

汽车维修行业工人技术等级培训教材



中级汽车检测工 培训教材

王生昌 主编



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
www.phei.com.cn

汽车维修行业工人技术等级培训教材

中级汽车检测工 培训教材



王昌生 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

本书按照中级汽车检测工应知应会的要求,全面系统地介绍了机电学、光学、声学基础,汽车检测常用的电机、传感器的结构原理和性能,汽车结构原理及检查维护方法,汽车综合性能检测项目的评价指标、评价方法及常用检测设备的结构原理和设备的维护与调试。

本书取材新颖,内容实用,条理清楚,图文并茂,可作为中级汽车检测工技术等级培训教材和自学用书,也可供汽车技术管理人员以及有关专业的广大师生阅读参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

中级汽车检测工培训教材/王生昌主编. —北京:电子工业出版社,2003.6
汽车维修行业工人技术等级培训教材

ISBN 7-5053-8866-5

I. 中… II. 王… III. 汽车-检验-技术培训-教材 IV. U472.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 054389 号

责任编辑:夏平飞 李 洁 特约编辑:郭茂威

印 刷:北京东光印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:21.75 字数:489 千字

版 次:2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:33.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077

前 言

为加强职业技能鉴定工作,加快推行职业资格证书制度,促进劳动者素质的提高,2000年12月8日,劳动和社会保障部对此提出了《关于大力推进职业资格证书制度建设的若干意见》,该意见对我们组织班子编写《汽车维修行业工人技术等级培训教材》提供了具有指导作用的出版依据。

电子工业出版社是教育部认定的“国家教材出版基地”,为配合企业完成培训计划,开展岗位培训,逐步使所有从事国家规定职业(工种)的职工达到相应职业资格要求,现根据与《交通行业工人技术等级标准》中的五个汽车维修工种相对应的《职业技能鉴定规范》的培训大纲,按各工种初、中、高三技术等级划分,编写了一套《汽车维修行业工人技术等级培训教材》,分别是《(初级、中级、高级)汽车维修工培训教材》,《(初级、中级、高级)汽车维修电工培训教材》,《(初级、中级、高级)汽车维修漆工培训教材》,《(初级、中级、高级)汽车维修钣金工培训教材》,《(初级、中级、高级)汽车检测工培训教材》,共计15分册。

本书共分为三篇二十二章,由王生昌主编,其中第一、第二、第三、第四、第五、第九、第十章及第十八章由刘东民编写;第六章由张庆余编写;第七、第八、第二十一章由李春明编写;第十一章由王生昌、闻阿兴、刘东民编写;第十二、第十九、第二十章由王生昌编写;第十三、第十五和第十六章由胡闰秀编写;第十四章和第十七章由周维新编写;第二十二章由闻阿兴编写。全书完稿后由王生昌审阅定稿。参加编写的人员还有殷国祥、赵荣东、戴晓峰、夏坤、杨再研、王军明等。

编写过程中参考了有关标准、著作、论文,在此对其编著单位或个人致以衷心的感谢。由于编者水平有限,时间仓促,资料不全,书中难免出现差错、疏漏,恳请广大读者予以批评指正。

编 者

《汽车维修行业工人技术等级培训教材》 编审委员会

主任：刘浩学

委员：龙凤丝 秦 川 董元虎 马强骏 伍少初

王生昌 张美娟 廖学军 王库房 赵春奎

罗金佑 赵社教 陆永良

目 录

第一篇 基础知识

第一章 旋转件的平衡	1
第一节 静平衡原理	1
第二节 动平衡原理	4
第三节 动、静平衡的关系	6
第二章 电子学基础	9
第一节 半导体原理	9
第二节 桥式电路	14
第三节 晶体管放大电路	15
第四节 晶体管开关电路	20
第三章 光学基础	25
第一节 光的认识	25
第二节 光的反射与折射现象	26
第三节 镜及其成像	27
第四节 光电效应	29
第五节 光学学简介	30
第四章 声学基础	32
第一节 声波的特性及在空气中的传播	32
第二节 声响的评价指标	34
第三节 汽车噪声及噪声源	35
第四节 汽车噪声的测量与评价	36
第五章 常用电机与传感器的性能	41
第一节 直流电动机	41
第二节 直流伺服电机与交流伺服电机	49
第三节 单、三相感应电动机	54
第四节 步进电机	59
第五节 光电传感器	63
第六节 温度传感器	65
第七节 压力传感器	67
第八节 转速传感器	70

