

# 电力调度控制中心一体化继电保护设想

丛宝丰<sup>✉</sup>, 赵德宁

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的] 为了从数据中心整体的角度提高继电保护的可靠性, 将电力调度控制中心的继电保护系统性统筹设计, 提出一种一体化继电保护设想。[方法] 从电力调度控制中心全配电架构出发, 整体统筹继电保护设计, 用一体化机构整体控制全配电设施。[结果] 根据文章的研究, 证明一体化继电保护可以极大简化原电力调度控制中心继电保护策略, 提高保护动作时间, 保证继电保护动作选择性, 进而提高供电可靠性。[结论] 提供一种一体化继电保护思路, 为后续相关产品的开发提供一种前瞻性的思路与方向。

**关键词:** 电力调度控制中心; 一体化继电保护; 可靠性

**中图分类号:** TM73; TM727.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2020)S1-0108-06

**开放科学(资源服务)二维码:**



## Integrated Relay Protection for Power Dispatch Control Center

CONG Baofeng<sup>✉</sup>, ZHAO Dening

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] In order to improve the reliability of relay protection from the point of view of data center as a whole, the relay protection system of power dispatch control center is designed entirely, and an integrated relay protection idea is proposed. [Method] Starting from the entire distribution structure of power dispatching control center, the integrated design of relay protection was coordinated, and the whole distribution facilities were controlled by an integrated mechanism. [Result] According to the research in this paper, it is proved that the integrated relay protection can greatly simplify the relay protection strategy of the original power dispatch control center, improve the protection action time, ensure the selectivity of relay protection action, and improve the reliability of power supply. [Conclusion] This paper provides an idea of integrated relay protection, which provides a forward-looking idea and direction for the development of related products.

**Key words:** power dispatching control center; integrated relay protection; reliability

### 1 当前电力调度控制中心继电保护现状

目前对于用户侧的配电架构研究相对较少, 传统用户侧已经实现模块化, 标准化设计, 但传统的配电架构已经无法适应高速发展的互联网社会。近年来数据中心呈几何级数新增, 用户侧的配电架构比以往更加复杂, 互联网的发展已经要求技术人员重新审视用户侧的配电架构。

电力调度控制中心是电网公司的中枢调度机构, 有着和数据中心一样的数据收集、处理、分发

的功能, 又有着与数据中心不同的极高可靠性、安全性的要求, 负荷分级相比国标分级更加细化<sup>[1-5]</sup>, 有些限额供电特殊情况下, 配电架构又不同以往<sup>[6]</sup>, 因此电力调度控制中心的配电架构非常复杂。

常规电力调度控制中心的配电架构如图1所示, 大楼一般为2条以上中压接入, 在高压柜做母联切换, 经有冗余设计的变压器后进入低压环节, 在低压柜中进行柴油发电机切换与移动应急发电车切换(部分移动柴油发电车还有直连设备的要求); 经低压柜分配后接入调控中心所在楼层的楼层级分配柜, 再接入UPS前端输入柜、切换柜、输出柜,

收稿日期: 2019-04-22 修回日期: 2019-05-07

基金项目: 中国能建广东院科技项目“数据中心关键技术研究”(EX03931W)

通过双路电源进入列头配电柜; 最后至机柜设备端, 层级复杂程度可见一斑。

而从实际建设过程中, 国内大部分建设单位、设计单位、施工单位仍是以传统建设模式为主, 将调控中心的配电分为3大部分 (如图 1 所示), 分别是供电局管理的中压单元, 大楼基建负责的传统中低压配电单元, 末端的技改专项工程。这样划分建设与设计范围有一定原因, 中压接入非专线部分由供电局负责, 大楼中低压配电设施的施工单位一般是土建方, 而楼内的专业数据中心则是专项单位实施。但这样的割裂就破坏了架构设计的整体性, 更不利于整体配电保护的协调。近年来实施的 EPC 工程总承包制度使得各种资源得以整合, 因平行发包而割裂继电保护的情况才逐步得到重视。

