

# 第 1 章 概 述

随着云计算、大数据技术的大量应用以及政策层面的大力支持，数据中心由传统的业务支撑部门逐渐转变成核心战略部门，由此对数据中心的要求也不断提高，如设备性能不断增强，功率密度越来越高等。IT 核心设备对供电可靠性以及安全和节能的要求，也意味着数据中心供配电系统要提供更加稳定可靠、绿色节能和柔性可扩展的电能，因此对数据中心供配电系统运行维护就显得尤其重要。本章先来介绍一下数据中心的概况。

## 1.1 数据中心概述

### 1.1.1 数据中心的定义

数据中心（Internet Data Center）是基于互联网，为集中式收集、存储、处理和发送数据的设备提供运行维护的设施基地并提供相关的服务。数据中心可以在一整栋建筑物中，也可以在一栋建筑物的一部分空间中。每个数据中心会有大量服务器，这些服务器为各大互联网科技公司提供存储和运算服务。

### 1.1.2 数据中心的构成

在通常情况下数据中心由计算机房和支持空间组成，是电子信息的存储、加工和流转中心。数据中心内放置核心的数据处理设备，是政府机构、企事业单位的信息中枢。数据中心的建立是为了全面、集中、主动并有效地管理和优化 IT 基础架构，实现信息系统较高水平的可管理性、可用性、可靠性和可扩展性，保障业务的顺畅运行和服务的及时提供。数据中心主要功能区组成如图 1-1 所示。

