

深孔取心钻探装备的优化配置

张伟¹, 王 达¹, 刘跃进², 贾 军³

(1. 中国地质调查局, 北京 100037; 2. 中国地质装备总公司, 北京 100102; 3. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:首先介绍了不同的钻探技术指标对钻探施工效率的影响作用,提出了“开展钻探装备优化配置是以获得最佳的钻探技术指标和最佳的钻探施工经济性为目标”的观点;然后逐项对深孔取心钻探装备的要素,包括钻机、钻进方法、绳索取心钻杆、钻头、定向钻进器具和泥浆泵,进行了分析,提出了对各要素优化的建议;在此基础上,形成了对深孔取心钻探装备优化配置的建议。

关键词:深孔钻探;取心钻进;装备;优化配置

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)10-0034-05

Optimized Configuration of Deep Exploration Core Drilling Equipment/ZHANG Wei¹, WANG Da¹, LIU Yue-jin², JIA Jun³ (1. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. China Geo-Equipment Corporation, Beijing 100102, China; 3. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: In this article, the effects of different drilling technical parameters on drilling efficiency are discussed and it had been suggested that the aim for optimized configuration of drilling equipment is to obtain the optimized drilling technical parameters and then the optimized drilling efficiency. The main elements of drilling equipment including drill rig, drilling method, WL coring drill rod, coring bit, directional drilling tools and mud pump are analyzed and the suggestions on the optimization of the elements are made. On the basis of elementary analysis, a proposal on the optimized configuration of deep exploration core drilling equipment is put forward.

Key words: deep hole drilling; core drilling; equipment; optimized configuration

0 引言

取心钻探施工由钻进、回收岩心、起下钻等一些基本环节组成,每一个环节的实施都需要运用一定的装备。钻探装备包括钻机、泥浆泵、钻杆、取心钻具、钻头以及辅助性的钻探设备和器具等,它们是影响钻探施工效率和成本的基本元素。钻探装备的优化配置,就是在保证钻探施工质量和安全的基础上,优化设计或选择钻探装备的各基本元素,形成最佳的钻探装备组合,最终获得最高的钻探效率和最低的钻探成本。

深孔取心钻探施工时间长、成本高、风险大,因此开展深孔取心钻探装备优化配置的工作显得尤为必要。本文讨论的深孔取心钻探是指钻孔深度在 1500~2500 m 范围内的岩心钻探。

1 深孔取心钻探施工效率评价

深孔取心钻探施工的效率可以通过一些具体的钻探技术指标予以评价,其中最重要的 4 项技术指标是机械钻速、回次长度、起下钻速度和起钻间隔。在钻进施工中,钻进效率会随着这几项技术指标的

变化而有不同。由图 1~4 可以看出,每一项技术指标对钻进施工效率的影响作用是不同的:机械钻速是 4 项技术指标中对钻探施工效率影响最显著的。在研究范围(机械钻速 0.8~2 m/h)内,机械钻速的较小变化便可带来钻进效率较明显的变化。回次长度对钻进施工效率影响比较显著,但此项指标超过 4.5 m 之后,其对施工效率的影响变弱。起下钻速度对钻进施工效率的影响也较显著。不同型式的钻机,立根长度不一样,在起下钻速度方面会有明显的区别。起钻间隔对钻进施工效率影响相对较弱,超过 40 m 后影响已经不大;超过 60 m 后,影响微弱。但不管怎么样,每一项技术指标的提高,都可能带来钻进效率的提高。钻探装备配置的优劣,可以从这几项技术指标得到充分的体现。开展钻探装备的优化配置,其目的就是要获得最佳的钻探技术指标,最终获得最佳的钻探施工经济性。

2 深孔取心钻探装备要素分析

2.1 深孔取心钻机

目前市场可得到的深孔取心钻机有 2 种,即立

收稿日期:2009-09-22

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、汶川地震科学钻探工程中心总工程师、教授级高级工程师,探矿工程专业,博士,负责组织汶川地震科学钻探工程的钻探和测井施工,北京市西城区阜外大街 45 号院,zhangwei@wfsd.org。

