



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHIERWU GUIHUA XILIE JIAOCAI

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

机械基础实验指导书

JIXIE JICHU SHIYAN ZHIDAOSHU

主 编 罗海玉

JIXIE JICHU SHIYAN ZHIDAOSHU



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHIERWU GUIHUA XILIE JIAOCAI
普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

机械基础实验指导书

JIXIE JICHU SHIYAN ZHIDAOSHU

主 编 罗海玉



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

内 容 提 要

《机械基础实验指导书》包括机械原理、机械设计、材料力学、工程材料及成型技术、互换性与技术测量、液压与气压传动 6 门课程的实验教学指导；分为 6 部分共 26 个实验项目的实验指导。

本书可作为高等工科院校机械类和近机类本科生的实验教材，也可作为高职、高专等机械类和近机类专业的实验教材，还可作为实验教师的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

机械基础实验指导书 / 罗海玉主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2014.1
普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材
ISBN 978-7-5643-2813-9

I. ①机… II. ①罗… III. ①机械学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 315822 号

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

机械基础实验指导书

罗海玉 主编

责任编辑	李芳芳
助理编辑	罗在伟
特邀编辑	李 伟
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川五洲彩印有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	12
字 数	298 千字
版 次	2014 年 1 月第 1 版
印 次	2014 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2813-9
定 价	24.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

机械基础类课程是机械类和近机械类各专业的专业基础课，主要包括机械原理、机械设计、材料力学、工程材料及成型技术、互换性与技术测量、液压与气压传动等课程。机械基础实验是机械基础类课程教学的重要组成部分，通过实验不但可以使學生深入理解理论教学内容，而且可以训练学生的实践技能，为学生在今后的生产实践中，由理论知识向实践知识转化提供必要的基础。以前，这些课程的实验教学附属于相应课程，这种做法难以适应新世纪高层次创新型人才的培养要求。目前已有许多高校对此进行了改革，按实验自身系统优化整合，单独设置了机械基础实验课程，采用模块结构分层次安排实验教学，由课程实验改革为实验课程。

为适应此项改革，编者在总结和吸取本校及部分兄弟院校机械类专业近几年实验教学改革成果的基础上，在满足教育部制定的机械类专业机械基础有关课程教学大纲的前提下，编写了本实验指导书。旨在培养学生的学习态度、实验能力、科研能力和创新能力。

本书的主要特点有：

- （1）重视实验方法的先进性和现代化，通过实验让学生了解和掌握现代实验研究的方法；
- （2）与理论教学相结合，进一步加深课程教学中某些抽象的原理，加深学生对机械基础类课程的理解；
- （3）培养学生观察和综合分析的能力，激发学生的创新意识，提高学生的创新能力。

天水师范学院罗海玉担任本书主编，并负责编写了第一、二、五、六部分；天水师范学院张慧负责编写了第三、四部分。本书在编写过程中得到了天水师范学院工学院机械系全体教师的大力支持，也得到了部分兄弟院校（如兰州理工大学、兰州交通大学等）同行的帮助和指导，在此表示诚挚的感谢！

由于编者水平和经验有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2013 年 8 月

目 录

第一部分 机械原理课程实验

实验一	机构认识及运动简图测绘实验	2
实验二	刚性转子动平衡实验	6
实验三	渐开线齿轮范成实验	12
实验四	渐开线直齿圆柱齿轮参数的测定	16

第二部分 机械设计课程实验

实验五	机械零件认识实验	22
实验六	液体动压滑动轴承的油膜压力及摩擦特性测定	29
实验七	螺栓联接静动态特性分析实验	37
实验八	齿轮传动效率测定与分析	44
实验九	轴系结构设计拼装与测绘	48

第三部分 材料力学课程实验

实验十	金属材料的拉伸、压缩及测 E 实验	54
实验十一	金属材料的扭转实验	66
实验十二	冲击实验	74
实验十三	梁纯弯曲正应力和薄壁圆管弯扭组合变形的电测应力分析实验	79

第四部分 工程材料及成型技术课程实验

实验十四	材料硬度测试实验	95
实验十五	金相显微镜的使用及金相试样的制备实验	104
实验十六	铁碳合金平衡组织的观察与分析实验	109
实验十七	碳钢的热处理及显微组织观察与分析	116
实验十八	合金钢、铸铁、有色金属显微组织观察与分析实验	121

