

港口职工教育统编教材

内燃装卸机械构造与修理

戴发山 主编



大连海事大学出版社

度上

在控制系统的故障与维修

2002 戴发山 主编

港口职工教育统编教材

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

内燃装卸机械构造与修理

戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

2002 戴发山 主编

© 戴发山 2005

林楚麟港育港工职口教

图书在版编目(CIP)数据

内燃装卸机械构造与修理 / 戴发山主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2005.2
(港口职工教育统编教材)

ISBN 7-5632-1836-X

I. 内… II. 戴… III. ①内燃机—装卸机械—构造—技术培训—教材 ②内燃机—装卸机械—维修—技术培训—教材 IV. TH24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 009518 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌水桥 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连理工印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 22

字数: 548 千字 印数: 1~4500 册

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑: 贾 玫 封面设计: 王 艳

定价: 35.00 元

前言

根据港口生产的发展变化和技术工人职业技能培训的实际需要,经中国交通教育研究会批准,2002年港口教材编审委员会依据《交通行业技术工人等级标准》的要求,重新修订了《港口六个主体工种技术培训教学计划及配套教材的教学大纲》。

港口教材编审委员会按照《港口六个主体工种技术培训教学计划及配套教材的教学大纲》的要求,组织编写了《机械基础》、《电动装卸机械电气设备》、《电动装卸机械构造与修理》、《装卸机械的使用与养护》、《装卸机械液压传动》、《港口机械技术管理》、《内燃装卸机械电气设备》、《内燃装卸机械构造与修理》、《电工基础》、《装卸机械电气设备与维修》、《电工与电子技术》、《货物学》、《港口外贸货物管理》、《港口装卸工艺》、《港口库场业务》、《港口水运商务管理》、《港口理货英语》、《集装箱运输业务》等18种教材。

这套教材从港口技术工人职业技能培训的实际需要出发,采用了驾驶与修理合编教材,初级工、中级工、高级工三个技术等级合编教材的编写方法。教材在编写过程中,参考了各港口有关培训资料、教材,注重理论教学与港口生产实际相结合,引入了新知识、新技术、新工艺。因此本套教材具有较高的通用性、实用性和先进性。

《内燃装卸机械构造与修理》一书是遵照《港口六个主体工种技术培训教学计划及配套教材教学大纲》的要求编写的。

按照国家统一规定的专业工种目录分类方法:凡是以汽油或柴油为燃料的内燃发动机作为驱动装置的装卸机械,统称为“内燃装卸机械”。由于全国各港口使用的内燃装卸机械种类繁多,构造各不相同,用一本书将它们的构造与修理内容全部包容,逐一讲述,确实让编者下了一番功夫。本书首先介绍了机械零件的磨损与修复和内燃机的基础知识;接着用大量篇幅对各种内燃装卸机械共有的内燃机和底盘进行了详细讲述;然后分别对牵引车、装载机、叉车、集装箱正面吊及轮胎式起重机作了具体介绍。

本书是对港口内燃装卸机械司机(初级工、中级工、高级工)及内燃装卸机械修理工(初级工、中级工、高级工)等技术工人培训的通用教材,同时也可用作同专业的中专、技工教育的专业课教材和工程技术人员的业务参考书。各位教学负责人和教师在使用本教材时,应根据各港所使用机械种类的实际情况及学员工种级别的不同需求,有针对性地选择书中有关章节进行讲授。

《内燃装卸机械构造与修理》一书,由戴发山主编,郑巧珍主审,房本庆终审。参加本书编写的人员及分工如下:

第一章,由李宝元、王景起、康建桥、戴发山编写;

第二、五、八章,由薛翎森、李太林、阚金明、李文宏、王秀琦、张艳广、王振桥编写;

第三、九章,由刘清山、张竞林、田学森、杨胜利、马永和编写;

第四、六、七章,由张友明、刘国安、赵忠义、安志家、张金柱、傅永刚编写。

本书编写过程中曾得到朱炳如、薄万明、孟宪华、虹学兰、杜春辉、李来库等同志的热忱帮助,在此一并表示感谢。限于编者水平,书中会有疏漏与缺陷之处,恳请读者指正。

中国交通教育研究会港口教育分会
教材编审委员会

目 录

第一章 机械零件的磨损与修复	(1)
第一节 摩擦与磨损	(1)
第二节 机械零件的分类与检验	(13)
第三节 机械零件的修复	(15)
第二章 装卸机械内燃机基础	(20)
第一节 概述	(20)
第二节 内燃机热工基础	(32)
第三节 内燃机的技术性能	(33)
第四节 内燃机的燃料与选用	(34)
第五节 内燃机工作循环与燃烧分析	(39)
第六节 内燃机技术性能测试	(48)
第三章 装卸机械内燃机的构造	(52)
第一节 曲柄连杆机构	(52)
第二节 配气机构	(65)
第三节 内燃机燃料供给系	(74)
第四节 内燃机冷却系	(84)
第五节 内燃机润滑系	(87)
第六节 内燃机机体构造	(92)
第七节 内燃机的起动、点火系	(98)
第四章 内燃装卸机械底盘与修理	(101)
第一节 离合器的构造与修理	(101)
第二节 变速器的构造与修理	(108)
第三节 万向传动装置	(115)
第四节 驱动桥的构造与修理	(120)
第五节 转向系、车轮、悬挂装置与修理	(135)
第六节 制动系	(166)
第五章 内燃牵引车	(194)
第一节 概述	(194)
第二节 传动系	(196)
第三节 转向系	(203)
第四节 制动系	(206)
第六章 内燃装载机	(210)
第一节 概述	(210)

