



巴拿马供电技术 白皮书

[编号 ODCC-2020-02001]

开放数据中心标准推进委员会
Open Data Center Committee

2020-04-10

目录

1 引言	1
2 数据中心供电技术和冗余模式以及挑战	3
2.1 数据中心供电关键技术	3
2.1.1 不间断电源 AC UPS	3
2.1.2 240V/336V HVDC 供电	4
2.1.3 市电直供+分布式 BBU 供电	6
2.2 数据中心冗余供电模式	8
2.3 挑战	11
2.3.1 占地空间大	11
2.3.2 建设周期长	11
2.3.3 维护和管理复杂	12
2.3.4 效率仍有提升空间	13
2.3.5 成本降低需求大	13
3 巴拿马电源解决方案	15
3.1 原理与架构	16
3.2 巴拿马电源各部分介绍	17
3.2.1 中压柜部分	18
3.2.2 移相变压器柜	18
3.2.3 整流及调压部分	19
3.2.4 直流输出柜	20

3.2.5 综合监控模块	21
3.3 配置方法	22
4 巴拿马电源方案优势	25
4.1 占地面积小	25
4.2 交付速度快	25
4.3 高可用性	26
4.4 效率高	27
4.5 成本低	29
4.6 三类电源应用比较	29
5、巴拿马电源运行维护	31
5.1 投运前的准备工作	31
5.1.1 通电检查	31
5.1.2 移相变压器的交接试验	31
5.2 验证测试	32
5.3 日常巡检	33
5.4 设备操作	34
5.4.1 隔离柜负荷开关操作	34
5.4.2 移相变压器停、送电操作	34
5.4.3 整流模块上电操作	34
5.4.4 整流模块下电操作	35
5.5 定期维护	35
5.5.1 隔离柜维护	36

5.5.2 移相变压器维护	36
5.5.3 整流、输出（直流配电）部分维护	37
5.6 常见故障的排查	37
5.6.1 移相变压器故障	37
5.6.2 整流模块故障	38
5.6.3 直流配电故障处理	39
5.7 应急操作	39
5.7.1 中压负荷开关故障	40
5.7.2 移相变压器故障	40
5.7.3 整流模块故障更换	41
5.7.3 负载输出熔断器故障	42
6、2.5MW 巴拿马电源应用案例介绍.....	43
6.1 案例背景	43
6.2 配电系统架构设计.....	44
6.3 直流母联设计.....	46
6.4 运行监控设计.....	47
6.5 案例总结	47
7、常见应用问题 FAQ.....	49

前言

近年来，互联网、云计算、人工智能、区块链等技术蓬勃发展，对数据的存储、交换、计算等领域的需求也呈爆发式增长，数据成为新的生产要素，社会正快速跨入数字经济时代。数据时代的可持续发展离不开其大脑——数据中心的重要支撑，数据中心行业快速发展是数据时代的必然趋势。

在数据中心的供电系统中，其供电系统是整个数据中心的咽喉，是基础设施中最重要的组成部分之一。当前数据中心常见的几种不间断供电技术包括 AC UPS、HVDC (240V/ 336V/ 48V) 和市电直供+BBU 等。一般根据数据中心建设等级的要求，采用不同的冗余供电模式，比如 2N 模式，DR 模式，RR 模式等。未来数据中心的快速发展，对供电系统的可靠性、节能性、可持续性提出更高的要求，供电技术和模式向着模块化、预制化、智能化、精简化等方向创新演变。当前国内外的数据中心行业，根据各自的具体需求，提出并实践了很多有特点的供电新技术，数据中心的供电技术进入了一个百家争鸣的大时代。在此背景下，阿里巴巴根据其数据中心特点，突破原有技术，提出巴拿马电源供电新技术。

白皮书简述了数据中心常见供电技术和供电模式，分析归纳了其实际应用中面临的挑战，进而引入一种新的解决方案：巴拿马电源。对于巴拿马电源方案的技术背景、原理、架构、应用场景以及应用中的运维方法和常见问题，本白皮书都作了详尽分析与介绍。ODCC 始终关注数据中心以及相关前沿技术的发展，联合相关单位共同编写本白皮书。

本报告感谢以下起草单位（按单位拼音顺序排名）：

阿里云计算有限公司	刘水旺，鞠昌斌，黄茂生，丁永伟
百度网讯科技有限公司	衣斌
北京世纪互联宽带数据中心有限公司	杨磊
北京世源科技工程有限公司	戴兵
杭州中恒电气股份有限公司	胥飞飞
华信咨询设计研究院有限公司	金津
上海宝信数据中心有限公司	岳备
上海数据港股份有限公司	张永炼
腾讯科技（深圳）有限公司	李典林
万国数据服务有限公司	张锐
浙江华通云数据科技有限公司	汤晓斌
中达电通股份有限公司	郭兴宽
中国电信集团有限公司	孙文波
中国联合网络通信（集团）有限公司	葛志刚
中国信息通信研究院	李洁
中国移动集团江苏有限公司	程雷
中国移动集团浙江有限公司	毛松苗
中通服咨询设计研究院有限公司	张文利
中讯邮电咨询设计院有限公司	姜晓君

1 引言

数据中心安全可靠、不间断运行离不开高可靠的供电系统。当前国内数据中心常见的两种不间断供电技术包括AC UPS、HVDC（240V/ 336V/ 48V）和市电直供+BBU等。根据其建设等级要求，采用不同的冗余供电模式，比如2N模式，DR模式，RR模式等。这些供电技术在前期设计、项目建设和后期维护中，仍存在很多挑战。本文提出的巴拿马电源具备更高的可用性、高效率、低成本、模块化、维护方便、占地空间小等优势，为数据中心供电提供一种革命性的供电方案。从业界广泛应用的AC UPS供电技术，到国内大力推广的240V/336V HVDC 供电技术，再到本白皮书提出的巴拿马电源技术，整个供电系统演变的更加产品化，如下图1-1所示。

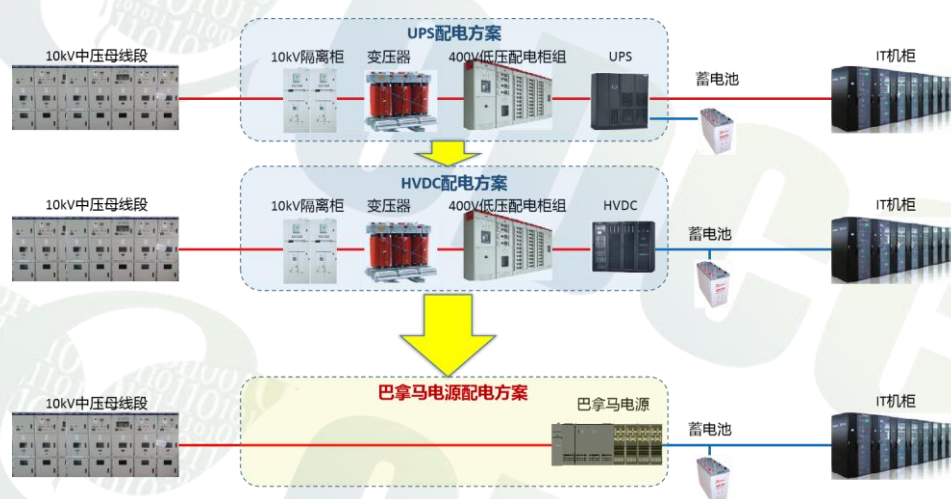


图1-1 从传统供电技术到巴拿马电源技术的演变

本白皮书分为八个章节：第一章引言、第二章数据中心供电技术和冗余模式以及挑战、第三章巴拿马电源解决方案、第四章巴拿马电



源方案优势、第五章巴拿马电源运行维护、第六章巴拿马电源应用案例介绍、第七章常见应用问题FAQ。



2 数据中心供电技术和冗余模式以及挑战

2.1 数据中心供电关键技术

2.1.1 不间断电源 AC UPS

AC UPS是目前数据中心供电中最广泛应用的一种不间断供电系统。AC UPS主要包括：整流（功率因数校正）、蓄电池组以及其充电放电部分、逆变、静态旁路，和输出转换开关等，为负载提供稳定电压、稳定频率的能量来源。AC UPS系统的组成如图2-1-1所示。AC UPS在供电中有两个主要作用，一个是应急，确保输入电源突然中断情况下，其负载设备能够正常供电；另一个是改善电源质量，为负载设备提供高质量的输入AC电源。

当前AC UPS供电技术在模块化，高频化方向快速发展，从单模块功率从30kW，50kW，甚至达到100kW。

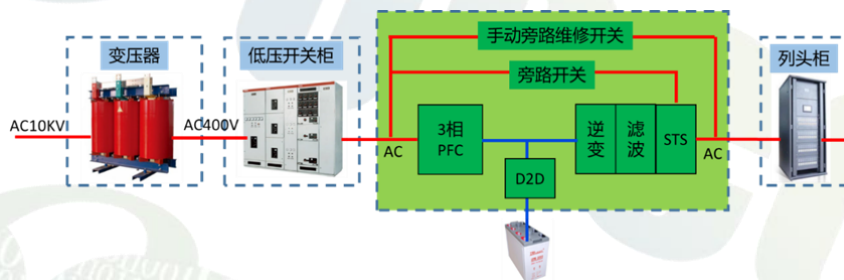


图2-1-1 AC UPS系统组成图

AC UPS结构复杂，特别是储能电池的能量需经过逆变环节到负载设备，造成单一AC UPS设备供电的可用性无法达到数据中心的要求，一般通过AC UPS设备冗余来提高其供电可用性。国内常用的AC UPS供电模式是2N模式，部分机房采用DR的冗余模式。



在AC UPS的供电架构中，亚马逊公司根据其数据中心的需求，采用RR冗余和分布式ATS，性价比具有不错的优势。下图2-1-2中所展示的是亚马逊数据中心供电架构。采用RR冗余的AC UPS，成本优势明显，负载率高，且符合其供电可靠性要求，后端采用分布式的STS，确保一路电源出现故障后可快速切换到另一路正常电源（10ms内），保证IT供电的连续性，STS为分布式，在每一个IT rack内部，可热插拔更换，风险范围小。该方案的供电效率基本为AC UPS的效率：峰值95%（低压市电至IT rack 输入），如果加上变压器和配电线缆损耗（大约2%），整个链路的效率大约93%。

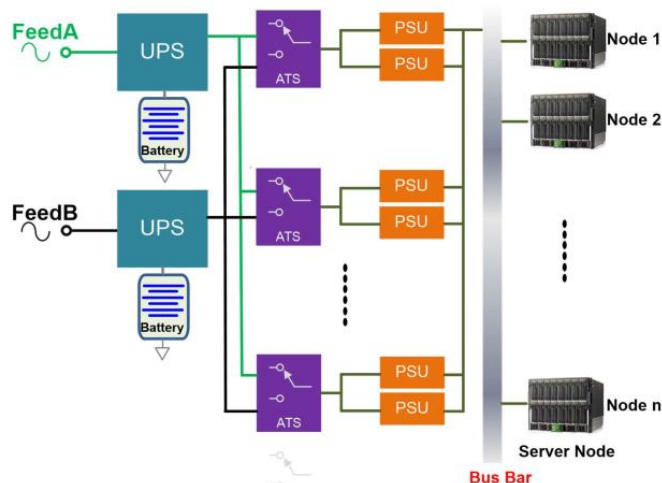


图2-1-2 AC UPS在亚马逊数据中心的应用

2.1.2 240V/336V HVDC 供电

国外早在上世纪90年代就提出直流供电的方案，真正有效推动直流供电大规模应用却是在国内。240V/336V HVDC 供电是目前国内数据中心供电中在大力推广的一种供电系统。其主要包括：三相PFC、隔离LLC谐振电路。直流供电系统如图2-1-3所示。



