

# 消防工程竣工检测中机电系统安全性与功能性协同验证方法及应用

李细业

广东 佛山 528244

DOI:10.61369/ME.2025110037

**摘要：**消防工程竣工检测需对机电系统安全性与功能性进行协同验证。需从短路防护、过载保护等多维度考量安全性，关注系统功能性验证的机电集成要求，解决安全防护与功能运行矛盾及机电系统交互瓶颈。通过 FMEA 分析、动态风险参数关联建模等多种技术方法，并结合实际案例验证，对提升消防工程质量意义重大。

**关键词：**消防工程竣工检测；机电系统；协同验证

## Collaborative Verification Method and Application of Safety and Functionality of Mechanical and Electrical Systems in Fire Engineering Completion Inspection

Li Xiye

Foshan, Guangdong 528244

**Abstract :** The completion inspection of fire engineering requires collaborative verification of the safety and functionality of the electromechanical system. It is necessary to consider safety from multiple dimensions such as short circuit protection and overload protection, pay attention to the electromechanical integration requirements for system functional verification, and solve the contradiction between safety protection and functional operation, as well as the bottleneck of electromechanical system interaction. Through various technical methods such as FMEA analysis and dynamic risk parameter correlation modeling, combined with practical case verification, it is of great significance to improve the quality of fire engineering.

**Keywords :** fire engineering completion inspection; mechanical and electrical systems; co-verification

## 引言

《建设工程消防设计审查验收管理暂行规定》于2020年6月1日起施行，旨在保障建设工程消防设计、施工质量，提高消防工程安全性与功能性。消防工程竣工检测中机电系统安全性与功能性协同验证意义重大，需多维度考量，如短路防护、过载保护及接地可靠性等电气安全指标。同时，系统功能性验证的机电集成要求、安全防护与功能运行矛盾、应急响应环节机电系统交互瓶颈等问题需解决。基于FMEA的故障模式耦合分析、动态风险参数关联建模等方法，以及BIM – MEP协同仿真平台构建、多源数据融合实时监测技术等，都为协同验证提供支撑，诸多实际案例也证明了其有效性与重要性。

## 一、消防机电系统安全与功能协同验证的理论框架

### (一) 消防机电系统安全性评价维度

消防机电系统安全性评价需从多维度考量。短路防护方面，短路故障可能引发火灾或设备损坏，应依据相关电气安全标准，确保线路具备有效的短路保护装置，能快速切断故障电流，避免危险蔓延<sup>[1]</sup>。过载保护同样关键，长期过载会使电气设备发热，加速绝缘老化，甚至引发火灾，需设定合理的过载保护阈值，及时监测和切断过载电路。接地可靠性也不容忽视，良好的接地能

保障人员安全，防止电气设备外壳带电，要严格检测接地电阻等参数，确保接地系统符合安全要求。通过对这些核心参数标准如短路防护、过载保护及接地可靠性等电气安全技术指标的严格把控，为消防机电系统安全性评价提供坚实基础。

### (二) 系统功能性验证的机电集成要求

在消防工程竣工检测中，系统功能性验证的机电集成要求极为关键。通风排烟系统联动控制与消防水泵启停逻辑等机电功能组件，需从多方面满足集成要求。对于通风排烟系统联动控制，其控制逻辑要与其他消防机电设备紧密配合，确保在火灾发生时

能及时准确地启动，有效排出烟雾，为人员疏散和消防救援创造有利条件。消防水泵启停逻辑同样要与火灾报警系统、消防管网压力监测等机电系统深度集成，根据火灾实际情况精准启停，保证消防用水供应稳定。只有各机电功能组件在性能验证上达到高度集成，才能实现消防机电系统的安全与功能协同，满足消防工程在实际应用中的需求，这一要求也与相关研究成果<sup>[2]</sup>相符。

