



小口径液压转盘钻机结构设计的探讨

刘 正 华

六十年代以来,一些单位都相继设计和制造了适合于地质岩芯钻探用的转盘钻机。目前,有的转盘钻机已成功地应用于小口径钻孔。

江西地质科研所自1975年开始研究小口径液压转盘钻机,连续做了四年多设计与试验,共试制了四轮八台样机,打了八个钻孔,累计进尺6500多米。经四轮样机的试验,说明了转盘钻机基本能满足小口径金刚石钻进工艺的要求。试验情况如下:(1)第一轮至第四轮试验最大孔深分别为760.56米、884.86米、918.98米、1201.49米,均使用 $\phi 50$ 毫米钻杆和 $\phi 56$ 毫米钻头。(2)一般转速都开到1000转/分左右。如第四轮样机,孔深700米以内,钻头转速开到1360转/分;孔深700~1000米,转速保持在1000~1100转/分;1000~1201.49米终孔,转速仍可保持850~900转/分。(3)钻头寿命高。从第三轮样机采用双卡盘不停车倒杆机构后,钻头平均寿命从30多米提高到80米左右。第四轮样机钻进1201.49米的深孔,全孔平均钻头寿命达到80米。

现根据我们多年来的试验与研究,对转盘钻机结构设计与工艺有关的几个问题进行分析论述,试从中提出较合理的设计方案。

关于高速转盘的设计

转盘钻机是利用转盘通过扁方导管带动主动钻杆旋转钻进的一种钻机。它广泛用于大口径水文水井和石油钻井中,转速较低。

对小口径金刚石钻进来说,金刚石钻头口径小,金刚石出刃也小,为了保持金刚石刻取岩石时的较高线速度,必须提高钻头的转速。尤其是孕镶金刚石钻头,出刃更小,更需要提高钻头的转速。因此要求钻机有高达1000转/分以上的转速。同时为了某些特殊工艺需要,如钻头下井时有一段扩孔过程,或套残留岩芯等,还要求钻机有较低的转速。我们认为转盘钻机的根本问题就在于

转盘能否适应高转速要求,并由此而带来的其他问题。

传统式转盘(图1)的回转部分是由被动伞齿轮,转盘盖,扭柱和回转横梁四个部分组成。

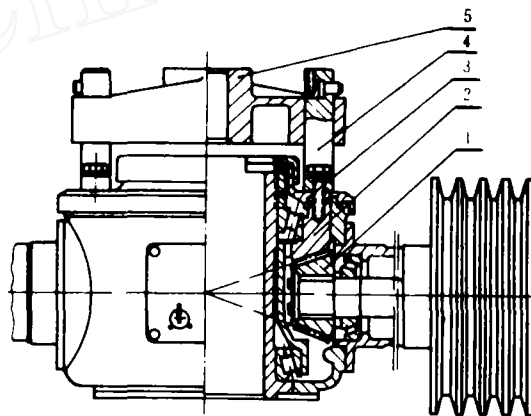


图1 传统式转盘结构

1 - 主动伞齿轮; 2 - 被动伞齿轮; 3 - 转盘盖;
4 - 扭柱; 5 - 回转横梁

根据牛顿第二运动定律,旋转体的离心惯性力 F 为:

$$F = mR\omega^2$$

式中 m — 旋转体的质量;

R — 回转半径;

ω — 角速度, $\omega = \frac{\pi n}{30}$ (弧度/秒);

n — 转速(转/分)。

由此可知,离心惯性力与旋转体的质量、回转半径以及转速的关系为:

$$F \propto mRn^2$$

因传统式转盘的回转体质量大,半径也大,所以离心惯性力随着转速的提高而急速增加,产生很大的附加载荷。加速度是变化的,因此这个变化的附加载荷将对转盘各构件产生冲击力和振动并产生噪音。转速越高,这种附加的冲击力越大,噪音越响。这对转盘的寿命和齿轮的磨损是