第二节	传动系	(214)
第三节	转向系	(228)
第四节	制动系	(231)
(1) 第五节	液压系	(236)
第七章	内燃叉车	(241)
(81) 第一节	概述	(241)
(12) 第二节	传动系	(254)
(09) 第三节	转向系	(256)
(50) 第四节	起重系	(259)
第八章	集装箱正面吊	(278)
(38) 第一节	概述	(278)
(46) 第二节	传动系	(281)
(98) 第三节	转向系	(285)
(84) 第四节	起重系	(287)
(52) 第五节	制动系	(294)
(52) 第六节	驾驶室与仪表	(297)
第九章	内燃轮胎式起重机	(299)
(47) 第一节	概述	(299)
(48) 第二节	起升机构	(310)
(78) 第三节	变幅机构	(321)
(95) 第四节	旋转机构	(325)
(80) 第五节	行走机构	(331)
(101) 第六节	内燃轮胎式起重机金属结构	(334)
(101) 第七节	操纵控制系	(336)
参考文献		(346)
(112)	集装箱转向系	节三第
(150)	集装箱转向系	节四第
(152)	集装箱转向系, 转向系	节五第
(160)	集装箱	节六第
(161)	集装箱内	节五第
(161)	集装箱	节一第
(161)	集装箱	节二第
(163)	集装箱	节三第
(166)	集装箱	节四第
(110)	集装箱内	节六第
(110)	集装箱	节一第

第一章 机械零件的磨损与修复

第一节 摩擦与磨损

科学技术的发展促使工业生产迅猛发展,其中尤其是机械工业的发展更为突出,形成了各类机械技术综合化、性能高级化、结构复杂化,全面地适应当今高速、高效、低耗、可靠、特殊(指宇宙航行专业、核工业等)的新时代经济发展需要。但与此同时,也带来许多新问题,如机械设备一旦发生故障,则因之而导致的经济损失较大、能源消耗量猛增、对管理与维修保养人员的知识与实际工作水平要求较高等等。而上述存在的问题中,与机械的摩擦与磨损所造成的设备基础零件失效、性能下降等故障,约占机械设备故障总比例的 60%,世界能源总量的 1/5~1/2 以各种不同形式而消耗在机械运动副的摩擦上;另一方面,由于摩擦磨损的原因所导致的机械零件的损坏,是影响机械设备使用寿命、造成企业经济损失的重要原因。所以,我们必须注重对摩擦与磨损科学的研究与学习,以利达到减少机械设备故障、降低能源消耗、节约原材料、提高企业经济效益的经营目的。

一、机械中的摩擦

1. 摩擦

两个互相接触的物体,在力的作用下发生相对运动,或有运动趋势时,在其接触表面产生阻碍相对运动的现象称之为摩擦。

人类对摩擦与磨损方面的研究与探索虽然已有数百年历史,但真正比较系统、深入地研究并形成独立学科则还是近 30 年的事,如今已总结出以下定律:

(1) 摩擦力的大小与名义接触面积无关。

(2) 摩擦力的大小与法向载荷

成正比:

即

$$F = \mu N \quad (1-1-1)$$

式中: F ——摩擦力,其方向总是与两接触表面的相对运动方向相反,如图 1-1 所示;

N ——法向载荷(见图 1-1);

μ ——摩擦系数,它的数值大小与做相对运动的两物体的性质,以及作用其上的负荷、

温度、接触表面的精度、润滑状况等因素有关,部分材料的摩擦系数可参阅表 1-1、表 1-2、表 1-3。

(3) 摩擦力的大小与滑动速度无关。

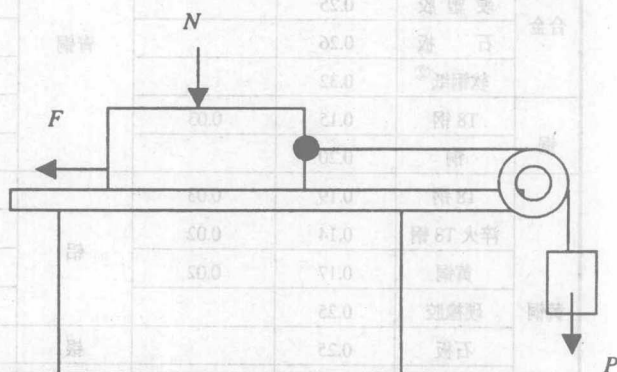


图 1-1 摩擦定律实验示意图

表 1-1 常用材料的摩擦系数

摩擦副材料		摩擦系数		摩擦副材料		摩擦系数	
I	II	无润滑	有润滑	I	II	无润滑	有润滑
钢	钢	0.15 ^①	0.1 ~ 0.12 ^①	铸铁	铸铁	0.15	0.15 ~ 0.16 ^①
		0.1	0.05 ~ 0.1		青铜	0.28 ^①	0.16 ^①
	软钢	0.2	0.1 ~ 0.2		皮革	0.55 ^①	0.15 ^①
	T8 钢	0.15	0.03		橡胶	0.8	0.5
	铸铁	0.2 ~ 0.3 ^①	0.05 ~ 0.15		毛毡	0.22	0.18
	黄铜	0.19	0.03	黑色金属	石棉基材料	0.25 ~ 0.40	0.08 ~ 0.12
	青铜	0.15 ~ 0.18	0.1 ~ 0.15 ^①		铜、镉、磷青铜	0.2 ^①	0.07 ~ 0.15
	铝	0.17	0.02	软钢	铅、银、钨、锌、镍	0.4	
	轴承合金	0.2	0.04		铸铁或钢	0.30 ~ 0.50	0.15 ~ 0.25
	夹布胶木	0.25 ~ 0.4	0.05 ~ 0.10	软木	铸铁或钢	0.20 ~ 0.35	0.12 ~ 0.16
	软钢纸 ²	0.22			木材	0.4 ~ 0.6 ^①	0.1 ^①
	塑料		0.016 ~ 0.03	木材		0.2 ~ 0.5	0.07 ~ 0.10
	冰	0.027 ¹			麻绳	0.5 ~ 0.8 ^①	
	粉末冶金	0.35 ~ 0.55			皮革	0.4 ~ 0.5 ^①	0.03 ~ 0.05
I	II	无润滑	有润滑	I	II	无润滑	有润滑
铝硅合金	夹布胶木	0.34		青铜	T8 钢	0.16	
	塑料	0.28			黄铜	0.16	
	硬塑胶	0.25			青铜	0.15 ~ 0.20	0.04 ~ 0.10
	石板	0.26			夹布胶木	0.23	
	软钢纸 ^②	0.32			钢纸	0.24	
铜	T8 钢	0.15	0.03		硬橡胶	0.36	
	铜	0.20			塑料	0.21	
黄铜	T8 钢	0.19	0.03	铝	T8 钢	0.18	0.03
	淬火 T8 钢	0.14	0.02		黄铜	0.27	0.02
	黄铜	0.17	0.02		青铜	0.22	
	硬橡胶	0.25		银	夹布胶木	0.26	
	石板	0.25			银	1.4	
	绝缘材料	0.27		镍	镍	0.7	
				铂	铂	1.2 ~ 1.3	

