

# 深部找矿关键钻探技术与对策

张金昌

(中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000)

**摘要:**在找矿突破战略行动逐步推开实施的今天,钻探工作量大幅度增加,施工的深孔特深孔数量急剧增长,对钻探技术和装备提出了前所未有的挑战。就钻探技术的新进展、深孔钻探存在的问题及解决对策进行了初步探讨。

**关键词:**资源勘探;深部找矿;深孔钻探;取心(样);钻机;钻探工艺

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2011)11-0001-06

**Challenges and Countermeasures of Key Drilling Techniques for the Deep Prospecting/ZHANG Jin-chang** (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Today, with the increasing of exploration drilling amount, the number of constructed deep hole and extra-deep hole also increases greatly, this gave unprecedented challenges in drilling technique and equipment. This article briefly discusses the new progress of drilling techniques, existing problems and countermeasures in the deep hole drilling.

**Key words:** resources exploration; deep prospecting; deep hole drilling; coring (sampling); drilling rig; drilling technique

## 0 引言

2006年国务院颁布《关于加强地质工作的决定》以来,我国地质勘查资金投入持续增加,2010年达到300多亿元<sup>[1]</sup>。在众多矿产资源勘探技术方法中,钻探技术仍然是唯一能从地下取出实物岩(矿)样品的勘查技术方法<sup>[2]</sup>。地质勘查资金的投入增加,使得钻探工作量大幅度增加。“十一五”以来,历年岩心钻探工作量也屡创新高,2006年865.01万m;2007年1165万m;2008年1555万m;2009年1720.5万m;2010年1800万m;预计2011年将达到2400万m。同时,勘探深度也在不断加深。进入新世纪施工完成的1000m以深的钻孔越来越多。据不完全统计,目前完成的超1000m钻孔已达数百口,超2000m钻孔达数十口。深孔超深孔数量的增多,对钻探技术本身和钻探工程管理提出了前所未有的困难和挑战。为此,笔者就钻探技术的新进展、深孔钻探存在的问题及解决对策进行初步的探讨,以期为深孔钻探提供参考。

## 1 深部找矿中应重点考虑的关键钻探技术问题

### 1.1 深孔钻探的技术问题

(1)设备配套及立轴式钻机、动力头式钻机的

合理选择问题;

(2)钻孔结构与特深孔套管程序的合理设计问题;

(3)钻柱与多套绳索取心钻具的合理使用问题;

(4)孔斜控制和纠斜问题;

(5)复杂地层安全钻进取心问题;

(6)避免发生孔内事故及事故预防与处理问题。

### 1.2 深孔钻探的管理问题

(1)新的《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227-2010)2010年刚发布,贯彻执行还需要有个过程,其他相应标准正在制定修订过程中;

(2)钻孔施工设计处在各自为政的局面;

(3)市场经济条件下原有的质量管理体系被打破,新技术新装备推广力度不够。

## 2 国土资源大调查实施以来钻探技术新进展

### 2.1 全液压力头钻机形成系列

自2004年起至今,由中国地质科学院勘探技术研究所和北京天合众邦勘探技术有限公司共同开发的YDX系列全液压岩心钻机已经完成300、600、

收稿日期:2011-10-28

基金项目:国家“863”计划资助项目“2000m地质岩心钻探关键技术与装备”(2007AA060701)

作者简介:张金昌(1959-),男(汉族),河北保定人,中国地质科学院勘探技术研究所所长、总工程师,教授级高级工程师,兼任中国地质学会探矿工程专业委员会常务副主任委员,探矿工程专业,工学硕士,主要从事固体矿产钻探、水文水井钻探及工程施工钻探设备设计和钻探工艺研究工作,河北省廊坊市金光道77号,jinchang@cniect.com。

1000、1500和2000 m系列化设计开发,目前已销售近200台套,并出口到澳大利亚、俄罗斯、吉尔吉斯斯坦、蒙古等国,同时钻机不断完善,动力有柴油机与电动机型式,底盘有拖车式与履带式。目前连云港黄海机械股份有限公司、张家口中地装备探矿工程机械有限公司、江苏天明机械集团、山东省探矿机械厂、北京探矿机械厂、黑旋风工程机械有限公司等企业相继开发出了不同系列的全液压岩心钻机。