当前240V/336V HVDC供电技术在高密度，高功率方向快速发展，单模块功率从最初的6kW-15kW，达到25-30kW。

DC与AC相比，其并联简单可靠，并联模块数量可以多至上百个。240V/336V HVDC设备正是利用该优点，模块化的设计（采用高频化的整流模块），多个模块并联组成一套供电系统，多个模块间有冗余，可热插拔，且电池直挂DC输出侧，去掉AC UPS的逆变环节，系统可用性与AC UPS比大大提升。

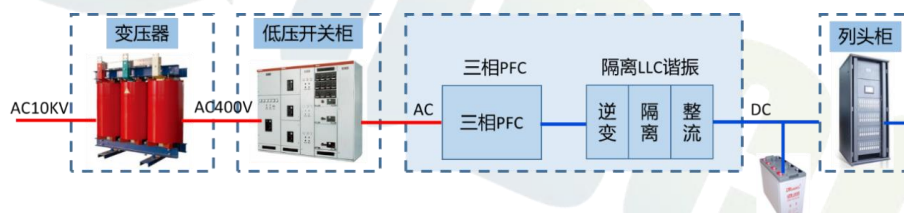


图2-1-3 240V/336V HVDC 供电系统

因为240V/336V HVDC 供电系统的高可用性。国内数据中心（包括BAT等互联网巨头）广泛采用一路市电+一路240V DC的供电方式，如图2-1-4所示。在正常情况下市电输入负担50%负载，240V DC系统负担另外50%负载。当市电中断时，240V直流系统负担100%负载，考虑240V直流系统的高可用性特点，其故障率极低，该架构基本符合目前国内大部分数据中心的要求。该供电架构在供电可用性不降低条件下，实现了效率提升和成本降低。峰值供电效率为 98%（扣除变压器和线路损耗）*50%+98%（扣除变压器和线路）*95%*50%=95.5%（低压市电至IT rack 输入）。因为电池直挂DC 母线上，240V的DC



整流模块可以在轻载下进入休眠模式，相较AC UPS大大提升了轻载部分的效率。

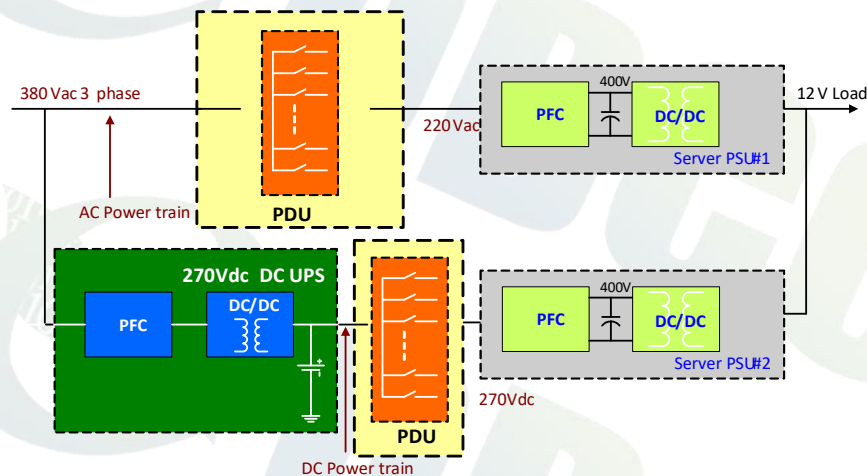


图2-1-4 50%市电直供+50%240V直流供电系统图

2.1.3 市电直供+分布式 BBU 供电

AC UPS或240V/336V HVDC常采用集中式不间断供电方式，集中式系统的优点是可以实现资源共享，降低成本，其缺点是系统故障范围大，影响面广。AC UPS也有小型机分布式供电方案，但是多套分布式小型机系统与一套集中式大型AC UPS系统相比，小型机的数量多，故障点多维护难，成本高，大中型数据中心不会采用。

240V/336V HVDC在国内的应用也是以集中式为主，电池集中管理。分布式不间断供电方式，是指将储能单元分部在IT rack区，或IT机柜内，甚至IT server 内。如下图2-1-5 集中式与分布式不间断供电。

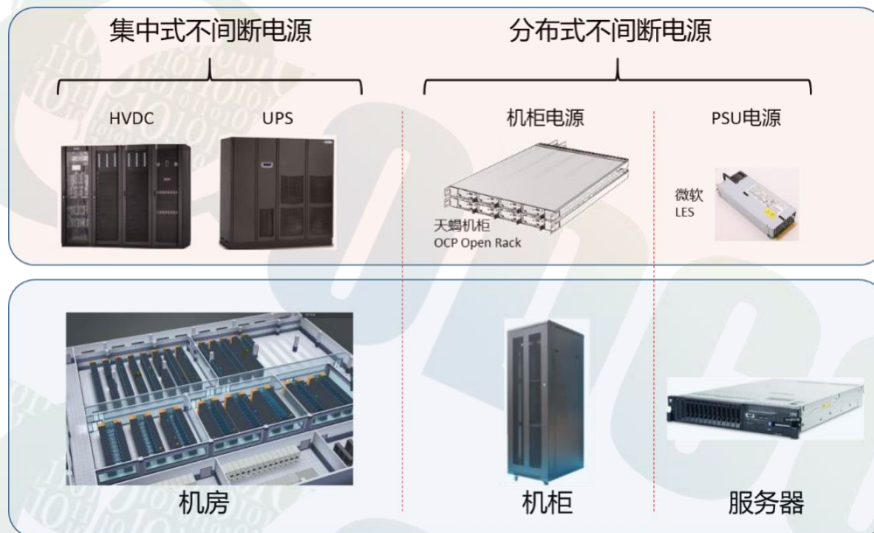


图2-1-5 集中式与分布式不间断供电

根据其业务对数据中心供电的不同要求，国外云计算和互联网巨头开始尝试使用分布式储能系统替代AC UPS系统。最初的尝试是微软，其将锂电池放入服务器电源中，锂电池作为后备，二者结合为IT节点供电（称为server级BBU）。但因为锂电池放入服务器电源内部，且在服务器的出风口处，温度高，对锂电池的寿命和安全性有一定的影响。Facebook的第一代分布式供电方案，是在俄勒冈数据中心采用的48V后备电源系统。其结构是一个48V的电池柜作为后备系统，为其相邻的6个IT Rack 提供后备供电，采用的是铅酸电池。在第一代的基础上，Facebook把48V的铅酸电池，更换为能量密度更高的锂电池，并分别放入到每个IT rack内部，构成了IT Rack级BBU的雏形。另外谷歌公布的数据中心也开始采用类似Facebook的48V BBU（称为rack级BBU）。Rack级BBU，在IT rack的固定位置，散热条件好，对锂电池寿命影响小。但无论rack级BBU还是server级BBU，因体积价



格因素，其后备时间不会太长，只有国外对后备时间的要求少（90秒-3分钟），才有较大的优势。

国内几家互联网巨头也在该方向做了很多创新和实践，比如阿里巴巴尝试过server级BBU，并对其做了进一步的改善，也尝试过rack级BBU。BAT在天蝎2.5中也提到Rack级BBU的结构和原理，并有数百套的实践应用，其供电架构图如图2-1-6所示。在天蝎3.0标准中，又对rack级BBU做了进一步的改善。分布式供电优点是市电直供，供电效率高达97-98%，真正意义上实现了高供电效率。且供电单IT机柜解耦，上游配电方便。但由于国内数据中心对后备时间的要求普遍在15min以上，在有限的空间内，为了保障充足的电量，电池一般采用18650锂电池，其成本较高；电源和电池分布范围大，对IDC管理运维能力要求极高。

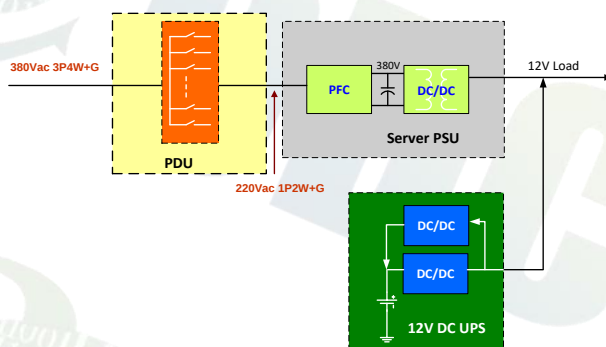


图2-1-6 12V 天蝎BBU工作原理

2.2 数据中心冗余供电模式



根据数据中心的建设等级，供电冗余一般采用2N方式、分布式冗余方式（DR）和后备式冗余方式（RR）。

国内的数据中心低压配电一般采用单母线分段模式，典型的低压2N模式如图2-2-1所示。2N供电系统可靠，简单，单元化比较好，缺点是负载率比较低，效率低，成本较高。

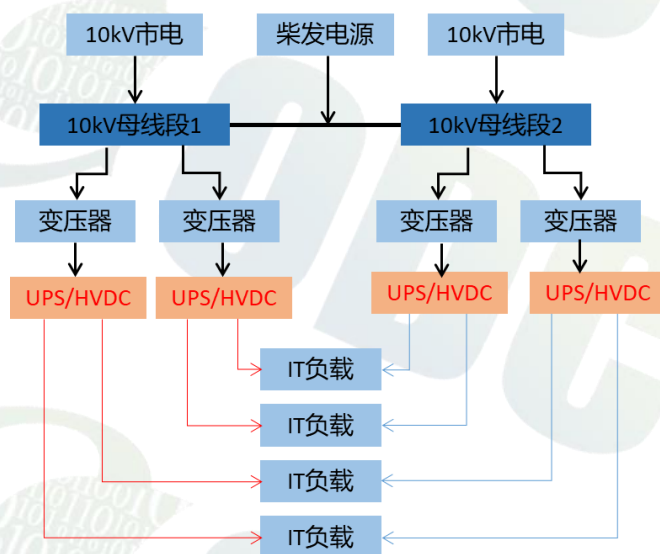


图2-2-1典型的低压2N单母线分段模式

DR系统即分布式冗余系统，即把负载分担到多个不同的配电或电源系统中，整个系统可实现任何一个环节故障，通过自动切换可以达到负载供电连续。典型的（2+1）DR系统如图2-2-2所示。该方案的优点是设备负载率更高，单台设备平时负载率可以达到66%，降低了系统投资，在三种方案中收益和风险较为平衡。

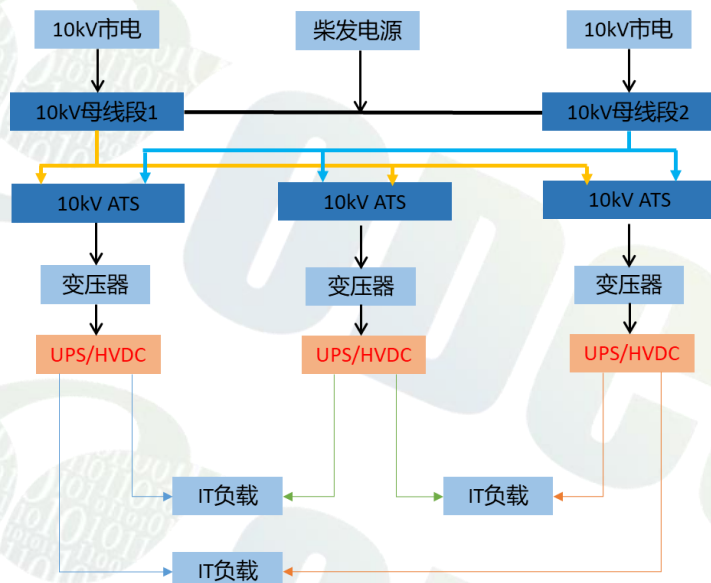


图2-2-2 典型的(2+1)DR系统

RR系统即后备式冗余系统，即有一套公共备用系统作为其它的备用，整个系统中任何一套出现问题，该备用系统可以实现负载倒换，保证系统供电不中断。典型的(3+1)RR系统如图2-2-3所示。该方案的优点是设备负载率最高，可有效降低系统投资，但是对控制系统要求较高，需要具有较高的运维管理水平。

