

凿岩爆破技术

武钢科协学会部

一九八六年



118
我部组织印制的澳大利亚1977年“DRILLING AND BLASTING TECHNOLOGY”
资料，作者是哈根（Hagan），哈利斯（Hakkies）等。

本资料全面介绍了著名的哈利斯爆破理论，详细论述了牙轮凿岩的理论及实践。并对岩石性质对凿岩爆破的影响问题作了精湛的描述，这是一部理论与实践相结合的著作，可供从事凿岩爆破的专业技术人员之用。

本资料译为张家凯同志。江国正、周邦杰、邹运琳、胡代光、张姣春等同志参加原文、译文和技术文字等的校对工作。由于时间仓促和我们的经验不足等致使译文不确之处在所难免，请予指正。

序 言

在过去的一个世纪中，人们为了改进自己的生活方式，在破碎地壳的能力方面已取得了巨大的进步。炮孔打眼，以及随后的装药和爆破已是随意地破碎所需要的矿石矿物或岩石的主要方式。

凿岩和爆破技术不是停滞不前的。最近20年以来，在牙轮凿岩形式以及爆破剂铵油及水胶类型的两类炸药的发展方面已表明了凿岩和爆破技术的真正革命。在现今的露天矿采矿作业中，直径达310毫米，每孔装一吨或更多一些低成本高能量炸药的深孔是平常的事。

人们破碎和搬移爆过岩石的能力大大提高了。不仅是由于在凿岩试验矿区和在炸药实验室方面的研究结果，而且在很大程度上是由于对爆破中产生的炸药与岩石相互作用和对破碎机理的认识迅速深化而带来了这种能力的增加。

在《工程技术与采矿杂志》（1976年6月）中，在“铁燧石外观”（“The Taconite Profile”）标题下发表了如下的观点：

“由于大多数工程师把炸药看成是廉价的能源，而铁矿石的破碎和磨细到能从中回收含铁矿物颗粒粒度又是很耗能量的，因此把极大的注意力放到凿岩和爆破技术上。在电铲、载重卡车、溜槽、给矿机、破矿和磨矿设备的磨损面上也消耗大量的钢——在某些铁燧石矿山每一英吨矿高达10磅。所以，在适当的范围内，矿山管理人员为了所要求的碎块尺寸力求将破碎工作量减小到最低限度。”

一般说来，采矿、采石和岩石的挖掘是由许多单项作业所组成的。许多管理目标没有考虑对下步作业的影响，而只是想将每个单项作业成本减至最小。降低成本是一个有价值的和需要的目标，但应该建立在总的生产成本的基础上。任何成本最佳化程序必须根据技术和经济观点因

者来检验，以便在改变任何作业时，能对本作业和随后作业的影响加以精确评价。

由于成本和那么多的其它工序（装载、运输和破碎）的效率取决于在为首的地方获得最佳的岩石破碎，所以，凿岩和爆破作业需要特别注意。

良好的一次爆破不是碰巧发生的，它们是炸药的正确选择、好的爆破设计和大量仔细工作的结果。炮孔尺寸和倾角、炮孔布置、炸药的类型和数量、岩石类型、以及装药和起爆技术对总的作业效率有明显的影响。如果要得到最高的总效率和最低的作业总成本，那么凿岩和爆破的全局都必须适当地予以设计。

我们都知道，很多人把爆破看作是技巧而不是科学。对凿岩也有同样的看法。本[“工厂课题”（Workshop Course）]的目的是在帮助人们以科学来代替技巧，而且，我们可以满怀信心地说，在下一个十年之内，岩石破碎已不再有什么奥秘，而是一门技术或者说得更确切些是一个靠科学原理来管理的生产。

参与本课题研究的许多人，在他们的特定团体以及他们所调查的其他团体中精通凿岩和爆破实践。这意味着，知识和情报高水平的交流是必然发生的。而好处则比这更为深远。我相信，在会议结束后，我们的能力的总和将大于初期。讨论是发明创造构思的促进剂。这些课题中创立的任何新的思想、概念或理论都将成为推动我们技术前进的出发点。就新创立的观念的发展而论超过了初期阶段，它们指出了达到最佳爆破应遵循的正确步骤——提高采矿、采石或工程施工方面的效益。

第一章	
露天矿炮孔的牙轮凿岩·····	1
第二章	
炸药·····	16
第三章	
最佳的引爆、起爆和辅助起爆系统·····	22
第四章	
岩石性质对爆破效果的影响·····	33
第五章	
爆破理论·····	43
第六章	
爆破的几何尺寸和引爆顺序对爆破效果的影响·····	66
第七章	
延发时间对爆破效果的影响·····	80
第八章	
肯尼迪露天砂岩矿的凿岩和爆破·····	90
第九章	
地下矿大直径凿岩和爆破·····	93
第十章	
地下大直径炮孔爆破的某些研究·····	100
第十一章	
超爆控制爆破技术·····	112
第十二章	
爆破公害·····	128
第十三章	
减少爆破公害的某些研究·····	134
第十四章	
成本最佳化·····	143
附图及附表	

第一章 露天矿炮孔的牙轮凿岩

内容提要：本章介绍大型露天矿山出现的炮孔凿岩的主要方法牙轮凿岩法。详细叙述了现有钻头的设计和类型，以及钻头设计和岩石类型之间的关系。在讨论切实可行的评价效果的方法的同时，还讨论了最佳的牙轮刀具和牙轮凿岩技术。本文中，特别把空压机的作用放在相当突出的地位。为了提供凿岩作业的经济分析，对要求详细记录和注意保存资料方面也相当详细地进行了论述。

