



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 内燃机车检修

王连森 主编

**NEIRAN JICHE  
JIANXIU**

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 内 燃 机 车 检 修

王连森 主编  
韩明春 主审

中国铁道出版社

2009年·北京

ISBN 978-7-113-08131-0

定价：35.00元

00107812-010, 西单图书大厦

## 内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共分七章,主要介绍内燃机车检修的基础知识;内燃机车柴油机、转向架、牵引电机、电器、制动机主要零部件损伤形式及原因;检修方法;内燃机车总组装、水阻试验和机车试运转等方面的知识。

本书为高职高专内燃机车专业教材,也可供中等职业学校及其他专业学校(院)内燃机车或相近专业学生、内燃机车检修工厂和机务段检修人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

内燃机车检修/王连森主编. —北京:中国铁道出版社,  
2007.6(2009.9重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-113-07944-4

I. 内… II. 王… III. 内燃机车—车辆检修—高等学校—  
教材 IV. U269.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第072757号

书 名:内燃机车检修

作 者:王连森 主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:赵 静

编辑部电话:010-51873133

封面设计:马 利

印 刷:北京新魏印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:19 字数:472千

版 本:2007年7月第1版 2009年9月第2次印刷

印 数:3001~6000册

书 号:ISBN 978-7-113-07944-4/U·2074

定 价:30.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

发行部电话:010-51873169

## 前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,根据 2005 年 12 月全国高职高专机车专业教学指导委员会审定的“内燃机车检修”教学大纲编写,教学时数为 110 课时,系统地介绍了内燃机车检修的基础知识、内燃机车的检修过程和内燃机车典型零部件的检修工艺。

本教材的教学目标是:培养具有扎实的检修理论知识基础,较强的分析、解决问题和操作技能的内燃机车检修应用型人才。全书共计七章,其内容有:内燃机车检修基础,主要涉及机车检修共同性工艺问题及检修管理基本知识;内燃机车柴油机检修工艺;转向架检修工艺;内燃机车电机、电器检修工艺;制动机检修工艺;机车总组装、试验和试运转方面的知识。

在编写过程中,我们查阅了大量的参考资料,多次到铁路机车检修现场调研,多次进行专题交流与研讨。在编排的内容上,强调适用性,注重理论与实践相结合,突出分析、解决问题和实作能力的培养。教材中介绍的工艺方法,基本取自国内铁路内燃机车检修现场的实际情况。在内容的组织上,注意逻辑性、系统性和层次分明。在文字表述上,注意准确、精炼、通俗易懂。在技术发展上,尽量反映目前本领域最新的技术、工艺、设备。每章有小结,以指导学生掌握学习重点;各章均附有复习思考题,帮助学生巩固所学知识。

本书由沈阳铁路机械学校王连森主编,苏州机电高等职业技术学校王加华、郑州铁路职业技术学院张铁竹、沈阳铁路机械学校丁洪东参编。具体分工如下:王连森负责绪论、第一章、第二章的编写;王加华负责第三章、第七章的编写;张铁竹负责第四章、第五章的编写;丁洪东负责第六章的编写。全书由沈阳机务段韩明春主审。

在编写过程中,得到了全国机车专业高职高专教学指导委员会的大力支持,戚墅堰机车车辆工厂及沈阳机务段的大力帮助,在此一并致谢。

编 者  
2007 年 1 月

# 目 录

|                           |     |     |
|---------------------------|-----|-----|
| 绪 论 .....                 | 1   | 目 录 |
| 第一章 内燃机车检修基础 .....        | 4   |     |
| 第一节 内燃机车零件的损伤 .....       | 4   |     |
| 第二节 内燃机车检修制度 .....        | 18  |     |
| 第三节 内燃机车检修限度 .....        | 26  |     |
| 第四节 内燃机车检修工艺过程与工艺文件 ..... | 27  |     |
| 第五节 内燃机车的分解、装配及清洗 .....   | 30  |     |
| 第六节 内燃机车零件的检验 .....       | 36  |     |
| 第七节 内燃机车零件的修复技术 .....     | 45  |     |
| 第八节 内燃机车检修管理基本知识 .....    | 57  |     |
| 本章小结 .....                | 63  |     |
| 复习思考题 .....               | 63  |     |
| 第二章 内燃机车柴油机的检修 .....      | 65  |     |
| 第一节 柴油机检修工艺过程 .....       | 65  |     |
| 第二节 柴油机主要零部件的损伤与故障 .....  | 66  |     |
| 第三节 机体的检修 .....           | 81  |     |
| 第四节 气缸套的检修 .....          | 87  |     |
| 第五节 气缸盖与气门的检修 .....       | 90  |     |
| 第六节 活塞连杆组的检修 .....        | 92  |     |
| 第七节 曲轴与凸轮轴的检修 .....       | 100 |     |
| 第八节 涡轮增压器的检修 .....        | 105 |     |
| 第九节 喷油泵与喷油器的检修 .....      | 111 |     |
| 第十节 联合调节器的检修 .....        | 119 |     |
| 第十一节 机油和冷却水系统的检修 .....    | 129 |     |
| 第十二节 柴油机总组装 .....         | 136 |     |
| 第十三节 柴油机的试验与调整 .....      | 145 |     |
| 本章小结 .....                | 156 |     |