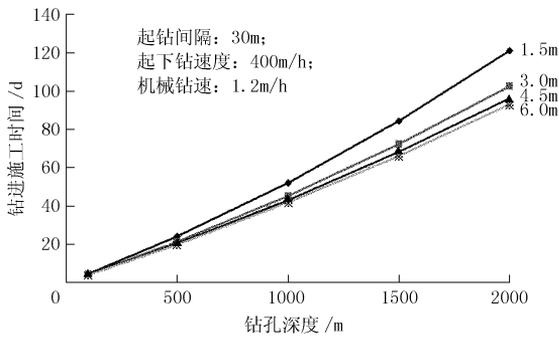


图 1 回次长度对钻进施工时间的影响

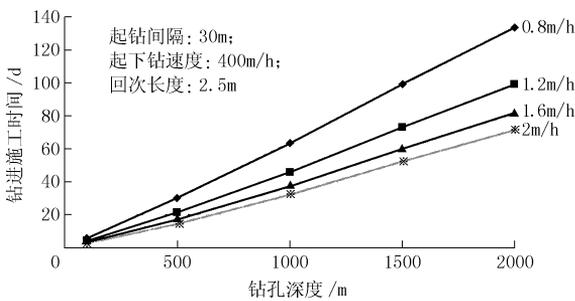


图 2 机械钻速对钻进施工时间的影响

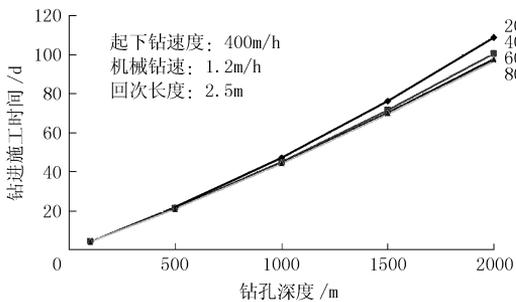


图 3 起钻间隔对钻进施工时间的影响

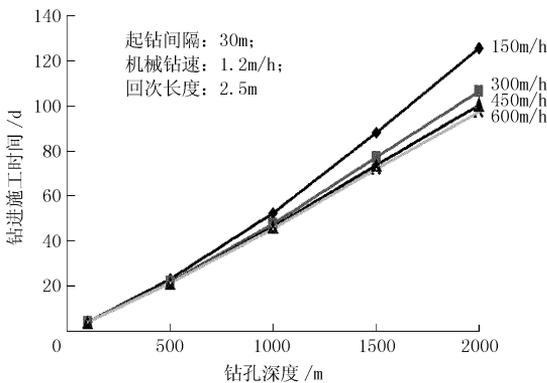


图 4 起下钻速度对钻进施工时间的影响

初始钻进速度慢,并加大了岩心堵塞的概率,这些问题在破碎地层尤为明显。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。立轴式钻机在发达国家已基本被液压动力头钻机所取代,这是主要原因。常规动力头钻机的最大弱点是没有钻塔,钻杆立根短,起下钻速度慢。孔深在 1000 m 以内时,起下钻时间在整个施工时间中占的比例小,所以问题不大,动力头钻机的综合效率要高于立轴式钻机。随着钻孔加深,动力头钻机起下钻速度慢的缺点愈加明显。表 1 显示了钻杆立根长度和起下钻速度对不同深度钻孔起下钻时间的影响,其中 18 m 长的钻杆立根代表有钻塔的钻机,6 m 和 9 m 长的钻杆立根代表无钻塔的钻机。结果表明,长立根起下钻可明显减少深孔施工的起下钻时间;而加大起钻间隔,会减缓钻杆立根短导致的起下钻时间长的不利影响。

