

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-095-06

# 蒸发式冷气机在西安某高校食堂 通风降温的测试及分析

田闰乐 强天伟 李跃奇 董宇光

(西安工程大学城市规划与市政工程学院 西安 710600)

**【摘要】** 采用德国德图 testo-410 多功能风速仪, 对终南餐厅的室内空气温度、相对湿度以及气流速度进行了实测。并对结果进行了数据分析, 来探究蒸发式冷气机通风降温系统在该餐厅的应用效果。结果表明如果能够对排风系统进行优化改善, 蒸发式冷气机系统在终南餐厅的应用效果会更好。

**【关键词】** 高校食堂; 蒸发式冷气机; 测试分析; 通风降温

中图分类号 TU831.6 文献标识码 B

## The Test and Analysis of Evaporative Air Conditioner in the Canteen of a University in Xi'an Tian Runle Qiang Tianwei Li Yueqi Dong Yuguang

(College of Urban Planning and Municipal Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710600)

**【Abstract】** This article with Germany Testo testo-410 multi-function anemometer, the novel restaurants of indoor air temperature, relative humidity and air velocity were measured and the results are the data analysis, to explore an evaporative air conditioner ventilation cooling system application effect shows that in the restaurant if can carry on the optimization to the exhaust system, an evaporative air conditioner system in the novel the restaurant's application effect will be better.

**【Keywords】** College canteens; Evaporative air conditioners; Test analysis; Ventilation cooling

作者简介: 田闰乐 (1995-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: 252623304@qq.com

通讯作者: 强天伟 (1970-), 男, 博士, 教授, E-mail: 16840218@qq.com

收稿日期: 2020-09-24

## 0 引言

近年来, 随着高校扩招的展开, 高校学生人数已经越来越多, 而学校大多只是对教学楼和图书馆这类受关注度较高的建筑进行一些改造, 对食堂的改造反而较少, 因此大多数的高校食堂还只是老式食堂, 这类食堂不仅内部装修较差、功能单一, 同时其通风降温系统也渐渐不能满足学生对用餐时的舒适度要求<sup>[1-3]</sup>高校食堂中午就餐人数多, 冷负荷大, 油烟、饭菜味道较重, 室内空气品质较差。同时, 伴随着国家发出节能减排的号召, 高校食堂通风降温系统的改造工程也应该考虑如何降低系

统的能耗。

国外的蒸发冷却技术发展较早, LD Santoli, F Fraticelli, F Fornari 等提出罗马市公立学校建筑能源性能评价与改造策略。根据学校的规模、技术和建筑特点, 确定了降低学校建筑能耗的措施, 并进行成本对比, 回收时间分析<sup>[4]</sup>。Watt J R 在《Evaporative air conditioning handbook》的修订版中指出: 在干燥地区使用直接蒸发冷却空调, 比常规机械制冷空调节约费用达 60~80%<sup>[5]</sup>。Richard O Pearson 等人将蒸发冷却技术与机械制冷相结合, 并得出结论: 两者结合能够有效地降低单独使用机械

制冷时的能耗<sup>[5]</sup>。

国内学者秦榕通过搜集、分析各大高校的餐饮建筑实际资料,研究影响高校食堂室内环境的各种因素,提出高校校园餐饮建筑中存在的问题<sup>[6]</sup>。何梅等人通过对西安地区高校餐饮建筑夏季室内热环境主观反映的问卷调研结果进行统计,利用专业测试仪器对某些高校餐厅室内的空气温度、空气湿度、二氧化碳浓度进行测试,分析问卷结果和测试结果,得出对西安高校餐饮建筑热环境的评价。他们发现校园餐饮建筑内存在一些热环境问题,因此提出加装节能空调来改善此情况<sup>[7]</sup>。

随着人们对高校食堂的愈发重视,舒适的就餐区域也愈发吸引消费者的重视。本文以西安某高校食堂为试验对象,对该食堂的通风降温系统进行测试分析。

### 1 终南餐厅室内数据测试

#### 1.1 测试区域

西安某高校终南餐厅由就餐区域、操作区域以及洗消卫生区域构成,该餐厅蒸发式冷气机系统设计初衷是为了给该餐厅的就餐区域进行通风降温,因此本次测试的主要对象为终南餐厅的就餐区域。测试区域如图 1 方框所示。

