

# 深部地质钻探钻孔结构设计与施工分析

杨 芳, 陈师逊

(山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004)

**摘要:**根据长期深部钻探施工经验,分析了深部地质钻探钻孔结构设计的主要依据和原则,通过典型深孔钻孔结构设计与实施的案例,总结了几种钻孔结构实施程序:(1)在地质预测与实际相差不大的熟悉工区,根据经验有针对性地选择钻孔结构进行施工的按设计施工法;(2)在不能预测下部地层复杂情况的条件下,采用探索、扩孔并根据实际调整钻孔结构的探索施工法;(3)利用大口径尽可能向下钻进的充分施工法等。通过实际案例分析,为深孔、超深孔钻探钻孔结构设计与施工提供一定的经验参考。

**关键词:**深部钻探;超深孔;地质岩心钻探;钻孔结构;固体矿产勘查

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)11-0021-06

## Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes

YANG Fang, CHEN Shixun

(The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China)

**Abstract:** According to the long-term deep drilling experience, this paper analyzes the main criteria and principle of deep geological drilling design. Through typical cases of deep drilling structure design and implementation, a few drilling structure implementation procedures are summarized. First, for the familiar mine where geological prediction is not far from the reality, drilling can be performed as the experience-based design. Second, if the complex conditions of the lower strata cannot predicted, the exploratory method is adopted, including pilot drilling combined with reaming, adjustment of the drilling structure according to the actual situation. Third, larger diameter drilling should proceed as deep as possible. It may provide some experience reference for the structure design and construction of deep holes and ultra-deep holes.

**Key words:** deep drilling; ultra deep hole drilling; geological core drilling; hole structure; solid mineral exploration

## 0 引言

近年来,深部找矿和科学钻探极大地推动了我国深孔(特深孔)钻探的发展,为深部地质岩心钻探理论和技术的发展带来了前所未有的机遇和挑战,“5000米智能地质钻探技术装备研发及应用”已列为国家重点研发项目。在深孔施工中,钻孔结构设计是顺利完成施工的基础和关键,同时准确判断孔内状况对钻孔结构进行适当调整以提高经济效益也是一项重要的技术工作。为此,我们根据长期在深孔施工中的一些做法,对钻孔结构的设计和施工作一些探讨,给深孔、超深孔钻探钻孔结构设计与施工

提供一定的经验参考。

## 1 钻孔结构设计的原则

(1)隔离长孔段复杂地层,保障孔壁稳定,孔内安全。

(2)满足常规钻柱组合、现有施工机具设备能力的要求。

(3)有利于降低钻探成本,保障安全施工,提高钻探生产效率。

(4)尽量简化钻具配套,减少级数,即简化钻孔结构。

**收稿日期:**2019-05-21; **修回日期:**2019-08-21 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.11.004

**基金项目:**国家重点研发计划“5000米智能地质钻探技术装备研发及应用示范”之“大深度地质钻探技术装备集成及示范”课题(编号2018YFC0603401)

**作者简介:**杨芳,女,汉族,1987年生,工程师,地质工程专业,硕士,从事深部地质岩心钻探及浅海地质钻探技术、装备研究工作,山东省烟台市芝罘区机场路271号,fangxin0911@126.com。

**引用格式:**杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构设计与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):21-26.

YANG Fang, CHEN Shixun. Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):21-26.

(5)满足地质设计要求的穿矿口径和终孔直径。

## 2 深孔钻孔结构设计的主要依据

对于深孔钻进,由于钻遇地层类型多、地层复杂、施工难度大、施工周期长、投资较大等特点,钻孔结构的设计要以安全施工为基本原则。通常情况下要考虑以下因素<sup>[1-4]</sup>。

