

煤田钻探工程

第六分册

# 钻探设备使用与维护

中国煤田地质总局 编著



煤炭工业出版社

P618.110.8  
V-86-2  
6

# 煤田钻探工程

---

第六分册

## 钻探设备使用与维护

中国煤田地质总局 编著

煤炭工业出版社

835845

## 内 容 提 要

本书系《煤田钻探工程》的第六分册，它比较全面地介绍了钻探设备失效的必然性，失效的表现形式，引起失效的原因及预防和延缓失效的措施，介绍了钻探设备润滑的作用、润滑材料的理化性能和润滑装置，介绍了钻探设备的合理使用和维护，例举了六种典型钻探设备的使用和维护。

本书理论联系实际，深入浅出，通俗易懂，有实际指导意义。它可作为设备管理、使用和维修人员的技术培训教材或参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

煤田钻探工程 第六分册：钻探设备使用与维护/中国煤田地质总局编著. —北京：煤炭工业出版社，1996  
ISBN 7-5020-1322-9

I. 煤… I. 中… II. ①煤田-钻探②钻探机械-煤田  
N. P618.110.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 05750 号

## 煤 田 钻 探 工 程 第 六 分 册 钻 探 设 备 使 用 与 维 护

中国煤田地质总局 编著  
责任编辑：马淑敏

煤炭工业出版社 出版  
(北京安定门外和平里北街 21 号)  
北京密云春雷印刷厂 印刷  
新华书店北京发行所 发行

开本 787×1092mm<sup>1/16</sup> 印张 6<sup>3/4</sup> 插页 1  
字数 152 千字 印数 1—3,430  
1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷  
书号 4090 定价 13.50 元

## 《煤田钻探工程》编审委员会

名誉主任 张延滨  
主任 王文寿  
副主任 金宝昌 杜青荣  
委员 (以姓氏笔划为序)  
毛邦倬 关文博 汤凤林 赵运兴  
赵贵祥 赵琥芬 黄俊良

## 前 言

当今钻探工程不仅是矿产资源勘查的重要手段,同时也广泛地应用到工程地质勘查、公路、桥梁、隧道及大型现代化建筑工程的钻孔桩基础工程和矿山立井施工、疏干排水、通风、灾害处理等各个方面。其应用范围将会越来越广。

我国煤田地质钻探队伍从无到有,从小到大,40多年来得到了迅速发展。无论是钻探设备还是钻进工艺,都达到了一定的水平,有些已接近或达到国际水平。钻探效率数倍增长,钻探质量显著提高,为煤炭工业的生产建设提供了可靠的地质资料。随着市场经济的发展,煤田钻探工作已面向社会,开展了各种有偿工程技术服务。在激烈的市场竞争中,对钻探工程提出了更高的要求。

几十年来,我们在钻探工程的实践中,创造和积累了丰富的经验,这是一笔宝贵的财富。为了总结、继承和推广这些经验;吸收、引进国内外的先进技术,提高煤田钻探职工队伍素质,增强在市场中的竞争力和队伍的战斗力,我们特邀请从事钻探技术工作几十年的专家、教授、学者,编写了《煤田钻探工程》一书。

编写本书的指导思想是,立足于煤田钻探,兼顾其它行业的需要。书中介绍的技术,既要满足当前生产的需要,又要适度超前。因此,本书既总结了40年来国内煤田钻探、工程钻探的先进技术,介绍了国内、外的新技术,新工艺。如近年推出的TK系列液压钻机,绳索取心钻进、冲击回转钻进、空气洗井等高新技术。又为适应市场的需要,特意增加了有关的特种钻探工程,如浅层油气井钻探、大口径深水井钻探、冻结孔施工技术、露天边坡钻探钻孔和矿坑疏干钻孔的施工技术,以及钻孔桩基础施工技术等重要内容。

本书突出了煤田钻探技术特色,理论联系实际,实用性强。全书共分10个分册,即《钻探设备》、《钻探管材与附属机具》、《钻探工艺》、《特种钻探工程》、《钻井液》、《钻探设备使用与维护》、《钻探液压技术》、《微机在钻探中的应用》、《钻孔桩基础施工技术》、《煤田钻探安全技术》。每个分册既独立自成体系,分册之间又可互相联系。因此,本书是一套完整地介绍煤田钻探技术及一些特殊工程钻探和工程施工的教学参考书,也可作为现场人员的生产技术用书,既适用于煤田系统,也适用于其它施工单位。

本书在编审过程中得到了广大钻探技术工作者、煤田地质系统各单位、中国地质大学,中国矿业大学北京研究生部、煤炭科学研究总院上海分院、肇州液压机械厂、郑州煤田职工地质学院、重庆煤田地质技工学校等单位的大力支持和协助,在此谨表示衷心的感谢。