|             |     |
|-------------|-----|
| 复习思考题 ..... | 156 |
|-------------|-----|

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第三章 内燃机车转向架的检修 ..... | 158 |
|----------------------|-----|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第一节 转向架检修工艺过程 .....      | 160 |
| 第二节 构架、旁承与牵引杆装置的检修 ..... | 161 |
| 第三节 轴箱的检修 .....          | 165 |
| 第四节 轮对的检修 .....          | 172 |
| 第五节 车钩及缓冲装置的检修 .....     | 177 |
| 第六节 油压减振器的检修 .....       | 180 |
| 第七节 牵引电动机悬挂装置的检修 .....   | 184 |
| 第八节 转向架的组装与调整 .....      | 188 |
| 本章小结 .....               | 190 |
| 复习思考题 .....              | 190 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第四章 内燃机车电机的检修 ..... | 191 |
|---------------------|-----|

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第一节 电机检修工艺过程 .....  | 191 |
| 第二节 电机的解体与清洗 .....  | 192 |
| 第三节 电机电枢绕组的检修 ..... | 195 |
| 第四节 电机磁极的检修 .....   | 203 |
| 第五节 电机绕组的浸漆 .....   | 208 |
| 第六节 电机机械部分的检修 ..... | 210 |
| 第七节 电机的组装与调整 .....  | 219 |
| 第八节 电机的试验 .....     | 222 |
| 第九节 电机故障的处理 .....   | 227 |
| 本章小结 .....          | 228 |
| 复习思考题 .....         | 228 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第五章 内燃机车电器的检修 ..... | 230 |
|---------------------|-----|

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一节 有触点电器的检修 ..... | 230 |
| 第二节 无触点电器的检修 ..... | 236 |
| 第三节 蓄电池的检修 .....   | 246 |
| 本章小结 .....         | 251 |
| 复习思考题 .....        | 251 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第六章 内燃机车制动机的检修 ..... | 253 |
|----------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第一节 概 述 .....           | 253 |
| 第二节 空气压缩机的检修 .....      | 255 |
| 第三节 空气制动机阀件的检修 .....    | 261 |
| 第四节 空气制动机附件与管件的检修 ..... | 269 |
| 第五节 空气制动机的综合试验 .....    | 272 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 本章小结 .....                          | 274        |
| 复习思考题 .....                         | 275        |
| <b>第七章 内燃机车总组装、水阻试验及线路试运转 .....</b> | <b>276</b> |
| 第一节 内燃机车总组装 .....                   | 276        |
| 第二节 内燃机车水阻试验 .....                  | 285        |
| 第三节 内燃机车线路试运转 .....                 | 293        |
| 本章小结 .....                          | 295        |
| 复习思考题 .....                         | 295        |
| <b>参考文献 .....</b>                   | <b>296</b> |

# 绪 论

## 一、内燃机车检修的重要性

铁路是我国国民经济的大动脉。在我国的铁路运输事业中,内燃机车是主要的牵引动力之一。内燃机车在运用过程中,其牵引负荷大、运行速度高、连续运行的里程长、机车运行条件差,这些因素使机车经过一段时间的运用后,机车各零部件必然会发生一定程度的损伤,如:机械部分会发生零件的磨损、联结件的松旷、密封件的失效等;电气部分会出现触头接触不良、绝缘老化等等。所以必须适时地对其进行检修,以恢复零部件及机车的技术状态。

