

# 采用天然气分布式 能源的数据中心供电架构分析

Analysis of Power Supply Architecture in  
Data Center Using Natural Gas  
Distributed Energy System

姜晓君<sup>1</sup>,陈邦稳<sup>2</sup>,陆源<sup>2</sup>(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;2. 中国联通浙江分公司,浙江 杭州 310051)

Jiang Xiaojun<sup>1</sup>, Chen Bangwen<sup>2</sup>, Lu Yuan<sup>2</sup> (1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 2. China Unicom Zhejiang Branch, Hangzhou 310051, China)

## 摘要:

随着数据中心的快速发展和大规模建设,数据中心能耗在社会总能耗中所占的比重逐年提高;天然气分布式能源系统是分布在用户端的,可实现能源梯级利用的系统。结合应用案例分析采用分布式能源的数据中心供电架构;结合数据中心等级分析供电系统的运行方式、控制逻辑、并机方式、燃料供应等问题,指出应该针对不同保障等级,合理选择供电方案,综合权衡以设计出“安全、环保、节能、高效”的数据中心。

## 关键词:

数据中心;分布式能源;能源利用效率;节能减排

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2019.12.017

文章编号:1007-3043(2019)12-0084-05

中图分类号:TM611.3

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Abstract:

With the rapid development and large-scale construction of data centers, the proportion of energy consumption of data centers in the total energy consumption of society is increasing year by year. Natural gas distributed energy system is a system that can realize the step utilization of energy. The power supply architecture of data center is analyzed with application cases, and the operation mode, control logic, parallel mode and fuel supply of power supply system are analyzed with data center grade. It is pointed out that the data center of "safety, environmental protection, energy saving and high efficiency" should be designed according to different guarantee levels.

## Keywords:

Data center; Distributed energy; Power usage effectiveness; Energy-saving and emission reduction

引用格式:姜晓君,陈邦稳,陆源.采用天然气分布式能源的数据中心供电架构分析[J].邮电设计技术,2019(12):84-88.

## 0 前言

天然气分布式能源系统是分布在用户端的能源综合利用系统,它以天然气为燃料发电,利用发电所产生的废热制冷、制热,实现电热冷联产。2017年6月23日,国家能源局印发《加快推进天然气利用的意见》(发改能源[2017]1217号),要求“完善气电价格联动机制,有条件的地方可积极采取财政补贴等措施疏导天然气发电价格矛盾”。2018年9月5日,国务院印发《关于促进天然气协调稳定发展的若干意见》(国发[2018]31号),明确了加快天然气开发利用,并且指出

将中央财政对非常规天然气补贴政策延续到“十四五”时期。由此可见,国家是积极鼓励天然气有序开发利用的。

近年来,由于节能环保的要求,非居民用天然气价格的下降及多城市对数据中心用电量加以限制,国内在建或已经建成了多个天然气分布式能源与数据中心相结合的工程,如南京凤凰数据中心、上海青浦云数据中心、广州超算数据中心等,但是各数据中心的系统配置和运行方式各不相同。

## 1 数据中心和天然气分布式能源用能特点

数据中心设置的电子信息设备具有全年不间断运行,电力负荷、冷负荷基本稳定,用电量和用冷量巨大

收稿日期:2019-10-10

的特点。供电系统末端毫秒级的停电都可能会引起服务器的宕机,进而带来不良的社会影响或巨额的经济损失。同时,数据中心的服务器几乎是以同等电力输入当量向机房散热,所以数据中心需全年供冷,供暖需求和生活热水需求较小。

天然气分布式能源系统以天然气为燃料,燃烧后驱动燃气轮机或燃气内燃机发电,产生的高温烟气和热水作为热源驱动溴化锂机组制冷,制冷后的余热再作为供暖的能源系统。天然气分布式能源系统实现了能源的梯级利用,具有能源靠近负荷侧、能源综合利用效率高、传输损耗低、环保性能好等特点。由于溴化锂机组使用的是发电所产生的废热制冷,制电制冷同步,符合数据中心的运行场景,所以如果天然气价格在一个合理范围内,采用天然气分布式能源的数据中心就会具有良好的经济性。

