

融合型智能电力模组在 数据中心的应用分析

Application Analysis of Hybrid Power Module in Data Centers

钟永新¹,陈邦稳¹,姜晓君²,刘鹏亮¹,陆源¹,周新颜¹(1. 中国联通浙江分公司,浙江 杭州 310051;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007)

Zhong Yongxin¹,Chen Bangwen¹,Jiang Xiaojun²,Liu Pengliang¹,Lu Yuan¹,Zhou Xinyan¹(1. China Unicom Zhejiang Branch, Hangzhou 310051, China;2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

数据中心属于耗能大户已成行业共识,在“双碳”大背景下,人们的注意力正从力求建设更低PUE的数据中心逐步拓宽到打造综合资源节约型的数据中心上来。以某数据中心为例,引入一种10 kV交流输入、380 V交流不间断电源输出的融合型智能电力模组(Hybrid iPower Module),从系统架构、配电融合、资源节约、集中监控、智能管理和实际成效等角度进行论证,证明该电力模型在数据中心领域具有良好的应用前景和推广价值。

关键词:

10 kV AC/380 V AC;融合型电源;集中管理;电力模组

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.01.014

文章编号:1007-3043(2023)01-0071-06

中图分类号:TN86

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

It is an industry consensus that data center is a major energy consumer. In the context of "dual carbon", people are gradually broadening their attention from striving to build a lower PUE data center to creating a comprehensive resource-saving data center. It takes a data center as an example, and introduces a 10 kV AC input 380 V AC uninterruptible power output Hybrid iPower Module, which is proven from the perspectives of system architecture, power distribution convergence, resource saving, centralized monitoring, intelligent management and practical effectiveness. It is proved to have good application prospect and promotion value in data center field.

Keywords:

10 kV AC/380 V AC; Hybrid power supply; Centralized management; Power module

引用格式:钟永新,陈邦稳,姜晓君,等.融合型智能电力模组在数据中心的应用分析[J].邮电设计技术,2023(1):71-76.

1 背景

1.1 政策背景

随着以云计算和大数据为代表的数字经济的高速发展,数据中心已成为信息社会重要的基础设施。2020年3月,习近平总书记明确要求加快5G网络、数据中心等新型基础设施的建设;2021年7月,工信部下发《新型数据中心发展三年行动计划(2021—2023年)》;2022年2月,国家发展改革委、中央网信办、工业

和信息化部、国家能源局联合发文同意在国内启动全国一体化八大国家算力枢纽节点、10个国家数据中心集群建设,这标志着“东数西算”工程全面启动^[1]。

2020年,全国数据中心耗电量已达1 507亿kWh,约占国民经济能耗比重的2%,提升变配电系统供电效率、减少供电级数、缩短供电链路成为通信电源行业从业者重点关注的问题。2020年9月,习近平总书记在第75届联合国大会上提出“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,力争于2030年前二氧化碳排放量达到峰值,2060年前实现“碳中和”的战略目标。为此,人们的思维不能仅仅停留在节约

收稿日期:2022-12-02

电能一个维度上,而是要体现在全方位的综合资源节约,如电力、水源、土地、材料和人力等。

1.2 行业背景

当前,数据中心的常规供电系统采用分级架构、分区设置和分期建设,楼内设置独立的变配电室,高低压柜与交/直流不间断电源系统分布在不同的机房,各系统之间独立设计并由不同的厂家生产^[2-3]。一次和二次线缆需要现场连接,输入输出配电级数多,监控系统接口需要直接面对每一个元器件,调试困难。供电系统使用时需先期设计,现场组装、现场调试,施工周期较长。

供电系统通常包含若干电力监控子系统,智能化程度较低;各子系统分设在不同的物理空间,无法获取整个系统的上下级链路关系、设备间的相互影响和实时运行状态;无法对故障进行预判处理,只有当系统出现故障时才能感知;且无法实时掌握故障发生的位置,需通过人工逐点排查,易造成业务中断。简言之,数据中心内的传统供电系统占用空间资源较多,分级分段建设导致电源架构分散,电源单系统容量小,系统建设周期长,施工工艺不可控、智能化管理水平欠缺。

