

# 论提高我国地质找矿钻探综合效益的措施

张永勤

(国土资源部勘探技术研究所, 廊坊 065000)

**[摘要]** 概述了我国矿产资源状况及我国当前与未来地质找矿钻探市场的形势, 分析了对现有钻探技术及设备进行革新和完善并大力推广应用的方法, 论述了采用先进取芯取样综合钻探技术对提高钻探效率的作用, 并提出了中国地质找矿钻探设备的发展建议。

**[关键词]** 地质找矿 矿产资源 综合钻探技术 节约型经济 效益

**[中图分类号]** P634 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)06-0107-05

随着全球地下矿产资源的不断开发利用, 矿产资源的保有储量在逐年减少, 世界各国都在加大投资力度, 积极寻找新的地下矿产资源, 2006 年全球固体矿产勘探投资超过 71 亿美元。我国人均资源占有量只有世界人均资源占有量的 58%, 某些矿产资源供给面临短缺, 成为制约经济发展的瓶颈。从目前地质找矿探测技术的发展现状看, 利用钻探取芯(样)方法获取地矿层样品以便确定地下矿产资源的最终物化参数在未来相当长的时期内仍是不可替代技术手段。近几年来国内地质找矿钻探工作量逐年增加, 据不完全统计, 2006 年中央所属地勘单位(不含地矿系统)地质找矿钻探工作量超过 250 万米。根据我国现有注册具有钻探施工资质的地质单位数量初步估算, 2006 年我国地质岩芯钻探工作量超过 420 万米。按照目前国内西部及东部平均每米钻探价格 600 元计算, 估计年钻探货币工作量超过 25 亿元人民币。另外, 根据全国地质岩芯钻探产品厂家年销售钻机、钻塔、水泵、钻杆、器具、钻头、钻孔测量仪器、泥浆处理材料产值, 以及全国进口的各类岩芯钻探设备及器具的数量估算, 2006 年国内钻探设备及器具的销售额估计超过 15 亿元人民币。据国土资源部有关资料介绍, 2006 年我国固体矿产勘探总投资超过 66 亿元人民币。因此, 目前我国固体矿产勘探施工及其器具制造业已形成了巨大的行业和市场, 在国家经济建设及 GDP 当中具有一定的地位和影响。面对如此大的地质找矿勘探施工市场及产品销售产值, 我国地质找矿钻探装备、器具及施

工技术应按照国家提出的实施节约型经济和“节能减排”的战略方针, 采用高效节能钻探设备及技术, 为加快我国矿产资源的勘探开发, 实施节约经济战略发挥积极的作用。笔者就提高我国地质钻探施工效率、节能降耗提出一些浅见, 供同行们共同探讨。

## 1 大力完善和推广应用绳索取芯钻探技术

绳索取芯钻探技术的优点已被钻探界所熟知, 它的出现推动了地质找矿钻探技术的一次革命。目前绳索取芯钻探技术被全球地质及钻探界认为是最佳综合地质效果的钻探技术方法。尽管我国推广应用绳索取芯钻探技术有 30 年的历史, 但由于钻杆寿命及可靠性等原因, 技术应用还没有完全普及, 应用技术水平及效率没有达到理想的效果。造成上述原因是多方面的, 首先是钻杆材质, 其次是钻杆的加工质量、使用设备性能、操作人员水平等。根据实际钻探施工中的应用数量统计, 我国绳索取芯钻探技术完成钻探工作量的比例在 55% 左右, 还有相当大的推广应用空间。如果我国地质岩芯钻探施工全部采用绳索取芯钻探技术, 其综合经济及技术效益将大幅提高。要想在所有地质找矿取芯钻探施工中全部采用绳索取芯钻探, 首先必须解决钻杆的可靠性及寿命问题, 让用户消除断钻杆及出现孔内事故的畏惧心理。解决绳索取芯钻杆寿命及可靠性的主要技术手段有两个: 一是提高材质质量及性能, 二是改变钻杆接头的结构参数。如果绳索取芯钻杆性能参数能够达到普通钻杆的性能, 那么绳索取芯钻探技术