第五部分 互换性与技术测量课程实验

实验十九 轴孔测量实验	128
实验二十 表面粗糙度测量实验	135
实验二十一 形位误差测量实验	141
实验二十二 螺纹主要参数的测量实验	144
实验二十三 圆柱齿轮的测量实验	150

第六部分 液压与气压传动课程实验

实验二十四 液压元件的认识与拆装实验	157
实验二十五 液压基本回路实验	173
实验二十六 气压基本回路实验	183
参考文献	185

第一部分

机械原理课程实验



■ 实验一 机构认识及运动简图测绘实验

■ 实验二 刚性转子动平衡实验

■ 实验三 渐开线齿轮范成实验

■ 实验四 渐开线直齿圆柱齿轮参数的测定

实验一 机构认识及运动简图测绘实验

一、实验目的

- (1) 初步了解“机械原理”所研究的各种常用机构的结构、类型、特点及应用。
- (2) 增强学生对机构与机器的感性认识。
- (3) 初步掌握根据实际机器或机构模型绘制机构运动简图的技能。
- (4) 验证和巩固机构自由度的计算方法。
- (5) 通过实验机构的比较，巩固对机构结构分析的了解。

二、实验内容

- (1) 陈列柜展示各种常用机构的模型，通过模型的动态展示，增强学生对机构与机器的感性认识。
- (2) 学生通过观察，增加对常用机构的结构、类型、特点的理解，培养对课程理论学习和专业方向的兴趣。
- (3) 分析机构的组成，绘制机构运动简图，计算机构的自由度，理解各种运动副的组成和特点，分析机构中的虚约束、局部自由度和复合铰链，判断机构具有确定运动的条件。

三、实验设备和工具

- (1) 机械原理演示柜和各种机构模型；
- (2) 辅助测量工具；
- (3) 自备三角尺、圆规、铅笔、稿纸等。

四、实验原理

1. 对机器的认识

通过对实物模型和机构的观察，学生可以认识到，机器是由一个机构或几个机构按照一定运动要求组合而成的。所以只要掌握各种机构的运动特性，再去研究任何机器的特性就不困难了。在机械原理中，运动副是以两构件的直接接触形式的可动联接及运动特征来命名的，如高副、低副、转动副、移动副等。

2. 平面四杆机构

平面连杆机构中结构最简单、应用最广泛的是四杆机构。四杆机构分成三大类：铰链四杆机构、单移动副机构、双移动副机构。

(1) 铰链四杆机构分为：曲柄摇杆机构、双曲柄机构、双摇杆机构，即根据两连架杆为曲柄还是摇杆来确定。

(2) 单移动副机构。它是以一个移动副代替铰链四杆机构中的一个转动副演化而成的。单移动副机构可分为：曲柄滑块机构、曲柄摇块机构、转动导杆机构和摆动导杆机构等。

(3) 双移动副机构。它是带有两个移动副的四杆机构，将其倒置也可得到。双移动副机构可分为：曲柄移动导杆机构、双滑块机构和双转块机构。

3. 凸轮机构

凸轮机构常用于把主动构件的连续运动转变为从动件严格地按照预定规律的运动。只要适当设计凸轮廓线，便可以使从动件获得任意的运动规律。由于凸轮机构结构简单、紧凑，因此广泛应用于各种机械、仪器及操纵控制装置中。

凸轮机构主要由三部分组成，即凸轮（它有特定的廓线）、从动件（它由凸轮廓线控制着）和机架。

凸轮机构的类型较多，学生在参观这部分时应了解各种凸轮的特点和结构，找出其中的共同特点。

4. 齿轮机构

齿轮机构是现代机械中应用最广泛的一种传动机构，具有传动准确、可靠、运转平稳、承载能力大、体积小、效率高等优点，广泛应用于各种机器中。根据轮齿的形状，齿轮可分为：直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、圆锥齿轮及蜗轮、蜗杆。根据主、从动轮两轴线的相对位置，齿轮传动又可分为：平行轴传动、相交轴传动、交错轴传动三大类。

(1) 平行轴传动的类型有：外、内啮合直齿轮机构，斜齿圆柱齿轮机构，人字齿轮机构，齿轮齿条机构等。

(2) 相交轴传动的类型有：圆锥齿轮机构，轮齿分布在一个截锥体上，两轴线夹角常为 90° 。

(3) 交错轴传动的类型有：螺旋齿轮机构、圆柱蜗轮蜗杆机构、弧面蜗轮蜗杆机构等。

在参观这部分时，学生应注意了解各种机构的传动特点、运动状况及应用范围等。

齿轮机构的参数有：齿数 z 、模数 m 、分度圆压力角 α 、齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 等。

