

中央空调能效监测平台设计^①

谢秀颖, 姜海明, 王少林, 王敏, 张道良

(山东建筑大学 山东省智能建筑技术重点实验室, 济南 250101)

摘要: 针对目前中央空调系统存在的能效信息分散, 不易共享的问题, 设计了中央空调能效监测平台, 根据中央空调系统现有的能效监测手段及能效计算方法, 建立能效评价体系, 并结合中央空调诊断本体库, 展示中央空调系统各设备、子系统的能效监测结果及诊断决策。该平台为中央空调能效监测提供了便利, 为进一步的节能维护提供了条件。

关键词: 能效监测; 空调本体; 能效评价

Design of Energy Efficiency Monitoring Platform for Central Air Conditioning

XIE Xiu-Ying, JIANG Hai-Ming, WANG Shao-Lin, WANG Min, ZHANG Dao-Liang

(Shandong Provincial Key Laboratory of Intelligent Buildings Technology, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: This article is in order to solve the existing problems in the central air-conditioning system, such as energy efficiency information scattered and hard to be shared, designs a central air-conditioning energy efficiency monitoring system. According to the existing energy efficiency monitoring means and efficiency calculation methods, builds an energy efficiency evaluation system which is combined with the central air-conditioning diagnosis ontology library, to display energy efficiency monitoring results and diagnostic decisions for the central air-conditioning system devices and subsystems. This platform can provide convenience for energy efficiency monitoring of the central air-conditioning, it can also provide conditions for further maintenance for energy saving.

Key words: energy efficiency monitoring; air conditioning ontology; energy efficiency evaluation

随着公共建筑不断增加, 对公共建筑空调系统进行准确的能效监测及分析诊断有着重要的意义。早在 20 世纪 80 年代逐渐开始对公共建筑的能耗予以重视, 政府及研究机构对公共建筑的能耗运营水平做了大量的调查分析, 全面开展了能效测评、系统诊断等大量的建筑节能工作, 并取得了大量的研究成果。如美国通过立法确定了能效标准和标识的合法地位, 先后实施了强制性能效标准、标识和自愿性认证(即“能源之星”)制度^[1]; 美国纽约市教育局依据联邦绿色建筑委员会标准颁布的“绿色学校建设指导”对学校的长远设计、施工、运行、节能等方面, 给出了全面、完整的绿色评价体系^[2]。德克萨斯农工大学能源系统实验室和内布拉斯加大学能源系统实验室, 创建了一种叫作

持续运行优化的空调系统节能方法^[3]; 美国的 House, J.M. 等提出两种用于诊断推理建筑的暖通空调系统的层次结构, 一种是自上而下的方法, 即利用高水平的性能指标来推论低水平下可能的退化原因; 另一种是自下而上的方法, 即利用低水平的性能指标来隔离与分析问题, 以确定其对整个建筑性能的影响水平^[4]。英国的 Ivan Korolija 等测试了英国的部分办公建筑群的中央空调系统, 该类型建筑的 HVAC 系统主要以变风量(VAV)和风机盘管系统为主。日本的能源管理是通过输入能量消费数据、能量需求数据、设备管理数据获得建筑能量消费状态、能量使用状态和降低能耗的方法^[5]。20 世纪 90 年代末, 国际能源组织(IEA)组织一些国家的相关专家进行空调系统的故障检测诊断和

① 基金项目: 山东省墙材革新与建筑节能科研开发项目

收稿时间: 2016-01-16; 收到修改稿时间: 2016-03-07 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005365]

系统的实用性验证研究工作; Wang 和 Jin 通过对整个系统的能耗性能的预测实现空调系统的实时优化控制^[6,7]

目前，国外对空调系统的能效监测主要集中在空调系统故障诊断与空调系统优化控制两方面。空调设备在运行过程中因故障诊断等因素而产生的节能维护知识对未来的设备检测、节能维护有着重要的指导意义。而能效监测平台则起到了很好的故障诊断知识管理的作用，并且使得复杂的能效监测手段更易被接受。

中央空调系统的工作过程是一个不断进行能量转换以及热交换的过程。其理想运行状态是：冷冻水循环系统中，在冷冻泵的作用下冷冻水流经冷冻主机，在蒸发器进行热交换，被吸热降温后送到终端盘管风机或空调风机，经表冷器吸收空调室内空气的热量升温后，再由冷冻泵送到主机蒸发器形成闭合循环。冷却水循环系统中，在冷却泵的作用下冷却水流经冷冻机，在冷凝器吸热升温后被送到冷却塔，经风扇散热后再由冷却泵送到主机，形成循环^[8]。为了更好地完善中央空调能效监测方法，根据中央空调的工作原理对尽可能多的空调设备的信息进行采集。中央空调设备信息采集方案如表1所示。

