
流量测量 实用手册

毛新业 张晋宾 孙立军 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本手册详细系统介绍了流量测量基础知识, 各类流量仪表的测量原理、设计选型、适用条件和使用注意事项, 流量测量误差分析和流量试验装置, 国内外流量标准规范, 典型流体流量测量技术等内容。

本手册共分 11 章, 内容包括绪论、流体的性质、流体动力学基础、流量测量误差与不确定度、节流装置、基于速度—面积法的流量仪表、新型流量仪表、其他流量仪表、流量试验装置、流量测量标准规范、典型流体的流量测量等。本手册大量采用工程技术人员易于接受的图表形式进行叙述, 通俗易懂, 实用性强, 具有较高的参考价值。

本手册可供从事流量测量技术及装置的研究、设计、生产、检测、安装、运行等各行业工作的技术人员使用, 特别适用于电厂热工检测设计、安装、调试及生产检修人员使用, 也可供高等院校相关师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

流量测量实用手册/毛新业等编著. —北京: 中国电力出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-5198-0722-1

I. ①流… II. ①毛… III. ①流体—流量测量—技术手册 IV. ①TB126-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 096043 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 刘汝青 (010-63412382)

责任校对: 李 楠

装帧设计: 张俊霞 赵姗姗

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2017 年 8 月第一版

印 次: 2017 年 8 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 35.25

字 数: 868 千字

印 数: 0001-2000 册

定 价: 178.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



当前,我国正处于经济发展方式从粗放型向集约型转型的关键期,节约资源和保护环境是我国的一项基本国策。流量测量在物流贸易结算、能源计量、环境保护及过程控制中都得到了广泛应用,所检测的流量已成为经济效益、资源利用、生产工况、产品效能与质量的重要衡量指标之一,流量测量在国民经济各行业及日常生活中正发挥着越来越重要的作用。

所谓“流量测量”,是指为确定物质在单位时间内通过管道或通道(江、河、渠)等对象的横截面的量值而实施的过程。由于影响测量的因素较多,流量测量的原理、类型也多样繁杂。可以说,现在还没有一种十全十美的流量仪表可以用于所有的流量测量场合。各种流量仪表都有各自的优点,也同时存在着各自的使用局限性。因此,如何科学合理地选用适当的流量测量技术,如何正确安装、使用流量仪表,始终是业界面临的一个重要课题。

目前,国内出版发行了不少流量测量的专业书籍,但对流量测量涉及的基础工业管流及国内外技术标准等内容,介绍得还不够充分,特别是过程工业流量测量仪表及其应用相关的资料较欠缺。经济建设的需求及业内专业人士的鼓励,促使我们编写这样一本专业实用手册。

这本实用手册的特点有以下几个方面:

(1) 基础性。流量仪表的选择与使用同流体的性质及流体流动状态密切相关,因此本手册较详细地介绍了流体力学的基础知识及工业管流的特点。流量仪表的质量与准确度在一定程度上与流量试验装置有关,本手册也对其做了重点介绍。

(2) 专业性。重点介绍了流量测量相关的国内外标准。标准是以大量试验数据及实践经验为基础建立的技术文件,可使制造有法可依,用户有法可循。

(3) 针对性。为便于技术人员使用,本手册结合生产过程及流量测量的特点,有针对性地介绍了节流装置选型及设计计算、典型流体流量测量仪表设计比选及安装应用等,涉及范围包括蒸汽流量测量、气体流量测量、液体流量测量、固体流量测量、两相流(气固、液固、气液)流量测量等。

(4) 实用性。较为全面、系统地介绍了差压式(包括标准节流装置、非标准节流装置)、容积式、涡轮式、浮子式等经典流量仪表,科里奥利、电磁式、超声波、涡街、热式等新型流量仪表,以及明渠流量测量仪表等;重点介绍了各种流量测量仪表的特点、选型及应用,特别详细介绍了过程工业常用的流量测量技术(包括流量仪表选型、计算、安装及应用等),如速度一面积法、蒸汽流量测量,并通过应用实例进行说明。

