

# 流量测量仪表 应用技巧

LIULIANG CELIANG YIBIAO  
YINGYONG JIQIAO

第二版

纪纲 编著



化学工业出版社

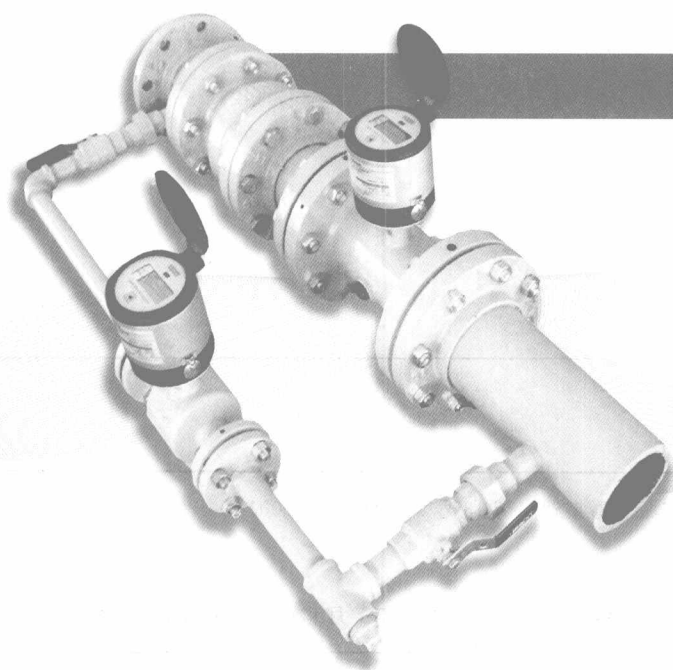
# 流量测量仪表

## 应用技巧

LIULIANG CELIANG YIBIAO  
YINGYONG JIQIAO

第二版

纪纲 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

流量测量仪表应用技巧/纪纲编著. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2009. 5

ISBN 978-7-122-05224-7

I. 流… II. 纪… III. 流量仪表-应用 IV. TH814

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057723 号

---

责任编辑: 刘 哲

装帧设计: 史利平

责任校对: 王素芹

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 23 $\frac{3}{4}$  字数 602 千字 2009 年 7 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

化广临字 2009—7 号

## 序

20 世纪 90 年代世界进入信息化、智能化、网络化的时代。回顾近年来仪器仪表技术发展的主流,就是计算机技术、微电子技术、网络技术、新材料技术等仪器仪表领域的广泛应用。在市场迫切需求和知识、物质基础更新优化双重推动下,一场牵动着仪器仪表更新换代的变迁已经到来。

新颖仪器仪表的知识结构和技术内涵已超过传统仪器仪表的学科和框架,有人断言:“软件就是仪器”。这说明仪器仪表本身的硬件、软件界线已经模糊化,传统仪器仪表由精密机械零部件加工,电子器件、电路质量决定仪器仪表水平和质量的时代已经过去,仪器仪表软件(包括操作软件和应用软件)已经成为仪器仪表总体设计的主要基础和决定仪器仪表水平和应用的主要因素。进入信息时代后,网络已铺天盖地,无处不在,作为信息源头的仪器仪表,若不能以现代信息手段快速多方位采集、处理、传送信息,就不可能满足新世纪科技产业发展的需要。

信息时代的到来,使新技术得到迅猛发展,世界正面临从工业大生产向知识经济转变的重大历史时期,仪器仪表科技工作者从观念到知识素质都应该适应新技术发展潮流,要以信息技术和网络思想指导仪器仪表的设计和应用,将构成仪器仪表的传感、数据采集、处理、传输和控制等功能,通过计算机专用或公用平台,配上功能强大的软件,通过局域网或远程网来实现,从而使仪器仪表功能更强、效率更高、适用性更好。

随着国民经济的发展和现代生产过程自动化程度的不断提高,在流程工业中多种物料的流量作为主要的过程参数,已成为判断生产过程的效率、工作状况和经济性能的重要指标。近年来,各工业部门对流量测量仪表的重视程度日趋突出,提出了精确测量、稳定可靠、多功能、智能化等要求。

流量测量技术是一门迅速发展着的技术,流量测量仪表的应用更是一项复杂程度较高的工作,有待解决的问题很多。流量测量和当前新技术的应用是相互促进的。一方面应用新技术正有力地促进探索新方法,开发新颖流量仪表,以满足生产需求;另一方面新技术本身和工业设计使用单位也开发出许多仪表测量系统和应用技术,双方共同推动着流量仪表的技术进展。

本书是一本新颖的流量测量仪表专业技术书籍,立足于应用,从用户的角度和特定的测量任务出发,根据具体的要求和条件选好、用好仪表。本书也是作者长期对流量测量仪表和应用技术方面积累的丰富实践经验总结。