在参观这部分时，学生们一定要知道什么是渐开线？渐开线是如何形成的？什么是基圆、发生线？并注意观察基圆、发生线、渐开线三者间的关系，从而得出渐开线的性质。

在观察摆线的形成时，要了解什么是发生圆？什么是基圆？动点在发生圆上的位置发生变化时，能得到什么样的轨迹摆线？

最后通过参观总结出齿数、模数、压力角等参数的变化对齿形的影响。

5. 周转轮系

通过各种类型周转轮系的动态模型演示, 学生应该了解什么是定轴轮系? 什么是周转轮系? 根据自由度不同, 周转轮系分为行星轮系和差动轮系, 它们有什么异同点? 差动轮系为什么能将一个运动分解为两个运动或将两个运动合成为一个运动?

周转轮系的功用、形式很多, 各种类型都有其优缺点。在今后的应用中如何避开缺点、发挥优点等都是需要学生实验后认真思考和总结的问题。

6. 其他常用机构

其他常用机构常见的有棘轮机构、摩擦式棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构; 凸轮式间歇运动机构、万向节及非圆齿轮机构等。通过各种机构的动态演示, 学生应知道各种机构的运动特点及应用范围。

7. 机构的串、并联

展柜中展示有实际应用的机器设备、仪器仪表的运动机构。从这里可以看出, 机器都是由一个或几个机构按照一定的运动要求串、并联组合而成的。所以在学习机械原理课程时一定要掌握好各类基本机构的运动特性, 才能更好地去研究任何机构(复杂机构)的特性。

8. 机构的运动简图测绘

机构的运动简图是工程上常用的一种图形, 是用符号和线条来清晰、简明地表达出机构的运动情况, 使人对机器的动作一目了然。在机器中, 尽管各种机构的外形和功用各不相同, 但只要是同种机构, 其运动简图都是相同的。机构的运动仅与机构所具有的构件数目和构件所组成的运动副的数目、类型、相对位置有关。因此, 在绘制机构运动简图时, 可以不考虑构件的复杂外形、运动副的具体构造, 而是用简单的线条和规定的符号来代表构件和运动副, 并按一定的比例尺寸表示各运动副的相对位置, 画出能准确表达机构运动特性的机构运动简图。

五、实验方法和步骤

(1) 认真阅读和掌握教材中相关部分的理论知识(课前)。

(2) 现场观察各种机构模型及其运动规律和特点, 听录音和实验教师讲解。

(3) 选择 2~3 种机构模型或机器, 从原动件开始观察机构的运动, 认清机架、原动件和从动件; 根据运动传递的顺序, 仔细分析相互连接的两构件间的接触方式及其相对运动形式, 确定组成机构的构件数目及运动副的类型和数目; 合理选择投影面, 一般选择能够表达机构中多数构件的运动平面为投影面, 绘制机构运动简图的草图, 大致定出各运动副之间的相对位置, 用规定的符号画出运动副, 并用线条连接起来, 然后用数字 1、2、3…及字母 A、B、C…分别标注相应的构件和运动副, 并用箭头表示原动件的运动方向和运动形式, 量出机构对应运动副间的尺寸, 再将草图按比例画入实验报告中。

(4) 计算自由度, 并与实际机构对照, 观察原动件数与自由度是否相等; 计算公式:
$$F = 3n - 2P_L - P_H。$$

- (5) 对机构进行结构分析，并判断机构的级别。
- (6) 认真完成实验报告。

六、实验报告内容及要求

- (1) 根据现场观察结果，至少分析 6 种常见机构，包括机构的组成、基本原理和运动特点。
- (2) 在表 1.1 中绘出所选机构（至少两个）的运动简图。

表 1.1 机构名称及其运动简图

编号	机构名称	运动简图	自由度计算	判断原动件数及机构级别
1			$n =$; $P_L =$; $P_H =$; $F =$	
2			$n =$; $P_L =$; $P_H =$; $F =$	

