

Research on the Selection of Flow Measurement Equipment for Large Pipelines in Thermal Power Plants Based on Medium Characteristics

Donglin Pang Wei Zhang Lilong Fu Shu Zhang Yu Gao

Inner Mongolia Jingneng Shuangxin Power Generation Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 016014, China

Abstract

As the transportation carriers of core media such as steam-water, flue gas and pulverized coal in large pipelines of thermal power plants, the precise measurement of their flow parameters is the key to ensuring the efficient operation of the units, energy consumption control and safety protection. This paper takes the common medium characteristics of large pipelines in thermal power plants as the core entry point, systematically analyzes the influence mechanism of parameters such as medium temperature, pressure, viscosity, impurity rate, and phase state on flow measurement, and sorts out the technical characteristics and applicable boundaries of mainstream measurement equipment such as differential pressure type, ultrasonic type, electromagnetic type, and vortex type. Establish a three-in-one selection index system of “medium characteristics - working conditions - equipment performance”, propose targeted selection principles and optimization strategies, and provide theoretical basis and practical reference for the scientific selection of large pipeline flow measurement equipment in thermal power plants.

Keywords

Thermal power plant Large pipeline Medium properties; Flow measurement Equipment selection

基于介质特性的火电厂大管道流量测量设备选型研究

庞东林 张伟 付立龙 张枢 高宇

内蒙古京能双欣发电有限公司, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 016014

摘 要

火电厂大管道作为汽水、烟气、煤粉等核心介质的输送载体,其流量参数的精准测量是保障机组高效运行、能耗控制与安全防护的关键。本文以火电厂大管道常见介质特性为核心切入点,系统分析介质温度、压力、粘度、含杂率、相态等参数对流量测量的影响机制,梳理差压式、超声式、电磁式、涡街式等主流测量设备的技术特性与适用边界,构建“介质特性-工况条件-设备性能”三位一体的选型指标体系,提出针对性的选型原则与优化策略,为火电厂大管道流量测量设备的科学选型提供理论依据与实践参考。

关键词

火电厂; 大管道; 介质特性; 流量测量; 设备选型

1 引言

在火电厂生产系统中,主蒸汽、再热蒸汽、给水、循环水、烟气、煤粉输送等关键环节大量使用大管道,管道口径一般在 DN500-DN3000,履行核心介质长距离、高流量的输送职责。流量参数充当反映介质输送状态的核心指标,直接关乎着锅炉燃烧调控、汽轮机效率优化、环保排放控制等关键流程的执行质量。精准开展流量测量能为机组运行参数调整提供数据,减少能耗与煤耗,还可即刻预警介质泄漏、流量突变等异常状态,保证设备正常运转与生产有序开展。

火电厂大管道流量测量中,设备选型跟介质特性不相匹配的问题普遍存在。按照工况条件与介质特性做科学选型,成为攻克火电厂大管道流量测量难关、提升测量可靠性与准确性的主要途径,对促进火电厂实现智能化、高效化运行有重要工程价值。

2 火电厂大管道介质特性及对流量测量的影响

2.1 介质热力学特性的影响

介质的温度、压力是关乎流量测量的关键热力学参数,火电厂再热蒸汽、主蒸汽等高温高压介质,会直接变更测量设备的物理属性。高温条件易引发传感器材料热胀冷缩、灵敏度变差,压力波动会改变介质的密度、粘度等物理参数,引发流量与测量信号的标定关系出现偏差^[1]。

【作者简介】庞东林(1993-),男,中国四川苍溪人,本科,工程师,从事燃煤电厂热工仪表及自动控制研究。

2.2 介质物理化学特性的影响

介质的密度、腐蚀性、粘度、含杂率等物理化学特性，直接关乎测量设备的匹配程度。充满高粘度介质的管道内，流体存在较大的流动阻力，在管道内壁产生附着层，阻挡测量信号的传送，同时会调整流体的流动状态，造成以湍流假设为基础的测量设备无法正常运转；差压式、科里奥利质量流量计等设备的测量原理依据会被介质密度的改变所干扰，密度起伏程度越大，测量的误差偏离越突出。

2.3 介质流动特性的影响

火电厂大管道内介质流动所呈现的特性对流量测量影响极为明显。基于相态多样，大管道介质一种是单相流，另一种是气液两相流，还有一种是气固两相流。大口径管道容易产生涡流、流速分布不均等现象，引起测量设备的局部测点信号无法反映全截面流量情况。气与液的两相流动中，相态分布不均、气相与液相的速度差异会造成测量信号失真，传统单相流测量设备难以契合。气固两相流的颗粒偏流、颗粒浓度波动与团聚现象，会造成测量信号稳定性变差，增添流量计算难度。

