

[电气负荷]

建筑电气设计中的电气负荷计算方法

文/庞兴坤
广西恒正建筑设计有限公司

针对建筑电气设计中的电气负荷计算方法展开研究。首先剖析建筑电气负荷概念，从分类上可分为照明负荷、动力负荷等不同类型负荷，不同负荷具有不同特性。接着进行理论计算公式推导，分情况讨论各线间负荷功率因素相等与不相等的情形，通过电路原理与电磁学理论，为计算公式推导奠定理论基础。在等效负荷计算方法中着重介绍基于设备运行概率与负荷特性二项式计算原理，通过特定流程，将复杂用电设备组合等效为简单模型进行计算。通过实验研究，表明该方法计算过程简单，兼顾计算准确度与效率，为建筑电气设计人员提供实用且可靠的电气负荷计算方案，助力提升建筑电气系统设计的科学性与合理性。

在建筑电气设计领域，准确计算电气负荷不仅关系到电气系统的安全稳定运行，还直接影响着建筑的能源消耗与使用功能。建筑电气负荷，简单来说就是建筑物内各类用电设备在正常运行时所需要的电功率或电流。可分为照明负荷、动力负荷和特殊设备负荷，不同类型的负荷具有各自独特的用电特性和运行规律。照明负荷是用于满足建筑物内不同区域的光照需求；动力负荷为各类动力设备如电梯、空调机组等提供动力支持；消防设备、通信设备等在特定情况下使用的为特殊设备负荷^[1]。

在电气负荷计算中，理论计算公式的推导十分关键，各线间负荷的功率因数直接影响计算结果，当各线间负荷的功率因数相等时，可依据特定的电路原理和数学模型推导出相应公式。而当功率因数不相等时，计算则更为复杂，需综合考虑多种因素进行公式推导。然而，实际建筑电气系统往往较为复杂，直接运用理论公式计算可能存在困难，因此等效负荷计算方法应运而生。本文通过理解二项式计算原理及流程，将复杂的电气负荷情况简化，从

而高效且较为准确地计算出等效负荷，为建筑电气设计提供有力支持。

建筑电气负荷概念与分类分析

1. 建筑电气负荷概念

准确理解建筑电气负荷概念，是进行合理电气设计的基础。只有清晰把握各类用电设备的负荷特性，才能进一步深入研究电气负荷的计算方法，确保建筑电气系统既能满足用电设备的正常运行需求，又能实现安全、可靠和经济的运行目标。

在建筑电气系统中，从本质上讲，电气负荷反映了用电设备将电能转化为光能、机械能和热能等其他形式能量的能力需求。不同类型的电气负荷通过不同方法体现，并且电气负荷并非固定不变，会随着用电设备的使用情况、运行状态以及数量的变化而波动。在办公建筑中，白天工作时段各类办公设备、照明灯具等大量使用，此时电气负荷较高^[2]。而在夜间非工作时段，仅有部分照明及安保设备运行，电气负荷则大幅降低，因此对于电气负荷不能

统一计算。

2. 电气负荷分类

建筑电气负荷主要分为照明负荷、动力负荷和特殊设备负荷。

照明负荷是为满足建筑物内不同区域视觉需求而设置的用电负荷。进一步细分为一般照明、局部照明和应急照明。一般照明用于提供整体均匀的光照，如办公室、商场的常规照明。局部照明针对特定区域强化照明，像商场的商品展示区照明^[3]。应急照明则在紧急情况如火灾、停电时提供必要的疏散和应急工作照明。照明负荷计算公式为

$$P_{\text{照明}} = NP_e K_x \quad (1)$$

式中， $P_{\text{照明}}$ 为照明计算负荷； N 为照明灯具数量； P_e 为单个灯具额定功率； K_x 为需要系数，需根据建筑物功能及照明使用情况取值。