表 1 中央空调设备信息采集方案

设备	采集信息内容
冷水机组	运行状态, 故障报警, 手自动状态, 水蝶阀启闭状态
冷却水泵	运行状态, 故障报警、手自动状态、水流状态
冷冻水泵	运行状态, 故障报警、手自动状态、水流状态
冷冻水系统	供回水温度, 供回水压力、流量
冷却水系统	供回水温度、流量
冷却塔	运行状态, 故障报警, 手自动状态、蝶阀启闭状态, 供回水温度
新风机组	回风温度控制, 滤网压差报警, 风机压差, 新风阀、回风阀开度控制
空调末端	末端环境温度, 空气质量

1 平台概述

中央空调能效监测平台总体分成五部分：现场设备层、网络通讯层、数据层、应用层和可视化层。平台总体框图如图 1 所示。数据层向楼宇自控系统提供数据接口(OPC 或 TCP/IP)获取中央空调运行统计数据，作为对中央空调进行能效监测的参考数据。应用层通过访问数据库，对空调系统运行过程中产生的数据进行分析处理，空调本体库则提供分析处理所需的故障

诊断知识。关系数据库和本体之间数据的互操作性可以通过构建关系数据库模式和本体间映射的途径来解决，通过D2RQ平台建立起传统关系型数据库和本体库之间的映射关系^[9]。依据能效评价指标对处理的结果进行评价并且反馈给应用层。应用层将从本体库反馈回来的结果以及能效监测的评价结果显示，为用户提供信息查询、数据统计和维护决策支持等系统服务。

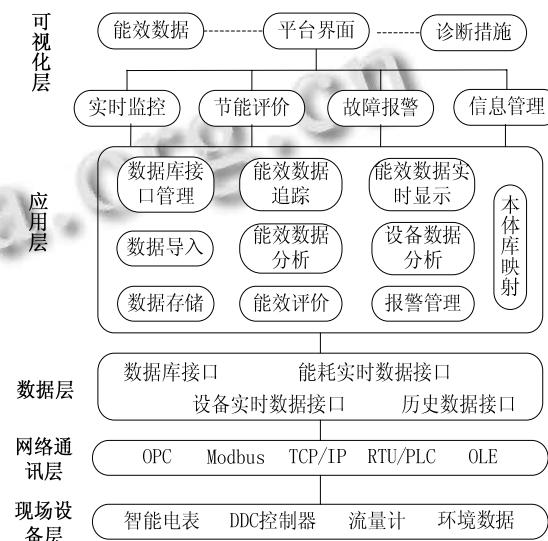


图 1 平台总体框图

2 能效监测方法的设计与实现

2.1 能效指标的获取

中央空调系统主要能效指标自上而下分为3个层次：空调系统整体能效指标、子系统能效指标、主要设备能效指标。空调系统整体能效指标主要包括：单位面积耗冷量 CCA、空调系统能效比 EERs、单位面积空调能耗 ECA；子系统分别是冷热源系统、输送系统、空气处理系统，对应的子系统能效指标分别是制冷系数能效比 EER_r 和冷却水输送系数 WTF_{cw}、冷冻水输送系数 WTF_{chw}、空调末端能效比 EER_t；冷热源系统包含的空调设备包括冷水机组、冷却塔和锅炉，对应的设备能效指标分别为性能系数、冷却能力和风机耗电比、单位输出热量耗燃料量/电量；输送系统包含水泵和风机，对应的设备能效指标分别为水泵效率、风机机组电能利用率和电动机负载率；空气处理系统包含空调机组和风机盘管，对应的设备能效指标分别为换热偏差、送风温差^[10]

