

文章编号: 1671-6612 (2019) 01-021-4

地铁车站变风量空调系统能耗模拟分析

付 强 冯 炼 袁中原

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘 要】 以重庆某地铁车站为研究对象, 采用 EnergyPlus 软件建立地铁车站的物理模型和通风空调系统模型, 模拟了地铁车站定风量与变风量空调系统的全年能耗情况。通过模拟结果分析, 地铁车站通风空调系统全年能耗中, 空调能耗约占全年能耗的 60~70%, 通风能耗约占 30~40%; 变风量空调系统的全年总能耗比定风量空调系统约减少 30%。

【关键词】 重庆地铁; EnergyPlus; 空调系统; 能耗模拟

中图分类号 TU962 文献标识码 A

Simulation Analysis of Energy Consumption of VAV Air Conditioning System in Subway Station

Fu Qiang Feng Lian Yuan Zhongyuan

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 This paper takes the Chongqing subway station as the research object, uses the EnergyPlus to establish the physical model of the subway station and the model of the ventilation and air conditioning system, and simulates the annual energy consumption of the constant air volume and the variable air volume air conditioning system of the subway station. Through the simulation results, the air conditioning energy consumption accounts for about 60~70% of the annual energy consumption in the ventilation and air conditioning system of the subway station, and the energy consumption of ventilation is about 30~40%, and the total energy consumption of the variable air volume air conditioning system is about 30% less than that of the constant air volume air conditioning system.

【Keywords】 Chongqing subway station; EnergyPlus; Air conditioning system; Energy consumption simulation

0 引言

随着我国经济的飞速发展和城市化进程的建设加快, 城市常住及流动人口增加, 城市机动车量不断增多, 城市规模不断扩大, 地铁作为大规模的轨道交通系统与传统交通工具相比具有客运量大、快速便捷、安全等特点成为了城市交通运输的主体^[1]。地铁环控系统由于运行时间长、运行功率大的特点成为了城市公共设施中的耗能大户, 根据对已有地铁系统的运营数据分析得知, 通风空调系统的能耗在总能耗中所占比重最大, 通常为 25%~35%, 如果从用电量这方面考虑, 这一比例更是高

达 60%~70%^[2]。

总体来说, 目前我国对地铁通风空调系统研究工作较多, 但是对于各地区、各类型的车站的实际用能情况目前尚欠缺系统的研究, 缺少运营数据的支撑。我国幅员辽阔, 气候分区较多, 每个地区的地铁车站都有自身的能耗特点, 同一节能措施在不同地区的节能效果不同, 甚至会导致地铁车站“耗能”, 因此地铁通风空调系统的能耗研究对降低地铁运营成本, 促进地铁长远健康发展有着重大意义。

作者简介: 付 强 (1993.02-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: 1172028353@qq.com

通讯作者: 冯 炼 (1964-), 女, 博士, 教授, E-mail: lancyfeng90@163.com

收稿日期: 2018-04-13

1 重庆地铁通风空调系统概况

重庆轨道交通 6 号线一期工程于 2012 年通车，全线长 72.26km，线路一次跨越长江、两次跨越嘉陵江，其中铜锣山隧道和中梁山隧道长度分别为 5630m 和 4316m，两山地形陡峭，线路埋深大，最大埋深分别为 340m 和 410m，另外红土地站、光电园站、黄泥磅站、金山寺站以及北碚站埋深均超过 40m，而目前国内地铁线路埋深多为 30m 以下，重庆轨道交通 6 号线多个车站连续埋深超过 40m，这样的情况在国内是比较少见的^[3]。

根据重庆的气候和运力条件，重庆地铁车站多采用屏蔽门系统方式控制车站内部的环境，车站两端设置轨排系统控制隧道区间的环境。地铁车站通风空调系统包括公共区通风空调系统、设备管理用房通风空调系统、区间隧道通风系统和隧道排风系统^[4]。

2 模型建立

2.1 地铁车站物理模型建立

选取重庆 6 号线某典型地铁车站为研究对象，该车站为地下双层岛式车站，地下一层为站厅层，地下二层为站台层；站厅层净高 4m，站台层净高 4.5m。图 1 为地铁车站物理模型，该物理模型分为站厅层、站台层，站厅层尺寸为 80m×22m×4m，站台层尺寸为 120m×12m×4.5m。在建立物理模型的过程中进行了一定程度的简化：

