

文章编号: 1000-5013(2012)06-0688-06

# 南方高校研究型实验楼配电系统的适宜性分析

郑志<sup>1</sup>, 孟庆林<sup>2</sup>

(1. 华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021;  
2. 华南理工大学 建筑学院, 广东 广州 510641)

**摘要:** 对南方十余所高校研究型实验楼的配电系统设计模式及用电状况进行分析研究,总结出混合式、半混合式、独立式 3 种配电系统模式,并在系统可靠性、拓展性、节能性和管理性,及建设投资等方面进行比对. 结果表明:混合式、半混合式配电系统模式已无法满足当代高校实验研究型建筑的用电需求;独立式配电系统模式满足实际发展需求,应该迅速推广,其投资成本稍有增加,但系统的可靠性、拓展性、节能性和管理性等品质得到了大幅度提升.

**关键词:** 实验楼; 配电系统; 优化设计; 南方地区; 高等学校  
**中图分类号:** TU 731.3      **文献标志码:** A

高校作为当代新技术的主要诞生地,实验楼不仅承担着实验教学的任务,还承担着相应学科的科技项目研发. 建筑电气作为构筑大楼基础设施平台的关键,设计选用的配电系统模式必须适应此类研究型实验楼的发展要求. 研究型实验楼主要有照明插座、动力、实验(特殊)、空调 4 种用电类型. 照明、动力的总体设计要求与传统的教育实验建筑无明显区别,用电量较为稳定. 实验分为基础性实验用电和研究性实验用电两部分. 前者用电时间有周期规律,用电量稳定,设备场所相对固定;后者使用随机性大,对配电可靠性、灵活性要求高,实验设备数量、种类不断变化,甚至设备场所也会时常发生改变. 空调用电在我国存在南北地区差异. 南方冬季室内无需采暖,夏季需要降温. 南方高校除了个别实验室有工艺性空调(算实验用电)要求外,为节省建设投资和运营投资,舒适性空调大多采用分散式空调系统模式:电气设计为每个可能装空调的室内空间预留空调专用插座,学校再根据场所需要的轻重缓急,逐批装设空调. 本文对国内南方十余所高校实验楼的配电系统设计模式及用电状况进行调研,并分析比较其利弊.

## 1 3 种配电系统设计模式

根据配电系统设计的 4 种类型用电的分离程度,将其归纳为混合式系统、半混合式系统和独立式系统 3 种配电系统模式.

### 1.1 混合式系统

配电系统设计遵循“首先划分建筑用电区域,然后分片(区)配电”的设计理念<sup>[1]</sup>,将照明、空调、实验用电混合配送,末端回路分离.

图 1 为某高校研究所的配电系统,即典型的混合式方案. 该 5 层大楼为高新电子科技研发基地,无较大负荷的实验设备. 设计以层为配电区域,以实验室为配电末端,室内空调、实验、照明分回路.

### 1.2 半混合式系统

配电系统设计依然遵循“首先划分建筑用电区域,然后分片(区)配电”的设计理念,将照明、分散式空调、部分实验用电混合配送,末端回路分离,集中与半集中式空调设备作为动力用电单独配送,大容量或专门场所的实验用电单独配送.

在已调研的高校实验楼中,采用半混合式配电系统设计的居多.图 2(a)为上海某高校的实验楼,其装设了半集中式的空调系统,空调机组作为动力用电独立出去.图 2(b)为广州某高校的实验大楼.根据功能与性质,实验大楼分为 A、B、C、D 栋,其中,风洞实验室的实验用电负荷大且场所固定,故为其独立供电.

1.3 独立式系统

配电系统设计以“首先分类配电”为指导思想,不同类型配电再根据实际情况“划分建筑用电区域,分片(区)配电”.

在调研中,仅有一栋研发大楼采用独立式系统,其配电系统方案,如图 3 所示.照明及日常服务性动力设备用电由一台变压器配电;实验和空调用电由另一台变压器供电.同区域分类配电,互不干扰.