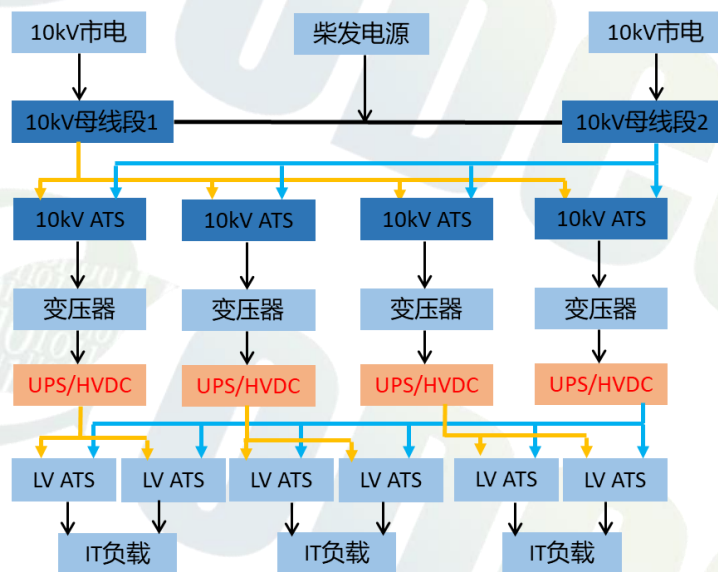


图2-2-3 典型的(3+1)RR系统



2.3 挑战

2.3.1 占地空间大

数据中心划分许多功能区，如下图2-3-1所示，一幢1万平米的数据中心大楼，IT机架的区域一般只有4000-6000平米，其余面积是辅助区域（一般是IT机柜的1-1.5倍）。随着IT机架功率密度的提高，辅助区域占地面积比例越来越高。在辅助区域中供电设施占用面积最大，据统计中压变配电设备、低压配电设备、电能质量处理设备、不间断电源设备、电池设备等及其辅助系统占地面积一般超过数据中心机柜面积的50%以上，随着单IT机柜功率增加，其比例更高，如图2-3-2所示。这部分供电设备严重挤占了IT机柜的可用面积。如何能够减少数据中心（特别是在中大城市的）供电系统的占地面积，提高数据中心机柜占地面积，提高数据中心空间利用率和土地资源利用率已经成为数据中心成败与否的关键因素。

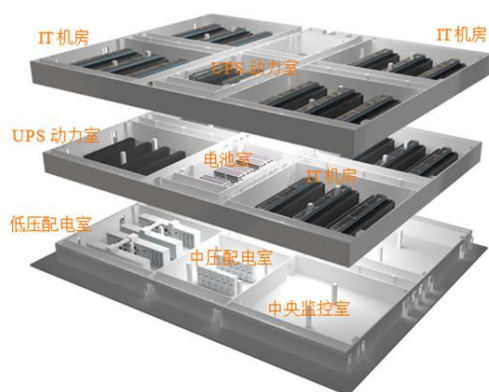


图2-3-1 数据中心各功能区及分布

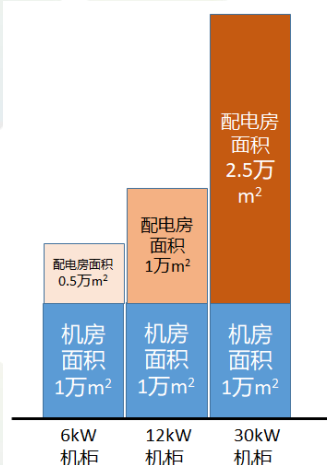


图2-3-2 配电面积与IT机柜面积比

2.3.2 建设周期长



数据中心建设周期一般包括了项目可研、方案设计、详细设计、采购、土建施工、机电安装施工、调试、验证测试和交付。因为数据中心系统比较复杂，一般需要花费12至24个月的时间，甚至更长。建设周期长的最主要原因是数据中心数百种设备之间相互强关联，任何一个设备或者配套的需求、设计、采购、实施的变化都会导致关联系统的变化，从而引起计划外的调整，设计变更、工程界面协调、通信协议解析等问题，这些都会导致延期。如何减少数据中心的系统复杂度，减少设备数量、减少现场工作量和协调面，提高预制化程度是目前全世界数据中心的热门话题和数据中心供应商的核心竞争力。

2.3.3 维护和管理复杂

一个大型数据中心一般会安装数万台甚至十几万台服务器，为了保证这些服务器的供电安全，一般的供电系统包括：外部变电站、高压配电设备、低压配电设备、柴油发电机组、不间断电源设备、蓄电池组、末端配电设备等数万台设备，以及连接这些设备中间的供电用和控制用线缆。庞大复杂的供电系统给现场维护带来了巨大压力，如何能够保证大规模数据中心安全稳定运行已经成为行业难题。

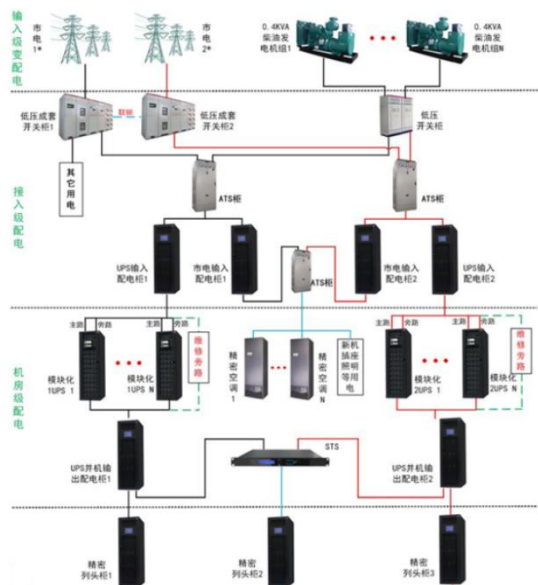


图2-3-3 传统数据中心供电系统结构图

2.3.4 效率仍有提升空间

目前普通的AC UPS系统因为2N冗余供电，大部分在低负载下运行，从外市电到IT设备间全路径的效率非常低，甚至只有百分之八十几。在最佳负载率区间，应用最新型的模块化高效AC UPS 全链路效率最高一般在90-93%。240V/336V HVDC全链路最佳效率约为95%左右，因为其减少逆变环节和采用模块休眠模式，与AC UPS比可以大幅提升轻载下的效率。随着数据中心规模的迅速增长，每年被损耗的电能多达上百亿度，如何进一步提高数据中心全链路供电效率是整个数据中心供电系统的主要挑战。

2.3.5 成本降低需求大

从市电引入到IT设备间，供电链路包含高压进线柜、高压分配柜、变压器进线柜、变压器、变压器出线柜、功率补偿柜、低压配电输出柜、不间断电源输入输出柜、不间断电源系统、列头柜等，还包含中



间的连接线缆等，除了能量变换环节外，中间环节非常多，如图2-3-3，为传统数据中心供电系统结构。以一个IT电力功率10MW的数据中心为例，整个建设投资大约在2.5~4亿元人民币，其中供电系统占比约60%（即1.5~2.4亿），而我国每年超过500MW以上的数据中心在建设，供电系统投资大约在75~120亿元以上，如何能够降低数据中心建设投资，是数据中心运营商生存的根本，也是数据中心用户最为关注的问题。



3 巴拿马电源解决方案

阿里巴巴基础设施研发部门在大量数据机房的供电实践中，将电路和磁路融合创新，和其供应商一起合作，共同开发了全新数据中心供电方案——巴拿马电源。

巴拿马电源柔性集成了10kVac的配电，隔离变压，模块化整流器和输出配电等环节，采用移相变压器取代工频变压器，并从10kVac到240V dc整个供电链路做到了优化集成。该方案，具有高效率，高可靠性，高功率密度，高功率容量，兼维护方便等特点。相比传统数据中心的供电方案，占地面积减少50%，其设备和工程施工量可节省40%，其功率模块的效率高达98.5%，架构简洁可靠性高。蓄电池单独安装，系统容量可以根据需求进行灵活配置。巴拿马电源和传统供电方案对比，如下图3-1所示。

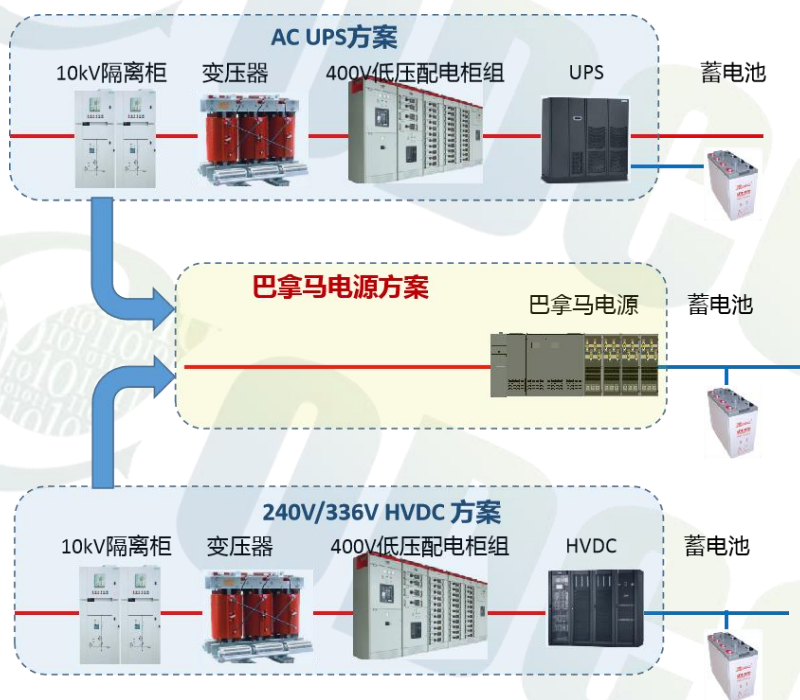


图3-1 从传统供电方案到巴拿马供电方案



3.1 原理与架构

巴拿马电源采用多绕组的移相变压器，大大减小了变压器副边绕组的短路电流，降低其下游开关的短路电流容量，并结合整流模块单元，对传统供电架构的配电层级进行优化整合，缩短了传统供电中从变压器输出到AC UPS 或 240V/336V HVDC柜间的漫长链路，简化了此链路中的多级配电。与传统供电系统架构比，巴拿马电源供电链路中的开关器件大大减少，更加简洁高效、成本更低。巴拿马电源方案将传统AC UPS 或240V DC供电中的配电环节大大简化。如下图3-1-1所示。

