

现代轮机监控技术

主 编 ◆ 甘辉兵

副主编 ◆ 王冬捷

主 审 ◆ 张均东

大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

现代轮机监控技术

主 编 甘辉兵

副主编 王冬捷

主 审 张均东

大连海事大学出版社

© 甘辉兵 2017

图书在版编目(CIP)数据

现代轮机监控技术 / 甘辉兵主编. — 大连 : 大连
海事大学出版社, 2017.3

ISBN 978-7-5632-3453-0

I. ①现… II. ①甘… III. ①轮机管理
IV. ①U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 030864 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连华伟印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2017 年 3 月第 1 版

2017 年 3 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:12

字数:294 千

印数:1 ~ 2000 册

出版人:徐华东

责任编辑:杨 森

责任校对:张鑫睿

封面设计:解瑶瑶

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3453-0 定价:25.00 元

前 言

随着现代船舶日趋大型化与智能化,信息技术在船舶机电设备的监控中得到了广泛的应用,尤其是以单片微型计算机技术、可编程控制器技术及网络监控技术为代表的监控技术引领了船舶现代轮机监控技术的发展方向。

单片微型计算机(简称单片机)具有体积小、重量轻、抗干扰能力强、价格低廉、可靠性高、灵活性好等优点,它是构成现代轮机监控系统的核心单元之一,也是最基础的监控技术。可编程控制器(简称 PLC)是在单片机基础上发展起来的成熟稳定的应用系统产品,具有功能强大、可靠性和灵活性极高、易学易懂、维修方便等优点,在现代船舶机舱监控系统中的应用非常广泛。同时,现代船舶机舱监控系统的下层逐步向着现场总线化发展,而监控系统的上层则向着网络化发展。这些为船舶机舱智能化、船舶智能化提供了有力的技术支撑。

本书以船舶机舱检测技术基础知识和常规检测方法介绍为起点,以 MCS-51 单片机技术、S7-1200 PLC 技术和网络监控技术为主线,较系统地介绍了三大技术与现代船舶机舱监控有着密切联系的主要内容,有些结合应用实例进行了论述,力争使读者对船舶现代轮机监控核心技术有一个整体的认识和理解。全书共分为五章:第一章简要介绍了过程检测技术基础知识;第二章介绍了常规检测方法及其实现;第三章详述了 MCS-51 单片机及接口技术;第四章以 S7-1200 PLC 为例对可编程控制器技术进行了系统的介绍;第五章介绍了船舶机舱中应用的主要网络监控技术。

本书第一、四、五章由甘辉兵负责编写;第二章由冯金红和姜瑞政负责编写;第三章由王冬捷负责编写。全书由甘辉兵负责统稿,并对参编者提交的部分内容进行了改写;由张均东主审,对书稿内容进行整体把关。本书在编写过程中得到了大连海事大学轮机工程学院轮机自动化教研室同仁的大力支持,在此致以衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在一些错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月

目 录

第一章 过程检测技术基础.....	1
第一节 检测概论.....	1
第二节 检测系统的特性.....	3
第二章 常规检测方法及其实现.....	8
第一节 信号感应.....	8
第二节 信号的适调	17
第三节 信号的处理	20
第三章 单片机及接口技术	23
第一节 MCS-51 系列单片机概述.....	23
第二节 存储器的基础知识	31
第三节 MCS-51 单片机指令系统.....	39
第四节 汇编语言程序设计	55
第五节 MCS-51 的定时器/计数器	69
第六节 MCS-51 单片机中断系统.....	73
第七节 MCS-51 与 A/D 和 D/A 接口	78
第八节 8255A 接口电路的扩展设计	87
第四章 可编程控制器技术	92
第一节 PLC 的组成和原理	92
第二节 S7-1200 PLC 硬件及软件系统	96
第三节 S7-1200 PLC 基本编程	112
第四节 S7-1200 PLC 基本指令	133
第五节 PLC 在机舱监控系统中的应用设计方法举例.....	152
第五章 网络监控技术.....	158
第一节 网络通信基础.....	158
第二节 串行通信总线.....	163
第三节 现场总线技术.....	169
第四节 局域网技术.....	180
参考文献.....	185

第一章 过程检测技术基础

第一节 检测概论

一、过程检测的对象与需求

在工业生产中,反映过程状况的参数有很多,常见的有温度、压力、流量、料量、物位、成分、密度等。这些参数的检测构成了过程检测的基本内容,这对于保证产品的产量与质量,对于企业节能降耗增效、提高市场竞争力,对于保障安全与清洁生产,都起着十分重要的作用。过程检测是生产过程自动控制系统的重要组成部分。要实施任何一种控制,首要问题是要准确及时地把被控参数检测出来,并变换成调节、控制装置可识别的方式,作为过程控制装置判断生产过程的依据。因此,过程检测是实现生产过程自动化、改善工作环境、提高劳动生产率的重要环节。

