



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

城市轨道交通 车辆维修工艺及设备

上海工程技术大学 晏企平 编著

Higher Education



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

013056821

U279
05

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

城市轨道交通 车辆维修工艺及设备

上海工程技术大学 段企平 编著



北航

C1664769



知识产权出版社

全国“百佳图书出版单位”

U279
05

内容提要

本书以城市轨道交通车辆为对象,从分析车辆零部件的损伤规律入手,讲述了车辆各种检修制度是如何形成的,并介绍了现代企业工艺管理的基本内容,通过大量的照片和图示较详细地讲解了城市轨道交通车辆各级检修的工艺过程。本书还介绍了最近几年从国外引进的大量车辆检修设备,以及这些设备的主要功能和特性。作为城市轨道交通车辆专业的专业课教材,本书力求理论联系实际,使学生能更好地掌握基础理论、了解生产实践。

本书既可作为高等院校城市轨道交通车辆专业的专业课教材,也可从事城市轨道交通车辆维修和设备方面工作的技术人员提供一些车辆检修技术方面的参考资料和信息。

责任编辑:段红梅 张 冰

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆维修工艺及设备/段企平编著.

—北京:知识产权出版社,2013.7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5130-2104-3

I. ①城… II. ①段… III. ①城市铁路—铁路车辆

—车辆修理—高等学校—教材 IV. ①U279.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 131956 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

城市轨道交通车辆维修工艺及设备

上海工程技术大学 段企平 编著

出版发行: 知识产权出版社

社 址: 北京市海淀区马甸南村 1 号

网 址: <http://www.ipph.cn>

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

责编电话: 010-82000860 转 8024

印 刷: 知识产权出版社电子印制中心

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

版 次: 2007 年 6 月第 1 版

字 数: 172 千字

定 价: 20.00 元

ISBN 978-7-5130-2104-3

邮 编: 100088

邮 箱: bjb@cnipr.com

传 真: 010-82005070/82000893

责编邮箱: zhangbing@cnipr.com

经 销: 新华书店及相关销售网点

印 张: 7.25

印 次: 2013 年 7 月第 3 次印刷

印 数: 6101 - 8100

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

前言

当前我国城市轨道交通正处于飞速发展的大好时机,地铁、轻轨、单轨和磁悬浮等各种城市轨道交通系统如雨后春笋般在全国各大城市出现。但是建设成功后,运营和维修也需要紧紧跟上,因此运营和维修人才的培养更是迫在眉睫。由于城市轨道交通在我国还是个新生事物,经验积累较少,因此目前关于城市轨道交通车辆维修和设备方面的专门教材甚少,不能满足教育和培训的需求。本书的编写目的就是尝试填补这方面的空缺。

本书曾作为教材和培训讲义在上海工程技术大学轨道交通学院和上海地铁运营有限公司培训中心试用。本书以城市轨道交通车辆为对象,从分析车辆零部件的损伤规律入手,讲述了车辆各种检修制度的形成。本书向学生介绍了现代企业工艺管理的基本内容,通过大量的照片和图示较详细地讲解了城市轨道交通车辆各级检修的工艺过程;并介绍了最近几年从国外引进的大量车辆检修设备,以及这些设备的主要功能和特性。作为城市轨道交通车辆专业的专业课教材,本书力求理论联系实际,使学生能更好地掌握基础理论和了解生产实践。

本书对从事城市轨道交通车辆维修和设备方面工作的技术人员也可以提供一些车辆检修技术方面的参考资料和信息。

本书在编写过程中,得到上海工程技术大学鲁嘉华、杨俭两位老师以及上海地铁运营有限公司董辉等同志的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

作者

2007年2月

目 录

前言

第一章 城市轨道交通车辆维修概论	1
第一节 车辆零部件的损伤和失效	1
第二节 城市轨道交通车辆的检修制度	13
第三节 车辆检修限度	20
第二章 工艺及工艺管理基础	23
第一节 工艺和工艺管理	23
第二节 工艺系统和工艺管理系统	25
第三节 工艺文件和工艺规程	32
第三章 车辆修理的生产组织及工艺过程	43
第一节 车辆修理的生产组织	43
第二节 车辆修理的工艺过程	46
第三节 车辆检修现场工艺管理	48
第四章 城市轨道交通车辆的日常维修	59
第一节 日检工艺过程 and 操作方法	59
第二节 月检（双周检）工艺过程 and 操作方法	62
第三节 双月检工艺过程 and 操作方法	63
第四节 临修	63
第五章 城市轨道交通车辆的定修	65
第一节 定修的工艺过程	65
第二节 定修工艺	65
第三节 定修的工艺特点和作用	69
第六章 城市轨道交通车辆的架修和大修	70
第一节 架修和大修的性质和目标	70
第二节 架修和大修工艺过程	71
第三节 架修和大修的生产组织	72

第四节 架修和大修工艺	74
第七章 城市轨道交通车辆维修设备	87
第一节 车辆维修设备的配置	87
第二节 城市轨道交通车辆维修设备的分类	88
第三节 各级检修设备的配置	88
第四节 城市轨道交通车辆维修设备简介	89
参考文献	110

