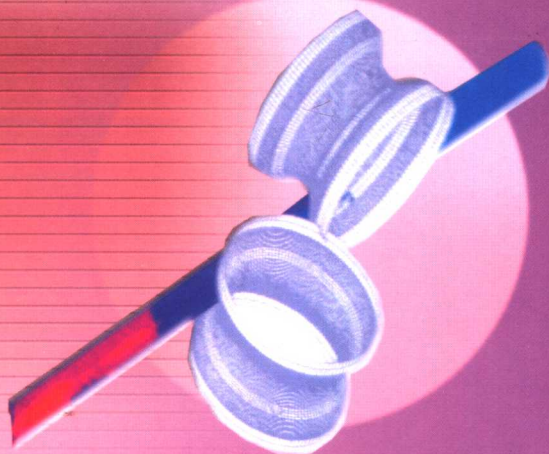




高等学校实验实训规划教材

材料成形实验技术

胡灶福 李胜祇 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高等学校实验实训规划教材

材料成形实验技术

胡灶福 李胜祇 主编

北 京

冶金工业出版社

2007

内 容 提 要

本书为高等学校材料成形与控制专业教材,内容分为基本技能应用训练实验和综合设计性实验两部分。基本技能应用训练实验部分涵盖了测试技术、塑性加工金属学、塑性加工力学、轧制原理、轧钢机械设备、冲压、挤压、材料成形过程控制等课程内容,目的是让学生掌握本专业常用科学仪器的基本原理及正确使用方法,能熟练运用测试技术和计算机技术,熟悉本专业的基本实验技能和技巧。综合设计性实验部分则着重于综合应用测试手段和实验技能及计算机知识,在控制轧制、工艺建模、工模具设计和过程仿真与数值模拟等方面提供实践的机会,以提高学生综合运用所学知识去分析问题和解决问题的能力。

本书也可供其他专业师生和有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形实验技术/胡灶福,李胜祗主编. —北京:冶金工业出版社, 2007. 4

(高等学校实验实训规划教材)

ISBN 978-7-5024-4240-8

I. 材… II. ①胡… ②李… III. 工程材料—成型—实验
—高等学校—教材 IV. TB3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 041326 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 李枝梅 宋 良 美术编辑 张媛媛 版面设计 张 青

责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4240-8

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2007 年 4 月第 1 版, 2007 年 4 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 7.5 印张; 197 千字; 112 页; 1-3000 册

18.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

实验教学的目的，主要是培养和训练学生，使其具备从事科技工作所必需的基本实验能力和创造性实验能力。基本实验能力表现在掌握本专业常用科学仪器的基本原理及正确使用方法，能熟练运用测试技术和计算机技术，熟悉本专业的基本实验技能和技巧。创造性实验能力表现在综合运用所学知识去分析问题和解决问题，以及进行新知识探索等方面。

本书是安徽工业大学众多教师多年教学实践的结晶，经过多年来的不断实践、探索和总结，在原有讲义的基础上，做了删减、补充，逐步形成了目前体系。

在编写过程中，我们力求根据能力结构的层次和人们的认识规律，把传授知识与培养能力紧密结合起来，贯穿于实验教学的整个过程；将专业教学实验分为基本技能应用训练实验和综合设计性实验，合理配置这两类实验的比例，使其符合学生由浅入深、由表及里的认识规律，达到培养学生分析解决工程实际问题能力的目的。

