

电子电位差计的 原理及维修

(修订本)

国防工业出版社

电 子 电 位 差 计 的 原 理 及 维 修

(修 订 本)

《电子电位差计的原理及维修》编写组 编

国防工业出版社

内 容 简 介

书中主要介绍了用于温度测量调节的仪表——电子电位差计的结构原理和维修方法。全书包括电子电位差计的测量桥路、电子管放大器、晶体管放大器、仪表中的微电机、干扰和抗干扰措施、电子电位差计的检修、旧型电子电位差计的改进和电动比例、积分、微分调节器等八个部分。

本书在内容上由浅入深，论及仪表的结构、工作原理、测试及检修等各个方面，而着重介绍了仪表各部件及整机的测试、检修方法。书中收集了较多的技术数据，对于从事仪表维修工作的人员更有裨益。

本书可供从事仪表维修的工人和工程技术人员参考，也可作为培训新工人的技术教材。

电子电位差计的 原理及维修

(修 订 本)

《电子电位差计的原理及维修》编写组 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₁₆ 印张 22¹/₂ 522 千字

1975年10月第二版 1980年2月第五次印刷 印数：119,501—132,500册

统一书号：15034·1266 定价：1.80元

(限国内发行)

再 版 说 明

为了满足从事仪表维修工作的广大职工的迫切需要，由三〇四所主持，在有关单位的大力协同下，编写了这本《电子电位差计的原理及维修》，供有关部门的同志参阅。

本书自 1972 年 5 月出版以来，先后两次印刷。随着我国生产和科学事业的迅速发展，新型热工仪表不断地涌现；本书中原来采用的旧温标也应按照国际实用温标予以更改；同时考虑原版在内容上还存在一定缺点和错误。因此，在有关单位的大力支持下，我们对该书进行了修订，在修订中增删了如下内容：

一、删减了原书各篇中有关基础知识的部分内容。

二、补充了较多的新型晶体管式仪表的内容，电子管式仪表的内容则略有删节。

三、增加了一章介绍电动调节器的内容。

参加本书编写工作的有潘其光、张吉峰、李祖德、刘华文、余永年、张永康、殷中石、袁国光等同志；参加本书修订工作的有潘其光、马壮宇、向婉成、徐殿军、徐延漪、李士春、刘铁生、姜培楹等同志。在本书第一版出版之后，许多读者来信提出了很多宝贵意见。在本书编写和修订的过程中，均得到有关单位和同志们的大力支持。在此一并致以衷心的感谢。

由于我们的水平所限，加之缺乏深入细致的调查研究，书中可能仍有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

目 录

绪论	7
----------	---

第一篇 电子电位差计的测量桥路

第一章 热电偶概述	9
§ 1-1 热电偶的测温原理	9
§ 1-2 热电偶的使用	9
§ 1-3 热电偶补偿导线	12
§ 1-4 热电偶使用中的注意事项	13
§ 1-5 热电偶的故障及其修复	13
第二章 测量桥路	15
§ 2-1 测量桥路的基本原理	15
§ 2-2 电子电位差计中的测量桥路	15
§ 2-3 电子电位差计的量程改变	18
§ 2-4 测量桥路的计算	23
§ 2-5 常见测量桥路实例	28
§ 2-6 测量桥路的检修	58
第三章 测量桥路用稳压电源	63
§ 3-1 硅稳压二极管的稳压原理	63
§ 3-2 稳压电源的分析与计算	64
§ 3-3 稳压电源的制作与调试	70
§ 3-4 稳压电源的检修	74
§ 3-5 介绍几种稳压电源	75

第二篇 电子电位差计中的电子放大器

第一章 电子放大器的工作原理	80
§ 1-1 变流级	81
§ 1-2 电压放大级	83
§ 1-3 功率放大级	91
§ 1-4 几种国产电子放大器的线路及其特点	93
第二章 电子放大器的主要部件	105
§ 2-1 振动变流器	105
§ 2-2 输入变压器	108
§ 2-3 电源变压器	112
第三章 电子放大器的测试及检修	121
§ 3-1 电子放大器的主要技术指标及测试方法	121
§ 3-2 电子放大器的检修	123

第三篇 电子电位差计中的晶体管放大器

第一章 JF-12 型放大器的结构和工作原理	128
§ 1-1 概述	128

§ 1-2	变流器	131
§ 1-3	输入变压器	136
§ 1-4	电压放大级	138
§ 1-5	晶体管滤波器	142
§ 1-6	耦合变压器	143
§ 1-7	功率放大级	145
§ 1-8	整流电源	149
§ 1-9	JF-12 型放大器线路介绍	149
第二章	JF-12 型放大器的检修	168
§ 2-1	放大器的主要技术指标	168
§ 2-2	主要技术指标的测试	169
§ 2-3	JF-12 型放大器的检修	171