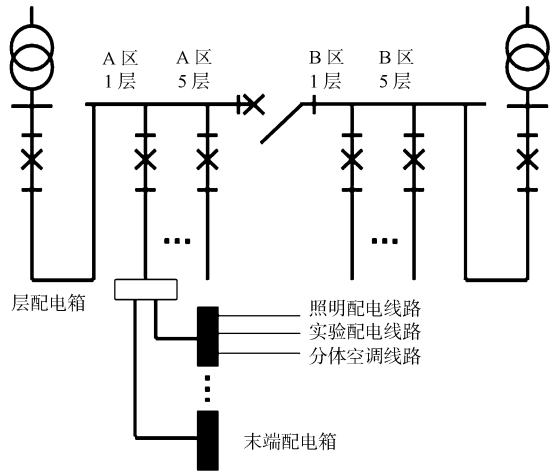


图 1 混合式配电系统方案

Fig. 1 Hybrid power distribution system

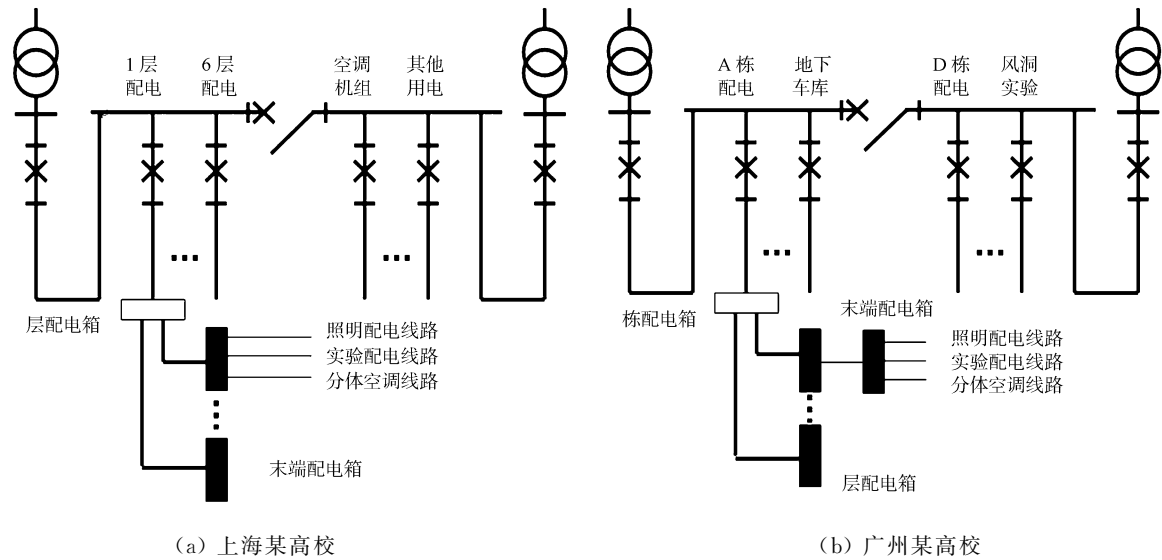


图 2 半混合式配电系统方案

Fig. 2 Semi-hybrid power distribution system

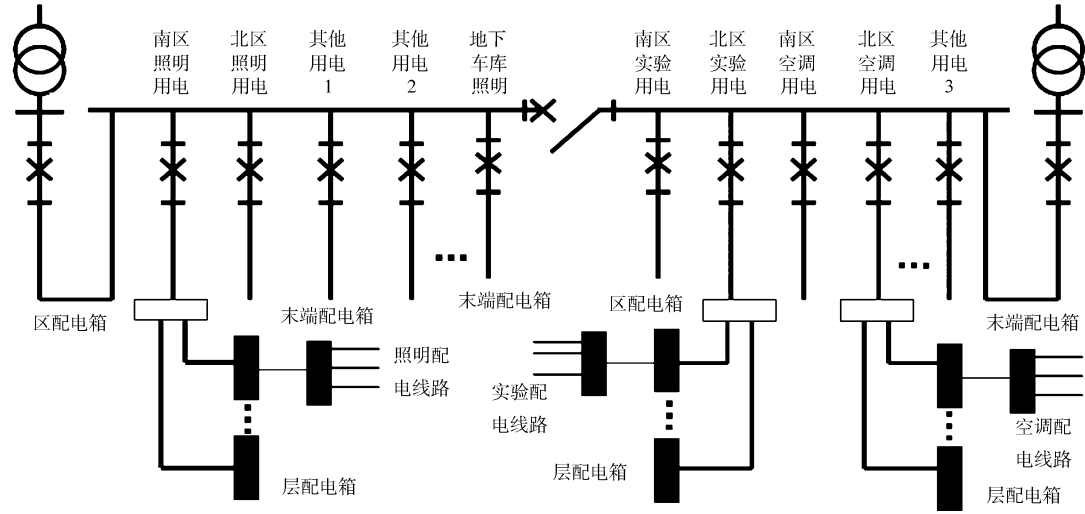


图 3 独立式配电系统方案

Fig. 3 Separate power distribution system

2 配电系统合理性分析与比对

2.1 系统可靠性

配电的可靠性要求,是以用电类型的重要程度为依据的<sup>[2]</sup>. 总体来说,除去消防等涉及人身及财产安全的设施配电,建筑中实验用电的重要性最高,日常照明次之,舒适性空调第三. 但细分起来,同类用电中,也有主次轻重之分:对重要的实验过程而言,断电将是灾难性的;如果只是学生的普通教学试验,其重要性基本等同于日常照明.

