

关于我国地质岩心钻机发展方向的分析

张 伟

(中国地质调查局,北京 100037)

摘 要:对立轴式钻机和全液压力头钻机进行了全面的对比分析,重点对 2 种钻机进行了技术经济对比。结果表明,动力头钻机不仅在搬迁和运移性方面要优于立轴式钻机,而且在钻进施工的技术经济指标方面也优于立轴式钻机。钻孔深度加大后,动力头钻机在钻进施工效率方面的对比优势会逐渐减弱,应该考虑采取加大钻杆立根长度,从而加大起下钻速度的措施。

关键词:岩心钻机;全液压力头钻机;立轴式钻机;技术经济学;对比

中图分类号:P634.3⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)08-0001-05

Analysis on the Development Trend of Geological Core Drill in China/ZHANG Wei(China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: A comprehensive analysis on and comparison between spindle core drill and hydraulic top-drive core drill is made in this article. Special concern is focused on the technical economics in the drilling operation of the two types of the core drills. The result shows that hydraulic top-drive core drill is superior over spindle core drill not only in its light weight and portability, but also in its excellent drilling performance. With the increase of borehole depth, the comparative advantage of hydraulic top-drive core drill decreases. In this case, the length of drill rod stand should be increased to improve efficiency of round-trip operation.

Key words: geological core drill; hydraulic top-drive core drill; spindle core drill; technical economics; comparison

0 引言

目前以及在可以预见的将来,在地质钻探施工中得到应用的岩心钻机主要有 2 种,一种是立轴式岩心钻机,另一种是全液压力头岩心钻机。立轴式岩心钻机在我国于 20 世纪 60 年代研制成功,至今仍是我国地质钻探的主要机型;全液压力头钻机以其优良的技术性能,自 20 世纪 70 年代问世以来,发展迅速,后来居上,目前在世界上发达国家已经基本全部取代了立轴式钻机。我国的钻探技术人员在 20 世纪八九十年代也尝试过研制全液压力头钻机,并做出了样机。但由于当时我国的液压技术水平低,导致钻机性能不佳,没能进一步推广。21 世纪开始以来,我国的钻机研制单位开始了新一轮全液压力头钻机研制攻关。2006 年,在国家科技攻关项目和地质大调查项目的联合支持下,中国地质科学院勘探技术研究所率先在国内推出具有实用水平的 YDX-3 型全液压力头钻机(1000 m)。钻机一经问世,在市场上受到了广泛的关注和欢迎,至今已销售几十台,还出口到澳大利亚、俄罗斯和伊朗等国家。此后,山东探矿机械厂、黄海机械厂、张家口探矿机械厂、衡阳探矿机械厂等也纷纷推出了

全液压力头钻机产品,还有许多单位正在研制具有不同钻深能力的全液压力头钻机。尽管全液压力头钻机的研制和应用表现出一种良好的势头,但这种钻机目前在我国地质钻探市场上的使用份额比立轴式钻机仍然要小得多。从长远来看,我国到底应该是发展立轴式钻机,还是全液压力头钻机?对于这个问题,目前有着 2 种不同的看法:一种认为经过改进后的立轴式钻机是我国地质钻机的发展方向;另一种认为全液压力头钻机是发展方向。这个问题对于地质钻探界来说是一件大事,一方面它影响到我们钻探技术研发和推广工作的布局,另一方面钻机的使用效果将直接影响地质勘探工作的效率、质量和成本。

笔者拟采用对比分析的方法,来尝试寻求对此问题的答案,并愿意与地质钻探界的同仁们共同探讨这个问题。

1 地质岩心钻机的世界发展趋势

20 世纪 20 年代,出现了螺旋给进钻机。20 世纪三四十年代,液压技术开始用于钻机给进系统,液压式立轴钻机进入地质钻探市场。除了液压式立轴

收稿日期:2008-06-29

作者简介:张伟(1954-),男(汉族),湖北恩施人,中国地质调查局科技外事部新技术处处长、教授级高级工程师,探矿工程专业,博士,负责组织地质勘探技术的研究与开发和推广应用工作,北京市西城区阜外大街 45 号院,zhangwei@cesd.cn。

钻机之外,曾经还有手把式钻机和转盘式岩心钻机。这些钻机由于在技术性能和对钻进工艺的适应性方面不如立轴钻机,而逐渐被淘汰。在全液压动力头钻机问世之前,液压式立轴钻机是地质岩心钻机市场的主角。