本书由胡灶福、李胜祇主编，参加编写工作的还有黄贞益、钱健清、曹杰、曹燕、尹元德和郑光文等，研究生徐洁等也参与了部分工作。

限于编者水平和实验条件，对于书中的不足之处，诚请读者批评指正。

编 者

2006 年 12 月

目 录

上篇 基本技能应用训练实验 1

实验 1	计量光栅法测量位移	1
实验 2	非接触式温度测量及校正	3
实验 3	等强度梁法标定轧机转矩	6
实验 4	光电反射法测定轧机转速	9
实验 5	计算机数据采集系统集成	12
实验 6	板材性能对冲裁质量的影响	16
实验 7	板材的厚度和性能对弯曲回弹的影响	18
实验 8	板料基本性能检测实验	20
实验 9	金属塑性和变形抗力的测定	22
实验 10	轧制时不均匀变形及变形金属滑移线观测	25
实验 11	接触面上的外摩擦对变形及应力分布的影响	27
实验 12	摩擦和变形区几何参数对接触面形态的影响	29
实验 13	最大咬入角和摩擦系数的测定	32
实验 14	宽展及其影响因素	34
实验 15	前滑及其影响因素	37
实验 16	压下率对平均单位压力影响研究	39
实验 17	能耗法确定轧制力矩	41
实验 18	轧机刚度系数的测定	44
实验 19	挤压时金属塑性流动研究	46
实验 20	建立多元线性回归模型	49
实验 21	建立多项式回归模型	52
实验 22	Bland-Ford-Hill 冷轧压力模型计算	55

下篇 综合设计性实验 57

实验 23	电阻应变式传感器的制作与标定及静态特性测定	57
实验 24	轧制工艺参数对奥氏体再结晶行为及轧后组织的影响	63
实验 25	电参数测定法建立典型轧制工艺参数数学模型	67
实验 26	凸模及凸缘模柄计算机辅助设计	70
实验 27	数控铣削加工计算机仿真	77

实验 28	角钢孔型计算机辅助设计	81
实验 29	圆钢孔型计算机辅助设计	85
实验 30	冲压模具设计	89
实验 31	金属轧制过程数值模拟	91
实验 32	钢管冷拔（短芯棒）过程数值模拟	100
参考文献		112

上篇 基本技能应用训练实验

实验 1 计量光栅法测量位移

一、实验目的

深入理解莫尔条纹现象，掌握利用莫尔条纹测量位移的原理。

二、实验原理

两块具有相同栅距的光栅叠合在一起，它们的刻线之间保持一个很小的夹角 θ ，在刻线重合处形成亮带，在刻线错开处形成暗带，如图 1-1 所示。

设 a 为刻线宽度， b 为同一光栅两条刻线之间的缝宽，则栅距

$$W = a + b$$

栅距 W 也称为光栅常数。当

$$a = b = \frac{W}{2}$$

时，暗带是全黑的。条纹的宽度 B 与栅距 W 及倾角 θ 之间有如下关系：

$$B = \frac{W}{\theta}$$

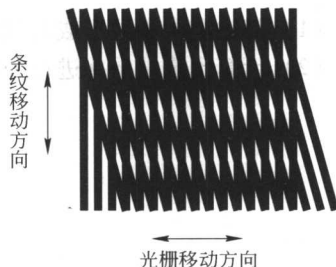


图 1-1 莫尔条纹形成原理示意图

由于 θ 角很小，莫尔条纹近似与两块光栅都垂直，称为横向莫尔条纹。对横向莫尔条纹，有如下结论：

- (1) 当光栅沿垂直方向移动时，横向莫尔条纹将沿平行刻线方向移动。
- (2) 当光栅移动一个栅距 W 时，横向莫尔条纹也随之移动一个条纹宽度 B 。

在测量位移时，主光栅与运动物体连在一起，随之运动。主光栅大小与测量范围一致。指示光栅固定不动，为很小的一块。在主光栅外侧加电光源和光电元件，当光栅随运动物体移动时，产生的莫尔条纹也随之移动，光电元件接受到的光强将随莫尔条纹的移动而变化。光电元件把这种光强的变化转换成电信号，当光栅移动一个栅距 W 时，相应莫尔条纹移动一个宽度 B ，则电信号变化一个周期。因此，只要记录信号波形变化的周期数 N ，就可知道光栅位移量 X ，即

