

建筑电气负荷计算方法的演进与适用性比较分析

张广海

河南中核五院研究设计有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 建筑电气负荷计算是确保供配电系统安全、可靠、经济运行的核心环节,其准确性直接关系到设备选型、线路敷设、投资成本及未来运行效率。本文旨在系统梳理建筑电气负荷计算方法从经验估算到精细化建模的发展脉络,深入剖析各类主流方法(包括单位指标法、需要系数法、二项式法、利用系数法以及基于动态模拟的现代方法)的基本原理、数学模型、适用场景及其内在局限性。通过构建多类型建筑(住宅、办公、商业综合体)的对比案例,对不同方法的计算结果进行量化分析,并探讨负荷计算中的常见问题及误差分析。最后,本文展望了在智能建筑、可再生能源集成和“双碳”目标背景下,负荷计算方法向数据驱动、实时预测和全生命周期管理方向发展的新趋势,为电气设计人员提供理论参考与实践指导。

关键词: 电气负荷计算; 需要系数法; 单位指标法; 适用性分析

引言

城市化加速、建筑功能复杂化,使建筑电气系统演变为综合性能源网络,电气负荷计算的准确性与科学性愈发关键。负荷高估会导致设备冗余、投资浪费、能效降低;低估则可能引发安全事故,威胁建筑安全运行。建筑电气负荷计算方法随电力工业、用电设备及设计理念发展不断演进,从早期依赖经验法则,到经典方法成行业标准,如今在大数据等技术赋能下迈向新阶段。但实际工程中,设计人员面临方法选择困境:如何依项目特点选适宜、高效、准确的方法?方法间计算结果差异多大?对工程决策影响如何?这些问题关乎技术与项目经济性、安全性。因此,本文将系统研究,追溯负荷计算方法历史,剖析比较主流方法,用实证案例揭示适用边界,探讨未来趋势,为理论研究与工程实践提供参考。

1 建筑电气负荷计算方法的历史演进

1.1 经验估算阶段(20世纪初至中期)

在电力应用的早期,建筑电气系统极为简单,主要负荷为白炽灯和少量电动机。此时的负荷计算几乎完全依赖于工程师的个人经验和简单的规则。例如,对于住宅,可能会采用“每户固定千瓦数”或“每平方米固定瓦数”的粗略估算。这种方法虽然简便快捷,但忽略了用电设备的多样性、同时使用率以及季节性变化等因素,误差极大,仅适用于极小型、功能单一的项目。

1.2 经典方法确立阶段(20世纪中期至末期)

随着第二次工业革命后电气设备的普及和建筑体量的增大,经验估算方法已无法满足工程需求。在此背景下,基于概率论和大量工程统计数据经典负荷计算方

法应运而生,并逐渐被各国规范所采纳,形成了沿用至今的行业标准。其中最具代表性的是苏联/东欧体系的“需要系数法”和西欧/北美体系的“二项式法”及“单位指标法”^[1]。这些方法的核心思想是引入“需要系数”(Kd)、“二项式系数”(b,c)或“单位面积功率密度”(W/m²)等经验参数,来表征设备组的最大负荷与设备总安装功率之间的非线性关系,从而在保证安全的前提下,有效避免了过度设计。

1.3 现代精细化计算阶段(21世纪初至今)

进入21世纪,信息技术的飞速发展给负荷计算带来了革命性的变化。一方面,建筑能耗模拟软件(如EnergyPlus, DeST, IESVE)的成熟,使得基于逐时气象数据、建筑物理模型和详细设备运行时间表的动态负荷模拟成为可能。另一方面,智能电表、楼宇自控系统(BAS)和物联网传感器的广泛应用,产生了海量的真实运行数据,为数据驱动的负荷预测和机器学习模型提供了坚实基础。此外,“双碳”目标的提出,也促使负荷计算从单纯的峰值负荷确定,转向对全年能耗、负荷曲线形态、峰谷差等多维度特征的综合考量,以支持可再生能源消纳、需求侧响应和能效优化等高级应用。

2 主流电气负荷计算方法原理与模型分析

2.1 单位指标法

单位指标法是最为直观和简便的方法,广泛应用于方案设计初期或对精度要求不高的场合。其基本原理是根据建筑的功能类型,赋予一个单位面积的功率密度指标(通常以W/m²为单位),然后乘以建筑面积即可得到该区域的计算负荷。计算模型:

$$P_{js} = P_0 \times A$$

其中:

P_{js} 为计算有功功率(kW);

P_0 为单位面积功率密度(W/m²);