表 1 起下钻时间与钻探技术指标的关系 /d

钻孔深度 /m	提钻间隔 15 m			提钻间隔 30 m			提钻间隔 45 m		
	立根长度 /m	立根长度 /m	立根长度 /m	立根长度 /m	立根长度 /m	立根长度 /m	立根长度 /m	立根长度 /m	
500	1.65	2.97	4.37	0.85	1.53	2.25	0.55	0.99	1.46
1000	6.33	11.39	16.75	3.30	5.94	8.74	2.29	4.13	6.07
1500	14.03	25.25	37.13	7.08	12.75	18.75	4.95	8.92	13.11
2000	25.12	45.22	66.50	12.65	22.78	33.50	8.62	15.52	22.92
2500	38.97	70.14	103.14	19.83	35.69	52.49	13.30	23.93	35.20

注:立根长度 6 m 相应的起下钻速度为 170 m/h;立根长度 9 m 相应的起下钻速度为 250 m/h;立根长度 18 m 相应的起下钻速度为 400 m/h。

根据技术经济分析和现场应用的数据,在钻孔较浅时,液压动力头钻机比立轴式钻机在施工效率方面有明显的优势,随着钻孔加深,这种优势逐渐减小,原因是随着孔深的加大,动力头钻机的起下钻时间增加较快。为了解决动力头钻机在深孔钻进时起下钻速度慢、时间长的问题,有专家提出为深孔动力头钻机配钻塔,实现长立根起下钻。此外,有钻塔和塔衣的钻机可为钻机操作人员提供一个较好的环境,有利于进一步提高施工效率。此种钻机已由中国地质装备总公司和安徽 313 地质队联合研制成功,初步试验的效果证实了这种新型钻机设计思路的正确性。这种新型钻机结合了常规立轴式钻机和液压动力头钻机的优点,既可做到钻进效率高和取心质量好,又可实现起下钻速度快,因此能明显提高钻探施工效率。但从多深的钻孔开始应该为液压动力头钻机配置钻塔?为此,我们对比分析了不同钻机在不同施工条件下钻进 1000 ~ 2500 m 深度的钻孔所需的施工时间,见表 2。

轴式钻机和液压动力头钻机。液压动力头钻机的给进行程长,一般为 3 ~ 6 m,比立轴式钻机的 0.5 ~ 0.8 m 要长得多。对于 3 ~ 6 m 进尺,动力头钻机可一气呵成,而立轴式钻机则需倒杆多次。每次倒杆不仅多耗时间,还可能造成岩心断裂,使得倒杆后的

表 2 不同钻机在不同技术指标时的钻进施工时间

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)	钻孔深度/m	取心钻进施工时间/d	钻机搬迁时间/d	钻进施工总时间/d
立轴钻机	1.0	3.5	27	400	1000	53.8	5	58.8
					1500	86.0	6	92.0
					2000	119.9	7	126.9
					2500	160.7	8	168.7
	1.3	3.5	27	400	1000	41.8	5	46.8
					1500	67.5	6	73.5
					2000	95.8	7	102.8
					2500	127.6	8	135.6
	1.0	2.5	45	400	1000	52.5	5	57.5
					1500	82.7	6	88.7
					2000	115.7	7	122.7
					2500	151.3	8	159.3
无塔液压动力头钻机	1.2	4.0	30	170	1000	50.8	1.5	52.3
					1500	83.9	2	85.9
					2000	123.1	2	125.1
					2500	167.9	2	169.9
	1.5	4.0	30	170	1000	41.6	1.5	43.1
					1500	69.5	2	71.5
					2000	103.1	2	105.1
					2500	141.9	2	143.9
	1.2	2.8	50	170	1000	47.2	1.5	48.7
					1500	76.6	2	78.6
					2000	109.8	2	111.8
					2500	146.8	2	148.8
带塔液压动力头钻机	1.2	4.0	30	400	1000	45.7	5	50.7
					1500	73.1	6	79.1
					2000	103.8	7	110.8
					2500	137.7	8	145.7
	1.5	4.0	30	400	1000	36.6	5	41.6
					1500	58.8	6	64.8
					2000	83.9	7	90.9
					2500	111.8	8	119.8
	1.2	2.8	50	400	1000	44.3	5	49.3
					1500	70.0	6	76.0
					2000	98.2	7	105.2
					2500	128.8	8	136.8

