

第二版

仪表工试题集

现场仪表分册

● 朱炳兴 王 森 主编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

仪表工试题集

第二版

现场仪表分册

朱炳兴 王 森 主编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

仪表工试题集. 现场仪表分册/朱炳兴, 王森主编.
2 版. —北京: 化学工业出版社, 2002.5
ISBN 7-5025-3795-3

I. 仪… II. ①朱… ②王… III. ①热工仪表-试题
②调节阀-试题 IV. ①TH81-44 ②TH134-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 022102 号

仪表工试题集

第二版

现场仪表分册

朱炳兴 王森 主编

责任编辑: 刘哲

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 16¹/₂ 字数 553 千字

2002 年 7 月第 2 版 2002 年 7 月北京第 4 次印刷

ISBN 7-5025-3795-3/TP·308

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

一

《仪表工试题集》初次出版是在 1985 年，由《化工自动化及仪表》编辑部以杂志增刊形式发行。1993 年，经修订、补写后由化学工业出版社正式出版（第一版）。2002 年，经再次修订、补写，《仪表工试题集》（第二版）又和读者见面了。

《仪表工试题集》曾受到广大读者的认可和厚爱，累计发行 85000 多套，石油化工行业的仪表工人和技术人员几乎人手一册，在其他行业的仪表人员中也产生了良好反响。究其原因，我想主要有两点：其一是它的内容丰富，形式活泼，针对性、实用性强；其二，它不是一般意义上考试题的汇集，而是以试题形式编写的一本培训教材和参考工具书，它的内容是完整连贯的，系统性强，资料性强，因而广受欢迎，历久不衰。

这应归功于 200 多位作者的集体劳作，特别是众多现场技术人员的热心参与，归功于数十名修订、补写者 16 年来坚持不懈的辛勤耕耘，才使之日臻完善和充实。

二

从 1993 年至今已有 9 年时间，此间仪表更新换代迅速，我国的有关标准变化也较大，第一版内容已不能适应读者的要求，在化学工业出版社的指导下，从 1999 年冬季开始，我们组织力量着手进行修订，历时 3 年，逐步完成。这次修订的指导思想和重点是：

- ① 大幅度地补充新型仪表和控制装置的内容，以适应当前和今后一段时间内的需要。
- ② 采用最新国家标准和现行国际标准。
- ③ 突出重点，求新求精。考虑到原试题集已经普及，除量大面广的常用仪表和新型仪表外，其他内容不再与第一版重复，避免面面俱到，泛而不深。
- ④ 结构上做了调整，分为三个分册（现场仪表分册、控制仪表分册、分析仪表分册）陆续出版发行，各分册自成体系，与现场仪表人员的专业分工相对应，使其各取所需，灵活选购。

三

现场仪表分册内容上分为 8 个部分，收录试题 1280 多道，其中一版保留题约 780 题，新编 500 多题。对保留题，逐一审核，内容上大多作了修改、补充。新编题主要介绍智能变送器、现场总线仪表、质量和超声波流量计、雷达和超声波液位计、智能和无纸记录仪、新的节流装置和调节阀计算方法、ITS-90 新温标、IEC 和 NEC 防爆标准、IEC 和 NEMA 防护等级、ISO 和 NPT 螺纹、DIN 和 ANSI 管法兰等。

参加现场仪表分册修订和编写的人员有朱炳兴（第 1~6 部分）、王森（第 7、8 部分）。杨金城、钱锡坤、袁涛、李剑辉、李桂芝、宗计富也参加了部分内容的编写。

本分册主编朱炳兴，1961 年毕业于莫斯科石油学院生产过程自动化专业，先后在兰州炼油厂、长岭炼油厂、镇海炼油厂从事仪表自动化工作达 35 年之久，现场经验十分丰富，

从1984年开始，先后参加试题集一版、二版编写和审定工作，著有《变送器选用和维护》一书（化学工业出版社2001年出版），并在专业杂志发表论文数十篇。

限于知识面和水平，书中可能存在错误和缺欠之处，欢迎大家批评指正。

借此机会，对《仪表工试题集》的全体新老作者，对给予本书热情帮助的所有同志，表示诚挚的感谢！

王 森

2002年4月

内 容 提 要

本书以试题的形式,较为详细地介绍了压力、流量、物位、温度等检测仪表,以及显示仪表和调节阀的原理、结构、选用、安装、调校、维修知识。与第一版相比,较大幅度地增加了新型仪表方面的内容,并按最新国家标准和现行国际标准对第一版进行了修订。全书共分8个部分,收录试题1280多道,每题均附有参考答案。

本书适用于石油、天然气、化工、制药、冶金、电力、建材、轻工、城市给排水和城市煤气等行业的仪表维修工人培训和考核,对仪表及自动化专业的工程技术人员和院校师生也有参考价值。

目 录

1. 测量误差和仪表的质量指标

1.1 测量误差	1
1.2 仪表的质量指标	4

2. 差压、压力的检测和变送

2.1 压力测量与压力单位	9
2.2 模拟式变送器	10
2.3 智能变送器	20
2.4 现场总线型变送器	32
2.5 法兰式变送器	35
2.6 压力仪表	40
2.7 差压、压力仪表的安装	46

3. 流量测量仪表

3.1 流量单位与基本物理参数	52
3.2 标准和非标准节流装置	55
3.3 节流装置的设计计算	58
3.4 差压式孔板流量计的使用	63
3.5 转子流量计	68
3.6 旋涡流量计	73
3.7 容积式流量计	78
3.8 涡轮流量计	81
3.9 电磁流量计	85
3.10 质量流量计	87
3.11 超声波流量计	91
3.12 测速管流量计	97
3.13 其他流量计	100
3.14 流量标定装置	105
3.15 流量仪表的选用	108

4. 物位测量仪表

4.1 静压式液位计	111
4.2 浮力式液位计	119

4.3	雷达液位计	125
4.4	超声波物位计	127
4.5	核辐射式物位计	131
4.6	电容式物位计	134
4.7	其他物位计	136
4.8	物位仪表的选用与安装	139