主机房：主要指电子信息处理、存储、交换和传输设备的安装和运行的建筑空间，包括服务器机房、网络机房、存储机房等功能区域。

辅助区：指用于电子信息设备和软件的安装、调试、维护、运行监控和管理的场所，

包括进线间、测试机房、监控中心、备件库、维修室等区域。

支持区：指支持并保障完成信息处理过程和必要的技术作业的场所，包括变配电室、UPS 室、电池室、空调机房、消防设施用房等。

行政管理区：指用于日常行政管理及客户对托管设备进行管理的场所，包括工作人员办公室、门厅、值班室、盥洗室、更衣间等。

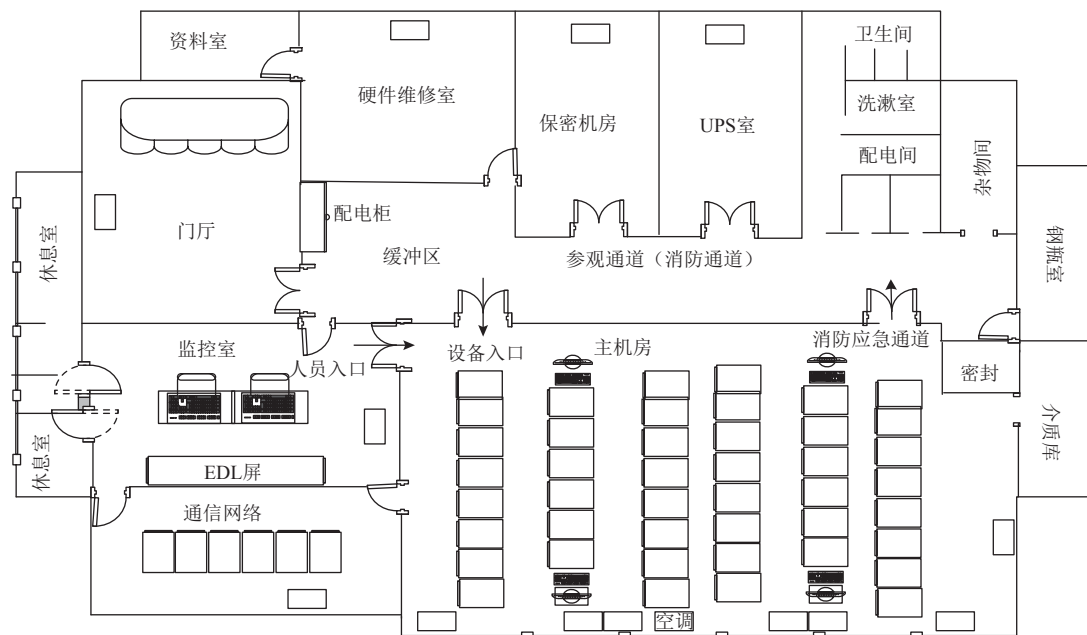


图 1-1 数据中心主要功能区组成示意图

### 1.1.3 数据中心的分级

在互联网广泛应用的大背景下，数据中心日益走向大容量、高密度化，特别是云计算技术的应用，更加加剧了能源的巨大消耗。如何高效地管理数据中心的数据，轻松实现对数据的访问，同时又能保证数据的安全；如何在提高能源利用率的同时又能保证数据中心的可用性，这些方面是所有数据中心管理者最关心的问题。实际上这一系列的问题在数据中心规划、设计、建造时就已经大体确定了，这就是数据中心分级。

1. 按国家标准 GB 50174—2017

国家标准 GB 50174—2017《数据中心设计规范》从数据中心的使用性质以及数据丢失或网络中断在经济或社会上造成的损失和影响程度，将数据中心分为 3 个等级。

### 1) A 级数据中心

A 级数据中心的基础设施宜按容错系统配置，即在电子信息系统运行期间，基础设

施在一次意外事故后,或者单系统设备维护或维修时,仍能保证电子信息系统正常运行,其可靠性和可用性等级最高。

### 2) B 级数据中心

B 级数据中心的基础设施宜按冗余系统配置,即在电子信息系统运行期间,基础设施在冗余能力范围内,不得因设备故障而导致电子信息系统运行中断,其可靠性和可用性等级居中。

### 3) C 级数据中心

C 级数据中心的基础设施宜按满足基本需要配置,即在基础设施正常运行的情况下,保证电子信息系统运行不中断,其可靠性和可用性等级最低。

## 2. 按 Uptime Tier 等级认证

美国 Uptime Tier 是全球公认的数据中心标准组织和第三方认证机构,Uptime Tier 认证是数据中心的权威认证,包括设计、建造、运营认证。其中设计认证将数据中心的基础设施分为 4 个等级。

### 1) I 级数据中心

I 级数据中心的基础设施按基本(不冗余)系统配置,由非冗余设备容量( $N$ )及一个单一的非冗余分配路径为关键环节提供服务。

### 2) II 级数据中心

II 级数据中心的基础设施按有冗余系统配置,由冗余设备容量( $N+1$ )及一个单一的非冗余分配路径为关键环节提供服务。

### 3) III 级数据中心

III 级数据中心的基础设施按有可并行维护的冗余系统配置,由冗余设备容量( $N+1$ )及多个分配路径为关键环节提供服务。任何时候,只需一个分配路径为关键系统提供服务(其他分配路径则用于备份),所有 IT 设备均为双电源供电。

### 4) IV 级数据中心

IV 级数据中心的基础设施不但按有冗余系统配置,还兼有容错系统配置。由多个独立的物理隔离系统提供冗余容量设备( $2N$ )及多个独立的、不同的、激活的分配路径同时为关键系统提供服务。

## 3. TIA-942

TIA-942 即美国《数据中心电信基础设施标准》,经美国电信产业协会(TIA)、TIA 技术工程委员会(TR42)和美国国家标准学会(ANSI)批准,每 5 年修订一次,为设计和安装数据中心或机房提供要求和指导方针。其分级标准与 Uptime Tier 一致。

## 1.2 数据中心供配电系统

一个完善的机房供电系统是保证机房服务设备、关键网络设备、场地设备、辅助设备用电安全和可靠的基本条件。高品质的机房供电系统体现在：无断电故障、高容错；在不影响负载运行的情况下可进行在线维护；有防雷、防火、防水等保护功能。

### 1.2.1 电力系统的组成

一个完整的电力系统由分布在各地的各种类型的发电厂、升压和降压变电所、输电线路及电力用户组成，它们分别完成电能生产、电压变换、电能输配及使用。电力系统输配电示意图如图 1-2 所示。