注：表中滑动摩擦系数是实验数据。由于实际工作条件和试验条件不同，表中数据只能作近似计算参考。此表摘自《机械工程手册》第 2 版机械设计基础篇，4~27 及 4~30 页。

①静摩擦系数。

②是经氧化锌及甘油蓖麻油处理的软性纤维纸板。

表 1-2 密封材料的摩擦系数

材 料	润 滑 剂	18 ℃		100 ℃	
		润滑剂供给量			
		充分	欠缺	充分	欠缺
氯丁橡胶	运动黏度 ^① 为 200 mm ² /s 的减速器油,添加菜籽油的质量分数为 10%	0.01	0.06		
鞣制皮革	运动黏度为 46 mm ² /s 的润滑油,添加有抗氧剂	0.09	0.06	0.16	0.08
铬鞣皮革		0.13	0.06		
氯丁橡胶		0.02	0.07	0.12	
特殊橡胶		0.03	0.06	0.16	0.17
鞣制皮革	运动黏度为 95 mm ² /s 的润滑油	0.06	0.06		
氯丁橡胶		0.01			
特种橡胶		0.02		0.15	

注:表中数据是使用摆式试验机测得的,试样是密封材料与 45 钢套筒对磨。

①黏度数值一般均指 40 ℃时的数值。

表 1-3 工程塑料的摩擦系数

摩擦副材料 I	摩擦副材料 II (钢)		摩擦副材料 III (工程塑料)	
	静摩擦	动摩擦	静摩擦	动摩擦
	系数	系数	系数	系数
聚四氟乙烯	0.10	0.05	0.04	0.04
聚全氟乙丙烯	0.25	0.18		
聚偏二氟乙烯	0.33	0.25		
聚三氟氯乙烯	0.45 ^①	0.33 ^①	0.43 ^①	0.32 ^①
聚偏二氯乙烯	0.68 ^①	0.45 ^①	0.90 ^①	0.52 ^①
低密度聚乙烯	0.27	0.26	0.33	0.33
高密度聚乙烯	0.18	0.08~	0.12	0.11
		0.12		
聚甲醛	0.14	0.13		
聚碳酸酯	0.60	0.53		
聚对苯二甲酸乙二醇酯	0.29	0.28	0.27 ^①	0.20 ^①
聚酰胺(尼龙 66)	0.37	0.34	0.42 ^①	0.35 ^①
聚氯乙烯	0.45 ^①	0.40 ^①	0.50 ^①	0.40 ^①
聚己二酰己二胺	0.37	0.34	0.42	0.35
聚癸二酰癸二胺		0.39		
氯化聚醚		0.35		
苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚物		0.35~		
		0.46		

注:①黏滑运动。

2. 摩擦的分类

(1) 按机械上摩擦副的运动形式分

①滑动摩擦——两物体接触表面做相对滑动时(或具有相对滑动趋势时)产生的摩擦。

②滚动摩擦——两接触物体沿接触表面滚动时产生的摩擦。

(2) 按机械上摩擦副的运动状态分

①静摩擦——当物体在外力作用下,对另一物体产生微观预位移(如弹性或塑性变形等),但尚未发生相对位移(运动)时临界状态的摩擦。在即将开始做相对运动瞬间的静摩擦称之为极限静摩擦,此时的摩擦系数称之为静摩擦系数。

②动摩擦——两物体有相对运动的接触表面间之摩擦。此时的摩擦系数称之为动摩擦系数。

(3) 按摩擦副表面的润滑状况分

①干摩擦——在两机械零件相互接触并做相对运动的表面间,无其他介质(如吸附膜、化合物膜、润滑剂膜、湿气等)时产生的摩擦,比如飞轮、压板与离合器间的摩擦,制动蹄衬片与制动鼓之间的摩擦等。根据两相对运动机械零件的接触形式,干摩擦可分为干滑动摩擦和干滚动摩擦。