5. 温度测量仪表

5.1	温标及其换算	143
5.2	热电偶	144
5.3	热电阻	152
5.4	温度变送器	155
5.5	膨胀式温度计	159
5.6	非接触温度计	161
5.7	温度仪表的选用和安装	162

6. 显示仪表

6.1	动圈式显示仪表	166
6.2	自动平衡式显示仪表	173
6.3	数字式显示仪表	184
6.4	智能显示仪表	187
6.5	无纸记录仪表	194

7. 调节阀

7.1	结构与类型	198
7.2	调节阀的特性分析	208
7.3	流量系数和口径计算	211
7.4	调节阀的选择	217
7.5	辅助装置	221
7.6	调节阀的校验	226
7.7	调节阀的安装	228
7.8	调节阀的维修	230

8. 防爆、防腐、螺纹、法兰

8.1	防爆	239
8.2	防腐	245
8.3	外壳防护	250
8.4	螺纹	251
8.5	法兰	253

1. 测量误差和仪表的质量指标

1.1 测量误差

1-1 填空

- ① 按误差数值表示的方法, 误差可分为()、()、()。
- ② 按误差出现的规律, 误差可分为()、()、()。
- ③ 按仪表使用条件来分, 误差可分为()、()。
- ④ 按被测量随时间变化的关系来分, 误差可分为()、()。
- ⑤ 按与被测量量的关系来分, 误差可分为()、()。

答 ①绝对误差, 相对误差, 引用误差; ②系统误差, 随机误差, 疏忽误差; ③基本误差, 附加误差; ④静态误差, 动态误差; ⑤定值误差, 累计误差。

1-2 什么是真值? 什么是约定真值、相对真值?

答 真值是一个变量本身所具有的真实值。它是一个理想的概念, 一般是无法得到的。所以在计算误差时, 一般用约定真值或相对真值来代替。

约定真值是一个接近真值的值, 它与真值之差可忽略不计。实际测量中, 以在没有系统误差的情况下, 足够多次的测量值之平均值作为约定真值。

相对真值是当高一级标准器的误差仅为低一级的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{20}$ 时, 可认为高一级的标准器或仪表的示值为低一级的相对真值。

1-3 什么叫绝对误差, 相对误差和引用误差?

答 绝对误差是测量结果与真值之差, 即

$$\text{绝对误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

相对误差是绝对误差与被测量值之比, 常用绝对误差与仪表示值之比, 以百分数表示, 即

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{仪表示值}} \times 100\%$$

引用误差是绝对误差与量程之比, 以百分数表示, 即

$$\text{引用误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{量程}} \times 100\%$$

仪表的精度等级是根据引用误差来划分的。

1-4 用一只标准压力表检定甲、乙两只压力表时, 读得标准表的指示值为 100kPa, 甲、乙两表的读数各为 101.0kPa 和 99.5kPa, 求它们的绝对误差

和修正值。

解 甲表的绝对误差

$$\Delta x_1 = x - x_0 = 101.0 - 100 = 1.0 \text{ kPa}$$

乙表的绝对误差

$$\Delta x_2 = 99.5 - 100 = -0.5 \text{ kPa}$$

对仪表读数的修正值:

$$\text{甲表 } C_1 = -\Delta x_1 = -1.0 \text{ kPa}$$

$$\text{乙表 } C_2 = -\Delta x_2 = +0.5 \text{ kPa}$$

1-5 某压力表刻度 0~100kPa, 在 50kPa 处计量检定值为 49.5kPa, 求在 50kPa 处仪表示值的绝对误差, 示值相对误差和示值引用误差?

解 仪表示值的绝对误差 = 50 - 49.5 = 0.5 kPa

$$\text{仪表示值相对误差} = \frac{0.5}{50} \times 100\% = 1\%$$

$$\text{仪表示值引用误差} = \frac{0.5}{100} \times 100\% = 0.5\%$$

1-6 校验压力表时, 得被校表的示值为 50kPa, 标准表的示值为 49.5kPa。则被校表的相对误差 Δ 按下面的 (1) 式计算, 还是按 (2) 式计算?

$$(1) \Delta = (50 - 49.5)/49.5 = 1.01\%$$

$$(2) \Delta = (50 - 49.5)/50 = 1.0\%$$

答 相对误差 Δ 的定义为

$$\Delta = (\text{绝对误差}/\text{真值}) \times 100\%$$

由于真值是不知道的, 所以通常以标准表的示值来代替真值, 即应按 (1) 式 $(50 - 49.5)/49.5 = 1.01\%$ 来计算相对误差。但是由于被校表和标准表间的示值相差很小, 按 (2) 式 $(50 - 49.5)/50 = 1.0\%$ 计算相对误差也是允许的。

1-7 什么叫系统误差、偶然误差和疏忽误差? 各有什么特点? 产生的原因是什么?

答 系统误差又称规律误差, 因其大小和符号均不改变或按一定规律变化。其主要特点是容易消除或修正。产生系统误差的主要原因是: 仪表本身的缺陷, 使用仪表的方法不正确, 观测者的习惯或偏向, 单因素环境条件的变化等。

偶然误差又称随机误差, 因它的出现完全是随机的。其主要特点是不易发觉, 不好分析, 难于修正, 但它服从于统计规律。产生偶然误差的原因很复杂, 它是许多复杂因素微小变化的共同作用所致。