第九节 其他传感器	74
-----------	----

第二篇 汽车结构原理与检测调整

第六章 汽车发动机结构原理	83
第一节 汽车发动机主要性能指标	83
第二节 曲柄连杆机构	84
第三节 配气机构	90
第四节 供给系	93
第五节 冷却系	99
第六节 润滑系	101
第七节 发动机主要检测参数的检查、调整	103
第七章 汽车传动系结构原理	106
第一节 离合器的结构原理与检查调整	106
第二节 变速器结构原理	110
第三节 万向传动装置	124
第四节 驱动桥	126
第八章 汽车行驶系	131
第一节 汽车行驶系概述	131
第二节 车桥与车轮	132
第三节 悬架	140
第九章 转向系与制动系结构原理	146
第一节 转向系与制动系的基本性能	146
第二节 转向器与转向传动机构原理	148
第三节 制动器与制动传动装置结构原理	156
第四节 转向和制动性能评价指标与检查调整	161
第五节 电子控制制动防抱(ABS)装置	162
第十章 汽车电气系统结构原理	164
第一节 汽车整车电源	164

第二节	起动系	167
第三节	点火系	168
第四节	汽车照明与辅助电路	171
第五节	汽车电气系统主要检测参数 的检查调整	174

第三篇 汽车综合性能检测设备 结构原理与使用维护

第十一章	汽车动力性检测	177
第一节	汽车动力性检测项目及评价指标	177
第二节	汽车底盘测功机与第五轮仪 结构及工作原理	181
第三节	汽车动力性路试检测	190
第四节	发动机综合性能检测	197
第五节	动力性检测设备的维护与调试	202
第十二章	汽车燃油经济性检测	208
第一节	汽车燃油经济性评价指标及 影响	208
第二节	汽车燃油经济性路试检测与 仪器	210
第三节	汽车燃油经济性台试检测	217
第四节	汽车燃油经济性检测设备的 使用与维护	219
第十三章	汽车制动性能检测	224
第一节	汽车制动性能评价指标与检测 项目	224
第二节	汽车制动性能检测的有关规定	229
第三节	汽车制动试验台与检测	232
第四节	汽车制动试验台维护	235
第十四章	汽车前照灯检测	238
第一节	前照灯检测的必要性与有关的 法规	238
第二节	前照灯的检测方法	239
第三节	全自动前照灯检测仪的工作原理	240
第四节	前照灯检测仪的使用与维护	243
第十五章	汽车车速表的检测	246
第一节	车速表检测的必要性与有关 法规	246

第二节	车速表误差及检测方法	246
第三节	车速表检测试验台的结构	248
第四节	车速表检测试验台的使用与 维护	249
第十六章	汽车车轮侧滑检测	252
第一节	前轮定位参数检测的必要性与 国标的有关规定	252
第二节	前轮定位与车轮侧滑	252
第三节	侧滑试验台的结构	255
第四节	侧滑试验台的使用与维护	261
第十七章	汽车车轮定位检测	264
第一节	车轮定位检测的必要性与 检测项目	264
第二节	车轮定位仪结构与测量原理	265
第三节	车轮定位仪的使用与维护	270
第十八章	汽车车轮的平衡	283
第一节	汽车车轮的平衡原理	283
第二节	汽车车轮平衡机的结构与工作 原理	286
第三节	车轮平衡机的使用与维护	292
第十九章	汽车排气污染物检测	294
第一节	汽车排气污染物的形成与危害	294
第二节	汽车排气污染物检测仪器原理 与检测方法	306
第三节	汽车排气污染物检测仪的使用 与维护	318
第二十章	汽车悬挂装置检测	321
第一节	汽车悬挂装置的评价及检测 试验方法	321
第二节	汽车悬挂装置检测台结构与 系统分析	324
第二十一章	汽车使用可靠性检测	330
第一节	车辆外观检测的有关规定与检测 项目	330
第二节	汽车使用可靠性检测	332
第二十二章	汽车综合性能检测线的 工艺组织	338
参考文献		342