第一节 前言

在最近二十年中，钻头设计的改进和大型钻机的使用扩大了牙轮炮孔凿岩的应用范围。凡能用直径大于150毫米炮孔作业的地方，牙轮凿岩方法实质上在所有的岩层中比其它凿岩方法（例如，冲击式钻机和喷射式穿孔机）能取得更好的经济效益。在这二十年中，尽管很注意高压锤头设计和改进喷射式穿孔机的喷嘴设计，冲击式钻机和喷射式穿孔机可供选择的大直径炮孔方案还是表明成本效益的改善并不明显。

在澳大利亚和世界其它地方，大型露天矿场现在已几乎全部使用牙轮钻机，这对牙轮钻机的优越性提供了初步证据。另外，地下矿生产中正在使用较大直径炮孔的地方，牙轮凿岩经济上的优点使这种技术的采用超过冲击式凿岩（例如，加拿大安大略省蒂明（Timmins）县得克萨斯湾的生产）。只有在冲击式钻机的重新设计方面或者更多的目前正在研究的吸引人的凿岩方法方面有特别的技术突破，才可能取代牙轮凿岩的优越地位。当然，在炮孔直径较小（小于75毫米）情况下，风动或液压凿岩机仍然是露天矿和地下矿生产的标准钻机。仅仅在中间范围（大约75—150毫米）炮孔的情况下，冲击式钻机才真正具有吸引力。在保持命题和上述条件一致的情况下，本书代表了作者对露天矿牙轮凿岩的理解和对最佳化问题进行实际探讨的观点。

作者在露天铁矿工业实践的七年多期间内进行了这种探讨和理解，在此，感谢各种钻机和钻头生产厂家有益的帮助和建议，他们的产品目录和说明书乃是凿岩知识库。

第二节 牙轮钻头和炮孔牙轮凿岩的出现

现代牙轮凿岩和牙轮钻头，就我们所知，十九世纪末期和二十世纪初期在美国油田就开始采用了。从这以后，牙轮钻头已发展成为精密工具。它们是机械和冶金工程知识与实践结合的最高水平的产物。正如一个旋转车床的每个机械部件和功能具有使被切削物件和切削刀具之间正确接触成为可能的最终目的一样，作者把牙轮钻本身看作是使被钻的物料（岩层）和通过岩石凿孔的精密工具（牙轮钻头）之间最佳接触成为可能的最终目标功能。

在牙轮炮孔凿岩取得当前优胜地位的进程中，重点全部集中在钻头上。所有其它的进步，虽然是重大的，但都是对改变钻头设计的补充或后续，而目的则往往是在于使钻头对岩层的冲击最佳化。

第三节 牙轮钻头的类型

一、刮刀钻头

刮刀钻头是用在油田作业中的最初的牙轮切削钻头，并由于冶金和基础设计的进步，仍然发现这种钻头适用于软岩层的油田和软岩层的炮孔作业。切削刀片或者是与钻头本体一起整体锻造的，或者镶嵌在钻头本体上。当钻杆旋转时，刀片与钻头本体成一体而旋转。切削作用类似于钻孔方式中的磨头。这样的作用最适合于很软的和很粘的岩层。孔的清扫可能是个问题。

目前的刮刀钻头设计与早期的鱼尾形钻头相比说明了冶金技术在钻头改进方面已起了重大作用，鱼尾形钻头在石油工业中曾经是标准钻头。刀片外形的设计、原来的线接触平衡转变为炮孔底上的轴向负荷平衡，在刀片上采用表面淬火并烧结的硬质合金、水、风线路的较好配置和改进喷嘴材质已成为这种类型的钻具在相适应的岩层中继续获得成功的原因之一。

二、滚动刀具钻头

尽管有刮刀钻头的改进和使用，牙轮凿岩还是被限制在软岩层中使用，较坚硬的岩层在被大孔径的情况下一般用钢绳穿孔机打眼，直到1909年发明滚动圆锥形刀具岩石钻头为止。采用在孔底液压的两个圆锥刀具的第一个牙轮凿岩钻头，引起了牙轮凿岩在经济效益上的革命，并导致全世界普遍承认和在石油工业中使用牙轮凿岩。

1909年以来，由于生产实际中有许多改进，设计和冶金的进步很快。在许多改进取得成功以后，1933年报导了采用内嵌钻齿的三锥牙轮钻头（现今炮孔钻头的前身），这是1909年以后凿岩钻头基本设计的最重要的变化。与此同时，由于提高了对滚子圆锥钻头“切割”不同岩层方式的认识，就发展了特殊类型的钻头以适应各种岩石不同的要求。

直到1949年为止，使用含有各种各样浆状添加剂的水作为润滑和冷却牙轮钻头的介质，并且将钻头上的钻屑冲洗出炮孔。1949年，在石灰石和白云石采石场的浅炮孔凿岩试验表明，空气作为冷却介质比水有利。在采石场中采用空气作业，钻头进尺提高了一倍而穿孔速度也几乎提高了一倍。这表明牙轮凿岩作为大直径炮孔最经济的凿岩方法出现，使凿岩方法前进了一大步。在这之前，以水作为介质曾经是明显地不适合于穿孔作业。众所周知，在炮孔牙轮凿岩方面，使用空气作为冷却介质现已成为标准的工艺。

