

# 空调与供热的自动化

刘耀浩 主编

天津大学出版社

## 内 容 提 要

该书共分两篇。第一篇为自动检测,讲述了空调、供热与燃气工程中温度、空气相对湿度、压力、流量、液位、热流及燃烧产物常用的自动检测仪表;第二篇为自动控制,讲述了自动控制的基本知识、基本控制规律与自动化装置,以及锅炉、燃气、制冷、供热、空气调节工程的自动控制系统。

本书可作为高等学校供热通风及空调工程、燃气工程、空气调节工程等专业的教材,也可供从事采暖通风、燃气、制冷、空调、锅炉、热工、地热利用、能源利用及自动化等工作的技术人员参考。

(津)新登字 012 号

## 供热与空调的自动化

刘耀浩 主编

\*

天津大学出版社出版

(天津大学内)

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

\*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:15½ 字数:388 千字

1993 年 8 月第一版 1993 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3000

ISBN 7-5618-0514-4

TH·23

定价: 10.00 元

## 前 言

《空调与供热的自动化》一书共分两篇。第一篇为自动检测,讲述了空调、供热与燃气工程中温度、空气相对湿度、压力、流量、液位、热流及燃烧产物常用的自动检测仪表;第二篇为自动控制,讲述了自动控制的基本知识、基本控制规律与自动化装置,以及锅炉、燃气、制冷、供热、空气调节工程的自动控制系统。

本书是按照供热与空气调节及燃气专业的课程教学大纲,并在总结多年来教学、科研及生产实践的基础上编写而成。本书在取材上,努力紧密的结合我国空调、供热及燃气工程的实际情况,较多地反映了自动化生产和科研的先进技术与新成果,既重点详细讲述,便于读者自学,又力求少而精,避免重复。

本书采用了国家法定计量单位、以及有关国家专业标准,并按国家“GB2625—81”过程检测和控制流程图用图形符号及文字代号统一了控制流程图。

本书由天津大学刘耀浩副教授主编,湖南大学王昌贵副教授参加了编写。本书在编写过程中得到了有关专家及同行的指导和帮助,在此表示衷心的感谢!

本书可作为高等学校供热通风及空调工程、燃气工程、空气调节工程等专业的教材,也可供从事采暖通风、燃气、制冷、空调、锅炉、热工、地热利用、能源利用及自动化等工作的技术人员参考。

编者

93年6月

# 目 录

## 第一篇 自动检测

### 第一章 自动检测的基本知识 ..... (1)

#### 第一节 测量的基本知识 ..... (1)

一. 测量..... (1)

二. 测量过程及变换..... (1)

三. 测量的方法..... (1)

#### 第二节 测量误差的基本知识 ..... (2)

一. 真值与测量值..... (2)

二. 测量误差的表示..... (2)

三. 测量误差的分类..... (3)

四. 测量的精度..... (4)

#### 第三节 自动检测仪表的基本知识 ..... (4)

一. 自动检测仪表的基本组成..... (4)

二. 自动检测仪表的基本技术性能..... (5)

三. 自动检测仪表的分类..... (6)

### 第二章 温度自动检测仪表 ..... (7)

#### 第一节 热电偶温度计 ..... (7)

一. 热电偶测温的基本原理..... (8)

二. 热电偶的基本定律 ..... (10)

三. 热电偶的种类及结构型式 ..... (12)

四. 热电偶冷端温度补偿 ..... (15)

#### 第二节 热电阻温度计..... (18)

一. 热电阻的测温原理 ..... (18)

二. 热电阻材料与结构 ..... (19)

三. 热电阻的测量 ..... (22)

#### 第三节 热敏电阻温度计..... (24)

一. 热敏电阻测温原理 ..... (24)

二. 热敏电阻的材料与构造 ..... (25)

三. 热敏电阻温度计 ..... (26)

#### 第四节 红外温度计..... (27)

一. 辐射测温的物理基础 ..... (27)

二. 红外温度计 ..... (28)

#### 第五节 电动温度(温差)变送器 ..... (29)

一. 温度变送器的基本结构及原理 ..... (29)

二. 温度变送器的输入电路 ..... (29)

三. 自激调制式直流放大器和负反馈回路 ... (33)

#### 第六节 自动测温仪表的选用与安装..... (34)

一. 温度计的选用 ..... (34)

二. 测温元件的安装 ..... (35)

三. 连接导线与补偿导线的安装 ..... (36)

#### 第七节 动圈式温度指示仪 ..... (37)

一. 动圈式仪表测量机构的工作原理 ..... (37)

二. 动圈式仪表测量机构的组成 ..... (37)

三. 动圈式温度指示仪的测量线路 ..... (39)

#### 第八节 电子自动平衡式显示仪表 ..... (41)

一. 电子自动电位差计 ..... (41)

二. 电子自动平衡电桥 ..... (43)

三. 电子自动平衡式显示仪表的种类 ..... (44)

#### 第九节 数字式显示仪表 ..... (44)

一. 数字式显示仪表的组成 ..... (44)

二. 数字式显示仪表的种类 ..... (45)

### 第三章 空气湿度自动检测仪表..... (46)

#### 第一节 自动干湿球湿度计..... (46)

一. 测湿基本原理 ..... (46)

二. 干湿球湿度传感器 ..... (48)

三. 自动干湿球湿度计 ..... (48)

#### 第二节 氯化锂电阻式湿度变送器..... (50)

一. 氯化锂电阻测湿原理 ..... (50)

二. 氯化锂电阻式测湿传感器 ..... (50)

三. 氯化锂电阻式湿度变送器 ..... (50)

#### 第三节 氯化锂露点式相对湿度计..... (51)

一. 氯化锂露点测湿原理 ..... (51)

二. 氯化锂露点测量传感器 ..... (52)

三. 氯化锂露点式相对湿度计 ..... (53)

### 第四章 压力和压差自动检测仪表... (54)

#### 第一节 电阻式远传压力表..... (54)

一. 弹簧管测压原理 ..... (55)

二. 弹簧管压力表 ..... (56)

三. 电阻式远传压力表 ..... (56)

#### 第二节 霍尔压力变送器..... (57)

一. 霍尔效应 ..... (57)

二. 霍尔压力变送器 ..... (58)

#### 第三节 应变片压力变送器..... (59)

一. 应变片测量原理 ..... (59)

二. 应变片压力变送器 ..... (60)

#### 第四节 电动差压变送器..... (61)

一. 电动差压变送器的组成 ..... (61)

二. 电动差压变送器工作原理 ..... (62)

三. 电动差压变送器的结构 ..... (62)

#### 第五节 气动压力、差压变送器..... (63)

一. 气动仪表的基本元件及组件 ..... (63)