极为有害的。因此说,传统式转盘不适于高速运转。另外,转盘盖密封多采用迷宫式结构,高速运转时机油会顺着迷宫间隙往外甩。

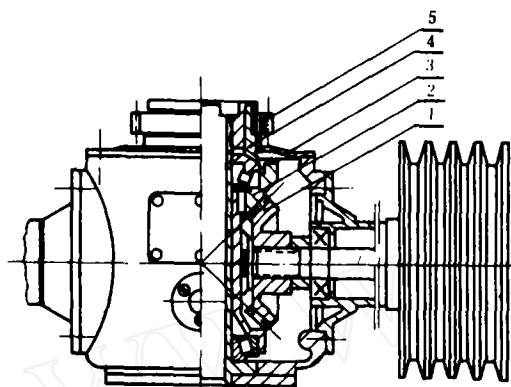


图2 内式联轴器结构转盘

1 - 主动伞齿轮; 2 - 被动伞齿轮; 3 - 转盘盖;
4 - 回转套; 5 - 齿圈

为了减少这种变化的附加载荷对转盘的破坏性作用,我们在井岗山-700型钻机上设计了一种齿式联轴器结构的转盘(图2)。这种小口径转盘通孔为 $\phi 78$ 毫米,由圆柱形回转套、齿圈和大伞齿轮组成回转体。钻进时,在外齿圈上套上一个带有内齿圈的回转盘,组成联轴器,动力由大伞齿轮经回转套、齿圈、回转盘内的扁方导管带动主动钻杆旋转。拧卸钻具时,只需将回转盘(图3)连同主动钻杆一起提离转盘,换上带有内齿圈的扭柱盘(图4),动力通过扭柱带动上垫叉,即可拧卸钻具。下垫叉固定在转盘的芯管上。

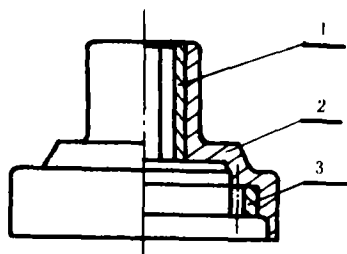


图3 回转盘

1 - 内齿圈; 2 - 回转套; 3 - 扁方套

这种齿式联轴器转盘与传统式转盘不同之点是:回转部分由大件缩成了小件,由不规则体改成了圆柱体,重量减轻了,质量分布均匀了,直

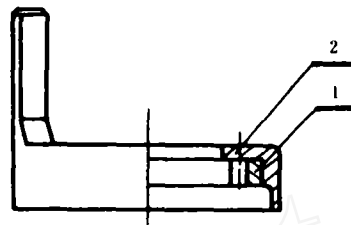


图4 扭柱盘

1 - 内齿圈; 2 - 扭柱盘

径也减少了。因此旋转线速度大大降低,高速旋转时惯性力大为减小,旋转平稳。扭柱盘虽有偏重,但拧卸钻具时转速低,又是间歇性工作,对转盘影响不大。

为了使高速旋转时的温升正常,转盘设计成“大壳体小内脏”结构,以增加机油容量,增加散热面积。

此种结构的转盘,经过6500多米生产性试验,钻过79°斜孔,最高钻速曾开到1360转/分,使用 $\phi 50$ 毫米钻杆最深钻到1201.49米,工作平稳,不甩油,温度正常。但目前还存在两方面问题:一是因回转体中的齿圈较大,为了拆装方便,固定式的转盘盖不得不采用两个半合结构。因此转盘盖与回转体之间无法采用有效的密封措施,中间留有间隙。转盘内的机油虽然不会往外甩,但也不可避免地会使外面来的水,例如孔内从钻杆涌出来的水,淋到转盘盖上,顺着转盘盖与回转体之间的间隙流进转盘内,影响润滑效果。二是芯管为悬臂结构,据受力分析,芯管抗弯强度不足,易断。

芯管套上的弧齿锥齿轮受到的作用力有圆周力 P ,径向力 P_r 和轴向力 P_a (图5)。

$$P = \frac{M_n}{r_m}$$

式中 M_n —— 扭矩;

$$M_n = 71620 \frac{N}{n} \eta_i$$

N —— 功率;

n —— 转速;

η_i —— 机械效率;

r_m —— 弧齿锥齿轮的平均半径。

由此可知低速扭矩很大。左旋顺时针方向旋

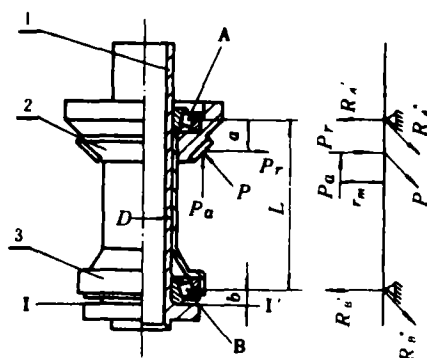


图5 转盘芯管

1 - 芯管; 2 - 大伞齿轮; 3 - 芯管套

转的径向力和轴向力为:

$$P_r = \frac{P}{\cos \beta_m} (\tan \alpha_{on} \cos \varphi - \sin \beta_m \sin \varphi)$$

$$P_a = \frac{P}{\cos \beta_m} (\tan \alpha_{on} \sin \varphi + \sin \beta_m \cos \varphi)$$

