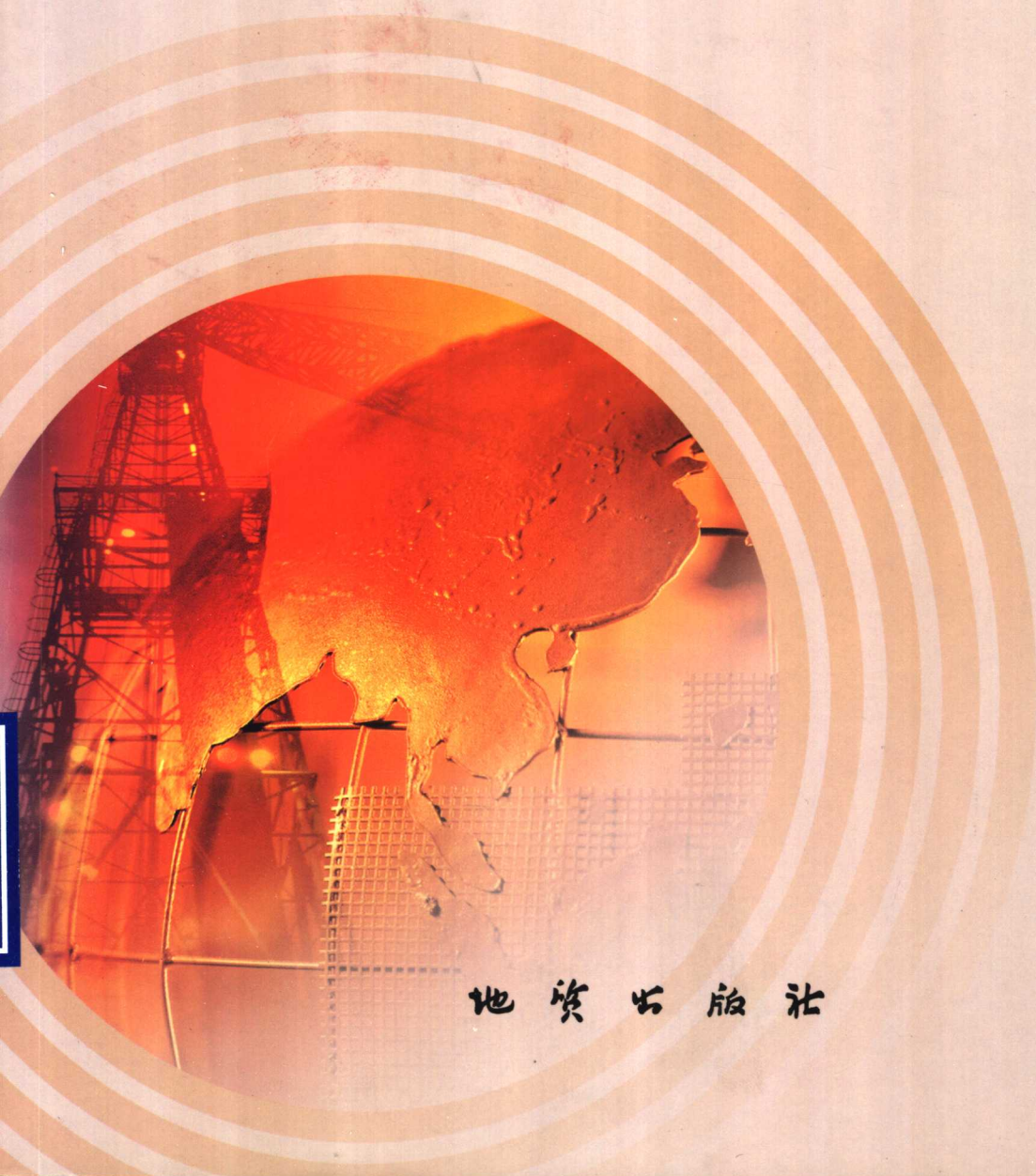


水井钻井和成井新技术

NEW TECHNOLOGY OF WATER WELL DRILLING
AND COMPLETION

孙友宏 张祖培 刘宝昌 编著



地质出版社

水井钻井和成井新技术

NEW TECHNOLOGY OF WATER WELL DRILLING AND COMPLETION

孙友宏 张祖培 刘宝昌 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书介绍了国际水文水井钻井和地热井勘探开发中最新的钻井和完井工艺方法及设备。主要包含中国、俄罗斯、乌克兰、美国、澳大利亚等五国水文水井钻探专家和学者提缴的论文,反映了当今国际上该领域发展的最高水平。

全书共有论文 40 篇,分为:优秀论文;国内论文;国外论文三大部分。其中优秀论文有 5 篇;国内论文又分四篇——第一篇为水井钻探设备及施工方法(论文 9 篇);第二篇为地热井及地源热泵技术(论文 7 篇);第三篇为钻井泥浆(论文 5 篇);第四篇为成井工艺及其他(论文 4 篇),国外论文有 10 篇。

