

# 建筑能耗分析研究报告

王磊 张梓良 刘航宇 臧盛杭 李文欣

计算机学院，2020211538

计算机学院，2021212484

网络空间安全学院，2021212478

信息与通信工程学院,2021210564

国际学院，2022213304

**摘要：**我们小组针对选择的建筑能耗分析这一问题进行了学习，总结出这一报告。本文主要讨论了该问题中对建筑能耗进行分析和预测两种常用方法，正演模拟方法和数据驱动方法，并大致介绍了各方法的主要特点。

**关键字：**建筑能效；能耗预测；数据驱动模型；正演模型。

## 1 引言

当前，随着我国经济、社会等众多领域的快速发展及城市化进程的不断加速，人们对建筑的各种需求也呈现出快速增长的趋势。与此同时，人们也开始越来越重视与建筑相关的环境保护问题，特别是建筑能耗问题。在研究建筑能耗时，通常需要对特定建筑的能耗进行大致的评估或预测。这样的评估或预测往往需要对建筑的能耗水平进行预测。此时，数学模型无疑就成为了一种重要的工具。

## 2 正演模拟方法

在地球物理勘探研究中，根据地质体的形状、产状和物性数据，通过构造数学模型计算得到其理论值（数学模拟），或通过构造实体模型来观测模型所产生的地球物理效应的数值（物理模拟）叫做正演模拟。

在建筑能耗分析的应用中，正演模拟是在输入变量和系统结构、特性确定后预测输出变量，通过建立物理模型预测和模拟建筑能耗。目前正演模拟方法已经发展成为多种建筑能耗详细模拟工具，其中包括 DOE-2、BLAST、EnergyPlus、ESP-r、TRNSYS 等这类逐时能耗模拟计算引擎，也包括 DesignBuilder、Energy — 10、eQUEST 等具有成熟用户界面的逐时能耗模拟工具，<sup>[1]</sup>也有研究中将 BIM（建筑信息模型）技术用于能耗模拟分析<sup>[2]</sup>。本文中主要介绍 DOE-2 和 BIM 两种技术。

### 2.1 DOE2-2 软件

DOE-2 软件开发的时间较长,功能强大,软件的完善程度较高,加上人性化的设计界面,用户使用较为方便。应该说,DOE-2 是目前同类软件中最完善的软件之一。并作为计算核心衍生了一系列模拟软件,如 eQuest, VisualDOE, EnergyPro 等。

DOE-2 采用反应系数法求解房间不透明围护传热,冷负荷系数法计算房间负荷和房间温度。DOE-2 不直接计算各围护内表面的长波辐射换热,而是将其折合在内表面与空气的对流换热系数中;在考虑围护内表面与空气的对流换热时,将空气温度设为固定值,求得自围护传入室内的热量,当空气温度改变后,不再重新计算;在考虑邻室换热时采用邻室上一时刻的温度进行计算,以避免房间之间的联立求解。所以,DOE-2 在负荷计算时没有严格考虑房间热平衡。在 DOE-2 软件结构中,计算模块 LOADS 和 SYSTEMS 均会计算房间负荷,前者的负荷计算结果是假设各个房间全年都维持在一个恒定空调温度,而后者是考虑了室外新风利用、空调系统控制等因素后对 LOADS 负荷计算结果的修正。计算时间步长为 1h。<sup>[3]</sup>

龙恩深的研究使用 DOE-2 软件对两种建筑模型,利用广州、重庆、杭州、成都、南昌、南宁、福州和贵阳 8 个城市的气象参数进行了计算<sup>[4]</sup>。

## 2.2 BIM 技术系列软件

建筑信息模型(简称 BIM)技术是利用计算机技术,通过 BIM 相关软件如 Revit 来建立三维模型,利用参数、数值化等概念,实现实时提取项目人员管理、明细、成本等数据信息,并运用数据库建立三维模型。<sup>[5]</sup>

BIM 技术是一种基于统一的数据标准,贯穿于工程项目的全寿命周期,通过整合建筑项目生成的各类信息为项目的所有参与者提供一个共享式信息平台的新技术。BIM 的实现离不开 BIM 系列软件,目前 BIM 系列软件可划分为两大类型: BIM 建模软件和利用模型的软件。每一类都包括诸多具体软件,这些软件大大推进了 BIM 的普及和发展,使用者可以根据需要选择和综合运用,进而优化设计、节约成本等。

马乐原的研究中使用 BIM 系列软件中的 Revit 进行建模后,使用 Ecotect Analysis 的热环境分析功能分析鲁中地区农宅的建筑能耗<sup>[2]</sup>。

## 3 数据驱动方法

由于正演模拟模型耗时较长且需要详尽的建筑信息与环境参数(如建筑构造细节、运行时间表、物性参数等),在实际应用中常因为缺少准确的输入数据,导致能耗模拟结果不佳。数据驱动模型能够根据建筑的历史能耗数据和建筑业态,在缺少建筑物理参数的情况下快速精准地对建筑能耗进行预测,近年来得到了广泛的应用。目前,常用的机器学习算法有支持向量回归、人工神经网络以及梯度渐进回归树等。本文着重介绍时间序列模型、人工神经网络模型(ANN)以及集成学习模型。