$$X = N \cdot W$$

三、实验设备、工具和材料

- (1) 光栅 2 块，反射镜 1 块。

- (2) 滑轨和位移调节控制装置 1 套。
- (3) 光电反射式传感器 1 个。
- (4) 电子计数器 1 台。

四、实验方法和步骤

- (1) 调校电子计数器，对照自校表数据校正。
- (2) 选定测量时间。
- (3) 将测量旋钮旋转到测频。
- (4) 连接光电反射传感器与电子计数器。
- (5) 将指示光栅和反射镜固定。注意光栅和镜片要垂直于传感器出射光线。
- (6) 打开光电传感器电源，使光电反射传感器光源聚焦对准指示光栅和反射镜。注意从反射镜片反射过来的光线要能够准确反射到传感器的视窗内。
- (7) 移动主光栅，记录在规定时间内周期数。
- (8) 根据所记录周期数计算在规定时间内位移。
- (9) 反复多次测量和计算，求得均值。

五、实验报告要求

- (1) 简述莫尔条纹形成及利用其测量位移的原理。
- (2) 计算测量结果并进行分析。

实验2 非接触式温度测量及校正

一、实验目的

深入理解热辐射测温的原理,掌握利用光电高温计测量温度及校正的方法。

二、实验原理

非接触式测温是利用物体的热辐射特性与温度之间的对应关系,进行非接触式测量物体的温度。目前辐射式仪表都是以黑体为对象刻度的,所以在测一般物体的温度时,必须用该物体的辐射系数(也称辐射率)加以校正。

热辐射测温有全辐射法、亮度法和比色法。全辐射法是测出物体在整个波长范围内的辐射能量,以辐射率 ε 校正后确定物体温度。如全辐射高温计。亮度法是测出物体在某波段 $\lambda + d\lambda$ 上的单色辐射强度 E_λ ,以单色辐射率 ε_λ 校正后确定物体温度。如光学高温计和光电高温计。比色法是测量两个波段 $\lambda_1 + d\lambda_1$ 和 $\lambda_2 + d\lambda_2$ 的单色辐射强度的比值 $E_{\lambda_1}/E_{\lambda_2}$,以单色辐射率 ε_{λ_1} 和 ε_{λ_2} 校正后确定物体温度。如光电比色高温计。

已知光学高温计采用的是亮度法,即测出物体在某一波段 $\lambda + d\lambda$ 上的单色辐射强度 E_λ ,以单色辐射率 ε_λ 校正后确定物体温度。任何物体其单色辐射强度与温度的关系,可用维恩公式表示:

$$E_\lambda = \varepsilon_\lambda c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot e^{\frac{-c_2}{\lambda T}}$$

式中, c_1 和 c_2 为常数; λ 为辐射波长; T 为物体表面温度。对绝对黑体 $\varepsilon_\lambda = 1$,光学高温计就是以绝对黑体刻度的。但被测物体往往是非黑体,即 $0 < \varepsilon_\lambda < 1$,所以实际测量时,必须以被测物体的单色辐射率 ε_λ 修正由光学高温计测得的亮度温度,才能求得被测物体的真实温度。

实验所用光学高温计是采用亮度均衡法进行温度测量的。也就是使被测物体成像于高温计灯泡的灯丝平面上,通过光学系统在一定波段($0.65\mu\text{m}$)范围内比较灯丝与被测物体的表面亮度,调节滑移线电阻,使灯丝的亮度与被测物体的亮度相均衡。此时灯丝轮廓就隐灭于被测物体的影像中,并可由仪表指示值直接读取被测物体的亮度温度。

三、实验设备、工具和材料

- (1) 电炉一个。
- (2) 光学高温计一台。

四、实验方法和步骤

- (1) 检查光学高温计指示窗指针是否指零,如不指零,则旋转零位调节器调零。
- (2) 拨动目镜部分的转动片,将红色滤光片移入视场,按下电源按钮,旋转滑移电阻盘使灯丝发红,前后调节目镜到灯丝清晰可见为止。
- (3) 瞄准被测物体,前后调节物镜内筒,使被测物体的像清晰可见。
- (4) 旋转滑线电阻盘,使流经灯丝的电流均匀地增大。调节灯丝亮度,当灯丝顶部的像被隐灭在被测物体的像中时,读取刻度盘上指示值。为了获取正确的读数,应该逐渐调节高温计灯泡灯丝的电流,先自低而高,再自高而低。每次调整到灯丝隐灭时,读出温度系数,然后取