(5) 全面性。一是全面介绍了流量测量的基础知识,包括流体的性质、流体力学基础、

流量测量误差与不确定度计算等。二是所涉及的流量测量技术较为全面，既包括封闭管流，也包括明渠流测量；既包括经典流量测量技术，也包括新型（如电磁、热式）和新兴（如光学、声纳、微波）流量测量技术。三是全过程系统地介绍了流量测量技术，从流量测量基础，到流量测量仪表设计选用、安装、误差分析、故障查找，再到流量标准装置及校验等。四是较为全面地介绍了国内外主流的流量测量标准，如 ISO（包括 ISO/TC30、ISO/TC113、ISO/TC28、ISO/TC112、ISO/TC115、ISO/TC117、ISO/TC118 等）、IEC、AGA、API、ASME、ASTM、ISA、OIML 等国际标准，GB、JB、DL 等国家标准或行业标准。

本手册第一章、第十章和第十一章由张晋宾撰写；第二章、第三章和第四章由孙立军撰写；第五章~第九章由毛新业撰写（其中电磁流量计由张志撰写，涡街流量计由刘杨撰写）。全书由毛新业、张晋宾统稿和审核。

在本手册的编写过程中，得到了社会各界人士的大力支持，他们有龚德君先生、蔡武昌教授、童复来女士、马中元先生、刘忠海先生、Mr. David Dunn（美）、王自和先生，还有以下各位朋友的帮助，他们是朱家顺、刘中杰、魏武。特此表示衷心感谢！

本手册对各行业从事流量测量技术及装置的研究、生产、教学、设计、检测、安装、运行等工作的相关技术人员均有参考价值，特别适于各类电厂热工检测设计、安装、调试及生产检修人员使用。

限于编著者水平，疏漏与不足之处在所难免，欢迎读者提出宝贵意见。

编著者

2017 年 4 月 25 日



前言

第一章 绪论	1
第一节 发展历史.....	1
第二节 流量测量在过程工业中的作用.....	4
第三节 流量测量仪表分类.....	6
第四节 常用技术术语	12
参考文献	18
第二章 流体的性质	19
第一节 密度	19
第二节 压缩性和膨胀性	22
第三节 黏度	24
第四节 比热容与绝热指数	29
第五节 两相流基本参数	30
参考文献	35
第三章 流体动力学基础	36
第一节 流动基本方程	36
第二节 雷诺实验和雷诺相似准则	42
第三节 管道中的流体流动	46
第四节 流动的阻力	53
第五节 边界层	61
第六节 卡门涡街	65
第七节 水击现象	67
第八节 气穴和气蚀	70
第九节 气体的一维流动	71
第十节 两相流	74
第十一节 计算流体动力学	79
参考文献	90
第四章 流量测量误差与不确定度	92
第一节 概述	92

第二节 术语及概念	92
第三节 使用皮托管和速度—面积法测量封闭管道中流量的误差评定	105
第四节 标准表法气体流量装置不确定度评定	110
参考文献	113
第五章 节流装置	114
第一节 概述	114
第二节 标准节流装置	115
第三节 非标准节流装置	133
第四节 其他差压流量仪表	140
第五节 临界流流量计	143
第六节 抗上游干扰的新型节流装置	148
第七节 节流装置的误差分析	155
参考文献	161
第六章 基于速度—面积法的流量仪表	163
第一节 概述	163
第二节 测量原理	163
第三节 点速流量计	173
第四节 径速流量计	185
第五节 截面多点速流量计	198
第六节 大管道气体流量测量系统	203
第七节 大管道风量测量的校验	209
第八节 火电厂风量测量新技术	212
第九节 小结	214
参考文献	216
第七章 新型流量仪表	218
第一节 超声波流量计	218
第二节 科里奥利质量流量计	235
第三节 电磁流量计	249
第四节 涡街流量计	268
第五节 热式质量流量计	286
参考文献	297
第八章 其他流量仪表	299
第一节 涡轮流量计	299
第二节 浮子流量计	313
第三节 容积式流量计	323
第四节 明渠流量计	336
参考文献	354
第九章 流量试验装置	355
第一节 概述	355