注:(1)立轴钻机立根长度 18 m、常规动力头钻机立根长度 6 m、带塔动力头钻机立根长度 18 m;(2)取心钻进施工时间包括钻进时间、回收岩心时间和起下钻时间,所有其它时间不含在内。

表 3 不同取心钻进方法施工不同深度钻孔需要的时间

取心钻进方法	起下钻速度/(m·h ⁻¹)	起钻间隔/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)	打捞岩心间隔/m	钻进施工时间/d					
					100 m 钻孔	500 m 钻孔	1000 m 钻孔	1500 m 钻孔	2000 m 钻孔	2500 m 钻孔
绳索取心	400	30	1.0	2.5	4.5	23.8	50.2	79.1	111.0	145.5
液动锤/绳索取心	400	30	1.3	4.0	3.6	19.1	40.9	65.2	92.4	122.4
不提钻换钻头	400	100	0.8	2.3	5.8	30.1	62.4	96.8	133.5	172.4

得到了公认的。20 世纪 80 ~ 90 年代,该方法是地勘钻探行业大力推广的钻进方法。后来由于地质工作陷入低潮,许多先进方法被弃用,液动锤钻进方法也未能幸免。随着地质行业的复苏,液动锤钻进方

由表 2 可得出以下结论:

(1)动力头钻机加上钻塔之后,在 1500 ~ 2500 m 孔深范围内的施工效率总是高于立轴式钻机和常规动力头钻机,并且随着孔深加大,其优势愈加明显;

(2)在孔深 1500 m 以内,常规动力头钻机的施工效率要优于立轴式钻机,随着孔深减小,其优势愈加明显;在孔深 2000 m 时,二者的施工效率相当;在孔深 2000 m 之后,由于起下钻速度太慢,常规动力头钻机的施工效率可能会低于立轴式钻机。

根据此分析结果,我们对深孔取心钻机的选择提出以下建议:深度在 1200 m 以内的钻孔,采用常规动力头钻机施工;深度在 1200 ~ 1600 m 之间的钻孔,视情况采用常规动力头钻机或带塔动力头钻机施工;深度超过 1600 m 钻孔,采用带塔动力头钻机施工。

2.2 深孔取心钻进方法

由于提钻取心方法用于深孔施工时起下钻时间太长,施工经济性太差,深孔取心钻进应该考虑绳索取心钻进方法。可能用于深孔取心钻进的绳索取心方法有普通绳索取心方法、液动锤/绳索取心方法和不提钻换钻头方法。

通过技术经济分析的结果(表 3)可知,液动锤/绳索取心钻进方法是经济性最好的深孔取心钻进方法。该方法在提高机械钻速和取心钻进的回次长度方面具有十分显著的效果,应该作为深孔硬岩取心钻进的首选取心钻进方法。尽管不提钻换钻头方法可明显减少提钻次数,加大起钻间隔,但由于起钻间隔在超过一定值后,其对钻进施工时间的影响作用变小(图 3),该方法的优点不会带来显著的成效。而不提钻换钻头钻具结构较复杂、可靠性较差、机械钻速和回次长度都较低,导致综合效益差。

液动锤钻进是一种先进的钻进方法,这是早就

法重新得到了重视,目前推广应用的势头很好。通过实施中国大陆科学钻探工程“科钻一井”,该方法用于深孔的可行性得到了证实,液动锤取心钻进的深度超过了 5000 m,并且获得了很好的钻进效果。