本书可供在水文水井、地热井、石油井和地质勘探钻井等领域内从业的工程技术人员,以及有关院校相应专业的师生们参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水井钻井和成井新技术/孙友宏,张祖培,刘宝昌编
著. —北京:地质出版社, 2004.12

ISBN 7-116-04321-7

I. 水... II. ①孙... ②张... ③刘... III. 水井 - 新技术 - 国际学术会议 - 文集 IV. TU991.12-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 136072 号

SHUIJING ZUANJING HE CHENGJING XINJISHU

责任编辑:李源明 陈 磊

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324565 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 13.5 彩页: 2 页

字 数: 330 千字

印 数: 1—1100 册

版 次: 2004 年 12 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 35.00 元

ISBN 7-116-04321-7/P·2543



(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

水,作为地球上一种特殊的物质和资源,是人类的生命之源、是人类生存和生产活动中最重要的物质基础。随着人类的进步和发展,对水的需求也不断增加。就全球而言,缺水与人口、资源、能源问题一样,已成为很多国家和地区面临的四大危机之一,有些国家甚至将它列为战略资源。

我国由于受所处地理位置、气候、降水、地形和地貌等自然条件以及人口、耕地与矿产资源分布的影响,水资源总量虽然较丰富,但人均、地均拥水量少,加之水资源的时空和地空分布极不均匀,以及与人口、耕地和矿产资源的分布不匹配,使得水资源短缺与国民经济可持续发展的矛盾日益突出。目前,我国北方和沿海地区已出现不同程度的水资源短缺和水质遭污染的严重局面,生活与生产用水供应不足已成为社会经济可持续发展的重要制约因素。而西北地区为我国的主要干旱和半干旱分布区,该地区降雨很少,生态环境非常脆弱,有些地方人畜饮水都很困难,缺水问题更为突出,水已严重影响到该地区人类生存。因此,大力合理勘探开发地下水资源已成为惟一的有效的办法。

为了加快我国地下水资源勘探开发技术的发展速度,学习和了解国外的先进技术和经验,促进国内、外水文水井钻井与成井技术领域同行间的合作,提供一个该领域中新理论、新技术、新方法和新工艺的交流平台,由吉林大学、中国地质调查局和中国地质学会探矿工程专业委员会,于2003年8月26~28日在吉林省长春市联合举办了“国际水文水井钻井与成井新技术研讨会”。本次研讨会共收到中国、俄罗斯、乌克兰、美国、澳大利亚等五国的水文水井钻探专家和学者提缴的论文40篇,其中,在会上交流了20篇(中国10篇、俄罗斯7篇、乌克兰1篇、美国1篇、澳大利亚1篇)。研讨会还评出优秀论文5篇。

由于本届国际水文水井钻井与成井新技术研讨会是与中国探矿工程(岩土钻掘工程)与可持续发展研讨会同时举办的,因此,本论文集收录的论文包括了上述两会上有关水文水井钻探方面的文章,覆盖了水文水井和地热井的勘探开发国际上几乎所有的先进工艺方法和设备。其中:水文水井设备及施工方法论文15篇,地热井及地源热泵施工技术论文8篇,水文水井钻井泥浆论文7篇,成井工艺等论文10篇,反映了当今世界水文水井和地热井钻探技术发展的最高水平。

本论文集出版的目的是为促进我国水文水井钻探技术的进一步发展作出一点微薄的贡献。毫无疑问,论文集中所列入的各篇谨供国内、外同行们参考和研讨。本论文集的出版得到中国地质调查局科技外事部和教育部高校青年优秀教师奖项目《中国西部干旱缺水地区地下水钻探开发新技术研究》的慷慨资助。论文的翻译工作由吉林大学建设工程学院张祖培、刘宝昌两位教师负责完成。论文集在编辑加工过程中,得到了地质出版社诚聘责任

编辑李源明高级工程师的大力支持与指导；本校陈晨、徐会文等教师以及齐艳华、胡志坚、刘冬生、高科、王晨涛等研究生和本科生协助完成了大量翻译和打印工作，在此一并向他们表示感谢。

由于是论文集，所以集内各文章的格调和水平是不一致的。本着扩大交流、文责自负、雅俗共赏的宗旨，我们录用了所有有关稿件，然而受编辑时间及编者水平所限，论文集中难免有错漏和不足之处，恳请读者批评与指正。

编 者

2004 年 8 月于长春

目 录

第一部分 优秀论文

水文水井水泵增压泡沫钻进技术及其应用	孙友宏 张祖培 叶建良 聂衍钊 (2)
水文水井潜孔锤反循环钻进技术	殷 琨 王茂森 彭祝明 周占江 (14)
水井气举钻探新技术推广应用市场综述	许刘万 宋 刚 史兵言 佟功喜 (21)
空气潜孔锤技术在水井钻进中的运用	波尔 R.W. 罗海标 孙广群 (28)
俄罗斯水文水井钻进设备与工艺	巴虚卡托夫 D.N. 谢尔丘克 N.I. (36)

