表 2

序号	孔号	开孔深(米)	钻分枝孔的主孔号	实际孔深(米)	钻进工作量(米)	时间消耗(台月)	实际效率(米/台月)	折合效率(米/台月)
1	504	0	—	886.3	886.3	1.73	512.1	512.0
2	丑-6	678	504	801.5	123.5	0.33	374.2	2424.2
3	丑-10	660	504	850.8	190.8	0.53	360.0	1605.3
4	丑-12	485	504	939.0	454.0	1.06	423.3	885.9
5	丑-11	801	丑-12	917.2	416.2	0.33	352.1	2779.4
6	505	479	504	883.8	404.8	1.40	289.1	631.3
7	568Б	472	504	1035.3	613.3	1.60	383.3	678.3
8	568	760	568Б	1009.8	249.8	0.93	268.6	1085.8
9	丑-15	833	568	987.4	154.4	0.47	328.5	2100.8
10	丑-16	822	568	1043.5	221.5	0.67	330.6	1557.5
11	丑-13	746	568Б	961.5	215.5	0.73	296.6	1317.1
12	657	735	568Б	1220.0	485.0	1.37	354.0	890.60
合 计		7471		11586.1	4115.1	11.15	369.1	1039.1

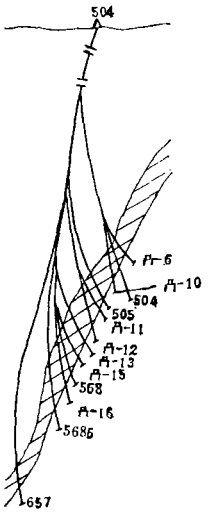

图 3 132勘探线多孔身钻孔剖面

经济效益，在很大程度上取决于分枝孔的多少及分枝孔的开孔孔深。

表 3 列出了用多孔身钻进 155 和 132 勘探线的其它几个主要技术经济指标与从地面用单孔钻进方案的比较，在这里，多孔身钻进的经济效益就看得更清楚了。

又如云南地质三队某矿区钻进12个分枝孔仅用了1947米钻探工作量，而单孔钻进要用3929.57米工作量，共节约钻探进尺 1982.57 米。

以上实例和分析充分说明了在一定的地质、地理条件下多孔身钻进是能够获得较好的经济效益的。

最后，综述一些对多孔身钻进经济效益有利的地质、地理条件和情况：

表 3

勘探线号	不同方案时的钻探工作量(米)		多孔身方案节约的钻探工作量		不同方案时的预算成本(千卢布)		计划节约费用	
	单 孔	多孔	米	%	单孔	多孔	千卢布	%
155	4247.7	2514.6	1733.1	40.8	272.75	186.86	85.89	31.4
132	11586.1	4115.1	7471.0	64.5	757.50	329.20	428.30	57.1

注：155线单孔进尺各分枝孔系从地表按斜孔计算

1．分枝孔孔底离主孔的水平距离较小，这样可以减少人工弯曲的工作量。

2．矿体倾斜较陡（倾角从90°—60°），此时从一个钻孔可以钻较多的分枝孔。

3．矿体埋藏较深，从主孔钻分枝孔的起始位置（通常需人工架桥）可以在比较大的范围内调节，有利于人工架桥及安置偏心楔，还有利于降低分枝孔人工弯曲的全角值，从而可减少人工弯曲工作量；此外，若分枝孔起始孔深选择在主孔较深位置时，分枝孔的钻进工作量可以减少得更多。

4．孔壁稳定、坚固，对人工架桥安置偏心楔有利。

5．地形复杂，修路、平机场、电气安装、供水、安装拆卸、运输等费用急剧增长，即使钻孔不深也适宜采用多孔身钻进。

6．钻分枝孔以上的围岩以及人工弯曲孔段（通常不取岩心）岩层比较清楚，因为如果不是这样，就不能设计多孔身钻孔。

7．在某些特殊情况下，如矿体打漏或岩矿心采取不足时，在原孔重新补取岩矿心，绕过复杂事故点，钻孔结束后需在某层位获取定向岩心等，打分枝孔比重新钻进新孔经济效益明显有利。