β_m —— 弧齿锥齿轮的螺旋角;

φ —— 分度圆锥角;

α_{on} —— 齿轮压力角。

由公式可知, 锥齿轮上作用的三个分力均与扭矩成正比。弧齿锥齿轮的作用力通过芯管套分配给轴承 A 与 B。A、B 轴承的反力为:

$$\text{水平力 } R_A'' = \frac{P(L-a)}{L}$$

$$R_B'' = P - R_A''$$

$$\text{垂直力 } R_A' = \frac{P_r(L-a) + P_a r_m}{L}$$

$$R_B' = \frac{P_r a - P_a r_m}{L}$$

因为距离 $L \gg a$, 所以 A 轴承受力大于 B 轴承受力。

芯管根部危险断面 I-I' 所受到的弯矩为:

$$\text{水平弯矩 } M'' = R_A''(L+b) + R_B''b$$

$$\text{垂直弯矩 } M' = R_A'(L+b) + R_B'b$$

$$\text{合成弯矩 } M = \sqrt{(M'')^2 + (M')^2}$$

芯管受到的最大弯曲应力为:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W}$$

W —— 芯管危险断面处的抗弯断面模数, 它

与直径的关系为:

$$W = 0.1 \frac{D^4 - d^4}{D}$$

D —— 芯管外径;

d —— 芯管内径。

从公式推导的结果可知: 扭矩越大或芯管越长, 芯管受到的合成弯矩越大。千米小口径钻机配备的功率较大, 低速时的扭矩很大。而且通孔口径较小, 芯管较细长, 因此芯管受到的弯曲应力很大, 即是说悬臂式结构的芯管强度较弱。井岗山—700 型钻机的转盘芯管多次试验都发生过折断事故, 就是此原因。要改变这种受力状况, 就得改变芯管的悬臂结构, 为此提出了如图 6 所

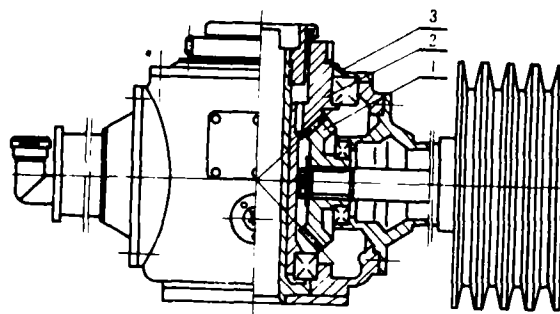


图 6

1 - 主动伞齿轮; 2 - 被动伞齿轮; 3 - 转盘盖

示的转盘结构。这种结构的特点是: (1) 改变了芯管的受力状况, 使锥齿轮的作用力直接由转盘壳体来承担, 芯管不再受到很大的弯矩, 仅受到拧卸钻具时的扭应力, 因此芯管可以薄些。(2) 近锥齿轮处选用工作能力系数较大的轴承。主动锥齿轮可直接向轴承甩油润滑, 因此轴承润滑效果将会较好些。(3) 锥齿轮、回转套与齿圈三者可加工成一体, 减少许多连接件, 直径小, 重量轻, 高速旋转会更平稳。(4) 齿圈外径比轴承内径小, 有利于装转盘盖和密封圈, 使密封更可靠。

关于双卡盘给进机构的设计

1. 现有给进机构使用情况 现有给进机构有手把(手轮)式、绞车自由给进式、钢绳加压式、螺旋差动式、油缸油压给进式、全液压钻机还采用液压马达直接驱动的封闭链式给进机构