第二部分 国内论文

第一篇 水井钻探设备及施工方法

地下水资源与干旱缺水地区地下水勘探	耿瑞伦 刘冬生 (42)
TS-2000 型水文水井钻机的研制	韩金柱 王玉吉 (52)
DPP-100A 型钻机在水文地质勘察中的应用	韩喜胜 (55)
泡沫潜孔锤应用于水文水井钻进工艺研究	王如生 殷 琨 谭凡教 胡振阳 (59)
安徽淮南潘集矿区供水井设计施工优化及建议	丁同福 (66)
福建大田县城西水厂供水井找水及施工方法	甘亨俏 (70)
巨厚漂卵砾石层供水井施工技术探讨	张海花 (76)

第二篇 地热井及地源热泵技术

北京地区地热井钻探工艺发展	彭新明 (80)
山东某地区地热井气举反循环钻进与成井技术探讨	孙丙伦 刘玉仙 (86)
煤系地层地热井钻探技术	张秋冬 刘志国 赵建粮 邢向渠 (92)
福州 XG-5 号地热井施工工艺	田 勇 (97)
用于地源热泵的管井人工灌采地下水的核心技术	赵 军 赵树林 周洪民 余乐渊 (101)
水源热泵系统中深基岩抽灌两用井的应用研究	张 毅 彭新明 孙友宏 (107)
热熔法施工地热井的前景分析与研究	陈 晨 张祖培 卢文阁 贾 栋 韩 冰 (114)

第三篇 钻井泥浆

运用生物酶降低聚合物钻井液引起的地层伤害	李云波 乌效鸣 蔡记华 (120)
$\text{NH}_4^+ - \text{K}^+$ 基沥青质聚合物钻井液在地热和煤田钻井中的应用	孙国强 王为民 李晋河 齐路恒 (124)
钻井冲洗液对水井出水量影响规律的研究与应用	阮文军 杜兆成 (128)

空气钻井水力学的研究与应用

- 郑秀华 夏柏如 胡远彪 尹文斌 李 纯 程金霞 (135)
地热钻井泥浆的使用 陈礼仪 苏 宁 (140)

第四篇 成井工艺与其他

- 全塑料供水井技术 孙友宏 查恩来 汪晓峰 胡晓天 (145)
大庆供水井群动、静水位无线监测网络系统的设计与应用研究
..... 查恩来 李永年 张秋建 (153)
水文水井钻井设计软件的研制与开发 胡远彪 夏柏如 郑秀华 (157)
压裂酸化在地热开发领域中的应用 孙国强 (162)

第三部分 国外论文

- 水文水井钻孔双管钻进工艺 达维钦柯 A.N. 伊格纳托夫 A.A. (166)
提高供水井套管固井质量 尼古拉耶夫 H.I. 等 (169)
钻进含水层的环保问题 契斯佳柯夫 V.K. 沙赫玛梅季捷夫 L.G. (172)
气化用钻孔套管计算 马卡洛夫 V.V. 孔德列夫 B.I. (176)
钻进与开发含水层的工艺研究 达维钦柯 A.N. 卡门沙茨基 A.F. (178)
DRILLING OF GLACIER BOREHOLES 契斯佳柯夫 V.K. (182)
冰层钻进采用有机硅化合物冲洗和充填的前景
..... 泰勒拉依 P.G. 契斯佳柯夫 V.K. (187)
钻进冲洗液的机械 - 水解作用 达维钦柯 A.N. (193)
综合工艺系统形成和发展的理论和实践基础 谢尔丘克 N.I. (197)
THE INTEGRATED BOREHOLE MINING EFFICIENCY
FOR FAR EAST COAL DEPOSITS 安德列耶夫 A.V (201)

CONTENTS

Part I Outstanding thesis

- Application and Technology of Foam Drilling in Water Well with pump
booster Sun Youhong, Zhang Zupei, Ye Jianliang, Nie Yanzhao (2)
- Technique of Reverse Circulation with Down-hole-hammer Used in
Water Well Drilling
..... Yin Kun, Wang Maosen, Peng Jianming, Zhou Zhanjiang (14)
- Market Summary on the Expanding Application of New Air-lift Techno-
logy in Water Well Drilling
..... Xu Liuwan, Song Gang, Shi Bingyan, Tong Gongxi (21)
- Application of Pneumatic Hammer Technology in Water Well Drilling
..... Buell R.W., Luo Haibiao, Sun Guangqun (28)
- Equipment and Technic of Hydrological and Water Well Drilling in Russia
..... Bashkatov D.N., Serdyuk N.I. (36)