七、思考题

- (1) 一个正确的机构运动简图能说明哪些问题？
- (2) 机构自由度的计算对测量绘制机构运动简图有何帮助？

实验二 刚性转子动平衡实验

一、实验目的

- (1) 加深对转子动平衡概念的理解。
- (2) 掌握刚性转子动平衡试验的原理及基本方法。

二、实验设备和工具

- (1) JPH-A 型动平衡试验台；
- (2) 转子试件；
- (3) 平衡块；
- (4) 百分表 (0 ~ 10 mm)。

三、JPH-A 型动平衡试验台的结构与工作原理

1. 动平衡机的结构

动平衡机的结构简图如图 2.1 所示。待平衡的转子试件 3 安放在框形摆架的支承滚轮上，摆架的左端固接在工字形板簧 2 中，右端呈悬臂。电动机 9 通过皮带 10 带动试件旋转；当试件有不平衡质量存在时，则产生离心惯性力，使摆架绕工字形板簧上下周期性地振动，通过百分表 5 可观察振幅的大小。

通过转子的旋转和摆架的振动，可测出试件的不平衡量（或平衡量）的大小和方位。这个测量系统由差速器 4 和补偿盘 6 组成。差速器安装在摆架的右端，它的左端为转动输入端 (n_1)，通过柔性联轴器与试件 3 联接；右端为输出端 (n_3)，与补偿盘相联接。差速器是由齿数和模数相同的 3 个圆锥齿轮和 1 个外壳为蜗轮的转臂 H 组成的周转轮系。

(1) 当差速器的转臂蜗轮不转动时， $n_H = 0$ ，则差速器为定轴轮系，其传动比为

$$\begin{aligned} i_{31} &= \frac{n_3}{n_1} = -\frac{z_1}{z_3} = -1 \\ n_3 &= -n_1 \end{aligned} \quad (2-1)$$

这时补偿盘的转速 n_3 与试件的转速 n_1 大小相等、转向相反。

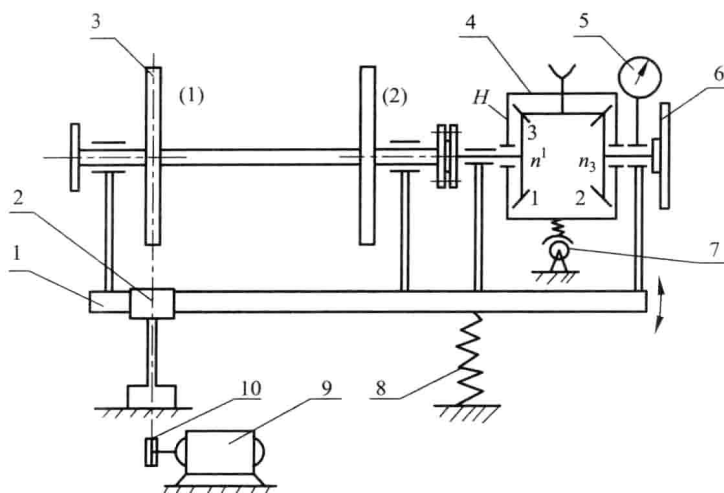


图 2.1 动平衡机的结构简图

1—摆架；2—工字形板簧；3—转子试件；4—差速器；5—百分表；6—补偿盘；
7—蜗杆；8—弹簧；9—电动机；10—皮带

(2) 当 n_1 和 n_H 都转动时为差动轮系。周转轮系传动比计算公式如下：

$$i_{31}^H = \frac{n_3 - n_H}{n_1 - n_H} = -\frac{z_1}{z_3} = -1$$

$$n_3 = 2n_H - n_1 \quad (2-2)$$

蜗轮的转速 n_H 是通过手柄摇动蜗杆 7，经蜗杆蜗轮副在大速比的减速后得到的。因此，蜗轮的转速 $n_H \ll n_1$ ，当 n_H 与 n_1 同向时，由式 (2-2) 可得到 $n_3 < -n_1$ ，此时 n_3 的方向不变（与 n_1 反向），但速度减小。当 n_H 与 n_1 反向时，由式 (2-2) 可得出 $n_3 > -n_1$ ，这时 n_3 仍与 n_1 反向，但速度增加了。由此可知，当手柄不动，补偿盘的转速大小与试件相同、转向相反时，正向摇动手柄（蜗轮转速方向与试件转速方向相同）补偿盘减速，反向摇动手柄补偿盘加速。这样可改变补偿盘与试件圆盘之间的相对相位角（角位移）。这个结论的应用将在后面述说。

