电镀绳索取心金刚石钻头的研制及其对地层适应性的探讨

李大佛

（武汉地质学院探工系）

钻探技术

低温电镀金刚石钻头的最大特点是低温，在电镀过程中，温度不超过200°C。这样的温度对于保证金刚石强度十分有利。

实践证明，电镀钻头具有时效高、保径好、寿命长的优点。由于保径好，才可能有效地加厚底唇金刚石厚度、提高钻头寿命，从而有利于绳索取心。

我们这次研制的钻头，其底唇镀有十九层金刚石，厚度有 5.7～6.3 毫米（每个钻头金刚石含量为36克拉）。研制这种厚唇钻头的目的，就是为了提高钻头寿命，发挥绳索取心的优越性。

钻头研制

低温电镀金刚石钻头的制造原理，即利用电解液中的金属离子，在电场力的作用下移向阴极，还原沉积为金属，以包镶人造金刚石形成孕镶钻头。

电镀钻头的阴极反应：

$Ni^{++} + 2e = Ni$

$Mn^{++} + 2e = Mn$

电镀钻头的胎体金属，目前多以镍为基体成分，主要因为镍具有一系列良好的适合于钻探特点的机械性能。为了进一步改善胎体金属的机械性能，或使它增加对地层的适应性，常常往胎体金属中沉积少量异类元素。这次我们用的异类元素是锰，以增加金属强度、韧性和硬度。在镍锰胎体合金中，镍占99.94%，锰占0.06%。

一、溶液配方

硫酸镍（$NiSO_4$，$7H_2O$）250 克/升

硫酸锰（$MnSO_4$，$7H_2O$）6.5克/升

硼酸（H_3BO_3）30克/升

氯化钠（NaCl）15克/升

溶液成分就这四种，硫酸镍与硫酸锰是沉积的胎体合金的来源。镍是基体金属，锰是合金化元素。

硼酸是缓冲剂，用以保持溶液 pH 值的稳定性。电镀时，溶液中的氢离子 H^+ 要放电还原，其数量要减少，即酸度降低，pH 值增大。另外，阳极板有时会钝化，使阳极过程（$Ni - 2e = Ni^{++}$）的反应不能正常进行，遂使氢氧根离子放电 $4OH^- - 4e = 2H_2O + O_2\uparrow$，而使溶液酸度升高，硼酸能控制酸度不变，是因为它具有下列可逆反应：

$H_3BO_3 \rightleftharpoons H_2BO_3^- + H^+ \rightleftharpoons HBO_3^- + 2H^+ \rightleftharpoons BO_3^{\equiv} + 3H^+$ 故当溶液酸度降低时（H^+ 减少），此反应向右方进行，反之则向左方进行。

氯化钠在溶液中离解为氯离子 Cl^- 和钠离子 Na^+，依靠氯离子可防止阳极钝化，依靠钠离子可增加溶液的导电性。

二、电镀规范

溶液温度 20～30°C

电流密度 空镀与上砂时0.4安培/分米^2

加厚时0.8安培/分米^2

溶液酸度 pH = 4.1～4.6

目前我国研制低温电镀钻头者很多，规范并不一致。据了解，我们这种溶液配方是比较简单的。其特点之一是没加光亮剂，目的是防止光亮剂给金属体增加脆性。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