- (1) 忽略广告牌、闸机等附属物，将站厅层、站台层简化为长方体；
- (2) 利用等面积原则将不规则的设备管理用房等效成长方体；
- (3) 屏蔽门简化为绝热壁面；
- (4) 屏蔽门漏风量等效成渗透风量^[5]。

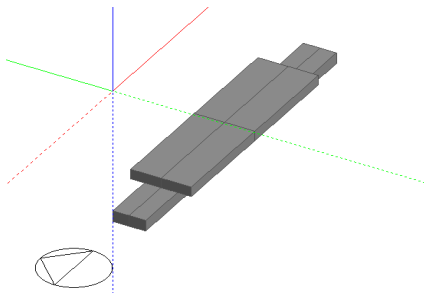


图 1 地铁车站物理模型

Fig.1 The physical model of subway station

2.2 室外气象条件

重庆属夏热冬冷区，四季分明、无霜期长；空

气湿润，降水丰沛；太阳辐射弱，日照时间短；多云雾，少霜雪；具有冬暖春早、夏热秋凉的气候特征。重庆年平均温度为 18℃。1 月份气温最低，月平均气温为 6℃~8℃，最低极限温度为零下 1.7℃。7 月至 8 月份气温最高，多在 27℃~38℃之间，最高极限气温可达 41.9℃，重庆年平均相对湿度为 80%，这些因素综合作用形成了夏季高湿高热的气候特征。

2.3 室内外设计参数

根据《地铁设计规范》得到重庆地铁室内外设计参数如下：

(1) 室外设计参数：重庆夏季空调室外计算干球温度为 33.8℃，空调室外计算湿球温度为 31.5℃；夏季通风室外计算干球温度为 28.6℃，冬季通风室外计算干球温度为 7℃。

(2) 室内设计参数：夏季空调站厅干球温度为 30℃，站台干球温度为 29℃，相对湿度均为 60%；冬季站厅和站台温度不低于 12℃。

2.4 热扰设定

(1) 照明及设备散热量

地铁车站公共区照明负荷指标一般按照 20W/m² 计算^[6]，设备负荷一般按设备功率确定，广告牌大型 720W/台，小型 320W/台，指示牌 100W/台，售票机 1200W/台，闸机 500W/台^[7]。

(2) 客流量

根据重庆市地铁 6 号线工程客流预测，车站设计客流量以远期客流量控制，预计晚高峰 17:00~19:00 的客流为：上客量 4360.9 人/h，下客量为 4362.5 人/h，超高峰系数按 1.2 计算，全日各时段客流密度系数如表 1 所示。

表 1 全日各时段客流密度系数表
Table 1 Full day passenger flow density coefficient table

时间段	系数	时间段	系数
6:00 以前	0.02	14:00~15:00	0.43
6:00~7:00	0.06	15:00~16:00	0.38
7:00~8:00	0.61	16:00~17:00	0.43
8:00~9:00	1.00	17:00~18:00	0.76
9:00~10:00	0.45	18:00~19:00	0.72
10:00~11:00	0.39	19:00~20:00	0.37
11:00~12:00	0.36	20:00~21:00	0.28
12:00~13:00	0.29	21:00~22:00	0.18
13:00~14:00	0.37	22:00~23:00	0.02

(3) 其他热扰

在屏蔽门系统地铁车站中, 土壤传热作用对车站通风空调系统的影响很小, 一般不需要计算车站围护结构与土壤的热交换。文献[8]中计算了站厅和站台的围护结构传热为 -34kW , 占大系统总负荷的7%不到。

围护结构的散湿量, 可通过单位面积的散湿量进行计算, 按照以往的经验数据, 车站侧墙、顶板、底板的单位面积散湿量按 $1\sim 2\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 计算, 区间隧道壁面按 $4\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 进行计算^[9]。

由于出入口的存在, 室外的热空气会渗透到站厅里来, 但是这部分渗透风量的大小难以确定, 一般出入口渗透负荷取 $200\text{W}/\text{m}^2$, 面积取出入口截面面积。