3 火电厂大管道主流流量测量设备技术特性分析

3.1 差压式流量计

火电厂里应用范围最广的流量测量设备是差压式流量计，其原理是借助节流装置（如孔板、文丘里管）改变流体流道截面，引发差压信号，按照伯努利方程得出流量，此类设备具备结构简易、成本低廉、承受高温高压等长处，可对主蒸汽、再热蒸汽、给水等大管道单相流开展测量工作。

不过差压式流量计的局限性同样十分突出，对流速分布适应度差，大管道内流场的不均匀会造成测量偏差加大，得在上下游设置足够长的直管段并安装整流设备。节流装置易受介质中杂质占比情况影响，飞灰以及煤粉等杂质会引起节流孔磨损、堵塞，降低测量精准度。介质的密度、粘度等多样参数影响测量精度，需实时开展温度、压力补偿，多相流以及参数波动剧烈工况下适应能力弱。

3.2 超声式流量计

超声式流量计借助超声波在流体中的传播时间差或多普勒效应达成流量测量，可归为时差式、多普勒式两种类型。该类设备测量采用非接触式，传感器装设到管道外部，不必破坏管道的结构，杜绝了与介质直接接触引起的磨损与腐蚀，适合大管道里的烟气、主蒸汽、循环水等高温高压、腐蚀性强、杂质多的介质^[1]。

超声式流量计的有利之处是适应大口径管道、压力损失小、量程宽，但介质特性与安装条件有着较高的门槛。时差式超声流量计易遭介质粘度、气泡含量影响，在形成高含尘与气液两相混合的工况下，超声波传播时减弱程度明显，测量精准度出现下降。含固体颗粒或气泡的介质，多普勒式

超声流量计可用，但对颗粒浓度及粒径情况有特定要求，若浓度低或粒径小会引起信号强度不充足。管道内壁结垢、腐蚀会干扰超声波的反射与透射，安装之际需保障传感器与管道的耦合状况，否则会引发测量的偏差。

3.3 电磁式流量计

电磁式流量计依照电磁感应原理，计算流量时测量流体切割磁感线产生的感应电动势，可实现导电介质的流量测量，较多应用于火电厂给水、循环水、污水等各类管道。其具备的核心优势为不受介质密度、粘度影响，测量精度高，不存在节流类的部件，压力损失较微弱，可对单相流进行大口径管道测量。

但电磁式流量计的应用面临严格限制，仅具备测量导电介质的能力，对蒸汽、烟气等非导电介质绝对不适合开展测量。传感器电极易受结垢以及介质腐蚀性的影响，在含有较高氯离子、硬度离子的给水管里，应挑选耐腐蚀的电极材质。遇到高温情况，传感器的绝缘材料性能会下滑，引起测量信号出现偏移，无法胜任主蒸汽等高温介质测量工作^[2]。感应电动势的稳定输出会被气泡、固相颗粒在管道内干扰，气液两相流或含杂率高工况下适应能力不足。

3.4 涡街式流量计

涡街式流量计借助流体流经漩涡发生体后出现的卡门涡街频率与流速的线性关系测量流量，具有构造简单、测量跨度宽、压力损耗小等优势，可针对蒸汽、气体、液体等多种介质开展大管道测量。

其局限性集中反映为对介质流速要求较高，存在测量的最低界限，若流速过低则无法形成稳定的涡街，测量的精准度降低；漩涡发生体极易受介质含杂率影响，飞灰、煤粉等颗粒会对其形成冲刷磨损，引起其外观形状改变，造成涡街频率和流速的对应关系失准；在多相流、高粘度或高含杂率操作环境下，涡街信号极易遭遇干扰，高温度高压力的工况中，传感器的信号处理能力与漩涡发生体的材质强度承受挑战，实现适配必须开展特殊设计。

3.5 科里奥利质量流量计

科里奥利质量流量计按照科里奥利力原理，直接实施介质质量流量的测量，不被介质密度、粘度、温度、压力等参数左右，测量误差较小，单相流介质（如重油、化学药剂）若对测量精度要求高可使用。

该类设备在火电厂大管道应用方面存在明显阻碍。设备外形庞大、自重沉重，大口径（DN500以上）设备制造产生的成本极高，实施安装与维护操作具备一定难度；对管道振动察觉明显，火电厂区域振动环境繁杂，易引发测量信号干扰^[3]；若介质含杂率达到过高水平，固相颗粒会加速测量管的磨损与腐蚀，影响设备正常寿命；高温环境中，测量管的材料性能会出现变动，引起测量精度下降，应采取特殊的温度补偿设计。

