

高等学校规划教材 · 机械工程  
PROGRAMMING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



# 机械原理机械设计实验指导书

李素有 主编



西北工业大学出版社

高等学校规划教材·机械工程

# 机械原理机械设计 实验指导书

李素有 主编

湖北工业大学图书馆



01336688



湖北工业大学出版社

**【内容简介】** 本实验指导书共有 5 个实验和 4 个实验前的预备知识及 1 个附录。实验分为 2 个部分: 第一部分为机械原理实验, 主要内容有平面机构运动简图测绘和转子的平衡实验; 第二部分为机械设计实验, 主要内容有带传动实验、螺栓组载荷与应力测定实验和滑动轴承实验等。实验前的预备知识有电阻式传感器、电阻应变式传感器电测法、磁电感应式传感器、模拟/数字转换器等。附录主要介绍了 JDY—Ⅲ 静态电阻应变仪使用说明。

本书主要用于工科高等院校机械类专业和近机械类专业的机械设计课程的实验教学, 也可供工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械原理机械设计实验指导书/李素有主编. —西安: 西北工业大学出版社, 2012. 6  
ISBN 978-7-5612-3359-7

I. ①机… II. ①李… III. ①机构学—实验—教学参考资料②机械设计—实验—教学参考资料 IV. ①TH111-33②TH122-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 134955 号

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072

电 话: (029)88493844 88491757

网 址: www.nwpu.com

印 刷 者: 陕西丰源印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 3.5

字 数: 78 千字

版 次: 2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 9.00 元

# 前 言

机械原理和机械设计实验是学习“机械设计”课程不可缺少的一个重要实践环节。通过这个教学实验环节,学生可以加深对理论教学内容的理解和掌握,同时掌握机械设计实验的基本知识、基本技能和基本方法,获得实验操作的基本训练。

本实验指导书是根据教育部高等学校工科《机械原理及机械设计教学大纲》的要求,在总结了大量的教学改革和实验教学经验的基础上编写而成的。在编写过程中,力求突出“机械原理”“机械设计”课程的基础理论知识,在验证本课程内容的同时,培养学生的实践动手能力。

本实验指导书共有 5 个实验和 4 个实验前的预备知识及 1 个附录。实验分为 2 个部分:第一部分为机械原理实验,安排有 2 个实验;第二部分为机械设计实验,安排有 3 个实验。第三部分为实验前的预备知识,内容包括电阻式传感器、电阻应变式传感器电测法、磁电感应式传感器和模拟/数字转换器。附录主要介绍 JDY—Ⅲ 静态电阻应变仪使用说明。

全书由李素有担任主编。在编写过程中得到了李建华、佟瑞庭两位老师的大力支持,在此表示感谢。

由于测试技术水平不断地向前发展,实验设备和仪器不断地更新,加之水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,希望读者指正。

编 者

2012 年 1 月

# 目 录

|           |   |
|-----------|---|
| 实验须知..... | 1 |
|-----------|---|

## 第一部分 机械原理实验

|                      |   |
|----------------------|---|
| 实验一 平面机构运动简图测绘 ..... | 2 |
| 实验二 转子的平衡实验 .....    | 7 |

## 第二部分 机械设计实验

|                        |    |
|------------------------|----|
| 实验三 带传动实验 .....        | 12 |
| 实验四 螺栓组载荷与应力测定实验 ..... | 16 |
| 实验五 滑动轴承实验 .....       | 21 |

## 第三部分 实验前的预备知识

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 预备知识一 电阻式传感器 .....      | 30 |
| 预备知识二 电阻应变式传感器电测法 ..... | 35 |
| 预备知识三 磁电感应式传感器 .....    | 39 |
| 预备知识四 模拟/数字转换器.....     | 41 |

## 附 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| JDY—Ⅲ静态电阻应变仪使用说明 ..... | 46 |
| 参考文献 .....             | 50 |