## 2 数据中心供电系统实例

某园区包含1栋110 kV变电站、1栋天然气分布式能源站、3栋DC楼及配套设 施,DC楼规划机架数5 000架,单机架功率6~12 kW。分布式能源站和数据中心工程分开建设,能源站以数据中心的供电和供冷

参数为依据进行控制,其供电架构示意图如图1所示。

### 2.1 110 kV 变电站供电架构

110 kV 变电站的主变压器容量为 $2 \times 63$  MVA,采用三相双绕组自冷式有载调压变压器,额定电压 $110 \times (1 \pm 0.0125) / 10.5$  kV,阻抗电压17%,接线组别YN,d11。110 kV 进线2回(来自市电),采用内桥接线方式;10 kV 进线2回(来自能源站),采用单母线分段接线方式;10 kV 出线14回(至数据中心)。110 kV 侧中性点经隔离开关接地,10 kV 侧经小电阻接地。

### 2.2 分布式能源站供电架构

分布式能源站设置2段10 kV 发电机母线,采用单母线分段方式,能源站的发电序列配置为9台4 300 kW 燃气内燃发电机和11台1 800 kW 柴油发电机,分别接至能源站的2段10 kV 发电机母线,每段10 kV 发电机母线分别通过1回联络线接入110 kV 变电站的10 kV 母线与系统并网。当2路110 kV 线路正常供电或只有1路110 kV 线路正常供电的情况下,所有柴油发电机组均闭锁不运行,当且仅当2路110 kV 线路全部失电时,柴油发电机组才投入运行。