设计人员通过对工程的前期调研,掌握该建筑一些特殊的用电要求,并以适宜的方式体现在图纸上. 但是,由于建设方与使用方的分离,或使用方因专业所限对配电缺乏认识等原因,设计人员得到的资料或多或少地存在疏漏. 例如,容量大的实验设备通常会引起大家重视;容量小、分散,而重要程度很高的负荷就容易被忽略,这为今后的科学实验埋下了隐患. 从发展的角度看,通常高校中某一实验室的科研设备不会是一成不变的. 人员的变动、课题方向的转变,使原本是普通级别的实验场所的配电可靠性要求大幅提高.

混合式系统中,不同类型用电混在一起分区供电,照明、空调与实验用电都处在同一个重要等级上,故障时相互影响,是最不可靠的一种方案模式. 半混合式系统中,图 2(a)所示的方案与混合式系统一样没有考虑实验用电的可靠性问题,图 2(b)所示的方案只把大容量实验用电分离出来,其余场所实验用电的可靠性问题未作考虑. 独立式系统中,实验用电独立出来,可方便地针对不同重要等级的用电要求,采取不同的追加保障措施,并且不再受照明及空调的用电干扰,提高了实验用电的可靠性.

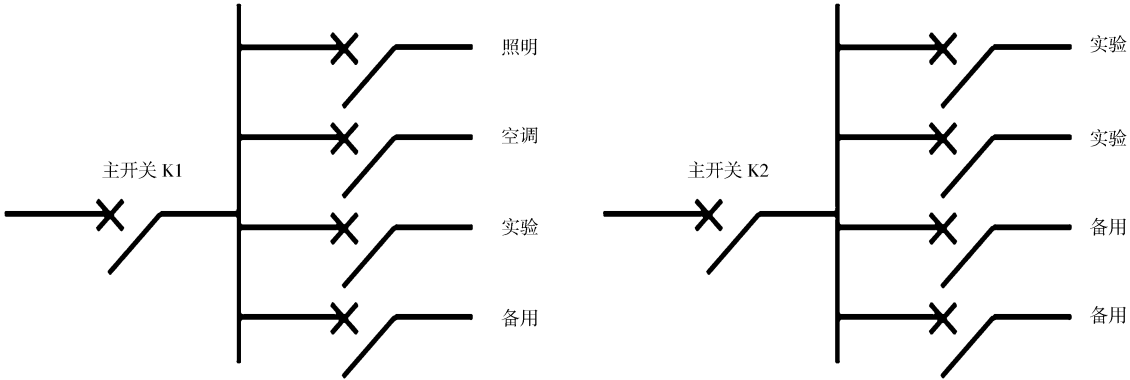
2.2 系统拓展性

配电系统的拓展性主要包括适应性和灵活性两方面. 所谓适应性,是指系统结构具有开放性,能切实满足用电规模扩大、设备增多的发展要求;灵活性,是指系统允许用电需求的变化,系统的管理、修改、维护乃至更新简单易行<sup>[3]</sup>.