中国煤田地质总局

1993年3月

## 编 者 的 话

机器设备尽管种类繁多,但都是生产工具,使用机器设备的目的是为提高生产效率、增加经济效益。如何才能达到这个目的,是我们的前辈为之奋斗了几百年的事业,其途径只能是合理使用和正确维护。所有的机器设备,其使用和维护有共同的规律,本书在编写时,努力用通俗易懂的语言使读者从设备失效的基础理论中认识合理使用和正确维护的必要性,尤其是提高对润滑作用的认识。

煤田地质勘探设备(包括水文水井勘探、工程地质钻探、钻孔基础工程等)既有与其它工程机械使用和维护相同的一面,也有其流动性大、露天作业和离不开水和泥浆等特殊的一面,因此,本书在编写时尽量注意到特殊的一面,务必使我们的工程技术人员、生产和维修人员清醒地看到设备使用的恶劣环境,从而加倍提高合理使用和正确维护的自觉性。

本书是《煤田钻探工程》的第六分册,由四章组成。第一章钻探设备失效分析,介绍零件磨损、变形、断裂、腐蚀等失效形式、引起原因和预防措施;第二章钻探设备润滑,介绍润滑的原理、作用和润滑材料,第三章钻探设备的合理使用及维护,介绍设备的安装、合理使用和正确维护;第四章典型钻探设备的使用与维护,介绍了六种典型设备的使用和维护。

本分册的第一、二、三章及第四章第二、四、六节由李海荣、张爱菊同志编写,第四章第一节由李文泰同志编写,第四章第三节由田坤蜀同志编写,第四章第五节由张荣同志编写。

本分册在编写过程中,得到中国煤田地质总局设备处及有关省局和个人的大力支持和帮助,在此一并致谢。

由于编者的水平所限,错误在所难免,请读者提出批评指正,万分感谢。

编 者

1993年3月

# 目 录

概述 .....	1
<b>第一章 钻探设备失效分析</b> .....	5
第一节 零件的摩擦与磨损 .....	5
一、基本原理与分类 .....	5
二、影响零件磨损的基本因素 .....	12
三、常用零件的磨损 .....	16
第二节 零件的变形 .....	21
一、基本原理 .....	21
二、变形的危害 .....	23
三、减轻变形危害的措施 .....	24
第三节 零件的断裂 .....	25
一、基本原理 .....	25
二、断裂的危害 .....	26
三、减轻断裂危害的措施 .....	26
第四节 零件的腐蚀 .....	27
一、基本原理与分类 .....	27
二、零件在大气中的腐蚀 .....	28
三、防止金属腐蚀的措施 .....	29
<b>第二章 钻探设备润滑</b> .....	31
第一节 润滑原理 .....	31
一、流体动压润滑 .....	31
二、静压液体润滑 .....	32
三、动、静压液体润滑 .....	34
四、边界润滑 .....	34
第二节 润滑作用 .....	37
第三节 润滑材料 .....	38
一、润滑油的理化性能及选择 .....	38
二、润滑脂的理化性能及选择 .....	42
三、固体润滑剂的理化性能及选择 .....	47
第四节 润滑油质量简易鉴别方法 .....	51
第五节 润滑方法和润滑装置 .....	52
<b>第三章 钻探设备的合理使用与维护</b> .....	55
第一节 设备的安装及设备的合理使用 .....	55
一、设备的安装 .....	55
二、设备的合理使用 .....	57
第二节 设备的维护 .....	61
一、设备维护的目的和要求 .....	61

二、设备维护的分类和维护好设备的保证 .....	61
<b>第四章 典型钻探设备的使用与维护 .....</b>	<b>63</b>
<b>第一节 TK-3 型钻机的使用与维护 .....</b>	<b>63</b>
一、钻机性能简介 .....	63
二、钻机日常维护保养 .....	63
三、钻机定期维护保养 .....	66
四、钻机的安装及安全技术检查 .....	69
五、钻机使用中的注意事项 .....	71
<b>第二节 GZY-Ⅲ型全液压车装钻机的使用与维护 .....</b>	<b>71</b>
一、GZY-Ⅲ型全液压车装钻机性能简介 .....	72
二、全液压钻机的日常维护保养 .....	72
三、全液压钻机的定期维护保养 .....	73
四、全液压钻机的安装及安全技术检查 .....	73
五、全液压钻机使用中的注意事项 .....	74
六、全液压钻机的故障及处理 .....	75
<b>第三节 NBB-250/60 型泥浆泵的使用与维护 .....</b>	<b>76</b>
一、泥浆泵性能简介 .....	76
二、泥浆泵日常维护保养 .....	76
三、泥浆泵定期维护保养 .....	77
四、泥浆泵的安装及安全技术检查 .....	79
五、泥浆泵使用中的注意事项 .....	80
<b>第四节 4135G 型柴油机的使用与维护 .....</b>	<b>81</b>
一、4135G 型柴油机的主要技术参数 .....	81
二、4135G 型柴油机的维护保养 .....	81
三、柴油机的安装及安全技术检查 .....	85
四、柴油机使用中的注意事项 .....	86
<b>第五节 空气压缩机的使用与维护 .....</b>	<b>87</b>
一、空气压缩机性能简介 .....	87
二、空压机日常维护保养 .....	87
三、空压机定期维护保养 .....	89
四、空压机的安装及安全技术检查 .....	91
五、空压机使用中的注意事项 .....	92
<b>第六节 6135D-T<sub>2</sub>WK-75kW 型发电机组的使用与维护 .....</b>	<b>93</b>
一、发电机组性能简介 .....	93
二、发电机组日常和定期维护保养 .....	95
三、发电机组的安装及安全技术检查 .....	96
四、发电机组运行中的注意事项 .....	98
五、发电机组常见的故障及处理 .....	98
<b>参考文献 .....</b>	<b>100</b>