第二节	气体流量标准装置	358
第三节	液体流量标准装置	371
第四节	标准表法流量校验装置	374
第五节	蒸汽流量校验装置	377
第六节	多相流流量标准装置	378
	参考文献	380
第十章	流量测量标准规范	381
第一节	概述	381
第二节	ISO 流量测量标准	383
第三节	IEC 与流量测量相关的标准	424
第四节	其他流量测量国际标准	426
第五节	国家标准	451
第六节	行业标准	463
第十一章	典型流体的流量测量	469
第一节	概述	469
第二节	节流装置选型及设计计算	472
第三节	蒸汽流量测量	483
第四节	气体流量测量	504
第五节	液体流量测量	518
第六节	固体流量测量	530
第七节	两相流流量测量	537
	参考文献	553

第一章

绪 论

第一节 发展历史

一、概念

所谓“流量”，在《现代汉语词典》中的释义为：“流体在单位时间内通过河、渠或管道某处横断面的量”，在国际标准化组织（ISO）发布的国际标准 ISO 4006：1991《Measurement of fluid flow in closed conduits - Vocabulary and symbols》（封闭管道中流体流量的测量 术语和符号）中将“flow - rate”（流量）定义为“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比”；所谓“measurement”（测量），在国际电工委员会（IEC）于 2010 年发布的国际标准 IEC 60050 - 112《International Electrotechnical Vocabulary - Part 112: Quantities and units》（国际电工术语—第 112 部分：量和单位）中定义为“用试验方法获得一个或多个值，且可合理地赋予一个量的过程”；国家标准 GB/T 17212—1998/IEC 902：1987《工业过程测量和控制 术语和定义》中定义为“以确定量值为目的的一组操作”。

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，因此其测量对象并不限于传统意义上的、较为常见的管道流体，凡需掌握物质量变的地方就会遇到流量测量。

由此综合可得出流量测量的定义，“流量测量”即为确定物质在单位时间内通过江、河、渠或管道等对象的横断面（横截面）的量值而实施的过程。

二、流量测量发展回顾

流量测量技术的应用虽然在当今日常生活（如居民家中的水表、气表等）和工业生产中司空见惯，大家对其都习以为常，但正如罗马不是一天建成的，流量测量技术也是在为满足测量新物质的流量、新工况下原有物质的流量、更高的准确度或性能等众多要求下逐渐演变进步而发展完善的。

人类历史上最早的流量测量可追溯到古代的城市供水系统和水利工程。公元前 5000 年，早期的闪族人已开始用原始的方法测量从底格里斯河和幼发拉底河引来的古渡槽水量。早在 4000 多年前，古罗马人就开始采用横截面法测量从导水槽到每一住户或浴池的用水量，用以管理水量的分配。公元前 1000 年左右，古埃及用堰法测量尼罗河的流量。公元前 250 年，由李冰父子领导修筑的著名的都江堰水利工程，掌握并利用了在一定水头下通过一定流量的“堰流原理”，应用石人（见图 1-1）作为水尺来观察岷江内江的进水量（据《华阳国志·蜀志》记载，石人“水竭不至足，盛不没肩”，由此证实，古人是以石人的肩和脚作为岷江水尺刻度），采用宝瓶口水位来观测渠道的进水量大小。

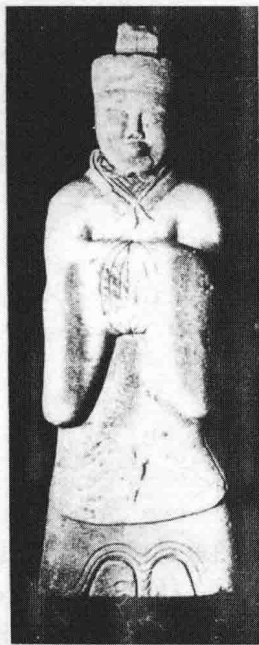


图 1-1 古都江堰石人
(水尺)

17 世纪初, 意大利的 Benedetto Castelli 和 Evangelista Tonicelli 已发现流量等于流速乘以截面积, 以及孔板出口流量随其压差的平方根而变化的规律。

