

# 现代机电设备安装 调试、运行检测与 故障诊断、维修管 理实务全书

**XIANDAI JIDIAN SHEBEI  
ANZHUANG TIAOSHI,  
YUNXING JIANCE YU GUZHANG  
ZHENDUAN, WEIXIU GUANLI  
SHIWU QUANSHU**

## 目 录

<b>第一篇 现代机电设备基础知识</b> .....	(1)
<b>第一章 机电设备的发展与分类</b> .....	(3)
第一节 机电设备的发展.....	(3)
第二节 机电设备的分类.....	(5)
<b>第二章 机电设备的基本构成</b> .....	(7)
第一节 机械系统.....	(7)
第二节 液压与气压传动系统.....	(17)
第三节 电气控制系统.....	(27)
<b>第三章 机电控制基础理论</b> .....	(54)
第一节 控制系统的概念.....	(54)
第二节 伺服系统.....	(61)
第三节 计算机控制系统.....	(73)
第四节 典型机电控制系统.....	(97)
<b>第四章 机电一体化技术</b> .....	(104)
第一节 机电一体化技术概述.....	(104)
第二节 机电一体化机械技术.....	(110)
第三节 机电一体化系统的电磁兼容.....	(142)
<b>第五章 典型现代机电设备综述</b> .....	(168)
第一节 金属切削机床.....	(168)
第二节 起重运输机械.....	(173)
第三节 塑料成形机械.....	(179)
<b>第二篇 现代机电设备的安装与调试总论</b> .....	(185)
<b>第一章 机电设备安装工程基础</b> .....	(187)
第一节 概述.....	(187)
第二节 机电设备安装工程测量、测试基础.....	(188)

第三节	机电设备安装位置的测试	(204)
第四节	机电设备安装工程中的起重搬运	(213)
第五节	机电设备的安装方法	(215)
第二章	机电设备安装基本工艺过程	(240)
第一节	设备安装前的准备工作	(240)
第二节	基础放线与设备就位	(243)
第三节	设备零部件的拆卸清洁与装配	(258)
第四节	机电设备的找正与初平、挂平	(277)
第五节	二次灌浆	(283)
第六节	机电设备试压与安装竣工验收	(285)
第三章	典型机器零部件的安装工艺	(293)
第一节	螺纹连接、键连接和销连接的安装工艺	(293)
第二节	轴承的安装	(297)
第三节	传动机构的安装	(304)
第四节	联轴器的安装	(319)
第五节	过盈配合件的安装	(321)
第四章	液压与气压传动系统的安装与调试	(328)
第一节	液压元件的拆装	(328)
第二节	液压传动系统的安装、调试及维护	(336)
第三节	液压系统故障分析及排除	(337)
第四节	气动元件的拆卸与安装	(339)
第五节	气压传动系统的维护保养	(341)
第五章	典型电气控制电路的安装与调试	(343)
第一节	电气装配的工艺要求	(343)
第二节	电气控制电路基本环节的安装	(345)
第六章	机电设备的起重吊装工艺	(353)
第一节	设备起重吊装的操作工艺	(353)
第二节	重型设备的吊装方法	(370)
第七章	机电设备安装质量通病的诊断与防治	(380)
第一节	设备基础、地脚螺栓和垫铁	(380)
第二节	拆卸、清洗和联轴器装配	(389)
第三节	轴承的装配	(394)
第四节	带、链和齿轮传动	(398)
第五节	液压、润滑系统与减速机	(409)
第六节	起重吊装设备	(420)