数字产业的飞速发展和激烈的市场竞争使建设绿色低碳、简约高效、标准化、智能化的数据中心成为产业发展的必然选择,因此,传统数据中心的供电架构、监控能力和建设模式等都面临着变革的内生动力。

1.3 项目背景

2020年10月,某省联通收到某大型互联网客户的“PTG芯片”测试机房的业务需求,拟将该省某机房作为研发新一代芯片的测试机房。

芯片测试是芯片生产过程中的重要一环,是其生产工艺流程中必不可少的成品筛选环节,对于打破西方对中国高新技术产业的封锁,打造拥有高端芯片设计制造、产权自主可控的产业链具有重要的创新意义,同时该数据中心将会逐渐融入芯片生产链条中,后续可在新技术产业的布局中做出更多实践性的贡献。

2 融合型智能电力模组应用

2.1 模组概念

某基地是目前国内最大的采用冷热电三联供能并按国A标准建设的高规格数据中心。但是由于芯

片测试要求的特殊性,在空间、供电和制冷方面,存在大量的现实难题,需要逐一研讨、逐一模拟、逐一验证方案是否能满足芯片测试过程中的操作流程及供电供冷要求。

一方面,“PTG芯片”测试机房在供电、制冷以及工艺布局等方面存在大量创新性需求,比如50 kW超高功耗机柜、芯片级的液冷要求、测试设备布局和机房承重要求等,都不同于传统IDC服务器的需求。另一方面,截至2020年10月,该基地只剩下DC2#楼一层2×2 500 kVA的电力容量,一层2处发展机房(空间可容纳145架6~12 kW机柜)和1处动力室预留空间,无UPS电源设备的安装空间。由于现场空间的刚性限制和客户的特定要求,按传统供电方案需要对已建成交付的2楼IDC机房进行拆除改造,腾出空间安装4套(1+1)600 kVA的UPS电源系统,将造成大量的投资损失和IDC业务损失。

因此,芯片测试机房的建设必须要引入创新思维和创新实践。由某省联通牵头对该案例的电源架构、供电链路进行了创新设计,引入了一种全新的资源节约的融合型智能电力模组(Hybrid iPower Module)解决方案,即一种10 kV中压输入兼有UPS电源输出和非UPS电源输出的电力模组。电力模组为2N的供电架构,一体化设计,满足芯片测试机房服务器机柜的电力保障,图1为本案例的电力模组供电架构系统图。

2.2 模组架构

融合型智能电力模组由10 kV变电模块(环网柜或中置柜,一级能效非晶合金变压器),低压模块(变压器进线柜、低压联络柜——2N系统间低压母联、可选配低压油机接入模块、功率补偿(SVG+APF)、低压配电输出柜兼UPS输入和旁路开关),UPS模块(UPS、电池组、UPS馈电输出柜)组成,从变压器出线柜逐级到UPS输出柜,全部柜体并排安装,柜体之间全部采用铜排母线连接,铜排母线与配电柜体整合设计制造。图2为融合型智能电力模组架构图。

融合型智能电力模组在配电的系统架构、分级分段、配电模式、电气连接、智能监控等方面进行了创新突破,比采用常规供电系统的变配电系统、电源系统的安装空间压缩了近45%,即在原预留的配电室空间内同时解决了UPS电源系统的安装空间,完美地解决了特定业务需求空间不足的问题。同时,该模组实现了工程项目的产品化,将模块化和预制化的理念引入产品中,实现工厂预制生产和现场模块拼装,无需二