第一章 城市轨道交通车辆维修概论

第一节 车辆零部件的损伤和失效

一、车辆零部件的损伤类型和失效模式

城市轨道交通车辆在日常运营中，每天担负着成千上万名乘客的运送任务。在运输过程中车辆除了消耗电能量，还会对自身造成“消耗”，从而产生“损伤”。除了由自然消耗产生“损伤”外，还可能由于车辆以及零件的设计、材料、工艺及装配等各种原因引起“损伤”。“损伤”由小变大，最后车辆零部件丧失规定的功能而无法继续工作，这称之为“失效”。根据国标《可靠性基本名词术语及定义》(GB 3187—82)的定义：“失效是产品丧失规定的功能。对可修复的产品通常也称故障。”产品可以是零件、运动副、部件、整个机器或系统。故障包括功能的完全丧失和性能下降到可接受限度之外的情况。

当车辆的关键零部件失效时，就意味着车辆处于故障状态，将会对运营安全造成极大的危害。车辆维修的目的就是通过不断地修复和更换已经受到损伤的零部件，避免关键零部件失效，恢复其应有的原始技术状态，以保证城市轨道交通的安全、正常地运营。

任何事物的产生、发展和消亡都有它自身的规律。城市轨道交通车辆每个零部件的设计、制造、运用、损伤以至失效也有它自身的规律。因此，车辆维修的目的不仅仅是把零部件的损伤修复，而且要研究和掌握损伤产生的原因、发展的规律以及预防失效的方法，从而采取必要的措施，减少失效的发生或减缓损伤的发展速度。为此，首先来讨论和研究车辆零部件的损伤类型和失效模式。

车辆的故障与车辆零部件的失效密不可分，而失效是在损伤达到一定程度时产生的。车辆设备和零部件的故障分为自然故障和事故性故障两类。自然故障是指零部件的正常磨损或物理、化学变化造成零部件的变形、断裂和蚀损等，使车辆零部件失效所引起的故障。事故性故障是指因维护不当、操作不当或使用了质量不合格的零件和材料等，使车辆零部件失效而造成的故障，这种故障是人为的，可避免的责任事故。在分析和调查车辆零部件损伤和失效原因时，应加以区分。

除了车辆机械零部件或有触点电气零部件会“损伤”和“失效”外，车辆电气控制设备中的各种电子元器件也有自己的“损伤”和“失效”，如导通性能下降、耐压下降、击穿、断路和绝缘破坏等。

在车辆使用过程中，损伤类型和失效模式有多种多样，但磨损、变形、断裂和蚀损是机械性损伤与失效最主要的模式；而击穿、断路和短路是电气性损伤与失效的最主要模式。

二、车辆零部件的磨损

相接触的物体相互移动时发生阻力的现象称为摩擦。相对运动的零件的摩擦表面发生尺寸、形状和表面质量变化的现象称为磨损。摩擦是不可避免的自然现象；磨损是摩擦的必然结果，两者均发生于材料表面。摩擦与磨损相伴产生，造成机械零件的损伤和失效。车辆零部件的磨损是指相接触的零部件相互移动时，摩擦副在工作表面发生尺寸、形状和表面质量变化的现象。城市轨道交通车辆是以一定速度不断运行的机械，运用中产生磨损的零部件很多。例如，车轮踏面及轮缘、轴承滚动体及内外圈、车门及驱动装置、车钩及缓冲器零件，以及各种销及销孔等。这些零部件在列车运行中，都会因为磨损而逐渐改变它的尺寸和形状。当达到一定限度后，这些零部件就不能继续使用，必须进行更换或修理。在城市轨道车辆的日常维修工作中，磨损的零部件是最主要的修理对象。

由于相对运动产生的摩擦而引起的各种磨损，通常有正常磨损与非正常磨损。正常磨损又称为自然磨损，因为摩擦是不可避免的自然现象，磨损是摩擦的必然结果。摩擦副工作时，其接触面必然会产生的一种损伤或消耗。磨损量的大小与摩擦副工作时间和工作条件有关：车辆走行时间越长或公里数越多，磨损就越大；自然环境条件的好坏，对磨损量大小也有较大的影响。沙尘和温度都是增加磨损量的主要因素。非正常磨损又称为剧烈磨损，是由于摩擦副产生的磨损超过一定限度后，会引起配合性质的改变，使间隙加大、润滑条件变坏，产生冲击，零部件的磨损速度急剧增长。在这种情况下极易发生事故。一般机械设备中约有 80% 的零部件因为磨损而失效报废。如果加强对车辆的日常维修保养，保证摩擦副在正常工作条件下运作，那么非正常磨损是可以有效避免的。

摩擦和磨损涉及的科学技术领域甚广，特别是磨损，它是一种微观和动态的过程，在这一过程中，机械零件不仅会发生外形和尺寸的变化，而且会产生其他各种物理、化学和机械现象。零件的工作条件是影响磨损的基本因素。这些条件主要包括运动速度、相对压力、润滑与防护情况、温度、材料、表面质量和配合间隙等。为了降低摩擦副零件的磨损速度，提高零件表面的耐磨性，必须了解磨损产生的过程，掌握零件磨损的规律性和影响磨损速度的因素。

以摩擦副为主要零件的机械设备，在正常运转时，机械零件的磨损过程一般可分为磨合（跑合）阶段、稳定磨损阶段和剧烈磨损阶段，如图 1-1 所示。

(1) 磨合阶段。新的摩擦副表面具有一定的表面粗糙度，实际接触面积小。开始磨合时，在一定载荷作用下，表面逐渐磨平，磨损速度较大，如图中的 OA 线段。随着磨合的进行，实际接触面积逐渐增大，磨损速度减缓。在机械设备正式投入运行前，认真进行磨合是十分重要的。