## 二、消防工程检测中的安全功能冲突特征

### （一）安全防护与功能运行的矛盾表现

在消防工程竣工检测中，机电系统的安全防护与功能运行常存在矛盾。以防火门电磁释放装置与疏散指示灯联动为例，从理论上讲，二者应协同配合，保障人员在火灾时能安全疏散。然而实际运行中，防火门电磁释放装置触发开启或关闭的时间点，与疏散指示灯引导方向调整的最佳时机难以精准匹配<sup>[3]</sup>。若防火门电磁释放装置过早动作，可能导致疏散通道过早开放或关闭，而此时疏散指示灯还未来得及给出正确引导，使得人员疏散出现混乱；反之，若疏散指示灯已指示方向，但防火门因电磁释放装置未及时动作而无法正常通行，同样会影响人员安全疏散，这种时序上的冲突，凸显了安全防护与功能运行间的矛盾，对消防工程的安全性与功能性协同造成阻碍。

### （二）应急响应中的机电系统交互瓶颈

在消防工程检测的应急响应环节，机电系统交互存在显著瓶颈。火灾报警信号与暖通空调系统紧急制停的技术接口存在缺陷，这一问题凸显了交互瓶颈。火灾发生时，若暖通空调系统不能及时接收到火灾报警信号并紧急制停，空调运行可能会加速烟雾和火势蔓延，扩大火灾危害。由于各机电系统独立设计和运行，缺乏统一协调机制，导致信息传递不畅。如在信号传输过程中，可能出现信号延迟、丢失等情况，影响暖通空调系统的紧急制停响应及时性。这种机电系统交互瓶颈严重阻碍了消防工程安全功能的有效实现，迫切需要通过优化技术接口、建立统一协调机制等措施来解决，以确保消防工程在应急响应中各机电系统能协同工作，提高整体安全性<sup>[4]</sup>。

## 三、协同验证方法的关键技术体系

### （一）多维安全功能参数耦合建模

#### 1. 基于 FMEA 的故障模式耦合分析

基于 FMEA（失效模式与效应分析）的故障模式耦合分析，旨在全面剖析机电系统中各部件故障模式及其相互耦合对建筑消防安全的影响。通过对机电系统各组成部分进行详细的 FMEA 分析，明确每一种可能的故障模式、故障原因及后果<sup>[5]</sup>。在此基础上，深入探究不同故障模式之间的耦合关系，因为单一故障可能引发连锁反应，导致多个安全功能参数同时偏离正常范围，进而严重威胁建筑消防安全。通过该分析，确定关键故障耦合路径，识别出可能导致严重安全后果的故障组合，为后续针对性地制定协同验证策略提供依据，以便在消防工程竣工检测中更有效地评

估机电系统安全性与功能性，及时发现潜在安全隐患，保障建筑消防安全。

#### 2. 动态风险参数关联建模

在消防工程竣工检测机电系统安全性与功能性协同验证中，动态风险参数关联建模极为关键。机电系统运行状态处于动态变化中，各类风险参数也随之改变，如环境温度、湿度、电气设备负载等因素，会实时影响消防系统的安全性与功能性<sup>[6]</sup>。需建立动态风险参数关联模型，精准识别这些参数间的内在联系。例如，通过数据分析挖掘技术，探索电气设备温度升高与火灾发生概率之间的定量关系。该模型要具备自适应能力，能随机电系统运行情况动态调整，及时反映潜在风险，为协同验证提供动态且准确的风险评估依据，助力判断机电系统在不同工况下消防应急响应的可靠性，保障消防工程竣工检测的科学性与有效性。

### （二）智能验证技术集成应用

#### 1. BIM-MEP 协同仿真平台构建

BIM-MEP 协同仿真平台构建是实现消防工程竣工检测中机电系统安全性与功能性协同验证的关键环节。平台整合建筑信息模型（BIM）与机电设备专业（MEP）数据，构建高精度虚拟模型，将机电管线参数等信息深度嵌入其中，真实反映机电系统在消防工程中的布局与特性。借助该平台，可对机电系统运行状态进行动态模拟，精准分析系统安全性与功能性。例如，模拟火灾场景下机电系统的响应，检测通风、排烟、消防喷淋等设备的运行效果<sup>[7]</sup>。通过集成智能验证技术，平台还能自动识别潜在安全隐患与功能缺陷，为优化设计与整改提供科学依据，提升消防工程竣工检测的准确性与可靠性。