**[收稿日期]** 2007-06-27; **[修订日期]** 2007-10-08。

**[第一作者简介]** 张永勤(1960年—), 男, 1982年毕业于河北地质学院, 获学士学位, 教授级高级工程师, 现主要从事各种钻探取芯(样)、钻探施工设备及器具研究开发工作。

的普及应用范围肯定会进一步增加。当然,将绳索取芯钻杆性能设计达到普通钻杆的性能势必增加钻进过程中功率消耗,所以要分析对比增加功率消耗与提高钻杆可靠性所带来的效率提高和劳动强度的降低两者哪个综合经济效益更大。

按照绳索取芯钻杆具有普通钻杆性能的理想状态分析,以目前绳索取芯及提钻取芯钻探方法岩芯管长度均为 3m、每次回次进尺均为 3m、时效相同的理想状态计算。按照目前国内钻探施工应用最广泛的立轴钻机工作过程,配备可提升 15m 立根长度的钻塔,按平均孔深 600m 计算,打捞器投放速度按自由落体速度的 60% (6m/s),打捞器内管总成的速度按 1.5m/s。完成 600m 深钻孔的取芯次数为 200 次。从 3m 开始到 600m 孔深投放打捞器和提出内管总成的次数也为 200 次,根据每次的投放及打捞时间统计与叠加:绳索取芯钻探施工 200 次取芯过程需要的辅助时间为 10.7 小时。如果采用常规提钻取芯方法,同样按 15m 立根长度,提出每根立根的时间为 1.5 分钟,下入一根立根的时间为 1 分钟,提钻取芯 200 次所需的辅助时间为 223 小时,相比不难看出,提钻取芯钻探方法的提钻辅助时间是绳索取芯方法的 20 倍。除了在时间的消耗上具有如此大的差别外,在动力消耗上同样有巨大的差别,因为在取芯过程中,绳索取芯方法的打捞器到达孔底是靠重力自由下放的,不消耗动力,打捞提升时绳索绞车的动力消耗也只有钻机动力的六分之一。而提钻取芯方法则在取芯过程中无论提出孔内全部钻杆及还是下放全部钻杆都要开动钻机,所以提钻和下钻都要消耗较大的动力,如果按提钻过程动力消耗是钻机配备的动力的 60% 计算,那么提钻取芯钻进方法提钻过程中所多消耗的动力就是绳索取芯钻进方法的 3.6 倍,另外,经常提下钻杆还会造成孔壁坍塌等孔内隐患事故。以上分析对比可以看出,在我国地质找矿钻探施工中普及应用绳索取芯钻探技术将产生巨大的经济效益及社会效益。

## 2 提高绳索取芯钻杆可靠性及增加动力消耗的对比分析

目前我国绳索取芯钻进施工中存在的主要问题是钻杆折断问题,这也是普及绳索取芯钻探技术的主要障碍。如果使我国绳索取芯钻探技术在应用过程中钻杆可靠性到达提钻方法钻杆的可靠性及寿命,主要方法是改进材质性能、强度和钻杆的结构尺寸。从目前我国地质钻杆管材的供应渠道、厂家、技

术标准等实际情况看,提高地质管材的质量及性能的难度较大,因为涉及钢材厂家的材料成分、加工设备、模具等。所以比较可行办法就是采用增加钻杆接头螺纹根部的壁厚,提高钻杆接头螺纹根部的强度。目前我国绳索取芯钻杆发生折断的部位 98% 以上在钻杆接头螺纹根部。增加钻杆接头的厚度会带来钻杆重量的增加及钻头刻取面积的增加,从而增加动力的消耗。按照目前最普遍使用的 NQ 规格 (71 mm × 5mm) 钻杆考虑,增加钻杆接头螺纹强度使得钻头刻取面积及动力消耗增加约 13% ~ 15%, 每米钻杆的重量增加 0.28kg, 600m 孔深钻杆柱增加重量 160kg, 钻杆总重量增加了 3.4%, 因此, 钻机多消耗的动力与常规绳索取芯钻杆相比多消耗约 13.4% ~ 15.5%。虽然增加绳索取芯钻杆螺纹强度和可靠性及寿命是以多消耗动力为代价的,但与采用普通提钻取芯钻探技术所多消耗的动力及辅助时间相比,增加绳索取芯钻杆螺纹强度仍然比采用普通提钻取芯钻探技术在效率、时间、动力消耗、钻孔稳定、经济效益等方面有十分明显的益处。

