

数据中心高可靠性供配电系统架构对比研究与容错设计

王学金

浙江美阳国际工程设计有限公司江苏分公司

摘要: 本文对数据中心高可靠性供配电架构的对比以及容错设计进行了研究,探讨分析不同架构的优缺点,并根据容错设计的原则与关键技术,提出了数据中心高可靠性供配电解决方案。首先介绍了供配电系统在数据中心中的重要性以及高可靠性供配电系统的重要性,并对比了单一架构和冗余架构系统、分布式架构和集中式架构系统的优缺点;随后分析了容错设计的目标、要求与关键技术以及思路。接着对重要的 UPS 系统、断路器与配电盘进行了详细的容错设计。最后提出了数据中心供配电系统维护与管理,包括日常维护与巡检、应急预案与故障处理等,为数据中心高效稳定的运行提供保障。

关键词: 数据中心; 供配电系统; 架构对比; 容错设计; 高可靠性

一、数据中心供配电系统概述

1.1 供配电系统在数据中心的作用

供配电系统是数据中心的最为基础的系统工程,为数据中心的所有设备提供供电保障。数据中心的各个应用系统的运行都需要供配电系统为其提供电力保障,比如服务器的运行、存储设备的应用、网络设备的通信等,一旦供配电系统发生故障,将会导致数据中心的所有设备停止运行而无法提供服务,数据无法存储,给企业造成极大的损失和负面影响。供配电系统在数据中心当中的地位十分重要。

1.2 高可靠性供配电系统的重要性

在数字时代下,数据中心存储、运输、处理的海量数据一旦出现瞬间的断电、波动,就极有可能造成数据丢失,服务中断的情况,给企业造成巨大的损失及名誉影响。而高可靠性供配电系统能够最大限度地避免这类情况的发生,使得中心在面临突发状况时,如主电源故障、设备故障等,依靠冗余及备用电源等能够继续获得稳定持久的电力供应,提高业务运营的连续性 & 数据的可靠性。而且,高可靠性的供配电系统也能在一定程度上提高数据中心的运行效率,减少因电力供给不稳造成的设备故障,延长设备的使用寿命,从而节省企业大量的运行资金。

二、高可靠性供配电系统架构对比

2.1 单一架构与冗余架构的比较

单一架构和冗余架构在数据中心高可靠供配电系统架构对比研究和容错研究设计中,是供配电系统架构容错设计中不可忽视的重要一环。供配电系统可以为数据中心内不同用途的用电设备提供可靠的电力保障,具有高可靠性的供配电系统为数据中心的高可靠运营打下坚实的基础。单一架构和冗余架构是对数据中心内供配电系统架构的一种迥异的对

比。

单一架构是指数据中心供配电系统只有 1 条供电路径或 1 套供电设备。单一架构数据中心的优点主要体现在:架构简单,建设成本较低、由于只有 1 条供电路径或 1 套供电设备,管理和维护简单,适用于供电可靠性要求不高的数据中心,特别是小型、超小型数据中心。单一架构数据中心的缺点也是十分明显的,即如果 1 条供电路径或 1 套供电设备出现故障,会导致整个数据中心的数据全部供电中断,关键负载无法运行,数据丢失和服务中断是大概率事件。

而冗余架构则是使用冗余的供电路径、供电设备等来保障数据的可靠性,在冗余架构下,若是一路供电路径、一套供电设备出现故障,其他供电路径、供电设备便可以将电能供应到相关设备,使得数据中心能够正常运转。冗余架构的建设成本较高,架构更加复杂,但却可以有效避免断电等情况导致的业务中断与数据丢失,适合对电力供应要求特别高的数据中心。

进一步说,单一架构在应对突发情况时缺乏应对措施,难以满足现代数据中心的可用性和连续性要求。而冗余架构通过其冗余性为数据中心提供更高的容错性和弹性,能够确保在设备故障、自然灾害等不可抗拒因素发生时,数据中心仍能持续运行,最大程度地避免业务中断。此外,冗余架构还具备在线维护和升级能力,可在不停电的情况下替换、维修关键设备,为数据中心的高效运行提供可靠保障。在选择数据中心供配电系统架构时,应根据数据中心的大小、业务需求、预算等因素综合考虑,选择最合适的架构方案。

2.2 分布式与集中式供配电架构的优劣分析

分布式供配电系统将供电设备分布在数据中心各个角落,其特点是可以就近为负载供电,可以降低电力传输损失,

提升供电效率；由于分散分布，设备的局部故障不会造成大面积瘫痪，对整体系统影响较小，可提升供电可靠性。其缺点在于设备增多，管理复杂，占用空间较大。

集中式供电模式是指电力设备全部集中在一个机房，便于统一管理，维护不容易，管理成本低廉，有利于形成规模效应，能够节约掉一部分购买设备的成本；缺点主要是风险高，电力设备都集中在一个机房，只要电力设备出问题就有可能引起整个数据中心电力供应出现问题。

