

# 水环地调中心钻探技术“十三五”发展回顾及展望

李小杰, 甘行平

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

**摘要:**全面总结了我国地质调查局水文地质环境地质调查中心“十三五”期间在水工环钻探技术及装备、水合物防砂技术及干热岩钻探技术等方面取得的重要成果,主要包括:创新水工环勘查技术与装备助力地下水绿色勘查;提出防砂措施为水合物试验性开采提供技术支持;牵头实施青海共和盆地干热岩试验性勘查开发工程,突破高温硬岩钻探技术、装备、工艺等,力争建立世界一流干热岩示范性发电基地。同时,结合当前面临的形势与挑战,对“十四五”期间业务发展方向进行了展望。

**关键词:**十三五;水工环;钻探;分层勘查;干热岩

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0025-04

## Review of drilling technology by CHEGS during the “13th Five-Year Plan”

LI Xiaojie, GAN Xingping

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding Hebei 071051, China)

**Abstract:** This paper comprehensively summarizes the important achievements made by the Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS (CHEGS) on hydrogeological, engineering geological and environmental geological drilling technology and equipment, sand control technology for natural gas hydrate as well as hot dry rock drilling, etc. during the “13th Five-Year Plan” period. These achievements mainly include innovations in hydrogeological, engineering geological and environmental geological exploration technology and equipment which has helped green groundwater survey; proposal of sand control measures which has provided technical support for the experimental production of natural gas hydrate; organization and implementation of the experimental investigation and development project for hot dry rock in Gonghe Basin, Qinghai where significant breakthroughs have been made on drilling technology, equipment and process for the high temperature hard rock in order to establish a world-class demonstration power generation base. Moreover, with analysis of the existing challenges, this paper presents an outlook on the future research activities about drilling technology in the coming “14th Five-Year Plan” period.

**Key words:** the “13th Five-Year Plan”; hydrogeology, engineering geology and environmental geology; drilling; multi-level investigation; hot dry rock

## 0 引言

中国地质调查局水文地质环境地质调查中心(以下简称水环地调中心)钻探技术团队成立于20世纪60年代,经过几十年变迁,团队从最初钻探分队衍生为钻探工艺室、钻探技术室、标准化室,1998

年人员分流到保定工程勘察院,2003年成立工程技术室,后更名为钻探工程技术室,2020年再次更名为钻探技术室。

水环地调中心钻探技术团队主要承担水工环钻探技术、工艺的研发和应用推广工作,天然气水

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.004

作者简介:李小杰,男,汉族,1979年生,高级工程师,地质工程专业,长期从事水工环钻探技术研究工作,河北省保定市七一中路1305号,lixiaojie@mail.cgs.gov.cn。

引用格式:李小杰,甘行平.水环地调中心钻探技术“十三五”发展回顾及展望[J].钻探工程,2021,48(S1):25-28.

LI Xiaojie, GAN Xingping. Review of drilling technology by CHEGS during the “13th Five-Year Plan” [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 25-28.

合物开采防砂、水平井等技术工艺研发和应用,干热岩勘查开发与干热岩发电等工作。“十三五”期间,钻探技术团队在传统技术优势基础之上拓展新思路,加强技术攻关,研发了一系列地下水勘查、监测、工艺及装备等,助力国内地下水绿色勘查事业;探索了低渗透性储层水合物开采防砂措施,助力我国海域天然气水合物试采;牵头探索实施干热岩勘查开发工程,成功实现我国首例干热岩规模化压裂储层建造,有效改造体积超千万立方米,达到世界先进水平。

## 1 传统水工环钻探技术

### 1.1 地下水分层勘查技术

2015年至今,根据国内地下水分层勘查工作需要,钻探技术团队开发了地下水分层抽水技术、地下水分段振荡洗井技术及相关器具,形成了“一井同径,分段洗井,分层抽水,实时监控”地下水分层勘查新模式。不仅能提高水文地质参数的精度,使水文地质孔含水层出水能力无限接近真实值,而且能够准确获取不同含水层水文地质参数,为合理评价地下水含水层、概化水文地质模型提供了技术支撑<sup>[1-2]</sup>,见图1。



图1 地下水分层抽水系统

近年来,根据地下水勘查技术要求,分层抽水器具经不断改进优化,已研发至第六代,应用于全国40多个水文地质调查项目、煤矿防治水害项目和科研项目,大幅度缩短了传统地下水分层勘查工艺流程,精准获取地下水参数,降低工程成本,受到用户单位的一致好评。