手把给进机构因受操作熟练程度的影响,轴压变化相差很大,给压不均匀,很难满足金刚石钻进工艺要求。绞车自由给进是控制绞车制带的摩擦力来松紧钢绳以调节孔底压力,机构虽简单,但给进压力不易获得连续均匀,致使金刚石钻头磨损不均;取出的岩芯表面一痕一痕就是给进压力不均的表现。油压给进可以比较精确地调节轴压,给进平稳,可根据钻头对岩石的破碎速度均匀地给进,因此对金刚石钻进十分有利。但目前使用的多是短行程油缸,在一个回次钻进中必须进行反复多次的停车倒立轴。金刚石钻进时,岩芯与钻头的间隙很小,在倒立轴过程中,往往破坏了给进的连续性,易引起岩芯堵塞。螺旋差动给进同样是短行程的。可见目前使用的这几种给进机构都不能满足金刚石钻进工艺要求。液压马达驱动的封闭链式给进机构一次可实现给进6米长的行程,给进连续均匀,但仅限于全液压钻机上使用。

2. 双卡盘给进机构的设计与试验 根据金刚石钻进工艺特点,要求给进连续均匀,压力不能有突变,我们设计了液压双卡盘给进机构。上卡盘为工作卡盘,下卡盘为倒杆卡盘。工作卡盘固定在给进横梁上,不移动,给进时它是常开的,不夹持主动钻杆,但可随着主动钻杆旋转。倒杆时下卡盘夹紧主动钻杆在原地旋转,待倒杆完毕后又重新松开。上、下卡盘均采用圆柱卡槽式,松紧都是液压操作的(图7与图8)。

上、下卡盘的接续倒杆是按如下方式进行的:当上卡盘给进到下死点时,下卡盘对准主动钻杆的卡槽卡紧,阻止钻具向下移动,但仍保持原速在原处旋转。当下卡盘已卡紧主动钻杆后(可见到明显的卡紧标记),即松开上卡盘进行倒杆。待上卡盘倒杆上升到上死点卡紧主动钻杆后,即松开下卡盘,恢复给进工作。这种手动式液压双卡盘的倒杆操作时间为20~30秒。

此种双卡盘给进机构装在井冈山—700Ⅲ型与JYP—1000型钻机上,经两年多试用,效果良好,用双卡盘给进机构打出的岩芯表面光滑平整,钻头平均寿命由30多米提高到80多米。

3. 双卡盘给进机构受力分析 主动钻杆在

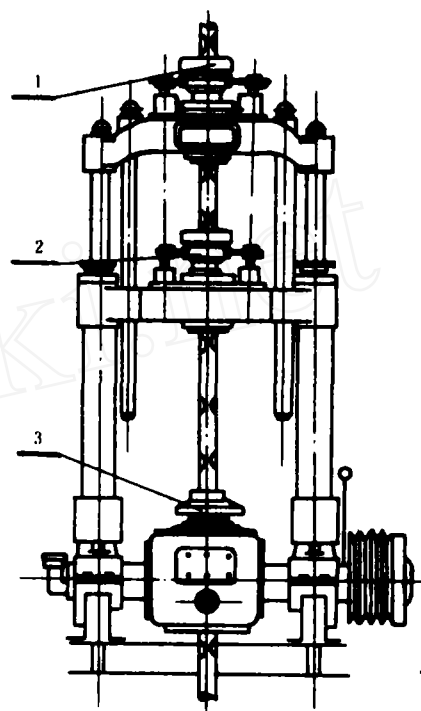


图7 双卡盘给进机构
1 - 工作卡盘; 2 - 固定式卡盘; 3 - 回转盘

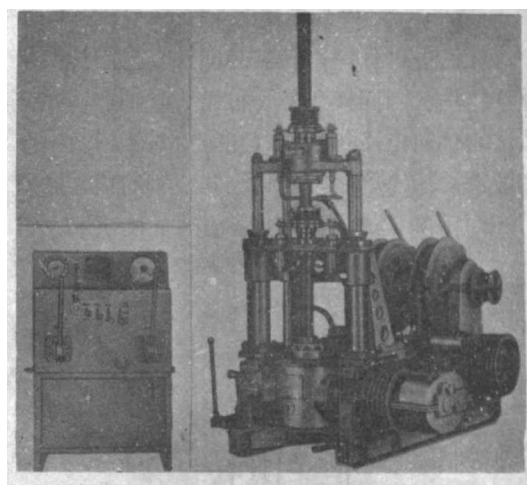


图8 井冈山—700型油压双卡盘钻机

高速旋转时由于离心惯性力而发生弯曲。因上、下卡盘和转盘的回转套都是套装在主动钻杆上,它们也会随着主动钻杆的弯曲变形而跟着有径向位移或摆动发生。否则上、下卡盘或转盘的回转套将受到很大的附加冲击载荷而损坏。在第二轮设计中,井冈山—700Ⅱ型钻机的下卡盘不能作

