

雄安新区D16地热勘探井分层抽水实践

齐恭¹, 朱喜², 李郡¹, 齐晓凤¹, 高鹏举³, 董向宇^{*3}

(1. 河北省地质矿产勘查开发局第三水文工程地质大队, 河北衡水 053000;
2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061; 3. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

摘要:雄安新区地热勘探D16井针对雾迷山组和高于庄组2个热储层在确保钻井施工井内安全的前提下, 实施分层抽水试验, 首次获得了2个深部基岩热储层的水文地质试验成果。为后续雄安新区地热勘探井钻井施工和水文地质勘探探索了基本技术程序, 制定了工作样板, 对雄安新区规范实施地热勘探具有重要意义。

关键词: 地热能; 基岩热储; 地热井; 分层抽水试验; 雄安新区

中图分类号: P641.7; TE242 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0305-04

Layering pumping practice of D16 geothermal exploration well in Xiong'an New Area

QI Gong¹, ZHU Xi², LI Jun¹, QI Xiaofeng¹, GAO Pengju³, DONG Xiangyu^{*3}

(1. No.3 Hydrology Engineering Geological Brigade of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Hengshui Hebei 053000, China;
2. The Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang Hebei 050061, China;
3. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Layering pumping tests were carried out for the two thermal reservoirs of Wumishan and Gaozhuang Formation under the premise of drilling safety, and the hydrogeological test results of two deep hot bedrock reservoirs were obtained for the first time. The basic technical procedures were explored for the subsequent drilling construction of geothermal exploration wells and hydrogeological exploration in Xiong'an New Area, and the work model was formulated, which is of great significance for the standardized implementation of geothermal exploration in Xiong'an New Area.

Key words: geothermal energy; bedrock thermal storage; geothermal wells; layering pumping test; Xiong'an New Area

0 引言

地热是世界公认的极具应用价值的、新型绿色清洁能源, 具有分布范围广、储量大的特点。开发利用地热资源是实现“碳达峰、碳中和”目标、治理大气污染的重要途径之一^[1]。雄安新区地处华北平原腹地, 位于牛驼镇地热田、容城地热田和高阳地热田区域内, 地热资源赋存条件极好^[2]。自2017年开始, 中国地质调查局开展了雄安新区清洁

能源调查评价项目, 旨在探测蓟县系热储发育深度及开发潜力, 为雄安新区地热资源开发利用提供精确的原始数据资料和资源底数, 全面支撑服务雄安新区规划建设。

1 工程概况

2017年10月, 河北省地矿局第三水文工程地质大队受中国地质调查局水文地质环境地质研究所

收稿日期: 2023-06-14; 修回日期: 2023-08-05 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.047

第一作者: 齐恭, 男, 汉族, 1971年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事水文水井钻探工作, 河北省衡水市红旗大街808号, 57006594@qq.com。

通信作者: 董向宇, 男, 汉族, 1970年生, 教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事水文水井钻探、小口径岩心钻探、非开挖技术等工作, 河北省廊坊市77号, 13932678511@163.com。

引用格式: 齐恭, 朱喜, 李郡, 等. 雄安新区D16地热勘探井分层抽水实践[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 305-308.

QI Gong, ZHU Xi, LI Jun, et al. Layering pumping practice of D16 geothermal exploration well in Xiong'an New Area[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 305-308.

委托,实施D16地热勘探井的钻完井及测试施工工作。D16地热勘探井位于雄安新区安新县三台镇申明亭村东南,于2017年11月12日开钻,2018年7月6日钻完井及测试工作结束。D16井以探查深部基岩热储为主要目标,设计深度3000 m,按照四开井的井身结构施工^[3-4]。一开泵室段为 $\varnothing 339.7$ mm套管,二开为 $\varnothing 244.5$ mm套管,三开为 $\varnothing 177.8$ mm套管,四开为 $\varnothing 152$ mm裸孔^[5]。

2 D16井钻遇地层

D16井钻遇地层自上而下为第四系、新近系明化镇组、蓟县系雾迷山组、蓟县系杨庄组、蓟县系高于庄组^[6]。

(1)第四系(Q)。底界埋深355 m,沉积厚度355 m。岩性由棕黄、棕色粘土、亚粘土、亚砂土与灰、灰白色细砂、粉细砂、粉砂组成,不等厚互层,结构松散,下部含少量砾石。

(2)新近系明化镇组(Nm)。底界埋深980 m,沉积厚度625 m。岩性主要以棕、红棕、灰绿色泥岩、砂质泥岩与灰、灰白色粉砂岩、细砂岩不等互层,局部见砂砾岩,本层下部泥岩多夹钙核。