Part II Domestic thesis

A. Water Well Drilling Equipment and Construction Method

- The Resource and Exploration of Ground Water in Drought and Scarce
Water Area Geng Ruilun, Liu Dongsheng (42)
- Manufacture of TS - 2000 Hydrology and Water Well Drill
..... Han Jinzhu, Wang Yuji (52)
- Application of DPP - 100A Drill in Hydrogeological Exploration
..... Han Xisheng (55)
- Research on the Drilling Technology of Applying the Foaming DTH Hammer
in Hydrology and Water Well Drilling
..... Wang Rusheng, Yin Kun, Tan Fanjiao, Hu Zhenyang (59)
- Proposal and Optimized Design for Water Well Drilling in Huainan Panjin
Mine Anhui Province Ding Tongfu (66)
- Methods of Exploration and Well Construction Applied to a Water Plant in
the West of Datian County, Fujian Province Gan Hengqiao (70)
- Discussion of Water Well Construction Technology in Huge Gravel Strata
..... Zhang Haihua (76)

B. Geothermal Well and Ground Source Heat Pump Technology

- Development of Geothermal Well Drilling Technology in Beijing Area
..... Peng Xinming (80)

Discussion of Air-lift Reverse Circulation Drilling in Geothermal Wells and Completion Technology in Shandong Area ... Sun Binglun, Liu Yuxian (86)

Geothermal Well Drilling Technique in Coal Measures Strata
..... Zhang Qiudong, Liu Zhiguo, Zhao Jianliang, Xing Xiangqu (92)

Construction of XG - 5 Geothermal Well in Fuzhou, Fujina Province
..... Tian Yong (97)

Key Techniques of Drawing-pouring Well for Ground Source Heat Pump
..... Zhao Jun, Zhao Shulin, Zhou Hongmin, Yu Leyuan (101)

Application of Deep Drawing-pouring Bed Rock Well in the WSHP System Zhang Yi, Peng Xinming, Sun Youhong (107)

Research and Analysis on the Prospect of Subterrene Drilling Method in Geothermal Well
..... Chen Chen, Zhang Zupei, Lu Wenge, Jia Dong, Han Bing (114)

C. Drilling Mud

Use Biologic Enzyme to Reduce Stratum Damage by Polymer Drilling Fluid
..... Li Yunbo, Wu Xiaoming, Cai Jihua (120)

Application of Drilling Fluid Composed of $\text{NH}_4^+ - \text{K}^+$ Asphaltene Polymer in Geothermy and Coal Field Drilling
..... Sun Guoqiang, Wang Weimin, Li Jinhe, Qi Luheng (124)

Research on the Influence of Drilling Fluids on the Yield of Water Well and its Application Ruan Wenjun, Du Zhaocheng (128)

Application and Research of Hydromechanics in Air Drilling
..... Zheng Xiuhua, Xia Boru, Hu Yuanbiao, Yin Wenbin, et al. (135)

Research on the Mud Applied to Geothermal Well Drilling
..... Chen Liyi, Su Ning (140)

D. Well Compleitive technology and other

Whole Plastic Tube Water Well Drilling Technology
..... Sun Youhong, Zha Enlai, Wang Xiaofeng, Hu Xiaotian (145)

Application and Design of Wireless Net System for Monitoring Dynamic and Static Level of Water Well in Daqing Area
..... Zha Enlai, Li Yongnian, Zhang Qiujuan (153)

Development of Water-well Drilling Design Software
..... Hu Yuanbiao, Xia Boru, Zheng Xiuhua (157)

Application of Fracturing Acidification Technology in Exploiting Geothermy
..... Sun Guoqiang (162)

Foreign thesis

Technics of Double-tube Drilling on Hydrological Well
..... Davidchico A.N., Egenatoef A.A. (166)

Upgrading Annular Space Cementation in Water-supply Well Construction

..... Nikolayev N.I, Toyb R.R, Zagrivniy F.A, Mwansa P.L. (169)	
The Environmental Problems on Aquifer Drilling	
..... Chiskakov V.K., Samamejiv L.G. (172)	
Calculation of Gasification Hole Casing	
..... Markelov V.V., Kaudelief B.I. (176)	
Studies on Technology of Drilling and Exploring Aquifer	
..... Davichico A.N., Kamenskaki A.F (178)	
Drilling of Glacier Boreholes	Chistyakov V.K. (182)
Prospect of Flushing and Filling by Using Organic Silicon Compound in ice	
Formation Drilling	Thalerlae P.G., Chischakov V.K. (187)
Effect and Process of Mechanical-hydrolyzation of Drilling Fluid	
..... Davidchico A.N. (193)	
Formation and Development of Comprehensive Technique System (CTS)	
..... Cherchurk N.I. (197)	
The Integrated Borehole Mining Efficiency for Far East Coal Deposits	
..... Andreev A.V. (201)	

第一部分 优秀论文

PART I OUTSTANDING THESIS

水文水井水泵增压泡沫钻进技术及其应用

孙友宏¹ 张祖培¹ 叶建良² 聂衍钊¹

(1 吉林大学建设工程学院 长春 130026; 2 中国地质调查局 北京 100035)