2. 转子动平衡的力学条件

由于转子材料的不均匀、制造的误差、结构的不对称等因素使转子存在不平衡质量。因此，当转子旋转后就会产生离心惯性力，组成一个空间力系，使转子动不平衡。要使转子达到动平衡，则必须满足空间力系的平衡条件：

$$\begin{cases} \sum \bar{F} = 0 \\ \sum \bar{M} = 0 \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} \sum \bar{M}_A = 0 \\ \sum \bar{M}_B = 0 \end{cases} \quad (2-3)$$

这就是转子动平衡的力学条件。

3. 动平衡机的工作原理

当试件上有不平衡质量存在时，如图 2.2 所示，试件转动后则产生离心惯性力 $F = \omega^2 mr$ ，它可分解成垂直分力 F_y 和水平分力 F_x ，由于平衡机的工字形板簧和摆架在水平方向（绕 y

轴)抗弯刚度很大,所以水平分力 F_x 对摆架的振动影响很小,可忽略不计。而在垂直方向(绕 x 轴)的抗弯刚度小,因此在垂直分力产生的力矩 $M = F_y \cdot l = \omega^2 m r \cos \varphi \cdot l$ 的作用下,使摆架产生周期性的上下振动(摆架振幅大小)的惯性力矩为

$$M_1 = 0, \quad M_2 = \omega^2 m_2 r_2 l_2 \cos \varphi_2 \quad (2-4)$$

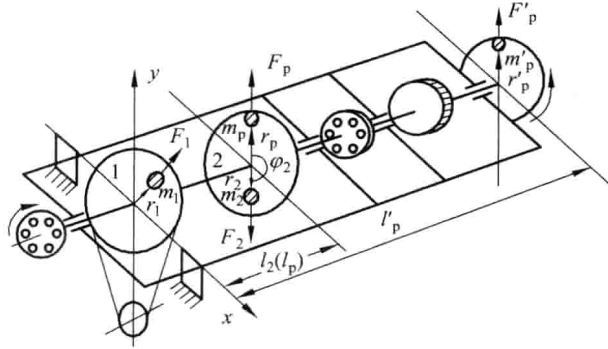


图 2.2 动平衡机的工作原理图

要使摆架不振动必须要平衡力矩 M_2 。在试件上选择圆盘作为平衡平面,加平衡质量 m_p ,则绕 x 轴的惯性力矩 $M_p = \omega^2 m_p r_p l_p \cos \varphi_p$ 。要使这些力矩得到平衡,可根据公式(2-3)来解决。

$$\begin{aligned} \sum \bar{M}_A &= 0, \quad M_2 + M_p = 0 \\ \omega^2 m_2 r_2 l_2 \cos \varphi_2 + \omega^2 m_p r_p l_p \cos \varphi_p &= 0 \end{aligned} \quad (2-5)$$

消去 ω^2 得

$$m_2 r_2 l_2 \cos \varphi_2 + m_p r_p l_p \cos \varphi_p = 0 \quad (2-6)$$

要使式(2-6)为零必须满足

$$\begin{cases} m_2 r_2 l_2 = m_p r_p l_p \\ \cos \varphi_2 = -\cos \varphi_p = \cos(180^\circ + \varphi_p) \end{cases} \quad (2-7)$$

满足式(2-7)的条件,摆架就不振动了。

式中, m (质量) 和 r (矢径) 之积称为质径积; mrl 称为质径矩; φ 称为相位角。

转子不平衡质量的分布有很大的随机性,无法直观判断它的大小和相位。因此很难用公式来计算平衡量,但可用实验的方法来解决,其方法如下:

选补偿盘作为平衡平面,补偿盘的转速与试件的转速大小相等但转向相反,这时的平衡条件也可按上述方法来求得。在补偿盘上加一个质量 m'_p (见图 2.2),则产生离心惯性力对 x 轴的力矩:

$$M'_p = \omega^2 m'_p r'_p l'_p \cos \varphi'_p \quad (2-8)$$

根据力系平衡公式(2-3)得

$$\begin{aligned}\sum \overline{M}_A &= 0, \quad M_2 + M'_p = 0 \\ m_2 r_2 l_2 \cos \varphi_2 + m'_p r'_p l'_p \cos \varphi'_p &= 0\end{aligned}\quad (2-9)$$