### 2.1 地层情况

钻孔结构设计的目的主要是为了维护上部孔段孔壁的稳定,安全钻进,顺利达到设计深度。地层条件是孔壁能否稳定的基础,因此地层的地质结构、构造,岩石的物理力学性质都是设计钻孔结构的重要依据。要根据地质报告预测,逐层进行研究,对上覆盖层、松散地层、软岩层、地质构造层段、强地应力地层等一些护壁难度大,施工时容易造成坍塌、掉快、缩径、扩径、漏失、粘附等孔段,使用套管隔离。如果上部孔段不稳定层段厚度较大,就需要下多层套管,钻孔结构相应级数要多;对岩石强度高、完整的地层,护壁难度小,则不需要下入套管护壁,此时钻孔结构就可简单一些。

### 2.2 终孔口径和孔深

终孔口径是满足地质成果要求的最小口径,在套管级数确定的情况下,终孔口径与地质因素决定了各级套管和钻头的直径。

孔深对钻孔结构的影响在于孔深越大,钻探遇到的复杂情况会越多,施工周期长,孔壁受到的破坏作用也越大,为了避免孔壁出现不稳定或异常,影响到下面的施工,每钻进一定深度后,要用套管进行护壁隔离。

### 2.3 矿区施工经验

与地质设计不同,对钻探来说,对地层地质状况的关注往往更偏重于岩石的工程力学性质(可钻性和稳定性),所以地质设计报告中所预测的不完全适合钻孔结构设计,此时矿区内的施工经验将对钻孔设计起决定性因素。如果某一新区施工多个钻孔,开始施工的钻孔,钻孔结构可以设计复杂一些,之后再根据施工情况适当简化钻孔结构。如果在一个矿区只施工一个较深钻孔,则应尽量收集到以往浅孔施工资料或设计预导孔。

### 2.4 设备和钻具能力

深孔钻进中,一般根据终孔口径和孔深选择设备。同样的钻探设备,口径越大,施工负荷越大,钻

进深度能力越小,会限制某一级口径的钻进深度。如果考虑采用设计深度足够大的设备使钻孔结构不受其影响,但在目前,适用于3000 m以深钻孔的特深孔钻机并不是最常用钻机,许多单位不具备条件,从经济的观点也不合理。

选用的钻具组合对钻孔结构影响更大。一方面是钻杆的强度,对深孔钻探来说,即使要求终孔直径很小,往往也会因为钻杆强度不能满足深孔的扭矩传递要求而不能使用。口径越小,钻杆直径要相应减小,强度也会降低。正如在以往的地质勘探中,由于探矿深度较浅最常用的是56 mm口径。但随着设计钻孔深度逐步加深,钻孔终孔口径逐步被75 mm(NQ)口径替代。另一方面,大口径绳索取心钻具(如S122)还不普及,施工中必须用提钻取心,钻孔结构设计时应考虑施工单位拥有的绳索钻具的规格情况,如果对于某一口径可以利用绳索取心钻进就可以适当增加钻进深度,以减小提钻取心的工作量。对使用全面钻进的不取心孔段,可以加大钻进深度。

### 2.5 钻头(钻杆)直径与套管内外直径的配合

在地质岩心钻探中套管、钻头内外径配合间隙都比较小,如钻头口径系列为175-150-130-110-95-76-60 mm、套管外径系列分别为168-146-127-108-89-73 mm,需要加大钻头或用钻杆替代套管时要考虑上一级套管的内径。特别是目前各厂家加工质量不一,管材外径、壁厚等存在公差,有时计算可以通过钻头的套管,却无法通过,使钻孔结构的实施受到影响。

### 2.6 配合孔内试验测试仪器

深孔钻探中,孔内测井、试验的机会较多,因此要充分考虑测试仪器的外径与测试要求选择钻孔结构。如果有长期观测仪器,还要考虑仪器在孔内的安装。

### 2.7 要为下部施工留有余地

对深孔钻探来说,不可预见的问题较多,有时还需要变更钻孔深度,按终孔直径设计的钻孔结构,一旦出现意外就难以弥补。为了给钻孔下部的施工留有充分的余地,可以增加一级套管结构,即增大一级终孔口径,即使按大一级的口径顺利终孔,也不会造成很大浪费。