两次读数平均值作为最终读数。如图 2-1 所示。

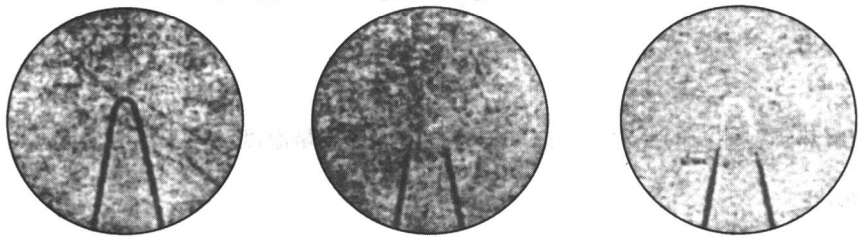


图 2-1 调节亮度时灯丝隐灭情况

(5) 温度修正方法：

1) 从表 2-1 中查出被测对象的单色辐射率 ε_λ 。

表 2-1 有效波长 $\lambda = 0.66\mu\text{m}$ 时各种金属材料的单色辐射率 ($\varepsilon_{0.65\mu}$)

材料名称	表面无氧化层		有氧化层 光滑表面	材料名称	表面无氧化层		有氧化层 光滑表面
	固 态	液 态			固 态	液 态	
铝			0.22 ~ 0.4	90% Ni, 10% Cr	0.35		0.87
银	0.07	0.07		80% Ni, 20% Cr	0.35		0.90
钢	0.35	0.37	0.8	镍铝合金 95% Ni, Al, Mn, Si	0.37		
铸 铁	0.37	0.4	0.7				
铜	0.1	0.15	0.6 ~ 0.8	瓷 器			0.25 ~ 0.50
康 铜	0.35		0.84	石墨 (粉状)	0.95		
镍	0.36	0.37	0.85 ~ 0.96	炭	0.80 ~ 0.93		
镍铬合金							