# 实验须知

机械原理实验和机械设计实验都是应用机械原理、机械设计的基本理论进行基本实验训练的主要环节。该项实验的目的主要是通过学生自己的实践,了解试验台的结构,掌握实验仪器的测试方法,进行数据的采集和处理,培养学生的实验动手能力,为从事工程技术工作打下一定的基础。

为了保证实验课的顺利进行,上实验课的学生必须遵守下列规定。

## 一、实验预习

实验课前,每位同学必须认真预习实验指导书中本次实验的内容,掌握必要的理论知识,明确实验目的、实验要求、实验原理、实验步骤,做到心中有数。没有预习者不能参加实验。

## 二、实验课堂

(1)学生应按时参加实验,严格遵守实验室的操作规程,注意人身安全。

(2)实验前应仔细检查电源、实验仪器和设备是否完好。实验中,因责任事故损坏设备或仪器者,应写出事故报告,并做出相应赔偿。

(3)做实验时,必须听从指导教师的安排,正确进行实验装置的安装、调试和测量。认真观察、准确记录各种实验数据,努力培养独立思考、科学分析和动手实践能力。

(4)实验结束后,断开电源,自觉整理好所用实验仪器,做好清洁工作,经指导老师检查同意后,方可离开实验室。

(5)保持实验室内的整洁、安静;不得乱扔废纸和随地吐痰;禁止吸烟和嬉戏打闹。

## 三、实验报告

学生应按时完成实验报告,用所学过的理论认真计算、分析实验数据,并对实验结果进行讨论。实验报告要书写工整,各种曲线要认真描绘。实验报告应按老师要求按时上交。

## 四、安全操作须知

(1)当接线或连接电路时,必须断开电源,不得带电操作。

(2)各种仪器设备均应严格按照规定的操作方法使用。

(3)当进行带传动实验时,注意勿使长发、围巾和衣物卷入传动带中,以免造成意外事故。

(4)当电动机加载和卸载时,应缓慢调节电位器,不可操之过急,以免酿成事故。

# 第一部分 机械原理实验

## 实验一 平面机构运动简图测绘

### 一、实验目的

- (1)对运动副、零件、构件及机构等概念建立实感。
- (2)熟悉并运用各种运动副、构件及机构的代表符号。
- (3)培养依照实有机件绘制其机构运动简图的技能。
- (4)熟悉机构自由度的计算方法。

### 二、实验内容

- (1)绘制自动送料冲床模型的机构运动简图。
- (2)根据所绘制的机构运动简图计算其自由度。

### 三、实验设备与器材

- (1)自动送料冲床模型。
- (2)圆规、分规、有刻度的三角板(或直尺)、铅笔、橡皮、白纸(学生自备)。

### 四、机构运动简图测绘的方法及步骤

- (1)了解绘制机械的名称及功用。认清机械的原动件、传动系统和工作执行构件。
- (2)缓慢转动原动件,细心观察运动在构件间的传递情况,了解活动构件、运动副的数目及其性质。

在了解活动构件及运动副数时,需要注意到如下两种情况:

- 1)当两构件间的相对运动很小时,不要误认为是一个构件。
- 2)由于制造误差和使用过久,同一构件各部分之间有稍许松动,容易误认为是两个构件。碰到这种情况,要仔细分析,正确判断。
- (3)要选择最能表示机构特征的平面为视图平面,同时,要将原动件放在适当的位置,以使机构运动简图最为清晰。碰到这种情况,要仔细分析,正确判断。

- (4)按 GB4460—1984 中规定的符号绘制机构运动简图。在绘制时,应从原动件开始,先画出运动副,再用粗实线连接属于同一构件的各运动副,即得各相应的构件。原动件的运动方

向用箭头标出。绘制时,在不影响机构运动特性的前提下,允许移动各部分的相应位置。以求图形清晰。初步绘制时可按大致比例作图(称之为机构示意图)。图作完后,从原动件开始分别用1,2,3,...标明各构件,再用A,B,C,...标明各运动副。