## 2.2 深孔绳索取心钻杆、钻具取得突破

我所与嘉兴新纪元钢管制造有限公司合作成功研制出XJY-850高钢级精密无缝合金管材,改进了钻杆结构、接头螺纹扣形及尺寸,使其有更高的强度和更大的可靠性。提出了钻杆接头的材质和表面强化处理新方法,以提高钻杆接头表面耐磨性及强度。寿命提高30%~50%,满足了1500~2500 m孔深钻进要求。深部钻探绳索取心钻杆的研制成功,标志着我国高强度薄壁绳索取心钻杆研究取得了重大进展。该材料的性价比优良,产品价格只有国外同类产品价格的60%左右,符合产品的开发目的,便于国内推广使用。

## 2.3 适用于深部硬、脆、碎及软硬互层地层钻进用的复合式金刚石钻头研制成功

利用巴拉斯(三角聚晶)的犁削作用和高耐磨性,结合孕镶层的磨削作用和自锐特性,合理调节三角聚晶和孕镶层的比例,按所钻地层研磨性调节胎体的耐磨性,采用了超细合金粉末、三角聚晶增强工艺,金刚石表面镀敷金属外衣,以增强胎体对金刚石的把持力和降低烧结温度。双层水口超高胎体金刚石钻头寿命超过100 m,仿生技术在钻头设计上的应用,对改进钻头的性能有所提升。

## 2.4 研发了新一代绳索取心液动锤钻具(SYZX系列)

大量的实践证明,SYZX系列绳索取心液动锤可提高钻进效率、延长回次进尺及钻头寿命,降低钻孔弯曲,大幅度降低辅助工作时间。目前,我所研制的YZX、SYZX和HHP系列液动潜孔锤已广泛用于地质、核工业、有色、煤田、水电、建材、化工及石油等领域。YZX系列液动锤结构简单,冲击功大,参数调节范围宽,性能稳定适应性好,工作寿命长,调整方便,维护成本低。

## 2.5 具有创新和多技术集成的三合一(螺杆钻+液动锤+绳索取心)钻具获得成功

该钻具的技术优势为:利用绳索快速打捞内管钻具,大幅度减少提下钻时间;利用螺杆马达井底回

转,降低钻进扭矩,保护井壁安全;利用液动潜孔锤,进行冲击碎岩,可提高钻速,减少岩心堵塞<sup>[3]</sup>。

## 2.6 取心钻探技术的创新极大改善了复杂地层取心质量

除了半合管取心钻进外,针对复杂地层松散破碎程度,新研制了迷宫式隔液取心结构和腰型水槽底泄式隔液取心钻进结构等新型取心钻具。几种取心器型式及适用地层为:单钻头双层管式,用于弱胶结地层;单钻头三层管式,用于裂隙充填发育地层;双钻头三层管式,用于无胶结松散地层,半合管取心器解决破碎地层取心问题。目前这些取心钻具在已经完钻的汶川科学钻探WFSD-1孔和WFSD-3-P孔以及正在施工的WFSD-2孔和WFSD-3孔中应用,均取得了较好的效果,岩心采取率都在90%以上,岩心的原状性好,为地学研究提供了高质量的样品<sup>[4]</sup>。

## 3 提高钻探施工水平的对策及建议

### 3.1 加大新技术新装备推广力度,提高深孔钻探效率

推广全液压动力头钻机,特深孔施工建议另配高钻塔;普及全液压动力头钻机代替传统立轴钻机是大势所趋;桅杆式全液压动力头钻机以其对绳索取心工艺适应性强、操作轻便、效率高等优点被广大用户所接受。但是它的缺点是由于桅杆长度限制,提升钻柱时立根仅3~6 m,加长的桅杆最大也仅有9 m<sup>[5]</sup>;此外升降钻具时,立根摆放到地面上,费时费力。这一缺点可以通过配置四角高钻塔来解决。