2) 由高温计的读数 S ，从图 2-2 的横坐标中查出其对应位置。

3) 从图 2-2 的纵坐标中查出对应于 S 及该种物体的单色辐射率 ε_λ 的温度修正值 Δt 。

4) 由修正公式计算其真实温度：

真实温度 = 光学高温计读数 S + 温度修正值 Δt

五、实验报告要求

(1) 简述光学高温计测温的原理。

(2) 计算测量结果并进行分析。

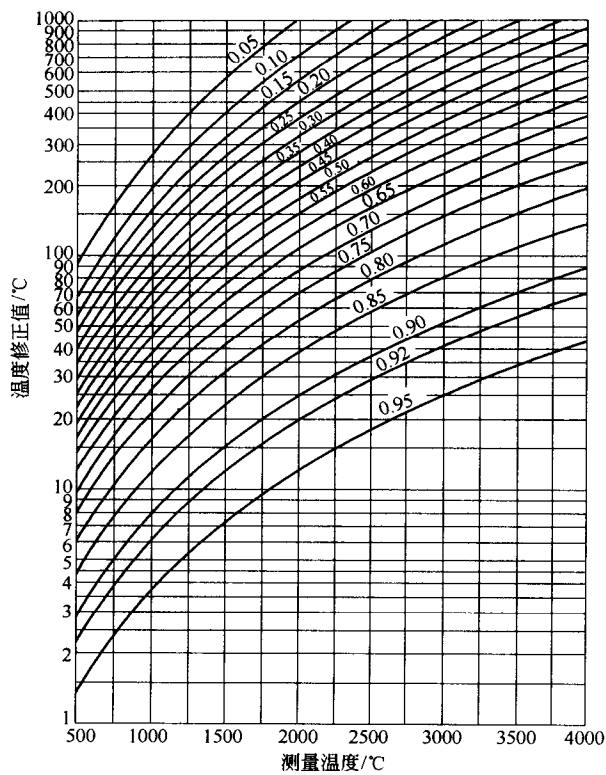


图 2-2 光学高温计读数修正曲线

实验3 等强度梁法标定轧机转矩

一、实验目的

熟悉等强度梁标定轧机转轴转矩的原理，掌握实际标定方法。

二、实验原理

要求所选用应变梁的材质与被测轴相同或相近，应变片性能、贴片工艺、组桥方法、测量仪器以及所选用参数均与实测条件相同。

假设在实测轴两端面上沿与轴线 $\pm 45^\circ$ 角方向都各贴一片应变片，如图3-1所示，另外，应变梁的上下表面各直贴两片应变片，各自组成全桥。由于等强度梁和实测轴的应力状态不同，故其应力应变关系也不同。

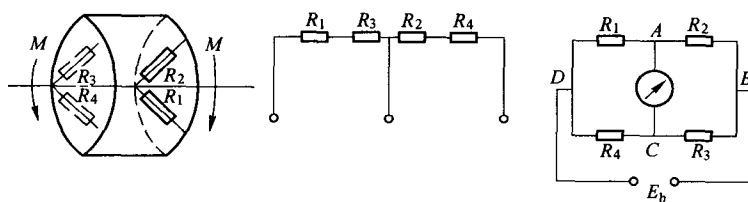


图 3-1 轧机转轴转矩测定贴片示意图

等强度应变梁是单向应力状态，其线应变为

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

而实测轴是平面应力状态，其应变为

$$\varepsilon_{45^\circ} = (1 + \mu) \frac{\sigma_{45^\circ}}{E}$$

当应变梁与实测轴的测试条件、输出值相同时，则表示两者产生的应变相同，即

$$\varepsilon = \varepsilon_{45^\circ}$$

于是得到应变梁上的正应力与实测轴上正应力之间的关系：

$$\sigma = (1 + \mu) \sigma_{45^\circ}$$

而实测轴上切应力

$$\tau = \sigma_{45^\circ} = \frac{\sigma}{(1 + \mu)}$$

此式说明，在同样变形数值（输出值相同）下，应变梁上的正应力是实测轴上的正应力的 $(1 + \mu)$ 倍。当应变梁宽为 B ，贴片处厚为 H ，承受载荷为 P ，加载点至应变片的距离为 L 时，应变梁上正应力为

$$\sigma = \frac{M_l}{W} = \frac{PL}{\frac{1}{6}BH^2} = \frac{6PL}{BH^2}$$

将以上各关系式代入实心圆轴扭矩计算公式, 可得

$$M_z = 0.2D^3 \frac{\sigma}{1+\mu} = 0.2D^3 \frac{6LP}{(1+\mu)BH^2} = 0.2D^3 \frac{6L}{(1+\mu)BH^2} KU$$

式中 D ——转轴贴片处直径;

K ——标定曲线的斜率;

U ——计算机采集系统输出电压值。

三、实验设备、工具和材料

- (1) 等强度应变梁、标准加载块。
- (2) 动态电阻应变仪、计算机数据采集系统。
- (3) 万用表、惠斯顿电桥、兆欧表、电吹风、烙铁、镊子。
- (4) 应变片、502 快干胶、电线、砂纸、酒精。

四、实验方法和步骤

- (1) 清理应变梁表面, 用砂纸打光, 用药棉沾酒精清洗, 用电吹风烘干备用。
- (2) 用惠斯顿电桥分拣应变片, 选出阻值相同或相差不超过 0.1Ω 的应变片备用。
- (3) 在应变梁的上下表面与应变梁轴线平行方向各贴两片应变片, 见图 3-2。
- (4) 待 15min 胶水固化后, 如图 3-2 所示组成全桥。