2.5 空调运行时间

地铁车站的运营时段为周一至周日 6:00~23:00, 车站公共区通风空调系统在运营时段开启。

3 全年能耗模拟分析

3.1 全年运行模式

地铁车站全年运行模式根据室外空气温度来划分^[10], 根据重庆市典型年的气温变化情况, 将5月~9月划分为空调季, 共5个月, 其余为非空调季, 共7个月。

在空调季节, 地铁车站通风空调系统运营时段正常运行, 当室外空气焓值大于室内回风空气焓值, 新风机开启, 空调为小新风工况运行; 当室外空气焓值小于等于室内回风空气焓值, 新风机关闭, 空调全新风运行。在非空调季节, 由于室外空气温度较低, 地铁车站空调水系统停止运行, 进入通风运作模式, 新风不经过冷却处理直接送到车站控制区域, 即通过全通风方式来消除车站的余热, 根据规范要求, 通风量需要满足每位乘客不少于 $30\text{m}^3/\text{h}$ 的新风量, 且站厅层、站台层的换气次数不小于5次/小时。

3.2 空调季节能耗分析

模拟整个空调季节, 地铁车站公共区定风量与变风量空调系统的能耗如图2所示。由图2可以看出, 地铁车站通风空调系统空调季节的能耗组成包括: 冷水机组能耗、风机能耗、水泵能耗和冷却塔能耗。

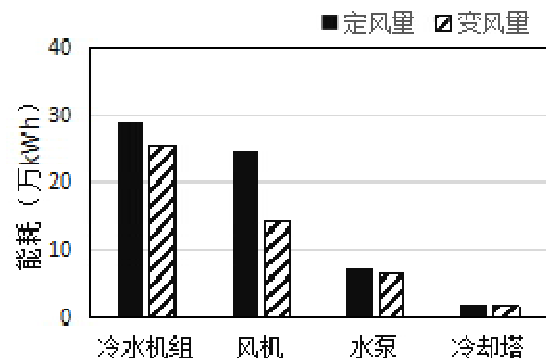


图2 空调季节分项能耗

Fig.2 Air conditioning season energy consumption

在空调季节, 定风量还是变风量空调系统分项能耗中最大的都为冷水机组的能耗, 分别为28.8万kWh和25.6万kWh, 占比约为空调季节总能耗的50%; 其次是风机能耗, 分别为24.6万kWh和14.1万kWh, 占比约为空调季节总能耗的30%~40%; 然后是水泵的能耗, 分别为7.2万kWh和6.5万kWh, 占比约为10%~15%; 最后是冷却塔的能耗, 占比约为空调季节总能耗的5%。

在整个空调季节, 定风量空调系统和变风量空调系统的总能耗分别为62.2万kWh和47.7万kWh, 可见变风量系统的节能优势, 空调季节节能减少能耗14.5万kWh, 均月节能2.9万kWh。

3.3 非空调季节能耗分析

非空调季节, 地铁车站通风空调系统能耗仅为风机能耗, 定风量和变风量空调系统逐月能耗如图3所示。

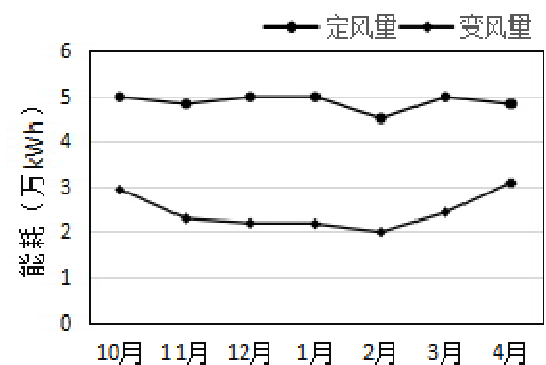


图3 非空调季逐月能耗

Fig.3 Monthly energy consumption of non air-conditioned season

由图3可以看出, 在非空调季节, 定风量空调系统的逐月能耗基本不变, 为4.9万kWh; 变风量空调与定风量相比, 逐月能耗均有所下降, 从10月开始地铁车站进入非空调季节, 随着室外空气温

度的降低, 逐月能耗逐渐降低, 在次年 2 月达到最小值, 随后室外空气温度升高, 逐月能耗又再次上升, 在 4 月达到最大值。

在整个非空调季节, 定风量空调系统和变风量空调系统的总能耗分别为 34.0 万 kWh 和 17.0 万 kWh, 非空调季节共减少能耗 17.0 万 kWh, 均月节能 2.4 万 kWh。