除此之外，分布式的供电系统布局随意，能够随着数据中心承载的变动随时改变并扩展系统，可以顺应数据中心未来的变化，而且由于各自单元的设备运行相对较为独立，在更新改造过程中对其他单元影响较小，可以分步更改，升级风险较低。但由于大量分散设备统一协调运行，需要更为先进的监测和管理技术，技术实现复杂，造价较高。

集中式供电系统虽然能够节约空间，由于设备相对比较集中、设备较多，能够降低机房的整体面积。同时，由于设备均集中在一个区域运行，统一进行消防、防尘等防护工作，能够有效的提升设备运行的安全性。但是由于设备数量比较多、比较集中，散热要求比较高，需要较多的散热系统，导致设备运行能耗增加，增大运行能耗。

三、容错设计的基本原则

3.1 容错设计的目标与要求

容错设计的目标是保证数据中心供电系统在各种故障或异常情况下仍能连续不间断地运行，以确保数据中心的正常工作以及数据的安全。为了实现这个目标，容错设计需要满足一定的要求。首先，系统应具备足够的冗余，通过使用备份设备或路径，可以在主设备或路径发生故障时，快速切换到备份设备或路径，以保证电力供应的不间断；其次，系统应能快速检测和定位故障，以便快速采取修复措施，将故障对系统运行的影响降到最小；最后，系统应具备自我恢复和容错调整的能力，能够在发生故障后自我进行调整和优化，以恢复正常运行。

3.2 容错设计中的关键技术和方法

在容错技术设计中，要注重关键技术和方法的选择和应用。采用模块化设计方法，将供电系统进行划分，分别形成不同的功能模块，每个模块都具备独立运行和独立故障隔离的能力，这样，当部分模块出现故障时，也不影响系统中其它模块的正常运行，提高系统容错性；采用先进的监控和诊断技术，实时监控运行状态和参数，及时发现潜在的

系统故障，通过智能诊断系统，快速定位系统故障，为技术人员提供有效故障信息，缩短故障处理时间；采用热备份和冷备份相结合的方式，将关键设备进行备份，当主设备出现故障时，可以及时切换至备份设备，保证系统连续运行；采用自动化控制技术，实现系统自调整和优化，根据系统实时运行状态，自动调整系统设备运行状态和参数，提高系统稳定性及可靠性。

再次，引入冗余设计原理，对关键路径和部件进行备份，提高系统的容错机制，即使某些部件发生故障，系统也能够通过备份路径保持基本的功能。此外，引入 PHM 技术，通过历史数据和实时监控，预测设备潜在故障，提前进行处置以避免意外停机，提高系统可靠性。

除上述两种技术和方法以外，还可以采取隔离技术，将可能引起故障的部件、可能产生干扰的部件采取隔离的措施，避免故障扩散到其他重要部件，确保系统主要功能的正常运行；并采取容错编码技术，对数据进行编码处理，在数据传输、存储过程中，即使部分数据出错，也能够通过编码方式进行纠错和恢复，确保数据的完整性和准确性；此外，还要建立完善的容错测试机制，模拟各种故障场景，对系统的容错性能进行测试和评估，确保及时发现系统的薄弱环节和进行修复，不断提高数据中心高可靠性供电系统的容错性能。

同时，在具体应用这些关键技术和方法时，也要结合数据中心供电系统所面临的具体现状。例如，在模块化设计时，要考虑模块之间的接口兼容性，便于扩展和升级。在设计监控和诊断技术时，要确保技术的灵敏度和精准度，能够及时发现系统中的微小变化，进行提前预防和处理。在热备份和冷备份选择时，要根据设备的重要程度和故障恢复时间要求等进行合理备份。在设计自动化控制技术时，要结合智能算法，让系统能够自动根据负载和环境调整，实现高效运行与节能的平衡。在设计冗余技术时，要确保性价比合理，避免过度冗余造成资源浪费。在故障预测和健康管理技术时，要结合大数据分析和机器学习等算法，提高预测的精准度和提前度。在设计隔离技术时，确保隔离效果的同时不增加系统的运行负担。容错编码要选择面向数据和传输适合的容错编码，确保可恢复数据的可靠性。全周期完善的容错测试框架是以面向数据面向传输方式，自设计、自实现、自运维整个周期的容错性保障能力。