本书除叙述各种不同原理的流量仪表外,还通过许多实例对以下内容作了重点分析和介绍,便于读者理解掌握应用要点。

- ① 微小流量测量、大流量测量、腐蚀介质流量测量及多相流测量。
- ② 热量及冷量测量和流量批量控制系统。
- ③ 脉动流的流量测量和流量测量系统的现场校验。
- ④ 提高流量测量精确度的实用方法。
- ⑤ 流量测量系统误差生成与处理。
- ⑥ 通用流量演算器的数字通信和数据采集监控系统。

本书对流量测量在继承传统技术和采用信息网络新技术方面，具有很多创新意义，值得我们学习、借鉴和参考。应该说取得这些技术创新，离不开作者一点一滴的实践累积和长期不懈的努力。本书的部分文章曾在石化总公司《医药工程设计》杂志上连续刊登六期，得到读者的良好评价，认为作者在熟悉掌握流量测量理论的基础上，对流量仪表应用技术的国外设计规范和国内工程实际、传统测量技术与高新技术的采用，都完全结合起来，思路新颖，现场实例通俗易懂。

我们知道，创新是一个相对的概念，创新既有质的飞跃，也有量的变化；既有大的突破，也有小的改进；既有内容的更新，也有形式的改变。社会实践是不断发展的，人的认识是不断深化的，创新活动是永无止境的。我们应该认真向本书作者学习，学习他勇于和善于根据实践要求进行技术创新的可贵精神，把我国自动化测量仪表应用技术推向新水平。

中国自动化学会仪表与装置专业委员会主任委员 吴钦炜  
中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会前理事长

## 第二版前言

《流量测量仪表应用技巧》第一版于 2003 年出版，从那时至今的五年多时间里，流量测量方法有了新的发展，流量测量仪表有了很多改进，与流量测量仪表有关的标准、规范也发生了很大的变化。与变化了的形势相比，第一版中的部分内容已显得陈旧落后，因此有必要与时俱进，删除部分陈旧落后的内容，增补一些新鲜内容，以满足广大读者的期望与要求。

过去的五六年，适逢我国经济建设高速发展阶段，这为仪表应用技术的发展注入了强大的动力。要建设资源节约型、环境友好型社会，节能减排和加强能源与物料的计量工作得到各行各业的重视，同时也对流量测量仪表的应用提出了更高的要求。

与第一版相比，第二版内容主要有以下变化。

1. “7.3 智能流量积算仪”一节中删除双路流量指示积算仪一段。
2. “8.4 孔板流量计变更量程与不确定度的变化”一节中删除了简便计算方法一段。
3. 差压式流量计中增补了双量程节流式差压流量计和内锥型差压流量计，并采用了 ISO 5167 : 2003 (E) 的最新计算公式。
4. 空气流量测量部分增补了负压条件下的空气流量测量。
5. 流量测量准确度的现场验证部分增补了流量增量验证法。
6. 通信技术的应用部分增补了以 GPRS 为介质和以无线 HVB 为介质组成的 SCADA 系统。
7. 流量显示仪表检定部分改用国家计量检定规程。

在第二版的编写过程中，斯派莎克工程（上海）有限公司徐华东高级工程师，艾默生过程控制有限公司王隽高级工程师，上海同欣自动化仪表有限公司总经理王建忠高级工程师、陈杰工程师给予大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中还会存在不足，敬希读者批评指正。

编著者

## 第一版前言

流量参数是流程工业中温度、流量、压力、液位等主要参数中难度较高、有待解决的问题最多的一个参数。

流量测量技术是一门迅速发展的技术,据称现已有百余种的流量计投向市场,几乎每年还有新型流量仪表问世。

流量测量仪表的应用是一项复杂程度较高的工作,即使是长期从事流量测量的人员有时也会感到困难。

迄今为止已经出版的流量方面的技术书籍大多以流量计为中心,分别叙述各种不同原理的流量计,然后再介绍该种流量计可以用来测量哪些流量。本书试图站在用户的立场,从特定的测量任务出发,根据具体的要求、具体的工况、使用环境和其他条件,在可选的范围内选择那些精确度满足要求,工作可靠,使用安全,维修方便,价格合适的流量计产品。要将这些仪表用好,还须合理安装,精心调试,认真做好维护和校准工作。

本书的第1、第2章为基础知识,第3章以量大面广的蒸汽、空气、煤气、天然气、组分变化的气体、水、油品、高饱和蒸汽压液体等流体为主线,介绍仪表选型、应用,并对相关的流量测量仪表工作原理作简要介绍。对于流量测量专业难度较高的微小流量测量、大流量测量、腐蚀性介质流量测量以及多相流测量也作了较详细的分析,并介绍了一些新进展。