摘 要: 泡沫钻进作为一种先进的钻探技术方法已为全世界钻探同行所公认, 但该项技术的实施需采用高压的泡沫输送设备。目前, 西方国家均采用高压空压机和泡沫计量泵匹配方式组成泡沫钻进供送体系, 并取得了很好的效果。但这种方式因高压空压机的技术要求高、一次性投资大、功率消耗大, 故成为目前我国推广泡沫钻进技术的主要障碍之一。前苏联以及保加利亚在推广泡沫钻进时为解决泡沫供送问题上走了另一条路, 两国在 20 世纪 80 年代初开始研究泡沫水泵增压装置, 即利用勘探队已有的往复式水泵, 在其基础上增加一套结构简单的增压装置, 代替价格昂贵的高压空压机。

本技术在常用水文水井钻探泥浆泵的基础上, 将其 4 个排出阀卸掉, 换上增压缸体, 并将其 4 个进气口和 4 个出口分别相连。再利用一个小泡沫液泵, 将其出口与泥浆泵的吸水口相连, 用于注入泡沫液。利用水泵的能力, 将低压空气和低压泡沫液同时增压, 达到原有泥浆泵的压力值。

水文水井泡沫增压钻进工艺与常规泥浆和清水钻进相比, 有其特殊性:

钻压的确定主要能保证钻头有效破碎岩石, 具体根据地层而定, 由于孔内无液柱压力和钻杆柱的浮力减小, 故其钻压可相应减小。转速应根据钻机的功率和钻杆强度, 尽可能小的钻具振动和保证管外空间内泡沫体系的稳定性来选择尽可能高的钻具转速。发泡溶液的浓度, 对正常地层钻进, 可控制在 0.3% ~ 0.5%; 而当在漏失带和涌水地层钻进时, 应提高到 1.0% ~ 2.0%。气液比可根据地层确定, 即稳定地层可选择在 100 ~ 200 之间, 若地层有裂隙、破碎, 可适当降低。泡沫量的确定主要根据上返泡沫速度和孔径, 以保证孔底岩粉的清除。

1999 ~ 2000 年, 先后在宁夏两口水井中进行泡沫增压钻进试验: 第一口井设计孔深 700m, 地层较完整。第二口井设计孔深 600m, 地层较复杂——360m 以下孔内漏失严重, 下部到 600m 涌水特大约 1000m³/d。

试验取得卓著效果: 钻进时效高, 同一地层中, 分别与泥浆钻进进行对比试验, 泡沫钻进时效达 4.33m/h, 而泥浆钻进时效只有 1.4 ~ 2.2m/h, 提高 1 倍以上; 用水量大量减少, 仅为泥浆的 1/21; 解决了复杂地层水井钻进的难题, 第二口井施工过程中, 用泡沫钻进, 不但解决了上部严重漏失难题, 还解决了下部大量涌水的恶果, 从 350m 至 600m 终孔仅用了 10 天时间就顺利完成钻进任务; 大大减少了洗井时间, 常规泥浆钻进用于洗井的时间需要 7 天左右, 而使用泡沫钻进, 因孔内干净只需终孔时多循环两小时左右, 就无需再洗井, 从而大大节省了洗井的时间和成本。

该成果可应用于西部干旱缺水地区找水钻进和孔内漏失复杂地层钻进, 应用范围广泛。还可推广应用于地热井钻进和洗井及固体矿床和煤层气的勘探开采中, 故具有广阔的推广、应用前景。

关键词 水井; 泡沫; 增压; 钻进

作者简介: 孙友宏 (1965—), 江苏如皋人, 吉林大学建设工程学院副院长、教授、博士生导师。勘察工程专业, 从事岩土钻凿工艺及机具方面的研究和教学工作。

Application and Technology of Foam Drilling in Water Well with Pump Booster / SUN You-hong¹, ZHANG Zu-pei¹, YE Jian-liang², NIE Yan-zhao¹ (1. Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. China Geological Survey Bureau, Beijing, China)

Abstract: The foam drilling has already been acknowledged generally by drilling counterpart in the whole world as a kind of advanced drilling technology, but the implementation of this technology needs to adopt the high-pressure equipment to send the foam. Western countries at present adopt high-pressure air compressor and foam pump to make up the supply and transportation system, and has made very good result. But this way, because of the high-pressure air compressor needs high technology, one-off investment is large and power consumption more, becomes one of the main obstacles in popularizing foam drilling technology in our country at present. The former Soviet Union and Bulgaria solved foam supply and transportation problem in another way while popularizing foam drilling, they began to study the foam pump booster at the beginning of the eighties of the 20th century, utilizing the reciprocating pump that the exploration crew had and adding a set of simple structure pressure increasing device on the basis of it to replace the high-cost high-pressure air compressor.

On the basis of common mud pump used in hydrology well drilling, unloading the four discharge valve of it and replacing it with pressure cylinder body, connecting 4 air inlet and 4 export of it respectively. Utilizing another small foam pump to pour into the foam liquid, linking its export with the inlet of the mud pump. Using water pump to increase the pressure of both low-pressure air and foam liquid at the same time, then reaching the pressure value of the original mud pump.