### 3.1 时间序列模型

建筑系统存在巨大惯性，下一个预测时刻的建筑负荷/能耗很大程度上与当前时刻的值相关。因此，在考虑一定随机性的基础上，采用时间序列方法能够建立效而准确的建筑能耗预测模型。这种分析方法表面上看是表示因变量(建筑负荷/能耗)随时间的自发变化，而实际上反映了各因素对因变量(气象条件与建筑物理特性)的综合影响。采用时序方法进行预测，则过去的记录应尽量接近预测时刻，且过去的历史记录越详细，就越易于研究。一般来说，负荷/能耗的监测数据都是按照一定的时间间隔进行采样记录的，而对采样时间间隔的要求，则取决于预测对象的时间精度。

时间序列分析方根据历史数据生成时间序列，然后通过曲线拟合和参数估计建立数学模型对未来值进行预测。国内外诸多学者用时间序列方法对能耗预测进行了大量的探索和研究。时序方法中最基本的模型是自回归移动平均 ARMA 模型(Auto-regressive moving average model)。

欧阳前武的研究中采集了 19 栋广州市商业建筑 2009~2011 年逐月建筑能耗数据，使用 ARMA 模型对其进行能耗分析，涉及四个步骤①时间序列的建立；②模型的建立与季节调整序列的预测；③季节因子温度化处理；④逐月积温值与建筑能耗的预测。<sup>[6]</sup>

### 3.2 神经网络模型

随着数据量增多以及算力增长，数据驱动模型逐渐由浅层机器学习发展到深度学习(神经网络模型)。深度学习通过多个网络层直接从数据中进行特征的提取与学习，有着较强的模型表达能力。相较于传统机器学习，深度学习模型预测精度随着训练数据量增长而不断提高。而在 ANN 这一理论体系内又有 CNN、RNN、GAN、GAE 等模型。

张卓渊的研究提出了一种基于生成对抗网络(GAN)的建筑能耗多步预测方法，将 LSTM 作为生成器，CNN 作为判别器，利用 GAN 中生成器和判别器的对抗思想进一步捕捉数据间的深层次非线性关系，降低预测误差。文中以美国某大学实验楼的能耗数据进行实验，直接预测未来 24 小时的能耗数据，验证了方法的有效性。<sup>[7]</sup>

曾国治等人的研究中开创性地提出了一种 CNN-RNN 组合模型，结合了卷积神经网络(CNN)对局部特征的捕捉能力对能耗影响因素间的非线性作用的有效学习能力，和循环神经网络(RNN)对时间序列数据的敏感性，前文中已经提到了时序对建筑能耗预测的价值。研究与简单循环神经网络和 LSTM 模型进行对比均表现优异，因此该研究对数据驱动模型在建筑能耗预测上的建模提供理论指导。<sup>[8]</sup>

### 3.3 回归模型

回归模型是简单有效且应用较广的一类数据驱动模型，传统的单变量和多变量回归模型，如线性回归、岭回归、Lasso 回归对模型变量和模型结构的选取有很高的要求，模型的选择

也会直接影响建筑能耗预测的准确性。在此基础上发展出来的一些集成学习模型能有效解决这些问题，显著提升预测模型的泛化能力和准确性。

李继伟的研究中选取了 XGBoost、Random Forest、Extra Trees 三种集成回归模型对香港地区 40716 栋民用建筑进行了能耗预测，结果展现了集成学习模型的优越性能。<sup>[9]</sup>

## 4 结语

能源需求预测和节能效果评估是建筑能效管理的重要内容，影响建筑能耗的诸多因素决定了建筑能耗分析与预测的复杂性。

建筑能耗预测采用的方法主要分为正演模拟模型和数据驱动模型。本文尝试总结了常用方法，对正演模拟模型主要介绍了 DOE-2 软件和 BIM 理论体系；对数据驱动模型主要介绍了时间序列模型、人工神经网络模型和回归模型。

## 参考文献

- [1] 朱明亚, 潘毅群, 吕岩, 等. 能耗预测模型在建筑能效优化中的应用研究[J/OL]. 建筑科学, 2020, 36(10): 35-46+124. DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2020.10.05.
- [2] 马乐原, 陈悦华. BIM 在鲁中地区传统农宅节能改造中的运用[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2019, 40(04): 503-509.
- [3] 朱丹丹, 燕达, 王闯, 等. 建筑能耗模拟软件对比:DeST、EnergyPlus and DOE-2[J/OL]. 建筑科学, 2012(S2 vo 28): 213-222. DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2012.s2.017.
- [4] 龙恩深, 马校飞, 范亚明, 等. DOE-2 在住宅建筑能耗分析中存在的问题探讨[J]. 暖通空调, 2005(05): 102-106.
- [5] 吴明亚, 卜俊铭, 许娜, 等. 基于 BIM 平台的项目安全与成本控制[J/OL]. 安徽建筑, 2022, 29(10): 103-104+164. DOI:10.16330/j.cnki.1007-7359.2022.10.042.
- [6] 欧阳前武, 李辉, 李俊. ARMA 模型在商业建筑群能耗预测中的应用[J]. 建筑热能通风空调, 2013, 32(03): 56-58.
- [7] 张卓渊. 一种基于生成对抗网络的建筑能耗多步预测方法[J/OL]. 电脑知识与技术, 2022, 18(23): 92-94+110. DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2022.1577.
- [8] 曾国治, 魏子清, 岳宝, 等. 基于 CNN-RNN 组合模型的办公建筑能耗预测[J/OL]. 上海交通大学学报, 2022, 56(09): 1256-1261. DOI:10.16183/j.cnki.jsjtu.2021.192.
- [9] 李继伟, 冯国会, 徐丽. 建筑能耗预测的机器学习回归模型研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(06): 1098-1106.