第4章和第5章介绍建立在流量测量基础上的热量(冷量)测量和流量批量控制,第6章介绍脉动流和流量准确度的现场验证,第7章介绍典型的流量显示仪表功能、软件结构及检查校验,第8章介绍提高系统精确度问题,第9章介绍误差生成问题,第10章介绍流量仪表的数字通信和所组成的流量数据采集监控系统。在附录中,列举了常用流量显示仪表检定规程和精确到5位小数的水和蒸汽性质表等参考资料。

本书以实用为出发点,尽量减少数学推导,而以大量的实例说明道理,以便做到通俗易懂。这些实例均来自现场,有借鉴和参考价值。

本书主要供从事仪表工程设计的设计院、工程公司技术人员阅读,也适合使用单位从事仪表安装、维修和管理工作的工程技术人员及高级技术工人参考,也可作为培训班教材和有关专业教学参考书。本书是在编著者为几次培训班编写的幻灯片和讲稿的基础上经补充修改和重新编排而成,是流量测量仪表应用经验的总结。

一本技术书籍的问世有很多环节,其中管理部门的支持、技术上的协助和书稿的打印绘图是必不可少的三个条件。对于本书来说,上海宝科自动化仪表研究所陈少华所长提供了具有决定意义的支持,上海同欣自动化仪表有限公司王建忠总经理给予精神上的鼓励和许多具体的帮助,在此深表谢意。

中国自动化学会仪表与装置专业委员会秘书长吴斌昌高级工程师对本书的出版作了策划并提供宝贵意见。中石化上海医药工业设计院邱宣振教授级高级工程师对部分内容提出建设性意见。烟台经济技术开发区热力总公司臧立波高级工程师审阅了本书第4章和第3章的部分内容。华东理工大学吴勤勤教授审阅了本书的第10章,在此特致谢意。

特别要感谢上海光华仪表厂蔡武昌教授级高级工程师,审阅了全书,并提出了不少修改意见。

费希尔-罗斯蒙特公司毛雅芳工程师, Endress + Hauser 公司季建华副教授, 上海光华·爱而美特公司沈海津高级工程师, Panametrics 驻华代表处刘毅首席代表, 上海横河电机有限公司韦国胜高级工程师, Spirax-Sarco 工程(中国)有限公司冷小军高级工程师, 上海计量测试研究院朱家良高级工程师为本书提供了有关技术资料, 他们的技术支持是极其宝贵的。为此, 致以衷心的感谢。

还要感谢上海同欣自动化仪表有限公司陈洪飞工程师, 为本书的第 10 章提供了详细资料; 冯宏生工程师、顾耀明工程师校阅了部分书稿并提供宝贵意见。最后我想对姜璐同志和吴玉华同志致以特别的感谢, 他们以忘我的精神打印最终的文本, 绘制图表, 他们坚定的毅力和熟练的技巧使本书得以按时出版。

由于水平有限, 书中不足在所难免, 敬希读者批评指正。

编著者

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第 1 章 绪论                  | 1   |
| 1.1 流量测量的意义               | 1   |
| 1.2 流量测量仪表应用研究的意义         | 2   |
| 第 2 章 流量测量的行业特点及其对仪表的要求   | 4   |
| 2.1 流量测量的术语               | 4   |
| 2.2 流量测量的行业特点及其对仪表的要求     | 6   |
| 2.3 贸易结算对流量仪表的计量要求        | 11  |
| 2.4 过程控制用流量测量仪表的特点        | 13  |
| 第 3 章 几种典型流体的流量测量         | 16  |
| 3.1 蒸汽流量的测量               | 16  |
| 3.2 气体流量的测量               | 34  |
| 3.3 液体流量的测量               | 59  |
| 3.4 微小流量的测量               | 86  |
| 3.5 大流量的测量                | 93  |
| 3.6 腐蚀性介质的流量测量            | 107 |
| 3.7 多相流体的流量测量             | 111 |
| 3.8 设计计算实例                | 119 |
| 第 4 章 热量和冷量的计量            | 128 |
| 4.1 蒸汽热量的计量               | 128 |
| 4.2 热水热量的计量               | 130 |
| 4.3 冷冻水的冷量计量              | 135 |
| 4.4 冷量和热量计量两用的计量表         | 138 |
| 4.5 其他流体的热量计量             | 139 |
| 第 5 章 流量批量控制系统            | 141 |
| 5.1 流量批量控制系统的功能要求         | 141 |
| 5.2 流量批量控制系统的组成           | 142 |
| 5.3 提高流量批量控制计量精确度问题       | 147 |
| 5.4 辅助逻辑功能                | 151 |
| 第 6 章 脉动流的影响和流量测量准确度的现场验证 | 154 |
| 6.1 脉动流对流量测量的影响           | 154 |
| 6.2 流量计示值准确性的现场验证         | 167 |
| 第 7 章 典型流量显示仪表的功能与校验      | 183 |
| 7.1 分类                    | 183 |
| 7.2 智能流量积算仪               | 185 |
| 7.3 通用流量演算器               | 189 |
| 7.4 同步显示器                 | 198 |