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 二. 气动差压、压力变送器 .....     | (65)  |
| 第六节 压力(差压)计的选用与安装 ..... | (66)  |
| 一. 压力计的选用 .....         | (66)  |
| 二. 压力(差压)计的安装 .....     | (67)  |
| 三. 压力计安装示例 .....        | (68)  |
| 第五章 流量自动检测仪表 .....      | (69)  |
| 第一节 差压式流量计 .....        | (69)  |
| 一. 节流装置的流量测量原理 .....    | (70)  |
| 二. 标准节流装置 .....         | (73)  |
| 三. 流量显示仪表 .....         | (75)  |
| 四. 差压式流量计的安装 .....      | (75)  |
| 第二节 电远传转子流量计 .....      | (76)  |
| 一. 转子流量计的工作原理 .....     | (76)  |
| 二. 电远传转子流量计 .....       | (78)  |
| 三. 转子流量计的使用 .....       | (79)  |
| 第三节 动压式流量计 .....        | (81)  |
| 一. 动压测量管的工作原理 .....     | (81)  |
| 二. 动压测量管的结构 .....       | (82)  |
| 三. 动压式流量计 .....         | (83)  |
| 第四节 涡轮流量计 .....         | (83)  |
| 一. 涡轮流量计工作原理 .....      | (83)  |
| 二. 涡轮流量变送器 .....        | (84)  |
| 三. 流量指示输出积算仪 .....      | (85)  |
| 四. 涡轮流量计的使用 .....       | (86)  |
| 第五节 椭圆齿轮流量计 .....       | (87)  |
| 一. 椭圆齿轮流量计工作原理 .....    | (87)  |
| 二. 椭圆齿轮流量计的显示原理 .....   | (88)  |
| 第六章 液位自动检测仪表 .....      | (89)  |
| 第一节 静压式液位计 .....        | (90)  |
| 一. 压力表式液位计 .....        | (90)  |
| 二. 差压式液位计 .....         | (91)  |
| 第二节 电接点数字式水位计 .....     | (93)  |
| 一. 测量原理 .....           | (93)  |
| 二. 电接点水位传感器的结构 .....    | (94)  |
| 三. 电接点数字水位显示仪 .....     | (94)  |
| 第三节 电容式液位计 .....        | (94)  |
| 一. 电容液位测量原理 .....       | (94)  |
| 二. 电容式液位计 .....         | (95)  |
| 第四节 超声波液位计 .....        | (96)  |
| 一. 基本检测原理 .....         | (96)  |
| 二. 超声波液位计的组成 .....      | (97)  |
| 第七章 热量自动检测仪表 .....      | (99)  |
| 第一节 热阻式热流计 .....        | (99)  |
| 一. 热阻式热流传感器的工作原理 .....  | (99)  |
| 二. 热阻式热流传感器的构造 .....    | (101) |
| 三. 热阻式热流显示仪 .....       | (102) |
| 四. 热阻式热流计的应用 .....      | (104) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第二节 热水热量计 .....            | (104) |
| 一. 热水热量计的测量原理 .....        | (104) |
| 二. 热水热量计运算电路原理 .....       | (105) |
| 三. 热水热量计的应用 .....          | (106) |
| 第三节 饱和蒸汽热量计 .....          | (106) |
| 一. 饱和蒸汽热量计测量原理 .....       | (107) |
| 二. 饱和蒸汽热量计电路原理 .....       | (107) |
| 三. 饱和蒸汽热量计的应用 .....        | (108) |
| 第八章 燃烧产物成分自动检测<br>仪表 ..... | (109) |
| 第一节 氧化锆氧量计 .....           | (109) |
| 一. 氧化锆的测氧原理 .....          | (109) |
| 二. 氧化锆测量管的结构 .....         | (111) |
| 三. 直插定温式测氧系统 .....         | (111) |
| 第二节 红外线气体分析器 .....         | (112) |
| 一. 红外线的基本知识 .....          | (112) |
| 二. 红外线气体分析器的工作原理 .....     | (113) |
| 三. 红外线气体分析器的组成 .....       | (114) |

## 第二篇 自动控制

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 第九章 自动控制系统基本概念 ..              | (115) |
| 第一节 自动控制系统的组成 .....            | (115) |
| 一. 人工控制的模拟和发展 .....            | (115) |
| 二. 自动控制系统的组成 .....             | (118) |
| 第二节 自动控制系统的方块图<br>及分类 .....    | (118) |
| 一. 自动控制系统的方块图 .....            | (118) |
| 二. 自动控制系统的分类 .....             | (120) |
| 第三节 自动控制系统的过渡<br>过程及品质指标 ..... | (120) |
| 一. 自动控制系统的静态和动态 .....          | (120) |
| 二. 自动控制系统的过渡过程 .....           | (121) |
| 三. 自动控制系统的品质指标 .....           | (122) |
| 第十章 被控对象及测量变送器的<br>特性 .....    | (124) |
| 第一节 被控对象的特性参数 .....            | (124) |
| 一. 放大系数 .....                  | (124) |
| 二. 滞后时间 .....                  | (125) |
| 三. 时间常数 .....                  | (126) |
| 第二节 被控对象的数字模型 .....            | (127) |
| 一. 对象微分方程式的列写 .....            | (127) |
| 二. 对象微分方程式的解及分析 .....          | (128) |
| 第三节 被控对象特性的实验测取 .....          | (130) |
| 一. 阶跃反应曲线法 .....               | (130) |
| 二. 矩形脉冲法 .....                 | (131) |
| 第四节 测量变送器的特性 .....             | (131) |