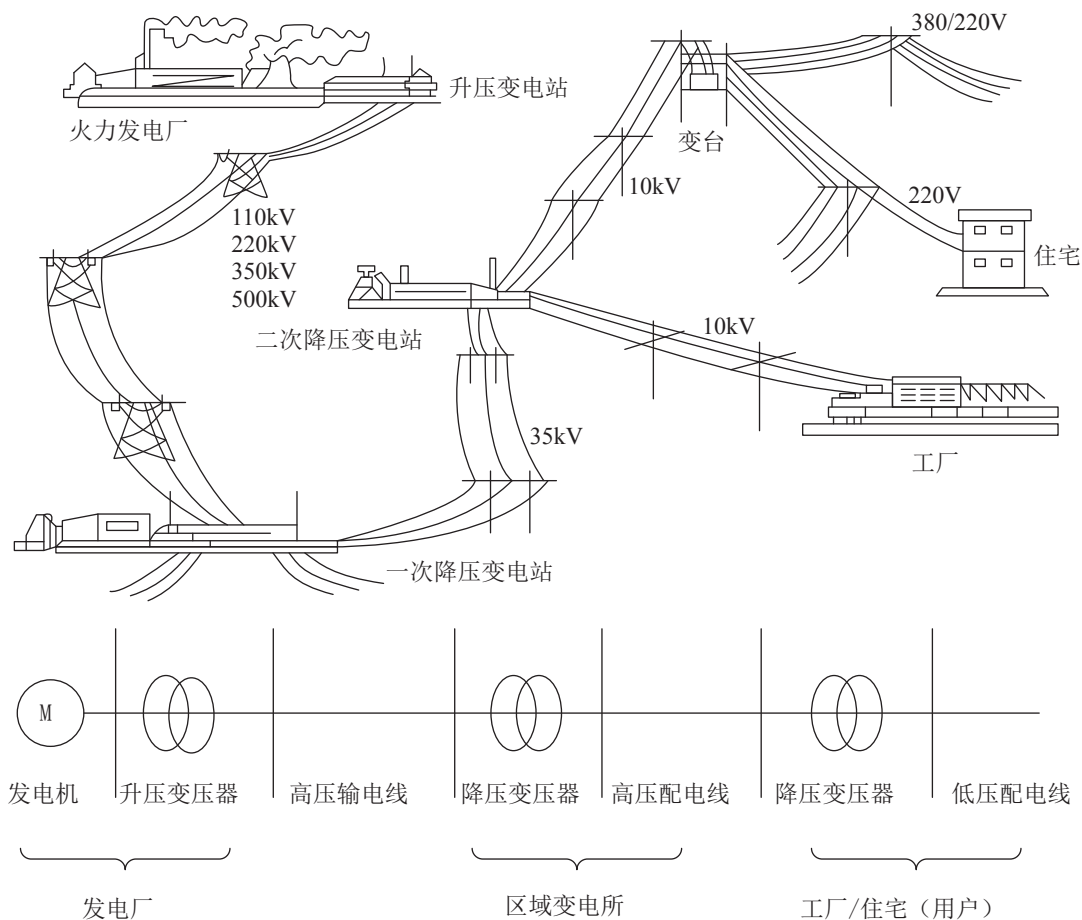


图 1-2 电力系统输配电方式示意图

电网电压是有等级的。电网的额定电压等级是根据国民经济发展的需要、技术经济的合理性以及电气设备的制造水平等因素，经全面分析论证，由国家统一制定和颁布的。

## 1. 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压和电网的额定电压一致。实际上，由于电网中有电压损失，致使各级电网实际电压偏离额定值。为了保证用电设备的良好运行，国家对各级电网电压的偏差均有严格规定。显然，用电设备应具有比电网电压允许偏差更宽的正常电压范围。

## 2. 发电机的额定电压

发电机的额定电压一般比同级电网额定电压高出 5%，用于补偿电网上的电压损失。

## 3. 变压器的额定电压

变压器的额定电压分为一次绕组额定电压和二次绕组额定电压。对于一次绕组额定电压，当变压器接于电网末端时，性质上等同于电网上一个负荷（如工厂降压变压器），故其额定电压与电网一致；当变压器接于发电机引出端时（如发电厂升压变压器），则其额定电压应与发电机额定电压相同。二次绕组额定电压是指空载电压，考虑到变压器承载时自身电压损失（按 5% 计），变压器二次绕组额定电压应比电网额定电压高 5%。当二次侧输电距离较长时，还应考虑到线路电压损失（按 5% 计），此时，二次绕组额定电压应比电网额定电压高 10%。