船舶机舱机电设备的参数检测也属于过程检测的范畴,检测的主要参数有温度(包括油温、水温及排烟温度等)、压力(包括水压、油压、气压及蒸汽压力等)、液位(包括各种油柜和水柜的液位)、转速等。检测与控制的对象涵盖了机舱大多数机电设备,主要的对象和系统有:船舶主机遥控系统、船舶机舱监测与报警系统、船舶自动化电站系统、船舶辅锅炉自动控制系统、船舶分油机的自动控制系统、船舶空调与制冷自动控制系统、焚烧炉的自动控制系统、阀门遥控与液位遥测系统及其他机电设备的综合监控等。通过参数的检测实现船舶机电设备的监测与控制,保证其安全、稳定和可靠地运行。

二、检测装置的组成与功能

检测装置的主要作用在于测量各种参数以用于显示或控制。这些参数包括电量(电流、电压、频率等)和非电量(如热工参数——温度、压力、流量,力参数——应力、振幅、重量等)。为实施测量,无论是一块简单的检测仪表,还是一套复杂的检测系统,一般都包括以下几部分:检测变换部分、信号处理部分、显示或输出部分,如图 1-1 所示。

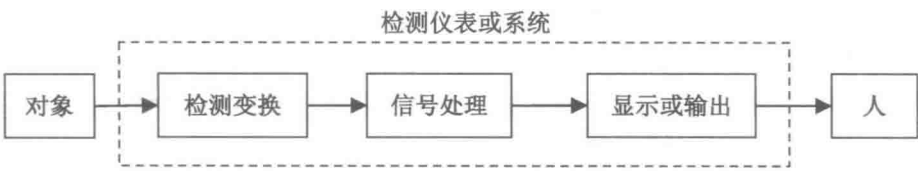


图 1-1 测量装置组成框图

检测变换部分的作用在于感受被测量的变化,并输出一个相对应的信号(电信号或非电信号)。检测部分通常又被称为敏感元件、检测元件、传感器、一次元件等,如热电偶温度计中

的热电偶、节流式流量计中的孔板等。

信号处理部分包括变送器、转换器、变换器等,作用是将传感器的输出信号进行放大、线性化、转换等处理后,变换成标准的信号输出给测量链中后续仪表。如电动差压变送器将输入的差压信号经变换、放大转换为标准的电流信号($0 \sim 10 \text{ mA}$ 、 $4 \sim 20 \text{ mA}$)输出。

显示输出部分习惯上又称为二次仪表,是检测系统向观察者显示或输出被测量数值的装置。当该部分作为独立的一块仪表且只作为显示器使用时,则称为显示仪表,根据显示方式的不同可分为指针式、数字式和屏幕式。

此外,检测系统中还有一个连接输入、输出各环节的通道,即传输通道。它是导线、导管以及信号所通过的空间,尽管比较简单,但在系统设计、安装时如不按规范要求布置、匹配和选择,则易造成失真或引入干扰等。

三、检测系统的类型

不同的自动化设备,其流程也各不相同,被测对象的多样性和复杂化对过程检测提出了诸多要求。下面介绍六种常见的检测分类方法。

1. 按被测参数分类

常见的被测参数有过程参数、电气参数和机械参数等几大类。

(1) 过程参数主要是热工参数,通常又可细分为温度、压力、流量、物位、密度、成分分析等。

(2) 电气参数有电能(功率)、电流(含大直流)、电压、频率等。

(3) 机械参数有重量、距离、振动、缺陷检查、故障诊断等。

每一种参数又因被测对象范围、特性不同而采用不同的检测方法和装置。

2. 按使用性质分类

检测仪表使用场合的不同决定了其使用性质的差异,通常可据此分为标准表、实验室表和工业用表三种。

(1) 标准表是专用于校准工业用表和实验室表的。各企业使用的计量标准表或最高标准表需经相关计量部门的定期检定,获得有效检定合格证书方可使用。

(2) 实验室表精确度较工业仪表高,但对使用环境(温湿度、振动等)要求较严,往往无特殊的防水、防尘措施,一般不适宜信号的远传,宜在实验室条件下使用。

(3) 工业用表是指在实际工业现场长期使用的仪表,为数最多,根据安装地点的不同又分为现场安装与控制室安装。

3. 按是否接触被测介质分类

检测仪表可分为接触式和非接触式。

(1) 接触式仪表的检测元件与被测对象(或介质)直接接触,感受被测量的变化,从而获得测量信号。例如,热电阻温度计测温、电容式物位计测量物位等都是接触式,其测量结果较准确,但易受介质物理、化学性质影响。

(2) 非接触式仪表不直接接触被测对象(或介质),而是间接感受被测量的作用或变化达到检测目的。例如,辐射温度计不与被测物直接接触,而是接收被测对象热辐射的能量并转换成电信号,再按辐射定律以温度值显示出来。其特点是不受被测对象污染或影响,使用寿命长,适用于某些接触式检测仪表难以胜任的场合,但测量精度一般比接触式略低。