#### 2. 多源数据融合的实时监测技术

在消防工程竣工检测中机电系统安全性与功能性协同验证里，多源数据融合的实时监测技术十分关键。需研究电力监控系统与消防控制主机的数据互通机制，以此实现多源数据的高效融合。借助先进的数据采集设备，从电力监控系统、消防控制主机等不同源头获取实时运行数据，涵盖电力参数、消防设备状态等各类信息。通过特定的数据融合算法<sup>[8]</sup>，将这些多源数据整合处理，消除数据冗余与矛盾，形成全面且准确的监测数据集。这样能实时监测机电系统的运行状况，及时察觉潜在的安全隐患与功能异常，为安全性与功能性的协同验证提供可靠的数据支撑，保障消防工程竣工后机电系统稳定、安全、有效地运行。

## 四、典型工程应用案例分析

### （一）超高层建筑机电系统验证

#### 1. 垂直疏散通道机电联动测试

以某超高层建筑为例，在垂直疏散通道机电联动测试中，重点考察余压调节系统与应急照明的协同响应。当模拟火灾场景激活余压调节系统时，应急照明须在规定时限内即时响应。测试结果显示，余压系统压力信号高效传输至应急照明控制模块，后者迅速点亮，响应时效完全符合设计规范。该验证采用精密监测仪器，准确捕捉余压启动与照明联动的关键时间节点。通过此案

例, 协同验证方法显著提升了垂直疏散通道机电联动的稳固性, 为紧急疏散人员提供可靠保障, 再次印证其在超高层建筑消防工程竣工检测中的核心价值与可操作性<sup>[9]</sup>。

## 2. 电梯群控系统的火灾模式测试

在某超高层写字楼的机电系统验证项目中, 针对电梯群控系统的火灾模式进行测试。该建筑共 50 层, 配备 10 部电梯服务不同楼层分区。测试时, 模拟不同楼层发生火灾场景, 触发电梯群控系统的火灾模式。观察发现, 部分电梯轿厢迫降位置出现偏差, 未精准到达指定的首层疏散层, 且在电源切换过程中, 出现短暂供电不稳定情况。通过详细排查, 发现是群控系统逻辑设置与电源切换装置参数匹配不佳。经过调整逻辑算法和优化电源切换装置参数, 再次模拟火灾场景, 电梯轿厢能准确迫降至首层, 且电源切换平稳, 确保了火灾时电梯群控系统能安全、有效地运行, 充分体现出电源切换与轿厢迫降位置联合验证在超高层建筑电梯群控系统火灾模式中的重要性<sup>[10]</sup>。

## (二) 地下综合管廊应用实践

### 1. 分布式传感器网络构建

在某地下综合管廊工程中, 构建分布式传感器网络以实现机电设备状态有效监测。依据管廊内机电设备分布与运行特点, 在关键节点如配电箱、通风设备、排水泵附近合理布设温度、湿度、电流、电压等传感器。通过有线与无线相结合的通信方式, 将传感器采集的数据实时传输至中央监控系统。例如, 温度传感器实时监测配电箱温度, 当温度异常升高, 系统及时预警, 以便检修人员排查潜在火灾隐患。湿度传感器对管廊环境湿度进行监测, 防止因湿度过高影响机电设备性能。借助该分布式传感器网络, 实现对管廊内机电设备运行状态全方位感知, 为消防工程竣工检测中机电系统安全性与功能性的协同验证提供可靠数据支持, 保障管廊安全稳定运行。

### 2. 应急通风-排水协同控制验证

在某地下综合管廊工程中, 针对应急通风-排水协同控制进行验证。该管廊集成水位传感器、通风系统及可燃气体探测器。模拟水位升至警戒值时, 传感器即时传输信号至控制系统。系统迅捷响应, 联动启动排水设备, 并按预设逻辑同步开启区域风机, 同时激活气体探测器监测积聚风险。此机制确保积水场景下排水高效、通风及时, 避免有害气体(如甲烷)因腐蚀或挥发引发爆炸。多次模拟测试证实, 传感与通风、排水协同精准可靠, 气体探测强化消防联动, 满足管廊紧急状态下机电系统安全与功