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| 一. 测量传感器的特性            | (131)        |
| 二. 变送器的特性              | (133)        |
| 三. 测量变送器的特性            | (133)        |
| <b>第十一章 基本控制规律及调节器</b> | <b>(134)</b> |
| 第一节 双位控制及其调节器          | (134)        |
| 一. 双位控制规律              | (134)        |
| 二. 实际的双位控制规律           | (135)        |
| 三. 动圈双位指示调节仪           | (136)        |
| 第二节 比例控制规律             | (137)        |
| 一. 比例控制规律及其特点          | (137)        |
| 二. 比例度                 | (138)        |
| 三. 比例度对控制过程的影响         | (139)        |
| 第三节 比例积分控制规律           | (140)        |
| 一. 积分控制规律及其特点          | (140)        |
| 二. 比例积分控制规律            | (141)        |
| 三. 积分时间对控制过程的影响        | (142)        |
| 第四节 比例微分控制规律           | (143)        |
| 一. 微分控制规律及其特点          | (143)        |
| 二. 比例微分控制规律            | (143)        |
| 三. 微分时间对过渡过程的影响        | (145)        |
| 四. 比例积分微分控制规律          | (146)        |
| 第五节 DDZ-II型电动调节器       | (147)        |
| 一. 电动调节器的组成和工作原理       | (147)        |
| 二. 调节器电路分析             | (148)        |
| 第六节 简易式电子调节器           | (151)        |
| 一. 仪表组成和功能             | (152)        |
| 二. 电子调节器的工作原理          | (152)        |
| 三. 仪表的控制规律             | (152)        |
| 四. 电子调节器的使用            | (153)        |
| 第七节 气动调节器              | (153)        |
| 一. 波纹管式气动调节器的组成        | (153)        |
| 二. 气动调节器的工作原理          | (154)        |
| <b>第十二章 执行器及其特性</b>    | <b>(155)</b> |
| 第一节 电动执行器及其特性          | (155)        |
| 一. 电动执行器组成及工作原理        | (155)        |
| 二. 电动执行器的特性            | (157)        |
| 第二节 气动执行机构及其特性         | (158)        |
| 一. 气动执行机构的组成及工作原理      | (158)        |
| 二. 气动执行机构的特性           | (158)        |
| 第三节 直通调节阀及其特性          | (159)        |
| 一. 工作原理                | (160)        |
| 二. 直通调节阀的主要类型          | (160)        |
| 三. 直通调节阀的流量特性          | (161)        |
| 第四节 三通调节阀流量特性          | (165)        |
| 一. 理想流量特性              | (165)        |
| 二. 工作流量特性              | (166)        |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 第五节 调节风门及其特性                 | (166)        |
| 一. 调节风门的种类                   | (166)        |
| 二. 调节风门的流量特性                 | (167)        |
| 第六节 电-气转换器和电-气阀门定位器          | (168)        |
| 一. 电-气转换器                    | (168)        |
| 二. 电-气阀门定位器                  | (169)        |
| <b>第十三章 简单自动控制系统的特性分析及设计</b> | <b>(170)</b> |
| 第一节 简单自动控制系统的特性分析            | (170)        |
| 一. 自动控制系统微分方程式的建立            | (170)        |
| 二. 控制系统微分方程式的解               | (172)        |
| 三. 自动控制系统特性分析                | (173)        |
| 第二节 被控变量和调节参数的选择             | (175)        |
| 一. 被控变量的选择                   | (175)        |
| 二. 调节参数的选择                   | (176)        |
| 三. 被控变量的测量                   | (176)        |
| 第三节 调节器的选择                   | (177)        |
| 一. 位式调节器                     | (177)        |
| 二. 比例调节器                     | (177)        |
| 三. 比例积分调节器                   | (178)        |
| 四. 比例积分微分调节器                 | (178)        |
| 第四节 执行器的选择                   | (178)        |
| 一. 调节阀流量特性的选择                | (178)        |
| 二. 调节阀结构类型的选择                | (180)        |
| 三. 调节阀开闭形式的选择                | (180)        |
| 四. 调节阀口径的选择                  | (180)        |
| <b>第十四章 工业锅炉的自动控制</b>        | <b>(182)</b> |
| 第一节 工业锅炉自动控制的任               | (182)        |
| 一. 工业锅炉自动控制的任                | (182)        |
| 二. 工业锅炉的自动化系统                | (182)        |
| 三. 工业锅炉自动控制系统                | (183)        |
| 第二节 锅炉给水自动控制的任               | (183)        |
| 务及特性                         | (183)        |
| 一. 工业锅炉给水控制的任                | (183)        |
| 二. 给水被控对象的动态特性               | (183)        |
| 第三节 工业锅炉给水自动控制系统             | (185)        |
| 一. 单参数给水自动控制系统               | (186)        |
| 二. 双参数给水自动控制系统               | (187)        |
| 三. 三参数给水自动控制系统               | (187)        |
| 第四节 锅炉燃烧过程自动控制的任             | (188)        |
| 务及特性                         | (188)        |
| 一. 燃烧过程自动控制的任                | (188)        |
| 二. 燃烧过程被控对象的动态特性             | (189)        |
| 第五节 锅炉燃烧过程自动控制系统             | (192)        |
| 一. 采用风煤比信号的燃烧过程              |              |

|                        |       |                          |       |
|------------------------|-------|--------------------------|-------|
| 自动控制系统 .....           | (192) | 三. 调节新、回风比及一、二次回风比 ..... | (220) |
| 二. 采用热量信号的燃烧过程         |       | 第三节 空调房间空气相对湿度           |       |
| 自动控制系统 .....           | (192) | 对象的特性 .....              | (221) |
| 三. 采用氧量信号的燃烧过程         |       | 一. 房间空气湿度对象的微分方程式 .....  | (221) |
| 自动控制系统 .....           | (193) | 二. 喷淋室露点温度反应曲线 .....     | (222) |
| 第六节 锅炉自动控制实例 .....     | (193) | 第四节 房间空气相对湿度自动           |       |
| 一. 小型快装锅炉的自动控制 .....   | (194) | 控制的方法 .....              | (223) |
| 二. 中型工业锅炉的自动控制 .....   | (195) | 一. 定露点间接控制法 .....        | (223) |
| 第十五章 集中供热系统的自动         |       | 二. 变露点直接控制法 .....        | (225) |
| 控制 .....               | (198) | 第五节 集中恒温空调系统的            |       |
| 第一节 集中采暖自动控制的任         |       | 自动控制 .....               | (225) |
| 务及方式 .....             | (198) | 一. 定露点控制的喷淋式一次           |       |
| 一. 集中采暖的自动控制任务 .....   | (198) | 回风空调系统的自动控制 .....        | (226) |
| 二. 集中供热系统的自动控制方式 ..... | (198) | 二. 定露点控制的一、二次回           |       |
| 第二节 采暖系统的自动控制方法 .....  | (199) | 风空调系统的自动控制 .....         | (227) |
| 一. 热水采暖系统的自动控制方法 ..... | (199) | 第六节 集中恒温恒湿空调             |       |
| 二. 蒸气采暖系统的自动控制方法 ..... | (200) | 系统的自动控制 .....            | (228) |
| 第三节 换热设备的自动控制 .....    | (201) | 一. 变露点喷淋式恒温恒湿            |       |
| 一. 换热器的自动控制 .....      | (201) | 空调系统的自动控制 .....          | (228) |
| 二. 蒸气加热器的自动控制 .....    | (203) | 二. 变露点水冷式表冷器恒温恒湿         |       |
| 第四节 集中供热的自动化系统 .....   | (205) | 空调系统的自动控制 .....          | (230) |
| 一. 集中热交换站的自动化系统 .....  | (206) | 第十八章 燃气燃烧设备自动            |       |
| 二. 集中供热的热力站自动化系统 ..... | (206) | 控制 .....                 | (232) |
| 第十六章 空调用制冷装置的自动        |       | 第一节 燃气工业炉温度自动控制 .....    | (232) |
| 控制 .....               | (210) | 一. 燃气工业炉温度自动控制系统 .....   | (232) |
| 第一节 蒸发器和冷凝器的自动控制 ..... | (210) | 二. 燃气工业炉燃烧自动控制系统 .....   | (233) |
| 一. 蒸发器温度的自动控制 .....    | (210) | 三. 燃气工业炉炉膛压力自动控制系统 ..... | (233) |
| 二. 冷凝器温度的自动控制 .....    | (211) | 四. 燃气工业炉的安全控制 .....      | (233) |
| 第二节 制冷压缩机的能量自动控制 ..... | (211) | 第二节 燃气锅炉燃烧系统自动控制 .....   | (233) |
| 一. 压缩机的双位控制 .....      | (211) | 一. 单独运行燃气锅炉的控制 .....     | (233) |
| 二. 压缩机的分级控制 .....      | (212) | 二. 并列运行燃气锅炉的控制 .....     | (234) |
| 第三节 制冷装置的自动保护 .....    | (213) | 第十九章 自动控制系统的整定           |       |
| 一. 排气与吸气压力自动保护 .....   | (213) | 和投运 .....                | (235) |
| 二. 润滑油压的自动保护 .....     | (214) | 第一节 调节器参数的工程整定 .....     | (235) |
| 三. 断水自动保护 .....        | (214) | 一. 临界比例度法 .....          | (235) |
| 四. 冷冻水防冻自动保护 .....     | (214) | 二. 衰减曲线法 .....           | (235) |
| 第十七章 空气调节装置的自          |       | 三. 经验试凑法 .....           | (236) |
| 动控制 .....              | (215) | 第二节 自动控制系统的投运 .....      | (237) |
| 第一节 空调房间温度对象的特性 .....  | (215) | 一. 投运的准备工作 .....         | (238) |
| 一. 房间温度对象的微分方程 .....   | (215) | 二. 自动化仪表检查 .....         | (238) |
| 二. 房间温度对象的反应曲线 .....   | (217) | 三. 调节器作用方向的确定 .....      | (238) |
| 第二节 空调房间温度自动控制         |       | 四. 手动遥控 .....            | (238) |
| 的方法 .....              | (218) | 五. 自动操作 .....            | (238) |
| 一. 控制电加热器的功率 .....     | (218) | 主要参考文献 .....             | (239) |
| 二. 控制空气加热器的热交换能力 ..... | (219) |                          |       |

