

基于 BIM 技术的暖通空调制冷机房建模与高效制冷机房设计协同研究

关伟雄

身份证号: 440783199310072715

DOI:10.61369/ME.2025010013

摘要 : 阐述 BIM 技术在高效制冷机房设计的应用, 包括其核心特征及优势。介绍高效机房协同设计理论框架的构建维度, 以及动态负荷模拟、水力计算等方法。还涉及 Revit 建模、Navisworks 检测等流程, 强调 CAD 与 BIM 协同及智能控制策略, 分析节能效果与经济性, 并指出研究局限与方向。

关键词 : BIM 技术; 高效制冷机房; 协同设计

A Collaborative Study on Modeling of Hvac Refrigeration Room and Design of Efficient Refrigeration Room Based on Bim Technology

Guan Weixiong

ID: 440783199310072715

Abstract : This paper discusses the application of BIM technology in the design of high-efficiency refrigeration machine rooms, highlighting its core features and advantages. It introduces the dimensions of the theoretical framework for collaborative design of efficient machine rooms, as well as methods such as dynamic load simulation and hydraulic calculations. The paper also covers processes like Revit modeling and Navisworks detection, emphasizing the synergy between CAD and BIM and intelligent control strategies. It analyzes the energy-saving effects and economic benefits, and identifies research limitations and future directions.

Keywords : BIM technology; efficient refrigeration room; collaborative design

引言

随着建筑行业的发展, BIM 技术在暖通空调制冷机房设计中的应用日益受到关注。2017 年发布的《建筑业发展“十三五”规划》强调了推进建筑信息化的重要性, 这为 BIM 技术的应用提供了政策支持。BIM 技术具有参数化建模、信息集成及可视化等核心特征, 这些特征在高效制冷机房设计中优势明显。从负荷预测、系统选型到水力平衡、能耗分析等多个维度构建协同设计理论框架, 以及采用动态负荷模拟方法、优化管网水力计算模型等, 都离不开 BIM 技术的支撑。同时, CAD 图纸与 BIM 模型的数据转换接口、协同建模技术实现路径等也是实现高效机房设计的关键环节, 本研究将对此展开探讨。

一、BIM 技术与高效制冷机房设计理论基础

(一) BIM 技术核心特征与优势

BIM 技术具有参数化建模、信息集成及可视化等核心特征。参数化建模可通过设定参数快速生成和修改模型, 提高设计效率^[1]。信息集成能够将各种建筑信息整合到一个模型中, 包括设备参数、材料信息等, 方便设计师和各参与方获取全面信息。可视化特征则使设计成果以三维形式直观呈现, 便于理解和沟通。在高效制冷机房设计中, 这些特征带来诸多优势。例如在设备空间优化方面, 通过可视化和信息集成, 可准确分析设备空间需求, 合理布局设备, 避免空间浪费。在管线综合上, 参数化建模

和可视化有助于提前规划管线走向, 减少管线碰撞, 提高施工效率和质量。

(二) 高效机房协同设计理论框架

高效机房协同设计理论框架需从负荷预测、系统选型、水力平衡、能耗分析四个维度构建协同设计理论模型。负荷预测是基础, 通过对建筑的热负荷和冷负荷进行准确预测, 为后续设计提供依据^[2]。系统选型要综合考虑各种因素, 如制冷机组的类型、容量等, 以确保系统的高效运行。水力平衡对于保证系统的稳定运行至关重要, 需合理设计管道系统, 避免水力失调。能耗分析则是对整个系统的能耗进行评估和优化, 通过模拟和分析, 找出节能潜力, 提高机房的能源利用效率。这四个维度相互关联、相

互影响，共同构成了高效机房协同设计的理论框架。

二、8760小时负荷模拟与水力计算模型构建

（一）动态负荷模拟方法研究

在动态负荷模拟方法研究中，采用 EnergyPlus 进行全年逐时负荷计算具有重要意义。它能够充分考虑气象参数以及运行工况对负荷的影响，从而建立起较为准确的负荷预测模型^[3]。通过对不同时间点的负荷进行详细模拟，可以为暖通空调系统的设计和运行提供关键数据支持。该方法有助于更好地理解建筑在不同季节、不同时间段的热需求变化规律，进而优化制冷机房的设计，提高能源利用效率，实现高效制冷机房的设计目标。同时，结合 BIM 技术，能够将负荷模拟结果与三维模型相结合，更直观地展示系统运行状态和潜在问题，为设计协同提供有力工具。

（二）管网水力平衡优化算法

在 8760 小时负荷模拟与水力计算模型构建中，管网水力平衡优化算法至关重要。开发基于遗传算法的管网阻力平衡计算模型，该算法能有效处理复杂的管网系统。通过对管网系统的拓扑结构、管径、阻力系数等参数进行编码，利用遗传算法的选择、交叉和变异操作，不断优化管网阻力平衡方案，使其接近全局最优解^[4]。同时，提出变流量系统的水力优化策略。考虑到空调系统在不同工况下的流量需求变化，通过对水泵转速、阀门开度等进行动态调节，实现管网水力平衡的实时优化，提高系统的运行效率和节能效果。

