

镶齿滚刀及滚刀钻头嵌岩技术的研究

王三牛, 佟功喜

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘 要 根据大口径嵌岩桩施工的需要, 研制了镶齿滚刀及滚刀钻头, 介绍了镶齿滚刀硬质合金齿的选择、布置, 镶齿及密封技术, 滚刀钻头的结构设计及钻进参数的确定。经生产性试验取得了良好的效果。

关键词 钻孔灌注桩; 镶齿滚刀; 滚刀钻头; 钻压; 转速

中图分类号: P634.4⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3746(2003)04-0035-03

Research on Rock Cutting Techniques of Inserted Roller Cutters and Roller Cutter Bits/WANG San-niu, TONG Gong-xi (Institute of Exploration Technique, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract : To meet the requirement of constructing rock embedded piles, inserted roller cutters and roller cutter bits were developed. The selection of tungsten carbide teeth and their arrangement on rollers, tooth inserting and sealing techniques, design of bit structure and determination of drilling parameters are introduced. The bits were proven good through trial.

Key words : boring concreting pile; inserted roller cutters; roller cutter bits; weight on bits; rev

我国大口径嵌岩桩施工目前采用的方法主要是回转钻进, 使用的钻头一般是组合式牙轮钻头、焊齿滚刀钻头及镶齿滚刀钻头。焊齿滚刀钻头用于可钻性 6 级以下地层或抗压强度 ≤ 80 MPa 的岩层, 这主要是由于焊齿滚刀的切削刃采用钢结合金, 其钢基体含量 $> 50\%$, 硬质相(碳化钨)含量 $< 50\%$ 。以钢作为粘结剂的硬质合金介于高速钢与硬质合金之间, 不适于硬地层。组合式牙轮钻头是目前市场上用得较为普遍的嵌岩工具, 在直径 < 1.8 m 范围内有相当大的市场, 这种钻头最具代表性的就是 PZ 系列组合式牙轮钻头。PZ 系列钻头适应了我国国情, 从 1993 年至今, 已生产销售 4000 余只, 为用户解决了嵌岩施工难题, 并且带来了可观的经济和社会效益。

随着我国基础施工建设的发展, 基础嵌岩桩从口径及深度方面都提出了更高的要求, 尤其是大中型桥梁桩、煤矿竖井等, PZ 系列牙轮钻头已不能完全满足施工需要, 所以有必要开发新的替代产品——镶齿滚刀钻头。与牙轮钻头比较, 镶齿滚刀钻头是适应硬地层钻进的一种结构简单合理、制造相对容易的嵌岩工具。2001 年, 我们根据市场需求, 研究开发镶齿滚刀及滚刀钻头, 目前已成功研制出了 8 in、12 in 镶齿滚刀系列产品, 经过施工单位的生产试验, 根据施工设备条件的不同, 滚刀寿命在

250 ~ 300 h 之间, 在常规条件下, 滚刀在单向抗压强度为 80 MPa 的岩石中钻进, 其平均寿命 < 80 m。

1 镶齿滚刀的研究

1.1 滚刀硬质合金齿选择

影响镶齿滚刀寿命的主要因素之一就是硬质合金齿的寿命, 硬质合金齿的化学成分组成主要为 WC(硬质相)和 Co(胶结相)。随 Co 含量增加, 硬质合金韧性增加, 硬度有所下降。当 Co 含量不变时, WC 晶粒愈小, 其硬度愈高。相反随 Co 含量降低, 硬质合金脆性增大, 抗弯强度下降, 硬度增大, 易产生断齿。所以对于地质钻探用硬质合金的选择, 既要兼顾其硬度, 又要兼顾其韧性。一般情况选用 YG10 型以上硬质合金。由于滚刀钻头硬质合金齿出刃大, 钻进过程中采用冲击剪切破岩, 而且与岩石摩擦主要是滚动摩擦, 所以选择硬质合金齿时, 韧性及抗弯强度就成为主要考虑因素。