|             |                                   |            |
|-------------|-----------------------------------|------------|
| 7.5         | 贸易结算型流量演算器 .....                  | 198        |
| 7.6         | 双量程流量演算器 .....                    | 200        |
| 7.7         | 冷量(热量)表 .....                     | 202        |
| 7.8         | 批量控制器 .....                       | 204        |
| 7.9         | 流量演算器的检查与校验 .....                 | 205        |
| 7.10        | 流量显示仪表校验记录示例 .....                | 214        |
| <b>第8章</b>  | <b>提高流量测量精确度的实用方法 .....</b>       | <b>221</b> |
| 8.1         | 雷诺数与测量误差的关系及补偿方法 .....            | 221        |
| 8.2         | 可膨胀性系数的自动校正 .....                 | 227        |
| 8.3         | 气体压缩系数对流量测量的影响 .....              | 229        |
| 8.4         | 孔板流量计变更量程与不确定度的变化 .....           | 230        |
| 8.5         | 节流件开孔直径和管径的误差校正 .....             | 234        |
| 8.6         | 从涡街流量计标定数据推算流体设计工况 .....          | 235        |
| 8.7         | 配套仪表的配校及误差校正 .....                | 237        |
| 8.8         | 容积式流量计磨损误差的预估 .....               | 239        |
| <b>第9章</b>  | <b>流量测量系统误差的生成与处理 .....</b>       | <b>241</b> |
| 9.1         | 涡街流量计工况变化和旋涡发生体状况变化对流量示值的影响 ..... | 241        |
| 9.2         | 蒸汽带水对涡街流量计的影响 .....               | 243        |
| 9.3         | 差压式流量计的静压误差及其校正 .....             | 249        |
| 9.4         | 节流装置导压管引向对仪表示值的影响 .....           | 250        |
| 9.5         | 取压点设置不合理引入的误差 .....               | 251        |
| 9.6         | 径距取压节流装置安装不合理引入的误差 .....          | 252        |
| 9.7         | 差压式流量计重复开方引入的误差 .....             | 253        |
| 9.8         | 差压信号传送失真及引入的误差 .....              | 254        |
| 9.9         | 孔板前积水对流量示值的影响 .....               | 256        |
| 9.10        | 孔板变形对流量测量的影响 .....                | 258        |
| 9.11        | 测温误差对蒸汽流量测量的影响 .....              | 259        |
| 9.12        | 将过热蒸汽误作饱和蒸汽进行补偿带来的影响 .....        | 260        |
| 9.13        | 蒸汽密度求取处理不当引入的误差 .....             | 260        |
| 9.14        | 电磁流量计误差生成的几个原因 .....              | 262        |
| <b>第10章</b> | <b>通信技术在流量测量中的应用 .....</b>        | <b>265</b> |
| 10.1        | 流量变送器中的通信 .....                   | 265        |
| 10.2        | 流量演算器与外部设备的通信 .....               | 267        |
| <b>附录</b>   | <b>.....</b>                      | <b>291</b> |
| 附录 A        | 气体的物理性质 .....                     | 291        |
| 附录 B        | 液体的物理性质 .....                     | 293        |
| 附录 C        | 水和蒸汽性质 .....                      | 295        |
| 附录 D        | 水的焓值和密度表 .....                    | 348        |
| 附录 E        | 热系数表 .....                        | 350        |
| 附录 F        | 流量积算仪检定规程 .....                   | 358        |
| 附录 G        | 检定记录格式 .....                      | 364        |

# 第1章 绪 论

## 1.1 流量测量的意义

流量测量是研究物质质量变的科学，质与量的互变规律是事物联系与发展的基本规律，因此，其测量对象已不限于传统意义上的管道流体，凡是需要掌握流体流动的地方都有流量测量的问题。

工业生产过程是流量测量与仪表应用的一大领域，流量与温度、压力和物位一起统称为过程控制中的四大参数，人们通过这些参数对生产过程进行监视与控制。对流体流量进行正确测量和调节是保证生产过程安全经济运行、提高产品质量、降低物质消耗、提高经济效益、实现科学管理的基础。在整个过程检测仪表中，流量仪表的产值约占  $1/5 \sim 1/4$ 。

在能源计量中，使用了大量的流量计，例如石油工业，从石油开采、储运、炼制直到贸易销售，任何一个环节都离不开流量计。

在天然气工业蓬勃发展的现在，天然气的计量引起了人们的特别关注，因为在天然气的采集、处理、储存、运输和分配过程中，需要数以百万计的流量计，其中有些流量计涉及到的结算金额数字巨大，对测量准确度和可靠性要求特别高。除此之外，在煤气、成品油、液化石油气、蒸汽、压缩空气、氧气、氮气、水的计量中，也要使用大量的流量计，其中很大一部分用于贸易结算，计量准确度需满足国家的有关标准，这对流量测量提出了很高的要求。