#### 3.1.1 钻机钻进行程对效率的影响

采用全液压动力头钻机与立轴式钻机倒杆相关时间分析,钻进2706 m孔深,若回次进尺4.5 m,动力头钻机累计倒杆时间需要10 h,XY系列钻机累计倒杆时间需70 h;若回次进尺3 m,动力头钻机累计倒杆时间需15 h,XY系列钻机累计倒杆时间需75 h。另外,钻机倒杆时,造成钻进参数不稳定,而导致岩心堵塞,影响回次进尺<sup>[6]</sup>。

#### 3.1.2 立根长度对提下钻效率的影响

采用不同高度钻塔提下钻具相关时间分析,钻进3000 m钻孔,平均绳索取心提钻间隔按50 m计算,累计提下钻时间分别是:6 m长立根需1503 h,9 m长立根需1008 h,18 m长立根需504 h<sup>[6]</sup>。

#### 3.1.3 钻杆拧卸方法对钻探效率的影响

采用液压动力钳和人工拧卸钻杆相比,用液压动力钳拧卸钻杆可节约时间约1/3以上<sup>[6]</sup>。同时,

钻杆损伤减少,工人劳动强度降低。由此可见,深孔钻探优选钻探装备是提高钻探效率关键之一。

因此,设备配套的一般要求是钻机功率配备要留有余地,特别是提升能力一定要充裕,“大马拉小车”才能安全高效,动力源最好使用电力;泥浆泵应充分满足深孔压力和流量的要求;配套要齐全、合理,除钻机、泥浆泵以外,钻塔要满足提升钻具要求,拧卸钻杆最好使用悬吊式液压大钳,泥浆制备和净化系统应尽可能完善。

### 3.2 重视钻孔结构设计是保证安全高效施工的关键

深孔在施工前必须做出详细的工程设计,这是保证工程顺利完工的基本前提。工程设计中第一个关键问题就是按照选择钻探方法的基本要求确定钻孔结构。设计钻孔结构的第一步是综合考虑地质要求和工程实施的经济性确定终孔口径。多数情况地质设计只要求穿矿口径,除非有特殊要求,一般穿过矿层之后数米至数十米即可终孔,所以多数情况下穿矿口径即是终孔口径。在20世纪70年代我国刚刚推广金刚石钻探时,一般是以 $\varnothing 46$  mm小口径为主要终孔口径,80年代以后,由于贵金属勘探工作量加大,遇到的复杂地层较多,绳索取心钻探技术逐步推广,逐渐以 $\varnothing 60$  mm( $\varnothing 59$  mm)口径作为主要终孔口径(部分地区使用老标准 $\varnothing 56$  mm口径)居多,个别矿区要求 $\varnothing 75$  mm口径终孔。进入21世纪以后, $\varnothing 75$  mm口径终孔渐渐增多,相应钻探成本也有所增加。根据我国刚刚颁布的《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227-2010)的规定,金刚石(绳索取心)钻探公称口径系列如表1所示<sup>[5]</sup>。

表1 规格代号及对应的公称口径 /mm

规格代号	R	E	A	B	N	H	P	S
公称口径	30	38	48	60	76	96	122	150

该公称口径系列是与国际通用标准接轨的,与我国以前地质、冶金等部门执行的老标准有所不同。一个1000~2000 m的钻孔,根据地层的复杂情况,一般需要设计3~4层套管,特别复杂地层甚至需要设计5层套管。这样开孔需要 $\varnothing 150$  mm口径。如果终孔口径减小到 $\varnothing 60$  mm,那么开口口径和中间技术套管的口径就会相应减小,成本会大幅下降。建议的深孔钻孔结构见表2。新钻具标准提出的主要管材尺寸(建议值)见表3。新标准是在常用的B、N、H、P口径基本维持《金刚石岩心钻探钻进设备》(GB 16950-1997)的基础上(与常年Q系列绳