### 2.8 钻探技术方法和措施

钻孔结构包括了套管的有效利用和合理安排,

但施工绝对不能完全依赖套管,否则钻孔结构会特别复杂。要针对地层条件制定相应的技术方法和措施,例如对不适合绳索取心钻进层位,要采取什么钻进方法和措施,对漏失地层是采用惰性材料堵漏、水泥封孔还是套管隔离等<sup>[5-7]</sup>。

### 3 钻孔结构施工方法

根据在深孔施工中的经验积累及参考有关资料介绍,深孔施工有以下几种主要方法实现最终钻孔结构。

#### 3.1 按设计施工法

按设计施工法就是对地层熟悉,施工经验丰富的矿区,地质预测与实际往往相差不大,设计钻孔结构时可根据经验有针对性地选择结构。这种情况下,就可以根据设计的钻孔结构进行施工,套管设计在什么位置就下到什么位置,这是最常用的施工方法。

此法要在充分收集附近钻孔资料的基础上,保证设计的钻孔结构符合钻孔质量的需要。往往可以最大限度简化钻孔结构、充分发挥设备钻进能力和提高生产效率。

#### 3.2 探索施工法

探索施工法是指在不能预测下部地层复杂情况的条件下,先采用钻进效率高的钻进方法进行探索(取心),再根据地层复杂程度进行扩孔,调整钻孔结构。

深部钻探往往对下部地层认识不清,而大口径取心(特别是提钻取心)钻进效率如果与下一级口径的钻进效率差别较大,则可以提前终止大口径钻进,改用下一级口径钻进,如果下一级口径施工中遇到复杂情况,根据情况钻穿复杂地层后提出上一级口径套管进行扩孔至复杂孔段底板,再重新下入套管。当然如果没有复杂地层存在,就可以继续施工,直至到换下一级口径,提高了生产效率。

#### 3.3 充分施工法

充分施工法是指在设备能力达到的情况下,利用大口径尽可能向下钻进的方法。

对新施工矿区,地质条件不熟悉,岩石钻进特性、构造分布等判断不清,只能根据地质设计给出的预测作为钻孔结构的设计依据。为了保证下部施工有充分的换径余地,在对施工效率和成本影响较小(如绳索取心)的前提下,以较大口径钻进时应尽量

往深处钻进,甚至至终孔。只有在大口径遇到复杂的孔内状况难以处理或是钻具及设备能力不允许时,再下入套管换用下一级口径。

#### 3.4 其他方法(同径套管、飞管等)

飞管指某一孔径遇到复杂地层必须套管隔离,且该孔段长度较短,而其它孔段完整的情况下,只下入满足隔离复杂地层孔段的套管,而不是传统的自上而下的全孔套管,以节省套管费用。

同径套管技术,下入套管后再对套管进行扩张,使套管内径满足同一口径的钻头钻进。这一技术是深孔钻进中最理想的施工方法,可以最大限度的简化钻孔结构,但还有待于进一步研究<sup>[8]</sup>。

### 4 几种深孔钻孔结构施工方法的成功案例

#### 4.1 按设计施工法

我院完成的招远玲珑东风矿区 171 号脉深部详查项目,该项目共完成钻孔 102 个,钻探进尺 110973.17 m,平均钻孔深度 1088 m,最大终孔深度 1891.38 m。该金矿区是“中国金都”招远辖区内最大的金矿区,勘探历史长,矿区前期地质资料丰富,钻孔施工区地层情况清楚。因此,在钻孔结构设计时,根据地质设计和合同要求,尽量简化结构。

对本矿区来说,上部第四系地层较浅,下部复杂地层为构造带或蚀变带类,针对这一特点,对设计深度 500 m 以浅钻孔,主要选择二级钻孔结构,即  $\text{O}110-95$  mm;对设计深度 1500 m 以浅钻孔,选择三级钻孔结构设计,即  $\text{O}110-95-75$  mm。对终孔口径要求大的水文地质钻孔或地层特别复杂钻孔,采用大口径钻孔结构( $\text{O}130-110-95$  mm),设计深度 1500 m 以深钻孔,采用 4 级钻孔结构设计,即  $\text{O}130-110-95-75$  mm。在实际生产中,除个别钻孔根据实际钻进情况做了适当调整外,矿区绝大部分钻孔按照设计的钻孔结构执行,具体情况如表 1 所示<sup>[9-10]</sup>。