第四篇 电子电位差计中的微电机

第一章	可逆电动机	177
§ 1-1	可逆电动机的基本原理及结构	177
§ 1-2	ND 型和 ND-D 型可逆电动机	182
§ 1-3	ND 型可逆电动机的测试及检修	184
第二章	测速发电机	187
§ 2-1	基本原理和结构	187
§ 2-2	输出特性及消除误差的措施	189
§ 2-3	ND-F-08 型和 ND-F-09 型伺服-测速机组	190
§ 2-4	测速发电机的测试及维修	192
第三章	同步电动机	194
§ 3-1	反应式同步电动机	194
§ 3-2	永磁式同步电动机	196
§ 3-3	磁滞式同步电动机	202

第五篇 电子电位差计的干扰和抗干扰

第一章	干扰对电子电位差计工作的影响及干扰来源的分析	205
§ 1-1	干扰对电子电位差计工作的影响	205
§ 1-2	干扰来源的分析	206
第二章	抗干扰措施	213
§ 2-1	抗端间干扰的措施	213
§ 2-2	抗对地干扰的措施	218
§ 2-3	新型电子电位差计的抗干扰措施	221
§ 2-4	抗干扰性能的测试	226

第六篇 电子电位差计的检修

第一章	电子电位差计的安装和维护	229
§ 1-1	安装注意事项	229
§ 1-2	仪表的使用与维护	230
第二章	电子电位差计的检定	239
§ 2-1	主要技术指标	239
§ 2-2	检定时所需的标准仪器及设备	239
§ 2-3	检定方法	240

第三章	电子电位差计的专用测试设备	244
§ 3-1	正弦波发生器	244
§ 3-2	振动变流器测试仪	245
§ 3-3	DF 型放大器测试仪	247
§ 3-4	JF-12 型晶体管放大器测试仪	250
§ 3-5	ND 型可逆电动机测试仪	252
§ 3-6	综合测试仪	254
第四章	电子电位差计的检修	257
§ 4-1	检修时的注意事项	257
§ 4-2	检修方法	257

第七篇 旧型电子电位差计的改进

第一章	测量桥路用稳压电源供电	270
§ 1-1	在测量桥路中改装稳压电源的步骤	270
§ 1-2	稳压电源用的电源变压器	270
§ 1-3	稳压电源输出电流的调整	271
§ 1-4	稳压电源引入的干扰及其排除	273
第二章	抗干扰性能的改进	274
§ 2-1	在旧型电子电位差计中影响抗干扰性能的因素	274
§ 2-2	提高抗干扰能力的措施	275
§ 2-3	改进后的效果	278
第三章	LU6 型电子电位差计的改进	282
§ 3-1	测量桥路的改进	282
§ 3-2	电子放大器的改进	285
§ 3-3	机械结构方面的改进	287

第八篇 电动调节器

第一章	调节器及其比例、积分、微分调节作用	290
§ 1-1	自动调节系统中的调节器	290
§ 1-2	比例、积分、微分调节作用	291
第二章	电动 P·I·D 调节器的工作原理、结构及检修	298
§ 2-1	电动 P·I·D 调节器概述	299
§ 2-2	设定发讯装置和滤波单元	302
§ 2-3	TF-10A 调节放大器的结构及其工作原理	303
§ 2-4	P·I·D 阻容反馈运算单元	310
§ 2-5	手动输出和手动-自动跟踪电路	315
§ 2-6	电动 P·I·D 调节器的调校	316
§ 2-7	电动 P·I·D 调节器故障的检修	321

附 录

附录一	温度与毫伏对照表(分度表)	324
附录二	晶体管自动平衡式显示仪表型号命名	334
附录三	电子电位差计线路图介绍	336

绪 论

随着我国社会主义革命和社会主义建设的飞跃发展,电子自动平衡式显示仪表在各工业部门得到愈来愈广泛的应用。它配用不同的检测仪表,可用于测量各种不同的参量,如在电工测量方面可测量电压、电流、功率、频率等;在热工测量方面可测量温度、流量、压力、真空度等;在测量化学量方面可测量化学成分、浓度、酸度等。显示仪表并可附加各种调节器、计数器、电阻发讯装置等,这样就扩大了仪表的使用范围。

自无产阶级文化大革命以来,显示仪表发展很快,我国已制定出了新的电子自动平衡式显示仪表系列型谱,采用了新的命名(见附录一)。各系列新型仪表都已投入了大量生产和使用。电子自动平衡式显示仪表按其外形、结构及所起的作用(指示或记录)主要分为十个系列:

- XA 系列: 条形指示(调节)仪;
- XB 系列: 大形圆图记录(调节)仪;
- XC 系列: 大形长图记录(调节)仪;
- XD 系列: 小形长图记录(调节)仪;
- XE 系列: 小形圆标尺指示(调节)仪;
- XF 系列: 中形长图记录(调节)仪;
- XG 系列: 中形圆图记录(调节)仪;
- XH 系列: 旋转刻度指示仪;
- XX 系列: 携带式长图记录仪;
- XT 系列: 台式长图记录仪。

各个系列仪表并大致可分以下几种基型品种:

1. 单针指示或指示及记录;
2. 双笔记录及指示;
3. 多点打印记录或多点打印单针指示(分手动和自动);
4. 单针指示或单针指示记录电动调节;
5. 单针指示或单针指示记录气动调节;
6. 旋转刻度指示。

