

周 人 何衍庆 编著

流量测量和控制

实用手册

LIULIANG CELIANG HE KONGZHI
SHIYONG SHOUCHE



化学工业出版社

周 人 何衍庆 编著

流量测量和控制

实用手册

 化学工业出版社

· 北 京 ·

本手册从用户角度出发,详细介绍了各种流量仪表的测量原理、使用条件和注意事项;讨论了与之配套的变送器和显示积算仪表;对各种流量计安装、使用和维护提出了实用性建议和意见,为流量计正确应用提供了坚实基础。

本手册特别重视工程应用,对流量计工程设计规定和计算、流量计选型作了详细介绍。由于流量仪表的重要地位,本手册还介绍了流量计量量值的传递系统、有关流量标准装置和流量标准装置的标定等内容。针对流量被控对象特点,手册中还提出了各种流量控制系统的方案,包括应用时的注意事项,为实际流量控制系统的应用提供帮助。

本手册可作为石化、化工、热电、制药、纺织、轻工、建材、水道等行业仪表及自动化工厂技术人员的技术资料,也可作为民用工业有关人员和大专院校本、专科学生的培训教材或继续教育教材。

图书在版编目(CIP)数据

流量测量和控制实用手册/周人,何衍庆编著. —北京:
化学工业出版社, 2013. 5
ISBN 978-7-122-16702-6

I. ①流… II. ①周…②何… III. ①流量测量②流量-
控制系统 IV. ①TH814

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 049352 号

责任编辑: 宋 辉
责任校对: 陈 静

文字编辑: 孙 科
装帧设计: 张 辉

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: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 26 1/4 字数 623 千字 2013 年 6 月北京第 1 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: 98.00 元

版权所有 违者必究

序

21 世纪是信息化、智能化、网络化的时代。信息时代的到来使高新技术得到飞速发展，仪器仪表的发展也随着计算机技术、微处理器技术、网络技术、控制技术、新材料技术等高新技术的发展而获得迅速发展，并反过来，推动其他技术的发展。在市场经济的大潮下，人们迫切需要了解仪器仪表的知识结构和技术内涵，由于仪器仪表的硬件和软件的界线变得模糊，软件和智能化成为仪器仪表的主要基础和决定仪器仪表技术水平和应用的主要因素，因此，如何适应时代发展，学习和掌握有关仪器仪表的知识，并将它应用到工业生产过程中成为当前十分重要的工作。

随着生产技术指标不断提高，对仪器仪表也提出更高要求，例如，对性能价格比要求、通信技术要求、软件和硬件融合技术要求、高精度要求、安全可靠性能要求、节能要求等，因此，工业应用的过程工程师迫切希望有一本能够反映当代先进技术的有关仪器仪表的书籍，本书顺应了新技术、新形势的发展需要，为他们提供了一本实用性强的书籍。

流量测量和控制技术是一门应用面广、技术含量高、类型多的迅速发展的技术。它的应用对象复杂、流体物性各不相同、应用条件各异，使流量检测和控制变得困难。一些新材料、新检测技术、新控制方案的应用对流量仪表提出了更高要求，例如，精确计量、稳定运行、可靠安全和数据传输等。为此，仪器仪表的更新换代已经提到议事日程。

本书根据时代发展的要求，围绕流量测量和控制问题展开其内容。从工作原理、结构特点、参数应用，一直到系统设计、系统维护和控制方案等。但本书并未拘泥于此，在保证内容全面性的同时，做到了突出重点，例如，第 2 章流量测量原理和第 7 章流量控制，不但篇幅多，而且条理分明。值得称道的是有关流量测量原理的阐述，充分介绍了差压式流量计、临界流流量计、可变面积流量计、电磁流量计、振动式流量计、叶轮式流量计、质量流量计、超声流量计、容积式流量计、靶式流量计和明渠流量计，还介绍了插入式流量计、层流流量计、标记型流量计、热能量的检测和软测量技术在流量测量中的应用等，内容详尽准确，概念清楚。同样，在讨论流量控制的内容时，作者也注重举例说明。与国内已出版的相关技术著作相比，这一点尤为突出。

本书另外一个特点是其先进性，在选材方面既注意介绍流量仪表的基础内容和必须包括的基本内容，例如，流量测量原理、流量仪表的选型和工程设计计算、流量计检验和检定、

信号处理和流量积算等，又着意尽可能采用代表近些年流量仪表技术进步的内容，例如，A+K平衡流量计的基本概念，测量不确定度的计算、热量检测、在线补偿、压缩因子迭代计算、智能流量演算器等。