发展到今天的三锥牙轮炮孔钻头的过程中最后一大步是在1951年，那时设计了第一批碳化钨硬质合金镶嵌的钻头，在燧石和其它坚硬、耐磨的岩层中使用，提高了穿孔速度和延长了钻头寿命。由于牙轮凿岩在石油工作中已经普遍采用，这种钻头能为油井钻机甚至最坚硬岩层提供经济的凿岩工具。如果已经完成所用到的切割力的合理计算，已经研究了采油作业中所切岩石抗压强度，而且其计算及研究的结果也已经取代了采矿工业中有时偶然陈述的悲观的保守主义论调，那么，喷射式穿孔机、钢绳穿孔机和冲击式钻机就会更早地让位于牙轮钻机。事实上，在大炮孔作业中，冲击式钻机可能从来也没有比绘图板有更多的奇特性。在二十世纪五十年代，至少有一家公司看到牙轮钻在炮孔凿岩方面的潜力，从而由生产喷射式穿孔机和钢绳穿孔机直接转产牙轮钻机。结果，在大直径炮孔钻机的生产方面这家公司几

在一十年间享有绝对的优势。在六十年代后期，当牙轮钻已用来钻富拉玄武岩铁矿区的石英岩，甚至在更不利的情况下，在塔斯马尼亚和皮尔巴拉小型铁矿也已成功地使用牙轮钻的时候，在澳大利亚，技术上的不幸是国家目前最大的和第二大的铁矿生产矿山仍然选用冲击式钻机。在两种情况下，很快就认识到了并纠正了这种错误。富拉玄武岩铁矿生产者在坚硬石英岩中改用牙轮凿岩的原因之一是由于喷射式穿孔机不能钻进石英岩中的石棉矿脉，这是公正的，除少数例外，大多数炮孔的牙轮凿岩都是用三锥钻头进行的，用空气作为钻头冷却剂和润滑剂以及作为除去钻屑的介质。因此，本书就根据这一点着重研究采用三锥钻头和空气冲洗的炮孔牙轮凿岩。

第四节 钻头和岩石互相作用的基本原理

起初，凿岩钻头的外观可能使人们认为它的凿岩和打眼方式从某种意义上来说与其它的打眼方法没有联系，可是，根据分析，却存在许多相似之处。

如果人们要在松软的庭园沃土里挖掘小孔，第一步是要用铁锹并把铁刃插进土壤，然后将杠杆作用应用于铁把，使铁锹挖起或撬开土壤的草皮。反之，只把铁刃插入土壤并且把它直接拔出，那么只挖了个铁刃印，但没有被撬动。

在软岩层三锥钻头的设计方面，锥齿在某种意义上设计成直接类似于前述锹的作用。锥齿宽、薄、深并且间距大，而且为了使它们能凿孔和刮削或撬开岩层，圆锥设计成偏心的或偏斜的。

如果在混凝土路上打孔，锹显然是无用的。根据所需要的孔的大小，人们可以用星形钻和大铁锤打眼或者只用大铁锤打眼。目的是以很重的局部载荷产生超过混凝土层强度的应力使混凝土捣碎或破碎，于是形成的碎渣或碎块就成碎片而被清除掉。

为了经得住很高的载荷，坚硬岩层钻头的锥齿必须是短、粗、数量众多并紧密地排列在一起的。还必须有最小的刮削作用，使高强度耐磨岩层不致于损坏或磨损锥齿。

一、钻头术语

由于人们在专业技术方面所作的多方面的努力，已逐步形成牙轮钻钻头所特有的术语。三锥钻头的各种另件和专门术语例举于图1和图2中。三锥钻头是由三个牙爪装配而成，每个牙爪带有轴颈和刀具。三个牙爪和各种零件装配在一起形成完整的钻具。

二、今后钻头设计的设想

钻头设计一开始就得考虑每个零件必需适合所打的炮孔。显然，在钻头设计方面，就是其直径比炮孔尺寸大零点几英寸也无法使用。

钻头设计像在大多数情况下一样，只将某个或某些零件做得小些，才能使另一个零件做得大些。它是包括了一系列综合考虑的结果。

三、轴颈角度

钻孔也要求刀具在支撑部件的外面工作。为此，凿岩钻头轴颈要安装成一定角度，这个角就叫“轴颈角”。它是轴颈中心线与水平面的交角。轴颈必需成一定的角度这对于以后钻

头应承担的连续操作是有极大的影响的。

牙轮钻头设计最基本的一步是确定轴颈角度。对于给定的地孔尺寸来说，轴颈角决定刀具的尺寸。当角度增大时，刀具尺寸必须减小。反之亦然。图3举例说明了适用于坚硬岩层和软岩层的钻头轴颈角和刀具尺寸之间的基本关系。

四、刀具的外形

钻头对孔底岩石的作用在很大程度上受刀具尺寸和形状，即为刀具的外形所控制。

刀具外形可以设计成接近于“纯滚压”作用或者设计成能产生刀具“刮削”作用。

当打眼时，纯滚压刀具就会产生刮削——压碎作用。当打眼时，刀具刮削就产生刮削——扒刮作用。图4是“纯滚压”刀具和“刮削”刀具外形的简要说明。

坚硬岩层钻头——嵌镶式和齿式两种类型，近似于纯滚压。在坚硬岩层中，这些钻头的刮削——扒刮作用往往会使切削元件过早磨损。

五、偏斜与偏心

设计软岩层钻头时要考虑获得最大的刮削——扒刮作用。因为这些钻头上的齿实际上深深地凿入岩层，为了以最好的方式撬松岩石，就需要这样的作用。

显然，中等硬度岩层钻头必须是纯滚压和刮削刀具之间的折衷外形。

象刀具外形一样，刀具偏心或偏斜也能用来控制钻头对孔底的“作用”。刀具偏心是轴颈中心线到钻头中心线的距离。偏斜角是偏心和沿轴颈的轴线某一预定点所对的角。图5表示有偏斜的和无偏斜的圆锥的配置图解。