每个基型品种中按测量线路的不同又可分为四种主要变型:

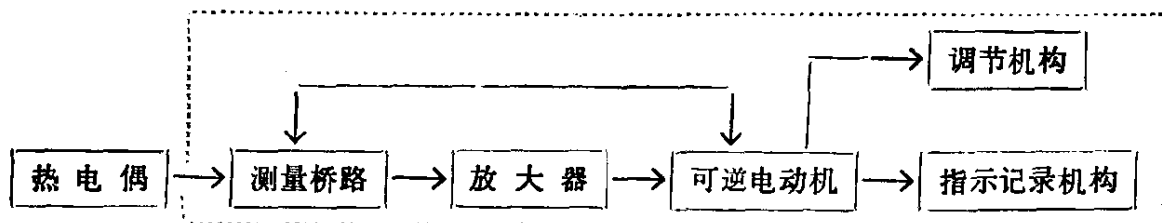
- (1) 直流电位差计电路;
- (2) 直流电桥电路;
- (3) 交流电桥电路;
- (4) 交流电压平衡电路。

每个变型品种还可分别增带各种附加装置,以满足各种使用要求。

本书所写内容,仅限于介绍和热电偶配套使用而用来测量温度的电子电位差计,其中

包括全国统一设计的晶体管电子电位差计，如 XWB、XWC、XWD 等新型仪表；同时也收集了文化大革命前所生产的 LU 3a、LU6、EWX、EWP、EWC、EWY 等旧型仪表。

电子电位差计虽然品种繁多，但其原理结构基本上是相似的，如附图所示。



从原理结构图可以看出，电子电位差计主要是由测量桥路、放大器、可逆电动机、指示记录机构和调节机构所组成。它的工作原理是：从热电偶输入的直流电动势和桥路两端的直流电压相比较，比较后的差值电压（即不平衡电压）经过放大器放大后，输出足以驱动可逆电动机之功率。可逆电动机通过一组传动系统带动指示机构及其与测量桥路中滑线电阻相接触的滑动臂，从而改变了滑动臂与滑线电阻的接触位置，直至桥路与热电偶输入信号二者平衡为止。此时放大器便无功率输出，可逆电动机停止转动，桥路处于平衡状态。如果热电偶的电动势再度改变，则又产生新的不平衡电压，再经放大器加以放大，驱动可逆电动机，结果又改变了滑动臂的位置，同样直至达到新的平衡点位置为止；而与滑动臂相连的指示机构沿着有分度的标尺滑行。滑动臂的每一平衡位置对应了指针在标尺上的一定读数。

仪表附加的调节机构，主要有表面、表内定值电接点和电动调节器，前者可进行电接点位式调节，后者能对被测对象进行比例、积分、微分连续式调节来驱动执行机构，以达到生产过程中高精度自动控制。

本书对电子电位差计的主要组成部分（如测量桥路、放大器、可逆电动机、电动调节器等）从原理、结构、检修等各个方面进行了比较详细的分析，对生产实践中经常碰到的一些问题（如抗干扰、维护及检修、旧表改装以及和仪表配套使用的热电偶等）都作了专题介绍。

随着我国社会主义革命和社会主义建设的飞速发展，必将有更多的新型电子热工仪表涌现出来，而本书仅收集了有关工厂中部分产品的资料。因此，在进行仪表维护、检修或在教学过程中参考本书时，最好能和制造单位的最新产品进行对照，以弥补本书在某些内容方面的局限性。

第一篇 电子电位差计的测量桥路

第一章 热电偶概述

§ 1-1 热电偶的测温原理

在温度测量中，热电偶是一种广泛使用的测温元件，它具有结构简单、使用方便、测量精度高、测量范围宽、便于远距离传送与集中检测等优点。

很早以前，人们就发现，把两种不同的导体接成闭合回路，如果两端温度不同，在回路中就会产生热电势（图 1-1）。这两端的温度差越大，产生的热电势也越大。如果在一端接上测试仪表，另一端插在测温场所，这样就可以用热电偶测量温度。插在测温场所的一端叫热端。接在仪表的一端叫冷端（图 1-2）。应该指出，这是一种习惯称呼。在“工业热电偶技术条件 JB 913-72”中把热端和冷端分别称为工作端和自由端。

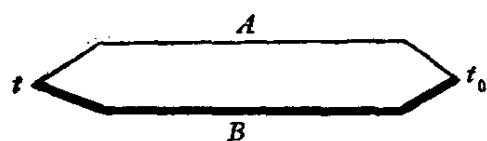


图1-1 热电偶示意图

但是并不是任何两种材料都能组成可以使用的热电偶。工业中能够使用的热电偶材料是有一定要求的。首先是材料要能抗氧化性（或还原性）气氛的侵蚀；组成的热电偶产生的热电势要大；测温范围要宽。其次，材料的电阻率和电阻温度系数要小；还有加工性良好等等。常用的热电偶有铂铑-铂、镍铬-镍硅（镍铬-镍铝）、镍铬-考铜等。