本书的第三个特点是其实用性。流量检测是一类应用面极广的工业检测仪表：从简单的小型机械式水表，到复杂的质量流量计；从流量检测，到热量计量，都有全面的讨论。流量控制在一般流量仪表检测的书籍中较少讨论。本书从应用角度出发，分析流量被控对象的特点，介绍了从简单的单回路控制系统，到复杂的解耦控制系统，从常规控制系统到按控制指标计算的控制系统等有关控制方案，并通过应用举例较详细地给予说明。这些编排使读者在阅读和应用时更为方便。

本书深入浅出，以各种图表形式对有关性能和原理进行比较和理解，使读者可从中举一反三，对流量测量、标定、设计、维护和控制都能有全面了解。本书没有过多地对公式进行推导，而是从实际应用出发，说明如何应用公式分析其参数变化的影响，并解决实际问题。因此，本书易于学习和推广。

本书作者有在工厂多年从事实际工作的经历，又有长期指导学生和研究生、承接工程项目，以及开设和编写有关课程和教材的经历。选择治学严谨、并有丰富工程应用经验的学者编撰本书，也可证实出版社知人善用的好眼力。

中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会秘书长

武丽英

前言

随着国民经济的发展和现代化生产过程自动化程度的不断提高,流程工业中物料流量的检测和控制已成为生产过程经济效益、工作状况和产品质量的重要指标。一些生产过程更要求各物料之间按一定的配比进行混合或反应,为此,不仅要正确检测各物料的流量,还要控制各物料的配比,使其符合生产要求。

随着节能减排的深入,以能源计量为目标的流量测量受到用户的关注,对蒸汽、天然气、油品的计量已经从对其进行质量计量上升到能量计量。人们更关注其热值,即发热量。对能量的计量,可较好地解决按质论价、优质优价问题,使消费者真正获益。

信息革命为工业生产向知识经济转变提供了坚实基础。各种智能化、网络化和数字化的流量检测和控制仪表和控制装置应运而生,并在生产过程中发挥越来越重要的作用。

流量作为流程工业的三大重要参数之一,其检测和控制难度比其他参数更高,有待解决的问题也更多,产品的类型也更复杂。为适应工业生产过程测量和控制的要求,我们编写了本书。流量测量和控制的内容涉及流量检测、标定、维护、使用和工程设计的各方面,也涉及流量控制的有关技术。

本书具有下列特点:

① 先进性。本书介绍美国气体协会 AGA-3 和 AGA-8 (2009) 报告中的有关公式,用于天然气压缩因子和超压缩因子计算;介绍国际水和水蒸气性质协会的 IAPWS-IF97 公式和国际公式化委员会的 1967 IFC 公式,用于水和水蒸气性能计算;介绍测量不确定度及其计算方法;介绍电磁流量计干标;介绍用 Lee-Kesler 方程计算压缩因子;介绍 A+K 平衡流量计等,具有一定先进性。

② 实用性。本书提供应用 IEC61131-3 编程语言中反馈变量的功能,使工程计算和实时应用中的迭代计算精度大大提高,解决了流出系数、可膨胀系数等在线修正问题;解决了用 Lee-Kesler 方程计算压缩因子时,维里方程的迭代计算问题等。本书提供 MATLAB 语言实现的流体密度、黏度等计算方法,解决实际应用中有物性参数的计算问题。本书提供 Excel 解决工程单位换算、测量不确定度计算等实际应用问题的方法。

③ 易用性。本书为读者提供各种图表,便于对有关性能和原理进行比较和理解;所提供的功能块图程序(可在 PLC 执行)能够直接应用于在线非线性补偿等;本书还提供线性

内插和双线性内插公式,为查表和内插计算提供实用手段。

④ 全面性。本书是全面介绍流量测量、标定、设计、维护和控制的书籍。以点带面,使读者可从中举一反三,对流量测量、标定、设计、维护和控制在全面了解。因此,本书是自控工程技术人员、设计、检定和维护人员的重要参考书,也可作为大专院校自动化和仪表专业师生的教学参考书和工矿企业继续教育和培训班教材。

⑤ 理论与实践结合、普及和提高结合。本书没有过多地对公式进行推导,而是从实际应用出发,说明如何应用公式解决实际问题。理论与实践结合、普及和提高结合是本书编写中极为关注的问题。