显然，因为偏心也产生刮削，所以，软岩层钻头具有最大的偏心，坚硬岩层钻头起纯滚压作用，具有最小的偏心。

六、轴承

自1909年以来，在牙轮凿岩钻头中已经应用了许多不同的轴承结构。迄今，最适合于三锥牙轮钻头的轴承结构已证明是图6所示的滚柱——滚珠——摩擦型。

轴承的不同部分有很特殊的作用。施加于钻头的重力径向载荷由滚柱轴承和摩擦或顶部轴承承受。止推块和摩擦枢轴的端面承受沿轴颈轴线向外的推力。滚珠轴承可承受这个推力载荷的一部分，特别是在摩擦枢轴的端面已经发生某些磨损之后。滚珠轴承的另一个重要作用是把刀具固定在轴颈上。

承受径向载荷的轴承结构的摩擦部分由压入锥轴套中的特殊表面渗碳硬化的不锈钢衬套和在轴颈端部的用特殊合金使它表面硬化并经磨光的摩擦枢轴所组成。摩擦枢轴与衬套相结合的结果就产生耐热、防卡和耐磨的低摩擦系数。

在摩擦枢轴端面上，止推轴承由同样经表面硬化和被压入刀具轴套配套的耐磨止推块所组成。这个很重要的面承受着锥的大部分外向轴推力。

七、进一步进行实用设计的要点

除了上述的牙轮钻钻头的基本设计需要考虑的事项以外，还必须考虑在地孔凿岩中发生的某些特殊情况。属于这些需要考虑之列的是：

1. 齿与嵌镶件的形状和孔底接触面积。

• 4 •

2. 冷却轴承的空气,
3. 空气喷嘴,
4. 回流阀,
5. 爪背的保护装置。

嵌镶件的形状和间距极大地影响炮孔钻头在不同类型岩石中的性能。当首次利用碳化钨嵌镶件时使用了端部呈半球状的嵌镶件, 因为这种形状具有碳化钨原有的强度。这种形状和整个孔底接触面积合起来对于极坚硬岩层仍然是最好的。

由于嵌镶式钻头的采用逐渐增加, 人们发现用它来凿较软岩层是经济的。最初, 钻头嵌镶件按较宽间距放置, 使用于中等硬度的岩石。近年来, 用“定形”的硬质合金嵌镶件已经取得引人注目的效果, 图7示出各种嵌镶件的一般形状。

由于各种嵌镶件形状已经得到推广, 于是, 为了获得最佳的钻头寿命和特性, 使它们具有适当的间距就变得越来越重要了。钻头制造厂所采用的各种各样的间距, 是通过经验、研究和试验的综合比较而获得的。当然, 将合用的间距综合起来考虑是经常的事。图8举例说明一个制造厂具有代表性的嵌镶件的形状和孔底接触面积。

鉴于在炮孔凿岩方面使用三锥钻头, 空气用作吹除钻屑的介质, 那么使一部分空气分流而直接进入轴承以便冷却钻头轴承, 这是显而易见的。

为了使穿过钻头的空气量足以产生压力降, 要给钻头安装易于变换方向的空气喷嘴。

在多通道凿岩中, 在注入水或碰到地下水的地方, 弹簧承重的回流阀能避免关闭冲洗空气后碎屑和泥浆堵塞轴承引起的钻头故障。

爪背的保护装置是牙轮钻头最重要的特征。嵌镶的钻头一般烧结硬质合金嵌镶件与表面硬化相结合, 而齿形钻头一般只有表面硬化层。没有保护装置, 爪背就会磨损并使滚珠轴承暴露在岩屑颗粒之中, 结果使轴承毁坏。

第五节 三锥牙轮钻头的运转

由于提出了三锥牙轮炮孔钻头金相的和机械密度的简图, 现在它已成为这种精密钻具的最佳使用的重要因素的补充。仅次于劳动工资, 钻机钻头构成大直径炮孔成本中的最大一项。这样, 按前言中的以车床作比方, 联想到本节介绍, 都支持这样一点, 即牙轮凿岩研究的着眼点是, 钻架、钻杆和传动装置, 钻杆附件和冲洗空气等都要有一个最终目标。换句话说, 要确保牙轮钻头在炮孔底是处于最佳条件下操作。

一、钻杆和钻头的稳定性

由于三锥钻头是一个精密机具, 人们希望操作人员相信, 能很省力地进行操作, 确保按设计绕自身的及炮孔的中心线旋转的三锥钻头能象一个齿箱那样, 其驱动轴必须受轴承及轴承座的约束以绕自身的中心线旋转。

根据统计上有效的批量规模钻头的检查试验, 作者证明有效的稳定性是有助于钻头获得最佳性能的主要因素之一。

1. 稳定性

在牙轮炮孔凿岩应用方面钻头稳定性的简明含义是保持钻头中心线、钻杆中心线、驱动卡盘中心线和炮孔中心线尽可能地重合一致（当然，这个定义并不包括深部定向凿岩在内的油井作业）。更广义的定义是，钻头的稳定性要求保持对钻头的轴向推力线与钻头中心线尽可能地重合并且保持钻头中心线与炮孔中心线重合。这就确保向下的推力在钻头的三个锥上均匀地分布，防止任何一个锥超负荷，并且也确保钻头围绕它自己的中心线转动。

2. 在牙轮炮孔凿岩中保持稳定的方法

在牙轮炮孔凿岩方面，最普遍的孔底部组件是：

- (1) 三锥钻头直接与没有稳定器的钻杆对接（图9），
- (2) 焊接的叶片型稳定器与钻头和第一根钻杆之间的钻具组对接（图10），
- (3) 滚动型稳定器与钻头和第一根钻杆之间的钻具组对接（图11）。

