

# 某医院智能配电系统设计

刘 建

(四川大学 华西医院基建运行部, 成都 610041)

**摘要:** 随着我国科学技术发展和现代医疗设备与设施的不断进步, 现代医院对配电系统的智能化需求也越来越强烈; 文章从某医配电系统的智能化需求出发, 重点地分析医院手术室的系统接地形式及供配电系统, 以及对手术室、病房照明系统进行了智能化的设计, 充分考虑了医院智能化配电系统的安全性与可靠性, 供电电源自动恢复时间控制在了 0.5 秒以内, 手术室供配电系统每个配电箱的容量均在 8 到 10 kVA, 两个手术室共用一个 IT 系统的情况下, 设备的正常漏电流控制在了  $10 \mu\text{A}$  以下, 设备的故障电流控制在了  $50 \mu\text{A}$  以下, 医疗电子设备采用公用接地, 接地电阻控制在了  $4 \Omega$  以下, 基本符合《JGJ312-2013 医疗建筑电气设计规范》的相关要求; 希望通过研究为医院智能配电系统的设计提供有益的参考与借鉴。

**关键词:** 医院; 智能配电系统; 设计

## Design of Intelligent Distribution System in a Hospital

Liu Jian

(Capital Construction Department of West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** With the development of science and technology in China and the continuous progress of modern medical equipment and facilities, the intelligent demand for power distribution system in modern hospitals is becoming more and more intense. Starting from the intelligent demand of a medical power distribution system, this paper focuses on the intelligent design of the system grounding form and power supply and distribution system of the operating room of the hospital, as well as the lighting system of the operating room and the ward. The safety and reliability of the intelligent power distribution system of the hospital are fully considered. The automatic recovery time of the power supply is controlled within 0.5 seconds, and each power distribution system of the operating room is controlled within 0.5 seconds. The capacity of the boxes is 8-10 kVA. When two operating rooms share an IT system, the normal leakage current of the equipment is controlled below  $10 \mu\text{A}$ , the fault current of the equipment is controlled below  $50 \mu\text{A}$ , the medical electronic equipment is grounded by public, and the grounding resistance is controlled below  $4 \Omega$ . The basic requirements of JGJ312-2013 code for electrical design of medical buildings are met. It is hoped that the research in this paper can provide useful reference for the design of intelligent distribution system in hospital.

**Keywords:** hospitals; intelligent power distribution system; design

## 0 引言

与其他的公共建筑不同, 医院建筑具有人员密集的特点, 且服务对象基本上都是在生理方面或智力方面存在不同程序的缺陷的病人群, 一旦发生火灾或触电事故, 较正常人的伤亡会更大, 后果也更加严重。而医院的医疗设备对安全防护的等级也更高, 且功能多样, 数量也比较多, 因此对供配电系统的可靠性与安全性的要求也更加严格。因此, 对医院配电系统的智能化设计长期以来都是一个较大的难题。

在医学理论和设备快速发展的促进下现代医疗技术水平获得了日新月异的变化, 基于信息化装备的手术室和病房楼及其他辅助用房共同构建组成了现代医院的基础设施, 为现代医院正常运行提供了可靠的技术保障, 奠定了坚实的基础。

## 1 系统需求分析

医院场所可划分为三类, 其中如诊室、敷料消毒室、生化仪器室等基本上不存在电气装置与患者身体接触的工作场所为 0 类; 而那些需要与患者体内、体表接触的工作场所, 如急诊观察室、处置室等, 电气装置等(不包括心脏及接近心脏的部位)为 1 类; 如外科手术及维持患者生命的电气装置需要与患者心脏或与心脏比较接近的部位接触的工作场所为 2 类; ICU、手术室、抢救室等区域内手术床周围 1.5 m 范围内及 2.5 m 高度范围内为患者区域。

根据医院供电中断所造成的危害程度以及医疗电气设备与人体接触的实际状况, 医院各工作场所电气设备自动恢复供电时间如表 1 所示。

## 2 系统结构及原理

### 2.1 IT 系统的原理

IT 系统的用户端的电气设备采用金属外壳保护接地的方式, 电源变压器中性点不接地, 因此其供电更加安全和可靠。由于运用 IT 系统方式供电其电源中性点不接地, 如果出现电气设备漏电的情况, 电源对地漏电流只有非常小的

