

钻井液的防磨损 和润滑性能

〔苏〕 Г·В·КОНЕСЕВ
А·И·СПИВАК
М·Р·МАВЛЮТОВ

地 质 出 版 社

Г. В. КОНЕСЕВ, М. Р. МАВЛЮТОВ
А. И. СПИВАК

ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ И СМАЗОЧНЫЕ СВОЙСТВА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

МОСКВА «НЕДРА» 1980

钻井液的防磨损和润滑性能

[苏] Г. В. 科涅谢夫

М. Р. 马弗柳托夫 著

А. И. 斯皮瓦克

朱定宇 杨学涵 译

赵国隆 审校

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：冯士安

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本：850×1168 1/32印张：4 3/8 字数：120,000

1983年2月北京第一版·1983年2月北京第一次印刷

印数：1-2,535册·定价：~~6.50~~ 6.95元

统一书号：15038·新911

前 言

提高机器、机构和工具的可靠性与寿命是各技术部门最为普遍和重要的一个问题。解决问题的途径取决于工作的具体条件和摩擦部件的特征，也包含对摩擦副的材料和结构、冷却和润滑条件，润滑-冷却介质成分等的综合改善。

在提高摩擦部件可靠性和寿命的问题上，润滑剂的选择占有一个重要的位置。适合专门用途的润滑剂，在各个具体情况下，都应满足两个基本要求：具有高的防磨损性能和能有效地降低摩擦所消耗的能量。经常有这样的情况，在使用某种润滑剂时，两个相互作用物体的摩擦系数大幅度地减少，但是它们的磨损强度则降低甚少，甚至有所增高。介质的润滑性能和防磨损性能发挥的程度取决于摩擦接触处的物理化学作用。除了相互作用着的物体和介质的性能之外，各种外界作用因素，摩擦部件的磨损机理和强度对物理化学作用的状态有很大影响。

在边界的摩擦处，磨损和润滑过程之间的有机联系，以及许多因素对这些过程的动力学的影响，使查明介质防磨损和润滑性能表现的一般规律遇到困难。摩擦接触处的温度、单位压力、摩擦表面相对移动的速度和一系列其它因素决定着任何一种润滑剂的有效使用范围。

钻井液对钻杆柱回转和提升时的能量消耗，岩石的破碎，在牙轮钻头和井底发动机的轴承上，在溶液介质中工作着的工具材料的磨损有着极大的影响。在摩擦部件处，降低能量消耗和提高它们寿命的同时，溶液的润滑性能对钻进的其它条件有着良好的影响——减少卡、埋钻具的危险，有助于钻井液一般工艺性能的改善。这个影响在一个大的范围内变化着，它取决于介质的成分和性质，取决于相互作用的物体和它们相互作用的动力学。

在水泵的柱塞和阀组、钻杆柱、井底发动机和岩石破碎工具里，摩擦表面的动载有着本质的区别。与此相关，溶液的防磨损和润滑性能表现的特性也是不一样的。所以，研究钻井液的这些性能与动力载荷和摩擦副相互作用条件的关系是适宜的，它能确定介质合理使用的范围。

为了解决这个问题，作者们采取了试验方法，先利用实验装置研究，然后在钻探现场检验所取得的肯定结果。在分析已有的钻井液防磨损和润滑性能研究方法的基础上，确定了对实验方法的要求，并且考虑这些要求，研制了AM-3型装置，该装置可以在较大范围内改变摩擦副的动力载荷，可以再现钻杆柱和岩石破碎工具材料的磨损机理。

钻进时，无论是在不同的地区或是在一个钻孔内，冲洗液的成分，甚至是同一类型的冲洗液，都可能有很大的区别。这是由于配制冲洗液采用的粘土不同、化学处理剂不同和不同来源的水，以及进入冲洗液的岩屑、岩层中的流体等所致。钻进过程中，冲洗液使用条件的变化也很大。在研究介质润滑性能和防磨损性能时，冲洗液成分和其使用条件的所有这些变化，实际上不可能概括在一个专题著作里。所以作者们在总结冲洗液防磨损和润滑性能方面各种研究成果的同时，援引了他们自己最典型的钻井液的研究成果，该钻井液被称之为基础冲洗剂和吹洗剂，它们被广泛地用于钻井。