(3)蓟县系雾迷山组(Jxw)。底界埋深1986 m,沉积厚度1006 m,主要岩性为白、灰白、深灰、灰黑色厚层白云岩、泥质白云岩、含燧石条带白云岩夹棕红色泥岩。岩屑多呈片状,上部水蚀程度较高。岩心较破碎,风化程度较高,裂隙发育。本组地层中,裂隙(水层)总厚度为150.9 m,占本组地层总厚度的15%。裂隙单层厚度的最小值为2.7 m,最大值为17.3 m。

(4)蓟县系杨庄组(Jxy)。底界埋深2078 m,沉积厚度92 m。岩性主要为白、灰白、深灰、砖红色泥质白云岩夹燧石条带白云岩。本组地层中,裂隙(水层)总厚度为14.9 m,占本组地层总厚度的16.19%。裂隙单层厚度的最小值为2.7 m,最大值为4.4 m。

(5)蓟县系高于庄组(Jxg)。钻探深度3003.24 m,揭露厚度约925.24 m。主要岩性为白、灰白、深灰、灰黑色厚层含锰白云岩、泥质白云岩、含燧石条带白云岩,底部为灰白色砂质白云岩。本组地层中,裂隙(水层)总厚度为193.7 m,占本组地层总厚度的20.93%。裂隙单层厚度的最小值为2.9 m,最大值为22.3 m。

3 抽水试验

抽水试验是地热资源勘查中的重要工作程序,是获得热储层水文地质参数的重要手段^[7]。为了取得不同热储层的流体压力、产量、温度等热储层的水文参数,D16地热勘探井完井后进行分层抽水试验测试。对蓟县系雾迷山组上部、雾迷山组全段含水层以及揭露的蓟县系高于庄组分别进行抽水试验。

3.1 抽水试验要求

试验期间应尽量采用井下压力传感器测量地热流体的压力变化,如果条件不具备可采用直接从井口测量水位,并同时测量井口地热流体温度,换算出可准确反映压力的水头。测试资料应满足确定水流方程,计算出层渗透系数、有效孔隙度或弹性释水系数、压力传导系数,评价各层位流量的要求^[8],分层抽水步骤如下。

(1)一、二开次井段依次揭穿了第四系和新近系明化镇组,下套管完成固井。钻至蓟县系雾迷山组顶板。

(2)三开钻进至1400 m蓟县系雾迷山组时,洗井对雾迷山组上部进行抽水试验。

(3)雾迷山上部测试试验结束后,继续钻进至2430 m长城系高于庄组顶板,洗井并对雾迷山组全段进行抽水试验。

(4)完成三开段下套管并固井,四开揭露蓟县系高于庄组并钻进至设计井深,洗井对揭露的高于庄组进行抽水试验。

3.2 抽水试验工作过程

D16地热勘探井完成一开、二开1000 m的成井工作后,下套管固井。实施三开钻进至1300 m井深,钻完雾迷山组上部取水段,在1100、1200、1300 m井深位置分别采取了岩心,按照计划应进行第一次抽水试验工作。根据岩心显示,钻遇地层为白、灰白色白云岩、泥质白云岩含大量的燧石条带,岩心破碎,风化蚀变程度较高,地层裂隙非常发育,裂隙填充物胶结性很差,局部水蚀冲刷面无胶结。钻进过程中出现掉块、卡钻、较大的漏失等井下情况,提示井下安全风险大^[9-10]。

通过已经掌握的地质资料以及钻探施工过程中反应的井内情况,结合以往在雄县地区的地热井施工经验,基本判定如果在雾迷山组上段实施裸孔抽水试验,地下含水层裂隙联通,高速水流冲刷,极易导致在后续钻进时破碎岩块脱落导致卡埋钻事故,

井眼扩大导致井斜超标,甚至抽水过程中井壁失稳坍塌无法进行后续钻井施工,存在钻孔报废的风险。综合考虑地层地质条件以及钻探施工安全因素,对原设计的抽水试验进行了相应的调整。

新设计的抽水试验方案是建立在原设计方案的基础上,原则是达到原抽水试验目的及满足水文地质需求的基础,进行4次抽水试验。分别为高于庄组上段抽水试验、高于庄组全段抽水试验、雾迷山组上段抽水试验、雾迷山组全段抽水试验,对原设计施工方案进行调整如图1。