硬质合金齿的规格要根据滚刀的规格选择, 一般情况下 8 in、12 in 镶齿滚刀选用 $\varnothing 16$ mm 齿, 特殊情况下, 12 in 镶齿滚刀选用 $\varnothing 19$ mm 齿, 齿的形状一般为圆锥形和勺形(见图 1)。圆锥形齿强度大, 用于坚硬地层, 勺形齿破岩效果好, 用于中硬及较硬地层。

收稿日期 2002-10-31

作者简介: 王三牛(1957-) , 山西新绛人, 中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事大口径钻头与钻具的研制工作, 河北省廊坊市金光道 77 号(0316)2096598。

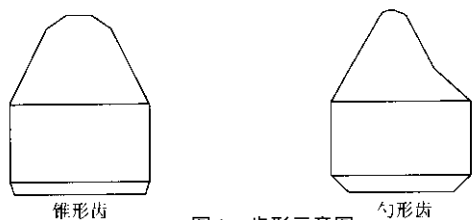


图 1 齿形示意图

1.2 滚刀硬质合金齿布置

硬质合金齿在滚刀体表面布置是否合理,影响钻进效果及滚刀寿命。布齿过密,一是提高了滚刀成本,二是降低了单个齿上的负荷,影响破岩效果;布齿过稀则增加了单个齿工作量,齿易磨损,且易造成刀体表面磨损。所以布齿时应引起注意,下面是我们遵循的布齿原则。

(1) 整个滚刀体圆锥面沿母线和周向方向不留空白带,防止产生岩墙。

(2) 滚刀边刀背锥受力大,布齿间距小,应选择较钝且抗弯强度较高的硬质合金齿,以免出现断齿现象。

(3) 主锥齿间距一般为齿径的 2.5 ~ 2.8 倍,对于中硬地层选择上限,对于坚硬地层选择下限。

图 2 为滚刀布齿图。

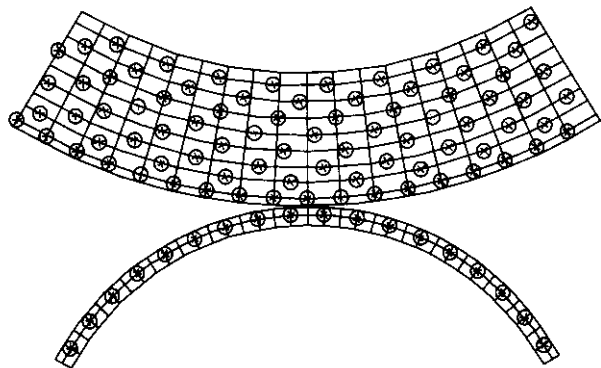


图 2 滚刀布齿图

1.3 镶齿技术

钻进中,硬质合金齿在滚刀体上脱落是滚刀早期损坏的一种主要形式。脱落的硬质合金齿会产生一系列连锁破坏,造成整个钻头体上的滚刀报废,所以镶齿技术对镶齿滚刀来说是一项关键技术。

硬质合金齿脱落原因主要有 2 种情况,一是齿与孔的过盈量小,在齿与孔底岩石接触过程中,齿承受周期性的侧向负荷,导致齿间间隙增大,硬质合金齿慢慢脱落;二是齿与孔过盈量太大,在压齿过程中,齿孔周围刀体材料变形超过了弹性变形区,或弹性与塑性临界点,钻进过程中,在过盈产生的齿侧压力与齿在钻进工作中侧向负荷的共同作用下,齿孔

材料塑性变形增大造成齿的脱落。

所以,齿与孔的过盈量应保证使孔的变形在弹性范围内,也就是说过盈量产生的内压加上侧向工作负荷引起的外压之和低于材料的屈服极限,孔的变形就始终处于弹性状态,齿就不会脱落,遵循这个原则,能得到良好的效果。