目前,高校研究型实验楼最大的特点,是科研性负载在实验用电中所占比重越来越大. 随着科研实力的增强,一些实验室将来会申报成为省部级、国家级重点实验室;科研课题带动实验设备数量不断增加;学科发展、人员引进需要实验室的硬件设施相应地灵活匹配.

混合式和半混合式配电系统是以现状为前提的固化设计,系统可变动环节少,预留容量小,结构开放性差,操作灵活性低,无法适应不断发展变化的实验用电需求. 现状表明,实验楼从设计到使用至少需 2 年的建设周期. 两年间使用方的科研情况可能发生很大变化,原有设计可能不再满足现在的要求.

图 4(a)为混合式系统末端配电设计. 由于主开关 K1 的整定值是根据照明、空调、实验 3 个回路负荷计算得来,裕量有限. 倘若需增加一回大负载实验用电,虽有备用回路,但因总电流过大而引起 K1 保护性跳闸. 在这种情况下,使用方或者断开空调、照明回路保证实验用电,或者自上级配电箱引来一条专用回路.



(a) 混合式系统 (b) 独立式系统

图 4 末端配电设计  
Fig. 4 Design of terminal power distribution

比较而言,独立式系统在拓展性方面具有明显优势.图 4(b)为独立式系统配电末端设计,备用回路适当增加,主开关 K2 的整定值裕量适当加大,新增实验设备可就地联结备用回路,原有实验回路不必因回路不足而来回拆装.由于研究性实验设备同时使用机率较小,因此,非特殊情况,设备负载增加,并不会导致实际用电总量的增加,从而引发系统结构调整.独立式系统结构能保证在相当长的时期内,满足科研用电的动态要求.

2.3 系统节能性

配电系统的节能设计首先是节约电能,包括直接节电和间接节电两部分.系统直接节电主要体现在尽量使变压器负载率接近最佳负载率.目前,低损耗变压器的效率可达 98%,这类变压器有功最佳负载率约为 0.40~0.45.在负载变化的情况下,变压器应避免在负载率 0.20 以下和 0.80 以上运行.当两台相同变压器并联运行时,负载率均接近 0.60 时损耗最低<sup>[4]</sup>.如果考虑设备建设和基本费,达到综合经济运行的目的,变压器的负载率维持在 0.60~0.65 为宜<sup>[5]</sup>.

南方高校研究型实验楼的用电随机性大,负载变化也大;照明、动力用电除假期外,负载变化不明显;舒适性分散式空调安装普及,用电高峰集中在 6~7 月与 9~10 月,且负载量约为照明负载量的 1.2 倍;放假期间因部分实验室及科研人员停止工作,负载量整体下降,寒假期期间基本无空调负载.

混合式与半混合式系统的配电变压器实际负载率在不同的用电季节变化幅度很大,同时,实验用电的随机扰动令两台变压器难以做到负载均衡,并联运行损耗增加,因此,难以取得节电效益.相较而言,独立式系统通过将空调负荷与照明分开由不同的变压器配电,实验用电根据实际情况加在照明一侧或空调一侧,或两台变压器各承担一部分,令空调投入高峰期,配电变压器负载率均接近 0.60~0.65,平时均接近 0.40~0.45,假期完全切除一台变压器,避免变压器在负载率低于 0.20 的情况下运行,并节省基本费投入,从而实现综合经济运行下的节电效果.

间接节电主要是指系统能为其他节电措施提供可操作平台.照明插座、动力和空调用电的节电措施很多,但由于用电规律各不相同,适宜措施也不一样.试验用电的供配电节能主要体现在设计方面,包括负荷计算,提高供电系统的功率因数,治理谐波,正确选择导线截面,线路敷设等.混合式与半混合式配电系统无法提供具有针对性的节能操作平台,独立式配电系统则体现出很大优越性,特别是为量化节电管理提供了先决条件.分类配电,不仅方便采取针对性节电措施,而且方便运用检测计量手段,得到量化数据,为进一步优化细化节电措施提供有力依据,实现科学节能目标.