18 世纪初, 意大利 Giovanni Poleni 对孔板规格和出口流量的关系进行了进一步研究。几乎就在同时, 瑞士 Daniel Bernoulli 发现了伯努利定律 (也称伯努利方程), 由此奠定了差压式流量计的理论基础。1732 年, 法国 Henri Pitot 研制出最早的皮托管, 并用它来测量塞纳河的河水流速。1797 年, 意大利 Giovanni B. Venturi 对文丘里管测量流量进行了研究, 但一直到 1887 年, 才由美国工程师 Clemens Herschel 应用文丘里管制成了测量水流量的实用测量装置。1790 年, 德国工程师 Reinhard Woltman 研制出第一款叶片式涡轮流量计, 用于测量河渠流速。1815 年, 英国工程师 Samuel Clegg 发明首款水封转筒式容积式气体流量计。1832 年, 英国 Michael Faraday 尝试利用其发现的法拉第电磁感应定律测量泰晤士河的水流量。1835 年, 法国 Gaspar Gustav de Coriolis 发现了科里奥利效应, 奠定了近一个半世纪后才出现的高准确度直接测量质量流量的科里奥利质量流量计理论基础。1843 年, 英国人 William

Richards 发明了膜式容积式流量计, 随后 Thomas Glover 对此进行改进, 形成了 Glover 双膜、滑阀式膜式干气表。在 19 世纪中叶, 伦敦开始采用容积式流量计作为商业计量用途。20 世纪初, 转子流量计开始应用。

20 世纪初期到中期, 特别是第二次世界大战后, 随着国际经济和科学技术的迅猛发展, 原有的流量测量原理逐渐走向成熟, 人们不再将思路局限在原有的测量方法上, 而是开始了新的探索。例如, 在 20 世纪 30 年代, 开始研究用声波测量液体或气体流速的方法来测量液体或气体流量。到 1955 年, 采用声循环法用于测量航空燃料流量的马克森流量计问世。

20 世纪后半叶, 过程工业、能量计量、城市公用事业、国防工业、航空航天、环保等对流量测量的需求急剧增长, 促使流量测量技术及仪表飞速发展, 涌现出了系列齐全的涡街、电磁、激光、超声波、热式、科里奥利式等众多新型测量原理的流量测量仪表。例如, 1952 年荷兰 Tobin meter 公司推出全球首款商用电磁流量计; 1963 年日本东京计器 (Tokyo Keiki) 首次推出工业用超声波流量计; 1969 年涡街流量计开始投入工业应用; 1977 年美国高准 (Micro Motion) 公司推出全球第一款商用科里奥利流量计, 随后德国恩德斯豪斯 (Endress+Hauser)、科隆 (Krohne) 等也相继推出了各自的商用科里奥利流量计。另外, 20 世纪 70 年代美国斯亚乐仪器仪表 (Sierra Instruments)、FCI (Fluid Components International)、Kurz Instruments 等公司分别推出了商用热式流量计或流量开关。

我国近代流量测量技术的研发、生产和应用水平远远落后于当时的世界先进水平。早期所需的流量测量仪表均从国外进口, 直到 20 世纪 30 年代中期光华精密机械厂 (上海光华仪表有限公司前身) 才开始生产家用水表, 50 年代有了新成仪表厂 (上海自动化仪表股份有限公司前身) 所开发的文丘里管流量计, 60 年代开始生产涡轮、电磁等流量计。特别是 1978 年我国实施改革开放后, 国内流量测量的研发、生产和应用得到快速发展, 流量测量技术水平得以迅速提高。至今我国已形成了一个具有相当规模、系列齐全的从事流量测量技

术与仪表研究、开发和生产的产业链。据统计,我国具有一定规模的从事流量仪表研究和生产的单位就有数百家之多。

三、流量测量发展趋势

在高准确度及可靠性需求、降低采购成本及运行维护费用等动力推动下,21 世纪初期流量测量技术发展趋势如下。

1. 原有测量技术的升级改造

以科里奥利质量流量计为例,传统测量管径不超过 DN50,不适宜用于夹带气体的液体流量测量。现在 GE Sensing、Endress+Hauser、KROHNE、Micro Motion 等公司可提供 DN200~DN400 以上的产品。特别是德国 KROHNE 公司于 2012 年 6 月 14 日发布了世界上第一款具有先进的夹带气体管理功能(EGM)的全新双弯管科里奥利质量流量计 OPTIMASS 6400(见图 1-2),解决了混合有气体的液体流量测量的难题,且适用温度范围宽($-200\sim+400^{\circ}\text{C}$),压力可高达 20MPa,可用于液体、气体流量的测量或计量。