(2) 稳定磨损阶段。经过磨合阶段，摩擦副表面发生加工硬化，微观几何形状改变，建立了弹性接触条件。这一阶段磨损趋于稳定、缓慢，AB 线段的斜率就是磨损速度；B 点对应的横坐标时间就是零件的耐磨寿命。

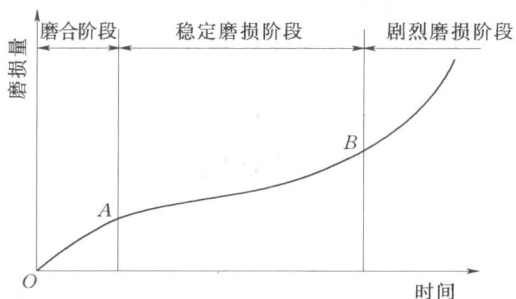


图 1-1 机械磨损过程



(3) 剧烈磨损阶段。经过 B 点以后, 由于摩擦条件发生较大的变化, 如温度快速升高、金属组织发生变化、冲击增大、磨损速度急剧增加、机械效率下降和精度降低等, 从而导致零件失效, 机械设备无法正常运转。

通常将机械零件的磨损分为粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损和微动磨损等五种类型。

(一) 粘着磨损

粘着磨损又称为粘附磨损, 是指当构成摩擦副的两个摩擦表面相互接触并发生相对运动时, 由于粘着作用, 接触表面的材料从一个表面转移到另一个表面所引起的磨损。

根据粘着磨损机理, 摩擦副的表面即使是抛光得很好的光洁表面, 但实际上也还是高低不平的。因此, 两个主属零件表面的接触, 实际上是微凸体之间的接触, 实际接触面积很小, 仅为理论接触面 1% 以下。所以即使在载荷不大时, 单位面积的接触应力也很大, 如果当这一接触应力大到足以使微凸体发生塑性变形, 并且接触处很干净, 那么这两个零件的金属面将直接接触而产生粘着。当摩擦表面发生相对滑动时, 粘着点在切应力作用下变形甚至断裂, 造成接触表面的损伤破坏。这时, 如果粘着点的粘着力足够大, 并超过摩擦接触点两种材料之一的强度, 则材料便会从该表面上被扯下, 使材料从一个表面转移到另一个表面。通常这种材料的转移是由较软的表面迁移到较硬的表面上。在载荷和相对运动作用下, 两接触点间重复产生“粘着—剪断—再粘着”的循环过程, 使摩擦表面温度显著升高, 油膜破坏, 严重时表层金属局部软化或熔化, 接触点产生进一步粘着。根据零件摩擦表面的破坏程度, 粘着磨损可分为轻微磨损、涂抹、擦伤、撕脱和咬死等五类。

在金属零件的摩擦中, 粘着磨损是剧烈的, 常常会导致摩擦副灾难性破坏, 应加以避免。但是, 在非金属零件或金属零件和聚合物件构成的摩擦副中, 摩擦时聚合物会转移到金属表面上形成单分子层, 凭借聚合物的润滑特性, 可以提高耐磨性, 此时粘着磨损起到有益的作用。

(二) 磨料磨损

磨料磨损又称为磨粒磨损, 它是当摩擦副的接触表面之间存在着硬质颗粒, 或者当摩擦副材料一方的硬度比另一方的硬度大得多时, 所产生的一种类似于金属切削过程的磨损。它是机械磨损的一种, 特征是在接触面上有明显的切削痕迹。在各类磨损中, 磨料磨损约占 50%, 是十分常见且危害性最严重的一种磨损, 其磨损速率和磨损强度都很大, 致使机械设备的使用寿命大大降低, 能源和材料大量消耗。

根据摩擦表面所受的应力和冲击的不同, 磨料磨损的形式可分为切削式、高应力碾碎式和低应力擦伤式三类。

磨料磨损的机理属于磨料颗粒的机械作用, 磨料的来源有外界砂尘、切屑侵入、流体带入、表面磨损产物、材料组织的表面硬点及夹杂物等。

目前, 关于磨料磨损机理有以下四种假说:

(1) 微量切削。认为磨料磨损主要是由于磨料颗粒沿摩擦表面进行微量切削而引起的, 微量切屑大多数呈螺旋状、弯曲状或环状, 与金属切削加工的切屑形状类似。

(2) 压痕破坏。认为塑性较大的材料, 因磨料在载荷的作用下压入材料表面而产生压痕, 并从表层上挤出剥落物。



(3) 疲劳破坏。认为磨料磨损是磨料使金属表面层受交变应力而变形,使材料表面疲劳破坏,并呈小颗粒状态从表层脱落下来。

(4) 断裂。认为磨料压入和擦划金属表面时,压痕处的金属要产生变形,磨料压入深度达到临界值时,伴随压入而产生的拉伸应力足以产生裂纹。在擦划过程中,产生的裂纹有两种主要类型:一种是垂直于表面的中间裂纹,另一种是从压痕底部向表面扩展的横向裂纹。当横向裂纹相交或扩展到表面时,便发生材料呈微粒状脱落形成磨屑的现象。

