

卡盘的若干设计计算问题^①

徐祖宽

(中南工业大学地质系, 长沙 410083)

摘 要 以“夹持系数”取代传统的摩擦系数; 对卡盘的主要零件重新进行了受力分析, 推导出能满足各零件设计计算之用的计算公式; 并提出了提高卡盘夹持能力的有效措施: (1) 减小卡瓦和卡圈斜面之间的摩擦系数; (2) 提高卡瓦和主动钻杆之间的夹持系数。

关键词 钻机卡盘 相当摩擦系数 夹持系数 夹持能力

卡盘是钻机内直接驱动机上钻杆回转和轴向运动的部件, 故同时承受扭矩和轴向力两种载荷。目前绝大多数钻机已配备了先进的液压卡盘, 老式的手动卡盘已淘汰。液压卡盘的类型一般分为三种: (1) 液压松开, 弹簧卡紧; (2) 液压卡紧, 弹簧松开; (3) 液压卡紧, 液压松开。由于钻探安全性的需要, 第一类结构得到了广泛应用, 故本文重点分析其结构, 导出其实用的计算公式和提出提高夹持能力的措施。

一般文献^[1]中介绍的计算方法有几个方面是不合适的:

(1) 计算卡盘的外载荷时只取给进机构的上顶力(提拔力) Q 作为原始依据, 而没有考虑还有回转力和下压力共同作用或回转力和上顶力共同作用的几种情况, 因此传统文献提出的卡瓦对主动钻杆夹紧力 N 的计算公式(1) 并不完善:

$$N = Q/f' \quad (1)$$

式中 f' —卡瓦对钻杆的摩擦系数。

(2) 由于采用弹簧卡紧, 最终需要计算弹簧的轴向推力 F :

$$F = kQ \frac{\lg(\alpha + \varphi)}{f'} \quad (2)$$

式中 k —储备系数, α —卡圈的半锥角, φ —卡圈和卡瓦之间的摩擦角($\varphi = \arctg f$), f' —

卡圈和卡瓦之间的摩擦系数。

然而上述公式的建立并未考虑卡瓦座对卡瓦的轴向作用力的影响, 而没有卡瓦座的轴向限制, 卡盘的功能是不能实现的。此外, 该公式也缺乏普遍适应性, 例如当轴向载荷不是上顶力而是加压钻进时的下向压力时, 此式便不能适用。

(3) 一般文献认为公式(1) 中的 f' 是摩擦系数, 而笔者认为它应当是“夹持系数”或“相当摩擦系数”, 因为在理论上讲摩擦系数与比压无关, 也即摩擦力与接触面积的大小无关, 而只与正压力成正比。而夹持系数则与比压有关, 根据国外的测试^[2], f' 值是随着比压的增大而增大的。例如, 当比压 $q = 120 \sim 200 \text{ MPa}$ 时, $f' = 0.2 \sim 0.45$; $q = 1000 \sim 1500 \text{ MPa}$ 时, $f' = 0.9$; 当比压继续增大时, f' 值甚至超过 1。当 f' 值大时, 可以观察到卡瓦的齿使钻杆表面发生弹性变形, 显而这时已不是纯粹的摩擦传动机理了。当然, 设计时为了防止卡瓦齿压入钻杆表面、即不发生卡瓦比压超过钻杆许用应力的情况, f' 值一般只取 0.5 (新卡瓦的 $f' > 0.5$, 使用一段时间后, 卡瓦逐渐磨损, 接触面积增大, f' 值将逐渐减小)。

图 1 是一种带滚柱结构的卡盘示意图。它主要由代内锥的套圈、卡瓦、卡瓦座和被夹持的钻杆等零件组成。

① 收稿日期: 1995-10-15; 修回日期: 1996-03-04 徐祖宽, 男, 58 岁, 副教授

这类卡盘的夹持能力是显示其在轴向(加压、减压或强力提拔)和圆周方向(回转)传递作用力的综合能力。卡盘工作时主要有四种状态:(1) 加压钻进时对钻杆施以扭力和向下的轴向力;(2) 减压钻进时对钻杆施以扭力和向上的轴向力;(3) 强力起拔时对钻杆仅施以向上的轴向力;(4) 拧管、扫孔或处理孔内事故时对钻杆仅施以扭力。

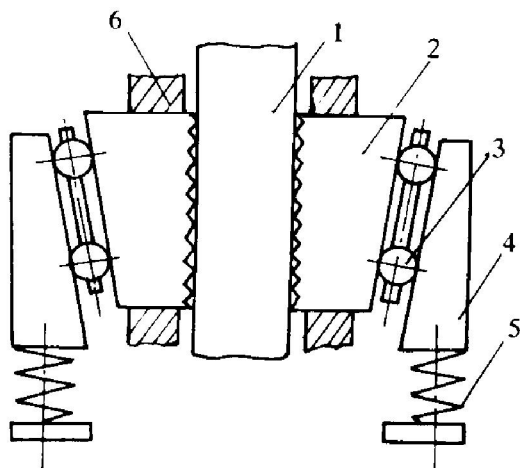


图1 卡盘结构示意图

1—主动钻杆; 2—卡瓦; 3—滚柱;
4—套圈; 5—弹簧; 6—卡瓦座

先以加压钻进为例分析钻杆、卡瓦和套圈三个构件的受力情况。为方便起见, 将三个卡瓦的力集中在一个卡瓦上, 套圈上的力也集中

在一点上(图2)。此时卡盘应同时传递向下的轴向给进力和回转的扭矩, 卡瓦对主动钻杆的夹紧力 Q 可依下式求出(注: 圆周力 p_c 在横截面内, 重直面受力分析时可暂略):