3. 稳定器的作用

当使用带顶部驱动的旋转头结构（例如，布赛勒斯埃里型（Bucgrus Erie）60——R 钻机）的任何孔底组件钻孔时，钻具组势必相当于一个细长柱，并且对弯曲非常敏感。在图12. 所示的组件中，钻头对钻柱起底部支点的作用。任何钻柱的弯曲，并从而围绕这个支点旋转会导致孔底组件产生角偏差，并且对钻头产生偏心的负荷集中。

这种在钻头上受到向下推力的偏心分布带来三种不良影响：

(1) 当钻头旋转时，全部推力就从一个锥轮换到另一个锥，这使锥齿或硬质合金块超负荷而很快地碎裂和破碎。

(2) 当钻头旋转时，锥上的超负荷向下推力转变为沿锥的轴承枢轴的周期性推力。这种轴向推力增加到某点时，滚珠及前部轴承（见图6）都受力过大，滚珠的法兰破裂，一般要引起轴承过早地损坏。

(3) 外侧的定位切削齿或硬质合金嵌镶件是全部锥齿中超负荷最吃力的地方。这些齿发生破碎则锥呈现出“苹果状”。钻头寿命大大降低而且钻头磨损在这种情况下势必会打出尺寸过小的孔。

当钻头跟随着构造面打眼并且成为一个对钻具组的弯矩（见图12. b）时，再次产生角偏差，同样的总影响是明显的。

使用这种组件时，钻头的中心线偏离炮孔的中心线可是仍然平行于炮孔的中心线也是常有的（即，平行偏差，见图13. a）。在某些平行偏差的情况下，钻头围绕它自己的中心线旋转，但钻具组则遭到孔壁的严重磨损，这也是可能的。

对角偏差和平行偏差两者的综合作用能加以最好的形容，是地方性土语，叫“咖啡磨削”（即钻头围绕某一中心线而不是围绕它自己的中心线旋转或“移动”，图13. b）。这导致在炮孔底部产生轮廓明显的未切削岩石的同心圆环，使锥齿或硬质合金迅速磨损，并且由于刮削作用而降低钻头寿命。

如果我们研究带有稳定器组件的图12. c，就可看出来，叶片或滚筒对孔壁来说实际上是起着将它限制在水平面上运动的作用。这种限制使孔底组件和钻杆柱变得有劲，而且如果钻

杆弯曲，稳定器的顶部就有了一个支点。因此，首先如果发生弯曲，也不会使钻头偏斜，其次由于稳定器给予钻具以极大的刚性，要使钻杆弯曲就得要有较高的荷载才行。叶片或滚筒也对孔壁发生作用以便防止钻头基跟其构造而可能产生的任何弯矩。稳定器对孔壁所起的同样作用是预防平行偏差和“咖啡磨削”。

由有效稳定作用带来的并且很少讨论的一个附带好处是，可以对钻头施加更大的向下轴向推力，而不致引起偏斜和偏差。有条件的提高向下轴向推力一般意味着更高的穿孔速度，而且，如果不出现偏差，则钻头寿命就能保持相对稳定。

4. 与没有稳定作用相比，叶片稳定器的优点

1972年，作者对不同孔底构件进行了一系列的试验。两组试验采用270毫米钻头，一组装有叶片稳定器而另一组没有稳定作用。结果清楚地表明，与没有稳定作用相比，叶片稳定器具有较长的钻头寿命。

在进行没有稳定作用试验中，观察到一些有很大影响的情况。所凿炮孔在孔壁上呈现不规则的类似螺旋状的图案，虽然用270毫米钻头打孔，但每米孔的体积与用装有滚筒稳定器的311毫米钻头所打的孔的体积是一样的。这表明有大量的“咖啡磨削”。观察磨钝的钻头，也得出了同样的结果。在所有钻头中定位切削硬质合金几乎全部毁坏，而在17个钻头中9个发生轴承过早损坏。在两次独立的事例中，当操作人员企图用新钻头把偏斜炮孔打完时，钻头都过早地毁坏了。定位硬质合金完全破碎，而且硬质合金刀片毁坏了切削装置的剩余部分。

5. 与焊接的叶片稳定器相比，滚筒稳定器的优点

在关于稳定器作用的讨论中，关键词是“有效的稳定作用”和对有效稳定器组件所作的解释。叶片稳定器在“新的”情况下，几乎和滚筒稳定器一样有效。然而，叶片的外部直径起初应该略小于钻头直径或充其量有紧贴孔壁的倾向，直到叶片稍微磨损之后，穿孔速度才会提高。在打二个或三个18.3米孔甚至在软岩层凿岩中，即使使用硬质合金片，叶片稳定器也会磨损到这种程度，其有效性与图9中的组件几乎没有差别。相反，图11中，组件上的滚筒安装在大直径工具钢轴承轴上并自由地围绕用循环空气冷却的轴旋转，依钻具尺寸和岩石条件，这种组件一般保持15000—20000米凿岩的定位和有效稳定作用。按作者经验，要得到比较好的稳定作用，每当钻具安装上新钻头时，必须更换叶片稳定器。然而，即使采取这种措施，组件磨损情况近似于图9，而不太近似于图11。为了减少更换叶片稳定器所浪费的时间以及减少购买这种稳定器所支付的费用，生产上往往是换两个或三个钻头才更换一次叶片稳定器。作者发现，虽然叶片稳定器可以修复，甚至不计算钻头寿命在内，它们的每米成本与滚筒稳定器相比，仍然是不利的。