4. 按被测对象状态分类

检测仪表按被测对象状态可分为静态和动态测量。静态测量是指在被测对象处于稳定状态,其被测参数不随时间变化的情况下实施的测量;动态测量则是指在被测对象处于不稳定状态,或被测参数随时间变化的情况下实施的测量。

在通常情况下,过程检测实际上都应属于动态测量,因为生产过程的各种参数大多是随时间变化的,运动是绝对的,但要测量瞬态值极为困难。因此,若被测参数随时间做缓慢变化、检测仪表响应或测量时间相对很短时,可将被测对象视为稳态,即将测量视为静态测量。

5. 按仪表各环节连接方式分类

如前所述,检测仪表由检测元件(传感器)、变换器及显示输出部分等环节组成,这些内部环节的连接方式不同,又使检测仪表有开环式与闭环式之分。

(1) 开环式仪表

仪表中各环节按开环方式连接,如图 1-2 所示,仪表中前一环节的输出是后一环节的输入,首尾相接形成测量链,信号从输入端到输出端沿一个方向传递。

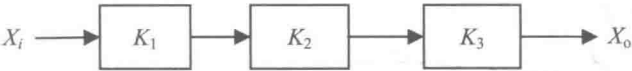


图 1-2 开环式仪表框图

(2) 闭环式仪表

它又称为反馈式仪表,如图 1-3 所示。闭环式仪表的最大特点是整个仪表的传递函数只与反馈环节传递函数 K_f 有关,而与各串联环节无关,故在很大程度上消除或减小了其他环节的影响。

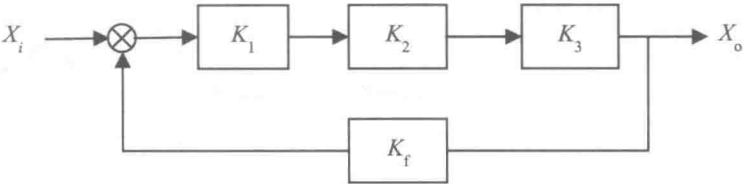


图 1-3 闭环式仪表框图

6. 按获得检测结果的手段分类

检测可分为直接测量、间接测量和组合测量。

(1) 直接测量是指可通过测量直接在仪表上获得被测量值,而不需通过补充计算。

(2) 间接测量是先对几个与被测量有确定函数关系的量进行测量,在此基础上利用数学模型来推导被测量值。

(3) 组合测量是为了同时确定多个未知量,可以利用各个未知量以不同的组合形式,用直接或间接测量方法获得一组数据,通过解方程求出未知量的方法。

第二节 检测系统的特性

为了获得准确的测量结果,检测系统应满足一定的特性要求,大多数场合,此特性常常是

针对输入输出特性而言的。检测系统输入输出特性主要包括两方面,即静态特性和动态特性。要认识检测系统,就需进行特性分析。

一、检测系统的静态特性

当检测系统进行测量时,若被测参数不随时间变化或随时间变化比较缓慢,可不必考虑系统输入量与输出量之间的动态关系(或称瞬态响应),而只需考虑输入量与输出量之间的稳态关系,表示输入输出关系的数学模型为代数方程,不含时间变量,这样的特性称为静态特性。静态特性一般包括精确度、灵敏度、分辨率、线性度和变差等。

1. 精确度

精确度是指检测装置给出接近于被测量真值的示值的能力。所谓示值,是指由测量装置提供的被测量的量值,包括记录仪表的记录值、测量装置的测量输出等。精确度等级则是指检测装置符合一定的测量要求使其误差保持在规定极限以内的级别。常用的精确度等级有0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、4.0等。

2. 灵敏度

灵敏度是指测量装置或系统响应变化(输出量增量)与相应激励变化(输入量增量)之间的函数关系,它表示单位被测量的变化所引起的检测系统输出量的变化量。

对于线性测量系统,其灵敏度 S 为:

$$S = y/x = K \tag{1-1}$$

式中, K 为传递系数,且为常数。

对于非线性测量系统,其灵敏度 S 为:

$$S = \Delta y/\Delta x = f'(x) = \tan \varphi \tag{1-2}$$

此时灵敏度是个变量,它与激励量有关。

在测量范围内,灵敏度不是常数,如图 1-4 所示。

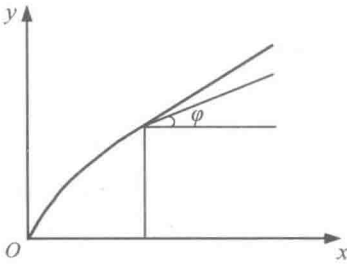


图 1-4 测量装置的灵敏度

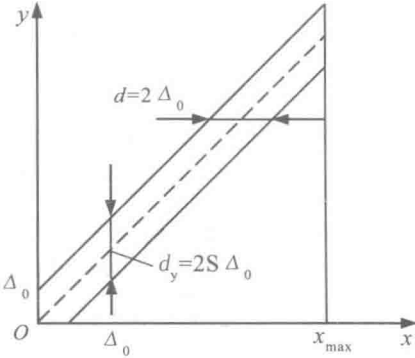


图 1-5 具有恒定绝对误差的仪表静特性

3. 分辨率

分辨率是指测量装置能够区分被测量最小变化量的能力。如指针开始发生可察觉的偏摆量,使测量系统的响应产生可感知的变化 $\Delta y_{\min}$ 的最小激励(输入)变化 $\Delta x_{\min}$,称为灵敏阈或灵敏限。为保证检测系统的测量准确度,工程上常规定分辨率应小于系统允许误差的 1/5;有些仪表则以它的输入端不确定区的 1/2 作为分辨率指标,如图 1-5 所示。

4. 线性度

线性度是指测量系统的输出值与被测量间的实际曲线偏离理想直线型输入输出特性的程度。常用实测输入—输出特性与理想输入—输出特性曲线(直线型)的最大偏差对量程之比的百分数表示,如图 1-6 所示。图中量程用 A 表示,最大偏差用 $\Delta y_{\max}$ 表示,线性度 α 为:

$$\alpha = \frac{|\Delta y_{\max}|}{A} \times 100\% \quad (1-3)$$

应当指出的是,线性度差会降低仪表精确度。

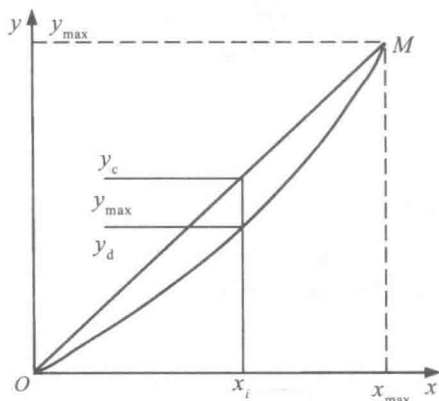


图 1-6 求取仪表线性度的示意图

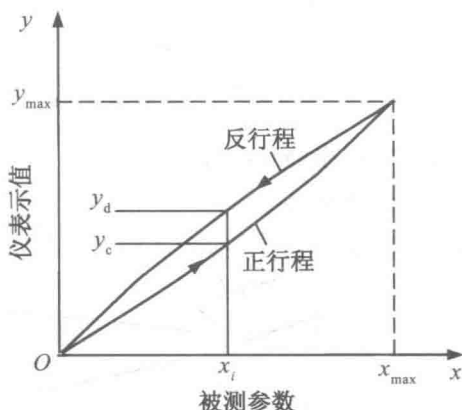


图 1-7 滞环误差示意图

5. 变差

变差表示在外界条件不变的情况下,一个测量装置的输入做增大与减小变化时,其输出特性(仪表的正向特性与反向特性)不一致的程度,如图 1-7 所示。假设当被测量或输入量由小于 x_i 点连续增大到 x_i 点时的输出为 y_c ,而当被测量由大于 x_i 点连续下降到 x_i 点时的输出为 y_d ,两者的差值称为回差(又称滞环误差、回程误差) δ_n :

$$\delta_n = |y_d - y_c| \quad (1-4)$$

产生误差的原因一般是传动机构的间隙、运动部件的摩擦、弹性元件的弹性滞后等影响。变差一般不应超过仪表的允许基本误差。

6. 重复性

重复性有别于变差,是指测量装置在同一工作环境、被测对象参量不变条件下,输入量按同一方向做全程变化,进行多次(三次以上)测量,其输入—输出特性不一致的程度。重复性误差用输入—输出特性的最大偏差 $\Delta y_{\max}$ 对量程的百分数表示,如图 1-8 所示。在实际应用中,重复性误差可按标准差计算,即:

$$\delta_n = \pm (2 \sim 3) \frac{\delta}{A} \times 100\% \quad (1-5)$$

7. 再现性

再现性是指测量装置对被测量进行同一次测量之后,经过一段时间后再在原测量条件相同的情况下,再次进行测量时,其输入—输出特性不一致的程度。规定时间内两次测量的输入—输出特性最大非再现性误差对量程 A 之比用百分数表示,如图 1-9 所示。