<b>第三篇 现代机电设备运行状态的检测技术</b> .....	(425)
<b>第一章 机电设备检测技术概论</b> .....	(427)
第一节 检测技术的应用 .....	(427)
第二节 检测系统的组成 .....	(428)
第三节 检测技术的发展 .....	(430)
第四节 检测方法概述 .....	(431)
<b>第二章 信号及其描述</b> .....	(434)
第一节 信号的分类与描述 .....	(434)
第二节 周期信号与离散频谱 .....	(439)
第三节 瞬变非周期信号与连续频谱 .....	(444)
第四节 随机信号 .....	(454)
<b>第三章 测试装置的基本特性</b> .....	(459)
第一节 测试装置的组成 .....	(459)
第二节 测试装置的特性 .....	(460)
第三节 实现不失真测试的条件 .....	(470)
第四节 测试装置动态特性的测试 .....	(471)
第五节 测试装置的负载效应和适配 .....	(474)
<b>第四章 传感器的原理与应用</b> .....	(477)
第一节 概述 .....	(477)
第二节 电阻式传感器 .....	(478)
第三节 电感式传感器 .....	(481)
第四节 电容式传感器 .....	(486)
第五节 压电式传感器 .....	(489)
<b>第五章 测试信号的处理与记录</b> .....	(492)
第一节 信号的放大与变换 .....	(492)
第二节 电桥 .....	(498)
第三节 滤波器 .....	(502)
第四节 调制与解调 .....	(512)
第五节 记录仪器 .....	(518)
<b>第六章 非电量基本参数的测试方法</b> .....	(541)
第一节 力和转矩的测量 .....	(541)
第二节 位移和厚度测量 .....	(547)
第三节 速度和加速度的测量 .....	(557)
第四节 振动的测量 .....	(561)
第五节 转速的测量 .....	(568)

第六节 噪声的测量	(573)
第七节 压力的测量	(580)
第八节 流量的测量	(586)
第七节 温度的测量	(591)
<b>第七章 测试中的抗干扰技术</b>	<b>(598)</b>
第一节 干扰的种类及防护	(598)
第二节 噪声源及噪声耦合方式	(600)
第三节 抗干扰技术	(606)
<b>第八章 测试结果的处理与分析</b>	<b>(615)</b>
第一节 误差的基本概念	(615)
第二节 测量数据的处理	(620)
<b>第九章 微机在自动检测系统中的应用</b>	<b>(627)</b>
第一节 微机自动检测系统	(627)
第二节 微机在检测系统中的应用	(630)
<b>第四篇 现代机电设备的故障诊断与维修管理总论</b>	<b>(641)</b>
<b>第一章 机电设备的故障诊断</b>	<b>(643)</b>
第一节 故障诊断基础知识	(643)
第二节 机电设备的简易诊断	(649)
第三节 振动诊断技术	(656)
<b>第二章 大型机电系统的故障诊断</b>	<b>(666)</b>
第一节 概述	(666)
第二节 大型机电系统故障诊断技术	(669)
第三节 大型机电系统故障诊断内容	(671)
<b>第三章 机电设备的维修管理</b>	<b>(676)</b>
第一节 维修的方式与类别	(676)
第二节 设备修理复杂系数与修理定额	(680)
第三节 设备修理计划	(684)
第四节 设备修前的准备工作	(687)
第五节 设备修理计划的实施	(790)
第六节 设备修理的信息管理	(694)
第七节 设备维修技术资料与技术文件	(698)
第八节 设备修理的质量管理	(705)
第九节 设备维修用量具和检具的管理	(707)
<b>第四章 机械零件的修复技术</b>	<b>(709)</b>

第一节	概述	(709)
第二节	钳工修复和机械修复	(712)
第三节	焊接修复法	(722)
第四节	热喷涂喷熔修复法	(728)
第五节	电镀修复法	(734)
第六节	胶接修复法	(739)
<b>第五章</b>	<b>机电设备的拆卸、清洗与装配</b>	<b>(743)</b>
第一节	机电设备的拆卸	(743)
第二节	零件的清洗和检验	(753)
第三节	机械零部件的装配	(758)
<b>第六章</b>	<b>机电设备的使用与维护</b>	<b>(778)</b>
第一节	机电设备的使用管理	(778)
第二节	机电设备的维护管理	(782)
<b>第七章</b>	<b>机电设备的润滑管理</b>	<b>(787)</b>
第一节	概述	(787)
第二节	润滑材料	(788)
第三节	设备润滑操作	(792)
第四节	设备润滑管理	(798)
<b>第八章</b>	<b>机电设备的更新改造</b>	<b>(805)</b>
第一节	设备的磨损及其补偿	(805)
第二节	设备的更新改造	(809)
<b>第九章</b>	<b>维修电工基本技术</b>	<b>(825)</b>
第一节	基本操作工艺	(825)
第二节	电气施工识图	(835)
第三节	电工安全(防护)用具的使用与维护	(845)
<b>第五篇</b>	<b>电动机的安装调试、故障诊断与维修管理</b>	<b>(847)</b>
<b>第一章</b>	<b>电动机的原理与结构</b>	<b>(849)</b>
第一节	电动机的工作原理	(849)
第二节	电动机的分类和基本结构	(854)
第三节	三相异步电动机	(858)
第四节	单相异步电动机	(867)
第五节	单相串励电动机	(871)
第六节	直流电动机	(878)
<b>第二章</b>	<b>电动机的安装调试与绕组接线</b>	<b>(892)</b>