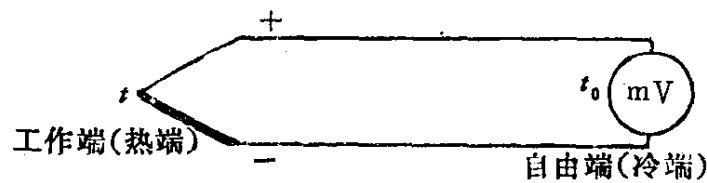


图1-2 热电偶测温原理图

§ 1-2 热电偶的使用

一、热电偶的构造

简单说来，一支工业中使用的热电偶往往由以下几部分组成（图 1-3）。

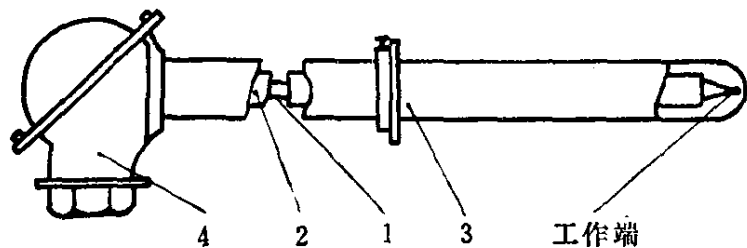


图1-3 热电偶的结构

1—热电极；2—绝缘管；3—保护管；4—接线盒。

1. 热电极：就是构成热电偶的两种金属丝。根据所用金属种类和使用条件的不同，热电极直径一般为 0.3~3.2 毫米，长度为 350 毫米至 2 米。应该指出，热电极也有用非金属材料制成的。

2. 绝缘管：用于防止两根热电极短路。绝缘管可以作成单孔、双孔和四孔的形式，

其材料见表 1-1。也可以作成填充的形式（如缆式热电偶）。

3. 保护管：为使热电偶有较长的寿命，保证测量准确度，通常热电极（连同绝缘管）装入保护管内，可以减少各种有害气体和有害物质的直接侵蚀，还可以避免火焰和气流的

表1-1 常用绝缘管材料

材 料 名 称	使用温度范围 (℃)	材 料 名 称	使用温度范围 (℃)
橡皮、塑料	60~80	石英管	0~1300
丝、干漆	0~130	瓷管	1400
氟塑料	0~250	再结晶氧化铝管	1500
玻璃丝、玻璃管	500~600	纯氧化铝管	1600~1700

直接冲击。一般根据测温范围、加热区长度、环境气氛等来选择保护管。常用保护管材料分金属和非金属两大类（见表 1-2 ）。

表1-2 常用保护管的材料

材 料 名 称	长期使用温度℃	短期使用温度℃	备 注
铜或铜合金	400		防止氧化表面镀铬或镍 同 上
无缝钢管	600		
不锈钢管	900~1000	1250	
28Cr铁（高铬铸铁）	1100		
石英管	1300	1600	
瓷管	1400	1600	
再结晶氧化铝管	1500	1700	
高纯氧化铝管	1600	1800	
硼化铝	1800	2100	

4. 接线盒：供连接热电偶和补偿导线用，接线盒多采用铝合金制成。为防止有害气体进入热电偶，接线盒出孔和盖应尽可能密封（一般用橡皮、石棉垫圈、垫片以及耐火泥等材料来封装），接线盒内热电极与补偿导线用螺钉紧固在接线板上，保证接触良好。接线处有正负标记，以便检查和接线。

二、热电偶的使用

热电偶使用中一个重要的问题是如何解决自由端温度补偿的问题。前面已经提到，热电偶中的热电势不仅与工作端温度有关，而且与自由端温度有关，常表示为 $E(t, t_1)$ 。这个符号的意思是工作端温度为 t ，自由端温度为 t_1 的热电势。例如镍铬-镍硅热电偶 $E(700, 0) = 29.13$ 毫伏。本书后面附录中列出了几种不同热电偶的分度表，就是温度、毫伏对照表。它们都是在自由端温度为 0°C 时分度的。使用时只要测出热电偶的毫伏数就可以从表中查出对应的工作端温度值。但是我们日常使用热电偶时，自由端温度往往不是 0°C ，测出的毫伏数就不能直接用分度表查出工作端的真实温度，而要用下面的公式来算出：

$$E(t, 0) = E(t, t_1) + E(t_1, 0).$$
 (1)

例如自由端温度 $t_1 = 21^{\circ}\text{C}$ ，热电偶为镍铬-镍硅，测出的是 $E(t, 21) = 28.29$ 毫伏， $E(21, 0)$ 一项从《镍铬-镍硅》分度表中查出， $E(21, 0) = 0.84$ 毫伏，于是

$$E(t, 0) = 28.29 + 0.84 = 29.13 \text{ 毫伏}.$$

再从同一表格中即可查出 $t = 700^{\circ}\text{C}$ 。可见用上述公式可换算成自由端温度为 0°C 的毫伏数 $E(t, 0)$ ，以便从分度表中查出工作端的真实温度来。