### 1.2.2 数据中心供配电系统的组成

数据中心供配电系统主要由高低压配电系统、应急电源系统、不间断电源系统、精密列头柜及电源分配单元（Power Distribution Unit, PDU）系统、照明及应急照明系统、防雷接地系统、布线系统等组成。数据中心机房配电系统的主要设备如图 1-3 所示，供电运行示意图如图 1-4 所示。



高低压配电系统



UPS系统



精密列头柜系统



应急电源系统



服务器机柜系统



PDU系统

图 1-3 数据中心机房配电系统

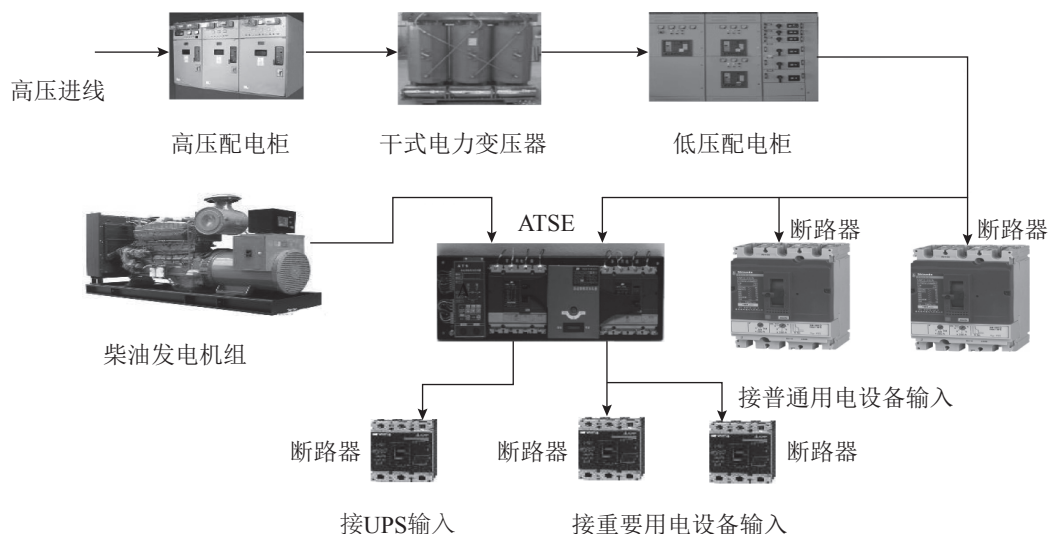


图 1-4 供配电运行示意图

数据中心供配电系统各组成说明如下。

(1) 高压配电系统主要由高压配电一次设备和与之相关的二次设备组成。一次设备主要包括高压开关柜、高压母线、高压断路器、氧化锌避雷器、高压电缆、接地开关、互感器、变压器等；二次设备主要有继电保护装置、计量装置、测量装置、指示仪表、操控电路、温湿度控制电路等。

(2) 低压配电系统主要由配电装置及配电线路组成，主要有低压配电柜、动力和照明线路等，包括高低压断路器、空气开关、负荷开关、控制开关、接触器、继电器、低压计量及检测仪表等设备。高低压配电系统的主要作用：传输和分配电能。

(3) 应急电源系统主要包括柴油发电机组和蓄电池组。

(4) 不间断电源系统主要是指由蓄电池组和 UPS 主体设备组成的供电系统。

(5) 照明和应急照明系统主要是为满足机房正常运行和人员工作的光线要求。

(6) 布线系统主要是为了让数据中心结构化布线的规划与设计符合国家规范。

(7) 防雷和接地系统的主要作用是，通过安装合理的设备和合理的布线防止外部和内部引起的线路过电压对机房设备及人员安全造成的损害，主要由防雷设备浪涌保护器（surge protective device, SPD）和接地设备组成。