②边界摩擦——做相对运动的摩擦副表面间被一种具有分层结构和润滑性能的很薄(0.1 mm 以下)的润滑膜分开时所产生的摩擦,见图 1-2。

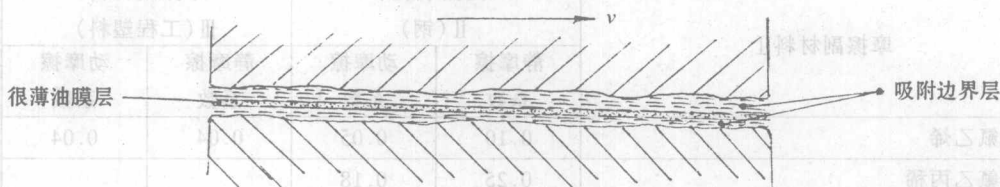


图 1-2 边界摩擦示意图

③流体(液体)摩擦——摩擦副表面被润滑油膜隔离,机械零件表面不发生直接接触的摩擦,如图 1-3 所示。这种油膜层的形成与摩擦副配合间隙、润滑油黏度、载荷、组合件的结构尺

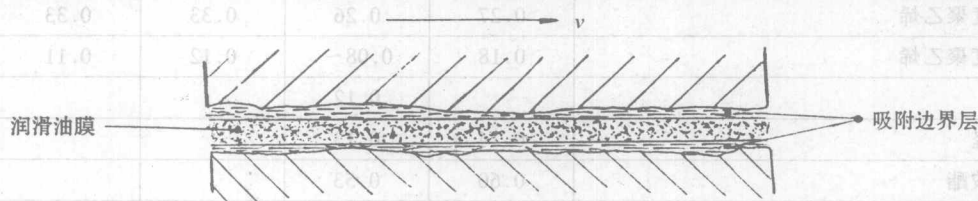


图 1-3 流体(液体)摩擦示意图

寸、转速等因素有关。由于这种摩擦绝大部分是发生在润滑液体内部,故对机械零件(摩擦副)的磨损是非常小的,比如,磨床在稳定转速的情况下,将形成流体(液体)摩擦状态,如图 1-4 所示。在配合间隙、载荷、润滑油黏度等多种条件下,是否能够形成流体(液体)摩擦的决定因素则是转速。

④混合摩擦——在摩擦副表面间同时存在干摩擦、边界摩擦、流(液)体摩擦混合状态下的摩擦。通常,混合摩擦是以半干摩擦或半流(液)体摩擦形式出现的。半干摩擦即是在摩擦表面同时存在边界摩擦和干摩擦的混合摩擦;半流(液)体摩擦即是在摩擦表面同时存在流

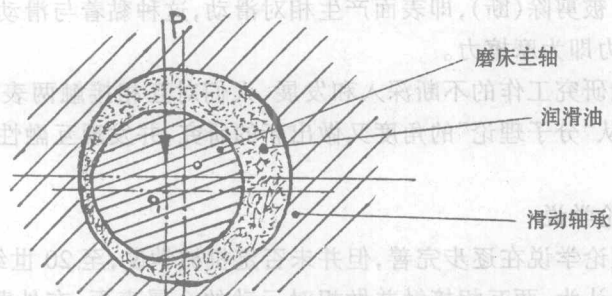


图 1-4 磨床主轴流(液)体摩擦状态示意图

(液)体摩擦和边界(或干)摩擦的混合摩擦。

(4)按摩擦发生的部位分

①外摩擦——两互相接触物体界面所发生的摩擦,即通常泛指摩擦。

②内摩擦——同一物体内部各部分间相对移动而发生的摩擦,它通常发生在润滑剂之类的流体内,也可发生在诸如石墨、二硫化钼及金属材料的塑性加工等固体内。

3. 摩擦机理

关于两个互相接触并做相对运动的对偶表面为什么会产生摩擦问题,自提出至今约 500 多年间,人们从未停止探索的脚步,并形成以下 3 种主要学说。

(1)机械学说(又称凹凸学说)

该学说认为,两互相接触对偶表面质量(微观情况)是形成摩擦的原因,早期曾认为:表面越粗糙,则摩擦阻力越大,而表面光洁度越高则摩擦阻力越小。但近期以来的深入研究与实践却认为:摩擦阻力与其表面质量间的关系是与早期结论成相反结果。

事实上,无论其机械加工精度有多高,从微观的角度看,其表面都存在着凸凹不平度,其数值通常为 $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{ cm}$ 。

机械学说指出:当两接触对偶表面接触并做相对运动时,其面上的凸峰与凹谷便相互啮合(详见图 1-5),凸峰将在运动中被剪切或被压缩,这剪切或压缩就形成切向阻力,其接触部位的这种力的总和便形成通常所称的摩擦力。



图 1-5 两粗糙表面相接触时的摩擦状态示意图

(2)黏着理论学说(亦称分子吸附学说)

由于上述机械学说中对摩擦机理的研究结果有不同的说法,故又有“黏着理论学说”提出。该理论学说认为,在外载荷的作用下,接触面上真实接触点应力将很大,以致产生微凸体的局部变形,形成局部小平面接触,随着微凸体的不断“犁削”,直到接触面积不断增大并能承受全部载荷为止。此时,互相接触的金属表面将出现牢固的黏着点(又称冷焊现象),然后这些黏着

点将在切向力的作用下被剪除(断),即表面产生相对滑动,这种黏着与滑动的交替过程即称摩擦,剪断各黏着点的合力即为摩擦力。

随着科学技术理论研究工作不断深入和发展,人们对互相接触两表面的黏着现象又进行了更为深入的探讨,从“分子理论”的角度又做出新的研究,并发现互融性越好的金属越容易产生黏着现象。

(3)机械—分子理论学说

尽管提出的黏着理论学说在逐步完善,但并未否定机械学说,至20世纪的40年代新出现的机械—分子理论学说认为:两互相接触并做相对运动的金属表面,在外载荷的作用下,其粗糙表面的微凸峰端产生高压,由于分子的吸附作用出现局部“冷焊”的塑性变形,形成两表面的黏附,它们在做相对滑动时剪除(断),同时又出现硬的金属分子嵌入较软的金属基体的现象(即出现上述两金属表面微凸峰与凹谷的现象)。此过程所产生的相对运动总阻力,称之为摩擦力。由此可见,产生机械摩擦的两个条件是:有两互相接触并做相对运动的金属表面微凸峰与凹谷的啮合和分子吸附作用。