表1-3 常用热电偶特性表

热电偶名称	型号	分度号	热电极材料			电阻系数 20℃时 (欧·毫米 ² /米)	100℃ 时电势 (毫伏)	使用温度 范围(℃)		允 许 误 差 (℃)			主 要 优 缺 点	
			极性	化 学 成 分	与磁 作用			长期 使用	短期 使用	温度	误差	温度		
铂铑 ₁₀ -铂	WRLB	LB-3	正	Pt 90% Rh 10%	无	0.24	0.643	1300	1600	≤600	±3	>600	±0.5%·t ①	使用温度范围广，性能稳定， 精度高，热电势较大，宜在氧化、 中性气氛中使用 价格贵，不宜在还原性气氛中 使用
			负	Pt 100%	无	0.16								
镍铬-镍硅 (镍铬-镍铝)	WREU	EU-2	正	Cr 9~10% Mn 0.3% Si 0.6% Co 0.4~0.7% Ni余量	无	0.68	4.10	900	1200	≤400	±4	>400	±0.75%·t ①	热电势大，线性关系好，精度 较高，价格便宜，宜在还原性、 中性气氛中使用 均匀性差，线质较硬
			负	Mn 0.6% Si 2~3% Co 0.4~0.7% Ni余量	有	0.25/0.33								
镍铬-考铜	WREA	EA-2	正	Ni 90% Cr 9.7% Si 0.3%	无	0.68	6.95	600	800	≤400	±4	>400	±1%·t ①	热电势更大，灵敏度更高，价格 便宜，宜在还原性、中性气氛中 使用 均匀性差，线质较硬，负极易 氧化
			负	Ni 44% Cu 56%	无	0.47								
铁-康铜	WRTA	TA	正	Fe 100%	有	0.13	5.27	600	800	≤400	±3	>400	±0.75%·t ①	热电势大，灵敏度高，宜在还 原性气氛中使用，价格便宜 易氧化
			负	Ni 40% Cu 60%	无	0.45								
铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆	WRLL	LL-2	正	Pt 70% Rh 30%	无	0.245	0.034	1600	1800	≤600	±3	>600	±0.5%·t ①	使用温度高，范围广，性能稳 定，精度高，宜在氧化、中性气 氛中使用，冷端在40℃以下，不 用修正 价格贵，热电势小，不宜在还 原性气氛中使用
			负	Pt 94% Rh 6%	无	0.215								

① t 为热电偶工作端温度值 (℃)。

以上介绍的是热电偶的重要特性，在设计各种与热电偶配用的显示仪表时，都要考虑到自由端温度变化的补偿问题。

(1) 式还可以写成一般形式：

$$E(t, t_0) = E(t, t_1) + E(t_1, t_0),$$

即自由端温度从任意规定 t_0 起变到 t_1 ，上面公式仍然成立。

常用热电偶的特性见表 1-3。

§ 1-3 热电偶补偿导线

我们已经知道热电偶的热电势大小与工作端温度和自由端温度的差有关。从测量温度的观点看，希望自由端温度不变。但一般热电偶的自由端都距热源较近，因而其温度的波动较大。为避免这种影响，通常采用补偿导线与热电偶连接。补偿导线的作用就是将热电偶的自由端延长至距热源较远、温度比较稳定的地方。当显示仪表带有自由端温度自动补偿时，则要将补偿导线一直接到仪表上。因此，要求补偿导线在一定温度范围内（例如 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 或更大一点的范围内）其热电特性与热电偶一致，即好像又接了一段热电极，但其价格要低廉得多。这时自由端已移至补偿导线的另一端（见图 1-4）。

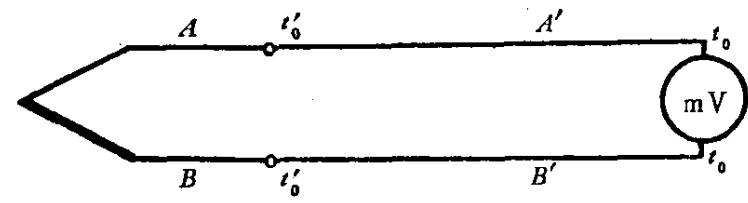


图1-4 补偿导线在测温回路中的连接
A、B—热电偶的电极；A'、B'—补偿导线；
 t_0' —热电极和补偿导线连接处的温度； t_0 —热电偶自由端的温度。

表1-4 常用热电偶补偿导线

热 电 偶 名 称	补 偿 导 线				工作端为100℃ 自由端为0℃ 时的热电势 (毫伏)
	正 极		负 极		
	材 料	颜 色	材 料	颜 色	
铂铑-铂	铜	红	镍 铜	白	0.64±0.03
镍铬-镍硅 (镍铬-镍铝)	铜	红	康 铜	白	4.10±0.15
镍铬-考铜	镍铬合金	褐 绿	考 铜	白	6.95±0.30
铁-考铜	铁	白	考 铜	白	5.75±0.25
铜-康铜	铜	红	康 铜	白	4.10±0.15