### 1.2.3 数据中心对供配电系统的要求

任何现代化的 IT 设备都离不开电源系统，数据中心供配电系统是为机房内所有需要动力电源的设备提供稳定、可靠的动力电源支持的系统。供配电系统于整个数据中心系统来说有如人体的心脏 - 血液系统。

## 1. 数据中心对供配电系统的总体要求

(1) 连续：是指数据中心的供电系统不间断供电。数据中心的 IT 设备在正常运转过程中，有时会遇到市电突然断电或市电电压出现波动等情况，这对于 IT 设备的正常运行将会产生相当大的影响。如果在数据中心供配电系统中使用正确的组网方式，并且选择合适的 UPS，则数据中心 IT 设备的正常供电切换时间就会提高到小于 1s 级的精度，IT 设备的供电就避免了中断现象，这样就有效地保证了电源的连续性。

(2) 稳定：是指数据中心运行所需要的供电电压频率保持相对稳定，波形失真小。供电电源质量的稳定性是 IT 设备正常运行的基础性保障，也是保证数据安全的基本保证，因此一般需要在数据中心设置 UPS 电源，当电网无法长时间处于要求的指标时，利用 UPS 能够确保电源的稳定。

(3) 平衡：是指保障数据中心供配电系统的三相电源平衡，即相角平衡、电压平衡和电流平衡。系统运行产生的负荷应当在三相间进行平衡分配，保证设备不会由于负载不平衡导致某相负荷过大而发生故障，确保各项供电设备的正常运行。

(4) 分类：是指对数据中心运行的 IT 设备及其外围辅助设备按照不同的性质进行分类，然后再根据不同的供电要求分别处理供配电。分类的原因在于不同的设备对于电源以及电流负荷的要求不同。为了满足不同要求的设备对供配电要求，采用不同的供电系统，能够在保证供配电系统正常运转的基础上，节约运行成本。

## 2. 数据中心对供电电源电能质量的要求

按照数据中心设计规范 GB 50174—2017 的要求，各级数据中心交流电供电电源质量应根据电子信息设备交流供电电源质量等级，按 GB 50174—2017 附录 A 电子信息设备交流供电电源质量要求执行，如表 1-1 所示。

表 1-1 数据中心供电电源电能质量执行要求

| 项 目          | 技 术 要 求  |     |     | 备 注         |
|--------------|----------|-----|-----|-------------|
|              | A 级      | B 级 | C 级 |             |
| 静态电压偏移范围 /%  | -10 ~ +7 |     |     | 交流供电时       |
| 稳态频率偏移范围 /Hz | ±0.5     |     |     | 交流供电时       |
| 输入电压波形失真度 /% | ≤ 5      |     |     | 电子信息设备正常工作时 |
| 允许断电持续时间 /ms | 0 ~ 10   |     |     | 不同电源之间进行切换时 |

## 3. 各级数据中心供配电系统规定

### 1) A 级数据中心供配电系统规定

A 级数据中心供配电系统规定如下。

(1) 应由双路电源供电，并应配置 10kV 或 0.4kV 备用电源；备用电源可采用柴油发电机系统，也可采用供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路，如图 1-5 所示。