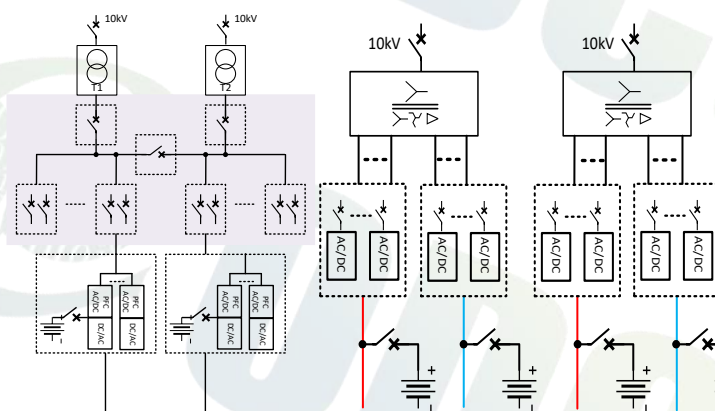


图3-1-1 AC UPS方案配电环节 VS 巴拿马电源配电环节

巴拿马电源利用多脉冲移相变压器实现低THDi和高功率因数，从而去掉传统AC UPS或 240V/336V HVDC 系统中，功率模块内部的功率因数校正环节。这部分环节的节省，使得巴拿马电源模块仅仅负责调压即可，拓扑大大简化，模块效率可以达到峰值98.5%。在轻载下20%时，效率就高达97.5%以上，其优势更明显。巴拿马电源中30kW的功率模块和传统240V DC系统中15kW的模块体积一样大小。



巴拿马电源的原理如下图3-1-2所示。

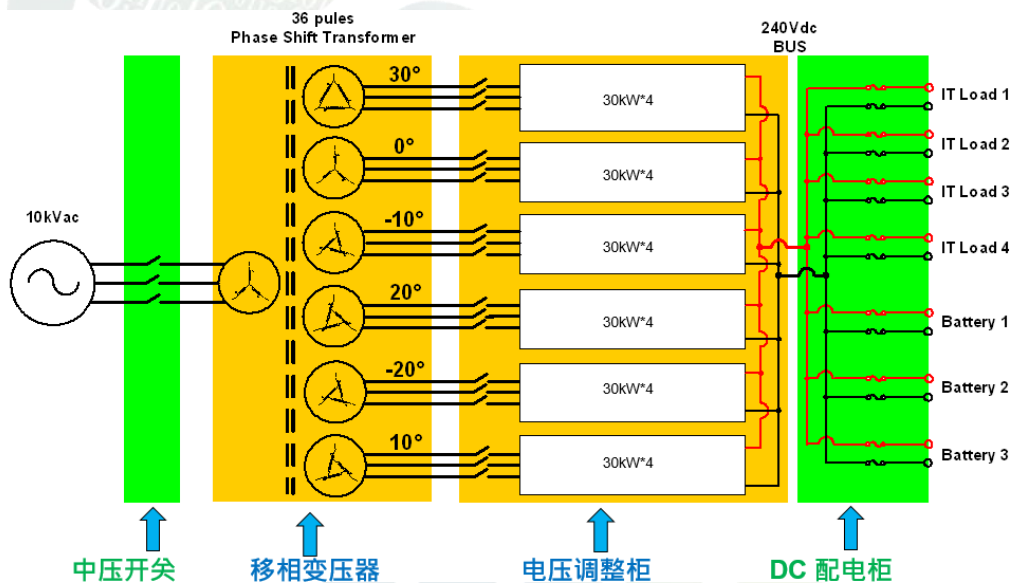


图3-1-2 巴拿马电源原理图

从整体结构看，整个巴拿马电源由10kV中压柜（可选），移相变压器柜，整流输出柜，交流分配柜（常规不配置，当要求配置交流380V输出时提供该柜）组成。一般巴拿马电源的上游都配有10kVac中置柜，巴拿马电源进线柜是为了方便运维而增加的，如果10kVac中置柜与巴拿马电源距离在同一房间，中压开关柜可以省掉。巴拿马方案组成单元如下图3-1-3所示。



图3-1-3 巴拿马电源方案组成单元

3.2 巴拿马电源各部分介绍



3.2.1 中压柜部分

中压柜的设置是为了维护变压器时，设置一个明显断点，内部安装有负荷开关、高压防雷以及高压带电显示等器件。开关柜具有各种防误操作的措施，满足“五防”功能要求，装置的闭锁结构可靠、准确。

3.2.2 移相变压器柜

移相变压器柜主要由移相变压器、10kV输入接线排、副边低压输出接线排、输入电压/电流侦测单元以及冗余风机等部件组成。移相变压器输出各绕组分别接入相互隔离的AC/DC整流单元，实现DC与地悬浮（240V/336V国标要求，更加安全）、与其他AC绕组电气隔离，并配置温度和综合检测模块，采用多风机冗余设计，确保变压器稳定长时间运行。变压器一次侧10.5kV输入，频率50Hz，全铜，H级绝缘，35kV耐压，雷电冲击耐压75kV，在30~60%负载率，环境温度25℃时的效率可达99%，短路阻抗为6~8%。巴拿马电源方案变压器柜内部构成，如下图3-2-1所示。

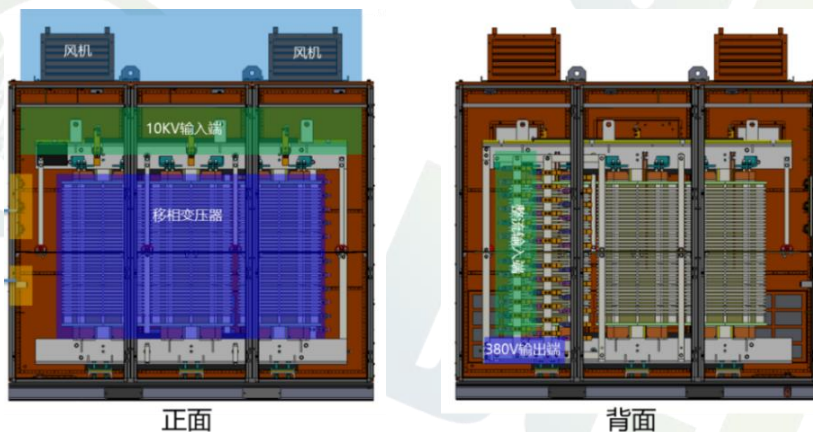


图3-2-1 巴拿马电源方案变压器柜内部构成



3.2.3 整流及调压部分

整流柜主要由整流模块及整流模块输入断路器等部件组成，通过整流模块将输入的交流电转换成直流电输出。其内部每个整流模块为30kW，在标准配置下最大可安装96台整流模块，每个整流柜功率720kW（宽度800mm），输出电压为240V dc（也可输出336Vdc）。由于采用了移相变压器，从而简化了传统整流器的设计，去掉功率因数校正环节，并解决了功率因数与谐波电流问题，使得整流器的效率达到98%以上。交流输入允许电压变动范围为8.5~11kV，系统输入电压允许变动范围上限为12kV，下限为8.5kV（输出额定容量）。系统输入电压允许变动最大范围最低电压保护值为7.1kV（允许降容）。允许频率变动范围为50Hz $\pm$ 5%，输入电压波形失真度 $\leq$ 5%。当额定输入电压、输出满载和50%载时，系统的输入总电流谐波分别为 $\leq$ 5%和 $\leq$ 8%。240V系统输出电压可调节范围：在204~288V范围内设定，误差 $\leq \pm 1V$ 。336V系统输出电压可调节范围：在280~400V范围内设定，误差 $\leq \pm 1.5V$ 。系统稳压精度优于 $\pm 1.0\%$ 。巴拿马电源方案整流柜内部构成，如下图3-2-2所示。

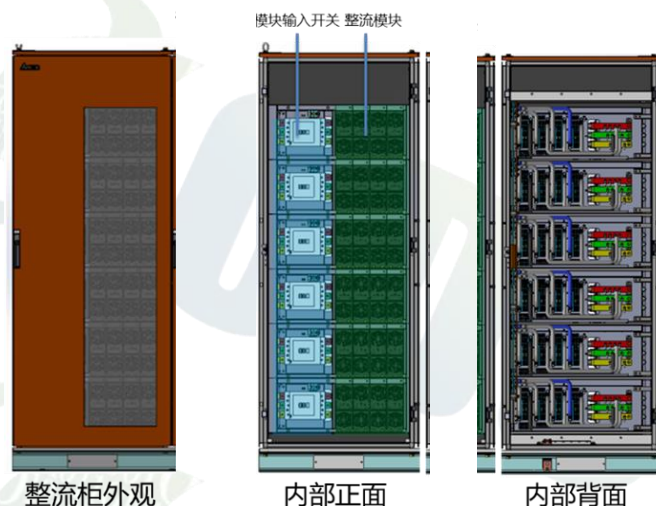


图3-2-2 巴拿马电源方案整流柜内部构成

3.2.4 直流输出柜

直流输出部分由电池分路熔断器、直流负载分路熔断器、直流SPD、综合侦测模块、HMI等部件组成。直流输出分路和容量可根据工程的实际要求灵活调整，直流总配电柜一般由柜体和附属部件组成。附属部件包括输入配电模块、分路输出模块、地线排、信号输出接口、数据显示装置、门锁及机墩等。直流总配电柜电缆的进、出线方式要求电池上进线，输出上出线，顶部开进线孔。巴拿马电源方案直流输出柜内部构成，如下图3-2-3所示。

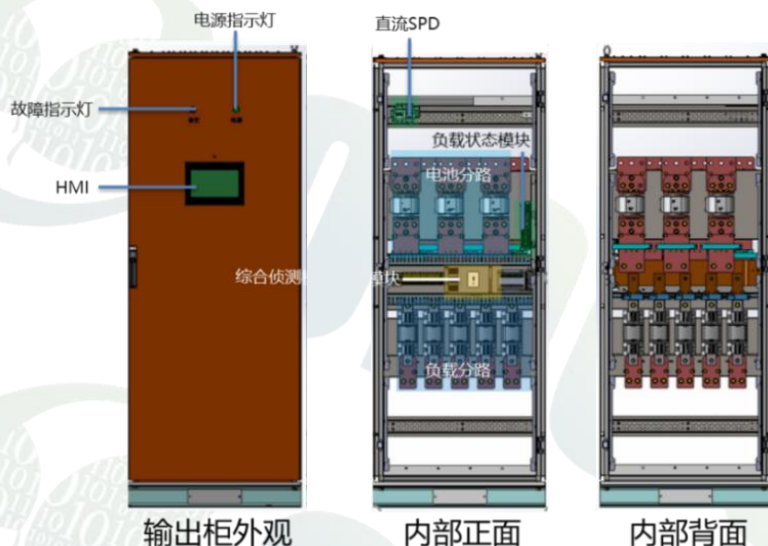


图3-2-3 巴拿马电源方案整流输出柜内部构成

3.2.5 综合监控模块

综合监控模块可以实时监测系统的系统电压、系统电流和系统状态信息，当有告警时可简单显示告警信息。综合检测模块对整流模块的监测具备遥测（电压、电流），遥信（工作状态），遥控（开/关机，均/浮充/测试）功能。综合监控模块对直流配电单元的监测具备输出电压、总负载电流、功率、电量、主要分路电流、蓄电池充/放电电流等参数遥测功能，以及输出电压过压/欠压、蓄电池熔断器状态、均/浮充/测试、主要分路熔断器/开关状态、蓄电池二次下电等参数遥信功能。