径向位移和摆动, 当上卡盘夹紧主动钻杆高速旋转时 (1100 转/分), 套在主动钻杆上的下卡盘不能适应主动钻杆的弯曲变形, 仅五分钟时间, 轴承就烧坏了。后来在第三轮井岗山—700 III 型钻机中, 用弹性圈柱销联轴器把下卡盘连接在固定横梁上 (图9), 使具有一定的浮动作用。经过三个钻孔的试验, 最深钻到 18.92 米, 最高转速开到 1360 转/分, 卡盘温度正常, 未发生过故障。

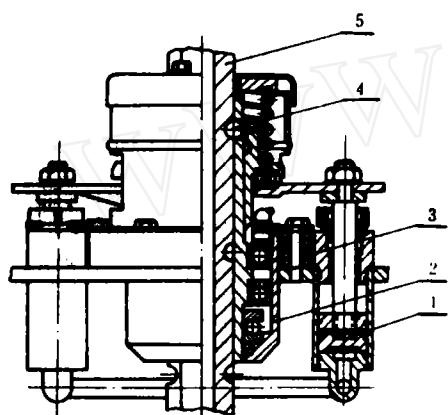


图9 下卡盘浮动连接形式

1 - 卡盘油缸；2 - 卡盘体；3 - 弹性圈；
4 - 卡柱；5 - 主动钻杆

在钻进过程中, 转盘的回转套也同样要求有浮动作用。因回转套是一种齿式联轴器, 允许有稍许的轴向位移和倾斜 (图10)。对于模数 $M=4$, 齿数 $Z=48$ 的单面齿式联轴器, 轴的最大倾斜角 $\alpha = 0^\circ 26'$, 最大径向位移 $\Delta = 1.3$ 毫米。

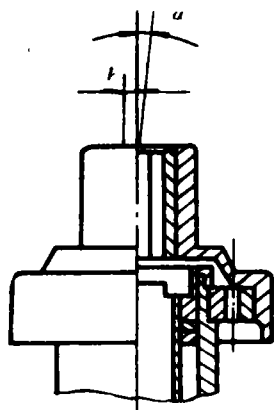


图10 齿式联轴器

考虑拧卸管工作的方便, 简化移动给进机

架的工序, 也便于给进机架的固定, 在第四轮 JYP-1000 型钻机中, 把安装下卡盘的固定横梁制成可移动式。工作时, 把下横梁连同下卡盘一起移到靠近转盘部位处, 即把下卡盘与转盘的距离缩小, 上卡盘与下卡盘的距离加长 (图11)。

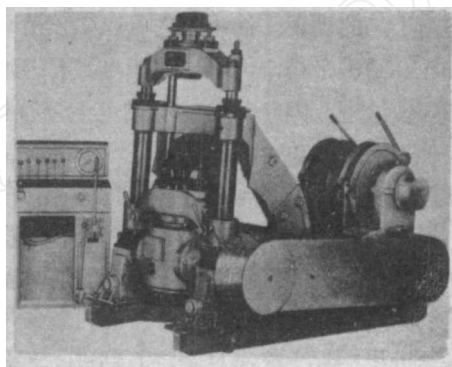


图11 JYP-1000 型钻机

4. 给进机构的设计 据受力分析可知, 工作卡盘离转盘越远, 主动钻杆的离心甩动距离越大, 要求固定卡盘的径向位移与摆角也要越大。井岗山—700 III 型钻机与 JYP-1000 型钻机的上卡盘与转盘相距均在 1.7 米左右, 因此要求下卡盘的径向浮动量大些。上卡盘工作时, 夹持钻具的重心越高对钻机的稳定性是不利的。JYP-1000 型钻机的上卡盘升到最高点时, 重心高达 2.45 米。JYP-1000 型钻机的下横梁可以顺油缸上下滑动, 给钻进工艺带来许多好处, 但加工维修不便, 不好拆装, 重量大。为了克服这些问题, 提出如下的改进设计 (图12)。其特点是: (1) 把主动钻杆的夹持点降低, 即把下卡盘作为工作卡盘, 上卡盘作为倒杆卡盘; 上卡盘不移动, 下卡盘在上卡盘与转盘之间移动。上、下卡盘之间的距离缩短了, 转盘与工作卡盘的距离也大大缩短了, 从而使上、下卡盘与转盘的径向浮动量与摆角可相应小些。(2) 工作卡盘的夹持点下移后, 钻机的重心降低了, 对钻机的稳定性更有利。(3) 下横梁的结构简化了, 加工维修方便, 重量减轻。