# 第一篇 自动检测

## 第一章 自动检测的基本知识

空气调节与燃气工程的自动检测也称作热工测量，是指对生产过程中温度、湿度、压力、流量、液位和热量等热工参数的测量。

自动检测可及时地反映燃气与空调的热力设备及热能系统的运行工况，为运行值班人员提供操作的依据，也为热工自动化装置提供所需的信号，还为科学技术与先进设备的研究提供可靠的分析数据。因此，自动检测是保证热力设备安全、经济运行及实现热力过程自动化的必要手段，也是进行科学研究的重要工作。

### 第一节 测量的基本知识

测量技术是研究测量原理、方法和测量工具的一门科学，是人类认识事物本质所不可缺少的技术手段，所以在人类的一切活动领域中都离不开测量。

#### 一、测量

测量是人类对自然界的客观事物取得数量观念的一种认识过程。所谓测量，就是通过专门的技术工具，用试验和计算的方法，把被测量与其测量单位进行比较，求取二者的比值，从而得到被测量的数值。被测量的数值等于参与比较的测量单位乘以上述比值。实现上述比较的装置称为测量仪表，也称检测仪表。

由上可知，当进行测量时，首先要确定测量单位，其次要选用适当的测量方法和测量仪表，最后还应估计测量结果的误差。

#### 二、测量过程及变换

要知道被测参数的大小，就需要使用检测仪表来测量它的数值，而测量的关键在于被测量和测量单位的比较，但被测量能直接与测量单位进行比较的情况不多，而大多数的被测量(或测量单位)往往需要变换成某个中间量后才能便于二者比较。如用水银温度计测室温时，室温被变换成玻璃管内水银柱的热膨胀位移，测量单位是玻璃管上的刻度，这时，被测量和测量单位都变换成了线位移这样的中间量，以便直接进行比较。由此可见，通过变换可以实现测量或使测量更为方便，所以，变换是测量的核心。

所谓测量变换，就是把被测量按一定的规律转变成便于传输或处理的另一种物理量的过程。最简单也是最理想的变换规律是线性变换规律，即变换前后的参数之间成比例。

能够实现变换的元件称检测(测量)元件，即传感器。它是以一定的物理定律为基础的，可以完成一个特定的变换任务。多个测量元件的有机组合，就可构成变换器或检测仪表。检测仪表是能将被测量一直变换到观测者能直接感受的装置。

在测量中，能自动实现上述过程的测量称自动检测。它是通过对仪表的标定，将测量单位传递到仪表的刻度标尺上；被测量经变换后转换成指针的一定位移，并与标尺刻度对比、平衡后指针稳定，可进行读数。整个测量过程都是自动进行的。

#### 三、测量的方法

按照获得测量参数结果的方法不同，通常把测量方法区分为直接测量和间接测量。

### (一)直接测量

凡是被测参数直接与测量单位进行比较,其测量结果可以直接从检测仪表上获得的测量方法称为直接测量。例如使用水银温度计测量温度,可以直接从仪表上读得测量值。

### (二)间接测量

所谓间接测量就是不直接测量被测量,而是通过测量与被测量有一定关系的其他一个或几个物理量,然后通过它们之间的函数关系计算出被测量的数值。例如,空调的通风管道中空气流量就是通过测量出风道中的空气流速和风道截面积经计算而得到的。

## 第二节 测量误差的基本知识

### 一、真值与测量值

我们要进行测量的物理量,它具有客观存在的量值,这一量值就称之为真实值,用  $x_0$  表示,我们通过检测仪表测量得到的结果称为测量值,也叫仪表示值用  $x$  表示。

在实际测量工作中,总是存在着各种各样的影响因素,例如,对被测对象本质认识的局限性、测量方法不完善、测量设备不精确、测量过程中条件的变化、测量工作中的疏忽或错误以及其它偶然因素的影响等,都会使测量结果与被测量的真实值之间存在着一定的差值,这个差值就是测量误差。基于上述原因,在测量中总是存在着误差,也就是说,测量误差的存在是不可避免的。所以,客观对象实际的真实值  $x_0$  是无法测量得到的,但随着人们认识运动的推移和发展,在实践中不断改进检测仪表、测量方法以及数据处理方法,测量值  $x$  可以无限地逐渐逼近真实值  $x_0$ ,然而却不能等于真实值  $x_0$ ,因此,我们的目的就是采取各种手段来获得尽可能接近真实值  $x_0$  的测量值  $x$ ,所以,对于所得到的测量结果是否符合被测量的真实值,其可信程度如何?应该做出正确的估计,而且还要分析测量误差产生的原因及误差的性质,以便寻求消除或减小测量误差的方法,保证测量结果尽可能地接近于被测量的真实值,满足测量精确度的要求。