能源计量用流量计往往跟企业的效益有直接的联系，是进行贸易结算的依据，进行能源的科学管理、提高经济效益的重要手段。

在环境保护领域，流量测量仪表也扮演着重要角色。人们为了控制大气污染，必须对污染大气的烟气以及其他温室气体排放量进行监测；废液和污水的排放，使地表水源和地下水源受到污染，人们必须对废液和污水进行处理，对排放量进行控制。于是数以百万计的烟气排放点和污水排放口都成了流量测量对象。

废气和污水流量的测量具有较高的难度。其中烟气的难度在于脏污，含尘，有腐蚀性，流速范围宽广，流通截面不规则，直管段长度难以保证；而污水的难度在于介质脏污、压头低、口径大、流通截面特殊和非满管。

在科学实验领域，种类繁多的流量计提供了大量的实验数据。这一领域中使用的流量计特殊性更多，其中流体的高温、高压、高黏度以及变组分、脉动流和微小流量等都是经常要面对的测量对象。

除了上述的应用领域之外，流量计在现代农业、水利建设、生物工程、管道输送、航空航天、军事领域等也都有广泛的应用。

流量测量是一门复杂、多样的技术，这不仅由于测量精确度的要求越来越高，而且测量对象复杂多样。如流体种类有气体、液体、混相流体，流体工况有从高温到极低温的温度范围，从高压到低压的压力范围，既有低黏度的液体，也有黏度非常高的液体，而流量范围更是悬殊，微小流量只有每小时数毫升，而大流量可能每秒就达数万立方米。而脉动流、多相流更增加了流量测量的复杂性。另一方面，这种复杂性和多样性促进了人们对流量测量仪表

的应用研究。

## 1.2 流量测量仪表应用研究的意义

流量测量技术和仪表种类繁多,测量对象复杂多样,决定了流量测量仪表在应用技术上的复杂性。它与传统意义上度量衡计量器具的应用有很大差别,它不是简单地将流量计安装好,开表投运就一定能够达到测量目的。有两位专家对现场装用着的千余台流量仪表进行调查,发现约有60%所选择的测量方法不是最合适或不正确,其余的40%中,约有一半虽然测量方法合适,却存在现场布置和安装的不合理现象,这些不合适、不正确和不合理,带来了相应的测量误差。因此流量测量是一种强烈依赖于使用条件的测量,在实验室,流量计可以得到极高的精确度,但是在使用现场,一旦流体条件或环境条件有大的变化,不仅精确度无法保证,甚至无法进行正常测量。

一台流量计出厂校验其误差优于 $\pm 0.5\%$ ,但是新的仪表安装到现场开表后误差可能增至 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 并不罕见。造成这种情况的原因多种多样,如选型不合理,量程不合适,上下游直管段长度不足,安装不正确,流体物性偏离设计状态太大,工况条件超过允许值,脉动流影响,振动等环境条件太严酷等。因此流量测量是一个系统问题,包括检测装置、显示装置、前后直管段、辅助设备。而应用技术研究,还包括测量对象本身,仅仅流量计本体性能好并不能保证获得要求的测量效果。

流量测量仪表应用技术研究的目的是正确的使用,主要有下面几个具体内容。

(1) 提高开表率 在仪表设备管理中,开表率 $\text{的定义是: (仪表总台数 - 未正常使用的仪表台数) / 仪表总台数}$ 。因此,提高开表率就是要减少无法投入正常使用的仪表。在设计院中,自控专业所设计的测量系统,开表率是反映设计人员工作质量和技术熟练程度的重要指标之一,经验丰富和认真负责的设计人员,能使开表率达到95%以上,或通过整改达到95%以上。但是在市场经济的条件下,工程公司往往对业主实行交钥匙承包做法,要求做到的开表率就不是95%,而是100%,所设计的仪表系统如果不能正常投入使用,若为工程公司责任,那就得进行整改或更换仪表,这就意味着经济损失。因此,仪表应用技术研究具有现实的经济意义。

开表率是仪表应用技术水平 and 仪表本身品质的综合表现。测量方法和仪表对测量对象、使用环境的匹配、协调、优化,以及在此之前的设计选型和安装调试等环节都是影响开表率的重要因素。

(2) 保证测量精确度 流量测量精确度指的是流量测量系统所获得的精确度,它同流量计本身的精确度是有区别的。仅仅流量计本身性能好,精确度高,并不一定能获得较高的测量精确度。

要保证流量测量系统的精确度,除了合理的选型、正确安装与调试、及时的维护和保养之外,应用智能化技术对测量部分可能引入的误差进行恰到好处的补偿和校正也是一项有效的方法。例如对液体的温度膨胀系数进行补偿,对气体的温度、压力和压缩系数进行补偿,对差压式流量计的雷诺数影响和流束膨胀系数进行补偿,对各种流量计流量系数的非线性进行补偿,对容积式流量计、涡街流量计的温度影响进行补偿,对超声流量计的速度分布进行补偿等。这种补偿和校正用系统的方法将检测部分所固有的、依靠其本身无法得到克服的误差进行处理,使之消除或得到基本消除。实践表明这一方法简单有效,很有发展前途。这一方法将在本书第8章作详细介绍。