制冷序列配置为9台4 650 kW 烟气-热水溴化锂制冷机和10台4 570 kW 电制冷冷水机,分别可以满足

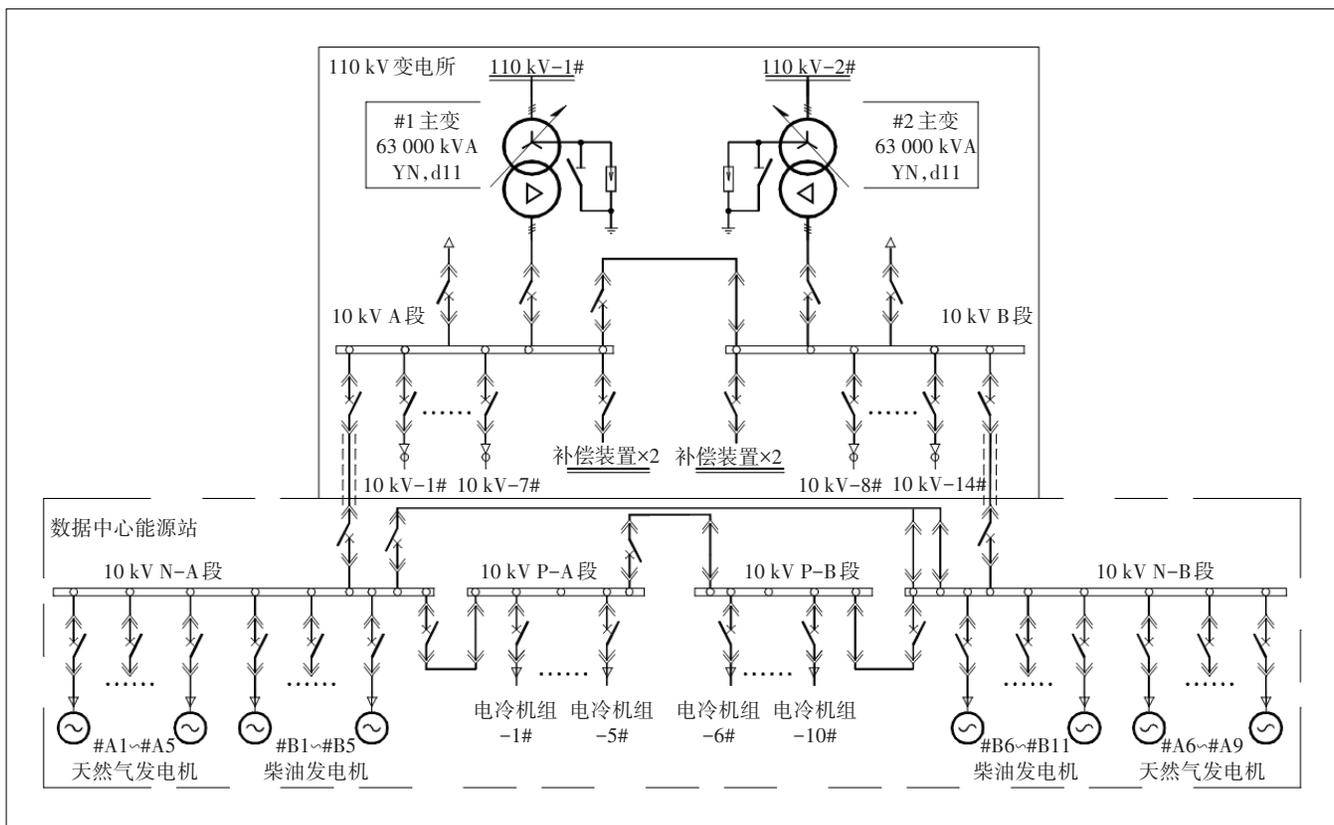


图1 采用分布式能源的数据中心供电架构示意

数据中心 100% 的制冷,即燃气中断时,63 MVA 主变容量保证数据中心和能源站的全部电力容量要求,电制冷冷水机组可以满足数据中心的全部冷量要求;双路市电中断时,燃气内燃发电机和柴油发电机联合供电,溴化锂机组制冷,也可以满足数据中心的电和冷的负荷要求;网电和发电机联合供电时,以冷定电,不足部分由市电补充。

### 2.3 数据中心供电架构

3 栋数据中心规模相同,每栋数据中心的规划总有功功率为 15 300 kW,引入 4 路 10 kV/10 000 kVA 容量市电,每两路市电之间互为备用。设置 2 套中压配电系统,采用单母线分段方式,设置 8 套 2 500 kVA×2 的低配系统,设置低压母联,每台变压器平时运行负载率为 48%,变压器总安装容量为 40 MVA,满足数据中心终期用电需求。

## 3 供电系统的运行与控制

根据与当地电网公司的协商,分布式能源站发电系统采用“以冷定电、并网上网”的运行方式,燃气内燃发电机全天 24 h 运行,柴油发电机组备用,发电量由电网公司全额收购。全天 24 h 利用发电烟气和余热驱动溴化锂机组为数据中心供冷。双路市电全部故障时,由能源站系统提供数据中心所需的全部电能和冷能。

能源站采用三层控制系统,顶层为集散控制系统(双机热备模式),设置在中央监控中心,监控人员 24 h 值班;第二层包括燃机主控制柜、燃机分控柜及溴化锂机组等主设备的控制系统;底层为各就地控制设备和仪表等。

### 3.1 2 路市电正常情况

2 路市电正常的情况下,数据中心的电源由电网获得。能源站 2 段 10 kV 发电机母线各通过 1 回联络线接入 110 kV 变电站的 10 kV 母线。变电站 10 kV 母线和能源站 10 kV 发电机母线的母联开关均处于断开位置。

### 3.2 1 路市电故障情况

1 路市电故障的情况下,备用电源自投装置动作,数据中心侧的供电系统不动作。

### 3.3 2 路市电故障情况

2 路市电故障的情况下,即 2 路 110 kV 线路或 2 台主变压器同时失电时,需要切除变电所 2 段 10 kV 母线主变低压侧进线开关和数据中心在该段上的部分负荷。此时,接于能源站同一段 10 kV 母线上的燃气内