(三) 疲劳磨损

疲劳磨损是摩擦表面材料微观体积受循环接触应力作用产生重复变形,导致产生裂纹和分离出微片或颗粒的一种磨损。

疲劳磨损根据其危害程度可分为非扩展性疲劳磨损和扩展性疲劳磨损两类。

疲劳磨损的过程就是裂纹产生和扩展的破坏过程。根据裂纹产生的位置,疲劳磨损的机理有以下两种情况:

(1) 滚动接触疲劳磨损。在滚动接触过程中,材料表层受到周期性载荷作用,引起塑性变形、表面硬化,最后在表面出现初始裂纹,并沿与滚动方向呈小于 45° 的倾角方向由表向里扩展。表面上的润滑油由于毛细管的吸附作用而进入裂纹内表面,当滚动体接触到裂口处时将把裂口封住,使裂纹两侧内壁承受很大的挤压作用,加速裂纹向内扩展。在载荷的继续作用下,形成麻点状剥落,在表面上留下痘斑状凹坑,深度在 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 以下。

(2) 滚滑接触疲劳磨损。根据弹性力学,两滚动接触物体在表面下 $0.786b$ (b 为平面接触区的半宽度) 处切应力最大。该处塑性变形最剧烈,在周期性载荷作用下的反复变形使材料局部弱化,并在该处首先出现裂纹,在滑动摩擦力引起的切应力和法向载荷引起的切应力叠加作用下,使最大切应力从 $0.786b$ 处向表面移动,形成滚滑疲劳磨损,剥落层深度一般为 $0.2 \sim 0.4\text{mm}$ 。

(四) 腐蚀磨损

在摩擦过程中,金属同时与周围介质发生化学反应或电化学反应,引起金属表面的腐蚀剥落,这种现象称为腐蚀磨损。它是在腐蚀磨损与机械磨损、粘着磨损和磨料磨损等相结合时才能形成的一种机械化学磨损。因此,腐蚀磨损的机理与前述三种磨损的机理不同。腐蚀磨损是一种极为复杂的磨损过程,经常发生在高温或潮湿的环境下,更容易发生在有酸、碱、盐等特殊介质的条件下。

按腐蚀介质的不同类型,腐蚀磨损可分为氧化磨损和特殊介质下的腐蚀磨损两大类。

1. 氧化磨损

我们知道,除金、铂等少数金属外,大多数金属表面都被氧化膜覆盖着。若在摩擦过程中,氧化膜被磨掉,摩擦表面与氧化介质反应速度很快,立即又形成新的氧化膜,然后又磨掉,这种氧化膜不断被磨掉又反复形成的过程,就称为氧化磨损。

氧化磨损的产生必须同时具备以下条件:一是摩擦表面要能够发生氧化,而且氧化膜生成速度大于其磨损破坏速度;二是氧化膜与摩擦表面的结合强度大于摩擦表面承受的切应力;三是氧化膜厚度大于摩擦表面破坏的深度。

在通常情况下,氧化磨损比其他磨损轻微得多。



2. 特殊介质下的腐蚀磨损

特殊介质下的腐蚀磨损是摩擦副表面金属材料与酸、碱、盐等介质作用生成的各种化合物，在摩擦过程中不断被磨掉的磨损过程。其机理与氧化磨损相似，但磨损速度较快。

由于其腐蚀本身可能是化学的或电化学的性质，故腐蚀磨损的速度与介质的腐蚀性质和作用温度有关，也与相互摩擦的两个金属形成的电化学腐蚀的电位差有关。介质腐蚀性越强，作用温度越高，腐蚀磨损速度越快。

(五) 微动磨损

两个接触表面由于受相对低振幅振荡运动而产生的磨损称为微动磨损。它产生于相对静止的接合零件上，因而往往易被忽视。微动磨损的最大特点是：在外界变动载荷作用下，产生振幅很小（小于 $100\mu\text{m}$ ，一般为 $2\sim 20\mu\text{m}$ ）的相对运动，由此发生摩擦磨损。例如在键连接处、过盈配合处、螺栓连接处和铆钉连接接头处等结合上产生的磨损。

微动磨损使配合精度下降，过盈配合部件结合紧度下降甚至松动，连接件松动乃至分离，严重者引起事故。微动磨损还易引起应力集中，导致连接件疲劳断裂。

微动磨损的机理是由于微动磨损集中在局部范围内，同时两个摩擦表面永远不脱离接触，磨损产物不易往外排除，磨屑在摩擦表面起着磨料的作用；又因摩擦表面之间的压力使表面凸起部分粘着，粘着处被外界小振幅引起的摆动所剪切，剪切处表面又被氧化，所以微动磨损兼有粘着磨损和氧化磨损的作用。

例如，车辆轮对的轮毂孔内侧与车轴接触处，因接触压力较大，使界面上的微凸体因塑性变形而粘附，再受小振幅的相对运动作用，致使粘结点剪切而脱落，形成的磨屑与氧气反应后生成 Fe_2O_3 。因此，轮座裂纹处出现的红褐色粉末，即为微动腐蚀磨损的一例。

