

防爆电气产品生产过程中如何实施 过程参数的监视与测量

邢 云

(中创新海(天津)认证服务有限公司, 天津 300131)

摘 要 防爆电气产品被广泛应用于易燃易爆危险环境,其质量直接关系到工业生产安全与人员生命财产安全。本文围绕防爆电气产品生产过程中过程参数的监视与测量展开研究,结合《工厂质量保证能力要求》等标准规范,系统分析了温度、压力、焊接电流等关键过程参数对产品质量特性的影响机制。通过非金属外壳注塑成型、金属外壳焊接工艺及过线浇封工艺的案例分析,提出通过实时监测设备、定量控制及无损检测技术实现过程参数的精准控制,间接保障产品质量。研究进一步强调,企业需建立完善的监视体系、选用高精度设备并强化人员培训,以确保过程参数控制的标准化与可持续性,以期为企业优化生产工艺、满足防爆认证要求提供理论依据与实践指导,对提升行业质量管理水平具有积极的参考价值。

关键词 防爆电气产品; 过程参数; 监视; 测量

中图分类号: TM50

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.08.026

0 引言

近年来,随着我国对安全生产的重视程度不断提高,相关科研机构和企业加大了对该领域的研究投入。在传感器技术方面,国内企业不断引进和吸收国外先进技术,自主研发能力逐步提升。一些国内企业生产的传感器在精度和可靠性方面已经接近国际先进水平,能够满足国内防爆电气产品生产的基本需求。例如,传感器制造商开发的耐高温压力传感器已成功应用于石化行业防爆设备的生产线,其测量误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内,显著提升了工艺稳定性^[1]。

防爆电气产品广泛应用于石油、化工、煤炭等存在易燃易爆危险环境的行业,其质量直接关系到生产安全和人员生命财产安全。在防爆电气产品的生产过程中,实施过程参数的监视、测量是确保产品质量和安全性的关键环节。《工厂质量保证能力要求》对过程参数的监视、测量提出了明确要求,然而,在实际生产中,部分企业对这一要求的理解和执行存在不足。调研显示,约30%的中小企业因缺乏专业设备或技术培训,导致过程参数监测流于形式^[2]。本文深入探讨防爆电气产品生产过程中如何有效实施过程参数的监视、测量,旨在为企业 provide 指导和参考。

1 过程参数的理解

过程参数是指在生产过程中用于监测、调整和控制的关键数据,其动态变化直接影响产品质量特性。在防爆电气产品生产中,过程参数的精准控制不仅涉

及工艺稳定性,更关乎产品在爆炸性环境中的安全性。以隔爆型设备为例,其外壳结构需满足严格的机械强度与密封性要求,而这两项特性均高度依赖焊接温度、浇封压力等参数的精确控制^[3-4]。

在防爆电气产品生产过程中,常见的过程参数涵盖多个方面。温度参数在铸造、焊接及注塑工艺中具有核心作用。例如,在铝合金外壳的压铸工艺中,熔融金属的温度偏差超过 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,铸件内部易产生缩孔缺陷,直接影响外壳的防爆性能^[5]。现代生产线多采用红外热像仪与热电偶联用技术,实现温度梯度的实时三维监测,有效降低了工艺波动风险^[6]。

压力参数的稳定性同样至关重要。在防爆电气设备的气密性测试中,测试压力的微小波动可能导致泄漏误判。在浇封工艺中,浇封剂的填充压力会影响浇封的密实度和均匀性,进而影响产品的防爆性能。在某些涉及气体或液体介质的生产过程中,压力的稳定控制对于确保生产安全和产品质量同样至关重要。研究指出,采用闭环反馈控制系统可将压力波动范围从 $\pm 5\%$ 压缩至 $\pm 1\%$,显著提升测试可靠性^[7]。例如,在防爆电气设备的气密性测试中,需要精确控制测试压力,以检测设备是否存在泄漏,保证其在危险环境中的使用安全性。

2 过程参数监视、测量的必要性

CNCA-00C-005《工厂质量保证能力要求》开篇的引言中就讲到“生产企业应控制获证产品一致性,其

质量保证能力应持续符合认证要求”。在防爆电气产品生产过程中会涉及诸如铸造、浇封、胶粘、焊接等多种工艺过程，这些工艺过程结束后，其质量特性无法被直接测量，当验证其本身质量特性时，大多需要破坏性测试，就没办法保证成品完好。以焊接工艺为例，焊缝质量直接决定外壳的隔爆性能，但破坏性检测会损坏成品。企业引入焊接电流在线监测系统后，焊缝合格率从 82% 提升至 96%，同时减少返工成本约 15 万元/年^[8]。为了保证产品一致性，其质量保证能力应持续符合认证要求，就只能通过对适宜的过程参数进行监视、测量，间接保证产品质量特性。

此外，国际标准如 IEC 60079 系列对防爆电气产品的过程控制提出了更高要求。欧盟 ATEX 指令强调，制造商需建立从原材料采购到成品检验的全流程参数数据库，以支持质量追溯^[9]。