第一节	电动机的安装调试	(892)
第二节	交流电动机绕组	(898)
第三节	直流电动机的电枢绕组	(902)
第四节	电动机的接线	(905)
<b>第三章</b>	<b>电动机维修基础</b>	<b>(908)</b>
第一节	测试仪器仪表与维修工具	(908)
第二节	维修中常用的材料	(916)
第三节	电动机维修工作管理	(922)
<b>第四章</b>	<b>三相异步电动机的故障诊断与维修</b>	<b>(926)</b>
第一节	异步电动机的故障诊断与处理	(926)
第二节	绕组绝缘电阻偏低的处理	(929)
第三节	绕组接地故障的检修	(933)
第四节	绕组短路故障的检修	(938)
第五节	绕组断路故障的检修	(941)
<b>第五章</b>	<b>单相异步电动机的故障诊断与维修</b>	<b>(944)</b>
第一节	单相异步电动机的故障诊断及处理	(944)
第二节	单相异步电动机的局部修理	(948)
<b>第六章</b>	<b>单相串励电动机的故障诊断与维修</b>	<b>(950)</b>
第一节	绕组故障诊断及维修	(950)
第二节	其他部分故障诊断小维修	(954)
<b>第七章</b>	<b>直流电动机的故障诊断与维修</b>	<b>(957)</b>
第一节	直流电动机的故障诊断及处理	(957)
第二节	直流电动机的修后测试检查	(959)

## 第六篇 典型现代机电设备的安装调试与维修管理

	<b>——数控机床</b>	<b>(963)</b>
<b>第一章</b>	<b>数控机床的原理与结构</b>	<b>(965)</b>
第一节	数控机床产生与发展	(965)
第二节	数控机床的工作原理	(975)
第三节	数控机床的类型与结构	(994)
<b>第二章</b>	<b>数控机床的安装与调试</b>	<b>(996)</b>
第一节	数控机床的安装	(996)
第二节	数控机床的调试	(1000)
<b>第三章</b>	<b>数控机床的使用与维护</b>	<b>(1003)</b>
第一节	数控机床的选择与使用	(1003)

第二节	数控机床的维护保养 .....	(1013)
<b>第四章</b>	<b>数控机床的故障诊断与维修 .....</b>	<b>(1015)</b>
第一节	数控机床的常用故障诊断 .....	(1015)
第二节	进给伺服系统的故障诊断与维修 .....	(1017)
第三节	主轴伺服系统的故障诊断与维修 .....	(1024)
第四节	其他故障的诊断与维修 .....	(1026)
<b>第五章</b>	<b>机床数控系统的维修 .....</b>	<b>(1029)</b>
第一节	数控系统硬件的维修 .....	(1029)
第二节	硬件故障的检查与维修 .....	(1031)
第三节	数控系统软件的维修 .....	(1050)
第四节	软件系统的故障诊断与维修 .....	(1051)
<b>第六章</b>	<b>机床液压设备的安装调试与保养维护 .....</b>	<b>(1061)</b>
第一节	液压设备的调试与运转 .....	(1061)
第二节	机床液压设备的保养与维护 .....	(1065)
<b>第七章</b>	<b>机床电气控制线路的维修 .....</b>	<b>(1072)</b>
第一节	机床电气线路故障的检查 .....	(1072)
第二节	机床电气控制线路的维修 .....	(1075)