1.4 滚刀轴承及密封设计

滚刀轴承设计有 3 种不同类型,一是标准型,即选用国家标准轴承,这种结构使轴及轮体的制造工艺简单,造价低,但滚刀性能差,寿命低。早期的焊齿滚刀采用此类轴承。二是非标轴承,将刀体作为轴承外圈,心轴作为轴承内圈,装配时装入滚柱。这种结构国外在 20 世纪 70 年代使用较为普遍,它的特点是强度大,但零件制造工艺复杂,造价高。三是复合式轴承,这是目前国内普遍认可的一种轴承结构,它兼顾了前两者的优点,轴承外圈特制,类似于标准轴承外圈,内圈以心轴代替。此结构相对简单,加工维修方便,同时还适用于稀油润滑,延长轴承使用寿命。

目前滚刀轴承的密封形式均采用金属浮封环密封结构,浮封环材质一般为高铬铸铁合金,表面硬度 HRC60 ~ 72,静态密封试验应保持 10 min 不渗漏,用于深井施工的滚刀轴承密封保证耐压 1.2 MPa 的试验压力,同时密封结构上要有压力补偿,以平衡轴承内外压力。

2 滚刀钻头结构设计

2.1 布刀

滚刀在刀盘上布置与牙轮钻头有相似之处,它主要分 2 种形式:一是混合布刀(见图 3)或梅花状布刀,这种情况用得比较普遍;另一种是螺旋布刀,通常用于超大直径钻头。螺旋形布刀又分正循环钻进布刀和反循环钻进布刀,滚刀布置的螺旋方向不同,适用于循环液的不同流向。螺旋布刀利于孔底排渣,液流畅通,钻头工作平稳,不会产生谐振现象。

刀盘上的滚刀按位置分为中心刀、正刀、边刀。滚刀钻头一般以边刀定心,所以边刀数量不应少于 3 个,它不仅起定心作用,还起保径、修边作用。中心刀和正刀起着破碎孔底岩石作用,布刀时每一圆周上的滚刀要有一定的重叠量,避免孔底留有岩墙,重叠系数 1.1 ~ 1.2,同时每一圆周上的滚刀工作量尽量接近,防止个别滚刀早期损坏。

2.2 钻头扶正及边刀座保护

由于镶齿滚刀出刃相对于焊齿滚刀出刃小,边

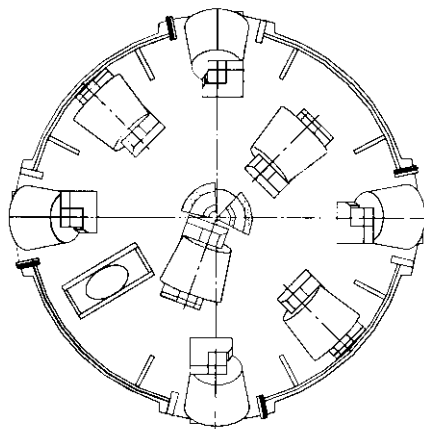


图 3 混合布刀示意图

刀座易磨损,所以边刀座的角度设计及边刀座的保护和钻头扶正就是钻头结构设计的关键。我们主要采取以下措施。

- (1)调整边刀座角度及滚刀出刃,使滚刀出刃能让出边刀座。
- (2)每把边刀正上方(钻头刀盘上方)焊有防磨护板,起扶正作用。
- (3)在滚刀运动前方增加边刃,刮走滚刀运动前方的岩屑,并修磨孔壁,防止边刀座磨损。
- (4)边刀座外侧镶嵌硬质合金。