索取心钻具一致),向上和向下均采纳《Rotary Core Diamond Drilling Equipment - System》(ISO 3551)(即DCDMA)的口径尺寸。这套标准具有与国际通用标准接轨,且口径级差合理、环状间隙大、利于深孔钻进等特点。建议尽快推广新标准系列,以满足深孔钻探的需求<sup>[5]</sup>。

表2 建议的深孔钻孔结构 /mm

地层情况	简单结构	复杂结构
开口口径/孔口管	122/114	150/140
第一层孔径/套管	96/91	122/114
第二层孔径/套管		96/91
终孔口径	76	76
备用套管/备用口径	73/60	73/60

表3 新钻具标准提出的主要管材尺寸(建议值) /mm

代号	R	E	A	B	N	H	P	S
公称口径(钻头外径)	30	38	48	60	76	96	122	150
套管尺寸	外径	46	58	73	91	114	140	168
	内径	39	50	63	80	102	127	153
绳索取心	外径	44	55.5	70	89	114	140	
	内径	35	46	60	78	102	127	

另外,使用尾管的问题值得重视。在地质岩心钻探中,过去由于钻孔浅,套管下得少,一般很少采用尾管。只要下套管就从孔口到底,但是对于深孔,这种使用方法就有些浪费,可以借鉴油气钻井中在深部采用尾管的技术,减少套管重叠,降低成本。套管固井技术也是地质岩心钻探的薄弱环节,往往不被重视,岩心钻探有回收套管的习惯,套管只下不固,这种方法对于深孔钻进需要长时间在套管中回转钻杆是十分危险的。尾管的使用为塔式钻柱的应用创造了条件。

### 3.3 普及推广和科学使用先进的钻探器具

(1) 钻柱上、下部钻杆交替使用。上部钻杆承受载荷要大,会更早地发生疲劳损坏,将上、下部钻杆交换使用可使钻杆承受载荷比较均匀,使用寿命比较接近。另外还应注意探伤检查;重视润滑,尽量减少摩擦阻力;处理卡钻事故时,不要强拉硬顶,可在额定最大负荷内拉、压、扭作业。对于深度超过1500 m的钻孔,建议:采用高强度绳索取心钻杆、钻具和组合式钻杆柱;不同强度、不同壁厚钻杆的组合;不同直径的塔式钻杆柱。

(2) 用绳索取心方法打捞岩心,节省提下钻辅助时间。不同钻进方法施工不同钻孔的时间分析如图1所示<sup>[7]</sup>。

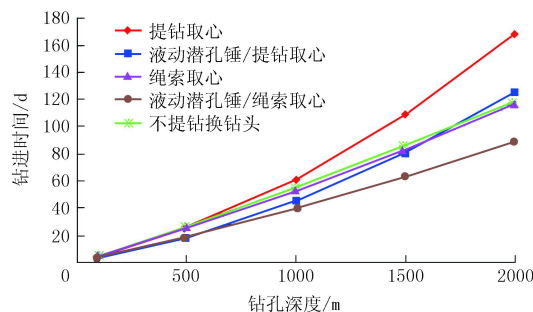


图1 不同钻进方法施工不同钻孔的时间分析

### (3) 使用液动潜孔锤提高钻进效率。

### (4) 使用长寿命钻头和扩孔器延长提钻间隔。

为提高深孔综合钻进效率,回次进尺和提钻间隔越长越好。图2所示是张伟教授等<sup>[5]</sup>综合深孔钻探实际绘制的提钻间隔对取心钻进时间的影响分析结果。从图中可以看到,随着提钻间隔的增大钻进分为效率特低、低效、效率较低和高效4个区。这就要求钻头和扩孔器必须长寿命。随着钻头技术的发展,金刚石钻头工作层的高度在不断增加,从最初4~6 mm发展到现在的10~12 mm,最大的达到了16 mm。钻头寿命因此显著增加,至少提高30%,多的提高1倍以上。钻头寿命从30~40 m提高到100余米。