A为建筑面积(m²)。

优点是计算极其简便,无需详细了解内部设备清单,适用于快速估算和方案比选。缺点是过于粗略,忽略了建筑内部功能分区、设备能效水平、管理水平等关键因素的差异。同一类型的建筑(如办公楼),其实际能耗可能因设计、运营水平不同而相差数倍,而单位指标法无法反映这种差异^[2]。规范中给出的指标值通常是一个较宽泛的范围,取值不当易导致较大偏差。

2.2 需要系数法

需要系数法是我国及许多国家现行设计规范(如《民用建筑电气设计标准》GB51348)中推荐的主要计算方法,尤其适用于设备台数较多、容量差别不大的用电设备组。核心概念为“需要系数”(K_d)定义为用电设备组在最大负荷时所需的功率(P_{js})与设备组所有设备额定功率之和(P_e)的比值。即 $K_d = P_{js}/P_e$ 。K_d<1,反映了设备的同时使用率和负荷率的综合效应。计算模型:

对于单一设备组:

$$P_{js} = K_d \times P_e$$

对于多组设备,需考虑组间的同时系数(K_Σ):

$$P_{\Sigma js} = K_{\Sigma} \times \sum(K_{d,i} \times P_{e,i})$$

优点是概念清晰,计算相对简单,有长期的工程实践验证,规范中提供了大量典型场所的推荐值,便于设计人员使用。缺点是是一个经验常数,其取值受多种因素影响(如设备性质、操作班制、地理位置、用户习惯等),规范值往往偏于保守,可能导致计算结果偏大。此外,该方法本质上是一种静态的、基于峰值的计算,无法反映负荷的时序变化特性。

2.3 二项式法

二项式法主要在部分欧洲国家和旧版规范中使用,它试图更精细地描述设备组负荷的构成,认为计算负荷由两部分组成:平均负荷(与设备总功率成正比)和附加负荷(由少数大容量设备造成)。计算模型:

$$P_{js} = b \times P_e + c \times P_x$$

其中:

b和c为二项式系数;

P_e 为设备组总功率;

P_x 为设备组中x台最大容量设备的总功率。

优点是相较于需要系数法,能更好地反映大容量设备对尖峰负荷的贡献,在设备容量差异悬殊的场合(如车间)有一定优势。缺点是系数b、c和x的确定同样依赖经验,缺乏普适性。计算过程比需要系数法稍显复杂,且在民用建筑中,由于设备容量相对均衡,其优势并不明显。目前在我国主流设计中已较少采用。

2.4 利用系数法

利用系数法是一种更为严谨的统计学方法,它基于设备的平均负荷(而非峰值)进行计算,并通过“有效台数”和“最大系数”来推算尖峰负荷。该方法在理论上更为严密,但计算过程繁琐^[3]。核心概念包括:(1)利用系数(K_u):设备在实际工作周期内的平均输出功率与其额定功率之比。(2)平均负荷(P_{av}): $P_{av} = K_u \times P_e$ 。(3)有效台数(n_{eff}):将容量不等的n台设备折算成n_{eff}台容量相等的假想设备。(4)最大系数(K_m):尖峰负荷与平均负荷的比值,可通过查表(基于n_{eff}和负荷曲线特征)获得。计算模型:

$$P_{js} = K_m \times P_{av} = K_m \times K_u \times P_e$$

优点是理论基础扎实,计算结果理论上更接近真实情况,尤其适用于工业负荷或负荷曲线稳定的场合。缺点是计算步骤多,所需参数(K_u, K_m)不易准确获取,对设计人员的专业要求高。在民用建筑领域,由于负荷随机性强、规律性差,其优势难以发挥,故应用不广。

3 不同计算方法的适用性比较与案例分析

为了直观地比较不同方法的差异,我们选取三种典型建筑进行案例分析。

3.1 案例一:普通高层住宅楼

基本信息:24层,每层8户,共192户。每户面积约90m²,配备空调、厨卫电器等。

计算目标:整栋楼的总计算负荷。

方法	计算过程简述	分析
单位指标法	取住宅单位指标40W/m ² ,总面积=192*90=17280m ² 。 $P_{js} = 40 \times 17280 / 1000 = 691.2 \text{ kW}$	结果偏大,未考虑户均同时使用率低的特点。
需要系数法	按户计算,每户安装功率约8kW。查规范,192户的K _d ≈0.3。 $P_{js} = 0.3 \times (192 \times 8) = 460.8 \text{ kW}$	考虑了户间同时使用率,结果更合理,是住宅设计常用方法。
利用系数法	K _u 取0.2, K _m 查表(大约为1.2)。 $P_{js} = 1.2 \times 0.2 \times (192 \times 8) = 368.6 \text{ kW}$	结果偏小,因住宅负荷随机性强, K _u 和K _m 难以准确确定。