二、磨损

两互相接触并做相对运动的机械零件表面,在摩擦力的作用下,发生尺寸、形状、表面质量变化的现象称为磨损。由于机械零件磨损后会造成机械精度的丧失或性能恶化,给企业的生产与安全造成隐患,因此,企业经营者对机械设备的磨损问题极为重视。

1. 磨损分类

机械零件的磨损是十分复杂的过程,影响机械零件磨损的因素很多,且磨损的形式也不尽相同,其分类可有很多方法,但较常见的是按机械零件磨损损坏的机理来分,共有以下5种不同磨损类型:

(1)黏附(着)磨损;

(2)磨料磨损;

(3)表面疲劳磨损;

(4)腐蚀磨损;

(5)微动磨损。

同摩擦理论研究探讨一样,磨损分类方法自1946年以来的几十年期间一直在被不断地研究与完善,其中契可斯于1985年提出的分类方法有一定的代表性,见图1-6。

2. 机械零件的正常磨损规律

机械零件的磨量随运动(工作)时间变化的特征称之为磨损规律。机械零件在正常运动(工作)的情况下的磨损,通常可分为3个阶段,如图1-7所示。其中:

I——跑合阶段,又称磨合阶段。由于零件表面具有一定的粗糙度,摩擦表面的实际接触面积较小,经过短时间的跑合后,表面逐渐磨光,所以,这一阶段的磨损速度很快。随着时间的推移,接触表面的实际接触表面积逐渐增加,其磨损的上升速度渐渐转慢。当磨损量至 a 点时,则说明正常工作条件已形成。

II——稳定磨损阶段。机械零件在这个阶段的磨损量上升速度缓慢且稳定,这是机械零件正常工作期间的磨损特性。当磨损量增到 b 点时,则接近金属表面积的疲劳极限,磨损特性将进入新阶段。