2.2 能效监测的实现

中央空调能效监测平台工作流程图如图2所示

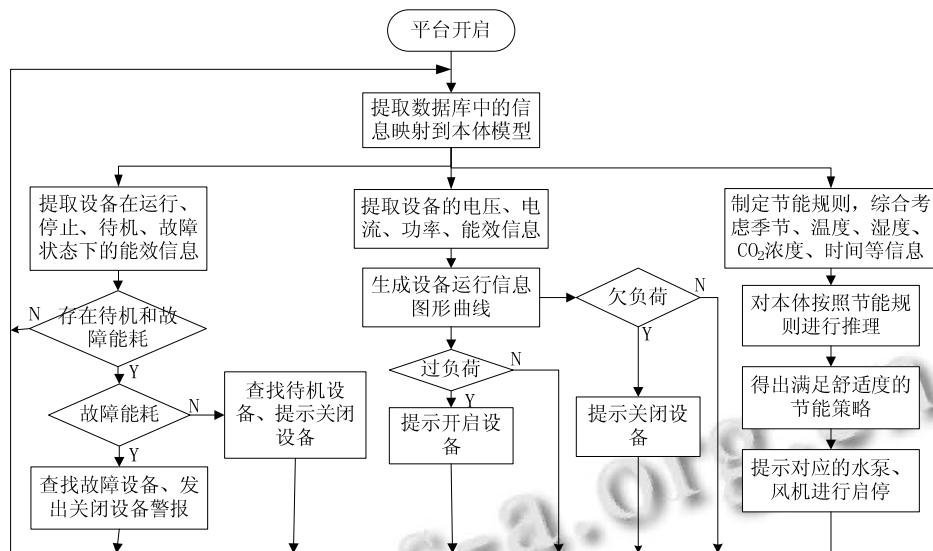


图2 能效监测平台流程图

具体步骤为：

- 1) 设备测控模块采集设备的状态信息，经过数据接口上传到管理计算机数据库；
- 2) 提取数据库中的数据映射到中央空调本体模型对应的实例的属性；
- 3) 提取设备的能效信息，判断能效类型，查找设备，发出信息；
- 4) 提取设备的信息，判断设备的负荷状态，发出提示状态；
- 5) 制定中央空调节能规则，综合考虑各种信息，对本体按照节能规则进行推理，得到满足舒适度要求的节能策略。

3 能效监测平台的数据库设计

将本体思想引入到故障知识的表示中，通过本体能将诊断涉及的知识进行结构化表示，促进多源异构知识之间的交互、共享和重用^[11]。中央空调本体模型构建是基于 OWL 语言，采用 protégé 工具完成对本体的编辑，要完成本体模型到关系数据库存储，需要对 OWL 本体文件进行结构的转换，将本体模型到关系模型的转换^[12]。

类是查询中需要频繁操作的对象，建立一张包含本体所有类的表 Ontology。属性也是构成本体信息的重要元素之一，本体模型中常用属性单独创建属性表。设备类型的存储则集中在 Blower、Pump、Temperature、Energy 四张表中，它们是本体模型中的主体，拥有特

别的属性和关系。表 Individual 完成了对每个本体实例的存储。此外还应为本体中的类建立一张关系表、本体中的属性建立一张关系表、本体中的实例建立一张关系表对本体模型进行必要的补充说明。能效监测平台数据库设计如图 3 所示。

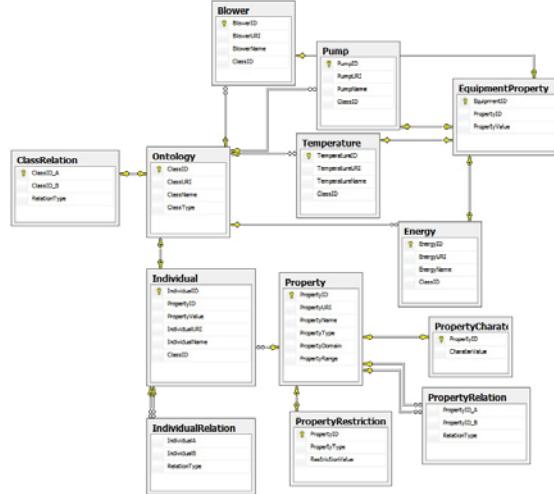


图3 能效监测平台数据库

4 能效监测平台的界面设计

中央空调能效监测平台界面设计基于 .NET Framework，采用简单易用的 Microsoft Visual Studio 2010 作为开发平台，使用简洁、类型安全的面向对象的 C# 编程语言进行项目开发，数据库管理软件采用 Microsoft SQL Server 2005，通过 ADO.NET 语言可以轻松地访问数据库。

中央空调能效监测平台基本功能如下：负责整个系统的能效信息采集，通过界面展示冷水机组、冷却塔、水泵、风机、空调机组和风机盘管的能效情况及诊断信息；各设备的运行情况通过图表的形式记录下

来；能够对数据库进行简单的管理；具备一些简单实用的小功能；增加用户管理功能，方便人员实用。为了使界面能够更加直观、简洁，能效监测平台界面的功能结构如图 4 所示。