配电系统节能设计的另一个重要方面是节材.假设实验楼某场所照明、空调、实验负载均等,若采用混合式系统配电,需要从其变配电室引来一条长度为  $L(\text{mm})$  的 YJV-1KV-4X240+1X120 型铜芯电缆,空气中载流量为 480 A.若采用独立式系统配电,需引 3 条同样长度的 YJV-1KV-4X50+1X25 型铜芯电缆,每条空气中的载流量为 170 A.电缆由导体材料和绝缘材料组成,独立式与混合式配电系统的线缆材料用量比较分析(载流量、外径数据来源于宝胜股份《电线电缆》2008 年资料集),如表 1 所示.表 1 中: $l$  为长度; $n$  为根数; $d$  为外径; $s_1$  为截面面积; $s_2$  为铜芯截面面积; $s_3$  为护套截面面积; $v_1$  为铜导体用量; $v_2$  为护套材料用量.独立式系统铜导体用量和绝缘材料用量比混合式系统分别节省 405L mm<sup>3</sup> 和 722.7L mm<sup>3</sup>.由此可见,在压降允许范围内,同一场合不同类型负荷分别配电,要比集中混合配电节省缆线材料.

表 1 独立式系统与混合式系统线缆材料用量比较

Tab. 1 Comparison of cable material consumption between separate system and hybrid system

配电系统模式	规格 YJV-1KV	$l/\text{mm}$	$n$	$d/\text{mm}$	$s_1/\text{mm}^2$	$s_2/\text{mm}^2$	$s_3/\text{mm}^2$	$v_1/\text{mm}^3$	$v_2/\text{mm}^3$
混合	4×240+1×120	$L$	1	56.8	2 534.4	1 080.0	1 454.4	1 080L	1 454.4L
独立	4×50+1×25	$L$	3	24.4	468.9	225.0	243.9	675L	731.7L

2.4 系统管理性

当前高校研究型实验楼配电系统的管理分为技术性管理和行政性管理,操作模式分为运行管理、收费管理、分配管理、节能管理.这 4 部分内容相互依存,互为条件,彼此制约.管理层从上到下分为校方、学科院系、科研团队.本文分析了 3 种配电系统模式在不同管理内容前提下的管理效果,通过比对分别作出效果评价,如表 2 所示.由表 2 可知:只有独立式配电系统适应系统管理不断发展的要求.

表 2 3 种配电系统模式管理效果的比对与评价

Tab.2 Comparison and evaluation of management effect among three kinds of power distribution system

管理内容	分项内容	管理层	管理目标说明	管理效果评价		
				混合	半混	独立
运行管理	安全运行	校方	对设备运行状况实施监控,消除安全隐患	好	好	好
	经济运行	校方	降低基本费、降低损耗、减少用电量	中	良	好
分配管理	公共设施	校方	配电房、泵房等专人值班维护	好	好	好
	行政管理	院系	对学科院系用电状况实施监控	需线路改造才能实现只能监控总用电量		可实现用电分类监控
	区域管理	团队	对实验室用电状况实施监控	需要线路改造,只能监控总用电量		可实现用电分类监控
节能管理	照明节能	三方	校方提出具体节能目标,并逐层落实	无法计量,节能成果无法科学体现		可计量,并达到科学节能目的
	空调节能	三方	非炎热季节,不使用分散式空调	全靠人员自觉,校方便院系无法管理		校方、院系、团队均可逐级切断空调电源
收费管理	分摊	校方	校方制定各院系年用电量标准,超出部分收缴电费	无法分类计量,引发管理与科研的矛盾		遵循学科特点,分类制定收费标准,科学计费
	目标	院系	院系对基础实验室和研究实验室分别实行目标管理	只能定性管理,不能量化管理		可以分类量化管理
	包干	团队	产研结合型实验室用电成本包干	需要线路改造,才能量化管理		可以分类量化管理

3 建设投资估算

根据此次调研中某一实验楼混合式配电系统,拆分设计出对应的独立式配电系统,并对其一次性建设投资进行估算比对,其比对内容如表 3 所示. 表 3 中: $\eta_1$  为混合式系统成本比例; $\eta_2$  为独立式系统成本比例. 由表 3 可知:采用独立式配电系统较混合式的一次性设备材料投资有所降低,工时费用有所增加,独立式总投资增加应低于混合式系统总投资的 10%.