收稿日期: 2019-09-24; 修回日期: 2019-10-28。

作者简介: 刘 建(1983-), 男, 四川成都人, 主要从事供配电, 医院供配电的运行管理方向的研究。

表 1 医院各工作场所电气设备自动恢复供电时间表

名称	医疗场所、设施	场所类别			自动恢复供电时间 $t/s$		
		0	1	2	$\leq 0.5$	$0.5 < t \leq 15$	$> 15$
门诊	门诊诊室	✓	—	—	—	—	—
	门诊治疗	—	✓	—	—	—	✓
急诊部	急诊诊室	✓	—	—	—	✓	—
	急诊抢救室	—	—	✓	√ a	—	—
	急诊观察处置室	—	✓	—	—	✓	—
住院部	病房	—	✓	—	—	—	✓
	产房、烧伤病房	—	✓	—	√ a	✓	—
	婴儿室	—	✓	—	—	✓	—
	重症监护室	—	—	✓	√ a	—	—
	血液透析室	—	✓	—	√ a	—	—
手术部	手术室	—	—	—	√ a	✓	—
	准备、复苏室、麻醉室	—	✓	—	√ a	✓	—
	办公室、护士站等	✓	—	—	—	✓	—
功检	超声检查、电生理检查	—	✓	—	—	✓	—
内镜	内镜检查室	—	✓ b	—	—	✓ b	—
泌尿	诊疗室	—	✓ b	—	—	✓ b	—
影像科	DR、CR、CT	—	✓	—	—	✓	—
	导管介入室	—	✓	—	—	✓	—
	心血管造影	—	—	✓	√ a	✓	—
	MRI 扫描	—	✓	—	—	✓	—
放疗	放射治疗室	—	✓	—	—	✓	—
氧气	高压氧仓	—	✓	—	—	✓	—
血液	贮血	✓	—	—	—	✓	—
	配血、发血	✓	—	—	—	—	✓
核医学	ECT、PET 扫描、刀、X 线治疗	—	✓	—	—	√ a	—
	试剂培制、功能测试等	✓	—	—	—	✓	—
药剂科	贵重药品冷库	✓	—	—	—	—	✓
保障系统	气体供应	✓	—	—	—	✓	—
	空气净化、中心供应室	✓	—	—	—	—	✓
	焚烧炉、太平柜、锅炉	✓	—	—	—	—	✓
理疗	物理治疗室	—	✓	—	—	—	✓
	水疗室	—	✓	—	—	—	✓
病理科	取材、制片、镜检室	✓	—	—	—	✓	—
	病理解剖	✓	—	—	—	—	✓
检验	大型仪器	✓	—	—	✓	—	—
	一般仪器	✓	—	—	—	✓	—

注：a 代表生命及照明支持设备；b 代表不作为手术室时。

电容电流，因此不会对电源电压的平衡造成破坏，与中性点接地相比较，其安全性更高。IT 系统大多应用于对连续供电要求比较严格或不允许停电的场所，如医院手术室等。

医用 IT 系统也被称为医用隔离电源系统，主要适用于医院的手术室、消防配电系统，能够对要求比较高的供电系统提供不间断的供电。该系统电气装置的外露可导电部位直接与大地连接。但是供电电源的带电部分不直接连接大地，其原理图具体见图 1。

IT 系统的电源端不进行系统接地，由于系统没有故障

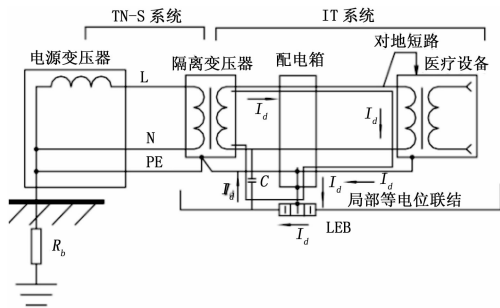


图 1 IT 系统原理图

电流返回电源的通路，因此在第一次发生接地故障时，两非故障相对地电容电流的向量和即为故障电流。由于故障电流的数值非常小，所以在接地电阻  $R_b$  上产生的对地故障电压不会导致电击事故的发生。当第一次接地故障发生的时候无需切断电源，因此不会造成供电中断的现象。但是 IT 系统不能提供 220 V 电源用于控制或照明等，一般不引出中心中性线。

### 2.2 隔离变压器的性能指标及其应用

在 GB19212.16—2005《电力变压器供电单元及类似器件的安全》中明确提出了医疗场所供电隔离变压器的要求。首先，医疗场所供电隔离变压器的额定电压必须在 250 V 以下，变比为 1:1；其次医疗场所供电隔离变压器的容量在 0.5 kVA 到 10 kVA 之间；第三，医疗场所供电隔离变压器的绕组耐受电压为 3 kV/min；第四，医疗场所供电隔离变压器空载绕组对地泄漏电流必须要在 0.5 mA 以下；第五，医疗场所供电隔离变压器绕组之间必须要有可靠的屏蔽层；第六，医疗场所供电隔离变压器必须要有配套的温度监控装置。