⑥ 创新性。本书首先提出用 PLC 的反馈变量实现迭代计算方法,为流量检测系统的在线非线性补偿(流出系数、可膨胀系数等)、离线计算压缩因子等问题提供了有效手段,大大提高其计算精度。本书采用 Excel 解决工程单位换算、不确定度计算等问题,极大地方便了工程应用,它也可用于流量计工程设计的其他计算问题。

本书分 7 章。其中,第 1 章概述,介绍流量测量和控制的目的和意义、讨论了流量测量和控制方面的基础知识。第 2 章介绍流量测量原理,包括差压式、临界流、可变面积、电磁、振动式、叶轮式、质量、超声、容积式、靶式、明渠和其他流量计的测量原理。第 3 章介绍流量信号的处理和显示,包括信号处理和变换、密度和黏度补偿、膨胀性和压缩性补偿和其他非线性补偿等,该章提供了不少实际应用行之有效的计算公式,为流体物性数据计算提供了手段。第 4 章是流量计安装、使用和维护,除了讨论流量计的安装、使用和维护外,还涉及流量计测量不确定度的确定和计算等。第 5 章讨论流量计工程设计计算和选型,介绍了在线非线性补偿、迭代计算等技术的实施等。第 6 章介绍流量计量和流量标准装置、讨论流量计的校验和检定方法。第 7 章是流量控制,包括控制系统组成、基本要求和性能指标,单回路、比值、串级和前馈、定量装车等其他控制方案。

本书由周人、何衍庆编著。本书的编写工作得到中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会的积极支持和指导。得到上海科洋科技发展有限公司和华东理工大学信息科学与工程学院等单位的关心和支持。中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会秘书长武丽英先生在百忙中为本书作序。范锐、朱晓枫、石明根、彭瑜、邱宣振、顾顺风、吴勤勤、纪纲等先生十分关心本书的编写、出版和发行工作。沈伟愿、王强、季建华、贺正勤、戴自祥、陈春雷、李进等先生提供了大量技术资料和技术支持。上海科洋科技发展有限公司、上海同欣自动化仪表有限公司、华东理工大学信息科学与工程学院、ABB、E+H、Emerson、Foxboro 等组织和公司提供了技术支持和帮助。王慧锋、孙自强、凌志浩、王华忠、高迎燕等先生给予大力支持和帮助。为本手册编写提供帮助的还有张俊杰、张正明、陈家祥、贺庆龙、冯保罗、杭一飞、何乙平、王朋、陈积玉、缪玲梅等同志。此外,范秀兰等同志不仅积极支持本书的编写工作,也参加部分工作并提供了不少建议。本书的出版得到了化学工业出版社的大力支持和帮助,谨在此一并表示衷心感谢和诚挚谢意。在编写过程中,参考了有关专业书籍、产品说明书和网络资料,在此,向有关作者和单位表示衷心感谢。

由于时间仓促和编著者的水平所限,不妥之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编著者

目录

1 概述	1
1.1 流量测量和控制简介	1
1.1.1 流量测量和控制的发展	1
1.1.2 流量测量和控制的重要性	2
1.1.3 流量测量和控制仪表的发展	4
1.2 流量测量和控制基础知识	6
1.2.1 基本概念	6
1.2.2 流量基本方程	22
1.2.3 流型分析	26
1.2.4 相似原理	28
1.2.5 管路阻力	30
2 流量测量原理	33
2.1 差压式流量计	33
2.1.1 差压式流量计结构	33
2.1.2 差压式流量计工作原理	42
2.1.3 差压式流量计的参数	47
2.1.4 差压式流量计的比较	55
2.2 临界流流量计	59
2.2.1 概述	59
2.2.2 临界流流量计工作原理	61
2.2.3 参数修正	65
2.3 可变面积流量计	67
2.3.1 测量原理和结构形式	67
2.3.2 浮子设计	70
2.3.3 刻度换算和量程换算	73
2.4 电磁流量计	75

2.4.1	测量原理	75
2.4.2	电磁流量计的实现	82
2.5	振动式流量计	88
2.5.1	概述	88
2.5.2	工作原理	95
2.6	叶轮式流量计	102
2.6.1	结构	102
2.6.2	测量原理	107
2.6.3	主要参数和特点	111
2.7	质量流量计	112
2.7.1	科里奥利质量流量计	112
2.7.2	热式质量流量计	121
2.8	超声流量计	126
2.8.1	超声测速原理	126
2.8.2	超声流量计结构	131
2.9	容积式流量计	137
2.9.1	容积式流量计结构	137
2.9.2	容积式流量计测量原理	141
2.10	靶式流量计	145
2.10.1	靶式流量计结构	145
2.10.2	靶式流量计测量原理	146
2.11	明渠流量计	148
2.11.1	明渠流量计工作原理	148
2.11.2	超声明渠流量计工作原理	154
2.11.3	估算渠道流量和抬高水位	155
2.12	其他流量检测	155
2.12.1	插入式流量计	155
2.12.2	层流流量计	159
2.12.3	标记型流量计	160
2.12.4	热能量检测	162
2.12.5	软测量技术在流量测量中的应用	164
2.12.6	多相流流量计	167
3	流量信号处理和显示	172
3.1	传感器和变送器	172
3.1.1	差压变送器和流量变送器	172
3.1.2	频率检测和变送	176
3.1.3	相关仪表和变送器	177
3.2	信号处理	179