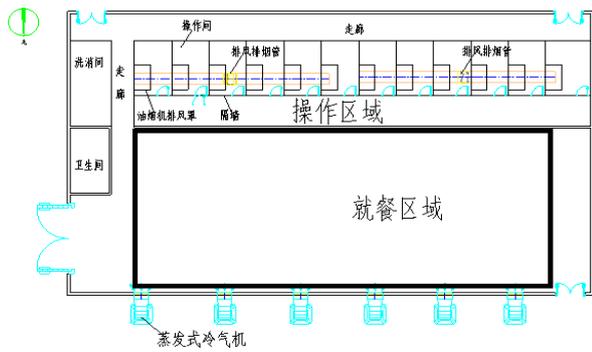


图1 餐厅测试区域

Fig.1 Restaurant test area

#### 1.2 测试仪器及方案

##### (1) 测试仪器简介

本此测试仪器选用的是德国德图 testo-410 多功能风速仪, testo-410 多功能风速仪小巧并且便于携带,且非常适于快速检查测量。该风速仪的测量范围为 0.4~20m/s, 甚至可用于低风速场合, 而且可以同时用于测量就餐区域的空气温度以及相对

湿度。其主要性能参数见表 1, 测试仪器实物图如图 2 所示。

表 1 testo-410 主要性能参数

测试对象	精度	分辨率	测试范围
温度	±0.5°C	0.1°C	-10°C~+50°C
湿度	±2.5%RH	0.1%RH	0%~100%RH
风速	±0.2m/s	0.1m/s	0.4~20m/s



图 2 testo-410 多功能风速仪

Fig.2 testo-410 multi-function anemometer

##### (2) 测试方案

本次课题项目测试日期为 2019 年 8 月 26 日到 8 月 31 日, 选取晴天时进行测试, 测试时间段均选定为当天中午就餐时间段, 即为 11:00~13:00, 此时间段就餐人数较多, 室内热湿负荷较大。在测试期间, 两个人同时测量室内就餐区域的空气温度、室内相对湿度以及室内风速, 每隔 30 分钟对各测点测试一次。

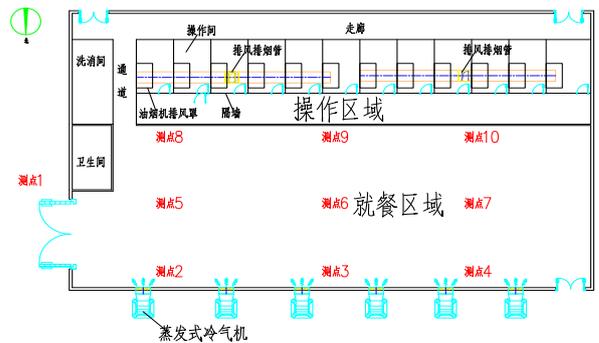


图 3 餐厅测点布置图

Fig.3 Restaurant layout

由于餐厅内就餐人员就坐区域具有随机性, 无法估计, 根据 GB/T 5071-2008 《室内热环境条件》, 测点的布置应尽量选取具有室内温度代表性的区

域, 或是在区域的中心位置进行测量。本次课题的测点共设 10 个点, 其中测点 1 为室外测点, 测点 2~10 为就餐区域测点。考虑到用餐人员用餐时身体主干的高度, 根据 GB/T 5071-2008 《室内热环境条件》对测点的要求<sup>[8]</sup>, 室内测点高度选定为坐姿时 1.1m, 室外测点高度选取为站姿时 1.7m, 每个测点的测试时间为 3 分钟。餐厅测点布置如图 3 所示。

## 2 实际测试结果及分析

影响餐厅内就餐人员热舒适性的因素包括室内空气的温度、相对湿度、风速以及热辐射量等, 本文将选用 2019 年 8 月 29 日对终南餐厅的空气温度、相对湿度、风速测试数据进行分析。在测试过程中, 11:00 时蒸发式冷气机尚未开启, 11:30 时处于刚开启状态。