满足相关认证标准和规范的要求是防爆电气产品进入市场的必要条件。cnca-00c-005《工厂质量保证能力要求》明确规定了对过程参数监视、测量的要求，企业只有严格按照要求实施，才能顺利通过认证审核，获得市场准入资格。同时，符合认证要求也有助于提升企业的信誉和市场竞争能力。

防爆电气产品应用于易燃易爆环境，其质量和安全性至关重要。通过对过程参数的有效监视、测量，可以及时发现生产过程中的异常情况，采取相应的措施进行调整和改进，避免因产品质量问题引发安全事故，保障生产现场的人员安全和设备正常运行。

3 过程参数监视、测量的实施方法

过程参数的监视、测量主要是分析生产过程要监视测量什么参数。在此以防爆电气产品生产过程常见的几种工艺过程为例介绍其实施方法。

3.1 非金属外壳的成型工艺（以注塑成型为例）

非金属外壳注塑成型，与防爆质量特性紧密相关，需保证外壳部件的尺寸参数和密度。注塑成型的非金属外壳成型后的热变形量直接影响尺寸参数，但成型后无法再进行尺寸修正。为了保证尺寸参数符合设计要求，需要监控原材料融化温度、模具温度，保证外壳部件成型在一定温度范围内实现，进而保证外壳尺寸参数的稳定性。此类外壳的密度，受注塑成型过程的进料量影响，而影响进料量的参数包含注塑流量（注塑活塞杆行进速度）、注塑压料杆行程、模具温度、原材料融化温度影响。

通过上述分析表明，影响非金属外壳尺寸参数、密度的主要工艺过程参数是温度、注塑速度、注塑活塞杆行程，我们只要把这几个主要参数监控好，就可以间接控制好外壳尺寸参数和密度。通过在注塑机上安装温度传感器，实时监测原材料融化温度和模具温

度，并将数据记录在生产管理系统中。对于注塑流量和注塑活塞杆行程，可以通过注塑机的控制系统进行设置和监控，并定期进行校准和检查。同时，采用抽样检测的方式，对成型后的外壳部件进行尺寸测量和密度检测，验证过程参数控制的有效性。

3.2 金属外壳的焊接工艺

以隔爆型钢质电弧焊焊接外壳为例，焊缝的质量直接影响外壳的强度，为此对焊缝质量需严格把控，焊缝质量包含尺寸（焊缝长宽、宽度、厚度等）、焊缝裂纹、表面气孔、焊缝夹渣等要求，这些质量要求可以用探伤的方法进行一定程度的检测，但检测成本较高，因此通常是通过管控过程参数进行间接质量保证，查询电弧焊工艺过程参数可知，在焊接过程中主要控制好焊接电流、电弧电压、焊接速度就可以有效保证焊接质量，这样我们就获得了电弧焊工艺的过程监控参数要素。

使用焊接参数监测仪，实时监测焊接电流、电弧电压和焊接速度，并将数据传输到监控中心。操作人员可以根据监测数据及时调整焊接参数，确保焊接过程的稳定性。同时，采用无损检测技术，如超声波检测、磁粉检测等，对焊缝进行定期检测，及时发现焊缝中的缺陷，并进行修复。此外，还应建立焊接质量追溯体系，记录每一条焊缝的焊接参数和检测结果，以便在出现问题时能够快速查找原因。

3.3 过线浇封工艺

以隔爆型控制箱为例，此类产品设置接线腔和电器腔两个腔体，用浇封剂浇封过线实现两腔隔离，又保证电气连通，此时两腔过线的浇封，既要一定的密度，还要保证浇封长度，同时还要保证浇封长度的任意位置的横截面积，至少有 20% 的横街面积被浇封剂填充。在完成浇封工作后，除了破坏浇封剂进行测量以外，无法通过直接测量手段对上述质量要求进行检测，为保证填充质量，只能通过控制穿线数量规格、浇封剂填充量、固化温度、固化时长等主要过程参数来实现。这样我们就获得了浇封过线工艺的过程监控参数要素。

在浇封过程中，严格按照工艺文件要求控制穿线数量规格，并做好记录。使用定量灌装设备控制浇封剂填充量，确保填充量的准确性。通过在浇封模具中安装温度传感器，实时监测固化温度，并采用时间继电器控制固化时长。同时，对浇封后的产品进行抽样检查，采用无损检测方法，如 X 射线检测，检查浇封内部是否存在缺陷，验证过程参数控制的有效性。

3.4 涂层工艺的静电喷涂参数控制

新增案例分析：防爆电气设备表面常采用环氧树脂涂层以提高耐腐蚀性。在喷涂过程中，静电电压（通常为 60 ~ 90 kV）与喷枪移动速度的匹配直接影响涂

层均匀性。电压过高易导致涂层边缘“拉丝”，而移动速度过快则可能产生漏喷区域。某企业通过安装 PLC 控制系统，实时调整电压与机械臂速度，使涂层厚度偏差从 $\pm 15\ \mu\text{m}$ 降至 $\pm 5\ \mu\text{m}$ ，并通过盐雾试验验证了耐腐蚀性能的提升^[10]。