那么,检修时机如何确定呢?过早,浪费了机车的运用能力,经济性不好;过晚,引起零部件损伤加剧,以致零部件损坏,不能进行修复。为此必须根据零件的损伤规律,结合它的使用期限,及时对其进行检修。这种检修是“防患于未然”的,具有鲜明的预防性质,它不是等到零件损坏后,而是在零件损伤达到一定限度时即进行,起到预防内燃机车及零部件发生事故性损坏的作用,我们把这种修理制度称为机车的“计划预防修理制度”。本书“检修”的含义,即基于此。

对于一个部件,检修是一个过程,包含以下几个环节:分解、清洗、检查(检验)、修复、组装、调整、试验;对于一个零件,检修则主要指检查和修复。

内燃机车检修具有十分重要的意义。

机车是铁路运输生产的重要牵引设备,机车检修是铁路运输工作中的重要组成部分。科学、合理地实施内燃机车检修工作,可以为铁路运输提供质量可靠、数量充足的机车,保证铁路运输生产顺利进行。

铁路行车安全是铁路运输各项工作的重中之重。高质量地检修内燃机车,可使检修后的内燃机车技术状态良好,避免由于设备不良引起列车行车事故,避免造成人员伤亡和重大经济损失。

机车检修质量的提高,可以提高铁路运输效率,避免因机车发生临时故障而引起机故或机破,保证高效率地运输生产。

科学、合理地组织好内燃机车检修工作,可以降低检修费用,降低铁路运输成本。

## 二、内燃机车检修的现状与发展

我国内燃机车检修经历了一个较快的发展过程。目前,全国铁路已形成了由修理工厂和机务段组成的完整的内燃机车检修体系。

在生产组织方面,采用专业化、集中修原则。其特点是健全检修管理机构 and 各项管理制度,科学、高效、有序地指挥生产,严格地按各项规定(检修范围、技术要求、操作工艺规程)检修内燃机车。

在检修质量方面,制定了比较完善的内燃机车大、中修规程和相应的内燃机车检修工艺规程,统一了内燃机车检修与验收标准。内燃机车检修在标准化方面达到了一定水平。

在检修制度方面,采用“计划预防修理”制度。考虑到全路各地理区域运用内燃机车实际

条件的差异性,允许各铁路局实行“弹性周期计划预防修理”制度。

计划预防修理是对机车进行预防性的、有计划性的定期检修。如果一台机车的零部件运用到损坏以后才进行检修,其检修时间必然很长,检修费用很高,有些重要的零件甚至因无法修复而导致报废。但是这种检修制度是根据机车走行公里或运转时间来确定修程,并未考虑机车不同牵引重量(客运或货运)、不同的线路条件和不同的地理状况,即机车是在不考虑实际技术状态下进行检修的,结果是有些机车按其实际技术状态需要检修,但仍在运用;有些机车按其实际状态仍可运用,却进行了检修,造成了浪费。“弹性周期计划预防修理”制度是针对上述情况而产生的。各个铁路局可根据本局机车的实际运用条件,制定出适合本局的恰当的检修周期。

近年来,随着机车故障诊断技术的发展,内燃机车检修业出现了一种新的检修制度——“机车状态预防检修”。它根据机车实际情况来确定检修时机,即利用故障诊断技术设备,在机车运用中或在不解体情况下测取有关参数,采用信息处理技术进行分析,同已制定的技术标准进行比较,对机车技术状态进行准确判断,以确定检修时机(周期)。这种检修制度可以充分发挥机件的潜力,减少检修工作量,具有很好的发展前景。铁道部已提出一个带有方向性的意见——采用诊断技术,扩大状态预防检修比例。要达到这个目的,就必须有计划、有目的地组织开展对机车关键件、主要部件、总成和机件故障诊断技术研究和诊断装置的研制,在产品设计上设立相应的传感器接口,逐步实现新制出厂机车的统一配置测试点和诊断装置。

### 三、内燃机车检修的任务及主要内容

内燃机车检修的主要任务是:消除零部件损伤,恢复其工作性能,使机车保持良好的技术状态,以满足铁路运输生产的需要。

内燃机车检修的主要内容是:

1. 系统地研究、分析机车零件的损伤规律;
2. 确定正确的检修制度,确定各修程和检修范围;
3. 合理地确定机车检修的技术条件和质量要求;
4. 选择与研究先进的检修方法和技术,大力推广检修新技术、新工艺。