# 概 述

煤田地质钻探设备是指煤田地质钻探生产所需的机械设备的总称，它包括了通用设备（如金属切削机床、动力机械等）和专用设备（如岩心钻机、泥浆泵等），因此《煤田地质钻探设备的使用与维护》既要反映通用设备的共同性，又要包含专用设备的特殊性。从广义上讲，使用与维护是设备全过程管理工作中的两个重要环节。

设备管理的目的是为取得最佳的投资效果，简单地说：就是以最经济的手段，使设备保持良好的技术状态，在使用中，充分发挥设备的效能，提高生产效率和工作精度；对设备的使用采取有效的措施，精心维护，尽可能延长其使用寿命。

煤田地质系统各部门既有设备的管理单位，又有设备的使用单位，根据需要对各种设备进行技术和经济的分析，比较，选择最优的技术装备，对延长设备的使用寿命，固然是重要因素，但从某种意义上说，更重要的因素是正确合理地使用和精心维修好设备。只要正确合理地使用设备，就可以保持设备的良好技术状态，防止发生非正常磨损，避免突发性故障，从而提高设备使用效率，延长使用寿命；精心维护设备，对设备起到“护理”和“保健”的双重作用，可以延缓设备技术状态劣化进程，排除各种故障隐患，从而保证设备安全运行；修理则是给设备“治病”，使设备全面恢复或在一定时间内保持功能和精度的重要技术措施。

正确合理地使用和精心维护设备，其工作内容十分丰富，包括：判定设备技术状态的完好标准，设备使用的基本要求，设备的操作规程，设备维护规程，设备的润滑管理……。在众多的工作内容中，始终要坚持不懈地抓住两条：

第1条，也就是最基本最重要的一条，必须提高设备使用和维护人员的素质。

设备要由人来使用和维护，人员的素质集中表现在工作责任心和技术熟练程度。工作责任心强体现在爱护设备就像爱护自己的眼睛一样；技术熟练程度是指上岗者能达到四懂（懂原理、懂构造、懂用途、懂性能）三会（会操作、会维护、会排除故障）。同时，上岗者还必须具备拒绝操作严重带病的设备，拒绝执行违反操作规程和维护规程的指令的素质。

第2条，必须建立和健全各种包括标准和规程在内的管理制度。

使用和维护的管理制度，是要求使用和维护人员共同遵守的办事规程或行动准则，规范使用和维护人员的行为。制度不健全，无章可循，必然造成管理紊乱，无法达到设备管理的目的。

煤田地质勘探系统广大职工兢兢业业为加强设备管理，走出自己的路，整整奋斗了40年，不但圆满地完成了国家计划，而且全系统的设备完好率不断提高，待修率、机故率、重大设备事故率不断下降，取得了可喜的经济效益。

## 一、钻探设备概述

随着科技的发展，我国研制生产的钻探设备种类齐全，品种繁多。尽管结构和外形千差万别，但都有一个共性，无论哪种设备，都有各自规定的功能。如岩心钻机的功能是带动钻具钻孔并取出岩（矿）心；泥浆泵的功能是向钻孔底部输送具有一定压力和流量的钻

井液。上述两种设备功能仅仅是基本功能，每种设备还有各自规定的其它功能。我们把设备由于种种原因而造成的不同程度丧失规定功能的现象称为失效，根据失效的现象分为3种典型的形式：