第二次世界大战结束前后,国民党政府曾从美国沙利文公司购买了一批液压式立轴钻机。20世纪50年代,我国分别从苏联和瑞典进口过液压式立轴钻机^[1]。

自20世纪六七十年代起,随着液压技术的发展和液压元件质量的提高,出现了液压驱动和控制的顶驱式动力头钻机,瑞典阿特拉斯公司率先推出了泰美克系列钻机,宣告岩心钻机新时代的到来。全液压动力头钻机以其所具有的一些独特优点,自问世以来很快得到地质钻机市场的青睐,明显地撼动了液压立轴式钻机的“王者宝座”。宋翔雁^[2]在1992年发表的关于地质岩心钻机发展趋势调研报告提到:“从钻探工作的大市场来看,顶驱式动力头钻机的产量和市场占有率呈明显增长的趋势仍在继续,可以说它将主宰地质钻机制造业的未来;但另一方面又必须看到,在固体矿产钻探这一重要领域,不仅目前市场占有的主要机型仍为立轴式钻机,而且从西方一些公司生产的不同类型钻机更新年限的统计资料看,国外学者认为立轴式钻机在该领域内的有效使用至少仍要保持15~20年”。可以说,宋翔雁和国外学者对地质钻机发展趋势的预测是准确的,目前在发达国家立轴式岩心钻机已经被全液压动力头钻机所取代,各大钻机公司各种宣传媒介上已经看不见立轴式岩心钻机的踪影。

纵观我国近代钻探技术发展的历史,我国钻探技术的发展方向基本上与西方发达国家是相同的。我国钻探技术的发展一般滞后于西方国家,我们在很多方面学习了西方国家的经验,这是因为我国的科学技术水平落后于西方国家。但这并不意味着,

按此逻辑,我国地质岩心钻机的发展方向一定与西方国家一样。这样做是盲从,是不可取的。我们应该客观地分析世界上地质岩心钻机发展的趋势,探究在西方国家立轴式钻机被全液压动力头钻机取代的真正原因。以此为基础,根据我国的国情和发展态势,制定适合我国的地质岩心钻机发展战略。

2 立轴式钻机和全液压动力头钻机的主要特性对比

评价钻机性能的优劣,应该有一套标准,其所包含的基本要素为:施工效率,施工质量,施工成本,施工安全性,钻机适应性,处理事故能力。

2.1 施工效率对比

由于采用钻塔,立轴式钻机可实现长立根(12~18 m)起下钻,起下钻速度比动力头钻机(立根长度一般为6 m)要高得多。在钻进施工中,起下钻是一种经常的作业,起下钻速度对施工效率有明显的影响作用。

动力头钻机相比立轴式钻机具有以下突出的优点:

(1)给进行程长,一般为3 m左右,比立轴式钻机的0.5~0.6 m要长得多。对于3 m进尺,动力头钻机可“一气呵成”,而立轴式钻机至少倒杆4次。每次倒杆不仅需多耗时间,还可能造成岩心断裂,使得倒杆后重新钻进速度慢,并加大了岩心堵塞的概率。在破碎地层,以上因素的影响尤为明显。因此动力头钻机在机械钻速、钻头寿命、回次长度和提钻间隔方面都要优于立轴式钻机。这些因素对钻进施工效率都有直接的影响作用。

(2)不用钻塔,可明显节省施工时间并降低人工成本,在交通不便地区尤为突出。动力头钻机搬迁一般只需要一两天时间。立轴式钻机搬迁一次一般需要4~7天。

对2种钻机施工效率的定性比较列于表1。

表1 液压力头钻机与立轴式钻机施工效率的比较

钻机类型	给进行程	机械钻速	回次长度	钻头寿命	起钻间隔	起下钻速度	平机台时间	运输时间	设备安 装时间	接单根 时间	倒杆 时间
液压力头 立轴式	是立轴钻机的5倍 较短	较高 较低	较长 较短	较长 较短	较长 较短	较慢 是动力头钻机的2~3倍	较短 较长	较短 较长	较短 较长	较短 较长	无 有

根据以上定性分析的结果,2种钻机在施工效率方面各有优势,从表面看动力头钻机的优势要更大一些。那么,到底哪一种钻机的钻进施工效率更高呢?岩石可钻性和孔深条件对这种施工效率的对比关系又有多大影响呢?此处,将通过进行技术经

济学对比分析,来求得对此问题的解答。

对比方法是:将2种钻机可能获得的钻探技术指标代入钻进时间计算公式^[3]进行计算,对计算结果进行对比分析。

考虑到岩石可钻性对钻探施工的技术指标有显

著影响,并会影响 2 种钻机施工效率的对比关系,这里同时给出了 2 种钻机在软岩和硬岩 2 种地层条件下技术经济指标。

2 种钻机在软岩和硬岩中施工 1000 m 钻孔所

需的钻进时间(钻机搬迁时间不计在内),分别列于表 2。2 种钻机在软岩和硬岩中施工 2000 m 以内不同深度的钻孔所需要的时间的对比情况分别列于表 3。

表 2 两种岩心钻机钻进软、硬岩的技术经济性对比(孔深 1000 m)

