

冷却塔比焓采集的研究*

杭州电子科技大学智能与软件技术研究所 赵建勇[☆] 邬惠峰 刘 泓

摘要 提出以比焓作为换热设备信息化设计的参数采集单位,以冷却塔为例分析了比焓采集误差与物理传感器测量误差之间的关系,得出物理传感器的选择依据,给出了比焓采集系统的设计要则。

关键词 比焓采集 冷却塔 物理传感器 误差分析 信息化

Specific enthalpy collection in cooling towers

By Zhao Jianyong[★], Wu Huifeng and Liu Hong

Abstract Presents the way of using specific enthalpy as the data collecting unit for heat exchange device information engineering. Taking the cooling tower as an example, analyses the relationships of the specific enthalpy collection error and the measurement errors from physical sensors. Reveals the selection bases of physical sensors and gives the design rules of the specific enthalpy collection system.

Keywords specific enthalpy collection, cooling tower, physical sensor, error analysis, informationization

★ Institute of Intelligence and Software Technology, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, China

①

0 引言

随着信息化建设的推进,传统的空调、冷却塔等换热设备的信息化取得了很大的发展。当前,换热设备的信息化主要以物理传感器作为设计基础,通过采集诸如温度、流量等物理量,从而实现对设备的信息化管理。由于换热设备所涉及的物理量较多,物理量之间的关系复杂,直接采集物理量的方法给设备的信息化带来很大的不便。根据空气换热原理可知,比焓是空气在换热过程中热量变化的重要单位,大多数换热设备的换热性能以换热过程中比焓的变化为依据,通过获取设备进、出空气的比焓即可评价设备的换热性能。因此,在信息系统以比焓作为参数采集单位比以物理数据为采集单位更合理、使用更方便。

当前,在空调设备中对比焓的研究已经取得了一定的成果^[1-3],为空调设备的性能分析、设计、效能评价提供了初步的理论支撑,但在其他诸如冷却塔、蒸馏塔、蒸发器换热设备中对比焓的研究鲜有涉及,因此,对换热设备比焓的研究尤其是对比焓采集的研究具有重要意义。本文以冷却塔为实例,通过分析比焓采集误差与物理传感

器采集误差之间的关系,得出比焓采集系统的设计依据及设计要则,为冷却塔信息系统以比焓作为数据采集对象奠定基础,同时可为其他换热设备比焓采集的研究及比焓采集系统的设计提供参考。

1 冷却塔比焓采集的误差分析

根据冷却塔系统的工作原理可知,冷却塔的性能可由进塔空气比焓 h_1 和出塔空气比焓 h_2 的焓差体现^[4]。在冷却塔比焓的计算过程中涉及环境空气的干球温度 θ 、湿球温度 τ 、进水温度 t_1 、出水温度 t_2 、冷却水流量 Q 、风量 G 等物理参数,通过采集这些物理参数且达到一定的精度,转换为进出塔空气的比焓,输入信息系统,即可对冷却塔实施信息化管理。进、出塔空气比焓 h_1, h_2 分别采用以下公式计算:

$$h_1 = C_1\theta + C_2(C_3 + C_4\theta) \frac{\varphi p_\theta''}{p_0 - \varphi p_\theta''} \quad (1)$$

①☆ 赵建勇,男,1980年6月生,硕士研究生,助教
310018 杭州下沙高教园区杭州电子科技大学 027 信箱
(0) 13157184840
E-mail: zjy@hdu.edu.cn
收稿日期:2007-01-15
一次修回:2007-05-31
二次修回:2007-08-09

* 浙江省科技计划重点项目(编号:021101138)

$$h_2 = h_1 + \frac{c_w \Delta t}{k\lambda} \quad (2)$$

式(1),(2)中 $C_1 \sim C_4$ 为常数, $C_1 = 1.006$, $C_2 = 0.622$, $C_3 = 2500$, $C_4 = 1.858$; φ 为进塔空气相对湿度; p_θ'' 为进塔空气在干球温度为 θ 时的饱和空气水蒸气分压力; p_0 为大气压力; c_w 为水的比热容; Δt 为进出塔水温降; $k = 1 -$

$$h_2 = C_1 \theta + \frac{C_2(C_3 + C_4 \theta)M}{p_0 - M} + \frac{C_w(t_1 - t_2)(p_0 - M)C_6(C_{11} + \theta)Q}{C_5 \left[1 - \frac{t_2}{C_7 - C_8(t_2 - C_9)} \right] G} \quad (3)$$