水基泥浆的广为使用和改善它们的防磨损和润滑性能的必要性，要求研制和使用专门的添加剂。由于专门添加剂的品种有限和缺乏足够可靠的使用工艺说明，使工艺工程师们在钻井工作中选择润滑剂时经常遇到困难。作者们介绍了添加剂防磨损和润滑性能的研究成果。这些添加剂有的已广为使用，有的是新的，过去在现场曾做过检验的和建议在钻井中广为使用的。

目 录

第一章 钻井液防磨损和润滑性能表现的状况	1
§ 1. 钻井液的工艺性能	1
§ 2. 决定介质防磨损和润滑性能表现程度的因素	3
§ 3. 在钻井液介质中设备与工具的工作状态	8
§ 4. 在不同介质中钻具的磨损特性	14
第二章 钻井液润滑和防磨损性能的评价标准和研究方法	17
§ 1. 钻井液润滑和防磨损性能的评价标准	17
§ 2. 钻井液防磨损和润滑性能的研究方法	19
§ 3. 使用 AM-3 装置研究钻井液防磨损和润滑性能的方法	25
§ 4. 钻井液对泥皮摩擦性能影响的研究方法	35
第三章 洗井用主要介质类型的防磨损和润滑性能	37
§ 1. 钻井液和空气的冷却能力	37
§ 2. 清水、泥浆和空气的防磨损和润滑性能	47
§ 3. 石油乳状液的防磨损和润滑性能	60
§ 4. 烃基溶液的防磨损和润滑性能	68
第四章 钻井液的防磨损和润滑添加剂	75
§ 1. 对防磨损和润滑添加剂的要求	75
§ 2. 提高水的防磨损和润滑性能的添加剂	80
§ 3. 提高泥浆防磨损和润滑性能的添加剂	87
§ 4. 粘土粉的改性处理	104
§ 5. 防磨损和润滑添加剂的应用前景	120
§ 6. 化学处理剂和加重剂对泥浆防磨损和润滑性能的影响	124
§ 7. 钻进时防磨损和润滑添加剂的使用效果	130

结束语	133
文献目录	139
缩写名称表	142

第一章 钻井液防磨损和润滑 性能表现的状况

§ 1 钻井液的工艺性能

在钻探工艺技术发展的现阶段中，洗井过程完成着一系列最重要的作用，诸如液体动力的、静力的、物理化学的、泥皮形成和其它的作用。这些作用实现的迫切性与重要性取决于钻井的条件与目的，并选择与它们相适应的某种冲洗或吹洗剂。对于钻孔的冲洗，目前主要使用四种类型的钻井液：

（1）水基钻井液：清水、盐水、自然悬浮液、泥浆、“水包油”型乳状液和其它；

（2）碳氢化合物为基础的钻井液：含石灰-沥青质的钻井液、“油包水”型乳状液和其它；

（3）充气钻井液：清水充气、泡沫泥浆和其它；

（4）吹洗剂：空气、天然气、内燃机废气。

在石油和天然气钻井中，钻井液的使用范围取决于钻进工艺对钻井冲洗提出要求的满足程度。这里各种事故的预防，保质地钻开产油层，经济性，提炼和开采简单，符合劳动和环境保护条例列为首要条件。在钻井中，水基钻井液使用最为广泛。吹洗剂、充气钻井液和烃基钻井液等的使用范围就很小。

钻井液工艺性能的总合可以归结为五类：（1）流变性能；（2）密度；（3）渗透性能；（4）对岩屑的化学活性；（5）防磨损和润滑性能。前四类的性能称为一般工艺性能。

加入防磨损和润滑添加剂于钻井液，改变了它的一般工艺性能。调整一般工艺性能也影响到介质的防磨损和润滑性能。查明

这种相互影响有很大的意义，因为它有助于揭示介质各种性能表现的机理，也便于化学药剂、专门防磨损和润滑添加剂的寻找和钻井液配方的制定。结合具体的钻进条件，该钻井液能最大限度地符合于对它们提出的要求。