### 二、测量误差的表示

#### (一)示值的绝对误差

仪表的指示值(测量值) $x$  与被测量的真实值  $x_0$  之间的代数差值称为示值的绝对误差  $\Delta x$ ,即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-1)$$

被测量的真实值就是指被测量本身的真实数值,它只能是个理论值或定义值,实际上是不可知的。在误差理论中指出,对于等精度测量,即在同一条件下所进行的一系列重复测量,在排除了系统误差的前提下,当测量次数为无限多时,测量结果的算术平均值近似于真实值。通常都是以标准器所提供的标准值或以高一级的标准仪表测量值作为近似的真实值,而称为实际值。因此,示值绝对误差的数值和符号(正或负),表明了仪表的示值偏离真实值(实际值)的程度和方向。

#### (二)示值的相对误差

示值的相对误差是示值绝对误差与所取的参考值(约定值)的比值,用百分数来表示。按所取参考值(约定值)的不同,示值的相对误差有三种表示方法。

### 1、实际相对误差

仪表示值绝对误差与被测量真实值(实际值)的比值,称为示值的实际相对误差,以百分数表示为

$$\delta_0 = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

### 2、标称相对误差

仪表示值绝对误差与仪表示值(测量值)的比值,称为示值的标称相对误差,以百分数表示为

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-3)$$

### 3、引用相对误差

仪表示值绝对误差与该仪表的量程(刻度范围)的比值,称为示值的引用相对误差,以百分数表示为

$$\delta_m = \frac{\Delta x}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中  $x_{\max}$  和  $x_{\min}$  分别为仪表刻度标尺的上限值和下限值。

上述两种误差表示方法中,相对误差比绝对误差更能说明测量值(示值)的精确性。

## 三、测量误差的分类

按照测量误差产生的原因及其性质的不同,测量误差可分为疏失误差、系统误差和偶然误差三大类。对不同性质的误差可采用不同的误差处理方法。

### (一) 疏失误差

疏失误差也称为粗大误差或疏忽误差。它是由于测量过程中操作错误等主观过失或检测仪表本身的误动作而造成的测量误差。这类误差的数值很难估计,一般都会明显地歪曲测量结果。含有疏失误差的测量值称为坏值。因此,在测量工作中必须认真细心,避免发生疏失误差。对存在疏失误差的测量值应当舍弃,以免导致错误的结论。

### (二) 系统误差

在相同的条件下多次测量同一被测量时,如果误差的大小和符号是恒定的,或者是条件改变时按着一定规律变化的误差,这种误差称为系统误差。例如,由于所用的检测仪表本身不完善和测量设备、线路安装布置及调整不得当和操作不当或操作者生理及心理状况等原因而产生的误差都属于系统误差。

由于系统误差是有规律的,其产生的原因也往往是可知或能掌握的,因此可以通过实验或分析的方法,预见和查明各种系统误差的具体来源,并极力设法予以消除,或使其影响减弱到可以允许的程度。而且,还可以设法确定或估计出未能消除的系统误差的大小和符号,对测量结果进行修正。

在测量工作中,如果系统误差很小,其测量结果就是相当准确的。测量的准确度是系统误差的反映。系统误差愈小,表明测量结果与真实值愈接近,即测量的准确度愈高。

### (三) 偶然误差(又称随机误差)

在相同条件下多次测量同一被测量时,并极力消除或修正一切明显的系统误差之后,

每次测量结果仍会出现一些无规律的随机性变化，这种随机性变化误差的出现纯属偶然的，故称为偶然误差，又称随机误差。

偶然误差是由很多复杂的因素微小变化的总和引起的。它不易被发觉，也不好分析，很难于修正，但它一般都遵循正态分布规律，因此可通过数理统计的方法加以处理。

#### 四、测量的精度

测量的目的是求得被测未知量的真实值，而真实值是测量不到的，只能以不同的精度逼近真实值。测量的精度是用来描述测量值偏离真实值的程度。它与测量误差的大小相对应。因此，测量误差与测量精度客观上表示了检测仪表对于测量结果的精确性和可靠性。

精度的高低可用误差来衡量，误差小则精度高；误差大则精度低。既然精度与误差相对应，而误差按性质可分为系统误差和偶然误差，因此精度也有几种不同的表示方法。

##### (一) 准确度

准确度表示测量结果中系统误差大小的程度。它是指在规定的条件下，测量中所有系统误差的综合，系统误差越小，测量结果越准确。

##### (二) 精密度

精密度表示测量结果中偶然误差大小的程度。它是指在一定条件下，进行多次重复测量时，所得测量结果彼此间符合的程度。偶然误差越小，测量结果越精密。

##### (三) 精确度

精确度表示测量结果中系统误差与偶然误差综合大小的程度。它综合反映了测量结果与真实值的偏差程度，综合误差越小，测量结果越精确。

准确度、精密度和精确度三者之间的关系可从定义直接得到，如果测量的准确度高，那末测量的精密度也好，当然测量精确度就高；反之测量的精密度好，而其准确度差，或测量的准确度高而精密度差，其精确度必然差。

### 第三节 自动检测仪表的基本知识

#### 一、自动检测仪表的基本组成

自动检测仪表一般由测量传感器、变换器和显示装置三部分组成。它们之间的关系如图 1-1 所示。

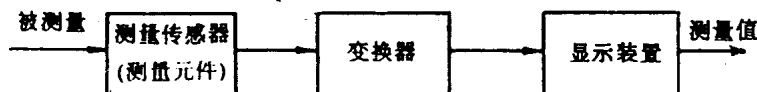


图 1-1 自动检测仪表的基本组成

##### (一) 测量传感器

测量传感器也叫测量元件或敏感元件，它是仪表与被测对象直接发生联系的部分，将决定整个仪表的测量质量。测量传感器的作用是感受被测量的变化，并将感受到的参数信号或能量形式转换成某种能被显示装置所接收的信号。测量传感器的输出信号与参数信号之间应有单值连续函数关系，最好是线性关系。

## (二) 变换器

为了将测量传感器的输出信号进行远距离传送、放大、线性化或变成统一标准信号,需要用变换器对测量传感器的输出信号作必要的加工处理。如压力表中的传动机构、差压式流量计中的电动差压变送器、开方器等都是变换器。

## (三) 显示装置

显示装置的作用是向观测者显示被测量的值。显示可以是瞬时量指示,累积指示或越限指示等,也可以是相应的记录或数字显示。对于一些简单仪表来说,上述三个部分不是都能明确划分的,而是构成一套检测仪表。