## 第七篇 典型现代机电设备的安装调试与维修管理

### ——电器设备 .....

<b>第一章</b>	<b>变压器 .....</b>	<b>(1107)</b>
第一节	概述 .....	(1107)
第二节	变压器的工作原理 .....	(1115)
第三节	变压器的安装 .....	(1124)
第四节	变压器的异常运行与分析 .....	(1132)
第五节	变压器的大修与小修 .....	(1137)
第六节	变压器的故障处理 .....	(1151)
第七节	变压器事故的预防 .....	(1161)
<b>第二章</b>	<b>高低压配电设备 .....</b>	<b>(1167)</b>
第一节	互感器的安装、运行与维护管理 .....	(1167)
第二节	高压断路器的安装运行与维护管理 .....	(1212)
第三节	电容器、电抗器和消弧线圈的安装、运行与维护管理 .....	(1230)
第四节	隔离开关的安装、运行与维护管理 .....	(1240)
第五节	高压熔断器和负荷开关的安装、运行与维护管理 .....	(1250)
第六节	导线、金具和绝缘子的安装、运行与维护管理 .....	(1263)



第七节 成套配电装置的安装、运行与维护管理 .....	(1275)
<b>第三章 电力线路</b> .....	(1300)
第一节 架空线路的施工与维护 .....	(1300)
第二节 电缆线路的敷设与维护 .....	(1314)
<b>第四章 电力锅炉</b> .....	(1324)
第一节 概述 .....	(1324)
第二节 各部件的安装 .....	(1326)
<b>第五章 弱电系统</b> .....	(1362)
第一节 火灾自动报警与灭火系统的安装与维护 .....	(1362)
第二节 通信系统的安装与维护 .....	(1387)
第三节 有线电视系统的安装与维护 .....	(1399)
<b>第八篇 典型现代机电设备的安装调试与维修管理</b>	
—— <b>汽轮发电机</b> .....	(1433)
<b>第一章 汽轮发电机的原理与结构</b> .....	(1435)
第一节 汽轮机的工作原理 .....	(1435)
第二节 汽轮机的分类及型号 .....	(1440)
第三节 汽轮机的损失和效率 .....	(1442)
第四节 发电机和汽轮发电机组的损失和效率 .....	(1445)
<b>第二章 汽轮发电机的安装调试</b> .....	(1447)
第一节 概述 .....	(1447)
第二节 主要设备的安装与调试 .....	(1448)
<b>第三章 汽轮发电机的故障处理与预防</b> .....	(1462)
第一节 定子绕组故障的处理与预防 .....	(1462)
第二节 转子故障的处理与预防 .....	(1470)
第三节 水内冷发电机的故障处理与预防 .....	(1477)
第四节 氢、油系统的故障处理与预防 .....	(1483)
<b>第四章 汽轮发电机的维修养护</b> .....	(1489)
第一节 汽轮发电机转子的维修养护 .....	(1489)
第二节 汽轮发电机定子的维修养护 .....	(1503)
第三节 汽轮发电机定子铁心的维修养护 .....	(1512)
<b>第九篇 典型现代机电设备的安装调式与维修管理</b>	
—— <b>水轮发电机</b> .....	(1519)
<b>第一章 水轮发电机的原理与结构</b> .....	(1521)

第一节	水轮机的工作参数 .....	(1521)
第二节	水轮机的类型和应用范围 .....	(1523)
第三节	水轮机的牌号及装置型式 .....	(1529)
第四节	水轮机的结构 .....	(1535)
<b>第二章</b>	<b>水轮发电机的安装调试 .....</b>	<b>(1541)</b>
第一节	概述 .....	(1541)
第二节	各部件的正式安装 .....	(1544)
<b>第三章</b>	<b>水轮发电机的故障处理与预防 .....</b>	<b>(1579)</b>
第一节	水轮发电机的异常运行分析 .....	(1579)
第二节	水轮发电机常见故障分析与处理 .....	(1581)
第三节	发电机的干燥 .....	(1585)
第四节	发电机的预防性电气试验 .....	(1587)
<b>第四章</b>	<b>水轮发电机组的维修养护 .....</b>	<b>(1595)</b>
第一节	机组检修工程的分类和组织 .....	(1595)
第二节	水轮机转轮的检修 .....	(1606)
第三节	水轮机其它部件的检修 .....	(1613)
第四节	发电机检修 .....	(1619)

