

融媒体中心 UPS 不间断电源系统的冗余设计与可靠性分析

许美河

哈密市融媒体中心

DOI:10.32629/pe.v4i2.20004

[摘要] 融媒体中心承担着节目播出、信号传输、数据处理等核心职能,对供电连续性与稳定性具有极高要求。UPS不间断电源系统作为保障广播电视安全播出的关键基础设施,其可靠性直接决定播出系统能否稳定运行。冗余设计是提升UPS系统抗故障能力、消除单点失效风险的核心技术手段。本文结合融媒体中心供电负载特点与安全播出规范,从系统架构、硬件配置、控制逻辑、运维管理等方面,对UPS系统冗余设计方案进行全面阐述,并对冗余配置下的系统可靠性进行理论分析与实践验证,旨在为广播电视行业UPS供电系统的优化设计与安全运行提供参考。

[关键词] 融媒体中心; UPS系统; 冗余设计; 可靠性; 安全播出

中图分类号: TP316.5 **文献标识码:** A

Redundancy Design and Reliability Analysis of UPS Uninterruptible Power Supply System for Media Convergence Center

Meihe Xu

Hami City Media Convergence Center

[Abstract] Media convergence centers undertake core functions such as program broadcasting, signal transmission, and data processing, placing extremely high demands on the continuity and stability of power supply. As a critical infrastructure ensuring the safe broadcasting of radio and television, the reliability of the UPS (Uninterruptible Power Supply) system directly determines the stable operation of the broadcasting system. Redundancy design is a core technical means to improve the fault tolerance of the UPS system and eliminate the risk of single-point failure. This paper, combining the power supply load characteristics of media convergence centers and safe broadcasting standards, comprehensively elaborates on the UPS system redundancy design scheme from the aspects of system architecture, hardware configuration, control logic, and operation and maintenance management. It also provides theoretical analysis and practical verification of the system reliability under redundancy configuration, aiming to provide a reference for the optimized design and safe operation of UPS power supply systems in the broadcasting industry.

[Key words] converged media center; UPS system; redundancy design; reliability; secure broadcasting

1 引言

在广播电视信号传输与制作体系中,播出服务器、编码调制器、卫星接收设备、监控系统等均属于不允许断电的关键负载。电网波动、设备故障、线路检修等因素均可能造成供电中断,直接导致节目停播、信号中断、数据丢失等严重播出事故。UPS不间断电源可在市电异常时实现毫秒级切换,为负载提供持续、纯净、稳定的电能,是融媒体中心供电保障的最后一道防线。随着高清、4K、5G直播等技术普及,融媒体中心负载功率不断提升,供电系统复杂度持续增加,单一UPS设备已无法满足高可靠运行需求。冗余设计通过增加备用单元、独立供电路径与容错机制,使系统在部分设备发生故障时仍能正常工作,可大幅降低停机

概率。因此,开展UPS系统冗余设计与可靠性研究,对保障融媒体中心安全播出、提升供电系统韧性具有重要工程价值^[1]。

2 融媒体中心UPS系统运行要求与冗余设计原则

2.1 融媒体中心UPS系统基本要求

融媒体中心作为国家舆论宣传与公共文化服务的重要载体,承担着电视节目播出、广播信号传输、融媒体制作、数据存储与调度指挥等核心职能,其供电系统的稳定性直接关系到安全播出底线。UPS不间断电源作为保障关键负载不间断运行的核心设备,必须严格遵循广播电视行业高标准、高可靠、高稳定的运行规范,满足供电连续性、供电质量、可靠性、可维护性及扩容灵活性五大核心要求,为整个播出系统提供坚实电力支撑。

首先是供电连续性,这是融媒体中心UPS系统最核心、最基础的要求。节目播出具有实时性、不间断性与不可重复性,任何一秒的供电中断都可能导致节目停播、信号丢失、码流中断等严重播出事故,造成难以挽回的社会影响。因此,核心播出负载、总控系统、编码调制设备、卫星接收设备、主备播服务器等关键装置必须实现零中断供电。UPS系统在市电中断、电压跌落、电网闪断等异常状况下,需在10ms以内完成逆变切换,确保负载设备不掉电、不重启、信号不中断。这种毫秒级切换能力,是保障广播电视安全播出的第一道防线,也是UPS系统必须满足的刚性指标。

其次是供电高质量。融媒体中心内部部署了大量高精度、高灵敏度的电子设备,包括播出服务器、4K/8K编解码器、数字调音台、信号处理器、光端机等,这类设备对电网噪声、电压波动、频率漂移及谐波干扰极为敏感。因此,UPS系统必须具备优异的稳压、稳频与谐波抑制能力,严格保证输出电压稳定度 $\leq \pm 1\%$,频率波动 $\leq \pm 0.5\text{Hz}$,谐波畸变率 $\leq 3\%$ 。稳定纯净的电能输出可有效避免设备出现误码、死机、干扰、失真等问题,确保音视频信号清晰、稳定、无损耗传输,是保障节目制作与播出质量的关键条件。

