

# 建筑电气供配电系统节能设计探讨

吴雄清

华蓝设计（集团）有限公司

**摘要：**建筑电气供配电系统在运行过程中能耗大，节约系统能耗对实现建筑节能十分有益。从当前情况来看，建筑行业能耗过大已对其可持续发展形成阻碍，提高建筑节能性成为产业转型的重点。在此情况下，深化建筑电气供配电系统的节能设计，能从根本上降低建筑能耗。由此可见，探讨建筑电气供配电系统节能设计至关重要，具有现实意义。为此，本文在简单探讨建筑电气工程的基础上，重点针对电气工程中的供配电系统节能设计措施进行细致地探讨。

**关键词：**建筑工程；电气供配电；节能设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.12.101

## 引言

近年来，随着全球能源危机的日益加剧以及环境保护意识的提高，节能技术在建筑电气工程中的应用受到了广泛关注<sup>[1]</sup>。建筑电气工程是指为建筑物提供电力和电气设备系统的工程，其中电力消耗往往占据较大的比例。传统的建筑电气工程在设计和运行中存在一些问题，如能源浪费、环境污染和经济性差等。为了解决这些问题，节能技术在建筑电气工程中得到了广泛应用和研究。

## 一、建筑电气工程概述

建筑电气工程是建筑工程领域中的一个重要分支，它利用电力科学技术和信息科学技术为建筑工程提供服务。随着科技的飞速发展，建筑电气工程在现代建筑中发挥着越来越重要的作用。建筑电气工程的主要任务包括设计、安装和维护建筑物的电气系统，提供可靠、高效、安全的电力供应。这涉及电力输配系统、照明系统、电气设备、安防系统、通信系统等方面的设计和布置。在建筑电气工程中，使用先进的信息科学技术，通过智能化系统对电力设备进行监控和管理，实现对建筑物能耗和用电负荷进行精确控制。同时，建筑电气工程也与绿色建筑概念紧密相连，通过选用高效节能的电气设备和系统，优化能源利用，减少对环境的影响<sup>[2]</sup>。

建筑电气工程的发展也推动了现代建筑工程的创新。通过智能化系统的应用，对建筑物可以实现自动化、智能化的管理和控制，提高工作效率和居住舒适度。例如，通过智能照明系统和智能安防系统，可以根据使用需求自动调节照明亮度和控制安全设备，提供更便捷、舒适、安全的环境。未来，随着数字化城市和智慧建筑的发展，建筑电气工程仍将继续发挥重要作用。新技术和新材料的引入将进一步推动建筑电气工程的创新和发展，为人们提供更优质的建筑环境。同时，建筑

电气工程也将紧密关联能源管理和环境保护，为实现可持续发展做出贡献。

## 二、节能技术的应用原则

### （一）满足需求设计原则

电气供配电节能技术的应用应该始终以满足电气设备的需求为出发点。在应用节能技术之前，需要准确了解电气设备的使用需求，包括功率、容量、工作时间等。只有在满足这些需求的前提下，才能选择合适的节能技术，避免过度或不足的设计。

### （二）节约经济设计原则

在应用节能技术时，需要充分考虑经济性。节能技术的成本与节能效果之间需要取得适当的平衡。因此，在选择和应用节能技术时，需要综合考虑技术本身成本、维护成本和预期的节能效果，确保具备良好的经济性<sup>[3]</sup>。

### （三）节约能源消耗原则

电气供配电节能技术应用的核心目标是降低能源消耗。在设计中，需要重点考虑如何通过合理的设备配置、控制策略和监测手段等措施来减少电能的浪费。通过应用高效的电机、光源、照明控制系统、能源管理系统等技术，实现电能的有效利用，最大限度地降低能源的消耗。

## 三、当前建筑电气供配电系统中的能源损耗问题

在建筑电气供配电系统中，特定的环节因其操作性而成为主要的能源损耗来源。传输和分配损失是由于电流在高压线路的长距离传输以及电能分配不均所引起的。变压器损耗主要发生在电能电压转换过程中，尤其是当设备老化或超负荷运行时。无功功率损耗则与系统的反向电流和不必要的能量消耗有关，这通常是系统配置不当的结果。不可忽视的是设备的内在能耗，比如因低效电动机或驱动系统不当而产生的热能损失。