三、BIM 协同建模技术实现路径

（一）Revit 参数化建模流程

1. 设备族库创建标准

在 Revit 参数化建模流程中，对于设备族库创建标准部分，核心在于制定冷水机组、水泵等核心设备的 LOD400 建模标准与参数关联规则^[5]。首先需明确设备的详细几何形状、尺寸及材质等信息，确保模型能准确反映实际设备。对于参数关联规则，要依据设备的运行原理和实际性能参数进行设定，例如冷水机组的制冷量、功率与运行效率等参数需合理关联，以便在模型中能够准确模拟设备的运行状态和性能表现。同时，在创建族库时，要考虑模型的通用性和兼容性，方便在不同项目中使用，提高建模效率和质量。

2. 碰撞检测与净高优化

在 Revit 参数化建模完成后，运用 Navisworks 进行管线综合碰撞检测至关重要。通过将 Revit 模型导入 Navisworks，能够快速准确地识别出暖通空调系统中各类管线之间以及管线与其他构件的碰撞点^[6]。对这些碰撞点进行详细分析，依据实际工程需求和规范要求，制定合理的解决方案。同时，结合净高要求，对三维空间进行优化。考虑到机房的实际使用功能和维护空间，合理调整管线的走向和高度，确保在满足制冷机房正常运行的前提下，最大限度地提高空间利用率，实现高效制冷机房的设计目标。

（二）CAD/BIM 协同设计方法

1. IFC 数据转换机制

CAD 图纸与 BIM 模型的数据转换接口是实现协同的关键。通

过深入研究，需明确两者的数据结构差异，以建立有效的转换规则。在此过程中，要注重属性信息的无损传递，确保从 CAD 图纸中提取的关键信息，如暖通空调制冷机房的设备参数、管道规格等，能够准确无误地导入 BIM 模型中。这不仅需要技术手段的支持，还需遵循相关标准，如 IFC 标准。IFC 数据转换机制为这种协同提供了可能，它定义了一种通用的数据格式，使得不同软件之间的数据交换更加顺畅。利用这一机制，可以更好地实现 CAD 与 BIM 的协同，提高暖通空调制冷机房建模与设计的效率和质量，为高效制冷机房的设计提供有力保障^[7]。

2. 多专业协同工作流程

在 BIM 协同建模技术实现路径中，构建建筑、结构、机电专业间的模型共享与实时更新机制至关重要。各专业需基于统一的 BIM 平台进行工作，确保信息的集成与交互。建筑专业创建的模型为结构和机电专业提供基础框架，结构专业在此基础上进行结构构件的布置与设计，其设计变更能实时反馈到建筑模型中，避免冲突。机电专业尤其是暖通空调制冷机房相关设计，依据建筑和结构模型进行设备及管道的布置，同时其调整也能及时更新到整体模型，保证各专业模型的一致性和准确性。通过这种方式实现多专业协同工作，提高设计效率和质量^[8]。

四、高效制冷机房设计策略研究

（一）设备选型优化策略

1. 机组能效比动态评估

建立基于部分负荷率的 COP 动态计算模型是机组能效比动态评估的关键。通过分析不同负荷条件下机组的运行性能，准确计算 COP 值，为设备选型提供科学依据^[9]。同时，提出设备容量匹配原则，确保制冷机组、水泵、冷却塔等设备在不同工况下均能高效运行。设备容量应根据实际负荷需求进行合理配置，避免过大或过小导致的能源浪费。在选型过程中，综合考虑设备的性能曲线、部分负荷特性以及相互之间的匹配性，以实现整个制冷机房系统的高效运行，提高能源利用效率，降低运行成本。

2. 变频设备配置方案

制定水泵与冷却塔的变频控制策略对于实现 20%–100% 负荷区间高效运行至关重要。通过对制冷机房运行工况的详细分析，确定合理的变频范围和控制参数。根据负荷变化，动态调整水泵和冷却塔的运行频率，使其在不同负荷下均能保持高效工作状态。采用先进的传感器技术实时监测相关运行参数，如温度、压力、流量等，为变频控制提供准确的数据支持^[10]。同时，结合智能控制系统，对采集的数据进行分析处理，实现对变频设备的精准控制，提高整个制冷机房的能源利用效率，降低运行成本。

（二）管路系统优化设计

1. 同程系统水力平衡设计

同程系统水力平衡设计是高效制冷机房管路系统优化的关键。通过合理规划管路拓扑结构，可有效控制系统不平衡率。在设计过程中，需精确计算各管路的阻力，根据阻力特性调整管径和管长，确保各支路的水力特性相近。利用水力平衡阀等设备进一步微调各支路的流量，使其符合设计要求。同时，采用先进的模拟软件对系统进行水力模拟分析，提前预测可能出现的不平衡问题并加以解决。通过这些措施，可将系统不平衡率控制在 $\pm 5\%$

