取的针对性技术措施,可为同类水井的钻进成井施工提供一些有益的借鉴。

关键词:基岩深井;钻井成井;出水量;技术措施

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2013)01-0031-04

Analysis on the Influence of Well Completion Drilling Technologies to Water Output and the Technical Measures/
WEI Bi-bo (Shanxi Province No. 3 Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Investigation, Jinzhong Shanxi 030620, China)

Abstract: With 2 cases of bed rock deep well, analysis and discussion were made on the influence of well completion drilling technologies to water output and the technical measures that should be adopted, which could be beneficial reference to the similar water well completion construction.

Key words: bed rock deep well; well drilling and completion; water output; technical measures

0 引言

近年来,山西省的各类水源井施工项目比较多,其主要来源有:(1)一些厂矿企业的接替供水水源井建设项目;(2)省政府新农村移民建设工程新水源配套项目;(3)农业土地综合开发整理灌溉水源井项目;(4)市、县国土局、财政局矿产资源专项款扶持的“地质灾害饮水解困水源井工程项目”; (5)城市居民供水水网建设水源井项目;(6)各类地热深井开发利用凿井工程项目。

我院目前设有 15 个生产经营实体,其中,水源勘察公司与晋源钻井公司主要从事各类水井施工,其他生产经营实体也完成部分水井施工项目。全院每年完成各类水源井 30 口左右,钻井工作量 15000~18000 m。成井深度一般在 300~1000 m 之间,少部分地热开采井,井深达到 2000 m 以上。承担的水井主要类型有砂岩裂隙型和岩溶(奥灰)裂隙型深水井。表 1 为我院近几年水井施工情况。

表 1 2009~2011 年度完成各类水井情况统计

年度	工作量 /m	水井数量/眼			深度范围/m			
		松散 层	砂岩 层	岩溶 层	300~ 500	501~ 800	801~ 1000	> 1000
2011	18365.25	3	8	20	5	9	13	4
2010	16342.51	4	7	18	4	7	15	3
2009	15924.63	4	9	17	6	9	14	1

在水井市场项目开发中,大部分水井地处泉域

径流带、排泄带上,或者位于断层导水带上,这类水井按照常规的钻井成井工艺进行施工,一般都能满足合同要求,这是我们从事水井施工实体赖以生存的基本保证。此外,每年总会有 2~3 口含水条件比较差的水井,虽然合同要求出水量较少,合同单价却较高,但其成井风险相当大。对于这类水井项目,除了在选择井位方面下功夫外,还必须在钻井成井工艺及含水层保护方面采取相应的措施,否则,会因不能达到合同出水量要求而蒙受巨大的经济损失。笔者将结合山西省万家寨引黄入晋工程北干线水源井及山西兴县华润联盛峁底煤业有限公司水源井工程,分析成井工艺对出水量的影响,以及确保出水量而采取的技术措施,供同仁们参考。

1 万家寨引黄入晋工程北干线施工水源井

1.1 工程概况

2009 年 3 月我院通过竞标程序获得了“山西省万家寨引黄入晋工程北干线水源井及配套工程Ⅲ标段”施工任务。工程内容包括:井位选择(建井方指定区域)、水井施工、深井泵配套、井场变压器购置安装(高压部分由建井方接至井场)、井场值班房、井口土建及围墙、大门建造。合同要求:出水量 20~30 m³/h;凿井深度 550~600 m;水质要求基本符合生活饮用水标准。

收稿日期:2012-07-16;修回日期:2012-12-18

作者简介:魏碧波(1969-),男(汉族),山西武乡人,山西省第三地质工程勘察院经营管理部主任、工程师、注册安全工程师,探矿工程专业,从事钻井工程技术、质量管理工作,山西省晋中市榆次区鸣李,531412704@qq.com。