要使式 (2-9) 成立必须有

$$\begin{cases} m_2 r_2 l_2 = m'_p r'_p l'_p \\ \cos \varphi_2 = -\cos \varphi'_p = \cos(180^\circ - \varphi'_p) \end{cases}\quad (2-10)$$

式 (2-10) 与式 (2-7) 基本一样, 只有一个正负号不同。

从图 2.3 中可进一步比较两种平衡面进行平衡的特点。图 2.3 是满足平衡条件平衡质量与不平衡质量之间的相位关系。图 2.3 (a) 为平衡平面在试件上的平衡情况, 在试件旋转时平衡质量与不平衡质量始终在一个轴平面内, 但矢径方向相反。图 2.3 (b) 是补偿盘为平衡平面, m_2 和 m'_p 在各自的旋转中只有到 $\varphi'_p = 0^\circ$ 或 180° 、 $\varphi_2 = 180^\circ$ 或 0° 时, 它们处在垂直轴平面内与图 2.3 (a) 一样达到完全平衡。其他位置时, 它们的相对位置关系如图 2.3 (c) 所示, 为 $\varphi_2 = 180^\circ - \varphi'_p$ 。图 2.3 (c) 这种情况, y 分力矩是满足平衡条件的, 而 x 分力矩未满足平衡条件。

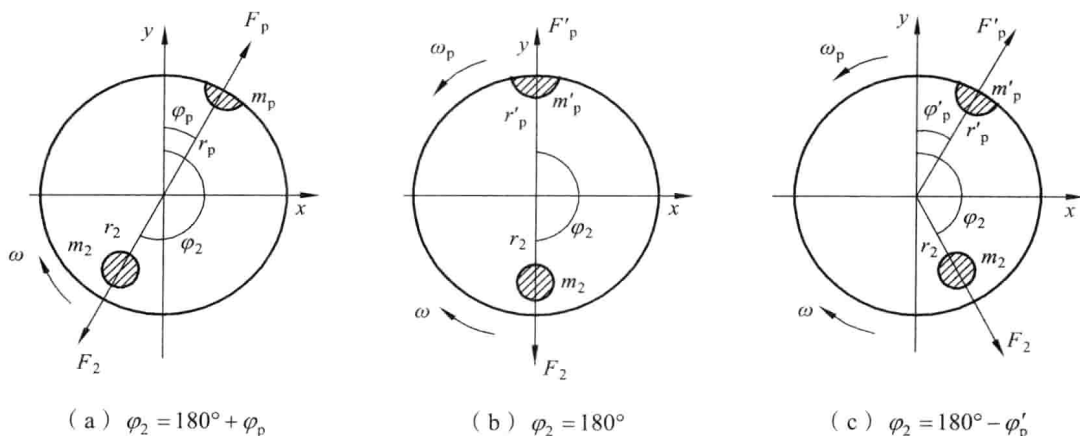


图 2.3 满足平衡条件平衡质量与不平衡质量之间的相位关系

用补偿盘作为平衡平面来实现摆架的平衡可这样操作: 在补偿盘的任何位置 (最好选择在靠近缘处) 试加一个适当的质量, 在试件旋转的状态下摇动蜗杆手柄使蜗轮转动 (正转或反转), 这时补偿盘减速或加速转动。摇动手柄同时观察百分表的振幅使其达到最小, 这时停止转动手柄。停机后, 在原位置再加一些平衡质量, 再开机, 左右转动手柄, 如振幅已很小, 可认为摆架已达到平衡。最后将调整好的平衡质量转到最高位置, 这时的垂直轴平面就是 m'_p 和 m_2 同时存在的轴平面。

摆架平衡不等于试件平衡, 还必须把补偿盘上的平衡质量转换到试件的平衡面上。选试件圆盘 2 为待平衡面, 根据平衡条件:

$$\begin{aligned}m_p r_p l_p &= m'_p r'_p l'_p \\ m_p r_p &= m'_p r'_p \frac{l'_p}{l_p}\end{aligned}\quad (2-11)$$