2017年,针对结构不稳定、易坍塌地层,钻探技术团队基于分层抽水器具研究基础,研发了封隔注浆快速分层成井技术。创新提出了封隔器封堵—注浆分层施工工艺,实现快速分层、高效成井的目的<sup>[3]</sup>。目前,该技术已应用于国内多眼水文地质孔

分层成井(最多为14层),有力地支撑了地下水分层勘查技术推广与应用。

### 1.2 多层监测井技术

2016年起,针对国内缺乏耐腐蚀小直径监测井井管的问题,钻探技术团队不断改进国外巢式监测井技术和连续多通道监测井技术(CMT技术)以适应国内地下水监测需要。团队先后研制了既适用于巢式监测井成井,又适用于常规监测井建造的可替代传统钢质监测井管的 $\text{O}50$ 、63、75和 $\text{O}90$  mm PVC-U井管,填补了国内同类型小直径PVC-U井管的空白,为国内小直径监测井特别是巢式监测井提供了耐腐蚀的成井管材<sup>[4]</sup>。借鉴国外CMT技术,研发了通道口径更大、成井深度更深的,具有7个连续通道的能够满足地下水自动监测仪安装的 $\text{O}70$ 和 $\text{O}105$  mm连续多通道管及其成井配套器具,填补了国内同类产品的空白,打破了国外产品垄断的局面。目前,连续多通道管监测井技术已经分别在多个省市20多个地调科研项目中进行了示范性应用,累计建成连续多通道管地下水多层监测井80余眼,最大成井深度200 m,见图2、图3。同时,团队研发了专用的15 mm优质黏土球用以解决巢式井止水困难问题,与传统止水黏土球相比,具有隔水性好、水化时间长、不易“架桥”、环保等优点。

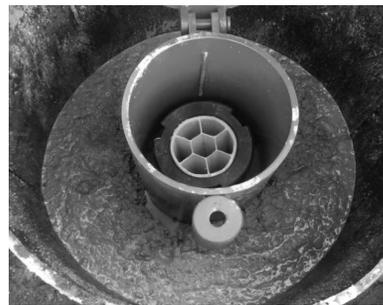


图2 连续多通道管监测井



图3 连续多通道管监测井成井作业

在上述研究基础之上,钻探技术团队研发了多层水文地质孔改建技术,通过向井内安装分层器具,将多层水文地质孔改建为多层监测井(巢式监测井或CMT监测井),使混合观测变为分层观测,对于长期监测或研究某一含水层具有十分重要的意义。

上述研究成果已在全国范围内推广应用,在我国浅层地下水监测中发挥着重要作用。

### 1.3 低扰动采样、红层降浊及水力压裂技术

2019年至今,钻探技术团队研发了轻便智能化地下水低扰动采样设备,根据采样要求,可实施大流量洗井(换水)和低流量低扰动(0.1~0.5 L/min)采集水样,同时,自动记录采样过程中井中水位、水温及流量等数据。采样过程中,系统可存储地下水常规5参数(水温、电导率、溶解氧、浊度、pH值)数据,并根据参数稳定情况进行实时判定,以保障采集水样的真实有效性。

针对应急抗旱找水工程中基岩风化层、红层地层和岩溶地层等地区,常遇水量大、水质浑浊、利用率低的难题,团队研发了红层降浊技术,通过“封差滤良”工艺降低施工难度、缩短工艺流程、净化水质,有效保障出水效率与出水质量,见图4。



图4 红层降浊技术应用

针对基岩水井因裂隙不畅导致出水量少的问题,团队借鉴油气井水力压裂装备与工艺研究基础,创新了压裂工艺,研发了压裂介质,改造了压裂设备,降低施工成本,缩短施工时间,提出了适用于水工环钻探的基岩压裂技术,已成功用于基岩水井、地热井以及其他增产增注工作井等,取得了显著的增水效果,见表1。

表1 基岩压裂增水技术应用

序号	应用地点	地层岩性	压裂前水量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	压裂后水量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	水量增加/ %	备注
1	河北唐县	片麻岩	0.26	2.60	900	水井
2	山东临朐	灰岩	8.60	13.03	51.5	水井
3	北京昌平	花岗岩	1.84	4.86	164.1	水井
4	河北顺平	灰岩	8.9	20.23	127.3	水井
5	河南牛山	安山岩	10	31	210	地热井
6	贵州安龙	白云岩	2.1	9.475	351	地热井
7	贵州安龙	白云岩	4	9.75	143.8	地热井
8	杭州鸬鸟镇	花岗岩	13.03	17.92	37.5	地热井