综合检测模块能根据用户的需要设置相关的运行参数，具备掉电存储功能。所设置的运行参数在系统掉电时不会丢失，来电后自动恢复。

CSU（中央监控单元）作为监控核心，通过CAN总线管理整流模



块，其它单元采用RS-485总线。巴拿马电源方案综合侦测架构，如下图所示图3-2-4所示。



图3-2-4 巴拿马电源方案综合监控架构

3.3 配置方法

巴拿马电源中，功率变换模块的容量配置需根据数据中心的IT负荷容量、电池组充电容量、冗余功率容量三者之和进行计算，变压器容量按照IT负荷容量与电池组充电容量之和进行计算。输出DC分路的配置需根据具体的电池组数、IT 负荷路数以及备用输出路数设计，可以灵活配置。

整流模块配置

目前单体整流模块的功率是 30kW，该功率是指输出电压在 240Vdc 以上时的功率为 30kW。系统模块数量不大于 96 个。

具体项目中整流模块数量配置可按下面方法计算：

1：负载电流： $I_{IT}=P_{IT}/V_{outmin}$

其中 P_{IT} 为 IT 负荷功率



V_{outmin} 为含电池且市电正常时的系统最低输出电压；一般略高于电池的截止放电电压，比如：对 240Vdc 系统，其电池的截止放电电压是 210Vdc（如果单体的截止电压为 1.75V/cell），而 V_{outmin} 一般选择为 220-230Vdc。

2：电池组充电电流： $I_{charge}=AH_{\text{电池}}*C_{Rate}$

AH_电池，为电池的安时数，和传统电池组的选择一样。

C_{Rate} ，为电池的充电倍率，和传统电池组的选择一样。

3： $N_{\text{主用模块}}=(I_{IT}+I_{charge})/I_n$ ；

I_n 为单体模块的最大输出电流。

4： $N_{\text{模块}}=N_{\text{主用模块}}/10+N_{\text{主用模块}}$ ，并对该数采用进一法取整。

冗余模块数量建议，采用 N+1 冗余，N 个主用， $N \leq 10$ 时，1 个备用； $N > 10$ 个时，每 10 只备用一个。

在轻载时，巴拿马电源系统也可采用模块休眠功能，工作在最佳效率区间。其休眠管理与传统 240Vdc 系统一致。

蓄电池配置

数据中心中通常选用铅酸蓄电池作为储能部件。蓄电池选择和传统 240Vdc 系统基本一致，简述为：根据系统容量大小，选择单体电压和组数，再选择合适 AH 电池型号。蓄电池单体电压可选 2V、6V、



12V，其单组电池个数如表 3-1。每个系统蓄电池组数不得少于 2 组，最多不宜超过 4 组。

表 3-1 蓄电池个数表

单体电压 (V)	2	6	12
蓄电池个数(只)	120	40	20



4 巴拿马电源方案优势

4.1 占地面积小

巴拿马电源的架构比传统的供电架构更加简洁，配电/功率变换环节少，中压/低压融为一体，占地面积大大减少。

以华东某机房为例：如下图4-1-1所示，巴拿马电源设备占地面积与240Vdc 系统相比，巴拿马电源设备占地面积由原来的约300m²，变为110m²，仅为原来占地面积的36%。

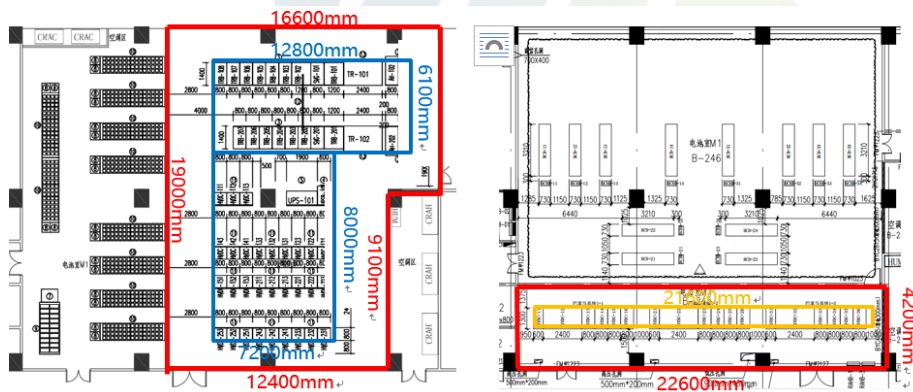


图4-1-1 传统240Vdc系统与巴拿马电源布局
(左：240Vdc系统；右：巴拿马电源)

4.2 交付速度快

数据中心数百种设备之间相互强关联，任何一个设备需求、设计、采购、实施的变化都会导致关联设备系统的变化，从而引起计划外的调整，变更、协调、通信协议解析等问题。减少设备数量，采用解耦、预制化等技术，才能加快交付速度。巴拿马电源集成了从中压输入到变压器，到DC输出等多个环节，自成一个完整链路，且可预制化，预先测试化，按需扩容。工程现场只是将其进行简单地拼装，逐个定



位安装，这种建设模式可大幅缩短建设工期。

以华东某机房为例：如下图4-2-1所示，采用巴拿马电源设备与传统240Vdc 系统相比，设备总数由34台，4个供应商, 36个通讯接口，变为3台，1个供应商, 3个通讯接口。设备减少且解耦，通讯接口简洁等。采用巴拿马电源后，整个建设周期明显缩短，供电系统的部署控制在1~3个月内。

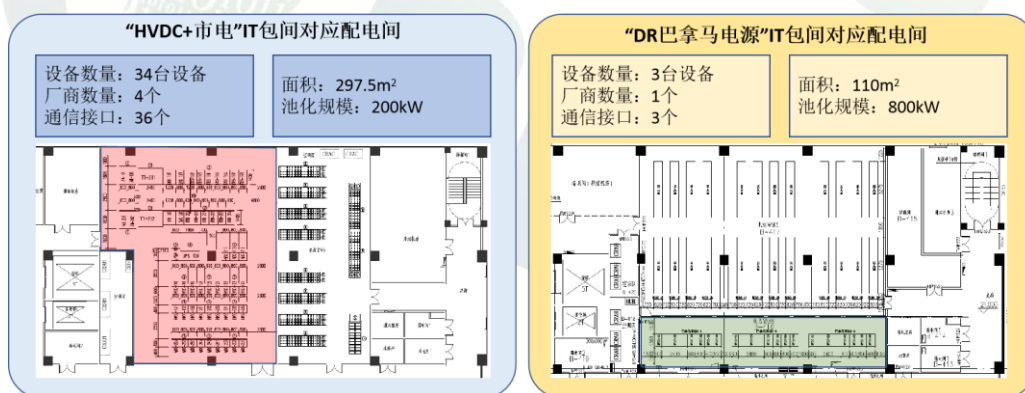


图4-2-1 传统240Vdc系统与巴拿马电源

4.3 高可用性

数据中心供电系统中可用性除了与冗余供电模式有关外，还与两个因素有关，一个是供电链路中环节的复杂度，各个环节的平均故障率；二个是链路中各个环节运维的难易程度。在相同的冗余供电模式下，环节简洁则运维可显著提高其可用性。AC UPS 到240V/336V HVDC系统因为电池直挂DC母线，节省了逆变环节，且DC并联简单可靠，更加模块化，其可用性与AC UPS比大大提高。所以国内数据中心在实践一路市电+240V DC系统的方案。

巴拿马电源在240V/336V HVDC系统的基础上，又进一步精简低



压AC的配电环节，平均无故障时间相比240V/336V HVDC系统又提升大约27%（以华东某机房为例：巴拿马电源系统平均无故障时间是14年，而传统240V/336V HVDC系统为11.5年）。图4-3-1所示：巴拿马电源MTBF。巴拿马电源整流模块采用热插拔设计便于升级维护，其内置综合管理系统对从中压10kV到240Vdc，整个供电链路的电量参数（电压/电流等）、非电量参数（温度和绝缘状态等）等关键指标，进行实时监控，丰富的内置网络通讯端口和友好的界面为当地和远程监控管理提供了便利条件，确保极短的MTTR。图4-3-2所示：巴拿马电源软件界面。

• 系统MTBF提高27%

基本参数

模块：MTBF= 963355 小时， $\lambda_{11}=1.038E-6$

变压器、控制器、熔丝等：MTBF= 438596 小时， $\lambda_2=2.28E-6$

所有21+3个模块计算

$MTBF_{MOD}=(1/24+1/23+1/22)(1/\lambda_{11})=171687.1$ 小时

$\lambda_1=1/MTBF_{MOD}=5.82E-6$

Panama电源的失效率：

$\lambda_{PANAMA}=\lambda_1+\lambda_2=8.1E-6$

$MTBF_{PANAMA}=1/\lambda_{PANAMA}=123456.7$ 小时=14.09 年



图4-3-1：巴拿马电源MTBF

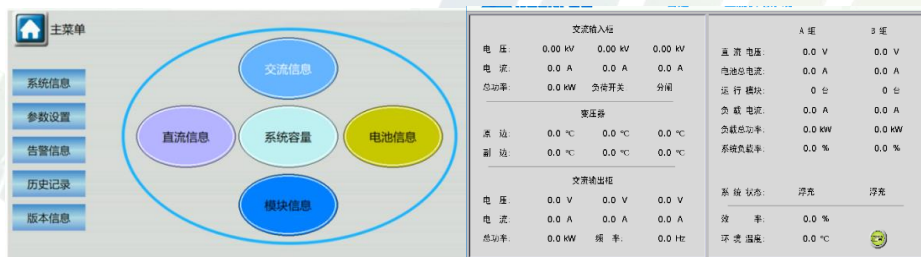


图4-3-2：巴拿马电源软件界面

4.4 效率高

240V/336V HVDC链路中，10kV/0.4kV变压器效率99%，380Vac到240V/336V AC/DC模块峰值效率96%，整体



峰值效率为95%，如图4-4-1所示。当一路市电+一路240V DC系统时，整体峰值效率为97%。

巴拿马电源由传统变压器改为移相变压器，省掉功率因数调节环节，移相变压器的效率为99%，整流调压部分的峰值效率为98.5%，整体峰值效率可达到97.5%。如图4-4-2所示。在轻载条件下，巴拿马方案的效率优势更明显。

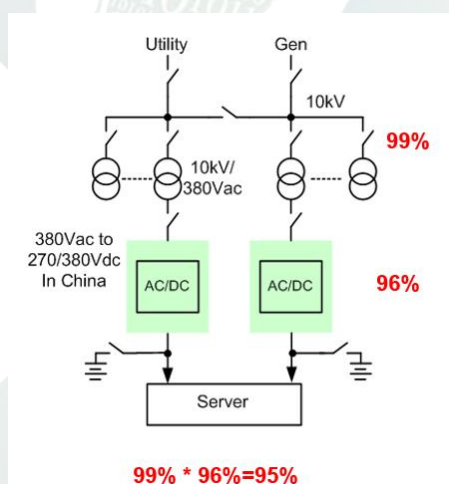


图4-4-1 DC+DC方案效率

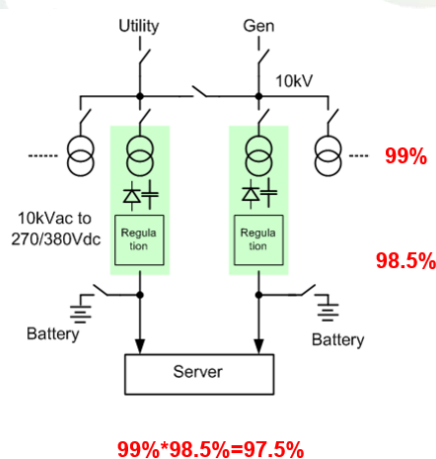


图4-4-2 巴拿马电源方案效率

图4-4-3为某数据中心采用巴拿马电源与同一机房240VDC系统在实际运行中的效率数据，数据均由其头柜测试并上传。在轻载条件下，巴拿马方案的效率优势更明显：30%负载以下，效率提升>3%。甚至双路巴拿马供电的系统，与一路市电+一路240V DC系统对比，统计一个月的数据，整体效率提升2.15%。如图4-4-3所示。