钻机稳定性结构的设计

钻机的稳定性是指钻机在各种转速 (特别是高速) 运转时不产生晃动。钻机晃动的原因主

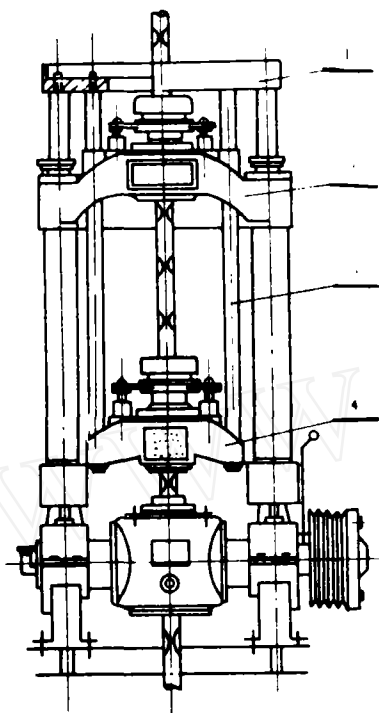


图 12

- 1 - 给进横梁; 2 - 固定式上卡盘;
3 - 导正杆; 4 - 工作卡盘

要是主动钻杆在旋转时产生弯曲变形, 导致给进机架摆动。钻机重心较高也是造成不稳定的原因。但如果给进机架的刚性足以克服这种摆动, 钻机运转就会平稳。

JYP-1000型小口径转盘钻机给进机架的固定形式采用了楔槽加锥套的结合结构。在给进油缸底部装一“T”形斜楔, 在转盘的轴承座上装一“T”形槽座, 斜楔与槽座结合后, 再套上锥形套(锥形套装在下横梁的两臂滑套上, 可以沿油缸上下滑动)。提钻拧卸钻具时, 只需把下横梁连同下卡盘与两边的锥形套提起, 后退给进油缸, 斜楔与槽座就脱开, 操作简单。

关于变角附架的设计

转盘钻机的给进机架是由变角附架支撑的, 它可以调节给进机构的角速度; 当给进机构后移时, 它支撑给进油缸和主动钻杆。

减压钻进和处理事故时, 给进油缸承受的负荷都由转盘的支承座来承担, 变角附架基本上

不受力的。它不像立轴钻机那样, 给进机架是悬挂在机体上, 钻进时, 钻具的全部重量由机体来平衡, 机体承受很大的弯矩。当给进机架后移时, 变角附架仅承担给进机架、主动钻杆、水接头和高压水管的重量, 约250公斤左右, 力臂短, 因此力矩较小。

根据变角附架受力小, 要求有较好的刚性的特点, 应把变角附架设计成图13的结构, 由小弧

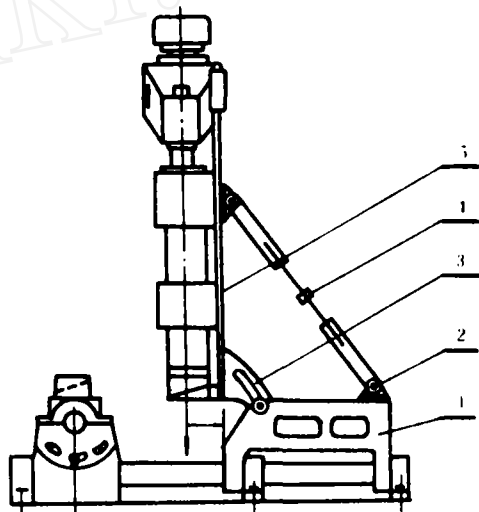


图13 变角附架

- 1 - 滑动架; 2 - 铰链; 3 - 小弧板;
4 - 伸缩支撑杆; 5 - 连接板

板、伸缩支承杆、连接板和滑动架组成。滑动架用以后移给进机架, 小弧板与伸缩支撑杆用以调节角度, 连接板用以加强刚性。角度调节好后, 必须把各铰链处的螺丝固牢。此结构加工简单, 重量轻, 受力合理, 调节方便。