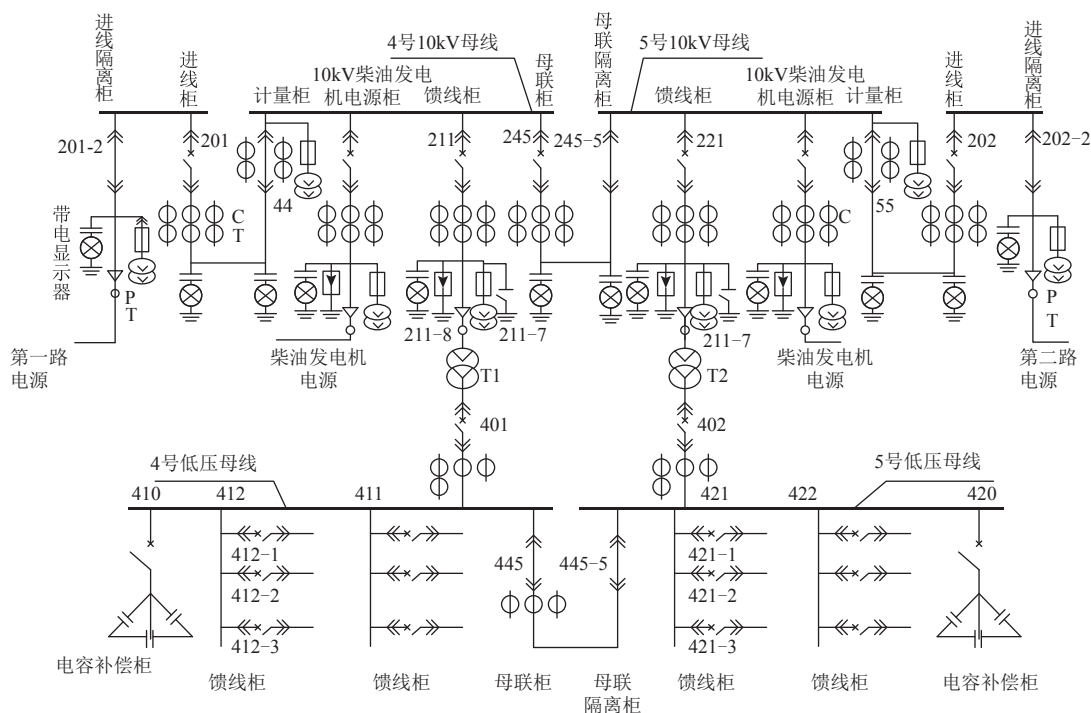


图 1-5 A 级数据中心机房供配电图

(2) 低压配变电系统宜采用  $M(1+1)$  冗余 ( $M=1, 2, 3, \dots$ )，系统主接线应采用单母线分段，并应设分段开关。

(3) 低压配变电系统依据其工作特点可采用 DR、RR 系统配置。DR 配置即有 3 组低压配变电系统互为备份，当其中 1 组系统出现故障，利用剩余 2 组系统供电，保证后级设备的正常运行。RR 配置即有 1 组低压配变电系统为其他几组系统冗余备份，当其中 1 组系统出现故障，利用备份系统供电，保证后级设备的正常运行。

(4) 不间断电源系统应按  $2N$  或  $M(N+1)$  冗余 ( $M=2, 3, 4, \dots$ ) 配置，当满足下列要求时，可采用不间断电源和市电电源相结合的配置方式：

- ① 设备或线路维护时，应保证电子信息设备正常运行。
- ② 市电直接供电的电源质量应满足电子信息设备正常运行的要求。
- ③ 柴油发电机系统应能承受容性负载的影响。
- ④ 电子信息设备向电网注入的谐波量应符合国家标准的规定。

(5) 不间断电源系统电池备用时间应不少于 15min。

说明：不间断电源系统须保证市电失电、发电机组正常供电之前的系统不间断运行。后备时间主要包括两路市电停电、发电机组延时起动、发电机组起动成功及并机完成时间、市电与发电机组转换时间。

(6) 机房设备用空调系统配电应由双路电源供电，冷冻水循环泵及末端空调宜采用不间断电源供电。

(7) 容错配置的配变电系统、不间断电源系统等,应分别布置在不同的物理隔间内。

(8) 监控内容应包括:机房环境量监控、机房空调系统、供配电系统、不间断电源系统、蓄电池、柴油发电机系统、主机集中监控和管理系统。A 级数据中心宜监控每只蓄电池的电压、内阻。