主要参考文献

1．云南省地质局等编：《岩心钻探定向钻进》，1979

2．И. П. Мельничук：《Бурение Направленных скважин МалогоДиаметра》，1978

3．Б. И. Воздвиженский идр：《Разведочное брение》1979

硬质合金冲击迴转钻进钻头转速与机械钻速的关系

贵州省地质局

一〇二地质大队探矿科　（王英治、宋树勋执笔）

冲击迴转钻进有大幅度提高钻进速度，有效地减少钻孔弯曲程度，降低管材消耗以及扩大硬质合金钻进适应范围等优越性能，故早已引起我国钻探技术界的注意。

前些年，由于使用的常规水泵输出能量不足影响了冲击器的冲击频率和冲击功的提高，此问题近年来

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

多已解决。但钻机的立轴转速仍然是一个普遍存在的问题。即使冲击频率很高，冲击功很大，而转速降不到所需要的程度，仍然不能充分发挥硬质合金冲击回转钻的优越性能，尤其不能发挥大幅度提高钻进速度的效能。现就这一点，谈谈我们的几点认识，主要谈钻头转速与机械钻速的关系。

一、从破岩机理考虑转速问题

冲击回转钻进的破岩过程，是在硬质合金冲击刃与岩石的接触面上，施加静压力（轴心压力）的同时，给以脉动冲击，冲击负荷对岩石的作用，与常规的回转切削钻进相比，从根本上改变了破岩力学性质。回转钻进的过程，首先是切削刃在轴心压力作用下，克服岩石的抗压极限强度而压入岩石，在回转力矩作用下，切削刃克服岩石抗剪极限强度，将岩石以岩粉的形式克取下来，达到钻进的目的。而脉动冲击负荷施加于岩石，对岩石的破碎过程与回转切削相比，则具有完全不同的破岩机理，这不是岩粉克取，而是促使岩石形成大粒度的体积崩落，而钻头在回转当中，冲击刃只能对击碎的岩屑起到刮离作用，而不能依靠冲击刃的楔形负前角克取岩石。这一点正是提高钻进速度和扩大硬质合金适用范围的根本原因。这与金刚石冲击回转钻进对付“打滑”地层的克取岩石机理根本不同。

促使岩石形成块状崩落，要有必要的条件，即必须具备有自由面。如果没有自由面，给予岩石的冲击能量再大，也只能在岩石面上击成碎屑陷窝，而不能有效地使岩石形成块状体积破碎。这就必须考虑冲击间隔。而冲击间隔，实质上是转速问题。不管是采用什么类型的冲击器，只要是采用硬质合金钻进，就不可避免地遇到转速问题。对于常规钻头口径（ϕ130至ϕ75毫米）问题尤为突出。在地质系统，常规口径占开动钻机总台数的三分之二左右，解决转速问题就显得更为重要。

二、最佳冲击间隔的概念

其所以提出冲击回转钻的转速问题，是为了获得最佳冲击间隔。这仍需以破岩机理考虑。

在脉动冲击作用下的钻进过程，可以设想，第一次冲击，硬质合金冲击刃将岩石击出一个形成碎屑的陷窝，这个陷窝为相隔一定间距的第二次冲击提供了自由面，在两次冲击间隔中的岩石，就会全部崩落。岩屑崩离母岩之后，就为第三次冲击提供了自由面。这样依次冲击，岩石接连崩落，这就用不着冲击刃去克取岩石，冲击回转钻是在中硬岩层钻进，楔形冲击刃也不能克取岩石。很明显，这样的破岩过程，会比岩粉克取的回转钻进有高得多的钻进速度，也只有这样的破岩过程，才能充分发挥冲击回转钻的高速钻进的效能。