### 2.1 温度测试结果与分析

对终南餐厅就餐区域的温度进行测试, 通过对温度测试数据进行统计分析, 结果如表 2 和图 4 所示。

表 2 终南餐厅蒸发式冷气机系统开启时温度测试统计表

**Table 2 Statistical table of temperature test when the evaporative air conditioner system of Zhongnan restaurant is on**

测点	最低温度	最高温度	平均温度
测点 1 (室外)	31.9°C	33.1°C	32.4°C
测点 2	27.7°C	28.5°C	28.0°C
测点 3	26.5°C	27.5°C	26.9°C
测点 4	26.5°C	27.3°C	26.8°C
测点 5	26.8°C	27.6°C	27.1°C
测点 6	26.3°C	26.8°C	26.5°C
测点 7	26.1°C	27°C	26.3°C
测点 8	27.1°C	27.3°C	27.2°C
测点 9	26.2°C	26.8°C	26.5°C
测点 10	26.5°C	27.1°C	26.8°C

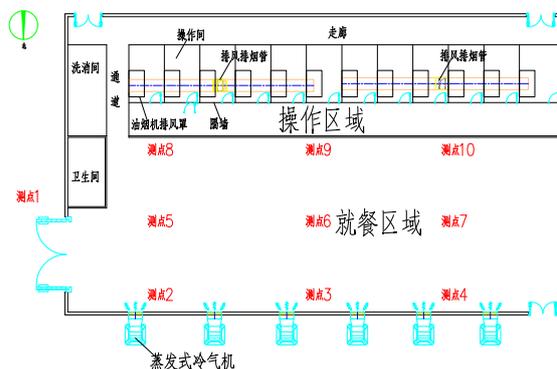
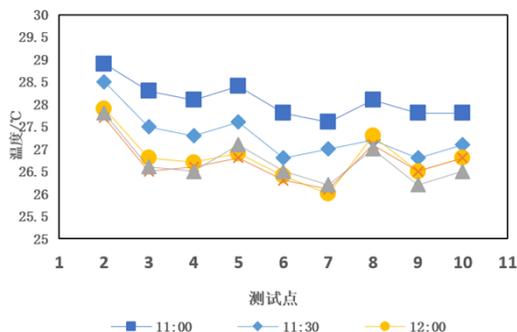


图 4 终南餐厅温度测试图

**Fig.4 Restaurant temperature test chart**

由表 2 可知, 在蒸发式冷气机系统开启期间, 即测试时间为 11:30~13:00, 终南餐厅就餐区域的温度变化范围为 26.1°C~28.5°C。在测试期间, 终南餐厅室外平均干球温度为 32.4°C, 而室内平均干球温度为 26.8°C, 较室外温度下降了 5.6°C。从东西方向来看, 测点 2 处平均温度最高, 达到 27.9°C, 同时测点 5、测点 8 处平均温度均高于它们西侧测点的温度, 这主要是因为测点 2、5、8 处于东侧区域, 冷负荷较大; 从南北方向来看, 第一排测点即测点 2、3、4 离北墙较近, 因此存在蒸发式冷气机送风盲区的现象, 其温度比后两排温度略高, 第二排测点即测点 5、6、7 与同列测点相比温度最低, 分析原因是由于第三排测点靠近操作间, 热负荷较大, 同时蒸发式冷气机的特点是送风量大、送风温差小, 送入室内的冷风随着吹风距离的增加, 冷量存在衰减现象。