Hydrology well foam drilling technics has its special characters compared to routine mud drilling and water drilling. The drill pressure can made according to stratum, which mainly ensure the bit can break the rock efficiently, because there is no liquid column pressure in the hole and the buoyancy on the drill rod is reduced, so drill pressure is reduced correspondingly. The rotational speed should choose as high as possible according to the power of the rig and intensity of drill rod, slightest vibration of drilling tools and the foam stability of the outer space of pipe. When drilling in the normal stratum, the foam consistency should control in 0.3-0.5%; while it will rise to 1.0-2.0% when drilling in wastage stratum. The ratio of gas to foam can make according to stratum, when stratum is intact, it lies between 60-200; if the stratum has cracks, it can be reduced properly. Foam amount mainly according to foam speed and aperture so that the rock powder in the hole can be removed completely.

Two test of foam pressure increasing drilling were carried on in 2 wells in Ningxia between 1999 and 2000, first well is designed 700 meters in depth, the stratum is relatively intact. The second well is designed 600 meters in depth, the stratum is complicated, the wastage is seriously below 360 meters and heavy water inflow when reach 600 meters, the flux is 1000 cubic meters a day. The test gained distinguished result: The efficiency improved more than one time when compared with the test of mud drilling in the same stratum. The efficiency of foam drilling reached to 4.33 meters per hour but mud drilling have only 1.4-2.2 meters per hour; Water consumption reduced in a large amount and only 1/21 of the mud drilling; Difficult problems in drilling complicated stratum were solved; During the drilling course of the second well, not only the difficult problem of serious wastage on the top of the hole but also the evil consequences of water inflow at the underparts of the hole were solved by foam drilling. It took only ten days in drilling from 350 to 600 meters; It reduced wash well time greatly, routine mud drilling needs about seven days in well washing, but foam drilling do not needs to wash the well again because the bottom of the hole is clean and only needs about 2 hours circulating at the end of the well finishing, thus the wash well time and cost are saved greatly.

The achievement has extensive application range and wide popularization prospects, which can be applied in western arid and water-lacking area drilling and drilling in complicated stratum, but for, it can also be applied in geothermal well drilling, well washing, the exploration of the solid mineral deposit and coal gas.

Key words well; foam; booster; drilling

0 引言

我国西北地区,全区地下水可开采量为 470 亿 m^3/a ,而目前的开采量仅约 120 亿 m^3/a ,地下水开采率为 25%左右,而国外干旱缺水地区平均开采率为 60%~70%。故西北地区地下水开发潜力大,勘探开发任务重,特别是该地区地下水埋藏深,在水文水井钻探施工过程中,存在地表施工用水困难,孔内冲洗液严重漏失,每口井施工周期长,钻进效率低,钻探成本高等难题。空气泡沫钻进技术作为一种先进的钻进技术方法,已为全世界钻探同行所公认,该技术完全能解决上述钻探难题。但该技术的实施需采用高压的泡沫输送设备,常规的低压空压机能力不够,只能钻进浅孔,然而高压空压机价格昂贵,一般施工队很难承受,再加上设备笨重,运输不便,功耗大,成本高,使空气泡沫钻进技术很难在水文水井深孔中推广使用。

前苏联以及保加利亚在推广泡沫钻进时,为解决泡沫供送问题走了另一条路。于 20 世纪 80 年代初利用勘探队已有的往复式水泵,在其基础上增加一套结构简单的泡沫增压装置,来代替价格昂贵的高压空压机。该装置前苏联已有多项专利,并批量生产。目前定型产品有 КДУ-11ГР, УКД-Н-3, УКД-Н-4 型三种,该类增压装置在实际生产中最大钻孔深度已达 1360m(预测最大孔深可达 2000m),最大增压值为 6.3MPa,其中 УКД-Н-3 型在 80 年代就推广十几台套。前苏联学者自称,80 年代以来泡沫钻进技术能在前苏联迅速推广的重要原因之一是成功地研制了水泵泡沫增压装置。

国内从 20 世纪 90 年代开始,原长春地质学院对泡沫水泵增压装置进行研究,经过三轮改进设计和试验,成功研制了 BWZ-250(Ⅲ)型水泵泡沫增压装置,并已获得中国实用新型专利。该装置经河北、甘肃、新疆等地野外生产试验,证明其增压原理可行,具有结构简单,加工容易,操作方便,成本低等优点。此外,国内原地矿部勘探技术研究所,河北省地勘局地质综合研究队,中国有色地质局四平探矿机械厂都曾开展过该方面研究。

但以上研究仅限于固体矿床小口径钻探用泡沫水泵增压装置,对于水文水井泡沫水泵增压钻进技术的研究,前苏联曾在小直径水井钻探中推广过 HB-320/6.3 增压装置,但其排量较小,效果不太理想。国内于 1999 年由地质调查局立项,由吉林大学承担,开始对该技术开展深入研究,经过 3 年室内外试验,现已成功研制了适合水文水井和地热井泡沫钻进的 BWZ-850、BWZ-1100 和 BWZ-1200 型增压装置,并在宁夏、北京等地推广使用。