疏忽误差又叫粗差, 其主要特点是无规律可循, 且明显地与事实不符合。产生这类误差的主要原因是观察者的失误或外界的偶然干扰。

1-8 填空

试指出下列情况属于何种误差（系统误差，随机误差，疏忽误差）？

① 用一只普通万用表测量同一个电压，每隔10min测一次，重复测量10次，数值相差造成的误差。

② 用普通万用表测量电阻值时，如果没有反复调整零点而造成的误差。

③ 看错刻度线造成的误差。

④ 使用人员读数不当造成的误差。

⑤ 仪表安装位置不当造成的误差。

⑥ 差压变送器承受静压变化造成的误差。

⑦ 因精神不集中而写错数据造成的误差。

⑧ 仪表受环境条件（温度、电源电压）变化造成的误差。

⑨ 选错单位或算错数字造成的误差。

⑩ 标准电池的电动势值随环境温度变化造成的误差。

⑪ 在节流装置的流量测量中，因温度、压力等偏离设计条件而造成的误差。

答 ①——随机误差；②、④、⑤、⑥、⑧、⑩、⑪——系统误差；③、⑦、⑨——疏忽误差。

1-9 为什么要以“均方根误差”作为衡量测量精度的标准？在实际生产中，均方根误差如何计算？

答 因为一个参数的一组测量值的随机误差会有“正”，也有“负”。根据无数次的实验和误差理论的分析证明，当测量次数达到“相当多次”或“无限多次”，随机误差的平均值趋向于“0”，因而不能以随机误差的代数平均值来评价一组测量值的精度。根据研究结果，提出了“以各个随机误差的平方的平均数的平方根”作为衡量精度的标准，即

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x - L)^2}{n}}$$

$$\Delta = x - L$$

式中 σ ——均方根误差；

L ——被测量参数的真值；

x ——测量值；

$\sum (x - L)^2$ ——表示 n 次测量误差的平方之总和；

Δ ——真误差。

由于在实践中，被测参数的真值是不知道的，因而“ Δ ”也是求不出来的。在实际工作中，按下式计算均方根误差

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

式中 $\bar{x}$ ——算术平均值。

1-10 由于偶然误差的存在，因此需多次重复测量才能获得正确的结果，但在工业生产中，由于被测参数处于不断的波动之中，因此不可能进行多次同一条件下的重复测量。这样，工业测量的结果是否正确？

答 人们在生产实践中，发现重复测量同一参数，每次测量的结果不完全一样，时大时小，时正时负，限一定规律性。但若进行多次重复测量，发现误差的分布是有规律的，是一根正态曲线，99.7%的随机误差均在3倍的均方根误差之内。这样，当人们进行测量时，虽然只测量了一次，但只要知道了均方根误差 σ ，就可知道本次测量的误差最大值不会超过 3σ 。

在工业测量中，由于过程的参数处在时刻变化之中，因此不可能进行多次重复测量，求得均方根误差，算出它的误差范围。但是工业上规定，测量仪表的精度等级，即为仪表的最大可能测量误差。也就是说，在正常情况下，一次测量的最大可能误差不会超过该仪表规定的允许误差。

1-11 下列数据是7台压缩机在某同一时刻的三段入口的压力测量值（单位：kPa），各台压缩机三段入口接同一气体总管。试计算这一时刻进入各台压缩机三段入口气体压力的平均值及均方根误差。

$$p_{3\lambda} = 11.0 \times 10^2, 11.0 \times 10^2, 10.5 \times 10^2, 10.5 \times 10^2, 10.7 \times 10^2, 10.2 \times 10^2, 10.5 \times 10^2$$

$$\begin{aligned} \bar{p}_{3\lambda} &= \frac{1}{7} \times (11.0 + 11.0 + 10.5 + 10.5 + 10.7 + 10.2 + 10.5) \times 10^2 \\ &= 10.63 \times 10^2 \text{ kPa} \end{aligned}$$

计算出各测量值的误差为

$$+0.37 \times 10^2 + 0.37 \times 10^2 - 0.13 \times 10^2 - 0.13 \times 10^2 + 0.07 \times 10^2 - 0.43 \times 10^2 - 0.13 \times 10^2$$

$$\begin{aligned} \sum (p_{3\lambda} - \bar{p}_{3\lambda})^2 &= [0.37^2 + 0.37^2 + (-0.13)^2 + (-0.13)^2 + 0.07^2 + (-0.43)^2 + (-0.13)^2] \times 10^4 \\ &= +0.5143 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \pm \sqrt{\frac{0.5143}{7-1}} \times 10^2 \\ &= \pm 0.29 \times 10^2 \text{ kPa} \end{aligned}$$

故三段入口气体压力的平均值是 $10.63 \times 10^2 \text{ kPa}$ ，均方根误差是 $\pm 0.29 \times 10^2 \text{ kPa}$ 。

1-12 有一测温点，热电偶的基本误差 $\sigma_1 = \pm 4^\circ\text{C}$ ，补偿导线的基本误差 $\sigma_2 = \pm 4^\circ\text{C}$ ，温度记录仪表的记录基本误差 $\sigma_3 = \pm 6^\circ\text{C}$ ，由于线路中的接触电阻、热电偶冷端温度补偿不完善，仪表桥路电阻值的变化，仪表工作环境电磁场的干扰等原因所引起的附加误差为

$\sigma_4 = \pm 6^\circ\text{C}$ ，试计算这一温度测量系统的误差是多少？

解 这一测温系统的误差

$$\begin{aligned}\sigma &= \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \\ &= \pm \sqrt{4^2 + 4^2 + 6^2 + 6^2} \\ &= \pm 10.2^\circ\text{C}\end{aligned}$$

1-13 某测量系统由测量元件、变送器和指示仪表组成。要求系统的允许误差（相对额定误差）为 $\pm 1\%$ 。试问，选用精度分别为0.1级、0.5级和1级的测量元件、变送器和指示仪表能否满足系统对误差的要求？请用数据说明之。如不能满足，此矛盾又该如何解决？

答 选用元件、仪表组成测量系统的系统误差为

$$\begin{aligned}E_s &= \pm \sqrt{0.1^2 + 0.5^2 + 1^2} \% \\ &= \pm \sqrt{1.26} \% \\ &= \pm 1.12 \%\end{aligned}$$

此值大于系统允许误差（ $\pm 1\%$ ），因此不能满足系统对误差的要求。从选用的元件、仪表的精度等级不难看出，由于指示仪表的精度为1级，所以，无论把测量元件和变送器的精度如何提高，也不能使系统误差 $\leq \pm 1\%$ 。因此，只有把指示仪表的精度提高一级，即改用0.5级的指示仪表，就可满足要求。此时

$$\begin{aligned}E_s &= \pm \sqrt{0.1^2 + 0.5^2 + 0.5^2} \% \\ &= \pm \sqrt{0.51} \% \\ &= \pm 0.71 \% < \pm 1 \%\end{aligned}$$