## 第十篇 典型现代机电设备的安装调试与维修管理

### ——起重机械 .....

<b>第一章</b>	<b>起重机械综述 .....</b>	<b>(1625)</b>
第一节	概述 .....	(1625)
第二节	轻小型起重设备简介 .....	(1626)
第三节	起重机简介 .....	(1629)
第四节	电梯简介 .....	(1635)
<b>第二章</b>	<b>起重机的安装与维修养护 .....</b>	<b>(1637)</b>
第一节	起重机的安装工艺 .....	(1637)
第二节	起重机的维修养护 .....	(1640)
<b>第三章</b>	<b>电梯的安装调试与维修养护 .....</b>	<b>(1649)</b>
第一节	电梯的安装与调试 .....	(1649)
第二节	电梯的维修养护 .....	(1684)
<b>第四章</b>	<b>电动葫芦与电动叉车的安装与维修养护 .....</b>	<b>(1698)</b>
第一节	电动葫芦 .....	(1698)
第二节	电动叉车 .....	(1707)
<b>第五章</b>	<b>起重机械的事故类型与案例分析 .....</b>	<b>(1723)</b>

---

第一节	起重机械的事故类型 .....	(1723)
第二节	起重机械事故的案例分析 .....	(1728)
<b>第十一篇</b>	<b>其他典型现代机电设备的安装调试与维修管理</b> ...	(1747)
<b>第一章</b>	<b>通风与采暖设备</b> .....	(1749)
第一节	通风与空调系统的安装调试与维修 .....	(1749)
第二节	采暖系统的安装与维修 .....	(1775)
<b>第二章</b>	<b>工业管道</b> .....	(1791)
第一节	概述 .....	(1791)
第二节	工业管道的安装 .....	(1795)
第三节	各种工业管道的安装与维修 .....	(1817)
<b>第三章</b>	<b>压力容器</b> .....	(1834)
第一节	压力容器基础知识 .....	(1834)
第二节	压力容器的安装与调试 .....	(1845)
第三节	压力容器的维护保养 .....	(1845)
第四节	压力容器的定期检验 .....	(1847)
<b>第四章</b>	<b>自动装配生产线</b> .....	(1855)
第一节	概述 .....	(1855)
第二节	自动装配生产线的检测装置 .....	(1865)
第三节	自动装配生产线的故障诊断与维修 .....	(1866)
<b>第十二篇</b>	<b>机电设备安装、运行、维修相关标准规范与法律</b>	
	<b>法规</b> .....	(1871)
<b>第一章</b>	<b>相关标准规范</b> .....	(1873)
<b>第二章</b>	<b>相关法律法规</b> .....	(2197)

## 第六章 非电量基本参数的测试方法

### 第一节 力和转矩的测量

力和转矩的测量以及由其产生的应力、应变测量在科学实验和工程测量中应用非常多,在计量和商业上大量应用的电子称重、称量衡器也是采用力测量方法。力或质量的测量方法可概括地分为两类:一类为直接比较法,将被测力直接或通过杠杆系统与标准质量(砝码)的重力进行平衡的方法,也称重力称法,只适用于静态测量。直接比较法的优点是简单易行,在一定条件下可获得较高的精度。但这种方法往往是采用有级加载,其测量精度取决于砝码精度和砝码分级密度;其次还受到测量系统中如杠杆、刀口等连接件之间摩擦的影响。第二类为间接比较法,将被测力通过测力传感器,按比例转换为其他物理量,然后与标定值比较来求得力的大小。标定值是预先对传感器进行标定时得到的。用电测的方法测力即属于这种方法。间接比较法可用于动态测量,传感器的质量及标定是影响精度的主要因素。由于不同地区重力有大约 $\pm 3\%$ 的变化,因此用间接法称重时,需注意修正或重新标定。