1 泡沫水泵增压装置工作原理

泡沫水泵增压装置将低压空气和泡沫液的混合物分别注入水泵,利用水泵的高压能量

将泡沫增压至水泵的额定压力。按照原有水泵的类型，将其分为单作用和双作用型，其中 BWZ-250 型为三缸单作用型，而 BWZ-1100/50 型为双缸双作用型。

现以 BWZ-1100/50 型为例，如图 1 所示。在双缸双作用往复泵的基础上加工四个长缸体 3，缸体装于泵体 5 上原来安装排水阀座的锥面上，排出阀 1 的下侧有一进气阀 2 与进气风管连接，排出阀的上侧有出口与外部管路连接，用于输出高压泡沫，水泵吸入端通过原球阀作为进液阀 4，与泡沫液灌注泵的排出端连接。

增压装置的工作原理可描述为：当水泵活塞 6 右行时，左侧缸体内（A）压力降低，排出阀 1 关闭，进气阀 2 和进液阀 4 打开，低压空气和泡沫液进入缸体内；与此同时，右侧缸体内压力升高，进气阀 2' 和进液阀 4' 关闭，排出阀 1' 打开，压缩的气体 and 泡沫液排出；当水泵活塞左行时，右侧缸体内（B）进气体和泡沫液，左侧缸体内排出气体和泡沫液。

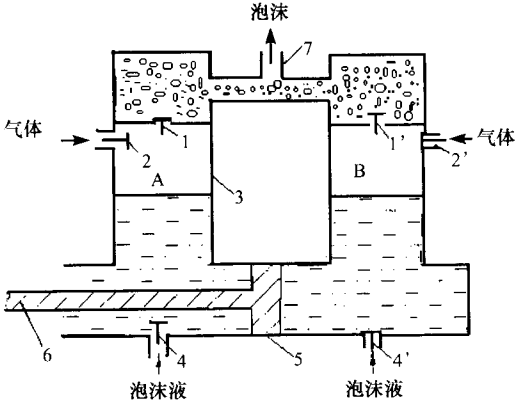


图 1 增压装置工作原理图

1, 1'—排出阀；2, 2'—进气阀；3—缸体；
4, 4'—进液阀；5—泵体；6—活塞；7—排出总管

2 泡沫水泵增压装置性能参数研究

2.1 增压装置的进液量和进液压力

增压装置的进液量是指通过进液阀的泡沫液量，由泡沫液注入泵的排量决定。BWZ-1100 型增压装置选用 SNB-90 型泵作为泡沫液注入泵。

该泵有 8 种排量（表 1）。根据孔深、地层情况及进气量来调节泡沫液注入泵的排量。

表 1 SNB-90 泡沫液注入泵排量

档 位	排 量 / (L·min ⁻¹)			
	I	II	III	IV
慢 档	18	28	43	72
快 档	25	35	53	90

进液压力指泡沫液注入泵的注液压力，与空压机的进气压力有关。随孔深增大，背压增大，进液压力也增大，但增大到空压机额定压力为止，不再增大。

2.2 增压装置的实际进气量与进气压力

增压装置的进气量和进气压力由所选用的空压机压力和水泵类型决定。当选用中、高压空压机时，其进气压力和进气量就大。BWZ-1100 型增压装置系统选用英格索兰 P375 或国产 VY-9/7 型低压空压机就可满足水文水井泡沫钻进的进气量的要求，其技术性能

参数如表 2 所列。当选用的空压机类型一定时，空压机的额定排气量和排气压力为定值，也就决定了增压装置的进气量和进气压力。

表 2 空压机技术性能参数

类 型	理论排气量/ (m ³ ·min ⁻¹)	额定压力/MPa	冷却方式
英格索兰 P375 型压缩机	10.5	0.7	单级、喷油、风冷
VY-9/7 型空压机	9	0.7	水冷及风冷

增压装置的实际进气量由气体流量计来测量，可选用沈阳玻璃仪器厂生产的 LZB-80 型转子流量计，其技术性能参数如表 3 所示。

表 3 气体流量计技术性能参数

型 号	测量范围/ (m ³ ·h ⁻¹)	精 度	被测介质温度/℃	压力/MPa
LZB-80	50~250	1.5	0~120	≤0.6

使用该流量计时，由于流体和流态往往与分度不一致，因此，必须对指示读数进行修正。已知该流量计分度状态： $t = 25^{\circ}\text{C}$ ， $P_N = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $\rho_N = 1.205 \text{ kg/m}^3$ 。

故使用状态下气体流量（进气量）修正到标准状态下流量的换算公式为

$$Q_N = Q_S \sqrt{\frac{\rho_S P_S T_N}{\rho_N P_N T_S}}$$

式中： Q_N 为标准大气压、 25°C 条件下的气体流量， m^3/min ； ρ_N 为标准大气压、 25°C 条件下的气体密度， kg/m^3 ； P_N 为标准大气压， Pa ； T_N 为室温条件 25°C ； Q_S 为实际使用状态下的气体流量， m^3/min ； ρ_S 为实际使用状态下的气体密度， kg/m^3 ； P_S 为实际使用状态下的进气压力， Pa ； T_S 为实际使用状态下进气温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 增压装置理论排量的计算