## 3 开发应用长寿命钻头

除了绳索取芯钻杆的可靠性外,影响绳索取芯钻探技术优点体现的另一因素是钻头的寿命,钻孔越深、钻头寿命越长就越能体现出绳索取芯钻探技术自身的优点。按照目前我国金刚石绳索取芯钻头的平均寿命为 60m、平均孔深 600m,按钻杆立根长度 12m、提出一个立根的时间 1.5 分钟、下入一根立根时间 1 分钟、目前国内立轴岩芯钻机及配备相应的钻塔为例,分析提高钻头寿命的意义。如果能将钻头的平均寿命提高到 90m,可以获得如下综合效果:平均钻头寿命 60m,600m 钻孔的提下钻次数为 10 次,提下钻时间约为 1250 分钟;平均钻头寿命提高到 90m,提下钻次数为 7 次,提下钻时间 875 分钟。按照目前立轴钻机平均配备动力 37kW,提下钻时动力消耗为配备动力的 60%,提下钻消耗功率 22.2kW,每千瓦小时消耗柴油 200g(目前国产柴油机的单位功率耗油为 231 ~ 248g/kWh)。从以上数据可计算出,当钻头寿命提高到 90m 时,每个钻孔可节省提下钻辅助时间 6.25h,节省燃料 28kg。如果全国每年 400 多万米的钻探工作量,可节省提下钻时间 5 年,节省燃料 196t。

从孕镶金刚石取芯钻头的制造工艺及工作特性曲线看,提高孕镶取芯钻头的寿命是完全可能的。首先,孕镶金刚石钻头在工作过程就像砂轮,一旦钻

头出刃后,其钻进速度基本保持不变,直至钻头胎体磨完。因此,增加孕镶金刚石钻头的胎体高度可以大幅度提高钻头的寿命,而且也是较容易实现的,关键是如何设法保证钻头的内、外径。关于钻头保径,笔者认为:除了长寿命的保径材料外,应根据钻头孔底的工况,通过将钻头的内、外径设计成“锥度”结构,即钻头钻进时内、外径采取“分层”保径,钻头的内径向上逐渐“变大”,而钻头外径逐渐“变小”,开始正常钻进时,让第一层内、外保径材料起到保径作用。随着钻进及胎体磨损,到一定高度时,第二层保径开始工作。可以根据钻头的结构、地层情况等将钻头设计成多层保径结构。为了保证岩芯进入岩芯管及下步更换的新钻头能够下入孔内,还要考虑将岩芯卡簧座的内锥面加长,即卡簧具有更大的径向变化范围,同时钻头要排队使用,这就既可以提高钻头寿命,又可以解决钻头保径问题。

#### 4 采用取样及取芯相结合的找矿钻探评价方法

绳索取芯及反循环钻探技术(RC)被称为地质钻探技术的两次革命,这两种钻探方法相对各有其优、缺点。如果把两者结合起来,将会达到在满足地质找矿钻探要求的前提下,大幅度提高钻探效率和降低成本的目的。特别是RC钻探取样方法在钻进过程中采用气动潜孔锤以冲击体积破碎岩石的钻进方式改变了以往金刚石磨削破碎岩石的机理,大幅度提高钻进速度。室内及野外试验证明,孕镶金刚石钻头回转磨削岩石单位时间产生的破碎量与气动潜孔锤冲击破碎岩石单位时间产生的破碎量之比为1:14~1:70。大量的钻进实践证明,在满足风量及压力的条件下,高压空气潜孔锤冲击钻进速度可以达到金刚石磨削钻进速度的10~15倍。

2007年6月Atlas Copco Craelius公司产品部经理Jan Jösson先生在《Mining & Construction》的技术论坛上发表了题为“*In search for a right balance*”的论文。Jan Jösson先生在文中谈到:“近来一些矿业公司、地质学家以及钻探承包商一直在寻找一种能同时满足地质学家了解地层情况,又能满足室内化验分析矿物化参数要求,还能大幅度提高钻探效率、降低钻探施工成本、缩短勘探周期的钻探技术方法。目前这种方法找到了,这就是已经被实践证明的绳索取芯与RC钻探方法相结合”。Jan Jösson先生用实例分析论述了RC取样与绳索取芯钻探技术相结合的综合钻探技术的效率、成本、地质效果