如果两次冲击间隔过大，即是说转速过高，其结果，或者岩石部分崩落（这将不能充分发挥提高钻速的效能）；或者只形成两个冲击陷窝，中间岩石根本没有崩落，而只能依靠冲击刃具在回转当中将陷窝边缘的碎屑刮去，这样的钻进过程，即使比回转切削钻速有所提高，也是极不理想的。能使两次冲击间距当中的岩石全部崩落的最大间隔，我们可以叫它是“最佳冲击间隔”。能够保持在最佳冲击间隔状态下钻进，是冲击回转钻的最佳工作状态。

最佳冲击间隔在钻进过程中不是常值，很显然是因变量。影响因变量的因素很多，例如：岩石的物理性质和机械性质，单次冲击功的大小，冲击频率的高低，硬质合金的冲击刃角，冲击刃口的磨损程度，钻头直径，轴心压力等等都可视作自变量，而最佳冲击间隔就由这些自变量所决定。

这些因素当中，除了岩石性质、钻头直径、轴心压力、冲击刃角等在一定孔段范围内可以没有变化之处，其他因素即使在同一回次当中，也在随时变化。例如：冲击刃口的逐渐磨钝；水量、泵压随井内情况的变化而不会保持稳定，不可避免地引起冲击频率和冲击功的变化。

所以，若使冲击回转钻进随时都处于最佳或接近最佳状态，就必须随时调整冲击间隔，欲使其达到或接近最佳冲击间隔，只有依靠调整转速。所以，这不但要求降低转速，而且要求转速可在一定范围内能做无级调整。

三、最佳冲击间隔的测定

最佳冲击间隔在钻进中虽然不是常值，但通过井上模拟试验测定，可以把最佳冲击间隔的数值确定在一定范围。

首先在一定的岩层中试钻，看冲击刃击入岩石的深度。在井上以相同的岩样，模拟井下的钻进条件，使冲击刃击入相同的深度，再反复调整冲击间距，以取得最佳冲击间隔的数据。通过这样的模拟试验，同时也测得了井下钻进过程中的实际单次冲击功。

冲击刃击入岩石深度数据的取得，是在试钻前，先在硬质合金冲击刃部有意识地铺一层黄铜焊液。试钻之后，冲击刃部的薄层黄铜会显示出冲蚀痕迹，测量刃部痕迹的斜长，再由刃角换算出击入岩石的深度。特别要注意的是，测量冲蚀痕迹要以刃面的痕迹

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为依据，因为前刃面在迴转中被岩屑刮伤较深，而后刃面不存在岩屑刮伤问题，这种现象在较软的或致密的岩石中钻进不甚明显，在粗粒结构或晶粒矿物较硬的岩石中钻进，尤其是转速高的情况下，冲击刃的前、后刃面的冲蚀深度则相差得很悬殊。

上面提到的模拟井下钻进条件，使冲击刃击入岩样相同的深度，这些条件是指在试验钻头上接装井下使用的岩心管（或者以相同重量的物体代替），岩心管上端接装冲击器的下砧，而且要施加与钻进时相同的静压力。这些条件具备之后，再用冲锤以自由落体的方式向试验钻具上施加冲击负荷，以冲击岩样。这样模拟的结果，会与井下钻进情况更为接近，所测得的最佳冲击间隔也更为符合实际。

如果单以冲锤直接冲击硬质合金冲击刃做试验，而所测得的冲击间隔数据必与实际钻进有很大出入。因为在井下钻进过程中，冲击能量是由下砧经岩心管传至钻头上的冲击刃而作用于岩石，这样的能量传递过程，首先要克服下砧和岩心管由静态到动态的惯性力和对冲击波的部份吸收之后，剩余能量才通过冲击刃作用于岩石。