四、关键组件的容错策略

4.1 UPS 系统的容错设计

在容错设计方面,首先可以采用双总线设计,用两条不同的线路、不同的电源对负载进行连接和供电。UPS 系统的一路出现错误,另一路仍然正常运行,不会导致系统宕机。再次是采用模块化设计,模块化设计中将 UPS 系统分开建立不同的模块,各个模块都有自己的运行方式,在某个模块出现错误也不会导致系统停止,并且要增加智能监控系统,随时对 UPS 系统的工作状态、各项参数进行监控,发现错误,实时报警,做出相应处理,切换备用电源、调节输出电压等问题,确保故障不会扩大,破坏数据中心环境。

除了这些措施之外,UPS 系统容错设计还应包括对电池进行适当的控制。采用先进的电池检测技术对电池进行检测,包括电池健康状态、电池容量等,及时预防电池可能出现的故障,及时更换可能出现故障的电池,防止由于电池故障引起的 UPS 系统故障。同时,设置合适的电池充放电参数,保证电池的使用寿命,防止由于电池故障引起的 UPS 系统故障。此外,针对 UPS 系统采取冗余散热设计,确保 UPS 系统在高温环境下和部分散热设备出现故障的情况下仍能保持良好的散热效率,防止由过热引发的设备损坏和系统故障,提高 UPS 系统的稳定性和可靠性。

4.2 断路器和配电盘的容错机制

对于断路器来说,选用可靠性好、动作速度快的断路器,在电路出现短路或者过载等情况之后,在断路器动作之前,能够使其及时的对断路器运行状态、起断路等故障进行诊断,选用智能型断路器,远动诊断及故障监测,方便后期对断路器的检修与除去。对于配电盘来说,对配电盘的布置、接线进行合理的排列,保证线路各个回路的各自独立性和可靠性,对备用的回路以及切换装置,在主回路出现故障时,能够自动或手动倒换至备用电路中,保证电力供应的连续性,对配电盘进行定期绝缘检测、耐压试验,及时发现配电盘的绝缘隐患并予以排除。

五、数据中心供配电系统的维护与管理

5.1 日常维护和巡检流程

数据中心供配电系统日常维护和巡检也是数据中心供配电系统稳定运行的重要保障。首先需要建立日常维护保养计划,定期对供电设备进行卫生清洁、紧固、润滑等,保证设备表面清洁无尘、无金属碎屑,并且保证各联接部位可靠紧固,活动部件润滑良好。在设备运行参数上,如电压、电流、功率因素等需要定期进行检查,保证参数正常。对于重要设备,如 UPS 系统、断路器等加大巡检次数,实时把控设

备运行状态。巡检过程中需要对设备的运行数据及异常情况进行记录,为后续故障处理奠定基础。定期对供配电系统进行预防性试验,如绝缘试验、耐压试验等。

5.2 应急预案和故障恢复操作

应急预案的制定需要针对供配电系统可能出现的故障场景进行综合考虑,如设备故障、电力中断、自然灾害等情况。应根据具体的故障情况,明确应对故障所需的应急处理流程、责任人,确保在故障发生时能够及时处理。同时,也需要根据故障的具体情况,制定故障恢复操作的具体步骤和时间表,如设备检修、更换、系统重启等,确保能够尽快恢复供配电系统正常运行。此外,还应定期进行应急演练,提升运维人员的应急处理能力和应急配合能力,确保在真实故障发生时能够有效应对。

结语

数据中心高可靠供配电架构是数据中心可靠性的基础,供配电架构的正确选择,架构的容错设计,各种架构的各自优缺点总结,如何遵循容错设计的基本方法与架构中重要部件的容错设计以及在日常运行中的维护与巡检和发生故障时的故障处理、应急措施与恢复措施等做好每一步,相信会使供配电系统更加的可靠和有保障。随着技术的不断发展,数据中心在不断的进步,相信大家对高可靠的供配电系统也会不断的探究,为数据中心的和谐“保驾护航”。

参考文献

- [1]李里.数据中心供配电系统高可靠性设计与能效优化策略研究[J].城市建设理论研究(电子版).2024(36):10-12.
- [2]俞中华.数据中心供配电系统的设计[J].广播电视网络.2023,30(11):94-97.
- [3]朱发熙.人工智能计算中心供配电系统设计探讨[J].现代建筑电气.2023(09):48-54.
- [4]王清江.超大型数据中心配电自动化系统优化研究[J].中国高新科技.2022(17):49-51.
- [5]刘佳;林小钰.某改造数据中心供配电系统设计探讨[J].智能建筑电气技术.2023,17(01):65-68+74.