典型钻孔结构见图 1。

#### 4.2 探索施工法

中国岩金勘查第一深钻——山东莱州西岭金矿区 ZK96-5 孔,钻探施工项目设计孔深 4000 m,是在该区域施工的第一个特深孔,下部地层资料不足,以此使用探索法进行设计和施工。

##### 4.2.1 钻孔结构设计主要考虑的因素

该钻孔结构设计时主要考虑以下几点:

表1 招远玲珑东风矿区171号脉深部详查项目钻孔结构一览表

Table 1 List of drilling structures for detailed survey project at the No.171 vein in Linglong Dongfeng Mine

序号	钻孔结构	钻进方法	形成条件
1	Ø110(10~40 m)-95(50~100 m)-75 mm (500~1000 m)	Ø110 mm 硬质合金钻进; Ø95 mm 绳索取心钻进; Ø75 mm 绳索取心钻进	浅孔, 地层破碎带位于较深部位或冲洗液能够抑制孔壁坍塌
2	Ø110(10~40 m)-95(100~300 m)-75 mm(1000~1500 m)	Ø110 mm 硬质合金钻进; Ø95 mm 绳索取心或扩孔钻进; Ø75 mm 绳索取心钻进	孔深较深, 套管能穿过一层或多层较复杂破碎带, 冲洗液能够抑制下部孔壁坍塌
3	Ø130(10~30 m)-110(20~50 m)-95 mm (1000~1500 m)	Ø130 mm 硬质合金钻进; Ø110 mm 金刚石单管钻进; Ø95 mm 绳索取心钻进	水文孔、竖井工程勘查孔
4	Ø110(10~40 m)-95(50~100 m)-75(500~1150 m)-59 mm(1150~1300 m 终孔)	Ø110 mm 硬质合金钻进; Ø95 mm 绳索取心钻进; Ø75 mm 绳索取心钻进; Ø59 mm 绳索取心钻进	Ø75 mm 钻进接近终孔时, 出现孔内坍塌冲洗液无法控制, 下飞管换径
5	Ø130(10~30 m)-110(20~50 m)-95 (1000~1300 m)-75 mm(1500~1800 m)	Ø130 mm 硬质合金钻进; Ø110 mm 金刚石单管钻进; Ø95 mm 绳索取心或扩孔钻进; Ø75 mm 绳索取心钻进	水文孔已满足要求且下部孔段难以处理; 第四系较深钻孔设计深, 破碎带很难处理