等:某矿区有32000m的钻探工作量,平均孔深400m,如果32000m全部采用绳索钻进技术进行取芯钻探施工,一台钻机日进尺72m,完成上述工作量需要475天;采用同样一台钻机,如果50%的工作量采用RC钻探方法完成,其余50%采用绳索取芯方法完成,总共需要301天;还是采用同一台钻机,如果75%的工作量采用RC方法完成,25%采用取芯方法,完成任务仅需要223天。钻探施工的最终结果是:第一种方案需要475天,完成施工任务的费用是2580000美元;第二种方案需要301天,完成任务的费用是1720000美元;第三种方案需要223天,完成任务的费用是1320000美元。三种施工方案在时间及费用方面的差别非常明显,但第三种方案不仅完全能够满足找矿勘探的最终目的,而且节省了大量的钻探费用和时间。最后实际钻探施工成本核算,RC钻探法的每米成本只有30美元,取芯钻探成本为每米81美元。我国部分矿区在应用RC钻探方法的实践也证明了其成本只有取芯方法的1/3~1/4。2006年,国土资源部勘探技术研究所同黑龙江地质矿产勘查总院合作应用RC钻探方法承担澳大利亚瑞翔公司小兴安岭争光矿区金矿钻探施工任务。外方提出必须采用RC钻探技术,而且每米费用只付100元。在设备及工艺方法不十分配套的情况下,最高日进尺达到了300m,台月效率超过8000m,钻月效率超过10000米。2006年本矿区共计完成RC钻探进尺16584m(其中外方钻机完成6000m,2007年计划完成钻探工作量25000m)。钻探效率是本矿区绳索取芯钻探效率的4倍,上述RC钻探工作量使澳大利亚瑞翔公司2006年在该矿区的钻探施工费用节省400多万元人民币,而且还加快了勘探进度。

据Jan Jösson先生2002年的统计资料介绍,澳大利亚RC钻探方法完成地质找矿钻探工作量的比例已超过总钻探工作量的80%,最大孔深已超过700m;美国、东南亚、非洲RC钻探工作量占该地区地质找矿总工作量的比例分别达到80%、60%和30%。Jan Jösson先生预测,2008年以后,RC钻探方法将占全球总钻探工作量的55%,并认为RC钻探技术与绳索取芯钻探技术结合起来的综合钻探技术是未来地质找矿钻探施工最有前景的技术方法,是未来矿产勘探的必然趋势。

我国目前实施的“危机矿山接替资源勘探规划”项目最适合采用RC与绳索取芯钻探方法相结合的综合钻探技术,所以应大力推广应用RC钻探

技术。根据国际、国内 RC 钻探方法的实际费用,如果我国现有地质找矿钻探施工中有 30% 的钻探工作采用 RC 钻探法,按取芯钻探方法每米费用 600 元,RC 钻探方法每米 150 元,每年将节省钻探费用 5.4 亿元,如果有 50% 的钻探工作采用 RC 钻探法,可节省钻探费用 9 亿元。

## 5 开发应用新型高效节能岩芯钻机

在没有开发出比全液压力头钻机更好的岩芯钻机之前,液压驱动的动力头钻机在给进行程、斜孔钻进、操作、加接杆过程等方面确实具有机械传动立轴岩芯钻机无法比拟的优点,但从全液压钻机的能量利用率、提下钻速度、制造及维修成本方面分析对比,其综合效能并不如机械传动的立轴钻机高。因此,将全液压力头钻机与立轴钻机的优点结合起来,以现有机传动立轴钻机为基础,以机械作为主传动,按照全液压力头钻机给进、取芯及加杆工作过程,并增加不停车倒杆功能,实现全液压力头钻机的功能、机械立轴钻机的价格、高于全液压力头钻机综合效能的最终目的。上述传动控制方式应该成为我国未来新一代地质岩芯钻机的发展方向,乃至世界地质岩芯钻机的发展方向。新一代立轴岩芯钻机与全液压力头钻机的性能对比及优点分析论述如下:

1) 加大现有立轴钻机的给进行程,使行程达到 1m 或更长;

2) 在钻进过程中实现不停机倒杆,该新型立轴钻机采用上、下两个液压卡盘,在加接好新的钻杆之后,上卡盘移至上始点,钻进过程中,当上卡盘从上始点开始向下钻进到下止点的同时,下卡盘夹紧并继续回转,上卡盘自动松开并上移到上始点,然后自动夹紧,与此同时下卡盘松开,上卡盘向下给进钻进,这种动作及程序连续不断地重复下去,实现了不停止回转倒杆钻进。

3) 立轴钻机回转器的通孔直径加大,采用同现在的全液压力头钻机一样的液压卡盘和通孔直径,不采用主动钻杆,水龙头直接同钻杆连接,在钻进完一根钻杆需要加接钻杆时,无需退机让开孔口、无需将钻头提离孔底,只需将水龙头与钻杆卸开,从立轴上部投放打捞器(主要指绳索取芯钻进)将内管总成提出,然后将水龙头同新钻杆连接上,卷扬机提起水龙头和新钻杆,再同立轴上的钻杆连接上,继续重复上述钻进过程。钻进过程同全液压力头钻机的钻进过程完全一样,只是两者的给进行程不同,

新一代立轴岩芯钻机给进行程 1m,钻进 1m 之后上卡盘向上倒杆的时间 10~15 秒,钻进 3m 比全液压力头钻机多用 20~30 秒的倒杆时间。如前所述,目前我国绳索取芯钻探施工过程中出现钻杆折断的部位主要在接头处,如果把钻杆单根长度由现在的 3m 增加到 4m,那么 1000m 钻杆接头数就减少 25%,因此,钻杆折断的几率就减少 25%,而且加工成本可以降低 8%~10%。

4) 钻塔及斜孔钻进:全液压力头钻机全部采用整体式钻塔或桅杆,便于快速安装,而新一代立轴式岩芯钻机完全可以配备同液压力头钻机一样的整体分段式钻塔,并能随立轴回转器转动相应的角度而实现大角度斜孔钻进。目前设计的斜孔钻塔不仅可钻进 60°斜孔,而且可以钻进水平孔。

5) 价格:目前 1000m 钻深能力的进口全液压力头钻机的价格在 260~280 万元,国产全液压力头钻机的售价 100~135 万元,而新一代立轴岩芯钻机的售价不超过 20 万元(含直斜两用钻塔)。后者比前者在价格上有明显的优势。

6) 传动效率机动力配备:液压传动效率要比机械传动低得多,这是一个难以改变的科学事实。目前 1000m 钻深能力的全液压力头钻机配备的动力是 132kW,而机械传动的立轴钻机配备的动力是 30~37kW,考虑水泵的动力等总动力也不超过 60kW。

7) 使用成本:按相同钻深能力的全液压力头钻机配备的动力是 132kW,机械传动立轴钻机配备动力 75kW(可满足钻机、泥浆泵动力消耗、照明、电焊机及现场生活用电等),全液压钻机的动力比立轴钻机动力多 76%。根据柴油机的动力消耗技术参数,一般柴油消耗为 200g/kWh(国产柴油机为 231~248g/kWh),按照理想状态计算,都钻进 1000m 的钻孔,按时效 2.5m/h 估算,全液压力头钻机完成 1000m 的钻孔消耗柴油 10.65t,立轴钻机消耗柴油 6t,完成 1000m 的孔,仅油料消耗全液压钻机就多 4.65t,按每吨柴油 5000 元计算,成本增加 23250 元。如果全国每年 420 万米的钻探工作量都采用全液压钻机完成,与采用新一代岩芯钻机相比,按照理论配置的动力计算,每年多消耗燃料达 19530t。考虑在实际钻进施工过程中两种钻机的平均动力消耗均为所配总动力的 70%,那么每年全液压力头钻机实际多消耗燃料也达 13671t。事实上,从全液压力头钻机与新型立轴钻机在采用绳索取芯钻进取芯时投放打捞器和提升内管总成时的过程分析,全液压钻机