测力传感器常用的有电阻应变式、压阻式、电感式、电容式、压电式和压磁式等。以电阻应变片为敏感元件的电阻应变式传感技术应用最广。

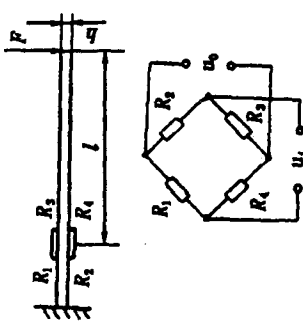
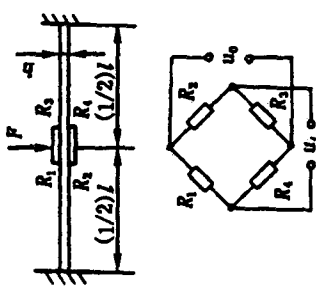
#### 一、常用的布片和接桥方式

在进行力或应变测量时所遇到的载荷是多种多样的,有单一的载荷,也有复合载荷,有单一应力状态,也有复合应力状态。同一载荷,同一应力状态,不同的布片位置,不同的接桥顺序,电桥输出不同,甚至会得到完全不同的结果。那么“应变片应该贴到什么位置?”“应变片应按怎样的顺序接成电桥?”在测试或传感器设计时必须考虑,还

要考虑输出尽量高,并能实现温度补偿。表3-6-1列出了典型的应变片布片接桥形式。

表3-6-1 应变片在弹性元件上典型的布片和接桥方式

弹性元件形式	应变片布片和电桥联接图	弹性元件应变值	工作应变片	补偿应变片	输出电压/V	符号说明
柱 体	<p>The diagram shows a cylinder under axial force F. Strain gauges R1 and R2 are on the top surface, while R3 and R4 are on the bottom surface. A Wheatstone bridge circuit is connected with R1 and R3 in one branch, R2 and R4 in another, and R1 and R2 in a third branch. The output voltage u0 is measured across the bridge, and u1 is the input voltage.</p>	$\epsilon = \frac{F}{AE}$	R <sub>1</sub> , R <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> , R <sub>4</sub>	$u_0 = \frac{K(1+\mu)u_1 F}{2AE}$	A——柱形截面积 (m <sup>2</sup> ) 圆柱 $A = \frac{\pi}{4} d^2$ 圆筒 $A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ 方柱 $A = ab$ d——圆柱直径或圆筒内径(m) D——圆筒外径(m) a, b——方柱边长 (m)
环 形	<p>The diagram shows a ring under force F. Strain gauges R1 and R2 are on the inner surface, while R3 and R4 are on the outer surface. A Wheatstone bridge circuit is connected with R1 and R3 in one branch, R2 and R4 in another, and R1 and R2 in a third branch. The output voltage u0 is measured across the bridge, and u1 is the input voltage.</p>	$\epsilon = \frac{1.092FR}{b^2 E}$ (R > 20t)	R <sub>1</sub> , R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> , R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> , R <sub>4</sub> 互为补偿	$u_0 = \frac{1.092KR u_1 F}{b^2 E}$	R——圆环半径 (m) t——圆环厚度 (m) b——圆环宽度 (m)

弹性元件形式	应变片布片图和电桥联接图	弹性元件应变值	工作应变片	补偿应变片	输出电压/V	符号说明
悬臂梁式		$\epsilon = \frac{6Fl}{Ebh^3}$	$R_1, R_2,$ $R_3, R_4$	$R_1, R_2,$ $R_3, R_4$ 互为补偿	$u_0 = \frac{6Kl u_1 F}{Ebh^3}$	$l$ ——受力点至应变片中心距离(m) $b$ ——梁的宽度(m) $h$ ——梁的厚度(m)
两端固定梁		$\epsilon = \frac{3Fl}{4Ebh^3}$	$R_1, R_2,$ $R_3, R_4$	$R_1, R_2,$ $R_3, R_4$ 互为补偿	$u_0 = \frac{3Kl u_1 F}{4Ebh^3}$	$l$ ——梁的长度(m) $b$ ——梁的宽度(m) $h$ ——梁的厚度(m)