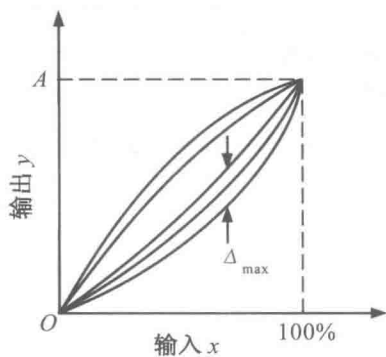


图 1-8 重复性

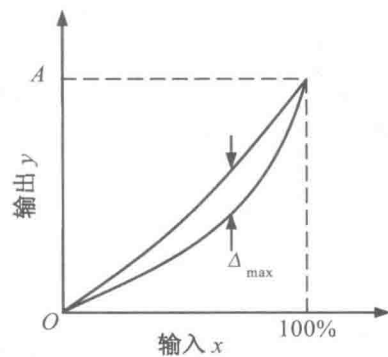


图 1-9 再现性

二、检测系统的动态特性

动态特性是指检测系统对随时间而变化的被测量所响应的性能。动态特性与静态特性的区别在于其输出量与输入量之间的关系并非一个定值,而是时间的函数,并随输入信号频率的不同而不同。因为在实际生产过程中,系统随时都存在着破坏平衡状态的扰动作用,平衡的稳定状态是相对的、暂时的,而不平衡的变化状态则是绝对的。因此许多被测参数往往稳中有变,而它的变化情况又是需要测量或研究的;有的参数还可能按正弦、脉动、阶跃等规律变化。显然,检测仪表或系统在测量动态(或非稳态、非静态)参数时,除了存在静态误差(或稳态误差)外,还可能产生动态误差。

1. 动态误差

动态误差是指测量系统中被测参数信息处于变动状态下仪表示值与被测参数实际值之间的差异。例如,用水银温度计插入一杯沸水中测量温度,需要等 3 分钟以上温度计读数才能稳定,如果在 1 分钟或 2 分钟时便读数,就会如图 1-10 温度曲线所示,出现较大的动态误差 Δ_1 和 Δ_2 ,因为此时沸腾水热量传递给温度计的过程尚未结束、没达到热平衡状态,故有动态误差存在。

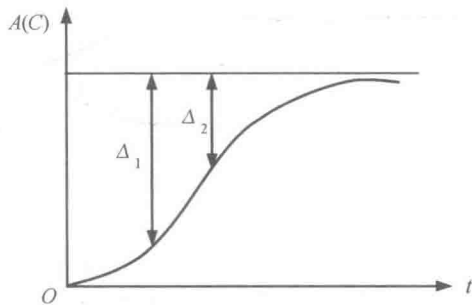


图 1-10 输入阶跃变化时体温表的动态响应

动态误差产生原因一般是感测元件和测量系统中各种运动惯性及能量传递需要时间。衡量各种运动惯性的大小及能量传递的快慢,常采用时间常数 T 和传递滞后时间 τ 这两个参数。

2. 瞬态响应特性与稳态响应特性

确定测量系统的动态特性通常有两种方法:一是在突然瞬变的非周期(如阶跃脉冲、斜坡)激励作用下,二是在振幅稳定不变的正弦激励作用下。前者通常称为瞬态响应特性,后者则称为稳态响应特性。

(1) 瞬态响应特性

瞬态响应特性有如下两个参数。

① 时间常数 T

以采用热电偶和自动平衡记录仪组成的检测系统为例,如被测参数有一阶跃变化,则记录

仪所显示出来的反应曲线将按一定规律变化(如图 1-11 指数曲线所示)。图中 T 为热电偶与自动平衡记录仪的时间常数,它是表征温度上升快慢的一个指标。 T 越大,曲线上升越慢,动态误差存在的时间越长,数值越大; T 越小,曲线上升越快,动态误差存在时间越短,数值越小。在检测系统中,人们希望 T 越小越好。

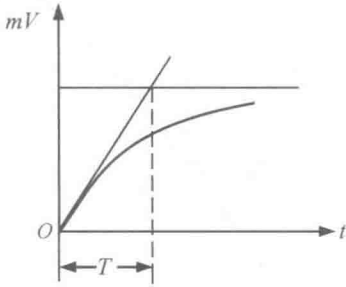


图 1-11 检测系统的反应曲线

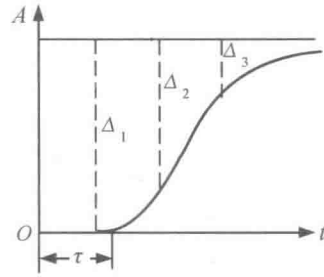


图 1-12 具有滞后的反应曲线

② 滞后时间 τ

当被测参数做阶跃变化时,感测元件不能立即反映出其变化,而是要滞后一段时间才能开始反映。如在气体成分分析仪中,由于存在较长的取样管路,气体要经过这段管路进行预处理(除尘、除水等)后才进入分析仪中,这就产生了滞后,如图 1-12 所示。在滞后时间 τ 内,动态误差最大,且一直存在,而不像时间常数 T 对动态误差的影响是逐渐减小的,故对测量或控制对象而言,要求 τ 越小越好。