在保证测量精确度诸多的方法中,在线实流校准占有重要地位。以前大多采用离线方法

校准流量计，使用该方法检定的流量计经误差修正后虽然精确度较高，但因其检定时管路的参比条件与实际使用时不同，检定时流体性质与实际使用的流体有差异，检定时环境条件与仪表使用场所的实际环境不相同，从而造成附加的使用误差，降低了测量精确度。在线实流校准法是解决这一问题的有效方法。例如，油品计量站在建设阶段就预留标准体积管连接口，接入标准体积管后，通过阀门切换可以实现对计量站中各台流量计实现在线实流校准。现在，在天然气的分配站也要求采用在线实流校准的方法。

(3) 提高流量测量系统的可靠性 用于安全联锁报警的流量仪表如果不可靠，应该联锁动作时不动作，容易酿成事故，不该动作时乱动作，容易导致不应有的停车，造成损失。工业炉窑中的燃料流量计如果不可靠，造成流路堵塞，容易导致炉子熄火，酿成事故。用于过程控制的流量仪表如果不可靠，容易为调节系统发出错误信息，导致调节系统失调，破坏生产过程的稳定，影响产品的质量、产量和物耗，造成损失。用于财务结算计量的流量计如果不可靠，容易引起计量失准，引发计量纠纷和为企业带来损失。可以看出，流量仪表的可靠性是极为重要的。

提高流量测量可靠性的途径主要是提高仪表本身的可靠性，选用可靠性高的仪表和进行可靠性设计。近年来，流量测量仪表的可靠性获得了显著的提高，主要表现在以下几方面。

① 仪表本身的可靠性有了显著提高。

② 通过改进仪表的结构设计，使系统可靠性获得提高。例如采用不断流插入式结构，可在不影响工艺操作的情况下更换流量计。

超声流量传感器的夹装式结构，电磁流量传感器电极的带压更换结构，涡街流量传感器采用管外安装超声探头的结构等，都能在仪表损坏后的修理过程中大大缩短修复时间。

③ 引入冗余技术。如采用双传感器，并对传感器的正常与否进行自动判断，将发生故障的那路信号予以剔除。

④ 引入自诊断技术，并通过现场总线将诊断结果送到操作站或专用的设备管理系统(AMS)予以显示报警，以及时发现故障，及早采取措施。

(4) 节省费用 这里所说的费用除了仪表购置费之外，还应计入附件购置费、安装调试费、运行费、备品备件费、维护和定期校准(检定)费，而仪表的平均寿命摊入的折旧费也是不可忽视的。

有些类型的流量计虽然购置费较低，但必须增设上下游切断阀和旁通阀等辅助设备，有时辅助设备的费用大大超过流量计本身的购置费。

在仪表选型中应避免片面追求高性能、高精确度，因为这样做不仅增加了购置费，而且往往备品备件费也相应增加。最优的设计选型是在满足使用要求的前提下，仪表的可靠性最高，维修方便，费用最省的那个方案。

(5) 安全性 有些被测流体属易燃易爆介质，有些仪表安装场所属易燃易爆场所，仪表的选型、系统设计和安装都应符合防爆规程。

除了上述目标之外，还应满足使用的其他要求，如压损要求、卫生要求、防护要求等，还应注意维修方便，有的还应考虑便于实施强制检定。

## 第2章 流量测量的行业特点及其对仪表的要求

### 2.1 流量测量的术语

#### 2.1.1 封闭管道中流体流量的测量术语和符号

本书所使用的术语和相应的符号符合 GB/T 17611—1998《封闭管道中流体流量的测量 术语和符号》(idt ISO 4006 : 1991), 其中下列术语和相应符号的意义如下。

(1) 流量 (flow-rate) 流经管道横截面的流体数量与该量通过该截面所花费的时间之商。

① 质量流量  $q_m$  (mass flow-rate)。流体数量用质量来表示的流量。

② 体积流量  $q_v$  (volume flow-rate)。流体数量用体积来表示的流量。

(2) 平均流量 (mean flow-rate) 在一段时间内流量的平均值。

(3) 速度分布 (velocity distribution) 在管道横截面上流体速度轴向矢量的分布模式。

① 充分发展的速度分布 (fully developed velocity distribution)。一种一经形成则从流体流动的一个横截面到另一个横截面不会发生变化的速度分布。它通常是在足够长的管道直管段末端形成。