多消耗的燃料要比上述理论计算还多。

8) 维修及成本:液压系统的净洁对液压机械的可靠性及寿命非常关键,如果钻机液压系统发生故障在野外施工现场拆卸,而且不能保持净洁,液压系统将来出现问题的机会更多。目前进口全液压钻机液压系统更换一套滤器的费用每年要1万多元。国产液压钻机也需要数千元。如果液压油泵或马达发生故障,现场操作人员一般难以修复,必须更换。进口钻机需要7~9万元,国产钻机3~5万元。而新一代立轴钻机的主传动采用机械方式,辅助动作采用液压方式,出现故障的几率较低,即使发生故障,现场操作人员多数情况能够维修。

9) 提、下钻辅助时间:目前全液压力头钻机配备钻塔提下钻杆立根高度均为6米,提钻时塔上无人,立根必须平放在机台上。实践证明,同立轴钻机配备13m或更高钻塔相比,全液压力头钻机提下钻的辅助时间是立轴钻机的2~3倍。

10) 风险及综合效能:目前进口一台具有1000m钻深能力的全液压力头钻机需要280万人民币。尽管国产全液压力头钻机的售价可以降低到120万元,但购置国产全液压力头钻机与购置新一代立轴钻机相比,其风险系数都比购置新一代立轴钻机大得多。因为随着个体钻探公司不断兴起,地质岩芯钻探市场已呈现出激烈竞争的局面,每米钻探价格逐渐降低。在我国中西部地区每年能够施工的时间不到半年,所以设备的投入必须考虑风险及综合效能。

## 6 结论及建议

要想提高我国地质钻探的综合水平、降低成本,

必须开展和加强以下几个方面的主要工作。

1) 要加速开发上述所提到的将机械传动的不停车大通孔立轴钻机的优点与液压力头钻机的优点结合起来的新一代立轴钻机;

2) 要设法提高绳索取芯钻探技术钻杆及器具的可靠性、取芯钻头的寿命,并进一步推广和普及该技术,使其达到应有的钻探施工效果;

3) 必须将绳索取芯钻探技术与RC钻探技术结合起来,在满足地质找矿要求的前提下,尽可能采用RC钻探技术,同时我国地质人员应该解放思想,像外国地质人员那样,接受以岩屑代替岩芯评价矿产资源的方法;

4) 要开发更高综合性能的冲洗液添加剂,提高钻杆及钻具的润滑性、钻孔稳定性及破碎地层对岩芯的固结性、钻头的回转速度,减阻降耗。

总之,我国地质岩芯钻探装备的发展方向应体现出以下特点:具有自主知识产权、高效、低耗、实用可靠、适合国情、便于维修、广泛应用。

### [参考文献]

- [1] 张永勤. 高效钻探技术是加速“危机矿山接替资源勘探规划”实施的最有效手段.《探矿工程》,2006(1): 6-8.
- [2] 张永勤. 我国地质找矿取芯(样)钻探设备现状及提高效能的分析研究.《探矿工程》,2006(8): 45-50.
- [3] Jan Jösson. In search for a right balance.《Mining & Construction》2005(3): 18-21.
- [4] 贾庆军,等. RC钻探技术在黑龙江争光岩金矿区的应用.《探矿工程》2007(8): 13-16.

## DISCUSSION ON INCREASING COMPREHENSIVE GEOLOGICAL - PROSPECTING DRILLING BENEFIT MEASURES IN CHINA

ZHANG Yong - qin

(Institute of Exploration Techniques, Ministry of Land and Resources, Langfang 065000)

**Abstract:** Outline the status of mineral resources situations and current and future drilling market in China. Some ideas to innovate, consummate and popularize the current drilling equipment and technology are presented aiming to the huge drilling market and trend. The roles are analyzed and described to use the advanced drilling techniques for enhancing drilling efficiency and carrying out the state' thrift - economy strategy and attaining greater economic and social benefits. Suggestion of China's exploration drilling equipment and techniques development.

**Key words:** geology prospecting, mineral resources, comprehensive drilling technology, thrift economy, benefits