第1种，设备完全不能继续运转的，如柴油机连杆折断；泥浆泵泵头裂开；钻机升降机的游星齿轮两端滚动轴承散架……。

第2种，设备丧失安全功能的，如汽车刹车失灵或没有刹车；空气压缩机、泥浆泵的安全阀在超过规定的安全压力时打不开……。

第3种，设备的性能、精度、效率明显劣化，实际测试结果与其规定的性能、精度、效率相差甚远的，如泥浆泵的流量与压力下降过多……。

上述3种典型的失效形式，归结起来可以分为两类：渐发性失效和突发性失效。

渐发性失效也称磨损失效，是由于机械长期运行，零件材料不可避免地发生磨损、疲劳、腐蚀和蠕变的过程而引起的，见失效形式的第3种。又如柴油机活塞、活塞环与气缸的配合，由于长期作往复运动（滑动摩擦），由摩擦引起的磨损造成活塞环闭间隙增大、气缸内径增大，最终使柴油机动力性能逐渐劣化；齿轮油泵的齿轮端面与浮动轴套或侧板间密封，由于端面磨损严重而造成密封失效，使流量、压力下降，甚至报废；变速箱齿轮齿面疲劳破坏引起噪音增大和传动效率下降等。机械失效中的绝大多数都属于这类失效。

突发性失效是由于各种不利因素及偶然的外界影响或单独或共同的作用，超出设备所能承受的限度而产生的，见失效形式第1种。如柴油机的润滑系统突然中断，造成烧瓦而被迫停止运行；严重超负荷运行，使机械主要工作零件变形甚至断裂而停止工作等。这类失效与渐发性失效比起来要少得多，然而其危害要严重得多，经济损失也要大得多。

在煤田地质勘探系统，人们习惯上常把机械失效称为机械故障，严格地说失效与故障两词的各自含意是有某些差别的，故障是指机械由于种种原因而不能顺利运转；失效是指机械不同程度丧失规定功能。两者的共同之处是机械存在着或轻或重、或多或少的毛病。此毛病应及时医治——维修。在实际中，失效与故障两词又通用，本书在编写时，尽量尊重习惯，尊重实际，不作严格区分。

前面介绍了产生渐发性失效和突发性失效的原因，这些原因毕竟比较抽象，把抽象的原因引入具体的机械，从机械本身来分析，可以发现失效主要是由下列3种变化造成的：

第1种变化，零、部件的配合关系遭破坏造成失效。

间隙配合零件，由于相对运动，不可避免地产生配合表面的磨损，而使间隙逐渐增大，当其超过使用极限时，易产生冲击，使零件局部应力急剧升高导致零件损坏；由于间隙过大，而润滑油膜难以形成，丧失缓冲和保护金属表面的润滑作用，导致零件工作状态恶化，金属表面直接接触又加剧了磨损。例如柴油机曲轴的连杆轴颈与轴承的冲击破坏。

过渡配合的零件之间，一旦配合关系失效，轻者留下渐发性失效的隐患，重者可产生突发性失效。例如滚动轴承内外圈与轴、轴承座孔出现间隙并产生连续相对运动，使轴、轴承座孔配合表面逐渐磨损，不仅改变轴的中心位置，而且还会因间隙过大而产生冲击、振动，使滚动轴承受力状况发生改变而加速损坏。

过盈配合的零件之间，一旦出现间隙，无论是传递动力还是起其它作用的，往往会使整台设备工作能力丧失。如柴油机气门座圈脱落，柴油机就无法工作。

配合关系遭破坏具体地说，就是零件配合尺寸及几何形状超过允许公差范围。

第2种变化,零、部件相对位置精度遭破坏造成失效。

零件与零件装配后成为组合件,组合件与组合件装配后成为部件,这里既有配合关系,又有位置精度关系。机械之所以产生故障,位置精度发生变化也是一个重要因素。

钻机上使用的汽车变速器,当传动轴发生弯曲变形以后,啮合的各对齿轮的径向间隙、侧隙、接触面积及部位、齿轮端面跳动和圆跳动等都会发生变化。轻者啮合质量恶化,加速齿轮损坏;重者会出现轮齿折断而无法运行。

相对位置精度遭到破坏,具体地说,就是相对位置误差超过允许公差范围。

第3种变化,零、部件间正常的连接关系遭破坏造成失效。

机械由于传动和振动,正常的连接关系经常出现松动脱开,使机械产生故障。

这里所说的正常连接关系,包括可拆连接(如螺纹连接、键连接、销连接等)和不可拆连接(如铆接、焊接等)。可拆和不可拆连接一旦出现松动或脱开,本身就是一种失效形式,其后果往往是发生突发性故障。例如TK-4钻机,变速箱与传动箱连接的连接盘,用6颗M10螺栓连接,一旦螺栓松动且钻孔内出现卡钻现象时,这6颗螺栓会同时被切断,进而发生变速箱体打坏而无法运转的突发性故障。