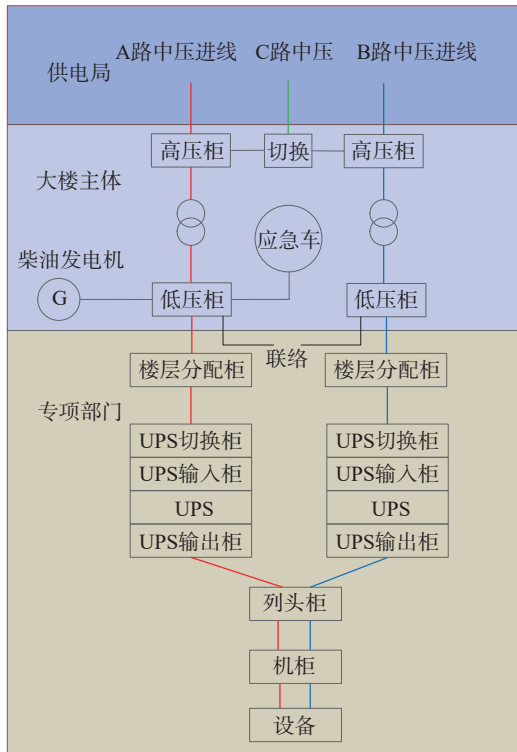


图 1 常规电力调度控制中心的配电架构

Fig. 1 Distribution architecture of conventional electric power dispatch control center

电力调度控制中心的各层级均有复杂的继电保护设施, 有中低压的三段式电流反时限保护, 有柴油发电机的应急启动, 有专项设置的 ATS 动作单元, 也有末端的 STS 静态转换单元等。除柴油发电机外, 各层级的继电保护装置还是各司其职, 并未有联动装置, 主要靠三段式保护来达到

选择性。但由于建设原因造成的设计割裂, 目前很多项目存在继电保护设计未统一整定, 虽然现状的设计可以保证一定的安全性, 但并不是最优化的继电保护策略, 继电保护很多情况并不是最优动作。

## 2 目前电力调度控制中心继电保护缺陷

### 2.1 断路器保护原理与缺陷

继电保护和自动装置的功能是在合理的电网结构前提下, 保证电力系统和电力设备的安全运行<sup>[7]</sup>, 在常规设计中, 常用三段式电流保护装置。这种装置也是低压领域保护的主力军。保护通过传统的三段式反时限曲线来达到继电保护的选择性。

根据前文分析, 目前在中低压线路上广泛采用反时限特性来进行保护的选择性, 反时限的原理如图 2 所示。

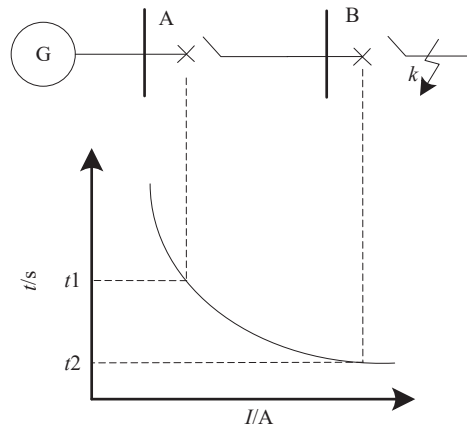


图 2 反时限特性原理图

Fig. 2 Principle diagram of inverse time-limit characteristic

通过图 2 可以清晰解释反时限保护特性, 在 k 点发生短路, 断路器 B 处短路电流大于断路器 A, 而反时限特性则是电流越大动作时间越短, 因此 B 处动作时间为  $t_2$ , A 处动作时间为  $t_1$ , 因  $t_2$  小于  $t_1$ , 所以断路器 B 先动作, 确保了选择的正确性。

实际应用中, 更多采用功能更全的三段式反时限保护。这种断路器的三段保护分别为长延时保护、短延时保护、瞬时保护, 三种保护均可调整整定电流大小, 长延时与短延时保护还可以设置延时时间。长延时作为过负荷保护的主保护, 也作为下游断路器的后备保护; 短延时的作用主要是灵活设计, 可以作为短路的主保护, 也可以作为后备保护; 瞬时保护为短路的主保护。

上下级断路器级联保护配合的选择性如图3所示:

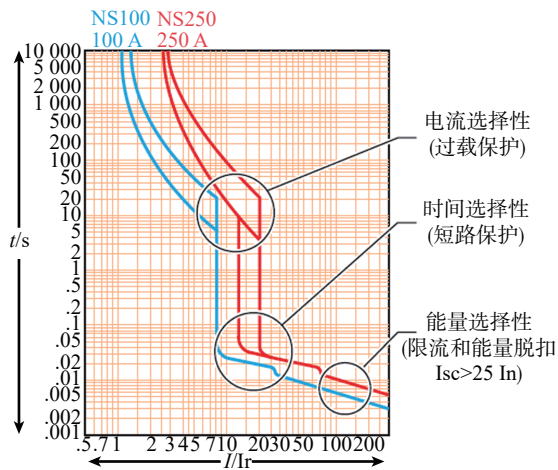


图3 断路器级联保护特性<sup>[8]</sup>

Fig. 3 Cascade protection characteristics of circuit breakers

红色曲线为上级断路器, 蓝色为下级, 在2倍  $I/I_r$  时蓝色曲线为两条, 表示根据调整不同整定时间可以达到的曲线范围。蓝色曲线呈现出3段不同形状的曲线代表长时限, 短时限, 瞬时的动作特征。

因反时限是三段式, 且2段是可调的, 所以单个断路器在动作曲线上就非常复杂, 加上上级开关的红色动作曲线, 级联断路器的动作需要保证蓝色与红色在任意电流上曲线均不重合才能达到选择性, 整定值设计非常复杂。

本文仅以2个断路器的级联来阐述断路器整定的复杂性, 而实际调度控制中心的配电远不止2个断路器, 整定复杂, 给设计人员带来巨大难度, 且因建设的层面割离, 整定很难做到统一。很多省级以上调度控制中心已经逐步认识到此问题, 开始试点单独立项进行保护整定值的统一化。

## 2.2 ATS原理与缺陷

ATS为双电源自动切换开关, 常见于UPS前端与机房动力配电系统中, ATS原理为通过电磁机构进行两路电源的自动切换, 而ATS作为末端切换开关与前端的多级电源选择机构在功能上的本质是一致的, 仅所带负载范围不同。

通过图1可以发现在配电架构中除了中压电源有备自投外, 低压柜体间也有备自投装置, 这些备自投装置作用也都是双路电源选择, 这样双电源的选择在前端与末端存在多级选择, 一般备自投的切

换时间为1 500 ms, 快切在100 ms左右<sup>[9]</sup>, 而CB级ATS切换时间为1~3 s, PC级ATS切换时间可以做到100 ms以内, 这样前端与末端ATS在切换时间上有很大重合。这样就导致当末端ATS动作时间小于前端备自投时, 失电时末端ATS先切换, 备自投后动作, 如果ATS带自复功能时主电路复电, ATS将第二次动作, 而不带自复功能的ATS此时将切换到备用电路, 需要运行人员根据现场情况重新复位。

这种设计缺点就是带自复功能的ATS将频繁动作从而减少ATS可靠性, 而不带自复功能的ATS则增加运行人员的操作频率。

## 2.3 UPS配电架构缺陷

根据某电网公司电力调度控制中心的配电指南<sup>[10]</sup>, UPS的典型架构图如图4所示。在设备输入柜开关 $k_1, k_2, k_3$ 规格是完全相同的, 这是因为UPS架构所决定的, 这种2N架构正常运行时UPS负载仅为一半, 当一路市电掉电,  $k_1$ 满载,  $k_2, k_3$ 半载; 当UPS2检修, 则 $k_1, k_2$ 满载。

而正是由于这三个开关完全一致, 所以这种继电保护有两个缺陷: 一是三个开关完全一致, 电气距离也基本相同, 末端短路时短路电流相同, 很难进行保护的选择性; 二是正常运行情况下UPS负载率不能超过一半, 超过一半后2N系统另一台UPS无法转接负荷, 但 $k_2$ 的大小是按满载UPS设计的, 因此 $k_2$ 无法对UPS进行半负载状况下的过载保护。