### 四、课程的性质、目的和学习方法

“内燃机车检修”是内燃机车专业重要的专业课程之一,是研究内燃机车检修理论,内燃机车零部件检修工艺的一门综合性课程。

学习本课程的目的是掌握内燃机车检修的基本理论知识和基本的实际操作技能,为胜任内燃机车的检修工作打下坚实基础。为此,本课程提供了以下知识,并在讲述理论知识的同时,强调操作技能的训练,以培养实际动手能力:

1. 内燃机车检修基础理论知识;
2. 内燃机车柴油机检修工艺;
3. 内燃机车转向架检修工艺;
4. 内燃机车电机、电器检修工艺;
5. 内燃机车制动机检修工艺;
6. 内燃机车总组装、水阻试验及试运转知识。

“内燃机车检修”是一门与生产实践紧密联系的课程,学习本课程必须采用理论与实际相

结合的方法。学习检修理论时要结合实际,明确理论的用途及对生产的指导意义。学习具体零件的检修工艺和方法时,应加强现场教学,做到理论与实践融会贯通。在教学过程中应加强动手训练。

# 第一章 内燃机车检修基础

## 本章提要:

在各类型内燃机车检修中,有一些基础性和共同性的知识,对于从事内燃机车检修工作的人员,掌握这些知识是必须的。本章主要介绍内燃机车零件损伤的规律、内燃机车检修共同性工艺和机车检修管理的基础知识。

## 主要内容:

- 内燃机车故障的规律及零件损伤形式。
- 内燃机车基本检修业务知识:工艺过程、工艺文件、检修制度、检修限度。
- 内燃机车检修工艺基本知识:分解、清洗、检验、修复、装配。
- 内燃机车检修管理的基本知识。

## 第一节 内燃机车零件的损伤

### 一、内燃机车故障

故障是指产品失去规定功能的事件。

内燃机车故障是指整车及其零部件的某项或多项技术经济指标偏离了它的正常状态,在规定的使用条件下已不能完成规定功能的事件。如某零件及配合的损伤、部件的损坏导致功能不正常或性能下降;发电机、电动机功率降低;机车牵引力下降;传动系统失去平稳、振动噪声增大;燃料和润滑油的消耗增加等。

研究故障的目的是为了故障诊断、故障预报、研究故障机理、排除故障和改进设计的方法,以减少或消除故障的发生,提高机车运用的可靠性和有效利用率。

产品一般可分为可修复产品和不可修复产品两大类。不可修复产品是指产品发生损伤后不进行维修而报废的产品,其中包括有的产品在技术上不便进行维修,一旦产生故障只有报废,如灯泡;有的产品是价格低廉的消耗品,维修很不经济,如电容器,在内燃机车中属于这类产品的有轴承、活塞环、油封及部分电气元器件等。内燃机车和其他机械设备大多属于可修复产品,在使用过程中都是通过修复或者更换新的零件或部件以恢复原来的使用性能。

#### 1. 内燃机车产生故障的主要表现

内燃机车在运用过程中,其技术状态随着走行公里数的增加而逐渐变差,继而达不到预定的工作性能,称之为机车产生了故障。

有下述现象之一,可认为机车产生了故障:

- (1) 动力性能下降——柴油机不能发出预定的功率,机车牵引力下降。
- (2) 经济性能下降——柴油机气缸内燃烧不良,燃油与机油消耗增加。
- (3) 可靠性能下降——如电气部分绝缘老化、击穿,造成短路,导致动作失误,影响正常行车;再如机械部分配合间隙加大,联结松动,产生冲击振动,可能引起零件的断裂,甚至危及行

车安全。

## 2. 机车与机件的故障规律

机车、柴油机及某些机件的故障规律是这些产品、零部件在使用寿命期内故障的发展变化规律。大多数产品的故障率是时间的函数,如图 1-1 所示,故障率曲线像浴盆的断面,因此,也叫“浴盆曲线”。产品的故障率随时间的变化可划分为三个阶段:早期故障期、偶然故障期和耗损故障期。