$$Q = \frac{1}{f'} \sqrt{p_c^2 + p_a^2}$$

$$= \frac{1}{f'} \sqrt{(2M/d)^2 + p_a^2}, \text{ N}$$

式中 M —卡盘传递扭矩的能力, $\text{N} \cdot \text{m}$ 。可以求得 $M = 9550 W/n$; W —钻机用于回转的功率, kW ; n —转速, r/min ; d —主动钻杆外径, m ; p_a —卡盘加压能力, N ; p_c —圆周力, $p_c = 2M/d$, N ; f' —卡瓦和主动钻杆间的夹持系数, 它与比压 q 有关, 设计时一般取 $f' = 0.5$ 。

为了求弹簧力(或其它外力) p 和夹紧力 Q 等之间的关系, 下面找出各项平衡方程式:

卡瓦上水平力总和 $\Sigma_x = 0$

$$S \cdot \cos(\alpha + \varphi_0) - Q - Tf = 0$$

$$S = \frac{Q + Tf}{\cos(\alpha + \varphi_0)} \quad (3)$$

式中 f —卡瓦与卡瓦座之间的摩擦系数, 钢-钢的 $f = 0.15$; f_0 —卡瓦与卡圈之间的摩擦系数, 滑动摩擦 $f_0 = 0.1 \sim 0.15$, 滚动摩擦 $f_0 = 0.01 \sim 0.05$; S — N 和 Nf_0 的合力, 见图2。

卡瓦上重力总和 $\Sigma_z = 0$

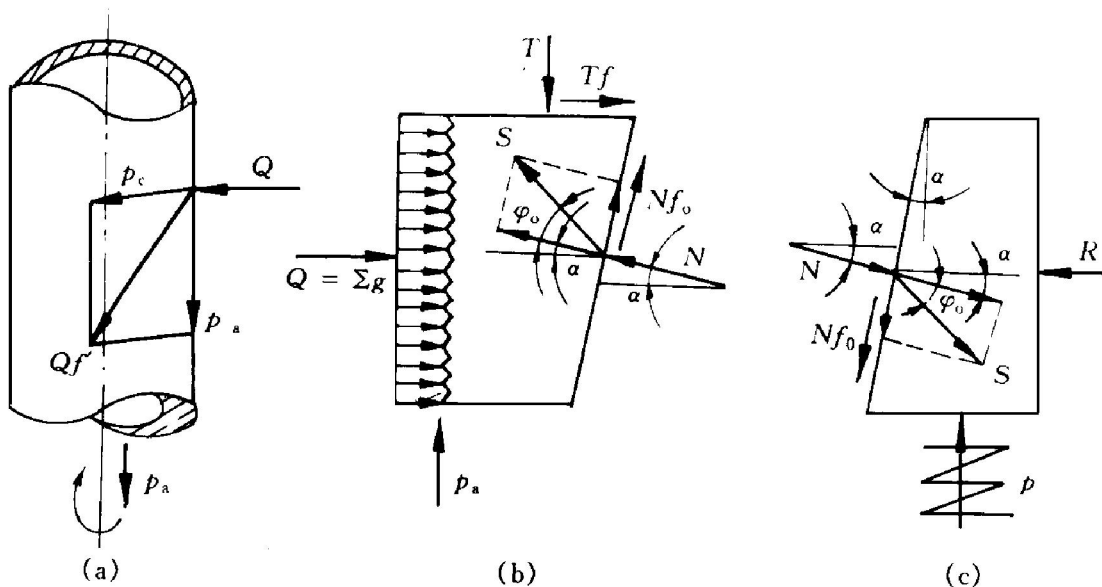


图2 卡盘各构件的受力情况

(a)—钻杆; (b)—卡瓦; (c)—套圈

$$S \cdot \sin(\alpha + \varphi_0) + p_a - T = 0$$

$$S = \frac{T - p_a}{\sin(\alpha + \varphi_0)} \quad (4)$$

卡圈上水平力总和 $\Sigma_x = 0$

$$S \cdot \cos(\alpha + \varphi_0) - R = 0 \quad (5)$$

卡圈上重直力总和 $\Sigma_z = 0$

$$S \cdot \sin(\alpha + \varphi_0) - p = 0 \quad (6)$$

上述公式中 α 是卡圈的锥角, φ_0 是摩擦角, 因卡圈是环状的, R 实际上是卡圈的内力。

由式(6)和式(4)得: $p = T - p_a$ 或 $T = p + p_a$

由(3)和(4)得:

$$\frac{Q + Tf}{\cos(\alpha + \varphi_0)} = \frac{T - p_a}{\sin(\alpha + \varphi_0)}$$