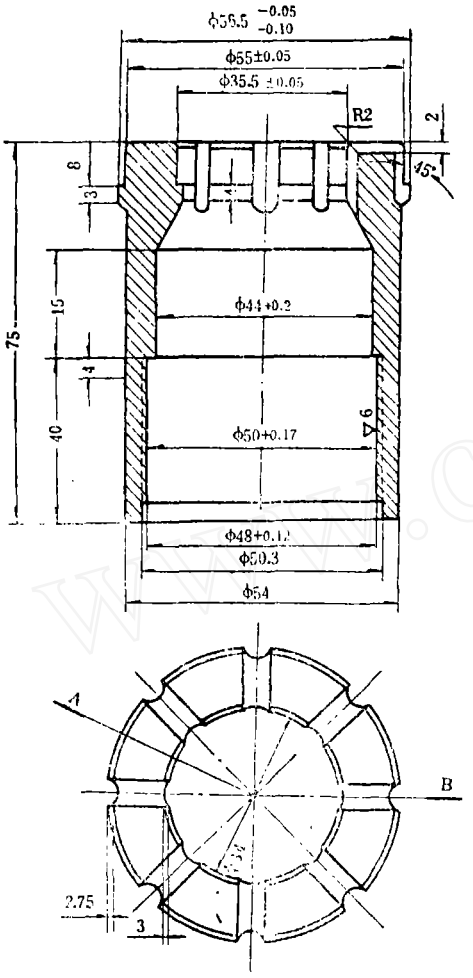

图 1

三、电镀工艺

1.钢体与模具

钢体：为了提高结合强度，尽可能增大被镀面积，使被镀表面适当粗糙一些。钢体水口为八个，材料用中碳钢，几何形状如图1所示。

模具：模具的作用有二，一是控制钻头内、外出刃，二是保持金刚石。模具分内模与外模，所用材料为有机玻璃，或其它绝缘材料。模具示意见图2。

2.钢体的镀前处理

（1）用有机溶剂除油。常用的是汽油、煤油或丙酮，最经济的是汽油。

（2）盐酸腐蚀。用盐酸腐蚀，一般不超过30秒，随后即用热水和冷水彻底清洗。

（3）对不镀部分进行绝缘处理。在酸腐蚀前，在紧挨被镀部分钢体之内、外圆表面，用毛笔蘸以糊状赛璐珞涂抹5～6次。在盐酸腐蚀之后，用塑料膜包扎其它不镀部分。

（4）电化学除油。这是为了进一步清除油污，而且主要是清除不能皂化的矿物油。

电化学除油溶液的成分与应用：

碳酸钠（Na_2CO_3）40克/升

磷酸钠（Na_3PO_4）16克/升

氢氧化钠(NaOH)16克/升

硅酸钠（Na_2SiO_3）8克/升

温度　　55°C

电流密度　　10安培/分米^2

先阴极除油3分钟，后阳极除油1分钟。电化学除油后，也要用热水和冷水仔细冲洗。

化学反应：

阴极　$4H_2O + 4e = 2H_2\uparrow + 4OH^-$

阳极　$4OH^- - 4e = O_2\uparrow + 2H_2O$

（5）阳极处理

这是镀前的最后一道工序，它是利用阳极析出的气泡，机械撕离被阳极溶解的零件表面极少的金属和氧化膜，使金属表面露出新鲜的结晶组织，使其表面活化，以促进镀层与钢体的结合强度。

阳极处理时，阴极用铅板，只起电极作用。溶液成分为40%（按体积比）的硫酸溶液，处理时间2～3分钟，电流密度大些好（50～100安培/分米^2）。

3.电镀操作

（1）冲击电镀。大电流密度冲击的目的是为了增加极化作用，提高结合强度。钢体经阳极处理后，应尽快带电入槽，并超过正常电流密度（0.8安培/分米^2）三倍左右进行冲击电镀1～2分钟。

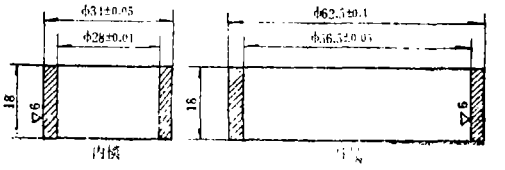

图 2

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（2）空镀。空镀就是钻头上没有金刚石的电镀。使钢体表面先有了镀层，金刚石可避免直接接触钢体，从而加强结合强度。空镀时电流密度为0.4安培/分米^2，时间30分钟。