2.3 刀盘下方外沿增加限流板

限流板可以增大孔底液流流速,使孔底排渣迅速,冲洗干净,防止岩石重复破碎,提高钻进效率,同时延长钻头使用寿命。

3 滚刀钻头钻进参数确定

3.1 钻压

钻压是影响钻进效率的主要参数之一,滚刀上钻压不够,或达不到岩石的抗压强度,切削刃只能靠磨削破碎岩石,钻进效率低,只有当滚刀上的钻压大于岩石的抗压强度时,硬质合金齿才能有效吃入岩石,实现体积破碎,从而提高钻进效率。按弹性力学理论,一个硬质合金齿破碎岩石的体积 V_1 上的力 P 与岩石抗压强度极限之关系式为:

$$V_1 = (4\pi/33) \times [3P/(2\pi\sigma_{JY})]^{3/2}$$

式中: V_1 ——破岩体积, m^3 ; P ——压力, N ; σ_{JY} ——抗压极限, Pa 。

假定每个硬质合金齿破碎岩石体积为 1 cm^3 时可视为体积破碎岩石,那么对于不同抗压强度极限的岩石所需的压力为:

$$P \approx 4 \times 10^{-4} \sigma_{JY}$$

下方数据

若每把滚刀瞬间嵌入岩石的当量齿数 z in 滚

刀为 2, 12 in 滚刀为 3, 则可得出每把滚刀在不同地层产生体积破碎所需的压力,进而得出不同规格钻头所需的钻压值。

从以上理论计算可以看出,滚刀钻头所需钻压是相当高的。例如对于一个 $\varnothing 1200\text{ mm}$ 滚刀钻头,使用滚刀 7 把,在岩石抗压强度 100 MPa 的地层钻进,所需钻压 560 kN 。目前国内的大多数钻机难以达到这种能力。实际钻进过程中,伴随有冲击负荷,因而不需要如此大的压力就能达到岩石体积破碎效果。

3.2 转速

钻头转速主要取决于牙齿破碎岩石所需的时间。根据前苏联学者比留科夫对硬质合金齿破碎岩石的研究,齿与岩石接触时间 $< 0.02 \sim 0.03\text{ s}$ 。如果小于该时间,齿对岩石的压力作用效果就会急剧下降。根据这一理论,可以求出滚刀钻头在不同钻孔直径下的最高转速。

设滚刀大端直径为 d ,大端齿数为 z ,钻头直径为 D ,则滚刀大端齿间弧长 $L = \pi d/z$,滚刀自转速度 $V_G = L/t$ (t 为齿与岩石接触最短时间),则 $V_G = \pi d/(zt)$ 。在纯滚动条件下有公式:

$$n/n_G = d/D \Rightarrow n_G = nD/d$$

式中 n ——钻头转速 n_G ——滚刀自转转速。

考虑到滚刀在孔底转动时不完全是纯滚动,自转速度有所下降,因而上式修正为:

$$n_G = knD/d$$

式中 k ——速度损失系数 $k=0.95$ 。

由 $V_G = 2\pi rn/60 = \pi dn_G/60 \Rightarrow n_G = 60V_G/(\pi d) = 60\pi d/(\pi dzt) = 60/(zt) = knD/D$,得:

$$n = 60d/(Dkzt) \tag{1}$$

对于 12 in 滚刀,将 $k=0.95$, $t=0.02\text{ s}$, $z=24$, $d=270\text{ mm}$ 代入(1)式,计算结果见表 1。

表 1 钻头直径与转速对照

D/mm	1500	1800	2000	2500
$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	24	20	18	14

3.3 流量

大口径嵌岩钻进由于孔浅,钻孔截面大,岩屑携带工作量大,为了减少钻头对孔底岩屑的重复破碎,排渣显得异常重要。在有条件的情况下,要尽可能加大泵的流量,其次最好采用反循环钻进工艺。采用反循环钻进工艺时应注意几点:一是适当降低泥浆密度,减小泥浆流动阻力,提高吸程;二是保持流

(下转第 58 页)