叶片稳定器与滚筒稳定器进行同样检查对比实验的结果表明，当使用滚筒稳定器时，251毫米钻头，寿命提高23%；311毫米钻头，寿命提高43%。

必须懂得，上面简单讨论了的试验都是在一个特定作业条件下进行的，在这里介绍的只是说明钻头和钻杆稳定作用的重要性，而不是说滚筒稳定器象灵丹妙药。

二、平台套筒

钻杆受约束的主要部位，除炮孔中的稳定器和钻杆与普通类型的旋转驱动连接点之外，

是在钻杆通过钻机工作平台的这一点上。尽管钻杆能自由旋转，但此处的约束必须是稳定的，并且是同圆心的。到目前为止，用于此处最成功的套筒是白口铸铁的。钻杆磨损与岩屑磨损相比是小的。现在，一些厂商出售滚珠轴承装配的旋转平台套筒，象设计和冶金方面的进步一样，在经济上具有吸引力。延长了寿命并因此减少钻机停车时间已经是一件吸引人的事情。

虽然人们认为钻杆驱动力对准中心是理所当然的，但对钻架和运行中齿轮传动装置（例如，驱动头）进行定时的仔细的检查是必不可少的。在这个范围内的偏差，如同不恰当的孔下组件一样，会带来很多问题。

三、空气、承重和旋转

在给定的岩石类型中采用给定的三锥钻头类型，钻机操作人员有三个直接控制和影响钻头寿命及性能的基本参数要掌握。这些参数是：空气循环量、钻头承受的重量和旋转速度。

对这些参数的基本要求说明如下：

(1)空气——空气的供应必须足以确保本孔的清洁和钻头轴承冷却。为了选定通过钻头的空气流量和压力降的最佳值来冷却轴承，必须重视主压风机的选择。

(2)重量——下坠到钻头上的重量应该足以使钻头有效地工作而不致造成钻头“停摆”或轴承过度磨损。钻头的基本设计对重量的规定通常列入厂商产品目录项目中，单位为一单位钻头直径的重量。

(3)旋转速度——钻头旋转速度应该足以使钻头正常工作和“打眼”而不引起轴承过早破坏或切削结构过早损坏。

1 空气

正确的吹出或冲洗速度取决于炮孔的状态和岩石密度。当岩石致密且（或）钻屑潮湿，和（或）穿孔速度高的时候，吹洗速度应该是极高的。在高的穿孔速度情况下，提高吹洗速度确保所产生的钻屑迅速清除，并使下一次打孔的孔底保持清洁而且保持轴承冷却。

牙轮凿岩用空压机

用于风动牙轮凿岩的空压机有两种普通型号：

卸压范围为 100 — 120 磅/吋²的两级空压机和卸压范围为 40 — 60 磅/吋²的单级空压机。采用的运行压力值随空压机厂家对各种型号的推荐值而定。

风动牙轮炮孔凿岩机上，最普遍使用的各种空压机的额定风量范围从 350 呎³/分 直到高达 1950 呎³/分。通常，在一台钻机上并联使用两台空压机。在两台空压机并联的情况下，某些钻机风量可以高达 3800 呎³/分。

在牙轮风动凿岩中采用推荐的重量和转数时，我们始终关心在适当压力下的风量以及为取得最佳钻头寿命所必需的足够的风量。风量大小应是使钻杆和孔壁之间环隙中具有所要求的上升速度（依岩石的比重而定）。

对于一定的岩石密度，环状空气的速度可用斯托克斯定律并假定钻屑为球体及圆盘来近似地计算。图 14 中的照片 1、2、3 很清楚地描绘空气吹洗速度要求的某些形象。图 14(1) 示出两种特定粒度赤铁矿块（比重达到 5）。粒度较小颗粒具有清晰有圆的破裂面，而粒度较大颗粒则由磨光的“卵石”组成。由于孔的吹洗速度不足（要求 7700 呎/分，实际为 5200 呎/分），

使较大粒度颗粒大量重复循环和再磨。这是很明显的证据。图14(2)示出在粗粒带条状磁铁矿质岩(比重2.65的磁石和比重5.0的赤铁矿的交替成条带)所打的炮孔中得到的较大粒度的碎块。重复循环和再磨使钻头寿命降低,磨圆了的“卵石”主要是赤铁矿,尖锐有棱的碎块主要是磁石。图14(3)十分明显地说明了岩石的比重对钻屑大小的重要性。这些碎块是在同样的钻机(吹洗速度5200呎/分)使用同样钻头的条件下产生的。较大的浅色碎片是来自炮孔里的最清晰尖锐的碎块磁石(比重2.65)。较小的黑色的最清晰尖锐的碎块是来自细粒富铁磁石(比重3.5)。

当使用单级或滑动叶片式空压机时,为了适当散去轴承热量,只要保持建议的最小空气压力就可以了。大多数用于风动牙轮炮孔钻机上的单级或滑动叶片式空压机按50磅/吋²调节卸压。单级或滑动叶片式空压机工作压力是最大的压力,用于克服全部管道摩擦和向钻头提供充足的压力以便有足够的风量对轴承加压。与此同时,必须有一定的富裕风量,以供钻机操作人员作为辨别钻机风路系统故障的指示器。在大多数情况下,钻机操作人员的空气故障指示器至少需要10磅/吋²的压力。这意味着,单级或滑动叶片式空压机运行至少低于钻头卸载压力10磅/吋²。当风量是900呎/分或更多一些时,大多数空气牙轮炮孔钻机中,风路系统的摩擦将达到3—8磅/吋²。当风路摩擦需要3—8磅/吋²和钻机故障指示器需要10磅/吋²时,可以看出,钻头风压必须不超过30磅/吋²,否则空压机将卸载,导致有用风量的损失。但是,风压必须确保最佳的轴承寿命。上述说明的确存在着左右为难的情况。