2. 新兴测量技术的涌现

随着科技进步和市场需求,涌现出了许多新兴流量测量技术,代表性的有光学流量计和声纳流量计。

光学流量计的主要检测方法有多普勒效应法和传播时间法。其中,激光多普勒式光学流量计的工作原理是基于当激光束照射到流动的流体介质颗粒时,将会发生与流体颗粒流动速度成比例的波长变化(即多普勒频移效应)的激光散射,通过测量其波长变化进而可推导出流体流量。传播时间式光学流量计是基于光闪烁技术来测量流量的,即当流体介质颗粒流过激光束时,引起激光散射并产生脉冲信号,通过测量两个光检测器之间信号传输的时间,就可推导出流体颗粒的流速。光学流量计具有量程比宽(达 1000:1),适应低流速(最低为 0.1m/s),流量测量不受被测介质温度、湿度、压力、导热性和构成成分等的限制,测量准确度和性能不受管道振动和噪声的影响等显著优点,故光学流量计特别适用于具有流速变化幅度大、输送管道管径范围宽(如烟道、烟道、排放管或其他受限空间)的火炬气、生物气和气体污染物排放等的测量,在电力、环保、石油、化工等领域应用前景广泛。



图 1-2 OPTIMASS 6400 质量流量计

声纳流量计是一种基于声纳测速技术的传感器。它不同于超声波流量计,不受管垢、管道衬胶、流体磁性等的影响,可实现灰浆、污水、硫酸、气/液等单相和多相流的非侵入式、高准确度、高性能和高可靠的流量测量。例如,美国 Cidra 公司生产的 SONARtrac[®] 声纳式流量监视装置,它不仅可以利用声纳传感器阵列(见图 1-3)通过检测流体湍流涡旋穿过传感器阵列的相位和频率来测量单相流(如循环水)和多相流(如高浓度灰浆)的体积流量,而且也可以通过检测流体中声波穿过传感器阵列的传播速度,并基于所测声速与流体夹带气体量的比例关系,实现气液两相流体中所夹带气体量的在线实时测量,且所夹带气体量的测量范围较宽(0~20%)。由于是非侵入式动态测量流体流动湍流,不存在漂移和磨损,故产品不需多次标定,现场维护量小。



图 1-3 SONARtrac® 环绕式声纳传感带

3. 从经典测量仪表向新型测量仪表迁移

通常来讲, 流量仪表/传感器中的差压式(包括孔板、文丘里、喷嘴、均速管、楔形、道尔管等)、容积式、涡轮式、转子式等均采用传统流量测量原理, 属经典流量技术仪表。20 世纪下半叶推出或开始工业应用的科里奥利、电磁式、超声波、涡街、热式等属于新技术型流量仪表。相比较而言, 新技术型流量传感器测量准确度较高, 无活动部件, 不存在磨损问题, 且常为非插入式, 无压力损失, 更节能, 更可靠, 因而成为流量仪表制造商和研发机构的主要关注点和研发投入点, 并且其市场占有率也在逐年提高。以科里

奥利质量流量计为例, 据美国 Marketsand Markets 发布的研究报告预测, 科里奥利质量流量计全球销售额从 2014 年到 2019 年将会以 11.04% 的年累积增长率的速度递增, 到 2019 年预计将会从 2014 年的 11.45 亿美元增加到约 19.32 亿美元。

此外, 依托现代 MEMS (微机电系统) 加工技术、半导体微电子技术、信息处理、智能和通信技术的发展, 新一代的流量传感器大多集成有数字信号处理和通信等微处理器芯片, 使其具备了自诊断、数据智能处理、人机对话等功能, 实现了流量传感器的智能化、多功能化、信息化和微型化。