80 mm,间距 0.5 m,孔深 3.5 m,以进一步阻隔爆破地震波,从而进一步保障复合式挡墙、岸边楼房及皇岗大桥的安全。

(3)根据爆破地震效应监测数据及时调整爆破参数,指导爆破施工。

5.2 对水中爆破冲击波及浪涌的安全技术措施

(1)严格按设计进行装药,不许多装。

(2)按计算,水中冲击波及浪涌对复合式挡墙及皇岗大桥的影响不大。为可靠起见,采用水中压缩空气气泡帷幕的防护措施。工程实践表明,该种安全技术措施的效果很好。

(3)及时利用水中冲击波监测结果,指导爆破施工。

5.3 对爆破飞石的防护

(1)严格按设计进行爆破施工,炸药不许多装,药包应沉至孔底,保证堵塞长度与堵塞质量。

(2)爆破时间尽可能选在有较深水(即涨潮)的情况下进行。

(3)复合式挡墙及桥墩四周搭设防飞石排架。

(上接第 37 页)

体通道截面面积一致性,避免过流通道时大时小,减少泥浆流动中的液力损失和卡阻现象;三是保证沿程管路的密封性,避免泥浆短路。在不得已使用正循环钻进的情况下,由于环状间隙大,泥浆上返流速低,则要加大泥浆密度和粘度,提高泥浆携带岩渣的能力。

4 滚刀钻头生产性试验

2001 年黑龙江有色工程总公司在滦河铁路特大桥进行桥基施工,所钻地层为硬质砂岩和凝灰岩,可钻性 8~9 级,研磨性强,共计 125 根桩,桩径分别为 1250 mm 和 1500 mm,孔深为 30~40 m,入岩 10~30 m,多数用我们研制的镶齿滚刀钻头钻进,其中 $\phi 1250$ mm 滚刀钻头 10 只, $\phi 1500$ mm 滚刀钻头 2 只,滚刀配件 100 把。用 GPS15 或 18 型钻机正循环钻进,历时 6 个月完成工作量 2000 余米,创出了可观的经济效益和社会效益。

排架为双层钢结构,上挂铁丝网与尼龙绳网,长度超出爆区 20 m,高度 5 m。

6 爆破效果

本次水下爆破工程爆破方量大,爆区周围环境复杂,需要保护的目标多,经过对爆破方案的分析、比较,我们选择了以 $\phi 60$ mm 乳化炸药分区钻孔微差松动控制爆破为主, $\phi 40$ mm 乳化炸药浅眼微差松动控制爆破为辅的综合方案。在施工过程中,根据爆破地震效应和水中冲击波监测结果,及时优化爆破参数,有效地将爆破地震效应和水中冲击波严格控制在设计允许的范围内,确保了保护目标的安全,实现了工程控制爆破的信息化施工。共爆破水下石方 15000 m^3 ,工期比机械凿岩方案提前 3 个月。

实践证明,在水下控制爆破工程施工中,采取压缩空气气泡帷幕和减震孔排等防护技术是非常有效的,可消减冲击波压力 30%~50%,降震 20%~60%,有力地保障了复合式挡墙、民用建筑、皇岗大桥、船只和人员的安全。

在试验过程中,滚刀寿命达 200~300 h,平均寿命 240 h 以上,由于采用正循环钻进,且钻机加压能力不强,实际钻压仅为 30~40 kN,钻进效率较低,为 15~25 cm/h,滚刀破坏形式主要是硬质合金及滚刀轮体过度磨损,多数滚刀轴承完好。滚刀寿命基本达到预计目标,获得施工单位和设计单位的好评。

5 结语

(1)随着钻孔施工技术的发展,要不断地提高和改进钻头的形式和结构。

(2)镶齿滚刀钻头应用于大口径嵌岩钻进施工是一种非常有效的破岩工具。

(3)进一步探索滚刀体材质及热处理工艺,在保证硬质合金齿镶嵌牢固的情况下,提高滚刀体表面硬度,以减少轮体磨损。

(4)拓展镶齿滚刀钻头的应用领域,研究开发镶齿滚刀扩底钻头及盾构用盘形滚刀。