单级或滑动叶片空压机的容积效率曲线(图15)对压力变化极敏感。较少地增加工作压力会导致容积效率急剧下降,造成相当大的风量损失。现考察特殊的1235呎³/分排风量的滑动叶片式空压机。在空压机风压是20磅/吋²情况下,容积效率是81%,风量约为1000呎³/分,这个风量是很适当的。但是,风压不足以迫使空气通过钻头的轴承。在空压机风压为30磅/吋²的情况下,容积效率下降到67%或者大约大约是额定风量的27%。空气勉强地通过轴承,但是风量对于散热和除去钻屑是不够的。采用单级或滑动叶片式空压机的问题是,给钻头以高压去迫使足够的风量通过轴承,与此同时,又设法在空压机低压运行中得到最大的风量,用来清除正在打钻的孔的钻屑。用单级或滑动叶片式空压机恰当地做好这两件事情是不可能的,所以,需要有一个折衷的办法。这种折衷办法必定是针对空压机而言。拿钻头折衷必然降低钻头寿命和提高凿岩成本,这会远大于可接受的凿岩成本。

为了有适当的风量通过轴承,要求钻头承受的最小压力20磅/吋²加上在空压机的管道阻力3—8磅/吋²。磨损常常导致空压机效率的损失相当迅速。在各制造厂家鉴于空压机一定范围的容积变化,当用单级或滑动叶片式空压机工作时,改变钻头喷嘴的面积,力求保持钻头压力为25—35磅/吋²是可能的。采用约30磅/吋²的钻头压力时,在内部零件磨损使钻头风量降低到风压低于20磅/吋²的程度并危及轴承寿命之前,可给空压机的运转提供一个比较好的时期。

凿岩风路系统对摩擦因素必须加以考虑。业已弄清,这种摩擦将3—8磅/吋²压力加到钻头所需的20磅/吋²的压力上,这就要求空压机具有大约25磅/吋²的叠加压力,而对于具有40磅/吋²卸载压力的单级或滑动叶片式空压机,要求76%连续运转的容积效率。当风路系统可能堵塞时,超过35磅/吋²的压差就可作为余量提供给钻机操作人员作为一个

指示器。

所有两级空压机的容积效率曲线(图16)比单级和滑动叶片式空压机平缓得多。现在,这样的空压机正安装在空气牙轮炮孔钻机上。这些空压机在它的风路上装有调节阀或“最小压力阀”。“最小压力阀”的用途在于保持反压力,以便空压机的旋转构件与在它们之间的油封一起转动。如果排风压力降到极限排风压力以下,则空压机就会自己送风。

容积效率损失很快的低于最小极限压力,直到空压机排风量达到极限值为止。为了使钻头和炮孔不致堵塞,在这个极限值的情况下,空压机将继续排风。适当的钻头喷嘴的选择应该是使钻头压力表读数高于安装在空压机上的压力表的最小压力。

对于大多数空压机来说,非常切实可行的经验是:当用单级或滑动叶片式空压机工作时,通过钻头的最小空气压力降经常保持20磅/吋²。而当用两级空压机工作时,通过钻头的最小空气压力降为40磅/吋²。在钻机开始运转之前,建议请教空压机制造厂家并查阅机械特性曲线。

2 钻头承受的重量

当以稍大于1:1的比率增加重量直到钻头“停摆”以前或者当不适当地吹洗炮孔时,一般将提高齿型牙轮钻头的穿孔速度。图17以简单形式示出这两种可能性。

当以齿的整个高度插入岩层且附加的重量也不能迫使它们再深一些时,钻头“停摆”。由于高的穿孔速度,当炮孔底部所产生的钻屑多于实际除去的钻屑时,炮孔吹洗就不适当。这两者中无论那一种情况存在,用加重来作为提高穿孔速度的手段是无效的。

除了这些条件限制外,还存在与加重条件有关的其它条件。在较坚硬的岩层中,在钻头“停摆”之前或在吹洗速度达到限制穿孔速度的程度之前,提高钻头承重有时会造成齿的极大损坏。

提高重量一般会降低钻头轴承寿命,但不一定降低钻杆寿命。增加穿孔速度得到的收入扣除缩短旋转时间方面的损失可能有多余。当决定使用多大的钻头承重时,则必须确定所要求的最佳经济情况。

当提高嵌镶件钻头承重时,观察到许多同样的结果;然而有少许附加的条件。当用嵌镶件钻头打坚硬岩层时,钻头的动作可能是三种切削方式中的任何一种。钻头承重不足,有效切削,或停摆。由于钻头刚好转动,它可能缓慢地、低效率地和由于过分的磨损而磨去一些物料。一般很少见到,加了重载就出现良好的切割。但是,事实上,它恰好是勉强地将岩层破碎。为了有效的操作,还需要加载。

对于一定的旋转速度,最有效的重量是克服岩石强度,于是刀具一接触岩石,岩石几乎立刻剥落,而且吹风还能够迅速地吹出钻屑。

如果对钻头施加附加的重量超过了某一点时,钻头就会停摆而穿孔速度就不可能进一步提高。加重太大,以致埋住嵌镶件并使岩渣不能有效地排出。图17的曲线大体上说明了嵌镶件钻头的作用。

3 旋转速度

在孔的适当清洗范围内,以略低于1:1比率提高旋转速度时,凿岩钻头的穿孔速度—
• 10.