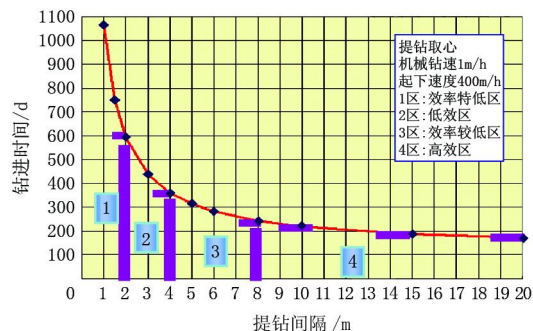


图2 提钻间隔对取心钻进时间的影响

## 3.4 使用先进护壁技术和堵漏材料,保证钻孔安全

### 3.4.1 复杂地层和冲洗液

深孔绳索取心钻进要特别重视冲洗液的应用,要低固相、低粘度、低切力和良好的润滑性,同时要加强对冲洗液的管理,维持冲洗液的性能稳定,特别是固相含量,必要时开动离心机以清除过多的有害固相物质,防止钻杆内壁结垢。深孔施工中经常会遇到复杂地层,如坍塌、掉块、缩径等,当不能应用绳索取心钻进快速通过时,一定要调整好冲洗液的性能指标,加强护壁能力。应用冲洗液来维护孔壁时,首先要判断好地层的复杂类型,是松散、破碎地层,还是水敏性地层或构造应力异常带,然后针对性地采取治理措施。必要时放弃绳索取心钻进工艺,改

用提钻取心工艺以适应冲洗液性能的变化,待穿过复杂段下套管隔离后,再恢复绳索取心钻进。复杂地层往往伴随地层的漏失或涌水,极大地增加了处理难度。此时一定要建立地层压力平衡的概念,利用调整冲洗液密度来平衡地层压力<sup>[5]</sup>。

### 3.4.2 膨胀套管的技术

膨胀套管技术是近10年来发展起来的一项新技术,主要用于石油开采时油管的修复、石油钻井时临时隔离漏失、涌水、遇水膨胀缩径、破碎、掉块、坍塌等复杂地层。与常规的套管不同,膨胀套管从上层套管中下入到预定层位,膨胀后隔离复杂地层,随后可用与膨胀套管下入前同样直径的钻头继续钻进,井眼直径丝毫不会减小<sup>[8]</sup>。用常规套管封隔复杂地层时每多下一级套管,钻孔直径就要减小一级,通常为了保证终孔钻进取心直径能满足地质要求,从钻孔安全角度出发,深孔钻孔结构设计时多采用预留一级套管的做法,从而加大了孔径级数,其结果是增加了钻井综合成本,膨胀套管的技术可避免此类情况发生。

## 3.5 重视防斜与纠斜

深孔钻进应特别注意防斜,钻具的稳定性至关重要。在浅孔时,一般在钻头上面安装一个扩孔器用以保持钻孔口径即可,而在深孔中则应该在钻具上端再安装一个外径比扩孔器略小的接头(稳定器),以保证满眼钻进,减少孔斜的产生<sup>[5]</sup>。液动锤的防斜效果值得肯定,但也不是万能的。深孔纠斜要谨慎,钻孔“狗腿”过多、过大都会给下部施工带来极大危险,因此,不到万不得已不要纠斜。但是定向孔或绕障孔是难以完全避免的,造斜和稳斜一定要“缓、顺、净”。小径纠斜后扩孔极易卡钻,深孔卡钻不能在地表震击,建议研制适用于小口径的井下震击器<sup>[8]</sup>,遇到可能卡钻的情况时,可在钻具组合中带上震击器。

## 4 深孔钻探实践

2009~2010年,利用“十一五”“863”重点项目“2000 m地质岩心钻探关键技术与装备”研究成果样机相继完成了2个超2000 m的深孔钻探施工。

### 4.1 两个超2000 m钻孔概况

(1) 使用FYD-2200型分体式全液压力头钻机完成的安徽省霍邱县周集铁矿深部勘查项目ZK1725地质岩心勘探孔。该孔自2009年5月20日开钻至2010年6月28日止,终孔深度2706.68 m,终孔口径77 mm,终孔顶角13°,取心总回次1060