1-14 什么叫基本误差和附加误差？

答 仪表的基本误差是指仪表在规定的参比工作条件下，即该仪表在标准工作条件下的最大误差，一般仪表的基本误差也就是该仪表的允许误差。

附加误差是仪表在非规定的参比工作条件下使用时另外产生的误差，如电源波动附加误差、温度附加误差等。

1-15 判断（对打 $\checkmark$ ，不对打 $\times$ ）

- ① 测量值小数点后的位数愈多，测量愈精确。
- ② 选定的单位相同时，测量值小数点后位数愈多，测量愈精确。
- ③ 计算结果中保留的小数点后位数愈多，精确度愈高。
- ④ 测量数据中出现的一切非零数字都是有效数字。
- ⑤ 在非零数字中间的零是有效数字。
- ⑥ 在非零数字右边的零是有效数字。
- ⑦ 在整数部分不为零的小数点右边的零是有效数字。

答 ① $\times$ ；② $\checkmark$ ；③ $\times$ ；④ $\checkmark$ ；⑤ $\checkmark$ ；⑥ $\checkmark$ ；⑦ $\checkmark$ 。

在表示测量结果时，必须采用正确的有效数字，不能多取，也不能少取。少取会损害测量的精度，多取则又夸大了测量精度。所以①、③是错误的。

零也是一个数字，但在整数部分为零的左边的零不是有效数字，而上述⑤、⑥、⑦的零都不在左边。

1-16 试指出下列量值的有效数字位数。

- ①4.8mA；②4.80mA；③2705k Ω ；④2.705 $\times 10^3\Omega$ ；
⑤1.36 $\times 10^{-3}\text{V}$ ；⑥1.0kg/l；⑦0.2W；⑧2500mmH₂O；
⑨1.0332W；⑩735.56mmHg；⑪10.000mH₂O。

答 ⑦——一位；①、⑥——两位；③、④、⑧——四位；②、⑤——三位；⑨、⑩、⑪——五位。

“0”这个数字，可以是有效数字，也可以不是有效数字。例如在0.2W中的0不是有效数字，因为它和0.2W的精度无关；但在10.000mH₂O中，后面的四个0均为有效数字，因为它们和10.000的精确度有关。假如这两个数均是采用“四舍五入”法截取所得的近似数，对0.2W来说，其误差的绝对值为0.05W，若去掉前面的0，写成 $2 \times 10^{-1}\text{W}$ ，其误差的绝对值为 0.5×10^{-1} ，即仍为0.05W，与精确度无关。而对于10.000mH₂O来说，其误差的绝对值为0.0005mH₂O，若去掉近似数后面的四个0，写成1.0 $\times 10\text{mH}_2\text{O}$ ，其误差的绝对值 0.5×10 ，成了5mH₂O，不再是0.0005mH₂O，即与精确度有关。因此对待近似数时，不可像对待准确数那样随便去掉小数点部分右边的0，或在小数点右边加上0。

1-17 生产过程的数据记录、试验数据记录以及数据处理应当遵循的最基本的原则是什么？请应用这一原则，计算如下题目。

用五位数字电压表测一只20%精度的150 Ω 电阻上的电压，显示值为10.523V，试算出该电阻的耗散功率和流过的电流。

答 有效数字原则。

因为电阻150 Ω 的精度为20%，即 $150 \pm (150 \times 20\%) = 150 \pm 30$ ，故电阻150 Ω 可写成 $1.5 \times 10^2\Omega$ ，而10.523V可为 $10.523 \pm (10.523 \times 20\%) = 10.523 \pm 2.105$ ，故可写成 $1.05 \times 10\text{V}$ 。于是得电流

$$(1.05 \times 10) / (1.5 \times 10^2) = 7.0 \times 10^{-2} \text{ mA}$$

得功率

$$(1.05 \times 10)^2 / 1.5 \times 10^2 = 7.4 \times 10^{-2} \text{ mW}$$

1-18 在上题中，如果把电阻精度由20%改为2%，则耗散功率和电流如何计算？

答 由于电阻的精度为2%，所以电阻值和电压值应分别记为 $15.0 \times 10\Omega$ 、10.52V。

于是计算得功率、电流分别为 $7.37 \times 10^2 \text{ mW}$ 、 $7.01 \times 10 \text{ mA}$ 。

1.2 仪表的质量指标

1-19 什么叫准确度和准确度等级？

答 准确度是指测量结果和实际值的一致程度。准确度高意味着系统误差和随机误差都很小。

准确度等级是仪表按准确度高低分成的等级。它决定仪表在标准条件下的误差限，也就是仪表基本误差的最大允许值。

如果某台仪表的最大基本允许引用误差为 $\pm 1.5\%$ ，则该仪表的准确度等级为1.5级，通常以圆圈内的数字标明在仪表的面板上。例如1.5级，就用①.5表示。

准确度习惯上又称精确度或精度，所以准确度等级习惯上又称精确度等级或精度等级。

1-20 选择

① 1.5级仪表的精度等级可写为

A. 1.5级

B. ± 1.5 级

C. ①.5

D. 