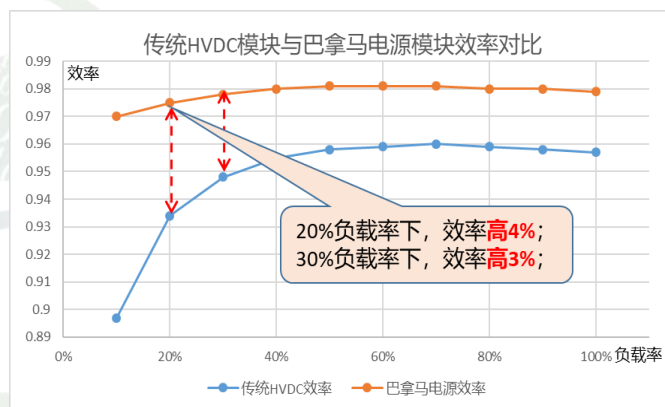


图4-4-3 巴拿马方案与240V DC方案效率对比

4.5 成本低

巴拿马电源精简了中间环节，设备的使用量变少，结构上设计紧凑，减少了电缆等材料和工程施工量，投资成本大大节省。

以某公司采用UPS、HVDC和巴拿马电源，做2N冗余供电配置的成本对比（此数字仅供参考）：

2.2MW的IT负荷，如果采用2N的AC UPS含输出输入旁路柜（600kVA 10台），10年维保，450万RMB，配套线缆和变压器及低压配电，大约240万RMB，总共690万RMB。

如果采用2N的240V DC系统，含输出输入配电柜（220kW 20台），10年维保，230万RMB，配套线缆&低压配电和变压器，大约220万RMB，总共450万RMB。

如果采用2N的巴拿马电源，（2400kW 2台），10年维保，260万RMB，配套线缆大约20万RMB，总共280万RMB。

4.6 三类电源应用比较



对 AC UPS、240V/336V HVDC 和巴拿马电源做一个简单总结如下表所示：

对比内容	AC UPS	240V/336V HVDC	巴拿马电源
冗余供电模式	主流：2N，DR 很少采用：RR	主流：1 路市电+1 路 DC 特别等级：2N HVDC	主流：2N DC 也可：1 路市电+1 路 HVDC
可用性	结构复杂，可用性一般	结构简化，可用性高	环节简洁，可用性极高
整个链路效率	因负载率低，93%	95%	97.5%
占地面积 (2.2MW IT)	310m ²	300 m ²	110 m ²
建设周期	12 个月左右	6 个月左右	3 个月左右

表 4-1 AC UPS、240V/336V HVDC 和巴拿马电源比较



5、巴拿马电源运行维护

5.1 投运前的准备工作

5.1.1 通电检查

- (1) 确认进线柜负荷开关处于“接地”状态，确认前级 10KV 开关处于“分断”状态；
- (2) 断开整流柜内的所有空开、将蓄电池开关箱断路器分闸；
- (3) 检查设备外观是否有损伤、仪表是否完好、有无移位变形等，防尘遮挡物、柜内工程余料、螺丝等物是否清理干净；
- (4) 检查变压器箱体和铁芯装配是否可靠接地；
- (5) 进行设备的维护操作空间，配电房间密封性和温湿度控制等的环境检查；
- (6) 进行配电部分的部件连接、电线电缆、铜排连接牢固性，标识标签完成性检查，仪表、柜门安装稳固性检查，有无松动现象；
- (7) 进行直流配电部分的设备外观、安装稳固性检查，确认电气安装完整，电线电缆整齐、标签完整清晰。

5.1.2 移相变压器的交接试验

- (1) 绕组直流电阻的测量，低压三相电阻不平衡率通常 $\leq 2\%$ ；
- (2) 线圈绝缘电阻的测量，其值不低于出厂试验的 70%（环境温度 $< 40^{\circ}\text{C}$ 、 $20\% < \text{相对湿度} \leq 80\%$ ）；



(3) 线圈 1min 工频耐压试验，其值为出厂试验的 80%；

(4) 按铭牌所给移相角度进行每组角度测量。

5.2 验证测试

由于巴拿马电源是一套电源系统，不同于单个电源设备，在运输过程中会分拆为几个单元进行装车运输，设备到达现场后再进行组装，因此巴拿马电源安装完成后进行现场验证测试是十分关键和必要的。主要进行以下内容的测试：

(1) 中压隔离柜、变压器送电冲击测试；

(2) 仪表显示精度、完好性、监控数据一致性核对；

(3) 变压器带载 0%、50%、100%，0%至 50%、50%至 100%突加载；100%至 50%、50%至 0%突减载测试，记录运行参数（输入、输出电压、有功功率，功率损耗；温度及阈值，验证风机启停及告警情况）、变压器运行声音、温度显示，与出厂报告标准值核对。满载测试不低于 2 小时；

(4) 直流配电部分整流模块的电压稳态性测试，带载 50%、100%，0%至 50%、100%突加载；100%至 50%、0%突减载测试，整流模块均流测试（模块均流偏差应 $\leq \pm 5\%$ 、稳压精度 $\leq \pm 0.5\%$ 、输入电流谐波 $\leq 5\%$ ）。满载测试不低于 2 小时；

(5) 整流模块热插拔测试，模块故障告警、冗余切换、休眠功能测试；



(6) 电池充放电管理测试；

(7) 直流配电的交流输入电源过欠压告警、保护测试，直流输出的过欠压告警、保护测试，输出支路掉电告警、过载告警等测试；

(8) 监控数据准确性、精度核对；

详细的验证测试内容和标准详见《巴拿马电源测试脚本》。

5.3 日常巡检

(1) 检查巴拿马电源系统电力室内环境温湿度，温度低于 28℃，湿度 20%-80%；

(2) 检查进线柜带电显示器是否正常；

(3) 检查进线柜气压表指针是否在绿色区域；

(4) 检查交流输入电压是否在正常范围；

(5) 检查变压器原边、副边温度是否正常，运行声音是否均匀，无异响、异味；

(6) 检查监控面板是否有告警信息未消除；

(7) 检查设备本体故障指示灯是否常灭及蜂鸣器未响；

(8) 检查整流模块 AC、COM 指示灯是否常亮（正常“绿色”常亮）；

(9) 检查蓄电池无漏液、起鼓、变形等现象，电池室温湿度是否正常；



(10) 检查环境空间内无漏水、小动物等。

5.4 设备操作

5.4.1 隔离柜负荷开关操作

(1) 进线柜负荷开关有 3 个位置状态：“合闸”“分闸”“接地”。面板上有相应的指示灯和旋转指针与其位置状态对应，负荷开关有两个操作位置，通过相应的操作顺序完成开关状态的转换，“合闸” $\leftrightarrow$ “分闸” $\leftrightarrow$ “接地”；

(2) 上电顺序为（有机械互锁保证）：“接地” $\rightarrow$ “分闸” $\rightarrow$ “合闸”；

(3) 下电顺序为（有机械互锁保证）：“合闸” $\rightarrow$ “分闸” $\rightarrow$ “接地”；

(4) 电缆室门只有负荷开关处于“接地”位置才能打开，只有电缆室门正确关闭后才能把负荷开关从“接地”位置切开，通过机械互锁确保电缆室的操作安全。

5.4.2 移相变压器停、送电操作

移相变压器停、送电操作遵循变压器停、送电原则，投运前一般进行 5 次冲击合闸，第一次合闸后带电运行时间不小于 30min，以便于观察有无异常，第一次合闸成功后再依次合闸 4 次，每次合闸后带电运行时间可以逐步缩短。

5.4.3 整流模块上电操作

(1) 完成移相变压器通电后，观察移相变压器运行状况是否正常，



确保电池电压与系统浮充值匹配；

(2) 合上整流柜模块输入空开，相应整流模块上的 AC 指示灯(绿色)点亮且风扇转动，查看模块信息，直流电压显示为 270V；

(3) 关闭该模块的输入空开，通过闭合、断开整流模块输入空开依次检查其余各个模块工作是否正常；

(4) 闭合对应的电池开关箱的电池开关，如有打火、脱扣现象，应停止送电；

(5) 确认监控面板显示电池电压、电流参数正常；

(6) 检查监控显示屏有无告警信息，声音是否正常，指示灯是否正常。

5.4.4 整流模块下电操作

(1) 单只整流模块下电：在控制屏中关闭对应模块，待模块工作指示灯显示关闭后拔出模块；

(2) 单组整流模块下电：确认监控面板显示供电状态正常，将对应整流模块输入侧的空开分闸；

(3) 整套系统整流模块下电：确认监控面板显示供电状态正常，分断下端负载（必须确认负载可断电），关闭蓄电池开关，断开整流柜内对应的整流模块输入开关。

5.5 定期维护



5.5.1 隔离柜维护

序号	项目	要求	周期
1	紧固检查	检查柜体内各连接处紧固情况。	1 次/年
2	清洁	采用干燥压缩空气或干抹布清洁本体内部灰尘。	
3	高压电缆	检查电缆头有无老化、破损、放电等现象。	
4	操作机构	检查机械互锁及操作机构是否正常。	
5	交流耐压试验	试验电压为出厂试验电压的 80%，时间为 1min。	1 次/3 年
6	导电回路电阻	用直流压降法测量，电流不小于 100A。	
7	绝缘电阻	采用 2500V 摇表测量相间、相对地，绝缘电阻 $\geq 500M\Omega$ 。	
8	密封性试验	在气体充气嘴、操作机构、压力表连接处测量。	

5.5.2 移相变压器维护

序号	项目	要求	周期
1	风扇测试	测试风扇是否能正常启动。	1 次/月
2	防尘棉清洁	拆除防尘棉进行清洁，视脏堵情况更换。	1 次/季度
3	本体清洁及连接点紧固	1、采用干燥压缩空气或干抹布清洁本体内部灰尘； 2、对各连接点紧固检查。	1 次/年
4	红外测温	采用红外热成像仪对本体绕组、各连接处扫描测温。	
5	绕组直流电阻	1、相间差别一般不大于平均值的 4%，线间差别一般不大于平均值的 2%； 2、与以前相同部位测得值比较，其变化不应大于 2%。	1 次/3 年
6	绕组绝缘电阻	一般情况下（20~30℃，湿度 $\leq 65\%$ ），绝缘电阻应满足：高压~低压及低 $\geq 300M\Omega$ 、低压~地 $\geq 300M\Omega$ （2500V 兆欧表测量）。	
7	铁芯绝缘电阻	一般情况下：铁芯~夹件及地 $\geq 5 M\Omega$ 、穿心螺栓~铁芯及地 $\geq 5 M\Omega$ （500V 兆欧表测量）。	
8	交流耐压试验	试验电压为出厂试验电压值的 80%，1min（28KV）。	



9	测温装置及其二次回路试验	1、按制造厂的技术要求； 2、指示正确，测温电阻值应和出厂值相符； 3、绝缘电阻一般不低于 1 MΩ。	
10	空载电流和空载损耗	与前次试验值相比无明显变化。	