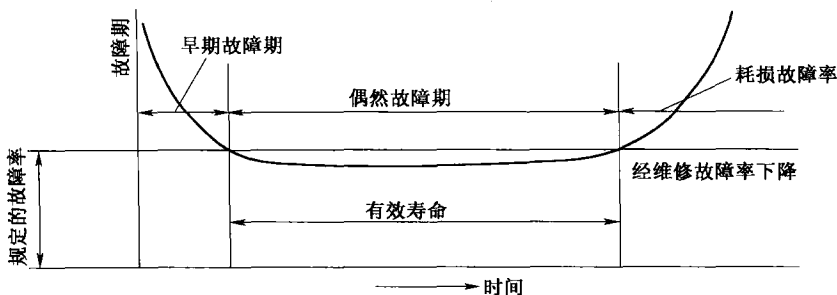


图 1-1 产品的故障率曲线

### (1) 早期故障期

早期故障期出现在产品开始工作的较早阶段,它的特点是故障率较高,且故障率随时间增加而迅速下降。故障的原因往往是设计、制造的缺陷或修理工艺不严,质量不佳引起的。例如使用材料不合格、装配不当、质量检验不认真等。对于刚修理过的产品来说,装配不当是发生故障的主要原因,对新出厂的或大修过的产品,可以在出厂前或投入使用初期的较短的一段时间内进行磨合或调试,以便减少或排除这类故障,使产品进入偶然故障期。因此,一般不认为早期故障是使用中总故障的一个重要部分。

### (2) 偶然故障期

这是产品最良好的工作阶段,也叫有效寿命期或使用寿命期,它的特点是故障率低而稳定,近似为常数。这一阶段,故障是随机性的,突发故障是由偶然因素引起的,如材料缺陷、操作错误以及环境因素等。偶然故障不能通过延长磨合期来消除,也不能由定期更换故障来预防。一般来说,再好的维修工作也不能消除偶然故障,偶然故障什么时候发生是难以预测的。但是,人们希望在有效寿命期内故障率尽可能低,并且持续的时间尽可能长,因此应提高运用与管理水平,适时维修,以减少故障率,延长有效寿命期。

### (3) 耗损故障期

这是产品使用后期,其特点是故障率随时间的增加而明显增加,这是由于经过长期使用,产品磨损、疲劳、腐蚀、老化等造成的。防止耗损故障的唯一办法就是在产品进入耗损期前后及时进行维修,这样可以把上升的故障率降下来。如果产品故障太多,修理费用太高,则不经济,只好报废。可见,准确把握产品何时进入耗损故障期,对维修工作具有重要意义。

以上三个故障期是就一般情况而言的,并不是所有产品都有三个故障阶段,有的产品只有其中一个或两个故障期,甚至有些质量低劣的产品在早期故障期后就进入了耗损故障期。

## 3. 内燃机车零件损伤的类型

内燃机车故障的产生是由于其零件的损伤造成的,内燃机车零件损伤的形式通常有五种:磨损、蚀损、断裂、变形、电气损伤。

根据内燃机车零件发生损伤原因,损伤可分成两种类型:

(1) 自然损伤: 一台技术状态良好的机车, 经过长期正确地运用, 机车零件仍然会由于正常磨损、腐蚀、疲劳和变形等原因而逐渐损伤。由于这些不可避免的原因引起的损伤, 称为自然损伤。随着机车设计、制造、运用、保养和检修水平的不断提高, 机车零件的自然损伤必然会延缓。本书中主要介绍零件的自然损伤。

(2) 责任损伤: 由责任原因造成的, 包括设计不合理、制造与检修工艺不当、运用保养不良等。

下面具体介绍零件的各种损伤形式。

## 二、零件的磨损

大量的统计分析表明, 导致机械设备产生故障的主要原因是摩擦副的磨损。机车零件检修与更换的主要原因是由于磨损引起的, 因此研究磨损、提高零件的耐磨性, 对于提高机车工作的可靠性、延长机车零件的使用寿命、节省检修费用都具有重要意义。

磨损是指互相接触的物体做相对运动时, 工作表面的材料逐渐损耗的现象。磨损的快慢以磨损速度或磨损强度来衡量。磨损速度是指单位时间的磨损量, 磨损量可以用零件的几何尺寸或零件质量的变化量来表示。工程上常以单位工作时间内垂直于摩擦表面的尺寸减小量来计算。机车零件通常以单位运行公里尺寸的变化量来表示。

### (一) 摩擦与磨损

#### 1. 摩擦

摩擦和磨损是既有联系又有区别的两个概念。互相接触的物体做相对运动时发生阻力的现象称为摩擦。摩擦与磨损是相伴发生的, 磨损是摩擦的结果。磨损速度与零件的材料、表面性质和表面状态有着紧密的关系。根据零件摩擦表面的状态, 摩擦可分为干摩擦、液体摩擦、边界摩擦和混合摩擦 4 种形式。