（3）上砂。上砂，就是在钢体上加金刚石。空镀后，用玻璃吸管吸入并撒放金刚石于钻头待镀面上。先将钻头横卧，对朝上的内、外壁两个面上砂，约20分钟后，转个90°，再向新朝上的两个面上砂（已上砂的两个面则要先卸砂）如此循环，直到钻头内外壁面普遍而均匀地粘上一层金刚石为止。然后将钻头直立，在唇面上砂，半小时后卸砂。卸砂后电镀加厚，加厚完再上第二层金刚石，直至内外径及底唇达到要求的尺寸为止。钻头上完最后一层金刚石后进行加厚电镀时，加厚时间应比以前各次要长3～5个小时，以便让最外层金刚石完全被胎体金属包裹，然后出槽。

（4）出槽去氢。钻头出槽后，除去模具与绝缘物，用冷水仔细冲洗，然后进行去氢处理，去氢的目的是为了减少氢脆和内应力。去氢温度为100～200°C，时间2～4小时。

4.电镀设备线路（见图3）

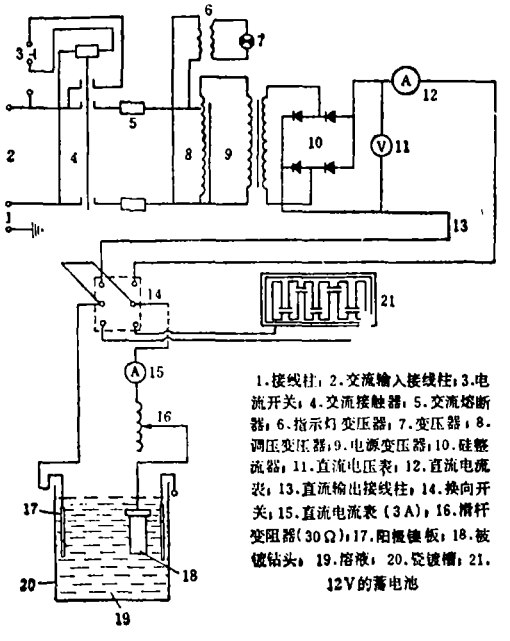

图3

投入试验

一、地质条件

钻头是在北京密云大槽矿区65号孔试验的。钻进地层主要是片麻岩与辉石磁铁石英岩，可钻性7～9级，研磨性中等。地层比较完整，试验孔段自231.41米至567米。

二、设备条件

钻机为XU—600型；转速有216、367、455、615、775、1300六档；动力配30千瓦电动机；水泵为200/40的；钻杆用φ53绳索取心钻杆；钻孔倾角85°；钻具配用苏州S56C型绳索取心双管钻具和无锡孕镶扩孔器。

三、钻头规格（见表1）

四、试验情况

试验用六个钻头钻进114回次，总进尺224.27米，平均寿命37.38米（最高62米，最低15米），平均时效1.8米。其中1号和2号钻头均因钻进规范偏大而没有发挥应有效能，特别是1号钻头。主要是第一回次的压力、转速等控制不合理，其它回次压力又都偏大，造成早期损坏。为此我们进行讨论，就钻进参数对钻头寿命的影响进行分析，对钻进参数进行调整，遂使试验正常进行。试验采用的钻进参数及效果列于表2。

五、钻头磨损特征

在电镀钻头时，难免出现尖端放电效应，致使钻头表面粗糙。所以新钻头开始钻进的磨合阶段，选用压力应偏小（200～300公斤）、转速应偏低，待钻头底唇镀层毛刺磨平后，再转入正常钻进。压力可达500～700公斤，转速也应高一些。试验中，我们还用“上砂”产的热压孕镶人造金刚石钻头加以对比，发现热压钻头耐磨一些。这是因为热压法制造的钻头，胎体成份有碳化钨，其硬度和耐磨性较高的缘故。胎体为镍锰合金的电镀钻头，胎体容易磨耗，在大压力下，包镶金刚石的作用减弱，金刚石脱粒也就加多了。试验中，1、2号两钻头，采用大规范，分别进尺在15米和31米时，底唇镀层就由6毫米磨耗到1毫米左右。而采用小