钻进岩层	钻机类型	机械钻速 /(m·h ⁻¹)	回次长 度/m	起钻间 隔/m	起下钻速度 /(m·h ⁻¹)	钻进总 时间/h	起下钻总 时间/h	捞岩心总 时间/h	额外倒杆 总时间/h	钻进施工 时间/h	动力头钻机 节省时间/%
软岩	动力头钻机	1.8	2.8	50	170	556	124	177	0	857	21.6
	立轴式钻机	1.5	2.5	45	510	667	45	197	133	1042	
硬岩	动力头钻机	1.3	2.8	30	170	769	208	175	0	1152	13.9
	立轴式钻机	1.1	2.5	27	510	909	74	196	133	1312	

表 3 两种钻机在软、硬岩中施工不同深度钻孔的施工时间比较

钻进 岩层	钻孔深 度/m	钻进施工时间/h		动力头钻机比立轴 式钻机节省时间/%
		动力头钻机	立轴式钻机	
软岩	500	382	492	28.7
	1000	856	1046	22.2
	1500	1421	1657	16.6
	2000	2079	2326	11.9
硬岩	500	510	554	21.7
	1000	1154	1180	13.8
	1500	1916	1882	8.7
	2000	2825	2652	3.3

比较表 2、3 的数据,可得出以下结论:

(1)施工时间分解的数据表明,立轴式钻机只是起下钻时间比动力头钻机少,其他所有施工需要的时间均比动力头钻机要多。

(2)施工 2000 m 以内的钻孔,无论是钻进软岩还是硬岩,动力头钻机的钻进施工时间均少于立轴式钻机。在软岩中动力头钻机节省时间要更多一些,因为在软岩中钻头寿命更长,提钻间隔更大,提钻总时间更少,使动力头钻机提钻慢的弱点得到弱化。

(3)随着孔深加大,动力头钻机相对于立轴式钻机的时间节省相应减少,这是因为孔变深后起下钻时间的比例相对加大的原因。

以上只是对 2 种钻机的钻进施工效率进行了对

比,如果再考虑钻机搬迁时间的对比,可认为动力头钻机比立轴式钻机施工效率明显要高,钻孔较浅(1000 m 以内)时,二者的差别更大。以下 2 个施工实例可很好地证明这一点。

实例 1:新疆黄山铜镍矿区钻探项目

2006 年新疆地质六队哈密大地工程勘察有限责任公司在黄山铜镍矿区施工了 19 个钻孔,设计孔深 600~1400 m,平均孔深 905 m,总进尺 17162 m。钻进的岩石为角闪辉长岩,角闪橄榄岩,橄榄辉石岩,糜棱岩,滑石绿泥岩等。岩石可钻性大多在 5 级左右,部分达 7 级,地层蚀变较强,钻探施工常遇到孔壁坍塌、超径造成的埋、卡钻事故。

施工中采用了 3 种钻机,即从国外进口的 LF-90 型全液动力头钻机和国产的 YDX-3 型全液动力头钻机以及 XY-44、XY-5 型立轴式钻机。几种钻机的进尺及其钻进施工技术经济指标列于表 4^[4]。由表 4 列的数据可得出结论:全液动力头钻机的机械钻速、台月效率和孔内事故时间等指标都要明显优于立轴式钻机。尽管 YDX-3 型钻机是刚刚推出的产品,还远未达到成熟,设备维修时间还较多,但也还是获得了较好的技术经济指标,显示出很好的发展潜力。

表 4 新疆黄山铜镍矿区不同钻机施工效率比较

钻机	总进尺 /m	平均孔深 /m	台月效率 /m	平均时效 /(m·h ⁻¹)	纯钻时间 /%	辅助时间 /%	孔内事故时间 /%	设备维修时间 /%
LF-90	4694.50	938.90	770.35	2.48	43.2	51.0	5.2	0.6
YDX-3	5955.51	744.44	636.95	1.86	47.5	45.9	1.0	5.6
立轴式钻机	6512.59	930.37	518.10	1.73	41.6	45.7	11.2	1.5