② 规则速度分布 (regular velocity distribution)。非常近似于充分发展的速度分布的速度分布, 便于进行精确的流量测量。

(4) 雷诺数  $Re$  (Reynolds number) 表示惯性力与黏性力之比的无量纲参数。它由下式给出, 即

$$Re = \frac{ul}{\nu}$$

式中  $u$ ——通过规定面积的平均轴向流速;

$l$ ——产生流动的系统的特征尺寸;

$\nu$ ——流体的运动黏度。

当规定雷诺数时, 应指明一个作为依据特征尺寸 (例如管道的直径、差压装置中孔板的直径、皮托管测量头的直径等)。

(5) 斯特罗哈尔数  $Sr$  (Strohal number) 使具有特征尺寸  $l$  的某物体所产生的旋涡分离频率  $f$  与流体速度  $v$  相联系的无量纲参数。它由下式给出, 即

$$Sr = \frac{fl}{v}$$

(6) 真值 (true value) 表征在研究一个量时在它所处的条件下严格定义的值。

真值是一个理想值, 只有排除了所有的测量误差的起因才能得到。

(7) 测量的 (绝对) 误差 [(absolute) error of measurement] 测量结果减去被测量的 (约定) 真值。

① 该术语同等地用于示值、未修正结果及已修正结果。

② 测量的误差已知部分可以采用适当的修正值进行补偿。已修正结果的误差只能用不确定度来表征。

图 2.1 所示为与误差和不确定度有关术语的说明。

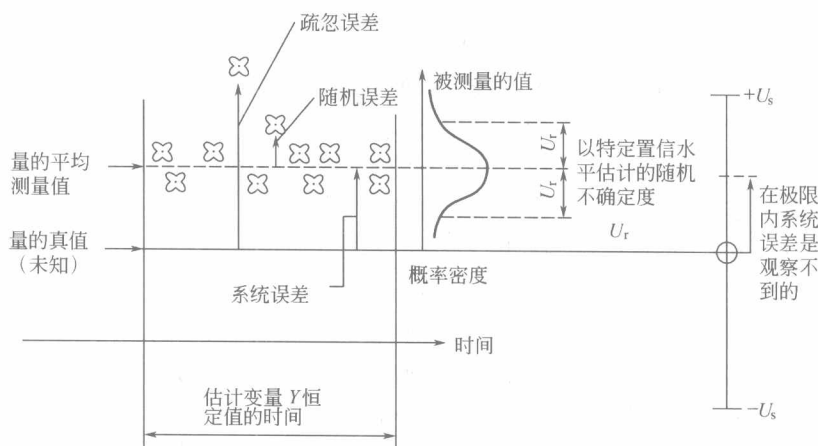


图 2.1 与误差和不确定度有关术语的说明

(14) 最大流量 (maximum flow-rate) 对应于流量范围上限的流量值。这是在某个限定的和预定的时间间隔内要求装置给出信息的最高流量值, 而该信息误差不超过最大容许误差。

对于水表，最大流量称之为过载流量。

(15) 最小流量 (minimum flow-rate) 对应于流量范围下限的流量值。

(16) 流量范围 (flow-rate range) 由最大流量和最小流量所限定的范围，在该范围内仪表的示值误差不超过最大允许误差。

(17) 满标度流量 (full scale flow-rate) 对应于最大输出信号的流量。

(18) (一次装置引起的) 压力损失 [pressure loss (caused by a primary device)] 由于管道中存在一次装置而产生的不可恢复的压力损失。

(19) 流动调整器 (整直器) [flow conditioner (straightener)] 安装在管道中以减少为达到规则速度分布所需直管段的装置。

### 2.1.2 关于范围度的术语

国际标准化组织 (ISO) 于 1998 年颁发国际标准 ISO 11631《流体流动测量——规定流量仪表性能的方法》，对术语范围度作了重新定义<sup>[2]</sup>。

(1) 范围度 (turn down, turn down ratio) 测量范围的最大流量被最小流量除的值。

(2) 上限 (值) 范围度 (rangeability) 最大“范围上限值”与最小“范围上限值”之间的比。

### 2.1.3 通用计量术语及定义

本书所使用的下列计量术语及定义符合国家计量技术规范 JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》。

(1) 相对误差 (relative error) 测量 (绝对) 误差除以被测量的真值。由于真值不能确定，实际上用的是约定真值。

(2) (量的) 约定真值 [conventional true value (of a quantity)] 对于给定目的具有适当不确定度的、赋予特定量的值，有时该值是约定采用的。

例如，在给定地点，取由参考标准复现而赋予该量的值作为约定真值。常数委员会 (CODATA) 1986 年推荐的阿伏加德罗常数值  $6.0221367 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。