金属的磨损速度以单位时间内磨损的金属重量或厚度来表示。对于车辆零件来说，通常以走行若干公里或若干时间后几何尺寸的减少量来计算。

影响磨损速度的因素是多方面的，往往不是某一个因素，而是几种因素同时作用的结果。然而，在几种影响因素中总有一种主要因素，从而决定了磨损是以某一种规律出现的。无论哪一种磨损规律，影响磨损速度的主要因素，可归纳为下述三方面：

(1) 摩擦副工作条件的影响。工作条件主要指摩擦副的摩擦类型（滑动、滚动或转动）、载荷性质与大小，以及摩擦面相对运动的速度等因素。滚动摩擦的磨损速度远比滑动摩擦者为小，同一种磨损形式亦因载荷性质和相对速度的差异而不同，动载荷和较大的相对速度，其磨损速度也较大。

(2) 摩擦副表面特性的影响。磨损的各种现象都从摩擦表面开始，因此摩擦表面层金属的组织 and 硬度，以及零件表面的加工质量，对磨损速度均有直接影响。表面层金属的组织 and 硬度是影响磨损速度的主要因素之一。金属的金相组织不同，硬度也不同。

表面加工质量的影响。摩擦表面机械加工的质量也是影响磨损速度的主要因素之一。摩擦表面越粗糙，磨损速度越大。在一定条件下工作的摩擦副，对摩擦表面的粗糙度有一定的要求，粗糙度过高或过低，都会促使磨损速度的增加。因此，应合理地选择摩擦表面的粗糙度，这样既能降低磨损速度，又可以减少不必要的加工费用。通常，应选择零件在正常磨损阶段的表面粗糙度作为技术要求的标准是最适宜的。

摩擦表面经过加工后的几何形状误差，会破坏摩擦副的正常工作条件，导致磨损速度



加快,同时也是造成零件偏磨的主要原因。

金属零件经机械加工后,往往在表面层产生塑性变形,使硬度有所提高,形成了一定深度的加工硬化层,从而能提高其耐磨性。因此,对某些易磨损的零件进行滚压加工,借以提高零件的表面硬度和耐磨性。

(3) 摩擦副界面间润滑介质的影响。摩擦副的摩擦形式,随界面之间的润滑情况而不同。润滑油的质量与载荷及工况,决定了界面之间油膜的厚度与油膜的耐久性,从而使摩擦副处于液体、半液体或干摩擦的条件下工作。良好的润滑条件,均能降低零件的磨损速度。

上述三方面影响磨损速度的因素:第一个因素是决定磨损类型和磨损速度的基本因素;第二个因素是从工艺上提高零件耐磨性应考虑的措施,也是车辆修理时提高零件耐磨性的手段之一;第三个因素是决定摩擦特性的因素,也直接影响到磨损速度的大小。

三、车辆零部件的变形

车辆零部件的变形是指机械零件或构件在外力的作用下,产生形状或尺寸变化的现象。过量的变形是机械失效的重要类型,也是判断韧性断裂的明显征兆。例如,各种传动轴的弯曲变形;车辆底架主梁在变形下挠曲或扭曲;弹簧的变形等。变形量随着时间的不断增加,逐渐改变了产品的初始参数,当超过允许极限时,将丧失规定的功能。有的机械零件因变形引起结合零件出现附加载荷、相互关系失常或加速磨损,甚至造成断裂等灾难性后果。

根据外力去除后变形能否恢复,机械零件或构件的变形可分为弹性变形和塑性变形两大类。

(一) 弹性变形

金属零件在作用应力小于材料屈服强度时产生的变形称为弹性变形。

弹性变形的特点如下:

(1) 当外力去除后,零件变形消除,恢复原状。

(2) 材料弹性变形时,应变与应力成正比,其比值称为弹性模量,它表示材料对弹性变形的阻力。在其他条件相同时,材料的弹性模量越高,由这种材料制成的机械零件或构件的刚度便越高,在受到外力作用时保持其固有的尺寸和形状的能力就越强。

(3) 弹性变形量很小,一般不超过材料原长度的 0.1%~1.0%。

在金属零件使用过程中,若产生超量弹性变形(超量弹性变形是指超过设计允许的弹性变形),则会影响零件正常工作。例如,当传动轴工作时,超量弹性变形会引起轴上齿轮啮合状况恶化,影响齿轮和支承它的滚动轴承的工作寿命;车辆底架梁件超量弹性变形,会引起疲劳裂纹。因此,在机械设备运行中,防止超量弹性变形是十分必要的。除了正确设计外,正确使用十分重要,应严防超载运行,注意运行温度规范,防止热变形等。

(二) 塑性变形

塑性变形又称为永久变形,是指机械零件在外加载荷去除后留下来的一部分不可恢复的变形。

金属零件的塑性变形从宏观形貌特征上看,主要有翘曲变形、体积变形和时效变形三种形式。



1. 翘曲变形

当金属零件本身受到某种应力（如机械应力、热应力或组织应力等）的作用，其实际应力值超过了金属在该状态下的拉伸屈服强度或压缩屈服强度后，就会产生呈翘曲、椭圆或歪扭的塑性变形。因此，金属零件产生翘曲变形是它自身受复杂应力综合作用的结果。翘曲变形常见于细长轴类、薄板状零件以及薄壁的环形和套类零件。