其中 $M = 10^{C_{10} - C_{11} \left(\frac{C_5}{C_{14} + \tau} - \frac{C_5}{C_{12}} \right) - C_{13}(C_{12} - C_{14} - \tau) \times$

$$\left(\frac{C_{12}}{C_{14} + \tau} \right)^{8.2} - \Lambda p_0 (\theta - \tau)$$

式中 $C_5 = 1000$, $C_6 = 287.14$, $C_7 = 586$, $C_8 = 0.56$, $C_9 =$

$$E_r(h_2) = \sqrt{\left(\frac{\partial h_2}{\partial \theta} \frac{D(\theta)}{h_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial h_2}{\partial \tau} \frac{D(\tau)}{h_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial h_2}{\partial t_1} \frac{D(t_1)}{h_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial h_2}{\partial t_2} \frac{D(t_2)}{h_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial h_2}{\partial G} \frac{D(G)}{h_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial h_2}{\partial Q} \frac{D(Q)}{h_2} \right)^2} \quad (4)$$

式中 $D(\theta)$, $D(\tau)$, $D(t_1)$, $D(t_2)$, $D(G)$, $D(Q)$ 分别为干球温度、湿球温度、进水温度、出水温度、风量、水量的绝对误差。

假设在 $\theta = 32^\circ\text{C}$, $\tau = 28^\circ\text{C}$, $t_1 = 37^\circ\text{C}$, $t_2 = 28^\circ\text{C}$, $p_0 = 101\text{ kPa}$ 的标准测试工况下, 实际水流量为 $100\text{ m}^3/\text{h}$, 风速为 8 m/s , 冷却塔断面面积为 4 m^2 。则根据式(3)有 $h_2 = 88.6199\text{ kJ/kg}$, $\frac{\partial h_2}{\partial \theta} = -0.314$, $\frac{\partial h_2}{\partial \tau} = 5.0811$, $\frac{\partial h_2}{\partial t_1} = 0.0035$, $\frac{\partial h_2}{\partial t_2} = -0.0034$, $\frac{\partial h_2}{\partial G} = -0.00000014999$, $\frac{\partial h_2}{\partial Q} = 0.00017279$, 代入式(4)可得比焓计算结果的相对误差, 为

$$E_r(h_2) = \frac{1}{h_2} \sqrt{(0.0986D^2(\theta) + 25.8174D^2(\tau) + 0.0000119427D^2(t_1) + 0.0000117188D^2(t_2) + 2.2498e^{-14}D^2(G) + 2.9857e^{-8}D^2(Q))} \quad (5)$$

令 $E_r(\theta)$, $E_r(\tau)$, $E_r(t_1)$, $E_r(t_2)$, $E_r(G)$, $E_r(Q)$ 分别为干球温度、湿球温度、进水温度、出水温度、风量、水量的测量相对误差(即绝对误差与实际值的比值), 由式(5)可计算出 $E_r(h_2)$ 在各物理参数测量相对误差为 5%, 2%, 1% 时的值, 结果见表 1。

表 1 $E_r(h_2)$ 与各物理参数测量相对误差 %

$E_r(h_2)$	$E_r(\theta)$	$E_r(\tau)$	$E_r(t_1)$	$E_r(t_2)$	$E_r(G)$	$E_r(Q)$
8.05	5	5	5	5	5	5
8.05	5	5	5	5	5	2
8.05	5	5	5	5	2	2
8.05	5	5	2	2	2	2
8.03	2	5	2	2	2	2
3.26	5	2	2	2	2	2
3.22	2	2	2	2	2	2
3.21	1	2	2	2	2	2
1.62	2	1	2	2	2	2
1.61	1	1	2	2	2	2
1.61	1	1	1	1	2	2