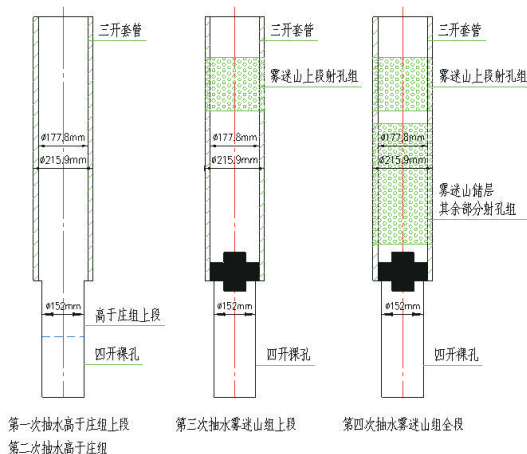


图1 D16井分层抽水程序

D16地热勘探井热储层抽水试验过程是按照以下步骤进行的。

(1)三开施工过程中不进行抽水试验工作,直至穿透蓟县系雾迷山组及杨庄组地层。施工完成后进行物探测井,综合分析蓟县系雾迷山组地层特点,确定发育较好的热储层位置。在雾迷山组上下段中间,裂隙不发育,井径不超标井段,在套管外部下入止水胶伞^[11],胶伞间隔 <20 m,封隔上下部含水层。下套管后,进行“穿鞋带帽”方式固井^[12-13],完成三开下管固井工作。

(2)三开施工完成后,进行四开施工,钻完蓟县系高于庄组上段后,进行洗井工作,彻底清洗高于庄组上段地层。对长城系高于庄组上段储层进行抽水试验工作,获取该段水文地质参数。

(3)继续进行四开钻进,钻进至设计井深后,再一次进行洗井工作,彻底清洗高于庄组地层。对完钻的蓟县系高于庄组地层进行抽水试验工作,获取该段各项水文地质参数。

(4)在三开生产套管最底部下入可取式止水桥塞,分隔封堵住高于庄组储层。封堵后,在三开 $\phi 177.8$ mm套管预下止水胶伞段上部射孔 $2\sim 3$ m,实施挤水泥分隔止水工作。

(5)采取分层射孔的技术,可以有效地区分开地热储层^[14]。射孔应按照相关技术规范来实施^[15]。对已经确定的蓟县系雾迷山组上段热储层进行射孔工作,并进行洗井,完成该段的抽水试验,取得蓟县系雾迷山组上段各项水文地质参数。

(6)对止水伞以下分隔的雾迷山组下段进行射孔施工,并洗井实施雾迷山组全段含水储层的抽水试验工作,取得各项水文地质参数。至此整个D16地热勘探井的全部抽水试验工作完成。

3.3 保障措施

(1)在高于庄组上段抽水试验前,进行止水试验,确保一、二、三开井段止水效果。

(2)在高于庄组上段抽水试验后,含水通道打开,再次钻进时采用暂堵泥浆材料随钻堵漏,维持钻进时井内液柱平衡,严禁使用水泥材料封死高于庄组上段储层。

(3)在三开最底部套管下入止水桥塞后以及三开套管止水胶伞中间射孔挤水泥后均做止水实验,确保雾迷山上下段被分隔。

(4)雾迷山组全段抽水试验完成后取出三开套管底部的止水桥塞,贯通全井。

4 抽水试验成果

进行4次抽水试验,取得各热储层的水文地质参数见表1。

各段抽水试验成果见图2~5。

表1 分层抽水数据

层位	水位降深 /m	涌水量 /($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	单位涌水量 /[$\text{m}^3\cdot(\text{h}\cdot\text{m})^{-1}$]	井口水温/ $^{\circ}\text{C}$
雾迷山组上段	34.81	198	5.688	70
雾迷山组全段	25.41	201.70	7.938	69
高于庄组上段	25.57	86.20	3.371	72
高于庄组全段	82.09	171.40	2.09	72