此外UPS设置的外置检修旁路与UPS逆变器输出有短路风险, 需要外置挂锁, 这种挂锁断路器在数字化发展的今天, 也有进一步优化空间。

## 3 借鉴柴油发电机控制策略

柴油发电机是数据中心配电的一大特征, 如今已经广泛应用于各种数据中心中。柴油发电机是应急电源, 与市电电源接入有着严格的要求, 因此并网退机都有着严格的要求。

柴油发电机的控制系统分为并机控制、负载控制、供油控制三大系统, 控制系统主要由主控柜与每台柴油发电机的控制柜(GCP)组成, 控制系统是一种主从树状控制架构。主控柜(MCP)用来协调控制整个系统的运行, 通过PLC编程, 实现系统的逻辑控制, 包括投入和切除机组, 优先级设定

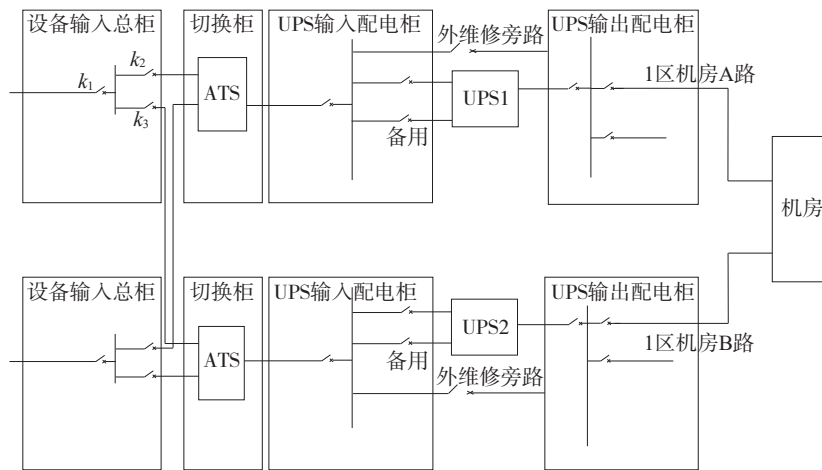


图4 UPS典型架构图

Fig. 4 Typical UPS architecture diagram

等。每台发电机组控制柜（GCP）控制一台发电机组，配备自动同步与负载分配模块，通过控制机组得转速与电压，来实现机组互相之间的并联及负载均衡。同时也通过广角模拟表，来监控发电机组输出，如电压、电流、功率因数、有功、无功等，对应机组的高压开关由GCP来控制其分/合。

当市电故障时，系统收到信号，通过设定的时间延迟（PLC设定，可根据实际情况灵活修改）后，给全部机组送出启动信号（信号送至GCP，GCP再送信号至各机组的机上控制器），所有机组同时启动。率先达到90%额定频率和额定电压的机组，GCP发出信号，自动闭合真空断路器，机组合闸到应急母线。其他发电机与母线同步后，自动合闸到母线。

当市电恢复时，则全部在线机组通过主控柜MCP断开机组进线断路器，发电机组自动冷却延时后停机。

由此可以看出数据中心的柴油发电机自动控制策略已经达到较高程度，但这种自动控制也仅限于柴油发电机一个环节，未扩展至全配电领域，受此启发，复杂的电力电控中心的继电保护环节可以进行一体化控制

#### 4 一体化继电保护架构

一体化继电保护除保护功能外，更多是协调整个调度控制中心的配电一体化架构，整合所有保护与自动化单元，从顶层设计优化保护配置，避免保护越级，避免自动化装置频繁动作，智能化识别运

行场景，实时末端负载三相平衡，减少运维人员的工作量。通过一体化继电保护装置，机房的DCIM监控可以直接连接读取数据，大大减少原来架构的分散性。

一体化继电保护装置是配电架构的主控单元，必须保证可靠性，因此必须设计冗余装置，为此提出两种设计构想，一种是主从继电保护一体化装置，主控柜与备份柜同时工作，放置于不同物理路径，当互为备份。另一种架构为分散控制架构，每一级控制单位均有主控功能，默认某个为主控单元，当此单元停止工作后，根据设计顺序，其他单元继续接管，无论采用何种架构，都将具有手动接管能力，以备不时之需，设计的架构图如图5、图6所示：