第一篇 基础知识

第一章 旋转件的平衡

第一节 静平衡原理

在机器运转时,其运动构件产生的惯性力往往会在运动副中引起附加的动压力,这种动压力不仅会增大运动副中的摩擦力和运动构件本身的内应力,还大大降低了机械的工作效率和使用寿命,并且这些附加的动压力都将传送到机器的基础件上,引起基础件的振动,特别是由于这些惯性力的大小和方向大都是周期性变化的,所以必将会激起机器的基础件产生强迫振动。

如果强迫振动的振幅较大或者其频率接近于其共振频率的范围,则会引起共振,产生极其不良的后果,因为机器的振动不仅影响其本身的正常工作和使用寿命,而且还会造成机器其他部分的损坏,使机器的正常使用受到一定的影响,另外还产生较大的噪声和振动,对操作人员健康产生不利。

为了完全或部分的消除上述惯性力的不良影响,就必须设法将机构的惯性力加以消除或者将其减小到一定的许可程度,这就是机构的平衡要解决的主要问题。

机构的平衡问题是现代机械工程中的一项重要问题。尤其是对于高速车用发动机、高转速机械及有些精密机械,具有特别重要的意义。

在机构中,由于各自构件的运动形式不同,它所产生的惯性力和惯性力的平衡方法也不尽相同。

在汽车检测过程中,大多数遇到的是绕固定轴回转的构件,对于绕固定轴回转的构件,其惯性力通常可以在构件上用配制构件质量的方法予以平衡,例如汽车的发动机曲轴、传动轴、轮胎等都是采用这种方法予以平衡。其方法是在构件的特定位置上增加一部分配重或者除去一部分质量,以便重新调整构件的质量分布情况,使其在回转时该构件所产生的惯性力形成一个平衡力系,因而不会在运动副中引起附加的动压力。对于作往复运动以及平面复合运动的构件,则因其重心是运动的,而又无法使其重心的加速度在任一瞬时都为零,所以这类构件不能通过在构件本身增加一定质量或减少一定质量的方法来获得平衡,必须对

整个机构加以研究,设法使机构在运动时所产生的惯性力和惯性力偶得到完全或部分的平衡。

由此可以看出,机械的平衡问题可以归纳为下述两方面的主要内容:

- (1) 绕固定轴回转构件的惯性力的平衡,简称回转体的平衡;
- (2) 机构惯性力的合力及力偶的平衡。

问题1主要就是解决回转体的静平衡问题。造成回转运动构件不平衡的原因是多种多样的,而汽车上的回转体产生不平衡的原因往往与以下因素有关:

汽车上的许多零件和组合件,由于制造尺寸不精确,装配所产生的误差;材料中有气孔加渣,造成其质量分布不均而产生的不平衡;汽车在使用过程中由于零件和组合件的变形、磨损、松动等打乱了原来的正确配合,造成了零件或组合件的重心偏离了其原来的回转中心,导致了新的不平衡;另外,汽车在修理过程中,由于表面处理、机械加工,还会引起新的不平衡,这种不平衡有时竟然会超过许用值的好多倍;还有,如果更换了原来配对零件中的任何一个或两个零件,必然会破坏原有的平衡状态,造成新的不平衡。因此,汽车在高速运行时,由于零件不平衡而引起的机器振动,会使零件本身和轴承造成附加载荷,从而加速了零件的磨损和损伤,剧烈的振动还会使一些汽车零件如曲轴、传动轴、飞轮壳等过早断裂,所以为了提高汽车的使用寿命,提高修理质量,对零件或组合件进行平衡实验是十分必要的。

引起不平衡的原因是由于零件的重心离开了它的旋转轴线而产生的,由于零件的重心与旋转中心不一致,在转动时就产生一个离心力,从而使零件在转动过程中产生振动。平衡后的零件由于重心和旋转中心达到了重合,因此零件旋转后不再产生离心力,从而消除了振动现象。

当回转体的轴向宽度 b 与其直径 D 的比值 $\frac{b}{D} < 0.2$ 时,可以认为其质量均集中在一个通过重心的回转平面内,因此对于此类回转体零件,只需进行静平衡。

对于宽度不大的回转体,可以认为其偏心质量是位于同一回转平面内的。在这种情况下,如果发生不平衡,那是由于回转体的重心不在其回转轴上的缘故所致。对于这样的不平衡状态,在回转体静止时就可以显示出来。如图1-1所示,如果这类回转体的重心 c 不在其回转轴上,则显然当回转体静止时 c 必处于最下方。或者说,只有当重心 c 处于最下方时,回转体才能静止,而不是在任意位置静止,这样的不平衡回转体叫做静不平衡回转体。