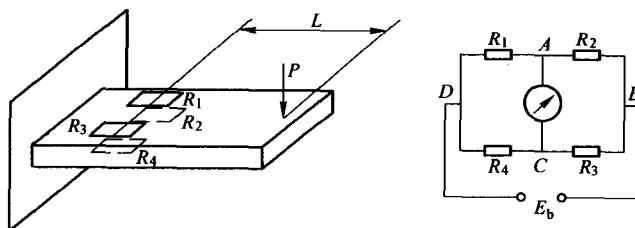


图 3-2 应变梁贴片与组桥示意图

- (5) 连接应变仪和计算机采集系统, 通电预热 10min。
- (6) 将应变梁电桥接到应变仪电桥盒, 注意应按说明书全桥接法。
- (7) 使用电阻、电容平衡调节旋钮将应变仪预调平衡, 再打到测量挡, 重新调节各衰减挡次达到平衡。
- (8) 打开计算机, 进入采集系统界面。
- (9) 给应变梁逐次加载, 记录加载重量, 同时使用计算机采集系统采集数据。
- (10) 给应变梁逐次减载, 记录减载重量, 采集数据。
- (11) 计算各次加减载对应的电压值, 记录在表 3-1 中。

表 3-1 实验数据记录

加、减载序号	荷 重	电压值	衰减挡次	加、减载序号	荷 重	电压值	衰减挡次
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			

五、实验报告要求

- (1) 记录实验过程中所用仪器选定的参数和实验数据。
- (2) 依据标定数据，绘出标定曲线。
- (3) 观察实验数据，对于可能的异常数据进行分析。

实验4 光电反射法测定轧机转速

一、实验目的

熟悉光电反射转速仪的工作原理，掌握实际测定轧机转速的方法。

二、实验原理

转速与频率有共同的量纲 (T^{-1})，所以可用测频率的方法来测转速。采用电子计数式频率计，配上光电反射式转速传感器，即构成光电反射转速仪。

光电反射式转速传感器的原理如图4-1所示。由于被测轴上反光面和非反光面的反射光强度差别很大，故在光敏元件上产生明电流和暗电流，输出脉冲信号，每转脉冲信号数等于反光面数。

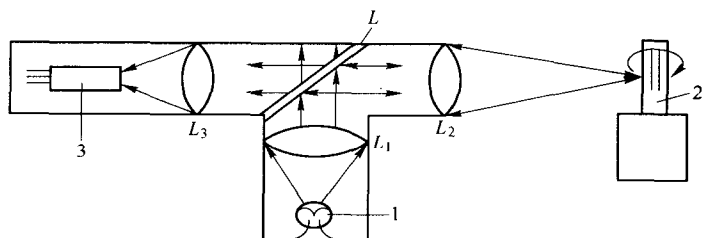


图 4-1 光电反射式转速传感器的原理图

1—光源；2—被测轴；3—光敏管； L_1 、 L_2 、 L_3 —透镜； L —半透明平面镜

转速传感器输出的电脉冲数 N 为

$$N = \frac{znt}{60}$$

式中， z 为轧机轴每转脉冲数； n 为轧机转速； t 为测量时间。若 $zt = 60$ ，则转速传感器输出的脉冲数即为待测转速。

电子计数式频率计的频率测量过程实质上就是在标准时间内，如实地记录电信号变化的周波数。标准时间是由石英晶体振荡器通过分频器得来的。频率测量工作原理如图4-2所示。当