实例 2:山东探矿机械厂 XD-3 型钻机试验项目

山东探矿机械厂研制的 XD-3 型钻机于 2006 年在山东省莱西市寺庄矿区进行生产试验。钻进的地层主要为钾化花岗岩,可钻性 7~9 级。主要采用

Ø75 mm 金刚石绳索取心钻具,钻至 668.49 m 终孔。获得的技术指标:平均台月效率 770 m,平均时效 2.45 m,分别比同矿区其他型号钻机提高 28.5% 和 22.5%^[5]。

2.2 施工质量对比

动力头钻机是长行程给进,一个回次钻进过程中工作平稳。而立轴式钻机在一个回次中要倒杆 4~5 次。倒杆时可能造成岩心断裂,加大岩心堵塞的概率,岩心采取率会因此受到影响。在破碎地层,以上因素的影响尤为明显。因此动力头钻机的岩心采取率和岩心质量要优于立轴式钻机。

不倒杆还会降低破碎地层钻进的事故率。此外,动力头钻机的施工过程更加平稳,对改善施工质量会更加有利。

2.3 施工成本对比

钻进施工成本是一个受多方面因素影响的复杂问题。动力头钻机的购置成本比立轴式钻机的高,进行成本计算时其设备折旧费也相应高。但由于动力头钻机施工效率比立轴式钻机要高、事故率比立轴式钻机低,因此又可带来施工成本下降。钻探设备的经济性受很多因素影响,须根据具体情况而定。以下以新疆地质六队的黄山铜镍矿钻探项目为例,进行不同类型钻机施工的经济性对比分析。

新疆地质六队在黄山铜镍矿区施工中对立轴式钻机和动力头进行了大量的对比试验,表 5 给出了每米成本分析结果。

表 5 黄山镍矿不同钻机施工每米成本分析

钻机	总进尺 /m	柴油成本 /(元·m ⁻¹)	综合成本 /(元·m ⁻¹)
XY-5	3868	56	362
YDX-3	5184	34	332
LF-90	5585	46	363

注:(1)此表根据新疆地质矿产局第六地质大队马德义提供的数据总结编制;(2)除了钻机和钻杆费用摊销之外,其它所有成本,包括钻材、油料、设备维修、人员工资等费用都在每米综合成本之内得到了考虑。

由表 5 的数据可引出 2 个值得深思的问题:

(1)动力头钻机的每米能耗比立轴式钻机的低。这个事实可能出乎许多人的意料之外。很多人认为,动力头钻机的装机功率明显比立轴式钻机的高,因此单位进尺能耗也相应高。

(2)人们通常认为,动力头钻机的维修和易损件更换成本要比立轴式钻机高得多,导致施工成本明显高于立轴式钻机。黄山铜镍矿施工的结果表明,动力头钻机除了钻机和钻杆费用摊销之外的综合成本不比立轴式钻机的高,甚至还要低一些。

表 5 中的综合成本没有钻机和钻杆的费用,考虑这两个因素后的总成本数据见表 6。

仅凭表 6 给出的每米总成本,还不能对不同钻

表 6 不同钻机每米施工成本比较

钻机	台月效率 /m	8 年进尺 /m	设备价格 /万元	综合成本 /(元·m ⁻¹)	钻杆成本 /(元·m ⁻¹)	钻机成本 /(元·m ⁻¹)	总成本 /(元·m ⁻¹)
XY-5	500	32000	35	362	40	11	413
YDX-3	625	40000	120	332	40	30	402
LF-90	725	46400	240	363	40	52	455

注:(1)YDX-3 型钻机比 XY-5 型钻机台月效率高 25%,LF-90 型钻机比 XY-5 型钻机台月效率高 45%;(2)钻机费用摊销按 8 年算,每年按钻进 8 个月算。

机的施工经济性做出评判,还要考虑钻探施工效率和钻探合同价格。由以下的公式可计算出在什么样的合同价格情况下,采用动力头钻机的经济性会优于立轴式钻机。

$$L_{8yd}(P_{ht} - C_d) \geq L_{8yl}(P_{ht} - C_l)$$

$$P_{ht} \geq (L_{8yd}C_d - L_{8yl}C_l) / (L_{8yd} - L_{8yl})$$

式中: P_{ht} ——钻探合同价格,元/m; L_{8yd} ——动力头钻机 8 年总进尺,m; L_{8yl} ——立轴式钻机 8 年总进尺,m; C_d ——动力头钻机每米总成本,元; C_l ——立轴式钻机每米总成本,元。

将表 6 中不同钻机的每米总成本和 8 年总进尺数据带入以上计算公式,可以得出结论:当钻探合同价格高于 358 元/m 时,采用 YDX-3 型动力头钻机比 XY-5 型立轴式钻机经济性要好;当钻探合同价格高于 548 元/m 时,采用 LF-90 型动力头钻机比 XY-5 型立轴式钻机经济性要好。