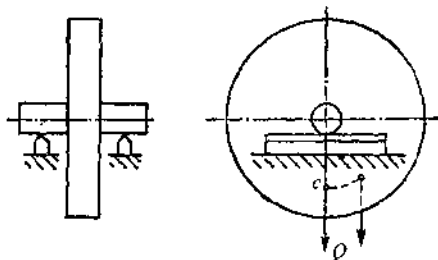


图1-1 静不平衡的回转体

平衡状态,在回转体静止时就可以显示出来。如图1-1所示,如果这类回转体的重心 c 不在其回转轴上,则显然当回转体静止时 c 必处于最下方。或者说,只有当重心 c 处于最下方时,回转体才能静止,而不是在任意位置静止,这样的不平衡回转体叫做静不平衡回转体。

如图1-2所示,设静不平衡回转体的偏心质量有 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 和 Q_4 ,它们的回转半径分别为 r_1 、 r_2 、 r_3 和 r_4 ,则当回转体以等角速度 ω 回转时,各偏心质量所产生的离心惯性力分别为:

$$P_1 = \frac{Q_1}{g} \omega^2 r_1$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{g} \omega^2 r_2$$

$$P_3 = \frac{Q_3}{g} \omega^2 r_3$$

$$P_4 = \frac{Q_4}{g} \omega^2 r_4$$

为了平衡这些离心惯性力,可以在回转体上加一配重 Q ,使其所产生的离心惯性力 P 与 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 相平衡,即满足:

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P \quad \text{又因为}$$

$$P = \frac{Q}{g} \omega^2 r$$

式中 r 为配重的回转半径,故得:

$$Qr + Q_1 r_1 + Q_2 r_2 + Q_3 r_3 + Q_4 r_4 = 0$$

式中 Qr 称为重径积,配重 Q 的重径积 Qr 的大小和方位,可用图解法求得。

如图 1-2 (b) 所示,以比例尺 $u_w = \frac{Q_1 r_1}{\omega_1} \left(\frac{\text{N} \cdot \text{cm}}{\text{mm}} \right)$ 按向径 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 的方向做矢量 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 代表重径积 $Q_1 r_1$ 、 $Q_2 r_2$ 、 $Q_3 r_3$ 、 $Q_4 r_4$ 。

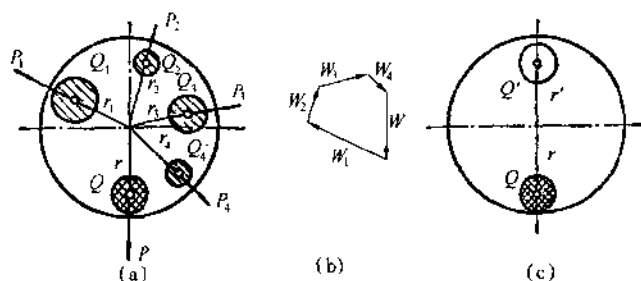


图 1-2 回转体的静平衡计算

则封闭矢量 W 的大小即代表配重的重径积 Qr 的大小,故得:

$$Qr = u_w W \quad (\text{N} \cdot \text{cm})$$

当回转体的结构选定 r 值后,即可用上面确定配重的大小,而其方位则由向径 r 确定。

根据上面的分析可见,对于静不平衡的回转体,不论它有多少个偏心质量,都只需要适当地加上一个配重即可获得静平衡。

很明显,根据构件的结构特点,也可以在配重向径的对方 r' 处去掉一部分材料 Q' 来使构件达到静平衡。但要保证满足: $Q'r' + Qr = 0$ 即可。

静平衡实验所用的设备比较简单,如图 1-3 所示,将欲平衡的回转体的轴支于两个水平放置的刀口上,由于其质心 c' 有居于最低位置的趋势,所以轻轻转动此回转体,使其轴在刀

口上滚动,则当其停止滚动时,质心 c' 必在轴心的正下方。此时可以在轴心的正上方加一配重,然后再重复试验,通过加(减)配重,直到回转体在任何位置都能保持静止。这时回转体的质心 c' 已于其质心趋于重合,即回转体达到了静平衡。这种刀口式静平衡试验设备简单,但精度还是相当高的,主要是要求两刀口在同一水平面内。