3.4 全年能耗分析

3.4.1 空调能耗与通风能耗

将地铁站公共区变风量空调系统和定风量空调系统的空调能耗与通风能耗进行对比分析, 如图 4 所示。

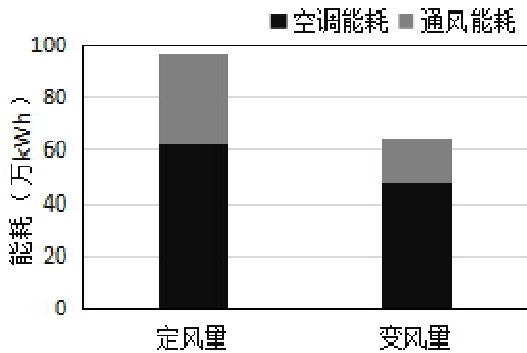


图 4 全年总能耗对比

Fig.4 Comparison of annual total energy consumption

由图 4 可以看出, 定风量空调系统全年总能耗为 96.2 万 kWh, 其中通风能耗和空调能耗分别为 34.0 万 kWh、62.2 万 kWh; 变风量空调系统全年总能耗为 64.7 万 kWh, 其中通风能耗和空调能耗分别为 47.7 万 kWh、17.0 万 kWh。相比于定风量空调系统, 变风量空调系统全年总能耗减少 31.5 万 kWh, 节能率约为 32.7%。

无论是定风量还是变风量空调系统, 空调能耗占比约为 60~70%, 通风能耗约为 30~40%, 可见空调能耗是节能的重点。

3.4.2 全年分项能耗

地铁站通风空调系统的全年分项能耗包括冷水机组能耗、风机能耗、水泵能耗与冷却塔能耗。由于水系统只在空调季节开启, 因此冷水机组、水泵和冷却塔的全年能耗均为空调季节时能耗, 而风机一年四季均开启, 其全年能耗为空调季节与非空调季节能耗之和, 定风量空调系统与变风量全年分项能耗如图 5 所示。

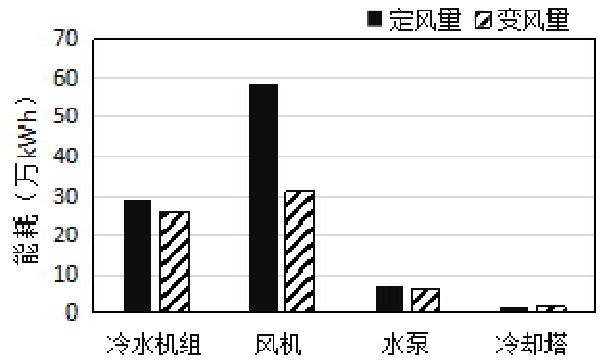


图 5 全年分项能耗对比

Fig.5 Comparison of annual energy consumption

由图 5 可以看出, 变风量空调系统与定风量相比, 全年水泵和冷却塔的能耗基本一致, 分别为 7.2 万 kWh、1.7 万 kWh; 对于冷水机组能耗, 变风量空调系统略比定风量空调系统少, 分别为 28.8 万 kWh 和 25.6 万 kWh; 而对于风机能耗则从 58.6 万 kWh 减少到 31.1 万 kWh, 减少能耗 27.5 万 kWh。

在全年各分项能耗中, 风机能耗占比最大, 其次是冷水机组能耗, 然后是水泵和冷却塔的能耗, 可见全年风机的能耗较高, 存在着巨大的节能潜力, 采用变风量空调系统能大大减少全年风机能耗。

4 结论

本文对重庆某地铁站通风空调系统建立能耗数值模型, 分析了定风量和变风量空调系统全年的能耗情况, 得到的结论如下:

(1) 地铁站通风空调系统全年能耗中, 空调能耗约占全年能耗的 60~70%, 通风能耗约占 30~40%, 空调能耗是节能的重点。

(2) 在空调季节, 地铁站通风空调系统能耗包括冷水机组能耗、风机能耗、水泵和冷却塔的能耗, 冷水机组能耗占比约为空调季节总能耗的 50%, 风机能耗占比约为 30%~40%, 水泵能耗占比约为 10%~15%, 冷却塔能耗占比约为 5%。

(3) 相比于定风量空调系统, 变风量空调系统全年总能耗约减少 30%, 说明无论是空调季节还是非空调季节, 风机实现变风量运行能大大减少空调系统的能耗。

参考文献:

[1] 李曦. 地铁环控系统能耗对比分析与研究[D]. 南昌: 华