(5) 仔细测量机构的各运动件尺寸,例如,转动副间的中心距,移动副导路的位置等。对于高副机构则应仔细测出高副的轮廓曲线及其位置,然后以一适当比例尺 $\mu_l$ 作出正式的机构运动简图。

### 五、计算机构的自由度

对于平面机构,其自由度可计算为

$$F = 3n - 2P_1 - P_h$$

式中  $n$  —— 机构中活动构件的数目;

$P_1$  —— 机构中低副的数目;

$P_h$  —— 机构中高副的数目。

计算时,要注意机构中出现的复合铰链、局部自由度、虚约束等特殊情况,并应指明,若计算的机构自由度与实际机构的自由度不一致,则应找出错误原因,加以纠正。

绘制偏心轮机构的运动简图,并计算其自由度。

(1) 选择手柄作为原动件并缓慢转动,根据各构件之间有无相对运动,分清机构是由哪些构件组成的。

(2) 从原动件开始,按照机构运动的传递顺序,仔细观察各构件之间相对运动的性质,确定运动副的类型和数目。如图1.1(a)所示,曲柄2为原动件,则运动传递顺序为曲柄2→连杆3→滑块4。回转件的回转中心是相对回转表面的几何中心,而构件2可以绕构件1的偏心轴A作相对转动,故构件3与构件2在B点处也组成转动副;构件4与构件3在C点处又组成转动副;构件4沿 $x-x$ 方向在构件1上作相对直线运动,组成移动副。

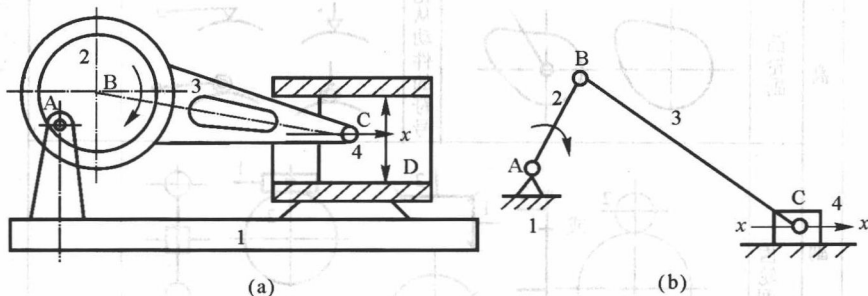


图 1.1 偏心轮机构的运动简图

1—机架; 2—曲柄(本例中取为原动件); 3—连杆; 4—滑块(即从动件)

(3) 合理选择原动件的一个位置,以便简单清楚地将机构的运动情况正确地表达出来,如图1.1(b)所示,用规定的符号和简单的线条画出机构的示意图。

(4) 计算机构自由度。

1) 机构自由度计算公式为

$$F = 3n - 2P_1 - P_h$$

本例所作示意图中, $n=3, P_1=4, P_h=0$ ,代入上式得

未知。计算机构的自由度  $F=3n-2P_l-P_h=3\times 3-2\times 4-0=1$ 。

2) 核对计算结果。观察各构件的运动可知,该机构的运动是确定的,则机构的自由度应大于零且等于原动件数。由计算得,  $F=1=$  原动件数,从而验证以上所作机构示意图的正确性。

(5) 量取运动尺寸。在构件 2、构件 3 上分别量取两相邻转动副中心之间的距离  $L_{AB}, L_{BC}$ ; 量取转动副 A 到滑块运动轨迹  $x-x$  之间的距离,并将所量尺寸标注在机构示意图上。