5.5.3 整流、输出（直流配电）部分维护

序号	项目	要求	周期
1	监控单元	1、检查告警点设置是否正确； 2、检查通讯接口是否良好； 3、检查电池均、浮充电压设置； 4、核对均、浮充转换条件设置。	1 次/季度
2	模块功能	1、检查直流输出限流保护； 2、检查整流模块是否均流； 3、检查整流模块运行状况； 4、开启备用模块，核查运行状态。	
3	防雷系统	1、检查防雷器开关是否闭合； 2、防雷器是否损坏。	
4	红外测温	采用红外热成像仪对设备内部各连接处测温。	
5	熔丝	检查各熔丝外观及通断触点情况。	1 次/年
6	内部清洁及连接处紧固	1、采用干燥压缩空气或干抹布清洁本体内部灰尘； 2、对各连接点紧固检查。	

5.6 常见故障的排查

5.6.1 移相变压器故障

序号	故障名称	处理方法
1	变压器过温	1、确认风扇是否正常运行； 2、各进风口进风量是否正常（防尘网是否堵死）； 3、变压器过温设置点是否正常。



2	变压器温度模组故障	1、确认温度模组是否供电正常； 2、确认温度模组是否有接口松脱； 3、检查温度模组“ERROR”指示灯是否为亮；如亮则表示损坏，需更换。
3	变压器风扇故障	1、确认风扇供电是否正常； 2、接触器反馈端子是否松脱； 3、CSU 风扇控制口（干接点 1 和 2）是否松脱； 4、执行一次风扇测试，确认风扇接触器是否故障。

5.6.2 整流模块故障

（1）整流模块指示灯功能说明表

指示灯名称	颜色	状态	功能说明
AC 指示灯	绿色	亮	整流模块工作正常。
		灭	整流模块无交流输入或内部辅助电源异常。
		闪	整流模块休眠或被遥控关机或工作异常。
		快闪	整流模块工作在限流或限功率模式。
COM 指示灯	绿色	亮	整流模块通讯正常。
		灭	整流模块通讯异常或内部辅助电源异常。
		快闪	整流模块尝试建立通讯中。
RFA 指示灯	红色	亮	整流模块发生不可自动恢复的故障。
		灭	整流模块工作正常。
		闪	风扇故障。

（2）故障处理对应表



序号	故障名称	处理方法
1	模块风扇故障	若对应的 RFA 灯亮，则更换模块。
2	模块限流	1、确认负载是否过载； 2、确认模块数量是否充足； 3、如只是个别模块限流，和其他模块功率差别很大，则更换模块。
3	模块均流异常或通讯故障	确认对应模块尾部通讯线是否松脱。
4	模块过温	1、确认对应模块风扇是否转动正常； 2、确认对应模块风口是否灰尘过多，风道堵塞
5	模块关机	通过 HMI 开启对应模块。

5.6.3 直流配电故障处理

序号	故障名称	处理方法
1	综合侦测模块通讯故障	检查对应综合侦测模块的通讯口是否松脱。
2	电池放电	1、如果市电掉电，需要电池放电，正常现象； 2、如果业务需要，电池作为补充电源放电，正常现象； 3、检查电池电流 Hall 接口是否松脱； 4、如果 Hall 传感器故障，请更换 Hall。
3	熔丝断	1、确认电池熔丝通断触点是否弹出； 2、确认电池熔丝两端是否有短路发生； 3、确认负载功率是否过大。
4	电池空开断	1、确认电池柜对应电池空开两端是否有短路； 2、确认负载功率是否过大。
5	总负载过流	1、确认负载是否过大； 2、确认负载 Hall 是否接口松脱。
6	直流电压过低	1、检查当前电池电压、市电、负载是否正常； 2、检查告警参数是否正确。
7	直流电压过高	1、检查 HMI 显示系统电压并与万用表测量系统电压相比较，是否一致； 2、检查告警参数是否正确； 3、检查浮充电压、均充电压参数是否正确。
8	直流防雷器故障	1、确认直流防雷空开是否闭合； 2、确认直流防雷观察窗是否显示红色，如是红色则需要更换。

5.7 应急操作



（注：巴拿马电源输入电源供电结构可根据不同业务需求配置为“双母线联络”、“单母线”、“交叉供电”多种方式，本节是“单母线”方式的操作步骤）

巴拿马电源系统的输入电源是直接引至10KV开关柜，输入侧无母联，当隔离开关、移相变压器这两部分出现故障时，巴拿马电源会掉电，仅由蓄电池支撑。当巴拿马电源所带的负载供电为2N架构时，机柜的主、备路电源来自两套不同的巴拿马电源系统，所以当单台巴拿马电源停电后，只影响下级负载机柜主、备路的其中一路供电。

5.7.1 中压负荷开关故障

（1）当中压负荷开关柜故障时，巴拿马电源系统的输入中断，移相变压器停电，整流模块掉电，系统负载由蓄电池支撑保障；

（2）将对应的上级 10KV 开关分闸，对负荷开关进行检修。此时需确定负荷开关是否能在短时间内（时间小于蓄电池支撑时间的 80%）修复，如不能在短时间内修复，则需要通知业务侧，此套巴拿马电源系统的下级负载机柜会单路掉电，需要业务侧做好相应的应急预案；

（3）负荷开关修复后按照巴拿马电源上电开通的步骤（5.4.1）进行操作。

5.7.2 移相变压器故障

（1）当移相变压器故障或异常时，应立即断开上级的 10KV 开关（注意此时不可直接分断隔离开关），再将隔离开关分断，进行变压器的



检查和维修，此时系统负载由蓄电池支撑保障；

(2) 一般变压器的故障无法在短时间内修复，此时需要通知业务侧，此套巴拿马电源系统的下级负载机柜会单路掉电，需要业务侧做好相应的应急预案。移相变压器的检修参照干式变压器的检修方法；

(3) 变压器修复后按照巴拿马电源上电开通的步骤（5.4.2）进行操作。

5.7.3 整流模块故障更换

- (1) 根据监控面板报警信息及模块故障指示灯定位故障模块；
- (2) 确认备用模块已开启（投入模块容量应满足负载需求）；
- (3) 将故障模块对应的断路器分断，模块退出运行；
- (4) 拆除模块下方 2 颗固定螺丝；
- (5) 拔出需更换的模块，模块脱离接口需迅速；
- (6) 将新模块缓慢推入到 shelf 插槽至模块还剩 5~10cm 露在外面；
- (7) 再用力将模块推到底，使模块迅速插入接口；
- (8) 确认模块插到位后，锁紧模块面板上的 2 颗螺丝；
- (9) 合上整流模块输入开关，观察模块是否运行正常（指示灯或者 HMI）。



5.7.3 负载输出熔断器故障

(1) 发生负载输出熔断器故障时, 可通过查看熔断器的通断触点观察, 如触点弹出则需要更换熔断器, 如下图:



图5-7-1熔断器故障判断 (左: 正常, 右: 故障)

(2) 熔断器有损坏时, 要确认采用同规格且电压等级相适应的熔断器进行更换;

(3) 更换熔断器前应检查负载回路是否正常, 有无短路情况, 待故障排除后将下级列头柜输入开关 (或熔断器) 先断开, 然后进行熔断器的更换, 更换好后需测量正负极间无短路, 确认无异常后再将下级列头柜输入开关 (或熔断器) 合上, 查看负载电流是否恢复故障前数值, 再测量熔断器温度 (电流达到额定电流80%时不超过65度), 观察15分钟正常后离开。



6、2.5MW 巴拿马电源应用案例介绍

本章节主要介绍 2.5MW 巴拿马电源实际应用案例，包括该案例的背景及需求、巴拿马配电系统架构、巴拿马直流母联原理、运行监控系统等，最后对该案例的收益做出了总结，希望该实践案例可更好的帮助读者理解巴拿马电源系统，为读者提供设计参考。

6.1 案例背景

华东某机房楼为 20MW 标准化楼，该楼包含两个模块，每模块电力容量 10MW，外市电进线 2 路，每路容量 10MW，互为热备用。柴发为集中式中压柴发，按照“N+1”原则配置柴发容量。建筑采用多层建筑，一层为中压母线段配电及制冷设施，其余楼层为 IT 包间及对应配电间，IT 包间与配电间采用模块化配置，可实现分期部署。

配电系统原设计为“HVDC+市电直供”配电架构，由于承载业务类型变更，对其提出了更高可靠性的配电要求，需要配置 2N-HVDC 架构，遇到两大困难：

■ 空间不足问题：

2N-HVDC 架构下，IT 包间配电室内 HVDC、蓄电池组数需增加一倍，如图 6-1-1 所示，配电间原有配电空间已经十分拥挤，难以容纳更多的设备。

■ 成本上升问题：

2N-HVDC 架构下，不仅 HVDC 数量翻倍，同时带来了蓄电



池数量/容量、蓄电池监控系统数量的变化，整体配电系统成本上升约 30%以上，对 IDC 项目收益率带来较大影响。

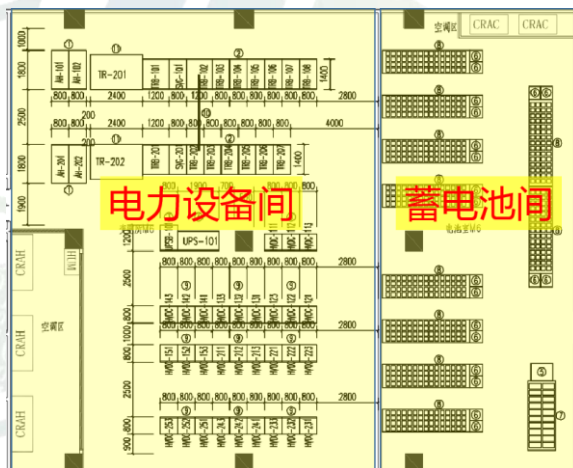


图 6-1-1 原有“HVDC+市电直供”配电架构下 IT 包间配电室平面图

6.2 配电系统架构设计

要解决目前碰到的两大问题，用传统的 HVDC 架构无法实现，综合考虑经过评估，最后决定采用 2.5MW 巴拿马电源方案进行设计，如图 6-2-1 所示为 2.5MW 巴拿马电源 2N 架构单线图，中压部分系统架构及继电保护配置无重大变化。

每 10MW 机房模块，配置巴拿马电源系统 6 套，对应三个 IT 包间。2 台 2.5MW 巴拿马电源互为备用冗余。每台 2.5MW 巴拿马电源支持 10 路列头柜，单列最大功率 240kW；配置电池 8 组，每组电池为 120 只 2V/560AH 铅酸蓄电池，配置四组直流母排联络线。

IT 包间内原有交流列头柜变更为直流列头柜，其体积与配电容量无重大变化。

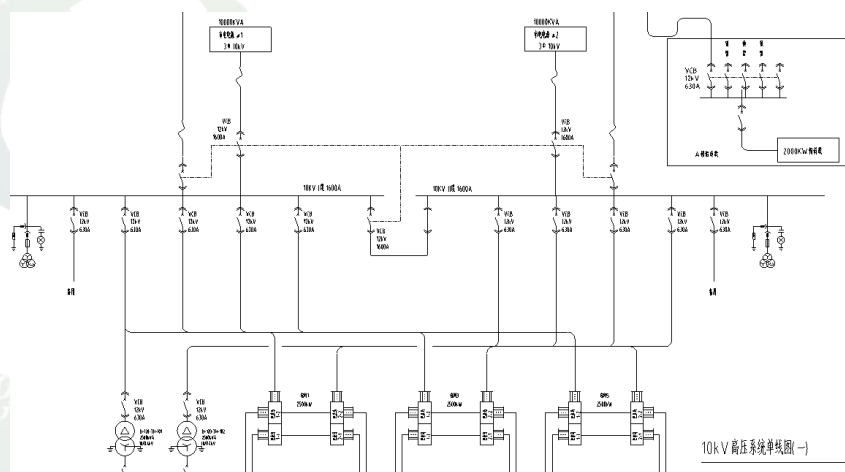


图 6-2-1 2.5MW 巴拿马电源 2N 架构单线图

巴拿马电源引入后，对系统原有平面设计影响至小。一层中压母线线段配电及制冷设施布局及设备配置无任何变化。

其他楼层整体布局未做调整，IT 包间布局未调整，对应配电间空间有明显节省。原有配电设备台 35 台减少为 2 台，减少 94%。原有架构中只有单边 HVDC 侧配置蓄电池，改为 2N 巴拿马架构后负载两侧都需配置蓄电池，电源蓄电池由 10 组变为 16 组，