该井揭露的地层比较简单。松散层由第四系的 O_{2s} 、 O_{2x} 以及下奥陶系的 O_{1l} 、 O_{1y} 组成。该井基本情况如表 2 所示。

表 2 引黄北干线施工水源井基本情况

地层	厚度/m	孔径/管井/mm	地层简述	施工工艺简述
$Q_3 + Q_2 + N_2$	96.0	400/377	黄土、砂砾石、红粘土、钙核层	牙轮钻进、筒状钻具修孔
O_{2s}	102.5	350/325	白云质灰岩、豹皮灰岩、泥质灰岩	钻铤加压、牙轮钻进
O_{2x}	172.8	300/273	泥质灰岩、角砾状白云质泥灰岩	牙轮钻进、钢粒取心钻进
O_{1l}	129.9	250/裸眼	含燧石结核白云岩、泥质灰岩	钢粒取心钻进、适时修孔
O_{1y}	51.4	220/裸眼	白云质灰岩、条带状灰岩	钢粒取心钻进、适时修孔

在该工程实施之前,2007 年某钻井队在我院选定的井位东南约 200 m 处钻凿深井一眼,井深 550 m,终孔层位为下奥陶系冶里组,由于钻井事故及钻井成井工艺等方面的原因,经抽水为干井。2008 年,晋北某县凿井队在我院选定的井位正东约 100 m,钻凿深井一眼,井深 430 m,终孔层位中奥陶系下马家沟组,采用泥浆护孔、牙轮钻进(无加压钻铤),经过试抽水,其出水量仅 $10\text{ m}^3/\text{h}$,一天之后,不再出水,仍是一眼干井。

1.2 工程风险分析

(1)在选择井位方面,由于附近先后施工的 2 眼水井均为干井,选择井位存在着很大风险。要求我们在建井方指定的区域内,必须找到断层、次生断层干扰带等有利的含水构造。

(2)在含水层钻进方面:为了避免含水层裂隙被堵塞,不能采用泥浆护孔,在施工中存在着很大的塌孔、埋钻、掉块卡钻等施工风险。

(3)为了确保含水层涌水潜力,要求滤水管的孔隙率尽可能大,这样一来,滤水管柱强度和安全下放存在着较大的风险。

(4)先前施工的 2 口深井,均在含水层段发生过埋钻、卡钻事故,尤其是第二口井,因埋钻事故而被迫停钻。因此含水层钻井施工风险很大。

1.3 先前施工的 2 口干井的原因分析

(1)经过对先前 2 口“干井”井位、新定井位,进行地面物探电测,分析对比电测数据,得出结论:新井位略好于 2 口“干井”,2 口“干井”的主要原因是钻井成井工艺不合理。

(2)全孔采用牙轮钻进工艺,采用钻杆加压,钻效低,岩屑细,造成含水岩层裂隙堵塞,严重影响成井后的出水量。

(3)由于未采用钻铤加压,井斜较大,造成含水层段钻进时井内事故较多。

(4)含水层钻进时,为了防止塌孔、埋钻事故,采用了泥浆护壁,对含水层裂隙影响较大。

(5)由于在含水层段发生事故,采用稠浆护孔、水泥固孔,时间长,频繁提下扫孔钻具,造成含水层裂隙的连通性进一步恶化。

(6)洗井程序与方法没有按照特殊情况,特殊对待。

1.4 新井技术措施

(1)通过现场水文地质踏勘及地面物探,寻找有利的含水构造,在建井方指定的区域尽量靠近构造破碎带,以便降低定井位风险。

(2)井深 300 m(区域水位以下)至终孔,全部采用 $\varnothing 230\text{ mm}$ 钢粒钻具取心钻进,减少岩屑产出,降低岩屑堵塞含水裂隙程度。

(3)对滤水管和下放深度进行专门设计。与常规水井相比,一方面过滤管的孔隙率由 15% 左右提高到 20% 以上,进水口形状由长 300 mm、宽 20 mm 变为长 150 mm、宽 10 mm,圆周分布密度提高 1 倍;另一方面,在满足下泵条件的前提下,尽量减少过滤管的下入深度,以增加含水层段的裸眼长度。