约定真值有时称为指定值、最佳估计值、约定值或参考值。

常常用某量的多次测量结果来确定约定真值。

(3) 量程 (span) 标称范围两极限之差的模。

例如，对从  $-10 \sim +10 \text{ V}$  的标称范围，其量程为  $20 \text{ V}$ 。

(4) 漂移 (drift) 测量仪器计量特性的慢变化。

(5) 响应时间 (response time) 激励受到规定突变的瞬间与响应达到并保持其最终稳定值在规定极限内的瞬间，这两者之间的时间间隔。

(6) 准确度等级 (accuracy class) 符合一定的计量要求，使误差保持在规定极限以内的测量仪器的等别、级别。

准确度等级通常按约定注以数字或符号，并称为等级指标。

(7) 影响量 (influence quantity) 不是被测量但对测量结果有影响的量。

例如，用来测量长度的千分尺的温度；交流电位差幅值测量中的频率；测量人体血液样品血红蛋白浓度时的胆红素的浓度。

## 2.2 流量测量的行业特点及其对仪表的要求

### 2.2.1 钢铁行业流量测量的特点

钢铁行业是耗能大户，大量燃料在各种炉窑内燃烧，还需要助燃空气，有的属富氧燃

烧,需要吹入氧气。有的炉子燃烧产生大量的荒煤气,经洗涤除尘等处理后,送到另一些炉窑作燃料。因此,助燃气体流量、煤气流量、烟道气流量等占了很大比例。这些测量对象流体压力低、流速低、密度低、管径大,要准确测量有一定难度,尤其是煤气,往往含水量、含尘量较高,有的还含有焦油,有的煤气管道内有排不尽的水,这些都要求仪表有适应能力,不能因凝液析出而影响测量,不能因灰尘而发生故障。

厂制水流量测量对象也有其特点,测量结果多半用于过程监视与控制,精确度要求不高,但稳定性、可靠性要求高。有时口径较大,常常选用均速管差压式流量计和夹装式超声流量计。

## 2.2.2 电力行业中的流量测量特点

提到电力行业自然就联想到火电厂中的大型锅炉和高温高压蒸汽,联想到热电厂的大口径管网将蒸汽供给各个用户。因此火电和热电行业中蒸汽流量测量对象是大量的。按其用途和特点分,大致可分为与发电有关的流量测量和供热网中的流量测量。

(1) 与发电有关的蒸汽流量测量 此类流量测量的特点是流体温度高,压力高,连数兆瓦的小机组蒸汽温度都要高达 $420^{\circ}\text{C}$ 以上。尽管经常有新型流量计推出,但多数原理流量计承受不了如此严酷的工作条件。目前还是节流式差压流量计稳稳地占据着这块传统领地。

由于此类测量对象流量变化范围不大,经常是满载满发,所以差压式流量计范围度较小的弱点不会带来实际影响。

(2) 供热网中的蒸汽流量测量 热电厂供热网中所用的流量计,由于流体温度和压力均大大降低,所以可以选择的空间大大扩展,但由于沿袭电厂仪表选型的传统,多数对象仍选用节流式差压流量计,部分选用涡街流量计。

## 2.2.3 石油和化工行业中流量测量的特点

石化、化工行业流量测量对象由于被测介质的多样性,测量范围的要求也异常广阔,从测量添加剂和小试验装置使用的微小流量,到测量原料气流量的大流量,流体从最常见的水蒸气、空气、煤气等,到各类化工成品和半成品,以及渣油、液氨、液态烃之类测量难度较高的对象,应有尽有。

石化行业资金实力较雄厚,是品质优、价格贵的高端产品的重要市场。除了上面所述的一些基本特点之外,还有下面的两个鲜明的特点。

① 多数石化和化工企业有防爆要求,即使被测流体本身不是易燃易爆物质,但整个区域属易燃易爆场所,因此仪表选型时应符合防爆规程。

② 有腐蚀性。有很多被测流体有腐蚀性,仪表选型时必须考虑与腐蚀性介质接触的部分耐腐蚀问题。除了被测介质腐蚀之外还有大气腐蚀,例如氯碱厂、氮肥厂、硫酸厂厂区的雨水对仪表外露部分都有一定的腐蚀作用,这就需要考虑室外仪表的防护,以免过早损坏。

## 2.2.4 石油储运行业的流量测量特点与要求

石油储运行业也是流量仪表的一大用户,每年数以亿吨计的成品油从油库经计量后转运到加油站或下一级油库,然后再经计量发送到最终用户。数以万计的加油站遍布各地,每个加油站都装有数量不等的加油机。

成品油主要有汽油、柴油、煤油、润滑油、航空汽油等品种。由于接收油品的槽车、槽船或车辆的油箱等都是装在可移动的设备上,因此油品经流量计计量后通过鹤管、挠管之类的柔性管道发送到接收方。因为油品属易燃易爆物质,安全是人们关注的首要问题。由于高速流动的油品与管件及管道内壁摩擦易产生静电,因此,管路设计中都应有静电接地措施,将所产生的静电电荷导入大地。静电接地系统还要求与发油控制系统联锁,一旦静电接地失