粘度、极限静切力和极限动切力是钻井液流变性能的指标。随着粘度的增加，钻井液的防磨损性能变坏，降低了钻头的工作指标。在不同粘度的钻井液破碎白云岩时，钢的磨损速度与单位功率的特性关系见图 1 所示。实验是在同一种乳化淀粉液(ЭКР)中进行的。在配制好(ЭКР-1)后，用ПБ-5(野外漏斗粘度计)测它的粘度是98秒，八天后(ЭКР-2)的粘度是25秒。由图中可以看出，用ЭКР-1和ЭКР-2洗井，功率强度范围 $N_{*z}(N_{*n}) < 3.7$ 瓦特/毫米²时，钢的磨损速度实际上是一样的，而在 $N_{*n} > 3.7$ 瓦

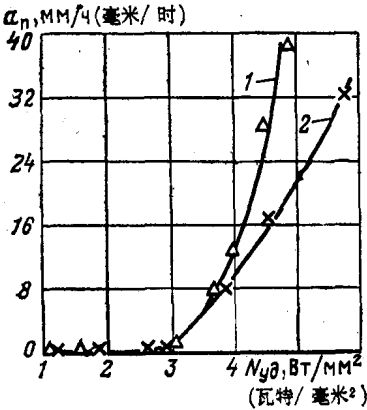


图 1 在不同粘度的钻井液中破碎白云岩时，钢的磨损速度与单位功率的关系
1—ЭКР-1, 2—ЭКР-2

特/毫米²时，在粘度高的钻井液里钢的磨损速度要更高。

在调整钻井液的结构-机械性能时，它的防磨损和润滑性能也会改变。这可能是由于钻井液中引入结构剂、岩粉和可溶盐类含量的增加及它的冷却能力变坏的结果^[1]。

在钻井液里，随着固相含量的增长，它的密度增加，通常流变性能的指标也增加。这时防磨损和润滑性能表现的程度很重要地取决于固相的成分和浓度。往膨润土的浆液中加入少量的添加剂可以改善它的防磨损和润滑性能并提高钻头的工作指标。

增加固相含量，钻头的工作指标明显地变坏，钻头工作部分的磨损速度升高。砂岩和各种加重剂的颗粒具有特别高的研磨性能。

总的说，流变性能和密度，除了影响介质的防磨损和润滑性能以外，在钻井液循环时，对能量的消耗影响也很大。随着这些指标的提高，水泵功率强度增大，结果导致它们寿命的降低并增加钻进所需能量的消耗。

失水量、泥皮厚度、成分、单位电阻、pH 值、滤液的表面张力、钻井液或它的滤液渗透到岩层和由岩层排出的能力等是钻井液渗透性能的参数。钻开产油层时，为了预防井壁坍塌和埋钻，失水性能的调整有着头等重要的意义。

失水量和用于调整失水性能的化学试剂的存在，影响着钻井液的防磨损和润滑性能。失水量的数值与许多因素有关系，它的变化通常伴随着钻井液流变性能的改变。然而根据下述，可以作出失水量对防磨损性能影响的质量评价。譬如在其它条件相同的情况下，泥浆中含的自由水越多，则它的失水量就越高。含有较大数量自由水的钻井液，有着较高的冷却能力，较低的粘度，能较好的清洗井底的岩屑并能较快的平衡作用于井底的孔隙压力和静水压力。所有这些都有助于钻头工作指标的提高。现场的统计资料表明^[29]，使用失水量高的泥浆，无论是涡轮钻还是转盘钻，回次进尺和机械钻速均增加。

降失水剂对钻井液防磨损和润滑性能的影响研究得不够，不过据现有的一些资料表明，诸如 KMLI（羧甲基纤维素）、无水碳酸钠对上述性能有良好的影响。看来，在引入其它的降失水剂时，也可能改善钻井液的防磨损和润滑性能，因为它们在不同程度上具有表面活性物质的性能。

§ 2 决定介质防磨损和润滑性能表现程度的因素

在有关相互作用物体的摩擦和磨损学科中，摩擦部件润滑剂的选择问题是一个核心问题。在边界摩擦处，润滑剂的作用显得特别大。在其所处的条件下，磨损的强度和能量消耗于摩擦的程

度，可能成倍地变化，这取决于介质的组成和润滑冷却性能。

摩擦现象是极其多样和复杂。根据摩擦的本质和形态来看可分外摩擦和内摩擦；边界的和液体动力的摩擦；干摩擦和湿摩擦；滚动和滑动摩擦以及其它等。运动物体与其它物体之间或与周围介质之间的相互作用，该作用伴随有能量的消耗，这是各种类型摩擦的共同特征。由于摩擦现象多样性的缘故，产生了各种理论。这些理论是粘附的、分子的、分子动力的、粘附变形的、动力学的、元素的和从其它不同的观点来解释摩擦力的实质。