模拟轴心压力，即在试验钻具上施加静载荷，这不但能改善冲击能量的传递条件，而且通过冲击刃在岩石上施加了预压应力，这与不加静载的试验结果也有很大出入。

附表中是实测数据，从这些数据也可以看出模拟实际钻进条件的必要性。试验岩样是可钻性为Ⅴ—Ⅵ级灰岩。试验钻头冲击刃长12毫米，刃角90°，冲锤重2公斤。

对试验结果的分析：

1．试验条件不同，击入岩石同样深度而耗功不同，从表中数据比较，钻进时给冲击刃以适当的静载是必要的。

2．同样质量的钻具，冲击功越大，被钻具所吸收而损失的功也越大。这是由于冲击能量的增大而引起钻具由静态变为动态时所产生的加速度也增大，即产生较大的惯性力要吸收或消耗较大的能量。从这一点考虑，减小钻具质量，采用较小口径或采用较短岩心管是经济的。

3．从冲击单位容积陷窝的功耗和崩落单位体积岩石的功耗分析，适当冲击功的效率高，耗功少。

试验项目 \ 试验条件数据	试验Ⅰ			试验Ⅱ		
	试验钻头上加接岩心管和冲击器下砧	同左	冲锤直接冲击试验钻头	试验钻头上加接岩心管和冲击器下砧	同左	冲锤直接冲击试验钻头
单位刃长静载(公斤/毫米)	16.93	0	0	17.78	0	0
击入岩石深度（毫米）	0.57	0.57	0.57	1.06	1.06	1.06
最佳冲击间隔（毫米）	5	5	5	11	11	11
落锤高度（米）	0.6	0.7	0.4	1.5	1.9	1.1
冲击功（公斤·米）	1.2	1.4	0.8	3	3.8	2.2
钻具功耗（公斤·米）	0.4	0.6	0	0.8	1.6	0
单位刃长冲击功（公斤·米/毫米）	0.067	0.067	0.067	0.18	0.18	0.18
冲击陷窝容积（毫米³）	3.9	3.9	3.9	13.5	13.5	13.5
单位容积功耗（公斤·米/毫米³）	0.2	0.2	0.2	0.16	0.16	0.16
岩石崩落体积（毫米³）	34.2	34.2	34.2	140	140	140
单位体积功耗（公斤·米/毫米³）	0.023	0.023	0.023	0.016	0.016	0.016

注：1．单位刃长冲击功是按总功减去钻具功耗计算；
2．单位容积功耗与单位体积功耗计算法与上同；
3．岩石崩落体积是按平均值计算。

四、转速计算公式的推导

调整转速是为了保证以最佳冲击间隔进行钻进，所以计算转速是获得最佳钻进效果的重要依据。

计算公式的推导

设：

D—钻头外径，即标称口径（毫米）；

δ—钻头唇面壁厚（毫米）；

dm—钻头唇面中径（毫米）；$dm = D - \delta$

f—冲击频率（次/分）；

π—圆周率，取 $\pi = 3.14$；

S—最佳冲击间隔，在钻头唇面中径上取得的弧长（毫米）；

n—转速（转/分）。

（关于S值的说明：最佳冲击间隔一般数值较小，可以近似地作为弧长直接代入公式。如果冲击功很大，测定的最佳冲击间隔数值较大，而使用的钻头口径又很小，则必须以测定的数值做为弦长，再换算为弧长，然后代入公式。）

令钻头每转一周受到的冲击次数为 c

则 $c = \frac{dm\pi}{s}$ （次/转）

钻头在迴转中，每分钟受到的冲击次数即冲击频率 f：

$$f = nc = \frac{ndm\pi}{s} \text{（分/次）}$$

则 $n = \frac{f}{c} = \frac{fs}{dm\pi}$ （转/分）

$\because dm = D - \delta \quad \therefore n = \frac{fs}{\pi(D-\delta)}$ （转/分）

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

井上模拟试验测定的最佳冲击间隔 s 值，只是模拟主要条件；冲击频率 f 值是在测试台上模拟井下背压条件测定的数值，但在实际钻进过程中，比井上模拟条件要复杂得多，因此这个公式的 n 值要以系数 K 加以修正，使之更接近井下实钻情况。所以，公式应为：