动力负荷为各类动力设备提供运行所需能量，涵盖电梯、空调机组和水泵等设备。动力设备为多个小设备联动组成，因此动力负荷需要集成每个分设备的功率之和，计算公式为

$$P_{\text{动力}} = \sum_{i=1}^n P_{ei} K_x \cos\varphi / \eta \quad (2)$$

式中， $P_{\text{动力}}$ 为动力计算负荷； P_{ei} 为第*i*台设备的额定功率； K_x 为需要系数； $\cos\varphi$ 为功率因数； η 为设备效率。

不同类型动力设备的这参数取值差异较大，需准确考量。

特殊设备负荷指消防设备、通信设备和舞台灯光等具有特定用途的设备用电。消防设备在发生火灾等紧急情况时启用，确保人员安全与消防作业，通信设备保障建筑物内外部信息传输。这些设备的负荷特性与使用场景紧密相关，计算时需依据其特殊要求和使用频率确定相关参数。

合理区分并准确计算各类电气负荷，是构建稳定、高效建筑电气系统的关键，为建筑的安全使用和功能实现提供有力支撑。

理论计算公式推导

1. 各线间负荷的功率因数相等

各线间负荷的功率因数是评估电气系统运行效率和电能利用程度的关键因素。功率因数高，表明设备对电能的利用率高，线路损耗小^[4]。反之，利

用率低，线路损耗大，还会增加发电、输电设备容量需求，影响电力系统的经济性与稳定性。在建筑电气系统中，各线间的负荷功率因数相同时，是各相电路平衡的理想状态，单项功率计算公式为

$$P = U_p I_p \cos\varphi \quad (3)$$

式中， P 为各相单路的单项电路功率； U_p 为电路相电压； I_p 为电路线电流； $\cos\varphi$ 为功率因数。

假设各相电路为A相、B相、C相，在三相负载为星形连接时，每相负载的电流从电源端出发，经过负载再回到电源，线电流就是从电源引出线中的电流，它与对应相负载中的相电流是同一电流路径，所以线电流等于相电流。各相总有功功率计算公式为

$$P_{\text{total}} = \sqrt{3} U_L I_L \cos\varphi \quad (4)$$

式中， P_{total} 为三相总有功功率； I_L 为相电流。

若各相负荷不平衡时，各相电压、电流和功率因数存在差异，无法像平衡状态那样采用简便算法。需分别计算各相功率后汇总，各线间负荷的总有功功率计算公式为

$$P_L = P_A + P_B + P_C \quad (5)$$

式中， P_A 、 P_B 、 P_C 分别为线A、线B、线C的有功功率。

同理算出各相无功功率再相加得总无功功率，最后依据总有功功率和总无功功率算出视在功率，整个计算过程因各相参数不同而更复杂，不能简单统一处理^[5]。

2. 各线间负荷的功率因数不相等

当各线间负荷功率因数不相等时，三相电路分析计算更为复杂，三相总有功功率计算公式为

$$P_{\text{total}} = U_p (I_A \cos\varphi_A + I_B \cos\varphi_B + I_C \cos\varphi_C) \quad (6)$$

式中， I_A 、 I_B 、 I_C 为各相电流；A、B、C为各相的功率因数。

仅有总有功功率并不能完全描述电路的功率特性，在交流电路中，除了有功功率，还存在无功功率。无功功率是由电路中的电感、电容等储能元件引起的。为综合考量电路中电源提供的总功率，就需要引入视在功率的概念^[6]。视在功率涵盖有功功率和无功功率两部分，能更全面地体现电路的功率需求和运行状态。各相视在功率计算公式为

$$S_{\text{total}} = \sqrt{(Q_{\text{total}})^2 + (P_{\text{total}})^2} \quad (7)$$

式中, Q_{total} 为各项无功功率; P_{total} 为各相总有功功率。

本文通过分别计算各相的无功功率并求和得到总无功功率, 然后结合三相总有功功率算出三相视在功率^[7]。在建筑电气设计中, 这些公式对于准确评估电气系统的运行状态和负荷特性至关重要, 帮助设计师合理规划电气设备和线路, 确保系统的安全与高效运行。