(6) 作图(略)。

如表 1.1 所示为常用运动副、构件的表示法。如表 1.2 所示为实验报告单实例一。

表 1.1 常用运动副、构件的表示法(选自 GB4460—1984)

|    |        | 两运动构件所形成的运动副 |  | 两构件之一为机架时所形成的运动副 |  |
|----|--------|--------------|--|------------------|--|
|    |        |              |  |                  |  |
| 低副 | 转动副    |              |  |                  |  |
|    | 移动副    |              |  |                  |  |
|    | 移动副    |              |  |                  |  |
|    | 螺旋副    |              |  |                  |  |
| 高副 | 凸轮副    |              |  |                  |  |
|    | 齿轮副    |              |  |                  |  |
| 构件 | 双副元素构件 |              |  |                  |  |
|    | 三副元素构件 |              |  |                  |  |
|    | 多副元素构件 |              |  |                  |  |

表 1.2 实验报告单实例一  
机构运动简图测绘实验报告

班级 \_\_\_\_\_ 姓名 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

|            |                                                                                                   |        |                       |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------|
| 活动构件数目 $n$ |                                                                                                   | 自由度的计算 | $F = 3n - 2P_1 - P_h$ |
| 低副数目 $P_1$ |                                                                                                   |        |                       |
| 高副数目 $P_h$ |                                                                                                   |        |                       |
| 机构运动简图     | <div>  </div> |        |                       |

## 六、思考题

- (1) 为什么说作为一个工程技术人员,必须熟练掌握机构运动简图的绘制?
- (2) 一个正确的机构运动简图应包括哪些内容?
- (3) 绘制机构运动简图时,原动件取在不同位置,对机构运动简图有什么影响?
- (4) 机构自由度的计算对测绘机构运动简图有何帮助?

## 实验二 转子的平衡实验

### 刚性转子静平衡实验

#### 一、实验目的

掌握回转件静平衡的实验方法。

#### 二、实验内容

导轨式静平衡机上的刚性转子静平衡实验。

#### 三、实验设备与器材

- (1) 导轨式静平衡机。
- (2) 实验转子。
- (3) 天平。
- (4) 水准仪。
- (5) 橡皮胶泥。

#### 四、实验原理

当转子长径比  $L/D < 0.2$ , 且刚性低速转动时(如飞轮、砂轮等), 其质量分布可近似地认为在同一平面内。对于不平衡的回转件, 只要在回转平面的某一位置上加一质量(或在相反位置上减去一质量), 使其质心与回转中心重合, 则该回转件转动时, 其离心力的向量和就等于零。于是, 在任何位置上, 回转件都可以静止下来, 这种平衡为静平衡, 如图 2.1 所示。

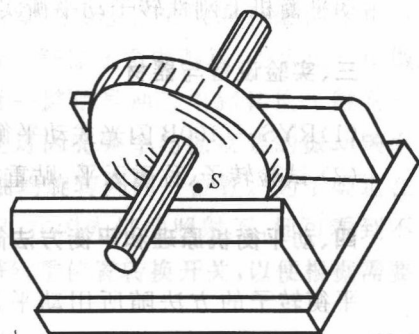


图 2.1 导轨式静平衡机

#### 五、实验步骤

(1) 将水准仪置于静平衡机导轨的两个方向, 旋动静平衡机的螺钉, 使其导轨处于水平位置。

(2) 确定实验转子质心偏移方向线。如图 2.1 所示, 将试件(转子)置于静平衡机导轨上, 使其自由转动, 待其静止后记下最低点位置, 然后再让其反方向转动, 静止后再记下其最低点位置。若上述两个位置不重合, 可认为试件质心位于两最低位置的中点与回转中心的连线上。

(3) 确定平衡质量大小。在转子的回转中心与质心连线的反向轮缘处黏上适量的胶泥后,再重复上述操作,直到试件能在任何位置静止不动为止。量取平衡质量对回转中心的距离,并在天平上称出平衡质量大小,并将所加各胶泥的质量  $m$  与其到回转中心距离  $r$  记录下来。

(4) 计算质径积,以便在被平衡试件的适当位置进行永久性平衡(即加重或去重)。

## 六、思考题

实验中,在未平衡转子圆柱导轨式静平衡机上作相反方向自由转动后所得的最低点是否重合?为什么?