所有这些理论为认识摩擦现象的实质做出了很大的贡献。一般摩擦理论的深入研究，摩擦只能在物理-化学学位移理论概念的基础上，查明形成破坏与恢复联系的基本规律，查明表面层原子-电子结构等^[27,36]。

减少摩擦功是润滑-冷却液的基本任务之一。然而使用润滑剂时，减少摩擦力不经常是摩擦部件寿命提高的充分条件。即零件工作表面高的磨损强度可能与低摩擦相符合。在实践中有这样的情况，当两种不同的润滑剂同样地降低着摩擦力，然而这时磨损是成倍地改变。

在有关摩擦和磨损方面的文献中，有许多表明类似摩擦副和介质相互作用的研究结果是自相矛盾的，尤其矛盾的是以外加载荷参数为转移的摩擦系数值变化特性的试验资料。所有这些表明在摩擦接触表面处进行的过程的复杂性和多样性。在摩擦接触处表面转变为强化吸附、扩散和化学过程的活化状态。在某种程度上影响着摩擦部件的磨损性质。

很明显，摩擦接触的状态很多是取决于介质的成分和性质，而它的防磨损和润滑性能表现的程度，同样地取决于摩擦接触状态和摩擦表面磨损的性质。摩擦时润滑和磨损过程的相互联系，这种联系形式的多样性同样缺乏实际可能对摩擦接触处流动过程进行直接观察，使介质润滑性能和防磨损表现规律的研究遇到困难。对介质防磨损和润滑性能研究的著作的分析表明，没有标出确定钻井液防磨损和润滑性能表现程度的重要的因素，在这方面

还缺乏公认的术语等。

介质润滑能力表现为摩擦力的降低，而防磨损性能表现在相互作用物体磨损的降低，经常是相互作用物体的润滑和防磨损性能。 И.И. 鲍德林和 Г.Я. 亚姆波列斯基的介质润滑能力愈好则它的防磨损性能也好。所以一些研究者，把介质能力降低 И.И. 鲍德林相互作用物体磨损的能力和 Г.Я. 亚姆波列斯基的泥浆润滑能力纳入润滑能力的概念。并建议根据极限《加载至滞住》值来评价泥浆的润滑能力，该值是在机器 МАСТ-1 上测定的。然而《加载至滞住》只是在一定程度上表征液体界面膜（或边界层 граничный слой ）的强度，从总的来说不是润滑能力。

Г.И. 富克斯指出，到目前为止在润滑能力的概念里还没有包括物理的内容。而润滑能力取决于液体的表面性能，借助于该性能，他们降低相互作用物体的相互抗剪强度，同时阻止这些物体的相互接近。只有在两种作用同时出现时，液体才能够具有润滑能力。

Г.И. 富克斯提出介质润滑能力的定义，最准确地反映了它的物理实质。然而在评价介质的润滑作用时，不仅要考虑到介质的性能，而且必须考虑固体表面的相互作用和固体之间的相互作用。与 И.В. 克拉格利斯基的术语相应，在相互作用的过程中形成《第三物体》，它是液体界面膜和固体表面膜薄层（ $\text{поверхностная плёнка}$ ）的总体组合。

考虑到提到过的一些作者的建议，同时也考虑到我们对介质防磨损和润滑性能的研究^[17]，对润滑能力应理解为介质建立具有低的抗剪强度和高的抗破碎的液体界面膜和相互作用的固体表面上表面薄膜的能力。所以，介质的润滑能力取决于边界层的性能和在相互作用物体接触面上的表面薄膜的性能，介质有效的参于界面膜和表面薄膜的形成。

在 А.С. 阿赫马托夫、 Б.В. 杰里西金领导下，对液体界面膜领域的研究进行了大量的探讨。查明紧贴在固体表面的薄层（ 0.1 微米）里，液体的机械性能在数值上是不一样的。譬如，根据

