

自流井气田的早期开发

宋 良 曦

(自贡市盐业历史博物馆)

中国是世界上最早开凿天然气井和利用天然气煮盐的国家。公元前一世纪出现的陕西鸿门火井和四川临邛火井,是人类征服天然气的明证。这不仅为中国大量史籍如《蜀王本纪》、《汉书·地理志》、《水经注》、《华阳国志》、《博物志》等所记载,而且为国外学者所公认。据《新国际百科全书》第八卷“瓦斯条”记述,西方学术界承认天然气的利用,以中国和波斯起源最为久远,中国还在波斯之前。英国著名科学家李约瑟在其所著的《中国科学技术史》第一卷第七章中写道:中国汉代时,“四川,已经利用从钻孔中冒出的天然气来蒸发抽出来的或从别处流来的咸水”,并认为这是最早的天然气井。马可勃罗在《中国游记》中,写到早在汉朝时,有的庙宇用天然气点灯的情景。这些都无可置疑地说明了中国是世界上最早开发和利用天然气的国家。

在人类开采天然气的进程中,自流井气

田的开发历史和开采技术,在天然气工业史上,占有重要的位置。

自流井气田开发史略

以自流井为中心的自贡地区,是四川井盐的古老产场。早在一千九百多年前的东汉章帝时期(公元76~88年),劳动人民便在这一地域凿井煎盐了。晋代已初具规模,唐宋时便闻名全川,逐渐成为四川井盐的主要产区之一。明中叶以后,对天然气进行工业性开采,更加快了自贡盐业的发展速度。

明嘉靖十八年(1539年)至三十三年(1554年),由于当时的主要生产井富义、邓井等或为淡水渗溢,或因井老水枯,终于坍塌废弃了。在非开新井便不能补旧课的历史背景下,劳动人民以自己的聪明才智,在荣溪水滨,即今釜溪河西岸火井沱处,勘察寻找到新的卤源,开凿了以自流井为代表的

一批新盐井。自流井地处构造轴线上,这些

地层本身构成生储盖组合外,上覆的大套中新世代陆相地层,也有利于下伏沉积的油气生成与保存,是研究与勘探下扬子准地台油气的一个较好窗口,预示了较好的含气前景。只是印支期以来的构造运动、断裂活动、火成岩活动,在一些地区表现强烈,规模也较大,特别是在北东向与北西向两组断裂交汇处,以及西部地区,受到的影响较大,切不可低估其破坏性与复杂性。因此,

初期不宜大规模地展开勘探工作,而应在深入研究与进行综合地球物理方法、地球化学探矿方法试验的基础上,选择含气较有利、工作较易进行的地区开展工作。

长江两岸的浅层天然气,下扬子地区可能分布较广泛的二氧化碳气,也有一定的工业价值,同样值得重视。

(本文收到日期 1984年5月2日)

新盐井的开凿成功,不仅开拓了井盐生产的新产区,为古老的盐场带来了生机,而且为天然气的大规模开发创造了条件。随着盐井的开凿和深度的增加,天然气储层被渐次揭开,自流井气田被逐步开发。自流井、郭家坳、土地坡、扇子坝、凉高山、贡井等地相继出现大批高产的天然气井。这就使得得天独厚、水丰火旺的自贡地区盐业飞速发展。到清朝的咸丰、同治年间(1851~1874年),年产食盐达三百万担(每担100市斤),占全川一半左右,销售川、滇、黔、湘、鄂等省,被誉为中国的盐都,可以说,自贡之所以能够成为盐都,自流井气田的开发是一个重要的因素。

据目前所查到的史籍,记述自贡地区最早出现的天然气井是《李氏家谱》。其卷十有以下明确的记载:“十一世祖讳汉应,字对吾,十世祖长子。明万历中……与胞弟汉祯同居。将卒,以火井坡山田一分及火井栽课一口,让汉祯管业。”查火井坡地址,即今自流井地域的釜溪河西岸,正好在自流井背斜构造上。由此可见,明朝的万历年间(1573~1620年),自贡地区不仅有用于煎盐的火井即天然气井,而且这些天然气井已被列入国家课税范围,并已有用火井来命名的地方了。

不少史籍更详细描述了自贡地区的天然气开采及使用情况。清乾隆四十二年(1777年)段玉裁主编的《富顺县志》卷二写道:

“火井在县西九十里。井深四五丈,径五六寸,中无盐水,井气如雾,烽炜上腾。以竹去节入井中,用泥涂口,家火引之即发。火根离地寸许,甚细,至上渐大,高数尺,光芒异于常火,声隆隆如雷殷地中。周围砌灶,盐锅重千斤,嵌灶上煎盐,亘昼夜不息。如不用,以水泼之,火即灭。或欲别用,以竹筒通窍引之,可以代薪烛。亦用泥涂口,火光从口中出。泥口焦热,竹通身皆

冷不烧。又谓兹火秉阳精,良于灸病。尝有皮囊囊之行数千里,越数月,窍穴,以火引之,光焰不灭。”序文作于清道光二十四年(1844年)的范锴《花笑庵杂笔》卷一记述道:“富顺县厂仍益繁盛,且多火井……故大火者,一井可烧二三百锅,最次者亦烧数十锅,实天下之奇也。”到了本世纪初,自贡盐业生产中,天然气为燃料的盐锅数便占了绝对优势。成书于1932年的《四川盐政史》,在记载当时自贡盐场的生产状况时写到:“自贡火灶4584口,炭灶仅88口。”张肖梅《四川经济参考资料》中说:“取火为烧料者占十分之九,炭灶占十分之一。”解放后,自贡盐业获得迅速发展,天然气制盐的比例和产量逐年上升。到1961年,全市实现了制盐天然气化。

在自流井气田的开发史上,数百年间究竟产了多少天然气,由于过去没有留下准确的记载,只能依据各时期的史实和资料进行推算。如石油工业部四川勘探局1955年《四川盆地自流井专题研究总结报告》中,得出了自1850年至1955年累计产气165亿立方米的数据。此后,各有关部门及专家又进行过多次推算。1984年,自贡市盐业公司对天然气产量再次进行了推算:1851年前累计产气120.23亿立方米;1851~1948年产气185.67亿立方米,1949~1983年产气28.5亿立方米,累计天然气开采量已达334.4亿立方米。

自流井构造在1840年以前,主要是开采白垩纪、侏罗纪地层中的气藏。1840年以后,该构造三叠纪嘉陵江石灰岩气储得以开发。1850年左右,构造顶部的杨家冲、珍珠寺一带钻达嘉陵江石灰岩 TC^3 ,开始了自流井气田主气层的开采。到1890年, TC^3 气层产区沿构造长轴发展到郭家坳地区。1916年,在贡井断层又发现大量天然气。1930年, TC^3 气层产区沿构造长轴发展到土地

坡、沟坝，并向桌子山、白家湾以至大坟堡延伸。自流井气田的早期开发，先后揭露的层系，从白垩纪浅气层到侏罗纪自流井统大安寨、东岳庙灰岩气层，再到三叠纪须家河组、嘉陵江组，并揭开了嘉三主气藏。

自贡地区的天然气生产井数目，史无连续记载，越往前追溯，记录越少。《李氏家谱》中，仅记下了明朝万历年间李汉应的一口火井，当时的井数远不止此。现将有关史籍记载的井数列入表1，可看出自贡天然气生产盛衰变化的粗略梗概。

表 1

年 份	气井数	所载史籍、书目
乾隆23年 (1758年)	11	吴炜编《四川盐政史》 卷二
1914	560	《富荣场署报告》档案
1916	199	林振翰编《川盐纪要》
1928	461	燕羽《中国人民对燃料 的发现和利用》
1932	467	吴炜编《四川盐政史》
1934	422	《中国工程师学会四川 考察团报告》
1938	470	缪秋杰《川盐概略》
1942	414	《自贡市政概况》
1949	226	西南军政委员会《自贡 盐场接管报告》

自贡地区以天然气为燃料的盐锅口数，亦无逐年的统计，现仍根据有关史籍和资料，列入表2。数据说明，自贡地区的天然气开发和利用，与这里的盐业发展有着密切的关系。

著名的天然气井

历代开拓者们，在仅74平方公里的采区

表 2

年份	盐锅口数	资 料 来 源
1850	3600	宋育仁编《富顺县志》
1851	3796	自贡制盐工业公司
1860	7560	1958年“自贡盐场百
1869	11230	年井矿史资料调查总
1875	10108	结报告”
1911	8744	
1916	9872	林振翰编《川盐纪要》
1934	7060	《中国工程师学会四川 考察团报告》
1938	6500	缪秋杰《川盐概略》
1940	5227	刘嘉树、马东民《自流 井火灶瓦斯流量测定》
1942	4081	《自贡市政概况》
1949	2122	西南军政委员会《自贡 盐场接管报告》