连接关系遭破坏既有上述的配合尺寸公差和位置精度公差超过允许范围的因素,又有零、部件的受力状况发生改变的因素。

由此可见,无论是渐发性失效还是突发性失效,引起失效的仅仅是整台机械的局部,甚至只有个别零件。进一步分析,可能是零件材料磨损、变形、断裂;也可能是零件几何形状发生改变;也可能是零件与零件相对位置、连接关系发生变化等。上述种种可能,有些是不可避免的,有些是对各种不利因素掌握不够准确,有些是不能排除的外界影响等。本书编写的目的正是为了掌握住客观因素,尽量使不可避免的及不能排除的外界影响减小,保持机械的各种规定的功能,延长机械的使用寿命。

## 二、钻探设备使用与维护的意义

如果我们把一台设备从规划、设计、制造、安装、调整、试运转、使用、维护、修理、改造、直至报废的全过程比作其一生,则设备的使用与维护占据的时间最长,约占85%~95%,设备寿命的长短,效率与精度的高低,第一位因素取决于设备本身的精度、结构和性能;第二位因素取决于设备的使用与维护;第三位因素取决于设备的修理质量。作为一个企业的设备管理部门,上述三个方面的因素都要考虑,在解决设备选型问题时,不仅选购的设备各种规定的功能必须完全适合我们使用的要求,而且还要衡量设备质量稳定性、技术先进性和运行可靠性。至于设备的使用、维护和修理尽管是设备管理工作中的重要环节,但这些工作都围绕着设备功能各有侧重,正确合理地使用设备,可以充分发挥其各种规定功能,提高使用效率,延长使用寿命;精心维护好设备,可以尽量保持设备的各种规定功能,延缓有形磨损(磨损、变形、断裂和蚀损)进程,排除各种故障的隐患,保障设备的安全运行;设备的有效修理,既可以恢复设备已经失去的各种规定功能,又可以使设备在一定时间内保持其规定的功能。

设备功能劣化直至失效,这是必然的,不可抗拒的。设备在使用过程中,受到各种应力的作用和化学腐蚀、高温、冲击、摩擦等因素的影响,还受到使用方法、负荷变化、持续时间和环境条件等外部因素的影响。正确合理地使用设备就是要控制设备功能劣化速度,必须根据设备所处的工作条件及结构性能特点,掌握设备功能劣化的规律,创造适合设备

工作的环境条件，遵守正确、合理的操作规程和使用方法，控制设备的负荷和连续工作时间；精心维护设备，按设备维护规程要求，努力改善设备的运行条件，避免不应有的损失，尤其是人为因素造成的损失，如缺少润滑油造成的干摩擦；连接松动脱开造成的突发性故障等。

无论哪个行业，在部分管理人员和生产工人中，不能摆正设备的使用与维护的关系，往往是重使用，轻维护，这是十分有害的。我们的工作实践已经证明，设备的使用寿命在很大程度上取决于设备维护这种追加劳动及其产生的效果。

有人把设备的使用与维修工作称作维修工程，专门研究设备故障发生的规律和有效的维修方法。足见设备使用与维护具有同等重要的地位。常言道：磨刀不误砍柴工，非常简洁地说明了这个道理。

设备的使用与维护，工作内容十分丰富，本书着重介绍钻探设备的使用与维护。

中国煤田地质总局于1991年拟定并经能源部批准颁发了《煤田地质勘探设备完好标准》、《煤田地质勘探设备操作规程》和《煤田地质勘探设备维护规程》，它们是设备管理的基础，是使用与维护的准则，也是本书编写的依据。

# 第一章 钻探设备失效分析

在概述中已介绍了设备失效的3种典型形式,包含了所有的渐发性失效和突发性失效。在设备维修过程中可以观察到,设备失效往往是由某个零件或组合件的损坏造成的。由此可见,设备失效原因在于零件或组合件的损坏。而造成零件和组合件损坏的原因是由于零件的磨损、变形、断裂或蚀损而引起的。本章将着重探讨零件磨损、变形、断裂和蚀损的机理、影响因素及预防或减缓失效的措施。

## 第一节 零件的摩擦与磨损

### 一、基本原理与分类

#### 1. 基本原理

在物理学中已经知道:相互接触的物体,在接触面间产生的阻止物体相对运动的现象称为摩擦。在机械传动中,发生相对运动的零件或部件一般称之为运动副或摩擦副。

摩擦副的接触表面发生相对运动,在接触应力作用下,沿其表面发生的微观或宏观变化过程,使接触件表面发生损伤,导致材料流失,从而改变接触表面尺寸、形状和表面质量的现象,称为磨损。

磨损是机械零件的一种破坏形式,发生在零件的工作表面,影响机械的性能,消耗材料和能源,并降低机械设备的使用寿命。我们探讨磨损的规律,研究磨损的机理,目的是为了揭示磨损现象产生的原因,找到降低磨损的方法,减少零件磨损,提高机械工作效率和延长机械使用寿命。