燃发电机组各为一个小的孤网系统,需由能源站的燃机主控制柜经同期后合闸能源站侧 10 kV 母线分段开关,将所有燃气内燃发电机组统一在大孤网系统内运行,以利于负荷分配,提高系统安全性,并紧急启动各柴油发电机组补充电力缺口,然后再投入该段上的原已切除的数据中心负荷,能源站的燃气内燃发电机组和柴油发电机组共同保证数据中心和能源站的供电。

切除负荷时需要注意:该负荷容量要大于网电补充电量,但不能大于发电机的负荷突变量,以避免燃气发电机组突然甩负荷跳闸,可由数据中心安装的低频减载设备进行负荷的切除。如果数据中心低频减载设备切除负荷不成功,能源站内每段 10 kV 母线上的燃气内燃发电机组将会因负荷突变而引起跳机,导致整个能源站失电。此时,需要紧急启动柴油发电机组和燃气发电机组,启动逻辑和启动时间如下:

a) 启动第 1 台柴油发电机组,由于母线上没有电压,该柴油发电机组不需要同步,启动后直接接入 10 kV 母线,然后投入负载,耗时约为 30 s。

b) 能源站控制系统给其他 10 台柴油发电机组同时发出启动指令,启动后自动同步并网,逐台投入,由于各机组并网性能有差异,以总时间 60 s 来计。

c) 当燃气内燃发电机组因负荷突变而引起跳机后,燃气内燃发电机组需要重新启动,燃机加载指标为每 10 s 加 10%~15% 容量,可以在 100 s 的时间内全部加满载。此时柴油发电机组已全部完成并网,主控制柜给 9 台内燃机组发出同步并网指令,总并机时间按 90 s 计,然后投入负载,全部加载完成需要约 150 s,全过程总时间约  $(100+90+150)=340$  s。

综上,当市电突然断电且低频减载设备切除负荷不成功,致使内燃机不能稳定运行而全部跳闸时,7~8 min 可恢复整个数据中心供电。

## 4 供电架构的问题探讨

### 4.1 运行方式的对比

本方案采用的是不间断运行方式,目前天然气分布式能源站常用的一种方式是在峰谷运行方式,即峰电期(当日 8:00~22:00):燃气内燃发电机和电网并网运行,发电量送至 110 kV 变电站的 10 kV 母线供数据中心使用,缺额部分由电网补充;利用燃气内燃机产生的余热和烟气驱动溴化锂制冷机为数据中心供冷。谷电期(当日 22:00~次日 8:00):燃气内燃发电机停发转为备用,数据中心和能源站用电全部由电网提供,利用电

网驱动电制冷机组为数据中心供冷。

不间断运行方式下,燃气内燃发电机全天运行,溴化锂制冷系统与电制冷系统也不需要每天两次的切换投运,对发电和制冷系统保持安全稳定运行有利;同时,电制冷机组平时不再运行,可为溴化锂机组故障停运提供全冷源备份,制冷系统冗余度提高。

但是,不间断运行方式对于分布式能源站而言失去了峰谷电价的优势,运行成本高。对于电网而言,终端用户未充分发挥调峰填谷能力,经济型及电力审批方面会有难度。并且通过以上分析,整个系统的控制逻辑比较复杂。

#### 4.2 分布式能源站与数据中心的评级

数据中心的评级内容涉及各个专业,天然气分布式能源站作为数据中心供能系统,主要是影响到其供电系统、供冷系统。本文仅对与供电系统相关内容进行分析。

常规数据中心的供能几乎全部依靠电力,典型的供电系统是由中压配电、变压器、低压配电、不间断电源、末端配电以及自备发电机组等设备组成。不间断电源主要保证市电中断、发电机启动前的重要负载的持续供电。自备发电机组主要在市电中断后,为保证为负载提供持续、稳定的电力供应。A级数据中心和分布式能源站技术要求对比如表1所示。

#### 4.3 燃气内燃机和柴油发电机并机

能源站配置燃气内燃机单机容量大,相对柴油发电机启动时间长,响应速度较慢,功率突加能力弱,启动条件较高,本项目所配燃机分步加载至满载的时间约100s。柴油发电机单机容量较小,适合较小负荷的场合,但其启动时间短,单台油机系统通常在20s内即