或
$$m_p = m'_p \frac{r'_p l'_p}{r_p l_p}$$

若取 $\frac{r'_p l'_p}{r_p l_p} = 1$ ，则 $m_p = m'_p$ 。

式 (2-11) 中 $m'_p r'_p$ 是所加的补偿盘上平衡量质径积； m'_p 是平衡块质量； r'_p 是平衡块所处位置的半径（有刻度指示）； l_p 、 l'_p 是平衡面至板簧的距离。这些参数都是已知的，这样就求得了在待平衡面 2 上应加的平衡量质径积 $m_p r_p$ 。一般情况，选择半径 r 求出 m 加到平衡面 2 上，其位置在 m'_p 最高位置的垂直轴平面中，本动平衡机及试件在设计时已取 $\frac{r'_p l'_p}{r_p l_p} = 1$ ，所以 $m_p = m'_p$ ，这样可取下补偿盘上平衡块 m'_p 直接加到待平衡面相应的位置，这样就完成了第一步平衡工作。根据力系平衡条件 (2-3)，到此才完成一项 $\sum \bar{M}_A = 0$ ，还必须做 $\sum \bar{M}_B = 0$ 的平衡工作，这样才能使试件达到完全平衡。

第二步平衡工作：将试件从平衡机上取下，重新安装，以圆盘 2 为驱动轮，再按上述方法求出平衡面 1 上的平衡量（质径积 $m_p r_p$ 或 m_p ）。这样整个平衡工作全部完成。

四、实验方法和步骤

(1) 将平衡试件装到摆架的滚轮上，把试件右端的联轴器盘与差速器轴端的联轴器盘用弹性柱销柔性联成一体，装上传动皮带。

(2) 用手转动试件和摇动蜗杆上的手柄，检查动平衡机各部分转动是否正常。松开摆架最右端的两对锁紧螺母，调节摆架上面的安放在支承杆上的百分表，使之与摆架有一定的接触，并随时注意振幅大小。

(3) 开机前将试件右端圆盘上装上适当的待平衡质量（4 块平衡块），接上电源启动电机，待摆架振动稳定后，调整好百分表的位置并记录下振幅大小 y_0 （格），百分表的位置调整好以后不要变动，停机。

(4) 在补偿盘的槽内距轴心最远处加上一个适当的平衡质量（2 块平衡块）。开机后，摇动手柄观察百分表振幅变化，手柄摇到振幅最小时，停止摇动。记录下振幅大小 y_1 和蜗轮位置角 β_1 （差速器外壳上有刻度指示），停机。（摇动手柄要讲究方法：蜗杆安装在机架上，蜗轮安装在摆架上，两者之间有很大的间隙。蜗杆转动到适当位置可与蜗轮不接触，这样才能使摆架自由地振动，这时观察的振幅才是正确的。摇动手柄蜗杆接触蜗轮使蜗轮转动，这时摆动振动受阻，反摇手柄使蜗杆脱离与蜗轮接触，使摆架自由地振动，再观察振幅。这样间歇性地使蜗轮向前转动和观察振幅变化，最终找到振幅最小值的位置）。在不改变蜗轮位置的情况下，停机后，按试件转动方向用手转动试件，使补偿盘上的平衡块转到最高位置。取下平衡块安装到试件的平衡面（圆盘 2）中相应的最高位置槽内。

(5) 在补偿盘内再加一点平衡质量（1~2 块平衡块），按上述方法再进行一次测试。测得振幅 y_2 和蜗轮位置角 β_2 ，若 $y_2 < y_1 < y_0$ ， β_1 与 β_2 相同或略有改变，则表示实验正确。若 y_2 已很小，可视为已达到平衡。停机，按步骤 (4) 将补偿盘上的平衡块移到试件圆盘 2 上。解开联轴器，开机让试件自由转动，若振幅依然很小，则第一步平衡工作结束。若还存在一些

振幅,可适当地调节一下平衡块的相位,即在圆周方向左右移动一个平衡块微调相位和大小。

(6) 将试件两端 180° 对调,即这时圆盘 2 为驱动盘,圆盘 1 为平衡面。再按上述方法找出圆盘 1 上应加的平衡质量。这样就完成了试件的全部平衡工作。

五、注意事项

(1) 动平衡的关键是找准相位,第一次就要把相位找准,当试件接近平衡时相位就不灵敏了。所以 β_1 、 β_2 是主要位置角。

(2) 若试件振动不明显可人为地加一些不平衡块。

六、思考题

(1) 摇动蜗杆手柄的目的是什么?若满足指导书中如图 2.3(c)所示的情形,状态机器是否还在振动?是否完全满足了平衡条件?

(2) 做好该实验的关键是什么?应该怎样做?

(3) 本机的 $\frac{r_p'''}{r_p l_p}$ 为多少?这样做的目的是什么?