$\frac{t_2}{586 - 0.56(t_2 - 20)}$; λ 为气水比, $\lambda = \frac{\rho G}{Q}$, 其中 ρ 为进塔空气密度。

将式(2)展开, 合并同类项, 常数项由 $C_5 \sim C_{14}$ 代替, 可得 h_2 与环境空气干球温度、湿球温度、进水温度、出水温度、冷却水流量、进塔风量之间的关系, 即

$$h_2 = C_1 \theta + \frac{C_2(C_3 + C_4 \theta)M}{p_0 - M} + \frac{C_w(t_1 - t_2)(p_0 - M)C_6(C_{11} + \theta)Q}{C_5 \left[1 - \frac{t_2}{C_7 - C_8(t_2 - C_9)} \right] G}$$

20 , $C_{10} = 2.0057173$, $C_{11} = 3.142305$, $C_{12} = 373.16$, $C_{13} = 0.0024804$, $C_{14} = 273.16$ 。

根据几何合成法误差传递公式^[5], 比焓计算的相对误差 $E_r(h_2)$ 与 θ , τ , t_1 , t_2 , G , Q 等物理量的测量误差的关系为

从表 1 可以看出, 当冷却塔的风量、冷却水量、进水温度、出水温度的测量相对误差从 5% 变化到 2% 时, 在保留 2 位小数的情况下 $E_r(h_2)$ 没有变化; 干球温度测量相对误差从 5% 变化到 2% 及从 2% 变到 1% 时, $E_r(h_2)$ 减小 0.01% ~ 0.04%; 湿球温度测量相对误差从 5% 变化到 1% 时, $E_r(h_2)$ 从 8.03% 变化到 1.62%。由此可得出, 湿球温度测量的准确性对冷却塔比焓的计算结果会产生巨大的影响。该结果为比焓采集过程中物理传感器精度的选择提供了参考依据。

2 冷却塔比焓采集系统设计要点

根据冷却塔出塔空气比焓采集误差的分析结果, 设计比焓采集系统时各组成部分的设计要点如下。

1) 温度传感器选择

温度传感器用于传感空气的干球温度和湿球温度, 进水温度和出水温度。温度传感器的选择是高精度比焓采集的关键, 尤其是湿球温度传感器的选择。在使用时, 其选择原则是: ① 考虑方便性, 选择集成的温度传感器; ② 干球温度、湿球温度传感器尽可能选择高精度温度传感器(1% 精度或更高), 进水温度、出水温度可选择精度低的传感器。在实际设计时, 为系统实现方便, 可统一采用 DS1820 型高精度集成模拟温度传感器, 精度为 2%, 通过直接读取内部暂存寄存器的方法达 0.5%, 一线制数据总线。

2) 流量计选择

流量计可采用差压式流量计、浮子流量计、容积式流量计、涡轮流量计、电磁流量计、涡街流量计或超声流量计等。由于流量测量精度对计算结果影响较小, 使用时考虑安装方便性和性价比选取适当量程的流量计即可。

3) 风速传感器选择

风速传感器可采用皮托管、转轮式风速仪、热球风速仪或热线风速仪。风量通过风速计算得到。皮托管和转轮式

风速仪对安装要求较高,精度一般;热球风速仪和热线风速仪安装使用方便,精度高,但价格高。对风速仪的选择精度要求较低,根据需要选择即可。实际使用时可选择诸如 CTV100 型风速变送器,测量范围设置为 0~20 m/s,精度为 3%,输出 4~20 mA 信号,安装使用方便。

4) 比焓采集系统设计

比焓采集系统是在上述物理传感器的基础上,增加了比焓参数采集控制器。比焓参数采集控制器必须可自动、高速采集物理传感器采集的参数,通过式(1),(2)自动计算出进、出塔空气比焓,进而求出一定周期内比焓的平均值,防止采集参数时由于瞬时波动引起的测量误差。比焓采集系统配置连接信息系统的总线物理接口,用于接收来自信息系统的比焓参数采集请求。在设计时,比焓采集控制器可选用带 AD 转换器的单片机,可方便地同时采集物理传感器的模拟或数字信号,通过单片机的串口或配置以太网控制芯片等完成与信息系统的总线连接。