表 3 某实验楼混合式配电系统与独立式配电系统投资比对

Tab.3 Investment comparison between hybrid system and separate system in a laboratory building

比对内容	混合式配电系统	独立式配电系统	$\eta_1/\%$	混合式设备材料份额	$\eta_2/\%$	独立式设备材料份额	混合式工时份额	独立式工时份额
干式变压器	2 台 630 kVA	2 台 630 kVA	14	1	15.0	1.00	0.42	0.420
低压配电柜	2 台进线柜 2 台补偿柜 1 台联络柜 7 台出线柜	虽因回路增加,开关数增多,但开关额定容量变小,所占柜内空间变小,柜数不变	19	1	20.5	1.05	0.42	0.420
干线电缆	9 条	20 条. 照明、实验、空调分回路,根数变多,缆径变小,所占竖井空间无需增加	14	1	11.0	0.75	0.42	0.840
支线电缆	二级缆线 末端缆线	设备无变化,二级配电缆线根数增加,末端缆线根数相同	19	1	18.0	0.90	0.42	0.630
二级配电柜	9 台 落地安装	20 台挂墙安装. 数量增多,箱壳变小;主开关数量增多,电流额定值减小,分开关数量、电流额定值均无变化	15	1	15.5	1.10	0.42	0.504

续表 Continue table								
比对内容	混合式配电系统	独立式配电系统	$\eta_1/\%$	混合式设备材料份额	$\eta_2/\%$	独立式设备材料份额	混合式工时份额	独立式工时份额
三级配电箱	48 台嵌墙安装	110 台嵌墙安装. 数量增多, 箱壳变小, 主开关数量增多电流额定值减小, 分开关数量略增、电流额定值无变化	15	1	15.5	1.10	0.42	0.770
电缆线槽	竖井、走廊明敷设	长度、参数均无变化	4	1	4.0	1.00	0.42	0.420
合计			100	7	100.0	6.90	2.94	4.000

4 结束语

综上所述,传统的混合式与半混合式配电系统模式已经无法满足当代高校实验研究型建筑的用电需求. 为适应此类建筑在各个层面上不断发展变化的复杂性,建筑电气设计推广采用独立式配电系统模式势在必行. 只有这种模式才能真正为科研活动提供有力的用电保障. 虽然投资成本稍有增加,但系统的可靠性、拓展性、节能性和管理性等品质都有大幅度提升. 独立式配电系统模式,同样也适合南方地区夏季采用分散式空调的其他类型建筑,如办公建筑、医疗建筑、其他教育建筑等.

参考文献：

[1] 戴瑜兴. 民用建筑电气设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.

[2] 中国机械工业联合会. GB 50052—2009 供配电系统设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.

[3] 中国建筑东北设计研究院. JGJ 16—2008 民用建筑电气设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.

[4] 陈俊俊. 变压器最佳运行时效率和负载率的实验研究[J]. 冶金能源, 1997, 16(4): 60-63.

[5] 郑志. 顺昌县小城镇住宅小区示范工程电气系统优化设计[J]. 福建工程学院学报, 2004, 2(2): 235-238.

Analysis of the Adaptation of Low Voltage Power  
Distribution System in Laboratory Building  
of South China Universities

ZHENG Zhi<sup>1</sup>, MENG Qing-lin<sup>2</sup>

(1. College of Architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;  
2. School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

**Abstract:** Based on the analysis of more than ten laboratory building distribution systems in south China universities, three types of system modes were summarized, such as hybrid type, semi-hybrid and separate types. The comparison of the system reliability, extensibility, energy saving, manageability and construction investment was conducted. The results show that; the hybrid and semi-hybrid distribution systems can not meet the requirement of the laboratory building power supply at present; but the separate distribution system meets this requirement. Therefore the separate distribution system would be adopted widely, even thought the investment cost increases a little, the system reliability, extensibility, energy saving, and manageability increase greatly.

**Keywords:** laboratory building; distribution system; optimization design; south China; university

(责任编辑：钱筠      英文审校：方德平)