

智能工业厂房低压供配电系统可靠性分析

张盼, 杜飞扬

重庆机场集团有限公司动力能源分公司, 重庆 401120

DOI:10.61369/WCEST.2025010018

摘要： 本文针对智能工业厂房低压供配电系统的可靠性展开论述，并说明了电力负荷分类、供电要求和应急电源的选择、供配电系统的方案及供电线路的安全要点。通过分析智能化监测及管理系统应用、定期维护检修、人员培训和应急演练等多重因素对于供配电系统的综合影响，获得上述因素在提高系统可靠性方面的发挥作用的机理。研究发现：根据相应的供电需求科学合理地构建供电系统、选择匹配的应急电源、做好供电线路管理并采取综合性的改善措施，能够保证系统的稳定运行，为工业生产的正常开展提供强有力的支持。

关键词： 智能工业厂房；低压供配电系统；可靠性分析；应急电源

Reliability Analysis of Low-Voltage Power Supply and Distribution System in Intelligent Industrial Factory

Zhang Pan, Du Feiyang

Chongqing Airport Group Co., Ltd. Power and Energy Branch, Chongqing 401120

Abstract： This paper focuses on the reliability problem of the low-voltage power supply and distribution system in smart industrial factory, systematically expounds the classification of power load and power supply requirements, deeply analyzes the selection of emergency power supply, power supply and distribution system scheme and safety key points of power supply lines. Through exploring the application of monitoring and management system, regular maintenance and inspection, personnel training and emergency drills and other comprehensive measures, it reveals the influence mechanism of each element on the reliability of the system. The shows that reasonable planning of system architecture, selection of appropriate emergency power supply, strengthening line safety management and implementing comprehensive improvement measures can effectively guarantee the stable operation of power supply and distribution, and provide a solid power support for industrial production.

Keywords： smart industrial factory; low-voltage power supply and distribution system; reliability analysis; emergency power supply

工业生产高度智能化的背景下，智能工业厂房是现代工业生产的重要载体和基础，做好工业生产厂房的低压供配电系统可靠性的分析就变得极为重要。工业厂房供配电系统要稳定运行才能保证工业生产的连续性与高效性，与工业生产的经济效果、安全生产关系甚为重要。任何一个供配电系统故障都会影响工业生产的正常进行、引起设备的破坏，甚至造成安全事故与灾难性的重大经济损失。因而加强对工业生产厂房低压供配电系统可靠性的分析，就能保障智能工业生产厂房的生产稳定、高效运行，意义颇为重大。

一、电力负荷分类与供电要求

在智能化工业厂房中，不同生产装置、不同生产环节对应的一类负荷、二类负荷、三类负荷有所不同^[1]。例如一类负荷通常为关键生产设备、消防设备、应急照明设备等，对于该类型负荷如果发生中断供电的情况，将会带来重大经济损失或者严重安全事故。例如在电子芯片生产厂房中，其车间内的部分高精度加工设备对于供电稳定性要求极高，属于一类负荷。一类负荷中增设应急电源，并严禁其他负荷接入应急供电电源，在任何情况下不中断供电。二类负荷在中断供电以后会造成一定经济损失或生产

秩序较大混乱，比如厂房内的部分辅助生产设备、部分办公区用电等负荷。对于该类负荷应实现双回路供电，可以提高供电的可靠性。三类负荷对供电可靠性的要求一般比较低，只需采用单回路供电就能够达到相应的要求，比如厂房内的部分非重要照明设施等。

二、应急电源的选择与应用

选用合理的应急电源是智能工业厂房低压供电可靠性配置的重要组成部分，在智能工业厂房低压供配电系统中广泛应用的应

急电源有柴油发电机组、EPS 应急电源和 UPS 电源，这些应急电源都有其各自的特征和适用范围。

柴油发电机组的输出功率大，能够持续供电较长时间，在供电需求容量大、允许中断供电时间略长的场所可选用^[2]。正常中型的智能工业厂房中柴油发电机组功率一般为 200—500kW，在大多数场合能够满足厂房中一级负荷中断市电后较为长时间的用电需求，其启动时间一般为 10—30s，可以为厂房中重要的用电设备提供更长时间的应急电力支持。

EPS 应急电源系统一般的备用供电时间为 30—120 分钟，适用于消防设备、应急照明等对供电时间要求不是特别长的负荷。例如，在智能工业厂房中，用于防火卷帘的水幕泵在火灾时应满足持续工作时间为 3 小时，对于此类设备，EPS 应急电源可在市电故障时维持其供电可靠性，保证在规定时间内供电的连续性。但需要注意的是，EPS 应急电源不是长时间性质的备用电源，对于正常电源供电可靠性较差的场所，不能用作常用设备的备用电源。