### 2.3 绝缘检测器

由于 IT 系统的绝缘下降过程非常的缓慢，因此为了避免形成接地故障，必须要对系列的绝缘情况随时进行检测，其原理图如图 2 所示。

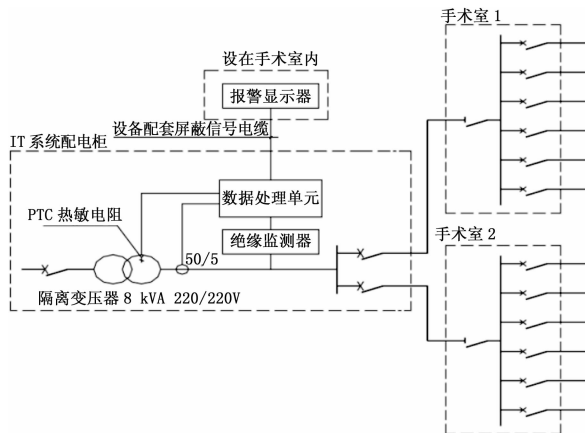


图 2 绝缘系统检测原理图

IT 系统对绝缘检测做出了如下的要求：首先，系统的交流内阻必须要在 100 kΩ 以上；其次，系统的测试电压必

须要在 DC25V 以下；第三，系统的注入电流峰值必须要控制在 1 mA 以下；第四，如果系统绝缘在 50 kΩ 以下，系统将会发出报警信号。

### 3 系统的硬件设计

#### 3.1 配电系统及供电电源设计

根据《民规》中的相关规定，医院中涉及患者生命安全的 ICU、重要手术室等场所的照明用电及设备，如呼吸机等为一级负荷中的特别重要负荷，其应急电源方式必须要符合如下要求：

首先，EPS 电源供电恢复时间应该在 0.5 s 以内。

其次，当采用计算机对医疗设备进行实时控制的时候，UPS 电源的供电恢复时间必须要低于 1 个周波。

第三，根据《医院洁净手术部建筑技术规范》的相关要求可以将柴油发电机组作为应急电源，应急电源的自动转换时间不得超过 1 min，因此一般情况下柴油发电机组的启动时间为 30 s。电源及供电措施应根据供电自动恢复的时间来进行确定和采取。

1) 供电自动恢复时间在 0.5 s 以内：可采用两路契约容量 100% 的 10 kV 电源供电，ATSE 运作的时间即为供电恢复的时间，不需要进行母联转换即可满足供电自动恢复时间在 0.5 s 以内的要求。

2) 供电自动恢复时间  $0.5 < t \leq 15$ ：可采用两路契约容量 100% 或 50% 的 10 kV 电源供电，供电恢复时间即可满足  $0.5 < t \leq 15$  的要求。

3) 供电自动恢复时间大于 15 s：柴油发电机组或电源手动投入。

案例：EPS 做为应急电源，发电机组做备用电源，一路电源供电，具体见图 3。

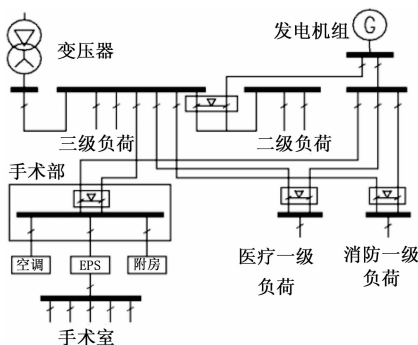


图 3 案例示意图

#### 3.2 手术室供配电系统设计

医院手术室主接线应该具备一定的安全性与可靠性，属于一级用电负荷。由于大电力网在主网上是并网的，因此必须要采取应急电源方案。低压配电由配电中心低压配电室、手术部配电室、手术室专用配电箱等三级配电系统组成，配电级数一般不超过三级。如果变电所在建筑物的内部，手术部电源由建筑物内的变电所配出；如果变电所位于建筑物的外部，手术部的电源则由总配电室配出。