## 2 水合物防砂技术

2017年至今,团队探索了海域低渗透储层天然气水合物试采防砂工艺以及水平井开采渗流规律,总结了海域泥质粉砂岩地层出砂机理—出砂规律—防砂机制—防砂措施;研制了砾石粒径“内粗外细”、强度“内低外高”的具有良好渗透性能和防堵塞能力的变强度双层贴砾过滤器,建立了海域泥质粉砂岩天然气水合物储层开采出砂量、产水量和压差的理论计算模型。为先导区试采工程方案制定提供了一定技术支持,见图5。



图5 变强度双层贴砾过滤器

## 3 干热岩勘查开发技术

2017年起,钻探技术团队开始参与青海干热岩地质调查工作,探索了共和盆地干热岩热源机制,为研究共和盆地干热岩的赋存与分布规律奠定基础,为恰卜恰干热岩试验性开发价值及热源可持续性提供有力的理论支撑。

2017年8月,在共和盆地恰卜恰GR1井3705 m

处钻获 236℃高温干热岩体,实现了我国干热岩勘查重大突破,为我国干热岩勘查开发与工程试验实践提供了阵地,见图6。



图6 共和盆地恰卜恰 GR1井施工现场

2019年至今,通过 GH-01井钻探取心、综合测井和录井,获取了实物资料样品和真实可靠的第一手深部钻孔数据,摸清了共和恰卜恰试验性开发场地深部岩性变化、温度梯度和裂隙系统分布特征,确定了试验性开发的目标层段,为储层建造提供了基础地质数据;建成了高精度地震监测台网;探索了干热岩水力裂缝起裂与扩展机理和干热岩水力压裂诱发地震机理;依据共和盆地恰卜恰试验场地干热岩井产能参数,确定干热岩发电模式,提出科学的干热岩发电设计方案;目前已成功实现我国首例干热岩规模化储层建造,力争2021年建立世界一流干热岩示范性发电基地。

#### 4 其他进展

“十三五”期间,团队完成了包括“共和盆地恰卜恰干热岩试验性开发与评价”、“某某海域天然气水合物试采实施”、“《地下水采样技术规程》制定”在内的地质调查项目(子项目)3项,制定了《地下水采样技术规程》、《浅层地下水连续多通道管监测井建设规程》、《地质勘查野外作业人员安全防护装备技术规范》、《地质仪器设备折旧标准》等行业标准4项,获得中国地质调查局地质科技奖二等奖1项,获得国家知识产权局专利授权20余项。

#### 5 “十四五”展望

“十四五”期间,团队围绕优势业务领域开展科技攻关,力争掌握干热岩勘查开发、水合物开采、传统水工环钻探成井等关键核心技术,推广地下水分层勘查、地下水采样、水力压裂等系列地质钻探相关技术和设备,服务国际清洁能源勘查开发和传统地质工作转型发展。

(1)攻关干热岩经济高效钻探、循环换热、发电等关键技术,编制干热岩勘查开发技术标准。

(2)攻关天然气水合物复杂结构井防砂技术工艺,编制天然气水合物开采防砂技术标准。

(3)攻关新型监测井、循环井、智能化采样技术及装备,以及1000~2000 m深分层成井技术装备,引领水工环钻探技术发展。

(4)制订或修订水工环钻探、成井、采样技术标准,促进水工环地质行业技术进步。

(5)推进优势技术、成熟成果的科技成果转化,推动水工环地质工作转型升级发展。

#### 6 结语

“十三五”期间,团队围绕传统水工环钻探走出了一条绿色勘查的发展之路。“十四五”期间,结合传统技术优势及现有工作基础,团队将继续深入研究水工环钻探技术、成井工艺、钻探材料、分层勘查、采样技术、污染修复技术,形成水工环钻探技术方法体系;攻关天然气水合物复杂结构井防砂技术与工艺,形成天然气水合物开采防砂技术标准;加快推进干热岩勘查开发关键核心技术攻关,实现试验性发电,建成国际先进的干热岩试采示范工程。制定干热岩勘查开发技术标准,支撑服务国家清洁低碳能源开发利用。

#### 参考文献:

- [1] 何计彬,潘德元,李炳平,等.深井分层真空抽水试验及机理分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):18-23.
- [2] 王明明,解伟,安永会,等.封隔注浆分层成井技术在水文地质勘查中的应用研究[J].水文地质工程地质,2019,46(1):50-55.
- [3] 冯建月,王营超,叶成明,等.五层巢式监测井成井工艺与材料研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):29-33.
- [4] 李小杰,叶成明,李炳平,等.基岩水井水力压裂专用压裂液试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,44(10):234-237.