随着科学技术的进步和人类需求的不断增长, 流量测量技术还在持续向前发展。据称现在在市场上已有数百种流量计, 现场使用中许多棘手的流量测量难题都可望在不远的将来得以全面解决。

第二节 流量测量在过程工业中的作用

流量、压力和温度是电力、石油、化工等过程工业中最为重要的三大检测参数。过程工业中主系统和辅助系统的连续运行离不开原料、中间产品、成品、副产品或废料等物料的输送或处理, 因而对上述对象的流量监视、控制和管理是必不可少不少的。可以说, 流量测量与控制处于过程工业非常核心的位置。以下以发电生产为例, 作详细阐述说明。

电力系统由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成。发电是电力系统的龙头, 而火力发电是发电的重要形式, 且是最为复杂的生产系统。从火电厂与周围环境的输入输出关系看, 燃料供应、辅助原材料供应(如循环水、原水、石灰、石灰石、氨或氨水、酸碱化学药剂等)、热能、副产品的输出(如飞灰、炉渣、石膏等)、废料渣/废气/废液的排放等都离不开流量的测量。以燃料为例, 现代火电厂的燃料主要有煤、泥炭、油页岩、固体生物质、工业或生活废物等固体燃料, 重油、轻油、废液等液体燃料, 天然气、液化气、煤气、生物质气、工业生产废气等气体燃料。无论采用哪种燃料, 火电厂都要对入厂的燃料量进行计量。入厂燃料计量是火电厂重要的关口表之一, 是电力企业重要的经济贸易核算依据。

从发电工艺流程看, 各种水系统(包括凝结水系统、给水系统、循环水系统、工业水系统等)、蒸汽系统(包括主蒸汽系统、辅助蒸汽系统等)、油系统(包括汽轮机润滑油、控制油系统, 燃料油系统等)、锅炉风系统、锅炉烟气系统、制粉/送粉系统、发电机氢油水系统

等,也都离不开各种介质流量的测量、监视、控制和保护。以直流锅炉给水系统为例,给水量是需要重点监控的一个过程量。为了维持锅炉蒸汽温度稳定,锅炉的给水量和燃料量必须保持一定的比例(即燃水比),调节燃水比是直流锅炉蒸汽温度调节的基本手段,是确保最终蒸汽温度维持在额定值的最佳措施。此外,当给水量过低时,会造成锅炉受热面(如省煤器、水冷壁、过热器等)超温,进而引起受热面的泄漏、干锅或爆管,造成安全事故。因此,当检测到给水量流量过低时,锅炉需紧急跳闸,停止锅炉运行。

从控制系统功能看,在常规火电厂主要系统中,需监视的主要流量信号有送风量、热二次风总风量、热二次风分风量、排烟量、火检冷却风量、吹灰蒸汽流量、给煤量、燃油供油和回油流量、燃气供气量、磨煤机入口一次风风量、磨煤机入口二次风风量、磨煤机入口冷炉烟流量(风扇磨)、双进双出钢球磨容量风流量、省煤器入口给水流量、过热器减温水流量、再热器减温水流量、直流锅炉循环水流量、冷再热蒸汽等向辅助蒸汽的供汽量、主蒸汽流量、给水泵汽轮机进汽流量、凝结水流量、凝结水或给水再循环水流量、凝结水补水量、循环水量、给水泵入口流量、发电机定子冷却水流量、供热蒸汽流量、SCR(选择性催化还原法)脱硝氨气流量、SCR 稀释风机出口流量、SNCR(选择性非催化还原法)脱硝稀释水流量、SNCR 尿素溶液流量、尿素溶解水量、锅炉补给水阴床/阳床/混床入口水流量、除盐水量、酸/碱计量、酸/碱喷射器入口除盐水量、反渗透脱盐系统过滤器进水流量、反渗透膜组件产水流量、浓水或生水流量、反洗水流量、工业废水流量、工业污水排放量、各种工业水量、消防水量、各类泵/风机出口流量等。

