(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107014240 B
(45)授权公告日 2019.09.10

(21)申请号 201710124867.1

(22)申请日 2017.03.03

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107014240 A

(43)申请公布日 2017.08.04

(73)专利权人 北京太阳宫燃气热电有限公司
地址 100028 北京市朝阳区西坝河路6号

(72)发明人 吴莉娟 韦红旗 喜静波 吕云生 于清涛 王丽丽 张添 吴德生 陈涛

(74)专利代理机构 北京轻创知识产权代理有限公司 11212
代理人 杨立 王灏增

(51)Int.Cl.
F28F 27/00(2006.01)
G01M 99/00(2011.01)

(56)对比文件
CN 201318903 Y,2009.09.30,说明书第8页倒数第2段至第15页最后1段,附图1-3.
CN 204154135 U,2015.02.11,
CN 106091797 A,2016.11.09,
CN 205300652 U,2016.06.08,
CN 204704066 U,2015.10.14,

审查员 车飞

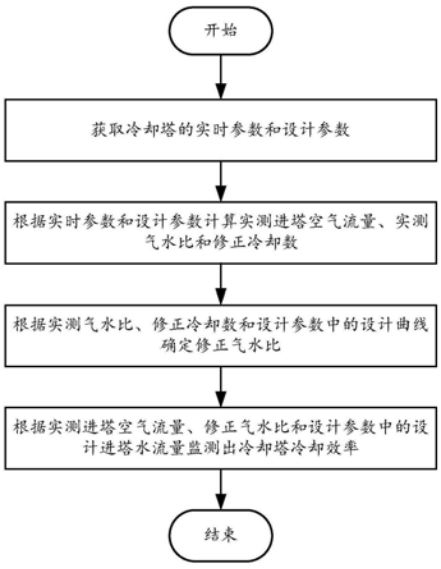
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

一种冷却塔冷却效率监测方法及系统

(57)摘要

本发明属于测试领域,尤其涉及一种冷却塔冷却效率监测方法及系统。方法包括:获取冷却塔的实时参数和设计参数;根据实时参数和设计参数计算实测进塔空气流量、实测气水比和修正冷却数;根据实测气水比、修正冷却数和设计参数中的设计曲线确定修正气水比;根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率。本发明实现了实时监测冷却塔冷却效率,实时性强,成本降低,提高能耗比,使冷却塔处于最佳运行状态。



CN 107014240 B

1.一种冷却塔冷却效率监测方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1,获取冷却塔的实时参数和设计参数;

S2,根据实时参数和设计参数计算实测进塔空气流量、实测气水比和修正冷却数;

S3,根据实测气水比、修正冷却数和设计参数中的设计曲线确定修正气水比;

S4,根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率;

所述实时参数包括:风机电功率、进塔空气温度、大气压力、空气相对湿度、冷却塔上水门后水压力、实测进塔水温度和出塔水温度;所述设计参数包括设计进塔空气流量、设计风机轴功率、设计进塔空气比体积、设计进塔空气密度和设计进塔水温度;

所述S2中计算实测进塔空气流量包括:

根据实时参数计算实测风机轴功率、实测进塔空气密度、空气含湿量和实测进塔空气比体积;

根据设计进塔空气流量、实测风机轴功率、设计风机轴功率、实测进塔空气比体积、设计进塔空气比体积、实测进塔空气密度和设计进塔空气密度计算实测进塔空气流量;

所述根据实时参数计算实测风机轴功率、实测进塔空气密度、空气含湿量和实测进塔空气比体积包括:

根据风机电功率计算实测风机轴功率;

根据进塔空气温度、大气压力和空气相对湿度计算实测进塔空气密度;

根据空气相对湿度和大气压力计算空气含湿量;

根据空气含湿量、大气压力和进塔空气温度计算实测进塔空气比体积;

所述S2中计算实测气水比包括:

根据冷却塔上水门后水压力计算实测进塔水流量;

根据实测进塔空气流量和实测进塔水流量计算实测气水比;

所述S2中计算修正冷却数包括:

根据实时参数计算进塔空气比焓、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓和进出塔水平均温度对应饱和空气比焓;

根据进塔空气比焓、实测气水比、出塔水温度和实测进塔水温度计算出塔空气比焓;

根据进塔空气比焓和出塔空气比焓计算进出塔湿空气比焓的平均值;

根据进塔空气比焓、出塔空气比焓、进出塔湿空气比焓的平均值、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓、进出塔水平均温度对应饱和空气比焓、实测进塔水温度和出塔水温度计算实测冷却数;

根据实测冷却数、设计进塔水温度和实测进塔水温度计算修正冷却数;

所述根据实时参数计算进塔空气比焓、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓和进出塔水平均温度对应饱和空气比焓包括:

根据进塔空气温度和空气含湿量计算进塔空气比焓;

根据实测进塔水温度和大气压力计算进塔水温度对应饱和空气比焓;

根据出塔水温度和大气压力计算出塔水温度对应饱和空气比焓;