等效负荷计算方法

1. 二项式等效负荷计算原理

二项式等效负荷计算方法充分考虑设备数量和大容量设备对负荷的影响, 是一种实用且有效的手段。二项式等效负荷计算原理基于的基本理念是将用电设备组的计算负荷分为两部分: 一部分与设备组的总容量有关; 另一部分则与少数大容量设备的容量有关。其核心计算公式为

$$P_{js} = bP_e + cP_x \quad (8)$$

式中, P_{js} 为用电设备组的计算负荷; P_e 为用电设备组的总容量; P_x 为用电设备组中最大容量设备的总容量; b 、 c 为二项式系数, 不同用电设备组的二项式系数不同。

不同用电设备的使用时间和工作状态存在差异, 并非所有设备都会在同一时刻达到最大负荷^[8]。若不考虑同时系数, 直接将所有设备的额定功率相加来确定总负荷, 会使计算结果远大于实际可能出现的最大负荷, 导致电气设备选型过大, 造成投资成本增加和能源浪费。考虑同时系数能更准确地确定实际负荷, 合理选择设备, 提高系统经济性与运行效率。负荷计算公式为

$$P_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n K \sum i P_{jsi} \quad (9)$$

式中, $P_{\text{总}}$ 为多组用电设备的总计算负荷; K 为第 i 组用电设备的同时系数, 同时系数反映了多组设备不同时达到最大负荷的概率; P_{jsi} 为第 i 组用电设备的计算负荷。

二项式等效负荷计算原理通过对用电设备组的细致分析, 将复杂的负荷计算问题进行简化, 能够较为准确地计算出建筑电气系统的负荷, 为建筑电气设计中的设备选型、线路规划等提供可靠依据。

2. 二项式等效负荷计算流程

在建筑电气设计里, 电气负荷计算是关键环节, 二项式等效负荷计算流程如下。

首先对电气负荷进行分类, 根据不同的电气负荷类型, 选择对应负荷类型功率的计算公式, 并且考虑各线间不同负荷功率因数相等时, 功率因数不相等时, 计算模式不相同。

接着进入二项式等效负荷计算环节。需要对每一台设备进行精准调研, 统计用电设备组的总容量以及其中大容量设备的容量, 根据统计结果选择设备组类型选取对应的二项式系数。系数的选取需要参考大量的实际运行数据和行业经验, 以确保计算的准确性。对于多组用电设备, 还要考虑同时系数, 固定以上计算因子后, 代入计算公式中, 可得出电气负荷计算结果。

综合这些步骤得出的总计算负荷, 能为电气系统的设备选型、线路规划等提供坚实可靠的数据支撑, 保障建筑电气系统安全、高效运行。

实验研究

本次实验目的是对比本文提出的基于二项式等效负荷计算方法与传统电气负荷基于系数计算方法, 在计算效率和准确度方面的性能表现, 探究其优势, 为实际应用提供参考依据。

实验选取一座综合性商业建筑作为研究对象, 该建筑包含照明系统、空调系统和电梯设备等多种用电设备, 设备容量差异较大, 运行情况复杂, 增加实验结果的客观性。为避免实验的唯一性, 实验周期为3月10日、3月15日和3月20日三天的电气负荷情况。

在计算过程中, 详细记录两种方法所需的计算时间、计算步骤以及计算结果。具体数据见表1。

表1 计算效率数据

计算时间	3月10日	3月15日	3月20日
传统方法/h	3.5	4.6	4.2
本文方法/h	1.2	1.8	1.6

选择的计算周期分别是周日、周五和周三的商场电气负荷, 3月10日为节假日, 商场内活动增加, 增加电气的使用负荷。通过后台数据计算, 传统方法对于三个时间的数据处理次数分别为189、295和262, 本文方法对于电气负荷数据的处理次

数为89、144和126。这是因为传统需要系数法虽然计算步骤相对简单，但在面对设备类型繁多、容量差异大的情况时，需要对不同设备组进行多次分类计算，整体计算过程繁琐，耗费时间较长，数据需要多次重复处理。而二项式等效负荷计算方法通过考虑大容量设备的影响，能够更快速地确定主要负荷来源，减少不必要的计算环节，计算效率显著提高。