表 3 就餐区域平均温度值

**Table 3 Average temperature of the dining area**

时间	11:00	12:00	12:30	13:00
温度	28.1°C	26.8°C	26.7°C	26.7°C

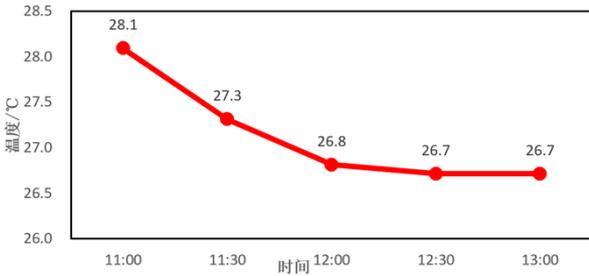


图 5 就餐区域温度随时间变化图

Fig.5 Diagram of temperature change over time in dining area

表 3 和图 5 体现的是终南餐厅就餐区域室内平均温度随测试时间的改变而产生的变化,其中室内平均温度取同时刻测点 2~10 温度的算术平均值。

由图 5 可得,终南餐厅在 11:00 时,蒸发式冷气机系统尚未开启,就餐区域平均温度为 28.1°C,11:30 处于刚开启状态,室内平均温度为 27.3°C,未达到稳定状态,在开启一段时间后,温度逐渐稳定在 26.7°C 左右,满足夏季餐厅就餐区域 24~28°C 范围的要求。

### 2.2 相对湿度测试结果与分析

对终南餐厅就餐区域的相对湿度进行测试。通过对相对湿度测试数据进行统计分析,结果如表 4 和图 6 所示。

表 4 蒸发式冷气机系统开启时相对湿度测试统计表

Table 4 Relative humidity test statistics when the evaporative air conditioner system is turned on

测点	最低相对湿度	最高相对湿度	平均值
测点 1 (室外)	44.7%	46%	45.1%
测点 2	67.8%	81.5%	77.1%
测点 3	69.8%	81.2%	77.7%
测点 4	72.4%	81.6%	78.0%
测点 5	77.9%	87.5%	83.5%
测点 6	80.0%	89.8%	85.5%
测点 7	75.6%	85.6%	82.6%
测点 8	79.3%	87.6%	84.7%
测点 9	84.5%	88.4%	86.1%
测点 10	85.9%	86.6%	86.3%

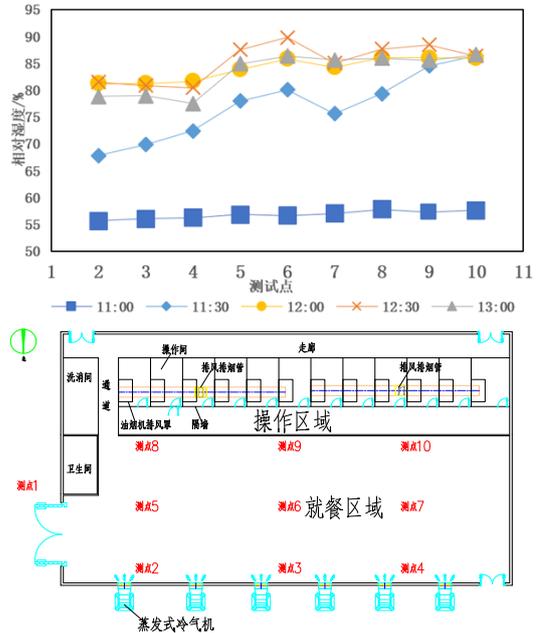


图 6 就餐区域相对湿度测试图

Fig.6 Relative humidity test chart of dining area

终南餐厅室内湿负荷主要来自人体的散湿量以及食物的散湿量,从表 4 中的相对湿度测试统计结果可知,夏季就餐区域的平均相对湿度范围为 77.1%~86.3%,之间。在测试期间,餐厅室内最大的相对湿度值出现在测点 6 为 89.8%,最小值出现在测点 2,为 67.8%。

从南北方向来看,第一排测点,即测点 2、3、4 平均相对湿度较其他测点数值较小,分析原因是送风口高度较高,而第一排测点处于送风口的下方,处于送风盲区;第三排测点的相对湿度数值明显高于前面两排,超过相对湿度设计范围,这是由于操作区域打饭窗口位置有一道玻璃隔挡,同时后面还有一堵隔墙阻隔造成的排风不畅所导致的。从东西方向来看,东侧区域测点即测点 2、5、8 平均相对湿度数值较小,这是由于东侧测点离正门较近,室内外空气进行交换导致,同时还有一部分空气能通过东侧的走廊流动到操作区域后面并通过后门排出,因此测点 2、5、8 平均相对湿度数值较小