4 基于介质特性的火电厂大管道流量测量设备选型体系

4.1 选型核心指标体系构建

参考火电厂大管道的介质特性及工况条件,创建由“介质特性指标-工况条件指标-设备性能指标”组成的三位一体选型指标体系,为选型决策提供可量化的凭据。介质特性的参数有相态(单相流/多相流)、压力、温度、密度、粘度、导电率、含杂率、腐蚀性、颗粒粒径(气固/气液两相流)等,切实划定设备的适配性边界。工况条件指标囊括管道口径尺寸、直管段长度数值、安装空间状况、振动强度级别、负荷波动幅度等,关乎设备安装能否实施以及运行是否稳定的情况。测量精度、量程范围、工作温度压力范围、耐腐蚀性、耐磨性、压力损失、维护成本、响应速度等这些属于设备性能指标,需实现与前两项指标的精准匹配。

4.2 典型介质场景的选型路径

高温高压单相流场景中,介质特性有高温(400-600℃)、高压(10-30MPa)、低杂含量、无腐蚀性、单相流。应首选改进型差压式,它对高温高压的耐受性能强,经由温度压力补偿可提高测量精度。还可选用高温适配的超声式流量计,非直接接触安装预防介质冲刷,适配大口径管道规格,要留意差压式流量计节流装置材质的选择,超声式流量计的高温防护与传感器耦合。

常温、低压、气体与固体的两相流动、高含尘、强腐蚀是高含尘腐蚀性场景介质特性。应优先选用多普勒式超声流量计,避免磨损与腐蚀采用非接触式安装,可应用含固体颗粒的介质;可采用耐腐蚀材质的差压式,但需防止堵塞,配套高效吹灰装置,应重视设备耐腐蚀涂层及探头防护设计,防范飞灰冲刷导致的损害。

导电介质单相流场景的介质特性呈现为室温、中压、单相流、可导电、低含杂比例、轻度腐蚀性,筛选时优先挑电磁式流量计,拥有精准测量度、无压力减损,对应导电介质;也可选取差压式流量计,投入较低、维护省事,应依照介质腐蚀程度挑选电极材质,清理电极结垢需定期进行。

气固两相流场景介质的特性包含气固两相流、高含尘、颗粒磨损性强、常温与中压。应首选阵列式超声流量计,多测点分布体现全截面流动状态,采用非接触方式进行安装避免磨损;选用改进型涡街流量计也可,但要管控介质流速在测量范围,得装配流场整流装置跟吹灰装置,改进设备清洁度与流场布局。

高粘度单相流场景介质表现为高粘度、单相流、常温、中压、低含杂率的特性,应首选科里奥利质量流量计,对质

量流量直接测定,不受粘度牵制;还可以采用差压式流量计,压力降低数值小,适配高粘度介质,必须重视科里奥利质量流量计的振动防护及安装空间,维持差压式流量计直管段的长度。

5 基于介质特性的火电厂大管道流量测量设备选型优化策略

针对复杂介质特性(如高含尘+高温+多相流),单一测量设备无法达成相关要求时,可选用多设备融合测量方案,烟气管道中采用超声式加上差压式流量计结合,采用数据融合算法归并两种设备的测量信号,同时实现抗磨损与高精度要求。煤粉管道采用超声式与电容式流量计相结合,各自测量颗粒浓度与流速,完成气固两相流量的精准计量。

针对特殊介质特性与工况条件,对标准测量设备实施定制化改造,高温高压的管道里,执行超声流量计传感器耐高温封装的设计工作。具有高腐蚀性的介质环境里,采用金刚石涂层对电磁流量计电极增强耐腐蚀性。大尺寸管道中,针对差压式流量计采用多节流孔设计,增强流场适应力,当进行选型事宜时不仅思索采购成本,需要综合评定维护成本、安装成本、能耗损失与使用时长。

6 结论

火电厂大管道流量测量设备的选型核心在于实现介质特性、工况条件与设备性能的精准匹配。凭借建立“介质特性-工况条件-设备性能”三位一体的选型指标体系,按照工况适配、介质适配优先、精度适配与经济性原则,采用针对典型介质场景的选型策略,得以完成测量设备的科学选型。利用多设备协同、定制化改良、全周期成本降低等选型优化策略,以及常态化维护、精细化调研、规范化安装等保障手段,更有效地提升流量测量的精准度与稳定性。未来,随着智能化技术的发展,流量测量设备若具备自校准、自诊断、自适应介质特性变化将成研发热点,为火电厂大管道流量测量给予更高效的途径。

参考文献

- [1] 邹祥波,熊凯,陈公达,等.基于VIP-MIC-SBS变量筛选的火电厂烟气流量软测量研究[J].广东电力,2025,38(08):1-11.
- [2] 卢志民,谢子立,卢伟业,等.火电厂大直径烟囱可溯源烟气流量测量方法[J].华南理工大学学报(自然科学版),2025,53(09):138-148.
- [3] 王凯,王锁斌.火电厂汽轮机阀门流量特性对机组运行的影响[J].自动化应用,2025,66(01):51-54.
- [4] 张荣超,赵国辉.大管径低压头水流量在线测量方法研究[J].东北电力技术,2021,42(03):27-28.