液动锤钻具是一种由泥浆驱动的孔底动力钻具,对泥浆的使用有严格的要求,要求泥浆含砂量低和润滑性能好,否则钻具的寿命和可靠性会受到影响。迄今为止,地质钻探中尚无比较理想的固相控制装置,这对液动锤钻进方法的推广应用起到了一定的限制作用。所幸的是,北京探矿工程研究所在“863”项目的支持下已经研制出了适合于地质钻探的离心机,目前正在进行样机试验,地质岩心钻探的泥浆固控问题有望在不久的将来得到解决,这为液动锤钻进这种先进高效钻进方法的推广应用提供了有利条件。

2.3 深孔绳索取心钻杆柱

绳索取心钻杆是深孔取心钻进非常关键的一个环节,直接影响深孔钻探施工的成败和经济性。与深孔绳索取心钻杆有关的问题有钻杆强度和钻深能力问题、钻杆拆卸机械化问题和钻杆长度问题。

2.3.1 绳索取心钻杆的钻深能力问题

目前国产绳索取心钻杆使用的孔深纪录是2104 m(Ø71 mm 钻杆,山东省地矿局第三地质队施工)。人们对深孔绳索取心钻杆的主要担心是钻杆强度问题,因为超过一定孔深之后钻杆柱会因为超过其强度极限而发生破坏。大家都很关心国产的绳索取心钻杆的钻深能力能否达到2500~3000 m或更深的问题。影响绳索取心钻杆强度和钻深能力的因素比较多,以下讨论3个主要问题。

2.3.1.1 钻杆材质

从长远来说,应该考虑铝合金钻杆在深孔取心钻探中的应用,采用轻质的铝合金是解决超深孔钻杆柱问题的有效途径。尽管铝合金的屈服强度比钢的低,但铝合金的密度比钢的低得多,其钻柱质量也比钢钻柱小得多,铝合金钻柱中由钻柱自重引起的应力比钢钻柱的小得多。因此,铝合金钻柱显示出更大的钻深能力。世界上最深的科拉超深钻(深度12262 m,采用提钻取心方法施工)和最深的绳索取心钻孔(南非5423 m的金矿勘探孔)就是用铝合金钻柱施工的。此外,采用铝合金钻柱可明显减轻对钻机负荷的要求和加速起下钻过程。

由于我国在铝合金钻杆的研究和应用方面基础太差,经验还很少,还需较长时间的摸索,才可能研制出满足深孔取心钻探要求的铝合金钻杆,所以我们目前考虑深孔绳索取心钻杆还是以钢质钻杆为主。目前国内的绳索取心钻杆材料的屈服强度一般都在600 MPa以内。对于深孔取心钻进,应采用机械性能更好的钻杆材质,钻杆材料的屈服强度应达

到800~1000 MPa,相当于P110、S135钢级,这样的材质在国内市场上已经可以得到(嘉兴新纪元钢管制造有限公司的XJY850冷拔管和衡阳华菱钢管股份有限公司的S135冷拔管)。

2.3.1.2 钻杆结构

钻杆结构设计是影响钻杆柱整体强度和钻深能力的重要因素。国外解决深孔绳索取心钻杆柱强度问题的主要措施之一是加大钻杆接头的厚度,因为接头因具有螺纹而成为钻杆柱的薄弱环节,钻杆柱的破坏绝大多数发生在接头部位。加大接头壁厚之后,岩心直径会相应地减小,南非的深孔取心钻具的岩心直径比常规钻具岩心直径小一级,如H尺寸(96 mm)的深孔取心钻杆,其岩心直径与N尺寸常规钻具的岩心直径(47.6 mm)相当。采取此措施后,南非的钢质绳索取心钻杆的钻深能力可达到3200~4200 m,铝合金绳索取心钻杆的钻深能力可达到6000 m(表4)。我们在考虑2500 m以深的绳索取心钻杆柱时,可借鉴这种思路,但不一定按岩心直径小一级的做法。如果钻孔深度还不是太大,钻杆接头壁厚加大也不必过多。