需调节的主要流量信号有送风量、热二次风总风量、热二次风分风量、给煤量、燃油供油和回油流量、燃气供气量、磨煤机入口一次风风量、磨煤机入口二次风风量、磨煤机入口冷炉烟流量(风扇磨)、双进双出钢球磨容量风流量、省煤器入口给水流量、再热器减温水流量、直流锅炉循环水流量、主蒸汽流量、给水泵汽轮机进汽流量、凝结水流量、凝结水或给水再循环水流量、凝结水补水量、给水泵入口流量、供热蒸汽流量、SCR 脱硝氨气流量、SCR 稀释风机出口流量、SNCR 尿素溶液流量等。

需保护或连锁的主要流量信号有送风量、吹灰蒸汽流量、给煤量、磨煤机入口一次风风量、磨煤机入口二次风风量、磨煤机入口冷炉烟流量(风扇磨)、省煤器入口给水流量、再热器减温水流量、发电机定子冷却水流量、SNCR 脱硝稀释水流量、SNCR 尿素溶液流量、尿素溶解水量等。

由此可见,流量测量贯穿于发电生产的各个过程,遍布于发电厂主要工艺系统、辅助工艺系统的各个部分,任何一个生产环节都离不开流量测量。此外,流量测量的准确与否对发电厂生产的安全、经济、节能降耗、可靠运行等具有重大影响,特别是高参数、大容量、环保型发电机组的发展,带来压力容器与压力管道的数量增多、压力等级提升,脱硫、脱硝、污染物零排放所需的化学危险品用量的出现或增多,从而使生产面临的危险更大,对流量测量及准确性的要求也越来越苛刻。

综合而言,流量的测量和监控已成为过程工业安全、经济、可靠运行的重要保障手段,对外能源或产品(如煤炭、柴油、天然气、蒸汽、热量、冷量、氢气、氧气等)计量不可或缺的工具,HSE(健康、安全 and 环境)保护控制的重要依据,其对于过程工业的重要性和作用无论怎么强调,都不为过。

第三节 流量测量仪表分类

随着科学技术的发展和工业技术的进步，对流量检测的要求也越来越高，工业流量测量变得十分复杂，用一种流量测量方法根本不可能满足所有的流量测量任务。当今，已投入使用的流量仪表种类有上百种之多，且新型测量原理的流量仪表又层出不穷，因而流量仪表是众多过程仪表中最纷繁多样的仪表。

流量测量仪表种类繁多，其测量原理、结构特性、适用范围、使用方法等各不相同，其分类至今在全球学术界和工业界还没有统一的规定。根据不同的原则，有不同的分类方法，下面着重介绍一些主要的分类方法。

一、按测量介质的流道类型分类

根据承载被测介质的流道是否封闭来分类，分为封闭管道流量计和敞开流道（明渠）流量计。值得提醒的是，对于封闭管道，如被测管段中流体并未充满整个管道的横截面，即非满管状态，则也应视为明渠流量测量。

对于封闭管道流量仪表分类，在英国标准学会 BSI 发布的英国标准 BS 7405：1991 “Guide to Selection and application of flowmeters for the measurement of fluid flow in closed conduits”（用于封闭管道中流体流量测量的流量表的选择和应用指南）中，按测量方法和结构将流量仪表分为 10 类，详见表 1-1。

表 1-1 封闭管道流量计 BSI 分类一览表

类别序号	类别名称	流量仪表技术
第 1 类	常规差压类	锐边同心孔板（包括角接取压、 D 和 $D/2$ 取压、法兰取压）； 文丘里管（包括经典文丘里管和文丘里—喷嘴）； 流量喷嘴（包括 ISA 喷嘴和长径喷嘴）
第 2 类	其他差压类	环形孔板； 偏心孔板； 圆缺孔板； 整体（或一体化）孔板； 异类管（Gentile tube）； 弹性加载孔径流量表（Spring loaded aperture meters）； 弯管流量计； 线性电阻流量计； 道尔管； 专有流量喷嘴； 多孔平均皮托管（均速管）； 楔式流量计； 皮托管； 可变面积流量计； 靶式流量计； 声速喷嘴； 锥形入口孔板； 1/4 圆孔板