## 四、建筑电气供配电系统节能设计策略

### （一）供配电线路设计

降低供配电系统的能源损耗，需要从减少配电线路损失方面着手。此时，技术人员不仅需要合理计算理论线损，更应该通过优化设计、科学运维着力减少线损。在建筑物电气供配电系统运行过程中，供配电线路的长度、实用性、布局方式都会直接影响供电质量，更会对电量总消耗量产生深刻影响。作为输送电能的最主要载体，供配电线路的节能性是影响供配电系统节能性的关键。所以，加强供配电线路节能设计十分必要。

为达到线路节能目标，相关工作人员应该采取以下措施。

(1) 提高导线选型的合理性。实践中设计人员需要保证电力电缆选型合理,以便提高电缆的实用性及供电稳定性;需要结合现实需求做好导线性能特征选用,确保导线类型符合现实需求,例如,选用机械强度符合标准的线路,保证线路实用性和耐久性;需要选用电阻小的输电线路,避免过度耗能<sup>[4]</sup>。

(2) 提高线路布设的科学性。建筑电气供配电系统节能设计人员需要尽可能降低输电线路弯曲、回头概率,合理控制输电线路长度,避免因配电距离过长引发电能过度损耗。此时,可优先选用直线布线手段,减少低压回头线路,还需避免线路交叉碰撞。而且,这一过程中应该采取低压配电室紧邻竖井方式,尽可能减少输电线路长度。为作好优化设计,设计人员可采用BIM技术辅助配电线路布局敷设,基于三维模型和模拟施工持续改进设计方案,提出最佳布局策略。

(3) 采用增大截面法。为减少供配电线路能耗,设计人员需要适度增加线路的横截面面积。使用这种方法可切实提高电能传输的可靠性和高效性,也能够增强线缆耐热性和耐磨性,可有效避免线路因高负荷而损坏。

(4) 使用就地无功补偿技术。实际作业环节,建筑电气供配电系统节能设计人员需要合理选用无功补偿方式,通过科学设置无功补偿装置提升供配电系统性能,降低能源损耗。

### (二) 能源配置与优化

从现实角度来看,建筑电气供配电系统节能设计以节约电能、减少能耗为根本目标,所以在采取节能措施时也应该关注发电电源选用。提高清洁能源利用率,将可再生能源替代传统能源为建筑供配电系统运行供能是关键。基于此,节能设计人员必须重视可再生能源的高效利用,做好此类能源的优化配置。实践中,最为常见的方法是利用太阳能光伏发电系统为建筑供能<sup>[5]</sup>。这一环节需要以太阳能电池板为载体实现太阳能与电能之间的有效转换,通过有效利用光电技术和光热利用技术实现这一清洁能源的高效利用。虽然我国拥有丰富的太阳能资源,而且太阳能技术日渐成熟,但此类能源应用深受季节、环境、地域和气候影响,稳定性不强,在使用中需要谨慎选择。

建筑电气供配电系统节能设计人员还可以利用生物质能和地源热能为建筑物供能。从本质上来看,基于生物质能供电就是将废料和能源植物转化为电能,是一种基于原材料的循环利用的零污染、高效率供电方式。这种新型能源在农村住宅建筑中应用广泛,沼气发电和供热是典型代表。与之相比,利用地热能供能则有更高的技术要求,需要采用热交换装置实现能源转换。例如,利用地源热泵系统+中央空调系统实现节能供热,减少电能损耗。