(4)滤水管壁厚由 6 mm 变为 8 mm,确保在过滤管孔隙率加大后过滤管柱的安全下放及在井内的整体强度。

(5)改变洗井顺序。根据含水层段取出的岩心特征以及试抽水情况,先进行盐酸洗井,再下入过滤管,改善洗井效果。采用多种洗井方法。单组活塞抽拉、双组活塞抽拉、球阀式双组活塞抽拉等。

(6)对于含水层段个别破碎、裂隙较发育、缩径的层段,通过采取多通孔、勤捞粉、放慢提下钻具速度等综合措施,避免因发生各类钻井事故,长时间处理事故而危害含水层结构,影响成井后的出水量。

1.5 实施简况

该项目于 2009 年 4 月 27 日开工,9 月 2 日水井竣工。施工期间,因设备故障停工 20 天;松散层掉钻事故处理 10 天;村民阻拦停工 7 天,正常钻进时间为 88 天。除取心钻进阶段效率较低之外,下入表层套管之后,再没有发生任何孔内事故。不仅使施

工比较顺利,而且有效地避免了在含水层处理事故而危害含水层的结构,保证了该井合同要求的出水量。

1.6 工程效果

该井开工之后,由于甲方对我院确定井位能否出水没有信心,一直不给解决井场电源,我们只好采用柴油发电机组进行施工,直到该井达到了合同出水量,甲方才同意给井场架设高压线,并得到他们的高度赞扬。该井终孔深度 552.64 m,终孔层位下奥陶系冶里组,静止水位 293.8 m,动水位 354 m,出水量 22.68 m³/h。从 2010 年初投入使用,至今已正常运行 3 年,甲方对该井非常满意。由于甲方对我院的技术实力和服务质量的认可,双方搭建起更为广泛的合作平台,完成了其他一些工程项目。

2 山西兴县华润联盛岢底煤业有限公司水源井

2.1 工程概况

在我院水文地质、水井施工等技术人员初步调研、实地踏勘的基础上,结合甲方的具体要求,2010 年 2 月,我院与山西兴县华润联盛岢底煤业有限公

司签订了水源井施工合同。合同要求:凿井深度 700 m;出水量大于 1000 m³/d;合同工期 3 个月。

合同签订之后,我们再次在甲方指定的凿井区域进行了上钻前准备工作,包括:由我方负责的井位确定;由甲方负责的供水供电条件落实及井场道路修建等。由于我院的施工设备因其他项目占用,不能按合同要求及时开工,经甲方同意,分包给其他单位施工。2010 年 3 月中旬开钻,到 2010 年 8 月中旬,孔深达到了 580 m。因处理孔内吸钻事故未果而被迫停钻。因已揭露大部分含水层,经反复洗井、下泵进行试抽水,其出水量最终未能满足合同要求而宣告报废,造成经济损失 70 余万元。为弥补经济损失,我们组织自己的钻井队,在距原井位 20 m 处,重新开孔,经过 3 个半月的钻井施工,于井深 701.2 m 终孔,圆满完成了该项目凿井施工任务。

该孔开孔即为基岩。上部为二叠系、石炭系砂岩、泥岩、石灰岩及煤层、薄煤夹层,下部为中奥陶系峰峰组、上下马家沟组石灰岩地层,部分层段岩溶裂隙比较发育,为该井目的开采层段。钻孔基本情况见表 3。