续表

类别序号	类别名称	流量仪表技术
第 3 类	容积类	往复活塞式； 滑片式； 圆盘式旋转流量计； 双转子或三转子式； 罗茨式流量计； 膜片式流量表； 旋转活塞式； 椭圆齿轮式； 螺旋转子流量计； 液体计量泵式； 湿式气体流量计； 波纹管流量计
第 4 类	旋转涡轮类	轴向涡轮流量计； 机械螺旋流量计； 无轴承涡轮流量计； 螺旋桨式流量计； 插入式涡轮流量计； 双转子涡轮流量计； 多孔喷射或叶片式流量计； 佩尔顿轮式； 杯形流量计
第 5 类	流体振荡类	涡街流量计； 旋涡流量计； 插入式旋涡流量计； 流体振荡式； 流体折转式流量计
第 6 类	电磁类	交流电磁流量计； 直流电磁流量计； 速度探头式
第 7 类	超声波类	传播时间式； 回鸣式（环鸣式或声环式）（sing-around）； 反射式； 多普勒式； 长波声音式
第 8 类	直接和间接质量流量类	间接式； 角动量涡轮式； 并列文丘里式； 陀螺式； 驱动角动量式； 科里奥利式； 惠斯通电桥式

续表

类别序号	类别名称	流量仪表技术
第 9 类	热式类	热耗式（热散式）； 热线膜风速计； 热剖面式（热分布式）； 量热热网格式
第 10 类	其他类	互相关流量计； 核磁共振式； 气体电离式； 激光风速计； 示踪插入计（tracer injection meters）； 称重式； 速度—面积式

在 ISO 国际标准化组织 ISO 4006：1991 国际标准中，根据测量原理不同，将封闭管道流量仪表分为差压法、临界流量测量、速度—面积法、示踪法、电磁法、称重法、容积法、不稳定性法、可变面积法、超声法、其他方法等共 11 类。封闭管道流量计国际标准化组织 ISO 分类详见表 1-2。

表 1-2 封闭管道流量计 ISO 分类一览表

类别序号	类别名称	流量仪表技术
第 1 类	差压类	同心孔板（包括直角边缘孔板、锥形入口孔板、1/4 圆孔板）； 偏心孔板； 圆缺孔板； ISA 1932 喷嘴； 长径喷嘴； 经典文丘里管； 文丘里喷嘴； 截尾文丘里管
第 2 类	临界流量测量	声速喷嘴； 声速文丘里喷嘴（包括喇叭口喉部文丘里喷嘴、圆筒形喉部文丘里喷嘴）
第 3 类	速度—面积法	旋桨式流速计； 皮托管
第 4 类	示踪法	稀释法（包括恒定速率注入法、积算法）； 渡越时间法
第 5 类	电磁法	电磁流量计
第 6 类	称重法	静态称重法； 动态称重法

续表

类别序号	类别名称	流量仪表技术
第 7 类	容积法	静态容积测量法； 动态容积测量法
第 8 类	不稳定性法	射流流量计； 章动流量计； 旋涡流量计（包括涡街流量计、旋涡进动流量计）
第 9 类	可变面积法	恒定压头流量计； 可变压头流量计； 浮子流量计； 锥塞式流量计； 盘塞式流量计； 闸门式流量计； 弹性加载可变压头流量计
第 10 类	超声法	超声流量计（包括夹装式流量计、单声道斜束式流量计、多声道斜束式流量计、传播时间式超声流量计、声束偏转式流量计、相移式流量计）
第 11 类	其他方法	互相关流量计； 多普勒流量计； 涡轮流量计

按照测量方法和结构不同，通常将敞开流道（明渠）流量计分为堰式、槽式、流速—面积法、标记法、超声式、电磁式等 6 类，有时也将堰式和槽式合称为水位—流量式。敞开流道（明渠）流量计分类详见表 1-3。

表 1-3 敞开流道（明渠）流量计分类一览表

类别序号	类别名称	流量仪表技术
第 1 类	堰式	折顶堰； 薄壁堰； 宽顶堰； 复式断面堰； 三角堰； 最低能损堰（MEL）
第 2 类	槽式	巴歇尔量水槽（Parshall）； P-B 槽（Palmer-Bowlus）； 割喉槽（Cutthroat）； HS/H/HL 槽； Khafagi 槽； 蒙大纳槽； RBC 槽； 梯形槽； 文丘里槽