### (三) 智能控制策略

智能控制通过精准的数据分析和实时响应,使系统的经济性、可靠性和环境友好性得到提升。在这一框架下,自动监控和数据分析技术成为重要力量,通过物联网(IoT)技术对设备和系统数据进行实时采集,利用云计算和大数据技术进行数据挖掘和分析,可以洞察当前的能源使用状况,预测未来的能耗模式,及时发现并优化系统不足。在电力使用的需求侧管理(DSM)管理上,通过精细化的能源消费习惯和电力使用模式调整,实现对能源的优化配置和需求的精准匹配。比如,通过峰谷电价制度,缓解电网高峰期的负荷压力,促进电力消费均衡化,提升电网稳定性和运行效率。同时,智能调度和优化控制的应用也为实现节能减排提供有效途径。这些控制策略通过应用模糊控制、优化算法或人工智能等先进技术,使得建筑运行中设备在最佳状态运行,减少不必要的能源损耗。在一系列智能控制的协同作用下,集成能源管理系统(IEMS)的概念应运而生,它通过全面监控和综合管理各类能源,实现能源利用的最大化和系统运行效率的最优化。IEMS的运行涵盖了电力、热力、水等多种能源,确保各类能源在建筑电气设备中的高效配置和协同运作。

### (四) 变压器节能运行优化

作为供电系统中的核心组成部分,变压器能耗较高,数据中心工作人员应将其节能建设作为核心目标。工作人员应充分利用变压器自身的性能,降低其运行能耗。对于单台变压器而言,为有效提高其运行效率,在确保变压器不变损失与可变损失相同的基础上,将负载因子设置为0.6,可实现变压器的高效率运行。但在多台变压器同步运行期间,工作人员应科学调整变压器容量,改变变压器的接入,不仅可以充分降低变压器能耗,还能保证正常供电。当变压器处于空载状态时,计算其综合损耗如式(1)。

$$P_{0z} = P_0 + K_0 Q_0 \quad (1)$$

式中, $P_0$ 代表变压器的空载损耗值, $K_0$ 代表变压器的额定负载损耗, $Q_0$ 代表变压器的无功经济当量。当变压器运行时,若是采用并列运行方式,单台与双台变压器的 $P_{0z}$ 值基本相等。从而可以对最佳运行状态下的变压器进行负载功率临界值计算。与额定负载状态下的变压器相比,经济运行状态下的变压器损耗较低,从而可以推断出变压器在经济运行状态下的电能转化效率较高。因此,变压器综合损耗 $\Delta P_z\%$ 如式(2)。

$$\Delta P_z\% = P_{0z} + \beta^2 P_{kz} / \beta S_N \cos \varphi + P_{0z} + \beta^2 P_{kz} \quad (2)$$

其中, $\beta$ 表示负载率, $P_{kz}$ 代表变压器综合功率损耗值(负载为常数), $S_N$ 代表变压器的负载功率临界值, $\varphi$ 代表变压器的损耗率。若使 $\beta=1$ ,且变压器负载率为常数,即可得出经济运行状态下的变压器下限阈

值。因此，对于经济运行状态下的变压器，其 $\beta$ 的取值为 $[\beta_2, 1]$ ，根据数据中心的实际情况，可明确其上限值为0.75。

目前，数据中心供配电正逐步向着紧凑化、集约化、高效化的方向发展，通过对电气架构中变压器、UPS等装置的集成，形成中压直供式UPS系统，搭建中压至低压的最短链路，以达到链路和线损节能的目的。与传统供配电相比，基于中压直供技术的集成式供配电系统紧凑程度更高，运行更为稳定，其优势主要体现在以下两个方面：一方面，占地小。当前数据中心IT机柜单柜的功率随服务器算力的提升持续上涨，配电容量需求相继增大。通过对中压直供技术的应用，有助于实现高密度UPS的融合，可节约用地达40%，不仅可以提升IT机柜的上架率，还可以实现数据中心的降碳目标。另一方面，效率高。中压直供技术借助对供电链路的集成优化，显著降低数据中心供配电在节点处和线路上的损耗，同样以数据中心PUE1.8为基准，PUE可降低0.02<sup>[6]</sup>。

#### （五）引入变频技术

变频技术是建筑电气供配电系统节能减排中的一种新技术，依托于自动化控制技术、计算机软件技术等，主要是依据电机转速与输入之间的比例数值 $f$ ，通过改变电机电源的 $f$ 值来调节电机的速度，实现电能资源的合理利用。据实际调研，2021年，我国电机总耗电量约为30000亿kW·h，建筑电气供配电系统电机用电量在全国总用电量中占比约为23%。但是，目前我国高效率低能耗的电机在市场中占比仅为10%左右，我国在用的各类电机数量约为11亿台。因此，高效率低能耗电机的市场潜力很强。建筑电气供配电系统采用变频技术充分降低了电机在建筑运行工作过程中能源损耗，为企业节约资源的同时，也创造了经济利益。