III——剧烈磨损阶段。 b 点以后的磨损量增长速度急剧上升,通常伴随着摩擦表面的温

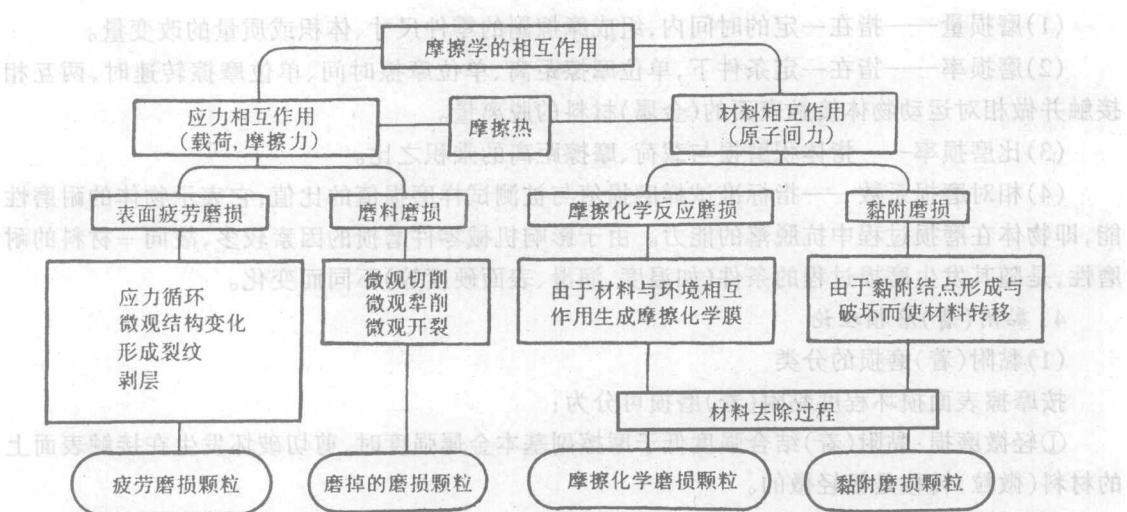


图 1-6 摩擦学的相互作用与磨损机理的分类

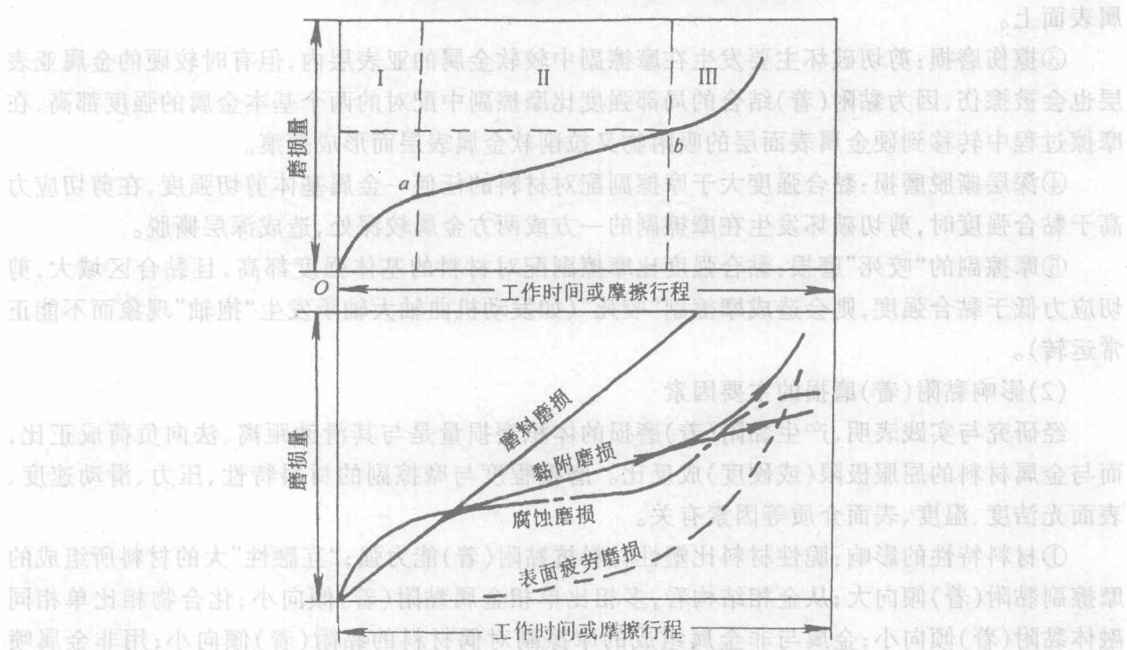


图 1-7 正常磨损过程

I—跑合阶段；II—稳定磨损阶段；III—剧烈磨损阶段

度急剧上升、润滑条件变坏、机械零件微观几何形状的改变等情况出现,此时,将导致设备的工作效率下降、精度降低,有异常噪声、振动等不正常状态,最终将导致设备损坏,或某个零件的工作失效。

3. 机械零件磨损的评定指标

机械零件磨损的表示方法很多,因为其磨损微粒的大小和形状、分布规律、化学成分、零件的几何尺寸变化等等因素,都可以用来表示磨损现象,而通常以用磨损量或磨损率表示磨损的情况较多。通常的磨损评定指标有:

(1) 磨损量——指在一定的时间内,组成摩擦副的零件尺寸、体积或质量的改变量。

(2) 磨损率——指在一定条件下,单位摩擦距离、单位摩擦时间、单位摩擦转速时,两互相接触并做相对运动物体接触表面的(金属)材料的脱离量。

(3) 比磨损率——指体积磨损与载荷、摩擦距离的乘积之比。

(4) 相对磨损系数——指标准试样磨损值与被测试样磨损值的比值,它表示物体的耐磨性能,即物体在磨损过程中抗脱落的能力。由于影响机械零件磨损的因素较多,故同一材料的耐磨性,是随其发生磨损过程的条件(如温度、润滑、表面硬度等)不同而变化。

4. 黏附(着)磨损理论

(1) 黏附(着)磨损的分类

按摩擦表面损坏程度黏附(着)磨损可分为:

① 轻微磨损:黏附(着)结合强度低于摩擦副基本金属强度时,剪切破坏发生在接触表面上的材料(微粒)转移是极轻微的。

② 涂抹黏附(着)磨损:当黏附(着)结合面强度大于摩擦副配对材料中较软的金属剪切强度时,较软的材料(易软化或易融化的材料)的微粒发生迁移(转移),并以薄层重新涂到较硬金属表面上。

③ 擦伤磨损:剪切破坏主要发生在摩擦副中较软金属的亚表层内,但有时较硬的金属亚表层也会被擦伤,因为黏附(着)结合的局部强度比摩擦副中配对的两个基本金属的强度都高,在摩擦过程中转移到硬金属表面层的吸附物又拉削软金属表层而形成擦痕。

④ 深层撕脱磨损:黏合强度大于摩擦副配对材料的任何一金属基体剪切强度,在剪切应力高于黏合强度时,剪切破坏发生在摩擦副的一方或两方金属较深处,造成深层撕脱。

⑤ 摩擦副的“咬死”磨损:黏合强度比摩擦副配对材料的基体强度都高,且黏合区域大,剪切应力低于黏合强度,则会造成摩擦副“咬死”(如发动机曲轴大轴承发生“抱轴”现象而不能正常运转)。

(2) 影响黏附(着)磨损的主要因素

经研究与实践表明,产生黏附(着)磨损的体积磨损量是与其滑动距离、法向负荷成正比,而与金属材料的屈服极限(或硬度)成反比。磨损程度与摩擦副的材料特性、压力、滑动速度、表面光洁度、温度、表面介质等因素有关。

① 材料特性的影响:脆性材料比塑性材料抗黏附(着)能力强;“互融性”大的材料所组成的摩擦副黏附(着)倾向大;从金相结构看,多相比单相金属黏附(着)倾向小;化合物相比单相同融体黏附(着)倾向小;金属与非金属组成的摩擦副对偶材料的黏附(着)倾向小;用非金属喷涂、电镀、表面化学处理、表面热处理、堆焊等,可减少摩擦副的黏附(着)倾向。

② 压力的影响:黏附(着)磨损量,通常与压力成正比,并当压力增大到某一临界值后会急剧增加。

③ 滑动速度的影响:在压力一定的情况下,黏附(着)磨损量随滑动速度的增加而增长,当达到某极限值后,则又与滑动速度呈相反关系。

④ 表面粗糙度的影响:当粗糙度超过合理点后,润滑剂不储存于摩擦面内,反而易导致黏附(着)磨损发生。

⑤ 温度的影响:摩擦副在相对运动中热量散发不好,使摩擦副温度升高,严重时将导致润滑油膜破坏、金属表面层回火或软化、碳融等现象,其结果就是使黏附(着)磨损加剧。

⑥润滑介质状态的影响:边界润滑状态的磨损大于流(液)体润滑状态的磨损,以静压润滑状态下的磨损最小。

5. 磨料磨损理论

(1) 磨料磨损的分类

①凿切式磨料磨损:是由摩擦副在相对运动中所产生的磨料(磨粒)对接触表面产生应力碰撞,从零件接触表面凿削下金属颗粒,使表面产生较深的沟槽的磨损形式。

②高应力碾碎式磨料磨损:由于磨料的压溃强度低于摩擦面间的最大压应力,在摩擦副的运动过程中被压碎。当磨料硬度大于摩擦表面强度时,则在高应力作用下,磨料(磨粒)将嵌入或刮到被损伤的摩擦表面,引起韧性材料的疲劳或塑性变形,若是脆性材料,则将导致接触表面的破裂或剥落,这一磨损形式就是高应力碾碎式磨料磨损。