# 刚性转子动平衡实验

## 一、实验目的

- (1) 巩固所学的理论知识。
- (2) 了解动平衡机的工作原理及进行转子动平衡的基本方法。

## 二、实验内容

动平衡机上刚性转子动平衡实验。

## 三、实验设备与器材

- (1) RYS—100B 闪光式动平衡机。
- (2) 试验转子、称重天平、贴重橡皮泥、润滑蓖麻油。

## 四、动平衡机原理和平衡方法简介

平衡转子的方法随所用动平衡机而异。动平衡机的类型很多,这里介绍和采用的是 RYS—100B 型闪光式动平衡机,其主要技术参数如下:

平衡转子质量范围                      5 ~ 100kg

平衡转子直径(max)                       $\Phi 650$ mm

平衡转子轴直径(max)                       $\Phi 80$ mm

平衡转速                                      1 700 ~ 2 700r/min

最小平衡检测量                               $< 0.5\mu\text{m}$

仪表灵敏度                                       $> 0.2\mu\text{m/格}$

相位误差                                         $\pm 15^\circ$

平衡机主要由左、右摇摆架,传感器,闪光灯,传动系统,电气测试系统等部分组成,如图

2.2 所示。

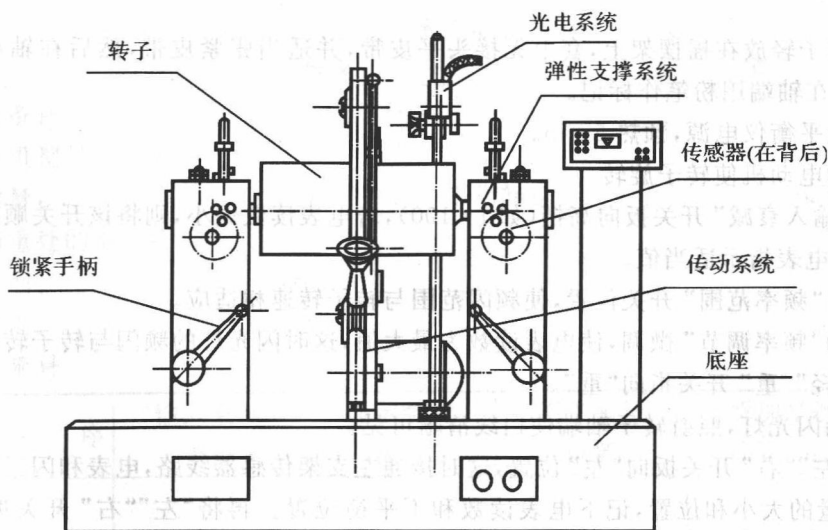


图 2.2 动平衡机结构

传动系统主要由底座、电机、皮带轮、惰轮、传动带拉紧杆等构件组成(参照实物)。

对于不同长度的试件,可移动传动架和电机底座,以使试件和皮带传动系统处于正确位置上。必要时,可调整设备用皮带轮和传动带,以适应不同试件所需的平衡转速。

停车时,采用电动机反向制动。

传感器采用的是磁电式惯性传感器,两只传感器分别安装在左、右两个摇架上。传感器主要由磁钢、线圈、弹簧片、支架和壳体等组成。四块 V 形永久磁钢组成一个空间磁场,由弹簧片悬挂的两只串联线圈安装在这个空间磁场中,由摇架的摆动使传感器的线圈和磁钢作相对的往复运动,线圈切割磁力线产生正弦交变电势。该信号一路输送至电测箱(平衡仪),用做测量平衡量的质径积(不平衡质量和所在半径的乘积);另外一路信号通过电路转换来触发闪光灯,其在摇摆架振幅为最大瞬时使闪光灯闪亮。由于闪光灯闪亮频率与摇摆架的振动频率(即转子的旋转速度)相同,因此,闪光灯每次闪亮时,转子轴均旋转到同一位置。为了确定在闪光灯闪亮时轴的周向位置,在轴的端面上用粉笔画上标记,在闪光灯的照射下,便可看到不动的标记,从而可以确定不平衡量的位置,仪表箱上设置有轻、重位置转换开关,以便根据需要显示轻、重点位置。其电测原理方框图如图 2.3 所示。