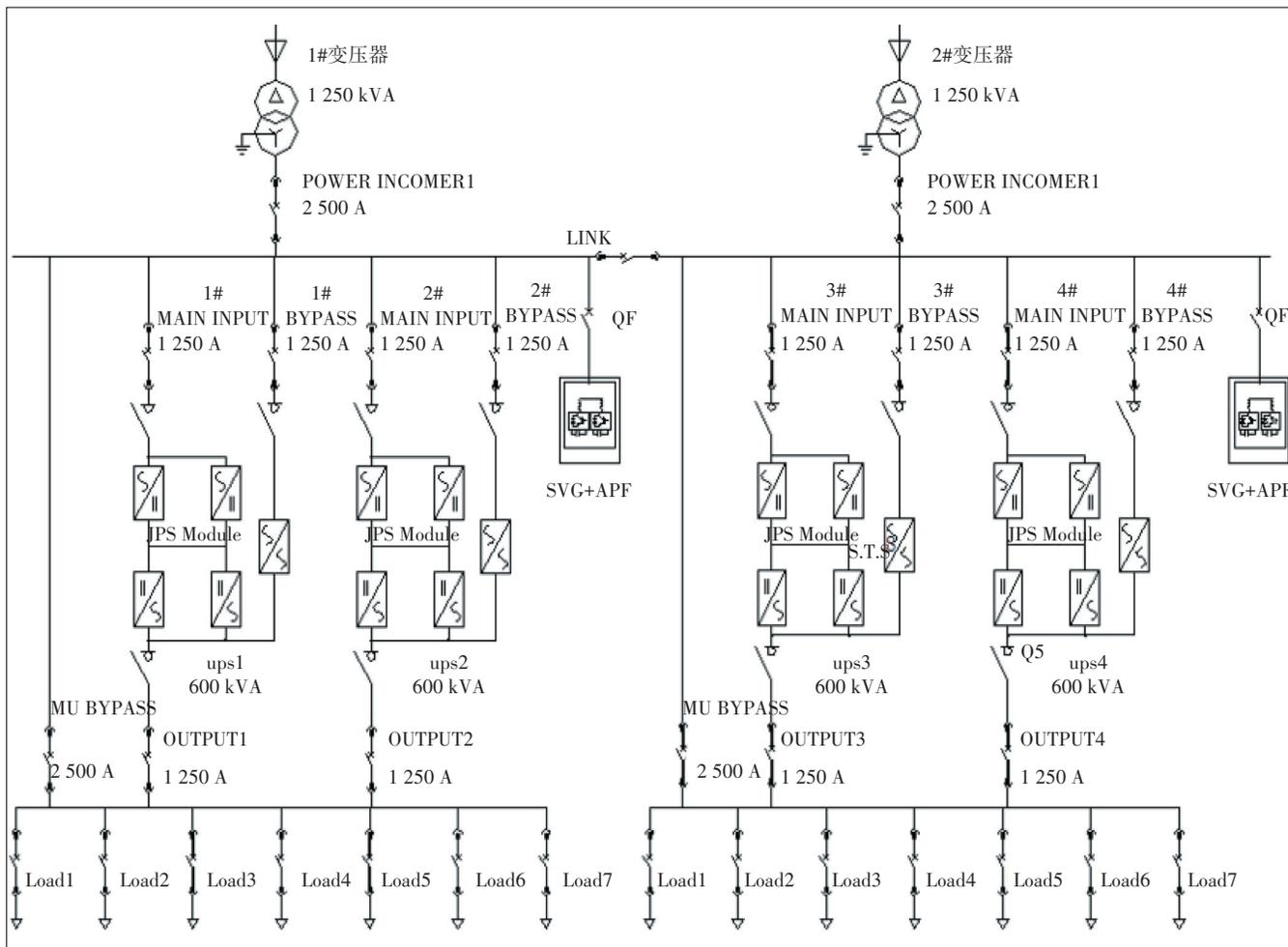


图1 电力模组供电架构系统图



图2 融合型智能电力模组架构图

次调试及布线,满足了机电工程的快速部署要求,将施工工期压缩50%。

2021年4月,4套1250kVA的智能电力模组(两组组成2N架构)顺利调试开通,为客户“PTG芯片”测试机房的帕拉丁机柜和泽布机柜提供了近2×1000

kVA的交流不间断电源,同时给机房空调末端等提供了2×250kVA的非UPS电源,实现了“PTG芯片”测试机房项目的顺利交付。

2.3 模组算法

融合型智能电力模组以模块化系统为骨架,以大

数据算法为核心。系统内的所有设备进行统一智能化管控,配置具备数据分析功能的管控系统,能实时掌握系统中各分支回路和UPS的实时运行参数,能够随时查询并自动进行安全预判,实现智能监控和管理功能。