般会提高。

图18是这种作用的简要说明。

除了钻机条件限制之外，两个因素——轴承磨损和嵌镶件或齿损坏决定旋转速度的上限。

轴承的磨损随载重、炮孔的清洗、温度和转数的总和而变化。在高转数的情况下，轴承的温度预计较高，同样，如果钻头寿命以时间单位计，那末，在旋转速度较快时，钻头寿命（按转数计）将更快地达到。

嵌镶件或齿的损坏一般是由冲击力所造成的，而冲击力一般随速度的平方上升。这样，两倍的旋转速度往往会产生四倍的冲击作用。同样，钢的疲劳寿命随冲击频率的增加而降低，而磨损则随旋转速度的提高而明显的增加。

当使用碳化钨硬质合金嵌镶钻头时，旋转速度特别关键。由于碳化钨是非常坚硬的耐磨材料，所以，有时候存在一种倾向，想使这些钻头极快地旋转。这种不良的实践，在大多数情况下，立即得到证实。碳化钨合金虽然是一种极好的切削结构材料，但它有点脆，而且高旋转速度往往会导致嵌镶件过大的损坏。嵌镶件钻头在较高的钻头承重和较低的转速下一般比钢齿钻头打眼更为有效。

根据上述讨论可以看到，在加重、转速、穿孔速度和钻头寿命之间存在着直接的关系。一般能够凭经验确定有关最低凿岩成本的这些参数的最好综合。

四、凿岩震动

即使上述所有的与三锥牙轮钻头正确运行有关因素都论证了，震动对钻头以及通过钻杆或钻架本身产生巨大的冲击力。在坚硬和（或）破裂的岩石中，容许的震动强度无疑会限制钻头承重和旋转速度。在坚硬岩层和软岩层交错的地方，也有同样的影响。这些震动，除了限制基本的凿岩控制参数外，钻头、旋转驱动部件、钻架和主要的机械设备都受危害。用于炮孔钻机的最成功的减震器是用在钻机上端与钻管之间有弹性的联接器（类似现有的向下孔减震器）。有弹性的联接器所提供的弹性，保护钻机和钻头免受轴向的和扭转的冲击载荷。对坚硬的碧玉铁质岩作的检查试验中，当使用减震器时，钻头寿命提高15—25%。另外，减低了钻架震动、获得更大的钻头加重和旋转速度，因而，穿孔速度提高25%。减少机械和钻塔的维护虽然意义重大，但很难用数量来表示。

第六节 炮孔牙轮凿岩的效果分析

所有的效果分析最终必须降低每米炮孔的成本，并且要将进行钻头运转实践的技术评价之前的那些条件也要考虑进去。

对炮孔牙轮凿岩任一经济分析的关键，是保存钻头寿命、穿孔速度、破坏形式和其它运转资料的详细准确记录。因为，大多数钻头制造厂家备有或有改进以适合个别需要的标准记录表格。详细记录给予钻机操作人员的帮助是必不可少的。

一、炮孔凿岩经济

炮孔凿岩经济类似于其它作业经济，其中有许多费用对于与炮孔钻机、钻头和维护有关

的一般人员来说开始是不了解的。为了得出每小时的真实成本和随后发生的每米成本，所有这些费用都应摊到钻机和成孔进尺上。

有许多影响打眼成本的可变因素。其中一些是矿山不能直接控制的费用，例如，折旧、税款等等。然而，影响炮孔凿岩成本的其它可变因素，大大地受到直接与凿岩、爆破和其它的采矿作业有关的采矿管理工作的影响。

为了充分了解所有这些费用，这里进行简要的分析介绍。

1. 机械或钻机成本

折旧——在一定期间，即一般在设备寿命期间内，现有的机械或钻机必须负担的费用。机械的折旧要超过若干年。折旧率完全根据生产国的税律而定。

动力——开动钻机所用的燃料油或电的费用。

劳动力——操作钻机的直接劳动力如钻机工和助手（如果雇用助手的话）。

修理和维护——由于机械或钻机损坏和预防性的维护费用。

其它——按百分比计算的管理费用，辅助费用，例如，机械师和他们的实验室、仓库的费用，还有钻机的保险费和税款，以及以钻机为代表的平均投资利息。

2 与钻机有关的设备

钻管——新钻管、旧钻管的修理和维护以及用新钻管更换磨损了的钻管的费用。

稳定器——新稳定器和修理旧稳定器的费用。

记录仪器——购买钻机记录仪器和随带的物件如图表纸及维护的费用。

当所有的费用都加以考虑时，以小时计算运转钻机的费用是很有意义的。钻机班长、工程师和其它与炮孔凿岩有关的人员的任务是以最低的成本获得最多进尺的炮孔或者获得最低的每米凿岩成本——所有这些，为了最经济的利用炸药和最好的破碎，以便可能获得最低的生产总成本，而不牺牲其它好的采矿作业，例如炮孔间距、孔径和孔深。

3 凿岩或作业的可变因素

当穿孔时，有许多可以控制的可变因素。为了得到最大好处，当改变这些可变因素中的某个因素时，其它因素也必须改变。例如，如前所提，如果靠提高加重来获得更大的穿孔速度，那么就需要更多的吹风以便有效地吹洗孔底和吹出岩渣。

操作人员的能力——单单这个因素，就对凿岩总成本有很大影响。经验丰富的钻机操作人员重视所有的可变因素，例如，钻头承重、风压、钻头过大的转矩、由于钻头磨钝降低穿孔速度、以及所有其它影响凿岩特性的因素。通过培训和实践能提高操作人员的能力。一些矿山已经指出，使用钻机记录仪器真正提高了钻机工人的能力。这里，记录以图表形式供全体钻机工人学习。没有经验的钻机工人将学习和运用经验丰富的钻机工人的凿岩方法并不断加以改进。

岩层——被凿的岩层和矿层大大地影响凿岩速度、钻头寿命和所有其它的炮孔凿岩方面可变的运转因素。较重的和湿的岩渣需要更多的循环风。为了保持高效率的穿孔速度，对于一定尺寸的钻头、较坚硬的岩层和矿层需要较大的凿岩钻压。对于较坚硬的岩层几乎总是需要碳化钨硬质合金钻头。不过，在好的凿岩操作和对钻机及设备维护良好的情况下，使用软