## 参考文献

- [1] 拜博涛. 积分-微分混合型事件触发模式下机电系统模型预测控制方法研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2023.
- [2] 袁林中. 滚转飞行器旋转隔离装置机电系统设计及解旋性能研究 [D]. 华东交通大学, 2021.
- [3] 龙土志. 复杂机电系统的深度迁移学习故障诊断研究 [D]. 广东工业大学, 2021.
- [4] 陈怀剑. 物联网环境下的协同异常检测方法及应用 [D]. 天津理工大学, 2021.
- [5] 阎鑫磊. 基于边-云协同的异常行为检测方法研究及应用 [D]. 浙江工业大学, 2022.
- [6] 雒凯明. 新时期消防工程机电系统智能化分析 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(13): 121-123.
- [7] 高明. 新时期消防工程机电系统智能化研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(7): 125-126.
- [8] 王树栋, 高伟. 新时期消防工程机电系统智能化分析 [J]. 信息记录材料, 2021, 22(12): 67-68.
- [9] 刘小军. 新时期消防工程机电系统智能化研究 [J]. 中国住宅设施, 2021(1): 9-10.
- [10] 王宇. 探讨新时期消防工程机电系统智能化 [J]. 中国房地产业, 2017(16): 266.

能协同要求, 为稳定运行提供保障。

## (三) 工业厂房特殊场景验证

### 1. 防爆电气设备的安全功能测试

在某工业厂房特殊场景下, 对防爆电气设备进行安全功能测试。该厂房储存易燃易爆化学品, 集成防爆电气及可燃、有毒气体探测器, 要求严苛。针对消防报警系统中的防爆设备, 首先检验结构完整性, 如外壳材质、密封性能是否达标。同时, 测量接地电阻, 确保可靠, 避免静电爆炸风险。此外, 模拟火灾场景, 联动气体探测器监测可燃气体超标( $>1\% \text{LEL}$ )和有毒阈值, 验证设备信号传输准确、无干扰, 并触发通风切断。测试发现部分接地电阻超标, 及时整改线路连接, 再测合格。通过严格验证, 确保防爆电气安全功能可靠, 实现机电系统协同, 为消防工程竣工检测提供参考。

### 2. 危险区域应急切断逻辑验证

在某工业厂房特殊场景下, 对危险区域应急切断逻辑展开验证。该厂房存在大量易燃易爆及有毒有害气体, 危险区域众多。检测时, 模拟危险区域可燃气体泄漏场景, 设定气体浓度达到一定阈值。观察消防工程中机电系统的反应, 发现通风系统迅速启动, 加快空气流通, 降低可燃气体浓度。同时, 应急切断装置精准动作, 及时切断相关工艺设备的电源及物料输送管道, 防止泄漏扩大引发爆炸等严重事故。这一过程验证了危险区域应急切断逻辑的有效性, 实现了机电系统安全性与功能性的协同。通过此案例可知, 科学合理的应急切断逻辑对于保障工业厂房消防安全至关重要, 为后续消防工程竣工检测提供了实践依据。

## 五、总结

消防工程竣工检测中机电系统安全性与功能性的协同验证方法, 对提升消防工程质量意义重大。此方法借助建立协同验证体系, 将技术规范与性能需求有机统一, 打破传统检测中安全与功能分离的困境, 为智能建筑和工业设施的消防验收开辟新路径。通过该方法, 能更全面、准确地评估机电系统在消防工程中的作用, 确保其在紧急情况下既具备可靠的安全性, 又能充分发挥应有的消防功能。随着技术发展, 未来深化人工智能在验证流程优化中的应用研究, 有望进一步提升协同验证的效率与精准度, 为消防工程竣工检测注入新的活力, 推动消防工程领域的持续进步。