2.3.1 系统电力参数验证

配电断路器上下级的匹配对于系统的供电可靠性、故障部件的快速切除,缩短故障时间和缩小故障

范围具有重要意义。系统预置断路器脱扣曲线数据和内置算法工具,在供配电系统运行的初期阶段对系统方案进行有效验证,分析链路上下级间的选择性脱扣设置的合理性,为用户做系统选择性判断提供参考依据;在系统运行期间如需要调整断路器的参数,系统能够验证参数调整是否合理,并进行风险预警。图3为UPS手动旁路运行电力参数配置曲线图。

2.3.2 安全预测

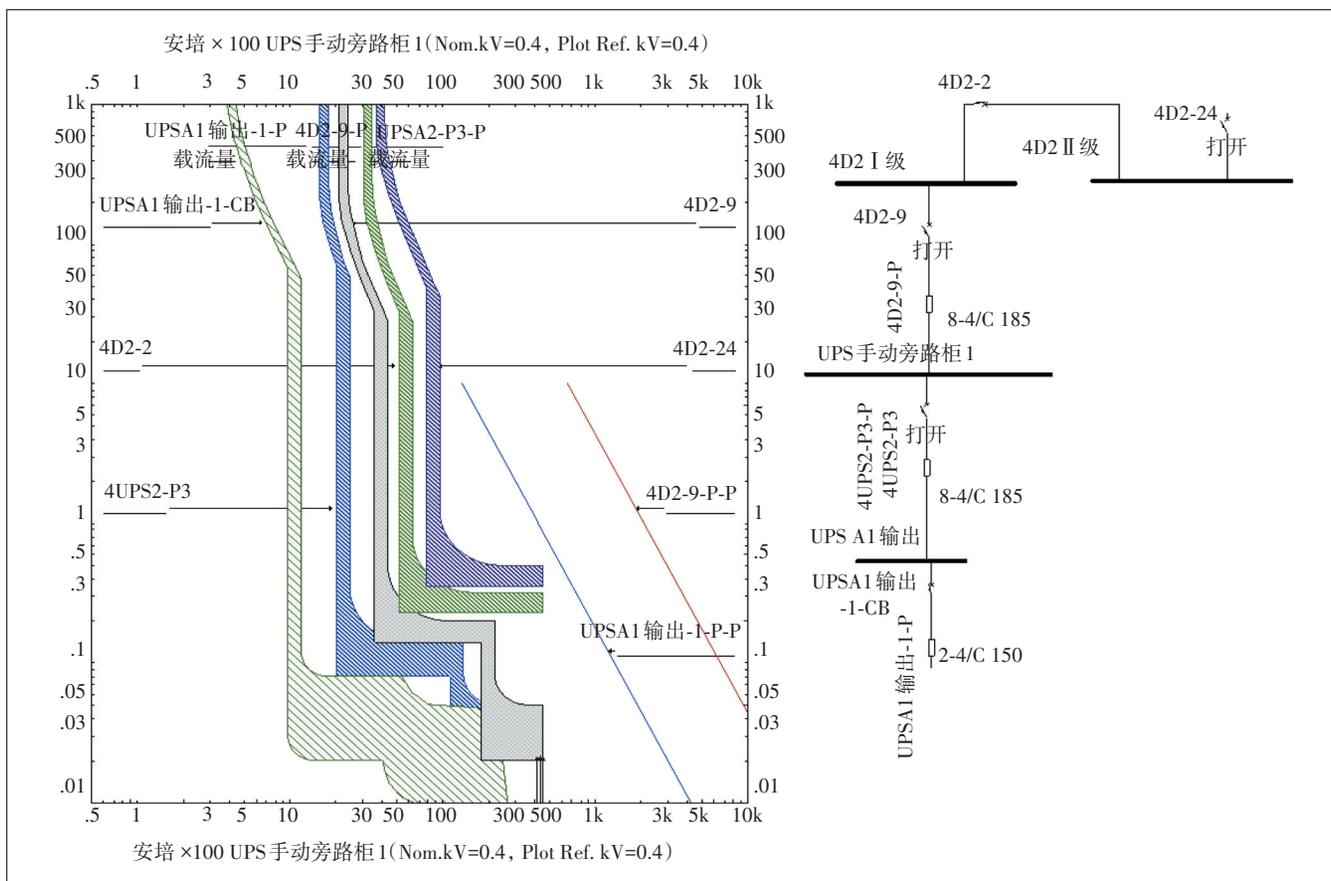


图3 UPS手动旁路运行电力参数配置曲线

通过关联分析、聚类分析、预测和偏差分析等规则获取系统运行安全的预测分析。关联规则挖掘由Rakesh Apwal等人首先提出,研究2个或2个以上变量的取值之间存在的规律性。一般用支持度和可信度2个阈值来度量关联规则的相关性,引入兴趣度、相关性等参数,使得所挖掘的规则更符合需求。其中,Apriori算法利用逐层搜索的迭代方法找出数据库中项集的关系并形成规则,其过程由连接(类矩阵运算)与剪枝(去掉那些没必要的中间结果)组成,图4为Apriori数据分析算法流程图。