## 二、自动检测仪表的基本技术性能

自动检测仪表的质量好坏,可用它的技术性能来衡量,选择和使用检测仪表,也要用它的技术性能作依据,因此需要了解仪表的基本技术性能。衡量仪表的技术性能指标有基本误差、精度等级、仪表的变差、仪表的灵敏度和分辨力等。

### (一) 仪表的基本误差

仪表的基本误差是指在规定的技术条件下(所有影响量在规定值范围内),仪表全量程诸示值中的最大引用相对误差,即

$$\delta_j = \frac{\Delta x_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中  $\Delta x_{\max}$  是仪表全量程诸示值中的最大绝对误差值。

由于  $\Delta x_{\max}$  可能出现在仪表刻度范围内的任何一点上,被测量越是靠近刻度标尺的上限值,其实际相对误差和标称相对误差就越小,因此仪表的量程不能选择太大。为保证实际测量的精确度及考虑到使用上的安全,一般检测仪表的经常工作点(测量示值)应在仪表量程的  $2/3 \sim 3/4$  处,对压力表应有较大的安全系数,可经常工作在仪表量程的  $1/2 \sim 2/3$  处。

### (二) 仪表的精度等级

根据仪表设计和制造的质量,厂家对出厂的仪表规定了其基本误差不得超过某一允许值,这个规定的允许值称为仪表的允许误差,用  $\delta_j$  表示。

仪表的允许误差大小表明了保证该仪表的示值所能达到的精确程度。因此,一般仪表的精度等级就是按国家统一规定的允许误差大小来划分的,即用允许误差去掉百分号后的数字表示仪表的精度等级。例如,精度等级为 0.5 级的仪表,其允许误差为  $\pm 0.5\%$ ,也就是说,该仪表各点示值的绝对误差均不得超过仪表量程(刻度范围)的  $\pm 0.5\%$ 。

我国仪表工业目前采用的精度等级序列为: 0.005、0.01、0.02、(0.035)、0.04、0.05、0.1、0.2、(0.35)、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0、5.0。其中工业用仪表的精度等级一般为 0.5 级以下。通常在仪表的刻度盘上,用  $\triangle 1.5$ 、 $\odot 0.5$  等符号标示在仪表的面板上。

### (三) 仪表的变差

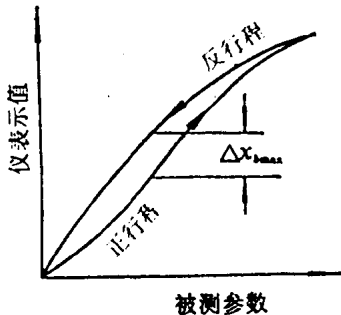
在规定的条件下,用同一仪表对被测量进行正、反行程的测量,即采用单方向逐渐增大和逐渐减小被测量的方法,使仪表从不同的方向反映同一被测量的示值,对某一测量点所得到的正、反行程两次示值之差称为该测量点上的示值变差,即

$$\Delta x_b = x' - x'' \quad (1-6)$$

式中  $\Delta x_b$ ——被测量为  $x$  测点的示值变差;

$x'$ 、 $x''$ ——被测量为  $x$  测点的仪表正、反行程示值。

在整个仪表量程范围内, 诸测点中最大示值变差称为该仪表的变差, 如图 1-2 所示。一般它也以引用相对误差的形式来表示, 即



$$\delta_b = \frac{\Delta x_{b\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中  $\Delta x_{b\max}$  是仪表量程范围内各测点中最大示值变差。

仪表产生变差的原因很多, 例如仪表运动系统的摩擦、间隙; 弹性元件的弹性滞后以及电磁元件的磁滞影响等都是仪表变差的来源。合格的仪表, 其变差不得超过仪表的允许误差。

图 1-2 检测仪表的变差

#### (四) 仪表的灵敏度

仪表输出信号的变化量  $\Delta I$  和引起这个输出变化量的被测量变化量  $\Delta x$  的比值, 称为仪表的灵敏度, 即

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta x} \quad (1-8)$$

仪表输出信号的变化量  $\Delta I$ , 可以是指针直线位移或偏转角的模拟量变化, 或者是数字显示仪表的数字量变化。

仪表的灵敏度是表示仪表对下限测量值反应能力的指标, 仪表的灵敏度越高, 其示值的位数越多, 能反应的被测量值也越小。但是, 仪表的灵敏度应与仪表的允许误差相适应, 如果不适当地提高仪表的灵敏度, 反而可能导致其精确度的下降。而且, 把示值位数增多至小于仪表允许误差的精确程度也是毫无意义的。因此, 通常规定仪表刻度标尺上的分格值不应小于仪表允许误差的绝对值。

#### (五) 仪表的分辨力

仪表响应输入量微小变化的能力称为仪表的分辨力, 常用分辨率或灵敏限来表示。分辨力是指能引起仪表指示器发生可见变化的被测量的最小变化量。

仪表的分辨力不足将会引起分辨误差, 即在被测量变化到某一数值时, 仪表示值仍不变化, 这个不能引起输出变化的输入信号的最大幅度, 称为仪表的不灵敏区(或死区)。

分辨率与灵敏度都与仪表的量程有关, 并和仪表的精度等级相适应。一般仪表的分辨力(灵敏限)应不大于仪表允许误差绝对值的二分之一。

### 三、自动检测仪表的分类

自动检测仪表的种类繁多, 依据所测物理量的不同, 可分为温度、湿度、压力(压差)、液位、流量、热量和燃烧产物成分分析等仪表; 依据仪表的显示功能不同, 可分为指示式、记录式、积算式、信号报警式和调节指示式仪表等; 按仪表采用的信号能源不同, 有气动式、电动式和电子式仪表等; 按仪表的结构情况不同, 可分为基地式和单元组合式仪表等; 按仪表的安装地点不同, 可分为就地式和远距离传送式仪表等。

## 第二章 温度自动检测仪表

温度是空调与燃气工程中一个非常重要的参数，因此温度的测量是必不可少的。

温度反映了周围环境或物体冷热的程度，但它不能直接加以测量，只能借助于冷热不同物体之间的热交换以及物体的某些物理性质随冷热程度不同而变化的特性来加以间接测量。

热力学定律指出，当任意两个冷热程度不同的物体相接触时，必然发生热交换现象。热量将由冷热程度较高的物体传向冷热程度较低的物体，直至两物体的冷热程度达到一致，即处于热平衡状态。根据这一原理，我们就选择某一物体同被测物质相接触来测量该物质的温度。而所选择物体的某一种物理量(如液体的体积、导体的电阻等)必须是连续地、单值地随温度变化而变化，并且复现性好。当两者相接触达到热平衡状态时，所选择的物体与被测物质的温度就相同，于是通过对所选择物体的某一物理量的测量，即可得出被测物质的温度值，这是接触法测温原理。还有非接触法测温。