3.2.1	信号处理和变换	179
3.2.2	密度和黏度的计算和补偿	184
3.2.3	膨胀性和压缩性补偿	194
3.2.4	其他非线性补偿	207
3.3	流量显示	210
3.3.1	概述	210
3.3.2	流量演算器	212
4	流量计的安装、使用和维护	218
4.1	流量计的安装	218
4.1.1	安装原则	218
4.1.2	测量不确定度	229
4.2	流量计的使用和维护	237
4.2.1	影响流量测量的因素分析	237
4.2.2	流量计故障诊断	245
5	流量计工程设计计算和选型	266
5.1	流量计工程设计计算	266
5.1.1	流量计工程设计规定	266
5.1.2	流量计工程设计计算	281
5.2	流量计选型	289
5.2.1	概述	289
5.2.2	流量计选型	292
5.2.3	流量计选型步骤	301
6	流量计校验和检定	308
6.1	流量计量	308
6.1.1	流量计量量值传递系统	308
6.1.2	流量标准装置	310
6.2	流量标准装置	311
6.2.1	液体流量标准装置	311
6.2.2	气体流量标准装置	317
6.2.3	蒸汽流量标准装置	322
6.2.4	两相流体流量标准装置	326
6.2.5	标准流量计法流量标准装置	329
6.3	流量计校验和检定方法	331
6.3.1	概述	331
6.3.2	用容积法流量标准装置检定	334
6.3.3	用称重法流量标准装置检定	337
6.3.4	用标准流量计法流量标准装置检定	339
6.3.5	检定标准节流装置	340

6.3.6 电磁流量计的干法检定	345
7 流量控制	349
7.1 概述	349
7.1.1 控制系统结构和分析	349
7.1.2 控制系统基本要求和性能指标	352
7.1.3 过程特性对控制系统性能指标的影响	354
7.1.4 控制系统各环节的选择	357
7.2 单回路流量控制	367
7.2.1 基本原理	367
7.2.2 变频调速控制	369
7.2.3 控制阀控制	374
7.2.4 控制器参数整定	379
7.3 流量的比值控制	381
7.3.1 比值控制系统结构和工作原理	381
7.3.2 比值控制系统的实现	382
7.3.3 应用时的注意事项	384
7.4 流量的串级控制	385
7.4.1 串级控制系统工作原理	385
7.4.2 流量作为副被控变量的串级控制系统	389
7.4.3 应用时注意事项	390
7.5 流量的其他控制	391
7.5.1 流量的前馈控制	391
7.5.2 定量装车控制	395
7.5.3 其他控制	402
参考文献	409

概 述

1. 1 流量测量和控制简介

1. 1. 1 流量测量和控制的发展

流量测量的历史可追溯到远古时期。我国在四千多年前就有大规模的治水工程。历史上记载最早的流量测量和控制方法是距今约 3000 年前古埃及在尼罗河水利工程中应用堰法测量流量，并用树枝、泥土和石块对水量进行控制。公元前 150 年已有对泉水进行流量测量的记录，并提出用减小摩擦，增大流速对供水系统进行改造。我国秦代的都江堰、郑国渠和灵渠等三大水利工程已经用水位高低观测水量大小，用于适时适量对农田进行灌溉。

15 世纪后期，达·芬奇（Leonardo Da Vinci）第一个观测到旋涡脱落现象，并建立了驱动力与流速之间的关系。17 世纪，皮托（Henri de Pitot）发明了测量流量的皮托管。1738 年，伯努利（D Bernoulli）在《流体动力学》专著中总结出流体压强与流速的关系，即伯努利方程。普兰尼（Poleni）为孔板流量计奠定了理论基础。其后，文丘里（Venturi）和沃特曼（Woltmann）发明了文丘里流量计和沃特曼流量计。欧拉（L Euler）在《流体运动的一般原理》的名著中，提出了连续性微分方程和理想流体运动微分方程，为不可压缩流体提供了一般解析方法。