表 5 和图 7 体现的是终南餐厅就餐区域室内平均相对湿度随测试时间的改变而产生的变化,其中室内平均相对湿度取同时刻测点 2~10 相对湿度的算术平均值。

表 5 就餐区域平均相对湿度值

Table 5 Average relative humidity of the dining area

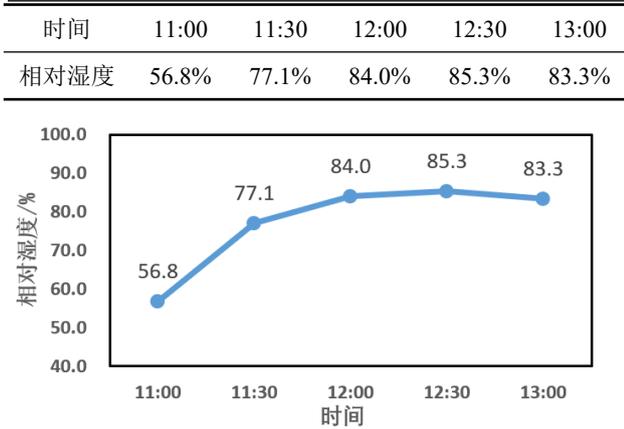


图 7 就餐区域平均相对湿度随时间变化图

Fig.7 Diagram of average relative humidity of dining area changing with time

由图 7 可知, 终南餐厅在 11:00 时, 蒸发式冷气机系统尚未开启, 就餐区域平均相对湿度为 56.8%, 11:30 蒸发式冷气机刚开启时, 室内平均相对湿度为 77.1%, 等到蒸发式冷气机运行一段时间后, 就餐区域的相对湿度逐渐稳定在 84% 左右, 此时室内湿度较大, 超过 80%。

### 2.3 风速测试结果与分析

对终南餐厅就餐区域的风速进行测试, 具体测试数据见附录。通过对温度测试数据进行统计分析, 结果如表 6 和图 8 所示。

表 6 蒸发式冷气机系统开启时风速测试统计表

Table 6 Statistical table for wind speed test when evaporative air conditioner system is turned on

测点	最低风速 m/s	最高风速 m/s	平均值 m/s
测点 2	0.8	1.0	0.8
测点 3	0.4	0.6	0.5
测点 4	0.5	0.5	0.5
测点 5	1.6	1.8	1.7
测点 6	1.6	1.8	1.7
测点 7	1.6	1.6	1.6
测点 8	0.8	1.0	0.9
测点 9	0.4	0.5	0.5
测点 10	0.6	0.8	0.7

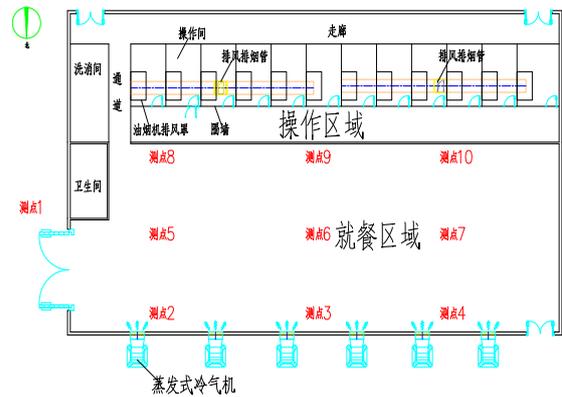
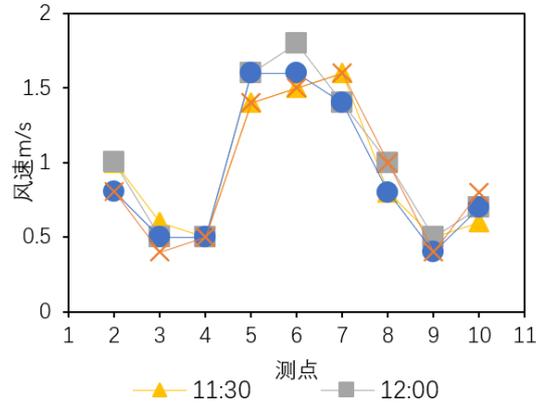