A 级数据中心供配电要求可按表 1-2 规定。

表 1-2 A 级数据中心供配电要求

| 供电系统                | A 级数据中心配置要求                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------|
| 供电电源                | 应由双重电源供电                                                  |
| 供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路 | 可作为备用电源                                                   |
| 变压器                 | 应满足容错要求,可使用 $2N$ 系统,也可使用其他避免单点故障的系统配置                     |
| 后备柴油发电机系统           | 应使用 $N+X$ 冗余 ( $X=1 \sim N$ )                             |
| 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                              |
| 柴油发电机燃料存储量          | 宜满足 12h 用油                                                |
| 不间断电源系统配置           | 宜使用 $2N$ 或 $M(N+1)$ ( $M=2, 3, 4, \dots$ ), 其中 $N \leq 4$ |
|                     | 可使用一路 $(N+1)$ UPS 和一路市电供电方式                               |
|                     | 可使用 $2N$ 或 $N+1$ 冗余                                       |
| 不间断电源系统自动转换旁路       | 应设置                                                       |
| 不间断电源系统手动维修旁路       | 应设置                                                       |
| 不间断电源系统电池最少备用时间     | 15min (柴油发电机作为后备电源时)                                      |
| 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, 应采用放射式配电系统                      |
| 变配电所物理隔离            | 容错配置的变配电设备应分别布置在不同的物理隔间内                                  |
| 电池监控系统              | 应检测监控每一块蓄电池的电压、内阻、故障和环境温度                                 |

## 2) B 级数据中心供配电系统规定

B 级数据中心供配电系统规定如下。

(1) 供电宜采用双路电源,当只有一路电源时,应设置备用电源,如图 1-6 所示。

(2) 低压配变电系统宜采用  $M(1+1)$  冗余 ( $M=2, 3, 4, \dots$ )。

(3) 不间断电源系统应按  $N+1$  冗余配置,也可采用  $N$  不间断电源和市电电源相结合的配置方式,市电电源应满足“A 级数据中心供配电系统规定”中第(4)条①~④款的要求。

(4) 当柴油发电机组作为备用电源时,不间断电源系统的电池备用时间宜不少于 15min。

(5) 机房设备用空调系统电源宜采用双路供电。

(6) 监控内容应包括:机房环境量监控、机房空调系统、供配电系统、不间断电

源系统、蓄电池、柴油发电机系统、主机集中监控和管理系统。B 级数据中心宜监控每组蓄电池的电压、内阻。

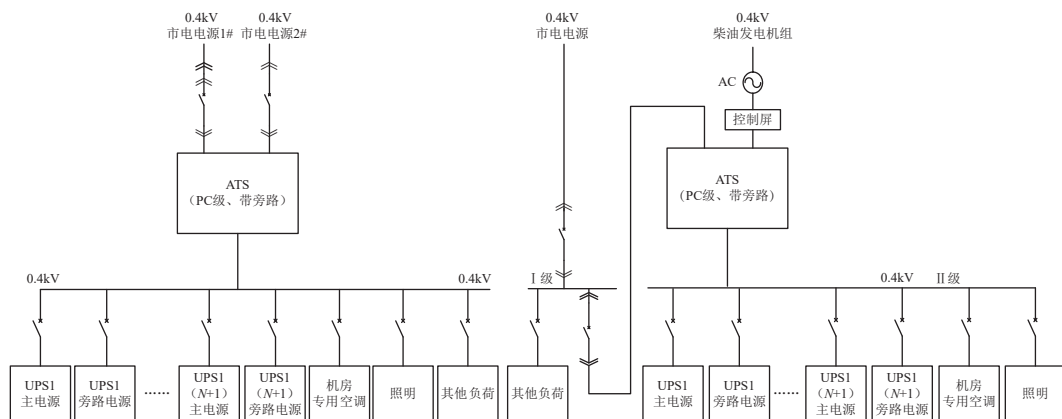


图 1-6 B 级数据中心机房供配电图

B 级数据中心供配电要求可按表 1-3 规定。

表 1-3 B 级数据中心供配电要求

| 供电系统                | B 级数据中心配置要求                          |
|---------------------|--------------------------------------|
| 供电电源                | 宜由双重电源供电                             |
| 供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路 |                                      |
| 变压器                 | 应满足冗余要求，宜采用 $N+1$ 冗余                 |
| 后备柴油发电机系统           | 当供电电源只有一路时，须设置后备柴油发电机系统，宜采用 $N+1$ 冗余 |
| 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         |
| 柴油发电机燃料存储量          |                                      |
| 不间断电源系统配置           | 宜采用 $N+1$ 冗余，其中 $N \leq 4$           |
| 不间断电源系统自动转换旁路       | 应设置                                  |
| 不间断电源系统手动维修旁路       | 应设置                                  |
| 不间断电源系统电池最少备用时间     | 7min（柴油发电机作为后备电源时）                   |
| 空调系统配电              | 双路电源，末端切换，宜采用放射式配电系统                 |
| 变配电所物理隔离            |                                      |
| 电池监控系统              | 应检测监控每一组蓄电池的电压、故障和环境温度               |