以内，提高制冷机房的运行效率，减少能源浪费，确保各设备在良好的水力条件下稳定运行。

2.低阻力阀门选型策略

在低阻力阀门选型策略方面，对于高效制冷机房的管路系统优化至关重要。应采用动态平衡阀与电动调节阀组合方案。动态平衡阀能够根据系统的压力变化自动调节流量，确保各支路的流量平衡，避免因流量不均导致的局部阻力过大问题。电动调节阀则可根据实际需求精确控制流量，进一步优化系统运行。这种组合方案可有效降低系统整体阻力约15%。通过合理选型和搭配阀门，能够减少管路系统中的能量损失，提高制冷机房的运行效率，同时降低能耗，为实现高效制冷机房的设计目标提供有力支持。

（三）智能控制策略研究

1.负荷预测控制算法

开发基于机器学习的前馈 - 反馈复合控制模型以实现供冷量精准匹配，需综合考虑多种因素。首先要建立准确的负荷预测模型，通过收集历史数据，包括室内外温度、湿度、人员流动等信息，利用机器学习算法进行数据分析和模型训练。前馈控制环节根据预测的负荷提前调整制冷机组的运行参数，如压缩机转速、制冷剂流量等。反馈控制则实时监测实际供冷量与需求的偏差，对前馈控制进行修正。通过不断优化模型参数，提高控制精度，确保制冷机房能够在不同工况下高效运行，实现节能目标，同时满足用户的舒适度需求。

2.群控系统优化逻辑

在高效制冷机房的智能控制策略中，群控系统优化逻辑至关重要。建立设备启停优先级控制策略是关键环节。通过对制冷机房各设备运行数据的精确分析，依据负荷需求、设备性能及能耗情况设定优先级。当制冷需求变化时，优先启动或停止符合条件的设备，避免所有设备同时低效运行。例如，在低负荷时段，优先关闭部分能耗较高且对整体制冷效果影响较小的设备。同时，结合实时监测数据不断调整策略，确保系统始终处于高效运行状态，从而实现缩短机组低效运行时间30%的目标，提高制冷机房的整体能效。

五、工程验证与效果分析

（一）实际工程案例验证

某商业综合体项目中，传统设计方式在暖通空调制冷机房设

计上存在诸多问题。设计过程中各专业协调困难，信息传递不畅，导致设计变更频繁，施工进度受阻。而采用BIM协同设计后，各专业在统一的三维模型平台上协同工作，实时共享信息。通过BIM模型，能够提前发现并解决设计冲突，优化管道布局和设备选型。施工过程中，基于BIM模型的可视化指导，工人能更准确地安装设备和铺设管道，减少了错误和返工。最终，BIM协同设计使项目的设计周期缩短，施工质量提高，制冷机房的运行效率也得到了显著提升，验证了BIM技术在暖通空调制冷机房设计中的优势。

（二）节能效果与经济性分析

通过能耗模拟与实测数据对比，对基于BIM技术的暖通空调制冷机房设计的节能效果与经济性进行分析。结果显示系统能效有显著提升，达到22%。这得益于BIM技术在设计阶段的优化，使得制冷机房各设备及系统协同工作更加高效。在经济性方面，投资回收期缩短至4.3年。这主要是因为节能效果带来的运行成本降低，以及BIM技术在设计过程中对资源的合理配置，减少了不必要的投资。同时，高效的制冷机房设计也提高了设备的使用寿命，进一步降低了长期运营成本，体现了该设计在节能和经济上的双重优势。

六、总结

本研究构建了BIM技术与高效机房设计的全过程协同框架。通过实际工程验证，基于8760小时负荷模拟的设备选型策略效果显著，能降低装机容量18%。同时，结合水力平衡优化可使系统能效提升25%，这充分体现了该协同框架在暖通空调制冷机房设计中的优势。然而，研究也存在一定的局限性和后续研究方向。例如，数字孪生技术在运维阶段的应用尚未深入探究。未来研究应聚焦于此，进一步完善基于BIM技术的暖通空调制冷机房设计与运维体系，以实现更高效、节能的机房运行模式，推动行业的可持续发展。

参考文献

[1]SAINJARGAL NASANBAT.Revit平台下空调制冷机房BIM设计及拆分方法研究[D].大连理工大学,2020.
[2]刘海.工业建筑高效制冷机房能效比研究——以某厂制冷机房为例[D].广州大学,2021.
[3]方婉蓉.基于BIM技术的建筑结构协同设计研究[D].武汉科技大学,2013.
[4]王常博.制冷机房群控系统设计及实现[D].扬州大学,2020.
[5]樊成亮.空调制冷机房耦合水侧节能系统建模及优化控制[D].广州大学,2021.
[6]李超然.暖通空调高效制冷机房设计的思考[J].建材与装饰,2021,17(32):49-50.
[7]孟瑞平.暖通高效制冷机房与低碳设计[J].建筑·建材·装饰,2023(22):124-126.
[8]梁军,李承泳.北京某写字楼项目暖通空调高效制冷机房设计[J].建筑热能通风空调,2017,36(9):103-105,61.
[9]王峰.高效制冷机房性能化设计研究[J].绿色建筑,2023(3):73-77.
[10]于昌勇,张亮,李嘉劼,等.高效空调制冷机房无人值守智慧运行节能技术研究与应[J].建设科技,2022(23):63-66,70.