A·C·阿赫马托夫的观察，有机化合物能够在金属表面形成《高分子多晶体的》层，该层的屈服极限在数量上比化合物高，而抗剪系数则取决于它们的厚度，在数值上它可以从金属衬垫的抗剪系数值到化合物抗剪系数值之间变化。在一定的压力值和层厚的情况下，这些层的分子排列之间开始滑动。

查明了界面膜形成的吸附性质，硬表面的强力场明显地影响着界面膜的结构与性能。在硬表面向量场的作用下，定向比较好的液体界面膜可以具有高的弹性向横向压缩（弹性模数 $E=10^6$ 公斤力/厘米²）。

因此，固体表面的性质影响着液体界面膜的形成。众所周知，金属原子的表面层由于某种固有表面能量的贮备而使金属表面层的原子具有高的流动性和活性。所以实际上金属的表面经常为薄膜所覆盖，这个薄膜是由金属化合物和周围介质所组成。在增加温度和塑性变形时，金属与周围介质间相互的化学作用显得特别活泼。

通常金属制品的表面要经过机械加工。象牙轮钻头的工作部分，用切削（对钢齿）、磨削（对轴承座圈）和抛光（对滚动物体）进行精加工。机械加工的结果，也由于摩擦时的变形，在零件的工作表面上经常有预破损区。润滑油透过预破损区的微裂隙时，在裂隙中形成一个楔压力，使金属表面松散，由于这个原因形成塑化层，该层具有降低滑动阻力的作用。

总的来说，金属的表面薄膜和液体的界面膜，它们的组成和性能取决于金属和介质的成分和性能以及它们相互作用的条件，使界面膜和表面薄膜的形成过程活性化的同时，它们相互作用的条件特别能在第三物体的性状中表现出来。不过如果相互作用的条件伴有高的动力负荷，因而有大的热量散发，那么该过程在达到一定的临界温度时，就有可能解吸润滑剂分子和破坏界面膜。临界温度值取决于金属表面和界面膜的性质。

由于某些活性元素在介质中的存在，在摩擦过程中热量的散发有助于形成化学吸附薄膜，该薄膜在繁重的边界摩擦条件下特

别能有力地保护金属的磨损。在摩擦表面的化学改性处理中采用含有硫、氯和磷的有机化合物,会使摩擦表面具有高的耐磨性^[7]。

由于金属层表面和介质相互作用所形成的薄膜,得到了次生结构的称号^[41]。次生结构和液体界面膜的机械性能应该保证工作表面具有足够的稳定屏蔽性和在摩擦的相对移动时具有足够低的阻力。

在复杂的应力状态的条件下,液体界面膜和次生结构摩擦表面的屏蔽效果,主要取决于由内聚和附着的相互作用能力而形成的液体界面膜和次生结构之强度。在摩擦接触处,可以同时作用有压应力、切应力、拉应力等。并由于摩擦接触处的不连续性,应力有着循环的特性;它们的循环频率可以由每秒钟几次到几百次^[42]。这些应力值由外部的机械作用来决定。

摩擦的种类,相对移动的速度,载荷间的贴附性质均属外部的机械作用^[41]。外部的机械作用是决定摩擦部件磨损机理和强度的基本因素。不过摩擦接触处的应力状态和它的磨损性质,明显地取决于介质的性质和成分^[41]。介质的防磨损和润滑性能的表现程度,就象以前所指出的那样,大多取决于在摩擦接触处进行的物理-化学过程。

摩擦部件的工作处于高的功率强度条件下,影响介质的润滑性能和防磨损程度的其它极重要的因素乃是介质的冷却能力。研究表明,在足够的热流强度时,钻头工作部件的表面层经受着回火和淬火,这通常是强化了它们的磨损^[17]。在这种情况下用润滑冷却液吸收部分摩擦热,摩擦部件磨损的程度就会减弱^[23]。

总结影响钻井液防磨损和润滑性能表现程度极为重要的诸因素,可以归纳为两组。第一组的因素由洗井液的成分与性能所决定,即它们取决于分散介质、分散相、表面活性添加剂、碳氢化合物和它的成分与性能。属于这类因素的有:界面膜的抗挤压强度;界面膜的抗剪强度;界面膜的抗介质侵蚀作用的稳定性;界面膜的耐温性;介质的冷却能力;在摩擦表面形成次生结构时介质的性质。