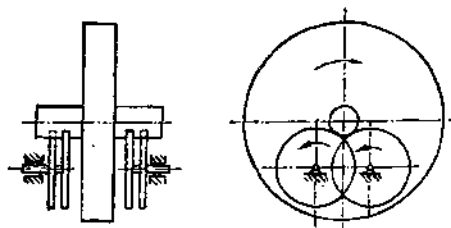


图 1-3 回转体的静平衡实验

表 1-1 是几种汽车主要零件及组合件的允许静平衡数值。

表 1-1 汽车主要零件及组合件的允许静平衡数值

零件或组合件名称	允许静平衡数值 (g·cm)		
	跃进	解放	轿车
风扇总成	15	20	15
曲轴皮带轮	40	50	30
手制动盘	—	60	—
飞轮	35	100	15
离合器压盘	35	100	35
离合器片组合件	18	18	10~18
带轮胎的车轮组合件	—	—	250~500
制动鼓与轮	—	—	400

第二节 动平衡原理

有些回转体,其偏心质量是分布在不同的几个回转平面内的,如图 1-4 所示的发动机的曲轴。当曲轴旋转时,即使回转体的重心在其回转轴上,而由于各偏心质量产生的离心惯性力不在同一平面,因而形成惯性力偶,所以它仍然是不平衡的,这种不平衡状态,只有在回转体运动的情况下才能显示出来,所以把这种不平衡回转体叫做动不平衡的回转体。

显然,要使这种动不平衡物体获得完全平衡,就必须使其各偏心质量所产生的离心惯性力之合力 P 以及这些离心惯性力所产生的惯性力偶矩 M 之和均为零:

即

$$\Sigma P = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

如图 1-5 所示,设一回转体的偏心质量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 分别位于平面 1、2 及 3 内, r_1 、 r_2 、 r_3 为其回转半径。当此物体以等角速度 ω 回转时,它们产生的离心惯性力是一个空间力系。

由力学可知,一个力可以分解为与它相平行的两个分力,因此,可以选择两个平衡基面 I 及 II 作为安装平衡配重的平面,并将上述离心惯性力分别分解到平面 I 及 II 内,即将

P_1 、 P_2 、 P_3 分别分解为 P_{1I} 、 P_{2I} 、 P_{3I} (在平面I内) 和 P_{1II} 、 P_{2II} 、 P_{3II} (在平面II内), 这样就把空间力系的平衡问题, 转化为平面汇交力系的平衡问题。显然, 只要在平面I及II内适当地各加一个配重, 使两平面内的惯性力之和均为零, 这个构件就完全平衡了。

至于两个平衡基面内的配重 Q_I 及 Q_{II} 的大小及方位的确定, 与前述静平衡的方法完全相同。

例如: 就平衡基面 I 而言, 平衡条件是

$$P_{1I} + P_{2I} + P_{3I} + P_I = 0 \quad (a)$$

式中 P_I 为配重 Q_I 产生的离心惯性力。

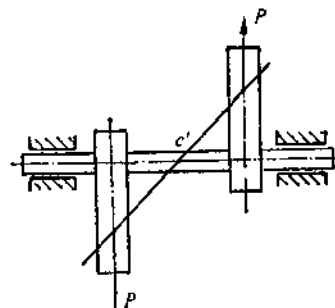


图 1-4 质心在回转体轴上面
惯性力偶不平衡的回转体

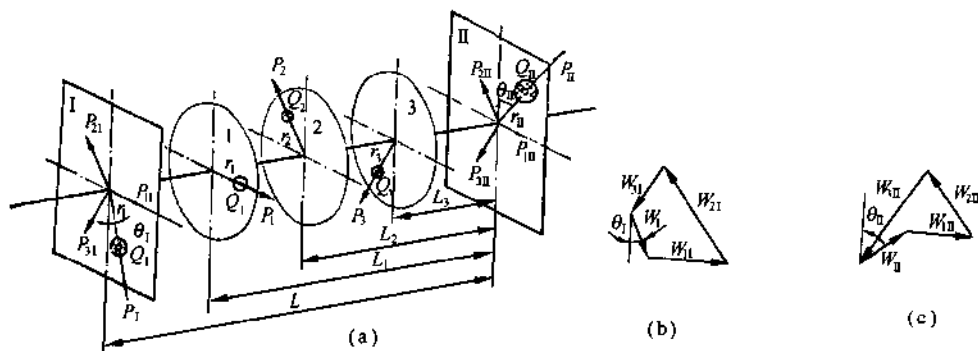


图 1-5 回转体的动平衡计算

各力的大小为:

$$P_{1I} = P_1 \frac{L_1}{L} = \frac{Q_1}{g} \omega^2 r_1 \frac{L_1}{L}$$

$$P_{2I} = P_2 \frac{L_2}{L} = \frac{Q_2}{g} \omega^2 r_2 \frac{L_2}{L}$$

$$P_{3I} = P_3 \frac{L_3}{L} = \frac{Q_3}{g} \omega^2 r_3 \frac{L_3}{L}$$

$$P_I = \frac{Q_I}{g} \omega^2 r_I$$

将各力的大小 代入公式 (a), 并消去 $\frac{\omega^2}{g}$, 得:

$$Q_1 r_1 \frac{L_1}{L} + Q_2 r_2 \frac{L_2}{L} + Q_3 r_3 \frac{L_3}{L} + Q_I r_I = 0$$

选定重径积的比例尺为 $\mu_{w} = \frac{Q_1 r_1 \frac{L_1}{L}}{W_{1I}} \left(\frac{\text{N} \cdot \text{cm}}{\text{mm}} \right)$, 按向径 r_1 、 r_2 、 r_3 的方向做矢量

W_{1I} 、 W_{2I} 、 W_{3I} 则封闭矢量 W_I 的大小即代表 Q_I 的重径积 $Q_I r_I$ 的大小, 故得:

$$Q_I r_I = \mu w W_I (\text{N} \cdot \text{cm})$$

当选定 r_I 以后, 即可由上式确定配重 Q_I 的大小, 而其方位, 则由向径 r_I 确定。至于平面 II 内的配重 Q_{II} 的大小和方位可用上述同样的方法确定。

回转体的动平衡实验必须在专用的动平衡实验机上进行。

对于轴向宽度 b 与其直径 D 的比 $\frac{b}{D} > 0.2$ 的回转体, 由于其质量不能再视为分布在同一回转平面内, 所以必须同时考虑其惯性力和惯性力偶的平衡, 因此必须进行动平衡实验。

对于汽车上的回转体进行动平衡实验的主要设备有:

硬支撑曲轴动平衡实验机 (主要用于曲轴、曲轴飞轮组和曲轴飞轮离合器组件的平衡);

传动轴动平衡实验机;

汽车轮胎动平衡实验机。

动平衡实验机是专门进行回转体动平衡实验的仪器, 零件上平衡配重的大小和方位由电测技术确定, 其精度、灵敏度是相当高的。

第三节 动、静平衡的关系

如果回转体进行过动平衡实验, 那么它必定是静平衡的, 如果回转体做过静平衡实验, 那么它不一定是动平衡的, 这是因为静平衡只考虑了回转体的惯性力平衡而并没有考虑因惯性力所产生的惯性力偶的平衡。

利用平衡实验机对回转体做过平衡试验后 (不论是动平衡还是静平衡), 回转体总还是有残余的不平衡, 因此, 根据工作需要, 对回转体做出许用不平衡是非常有用的, 表 1-2 是制造商规定的许用不平衡量的数值:

表 1-2 常用曲轴传动装置的许用不平衡数值

回转体名称	许用不平衡数值 (g·cm)	回转体名称	许用不平衡数值 (g·cm)
太脱拉曲轴	150	6105	150
6135	300	140	150
6110	150	212	150

回转体的许用不平衡量有两种表示方法: 重径积和偏心距表示法。

如果设回转体的质量为 Q , 其质心至回转轴线的许用偏心距为 $[e]$, 回转体的许用不平衡重径积以 $[Q'r']$, 即:

$$Q[e] = [Q'r'] \text{ 或 } [e] = [Q'r']/Q$$

偏心距是一个与回转体的质量无关的绝对量, 而重径积是一个与回转体质量有关的相对量。通常对于具体给定的回转体, 许用不平衡量以重径积表示比较好, 因为它比较直观, 便于平衡操作, 而在衡量回转体平衡的好坏或衡量平衡的检测精度时, 则用许用偏心距较

好,这样便于直接比较。

关于回转体的许用不平衡量,表 1-3 给出了各种典型回转体的平衡等级和许用不平衡量,供使用时参考。表中回转体的不平衡量以平衡精度 A 的形式给出。

用下表时应注意下列不同情况:

(1) 对于静不平衡的物体,许用不平衡量取表中算出的值。

(2) 对于动不平衡的回转体,由表中的许用偏心距 $[e]$,求出不平衡重径积 $Q[e]$ $= [Q'r']$ 后,应将它分配到两个基面上。

一般情况下,将其平分两部分,分别作为两平衡基面上的许用不平衡重径积就可以了。

表 1-3 各种典型回转体的平衡等级和许用不平衡量

平衡等级 G	平衡精度 A [e] $\omega/1000$ (mm/s)	典 型 回 转 体
G4000	4000	刚性安装的具有奇数汽缸的低速船用柴油机曲轴传动装置
G1600	1600	刚性安装的大型二冲程发动机曲轴传动装置
G630	630	刚性安装的大型四冲程发动机曲轴传动装置;弹性安装的船用柴油机曲轴传动装置
G250	250	刚性安装的高速四缸柴油机曲轴传动装置
G100	100	六缸或六缸以上高速柴油机曲轴传动装置;汽车、机车用发动机整体(汽油机、柴油机)
G40	40	汽车轮、轮缘、轮组、传动轴;弹性安装的六缸或六缸以上高速四冲程发动机(汽油机、柴油机)曲轴传动装置;汽车、机车用发动机曲轴传动装置
G16	16	特殊用途的传动轴(螺旋桨轴、万向联轴器轴);破碎机械的零件;农机具零件;特殊用途六缸或六缸以上发动机(汽油机、柴油机)曲轴传动装置
G6.3	6.3	作业机械零件;船用主机齿轮;离心机鼓轮;风扇;装配好的航空燃气轮机;泵转子;普通电机转子;特殊用途的发动机部件
G2.5	2.5	航空燃气轮机、特殊要求的中、大型电机转子,小型电机转子
G1.0	1.0	磁带录音机的传动装置;磨床传动轴;特殊要求的小型电机转子
G0.4	0.4	精密磨床传动主轴;砂轮盘;电机转子,陀螺仪

注: (1) ω 为回转体转动的角速度 (s^{-1});

(2) 低速柴油机活塞速度小于 $9m/s$; 高速柴油机活塞速度大于 $9m/s$;

(3) 曲轴传动装置包括曲轴、飞轮、离合器、皮带轮、减振器、连杆回转部分的零件。

当两平衡基面对零件的重心并不对称时,如图 1-6 所示,则两平衡基面上的许用不平衡重径积可按式求得:

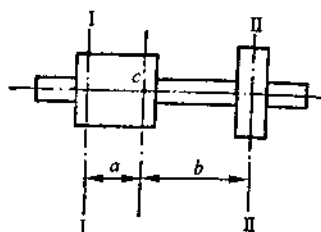


图 1-6 两平衡基面对重心不对称

$$[Q'_{\text{I}} r'_{\text{I}}] = [Q' \cdot r'] \cdot \frac{a}{a+b}$$

$$[Q'_{\text{II}} r'_{\text{II}}] = [Q' \cdot r'] \cdot \frac{b}{a+b}$$

式中 a 和 b 分别为平衡基面 I 及 II 至零件重心的距离。

第二章 电子学基础

第一节 半导体原理

1. 导体、半导体和绝缘体

在自然界中,存在有许多不同种类的物质,这些物质有的是固体,有的是液体,有的是气体,它们有着不同的特性。就导电性而言,有的物质是很容易导电的。我们把能够导电的物质叫做导体,金属一般都是电的优良导体,如金、银、铜、铝、铁等。也有的物质几乎是不导电的,通常把不导电的物质称为绝缘体,常见的有橡胶、陶瓷、塑料和石英等。

此外,还有一类物质,通常把这类物质叫做半导体,如锗、硅、硒、砷化镓等。通过对半导体的研究,发现它具有如下特点:

(1) 半导体对价电子的束缚较弱,当半导体受到外界光或热的刺激时,它便能释放价电子,从而使其导电能力发生明显的变化,这种对外界的敏感性能,使半导体有许多用途。利用这些半导体物质可以制成光敏和热敏电子元件。