(2) 稳态响应特性

系统在正弦信号作用下的稳态输出响应称为系统的频率响应。用频率响应来表达系统的动态性能,就产生了一种新的线性系统数学模型——频率特性。如指针式检测仪表或机械式传感器通常都包含有相对基座的可动部件、弹性部件和阻尼装置,假定系统限于在一个活动轨道上活动,这时该检测仪表就组成了一个单自由度的二阶系统,如图 1-13 所示。在外力 $F(t)$ 的作用下,质量为 m 的运动部件产生位移 y ,可得出任一单自由度二阶系统的频率特性为:

$$H(j\omega) = \frac{K}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2\xi j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)} \quad (1-6)$$

C —阻尼系数; m —运动部件质量; y —位移;
 k —弹性系数; $F(t)$ —按正弦规律变化的输入作用

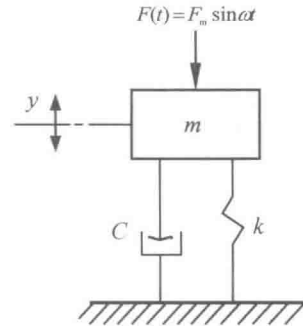


图 1-13 单自由度二阶振荡系统图

式中, ω_0 为系统无阻尼时的固有振动角频率; ξ 为比阻尼系数, $\xi = c/2\sqrt{kn}$ 。

频率响应一般是个复数,可用指数式表达为:

$$H(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \quad (1-7)$$

式中, $A(\omega)$ 为频响的模,即 $A(\omega) = |H(j\omega)|$,称为测量系统的幅频特性; $\varphi(\omega)$ 称为频率响应的复角,即 $\varphi(\omega) = \arg H$,称为检测系统的相频特性。以 ω 为自变量, A (或 φ) 为因变量的曲线,称为检测系统的幅频或相频特性曲线。

第二章 常规检测方法及其实现

第一节 信号感应

简单地说,一个测量系统一般都由敏感元件、信号适调元件、信号处理元件等组成。敏感元件是测量系统中的第一个元件,它与待测量的过程或系统连接并从中取出能量,输入该元件的是被测量的真值,元件的输出则决定于该值。表 2-1 列出了一些常用的敏感元件以及其测量用途。下面结合船舶机舱中的应用分别予以介绍。

表 2-1 用于各种测量的敏感元件

项目	物理原理 输入的被 测量	温度	热流 光流	压力	力	力矩	液位	密度	流量	流速	位移 应变	速度	加 速度	气体 成分	离子 浓度
无源 电 输 出	电阻	○									○				
		○	○							○	○			○	
	电容			○			○				○				
	电感										○				
	压阻			○											
有源 电 输 出	电磁								○			○			
	热电	○													
		○	○												
	压电				○								○		
机 械 输 出	电化学														○
	弹性			○	○		○								
				○	○	○	○	○					○		
	差压								○	○					
	涡轮								○						
	旋涡								○						
	气动			○	○		○				○				

一、电阻敏感元件

从表 2-1 可以看出,电阻敏感元件可以用来测量温度、热流、位移、气体成分等。换句话说,就是根据电阻在不同的温度、热流量、位移量及气体成分中其阻值的变化来反映其测量值大小。在船舶机舱中应用最多的电阻敏感元件是用来制作电阻式温度传感器的,下面仅对此

进行详细介绍。

在 $-100 \sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内大多数金属的电阻阻值随温度呈线性增加,金属元件的电阻 R_t 与温度 t 之间的一般关系式为一幂级数:

$$R_t = R_0(1 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 t^3 + \cdots) \quad (2-1)$$

式中, R_0 为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的阻值; α_1 、 α_2 、 α_3 等为电阻温度系数,非线性项的数值一般都很小。图 2-1 绘出了金属铂、铜、镍的 $\frac{R_t}{R_0}$ 比值随温度变化的情况,常用来制作工业热电阻的材料有铜、铂、

铁、镍等。对于要求不太高的地方,常选用相对比较便宜的金属,如铜和镍。虽然铂相当贵重,但通常还是被选作工业用电阻温度计的材料,用于要求较高的地方。

通常对热电阻材料有如下一些要求:

通常对热电阻材料有如下一些要求:

(1) 电阻温度系数 α 要大,它一般用式(2-2)表示:

$$\alpha = \frac{dR}{R} \cdot \frac{1}{dt} = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} \quad (2-2)$$

也可用式(2-3)表示:

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{R_t - R_0}{t - t_0} \quad (2-3)$$

式中, R_0 为 t_0 时刻的电阻值; R_t 为 t 时刻的电阻值。

金属电阻温度系数与金属的纯度有关,金属愈纯, α 愈大。一般电阻与温度的关系并非呈线性,通常多用

沸点与冰点的阻值比 $\frac{R_{100}}{R_0}$ 代表 $0 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间的平均

温度系数,而称 $R_{100} - R_0$ 为基本间隔。典型的铂电阻 $R_0 = 100.0\text{ }\Omega$, $R_{100} = 138.5\text{ }\Omega$, 因此其平均温度系数