很明显，当钻井液能很好地预防热的形成，把热量由摩擦区排出，能形成界面膜和次生结构，它们机械性能的配合能保证低的磨损和低的摩擦能量的损耗。此时，钻井液才具有高的防磨损和润滑性能。

第二组的因素是由钻井液应用（工作的）条件所决定。对摩擦、磨损和润滑的许多研究分析表明，属于第二组因素主要是工作（摩擦）的状态和摩擦部件磨损的性质。摩擦状态联系的形式，相互作用物体磨损性质的形式和介质的防磨损和润滑性能表现程度的形式是多样和复杂的。这决定了想判明该联系的一般规律的困难。为了解决这个问题，通常是在与钻井条件相应的第二组因素变化的一定范围内，定出冲洗液防磨损和润滑性能的表现程度。

§ 3 在钻井液介质中设备与工具的工作状态

钻井液的成分与性能主要影响着水系的活塞和阀组、钻杆柱的部件、井底发动机、破碎岩石工具的寿命与效率。所以重要的是要知道在摩擦部件（也即钻探设备与工具的部件）的工作条件下，介质防磨损和润滑性能表现的规律性。

任何摩擦部件的工作条件都表征着摩擦的状态、类型和磨损强度。在钻井液中设备的工作状态是决定钻进效率的基本因素之一。根据钻进条件，规程可以有效地在一个大的范围内进行变更，最终不仅还可以在不同地区的钻井，而且可以按钻进每个钻井的大范围内改变。由于这个缘故，在钻井液的介质中，设备与工具摩擦部件运转的情况也在一个大的范围内变化。在研究和改善介质的防磨损和润滑性能时，这点必须考虑到，因为摩擦的状态在任何一个摩擦部件工作时是决定这些性能表现程度极为重要的因素^[22]。

单位压力、滑动速度、润滑和冷却条件是摩擦状态的基本特性。对已给定冷却条件的单位接触摩擦功率（ $N_{\text{п.к}}$ ）是摩擦状态的综合指标。

$$N_{\gamma, n} = P v \varphi \quad (1-1)$$

式中 P ——单位压力;

v ——滑动速度;

φ ——表征润滑条件特性的摩擦系数。

单位功率是摩擦部件功率强度的主要指标。由于确定单位压力的困难, 所以单位接触功率程度的确定经常不是一个简单的任务。例如, 由牙轮钻头上敷焊层所形成的单位压力, 它作用在井底的岩石上, 该单位压力由一系列在每一瞬间难以测定的相互作用的因素而定如: 实际的接触面积; 井底表面的粗糙度; 牙齿吃入岩石的深度; 接触井底的齿数; 岩石破碎的性质等。为了评述牙轮钻头敷焊层工作的特性^[38], 提出了单位平均功率 $N_{\gamma, n(\text{单位})}$ 的指标。该指标按下式求得:

$$N_{\gamma, n} = A v / S_p \quad (1-2)$$

式中 A ——钻头敷焊层与井底岩石相互作用一次所完成的功;

v ——相互作用的频率;

S_p ——钻头敷焊层的工作表面。

指标 $N_{\gamma, n}$ 比指标 $N_{\gamma, n-n}$ 计算较简便和较稳定。

让我们对在钻井液介质中设备和工具的部件的功率强度进行评价。

评价牙轮钻头的功率强度时, 我们取以下条件: 钻头直径 215.9 毫米; 钻头载荷 26 吨力; 钻头回转频率 800 转/分; 钻头功率 50 千瓦; 钻头轴承消耗的功率为 21 千瓦。在 60% 的敷焊层起作用时, 接触和工作表面增大到 2.5~3 倍。在轴承处 25% 的滚动体同时参与了能量的实现^[2]。

在评价涡轮钻止推轴承的功率强度时, 用的直径是 168 毫米, 止推轴承上的载荷为 10 吨力, 涡轮钻回转轴的频率为 800 转/分, 止推轴承处的摩擦系数为 0.1。评价钻杆锁接头的功率强度时, 取锁接头直径为 178 毫米, 长为 200 毫米, 钻杆柱回转的频率达 300 转/分, 锁接头挤压井壁的力为 5 吨力。