电力模组的安全运行可以由电力参数、设备参

数、温度参数和设备动作情况等多维变量反映。通过在关键连接处设置多个测温节点,实时侦测铜排和连接处温度变化数据;通过电源故障录波,实现全链路各节点电压电流波形实时抓取;通过设备状态节点获取设备动作信号等等。

在实际的供电系统运行中,一种现象常常是与多个因素相联系的,由多个自变量的最优组合共同来预测或估计因变量,比只用一个自变量进行预测或估计更有效,更符合实际。因而在电力模组的故障预测及运行分析中,引入多元线性回归分析的算法。根据实际经验,所选各自变量之间无内生性,且上述自变量

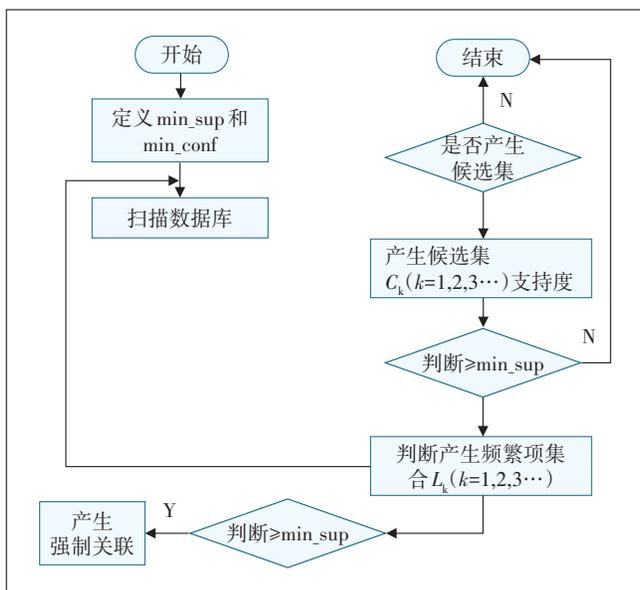


图4 Apriori 数据分析算法流程图

均会对预测产生较大影响,故将这些自变量纳入模型进行分析。

定义 Y 为因变量(寿命,故障率和预警等), X 为自变量(温度、电压、电流和设备信息等),其使用条件为:第一, Y 与 X_1, X_2, \dots, X_m 之间具有线性关系;第二,各例观测值 Y_i 相互独立;第三,残差 e 服从均数为 0、方差为 σ^2 的正态分布。