次,平均回次长度2.55 m,平均机械钻速1.49 m/h,台月效率254.14 m,纯钻进时间利用率18.73%。钻孔平均取心率97%,矿体采取率100%,钻孔经野外验收,各项质量指标完全满足地质设计要求。在地质第二、第三空间中均见到铁矿体,见矿深分别是722.20、2355.28、2616.00 m,见矿厚度最大为28 m。试验钻孔终孔深度刷新了我国小口径绳索取心最深纪录。

(2)使用YDX-5型动力头钻机完成的山东乳山金青顶金矿ZK43-1钻孔。该孔于2009年8月1日开钻至2010年4月10日完钻,终孔深度2212.8 m,终孔口径77 mm,开孔顶角 $10^{\circ}$ ,终孔顶角 $38.05^{\circ}$ 。2009年10月16日,孔深705.2 m。开始从238 m扩孔,扩至385 m以 $\varnothing 114$  mm套管封隔漏失层。2009年12月31日,H级口径绳索取心钻具钻进1461.90 m,随后下入了相同深度的 $\varnothing 91$  mm技术套管,创造并保持了国内H级绳索取心钻进深度及岩心钻探套管应用深度的两项纪录<sup>[1]</sup>。2010年4月10日,ZK43-1钻孔竣工,终孔深度2212.80 m,曾创造了国内全液压地质岩心钻机深度记录。“863”项目研制的N规格绳索取心钻杆也创造了当时最深记录。先进的钻探参数监测系统、双密封不对称梯形螺纹高强度绳索取心钻杆、大深度绳索取心动锤、超高胎体二次镶焊金刚石钻头、新系列高强度套管等先进工艺器具确保了施工顺利,钻杆一次未断,没有发生烧钻事故。

#### 4.2 深孔钻探体会

总结2个深孔施工实践,有以下几点认识。

(1)钻孔地层坚硬、破碎,构造破碎带尤为发育(如图3、图4所示),孔内坍塌严重,如ZK43-1孔深度240 m后严重漏失,全孔不返泥浆,坍塌严重,施工难度极大。ZK1725孔也曾出现孔壁坍塌事故,给施工带来极大困难。由于重视钻孔结构设计,加



图3 ZK1725钻孔复杂地层岩心图片



图4 ZK43-1钻孔复杂地层岩心图片

强施工组织管理,设备选用恰当,工艺措施合理,保证了任务目标的实现。

(2)两台钻机均累计运行数千小时无大故障,超额完成了钻孔施工任务;钻机性能得到了验证。

(3)动力头钻机给进行程长,钻进一个回次无需倒杆,减少辅助时间,保证了较高取心质量和取心率。在两孔穿过复杂地层钻进过程中优越性明显。ZK1725地质岩心勘探孔首次在地质岩心小口径钻探过程中采用液压动力钳,和人工拧卸钻杆相比拧卸时间节约 $1/3$ 以上。同时,钻杆损伤减少,工人劳动强度降低。

(4)YDX-5型钻机使用13 m自备桅杆(见图5),FYD-2200型钻机在自备桅杆基础上另配24 m四角钻塔(见图6和图7)。首次采用动力头钻机配四角钻塔钻进施工,将动力头钻机给进行程长与传统立轴钻机配高钻塔提下钻效率的优点有机结合在一起,大大提高了提下钻效率,得出1000 m以内钻孔用动力头钻机桅杆提下钻效率高,1500 m以深



图5 YDX-5型动力头钻机

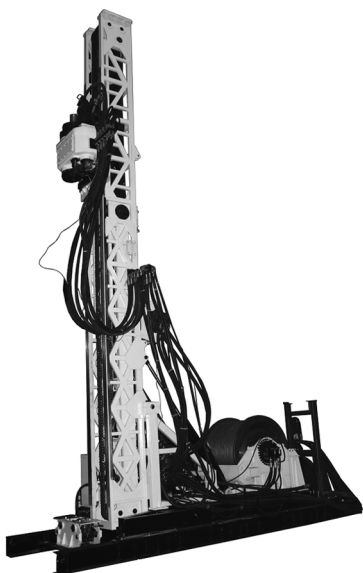


图6 FYD-2200型动力头钻机



图7 SG-24A型四脚钻塔

钻孔配四角塔提下钻效率高,1000~1500 m 钻孔两者效率相当的结论。

## 河南水文二队大口径空气(泡沫)钻探获突破

**本刊讯** 近日,由河南水文二队承担的太原狼坡煤矿区水井钻井工程经过60天的紧张施工,圆满完成施工任务。该井终孔井深800 m,静水位埋深515 m,水量 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ,单涌 $1.0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$ 。