2. 体积变形

金属零件在受热与冷却过程中，由于金相组织转变引起比容变化，导致金属零件体积胀缩的现象称为体积变形。例如，钢件淬火相变时，奥氏体转变为马氏体或下贝氏体时比容增大，体积膨胀，淬火相变后残留奥氏体的比容减小，体积收缩。马氏体形成时的体积变化程度，与淬火相变时马氏体中的含碳量有关。钢件中含碳量越多，形成马氏体时的比容变化越大，膨胀量也越大。此外，钢中碳化物不均匀分布往往会增大变形程度。

3. 时效变形

钢件热处理后产生不稳定组织，由此引起的内应力处于不稳定状态；铸件在铸造过程中形成的铸造内应力也处于不稳定状态。在常温下较长时间的放置或使用，不稳定状态的应力会逐渐发生转变，并趋于稳定，由此伴随产生的变形称为时效变形。

塑性变形导致机械零件各部分尺寸和外形的变化，将引起一系列不良后果。例如，车辆上的车门框架和门叶的变形，会导致车门无法开启或关闭。零件的局部塑性变形虽然不像零件的整体塑性变形那样引起明显失效，但也是引起零件失效的重要形式。如键连接、花键连接、挡块和销钉等，由于静压力作用，通常会引起配合的一方或双方的接触表面挤压（局部塑性变形），随着挤压变形的增大，特别是那些能够反向运动的零件将引起冲击，使原配合关系破坏的过程加剧，从而导致机械零件失效。

四、车辆零部件的断裂

车辆零部件的断裂是指零部件在机械力、温度、磁场感应和腐蚀等单独作用或共同作用下，其本身连续性遭到破坏，发生局部开裂或分裂成几部分的现象。与磨损和变形相比，车辆零部件由于断裂而失效的机会较少，但是车辆零部件的断裂往往会造成严重的机械事故，产生严重后果，因此是一种最危险的失效模式。

机械零件的断裂一般可分为延性断裂、脆性断裂、疲劳断裂和环境断裂四种形式。

1. 延性断裂

延性断裂又称为塑性断裂或韧性断裂。零件在外力作用下首先产生弹性变形，当外力引起的应力超过弹性极限时即发生塑性变形，外力继续增加，应力超过抗拉强度时发生塑性变形后造成断裂就称为延性断裂。延性断裂的宏观特点是断裂前有明显的塑性变形，常出现“缩颈”现象。延性断裂断口形貌的微观特点是断面有大量韧窝（即微坑）覆盖。延性断裂实际上是显微空洞形成、长大、连接以致最终导致断裂的一种破坏方式。

2. 脆性断裂

金属零件或构件在断裂之前无明显的塑性变形，发展速度极快的一类断裂称为脆性断裂。它通常在没有预示信号的情况下突然发生，是一种极危险的断裂形式。

3. 疲劳断裂

机械设备中的许多零件，如轴、齿轮和凸轮等，都是在交变应力作用下工作的。它们



工作时所承受的应力一般都低于材料的屈服强度或抗拉强度,按静强度设计的标准是安全的。但在实际生产中,在重复及交变载荷的长期作用下,机械零件或构件仍然会发生断裂,这种现象称为疲劳断裂,它是一种普通而严重的失效形式。在机械零件的断裂失效中,疲劳断裂占很大的比重,约为80%~90%。

疲劳断裂的类型很多,根据循环次数的多少可分为高周疲劳和低周疲劳两种类型。高周疲劳通常简称为疲劳,又称为应力疲劳,是指机械零件断裂前在低应力(低于材料的屈服强度甚至弹性极限)下,所经历的应力循环周次数多(一般大于10万次)的疲劳,是一种常见的疲劳破坏。例如,轴和弹簧等零部件的失效一般均属于高周疲劳破坏。

低周疲劳又称为应变疲劳。低周疲劳的特点是承受的交变应力很高,一般接近或超过材料的屈服强度,因此每一次应力循环都有少量的塑性变形,而断裂前所经历的循环周次较少,一般只有100~10万次,寿命短。

4. 环境断裂

环境断裂是指材料与某种特殊环境相互作用而引起的具有一定环境特征的断裂方式。延性断裂、脆性断裂和疲劳断裂均未涉及材料所处的环境,实际上机械零件的断裂,除了与材料的特性、应力状态和应变速度有关外,还与周围的环境密切相关,尤其是在腐蚀环境中材料表面的裂纹边沿由于氧化、腐蚀或其他过程使材料强度下降,促使材料发生断裂。环境断裂主要有应力腐蚀断裂、氢脆断裂、高温蠕变断裂、腐蚀疲劳断裂和冷脆断裂等形式。

五、车辆零部件的蚀损

车辆零部件的蚀损是指金属材料与周围介质产生化学反应或电化学反应而导致的损伤。由于车辆日夜暴露在大气中,经常受到风霜雨雪的侵害以及各种腐蚀性气体,如盐雾、酸雨的侵蚀,致使车辆零部件尤其是金属结构受到损伤而失效。金属腐蚀的程度,主要取决于金属的材质和防腐层的性能,与车辆走行里程无关。

蚀损即腐蚀损伤。疲劳点蚀、腐蚀和穴蚀等统称为蚀损。疲劳点蚀是指零件在循环接触应力作用下表面发生的点状剥落的现象;腐蚀是指零件受周围介质的化学及电化学作用,表层金属发生化学变化的现象;穴蚀是指零件在温度变化和介质的作用下,表面产生针状孔洞,并不断扩大的现象。