19 世纪初，法拉第（Micheal Faraday）发现电磁感应，并于 1832 年制造出第一台感应电动机，为电磁流量计的诞生奠定了理论基础。1883 年雷诺找到了实验研究黏性流体流动规律的相似准则数，即雷诺数。1900 年前后，Kent 公司生产出浮子流量计。其后，涡轮流量计（1940 年）、涡街流量计（1965 年）、超声流量计（1970 年）、科里奥利质量流量计（1977 年）、相关流量计（1978 年）等相继研制成功。

流量控制技术包括控制理论和控制阀的研究。1880 年由费希尔（William Fisher）制造的泵调节器是最早的自力式控制阀，用于控制流体流量。其后，球形阀（Ball Valve）、单座（Single-port）和双座（Double-ported）控制阀在 20 世纪 20~30 年代相继问世。20 世纪 40 年代相继研制出适用于高压介质的角形控制阀（Angle Valve）、用于腐蚀性介质的隔膜控制阀（Barrier Diaphragm Valve）和用于大流量应用的蝶阀（Butterfly Valve）等。20 世纪 50 年代开始，用于配比控制和旁路控制的三通控制阀（Three-way Valve）、适用于大压差和降

低噪声的套筒控制阀（Cage Valve）、用于较大压差场合的偏心旋转阀（Eccentric Plug Valve）相继研制成功。20 世纪 80 年代各种精小型控制阀、20 世纪 90 年代各种智能控制阀等得到广泛应用。为流量控制提供了坚实的基础。

控制理论的研究与实际应用同步得到发展。早期的简单控制以单回路控制为主，由于受经典控制理论和常规仪表的制约，难以解决生产过程控制中的系统耦合、非线性和时变性等问题，随着企业对过程控制高柔性和高效益的要求，简单控制系统较难适应生产过程控制的要求，先进控制正受到过程工业界的普遍关注。例如，流量的比值控制、前馈控制和计算机控制等在生产过程控制中得到广泛应用，先进的预测控制、软测量技术等正在流量测量和控制领域受到好评。

表 1-1 是过程控制发展史的简表。

表 1-1 过程控制发展史

阶段	大致时间	控制理论和研究方法	过程控制研究对象	采用的仪表
第一阶段	20 世纪 40～50 年代	经典控制理论 微分方程解析方法	控制系统稳定性,单输入、单输出系统	基地式大型仪表 部分气动单元组合仪表
第二阶段	20 世纪 50～60 年代	经典控制理论 频域法、根轨迹法等	从随动到定值控制;从单回路到复杂控制;从 PID 到特殊控制规律	基地式仪表为主,大量应用 气动单元组合仪表
第三阶段	20 世纪 60～70 年代	现代控制理论 状态空间、动态规划、极小值原理等	复杂控制系统的开发和应用,在 航天、航空和制导等领域取得成功	组合式仪表广泛应用,气 动和电动单元组合仪表成 为控制仪表的主流
第四阶段	20 世纪 70～80 年代	大系统控制理论 人工智能、鲁棒控制、模 糊控制、神经网络、多变量 频域	基于知识的专家系统、模糊控制、 人工神经网络控制、智能控制、预测 控制、故障诊断、生产计划和调度、 优化控制等先进控制系统,非线性 和分布参数系统	集散控制系统(DCS),可 编程控制器(PLC)、信息管 理系统(MIS)
第五阶段	20 世纪 80 年代开始	管控一体化、综合自动化 过程控制系统、制造执行 系统和企业资源计划结合	综合自动化系统(PCS,MES,ERP) 网络集成、数据集成、直到信息集 成和应用集成 先进过程控制(APC)、卓越运行 操作(Opx)	现场总线控制系统(FCS)、 无线仪表、网络化仪表

1. 1. 2 流量测量和控制的重要性

流量测量是工业生产过程的眼睛，流量控制是工业生产过程的手脚。它与国民经济、国防建设和科研、民生等都有密切的联系。做好流量测量和控制具有很重要的意义，它对提高产品质量和产量，保障生产安全、改进生产工艺、改善操作条件都有十分重要的作用。

流量测量是研究物质量变的科学。质量互变规律是事物联系发展的基本规律。因此，测量对象并不限于传统的管道流体。凡需掌握量变的地方都有流量测量的问题。流量和压力、温度一起被称为三大检测参数，对一般流体只要知道这三个参数，就可计算其具有的能量。在能量转换的测量时，必须检测该三个参数，尤其在节能减排中流量检测更有重要意义。