结论:对于住宅类建筑,需要系数法因其简便性和合理的保守性,是最为适用的方法。

3.2 案例二:甲级写字楼

基本信息:地上20层,标准层面积约2000m²。功能

包括办公、会议室、数据中心（小型）、公共照明等。

计算目标：整栋大楼的总计算负荷。

方法	计算过程简述	分析
单位指标法	办公取80W/m ² ，数据中心取200W/m ² （假设200m ² ）。 $P_{js} = (80 \times 39800 + 200 \times 200) / 1000 = 3224 \text{kW}$	快速估算可行，但数据中心等特殊区域需单独计算。
需要系数法	分区计算（照明、插座、空调、电梯、数据中心），分别取Kd后叠加，并乘以组间同时系数0.85。结果约为2600kW。	工程设计主流方法，通过分区细化提高了精度。
动态模拟法	使用DeST软件，输入详细建筑模型、气象数据、设备作息表。模拟得到夏季设计日最大负荷为2450kW。	最接近真实情况，但前期建模工作量巨大，多用于绿色建筑认证或高标准项目。

结论：对于功能复杂的公建，需要系数法通过精细化分区仍能满足大部分工程需求。当项目对能效要求极高或包含

复杂系统（如冰蓄冷、光伏）时，动态模拟法的价值凸显。

3.3 综合比较

方法	适用阶段	计算精度	计算复杂度	所需信息	主要适用场景
单位指标法	方案、初设	低	极低	建筑面积、功能	快速估算、方案比选、小型简单项目
需要系数法	初设、施工图	中	低	设备清单、规范Kd值	绝大多数民用建筑的主流方法
二项式法	-	中	中	设备清单、系数	设备容量差异大的工业场所（国内少用）
利用系数法	-	高（理论）	高	设备详细运行数据	负荷规律性强的工业负荷
动态模拟法	方案、专项分析	高	极高	详尽的建筑、设备、气象、行为数据	绿色三星、近零能耗建筑、科研、复杂系统集成

4 负荷计算中的常见问题与误差分析

4.1 参数取值不当

这是最常见的问题。例如，在需要系数法中，盲目套用规范上限值，而不考虑项目的具体定位（如高端写字楼与普通办公楼的设备配置和管理水平差异巨大）。或者在单位指标法中，选用过时的、高能耗时代的指标值。

4.2 忽略负荷的动态特性

传统方法均为静态计算，无法反映一天内或一年中负荷的波动。例如，商业综合体的夜间负荷远低于白天，而数据中心的负荷则相对平稳。忽略这些特性，会导致变压器选型过大或过小^[4]。

4.3 新型负荷的涌现

电动汽车充电桩、大型LED显示屏、高性能计算服务器等新型负荷，其功率密度、使用模式与传统负荷迥异，现有规范中的经验系数可能完全不适用。

4.4 用户行为的不确定性

最终用户的使用习惯是影响实际负荷的关键变量，但却是最难预测的。设计工况下的理想负荷与实际运行负荷之间存在天然鸿沟。

5 未来发展趋势与展望

未来建筑电气负荷计算将呈现多元发展趋势。它将从静态计算迈向动态预测，生成代表性负荷曲线，与能耗模拟软件及电网调度系统深度耦合；从经验驱动转为数据驱动，借助建筑运行大数据和机器学习算法建立精准预测模型；以全生命周期视角，贯穿建筑各阶段，通

过实时监测反馈校正优化系统性能；同时与“源-网-荷-储”协同，考虑多种元素互动，将计算模型转变为双向的“供需平衡优化”。

6 结语

建筑电气负荷计算方法由粗放、静态向精细、动态发展。以需要系数法为代表的经典方法，因简便实用，仍是民用建筑设计主力。但面对复杂建筑系统和“双碳”新要求，其经验性和静态性局限凸显。理论剖析与案例实证显示，无通用最优方法。设计人员要理解各方法原理、适用边界与潜在风险，依项目特征、设计阶段和精度要求，灵活选择或组合计算策略。常规项目用精细化需要系数法即可；高标准、高复杂度或含新能源集成项目，应探索动态模拟和数据驱动等先进方法。展望未来，数字孪生、人工智能等技术深度融合，将推动建筑电气负荷计算迈向智能、精准、协同新纪元，为构建现代建筑能源系统筑牢根基。

参考文献

- [1] 庞兴坤. 建筑电气设计中的电气负荷计算方法[J]. 电气时代, 2025, (07): 114-117.
- [2] 李鹏, 肖辉, 邵颀, 等. 民用建筑电气负荷计算研究[J]. 电气应用, 2023, 42(10): 93-100.
- [3] 吴晨光. 智能化建筑电气供配电系统负荷计算与设计[J]. 科学技术创新, 2021, (33): 148-150.
- [4] 姚冬平. 探析等效负荷计算在建筑电气设计中的应用[J]. 建材与装饰, 2020, (17): 72-74.