$\therefore T - p_a = p$, 代入得:

$$p = (Q + Tf) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_0)$$

又 $T = p + p_a$, 再代入, 展开得:

$$p = Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_0) + p \cdot f \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_0) + P f \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_0)$$

最终得:

$$p = \frac{(Q + p_a \cdot f) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_0)}{1 - f \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_0)}, \text{ N} \quad (7)$$

例: 某卡盘的回转功率 $W = 10 \text{ kW}$, 转速 $n = 100 \text{ r/min}$, 主动钻杆外径 $d = 0.05 \text{ m}$, 加压力 $p_a = 20000 \text{ N}$, 夹持系数 $f' = 0.5$, 卡圈内锥半锥角 $\alpha = 6^\circ$, 卡瓦和卡瓦座摩擦系数 $f = 0.15$, 试比较卡瓦和卡圈之间分别使用滑动摩擦($f_0 = 0.15$)和滚动摩擦($f_0 = 0.025$)时, 求弹簧的作用力 p 各为多少?

解: $M = 9550 \times 10/100 = 955 \text{ N} \cdot \text{m}$

$$p_a = 2 \times 955/0.05 = 38200 \text{ N}$$

$$Q = \frac{1}{0.5} \sqrt{38200^2 + 20000^2} = 86240 \text{ N}$$

滑动摩擦角:

$$\varphi_0 = \arctg 0.15 = 8.53^\circ$$

滚动摩擦角:

$$\varphi_0 = \arctg 0.025 = 1.43^\circ$$

滑动摩擦时:

$$p = (86240 + 20000 \times 0.15) \cdot \operatorname{tg}(6^\circ + 8.53^\circ) / [1 - \operatorname{tg}(6^\circ + 8.53^\circ)] = 31208 \text{ N}$$

滚动摩擦时:

$$p = (86240 + 20000 \times 0.15) \cdot \operatorname{tg}(6^\circ + 1.43^\circ) / [1 - \operatorname{tg}(6^\circ + 1.43^\circ)] = 13382 \text{ N}$$

综上所述, 笔者认为可以获得以下几点结论:

(1) 计算卡盘的夹持能力时, 一定要考虑载荷的多种状态, 如加压钻进、减压钻进、强力起拔或拧管时的夹持力 Q 是不同的, 设计时需找出 $Q_{\max}$ 值作为设计依据。公式(7)修正了传统的计算公式, 并具有普遍性, 如减压钻进时 p_a 为负值; 强力提拔时除 p_a 为负值外, Q 值为零。

(2) 求得 p 值后, 还可求得 R 和 N 等值, 供弹簧、卡圈和滚柱等零件设计计算之用。

(3) 应针对卡瓦和钻杆之间的夹持关系引入“夹持系数”的概念。

(4) 卡瓦和卡圈之间的摩擦系数应尽量减少, 因此结构上采用滚动摩擦是有利的, 在同样的弹簧力作用下可大大提高卡盘的夹持能力。

参考文献

- 1 武汉地质学院等编. 岩心钻探设备及设计原理. 北京: 地质出版社, 1980.
- 2 Поляков Г. Д. Подъемные Устройства Геологоразведочных Буровых Установок. Москва: «Недра», 1976: 73-75.

SEVERAL PROBLEMS ON THE DESIGN AND CALCULATION OF THE CHUCK OF DRILL MACHINE

Xu Zukuan

Department of Geology, Central South University of Technology, Changsha 410083

ABSTRACT A conception of gripping coefficient used to replace traditional friction coefficient has been introduced. Based on a new mechanical analysis for main parts of the chuck, some more reasonable formulae that can be used to design and calculate the chuck have been derived, and effective measures to raise the gripping capacity of the chuck were proposed, which include: (1) decrease friction coefficient of oblique planes between the gripper and the ring; (2) increase gripping coefficient between the gripper and the drill pipe.

Key words drilling chuck analogical friction coefficient gripping coefficient gripping capacity

(编辑 赖海辉)

《中国有色金属学报》(英文版) 论文摘要 全部被《Ei Compendex Plus》收录

根据 1996 年 8 月美国工程信息公司(Ei)中国信息部提供给编辑部的《Ei Compendex Plus》(即 Ei 论文摘要)数据,经查证,确认《中国有色金属学报》(英文版)1995 年第 3 期和第 4 期所发表的论文全部被《Ei Compendex Plus》收录,这是继本刊自去第 1 期起所发表论文全部被美国科学情报所(ISI)的《SCI Search》收录后的又一进步。这一成绩的取得是广大作者、读者和评审专家大力支持和热情关怀的结果,也是本刊主管、主办、承办单位和编委会正确领导及全国有色冶金系统各单位大力扶植的结果。我们衷心感谢所有关心和支持本刊的单位和同志,并诚望一如既往地得到指导和帮助。

需要论文被《Ei Compendex Plus》数据库收录证明的作者可与本编辑部联系。

《中国有色金属学报》编辑部

1996 年 9 月