物体的温度是用专门的仪器—温度计来进行测量的。目前，在不同的测温范围和不同的使用场合已经用于测温的物质和由它们制成的温度计有下列几种类型：

1. 利用液体或固体热胀冷缩的特性，以液体的体积变化或固体的变形来测量温度，如玻璃管液体温度计和双金属温度计等。
2. 利用液体或气体在定容下热胀冷缩后的压力变化或某种液体的饱和蒸汽压力随温度变化的特性来测量温度，如充液、充气和充蒸汽的压力表式温度计。
3. 利用导体或半导体热电效应的特性来测量温度，如热电偶温度计。
4. 利用导体或半导体的电阻随温度而变化的特性来测量温度，如热电阻温度计。
5. 利用物体热辐射强度随温度而变化的特性来测量温度，如光学高温计、光电高温计、全辐射式高温计、红外温度计等。

### 第一节 热电偶温度计

热电偶温度计是以热电效应为基础的测温仪表。它用热电偶作为传感器，把被测的温度信号转换成电势信号，经连接导线再配以测量毫伏级电压信号的显示仪表来实现温度的测量，如图 2-1 所示。

热电偶温度计能测量较高的温度；便于远距离传送和多点测量；性能稳定、准确可靠；结构简单、维护方便；热容量和热惯性小，可用来测量点的温度或表面温度，所以在工业生产和科学研究、空调与燃气工程中应用广泛。

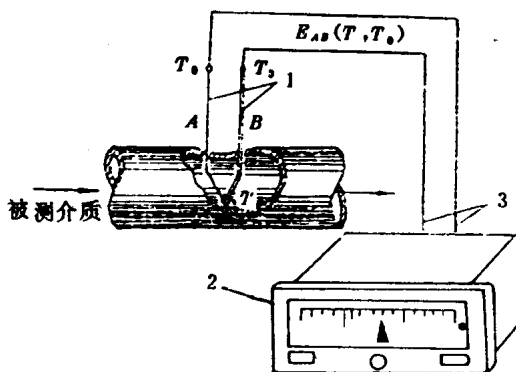


图 2-1 热电偶温度计

1—热电偶； 2—显示仪表； 3—连接导线

## 一、热电偶测温的基本原理

### (一) 热电偶和热电效应

热电偶作为温度测量传感器所依据的原理, 是 1823 年塞贝克发现的热电效应。

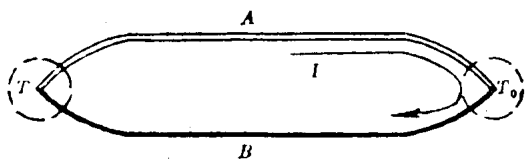


图 2-2 热电效应示意图

当两种不同的导体或半导体  $A$  和  $B$  的两端相接成闭合回路, 就组成热电偶, 如图 2-2 所示。如果  $A$  和  $B$  的两个接点温度不同(假定  $T > T_0$ ), 则在该回路中就会产生电流, 这表明了该回路中存在电动势, 这个物理现象称为热电效应或塞贝克

效应, 相应的电动势称为塞贝克电势, 简称为热电势。显然, 回路中产生的热电势大小仅与组成回路的两种导体或半导体  $A$ 、 $B$  的材料性质及两个接点的温度  $T$ 、 $T_0$  有关。热电势用符号  $E_{AB}(T, T_0)$  表示。

### (二) 热电偶工作原理

组成热电偶的两种不同的导体或半导体称为热电极; 放置在被测温度为  $T$  的介质中接点叫做测量端(或工作端, 热端); 另一个接点通常置于某个恒定的温度  $T_0$ (如  $0^\circ\text{C}$ ), 叫做参比端(或自由端、冷端)。

在热电偶回路中, 产生的热电势由两部分组成, 即温差电势和接触电势。

#### 1. 温差电势

温差电势是同一导体两端因其温度不同而产生的一种热电势。由物理学电子论的观点知道, 当一根均质金属导体  $A$  上存在温度梯度时, 处于高温端的电子能量比低温端的电子能量大, 所以, 从高温端向低温端扩散的电子数比从低温端向高温端扩散的电子数要多得多, 结果高温端因失去电子而带正电, 低温端因得到电子而带负电, 在高、低温两端之间便形成一个从高温端指向低温端的静电场  $E_s$ , 如图 2-3 所示。这个静电场将阻止电子继续从高温端向低温端扩散, 并加速电子向相反的方向转移而建立相对的动态平衡。此时, 在导体两端产生的电位差称为温差电势。用符号  $E_A(T, T_0)$  表示导体  $A$  在其两端温度分别为  $T$  和  $T_0$  时的温差电势, 括号中温度  $T$  和  $T_0$  的顺序决定了电势的方向, 若改变这一顺序, 也要相应改变电势的正负号, 即  $E_A(T, T_0) = -E_A(T_0, T)$ 。

温差电势  $E_A(T, T_0)$  可用下式表示

$$E_A(T, T_0) = \frac{K}{e} \int_{T_0}^T \frac{1}{N_A(T)} d[N_A(T) \cdot T] \quad (2-1)$$

同理, 导体  $B$  在其两端温度为  $T$  和  $T_0$  时产生的温差电势  $E_B(T, T_0)$  写为:

$$E_B(T, T_0) = \frac{K}{e} \int_{T_0}^T \frac{1}{N_B(T)} d[N_B(T) \cdot T] \quad (2-2)$$

式中  $E_A(T, T_0)$  和  $E_B(T, T_0)$ ——导体  $A$  和导体  $B$  在两端温度分别为  $T$  和  $T_0$  时的温差电势;

$e$ ——电子电荷量,  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ;

$K$ ——波尔兹曼常数,  $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ;