UPS 电源能进行快速切换（切换时间通常为毫秒级），适合对供电连续性有要求的自动化控制设备，比如计算机控制自动化、计算机数据处理等设备。智能工业厂房自动化控制系统中应用 UPS 电源，在市电瞬间中断的情况下，控制的计算机系统数据不丢失，自动化设备不中断工作^[3]。

三、供配电系统方案分析

工业厂房常用的单母线分段双回路+一台柴油发电机组接线系统方案和双电源 TN-C-S+一台柴油发电机组接线系统方案各具长短，对方案的选择会不同程度地影响供配电系统的可靠性。

方案 1：此方案采取单母线分段双回路接线方式，低压母线独立运行，变压器与柴油发电机组之间没有联络点，正常运行时两段母线互不影响，分别承担各自的供电子区，此种方式简化了操作复杂度，不需要复杂的连锁控制逻辑，大大降低了人为误操作而导致故障的风险，更重要的是柴油发电机不可能给市电倒送电，也保护了市电电网。但是缺点也很突出：一旦市电停电，则只有Ⅲ段母线提供给重要的负载用电；而非关键性的设备都会停止工作，导致生产断流；而且Ⅲ段母线长时间处于没有电压的工作状态，对于电气设备潜伏的问题不能进行及时发现和排除，存在一定隐患。

方案 2：采取从变压器低压母线引出一路独立电源专供Ⅲ段母线平时不通电问题的办法。即市电正常情况下，保证有一组特定的母线是带电的，把这条电缆一直接到生产二期东面主控楼中间走道东端的操作母线上，以保证这一操作母线及其所带的设备都长期处在带电状态。但是在市电突然停电的时候就暴露出了它的局限性：只有一路通过发电机组供电，而且柴油发电机的供电范围也仅限于生产通用动力等不能间断供电负荷，很多辅助设备以及办公用房用不了电，致使产线的供电受到了很大的局限，即会造成产线内的部分生产不能正常开展工作，同时也会在用电需求多变的情况下，很难保证产线的正常生产工作秩序，在供电的灵

活性及全面性方面还有较大的提升空间。

方案 3：当平时市电停电时，在一般负荷不设专用母线的情况下，柴油发电机与变压器母线共用，以最大限度地发挥柴油发电机的作用。但该方案存在明显缺陷，在 TM1 变压器检修或故障、QL 断开、3QF 合闸的情况下，由于 QL 断电，柴油发电机不能供电给一级负荷，如果恰逢市电停电，则柴油发电机自启动。

方案 4：设置一级负荷母线段Ⅲ的柴油发电机专用电源，即使面临 TM1 变压器检修或故障导致 QL 主动断开的特殊工况，只要 3QF（联络开关）处于合闸状态，系统仍需维持“QL 失压断开→柴油发电机启动”的控制逻辑。柴油发电机自启动就可以为一级负荷供电，这使得一级负荷供电可靠性大大提高。通过对比分析不同方案，市电可靠时可选方案 1、2，柴油发电机容量依变压器定；选 3、4 需配更大容量机组；一级负荷含特重要负荷时，1、2、4 适用，3 不可选。

四、供电线路的安全要求与可靠性保障

低压供配电系统有利于智能工业厂房的可靠性，对智能工业厂房内的布线系统、布线系统布置线路，以及布线的布线线路敷设到智能工业厂房内，都应使布线系统敷设和使用的安全性得到有效保证，多方规避外界应力的影响，避让布置热源并和它相隔一定的距离，防止出现因高温造成的线缆影响；经常性的清理集聚着大量灰尘的地方，阻止大量灰尘淤积导致电线处出现静电或者加快设备磨损，选择耐腐蚀的线缆，并加上保护性防护层，同时注重环境检测和清洁^[4]。

智能工业厂房对消防用电设备电源的配电也需要严格设计与施工，使消防设备可以在火灾等事故发生时发挥有效功能。其次，电气产品尽量选择技术先进的、品质可靠的产品，如使用自带智能监测、智能保护的断路器、接触器等，实时监测线缆的电流、电压、温度等参数，在发生异常时及时断开电路，防止故障的扩展。良好的接地设计可有效防止电气设备外表面漏电带来的人身安全隐患；防雷措施能有效防范线路、电气设备因雷电而受损；抑制高次谐波能优化电力设备的运行效能，延长设备的使用寿命，保障供电设备的正常运行。

五、提升智能工业厂房低压供配电系统可靠性的综合措施

（一）智能化监测与管理系统应用

智能工业厂房低压供配电系统可靠性管理体系由智能化监测管理系统提供基础和支撑，是对供配电系统的传感器技术应用、物联网技术以及大数据技术应用的运用和展示，对供配电系统进行全面有效实时监测及准确管理。

作为系统的传感子系统，传感设备应根据各设备的特点以及其重要性，有针对性地在重要点位安装。如在变压器中，传统的油温监测方法中温度传感器测量的是油面上的温度，与油本身的流动效率相关联，在变压器内部测取的油面油温并不能真实反映