3 应用

本文描述的比焓采集分析结果为“冷却塔信息处理及多模式效能控制系统的研究与开发”项目的研究成果,已在该项目研发的冷却塔效能测试与分析系统中采用,并在某公司冷却塔性能测试中得到应用,为冷却塔效能测试提供了可靠的依据,同时为冷却塔产品设计、改进提供了检验手段。该方法在冷却塔厂家推广使用后,可有效提高冷却塔产品质量,降低冷却塔能耗,具有良好的社会效益,前景广阔。

4 结语

评价、分析换热设备性能的关键在于确定换热过程中比焓的变化量,这需要通过采集换热介质的比焓来实现。比焓采集的关键在于确定换热系统中比焓和其他物理参数之间的关系的数学模型,通过数学模型即可分析出比焓采集精度与其他各物理参数测量误差的关系,由此可得出比焓采集系统的设计依据,在此基础上设计的比焓采集系统,可方便地应用于换热设备的比焓采集,为传统换热设备的信息化提供方便,具有广阔的市场应用前景。本文描述的冷却塔比焓采集误差分析和比焓采集系统的设计要则,为冷却塔比焓采集系统的设计奠定了基础,同时,对于空调、蒸馏塔、蒸发器等换热设备来说,同样可以按照这种方法设计出相应的比焓采集系统。

参考文献:

- [1] 赵玉洁,张宝怀.空气焓值法测试空调器性能的不确定度分析[J].能源研究与利用,2004(3):19-25
- [2] 陈雷,姜周曙,黄国辉.高精度房间空调器性能检测装置的研制[J].暖通空调,2006,36(5):55-59
- [3] 李敏毅,刘定强,梁显有.空调器空气焓差法测量制冷(热)量方式及误差分析[J].实用测试技术,2002,28(3):24-26
- [4] 赵振国.冷却塔[M].北京:中国水利水电出版社,1997
- [5] 何圣静,高莉如.误差分析在电气测量中的应用[M].北京:水利电力出版社,1989

• 封面广告说明 •

烟台顿汉布什工业有限公司

顿汉布什,这个专业生产暖通空调和制冷设备的跨国集团有着近百年的悠久历史,公司成立以来一直致力于技术革新和产品的研究开发。20 世纪 60 年代初,顿汉布什公司率先将先进的螺杆技术引入暖通空调领域,并长期保持着技术研发和应用上的领先地位。作为螺杆压缩机技术的先导,顿汉布什还同时拥有液态制冷剂喷射、气态制冷剂喷射、滑阀卸载系统等多项全封闭螺杆压缩机专有技术。以人性驾驭科技,更使顿汉布什的产品蜚声世界各地。

顿汉布什携其在制冷空调业百年的经验,以其雄厚的技术实力及先进的管理理念,在世界各地建立了众多的生产基地,分布在美国西哈特福德、马来西亚吉隆坡、英国哈文、墨西哥、中国烟台等地;另外,在美国、英国、马来西亚、

新加坡、印度、巴西、南非、泰国、中国等许多国家设有分公司,其销售服务网络遍及世界各地。

目前,顿汉布什拥有螺杆冷热水机组、风机盘管及空调箱、单元空调及户式中央空调、冰蓄冷系统、工业冷冻设备等产品。顿汉布什人以技术创新为先导,以服务全球为己任,多年来依靠其卓尔不群的产品品质和及时快捷的客户服务,不仅赢得了客户广泛的信任和支持,也得到了同行的尊敬和赞誉。

部分项目:

北京地铁、上海地铁、南京地铁、广州地铁、中国美术馆、五粮液集团、上海大众、天津摩托罗拉、世界金融中心、西昌卫星发射中心、联想集团、西门子移动通信、葛洲坝电厂、白云机场、上海石化。

地址:山东省烟台市芝罘区 APEC 工业园(烟福路 8 号)
电话:(0531)6588999
传真:(0531)6581999
邮编:264002

营销总部
地址:上海市延安东路 55 号工商联大厦 3112 室 邮编:200002
电话:(021)63373600/63373601 传真:(021)63373031
网址: <http://www.dunham-bush.com.cn>