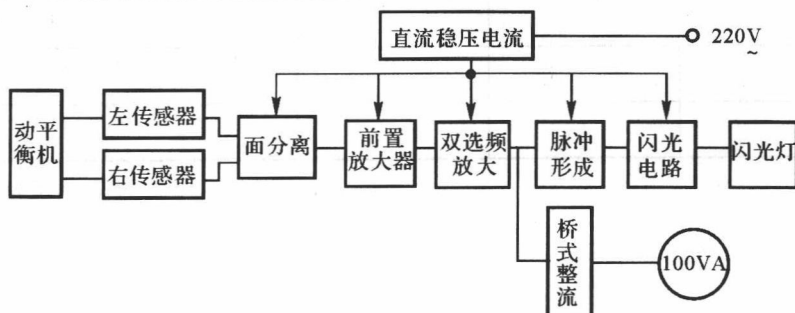


图 2.3 动平衡机电测原理方框图

## 五、实验步骤

- (1) 把转子轻放在摇摆架上,套上无接头平皮带,并适当张紧皮带,然后在轴承处加蓖麻油进行润滑,在轴端用粉笔作标记。
- (2) 接通平衡仪电源,预热 5 min。
- (3) 启动电动机使转子旋转。
- (4) 将“输入衰减”开关扳向高档(如 1:100),若电表读数偏小,则将该开关顺次转向低倍衰减位置,使电表指示适当值。
- (5) 调节“频率范围”开关位置,使频闪范围与转子转速相适应。
- (6) 转动“频率调节”微调,使电表读数为最大值,这时闪光灯的频闪与转子转速相一致。
- (7) 将“轻”“重”开关指向“重”。
- (8) 转动闪光灯,照射转子轴端使白线清晰可见。
- (9) 将“左”“右”开关扳向“左”位置,这时接通左支架传感器线路,电表和闪光灯指示转子左端不平衡量的大小和位置,记下电表读数和不平衡位置。再将“左”“右”开关扳向“右”位置,则接通右支架传感器线路,仪表这时所显示的量是右端的不平衡量的大小和位置,记录下电表读数和不平衡位置。
- (10) 关机使转子停转,分别在转子左、右端的平衡平面上加平衡质量,所加平衡质量的位置应在校正面轻点处,所加平衡质量的大小与电表读数成线性关系。
- (11) 再次启动平衡机,若此时对应于两端面的电表读数都相应减小,而不平衡位置仍在原处,则说明所加平衡质量还不够,应增大平衡质量。这样反复多次,待电表读数在信号不被衰减的情况下小于 10 格,并且转子端面所作的粉笔标记线在闪光灯的照射下已变化为多条线时,说明被平衡转子已经平衡好了,平衡即告结束。

如表 2.1 所示为实验报告单实例二。

## 六、思考题

- (1) 对给定的一个待平衡转子,应如何进行平衡? 试述平衡步骤。
- (2) 哪些类型的试件须进行平衡试验,经动平衡后是否还须进行静平衡,为什么?
- (3) 闪光式动平衡机的基本原理是什么?

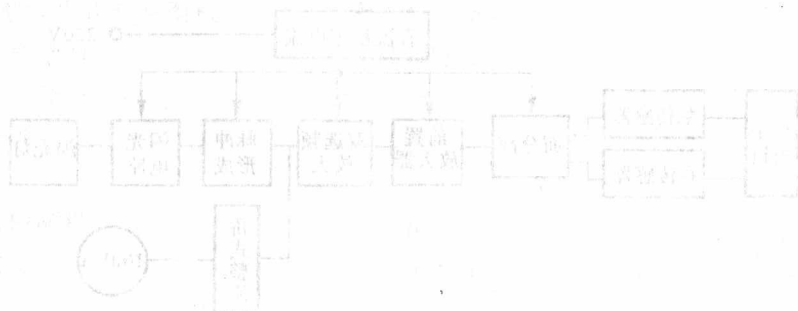


表 2.1 实验报告单实例二

转子动平衡实验报告

班级\_\_\_\_\_ 姓名\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日

1. 实验条件

动平衡机型号:

转子质量: \_\_\_\_\_ mg      平衡转速: \_\_\_\_\_ r/min

加平衡重处的半径:

左平衡面: \_\_\_\_\_ cm

右平衡面: \_\_\_\_\_ cm

2. 实验资料

|      | 次 序 | “输入衰减”<br>挡位 | 显示装置<br>读数 | 不平衡量<br>位置 | 所加平衡<br>质量 /mg | 备 注 |
|------|-----|--------------|------------|------------|----------------|-----|
| 左平衡图 | 1   |              |            |            |                |     |
|      | 2   |              |            |            |                |     |
|      | 3   |              |            |            |                |     |
|      | 4   |              |            |            |                |     |
|      | 5   |              |            |            |                |     |
|      | 6   |              |            |            |                |     |
|      | 7   |              |            |            |                |     |
|      | 8   |              |            |            |                |     |
| 右平衡图 | 1   |              |            |            |                |     |
|      | 2   |              |            |            |                |     |
|      | 3   |              |            |            |                |     |
|      | 4   |              |            |            |                |     |
|      | 5   |              |            |            |                |     |
|      | 6   |              |            |            |                |     |
|      | 7   |              |            |            |                |     |
|      | 8   |              |            |            |                |     |

3. 简单结论与分析

## 第二部分 机械设计实验

### 实验三 带传动实验

#### 一、实验目的

- (1) 了解带传动的工作情况,以及工作参数对传动性能的影响。
- (2) 掌握带传动的实验方法,熟悉实验设备及转矩测定方法。
- (3) 掌握带传动的滑动曲线( $\epsilon-T_2$ )及效率曲线( $\eta-T_2$ )的测定方法及确定有效拉力 $T_2$ 的临界值。

#### 二、实验要求

- (1) 绘制 $\epsilon-T_2$ 和 $\eta-T_2$ 曲线。
- (2) 分析实验结果,作出必要结论。
- (3) 分析实验方法的优缺点,提出改进意见。

带传动试验台结构如图 3.1 所示。传动带安装在主动带轮 9 和从动带轮 5 上,直流发电机和直流电动机定子均由一对滚动轴承支承,使电机定子可绕轴摆动。在定子上装有测力杠杆 2 和 10,杠杆压在测力计 3 和 11 上。当电动机和发电机工作时,便能容易地测定电动机和发电机的工作转矩。直流发电机安装在滑动支架上,在砝码重力作用下,使发电机向左移动,传动带被张紧产生预拉力 $F_0$ ,改变砝码的大小即改变预拉力 $F_0$ 。实验台加载简图如图 3.2 所示。

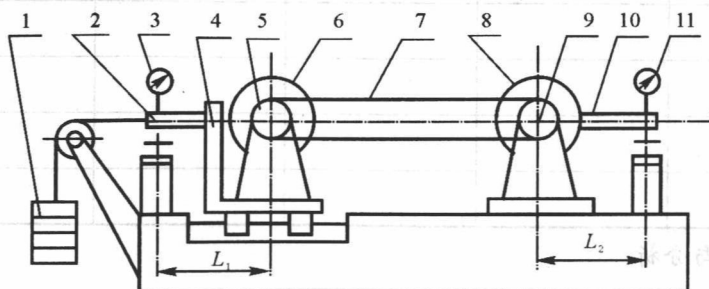


图 3.1 带传动实验台结构简图

- 1—砝码; 2—测力杠杆; 3—测力计; 4—支架; 5—从动带轮; 6—直流发电机  
7—传动带; 8—直流电动机; 9—主动带轮; 10—测力杠杆; 11—测力计