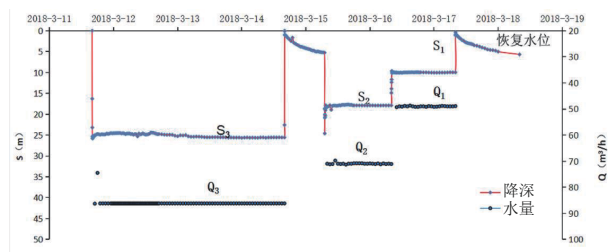


图2 高于庄组上段抽水试验成果

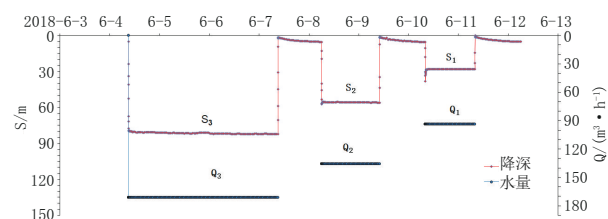


图3 高于庄组全段抽水试验成果

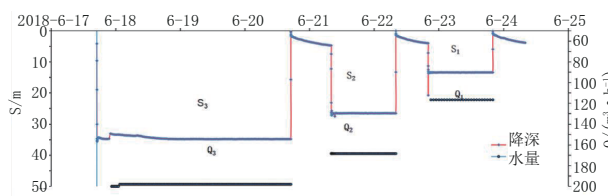


图4 雾迷山组上段抽水试验成果

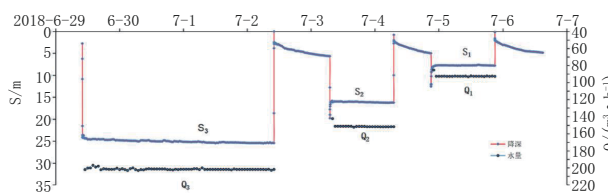


图5 雾迷山组全段抽水试验成果

D16地热勘探井首次在容城地热田揭穿了蓟县系雾迷山组,揭露了高于庄组。查明了蓟县系雾迷山组和高于庄组的热储特征。

雾迷山组裂隙岩溶热储岩性主要为白云岩、泥质白云岩,上部风化程度较高,裂隙岩溶较发育。裂隙(水层)总厚度150.9 m,占地层总厚度的15%(裂隙率),孔隙度平均值为2.08%,渗透率平均值为0.75 μm^2 ,井口水温约69℃,静水位101.23 m,降深25.41 m,涌水量201.7 m^3/h ,单位涌水量7.938 $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ 。

高于庄组裂隙岩溶热储岩性主要为白云岩、泥质白云岩、含燧石条带白云岩,裂隙岩溶局部较发育。裂隙(水层)总厚度193.7 m,占地层总厚度的20.93%(裂隙率),孔隙度平均值为2.03%,渗透率

平均值为1.22 μm^2 ,井口水温约72℃,静水位101.61 m,降深82.09 m,涌水量171.40 m^3/h ,单位涌水量2.09 $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ 。

5 结语

D16地热勘探井完井探深度3003.24 m,为雄安新区实施的第一眼地热科学勘探井,也是雄安新区第一个揭露了蓟县系高于庄基岩储层,探测进入深部第二热储层的地热勘探井,判定了蓟县系高于庄热储新层系,获取了重要丰富的水文地质数据。

D16地热勘探井的钻井和抽水试验等工作为后续雄安新区地热勘探井钻井施工和地热井水文地质勘查探索了基本技术程序,制定了工作样板,对雄安新区清洁能源调查评价具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 汪集暘,马伟斌,龚宇烈.地热利用技术(可再生能源丛书)[M].化学工业出版社,2005.
- [2] 王贵玲,李郡,吴爱民,等.河北容城凸起区热储层新层系——高于庄组热储特征研究[J].地球学报,2018,39(7):533-541.
- [3] 胡郁乐,张惠.深部地热钻井与成井技术[M].中国地质大学出版社,2013.
- [4] 韦利.地热井钻井施工技术研究[J].石化技术,2017,24(10):230.
- [5] 刘文新,张长茂,鲍洪智,等.YR-3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.
- [6] 马峰,王贵玲,张薇,等.雄安新区容城地热田热储空间结构及资源潜力[J].地质学报,2020,94(7):1981-1990.
- [7] 窦斌,田红,郑君.地热工程学[M].中国地质大学出版社,2020.
- [8] GB/T11615-2010,地热资源地质勘查规范[S].
- [9] 高鹏举,董向宇,刘凡柏,等.XD-40型钻机在雄安新区地热勘探井施工中的应用[J].钻探工程,2021,48(8):72-77.
- [10] 高鹏举,董向宇,马峰,等.雄安新区D15地热勘探井钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(3):106-112.
- [11] 刘春明.地热井及水文孔止水工艺探讨[J].中国煤炭地质,2013,25(9):35-37.
- [12] 王培义,马鹏鹏,张贤印,等.中低温地热井完井工艺技术研究与实践[J].石油勘探技术,2017,45(4):27-32.
- [13] 李国栋.地热钻井技术的若干技术问题[J].地下水,2008,30(1):85-86,88.
- [14] 贾志,张芬娜,杨忠彦,等.射孔技术在孔隙型地热回灌井中的应用[J].地下水,2015,37(2):106-109.
- [15] DZ/T0260-2014,地热钻探技术规程[S].

(编辑 王文)