选用补偿导线应注意以下几点：

(1) 各种热电偶和所配套的补偿导线其热电特性在一定温度范围内必须一致。常用补偿导线见表 1-4。

(2) 补偿导线与热电偶一样有正负极性之分，使用时正负极不可接错，且连接热电偶两电极处应在同一温度下。

(3) 补偿导线使用的温度范围不应超过规定范围，例如 100°C 。

(4) 补偿导线在使用前应进行校验。 100°C 热电势值应符合表 1-4 中所列数值。

对规格和极性不清楚的补偿导线的简易判断法：将补偿导线的一头剥去绝缘层，将两

根导线绞合在一起放在沸水中，导线的另一端与直流电位计连接，如果测出的热电势符合表 1-4 中的数值，则与直流电位差计正端连接的电极即为正极。

§ 1-4 热电偶使用中的注意事项

(1) 热电偶和仪表分度号必须一致。

(2) 热电偶和电子电位差计不允许用铜质导线连接，而应选用与热电偶配套的补偿导线。安装时热电偶和补偿导线正负极必须相对应，补偿导线接入仪表中的输入端正负极也必须相对应，不可接错。

(3) 热电偶的补偿导线安装位置应尽量避免大功率的电源线，并应远离强磁场、强电场，否则易给仪表引入干扰。

(4) 热电偶的安装：

a) 热电偶不应装得太靠近炉门和加热源处。

b) 热电偶插入炉内深度可按实际情况而定。其工作端应尽量靠近被测物体，以保证测量准确。另一方面，为了装卸工件方便并不至于损坏热电偶，又要求工作端与被测物体有适当距离，一般不少于 100 毫米。热电偶的接线盒不应靠到炉壁上。

c) 热电偶应尽可能垂直安装，以免保护管在高温下变形；若需要水平安装时，应用耐火泥和耐热合金制成的支架支撑。

d) 热电偶保护管和炉壁之间的空隙，用绝热物质（如耐火泥或石棉绳）堵塞，以免冷热空气对流而影响测温准确性。

e) 用热电偶测量管道中的介质温度时，应注意热电偶工作端有足够的插入深度，如管道直径较小，可采取倾斜或在管道弯曲处安装。

f) 在安装瓷和氧化铝这一类保护管的热电偶时，其所选择的位置应适当，不致因加热工件的移动而损坏保护管。在插入或取出热电偶时，应避免急冷急热，以免保护管破裂。

g) 热电偶工作端的安装位置应尽可能避开强磁场和强电场，以免引入干扰。

(5) 使用热电偶时，除特殊情况外，一般不允许将热电偶从保护管中抽出而直接与测温介质接触。同时在使用时应经常检查保护管的情况，发现其表面侵蚀严重的应予更换。

(6) 用热电偶测量盐炉温度时，测温前应将热电偶放在炉旁先预热；插入盐炉中要严禁与炉壁或电极相碰；插入深度约为盐炉深度的 $1/3 \sim 1/2$ 。热电偶在使用后，自然冷却，然后用碱水将热电偶保护管洗净，放在干燥处以备下次再用。

(7) 为保证测试准确度，热电偶应定期进行校验。

§ 1-5 热电偶的故障及其修复

热电偶在使用中可能发生的故障及排除方法见表 1-5。

表1-5 热电偶的故障及其修复

序 号	故 障 现 象	可 能 的 原 因	修 复 方 法
1	热电势比实际应有的小 (仪表指示值偏低)	(1) 热电偶内部电极漏电 (2) 热电偶内部潮湿 (3) 热电偶接线盒内接线柱短路 (4) 补偿线短路 (5) 热电偶电极变质或工作端霉坏 (6) 补偿导线和热电偶不一致 (7) 补偿导线与热电极的极性接反 (8) 热电偶安装位置不当 (9) 热电偶与仪表分度不一致	(1) 将热电极取出, 检查漏电原因。若是因潮湿引起, 应将电极烘干; 若是绝缘管绝缘不良引起, 则应予更换 (2) 将热电极取出, 把热电极和保护管分别烘干, 并检查保护管是否有渗漏现象, 质量不合格则应予更换 (3) 打开接线盒, 清洁接线板, 消除造成短路原因 (4) 将短路处重新绝缘或更换补偿线 (5) 把变质部分剪去, 重新焊接工作端或更换新电极 (6) 换成与热电偶配套的补偿导线 (7) 重新改接 (8) 选取适当的安装位置 (9) 换成与仪表分度一致的热电偶
2	热电势比实际应有的大 (仪表指示值偏高)	(1) 热电偶与仪表分度不一致 (2) 补偿导线和热电偶不一致 (3) 热电偶安装位置不当	(1) 更换热电偶, 使其与仪表一致 (2) 换成与热电偶配套的补偿导线 (3) 选取正确的安装位置
3	仪表指示值不稳定 (仪表本身无故障的情况下)	(1) 接线盒内热电极和补偿导线接触不良 (2) 热电极有断续短路和断续接地现象 (3) 热电极似断非断现象 (4) 热电偶安装不牢而发生摆动 (5) 补偿导线有接地、断续短路或断路现象	(1) 打开接线盒, 重新接好并紧固 (2) 取出热电极, 找出断续短路和接地的部位, 并加以排除 (3) 取出热电极, 重新焊好电极, 经检定合格后使用, 否则应更换新的 (4) 将热电偶牢固安装 (5) 找出接地和断续的部位, 加以修复或更换补偿导线