内，先后开凿的盐井达13,000多口，其中的天然气井亦数以千计。不少著名的天然气井，或以开凿的年代，或以钻进深度，或以巨大的气流量，或以技术的完整，具有重要的历史价值和科学价值。兹举数井，分述于后（图1）。

双全井。据四川勘探局110队五十年代对自贡地区的井矿调查，该井于1894年凿成，初产量为日产37,800立方米，烧盐锅540口，到1955年已产气3.889亿立方米，是自贡累计产量在早期开发中最高天然气井。

源流井。据110队考察，该井为煎烧盐锅口数最高的井。自1890年开始产气后，曾烧锅799口，因仍烧不完所产天然气，还同

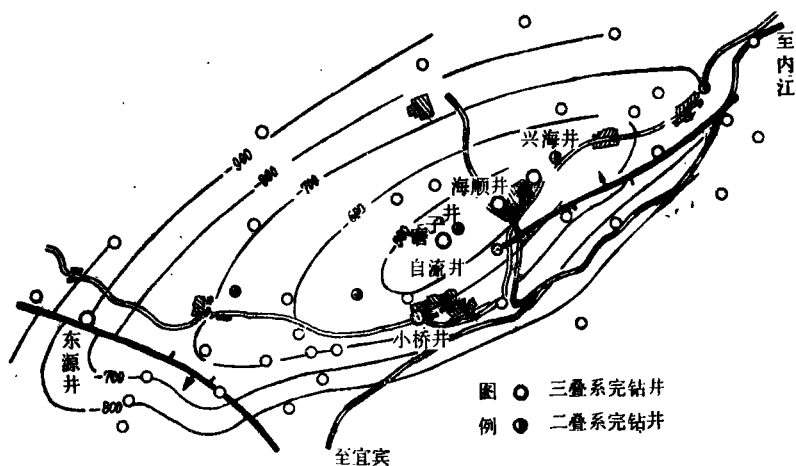


图1 自流井构造布井图
(制图层：中三叠统绿豆岩底)

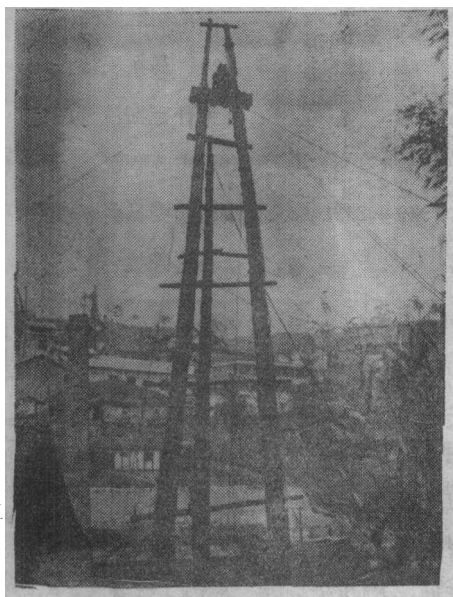


图2 曾烧盐锅达七百余口的海顺井

时燃放亮筒子160个。

海顺井(图2)。李榕在其《自流井记》中写道：“火之极旺者曰海顺井，可烧锅七百余口。”该井于1860年左右产气，井深1054米。天然气产层有三层。第一层在井深918米左右，第二层在井深986米左右，第三层在井底。产气量最高时烧锅720口，生产时间长达89年。后因井下事故停废。

磨子井。1850年左右由陕西人开凿。见功时曾发生强烈井喷，大火延续不灭，光耀周围数十里。据四川石油管理局科研所川南气田研究大队于1965年10月提出的《自流井气田嘉三组气藏裂缝调查研究初步总结》推算，磨子井井喷时天然气流量在100万立方米/日以上。熊楚于1936年调

查该井时，著文称它为“古今第一大火井”。民间又称它为“火井王”。据传，当时清朝皇帝只知道自贡地区的三个井名：一为自流井，一为磨子井，一为金丰井(金丰井系盐场首富“王三畏堂”总部所在地)。李榕在《自流井记》中写道：“水火油三者并出，磨子井，水油二种经二三年而涸，可烧锅四百余口，经二十年犹旺也。”磨子井地处自流井构造顶部，这口盛极一时的大火井，在自贡天然气开发史上，是最早揭开三叠纪嘉陵江组第三层石灰岩地层的井。