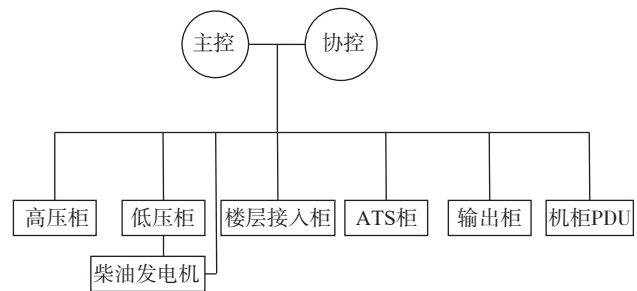


图5 主从控制架构图

Fig. 5 Main and standby control architecture diagram

控制单元可采用PLC编程，根据具体设计架构预先编制好保护控制策略，从整体的角度设置继电保护，控制各级保护动作时间，断路器投切顺序，并联动柴油发电机，应急发电车等自动化装置，并

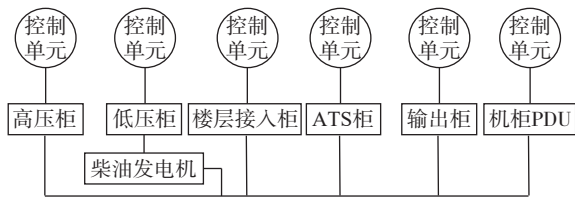


图6 分散控制架构图

Fig. 6 Decentralized control architecture diagram

可以设置运行场景模式，应对峰谷差别。

末端执行单元在过渡阶段可在断路器外增加机械装置，主控单元控制信号至末端操作结构执行，最终的末端控制单元将与断路器整合，形成一体化装置。

## 5 一体化继电保护功能与优点

针对上文分析目前调控中心配电控制的薄弱点，逐个优化。

1) 开关完全选择性。首先采集所有检测点的电压电流，形成控制输入量，根据配电架构，从高压进线单元逐级到末端机柜PDU，三段式保护逻辑全部由主控单元PLC一体化设计，从原来的保护主要靠各个断路器调整，改变为在主控单元统一设置，大大减少了运维人员调整整定值的工作量，同时可以避免因建设割裂造成的整定值调整的不统一性。一体化设计可以保证各级开关的完全选择性，上下级开关动作曲线完全不重合，也简化了传统整定值设定的繁琐性。

2) 动态配电架构调整。调控中心的配电可靠性要求极高，现有设计架构也有多种投切模式，实际班组在运行中更有复杂的负荷保电策略与应急预案，因此新一代一体化继电保护应该具有场景模式功能，可以根据实际情况实时改变配电架构。

当一路中压失电时，中压备供优先投切，低压侧所有自动单元接受主控单元闭锁信号不动作。当变压器或低压母线故障时，低压母联断路器优先动作，中压与末端自动化装置闭锁。当所有市电失电时，发电机启动并网，其余自动化装置不动作。当末端UPS电缆进线失电时，仅末端ATS动作。所有有可能造成合闸短路的断路器设定闭锁装置，仅在特定逻辑下解除闭锁。

一体化继电保护装置还可以在主控单元设置负荷优先级应用场景，当发生极端灾害时，如三路电

源失电，柴油发电机无法保障油量供给时，可自动转为极端保电模式，切除大屏幕与非核心调度职能设备，延长调控中心的供电时间。

### 3) 动态整定值设定

主控单元可以根据配电的运行模式动态调整断路器的整定值，以图4为例，当2N架构运行时，每台UPS平均带载， $k_2$ 与 $k_3$ 整定值自动调整为50%，防止整系统超载，当一台UPS退运时，提前将整定值调整为100%，以保证可以转供电。

调控中心的负荷根据业务系统的调整逐步增加，因此很多调控中心的建设是分批建设的，主控单元可以根据设定的场景模式控制开关整定值，本期设备较少时整定值调整较低，当终期建设后，自动调整断路器至最大值。

### 4) 三相平衡调节

调控中心的机柜设备基本为单相设备，根据实际运行经验，很多供电局专门立项进行在线三相平衡调整，为此浪费了巨大的人力物力，而一体化主控单位可以根据提前编程，利用智能化监控仪表反馈给主控单元的三相电流数据判断三相平衡状况，控制末端非重要负荷断路器投切，实现部分单电源负荷的在线调相，因为是预先设计投切顺序，相比传统的人为调相，可靠性极大提升。