金属腐蚀是普遍存在的自然现象,它所造成的经济损失十分惊人。据不完全统计,全世界因腐蚀而不能继续使用的金属零件,约占其产量的10%以上。

金属零件由于周围的环境以及材料内部成分和组织结构的不同,腐蚀破坏有凹洞、斑点和溃疡等多种形式。

按金属与介质作用机理,机械零件的蚀损可分为化学腐蚀和电化学腐蚀两大类。

(一) 机械零件的化学腐蚀

化学腐蚀是指单纯由化学作用而引起的腐蚀。在这一腐蚀过程中不产生电流,介质是非导电的。化学腐蚀的介质一般有两种形式:一种形式是气体腐蚀,指干燥空气、高温气体等介质中的腐蚀;另一种形式是非电解质溶液中的腐蚀,指有机液体、汽油和润滑油等介质中的腐蚀。它们与金属接触时进行化学反应形成表面膜,在不断脱落又不断生成的过程中使零件腐蚀。



大多数金属在室温下的空气中就能自发地氧化,但在表面形成氧化物层之后,如能有效地隔离金属与介质间的物质传递,就成为保护膜;如果氧化物层不能有效阻止氧化反应的进行,那么金属将不断地被氧化。

据研究,金属氧化膜要在含氧气的条件下起保护膜作用必须具备下列条件:

(1) 氧化膜必须是紧密的,能完整地把金属表面全部覆盖住,即氧化膜的体积必须比生成此膜所消耗掉的金属的体积大。

(2) 氧化膜在气体介质中是稳定的。

(3) 氧化膜和基体金属的结合力强,且有一定的强度和塑性。

(4) 氧化膜具有与基体金属相同的热膨胀系数。

在高温空气中,铁和铝都能生成完整的氧化膜,由于铝的氧化膜同时具备了上述四种条件,故具有良好保护性能;而铁的氧化膜与铁结合不良,故不能起到保护作用。

(二) 金属零件的电化学腐蚀

电化学腐蚀是指金属与电解质物质接触时产生的腐蚀。大多数金属的腐蚀都属于电化学腐蚀,其涉及面广,造成的经济损失大。电化学腐蚀与化学腐蚀的不同点在于其腐蚀过程有电流产生。电化学腐蚀过程比化学腐蚀强烈得多,这是由于电化学腐蚀的条件易形成和存在决定的。

电化学腐蚀的根本原因是腐蚀电池的形成。在原电池中,作为阳极的锌被溶解,作为阴极的铜未被溶解,在电解质溶液中有电流产生。电化学腐蚀原理与此很相近,同样需要形成原电池的三个条件:存在两个或两个以上的不同电极电位的物体,或同一物体中具有不同电极电位的区域,以形成正、负极;电极之间需要有导体相连接或电极直接接触;有电解液。金属材料中一般都含有其他合金或杂质(如碳钢中含有渗碳体,铸铁中含有石墨等),由于这些杂质的电极电位的数值比铁本身大,便产生了电位差,而且它们又都能导电,杂质又与基体金属直接接触,所以当有电解质溶液存在时便会构成腐蚀电池。

腐蚀电池有微电池和宏观腐蚀电池两种。上述腐蚀电池中由于渗碳体和石墨含量非常小,作为腐蚀电池中的阴极常称为微阴极,这种腐蚀电池称为微电池。当不同金属浸于不同电解质溶液,或两种相接触的金属浸于电解质溶液,或同一金属与不同的电解质溶液(包括浓度、温度、流速不同)接触,这时构成腐蚀电池阳极的是金属整体或其局部,这种腐蚀电池称为宏观腐蚀电池。

金属零件常见的电化学腐蚀形式主要如下:

(1) 大气腐蚀。即潮湿空气中的腐蚀。

(2) 土壤腐蚀。如地下金属管线的腐蚀。

(3) 在电解质溶液中的腐蚀。如酸、碱、盐等溶液中的腐蚀。

(4) 在熔融盐中的腐蚀。如热处理车间,熔盐加热炉中的盐炉电极和所处理的金属发生的腐蚀。

六、车辆电气电子零部件的损伤

车辆电气电子零部件一般分为有触点器件和无触点器件两大部分。传统的直流传动车控制系统采用有触点器件,如凸轮控制器、主接触器、空气断路器和直流电动机等较多,因此电气故障主要集中在有触点器件上。近年来交流传动车的数量激增,电气传动控制系



统的故障大大减少,主要原因是没有了主接触器和直流电机。因此,现在车辆的电气系统故障比较集中在变流元件损坏和控制系统电子线路板故障上。

下面分别叙述车辆电气电子零部件的损伤和失效现象。

(一) 变流元件损坏

变流元件指晶闸管、GTO(可关断晶闸管)和IGBT等大功率电子元件,它们是交流变频电传动系统和直流斩波电传动系统的主要元件。

由于变流元件的耐压不是很高,因此主电路出现过电压时容易被击穿。过电压一般出现在雷击时,避雷器和保护电路吸收不及,容易损坏元件。主电路在进行再生制动时,平波电抗产生的突变电压有时也会对元件造成损害,虽然在设计时已有考虑。

过电流是变流元件损坏的又一个“杀手”。产生过流的主要原因是元件的误触发,吸收电路保护不及,元件被击穿。此外,变流元件的散热条件不好,也容易引起过流,长期的过流将导致元件容易被击穿。