对比已校准的电气负荷计算系统输出的负荷监测数据，三个周期内，传统需要系数法计算得出的负荷值与实际测量值平均偏差达到8%，在设备启动和大容量设备运行期间，偏差甚至高达21%。而二项式等效负荷计算方法充分考虑设备的实际运行特性，其计算结果与实际负荷值平均偏差仅为3%，在设备启动和大容量设备运行等特殊工况下，偏差控制在6%以内。提取3月15日24 h的电气负荷误差数据，如图1所示。

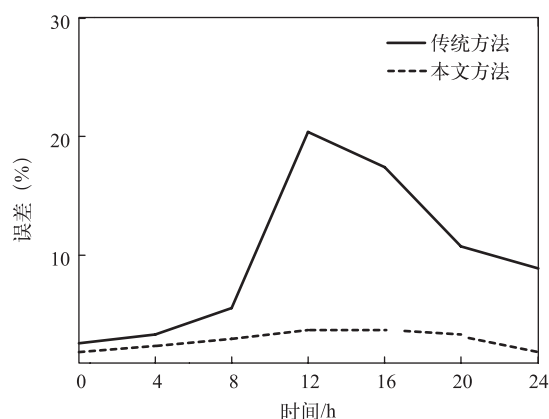


图1 数据误差波动图

二项式等效负荷计算方法能够更准确地反映设备组的实际负荷变化，特别是在设备启动和大容量设备运行时，计算结果与实际负荷更为接近，准确度明显提高，降低实际输出的负荷与计算的误差。

通过本次实验研究，对比传统的电气负荷计算方法，二项式等效负荷计算方法在效率和准确度方面都具有明显优势。采用二项式等效负荷计算方法能够更准确地计算出电气负荷，为电气设备的合理选型提供可靠依据，从而提高建筑电气系统的安全性、可靠性和经济性。因此，在今后的建筑电气设计中，应推广应用二项式等效负荷计算方法。

结束语

本文深入剖析建筑电气负荷概念与分类，明晰不同负荷特性，为计算奠定基础。通过严谨推导各线间功率因素相等与不等时的理论计算公式，构建精确计算的理论框架。同时，引入二项式计算原理及流程作为等效负荷计算方法，有效简化复杂系统的计算过程，兼顾效率与准确度。

在实际应用中，设计者应依据建筑特性与用电设备情况，灵活选用计算方法。未来，随着建筑智能化发展，电气负荷特性将更复杂多变，需持续探索优化计算方法，提升计算准确性与适应性。期望本文研究能为建筑电气设计人员提供有益参考，助力推动建筑电气领域的技术进步与发展。EA

(收稿日期：2024-10-07)

参考文献

- [1] 张峰，丁津津，王江权，等．基于阻抗式电气距离的配电负荷中心计算方法[J]．自动化技术与应用，2023，42(4)：64-66．
- [2] 刘仲民，赵丹阳．基于STFT-CNN-LSTM的非侵入式负荷监测方法研究[J]．华中科技大学学报：自然科学版，2023，51(8)：128-134．
- [3] 穆云飞，郭向伟，刘志彬，等．基于灵敏度分析的电气耦合综合能源系统最小切负荷方法[J]．高电压技术，2023，49(10)：4172-4181．
- [4] 廖思阳，陈怡琳，徐箭，等．基于馈线负荷分解的新能源电力系统紧急切负荷控制方法[J]．电网技术，2023，47(11)：4405-4415．
- [5] 陆建宇，吉斌，张怀宇，等．新型电力系统的负荷调控电价补偿机制设计[J]．电力需求侧管理，2024，26(3)：27-33．
- [6] 孟国情，邱晓燕，张明珂，等．计及柔性负荷和换电站的综合能源系统优化调度[J]．电子测量技术，2023，46(14)：138-145．
- [7] 肖白，李学思．基于误差幅空特性分析的空间负荷预测误差评价方法[J]．中国电机工程学报，2024，44(3)：880-893．
- [8] 韦延方，邹建凯，王鹏，等．基于七阶NR法与Broyden方法的柔性直流系统潮流新算法[J]．河南理工大学学报（自然科学版），2024，43(4)：141-151．