小桥井(图3)。这是自贡目前唯一的一口清乾隆时期的天然气井，该井开凿于乾隆37年(1772年)，井深304.92米，井径7.26厘米，日产天然气200多立方米。现烧盐锅两口，日产盐仅一百多斤，该井至今已有两百多年历史，是自流井气田最为古老的生产井，由于该井基本保留了清代前期的井型和凿井修治井工艺以及天然气开采技术，并保存了当时就井设灶的生产现场，这就为研究自流井气田的早期开发提供了宝贵的实物资料。自贡市人民政府已作出决定，将小桥井作为旅游参观点，并划定了保护区。目前，该井已修复井架和地车(绞盘车)。

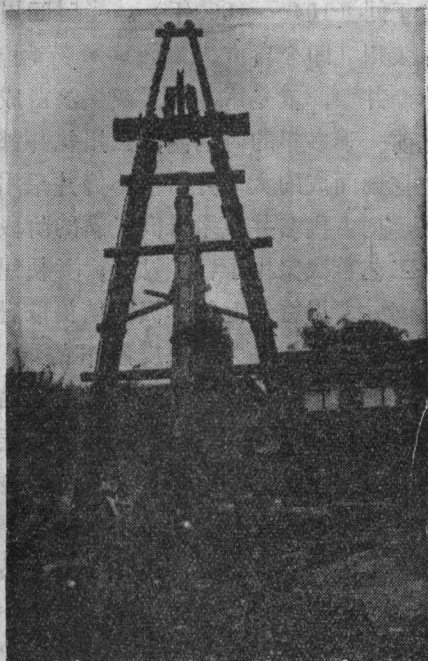


图3 自流井气田最老的生产井——小桥井



图4 1893年凿成,保持高产稳产91年的东源井

东源井(图4)。该井于1893年开始产气。井深为624.84米。在自贡地区保持传统开采工艺的天然气井中,东源井是持续高产和稳产时间最长的低压天然气井。自1921年该井加深至940米处发现新的气缝以来,一

直稳定产气,至今仍日产27,000多立方米。东源井地处自流井气田西端,位于背斜构造轴线上,部位较高,断层交错,裂缝发育良好,这些都造成了天然气聚集和补给的有利条件,从而使东源井成为自贡盐业史上富于代表性的井。该井保存的铰井记录——岩口簿,是研究传统钻井技术和地质情况的重要科学资料;该井保留的一整套天然气采输设备和工具,对研究天然气开采技术发展史具有重要价值。东源井已定为自贡市旅游考察点。

兴海井(图5)。这是又一口为人们所熟知的气井。该井位于自贡市大安区北街长堰塘处,1835年凿成,井深达1001.42米,是我国也是世界上第一口超过千米的深井,在世界钻井技术史上占有重要位置。该井凿



图5 世界第一口超千米井——兴海井

成时,曾日喷黑卤百余担,日产天然气8,500立方米,后烧盐锅80余口。井内显露的天然气产层分两层,第一层气缝在井深802.6米处,第二层在井深922.07米处。近150年来,未停止天然气生产。现在处尾气

阶段,日产气1,500立方米,供八口盐锅煎烧。兴海井累计产气量为1.27亿立方米。该井目前仍保留着过去的井房、车房、木制井架(天车)、地车以及灶房和圆锅等传统生产设备和工具。较为完整地体现了清代以来自贡盐场的生产场景。1982年,兴海井被列入《中国名胜辞典》。1983年,国家文物事业管理局和省、市有关部门作出决定并拨出专款,修复兴海井,举办现场陈列。目前,第一期修复工程已基本竣工,并接待了不少国内外客人。人们到这里参观,可以形象生动地看到以兴海井为代表的古代井盐和天然气生产现场。可以看到人工凿井、畜力汲卤、天然气采输、圆形铁锅煎盐等技术和工艺。

在自流井气田的早期开发中,一些井还出现过特异情况。如三元井在钻凿到980多米时,凿见天然气,强大的气流将井底泥沙和石块冲起喷出井口,后又自喷卤水。当井内水位涨高时,即无天然气出井,水位一降,天然气又喷出井口。后因水位在井内高达300多米,没有天然气喷出,便安置机车以推汲卤水。再如焰阳井,虽名为火井,却无正式井眼。1896年时,由墙下挖出石缝11个,其中一个最大的缝宽约二寸,深不见底,有天然气喷出,于是以此裂缝为井,设灶煎盐,烧锅两口达数十年之久。