根据实测进塔水温度、出塔水温度和大气压力计算进出塔水平均温度对应饱和空气比焓;

所述S3包括：

S3.1,根据设计参数中的设计曲线得到工作特性曲线和设计热力特性曲线；

S3.2,在以冷却数为纵坐标、气水比为横坐标的坐标系中绘制所述工作特性曲线和设计热力特性曲线；

S3.3,确定以修正冷却数和实测气水比为坐标的坐标点；

S3.4,绘制穿过所述坐标点的平行于所述设计热力特性曲线的运行热力特性曲线；

S3.5,求得所述工作特性曲线与所述运行热力特性曲线的交点,所述交点的横坐标为修正气水比；

所述S4包括:根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率,所述冷却塔冷却效率的表达式是：

$$\eta_Q = \frac{G_t}{Q_d \lambda_c} \times 100\%$$

其中,G_t为实测进塔空气流量,Q_d为设计进塔水流量,单位为kg/h,λ_c为修正气水比。

一种冷却塔冷却效率监测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于测试领域，尤其涉及一种冷却塔冷却效率监测方法及系统。

背景技术

[0002] 随着城市建设、规划的要求提高，在电力、化工等工业部门中冷却塔的使用越来越多，作为发电厂、化工厂等工业中的重要辅机之一，冷却塔的运行状况直接影响着主机的安全与经济运行，同时，冷却塔也是厂方耗电较大的辅机之一。随着环保指标和节能消耗要求的提高，冷却塔的经济运行就会越来越重要。

[0003] 目前冷却塔冷却效率的计算是现场试验测试，筛选出合理时间段数据后，根据相关公式计算得出，结果仅能反应试验当时冷却塔的运行状况，时效性较差，人工成本高，无法长期监测冷却塔运行状况。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是针对现有技术的不足，提供一种冷却塔冷却效率监测方法和系统。

[0005] 本发明解决上述技术问题的技术方案如下：一种冷却塔冷却效率监测方法，包括如下步骤：

[0006] S1，获取冷却塔的实时参数和设计参数；

[0007] S2，根据实时参数和设计参数计算实测进塔空气流量、实测气水比和修正冷却数；

[0008] S3，根据实测气水比、修正冷却数和设计参数中的设计曲线确定修正气水比；

[0009] S4，根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率。

[0010] 本发明的有益效果是：通过获取实时参数和设计参数，实时计算出修正冷却数，实时确定修正气水比，进而监测冷却塔冷却效率，实现快速准确监测出冷却塔冷却效率，且实时监测，时效性强，方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化，并根据冷却塔运行情况做优化调整，使冷却塔处于最佳运行状态，以提高能耗比。

[0011] 在上述技术方案的基础上，本发明还可以做如下改进：

[0012] 进一步，所述实时参数包括：风机电功率、进塔空气温度、大气压力、空气相对湿度、冷却塔上水门后水压力、实测进塔水温度和出塔水温度；所述设计参数包括设计进塔空气流量、设计风机轴功率、设计进塔空气比体积、设计进塔空气密度和设计进塔水温度。

[0013] 进一步，所述S2中计算实测进塔空气流量包括：

[0014] 根据实时参数计算实测风机轴功率、实测进塔空气密度、空气含湿量和实测进塔空气比体积；

[0015] 根据设计进塔空气流量、实测风机轴功率、设计风机轴功率、实测进塔空气比体积、设计进塔空气比体积、实测进塔空气密度和设计进塔空气密度计算实测进塔空气流量。

[0016] 进一步，所述根据实时参数计算实测风机轴功率、实测进塔空气密度、空气含湿量

和实测进塔空气比体积包括：

[0017] 根据风机电功率计算实测风机轴功率；

[0018] 根据进塔空气温度、大气压力和空气相对湿度计算实测进塔空气密度；

[0019] 根据空气相对湿度和大气压力计算空气含湿量；

[0020] 根据空气含湿量、大气压力和进塔空气温度计算实测进塔空气比体积。

[0021] 进一步，所述S2中计算实测气水比包括：

[0022] 根据冷却塔上水门后水压力计算实测进塔水流量；

[0023] 根据实测进塔空气流量和实测进塔水流量计算实测气水比。

[0024] 进一步，所述S2中计算修正冷却数包括：

[0025] 根据实时参数计算进塔空气比焓、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓和进出塔水平均温度对应饱和空气比焓；

[0026] 根据进塔空气比焓、实测气水比、出塔水温度和实测进塔水温度计算出塔空气比焓；

[0027] 根据进塔空气比焓和出塔空气比焓计算进出塔湿空气比焓的平均值；

[0028] 根据进塔空气比焓、出塔空气比焓、进出塔湿空气比焓的平均值、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓、进出塔水平均温度对应饱和空气比焓、实测进塔水温度和出塔水温度计算实测冷却数；

[0029] 根据实测冷却数、设计进塔水温度和实测进塔水温度计算修正冷却数。

[0030] 进一步，所述根据实时参数计算进塔空气比焓、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓和进出塔水平均温度对应饱和空气比焓包括：