#### （六）科学采用无功补偿技术

相关资料表明，无功负荷大量地存在于配电网中，当无功功率失衡、功率因数降低情况发生时，无功功率在电网中的流动导致了线路大量损耗的产生，大多数建筑电气都是采用集中补偿的方式对无功进行补偿，且补偿设备智能化程度较低，因此，一是要灵活选择补偿方式，坚持集中式+分散式补偿相结合方式，并以后者为主进行无功补偿；坚持调整+固定补偿相结合方式，将后者作为重点进行无功补偿；坚持高电压+低电压补偿相结合方式，将后者补偿作为主要补偿方式。二是要引入智能无功补偿设备，不同无功补偿装置的作用及使用效果各有千秋。智能无功补偿装置将直接影响供配电系统的无功补偿结果，因此在选择无功补偿装置时，首先要考虑补偿装置与补偿系统是否搭配，然后依据其工作范围和功率参数等确定补偿装置的选型。在选择智能无功补偿装置时，选用适应能力较好及抗外界干扰能力高的设备，且还应具备自动检测及保护性能。这样，可以

配合配合动态补偿手段更好地实时监测设备动态，并对建筑运行各个环节的电力设备进行实时跟踪、无功补偿，进而提升建筑供配电系统的无功补偿效果，改善其运行质量。

#### （七）高效UPS节能运行模式

处于线双变换运行模式的传统UPS，可利用整流器功能将交流电转化为直流电，并通过逆变器设备输出交流电。通过两次电能转化操作会增加UPS的损耗。为有效降低电能损耗量，相关厂商利用旁路运行UPS，通过市电为其供电，可省略电能转化过程，从而达到降低能量损耗目的，此种模式被称为ECO模式，UPS的运行效率可达99%。但该模式的影响因素较多，包括供电质量、电压稳定性等多重因素，应保证其满足设备安全运行需求，同时，确保负载传递的谐波分量满足国家标准。在ECO模式运行过程中，UPS的逆变器处于休眠状态。当供电瞬时变化时，UPS切换逆变器模式会存在时延问题，甚至导致设备重新启动，严重影响设备的正常运行。因此，ECO模式的应用具有一定的局限性。为有效弥补ECO模式的应用缺陷，应在该模式基础上加以优化，形成智能ECO模式。该模式下UPS由旁路提供有功功率，而逆变器负责提供负载所需的无功功率，处在备用状态，一般为谐波补偿或功率因素校正的状态。即便在市电异常状态下，智能ECO模式也能在0ms时间内完成模式切换，显著提升UPS的可用性。智能ECO模式下UPS的功率比传统模式具有明显提升，可达到98%以上。

#### 结束语

建筑电气供配电系统节能设计的有效开展能够降低建筑能耗，可以提高建筑工程项目的综合效益。在实际作业环节，建筑电气供配电系统设计人员需要秉承节能理念，调整设计思路与方案，使建筑供配电系统的综合治理方案更符合现实需求，而且还应该做好照明配套系统的节能设计，以便实现对建筑电气系统的综合管控，为切实增强建筑节能性做好充足准备。

#### 参考文献

- [1] 阎保华, 吕新华. 建筑机械设备电气工程自动化的供配电节能控制分析[J]. 制造业自动化, 2021, 43(03): 164-167.
- [2] 赵斌, 赵振云. 建筑电气的节能与供配电线路设计研究[J]. 工程建设与设计, 2021, (03): 40-42.
- [3] 蔡薇薇. 建筑电气的节能与供配电线路设计[J]. 集成电路应用, 2020, 37(08): 100-101.
- [4] 张茂锋. 关于绿色建筑电气节能设计的若干思考与建议[J]. 绿色环保建材, 2020, (04): 63-64.
- [5] 倪浩. 浅谈建筑电气节能技术[J]. 上海节能, 2020, (03): 259-261.
- [6] 张国清. 高层楼宇建筑电气节能技术要点[J]. 质量与市场, 2020, (06): 57-60+64.