### 3) C 级数据中心供配电系统规定

C 级数据中心供配电系统规定如下。

- （1）应配置不间断电源系统，如图 1-7 所示。
- （2）电池备用时间应根据实际需要确定。

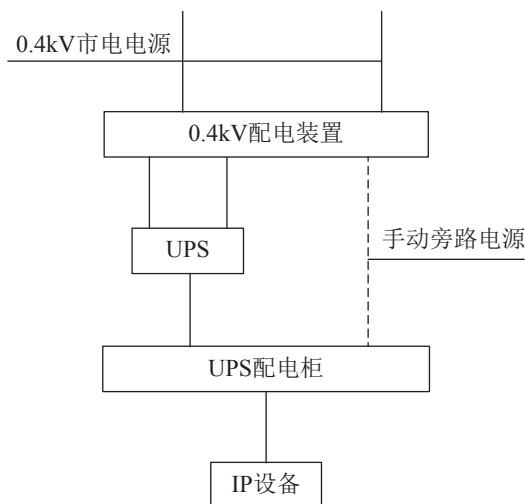


图 1-7 C 级数据中心机房供配电图

C 级数据中心供配电要求可按表 1-4 规定。

表 1-4 C 级数据中心供配电要求

| 供电系统                | C 级数据中心配置要求                     |
|---------------------|---------------------------------|
| 供电电源                | 应由两回线路供电                        |
| 供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路 |                                 |
| 变压器                 | 应满足基本需要（ $N$ ）                  |
| 后备柴油发电机系统           | 不间断电源系统的供电时间满足信息存储要求时，可不设置柴油发电机 |
| 后备柴油发电机的基本容量        |                                 |
| 柴油发电机燃料存储量          |                                 |
| 不间断电源系统配置           | 应满足基本需要（ $N$ ），其中 $N \leq 4$    |
| 不间断电源系统自动转换旁路       |                                 |
| 不间断电源系统手动维修旁路       |                                 |
| 不间断电源系统电池最少备用时间     | 根据实际需要确定                        |
| 空调系统配电              | 宜采用放射式配电系统                      |
| 变配电所物理隔离            |                                 |
| 电池监控系统              |                                 |

#### 1.2.4 数据中心对供配电系统的其他要求

数据中心对供配电系统的其他要求包括：

- （1）供配电系统应为电子信息系统的可扩展性预留备用容量。
- （2）电子信息系统机房应由专用配电变压器或专用回路供电，变压器宜采用干式变压器。

(3) 电子信息系统机房内的低压配电系统应采用 TN-S 系统。

(4) 电子信息设备应由不间断电源系统供电。确定不间断电源系统的基本容量时应留有余量。不间断电源系统的基本容量，可按下式计算： $E \geq 1.2P$ 。其中  $E$  代表不间断电源系统的基本容量（不包括备份不间断电源系统设备）； $P$  代表电子信息设备的计算负荷。

(5) 用于电子信息系统机房内的动力设备与电子信息设备的不间断电源系统应由不同回路配电。

(6) 电子信息设备的配电应采用专用配电箱（柜），专用配电箱（柜）应靠近用电设备安装。

(7) 电子信息设备专用配电箱（柜）宜配备浪涌保护器、电源监测和报警装置。当输出端中性线与 PE 线之间的电位差不能满足电子信息设备使用要求时，宜配备隔离变压器。

(8) 后备柴油发电机的容量应包括不间断电源系统、空调和制冷设备的基本容量及应急照明和关系到生命安全的需要的负荷容量。

(9) 市电与柴油发电机的切换应采用具有旁路功能的自动转换开关。自动转换开关检修时，不应影响电源的切换。

(10) 敷设在隐蔽通风空间的低压配电线路应采用阻燃铜芯电缆；活动地板下作为空调静压箱时，电缆线槽（桥架）的布置不应阻断气流通路。

(11) 配电线路的中性线截面积不应小于相线截面积；单相负荷应均匀分配在三相线路上。