以某医院手术部门配电室为例，手术部配电间置于非洁净区，并采用独立回路敷设，由配电间向各个洁净手术室供电，各个手术室均在室外的外廊侧墙内设置独立的专用配电箱，配电箱不得设置于手术室内部。建筑物内设置了手术部 EPS (UPS) 房间和总配电柜房间，由于 IT 系统整体配电柜的体积比较大，在手术室采用 IT 系统时，无法安装在墙内，因此必须要在靠近 IT 系统手术室的位置设置专门的小配电间，每个配电箱的容量均在 8 到 10 kVA。

1) 洁净手术室的室内照明灯具必须要设置在送风口外面，采用嵌入式密封灯带。

2) 洁净手术室内电源设置适用于手术室、附属用房的 TN 系统供电的漏电检测报警装置，也可以在手术部门设置只报警不断电的 RCD 小型的漏电报警系统。

洁净手术室单流向洁净手术室内不允许有强烈的反光，只允许在全室单流的情况下在过滤边框设置单管灯，气流在室内不循环，室内气流上送风下回风，大型以上的手术室照度均匀度在 0.7 以上。

根据 IEC 标准，如果两个手术室共用一个 IT 系统，在进行心脏手术的时候，当有一个接地故障发生的时候，设备的故障电流应该在  $50 \mu\text{A}$  以下，设备正常的泄漏电流必须在  $10 \mu\text{A}$  以下。如果通过患者心脏的电流大于  $50 \mu\text{A}$ ，则很有可能造成患者的死亡。为了对故障电流加以控制，需要将一台 1:1 的隔离变压器安装在手术室内。隔离变压器的二次回路通过 IT 系统进行供电，不需要接地。当设备发生接地故障的时候，故障电流仅为一小段非故障线段的对地电容电流  $I_c$ 。用于患者环境内的医疗电气设备及维持患者生命的其他外科手术同样也应该通过 IT 系统供电，以确保患者的安全，满足发生一个接地故障时的泄漏电流低于  $50 \mu\text{A}$  的要求。

为了保证医务人员能够对系统的绝缘状况进行实时监测，还应该在适当位置上配备与绝缘监视器配套的声光信号设备，配套声光信号如下：首先，用绿色的信号灯表示系列正常；其次，如果系统的绝缘值已经下降到了最低状态时，用一个黄色的信号灯表示，且信号灯在设备恢复到正常情况之前，即故障排除之前始终处于亮起状态；第三，当 IT 系统的绝缘电阻值已经下降到了最低状态时，用一个报警声响信号表示，该声响信号可以解除。具体如图 4 所示。

#### 3.3 Smart Panels 智能配电系统

Smart Panels 智能配电系统是施耐德 EcoStruxure 架构在配电领域的智能化应用方案，Smart Panels 智能配电系统将网关、电力仪表、微断、塑壳、低压框架有机的融合为一体，同时实现了大数据分析管理和能耗监测的功能，可以对现场检测仪器的信息进行有效的收集，该系统通过独立的专家应用可以实现对低压配电系统故障的诊断与预警。图 5 为 Smart Panels 构建的网络拓扑图。

#### 3.4 医院的等电位联结和接地系统

《民规》规定，如果医院采用的系统，则接地不允许出

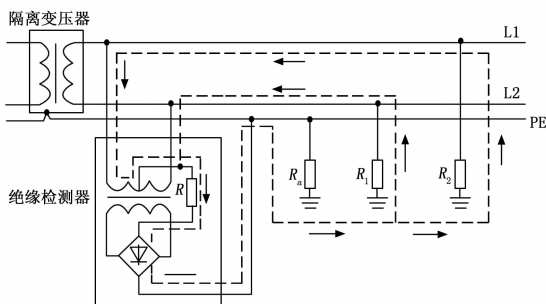


图 4 案例示意图

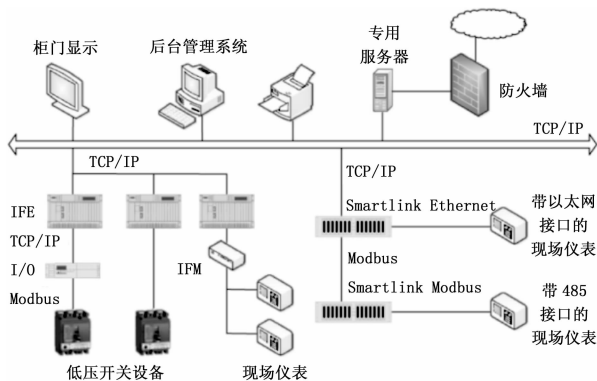


图 5 Smart Panels 智能配电系统拓扑图

现 PEN，而是应该采用 TN-S 系统。并在治疗室内做一个局部等电位联结，该局部等电位联结设置在 ICU 等离子手术台高度为 2.5 m、周边 1.5 m 的范围内。需要说明的是在做局部等电位时，TN-S 系统与 IT 系统共用同一个接地保护装置，二者的 PE 线应该连接到同一个 LEB 端子上。