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1

钻头编号	金刚石层数			镀层厚度（毫米）			钻头尺寸（毫米）		
	内侧	外侧	底唇	内侧	外侧	底唇	内径	外径	高度
1	4	3	19	0.75	0.75	5.7	34	56.5	81.1
2	4	3	19	0.75	0.75	6.3	34.1	56.5	87.1
3	4	3	19	0.75	0.75	5.7	34	56.5	81
4	4	3	19	0.75	0.75	6.3	34	56.8	81.7
5	4	3	19	0.75	0.85	5.6	34.1	56.7	86
7	4	3	19	0.75	0.75	6.3	34	56.5	86.8

注：1.胎体均为镍锰合金，其硬度均为HRc45。 2.胎体浓度（400%制）均为91%。 3.每个钻头的人造金刚石含量均为36克拉。 4.底唇均按毛刺高度计算。 5.人造金刚石产地为石家庄，粒度70目。 6.钻头水口均为8条。 7.6号钻头因被墩坏故不参加统计。

表 2

钻头编号	钻进规程			进尺	钻进时间	小时效率		回次长度	钻头磨损		
	压力（公斤）	转速（转/分）	水量（升/分）	（米）	（小时）	最高（米）	平均（米）	（米）	底唇	外侧	内侧
1	800～1000	775	35	15.01	6	3.2	2.5	2.14	0.274	0.0133	0.0995
2	800～1000	775	35	30.94	13.15	3.18	2.3	2.05	0.178	0.0130	0.0453
3	600～700	775	35	44.15	28.05	2.45	1.57	2.10	0.0512	0.0135	0.0340
4	600～700	775	35	31.28	17.50	烧毁	烧毁	烧毁	烧毁	烧毁	烧毁
5	600～700	775	35	41.03	24.51	2.50	1.52	2.05	0.0973	0.0121	0.0365
7	600～700	775	35	61.86	38.05	4.00	1.63	1.87	0.0392	0.0073	0.0123

规范的3号钻头，进尺44米时，底唇仍有3.4毫米的镀层，说明压力大了会使钻头消耗成倍增加。

几点体会

一、钻头胎体对地层适应性的影响很大

镍锰胎体的电镀钻头，胎体硬度HRc45，对7～9级研磨性中强的片麻岩、辉石磁铁石英岩是适应的。根据施工20天的记录，证明整个钻进过程进尺平稳（每五分钟的进尺，基本稳定在15～18厘米）。在合理的钻进参数下，钻头磨损也小。以比较正常的3号钻头为例，其进尺44.15米，胎体高度消耗2.26毫米，每米进尺磨损0.051毫米；外壁消耗0.6毫米，每米进尺磨损0.014毫米；内壁消耗1.5毫米，每米进尺磨损0.034毫米，达到了较好水平。

当试验钻进9～11级含石英多（40～50%）、研磨性小的岩层时，这种镍锰胎体的电镀钻头就不适应了。表现在机械钻速大大下降，增大压力也无明显作用，时效竟从1.5～2米迅速降到0.2～0.7米，但是钻头磨耗很少。所以，我们认为，这种胎体的钻头不适应坚硬致密、摩擦性弱的地层的原因，主要是胎体过硬，金刚石不能适时出刃，导致打滑。建议对此类岩层采用软胎体、细粒度、低浓度的孕镶钻头。例如我们曾在102队一分队矿区试用过金刚石100目、镍钴胎体（HRc34）的电镀钻头，打9～10级研磨性弱的致密闪长花岗岩，平均时效达到1米左右，钻头寿命44米，而在同类地层使用20、46、60目的表镶和孕镶钻头（HRc42）时，其时效都只在0.3米左右。

二、钻进参数对钻头寿命影响明显

试验的六个钻头中，1、2号是采用大规范（主要指压力），其它用小规范。用大规范的钻头平均寿命为22.98米，用小规范平均寿命为44.6米。可见钻进参数对钻头寿命影响之大。而在实践中观察，压力小些对时效的影响却并不大。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