弹性元件形式	应变片布片和电桥联接图	弹性元件应变值	工作应变片	补偿应变片	输出电压/V	符号说明
轴	<p>The diagram shows a solid shaft with four strain gauges: \$R_1\$ and \$R_2\$ are longitudinal, while \$R_3\$ and \$R_4\$ are circumferential. A Wheatstone bridge circuit is connected with \$R_1\$ and \$R_3\$ in one branch, \$R_2\$ and \$R_4\$ in another, and \$u_i\$ as the input voltage. The output voltage \$u_o\$ is measured across the bridge.</p>	$\epsilon = \frac{5(1+\mu)}{ED^3} M$	\$R_1, R_2\$	\$R_3, R_4\$	$u_o = \frac{K(1+\mu)u_i}{2.4D^3} M$	D——轴直径(m) M——扭矩(N·m)
轴	<p>The diagram shows a hollow shaft with four strain gauges: \$R_1\$ and \$R_2\$ are longitudinal, while \$R_3\$ and \$R_4\$ are circumferential. A Wheatstone bridge circuit is connected with \$R_1\$ and \$R_3\$ in one branch, \$R_2\$ and \$R_4\$ in another, and \$u_i\$ as the input voltage. The output voltage \$u_o\$ is measured across the bridge.</p>	$\epsilon = \frac{5(1+\mu)}{ED^3} M$ (实心) $\epsilon = \frac{16(1+\mu)DM}{\pi E(D^4-d^4)}$ (空心)	\$R_1, R_2, R_3, R_4\$	\$R_1, R_2, R_3, R_4\$ 互为补偿	$u_o = u_i K \epsilon$	D——轴外径(m) d——轴内径(m) M——扭矩(N·m)

## 二、应变测量中的一些技术问题

(1) 电桥平衡调节 由电桥测量原理,在测量前,电桥应处于初始平衡状态,即电桥

没有输出。但接入电桥的每个应变片电阻不可能绝对相同,各桥臂的连接导线及接触电阻也不可能完全一样,因而需要设置电阻平衡调节装置;对于交流电桥,还必须设置电容平衡装置,以消除应变片线栅及接线的分布电容的影响。

(2)温度补偿 应变片由于温度变化会产生输出电阻的变化,使应变片电桥电路产生输出变化。此种现象称为应变片的热输出。其原因一是应变片电阻丝材料本身的特性(电阻温度系数)不为零;二是电阻应变片敏感栅与和它粘贴在一起的试件的材料的线膨胀系数不同,当试件与敏感栅感受同样温度时,由于两者相互牵制和线膨胀系数不相同,给敏感栅附加了拉伸或压缩的应变。当环境温度变化  $\Delta t$  时,由于电阻丝温度系数  $\alpha$  而产生的电阻变化为

$$\Delta R_t = R\alpha\Delta t \quad (6-1)$$

式中  $R_t$  为应变片阻值。

如试件的线膨胀系数为  $\beta_1$ ,电阻丝的线膨胀系数为  $\beta_2$ ,当环境温度仍变化  $\Delta t$  时,则电阻丝产生的附加应变为  $(\beta_1 - \beta_2)\Delta t$ 。因而附加变形所引起的电阻变化为

$$\Delta R_t = RK(\beta_1 - \beta_2)\Delta t \quad (6-2)$$

式中:  $R$  为应变片的阻值;  $K$  为应变片的灵敏系数。

由于温度变化  $\Delta t$  而引起的总电阻变化为

$$\begin{aligned} \Delta R_z &= R\alpha\Delta t + RK(\beta_1 - \beta_2)\Delta t = \\ &R[\alpha + K(\beta_1 - \beta_2)]\Delta t \end{aligned} \quad (6-3)$$

$\Delta R_z$  值往往很大,有时甚至会超过测量值,对要求较高的测试,必须消除其影响。消除温度影响的措施,称为温度补偿。温度补偿的方法常用的有两种,应变片温度自补偿法和应变片温度互补偿法。