起始接触和工作表面的面积, 用于分析摩擦部件的单位接触

功率和单位平均功率，列入表 1。

表 1

指 标	涡轮钻 具的止 推轴承	钻杆锁 接 头	钻 头 的 工 作 部 件				
			座 圈		滚 珠	滚 柱	敷焊层
			牙 轮	轴 颈			
接触表面积(毫米 ²)	7200×5	8000	127	127	190	60	200
工作表面积(毫米 ²)	7200×5	216000	17700	8000	48000	15700	4300
单位接触功率(瓦特/毫米 ²)	1.25	3.6	165	165	63	150	150
单位平均功率(瓦特/毫米 ²)	1.25	0.18	1.2	2.6	0.25	0.57	7

在计算牙轮钻头和牙轮轴承部分的接触表面积时，根据解格尔茨 (герца) 问题时运用的公式^[29]。(牙轮钻头 2K-214T，牙轮轴承示意图滚珠-滚柱-滚柱轴承系统图)。

评价泥浆泵活塞组的功率强度表明，在一副活塞拉杆-衬套里，最大的单位压力是 300 公斤力/厘米²时，单位接触摩擦功率可达 3~5 瓦特/毫米²。

按照牙轮钻头敷焊层部件的磨损程度其功率强度减弱，并在钻头回次末观察到的功率强度为 1~2 瓦特/毫米²。

在低速 (转盘钻) 钻进时，牙轮钻头的功率强度的下降与钻头回转频率的降低成正比。牙轮敷焊层单位平均功率实际在 $N_{yn}=0.4\sim 2$ 瓦特/毫米² 的范围内变化。

钻进中，广泛采用作用于钻头的轴向载荷值作为岩石破碎工具的动载特性之一。虽然作用于钻头的实际载荷的测量有不准确之处，但对于不同的钻进规程的比较特性使用这个指标的合理性并未引起怀疑。在钻井液防磨损和润滑性能有效果的研究中，要合理地运用由作用于钻头部件的轴向载荷与组成部件接触表面的长度之比确定的换算轴向载荷指标 $P_{\text{н}}$ 。

这样对牙轮钻头的敷焊层来说，换算载荷是钻头的轴向载荷与磨钝面的总长之比，它同时也是与接触的牙轮齿的总长之比。

牙轮钻头轴承部件的接触面的长度取决于滚柱和滚珠接触弧面的总长，它同时承受作用于钻头的载荷。计算表明，牙轮钻头的轴承和牙轮敷焊层的换算载荷，相应地在60~250和110~80公斤力/毫米的范围内变化，而对钻杆的接箍和锁接头部分，换算载荷实际不超过40公斤力/毫米。

除了牙轮钻头的密封轴承外，被分析摩擦部件的冷却和润滑条件，为钻井液的冷却-润滑介质的特点。液体冷却摩擦表面的能力，除了液体的性能和容积温度的影响，还取决于它的秒耗量和环流速度。随着冷却液容积温度的上升，摩擦部件热量导出情况变坏，显然在接近井底容积温度对介质冷却能力的不良影响是特别大的，在钻井液循环时，它的温度可达80~100°C⁽¹⁰⁾。

摩擦表面的冷却条件要与环流速度，钻井液单位耗量，即通过摩擦工作表面单位面积的耗量共同合理地评定⁽¹⁴⁾。在泥浆泵排量为30升/秒时，这些指标的估算列在表2。

表 2

指 标	钻 头 敷 焊 层	钻 头 轴 承	钻 杆 锁 接 头	滑 轮 占 具 的 止 推 轴 承
单位耗量($\times 10^3$)(升/秒·毫米 ²)	1.9~9.3	0.02~0.002	1.1	0.17
环流速度(米/秒)	2~10	1~2	1~2	0.2~4

通过牙轮钻头轴承钻井液的耗量，根据⁽¹³⁾中的公式来计算。

估算所研究的钻探设备与工具部件的工作动力条件的同时，应该指出牙轮钻头的敷焊层和轴承所具有的最高功率强度。钻头的轴承也在最差的冷却条件里工作。所有这一切是对钻头的敷焊层和轴承的磨损有很大影响的主要原因，其表现为热效应。由于这个原因，强化了在摩擦表面上化学反应的渗入和产生工作部件的回火与淬火。

在钻井液介质中工作着的钻探设备与工具，在它们的摩擦部件里，高能的转换不可能不在它的防磨损和润滑性能的表现上反