表 3 华润联盛岢底煤业有限公司水源井基本情况

地层	厚度/m	孔径/管井/mm	地层简述	施工工艺简述
P ₁ x + P ₁ s	162.5	350/325	细砂岩、砂质泥岩、泥岩互层,底部为中粒砂岩	牙轮钻进、泥浆护孔、筒状钻具修孔
C ₃ t + C ₂ b	144.5	350/325	泥岩、砂质泥岩、石灰岩、细砂岩及煤层,底部为粘土岩及铁铝岩	牙轮钻进、泥浆护孔、筒状钻具修孔
O ₂ f	97.6	300/273、250/219	厚层状致密石灰岩、浅灰色泥灰岩、角砾状泥灰岩夹石灰岩、石膏	牙轮钻进、泥浆护孔、筒状钻具修孔、下 Ø325 mm 及 Ø273 mm 组合井管、水泥浆封孔止水
O ₂ s	223.4	200/裸眼	厚层灰岩夹薄层泥灰岩、豹皮状灰岩夹白云质灰岩、泥质灰岩	完整层段,钢粒取心钻进;裂隙发育层段,反循环牙轮钻进与反循环清孔相结合
O ₂ x	73.2	200/裸眼	白云质灰岩、石灰岩夹泥灰岩	反循环牙轮钻进与反循环清孔相结合

2.2 工程风险

2.2.1 井位确定

择井区附近没有同类层位的水井资料可利用;村庄、煤矿先期施工的浅层井,由于煤层开采,几乎干枯;由于地形复杂,无法进行地面物探工作,定井技术手段受到限制,井位确定风险很大。

2.2.2 钻井施工

钻孔要揭穿覆盖层,多层薄厚不均、稳定程度相差悬殊的煤层、顶底板岩层、中奥陶系峰峰组厚段角砾状泥灰岩层以及中奥陶系上、下马家沟组中的溶洞、裂隙、含石膏泥灰岩等极不稳定的岩层。施工中,卡钻、埋钻、吸钻等事故随时可能发生。

2.2.3 采空影响

确定井位时,虽然有矿方提供的新近煤层采掘资料可参考,但钻孔还可能钻遇那些没有任何记载

的古窑、古坑或古采空区,会给钻井施工带来一些潜在的风险。

2.3 原因分析

从完工的水井来看,井位选择规避了风险,含水层的埋深、厚度、岩溶裂隙发育情况与设计基本吻合。报废孔的含水层段虽然已揭露 70% 以上,但试抽水却未能达到合同的出水量要求,其主要原因还是在于钻井成井的相关技术环节。

(1) 进入含水层之前,采用牙轮钻进,泥浆护孔,因泥浆质量及适应性较差,造成下管不到位,水泥封孔质量差,钻进中漏砂、漏泥,形成孔内事故隐患。

(2) 进入含水层钻进,无加压钻铤,不仅钻效低,岩屑细,易堵塞含水裂隙,而且钻孔易斜,形成孔内事故隐患。

(3) 钻孔漏失后, 却采用离心式排污泵钻进, 孔底冲洗液的流量与压力明显不足, 钻孔冲洗排渣能力较差, 虽然钻具带有取粉筒, 但大颗粒岩屑仍然存在二次破碎而影响含水层裂隙畅通。

(4) 进入含水层钻进后, 由于上述原因而使井内事故频频发生, 最终因无法处理井底事故钻具而使钻孔报废。

(5) 对含水层的保护意识不强, 在钻进中, 没有及时根据所钻岩层特征, 专门进行修整孔壁和清捞孔底岩屑, 导致有可能交工的水井成为报废井。

2.4 技术措施

(1) 含水层以上孔段, 采用牙轮钻进, 钻铤加压 ($\varnothing 178$ mm 钻铤, 长 9.5 m, 6 根), 泥浆护孔, 改变泥浆配方与维护, 下井壁管之前, 用专门的加长筒状钻具 (长度大于 10 m) 认真修孔, 大泵量冲孔, 确保井管下放到位, 提高水泥封孔止水质量。