①应变片温度自补偿法。是在电阻应变片的敏感栅上串联具有与敏感栅相反性质的电阻温度系数的材料,制成具有温度自补偿作用的特殊应变片。这种应变片在使用时要特别注意不同的适用材料。若对某种材料的试件可以自制补偿,而对其他材料的试件就不能进行补偿。还可以在应变片桥臂的后接电路中串接适当的热敏电阻进行补偿。

②应变片温度互补偿法。这种方法是利用应变片的电桥测量电路的特点(电桥的自动加减特性)进行的。用两片参数和特性(灵敏系数  $K$ 、电阻  $R$ 、温度系数相等,最好是同一批产品)相同的应变片,一片作工作片,粘贴在待测的试样上;另一片作补偿片,粘贴在材料性质、环境温度与试样一样但不受力和振动的补偿块上;并使工作片和补偿片接在相邻桥臂上。

在测试时,当温度变化时,因补偿片和工作片的参数和特性一样,又因两者都黏在同一环境温度的相同材料上,则两者的附加变形也相等。这样一来,由于温度的变化而引起的电阻变化量  $\Delta R_t$ , 绝对值相等,根据电桥的自动加减特性可知  $\Delta R_t$ , 相互抵消,电桥没有输出,即达到补偿的目的。



当电桥两臂或四臂为工作臂时,只要满足上述补偿片的条件(不受力或振动除外),则可将各臂应变片看做互为补偿片。

### 三、转矩的测量

轴的转矩也称为扭矩,以符号  $M$  表示,单位为  $\text{Nm}$ 。通常用轴的扭转弹性变形程度来衡量转矩的大小。为此,往往要用一段传动轴连在原动机和负载之间,此传动轴称为敏感轴,其上安装有适当的传感器,以测出相距一定长度处两个横断面的相对扭转角度,根据此角度,便可求出转矩。

(1)应变片法 当圆轴受纯扭矩时,主应力的方向与轴线成  $45^\circ$  夹角,而互相垂直的两个主应力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$  绝对值相等,符号相反;且此绝对值等于轴的横断面上的最大剪切应力  $\tau_{\max}$  即  $-\sigma_1 = \sigma_3 = \tau_{\max}$ 。

按表 3-6-1 所示圆轴测扭图,在与轴线成  $45^\circ$  的方向上贴应变片,即可测出此处的应变  $\epsilon$ 。根据广义胡克定律,  $\sigma = E\epsilon/(1 + \mu)$ , 则

$$\tau_{\max} = |\sigma| = \left| \frac{E\epsilon}{1 + \mu} \right| \quad (6-4)$$

而扭矩

$$M = \tau_{\max} W_p = \left| \frac{E\epsilon}{1 + \mu} \right| W_p$$

式中:  $E$  为试件材料的弹性模量;  $\epsilon$  为所测应变值;  $\mu$  为试件材料泊松比;  $W_p$  为抗扭截面系数。

必须注意的是,应变片粘贴在轴上并和轴一起转动,电桥和测量仪表是固定不动的,如何把电桥信号输出来就成为十分棘手的难题。通常是在轴上装设集流环(与轴绝缘的导电滑环,用电刷和滑环接触形成电路),这种办法既不方便又容易引入干扰信号。

(2)磁导率法 铁磁性材料的轴,在转矩  $M$  作用下,轴表面不同方向上的磁导率会发生变化。利用这个现象可以测转矩,参看图 3-6-1。将电磁铁的磁极分别布置在与轴线呈  $45^\circ$  的  $S_1$ 、 $S'_1$  及  $S_2$ 、 $S'_2$  处,在转矩  $M$  作用下,  $S_1$ 、 $S'_1$  间因承受压力而磁导率变小,  $S_2$ 、 $S'_2$  间因受拉力而磁导率变大,从而可以测出转矩。这和利用压磁效应测力的原理相似。

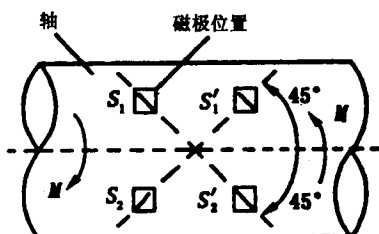


图 3-6-1 磁导率法测转矩