② 仪表的精度级别指的是仪表的

A. 误差

B. 基本误差

C. 最大误差

D. 允许误差

E. 基本误差的最大允许值

答 ①A、C、D；②E。

仪表的精度指的是基本误差的最大允许值，即基本误差限，但在习惯上有时也简单地称为基本误差或允许误差。

1-21 填空

① 测量范围 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 的下限值()，上限值()，量程()。

② 测量范围 $20\sim 100^\circ\text{C}$ 的下限值()，上限值()，量程()。

③ 测量范围 $-25\sim 100^\circ\text{C}$ 的下限值()，上限值()，量程()。

④ 测量范围 $-100\sim 0^\circ\text{C}$ 的下限值()，上限值()，量程()。

⑤ 测量范围 $-100\sim -20^\circ\text{C}$ 的下限值()，上限值()，量程()。

答 ① 0°C ， 100°C ， 100°C ；② 20°C ， 100°C ， 80°C ；③ -25°C ， 100°C ， 125°C ；④ -100°C ， 0°C ， 100°C ；⑤ -100°C ， -20°C ， 80°C 。

1-22 一台精度为0.5级的电桥，下限刻度值为负值，为全量程的25%，该表允许绝对误差是 1°C ，试求

该表刻度的上下限。

答 量程为 $\frac{1^\circ\text{C}}{0.005} = 200^\circ\text{C}$

下限值为 $-(200^\circ\text{C} \times 25\%) = -50^\circ\text{C}$

该表刻度上下限为 $-50\sim 150^\circ\text{C}$ 。

1-23 有两台测温仪表，其测量范围分别是 $0\sim 800^\circ\text{C}$ 和 $600\sim 1100^\circ\text{C}$ ，已知其最大绝对误差均为 $\pm 6^\circ\text{C}$ ，试分别确定它们的精度等级。

解 据基本误差 $\delta_m = \frac{\Delta_{\max}}{A_{\text{上}} - A_{\text{下}}} \times 100\%$ 可得

$$\delta_{m1} = \frac{6}{800 - 0} \times 100\% = 0.75\%$$

$$\delta_{m2} = \frac{6}{1100 - 600} \times 100\% = 1.2\%$$

答 根据常用工业仪表的精度等级系列，测量范围为 $0\sim 800^\circ\text{C}$ 的测温仪表应定为1级精度；测量范围为 $600\sim 1100^\circ\text{C}$ 的测温仪表应定为1.5级精度。

1-24 有一个变化范围为 $320\sim 360\text{kPa}$ 的压力。若用下列A、B两台压力变送器进行测量，那么在正常情况下哪一台的测量准确度高些？压力变送器A：1级， $0\sim 600\text{kPa}$ 。压力变送器B：1级， $250\sim 500\text{kPa}$ 。

解 用变送器A时，测量结果的最大误差

$$\delta_{\max} = \pm 1\% \times (600 - 0) = \pm 6\text{ kPa}$$

若用变送器B，则

$$\delta_{\max} = \pm 1\% \times (500 - 250) = \pm 0.5\text{ kPa}$$

显然，用变送器B测量准确度高些。

1-25 某台差压计的最大差压为 $1600\text{mmH}_2\text{O}$ ，精度等级为1级，试问该表最大允许的误差是多少？若校验点为 $800\text{mmH}_2\text{O}$ ，那么该点差压允许变化的范围是多少？

解 $1600 \times 1\% = 16\text{mmH}_2\text{O}$

这就是仪表的最大允许误差。

在 $800\text{mmH}_2\text{O}$ 高的校验点，差压允许变化的范围为 $800 \pm 16\text{mmH}_2\text{O}$ ，就是说差压允许在 $784\sim 816\text{mmH}_2\text{O}$ 范围内变化。

1-26 有一块精度为2.5级、测量范围为 $0\sim 100\text{kPa}$ 的压力表，它的刻度标尺最小应分多少格？

解 此表的最大绝对误差为

$$\Delta_{\max} = 2.5\% \times (100 - 0) = 2.5\text{ kPa}$$

因仪表的刻度标尺的分格值不应小于其允许误差所对应的绝对误差值，故其刻度标尺最少可分为

$$\frac{100 - 0}{2.5} = 40\text{ 格}$$

所以此块压力表的刻度标尺最少应分40格。

1-27 在校验1级压力变送器时，手头只有一块 $0\sim 600\text{kPa}$ 、0.35级标准压力表。试问把它当作标准输出表来用行不行？

解 压力变送器的输出压力范围为 20~100kPa, 允许的最大绝对误差为 $\pm 80 \times 1\% = \pm 0.8\text{kPa}$ 。当使用 0~600kPa 标准压力表时, 其最大允许误差为 $\pm 600 \times 0.35\% = \pm 2.1\text{kPa}$ 。可见, 标准表的误差大于被校表的误差, 因此不能把它当作标准输出表。

在校验工作中, 标准表允许误差一般应为被校表允许误差的三分之一。

1-28 采用直接比较法校验仪表时, 如何选择标准表?

答 所谓直接比较法就是采用被校表与标准表的指示值直接比较的方法。一般说来, 选择标准表的原则有三点。

第一, 根据被校表的性质。比如被校表是直流电压表, 所选的标准表也应当是直流电压表。

第二, 根据被校表的额定值。标准表的额定值应与被校表额定值相适应或不超过被校表的额定值的 25%。比如, 被校表的量程是 2000kPa, 那就应当选择量程为 2500kPa 的标准表。

第三, 是要根据被校表的精确度。标准表的允许误差不应超过被校表允许误差的三分之一。倘若被校表的准确度是 1.5 级, 标准表的准确度应选用 0.5 级。

如果所选标准表的量程比被校表的量程高一档时, 一般可用标准表精度数值应小于或等于 $1/3$ 倍的被校表精度数值乘以被校表量程与标准表量程之比。如校验一块量程为 60kPa、精度为 1 级的压力计时, 选用标准表量程是 100kPa, 则:

$$\text{标准表精度级} \leq \frac{1}{3} \times 1 \times \frac{60}{100} = 0.2$$

因此应选用 0.2 级以上的标准表。

1-29 图 1-1 是对同一台仪表, 在相同条件下, 多次检验所得的输入输出静态曲线。请在图上标出该仪表的重复性和再现性误差。

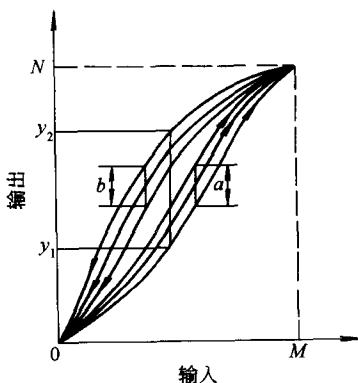


图 1-1

答 仪表的重复性误差和再现性误差是两个不同的概念。重复性误差是在同一工作条件下, 对同一输入值按同一方向, 连续多次测量的输出值之间的差值。如图中的 a 或 b 。再现性误差是在同一工作条件下, 在规定时间内对同一输入值两个相反方向上重复测量的输出值之间的最大差值, 它是包括重复性误差、滞环、死区和漂移的综合性指标。一般按量程的百分数表示, 如图中 $\frac{y_2 - y_1}{N} \times 100\%$ 。

1-30 什么是仪表的滞环、死区和回差, 它们之间有什么关系?