(1) 流量测量和控制的重要性

① 与温度、压力等过程参数的测量和控制一样，流量测量是工业生产过程的重要过程

参数,是工业自动化的重要保证。流量、温度和压力是三大基础参数。在物料衡算和能量衡算过程中都与流量的测量有关。凡是有量变的过程都有流量测量的问题,凡是有能量变化的过程也有流量的测量问题。因此,研究流量测量是十分重要。

流量测量既包括进入企业的各原料和能源的数量,也包括企业生产出的各种产品和消耗能源的数量,因此,需要对各有关物料和能量进行核算。

② 随着科学技术的发展,人们对流量检测的精度要求越来越高,需要检测的流体种类也越来越多,例如,从传统的单相流体,发展到多相流体的流量检测。流体介质的温度有高温,也有极低温;流体的压力有高压,也有低压;流体的流量可从极微小流量到极大流量;流体的流动状态从紊流到过渡流到层流;流体的腐蚀性、压缩性、黏性和其他性质的变化对流量测量提出越来越高的要求,为此,各种流量检测仪表被设计和研制,例如,用于油、水和气测量的多相流流量计等。一些特殊仪表材料的研制为特殊的应用场合提供了可能。

③ 在市场经济的今天,为了合理利用资源,供需双方的经济核算越来越被双方所重视。因而,对流量计量的准确性提出更高要求。此外,对环境保护意识的增强,使人们认识到降低碳排放、降低污染物的排放具有更重要的内涵。它对流量和能量的检测和控制也有更高要求和期望。

④ 安全生产被提到十分重要的位置。它对检测仪表和控制仪表都提出了越来越高的要求。仪表安全功能要求和 SIL 等级已经被越来越多地在设计阶段提出并被应用。

⑤ 流量控制在生产过程中不仅是物料平衡的需要,也是能量平衡的需要,因此,控制流体流量,使其满足工艺物料和能量平衡要求成为流量控制的主要目标。

(2) 流量测量和控制的应用领域

① 工业生产过程。这是流量测量和控制的最重要应用领域。流量仪表和控制仪表已经被广泛应用于冶金、电力、煤炭、化工、石油、交通、建筑、轻纺、食品、医药、农业、环境保护及人民日常生活等国民经济的各个领域。它在国民经济中占有重要的地位,是发展工农业生产,节约能源,改进产品质量,提高经济效益和管理水平的重要工具。通常,流量仪表和控制仪表被用于工业生产过程的自动化控制系统中作为检测物料瞬时流量的仪表和检测物料总量的仪表,并被用于对其进行控制。

② 能源计量。能源分为一次能源(煤炭、原油、煤层气、石油气和天然气)、二次能源(电力、焦炭、人工燃气、成品油、液化石油气、蒸汽)和载能工质(压缩空气、氧、氮、氢、水)等。能源计量是科学管理能源,实现节能降耗,提高经济效益的重要手段。流量仪表是能源计量仪表的重要组成部分。水、人工燃气、天然气、蒸汽和油品这些常用的能源都使用着数量极其庞大的流量计,它已是能源管理和经济核算不可或缺的工具。

③ 环境保护工程。烟气、废液、污水等的排放严重污染大气和水资源,严重威胁人类生存环境。国家把可持续发展列为国策,环境保护是 21 世纪的最大课题。空气和水的污染要得到控制,必须加强管理,而管理的基础是污染量的定量控制。

全国有上百万个烟囱不停地向大气排放烟气。烟气排放控制是根治污染的重要项目,每个烟囱必须安装烟气分析仪表和流量计,组成连续排放监视系统。烟气的流量测量有很大困难,它的难度是烟囱尺寸大且形状不规则,气体组分变化不定,流速范围大,脏污,灰尘,腐蚀,高温,无直管段等。

- ④ 交通运输。交通运输分铁路、公路、航空、水运和管道运输。随着环保问题的突出，管道运输的特点引起人们的重视。管道运输必须装备流量计，它是控制、分配和调度的眼睛，亦是安全检测和经济核算的必备工具。
- ⑤ 生物技术。21 世纪以来，以生物技术为特征的产业将获得迅速发展。生物技术中需监测计量的物质很多，如血液、尿液等。该领域仪表开发的难度极大，品种繁多。
- ⑥ 科学实验。科学实验需要的流量计不但数量多，且品种极其繁杂。据统计，100 多种流量计中很大一部分是为科研所用，它们不能批量生产、在市面出售。许多科研机构和大企业都设置专门小组研制专用的流量计。
- ⑦ 海洋气象，江河湖泊。这些领域为敞开流道，一般需检测流速，然后推算流量。需采用明渠流量计进行流量检测。