图 6-2-2 为“HVDC+市电直供”“2N 巴拿马电源”架构下配电间空间节省对比，原有配电面积为 468m²，调整后配电面积为 312m²，节省 33%。节省空间 156m² 转为挖潜机房，用于后期持续拉升包间 IT 电力利用率。图 6-2-2 中，黄色部分为配电及电池区域，绿色区域为节省空间，红色区域为 2 台巴拿马电源。

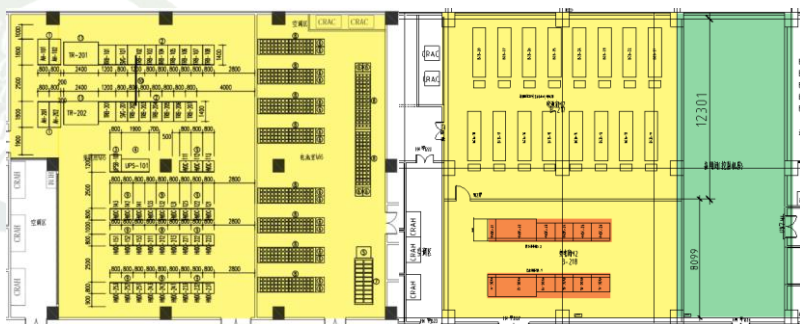


图 6-2-2 “HVDC+市电直供”“2N 巴拿马电源”架构下配电间空间对比

6.3 直流母联设计

在巴拿马电源方案中，中压具备交流母联断路器设置，可屏蔽母线线段以上故障对负载的影响，当该段母线及以下线路、变压器故障时，负载可能面临单侧供电的情况。随着业务对 IDC 可靠性要求的不断提高，负载单侧供电长时间中断的情况逐渐不可接受。巴拿马电源方案采用了直流输出母排联络的方案（直流母联方案）。其原理如图 6-3-1 所示。

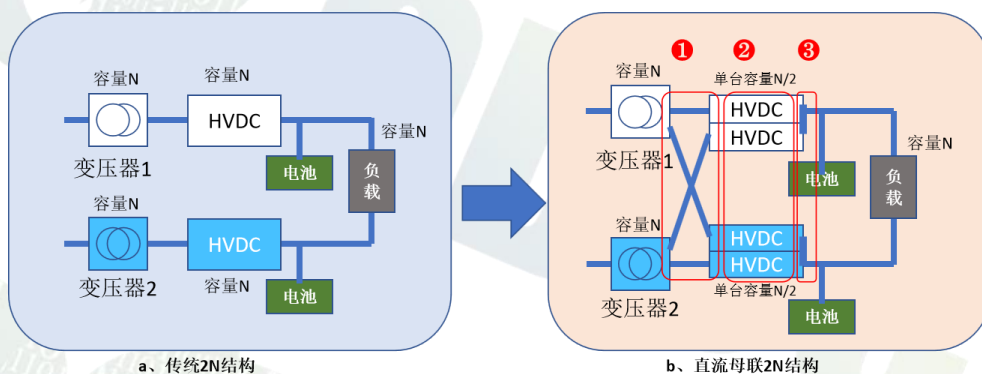


图 6-3-1 2N 结构下巴拿马电源直流母联原理示意图

相比传统 2N 结构方案，巴拿马电源作出三个改进：1、HVDC 输入侧与变压器输出交叉配置；2、HVDC 分为两组布置，每组容量为负载容量的 $N/2$ ；3、2 组 HVDC 输出侧通过熔断器联络。通过直流母联方案，可以实现单台变压器或上级电源输入故障时，负载侧仍



能实现双路输入不间断，且蓄电池按照系统备电时间计算。该方案降低了蓄电池投资、极大提高了系统的可靠性，减少了运维工作量。

6.4 运行监控设计

巴拿马电源由于采用直流母排联络方案，其运行方式与传统 2N 架构不尽相同。为了进一步提高系统可靠性，巴拿马电源创新提出软硬件一体化监控方案，在系统监控层面配置一套巴拿马电源健康分析软件模块，通过对巴拿马电源日常上传信息的分析，提示系统的健康状况，保障巴拿马电源的可靠运行。

同时，在巴拿马电源中对通信接口、通信协议、通信内容进行了全面优化，支持多种通信接口及协议，推荐采用基于以太网的 Modbus/TCP 协议接入监控系统。巴拿马电源除提供丰富监控点位内容，还提供推荐监控点位信息，标准化不同建设项目的监控内容，确保不同项目监控内容标准化，不遗漏关键信息。

6.5 案例总结

通过本案例的实施，不仅解决了项目初期遇到的空间不足和成本上升的问题，还带来更多的项目收益：

- ✓ **建设速度更快：**施工提前 3 个月完成；
- ✓ **双侧直流供电：**实现负载双直流供电，满足了业务对更高可靠性的供电要求；
- ✓ **节省配电空间：**不仅解决了初期建设空间不足的问题，而且配



电面积节省了约 33%，可预留为挖潜机柜布置空间，为后期持续提升电力利用率提供了可能；

✓ **项目收益率提升：**在实现双侧直流供电方案的同时，投资成本比“2N-HVDC”方案下降约 40%，运行效率比“2N-HVDC”提升约 4.5%，初投资减少约 1800 万，全生命周期减少约 4000 余万；相比“HVDC+市电”方案也减少约 1400 余万元。这其中还不包含因设备数量减少带来的电缆、桥架、厂家维保费用的减少；

✓ **IT 产出率增加：**最高效率比 2N-HVDC 提高约 2%以上，20MW 电力标准楼多产出 6kW 机柜 50 面，创造更大业务价值；

通过实践案例，再次证明巴拿马电源方案是值得数据中心大力推广的创新供配电解决方案！



7、常见应用问题 FAQ

1、巴拿马有没有什么使用限制或者在什么场景下不能使用？

巴拿马是 10kV 直接转换 240V/336V 的不间断电源，所以不适合采用低压柴油发电机组作为应急保障供电的系统；换句话说就是您的数据中心如果采用低压柴油发动机组作为应急备用，那么就不适合巴拿马供电技术。

2、巴拿马电源采用 10kV 直接输入，电网和供电部门是否有限制或者要求？

巴拿马电源为中压用电设备，在自建 110kV 或更高等级自建变电站园区内，无需向电力公司提供报装资料；对于直接从电力公司引入 10kV 线路的数据中心，需要在初期建设或中期增容时在《高压报装客户用电需求表》的“主要用电设备”中填写“中压直流 UPS 电源”，部分要求严格的电力公司还需提供《中压环网柜检验报告》、《变压器出厂合格书》《变压器试验报告》等文件，即可完成电网审查和备案。

3、巴拿马电源设备的寿命周期多长？

巴拿马系统设备寿命为 20 年，其中整流模块寿命周期 10 年；

4、采用 2N 或者 DR 方案的巴拿马供电方案中，单台巴拿马故障，末端机柜是否会单电源供电？

巴拿马提供两种解决方案，普通 2N 和并联



2N, 如采用普通 2N 方案, 单台设备系统级故障会导致单边供电, 并联 2N 方案单边任何故障末端均无感知。

5、巴拿马供电技术的核心思想是什么？实现效果如何？

巴拿马的核心思想是保证高可靠直流供电基础上简化系统, “简化”数据中心设计、采购、建设、运维等全寿命周期工作, 取消了数据中心供电全链路约 50% 的冗余环节。

6、巴拿马设备的可靠性设计如何，如何保障 5 年免维护？

首先在设备原理上采用了非常成熟的干式移相变压器和最简单的整流电路, 其次在元件选型上均采用全球知名品牌成熟型号 (例如 ABB、英飞凌、伊戈尔等), 再次在设备详细设计方面, 采用了大量可靠性和在线可维护设计, 比如散热风扇、变压器绕线诺曼可纸三层设计、所有螺丝接线双倍锁扣, 线缆选型按照 2 倍最大电流; 最后, 严格的制造过程品控, 全过程视频监控追溯, 层层检测, 完整的出厂测试。可以保障主要元器件在 5 年无大修维护的情况下仍能正常工作。

7、巴拿马电源是否实现了集中监控，具体怎么做？

巴拿马电源实现了对内部从高压输入到移相变压器、整流稳压、直流输出各个环节的运行参数和系统特性的监控, 并结合前后关系实现故障预警和诊断, 整个系统对监控唯一一个统一的输出接口, 支持 Modbus/RTU 或 Modbus/TCP 等协议接口。



8、巴拿马电源的主要容量规格有哪些？带载和过载能力如何？

巴拿马采用模块化设计，单个模块标称功率 30kW，最高功率 33.5kW；24 个模块构成一个单元，标称功率 720kW，最高功率 800kW；目前巴拿马可以提供 4 种容量规格：30-800kW、830-1600kW、1630-2400kW 和 2430-3200kW；四种规格可以适用从 30 到 3200kW 的各种容量规格，客户可以根据需要选择四种规格之一选配模块数量。

9、巴拿马电源是否可以输出交流电源，是否有使用限制？

巴拿马可以输出交流 380V 交流电源，但是交流电源和直流电源之和不能大于所选系统容量，原则上 380V 交流电源容量不应大于系统容量的 50%。

10、巴拿马电源技术是否成熟，目前的应用案例最长时间多长，规模多大？

巴拿马电源自 2017 年 7 月开始研发，2018 年 4 月 2 套 800kW 巴拿马电源在阿里某数据中心投运开始，截至目前已经有超过 60 套（约 100MW）巴拿马电源在阿里、移动、联通、数据港等数据中心安装运行。

11、巴拿马电源为何采用移相变压器？其可靠性如何？

巴拿马电源对电源模块拓扑设计进行了极大的简化，模块在提高效率、降低成本的同时，也引入了模块输入谐波超标的问题，为



了解决此问题，巴拿马引入了移相变压器，通过在变压器高压侧不同相位谐波的平衡消去原理，降低设备整体的输入谐波。测试表明其总谐波畸变率 $THDi < 3\% @ 100\% Load$ ，优于国标电流谐波畸变率 5% 的要求，低于市场同类不间断电源产品。移相变压器在中压电机驱动、地铁供电等领域中有长期应用案例，证明其可靠性满足使用要求。

12、巴拿马电源移相变压器是否具有调压分接头？当市电电压偏高或偏低时，如何调节？

巴拿马电源移相变压器未设计调压分接头。按照国标《GB/T 12325-2008 电能质量 供电电压偏差》规定，20kV 及以下三相供电电压偏差为标称电压的 $\pm 7\%$ ，巴拿马移相变压器的输入电压范围为 $\pm 15\%$ ，远超国标范围，在这个范围内巴拿马电源都可以正常工作。同时，巴拿马电源整流模块具备调压功能，可以保证在交流输入电压波动时，直流电压稳定维持在标称值，保障 IT 负荷安全稳定运行。



www.odcc.org.cn

本页为文档最后一页