需要注意的是,以上给出的盈亏平衡数据,是根据黄山铜镍矿钻探施工的结果得出的,只适用于黄山铜镍矿钻探项目的钻探设备对比,其他项目的钻探设备经济性对比数据会有其他的结果。不过,对比的原理是相同的。另外,通过黄山铜镍矿钻探项目的实例可得出结论,采用动力头钻机施工的经济性是有可能优于立轴式钻机的。根据黄山铜镍矿钻探项目 15000~17000 m 钻探工作量、1000 万元的合同额^[4]这一事实以及以上给出的对比分析数据,就已经证明了这一点。

2.4 施工安全性对比

动力头钻机是长行程连续给进,不用倒杆,减少了孔内事故发生的概率。在破碎地层,尤为明显。

动力头钻机的回转钻进过程更加平稳,也对减少孔内事故有利。

动力头钻机可减少设备安装导致的机械事故,减少高空作业的风险,尤其是斜孔施工。

2.5 钻机适应性对比

不同的钻进工艺方法如金刚石取心钻进、反循

环连续取心(取样)钻进、定向钻进等,对钻机的转速有着不同的要求。比较理想的情况是,钻机能满足各种钻进工艺方法的要求,并且能方便地对转速进行调节。相比之下,动力头钻机是一种能较好满足以上要求的钻机。与立轴式钻机相比,动力头钻机的转速范围宽,能够进行无级调速,能较好地满足不同钻进工艺的要求。

与立轴式钻机相比,动力头钻机需要的钻进场地更小;能更方便地施工不同倾角的钻孔;能更加容易地实现钻进参数监测和控制。

2.6 钻机处理事故能力对比

同样深度能力的动力头钻机的起拔力比立轴式钻机的小,因此动力头钻机处理孔内事故的能力比立轴式钻机弱。

3 深孔动力头钻机的起下钻问题

根据表 3 的数据可看出,随着钻孔深度加大以及随着岩石可钻性变差,动力头钻机相对于立轴式钻机的优势在逐渐变小。这是因为动力头钻机提钻立根长度小,起下钻次数变多后,其起下钻速度慢的弱点就会变得突出。由表 7 的数据可看出,在钻孔深度不超过 1000 m 时,立根长度对施工时间的影响是不明显的。孔深超过 1000 m 以后,立根长度对施工时间的影响逐渐明显。孔深超过 2000 m 后,影响非常明显。为了解决这个问题,对于钻孔较深时,一方面要考虑钻杆拧卸和移摆的机械化问题,另一方面应该考虑加大动力头钻机的立根长度。笔者认为:1000 m 以内的钻机可采用 6 m 长的立根;1500 m 钻机应采用 9 m 长的立根;2000 m 以上的钻机,应采用更长的立根。对于深孔施工起下钻问题的解决,比较好的方案可能还是采用钻塔。采用钻塔不仅有利于长立根方案的实施,还可为钻探人员提供

一个较好的施工操作环境,对施工安全和提高生产效率都有利。

表 7 采用不同立根长度时的起下钻时间对比 /天

钻孔深度 /m	立根长 18 m (510 m/h)	立根长 9 m (260 m/h)	立根长 6 m (170 m/h)
500	0.58	1.17	1.79
1000	2.13	4.17	6.38
1500	4.83	9.50	14.54
2000	8.33	16.33	25.00
2500	17.50	34.03	52.50

注:起钻间隔为 40 m。

4 结论

全液压力头钻机在钻探技术经济指标、施工质量和适应性等方面都要优于立轴式钻机。随着我国现代化程度的提高,液压元件的成本会逐渐下降,而人力成本会逐渐提高。这些因素会进一步加大动力头钻机对立轴式钻机的对比优势。根据文中所列举的理论计算和实际应用的结果,可得出结论:全液压力头钻机是一种兼具施工效率高、施工质量好、事故率低、钻机适应性强和轻便等优点的钻机,是我国地质岩心钻机的发展方向。

参考文献:

- [1] 杜祥林. 地质钻探设备三十年[J]. 探矿工程, 1982, (4).
- [2] 宋翔雁. 浅析地质岩心钻机发展趋势[J]. 探矿工程, 1992, (6).
- [3] 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(7).
- [4] 马德义, 覃勋平, 付兆友. 不同类型岩心钻机在新疆黄山铜镍矿钻探施工效果对比. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6).
- [5] 侯庆国. XD-3 型全液压力头式岩心钻机的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(8).