关于皮带传动问题

JYP-1000型油压转盘钻机采用两级皮带传动, 柴油机与钻机之间为一级; 变速箱与转盘之间为第二级。第一级使用的是C型三角皮带五根, 线速度约26米/秒, 传动功率60马力。第二级也是使用C型三角皮带五根, 线速度7~22米/秒。

我们认为皮带传动不仅结构简单, 加工容易, 造价低, 维修方便, 且有缓冲作用。当孔内突然受阻, 传动扭矩剧增, 如果是用刚性传动, 此时作用于钻杆柱上的载荷可能超过钻孔的抗扭

强度, 就会造成断钻事故, 甚至还可能损坏钻机变速箱零件。但皮带传送则不然, 它具有缓冲作

用, 可避免钻杆或钻机零件的损坏。

金刚石钻探技术在矿山探矿中的应用

秦 安 仁

矿山生产探矿的主要任务是运用一整套多快好省的勘探方法, 探明供开采的矿量。为此, 要在矿床地质综合研究及勘探工程综合应用的基础上, 进行总体设计。采用坑探和岩芯钻探进行综合勘探是符合我国金属矿山地下探矿和开采的具体要求的。经过几年的试验和生产实践证明, 用人造金刚石小口径岩芯钻探作为矿山辅助探矿手段比完全采用坑道掘进探矿具有一系列优点:

1. 矿体揭露点多, 由30米加密控制到10~15米, 有利于控制矿体边界、降低矿石损失和贫化。

2. 平均台班进尺5米以上, 平均时效1.87米, 比坑探提高四、五倍, 从而加快勘探进度。

3. 岩(矿)芯采取率平均80%以上, 有时达100%, 可以满足矿样化验和地质编录的需要。

4. 人造金刚石钻头可在5~10级(可钻性)岩层中钻进, 而硬合金钻头只能在7级以内的岩层中钻进。

5. 人造金刚石钻进每米的成本32.27元, 只相当于坑道掘进成本的1/5。

由此可见, 用人造金刚石岩芯钻探代替部分坑道掘进探矿, 不但可以获得具有一定可靠性的地质资料, 而且可提高矿床勘探程度, 减少采(矿)掘(进)比, 又有利于综合研究。现将我

们多年来试验的情况介绍于下。

从开始试验以来, 钻探台班、台月效率和全员效率一直在不断提高(表1)。

表 1

年 度	1976	1977	1978	1979
全 员 人 数	17	16	14	14
年度进尺 (米)	1206	2336	2500	2800
年取岩样 (个)		1766	1978	2307
年施工钻孔 (个)		84	88	135
最高月进尺 (米)		358 (六月份)		373 (元月份)
单机最高进尺 (人月米)			41.6 (九月份)	57.93 (元月份)
最高台班进尺 (米)	6	13	17	21
全员效率 (人年米)	70.9	154.8	178.6	200

注: 1976年为硬合金钻进资料。

应用人造金刚石钻进技术探矿与坑道掘进探矿相比, 每1.71米钻探可代替1米坑探。1977年六月份钻进358米就相当于100多人的掘进队一个月的工作量。

通过坑探验证的实践证明: 用人造金刚石钻探所获得的地质资料比较可靠。在60米以内的钻孔中, 岩性划分误差不大于1米; 矿体边界误差不大于0.5米。坑探和钻探样品化验结果证实, 矿体品位误差不超过 $\pm 0.20\%$ 。表2是两个坑探和钻探验证的资料对比。

表 2

校 验 编 号	工程编号	工程 量 (米)	起 算 测 点 号	主要岩层界线 位置 (距测点) (米)		矿体边界线位 置 (距测点) (米)		见 矿 厚 度 (米)	见 矿 厚 度 差 (米)	平 均 品 位 %	品 位 绝 对 差
				1	2	1	2				
1	759 中段 (坑探)	26	15	12.60	18.80	12.60	18.80	6.20	+0.4	1.164	-0.206
	7813孔 (钻探)	17	15	13.00	18.80	13.00	18.80	5.80		1.370	
2	714 中段 (坑探)	22.8	49		17.30	3.40	18.40	15.00	+0.4	1.504	+0.184
	7922孔 (钻探)	20.4	49		18.00	3.40	18.00	14.60		1.320	