③低应力磨料磨损:若摩擦表面的低应力不超过磨料的压溃强度,则摩擦副在运动时便逐渐形成摩擦表面研伤,并随时间增加而造成严重的积累性磨损,亦称之为低应力磨料磨损。

(2) 影响磨料磨损的主要因素

①磨料的影响:摩擦副开始做相对运动时,随着磨粒的增多和增大,其磨损量亦随之增加,但当磨料数量和尺寸达一定程度时(临界值),则磨损量就不再增加。在一般情况下,磨料的硬度越高,则(钢材)磨损亦随之加大,但当硬度达一定值后,磨损度的影响减缓,最后其磨损却呈下降趋势。

②单位压力的影响:实践证明,磨料磨损的磨损量是与其接触面的单位压力成正比的。

③热处理工艺的影响:在一定的温度条件下,金属摩擦副接触表面的硬度及含碳量不同,其磨损量亦不同。因此,在机械制造中,常采用表面渗碳或淬火的热处理工艺来改善和提高机械零件的耐磨性及使用寿命。

6. 表面疲劳磨损理论

(1) 表面疲劳磨损的分类

①非扩展性的表面疲劳磨损:由于摩擦表面上的凸点和波纹度存在,在两摩擦表面接触不连续时,其所承受的脉动循环(交变)应力将使表面凸点产生疲劳,继而便脱落形成小的凹痕。随着面积的不断扩大,其单位面积的压力便随之降低、摩擦表面硬化、强度有所提高,因此,凹痕就不会再扩展,机件便可以继续工作。

②扩展性表面疲劳磨损:与上述情况相反,当两摩擦面上的交变应力较大时,或因摩擦副的材质较差(塑性低等)或润滑不良,致使在跑合阶段凹痕出现初始裂纹,随着所承受脉动载荷次数增加,其凹痕处的断裂将继续增加(扩展)并形成痘斑形凹痕坑,严重时,能导致机件失效。

(2) 影响表面疲劳磨损的因素

①摩擦副零件表面渗碳及厚度的影响:由于疲劳裂纹初始于表面层,故较厚的渗碳层可起到抗疲劳磨损能力。若渗透层过浅,则疲劳裂纹会在渗碳层与心部过渡区,易于产生疲劳剥落损伤。合理地提高渗碳钢心部硬度,有利于提高表面抗疲劳磨损的性能。

②摩擦副接触表面硬度的影响:材料表面硬度与其抗疲劳性能的关系极大。实践证明,金属材料表面硬度过高或过低,都不利于提高其抗疲劳强度的性能,即都会导致其磨损的加快。在摩擦副材料选配上,应视其实际工况不同选择其表面硬度。比如,在齿轮传动中,某一对啮合的齿轮应将其大齿轮的齿面硬度选择得低些,而与其啮合的小齿轮的齿面硬度则应选择高

些,以利于提高该啮合齿轮副的使用寿命。

③表面粗糙度的影响:合理的粗糙度,有利于提高摩擦副的抗疲劳性能。但任何超过合理点的粗糙度,都不会起到提高其抗疲劳磨损性能的作用,相反,将会导致制造成本增加。

④润滑状况影响:润滑油的黏度对摩擦副接触表面的疲劳磨损性能影响较大。通常是润滑油黏度高,则摩擦副接触表面的压力越近乎平均分布,抗疲劳磨损的能力就越高。黏度低的润滑油易渗入摩擦副接触表面的裂纹或流失,起着加速裂纹扩展和导致疲劳磨损的不良作用。此外,润滑油中水分及固体润滑剂的含量对机械零件的疲劳磨损的影响亦不容忽视,含水量大则会加速零件表面的疲劳磨损。在润滑油中适当加入抗磨剂能提高机械零件的抗疲劳磨损性能。

三、提高机械寿命及减少磨损的途径

港口装卸机械设备及其零部件,在使用过程中由于正常磨损而发生故障,或由于磨损而导致其功能不能正常发挥,当磨损量达一定限度时,则必须停止工作而进行相应的修理。设备的寿命周期主要是正常运转条件下其各运动副的磨损寿命及零部件(含金属结构件)的疲劳寿命。因而,从一定意义上讲,欲提高港口装卸机械的使用寿命,其实即是研究、探索如何减少机械零部件磨损的科学途径。

现代设备管理所指的设备寿命分别是:自然(物质)寿命、技术寿命、经济寿命。所谓自然(物质)寿命,是指设备从投入使用起,到因物质磨损报废为止所经历的时间;技术寿命,又可称为有效寿命,指设备从投入使用起,到因技术进步而被淘汰为止所经历的时间,它一般比自然寿命短些;经济寿命是指设备投入使用后不断老化,所需日常维修保养等费用日益增多,故需根据设备的有关费用来衡量其是否需要更新或技术改造,这种根据使用(运行)所需的费用而决定的设备寿命称之为设备的经济寿命。机械零件的磨损研究属机械设备自然寿命范畴的内容。

1. 材料方面

(1)合理地选择摩擦副的配对材料(见图 1-8)