可完成启动和加载,响应速度很快,在额定功率范围内,能承受较大的功率突加,启动条件相对较低。内燃机和柴油机本质上只是将不同燃料转化为动能的发动机不同,发电机部分本质上是一致的,从并机的控制和切入时间来说无区别,第一台油机启动直接并至母线,其他柴油发电机和燃气内燃机实时检测母线的电压、频率、相角等,在满足并机条件时并入系统。

本项目对DC楼内的变压器设置了自动投切系统,可按单变压器容量步长及燃机和油机混合的带载特性设置每步的投切延迟时间。从目前DC3楼的市电中断启动试验结果看,整个基地从市电中断到DC3楼(每栋DC楼设置8对变压器)全部加载完成的时间不超过116s。

#### 4.4 备用机组的燃料供应

本项目配置的烟气-热水溴化锂机组和电制冷冷水机组可以分别满足数据中心100%的用冷;不管是双路市电中断,还是燃气中断,均能保证数据中心的用冷。本项目的天然气为省天然气骨干网专线引入的高压气体,经能源站内自设的调压站,由双母管引至天然气发电机组。其气体压力的稳定性较城市管网高,面对“气荒”其气源的保障性也较城市管网强。

如果采用CNG储罐:建设满足12h用量的CNG储罐,大约需要的场地面积为66667m<sup>2</sup>,如果采用移动LNG储罐,必须考虑与相邻工厂边界的安全防火间距,满足12h储气量的要求,可实施难度非常大。并且双路市电中断时,不应再同时考虑燃气中断的工况,所以笔者认为,本工程符合A级数据中心对容错的要求,从安全和经济角度不必设置12h的储气量。

#### 4.5 制冷系统的末端ATS

表1 A级数据中心和分布式能源站技术要求对比

项 目	数据中心(A级)	分布式能源站(本项目)	技术对比
供电电源	应有双重电源供电	双路110kV电源引入	一致
变压器	2N	2N	一致
后备柴油发电机	(N+X)冗余(X=1~N)	燃气内燃机+柴油发电机并机(N+2)	有差异,见4.3节
后备柴油发电机的基本容量	应包括不间断电源系统的基本容量、空调和制冷设备的基本容量	包括不间断电源系统的基本容量、空调和制冷设备的基本容量,还包括能源站设备容量	一致,并且增加了对能源站的电力保障
柴油发电机燃料存储量	满足12h用油	省天然气骨干网专线引入的高压气体	有差异,见4.4节
不间断电源系统配置	2N或一路(N+1)UPS和一路市电供电	2N UPS	一致
不间断电源系统电池最少备用时间	15 min,柴油发电机作为后备电源时	20 min,燃气内燃机+柴油发电机并机作为后备电源	有差异,并机时间见3.3节,满足使用要求
空调系统配电	双路电源(其中至少一路为应急电源),末端切换;采用放射式配电系统	分别设置于两端母线,不设置就地ATS	有差异,见4.5节
变电所物理隔离	容错配置的变配电设备分别布置在不同的物理隔间内	容错配置的变配电设备分别布置在不同的物理隔间内	一致

关于制冷系统的配电,在通信机房设计早期,由于当时功率密度低,是采用单路供电或者房间级ATS供电,随着单机柜功率密度的提高,对空调系统的配电等级也在不断提高,A级数据中心要求采用双路电源末端切换的供电方式,其目的在于任何一台ATS故障,不会影响整个机房或者系统的供冷。

而对于分布式能源站,供冷架构同常规的数据中心冷冻站不同,能源站配置了2套100%冗余配置的制冷系统,即溴化锂制冷机组和电制冷机组,每套制冷系统均按N+1机组配置,且分别采用不同的母线段供电,因此,单台溴化锂机组或电制冷机组不设置末端ATS供电,也能满足电气系统任何单一故障或设备维修仍能保证制冷系统正常运行的要求。