我们认为，这种电镀钻头在本矿区的钻进参数条件下（钻压500～700公斤、转速775转/分）时效1.5～2米较为适宜，如果地层完整，钻机能开1300转/分，时效也不宜超过3米。这样会大大提高钻头寿命、减少事故，并能提高纯钻时间。

三、内径的保持是钻头的薄弱环节

实践表明，人造金刚石孕镶钻头的内壁磨耗较快，这次我们用的绳索取心钻头，此现象十分明显。原因何在呢？我们分析认为：

1.钢体设计不合理

我们研制的普通双管电镀钻头的内壁镀层厚度为1毫米，这次设计的绳索取心钻头钢体只能保证内壁镀层到0.75毫米。而内壁镀层越薄，金刚石越易脱落（因钢体与镀层的膨胀系数不一致，镀层薄了容易出现卷曲剥落）。

2.内壁镀层中金刚石浓度不匀

浓度不匀的原因是：钻头内径小，曲率大，上砂时往往不能均匀，而使70目的金刚石颗粒多滚集在最凹处。在0.75毫米的镀层中，有许多缺少金刚石的“空白”，只有镍锰合金同岩石相磨。

3.底唇、外壁同内壁的镀层厚度搭配不合适

绳索取心钻头，内壁承担的研磨量大，它既要破碎岩石，修整岩心，又要在堵心时重复破碎岩石和套扫岩心。绳索取心又很少提钻，钻头外壁相对地得到保护，内壁相对损耗量大。

改进措施

一、改变钢体尺寸

钢体内径尺寸拟由原来φ35.5改为φ36.5。

二、确保钻头内壁镀层中的金刚石浓度及均匀度

除上砂时注意内壁金刚石浓度不能低于唇部浓度外，还可在内壁选用更细的（100或120目）、高强度的金刚石。

三、减薄底唇镀层厚度

如在试验矿区这种地层钻进，维持钻头寿命在40～50米，底唇镀层可较原来减薄1/3～1/2，以使钻头底唇及内外壁镀层磨耗程度相当，避免浪费。

四、增加钻头水口

钻头设计八个水口，似已够用，但考虑到绳索取心钻头的底面积大（比普通双管的大29%），产生岩粉多，温度也高些，如果水口增至10～12个，也许更好。

小结

一、这次试验投入的六个钻头，打了114个回次，平均时效均超过国家地质总局规定的指标，进尺则比较接近。说明工艺可行、钻头性能比较稳定。

二、这种镍锰胎体（HRc 45）的电镀钻头，对密云大槽矿区7～9级片麻岩是有较好适应性的；而对9～11级研磨性弱的岩层则不适应。

三、在试验中，未见镀层崩裂、掉块和胎环脱落现象。说明镀层与钢体结合牢固，电镀规范是可行的。

（上接第64页）

钻头的研制工作：ИСМ АН УССР为此研制出了БС型钻头，全部镶的是斯拉乌吉契；苏联设计局（СКБ）和苏联科学院高压物理研究所（ИФВД）协作研制成功的КСК型钻头，镶用的是被称作人造巴拉斯的АСПК型多晶金刚石；由苏联磨料研究所（ВНИИАШ）、列宁格勒矿业学院（ЛГИ）、ВИТР和伊里奇磨具厂协作研制的ЛКР型钻头，用的是另一种人造巴拉斯—АСБ型多晶金刚石；针对Ⅵ—Ⅷ级岩石钻进的特点，全苏硬质合金科学研究所还研制成一种КСАВ—59型钻头，用的是СВСП型多晶金刚石。这些都说明，在用单晶人造金刚石孕镶钻头对付硬岩取得成功之后，各种类型的多晶金刚石和钻头，已经在中硬岩石的钻进中取得了良好的效果。从而显示了人造金刚石在钻探中全部取代天然金刚石的前景。以上这一阶段，可以认为是苏联金刚石钻头技术发展的第三阶段，即大力发展人造金刚石钻头的阶段。预期在苏联各类人造金刚石钻头在生产中所占的比重，还会继续增大。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net