$N_A$  和  $N_B$ ——导体  $A$  和  $B$  的电子密度, 均为温度的函数。

上述两式表明温差电势的大小只与导体的种类及导体两端温度  $T$  和  $T_0$  有关。

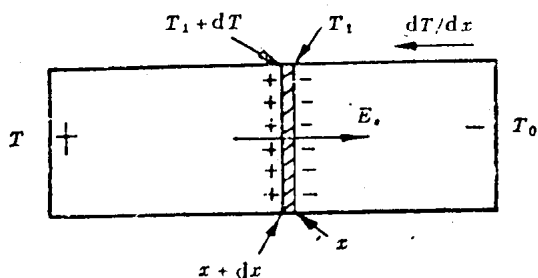


图 2-3 温差电势原理

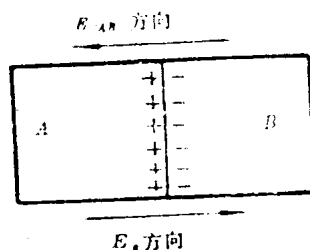


图 2-4 接触电势原理

## 2. 接触电势

接触电势是在两种不同的导体相接触处产生的一种热电势。由物理学电子论的观点知道，任何金属内部由于电子与晶格内正电荷间的相互作用，使得电子在通常温度下只作不规则的热运动，而不会从金属中挣脱出来。要想从金属中取出电子就必须消耗一定的功，这个功称为金属的逸出功。当两种不同的金属导体  $A$ 、 $B$  连接在一起时，其接触处将会发生自由电子扩散的现象，其原因之一是两种金属的逸出功不同。假如金属导体  $A$  的逸出功比  $B$  的逸出功小，电子就比较容易从金属  $A$  转移到金属  $B$ ；另一原因是两种金属导体的自由电子密度略有不同，假如金属导体  $A$  的自由电子密度比  $B$  的自由电子密度大，在单位时间内由金属  $A$  扩散到金属  $B$  的电子数就要比由金属  $B$  扩散到金属  $A$  的电子数多。在上述情况下，金属  $A$  将因失去电子而带正电，金属  $B$  则因得到电子而带负电。于是在金属导体  $A$ 、 $B$  之间就产生了电位差，即在其接触处形成一个由  $A$  到  $B$  的静电场  $E_s$ ，如图 2-4 所示。这个静电场将阻止电子扩散的继续进行，并加速电子向相反的方向转移。当电子扩散的能力与静电场的阻力相平衡时，接触处的自由电子扩散就达到了动平衡状态。此时  $A$ 、 $B$  之间所形成的电位差称为接触电势，其数值不仅取决于两种不同金属导体的性质，还和接触处的温度有关。用符号  $E_{AB}(T)$  表示金属导体  $A$  和  $B$  的接触点在温度为  $T$  时的接触电势，其脚注  $AB$  的顺序代表电位差的方向，如果改变脚注顺序，电势的正负符号也应改变，即  $E_{BA}(T) = -E_{AB}(T)$ 。

接触电势  $E_{AB}(T)$  可用下式表示

$$E_{AB}(T) = \frac{KT}{e} \ln \frac{N_A(T)}{N_B(T)} \quad (2-3)$$

同理，导体  $A$  和  $B$  接触点温度为  $T_0$  时的接触电势  $E_{AB}(T_0)$  可表示为

$$E_{AB}(T_0) = \frac{KT_0}{e} \ln \frac{N_A(T_0)}{N_B(T_0)} \quad (2-4)$$

式中  $K$ ——波尔兹曼常数， $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ；

$e$ ——单位电荷量， $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ；

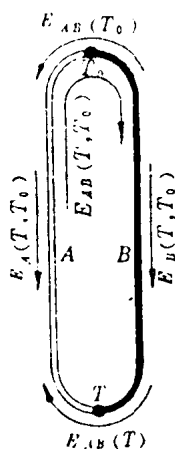
$T$  和  $T_0$ ——金属导体  $A$  和  $B$  接触点的温度， $\text{K}$ ；

$N_A(T)$  和  $N_B(T)$ ——金属导体  $A$  和  $B$  在温度为  $T$  时的电子密度；

$N_A(T_0)$ 和 $N_B(T_0)$ ——金属导体 $A$ 和 $B$ 在温度为 $T_0$ 时的电子密度。

上述两式表明, 接触电势的大小与两种导体的种类及接触处的温度有关。

### 3. 热电偶回路的热电势



综上所述, 当两种不同的均质导体 $A$ 和 $B$ 首尾相接组成闭合回路时, 如果 $N_A > N_B$ , 而且 $T > T_0$ , 则在这个回路内, 将会产生两个接触电势 $E_{AB}(T)$ 、 $E_{AB}(T_0)$ 和两个温差电势 $E_A(T, T_0)$ 、 $E_B(T, T_0)$ , 如图 2-5 所示。热电偶回路的热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 为

$$\begin{aligned} E_{AB}(T, T_0) &= E_{AB}(T) + E_B(T, T_0) - E_{AB}(T_0) - E_A(T, T_0) \\ &= \frac{KT}{e} \ln \frac{N_A(T)}{N_B(T)} + \frac{K}{e} \int_{T_0}^T \frac{1}{N_B(T)} d[N_B(T) \cdot T] \\ &\quad - \frac{KT_0}{e} \ln \frac{N_A(T_0)}{N_B(T_0)} - \frac{K}{e} \int_{T_0}^T \frac{1}{N_A(T)} d[N_A(T) \cdot T] \quad (2-5) \end{aligned}$$

将式(2-5)整理后可得

$$E_{AB}(T, T_0) = \frac{K}{e} \int_{T_0}^T \ln \frac{N_A(T)}{N_B(T)} dT \quad (2-6)$$

图 2-5 热电偶回路的热电势

由于温差电势比接触电势小, 而又有 $T > T_0$ , 所以在总电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 中, 以导体 $A$ 、 $B$ 在 $T$ 端的接触电势 $E_{AB}(T)$ 所占的比例最大, 总电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 的方向将取决于 $E_{AB}(T)$ 的方向。在热电偶的回路中, 因 $N_A > N_B$ , 所以导体 $A$ 为正极,  $B$ 为负极。

式(2-6)表明, 热电势的大小取决于热电偶两个热电极材料的性质和两端接点的温度。因此, 当热电极的材料一定时, 热电偶的总电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 就仅是两个接点温度 $T$ 和 $T_0$ 的函数差, 可用下式表示为

$$E_{AB}(T, T_0) = f_{AB}(T) - f_{AB}(T_0) \quad (2-7)$$

如果能保持热电偶的冷端温度 $T_0$ 协定, 对一定的热电偶材料, 则 $f(T_0)$ 亦为常数, 可用 $C$ 代替, 其热电势就只与热电偶测量端的温度 $T$ 成单值函数关系, 即

$$E_{AB}(T, T_0) = f_{AB}(T) - C = \varphi_{AB}(T) \quad (2-8)$$

这一关系式可通过实验方法获得。在实际测温中, 就是保持热电偶冷端温度 $T_0$ 为恒定的已知温度, 再用显示仪表测出热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ , 而间接地求得热电偶测量端的温度, 即为被测的温度 $T$ 。

通常, 热电偶的热电势与温度的关系, 都是规定热电偶冷端温度为 $0^\circ\text{C}$ 时, 按热电偶的不同种类, 分别列成表格形式, 这些表格就称为热电偶的分度表。

## 二、热电偶的基本定律

在使用热电偶测量温度时, 还必须应用热电偶的基本定律。

### (一) 均质导体定律

凡是由一种均质导体(或半导体)组成的闭合回路, 不论导体(或半导体)的截面和长度