$\frac{R_{100}}{R_0} = 138.5/100 = 1.385$, 而其基本间隔 $R_{100} - R_0 =$

$38.5\text{ }\Omega$ 。

(2) 在测量范围内其物理和化学性质应稳定。

(3) 应有较大的电阻率。因为电阻率 β 愈大,制成热电阻的体积愈小,则测温的热惯性就愈小。

(4) 电阻与温度的关系应尽可能呈线性或平滑特性。

(5) 复现性应较好。

(6) 价格应便宜。

我国规定的铜、铂、镍热电阻常数、代号和阻值等特性列于表 2-2 和表 2-3 中。

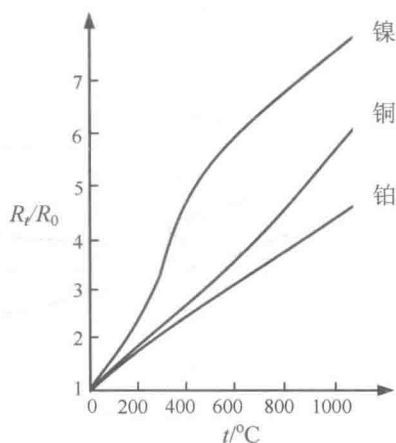


图 2-1 铂、铜、镍的 R_t/R_0 随温度的变化曲线

表 2-2 热电阻特性(1)

热电阻名称	代号	测温范围/℃	基本误差	
			温度范围/℃	允许值/℃
铜热电阻	WZC	- 50 ~ 150	- 50 ~ 150	$\Delta t = \pm (0.3 + 6 \times 10^{-3} t)$
铂热电阻	WZP (IEC)	- 200 ~ 850	(A) - 200 ~ 850	$\Delta t = \pm (0.15 + 2 \times 10^{-3} t)$
			(B)	$\Delta t = \pm (0.3 + 5 \times 10^{-2} t)$
镍热电阻	WZN	- 60 ~ 180	- 60 ~ 0	$\Delta t = 0.2 + 2 \times 10^{-2} t$
			0 ~ 180	$\Delta t = 0.2 + 1 \times 10^{-2} t$

表 2-3 热电阻特性(2)

热电阻名称	代号	分度号	温度为 0 ℃ 时的电阻值 R_0/Ω		电阻比 $W_{100}(R_{100}/R_0)$	
			名义值	允许误差	名义值	允许误差
铜热电阻	WZC	Cu50	50	± 0.05	1.428	± 0.002
		Cu100	100	± 0.1		
铂热电阻	WZP (IEC)	Pt10	10 (0 ~ 850 ℃)	A 级 ± 0.006 B 级 ± 0.012	1.385	± 0.001
		Pt100	100 (- 200 ~ 850 ℃)	A 级 ± 0.06 B 级 ± 0.12		
镍热电阻	WZN	Ni100	100	± 0.1	1.617	± 0.003
		Ni300	300	± 0.3		
		Ni500	500	± 0.5		

工业用热电阻的结构如图 2-2 所示。

图 2-3 为铠装热电阻的结构。铠装热电阻是将感温元件焊在预先拉好的带护管和绝缘材料的导线上,然后在外面再焊一段短管作保护管,在感温元件与保护管之间填充绝缘材料,最后焊上封头而制成。