$$n = K\frac{f\,s}{\pi(D-\delta)}\ (转/分)$$

影响 K 值的因素：

1．钻头硬质合金有无内外出刃的交错镶焊（这很重要）；

2．冲击刃磨钝的状况；

3．大粒度岩屑在井底二次破碎的情况；

4．水量、泵压的稳定程度；

5．轴心压力的稳定程度（这不重要）；

6．岩层的裂隙和岩石组织结构的不规则变化；

7．其他。

K 值显然不是常数，确定 K 值需要大量的试验工作，但在一般情况下，可取 $K=0.8\sim1$。

若设：

$D=91$毫米；

$\delta=7$毫米；

$f=800$次/分；

$S=3$毫米；

K取0.8；代入上式则

$$n = K\frac{f\,s}{\pi(D-\delta)} = 0.8\times\frac{800\times3}{3.14\times(91-7)}$$
$$= 7.26\approx7\text{转/分}$$

五、冲击回转钻其他性能的发挥，也要依赖于低转速的配合

减小钻孔弯曲程度，是冲击回转钻的又一突出的优越性能。形成这种性能的原因，除了冲击起重要作用之外，根据萨尔基索夫公式半波长与角速度成反比的关系，大幅度降低转速也是一个非常必要的条件。如果用常规转速打冲击回转，对于改善钻孔弯曲，就很难取得理想的效果。

低转速对岩心能减弱机械破损，有利于提高取心率。

低转速降低了钻头线速度，减弱了岩石对冲击刃的磨损，延长了钻头使用寿命。由于这一作用，也提高了回次长度，减少起下钻次数。在强研磨性的岩层中钻进，这种作用更为显著。

低转速能减少钻具对井壁的碰撞和摩擦，既有利于护壁，又可延长钻具使用寿命。

以上对转速与钻速之间关系的认识，是我们在钻进实践中所遇到和所考虑的。提出来和同行们共同讨论，并共同研究解决的办法。

（上接第 8 页）

道掘进机械化较为成熟的设备，在一些使用单位受到工人和技术人员的欢迎。在使用“三车一机”后，再要他们使用气腿凿岩，“三车一机”机械化程度较高，能达到改善工人劳动条件、减轻劳动强度，提高掘进速度的目的，今后应该巩固提高，在中深坑道中广泛使用。

（二）地勘-1型装岩机原为与 T-04 型矿车（0.4 立方米）配合使用而设计的，与现用“三车”不相匹配，主要是效率低，高度低，影响梭车的装满系数。河北三队为配合梭车使用，已将地勘-1型装岩机的高度，加高至1195毫米，抛碴距离增大近 200 毫米，后车储碴高度增加了 150 毫米，梭车装满系数达 85～90%。由于结构和加工质量等原因，以致有的队不愿使用地勘-1 型，而使用矿山部门生产的华-1 型装岩机，而这种装岩机较为笨重，最大部件重达 1500 公斤，不太适宜于地质勘探使用，因此，普遍地要求能设计一种新型装岩机与“三车”相匹配。

（三）使用“三车一机”后，各地还普遍要求对与之相适应的爆破，通风等工艺进行研究和采用马蹄形、十字（Ⅰ）（Ⅱ）形钎头、成品钢钎等新型凿岩机具，以进一步发挥“三车一机”的效能。并大力推广新型高质量水胶乳化油炸药、塑料导爆分段雷管等新型爆破材料，以提高爆破效果。

（四）内燃牵引机车虽然安有净化装置，但净化效果并不很理想，以致有的单位不愿采用内燃机车而采用电瓶机车，因此，还需对净化装置作进一步研究，改善净化效果。同时还需加强对通风的研究，改善通风条件，彻底解决柴油机进坑问题，为全面推广“三车一机”扫除障碍。

（五）据使用单位反映，“三车一机”总的说来，是适合于地质勘探中深坑道使用的，但在结构和加工工艺上尚有若干问题需要改进和进一步提高产品质量，如改进托钎器的结构，以保证开眼时钎头的稳定性，改善自行机构的机动性，打底眼时容易损坏油管以及噪音过大对工人健康的影响等等，都需进一步研究，逐步予以解决。

刘志伟 整理

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net