## 5 小结

天然气分布式能源作为一种新的为数据中心供能的系统,实现了能源的梯级利用,可同时满足数据中心对电力和制冷的需求,符合国家倡导的高效环保、节能减排的要求。本项目案例为天然气分布式能源在数据中心的应用提供了参考。

a) 项目初期投资高,从经济角度考虑,天然气分布式能源项目是利用较低的运行费用来换取初期的高投资,因而适用于机房布局快、机架上架率高的客户,并且燃气内燃机组单机容量大,适合有较高的初装率的场景。

b) 由于分布式能源其架构不同于常规数据中心的双路电源+油机+冷冻站模式,对于部分新客户或定制化要求高的客户,存在接受度低的问题,对于出租性数据中心,这一点是值得建设部门和市场部门注意的问题,工程建成后,再进行改造的难度和投资都将非常大。

c) 对于采用分布式能源的数据中心的级别评定问题,建议参考Uptime的认证思路,从容错、冗余或者是否存在单点故障等使用功能来区分,可以有多重的形式选择,不宜严苛地按照某单一物理架构或硬件配置来区分,避免不必要的投资浪费。

d) 目前国家关于天然气的发展利用文件中,不管是《天然气发展“十三五”规划》(发改能源[2016]2743号),《加快推进天然气利用的意见》(发改能源[2017]1217号),还是《关于促进天然气协调稳定发展的若干意见》(国发[2018]31号)均鼓励分布式能源站的削峰填谷应用,此种运行模式对经济性是有利的,但是对于

数据中心而言,由于溴化锂机组的热惰性与电制冷机组输出差异较大,造成转换平衡时间长,机组每天的2次投切对系统的安全性和运维的熟练要求非常高,对于高可靠等级的数据中心应用时宜谨慎论证。

随着国家电力体制改革的深入,电力供应市场也将逐步放开,分布式能源站的建设也为数据中心以后灵活选择电力供应商,获得更优惠的电费价格提供了方便。随着工业用天然气价格的下降,可以预见天然气分布式能源站在数据中心工程中有着良好的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 钟志鲲,于航.数据中心采用三联供系统的适宜性分析及应用实例[J].邮电设计技术,2018(7):87-92.
- [2] 贾利访,王思文,周宇昊,等.美国分布式能源热电联产系统在数据中心的应用分析[J].发电与空调,2014,35(3):1-3.
- [3] 李毅,熊壮,刘广红.探索天然气分布式能源系统在IDC中的应用[J].邮电设计技术,2014(7):89-92.
- [4] 殷平.数据中心研究(5):燃气冷热电三联供[J].暖通空调,2017,46(7):1-8.
- [5] 李新鹏,侯振宁,陈硕.冷热电三联供在数据中心的应用[J].通信电源技术,2014(7):76-78.
- [6] 前瞻产业研究院.2018年全国及31省市数据中心相关政策汇总及解读[EB/OL]. [2019-08-07]. [http://www.sohu.com/a/273823257\\_416839](http://www.sohu.com/a/273823257_416839).
- [7] 中国信息通信研究院.数据中心白皮书(2018)[EB/OL]. [2019-06-17]. [http://www.cbdio.com/BigData/2018-10/17/content\\_5871010.htm](http://www.cbdio.com/BigData/2018-10/17/content_5871010.htm).
- [8] FRANCESCO DE ANGELIS, UMBERTO GRASSELLI. The next generation green data center: A multi-objective energetic analysis for a traditional and CCHP cooling system assessment[C]//IEEE, International Conference on Environment and Electrical Engineering. IEEE, 2016:1-6.
- [9] 数据中心设计规范:GB 50174-2017[S].北京:中国计划出版社,2017:36-37.
- [10] 石油化工企业设计防火规范:GB 50160-2008[S].北京:中国计划出版社,2008:6-9.
- [11] 3~110 kV 高压配电装置设计规范:GB 50060-2008[S].北京:中国计划出版社,2009:10-17.

### 作者简介:

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;陈邦稳,毕业于哈尔滨工业大学,高级工程师,学士,主要从事通信基础设施、网络规划和建设工作;陆源,毕业于浙江大学,高级工程师,学士,主要从事通信基础设施、网络规划和建设工作。