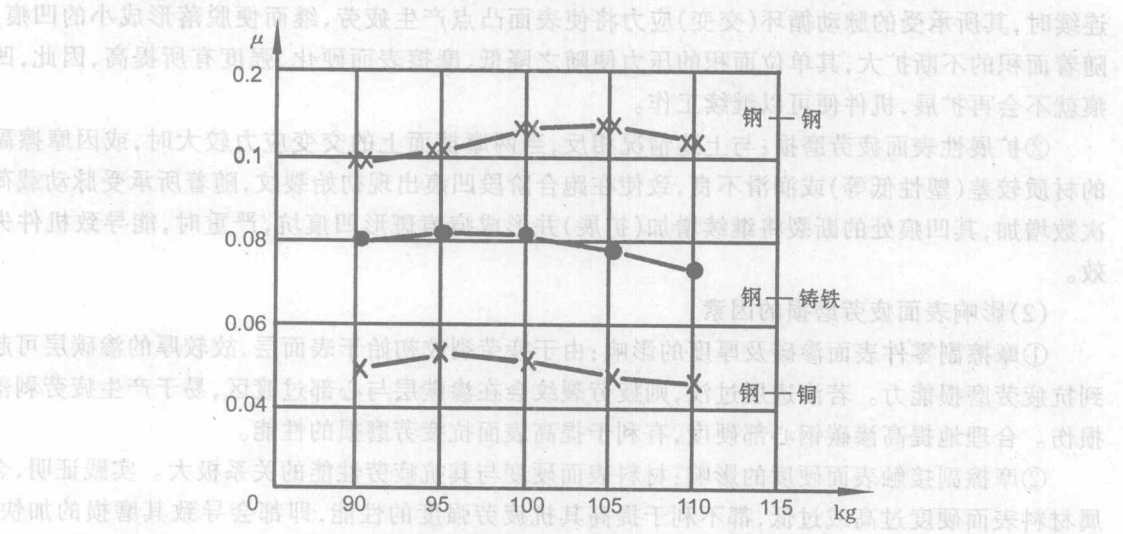


图 1-8 不同配对材料的摩擦系数 ($V=6\text{ m/s}$, 边界摩擦)

由图 1-8 可知,在相同的滑动速度、相同的载荷变化、相同的试验条件下,由于所选择的摩擦副配对材料的不同,其摩擦系数亦就不同。相同材料配对而形成的摩擦副的摩擦系数比其他两组实验数据都大,这是因为相同材料或互融性较大的金属摩擦副在相互运动中较易产生黏着(分子吸附)的现象,故其摩擦系数较大。不同金属配对组成的摩擦副,或因其互融性较差,不易产生黏着,故摩擦系数均较小,这就是在机械设计制造中,其摩擦副几乎都设计成由不同材料配对组成的缘故,其目的就是为降低摩擦系数,降低摩擦阻力,减少机械零件的磨损。

(2)合理地选用耐磨材料

通常把相对耐磨系数较低的材料称之为耐磨材料。它具有高的硬度,一定的强度和韧性,耐磨性好的金相组织,良好渗透性、加工性、可焊性等特点。耐磨性材料又可分为金属耐磨材料和非金属耐磨材料两大类。常用的金属耐磨材料有各种钢、铸铁、合金材料、耐磨堆焊焊条、部分有色金属等;常用的非金属耐磨材料有塑料、橡胶、高温无机涂料、铸石、复合材料等。比如在金属耐磨材料中主要有低碳低合金钢(如 16Mn、14 MnMoVB 钢)、中碳钢和中碳合金钢(如 35Mn、40Mn、45 Mn、50 Mn 钢)、高碳低合金钢(如 GCr15、CrWMn 钢)、高碳合金钢(如 ZGMn13 钢)、低碳铬钢和不锈钢(如 ZGCrMo 钢)、铸造石墨钢等。其他还有耐磨铸铁(冷硬铸铁、白口铸铁等)、中锰球磨铸铁、耐磨堆焊焊条等。

在非金属材料中,主要有铸石(它是硅酸盐结晶体,可浇铸成型)、耐磨涂层材料等。

(3)选用摩擦系数小的减磨材料

所谓减磨材料即是摩擦系数小和磨合性好的材料,它的特点是具有低而稳定的摩擦系数,易磨合,不损伤配偶件,散热性好,互融性小。减磨材料分为金属减磨材料、非金属减磨材料、金属与非金属组合而成的减磨材料 3 大类。

①金属减磨材料主要有:巴氏合金(可分为锡基合金及铅基合金两种)、铜合金、铝基合金、粉末冶金材料等。

②非金属减磨材料主要有:尼龙、聚四氟乙烯、酚醛塑料等。

③金属与非金属组合的减磨材料主要有:金属材料减磨材料、金属纤维减磨材料等。

(4)采用表面处理的方法减少磨损

在生产实践中,经常采用化学热处理、电镀、离子喷涂、耐磨涂层、喷丸强化、电火花强化、滚压加工等加工方法,使机械零件的表面强度得以强化,或使其表面(一定深度)的金相组织及元素含量得以改变,进而达到减少磨损的目的。

2. 结构方面

摩擦副的正确结构,是提高零件的耐磨性、减少磨损的重要条件之一。为此,机械设备中摩擦副配偶件的设计选择要符合以下要求:

(1)有利于摩擦接触表面间润滑油膜的形成和恢复。

(2)摩擦表面的压力分布均匀。

(3)散热性良好。

(4)既有利于自身的磨屑排出,又能有效地防止外界的磨粒侵入。

在港口内燃装卸机械中常见的各种类别的液压缸活塞杆的防尘套、密封圈等,都属防止外部尘粒侵入的措施;而自身的磨粒屑一般都能经润滑油道排出。各类机床导轨减少磨料的防护措施(结构),可见图 1-9。

其中,图(a)用金属盖板 1 压住刮片 2(橡胶制品或其他非金属制品),用以刮除导轨上的