### 5) 物联网与监控

一体化继电保护装置要应用互联网思维，保护装置的一体化更加方便监控，将保护信号传递至加密的互联网，运维人员可以通过远程APP进行遥控、遥测、遥信等功能。

### 6) 建设与运维

一体化继电保护装置的实施将对调控中心的配电建设与运维产生颠覆性的影响，从原先各平行发包商的不统一整定，到出厂既设置完全，从运行人员对各配电房的巡检，到手机APP直接统一监控与控制，一体化继电保护装置将大大减少施工周期，提高运维便捷性。

## 6 结论

目前低压用户侧配电网的继电保护还在沿用几十年前的技术，应用在日新月异的电力调度控制中心中虽然可以保证一定的可靠性，但却不完美，仍然存在断路器越级保护，自动装置频繁投切等问

题, 需要巨大的人力物力进行设计与维护, 这与物联网的数字化精神背道而驰。如何将复杂的调控中心配电网的控制一体化、简约化、自动化、数字化是本文的研究方向, 本文从传统调控中心的配电架构进行分析, 找出传统架构的薄弱环节, 通过整体的角度去设计调控中心的继电保护与控制策略, 最后提出一种前瞻性的配电一体化继电保护设想, 希望这种设想可以为后续的产品提供一个发展的思路与方向。

#### 参考文献:

- [1] 丛宝丰, 李光泰. 基于负荷层级设计的电力调控中心供电可靠性研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(3): 57-61.  
CONG B F, LI G T. The research of power reliability in power dispatch [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(3): 57-61.
- [2] 周鹏, 李光泰. 电网调度专业用房基于负荷分级的配电系统设计 [J]. 供用电, 2012, 29(5): 35-41.  
ZHOU P, LI G T. Design on distribution system for load classification of professional computer room in power grid dispatching [J]. Power Supply, 2012, 29(5): 35-41.
- [3] 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.  
Ministry of Housing and Urban and Rural Construction in People's Republic of China. Code for design of data centers: GB 50174—2017 [S]. Beijing: China Planning Press, 2017.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 低压配电设计规范: GB 50054—2011 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.  
Ministry of Housing and Urban and Rural Construction in People's Republic of China. Code for design of low voltage electrical installations: GB 50054—2011 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 供配电设计规范: GB 50052—2009 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.  
Ministry of Housing and Urban and Rural Construction in People's Republic of China. Code for design electric power supply systems: GB 50052—2009 [S]. Beijing: China Planning Press, 2010.
- [6] 丛宝丰. 数据中心限额供电下的配电架构研究 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(1): 106-112.  
CONG B F. The research on IDC low-voltage distribution structure under limited power supply [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(1): 106-112.
- [7] 钟景华, 李泽平. 工业与民用配电设计手册第四版 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2017: 513-514.  
ZHONG J H, LI Z P. Handbook for design of industrial and civil distribution [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2017: 513-514.
- [8] 施耐德电气有限公司. 施耐德产品手册 SCDOC927-LV [M]. 北京: 施耐德电气有限公司, 2019.  
Electric Schneider. Schneider product manual SCDOC927-LV [M]. Beijing: Schneider Electric, 2019.
- [9] 彭敏. 高压变电所电源快速切换装置的应用 [J]. 兰州石化职业技术学院学报, 2016, 16(1): 27-29.  
PENG M. Application of fast switching device of power supply in high voltage substation [J]. Journal of Lanzhou Petrochemical College of Technology, 2016, 16(1): 27-29.
- [10] 南方电网公司. 南方电网调度自动化系统不间断电源配置规范: Q/CSG 115001 [S]. 广州: 南方电网公司, 2012.  
South China Power Grid. Specification for uninterruptible power supply configuration in automation systems of CSG: Q/CSG 115001 [S]. Guangzhou: South China Power Grid, 2012.

#### 作者简介:



丛宝丰 (通信作者)

1987-, 男, 辽宁鞍山人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司工程师, 硕士, 主要从事数据中心等基础环境配套工作 (e-mail) caji@126.com。

丛宝丰

#### 赵德宁

1971-, 男, 湖南湘潭人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司高级工程师, 学士, 主要从事数据中心等基础环境配套工作 (e-mail) zhaodening@gedi.com。

(责任编辑 李辉)