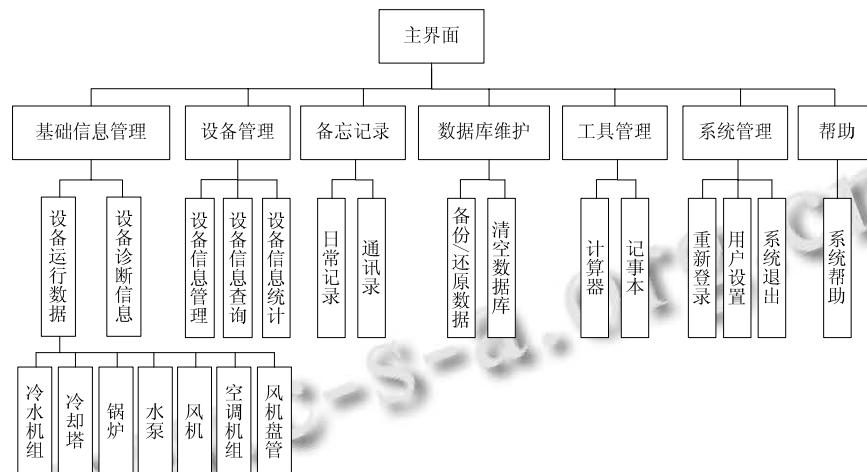


图 4 能效监测平台界面功能结构

主界面是平台人机交互中的重要环节，通过主界面可以调用平台相关的各子界面，将空调设备数据、设备能效信息实时展示，并将统计分析所得的中央空调系统各设备的能效评价结果及诊断措施展示并记录。主界面最上方是系统菜单栏，通过 ToolStrip 控件实现，可以通过它调用平台下所有子界面；菜单栏下面是工具栏，通过 ToolStrip 控件实现，以按钮的形式使使用者方便地调用常用的子界面；主界面左边是一个树形导航菜单，通过 TreeView 控件实现，各节点根据菜单栏中项目自动生成；导航菜单右边则是设备信息显示界面，通过 Timer 控件实时更新数据。能效监测平台主界面设计如图 5 所示。

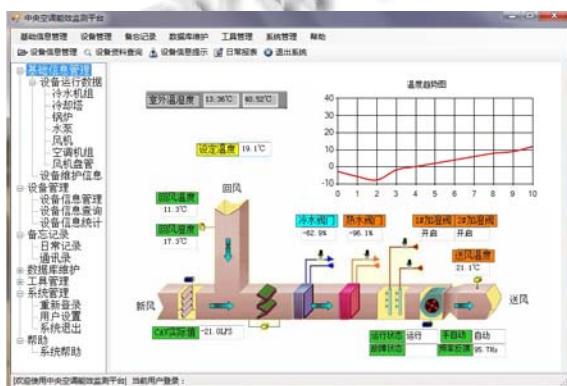


图 5 能效监测平台主界面

后台程序通过实时读取数据库，不断更新界面中的设备运行信息，并且以报表的形式显示。后台通过读取数据库中的设备信息计算设备、子系统的能效信息，分析设备、子系统能效情况及诊断措施，呈现在界面上。中央空调各系统能效计算情况如图 6 所示。



图 6 各系统能效计算情况

5 结语

中央空调的能效监测平台将空调能效信息尽可能地纳入平台，并把中央空调系统下各设备、子系统的

能效情况呈现给空调检测人员,提供信息存储、知识检索和诊断决策支持。目前,在工程领域的应用研究方兴未艾,其在能效监测知识管理上的应用也需要不断地完善和优化。

参考文献

- 1 Cracraft J. Speciation and its ontology: The empirical consequences of alternative species concepts for understanding patterns and processes of differentiation. *Speciation and its Consequences*, 1989: 28–59.
- 2 Camon E, Magrane M, Barrell D, et al. The Gene Ontology annotation (GOA) database: Sharing knowledge in Uniprot with Gene Ontology. *Nucleic Acids Research*, 2004, 32(suppl 1): D262–D266.
- 3 Soucek S, Loy D. Vertical integration in building automation systems. In IEEE 2007. 81–86.
- 4 陈任,余征,梁金瑶.物联网时代的智能家居发展机遇和挑战. *智能建筑与城市信息*,2010,(5):21–23.
- 5 王云汉.物联网技术在楼宇智能化系统中的应用.惠州学院学报(自然科学版),2010,30(6):77–81.
- 6 李德英,刘珊,郝斌.公共建筑空调系统节能诊断方法探讨. *中国建设信息供热制冷*,2010,(4):64–65.
- 7 Wang SW, Jin XQ. Model-based optimal control of VAV air-conditioning system using genetic algorithm. *Building and Environment*, 2000, 35(6): 471–487.
- 8 邝小磊,聂玉强.中央空调系统运转过程与对象特性的研究. *工业仪表与自动化装置*,2009(2):25–28.
- 9 Dhanapalan L, Chen JY. A case study of integrating protein interaction data using semantic web technology. *International Journal of Bioinformatics Research and Applications*, 2007 3(3).
- 10 张超,刘东,李超,等.某空调能效测试与诊断分析系统研究——诊断分析部分. *建筑节能*,2013,10:1–5.
- 11 于德介,周安美,郭建文.基于本体的故障诊断知识管理系统研究. *湖南大学学报*,2011,5(5):34–39.
- 12 王学良.智能家居领域本体模型的构建与存储方法研究 [硕士学位论文].青岛:中国海洋大学,2014.