第二章 测量桥路●

§ 2-1 测量桥路的基本原理

图 1-5 是由四个电阻组成的电桥。当 $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$ 时, $U_{AD} = 0$, 即 $I_G = 0$ 。这时电桥处于平衡状态。

假如把电桥改成图 1-6 的样子, 只要滑点在适当位置, 即 R_H 一部分属于 R_1 一臂, 另一部分属于 R_4 一臂, 也可以使电桥平衡, 即 $U_{AD} = 0$ 。平衡以后, 如果再使滑点向左或向右移动一下, 电桥就不平衡了, 存在着一个不平衡电压 U_{AD} , 检流计的指针就会不指零。这时如果在检流计支路中加进一个大小等于 U_{AD} 而极性相反的电势 E_x , 则检流计指针重又指零 (图 1-7)。在这种状态下, 电桥本身虽然不平衡, 但整个测量线路是平衡的。

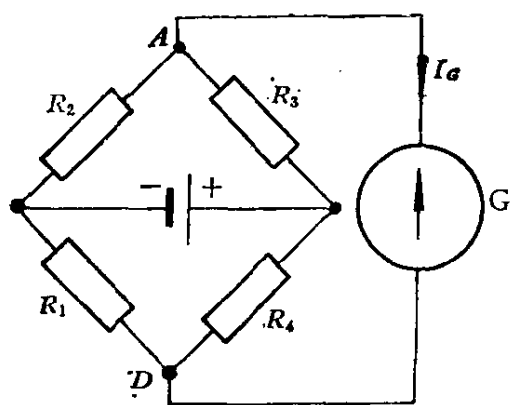


图1-5 电桥原理图

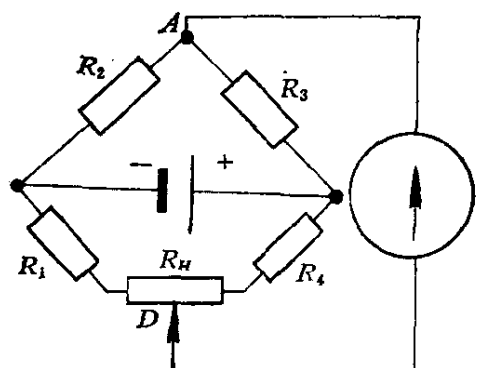


图1-6 电桥原理图

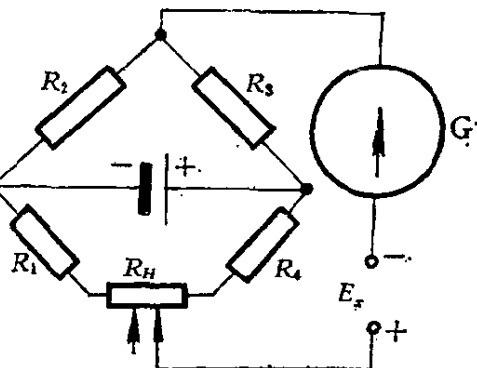


图1-7 测量桥路原理图

简单说来, 这就是电子电位差计测量线路的工作原理。当然在电子电位差计中是用电子放大器代替检流计的。后面还要详细介绍。

§ 2-2 电子电位差计中的测量桥路

一、自动平衡（补偿）原理

电子电位差计属于自动平衡式仪表。如前所述, 当加进一个被测电势 E_x 以后, 只要

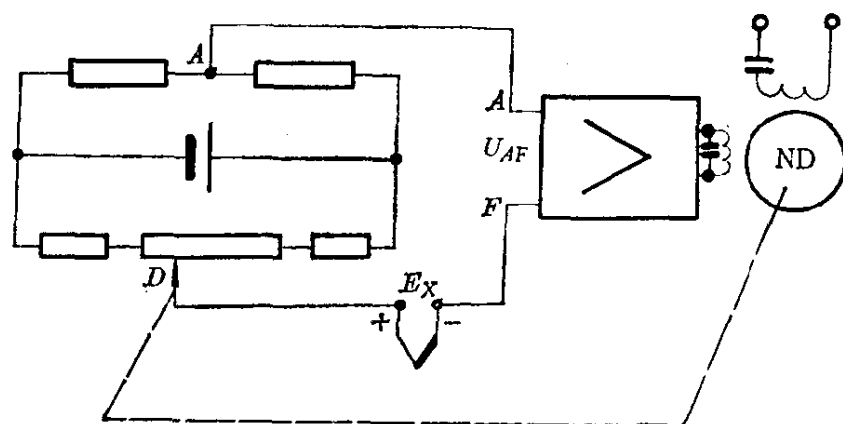


图1-8 自动补偿原理图

滑点滑到适当位置, 使 $U_{AD} = E_x$, 测量桥路即呈现平衡状态, 即 $U_{AF} = 0$ 。如果把 U_{AF} 作为放大器的输入信号, 再由放大器驱动可逆电动机而带动滑点 (见图 1-8), 那么上述过程可以自动完成。当被测电势 E_x 变化了 (即 $U_{AD} \neq E_x$) 时, 测量桥路就不再平衡了 (即 $U_{AF} \neq 0$), 这时放大器有了输入信号, 可逆电