绕组等主体部位的温度，而传感系统直接把传感器接在绕组、铁心等重要节点，通过光的原理，把光传回变压器，可以实时、真实地测得其内部温度的波动，规避因为油循环流速不畅引起读数失真所带来的影响，使对变压器热故障的判断更加科学和有依据。在断路器中，振动传感装置可以在断路器运行中实时监测变压器的分合闸过程中的机械部件产生振动，从而从振动频率、振动大小等参数信息可以实时检测出相关机械故障点，如断路器触头接触点磨损、弹簧疲劳；局部放电传感装置可以针对设备的内部绝缘部位异常而产生在绝缘上产生的一些局部的微弱放电信号，可以将这些异常点作为绝缘老化、绝缘劣化的重要辅助判断依据，即早发现潜在的断路器内部缺陷故障。工业以太网拥有更大的信息传输带宽、更低的延迟性、更好的抗干扰能力等，从而取代现有的供配电自动化系统原有的一次设备与调度、变电所控制终端的有线连接模式，采用以太网通信，把大量的实时数据通过传感单元采集后传输到系统监控中心。

巡检与保养是实现智能工业厂房低压供配电系统持续稳定运行中的重要环节，是对供配电系统进行合理维护保养制度的制定以及后续实施过程中的管理和督导。供配电设备的巡检保养应当综合设备的使用寿命、运行情况和运行年限、以往的历史故障信息以及标准的制度规范等等，同时在进行巡检时应注意观察变压器油位、油色、油温、套管外部情况、呼吸器等相关问题，一些细节变化、问题及指示都有可能是设备可能出现故障的前期征兆。例如变压器油色谱分析能够根据对油内溶解氢气、乙炔、一氧化碳等气体成分比例、含量等内容的分析和比较，有效的查找变压器出现内部短路、内部元件出现局部放电等潜在故障问题。例如变压器运行中如果油中乙炔成分含量持续上升，则主要提示了变压器运行中出现了电弧性故障，则应通过进一步测试绕组直流电阻、变比等项目，具体问题具体分析。

（二）人员培训与应急演练

人是智能工厂低压供配电系统运行和维护的核心，员工对智能工厂低压供配电系统知识的掌握程度以及对突发事件或问题的

应急处理技能是影响智能工厂低压供配电系统安全稳定运行的主要原因。培训过程中基础培训阶段主要以电工基础知识、供电知识和原理、供配电装置的结构、原理等为主，使学员能了解系统基本概念及相关供配电设备的工作原理；实操培训阶段以模拟工作状态将学员带入设备的安装、调试、操作、维护中，让学员感受、了解设备的操作规范、安全操作注意事项等。以变压器倒闸操作培训为例，安排学员在模拟系统环境中严格按照倒闸操作工作流程及顺序完成停送电、验电、挂接地线、切换开关等倒闸操作任务，通过多次练习掌握操作要点、解决故障方法等，在真实工作中能够完成正确的操作流程。选取一些本专业发生过的典型故障，采用案例教学法组织学员一起分析讨论。从现象着手，引导学员通过应用所学知识和技能并应用观察、测量、测试等分析手段逐步排查故障成因，得出结论、提出解决办法并实践操作加以验证。通过虚拟仿真技术为学员创建一个变化不定的故障环境，模拟故障环境的各种组合情况，使学员在虚拟故障环境中进行诊断和处理训练，真实感受处理过程中可能发生的各种突发状况，培养学员应变以及分析问题和解决问题的能力。学员通过演练可对不同排查思路、方法以及所采取的处理措施进行总结，可以不断提升学员应对故障处理的能力和水平。

六、结论

智能工业厂房低压供配电系统可靠性的影响因素之间相互联系，是一个复杂的过程。其中电力负荷的类别决定了最基础的供电方案选择，应急电源的选择确保了极端情况下电力的不间断供给，供配电系统方案选择各有优劣，供电线路安全是系统可靠稳定的支撑，智能化监控管理、定期的维护检修和人员培训应急演练等综合手段是从技术、管理和人员等全方位的综合保障，上述要素只有统筹考虑，协同推进，才能有效地提高系统可靠性，满足工业生产对电能连续稳定供给和安全可靠的严格需求，实现智能工业厂房的高效运行。

参考文献

- [1] 杨子江,程琦.低压配电系统断路器可靠性聚类分析方法[J].电工技术,2024,(23):160-163+166.
- [2] 王蕾,雷崇,王德发,等.城轨低压配电系统可靠性评估研究[J/OL].铁道标准设计.2024.
- [3] 杨立鑫,王玉亮.高层建筑电气设计及低压供配电系统可靠性分析[J].光源与照明,2024,(03):207-209.
- [4] 陈静.智能工业厂房低压供配电系统可靠性研究[J].智能建筑与智慧城市,2021,(10):140-141.