在机械传动中,摩擦有害的一面主要表现在:

(1) 消耗大量能源 如轴与轴承、齿轮传动、蜗杆传动等,在传动的同时,也存在着摩擦,需要消耗一定能源去克服摩擦阻力。每增加一级传动,就要多消耗一定的能源,这样势必降低了机械效率。据摩擦学科专家的估计,全世界有三分之一的能源以各种形式消耗在摩擦上。

(2) 运动副严重磨损 由于摩擦表面直接接触,相对运动的零件表面产生磨损,大约有80%的机械零件是因磨损而失效的。尤其是钻探机械,由于钻探工作条件、润滑状况差,零件表面易产生严重磨损,导致丧失钻探工作精度,这不仅影响钻探机械的正常运转,缩短机械寿命,还使钻孔质量和钻进效率下降,严重时甚至被迫停产。

(3) 产生摩擦热 机械传动过程中,用来克服摩擦阻力消耗的能源,转换成热量,其中一部分通过介质冷却,并经机械金属表面散发到周围空气中,而另一部分在接触表面生成的局部高温可改变金相,产生热变形、热疲劳、热状磨损等,使零件失效。

由此可见,摩擦导致磨损,使零件失效是一个正常的自然现象。我们熟悉和了解摩擦与磨损的现象和本质,是要在使用和维护设备的过程中,采取必要的措施,达到控制摩擦、降低或延缓磨损,延长设备使用寿命的目的。

#### 2. 摩擦的分类

### 1) 按摩擦副的运动形式分类

(1) 滑动摩擦 两个相接触的物体表面发生相对滑动时的摩擦称为滑动摩擦。阻碍物体相对滑动的阻力称为滑动摩擦阻力,即通常所说的摩擦力。

滑动摩擦又分为静滑动摩擦和动滑动摩擦。

静滑动摩擦是指两个相互接触并相对静止的物体,虽然没有相对滑动,但有相对滑动的趋势,这时的摩擦状态称为静滑动摩擦。这时的摩擦阻力称为静滑动摩擦力,简称为静摩擦力。当两个相互接触的物体即将开始滑动(但尚未滑动)的瞬时,静摩擦力达到最大值,该摩擦力称为最大静摩擦力。只要外力大小大于或等于最大静摩擦力,方向与静摩擦力相反,则物体的静止平衡状态就将被破坏。

静滑动摩擦定律如下:

最大静摩擦力与正压力成正比,即

$$F = fN \quad (1-1)$$

式中  $F$ ——最大静摩擦力;

$N$ ——法向载荷;

$f$ ——比例系数,称为静滑动摩擦系数。

静滑动摩擦系数  $f$  的大小与接触面的材料和情况(如表面粗糙度、润滑条件、温度、接触时间等)有关。一般情况下,表面越粗糙,润滑条件越差,摩擦系数  $f$  就越大,最大静摩擦力也就越大。 $f$  的数值在机械工程手册中能查到。表 1-1 列出部分摩擦系数。

两个相接触且有相对滑动的物体之间的摩擦,称为动滑动摩擦。其接触面上阻止物体滑动的切向阻力,称为动滑动摩擦阻力,简称动摩擦力。柴油机的曲轴轴颈与连杆轴承、液压钻机的滑架与底座、往复式泵的活塞与缸套内表面、各种机床的工作台与导轨之间等都是动滑动摩擦。

动滑动摩擦定律如下:

动摩擦力的方向与运动方向相反;

动摩擦力总是小于最大静摩擦力;

动摩擦力与正压力成正比,即

$$F' = f'N \quad (1-2)$$

式中  $F'$ ——动摩擦力;

$N$ ——法向载荷;

$f'$ ——比例系数,称为动滑动摩擦系数。

动滑动摩擦系数  $f'$  的大小,除了与静摩擦系数相关外,还与其相对运动速度有关。同样  $f'$  的数值可查有关手册,表 1-1 中也列了部分。

(2) 滚动摩擦 两个相接触的物体在相对滚动时产生的摩擦,称为滚动摩擦。滚动时,其接触处理论上认为是点与点(如球形滚动轴承)、线与线(如圆柱、滚子轴承)的摩擦。

如图 1-1a 所示,当钢球只受垂直作用力  $G$  时,钢球在光滑刚性支承面的法线反力  $N$  的作用下完全处于平衡状态。此时若在钢球中心有一个极其微小的水平作用力  $P$ ,则摩擦力  $F$  与  $P$  组成一对力偶,使钢球顺时针滚动。理论上完全可以这样解释,然而事实上并非如此。研究表明,其中最主要的原因是钢球与支承面都不是绝对的刚体。当钢球受力以后,钢球与支承面的接触处都要产生变形,这种变形影响了接触处支承反力的分布情况。自行车