1. 1. 3 流量测量和控制仪表的发展

(1) 流量计分类

图 1-1 是封闭管道流量仪表主要类型。图 1-2 是敞开管道流量仪表主要类型。

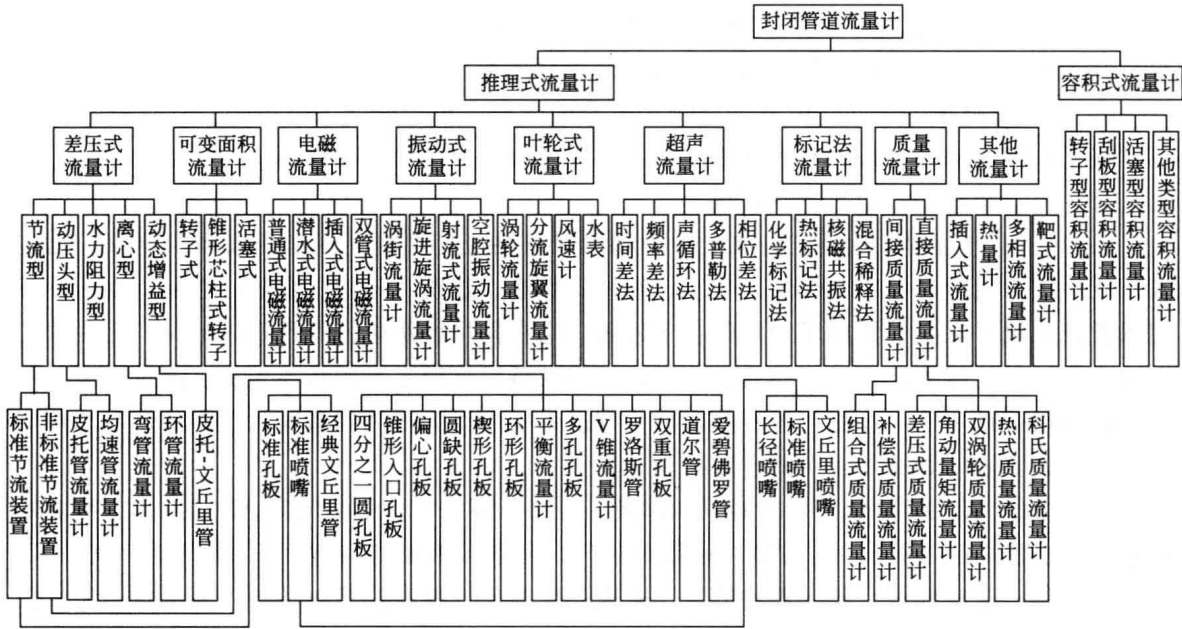


图 1-1 封闭管道流量仪表分类

(2) 流量测量仪表的发展

① 对流量仪表的要求

- a. 智能化。随着微处理器的应用，越来越多的仪表采用智能化、数字化技术，以 DSP 芯片为核心，配合先进的混合信号电路、ASIC 电路等，使流量仪表的智能化程度大大提高。
- b. 网络化。在智能化基础上，网络化已经从 HART 通信发展到各种现场总线的数据通信，并可与工业以太网、互联网、内联网实现数据通信。

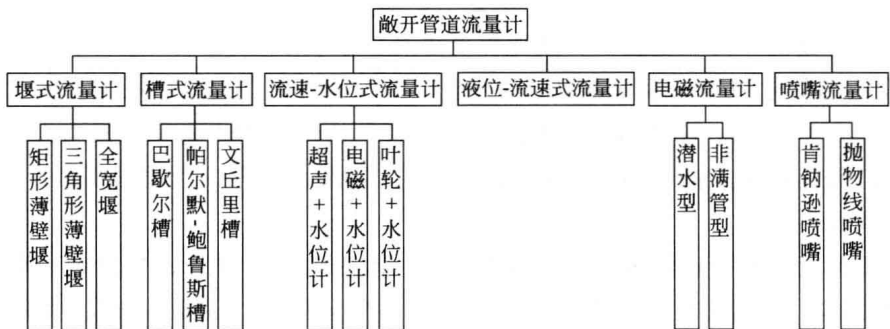


图 1-2 敞开管道流量仪表分类

c. 虚拟化。以美国 NI 公司为代表，各种智能仪表与虚拟现实技术结合，实现各种原来用硬件实现的功能，例如，示波器、数据运算等。此外，以数字模拟技术为主，实现各种数字仿真，对被测和被控对象进行仿真研究，实现系统优化。