表4 南非深孔绳索取心钻杆主要参数

钻杆型号	钻孔直径/mm	岩心直径/mm	钻杆外径/mm	钻杆内径/mm	接头内径/mm	钻深能力/m	每米质量/kg
CUD96	96.0	47.6	89.0	75.0	50.3	4100	16.0
CUD76	76.0	36.5	69.9	57.2	46.2	4200	11.2
CHD76	76.0	43.5	69.9	60.3	55.0	3200	8.4
ALU76	76.0	36.5	69.9	50.8	46.2	6000	6.4

注:钢钻杆接头内加厚,摩擦焊连接,接头硬化处理1.5 mm,钻杆安全系数2:1。

2.3.1.3 组合钻杆柱

采用组合钻杆柱,可在已有的钻杆条件下钻得更深。基本思路是:将接头壁厚较大、强度较高的钻杆放在上部(钻杆柱受力最大的部位),将接头壁厚较小、强度较低的钻杆放在钻杆柱下部,这样可在保证钻杆柱强度的基础上,使钻杆柱较轻。南非钻深孔时就是将CUD76钻杆与CHD76钻杆组合起来使用(表4)。

2.3.2 绳索取心钻杆拆卸扣机械化问题

目前绳索取心钻进起下钻过程中钻杆主要采用手工拆卸,起下钻施工效率低、劳动强度大,对于深孔钻进尤其如此。因此迫切需要尽快研制出绳索取心钻杆的机械化拆卸装置,以便提高施工效率并降低操作人员的劳动强度。

2.3.3 绳索取心钻杆长度问题

回次长度对钻进施工效率有较明显的影响,应

在可能的条件下尽量提高绳索取心钻进的回次长度。由于采用液动锤钻进方法,钻进时不易发生岩心堵塞,实现长回次钻进是可能的。CCSD科钻一井施工时采用长9 m的岩心管经常能打满管,就是因为采用了液动锤钻进方法。参考国外深孔绳索取心钻进的经验,深孔绳索取心钻进采用4.5~6 m长的岩心管应该比较合适的,相应的钻杆单根的长度和钻机的给进行程都应以此为基准设定,以便实现连续的钻进过程和高的施工效率。

2.4 高胎体长寿命金刚石钻头

加大起钻间隔可提高施工效率,但绳索取心钻进的起钻间隔受钻头寿命的直接影响,加大起钻间隔的前提条件是提高钻头寿命。根据国内外金刚石钻头技术的最新进展,提高金刚石钻头寿命的主要方法之一是加大钻头金刚石工作层的高度。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。对于深孔取心钻进施工,一定要采用机械钻速高、寿命长的金刚石钻头,不要因为钻头价格而放弃对钻头质量的要求,因为钻头费用在深孔取心钻进施工总费用中占的比例很小,而提高机械钻速和钻头寿命会带来明显的经济效益。

2.5 定向钻进器具

定向钻进在深部矿产勘探中至少有以下3方面的作用。

(1) 纠斜: 钻孔深度加大后,孔斜超标的概率更大,对于详查阶段的钻探施工更是如此,纠斜在深孔取心钻进施工已经成为常见的问题或要求。

(2) 绕障: 深钻施工中出现卡钻、埋钻和钻具断裂事故是不可避免的,有的孔内事故处理需要很长时间,并且最终还可能不成功。在此情况下,采用侧钻绕障避开孔内事故钻具是一种明智的选择,可大大缩短事故处理时间,使钻孔免于报废。

(3) 多分支孔钻进改善施工经济性: 在一个钻孔中施工多分支孔,可减少钻机搬家和勘探钻进总进尺,降低勘探成本。

对于从事深孔取心钻进施工的队伍来说,定向钻进器具应该是必备的装备。目前,定向钻进在我国的地质勘探队伍中未得到应有的重视,很多队伍还不具备此种手段,对深部找矿工作的效率和质量将有不利的影响。