表1-1 材料的摩擦系数

材料名称	摩擦系数			
	静摩擦 $f$		动摩擦 $f'$	
	无润滑	有润滑	无润滑	有润滑
钢—钢	0.15	0.1~0.12	0.15	0.05~0.1
钢—软木	—	—	0.2	0.1~0.2
钢—铸铁	0.3	—	0.18	0.05~0.15
钢—青铜	0.15	0.1~0.15	0.15	0.1~0.15
软钢—铸铁	0.2	—	0.18	0.05~0.15
软钢—青铜	0.2	—	0.18	0.07~0.15
铸铁—铸铁	—	0.18	0.15	0.07~0.15
铸铁—青铜	—	—	0.15~0.2	0.07~0.15
青铜—青铜	—	0.1	0.2	0.07~0.1
软钢—榉木	0.6	0.12	0.4~0.6	0.1
软钢—榆木	—	—	0.25	—
铸铁—榉木	0.65	—	0.3~0.5	0.2
铸铁—榆木 杨木	—	—	0.4	0.1
青铜—榉木	0.6	—	0.3	—
木材—木材	0.4~0.6	0.1	0.2~0.5	0.07~0.15
皮革(外)—榉木	0.6	—	0.3~0.5	—
皮革(内)—榉木	0.4	—	0.3~0.4	—
皮革—铸铁	0.3~0.5	0.15	0.6	0.15
橡皮—铸铁	—	—	0.8	0.5
麻绳—榉木	0.8	—	0.5	—

轮胎同样承受一样大的载荷，如果气足，变形小，骑车就觉得轻松，反之骑车就觉得吃力。如图 1-1b 所示，由于钢球与支承面的变形，使  $G$  与  $N$  组成一对反时针方向的力偶矩，该力偶矩阻碍钢球的滚动。 $P$  与  $F$  组成的顺时针方向的力偶矩必须克服阻碍钢球滚动的力偶矩即滚动摩擦力矩，才能使钢球滚动。

滚动摩擦力矩的转向与滚动方向相反，它起阻碍钢球滚动的作用，它的大小决定于两物体材质变形大小和法线反力  $N$ ，即

$$M_{\max} = \delta N \quad (1-3)$$

式中  $M_{\max}$ ——最大滚动摩擦力矩；

$N$ ——法线反力；

$\delta$ ——比例系数，又称为滚动摩擦系数。

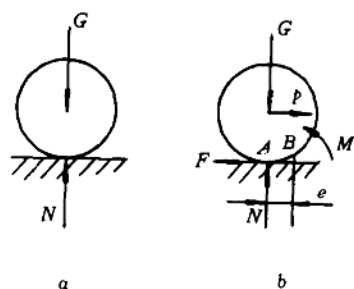


图 1-1 放在平台上的滚子  
滚动摩擦受力分析

表 1-2 滚动摩擦系数

单位: mm

相摩擦或相接触的材料	滚动摩擦系数 $\delta$	相摩擦或相接触的材料	滚动摩擦系数 $\delta$
铸铁与铸铁	0.05	有滚珠轴承的料车与钢轨	0.09
钢质车轮与钢轨	0.5	无滚珠轴承的料车与钢轨	0.21
木材与钢	0.3~0.4	钢质车轮与木面	1.5~2.5
木材与木材	0.5~0.8	轮胎与路面	2~1
软木与软木	1.5	淬火钢与淬火钢	0.01
软钢与钢	0.05	钢板间的滚子(梁的活动支座)按表面情况	0.2~0.7

由于材质一般变形量较小, 单位常用 mm 或 cm。滚动摩擦系数  $\sigma$  值大小见表 1-2。

滚动摩擦的两物体, 由于有变形(弹性变形或塑性变形), 不可能像理论上所说, 接触面只是一个点或一条线。这里必须说明的是: 滚动摩擦接触区域的面是曲面, 不可能是平面。就是接触的曲面, 也不可能是整个曲面相接触, 其接触点的多少随材料性质、表面状况和接触条件的不同而不同。因此, 滚动不可能是纯粹的滚动, 而是不规则的滚动、滑动、弹性变形和某些局部塑性变形兼而有之的复杂过程。掌握这一点对我们进一步理解磨损机理大有帮助。

## 2) 按摩擦副表面有无润滑剂状况分类

(1) 干摩擦(又称外摩擦) 摩擦面间没有任何润滑剂时发生的一种摩擦现象称为干摩擦。如干式摩擦离合器主、被动摩擦片的工作表面, 履带式推土机履带链板的连接部分等。干摩擦的摩擦系数很大, 达 0.15~0.5。干摩擦时由于金属表面直接接触, 磨损很大, 摩擦时放出的热量也很多, 功率损失也很大, 因此应力求避免。然而有些工作零件为了正常工作的需要必须采用干摩擦; 有些零、部件工作时因无法润滑, 也只能采用干摩擦。