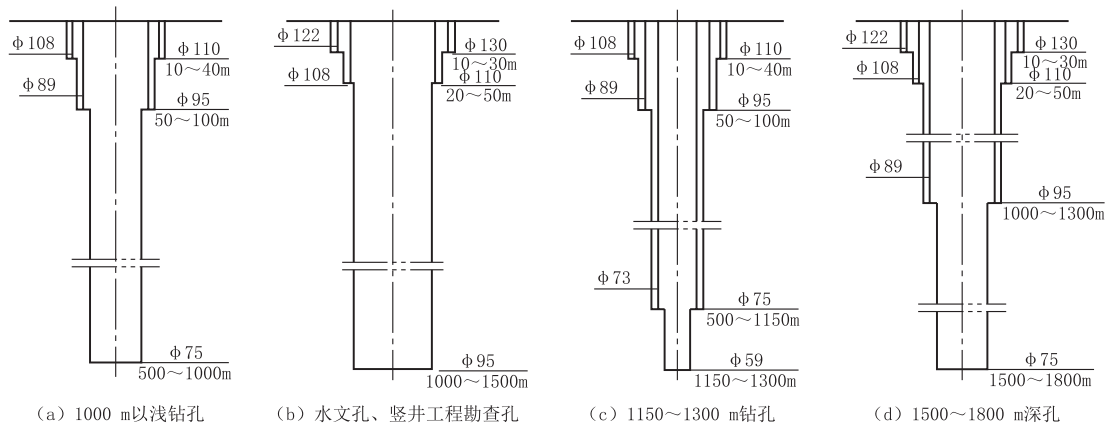


图1 玲珑东风矿区171号脉深部详查项目典型钻孔结构示意图

Fig.1 Typical drilling structures for detailed survey project at the No.171 vein

(1) 区内地层以超基性岩体为主, 相对较完整。

(2) 设备能力和钻探成本限制了大口径施工。

(3) 该孔是在该区域施工的第一个特深孔, 没有具体的地层资料。钻进中不可预见的因素较多, 地质情况可能与地质预测资料有较大出入。钻孔结构的设计应首先充分考虑到地层因素。

(4) 为了预防钻孔深部地层情况复杂, 为降低终孔口径的施工难度, H口径应尽力提高钻进深度, 不宜小于2000 m孔深。

本工程设计钻孔结构如图2(a)所示。

#### 4.2.2 钻孔结构设计的调整

根据《胶西北金矿集区矿区详细普查地质报告》提供的地层和岩石情况, 该钻孔主要孔段钻遇岩石多数为花岗岩类、片麻岩类, 岩石可钻性级别一般为7~9级。上部第四系地层为海相沉积物覆盖, 主要为海相沉积, 海陆交互沉积, 岩性为中粗砂、沙淤泥、海相主要为中细粒长石石英砂, 厚度一般30~40 m。该层设计用一级套管隔离是必要的, 但下部Ø146和114 mm套管的下入显得有些仓促<sup>[11]</sup>。

钻孔开孔时采用Ø150 mm合金钻进, 配Ø50 mm钻杆, 钻进至32.80 m, 由于扭矩较大, 钻杆折断, 用打捞工具捞取后, 改用Ø170 mm钻具扩孔至钻具底部, 下入Ø168 mm套管。32.80 m开始采用Ø150 mm金刚石单管钻具, 由于效率低, 取心困难, 至81.50 m提前下入Ø146 mm套管。然后采用P口径绳索取心钻进, 至501.00 m, 地层完整, 于是下入Ø114 mm套管; 开始采用H口径绳索取心钻进进行探索, 至2229 m地层一直比较完整, 直接转换成N口径绳索取心钻进, 至2439.10 m出现破碎地层, 继续钻进至2672 m, 在上部破碎带出现了孔内事故, 需要处理, 从2230 m处采用H口径扩孔至2439.10 m, 下入Ø89 mm套管, 最终形成了如图2(c)的钻孔结构<sup>[12-15]</sup>。

ZK96-5钻孔属国内本行业首次进行的孔深超过4000 m的特深孔施工, 没有相应施工经验。按照一般的设计思路和原则, 在同一地层条件下设计一级套管的方法不合理, 如果考虑地层复杂, 钻孔结构设计就很复杂。因此, 在实际钻进过程中, 根据实