第三是高可靠性。广播电视行业实行7×24小时不间断运行模式,对UPS系统的可靠性提出了严苛要求。按照《广播电视安全播出管理规定》相关技术标准,UPS系统的平均无故障时间(MTBF)必须不低于10万小时,核心播出区域的系统可用性需达到99.999%,意味着年允许故障停机时间不超过5分钟。高可靠性要求UPS在硬件设计、元器件选型、冗余配置、散热结构等方面全面强化,最大限度降低设备自身故障概率,抵御电网波动、环境变化、负载冲击等多种风险,确保长期连续运行不出故障。

第四是可维护性。在不间断播出的前提下,UPS系统必须支持在线维护、不停机检修与热插拔操作,避免因设备保养、部件更换、故障处理导致负载断电。同时,系统故障定位应清晰直观,维护流程简洁高效,确保平均故障修复时间(MTTR)控制在30分钟以内。良好的可维护性能够大幅提升应急处置效率,减少故障影响范围,保证运维工作在不影响正常播出的前提下安全开展,是广播电视机房运维体系的重要保障。

第五是扩容灵活性。随着融媒体、高清化、5G直播、AI制作等新技术不断应用,融媒体中心的设备数量与负载功率持续增长。UPS系统在设计初期便需预留充足扩展空间,具备容量平滑扩展、架构升级改造、模块灵活增减的能力,能够适配未来3—5年的设备扩容需求,避免因负载增加而整体更换系统,提高投资利用率,保障供电系统与技术升级同步发展^[2]。

2.2 冗余设计基本原则

融媒体中心UPS系统冗余设计直接关系到供电安全与播出稳定,必须遵循科学、严谨、实用的设计原则,在保障可靠性的同时兼顾工程实用性与经济性。冗余设计五大原则相互支撑、协同发力,是构建高可靠供电体系的核心依据。

独立性原则是冗余设计的基础前提。在UPS系统架构中,冗

余单元与主用单元必须实现物理、电气、控制三方面完全独立,包括独立的市电输入、独立的整流逆变模块、独立的电池组、独立的输出配电回路以及独立的控制系统。通过彻底隔离,可有效避免因线路故障、设备过热、电磁干扰、控制失效等共因故障引发整个系统瘫痪,确保任一单元出现问题都不会波及另一部分,从根源上杜绝系统性供电风险。

容错性原则是保障不间断供电的关键。广播电视核心负载不允许任何形式的中断,因此UPS冗余系统必须具备完善的容错能力,允许单点故障发生且不影响负载正常供电。无论是UPS主机故障、功率模块异常、电池单体损坏还是配电回路问题,系统均可自动识别、自动隔离故障单元,保持输出稳定。容错设计能够大幅提升系统抗风险能力,使设备在异常状态下依然能够保障播出安全。

负载均衡原则是多机并联运行的核心要求。在N+1或多机并联冗余系统中,多台UPS需实现实时、精准、自动的负载均分,确保每台设备负荷一致,避免出现个别设备过载运行、其余设备轻载闲置的情况。均衡负载可有效降低设备损耗,减少发热与老化,延长整机使用寿命,同时提升系统整体带载能力与运行效率,保证系统长期稳定工作。

在线切换原则是保障供电连续性的刚性标准。冗余系统在主备切换、故障隔离、旁路投入等过程中,必须实现无冲击、无间断、无扰动切换,切换时间控制在毫秒级,确保负载设备不掉电、不重启、信号不中断。平稳切换能够避免电压瞬变、电流冲击对精密播出设备造成损害,是满足广播电视实时播出要求的重要保障^[3]。

经济性原则是工程实施的重要约束。冗余设计并非配置越高越好,而应在满足安全播出规范的前提下,结合负载等级、机房条件、预算规模合理选择冗余方案,避免过度冗余造成设备闲置、资源浪费与成本过高。通过科学配比,实现安全性与经济性的平衡,使系统既符合行业标准,又具备较高的性价比与长期使用价值。

3 融媒体中心UPS系统主流冗余架构设计

3.1 N+1 并联冗余架构

N+1冗余是融媒体中心中大功率UPS最常用的方案,N为满足负载所需的最少主机数量,1为备用冗余主机。例如3台同型号UPS并联,带载量按2台设计,即为2+1并联冗余。

该架构工作方式为:正常运行时所有UPS均分负载;当任意一台出现故障,系统自动将其脱机,剩余N台UPS继续承担全部负载,不影响输出。N+1架构成本适中、效率较高、扩容方便,适用于调度机房、制作网、非核心播出区域。

3.2 2N双母线冗余架构

2N冗余为双套完全独立的UPS系统并行供电,两路系统分别配置独立的市电输入、整流器、逆变器、电池组、输出配电,为负载提供双路电源。核心播出设备通常支持双电源输入,可同时从两套UPS取电,任意一路完全断电,另一路可独立承载全部负载。