(2) 液体摩擦 摩擦表面完全被液体润滑油分隔时产生的一种摩擦现象称为液体摩擦。液体润滑油形成足够厚度和强度的润滑膜, 将摩擦表面凹凸不平的峰谷完全淹没, 改变了摩擦的性质。

两相对运动的摩擦表面在液体摩擦情况下, 存在两种摩擦: 一是物体表面与液体的摩擦, 称为外摩擦; 二是液体本身内部间相对移动而发生的摩擦, 称为内摩擦。

液体摩擦时, 摩擦力的大小按下式计算:

$$F = \frac{\mu S v}{h} \quad (1-4)$$

式中  $F$ ——液体摩擦力, N;  
 $\mu$ ——润滑油的动力粘度, Pa·s;  
 $S$ ——相对运动的摩擦表面面积, m<sup>2</sup>;  
 $v$ ——相对运动速度, m/s;  
 $h$ ——润滑油膜的厚度, m。

液体润滑时的内摩擦系数, 就是油液的粘度。由于相对运动的两物体表面完全淹没在油液中, 表面没有接触, 因而也没有磨损。而且摩擦阻力主要是油液内摩擦阻力, 其数值很小, 因而是理想的润滑状态。然而不能排除机械设备在起动、制动以及载荷、速度发生



变化的情况下，液体摩擦的状态也会遭到破坏，因而仍然存在磨损，只是与其它摩擦状态相比磨损还是很小的。

(3) 边界摩擦（又称临界摩擦）由液体摩擦过渡到干摩擦过程之前的临界状态。此时，摩擦表面仅有一层吸附着的极薄的润滑膜，其厚度约为  $0.1\mu\text{m}$  或更薄。边界摩擦与润滑油的粘度关系不大，而与润滑油的表面吸附性（油性）有关。由于两摩擦表面在运动中直接接触，所以有一定程度的机械磨损。

边界摩擦时的油膜尽管极薄，但能承受很高的压强而不破坏，因而使摩擦副的摩擦阻力和磨损大大降低。

(4) 半液体摩擦和半干摩擦 液体摩擦的油层遭到破坏时，这些部位就会出现摩擦表面的临界摩擦状态。如果这时液体摩擦仍占主要作用，则称为半液体摩擦。如果在摩擦表面同时存在边界摩擦和干摩擦，且边界摩擦占主要作用，则称为半干摩擦。

应该指出的是半液体摩擦油层是不连续的，摩擦表面同时存在液体摩擦和边界摩擦。

由于半液体摩擦介于液体摩擦和边界摩擦之间，半干摩擦介于边界摩擦和干摩擦之间，因而摩擦阻力，机械磨损前者与液体摩擦比较，后者与边界摩擦比较均增加很多。

### 3. 常见的磨损类型

通常将摩擦副的磨损过程分为三个阶段（图 1-2）。

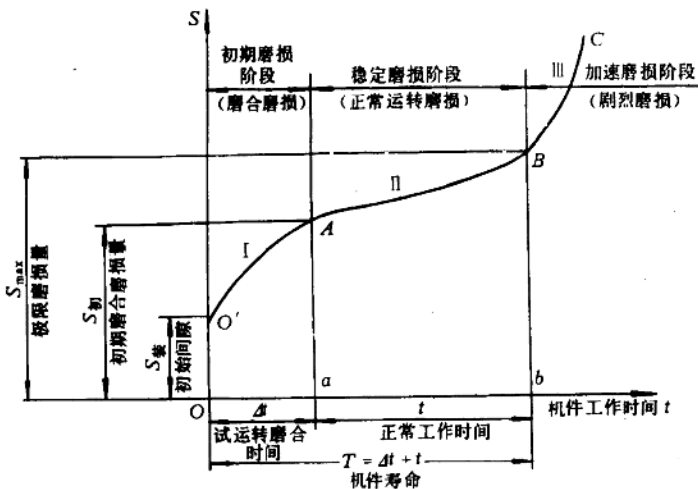


图 1-2 磨损的三个阶段

第一阶段为初期磨损阶段（磨合阶段），零件由于制造和安装误差的影响，因而在运转初期磨损速度较快，并有轻微的振动、噪音和发热，这个阶段的磨损称为初期磨损。此阶段是设备通过运转自行磨合的过程。经过磨合，磨损速度减慢，逐渐接近于稳定磨损阶段。为了缩短磨合时间延长稳定磨损阶段，常采用一些磨合剂（如二硫化钼粉、金刚砂等），这对提高机械寿命是非常有益的。

第二阶段为稳定磨损阶段。在这个阶段，磨损速度是相当缓慢和稳定的，在磨损量与