答 仪表的滞环是由输入量增大的上升段和减小的下降段构成的特性曲线所表征的现象。

死区是输入量的变化不致引起输出量有任何可察觉的变化的有限区间。死区用输入量程的百分数表示。

回差(也叫变差)是当输入量上升和下降时, 同一输入的两相应输出值间(若无其他规定, 则指全范围行程)的最大差值。

回差包括滞环和死区, 并按输出量程的百分数表示。

1-31 图 1-2 是根据仪表校验数据所画出的输入输出关系曲线。请在图上标出该仪表的滞环、死区和回差。

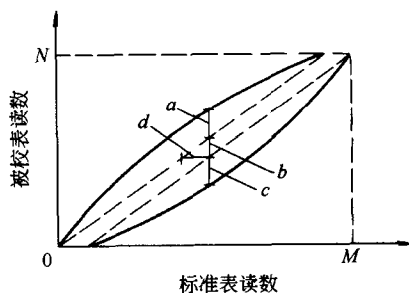


图 1-2

答 如图 1-2 所示, 滞环为 $a + c$ 段, 用输出量程的百分数表示时为 $\frac{a + c}{N} \times 100\%$ 。

死区为 d 段, 用输入量程的百分数表示时为 $\frac{d}{M} \times 100\%$ 。

回差为 $a + b + c$ 段, 用输出量程的百分数表示时为 $\frac{a + b + c}{N} \times 100\%$ 。

1-32 有人在校记录仪的变差时, 先把信号由 0 升到 50%, 得一仪表示值。然后把信号稍增加一点再减少到 50%, 得另一示值。二次示值之差即为 50% 时的仪表变差, 请问此方法是否正确?

答 上述方法测得的是仪表的变差, 但不是仪表技术指标上规定的最大变差, 因而这种方法不正确。

正确的方法是信号由 0 升到 50%，得一仪表示值。然后把信号继续升至 100%，再下降回 50% 得另一示值。二次示值之差才是最大的仪表变差。在记录仪中，变差的来源主要是弹性元件的滞环和连接处的间隙。行程大小不同，所形成的滞环也不同，因此校验各点变差时信号必须在全行程内连续变化。

1-33 检验仪表的回差时，有的人把输入值固定，读上下行程的二个相应输出值。也有的人把输出值固定，读上下行程的二个相应输入值。请问哪一种方法正确？

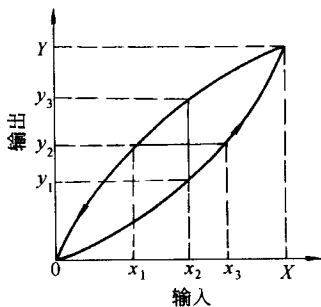


图 1-3

答 如果用图 1-3 表示，则第一种人读的是 y_1 和 y_3 ，第二种人读的是 x_1 和 x_3 。按照回差的定义，回差是当输入量上升和下降时，同一输入的两个相应输出值间的最大差值，并按输出量的百分数表示，所以应是 $\frac{y_3 - y_1}{Y} \times 100\%$ ，即第一种人的方法正确。但

第二种方法所得的变差 $\frac{x_3 - x_1}{X} \times 100\%$ ，在数值上和第一种方法相等或相差极小，所以也不能算错。

1-34 有人说：仪表的灵敏度，就是仪表的灵敏限。你看这种说法对吗？

答 灵敏度是表达仪表对被测参数变化的灵敏程度。它是指仪表在达到稳定状态以后，仪表输出信号变化 $\Delta\alpha$ 与引起此输出信号变化的被测参数（输入信号）变化量 Δx 之比，即

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

因此，仪表的灵敏度可以用一个比值和输出、被测量（输入）两个量的单位来表示。它是仪表输入-输出转换曲线上各点的斜率。

仪表的灵敏限是指能够引起仪表指示值（输出信号）发生变化（动作）的被测参数（输入信号）的最小（极限）变化量。一般，仪表的灵敏限的数值应不大于仪表允许误差绝对值的一半。

因此，仪表的灵敏度就是仪表的灵敏限的说法是不对的。虽然都是用来表征仪表的灵敏程度，但它们是两个不同的概念。

1-35 判断（对打√，不对打×）

- ① 回差在数值上等于不灵敏区。
- ② 灵敏度数值越大，则仪表越灵敏。
- ③ 灵敏限数值越大，则仪表越灵敏。
- ④ 同一台仪表，不同的输入输出段，其灵敏度是不一样的。

⑤ 灵敏度实际上是放大倍数。

⑥ 灵敏限实际上是死区。

答 ① ×；② √；③ ×；④ √；⑤ ×；⑥ √。

回差是在正反行程上，同一输入的两相应输出值之间的最大差值。而不灵敏区是指不能引起输出变化的最大输入量。所以回差在数值上不等于不灵敏区，它还包括滞环。

灵敏度是仪表达到稳态后，输出增量与输入增量之比，所以比值越大，仪表越灵敏。而灵敏限是引起输出变化的最小输入增量，所以灵敏限越大，仪表越不灵敏。

如果仪表的输入输出是线性特性，则仪表的灵敏度是常数；如果是非线性特性，则仪表的灵敏度在整个量程范围内是变数，它在不同的输入输出段是不一样的。

如果仪表的输入输出具有相同的单位，则灵敏度就是放大倍数；如果是不同的单位，则灵敏度是转换系数。

1-36 填空

① 非线性误差是指检验曲线与相应直线之间的（ ）。若无其他规定，非线性误差是对输出而言，按量程的（ ）来表示。

② 零点误差是指仪表在规定的参比工作条件下，输入为零时的（ ）。如果输入为测量范围下限值时，则称为（ ）。

③ 零漂是指仪表在参比工作条件下，输入一个恒定的值（零或测量范围的下限值）时的（ ）。

④ 仪表的零点准确但终点不准确的误差称（ ）。

答 ① 最大偏差，百分数；② 误差，始点误差；③ 输出变化；④ 量程误差。

1-37 图 1-4 所示曲线是仪表的检验曲线。计算该曲线的非线性误差时，是以直线 a 还是 b 为依据（直线 a 是通过校验曲线上、下限的连线，直线 b 是使最大偏差减至最小时的连线）？