#### (1) 干摩擦

摩擦表面之间没有润滑剂, 固体直接接触的摩擦为干摩擦。如轮箍与钢轨的摩擦、制动时闸瓦与轮箍踏面的摩擦。干摩擦时, 摩擦系数高达 0.1 ~ 0.7, 带来的磨损是极其严重的。干摩擦可分为干滑动摩擦和干滚动摩擦。

##### ① 干滑动摩擦的摩擦力:

$$F = f \cdot N \quad (\text{N})$$

式中  $f$ ——滑动摩擦系数;

$N$ ——正压力(N)。

##### ② 干滚动摩擦的摩擦力:

$$F = \lambda \cdot N/R \quad (\text{N})$$

式中  $\lambda$ ——滚动摩擦系数(cm);

$N$ ——正压力(N);

$R$ ——滚子半径(cm)。

$\lambda$  与  $N$ 、 $R$  及滚动速度无关, 仅与材料表面状态有关, 如铸铁对铸铁时,  $\lambda = 0.5 \text{ cm}$ ; 钢质车轮对钢轨时,  $\lambda = 0.05 \text{ cm}$ 。

#### (2) 液体摩擦

液体摩擦是指摩擦表面之间完全被连续的润滑油膜所隔开, 载荷的传递是通过油膜实现的摩擦, 如各种形式的流体动力润滑轴承(滑动轴承、止推轴承), 再如有润滑的齿轮啮合副。

液体摩擦时摩擦系数很小,通常为 $0.001 \sim 0.01$ ,几乎不产生磨损。形成液体摩擦的关键是要形成油膜。形成油膜需具备三个条件:零件表面有油楔的几何形状;供应充足的具有一定黏度的机油;两零件有相对运动,其运动方向驱使机油从油楔大端流向小端。同时油膜厚度最小值大于两工作表面圆柱度、圆度及微观不平波峰之和。油膜的厚度与机油的黏度、相对运动速度、载荷有关系。一般运动速度高、机油黏度大易形成油膜,载荷大则不易形成。

### (3) 边界摩擦

两摩擦表面之间仅由一层极薄的油膜(通常厚度在 $0.1 \mu\text{m}$ 以下)所隔开的摩擦称为边界摩擦。这种情况一般是由于载荷突然增大或相对运动速度突然下降,或者由于润滑油温度过高、黏度下降等原因所致。边界摩擦时,金属表面凸起部分接触,由于润滑油具有较强的吸附能力,会在它们之间形成极薄的吸附油膜,从而防止了两金属的直接接触,使摩擦力大为减少,但会引起凸起部分的变形及吸附油膜被划破的可能。

### (4) 混合摩擦

摩擦表面上,液体摩擦、边界摩擦、干摩擦三种形态混合存在的摩擦称混合摩擦。在机件运转中,这种摩擦形式广泛存在。它有两种情况:

#### ① 半液体摩擦

同时存在边界摩擦和液体摩擦的情况称为半液体摩擦。摩擦性质由边界摩擦与液体摩擦所占比例而定,但趋向于液体摩擦。

#### ② 半干摩擦

同时存在边界摩擦和干摩擦的情况称为半干摩擦。摩擦性质由边界摩擦与干摩擦所占的比例而定,但趋向于干摩擦。

各种形式的摩擦系数如图1-2所示。

在上述各种摩擦形式中,干摩擦由于金属直接接触,因

此零件表面的磨损是相当剧烈的。边界摩擦由于金属不直接接触,不会产生磨损,但必须指出,在高温或重载下吸附油膜会失去结合力或被划破,导致金属直接接触而引起磨损。液体摩擦不会引起磨损,但在实际工作中液体摩擦只能在高速运转时形成。任何机器总有起动、停车及冲击振动的情况,这时液体摩擦的条件即被破坏,边界摩擦、混合摩擦势必发生而产生磨损。

## 2. 磨损机理

摩擦时引起的磨损情况是一个很复杂的问题,它是一系列物理、化学、机械性能现象的综合。就磨损过程而言,一般认为包含三个进程:一是摩擦表面的相互作用;二是摩擦表面层性质的变化;三是表层被破坏。

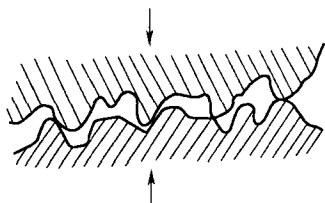


图1-3 摩擦表面受压时互相嵌入的情况

关于磨损机理,一般认为主要是由于表层金属的直接接触而产生的机械作用和分子作用。由于摩擦表面存在一定的粗糙度,受正压力后,表面凹凸部分互相嵌入,如图1-3所示。各凸体部分的强度、高度、方向是不相同的,嵌入的深浅也不同。当表面相对切向位移时,嵌入浅的发生弹性挤压,嵌入深的发生塑性挤压,这样经多次重复后,塑性变形的金属向滑动方向伸长,造成晶格扭曲、晶体滑移和破碎,使部分金属强化或冷作硬化成