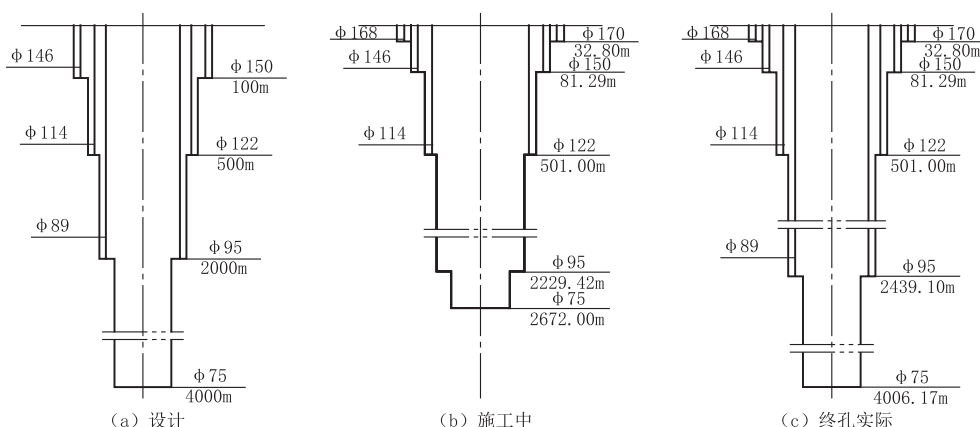


图 2 莱州西岭金矿区 ZK96-5 孔钻孔结构示意图

Fig.2 Structures of the ZK96-5 hole in the Laizhou Xiling Gold Field

际情况采用探索的方法,对钻孔结构进行适当调整,在遇到复杂情况可根据实际情况进行扩孔,重新下入套管是合理的。

### 4.3 充分施工法

江西某矿区深部钻孔施工为此类典型,钻孔结构如图 3 所示。该孔设计深度 2500 m,根据地质需要,加深后,用时 283 d,终孔深度 2818.88 m。该孔设计时,根据常规考虑四级口径,在实际施工中,因对地质条件不熟悉,从二开钻进开始,考虑下部可能出现复杂情况,为方便事故处理,从钻穿第四系下入  $\phi 146$  mm 套管后,一直采用  $\phi 122$  mm 金刚石绳索取心裸孔钻进直至终孔。该孔主要采用金刚石绳索取心钻进,钻具组合为:液动冲击器+ $\phi 122$  mm 金刚石绳索取心钻具+孕镶金刚石钻头。该孔的成功实施,证明在新矿区钻进时,在不影响钻进效率及成本影响较小时,以较大口径尽量往深处钻进甚至至终孔的方法是可行的<sup>[16]</sup>。

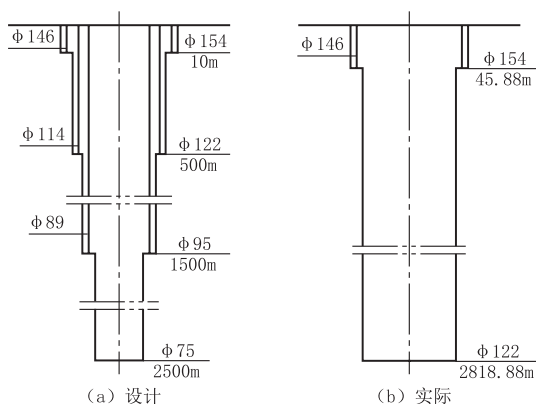


图 3 江西某矿区深部钻孔结构示意图

Fig.3 Deep hole structures in a Jiangxi mine

## 5 结论

合理的钻孔结构设计是保障深孔、超深孔钻进成功的关键因素之一。通过多年的深孔、超深孔钻孔结构实施方法的研究,取得了一定的经验:

(1)地质钻探钻孔结构的设计与施工,特别是对深部地质钻探来说,除地质条件及钻孔深度、终孔直径外,还要充分考虑钻进方法、护孔措施、设备情况,合理选择开孔口径、换径次数与深度、套管程序等。

(2)在地质条件熟悉的矿区,直接按照设计的钻孔结构施工,是比较安全、经济的。深部地层复杂情况不明时,可采用钻进效率高的钻进方法进行探索(取心),再根据地层复杂程度进行扩孔,调整钻孔结构。

(3)对于超深孔钻进时,可采用多种钻孔结构实施方法相结合,如采用探索法向下施工,在地层条件合适时,可采用大口径尽可能向下钻进(充分施工),遇地层复杂或处理孔内事故需要,可提前下入套管,实际钻孔结构根据地层复杂情况及时调整。

(4)钻孔结构的选择不是一成不变的,要根据实际钻进情况,如地层复杂破碎程度、孔内事故等因素及时进行调整,在保证终孔口径的前提下,尽量留有余地。

## 参考文献 (References):

[1] 李世忠.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1992.  
LI Shizhong. Drilling technology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.