答 非线性误差是检验曲线与适当的直线之间的最大偏差。该直线可以是 a ，也可以是 b 。如果是 a ，则称端基线性度误差；如果是 b ，则称为独立线性度误差。这两种误差都属于非线性误差。我们在计算仪表的非线性误差时，主要是用来分析该误差产生的原

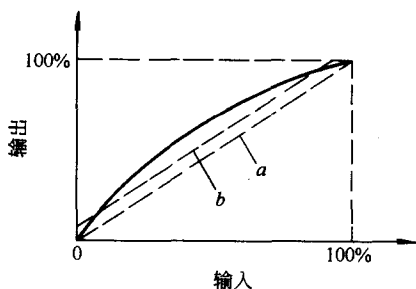


图 1-4

因和克服的办法，因而一般以直线 b 为依据，即以独立线性度误差为好。

1-38 填空

① 当用仪表对被测参数进行测量时，仪表指示值总要经过一段时间才能显示出来，这段时间称为仪表的（ ）。如果仪表不能及时反映被测参数，便要造成误差，这种误差称为（ ）。

② 动态误差的大小常用（ ）、（ ）和（ ）来表示。

答 ① 反应时间，动态误差；② 时间常数，全程时间，滞后时间。

1-39 填空

① 时间常数是当输入阶跃变化时，仪表的输出值到达其稳定值的（ ）所需的时间。

② 全程时间是当输入满量程阶跃变化时，输出由下限移至上限，或反行程移动所需的（ ）。通常以全量程的（ ）作为输出下限值，全量程的（ ）作为输出上限值。

③ 滞后时间又叫（ ），它是当输入产生变化的瞬间起，到它所引起的输出量开始变化的瞬间为止的（ ）。

④ 通常滑线型电子电位差计记录笔尖摆动（ ）算阻尼正常，指示型及多点打印记录电子电位差计摆动（ ）算阻尼正常。

答 ① 63.2%；② 时间，5%，95%；③ 时滞，时间间隔；④ 二次半周期，三次半周期。

1-40 校验测量范围 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 的充液式压力温度计的动特性时，先把温包置于冰水中，然后迅速移到 100°C 的沸水中，测得仪表读数与时间的对应关系如表 1-1。求该仪表的时间常数和全程时间。

表 1-1

时间/s	0	30	60	90	120	150	180	240	360	480	600
读数/ $^\circ\text{C}$	0	20.6	37.0	50.0	60.3	68.5	75.0	84.2	93.7	97.5	99

解 按上述数据做温度与时间的对应曲线如图 1-5。

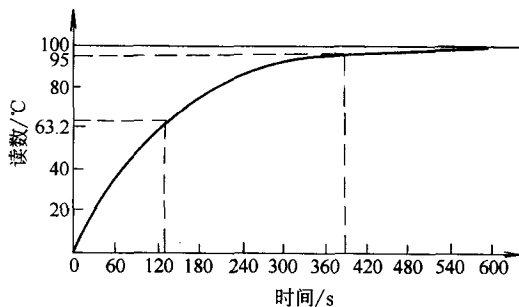


图 1-5

时间常数是当输入阶跃变化后输出达到稳定值的 63.2% 的时间，从图上求得 130s。

全程时间是当输入满量程阶跃变化后，输出达到稳定值的 95% 的时间，从图上求得 400s。

1-41 仪表的稳定时间就是全程时间吗？

答 稳定时间是从输入信号阶跃变化起，到输出信号进入并不再超过偏离其最终稳态值规定的允差（例如 5%）时的时间间隔，如图 1-6 的 t_2 。而全程时间（又称阶跃响应时间）是指当输入产生阶跃变化起，输出由初始值第一次到达规定最终与初始稳态值之差的时间间隔。通常其差值规定为 10%、5%、1%。如图 1-6 的 t_1 。所以二者是不一样的。

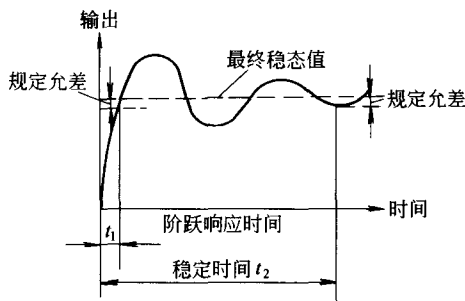


图 1-6

1-42 为什么综合误差更能表征仪表的实际测量误差？

答 仪表的精确度是在一定的参比条件下制定的仪表误差指标。但在实际使用中，现场条件很少和参比条件相一致，它们之间或多或少存在着差异，有的甚至相差甚远。例如差压变送器的参比温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ，参比工作压力为 0.1MPa（1 个大气压）。但它在测量流体流量时，操作压力往往不是 0.1MPa，而是几十个、甚至上百个大气压，环境温度也不会是室温。在这种情况下只反映在参比条件下的仪表精度等级就不可能符合测量时的实际情况，也不能作为选用仪表时的技术依据。

反映变送器实际测量误差更有代表性的是它的综

合误差,英文写为 TPE (Total Probable Error)。它是仪表基本精度,以及静压、温度、单向等多种附加误差的均方根误差。即

$$TPE = \pm \sqrt{\sum e_i^2}$$

式中 e_i —— i 条件下的仪表附加误差。

1-43 填空

① MTBF 是指 (),它是衡量仪表 () 的一个重要指标。MTTR 是指仪表故障时的 ()。

仪表的可用性 A 是指仪表在某时刻具有或维持规定功能的能力,可用性公式为 $A = ()$ 。

② 稳定性 (度) 是指在规定的条件下,仪表某些性能随时间保持不变的 (),通常用 () 来衡量。

③ 零点漂移: $\pm 0.5\% / 6$ 个月是指在 6 个月内,仪表的零点变化不大于 ()。

答 ① 平均无故障时间,可靠性,平均修复时间,

$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$;

② 能力,零点漂移;

③ $\pm 0.5\%$ 。

1-44 什么是电磁兼容性标准?