该井钻遇地层分别是二叠、石炭、奥陶。钻遇大段、多层煤层、黄铁矿,以及泥灰岩。孔内破碎、掉块严重,大的掉块直径近30 cm。钻井工艺:0~700 m采用空气(泡沫)钻探技术;700~800 m由于孔内液柱压力大,空压机能力所限(PESJ830型电动空压机,排气量 $23.5 \text{ m}^3/\text{min}$ ,额定排气压力 $2.07 \text{ MPa}$ ),采用普通回转钻探技术。

## 5 结语

在找矿突破战略行动逐步推开实施的今天,钻探工作量大幅度增加,施工的深孔特深孔数量急剧增加,对钻探技术和装备提出了前所未有的挑战。与此同时,钻探技术与装备近年来有了突飞猛进的发展,新技术新装备不断涌现,为矿产勘查单位提供了克服各种施工难题的手段。当务之急是加大新标准新技术新装备的推广力度,使之尽快发挥应有作用。同时,要重视钻孔结构设计,加强施工组织管理。相信随着国家对钻探工作的重视程度越来越高,经过钻探技术科技工作者共同努力,地质岩心钻探深度会越来越深,钻探效率会越来越高。

## 参考文献:

- [1] 王学龙. 回眸“十一五”展望“十二五”——钻探技术和装备形成系列为资源环境开发提供直接手段[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(1): 3-7.
- [2] 张金昌. 钻探技术新进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1): 11-18.
- [3] 甘行平, 傅秉锋, 张金昌, 等. 再接再厉, 创新钻掘技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(2): 7-8.
- [4] 王稳石, 朱永宜. 科学钻探复杂地层取心钻进技术[A]. 第十六届探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集[C]. 北京:地质出版社, 2011. 425-431.
- [5] 张伟, 王达, 刘跃进, 等. 深孔取心钻探装备的优化配置[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(10): 34-38, 41.
- [6] 朱恒银, 蔡正水, 王幼凤, 等. 2706.68m试验孔关键装备与技术[A]. 第十六届探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集[C]. 北京:地质出版社, 2011. 127-135.
- [7] 张伟. 取心钻进工艺方法的技术经济学分析——施工时间分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(8): 1-3.
- [8] 于好善, 王成彪, 杨甘生, 等. 膨胀套管护壁技术研究现状及其工作原理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, (3): 1-4.

注:本文于2011年4月18日国土资源部第42个世界地球日主题宣传活动周期期间在北京举办的“国土资源部地质找矿理论、技术方法高级研讨班”上进行了报告交流。

该井四开钻井,孔径分别是:0~130 m,  $\varnothing 400 \text{ mm}$ ; 130~490 m,  $\varnothing 350 \text{ mm}$ ; 490~700 m,  $\varnothing 300 \text{ mm}$ ; 700~800 m,  $\varnothing 216 \text{ mm}$ 。井管分别为:0~490 m,  $\varnothing 325 \text{ mm}$  螺旋钢管; 490~700 m,  $\varnothing 273 \text{ mm}$  螺旋钢管; 700~800 m,  $\varnothing 168 \text{ mm}$  螺旋钢管;含水层段采用打孔花管。 $\varnothing 273 \text{ mm}$  井管和  $\varnothing 168 \text{ mm}$  井管采用正反丝接头机械提吊分别下入,井管连接方式为焊接。

这是河南水文二队首次使用空气泡沫钻进工艺。它的成功使用,为该队大力开展相应地层施工积累了宝贵的经验。

(河南省地矿局水文二队 严珊珊、张秋冬 供稿)