完整的天然气开采技术

在自流井气田的早期开发中,历代盐工积累了丰富的经验,在天然气井的钻凿和天然气的采输、测试等方面,形成了一套完整的生产技术和工艺。

数百年中,自贡地区的天然气井都是用冲击式顿钻法凿成。现代旋转钻井法,则在解放后才开始使用。古代冲击式顿钻法凿井,是四川和自贡古代劳动人民的伟大创造。这一钻井工艺,最早出现在北宋庆历、

皇佑年间(1041~1053年)。当时四川井研县、荣州(即今自贡、荣县)一带问世的“卓筒井”,就是用冲击式顿钻法凿成的。在此前一千多年的时间内,四川盐井都是靠人力挖掘而成的大口井。而卓筒井采用的顿钻法,把古代凿井技术推向了新的阶段。卓筒井工艺首次采用了铁制钻头,并使用竹制套管固井,用竹制泥筒和汲卤筒提取岩屑泥浆及卤水,筒内安装以牛皮制作的单向阀门。这些重要的技术成就,使盐井钻凿迅速向小口径和深井发展,揭示出新的产层,为天然气开发创造了技术条件。据李约瑟《中国科学技术史》记载,这一深钻技术,后来传到了欧洲,有力地推进了世界钻井技术的发展。

随着钻井技术的发展,天然气采输技术亦相应完善。李榕在其《自流井记》中,对清代自贡的天然气开采工艺作了具体描述:

“火井之发也,覆以木盆,其盆高一丈,径一丈,周三丈,上锐而下丰,以束其气。盆上环置竹枳,引其气以达于盐灶。盆中央仍开一孔,径三寸,环以石圈,附以土围,结为井口,并有水筒取之如故也……火笕远者可至百余丈,以次减至数十丈、数丈。凡笕水利下引,笕火利上引。”“水火之笕皆以竹,火笕有用木者。笕外缠竹蔑,蔑外缠麻,油灰渗之,外不浸雨水,内不漏涓滴。高者登山,低者入地,钩连支柱,虽长虹之饮涧,秋蛇之赴壑不能状也。”

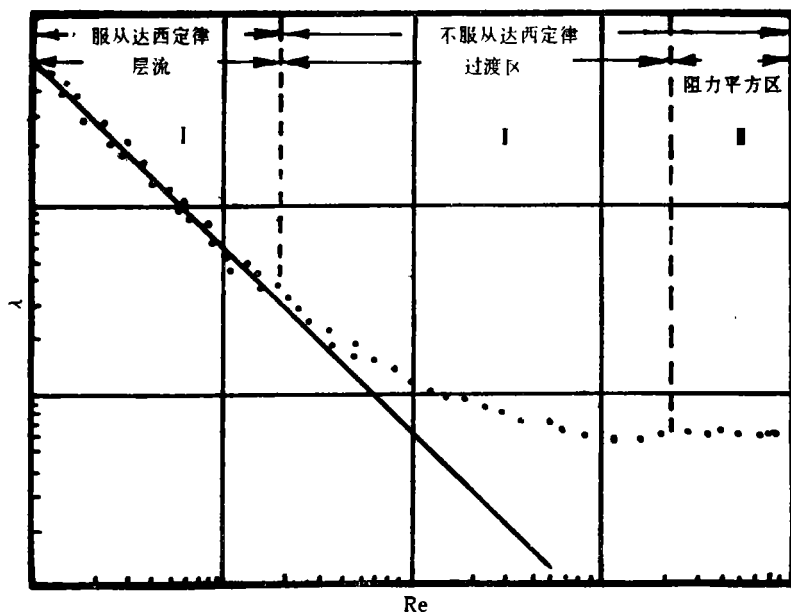
自流井气田的早期开采技术,是相当完整的,今仅举数端。如在地质勘探方面,劳动人民积累了丰富的知识,总结了“采卤在山间,采气在埂上”、“竖缝见气,横缝见水”等规律,找出了“山脉间油矿石多而成竖立形的为有火之象”,或从嗅草根、泥土中有无硫化氢气味来确定井位的经验。又如对各种岩石都取以名号,准确辨认,并能精确划分层位,借以判断井下情况,对不同产

阻力平方区指数式产气方程的渗流系数

彭 文 雄

(重庆石油学校)

据渗流力学研究,以胶结的、不胶结的砂子和铅丸组成的多孔介质(假想土壤)作渗流实验,将实验数据整理在 λ 、 Re 的双对数坐标上,对于一种多孔介质可得一条曲线(如图),而不同的多孔介质,实验曲线虽则不同,但形状相似,均可分为三段:①直线段(符