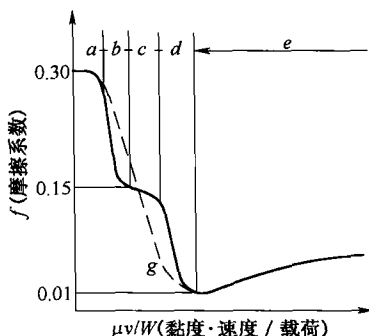


图1-2 各种摩擦形式的摩擦系数  
a—干摩擦;b—干摩擦与边界摩擦;  
c—边界摩擦;d—边界摩擦和液体摩擦;  
e—液体摩擦;g—混合摩擦。

脆性物质从表层脱落。

表面凹凸部分互相嵌入的同时,还产生分子的相互作用。当两个固体表面紧密接触时,分子之间的距离极其接近,便会出现分子吸引力,使表面互相吸引。当分子互相作用力很大,接触点又没有任何覆盖膜时,接触点上的金属原子进入原子晶格以内,互相扩散成为像固溶体一样,两点好像焊接了起来,这些点在压紧时,经塑性变形而形成冷作硬化,材料的强度比基体的还高,因此相对移动时就发生深层撕扯现象。

在摩擦表面的直接接触区产生大量的热。温度过高时,材料在滑移方向会产生塑性流动,甚至使接触部位的金属软化,相互熔合在一起,增强了它们的互相作用过程。

### 3. 磨损形式

磨损是一个相当复杂的过程,上述的各种作用可能同时发生。但在一定条件下,磨损过程常只有一两种因素起主导作用,从而形成相应的磨损形式。

#### (1) 磨料磨损

这种磨损形式是因为摩擦表面之间存在有硬磨粒,如砂粒、铁屑、积炭或磨损产物,在零件相对运动时由于磨料的嵌入作用,使金属基体产生显微塑变或被切削而形成的磨损,如气缸套内壁的拉伤以及喷油泵柱塞副的拉毛都属于这种磨损。

磨料磨损的磨损强度很高,它与摩擦表面的材质、压力、相对速度和磨料的性质有关。零件有较高的表面硬度、光洁度,其抵抗磨料磨损的能力也较强。载荷和速度越高,磨损强度越大。凸轮轴凸轮、曲轴轴颈和气缸套等零件,如果组装不良都可能产生这类磨损。

#### (2) 黏附磨损

两摩擦表面当实际接触面积很小、应力很大时,接触点处金属产生塑变,使氧化膜破坏,呈现纯净金属面,摩擦表层彼此黏结。黏结部位在相对运动中被撕裂、强化,常常把强度较小的金属表层撕走,黏附到另一摩擦表面上。在扯走金属的部位易产生应力集中,逐渐形成显微裂纹,引起疲劳破坏。

黏附磨损常发生在压力大、润滑条件差、相对速度高的情况下。黏附磨损会使摩擦表面带来严重的磨损,它的继续发展还会导致零件互相咬死,如抱轴、抱缸现象。

#### (3) 疲劳磨损

疲劳磨损产生于载荷较大的滚动摩擦配合中,主要是由于接触疲劳所引起的,是一种表层脱落或剥离现象。如常见的滚动轴承滚动体、外圈产生的麻点,齿面和轮箍踏面的剥离现象。

影响疲劳磨损强度的因素是:接触表面的压力、载荷循环次数、零件表面抵抗挤压变形的能力、强化层的厚度、疲劳强度极限等。

#### (4) 氧化磨损

在摩擦过程中,氧吸附在摩擦表面上,并向表层内扩散。接触面表层由于显微塑性变形的金属易与气体分子作用形成氧化膜。氧化膜能防止黏附磨损,抗磨性好,但是当氧化膜较厚时,则易被扯碎从表面脱落,形成磨损。

氧化磨损的磨损速度最小。它与压力大小有密切关系,压力愈大,氧化磨损愈严重;有振动载荷时,氧化膜容易破坏加速磨损;相对速度较高时,氧化磨损将转变为以摩擦热为主的黏附磨损。