2N架构具备最高可靠性,可实现整机检修、电池更换、故障排查等全程不停机操作,是省级以上融媒体中心、核心播出机房、总控系统的标准配置。

3.3 模块化UPS冗余设计

模块化UPS由功率模块、监控模块、旁路模块组成,支持N+1模块级冗余。单个模块故障可自动退出运行,不影响系统输出,且支持热插拔更换,维护极为便捷。模块化冗余占地面积小、配置灵活、节能高效,适用于中小型广播电视台机房与分布式供电点位。

3.4 电池系统冗余设计

电池是UPS断电续航的核心,融媒体中心普遍采用多组电池并联冗余方案:每组电池配置独立熔断器与开关,某组电池故障或损坏时可单独隔离检修,其余电池组继续供电。同时,电池回路采用双路熔断器冗余,防止熔断器熔断导致供电中断。核心区域电池后备时间不低于90分钟,满足应急发电与故障处理需求。

4 UPS冗余系统可靠性分析

4.1 可靠性评价指标

UPS系统可靠性主要采用平均无故障时间(MTBF)、系统可用性A、失效率 λ 进行评价。可用性计算公式为:

$$A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

在2N冗余架构下,系统可用性可达到99.999%以上,年停机时间低于5分钟,完全满足广播电视安全播出要求。

4.2 不同架构可靠性对比

单台UPS无冗余设计,可用性约99.9%,年停机时间长达8.76小时,无法满足播出需求;N+1并联冗余可用性可达99.99%,年停机时间不超过52分钟;2N双母线冗余可用性可达99.999%~99.9999%,具备极高安全裕度。

在广播电视实际运行中,2N架构可抵御市电输入、UPS主机、电池组、配电回路等任意单点故障,N+1架构可抵御单机故障风险,两者均能有效避免因设备问题导致播出事故。

4.3 冗余设计对系统稳定性的提升

(1)消除单点故障,降低系统停机风险。(2)支持在线维护与不停机检修,提升运维安全性。(3)负载均分运行,减轻设备负荷,延长使用寿命。(4)提高系统抗过载能力与抗干扰能力。(5)提升应急保障能力,为应急发电接入提供时间窗口。

5 融媒体中心UPS冗余系统工程实施要点

5.1 负载分级供电规划

按照安全播出等级将负载分为三类:核心播出负载采用2N双母线供电;制作与调度系统负载采用N+1并联冗余供电;办公辅助设备采用单路UPS供电。通过分级配置实现安全与成本的平衡。

5.2 系统安装与布线要求

双母线系统输入输出线路必须完全独立敷设,不共线槽、不共桥架、不共电源插座,避免物理接触导致共模故障。UPS与电池组安装在恒温防尘机房,温度控制在20~25℃,湿度40%~60%,延长设备寿命。

5.3 监控与保护配置

冗余UPS系统需配置集中监控平台,实时监测电压、电流、负载率、电池状态、故障信息等参数,具备短信、声光、平台弹窗三级报警功能。同时配置过压、欠压、过流、短路、反灌、防雷等完善保护,确保故障时快速隔离,不扩散影响。

6 运维管理对冗余系统可靠性的保障

科学运维是冗余系统长期可靠运行的关键。融媒体中心需建立定期巡检制度:每月检测UPS运行参数与负载均衡状态;每季度测试电池内阻与电压;每半年进行冗余切换试验与故障模拟演练;每年完成全面维护与性能校准。

同时,建立备件库与应急处置流程,确保故障发生时快速响应、快速更换、快速恢复。运维人员需熟悉冗余架构逻辑,掌握切换条件与处置方法,避免误操作导致供电中断。

7 结论

UPS系统冗余设计是融媒体中心保障安全播出的关键技术措施。N+1并联冗余与2N双母线冗余可从根本上解决单点故障风险,显著提升系统可用性与稳定性。2N架构可靠性最高,适用于核心播出区域;N+1架构经济高效,适用于制作与调度区域;模块化UPS冗余则适合灵活部署场景。工程实践表明,合理的冗余架构、规范的施工安装、完善的监控保护、精细化的运维管理,可使UPS系统平均无故障时间大幅提升,满足融媒体中心全天候、不间断、高质量的供电要求。在广播电视技术不断升级的背景下,高可靠UPS冗余系统将发挥核心保障作用,为安全播出提供坚实支撑。

[参考文献]

[1]李树生.电视播控中心不间断电源(UPS)应用探析[J].现代商贸工业,2011,23(2):268.

[2]刘祺艳.广播电视UPS电源系统优化策略探究[J].电视技术,2025,49(1):52-54.

[3]王致舜.广播电视UPS电源系统优化策略设计研究[J].信息记录材料,2025,26(7):76-78.

作者简介:

许美河(1991--),女,汉族,新疆哈密人,大学本科,初级,研究方向:广播电视技术。