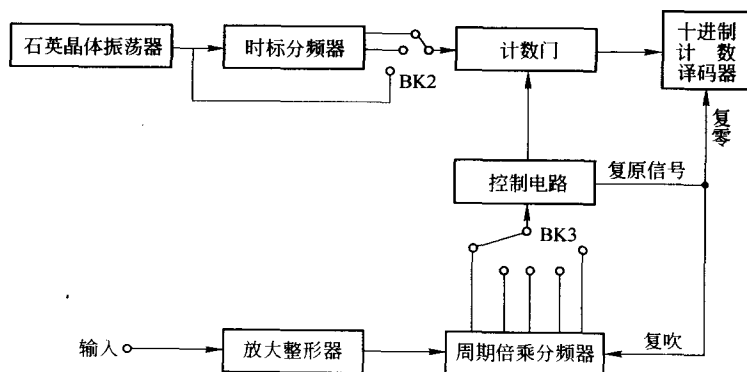


图 4-2 频率测量工作原理

仪器的测量选择开关 BK1 位于测频时, 被测信号 (正弦波、三角波、矩形波) 从输入端输入, 经过放大整形, 形成前沿陡峭的矩形脉冲, 作用在计数门的输入端。另外由石英振荡器而来的标准频率经过时标分频器得出的标准时间脉冲信号 (分别为 0.1s、1s、2s、3s、6s、10s、20s、30s、60s) 通过测量时间开关 BK3 的选择, 进入控制器, 通过控制电路的适当编码逻辑, 得到相应的控制指令用以控制计数门, 从而选通被测信号所发出的矩形波, 进入十进制计数电路进行计数和显示。其波形图如图 4-3 所示。

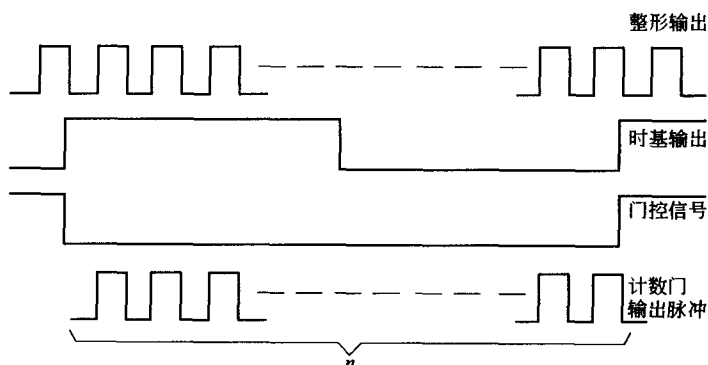


图 4-3 频率测量波形图

计数电路所显示的数, 就是我们所需测的频率, 若 $zt = 60$, 也即为待测转速 n 。若 $zt = 6$, 则计数电路显示的数即为 $\frac{1}{10}$ 待测转速。

三、实验仪器、工具和材料

- (1) 光电传感器、转速数字显示仪、轧机。
- (2) 手持数字式转速表、电吹风、直尺。
- (3) 墨汁、锡箔纸、胶水、毛笔、纸。

四、实验方法和步骤

- (1) 将轧机转轴用墨汁涂黑, 用电吹风吹干。
- (2) 视转轴粗细, 粗轴选 $z = 6$, 即用直尺和纸将轴周长六等分, 在轴上均匀贴六条锡箔纸作为反光面, 相应测量时间选择 10s; 同理, 细轴选 $z = 2$, 相应测量时间选择 30s。如此转速数字显示仪显示的即为实测转速。
- (3) 将传感器和转速数字显示仪装好接上连接线, 通电预热。
- (4) 调节传感器位置及焦距。
- (5) 将转速数字显示仪的测量选择开关 BK1 拨到“自校”位置, 显示开关拨到“自动显示”方式, 分别拨动时标开关 BK2 和测量时间开关 BK3, 显示结果应符合表 4-1。
- (6) 自检后, 将测量选择开关拨到“测量”位置, 拨动测量时间选择开关, 选择需要的测量时间, 测量转速。
- (7) 测量转速的同时, 可用手持式数字转速仪进行测量, 作为校对。

表 4-1 测量结果

测量时间/s	0.1	1	2	3	6	10	20	30	60
时间/ms	显示数/kHz								
0.01	10	100	200	300	600	0	0	0	0
0.1	1	10	20	30	60	100	200	300	600
1	0.1	1	2	3	6	10	20	30	60

五、实验报告要求

- (1) 简述非接触式测量转速与接触式测量转速的利弊和应用场合。
- (2) 给出两种转速测量方法的原理、结果及分析。