增压装置的理论排量 Q 由原水泵的排量 Q_1 、泡沫液灌注量 Q_2 、空压机的额定压力 P_C 和大气压力 P_a 来决定。设增压装置的进气量为 Q_3 ，则： $Q_3 = (P_C/P_a) (Q_1 - Q_2)$ 。

因而有

$$Q = Q_3 + Q_2 = (P_C/P_a) (Q_1 - Q_2) + Q_2$$

使用 BWZ-1100/50 型水泵，最大排量 $Q_1 = 1100 \text{ L/min}$ ，若灌注泵的灌注量 $Q_2 = 30 \text{ L/min}$ ，空压机的额定工作压力 $P_C = 0.7 \text{ MPa}$ ， $P_a = 0.1 \text{ MPa}$ 。根据上述公式：

送入增压装置的最大进气量为： $Q_3 = 0.7/0.1 \times (1100 - 30) = 7.49 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

最大泡沫排量为： $Q' = Q_3 + Q_2 = 7.52 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

影响增压装置排量的因素有：原有水泵的排量、泡沫液注入泵的排量和进气压力。

2.4 增压效率

增压效率可用如下几种表示方法：

压力增高率 π $\pi = \text{泡沫排出压力}/\text{进气压力}$ ，可表示出增压装置增压的相对倍数；BWZ-1100 型增压装置压力增高率 $\pi = 50/7 = 7.1$ 。

最大增压值 是指增压装置达到原有水泵排量的最高额定压力,对于 BW-1100 型水泵的最高额定压力为 5.0MPa,则该增压装置正常工作时其最大增压值为 5.0MPa。

增压效果 μ $\mu = \text{增压装置泡沫排出压力} - \text{进气压力}$,可表示增压装置的普通增压效果。该增压装置增压效果 $\mu = 5.0 - 0.7 = 4.3\text{MPa}$ 。

实际使用中,常用增压装置最大增压值作为水泵泡沫增压装置的主要技术性能指标。

2.5 增压装置的容积效率系数

由于增压装置存在结构死区的影响,使得增压装置的实际进气量比理论进气量要小,其度量程度可用增压装置的容积效率系数 η 来表示。 η 为增压装置的实际进气量与理论排气量之比值。结构死区的存在是影响增压装置容积效率的主要因素。死区体积越大,则容积效率越低。为了减少死区,应尽可能使进气阀靠近排液阀。 η 可表示为 $\eta = Q_{\text{实}}/Q_{\text{理}}$;式中: $Q_{\text{实}}$ 为实际进气量, m^3/min ; $Q_{\text{理}}$ 为增压装置理论排量, m^3/min 。

3 BWZ-1100 型泡沫水泵增压灌注车及配套装置

3.1 泡沫水泵增压灌注车

针对大口径深水井泡沫钻进研制了一套专门的泡沫灌注系统。该泡沫灌注系统主要包括: BW-1100 水泵、BWZ-1100 水泵泡沫增压装置、驱动水泵的 4135 系列柴油机、SNB-90 泡沫液注入泵及其带动电机、适用于浅孔的泡沫混合器及各种附属部件等。

泡沫水泵增压灌注车管线系统。如图 2 所示,泡沫液小泵排出的泡沫液分成两路,一路进入泡沫混合器(浅孔泡沫钻进时用);另一路进入 BWZ-1100 泥浆泵的吸液口。压缩机产生的低压空气也分成两路,一路进入泡沫混合器(浅孔泡沫钻进时用);另一路进入增压装置的进气阀,增压装置增压后的泡沫经过高压空气包后进入孔内,在空气包的排出口还接有安全阀和排空阀。

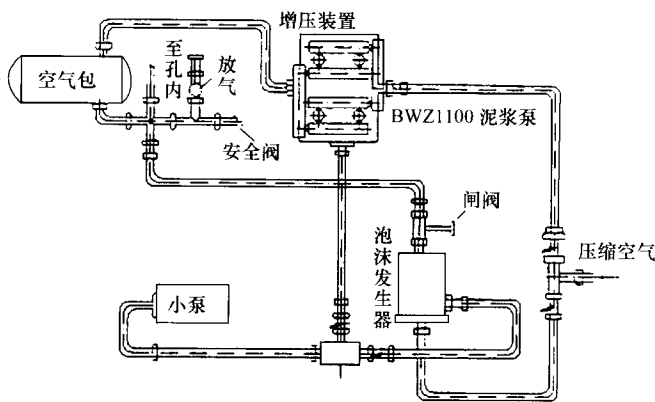


图 2 泡沫水泵增压灌注车管线连接图

3.2 消泡装置

泡沫钻进时为了形成一个封闭的循环,必须消除孔内返出的泡沫,即从上返泡沫中析出空气、清除岩粉,使泡沫剂溶液可再次应用,从而降低钻进成本。

水文水井泡沫水泵增压装置灌注车平面布置及实物如图 3 所示。