在船舶机舱中,电阻式温度传感器广泛应用于船舶机舱冷却水温度、滑油温度及燃油温度等低温测量场合。

二、电容敏感元件

最简单的电容器是由两块平行的金属板组成的,中间由电解质或绝缘材料隔开,如图 2-4 所示。

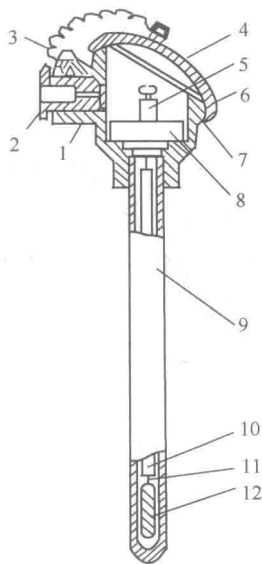


图 2-2 热电阻结构

1—出线密封圈;2—出线螺母;3—小链;
4—盖;5—接线柱;6—密封圈;7—接线
盒;8—接线座;9—保护管;10—绝缘管;
11—引出线;12—感温元件

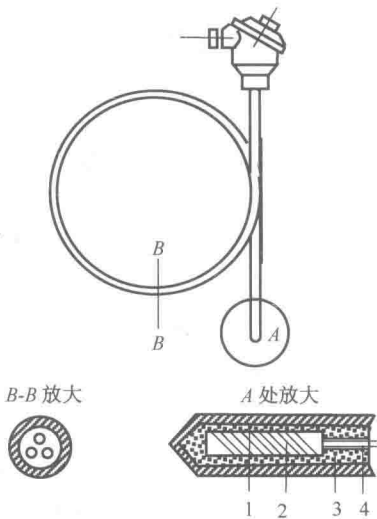


图 2-3 铠装热电阻结构

1—金属套管;2—感温元件;3—绝缘材料;4—
引出线

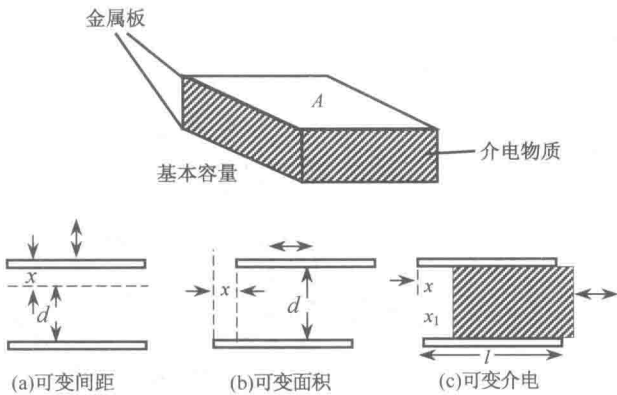


图 2-4 电容敏感元件示意图

电容器的电容为:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon A}{d} \tag{2-4}$$

式中, ϵ_0 为真空中的介电常数,其值为 $8.85 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$; ϵ 为电介质或绝缘材料的相对介电常数; A 为平板交叠部分的面积; d 为平面间距。

从上述可以看出,改变式(2-4)右侧任意一个参数都会改变电容 C 的大小,因此,工业上就根据改变不同的参数,做成了不同类型的电容式传感器。

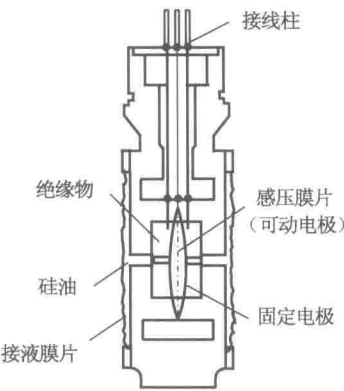


图 2-5 电容式测压膜盒

1. 改变极间间距

如果极板间位移 x ,如图 2-4(a) 所示,则传感器的电容为:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon A}{d + x} \tag{2-5}$$

这时 C 和 x 之间呈非线性关系。

图 2-5 是一个膜盒部件图,它是一个测量差压的传感器,由三块膜片构成两个液体密封室,感压膜片(可动电极)在中央,两侧为固定电极,位移测量是通过差动测量(这是工业应用上提高测量灵敏度的方法)可动电极与两侧固定电极间电容完成的。在测差压时,两侧电容分别为:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon A}{d + x} \tag{2-6}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon A}{d - x} \tag{2-7}$$

2. 改变极板面积

如果极板面积位移 x ,如图 2-4(b) 所示,则传感器的电容为:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon (A + wx)}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon A}{d} + \frac{\varepsilon_0 \varepsilon w}{d} x \tag{2-8}$$

这时 C 和 x 之间呈线性关系。

这种构造的差压变送器结构如图 2-6 所示,它是两块膜片一个封液室的形式,把可动电极安装在两个膜片的连轴中央,其两侧的固定电极与电容量用差动方式测出。在连接轴与壳体间加入旁通管,并插入节流件,改变左右封液的移动速度,还可调整其阻尼。

3. 改变介质介电常数

如果介质介电常数位移 x ,如图 2-4(c) 所示,则传感器的电容为两个电容的并联:

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 A_1}{d} + \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 A_2}{d} \tag{2-9}$$

若极板宽为 w 、长 l ,则 $A_1 = wl$ 、 $A_2 = w(l - x)$,于是有:

$$C = \frac{\varepsilon_0 w}{d} [\varepsilon_2 l - (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) x] \tag{2-10}$$

这时 C 和 x 之间呈线性关系。

电容开关是可变介质电容传感器的一个典型应用,其结构如图 2-7 所示。

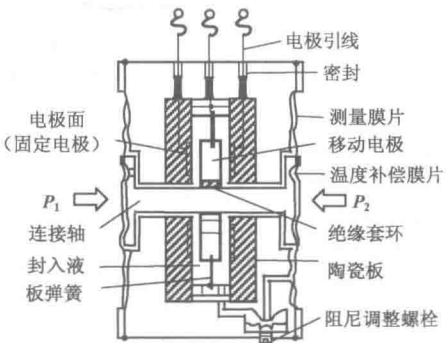


图 2-6 电容式差压变送器

三、电感敏感元件

电感敏感元件按其对磁通的感应原理分为自感型与互感型,不论自感还是互感,都是通过电感或磁阻的变化来实现测量的。

1. 自感型敏感元件

自感型敏感元件的作用是将被测量位移转换为传感器线圈的自感系数的变化量。当一个