(2) 在洁净的半导体中掺入微量的杂质,则半导体的导电能力就会有急剧的增加,这是半导体最突出的特点。

半导体材料的原子结构比较特殊,它的价电子不像导体那样容易挣脱原子核的束缚,又不像绝缘体那样被原子核束缚的很紧,这就决定了它的导电性介于导体和绝缘体之间。

2. 本征半导体、空穴及导电作用

本征半导体是完全纯净的、结构完整的半导体。它在热力学温度 $T = 0K$ ($-273.15^{\circ}C$) 和没有外界刺激时,它的导电性和绝缘体是一样的。在常温下,本征半导体中一些价电子受热激发获得能量成为自由电子,这样在价电子原来的位置上留下一个“空位”,这个“空位”就叫做空穴。空穴的出现是半导体的一个重要特点。

在本征半导体中自由电子和空穴总是成对出现的,因此,任何时候,本征半导体的导带电子和价带空位总是相等的。

半导体材料一定时,它的载流子的浓度随温度的增加按指数规律增加,其导电能力随温度的增加而显著增加,这又是半导体的一个重要的特性。

3. 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量杂质,就会使半导体的导电性能发生显著的变化,人们利用这个特性制成了具有多种性能的半导体。其中应用最广的是N型和P型半导体。

(1) N 型半导体

在锗（硅）的晶体中掺入少量的五价磷（或锑等），在晶体中的某些位置上的硅原子被磷原子替代，磷原子与相邻的硅原子组成共价键后，必定多余一个价电子，见图 2-1，这个多余的价电子虽然不受共价键的约束，但受磷原子核的正电荷的吸引而只能在磷原子的周围活动，不过只需要较小的能量就可使它挣脱磷原子的吸引而成为自由电子，这种半导体中的自由电子数大于空穴数，它导电时将以自由电子为主，在这种半导体中，自由电子是多数载流子，这种半导体称之为 N 型半导体。

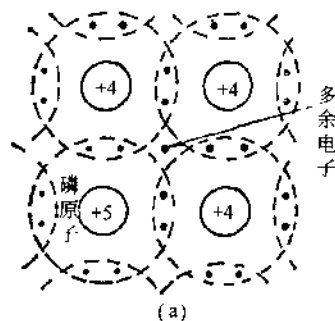


图 2-1 N 型半导体共价键结构

(2) P 型半导体

在锗（硅）的晶体中掺入少量的三价硼元素后，由于硼原子在硅晶体中能接受电子，这种掺杂后的半导体中的自由电子数少于空穴数，它导电时将以空穴为主，在这种半导体中，空穴是多数载流子，这种半导体称之为 P 型半导体，见图 2-2。

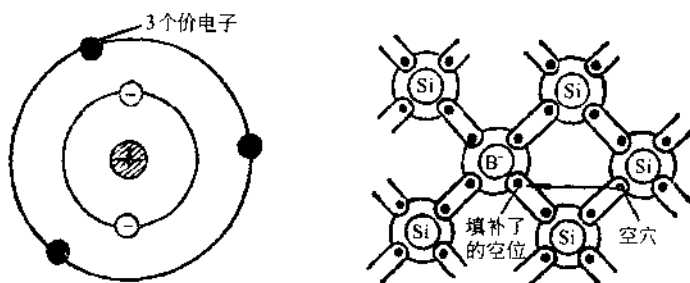


图 2 2 P 型半导体共价键结构

4. PN 结的形成及单向导电性

人们常在一块完整的晶片上，用不同的掺杂工艺，使晶片一边为 N 型半导体另一边为 P 型半导体，那么在 N 型和 P 型的半导体的结合面就出现了 PN 结。由于 PN 结的形成，才产生了许多半导体元件。因此可以说 PN 结是二极管、三极管和其他一些半导体器件的基础。

PN 结的基本特性是单向导电性，这种特性只有在外加电压时才显示出来。

若在 PN 结上施加正向偏置电压 U_F ，这个电压 U_F 将集中降到 PN 结上，结果是 PN 结的电场削弱，在外电路中形成扩散电流，若再增加正向偏置电压，将进一步削弱 PN 结，扩散电流随之增加，在正常工作范围内，外电压 U_F 只要有少许的变化，便能引起电流的显著变化。因此，外电流的变化是由电压增加而引起的，这样 PN 结就表现为一个很小的电阻。

若在 PN 结上施加反向偏置电压，这个外加电压的电场与 PN 结的内电场方向相同，结果是 PN 结的电场增强，在外电路并不形成扩散电流（反向饱和电流是很小的），这时的