(二) 电子线路板故障

电子线路板故障主要集中在功率放大部分,因为功放部分电流较大,元件最容易发生过流、短路故障。另一个故障集中点在线路上的元器件,元器件由于受潮、腐蚀和过热等原因产生接触不良、爬电和断脚,从而使元器件烧损或失效。

此外,线路板上的焊接点由于振动、腐蚀或虚焊,时间一长容易断裂、开焊。有的线路板由于绝缘做得不好,容易产生爬电、短路,这也是造成电子线路板故障主要原因之一。

由于车辆的振动,电子线路板的接插件经常会松动,使得接触不良,导致输入输出信号中断;控制系统出现故障;电子线路板之间的控制连线由于疲劳折损也会导致控制信号中断、传输出错等。

车辆电子控制系统属弱电系统,其电子线路板的故障一般都是上述几类。这类故障数量最多,也是最难查找的,主要依靠经验。

(三) 主接触器故障

直流车一般采用大量主接触器来变换主电路。由于电路负载电流大,主接触器开关频率高,发生故障的频率也相当高。主接触器常见故障包括线圈断线、衔铁不释放或释放缓慢、电触头熔焊和接触器相间短路等。

(1) 线圈断线使接触器不工作,故障原因主要是线圈过热或烧损。而过热和烧损的原因是安装环境空气潮湿或含腐蚀性气体、线圈匝间短路、接触器操作频率过高和衔铁吸合不完全,导致线圈电流增大(处理办法要视引起衔铁吸合不完全的原因而采取相应的措施)、直流操作电磁铁的双绕组线圈因常闭辅助触头粘焊住,以致启动绕组长期通电而发热等。

(2) 衔铁不释放或释放缓慢故障,原因可能是:反作用力过小,应调大触头弹簧的压力或反力弹簧的拉力。铁心极面有油污粘着;机械活动部分被卡住或转轴生锈、歪斜;触头已有部分熔焊在一起;剩磁过大,对于直流接触器应更换或加厚非磁性垫片,让线圈失电后容易释放衔铁。

(3) 电触头熔焊,产生的原因有:操作频率过高或接触器经常过载;闭合过程中振动



过于剧烈,而且发生多次的振动(如线圈电压过低,使吸合振动而引起触头振动);触头分断能力不足,发生负载侧短路后触头便被粘住;触头表面有金属颗粒突起,应清理触头表面;触头弹簧压力过小,应调整触头弹簧的压力;触头有油污、尘垢,或铜触头严重氧化或触头严重烧损,接触面大大缩小、以致接触不良;灭弧系统有故障,需调换灭弧罩。

(4) 接触器相间短路,其原因是接触器箱内尘埃堆积或凝结水汽,使绝缘变坏或是某部位相间绝缘被损坏(如灭弧罩碎裂造成相间电弧短路)。

(四) 直流电机损伤

直流电机发生故障的主要部位是换向器和碳刷,由于过载、过流而引起换向火花过大、甚至环火,从而烧损换向器。对于直流电机而言,换向器与碳刷是产生故障和维修工作的重点。

换向器的故障状态包括换向器的外观会发生严重变色,能观察到换向器圆周表面上烧坏和不规则凹凸,以及烧灼痕迹的情况。

碳刷的故障状态包括碳刷接触面外观已不再均匀光滑,有明显条纹,有表面暗淡区域和表面烧伤区以及后边外观有火花痕迹与碎落、烧伤痕迹等。

此外直流电机严重环火后还会烧损放电螺丝等。

(五) 其他有触点电器的损伤和失效

其他有触点电器的损伤和失效主要指继电器、空气开关等控制线路的常用电器。

主电路的控制线路中大量使用的是控制继电器,一般触头数量较多、容量较大,用于增加控制回路数或起信号放大作用场合。其结构与接触器基本相同,故其触头部分和电磁系统的常见故障与接触器类似。但有一点是比较特殊的:继电器的触头容易产生虚接故障,这种故障常发生在电气控制的工作期间,它不一定是经常发生或固定发生,因而难于捕捉,使故障不易判断。这种故障产生的原因是由于触头受环境污染影响,特别像上海这样的沿海城市,空气中盐雾、酸雾浓度较高,腐蚀性大,从而引起触点压力和接触电阻变化。消除故障的最好办法是采用镀金触头。

空气开关是有触点电器,触点烧熔是失效的主要原因。

(六) 蓄电池失效

蓄电池的主要故障现象有蓄电池低电位、应急电池失效等。

引起蓄电池低电位的原因有很多,最主要的原因是充电线路故障。充电电流过大、整流器过热以及接触器烧损都会引起充电线路故障。蓄电池组连接板接触不良和个别蓄电池因污染漏电造成蓄电池低电位,也是主要原因之一。

应急电池是用于辅助逆变器失电后紧急启动的电源。由于电池的寿命有限,往往会在紧急使用时发生电力不足而失效。因此必须经常检查应急电池,测量其电压,保证紧急使用时有效。

七、车辆零部件损伤的原因

对于车辆零部件产生上述损伤和失效的原因,仔细分析和归纳起来,大概包括以下几方面:

(1) 零部件设计过程中的错误。如设计结构不合理,选择参数不合理,选材不当或计算有错误。