● 应称“测量线路”, 但其主要部分是一个桥路, 故习惯上多称为“测量桥路”。

动机开始转动,通过机械传动系统带动滑点,当滑点滑到某个新的位置时,又使 $U_{AD}=E_x$, 即 $U_{AF}=0$, 这时可逆电动机不转,滑点也不动了。

二、电子电位差计的测量桥路

现在以仪表中比较实际的测量桥路(图1-9)为例,来分析一下各元件的作用。

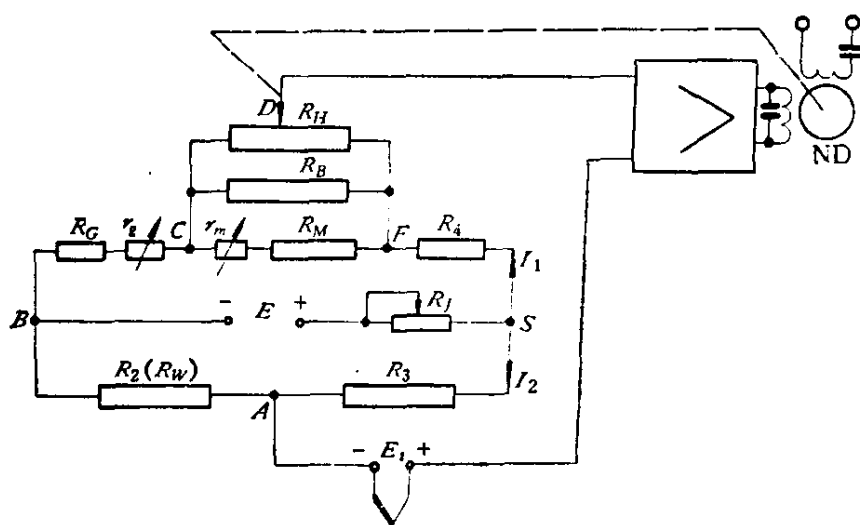


图1-9 电子电位差计测量桥路

放大器输入端电压

$$U_A = U_{DC} + U_{CB} - U_{AB} - E_{tc}$$

如测量桥路处于平衡状态,即 $U_A = 0$, 则

$$U_{DC} + U_{CB} - U_{AB} - E_t = 0 \quad (2)$$

测量桥路是怎样工作的呢? 假如热电偶热电势有了增高,即 $E_t + \Delta E_t$, 测量桥路就不再平衡,方程式(2)也不再等于零。放大器有了输入电压 U_A 存在,可逆电动机

ND 开始转动,带动滑点 D 向右移动到适当位置,即

$$(U_{DC} + \Delta U_{DC}) + U_{CB} - U_{AB} - (E_t + \Delta E_t) = 0。$$

滑点移动的同时,指针也被带动,指示出升高后的温度值。

反过来,温度降低了,出现 $E_t - \Delta E_t$, 滑点向左移动,重新平衡。指针指示出降低了的温度值。

简单说来,这就是测量桥路的工作原理。这样的测量桥路在设计时一般规定上支路电流为 4 毫安,下支路电流为 2 毫安。直流电源采用半导体稳压电源。下面分析一下各电阻的作用。并且先假定热电偶自由端温度为 0°C 。

1. $R_G + r_g$ 起始电阻(下限电阻)

当仪表指示下限时,显然 D 点应滑到最左端,即 $U_{DC} = 0$ (实际仪表中滑点不可能滑到两个端点位置,每端余 3~5%, 为分析方便暂不考虑),这时方程式(2)为

$$U_{CB} - U_{AB} - E_1 = 0,$$

即

$$U_{CB} = U_{AB} + E_1,$$

或

$$I_1(R_G + r_g) = I_2 R_W + E_1。$$

E_1 是仪表量程的下限值。下限值为零的仪表 $E_1 = 0$ 。有的仪表量程不是从 0°C 开始的。式中 I_1 、 I_2 是上、下支路工作电流,其值是一定的。 R_W 也是一定的(自由端温度一定时)。可见 $R_G + r_g$ 的大小与起始(下限)电势 E_1 大小有关。所以称 $R_G + r_g$ 为起始电阻,其中 r_g 为供微调用的电阻。

2. $R_M + r_m$ 测量范围电阻

仪表指示下限时, D 在左端。仪表指示上限时, D 在右端。可见滑线电阻 R_H 两端电压大小,代表了测量范围热电势的大小,即

$$U_{FC} = E_2 - E_1$$

式中 E_2 是仪表量程的上限值。

为什么还要另外两个电阻与 R_H 并联呢? 这是出于仪表制造方面的原因。如果只有一