多元线性回归模型的一般形式如式(1)所示。

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + e \quad (1)$$

其参数估计可以由最小二乘法得到,即根据 n 例样本数据,使残差平方和达到最小,可表达为式(2),从而求解得到 b_0, b_1, \dots, b_m 。

$$Q = \sum_{k=1}^n (Y_k - \hat{Y}_k)^2 = \sum_{k=1}^n [Y_k - (b_0 + b_1 X_{1k} + \dots + b_m X_{mk})]^2 \quad (2)$$

在具体求解过程中,需要求出包括因变量在内的各变量离差矩阵,即:

$$l_{ij} = \sum (X_i - \bar{X}_i)(X_j - \bar{X}_j), \quad i, j = 1, 2, \dots, m$$

$$l_{jY} = \sum (X_j - \bar{X}_j)(Y - \bar{Y}), \quad j = 1, 2, \dots, m$$

最终根据 b_0, b_1, \dots, b_m 和 \bar{X} 即可求得常数项 $b_0, b_0 = \bar{Y} - (b_1 \bar{X}_1 + b_2 \bar{X}_2 + \dots + b_m \bar{X}_m)$ 。

通过 Apriori 算法和多元线性回归方程分析系统长期运行中的各种风险,提升系统可靠性。生成定制化运维报表,支持报表传输及故障分析,提供分支路的能耗记录和系统安全运行分析报告等,节省运营维护人力物力。

2.4 创新特点

a) 安全可靠。创新设计的电力模组保留了 10 kV 变压器的进线柜、低压联络柜、补偿柜等功能,使数据中心服务器机柜的 2N 供电架构得以保留,无单点故障,满足国标 A 级供电标准。

b) 结构简约。低压配电柜出线断路器保护开关与 UPS 系统的输入保护开关共用,简化了低压输出保护与 UPS 输入开关之间的重复设置,使配电系统更加简洁又不失分级保护的安全规范要求。

c) 母线连接。柜体之间贯穿的铜排母线连接(不建议简单地对原低压柜型做顶部出线再铜排连接)取代原有不同电力系统间的电力电缆连接,在柜体高度保持不变的情况下,缩短了配电级间的电缆长度,节省了大量的铜材料,减少现场电力电缆的布放工作量。

d) 解除限制。柜内铜排总母线的电力馈电方式打破了传统供配电系统进线柜和出线柜(保护开关)之间从前往后的顺序排列限制,使电力模组结构更加统一紧凑。

e) 分类输出。数据中心通常存在无需不间断电源供电的负载即非 UPS 保障的供电需求,本案例采用 1 250 kVA 电力模组的 10 kV/380 V 变压器的低压出线柜,即 UPS 进线前端直接出线输出 100 kVA 的低压供电,实现 1 套系统 2 种不同保障等级的电源输出。

f) 集中管控。按照传统供电模式,中压配电、低压变配电、UPS 电源、电池组的系统监控分别由不同厂家完成,各系统之间相互独立、监控的深度不一、界面各异。本案例的电力模组将从 10 kV 到电源输出端的监控集中管理,接口标准,实现各级间监控的智慧管理。融合一体的结构、集中统一的监控和智能化的管理平台,可提供动态可视化的系统链路图,具有故障定位和分析功能,可实现故障的快速修护,缩短业务中断时间。

g) 工厂预制。配电柜和柜内铜排采用工厂预制生产、实现了高可靠连接,确保工艺统一,铜排采用裸露连接,易于散热和监测。在出厂之前将设备二次线预制好,现场只需插接就能快速完成监控的智能化部署。

h) PUE 测量。电力模组满足《中国联通数据中心能耗测量点要求》和《中国联通数据中心能耗测量方法》规定,一套电力模组即可实现全楼的能耗监控和 PUE 测量,后期无需进行二次线缆施工及二次系统调