目前有2种可用于地质勘探钻进的定向钻进工

具,即机械式连续造斜器和螺杆马达弯外管(弯接头)钻具。螺杆马达弯外管(弯接头)钻具可用于各种孔深,并且定向的可靠性和造斜强度的可控性都较好。机械式连续造斜器目前只有在1000 m以内钻孔中使用的报道,该造斜器使用成本较低,比较适合于在坚硬岩层中进行定向钻进。

2.6 深孔取心钻进泥浆泵

地质矿产勘探钻孔在深部的主要口径是95和76 mm。深孔取心钻进泥浆泵应该满足在这2种口径的钻孔中进行液动锤钻进和螺杆马达定向钻进的要求。BW320型泥浆泵的最高泵量和最高泵压分别为320 L/min和10 MPa, BW-300/12型泥浆泵的最高泵量和最高泵压分别为300 L/min和12 MPa。两种泵的泵量皆能满足 $\varnothing 95$ 和76 mm钻孔中液动锤钻进和螺杆马达定向钻进的要求, BW320型泥浆泵可用于深度1500 m以内的钻进施工, BW-300/12型泥浆泵的泵压更高,可用于更深的钻孔。采用液动锤取心钻进方法施工深孔,对泵压要求较高,这一方面对设备提出了更高的要求,另一方面钻孔被压漏的风险加大。为了降低深孔取心钻进时环状空间的压力损失,应该采用超径钻头,建议采用 $\varnothing 77$ mm钻头钻进 $\varnothing 76$ mm规格的钻孔,采用 $\varnothing 96$ mm钻头钻进 $\varnothing 95$ mm规格的钻孔。

3 结论

深孔取心钻探装备配置合理与否,对深孔取心钻探施工的经济性有着显著的影响作用。根据技术经济分析和钻进实践的结果,现提出深孔取心钻探装备配置的建议(见表5)。希望通过深孔取心钻探装备配置的优化,能够提高我国深部地质矿产勘探的技术水平,提高深孔钻探效率并降低深孔钻探成本。

参考文献:

- [1] 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[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 11-14.
- [2] 张伟. 关于我国地质岩心钻机发展方向分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(8): 1-4.
- [3] 张伟. 金刚石绳索取心钻进施工效率影响因素分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 37(10): 22-24.
- [4] Trevor Fletcher. Drilling Exploration Boreholes beyond 4000m in South Africa[J]. Mineral Water and The Environment, 1992, 11(4): 43-52.

(下转第41页)

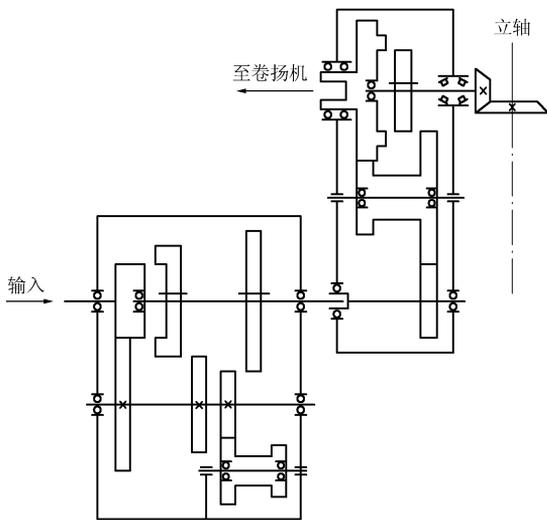


图 4 改进后的传动系统图

结构上,减小变速箱的减速比,提高变速箱的输出转速,减小转矩,同时增大最小齿轮的齿数,由原来 18 齿增大到 20 齿,齿轮材料由原来的 40Cr 改为 20CrMnTi,提高了最小齿轮的强度,轴和轴承的受力条件也得到了改善,提高了使用寿命。同时降低了卷扬机的高度,使卷扬机操作更方便。将大的减速比布置在分动箱,分动箱的轴向距离短,明显提高了传动轴的支撑刚性,卷扬机与回转器从分动箱的上部输出,降低了变速箱和卷扬机的高度,变速箱与分动箱采用直联结构,拆装方便,钻机的解体性好。箱体采用铸造结构,简化了加工工艺,降低了制造成本。