在以上4种磨损形式中,氧化磨损可以认为是容许的磨损形式;而其他磨损形式均有磨损速度大、摩擦系数高、表面出现粗糙条纹等情况,是非正常磨损,应该设法避免。

## (二) 机车零件与配合的磨损规律

磨损是摩擦的产物,不同的摩擦形式会产生不同的磨损量。尽管总希望零件摩擦是液体摩擦,但在机车实际运用中是做不到的。机车工作时,总要经历起动和停车两个过程,零件就不可避免地要经历由干摩擦到其他摩擦形式的过程,从而增加磨损。

实践表明,机车上各零件在润滑状态比较良好的情况下,由于起动—运转—停车过程的影响(且不计其他因素的影响),其磨损规律如图 1-4 所示。零件的磨损量  $\mu$  随时间  $t$  的变化规律称为零件的磨损特性,由此形成的曲线称为磨损曲线。图中:

曲线 0—2 段为起动阶段,其中 0—1 段为干摩擦阶段,1—2 段转入混合摩擦阶段;

曲线 2—3 段为运转阶段,零件处于液体摩擦状态;

曲线 3—5 段为停车阶段,其中 3—4 段转入混合摩擦阶段,4—5 段为干摩擦阶段。

在机车整个运用过程中,由于各零件的起动—运转—停车的过程是多次发生的,因此零件在整个机车运用过程中的磨损曲线将由许多如图 1-4 所示那样的曲线所组成。图 1-5 即为零件在整个机车运用过程中的磨损曲线。从图 1-5 中可以看出,零件的磨损—损坏过程有三个明显阶段。

第一阶段(曲线 AB):零件处于刚开始运转的较短时间内,由于零件表面经过加工后,总存在表面粗糙度,此时摩擦系数  $f$  值也较大,因而发生较强烈磨损。图上曲线 AB 段的仰角较大,表明磨损速度较快。在这一阶段内,零件工作表面经过一段时间的磨损,相互之间的配合间隙由制造时的原始状态过渡到比较稳定的状态(此时的间隙即达到所谓的设计间隙),因而磨损速度也逐渐下降。零件的磨损量由 A 值增至 B 值,曲线逐渐平坦,转入第二阶段。通常这一阶段称为零件的磨合阶段。

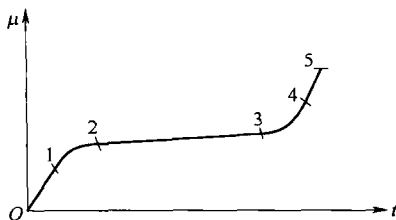


图 1-4 零件磨损曲线  
(起动—运转—停车三个阶段)

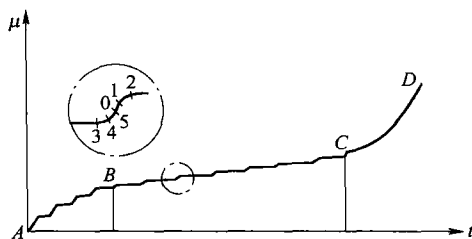


图 1-5 零件在整个机车运用  
过程中的磨损曲线

第二阶段(曲线 BC):零件经过第一阶段磨合后,零件的磨损开始比较缓慢,在相当长的时间内磨损量增加的速度也比较慢,此时磨损均匀增加。这一阶段称为零件正常磨损阶段,其磨损属于正常磨损。

第三阶段(曲线 CD):零件在正常工作阶段不断磨损,当磨损量逐渐增大到 C 点时,即发生一个由量变到质变的突然变化过程,造成配合间隙过大,引起较大的冲击和振动;同时,零件的润滑条件也变得恶化,最后促使零件的磨损速度急剧增加,直至导致零件破坏。因此 C 点称为零件的极限磨损(此时配合副的间隙达到极限间隙)。

图 1-5 的磨损量  $\mu$  也可用配合间隙  $S$  来代替,运用时间可用机车走行公里数  $K$  来代替,

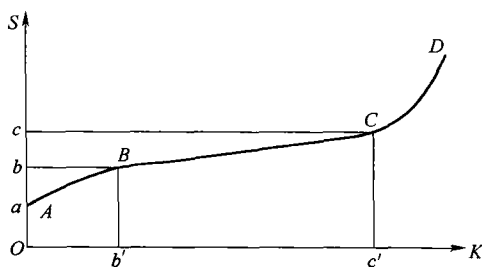


图 1-6 改制后的磨损曲线