试。

2.5 创新成效

a) 降低工程造价。本案例将电力模组的低压配电输出和UPS输入柜融合,节省了16个框架断路器开关和8个配电柜,综合节约空间约45%,取消了配电室和UPS室之间的电缆连接,节省270 mm²电力电缆约320 m,实际项目供电系统综合投资节约120多万元(15%以上)。

b) 提高系统效率。为提高系统的能效,本案例采用一级能效的非晶合金变压器、高频UPS电源和紧凑连接的铜排母线,来降低设备损耗和线路损耗。高频UPS在其常态运行约40%负荷的工况下,效率通常在94%左右。为进一步提高电源效率,本案例开通了UPS电源ECO运行模式。为避免UPS电源在ECO模式和在线模式之间切换可能给负载带来的供电突变,项目交付初期暂按一侧在线,一侧ECO模式运行(后期拟调整为全ECO模式),由此供电系统的效率将提升3%~6%,4套1 250 kVA的电力模组每年可节约电费35~70万元。

c) 减少拆除改造。芯片测试机房项目在电力模组创新运用方面取得的成功,避免了二楼某个已建成IDC机房的拆除改造,减少投资损失约400万元。机房空间节约为公司带来了约60个8 kW IDC机柜的产出,每年可为公司IDC业务增收480多万元。图5为融合型智能电力模组实景图。



图5 融合型智能电力模组实景图

2.6 注意事项

融合型智能电力模组作为一种全新的供电架构及供电理念,在具备明显优势的同时,也对传统的建设及运维方式提出了新的挑战,还需要不断总结和不断改进,使整个供电系统更加完善。

a) 变配电系统的生命周期一般在20年左右,UPS电源的生命周期一般在10年左右。由此要求在模组设计上具备UPS电源的可替换性(硬件可解耦)。

b) 系统容量的选择。目前,UPS并机系统的容量

通常在600~2 400 kVA,本项目选择2套600 kVA的UPS组成并机作为模组Module资源池的容量。这样一是避免采用4套600 kVA UPS系统组成过大的资源池,同时也是为了使模组总长度满足机房的安装空间要求。

c) 电力模组10 kV中压的接入、配电系统与传统的通信电源的融合,使传统的通信电源维护规程已不能适应新的系统维护要求,需制定新的操作维护规程^[4-5]。

3 分析总结

融合型智能电力模组(Hybrid iPower Module)继承了传统供电系统的安全规范要求,同时对配电的系统架构、电气链接、系统监控等方面进行了多方位的创新,使传统分级分段分厂家建设的供电系统和监控系统融合统一设计开发,实现了融合简约、绿色低碳、智能管理的效果,提升了系统的整体性能,达到节约空间资源、节约材料、节约能耗的目的,同时从输入到输出的全段落、全过程的连续监控可以使系统监控更加智能化。该创新成果在通信机房和数据中心具有极大的推广价值。

参考文献:

- [1] 工业和信息化部网站. 新型数据中心发展三年行动计划(2021-2023年)解读[EB/OL].[2022-09-25]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-07/16/content_5625389.htm.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 数据中心设计规范:GB 50174-2017[S]. 北京:中国计划出版社,2017:43-45.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 通信电源设备安装工程设计规范:GB 51194-2016[S]. 北京:中国计划出版社,2017:16-23.
- [4] 童家麟,洪庆,吕洪坤,等. 电源侧储能技术发展现状及应用前景综述[J]. 华电技术,2021,43(7):17-23.
- [5] 韩肖清,李廷钧,张东霞,等. 双碳目标下的新型电力系统规划新问题及关键技术[J]. 高电压技术,2021,47(9):3036-3046.

作者简介:

钟永新,毕业于浙江大学,高级工程师,博士,主要从事电信网络和新基建重大项目的技术规划、工程建设和网络运营管理工作;陈邦稳,毕业于哈尔滨工业大学,高级工程师,学士,主要从事信息基础设施、数据中心、网络规划和建设管理工作;姜晓君,毕业于郑州大学,高级工程师,硕士,主要从事通信电源、电气工程相关咨询设计工作;刘鹏亮,毕业于杭州电子科技大学,工程师,硕士,主要从事通信基础设施项目管理、数据中心工程项目支撑等工作;陆源,毕业于浙江大学,工程师,学士,主要从事信息通信基础设施、网络规划和建设管理工作;周新颜,毕业于浙江大学,高级工程师,学士,主要从事信息通信基础设施建设管理工作。