图 8 就餐区域风速测试图

Fig.8 Wind speed chart for dining area

终南餐厅的气流组织为蒸发式冷气机从北侧送风, 吸收室内的余热余湿后经由南侧的排风机排出, 或者通过室内正压作用经由门窗排出。从表 6 和图 4-8 可知, 终南餐厅夏季就餐区域平均风速范围为 0.5~1.7m/s, 室内平均风速为 1.0m/s。在测试工程中一些因素对风速的测量结果会产生一定的影响, 如人员的行走带来的局部气流扰动、操作间内门的开闭使得排风机不能有效的排出室内空气以及送风口安装高度高达 2.5m 等因素的影响, 并且测点位置对风速测量结果也影响较大。

### 3 总结

本文对终南餐厅就餐区域的空气温度、相对湿度以及气流速度进行了实际数据测量及分析, 来探究蒸发式冷气机通风降温系统在该餐厅的应用效果, 同时也为后面进行模拟分析和优化设计提供了基础。

(1) 在测试期间, 终南餐厅室外温度范围为 31.9℃~33.1℃, 在蒸发式冷气机系统开启前, 就餐区域平均温度为 28.1℃, 开启后, 就餐区域平均

温度逐渐稳定在 26.7℃ 左右。在测试分析过程中发现, 东侧测点, 即测点 2、5、8 的平均温度较高。东侧平均温度较高是由于在实际安装过程中, 该餐厅只安装了 6 台蒸发式冷气机 (设计为 7 台), 而且在设计时将蒸发式冷气机均匀布置在北墙处, 忽略了东侧区域冷负荷较大这一现象, 导致靠近东侧的测点, 即测点 2、5、8 温度较高, 而远离东侧墙的测点 6、7、9 温度最低, 较为舒适。

(2) 夏季就餐区域的平均相对湿度范围为 84%, 而设计的工况为 80.1%, 分析室内就餐区域湿度较大的原因是在设计过程中, 未考虑到后期加上操作间的隔墙以及打饭窗口格挡的影响, 因此造成蒸发式冷气机送入室内的空气不能快速排出, 使得气流在第三排测点, 即测点 8、9、10 处形成了“淤积”现象。

(3) 在实际测量过程中, 由于蒸发式冷气机的送风为摆风模式, 这对测量过程带来了一定的影响, 同时在测量时间段内, 室内就餐人员较多, 来来往往的行动对测量结果也产生了一定的影响。但是通过多次测量结果发现, 第二排测点即测点 5 平均风速较大, 吹风感较为明显。

(4) 通过实际测量分析以及亲身感受, 虽然由于实际工程现状与设计状况有所区别, 未能达到设计的理想状况, 并且排风不畅导致室内相对湿度

较大, 但是如果能够对排风系统进行优化改善, 蒸发式冷气机系统在终南餐厅的应用效果会更好。

#### 参考文献:

- [1] 王丽娜. 我国高校校园学生生活区规划与生活建筑设计研究[D].北京:清华大学,2004.
- [2] 郝长生,杨艳红.某大学综合食堂通风不良浅析[J].暖通空调,2008,(2):105-107.
- [3] 周铁军. 高校综合性餐饮服务中心设计与技术研究[D].重庆:重庆大学,2004.
- [4] LD Santoli, F Fraticelli, F Fornari, et al. Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome[J]. Energy & Buildings, 2014.
- [5] 孙哲,黄翔,刘佳莉,等.蒸发冷却空调技术在西安地区适用时间的探讨[J].建筑热能通风空调,2013,(6):42-45.
- [6] 秦榕.高校综合餐饮服务中心的设计与研究[D].合肥:合肥工业大学,2005.
- [7] 何梅,张进.高校餐饮建筑夏季室内热环境调研[J].建筑节能,2015,(4):107-110.
- [8] GB/T 5701-2008,室内热环境条件[S].北京:中国标准出版社,2008.