3.5 数字化监控系统的集成应用

新增技术论述：随着工业 4.0 技术的发展，数字化监控平台（如 SCADA 系统）在防爆电气生产中的应用日益广泛。通过集成传感器数据、设备状态信息与工艺规范，系统可自动生成参数控制曲线，并触发预警机制。例如，在注塑成型过程中，若模具温度连续 3 次超出设定范围，系统将自动停机并推送报警信息至工程师手机端，有效避免了批量性质量事故^[11]。

4 实施过程中的注意事项

4.1 建立完善的监视、测量体系

企业应根据自身生产工艺特点和产品质量要求，建立一套完善的过程参数监视、测量体系。明确需要监视、测量的过程参数、监视测量的方法、频率、责任人以及数据记录和分析要求等。同时，制定相应的操作规程和管理制度，确保监视、测量工作的规范化和标准化。

4.2 选择合适的监视、测量设备

根据过程参数的类型和测量精度要求，选择合适的监视、测量设备。这些设备应具有良好的准确性、稳定性和可靠性，并且符合相关的标准和规范。对于用于安全防护的监视、测量设备，还应满足防爆、防尘、防水等特殊要求。同时，要定期对监视、测量设备进行校准和维护，确保其测量精度和性能符合要求。

4.3 加强人员培训和管理

监视、测量工作的实施需要专业的技术人员来操作和管理。企业应加强对相关人员的培训，使其熟悉过程参数的监视、测量方法和设备操作技能，掌握数据记录和分析的方法，了解产品质量标准和相关法规要求。同时，建立人员考核和激励机制，提高人员的工作积极性和责任心。

4.4 数据驱动的持续改进机制

新增内容：企业应建立基于大数据分析的参数优化模型。通过历史数据挖掘，识别关键参数的关联性。例如，某案例显示，焊接速度与电弧电压的交互作用对焊缝气孔率的贡献度达 43%，优化二者比值后，缺陷率下降 28%^[12]。

4.5 环境因素的适应性调整

新增内容：在湿度较高的南方地区，注塑原料的含水率可能影响熔体流动性。企业需动态调整干燥温度（通常为 $80\sim 120\ ^\circ\text{C}$ ）与时间参数，并通过在线水分检测仪（如卡尔费休法）确保原料含水率 $\leq 0.02\%$ ^[13]。

5 结束语

过程参数的监视、测量是防爆电气产品生产过程中保证产品一致性、标准符合性和生产安全的重要手段。当产品质量特性很难用直接测量手段检测时，制造商需要深入分析自身产品质量特性，结合生产工艺特点，准确找出需要监视、测量的工艺过程参数，并严格按照要求实施监视、测量。在实施过程中，要注意建立完善的监视、测量体系，选择合适的设备，加强人员培训和管理，做好数据记录和分析。只有这样，才能确保防爆电气产品的质量和安全性，满足市场需求和相关标准要求，为企业的可持续发展奠定坚实的基础。

过程参数的监视与测量是防爆电气产品质量控制的基石。通过技术创新与管理优化，企业可实现从“经验驱动”向“数据驱动”的转型升级。未来，随着人工智能与物联网技术的深度融合，实时参数预测与自适应控制将成为行业发展趋势，为防爆电气产品的安全应用提供更有力的保障。

参考文献：

- [1] 王红梅,袁建勇.石油化工业中防爆电气设备的应用分析[J].化工管理,2020(35):86-87.
- [2] 王洪亮.化工企业生产设备预防性维护策略研究[D].大连:大连理工大学,2009.
- [3] 张显力,张海鸥.防爆电气概论[M].北京:机械工业出版社,2015.
- [4] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB/T 3836.1—2021《爆炸性环境 第1部分:设备的一般要求》[S].2021-10-11.
- [5] 冯孝秋,徐刚,孙明,等.腐蚀环境对电气设备防爆性能的影响[J].电气防爆,2007(03):1-7.
- [6] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB 19517-2023《国家电气设备安全技术规范》[S].2023-05-23.
- [7] 乔文伟,冯国五,杨恒勇,等.电线电缆绝缘电阻测量及影响因素分析[J].工程建设与设计,2017(20):37-39.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB 50257—2014《电气装置安装工程爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范》[S].2014-12-02.
- [9] 张玉大,王方利.防爆电气设备的安全运行[J].防爆电机,2014,49(02):26-29.
- [10] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB/T 3836.13—2021《爆炸性环境:设备的修理、检修、修复、改造》第13部分[S].2021-10-11.
- [11] 国家石油和化学工业局.HG/T20664-1999《化工企业供电设计规定》[S].1999-12-10.
- [12] 同[2].
- [13] 同[7].