(2) 每级口径换径前, 要保证底层钻穿 20 ~ 30 m 完整的岩层孔段, 下管之后, 采用单向高压止水器封孔, 确保将坍塌、掉块段封闭于井管之外, 以利于换径后的钻进安全, 提高钻井效率。

(3) 含水层段仍然采用 TBW850/50 型泥浆泵钻进, 减少井底二次破碎, 并加密专程打捞井底岩屑作业, 尽量减少堵塞含水裂隙的机会。

(4) 对于易缩径、不稳定的泥灰岩、膏层孔段, 勤修孔通畅, 尽量减少含水层段井内事故或处理事故的时间。

(5) 在裂隙不太发育, 含水较弱的层段, 采用向井内补水, 空气反循环钻进, 以利于及时清除岩屑, 有效地保护含水层。

(6) 钻进至设计井深, 采用空气反循环钻具, 自上而下, 分 4 次进行反循环排渣清孔, 为下泵试抽水提供有利条件。

(7) 下泵试抽水前, 采用双活塞洗井工具, 逐层抽拉洗井, 最后再下入专用的捞粉钻具 (3 组取粉筒串联, 长度 27 m), 大泵量冲孔, 彻底清除孔底沉渣与岩屑。

2.5 实施简况

我院钻井队搬迁、安装就绪后, 于 2011 年 3 月 16 日开钻, 2011 年 5 月 24 日终孔, 历时 69 天。终孔深度 701.2 m。钻进中, 根据实际情况, 适时采取针对性的技术措施, 圆满地完成了该项目。

2.6 工程效果

完工后经过持续 58 h 的抽水试验, 稳定出水量 $1080 \text{ m}^3/\text{d}$, 静水位埋深 197 m, 动水位埋深 212 m, 经水质检测, 各项指标均符合生活饮用水标准。水质、水量完全满足合同要求, 得到了甲方的好评。

3 结语

(1) 根据我们基岩深水井的施工实践, 在同等的水文地质条件下, 钻井成井各个工序, 都对成井后的出水量影响很大, 尤其对那些位于不同泉域分水岭地带或者没有明显构造破碎带的水井施工项目, 虽然要求的出水量不大, 其合同风险却非常大, 应当引起施工单位的高度重视, 并应在钻井成井工艺环节采取针对性的技术措施。

(2) 水井施工项目一般存在“两大风险”, 即: 定井风险与施工风险。定井风险是要给建井方保水量、保水质。施工井队通过采取得力措施, 进行钻井与成井、保护与改善含水层, 确保出水量, 是配合减小定井风险的有效手段。

(3) 规避施工风险, 首先要力争杜绝各类孔内事故, 尤其是含水层钻进中的事故, 绝不能因事故造成水井报废; 其次是保证设备正常, 人身安全。只有施工顺利, 不发生“三大事故”, 才可能实现水井施工“零”风险。

参考文献:

- [1] 刘文新, 张长茂, 鲍洪智, 等. YR-3 井井身井管结构设计及固井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(6): 35-38.
- [2] 刘广志. 特种钻探工艺学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
- [3] 屠厚泽. 钻探工程学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 1988.
- [4] 杨成田. 专门水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1981.

勘探所 2 个项目荣获 2012 年度国土资源科学技术二等奖

本刊讯 2012 年度国土资源科学技术奖评审结果于 2012 年 12 月 31 日正式揭晓, 获奖项目共有 68 项, 其中一等奖 12 项, 二等奖 56 项。中国地质科学院勘探技术研究所的“长寿命高效地质钻探系列液动潜孔锤研究与开发”及“陆地永久冻土天然气水合物钻探技术研究”项目荣获二等奖,

这也是探矿工程专业仅有的获奖项目。

国土资源科学技术奖是为了宣传国土资源科技领域为国土资源的调查、规划、管理、保护与合理利用及国民经济和社会发展作出的重大贡献, 推动国土资源科技创新与科技进步, 对国土资源科技领域的优秀科技成果进行奖励的奖项。