[2] 鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].武汉:中国地质大学出版社,2001:22-26.  
YAN Taining. Rock and soil drilling and excavation engineering[M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 2001:

- 22—26.
- [3] DZ/T 0227—2010, 地质岩心钻探规程[S].  
DZ/T 0227—2010, Geological core drilling regulations[S].
- [4] 胡辰光. 钻探工程技术及标准规范实务全书[M]. 合肥: 安徽文化音像出版社, 2003: 58—63.  
HU Chenguang. Encyclopedia of drilling techniques and standards[M]. Hefei: Anhui Culture Audio-visual Press, 2003: 58—63.
- [5] 王达, 张伟, 张晓西, 等. 中国大陆科学钻探工程—科钻—井钻探工程技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.  
WANG Da, ZHANG Wei, ZHANG Xiaoxi, et al. CCSD—1 Well drilling technology of China Continental Scientific Drilling Project[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [6] 张金昌, 刘秀美. 13000 m 科学超深井钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 1—6.  
ZHANG Jinchang, LIU Xiumei. 13000m drilling technology of super-depth scientific drilling-well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9): 1—6.
- [7] 刘锡金, 李三台子铁矿普查 2500m 深孔钻孔结构设计[J]. 地质找矿论丛, 2014, 29(3): 467—470.  
LIU Xijin. Structural design of drill hole 2500m-deep for general prospecting in Lisantaizi Iron Mine[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2014, 29(3): 467—470.
- [8] 陈师逊, 翟育峰, 王鲁朝, 等. 西藏罗布莎科学钻探施工对深部钻探技术的启示[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(11): 1—3, 9.  
CHEN Shixun, ZHAI Yufeng, WANG Luzhao, et al. Enlightenment to deep drilling technology from scientific drilling in Luobusha of Tibet[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(11): 1—3, 9.
- [9] 孙丙伦, 等. 深部找矿钻探技术与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2013.  
SUN Binglun, et al. Study and practice on drilling technology of deep mine prospecting[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- [10] 孙丙伦. 深部找矿组合钻探技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.  
SUN Binglun. Study on combine drilling technology of deep mine prospecting[D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [11] 陈师逊, 张英传, 等. 中国岩金勘查第一深钻施工——山东莱州西岭金矿区 ZK96—5 孔钻探施工技术报告[R]. 山东省第三地质矿产勘查院, 2014.  
CHEN Shixun, ZHANG Yingchuan, et al. Drilling technology report of No ZK96—5 drill in gold mine on Laizhou, Shandong Province—the first deep drilling of rock gold exploration in China[R]. The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, 2014.
- [12] 陈师逊, 张英传, 刘作达. 中国岩金勘查第一深钻——山东莱州西岭金矿区 ZK96—5 孔钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1): 108—112.  
CHEN Shixun, ZHANG Yingchuan, LIU Zuoda. Drilling of the deepest rock gold exploration borehole in China—ZK96—5 borehole in Laizhou Xiling Gold Mine of Shandong[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(S1): 108—112.
- [13] 陈师逊. 中国岩金第一深钻施工情况介绍[J]. 地质装备, 2013, 14(6): 21—25.  
CHEN Shixun. The introduction of construction about the first deep drilling of rock gold exploration in China[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2013, 14(6): 21—25.
- [14] 孙建华, 陈师逊, 刘秀美, 等. 小直径特深孔绳索取心口径系列及钻柱方案[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(8): 1—5, 17.  
SUN Jianhua, CHEN Shixun, LIU Xiumei, et al. Diameter series and drill pipe scheme for wire-line coring with small diameter in ultra-deep borehole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(8): 1—5, 17.
- [15] 陈师逊, 杨芳. 深部钻探复合钻杆的研究与应用[J]. 地质与勘探, 2014, 50(4): 772—776.  
CHEN Shixun, YANG Fang. Research and application of composite drill pipes in deep drilling[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(4): 772—776.
- [16] 刘晓阳, 李大昌, 叶雪峰. 中国铀矿第一科学深钻施工概况[C]// 中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十七届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集, 2013, : 297—299, 304.  
LIU Xiaoyang, LI Dachang, YE Xuefeng. Introduction to first scientific drilling for Uranium in China[C]// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Seventeenth National Exploration Engineering (Drilling and Tunneling) Academic Conferences, 2013: 297—299, 304.

(编辑 韩丽丽)