d. 非接触式。早期的流量检测仪表与被测流体有直接接触，因此，对腐蚀性等问题有较高要求。采用非接触式可从本质上解决腐蚀问题。

e. 现场总线和无线化。实现现场总线和无线传输，将危险和风险降低。

② 流量仪表主要存在问题

- a. 涡轮流量计不耐磨损，传动部件容易损坏、卡死，长期使用后精度下降。
- b. 差压式孔板流量计测量精度不够，量程范围度小，导压管容易堵塞或泄漏。
- c. 电磁流量计电极处易泄漏，内衬易鼓起剥离。
- d. V 锥流量计锥体在流速高时容易脱落。
- e. 刮板流量计计数器、发信器信号强度不够，容易受外界电磁干扰影响，仪表整体不耐振。
- f. 部分流量仪表的压损较大，低流量时测量精度不高。

③ 流量仪表发展方向

随着对流量测量精度要求的不断提高，随着对节能减排要求的不断完善，随着对生产安全的认识不断深化，对流量测量和控制提出更高要求。

a. 对流量测量的稳定性、可靠性、准确性和安全性提出更高要求，尤其对蒸汽和气体流量的测量和控制有更高要求。为此，对流量仪表各组成部件的稳定性、可靠性、安全性和准确性都有更明确指标，为智能仪表的开发和应用提出更高要求。同时，对仪表整体的功能有更明晰的指标。

b. 提高非接触式测量仪表的测量精度。

c. 向多参数检测和控制发展。对流体流量的单参数检测扩展到对流体流量、温度、压力、密度等多参数检测，从单一检测到检测和控制一体化，从单一的仪表到机电仪一体化。

d. 同一传输线上可同时传输多种数据。例如，模拟信号外还可传输 HART 信号、现场总线信号等。

e. 开发对流体测量直管段要求不高或直管段长度较短的流量测量仪表；开发流阻小、

永久压损小的流量检测仪表。

f. 智能仪表的开发要求更高。其体积更小、功耗更低、供电电源摄取能量更小。其集成度更高、成本更低、功能更强、智能化程度更高。

g. 开发应用其他物理化学原理的检测仪表。从检测方式、测量原理上有更大突破。

h. 开发实验室应用、小流量检测和非导电带颗粒流体、两相流和多相流流量检测仪表。

i. 开发特殊应用要求的检测仪表，例如高压、高温、低温、含固体颗粒、腐蚀等流体的流量检测仪表。

j. 提高检测元件和变送器可靠性和转换精度，改善整体检测系统的测量不确定度。

k. 降低成本，提高质量，提高仪表检测系统的整体精度，满足不同应用领域的检测和控制要求。

l. 在节能减排、降低 PM2.5、合理利用太阳能、风能、核能等领域发挥作用，降低能量消耗，降低生产成本。

(3) 控制仪表和控制系统的的发展

控制仪表和控制系统的发展表现在下列方面。

① 智能化。随着计算机技术的迅速发展，大量智能化控制仪表应运而生。各种控制算法可方便地在智能仪表中实现。

② 网络化。计算机控制系统深入到各种控制过程，为实现互联和互操作，控制系统的网络化不仅是充分的，而且是必要的。可在异地经网络监视和控制生产过程，可经网络实现数据交换。

③ 安全性。对控制系统的安全性已经提高到前所未有的高度。SIL 等级的产品已经成为检测和控制的必要条件。

④ 多样化。各种计算机控制系统可实现所需控制功能，例如，用分散控制系统、可编程控制器、多回路或单回路控制器等控制仪表和装置实现不同的控制算法，如预测控制、多变量控制、神经网络检测和控制等。

⑤ 现场总线和无线技术。采用现场总线和无线技术将控制功能分散到现场级。

(4) 执行器的发展

执行器的发展将与节能减排密切结合，除了在原有控制阀基础上开发低功耗、低噪声、低压损等控制阀外，大力推广变频调速技术，应用变频器实现泵、风机和压缩机的节能控制将是很重要的节能减排措施。

1.2 流量测量和控制基础知识

1.2.1 基本概念

(1) 流体物性

流体是能够流动的物质。自然界的物质按分子聚集状态不同，可分为固态（固相）、液态（液相）和气态（气相）三态（三相）。其对应的物质称为固体、液体和气体。只有液体和气体是可以流动的，因此，通常将它们称为流体。