答 电磁兼容性是工业过程测量和控制仪表的一项技术性能。由于工业仪表总是和各类产生电磁干扰的设备在一起工作,因此不可避免地受电磁环境的影响。如何使不同的电气、电子设备在规定的电磁环境中正常工作,而不对该环境或其他设备造成不允许的扰动的能力,这就是电磁兼容性标准。它包括抗扰性和发射限值两类要求。

工业仪表受电磁环境干扰的干扰源主要来自各类开关装置、继电器、电焊机、广播电台、电视台、无线通讯工具,以及工业、科学、医疗设备产生的电磁辐射,带静电荷的操作人员也可成为干扰源。

干扰源通过工业仪表的电源线、信号输入输出线或外壳,以电容耦合、电感耦合、电磁辐射的形式导入,也可通过公共阻抗直接导入。

工业过程测量和控制仪表中的绝大部分仪表是由电子线路组成,工作电流很小,并带有微处理器,对电磁干扰十分敏感,故在设计制造中,必须经受再现和模拟其工作现场可能遇到的电磁干扰环境的各种试验,以使它们的技术特性符合电磁兼容性标准。

2. 差压、压力的检测和变送

2.1 压力测量与压力单位

2-1 什么是压力，它的法定计量单位是什么？

答 压力是垂直均匀地作用在单位面积上的力，它的法定计量单位是帕斯卡（简称帕），符号为 Pa。

1Pa 就是 1 牛顿（N）的力作用在 1 平方米（m²）面积上所产生的压力，即

$$1\text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{1\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$1\text{MPa} = 1000\text{kPa} = 10^6\text{Pa}$$

2-2 为什么液柱高度也可以表示压力？

答 因为压力是单位面积上所受的作用力，即

$$p = \frac{F}{S}$$

式中 F ——作用力，N；

S ——面积，m²。

又因为

$$F = hS\rho g$$

式中 ρ ——液体密度，kg/m³；

h ——液柱高度，m；

g ——重力加速度，m/s²。

所以

$$p = \frac{\rho g \cdot h \cdot S}{S} = \rho g \cdot h \quad \text{N/m}^2$$

由上述可知，压力等于液柱高度、液体密度和重力加速度的乘积。液体的密度 ρ 在一定的温度下是不变的，所以压力也可以用液柱高度来表示。

2-3 写出 5 种非法定压力单位与法定压力单位 Pa（帕斯卡）之间的换算关系。

答 1 毫米水柱（mmH₂O）= 9.80665Pa
≈ 9.81Pa

1 毫米汞柱（mmHg）= 133.322Pa
≈ 1.333 × 10²Pa

1 工程大气压（kgf/cm²）= 9.80665 × 10⁴Pa
≈ 9.81 × 10⁴Pa

1 物理大气压（atm）= 101325Pa
≈ 1.0133 × 10⁵Pa

1 巴（bar）= 1000mbar = 10⁵Pa

2-4 按单位换算表 1mmH₂O = 9.807Pa，但在仪表出厂的校验单上，为什么 1mmH₂O 又成了 9.789Pa

了呢？

答 1mmH₂O = 9.807Pa，这是指水的密度为 1.0g/cm³（即在温度为 4℃），重力加速度为 980.665cm/s² 下而言的。而制造厂在仪表出厂校验时，不是在 4℃，而是在 20℃，即水的密度为 0.99823g/cm³，所以 1mmH₂O 成了 9.789Pa。即

$$\frac{0.1 \times 0.99823 \times 980.665}{10} = 9.789 \text{ Pa}$$

2-5 请说明绝对压力、大气压、表压及真空度的含义及相互关系。

答 绝对真空下的压力称为绝对零压，以绝对零压为基准来表示的压力叫绝对压力。

表压是以大气压为基准来表示的压力，所以它和绝对压力正好相差一个大气压（0.1MPa）。

如果被测流体的绝对压力低于大气压，则压力表所测得的压力为负压，其值称为真空度。

绝对压力、大气压、表压、真空度之间的相互关系如图 2-1 所示。

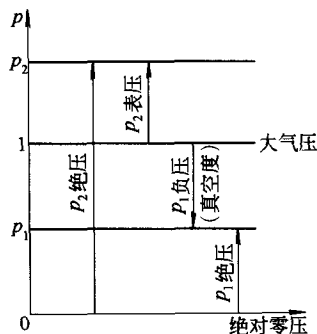


图 2-1

2-6 现用一单管水银压力计测某空气罐内的压力。若当地的重力加速度为标准重力加速度（即 $g = 980.665\text{cm/s}^2$ ），当环境温度为 30℃ 时，从压力计上读得的表压值为 420mmHg，试求罐内的绝对压力为多少 mmHg？折合多少 Pa？

解 由题可知当地的大气压力为 760mmHg。又由有关手册查得 0℃ 与 30℃ 时，汞的密度分别为 13.5951、13.52g/cm³，故罐内的绝对压力为

$$\begin{aligned} p_{\text{绝}} &= p_{\text{大气}} + p_{\text{表}} = 760 + 420 \times \frac{13.52}{13.5951} \\ &= 760 + 417.68 = 1177.68 \text{ mmHg} \\ &= 156.984 \text{ kPa} \end{aligned}$$