医疗电子设备应该采用公用接地，接地电阻必须要低于 4 Ω；单独接地的接地极与建筑物之间的距离应该大于 10 m；电子线路为信号接地提供电位参考点，低阻抗的泄放通路由高频干扰信号提供；设备数量较少且  $f < 30$  kHz 的机房可采用多点式（M 型）单点式接地；设备数量较多且  $f > 300$  kHz 的机房可采用多点与单点相结合式多点式接地。

《民规》对单点接地所做的要求如图 6 所示；《建筑物电子信息系统防雷技术规范》洁净手术部规范对单点接地所做的“医疗仪器应采用专用接地系统”的要求如图 7 所示。

#### 4 实验结果与分析

通过 Smart Panels 智能配电系统在某医院一段时间的运营，系统能够按照建设预算和黄花的重要性进行选择，实现了对医院配电系统的智能化控制，具体表现在如下几个方面：

首先，更加贴近医院的管理流程。该系统不仅包含了原有的能将监控功能，同时还在运维管理、后勤管理和电气资产管理等功能上作了延伸，从而与医院日常管理工作流程更加贴近。

其次，有效运维。一方面达到了快速恢复供电和缩短

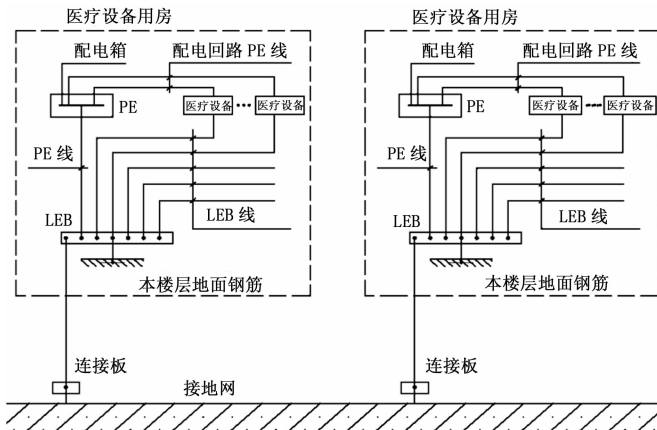


图 6 《民规》要求的单点接地

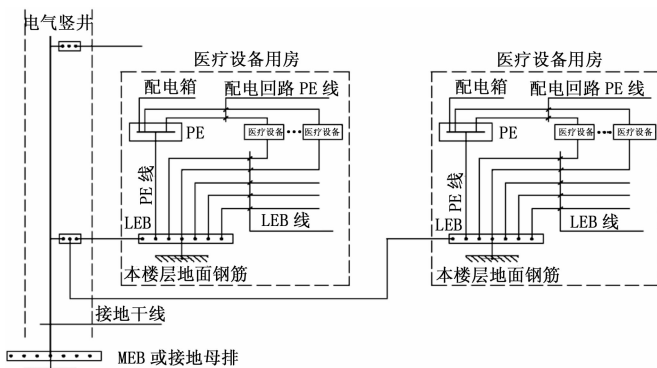


图 7 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》中单点接地

断电时间的目的；一方面实现了对设备运维的精细化管理，大幅降低了断电故障发生的机率。

第三，减员增效。该系统实现了无人值守，大幅降低了运行成本；另外，系统通过分级管理，可以将故障信息及处理结果及时的反馈给管理层。

第四，提升了可靠性和安全性。该系统提供了恢复故障建议，增加了开关本身故障的检测，保证了运维人员的安全，提高了安全性，通过上下级选择性减少了停电范围，防止越级跳闸。

第五，应用场景灵活。为局部组网提供了一个比较高的性价比选择，实现了电气资产和运维管理。

#### 5 结束语

医院配电系统的智能化设计关乎患者的生命与健康安全，为医院安全、高效的运行提供了可靠的技术保障。在对医院配电系统的管理过程中，注重智能化管理手段的运用，不仅能够为医院电力系统的畅通提供了基础性的保障，同时也能够及时的反馈各种信息，确保医患双方的安全。

#### 参考文献：

[1] JGJ312—2013 医疗建筑电气设计规范 [S]. 2013.  
 [2] GB50333—2002 医院洁净手术部建筑技术规范 [S]. 2002.