$\lambda-Re$ 相关曲线图

层的天然气,划分为草皮火、腰脉火、底火等。再如在采气生产中,使用了一整套采收、减压、配气、输气、测试的装置和工具,如簾盆、通天枳、亮筒子、火枳等,形成了科学的技术和工艺系统(请参见我刊1983年第1期第62~63页——编者注)。历代盐工们就是以这些泥石竹木制作的工具和装置,来采输喷涌而出的天然气流的。就以“亮筒子”来讲,盐工们以一根普通的竹管,用泥涂口,将出井的天然气燃放,即可从火焰的高低、颜色、疏密、声响等方面估算出该井天然气产量的大小。经现代科学技

术检验证实,“亮筒子”虽然古老而简单,但测试的准确性可达80%以上。例如1956年,自贡用旋转钻钻成的一口井喷出天然气并起火,仪器无法从大火中测出天然气流量。人们设法使用了“亮筒子”,计算出每天气流量为10万立方米。事故消除以后,用彼脱管进行测试,日喷量为10~15万立方米。由此可以看出,劳动人民在长期生产实践上形成和发展的天然气开采技术,确实巧夺天工,令人叹服。

(本文收到日期1984年5月24日)

自流井气田的早期开发

宋良曦

在天然气工业史上,自流井气田的早期开发,占有重要地位。本文引用大量史实,阐述了自流井气田的早期开发历史和开采技术,以及著名天然气井的生产概况,以供人们借鉴和参考。

《天然气工业》第4卷第4期 1984

Early Development of Ziliujing Gas Field

Song Liangxi

The early development of Ziliujing gas field occupies an important place in natural gas industry history.

In this paper, a lot of historical facts are quoted to describe the early development history, production technology and the producing cases of some well known gas wells in this field, so as to be for somebody's reference.

NGI Vol.4 No.4 1984

阻力平方区指数式产气方程的渗流系数

彭文雄

本文根据渗流力学理论推导出过渡区和阻力平方区的指数式渗流系数的关系式,并提出气井的稳定试井获得二个产气方程(分别代表过渡区与阻力平方区)的可能性,指出在运用指数式(或二项式)产气方程推算无阻流量时,应注意其适用范围。

《天然气工业》第4卷第4期 1984

Filtration Coefficient of Gas Production Exponential Equation in Square Resistance Region

Peng Wenxiong

According to the theory of the filtration mechanics, the relation of filtration coefficient of exponential equation in square resistance region and transition region is derived in this paper, and the possibility of using the steady state well test to obtain two production equations (represent transition and square resistance region respectively) is presented. It is pointed out that it must pay attention to the applicable extent in calculation of open flow using the exponential or binomial equation of gas production.

NGI Vol.4 No.4 1984

提高四川钻井速度的技术途径

杨勋尧

文章指出提高四川钻井速度、降低钻井成本的主攻方向是提高机械钻速。通过降低泥浆比重,提高钻头水马力、钻压和转速以及采用系统方法实现平衡压力钻井等措施,可使机械钻速明显提高,特别是采用综合性的措施将收到更加显著的效果。

《天然气工业》第4卷第4期 1984

Technical Way for Raising Drilling Speed in Sichuan

Yang Xuniao

This work points out that the main direction of attack for raising drilling speed and reducing drilling cost in Sichuan is increasing the penetration rate. The penetration rate can be obviously increased by reducing the mud weight, increasing the hydraulic horse-power of bit, the weight on the bit and drilling speed, as well as realizing balance pressure drilling through adopting system method. Especially, the notable results can be obtained by adopting multiple measures.

NGI Vol.4 No.4 1984

PH值对深井泥浆性能的影响及其控制

李章禄

本文分析了 pH 值对深井水基泥浆性能及其稳定性的影响,介绍了控制深井泥浆 pH 值的方法以及现场使用效果。

《天然气工业》第4卷第4期 1984

Influence of pH on the Deep Well Mud Performance and Its Control

Li Zhanglu

This work analyzes the influence of pH on the performance and stabilization of water-based mud for deep wells and describes the method of controlling its pH and the use results at well-site.

NGI Vol.4 No.4 1984

川6''-Z YGM取心工具

何光荣

“Z YGM”是汉字拼音缩写,意即“长筒油润滑刚性满眼稳定”取心工具。本文主要介绍工具设计结构特点、作用及现场使用效果。

《天然气工业》第4卷第4期 1984