5 使用情况

SGZ - IIIA 型钻机传动系统经改进后,采用变速箱加分动箱的结构形式,取得了较好的效果。变速箱的齿轮、轴、轴承的强度提高了。在湖州内河桥软地基桩孔施工,孔径 600 ~ 1000 mm,孔深 20 ~ 30 m,用最低挡转速 128 r/min 施工,累计进尺 2400 多米,变速箱齿轮没有出现损坏的情况。用立轴式钻机代替工程钻机进行软地基浅桩孔施工,投入成本低,效率高。在煤矿井下施工,钻机解体性好,组合方便,适合井下狭窄空间的拆装、搬运。

6 结语

在钻机的传动系统设计过程中,利用转速图可以直观地反映传动系统的传动关系。按照传动副“前多后少”,传动比“前缓后急”的原则,合理地布置传动系统各传动副的传动比,将大的减速比布置在分动箱,有利于改善变速箱各传动副的受力条件,提高可靠性。采用变速箱加分动箱的结构,对立轴式钻机是较合理的布置形式。变速箱和分动箱的结构设计应力求加工简单,性能可靠,拆装、维修方便。

参考文献:

[1] 武汉地质学院,等. 岩心钻探设备及设计原理[M]. 北京:地质出版社,1980.
 [2] 杨惠民,等. 钻探设备[M]. 北京:地质出版社,1988.
 [3] 孙振均,等. 金属切削机床构造与设计[M]. 北京:国防工业出版社,1984.

(上接第 38 页)

表 5 深孔取心钻探装备配置建议

钻孔深度/m	1500	2000	≥2500
钻机	液动力头钻机	液压顶驱钻机	液压顶驱钻机
钻塔	塔高≥24 m,立根长度 18 m	塔高≥24 m,立根长度 18 m	塔高≥24 m,立根长度 18 m
取心钻进方法	绳索取心液动锤钻进	绳索取心液动锤钻进	绳索取心液动锤钻进
材质	屈服强度≥700 MPa,延伸率≥12%	屈服强度≥850 MPa,延伸率≥12%	屈服强度≥1000 MPa,延伸率≥12%
钻杆	接头形式 长度/m	常规接头 4.5 ~ 6	加厚接头,根据孔深确定加厚尺寸 4.5 ~ 6
钻杆拆卸工具	液压钻杆钳	液压钻杆钳	液压钻杆钳
泥浆固控装置	离心机	离心机	离心机
金刚石钻头	高胎体长寿命钻头	高胎体长寿命钻头,超径钻头	高胎体长寿命钻头,超径钻头
纠斜(造斜)钻具	螺杆马达/弯外管	螺杆马达/弯外管	螺杆马达/弯外管
泥浆泵	BW - 320 型	BW - 300/12 型	BW - 300/12 型或压力更高的泥浆泵

[5] 张伟. 二十一世纪大陆科学深钻技术发展展望[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(S1):169 - 171.
 [6] 况学军,孙建华. XJY850 高强度精密地质管材的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,36(6):28 - 30.

[7] 王达,张伟,张晓西,等. 中国大陆科学钻探工程科钻一井钻探工程技术[M]. 北京:科学出版社,2007.
 [8] 胡世彬,刘兆平. 我国首次完成全方位多分枝受控定向深孔钻探[J]. 探矿工程,1989,(2).