[0031] 根据进塔空气温度和空气含湿量计算进塔空气比焓；

[0032] 根据实测进塔水温度和大气压力计算进塔水温度对应饱和空气比焓；

[0033] 根据出塔水温度和大气压力计算出塔水温度对应饱和空气比焓；

[0034] 根据实测进塔水温度、出塔水温度和大气压力计算进出塔水平均温度对应饱和空气比焓。

[0035] 采用上述进一步方案的有益效果是：通过实时参数和设计参数，实时计算出实测气水比、实测冷却数、修正冷却数和实测进塔空气流量，进而监测冷却塔冷却效率，实现快速准确监测出冷却塔冷却效率，且实时监测，时效性强，方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化，并根据冷却塔运行情况做优化调整，使冷却塔处于最佳运行状态，以提高能耗比。

[0036] 进一步，所述S3包括：

[0037] S3.1，根据设计参数中的设计曲线得到工作特性曲线和设计热力特性曲线；

[0038] S3.2，在以冷却数为纵坐标、气水比为横坐标的坐标系中绘制所述工作特性曲线和设计热力特性曲线；

[0039] S3.3，确定以修正冷却数和实测气水比为坐标的坐标点；

[0040] S3.4，绘制穿过所述坐标点的平行于所述设计热力特性曲线的运行热力特性曲线；

[0041] S3.5，求得所述工作特性曲线与所述运行热力特性曲线的交点，所述交点的横坐标为修正气水比。

[0042] 采用上述进一步方案的有益效果是:通过实测气水比和修正冷却数确定坐标,根据设计曲线和坐标实时确定修正气水比,进而监测冷却塔冷却效率,实现快速准确监测出冷却塔冷却效率,且实时监测,时效性强,方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化,并根据冷却塔运行情况做优化调整,使冷却塔处于最佳运行状态,以提高能耗比。

[0043] 进一步,所述S4包括:根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率,所述冷却塔冷却效率的表达式是:

[0044] $$\eta_Q = \frac{G_t}{Q_d \lambda_c} \times 100\%$$

[0045] 其中,G_t为实测进塔空气流量,Q_d为设计进塔水流量,单位为kg/h,λ_c为修正气水比。

[0046] 采用上述进一步方案的有益效果是:通过实时得到实测进塔空气流量、实时得到修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率,实现快速准确监测出冷却塔冷却效率,且实时监测,时效性强,方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化,并根据冷却塔运行情况做优化调整,使冷却塔处于最佳运行状态,以提高能耗比。

[0047] 本发明解决上述技术问题的技术方案如下:一种冷却塔冷却效率监测系统,包括:

[0048] 获取模块,用于获取冷却塔的实时参数和设计参数;

[0049] 计算模块,用于根据实时参数和设计参数计算实测进塔空气流量、实测气水比和修正冷却数;

[0050] 确定模块,用于根据实测气水比、修正冷却数和设计参数中的设计曲线确定修正气水比;

[0051] 监测模块,用于根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率。

[0052] 本发明的有益效果是:通过获取实时参数和设计参数,实时计算出修正冷却数,实时确定修正气水比,进而监测冷却塔冷却效率,实现快速准确监测出冷却塔冷却效率,且实时监测,时效性强,方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化,并根据冷却塔运行情况做优化调整,使冷却塔处于最佳运行状态,以提高能耗比,计算过程由系统实现,减少人工成本。

附图说明

[0053] 图1为本发明实施例提供的冷却塔冷却效率监测方法的流程示意图;

[0054] 图2为本发明实施例提供的冷却塔冷却效率监测方法中的确定修正气水比的模型示意图;

[0055] 图3为本发明实施例提供的冷却塔冷却效率监测系统的结构示意图。

具体实施方式

[0056] 以下结合附图对本发明的原理和特征进行描述,所举实例只用于解释本发明,并非用于限定本发明的范围。

[0057] 冷却塔是用水作为循环冷却剂,将工业生产或制冷工艺中的废热排放至大气中的装置,其原理是利用水与空气流动接触后进行冷热交换产生蒸汽,蒸汽挥发带走热量实现

冷却。冷却塔按照通风方式分为:自然通风冷却塔、机械通风冷却塔和混合通风冷却塔;冷却塔按照按照热水和空气的接触方式分为:湿式冷却塔、干式冷却塔和干湿式冷却塔;冷却塔按照热水与空气的流动方式分为:逆流式冷却塔、横流式冷却塔和混流式冷却塔。机械通风冷却塔是靠风机进行通风的冷却塔;逆流式冷却塔是指在冷却塔内水流自上而下,空气流自下而上,水流与空气流的方向相反;湿式冷却塔是指水和空气直接接触,热与质交换同时进行的冷却塔。下面以机械通风逆流湿式冷却塔为例说明冷却塔冷却效率的监测。

[0058] 如图1所示,本发明实施例提供的冷却塔冷却效率监测方法,包括如下步骤:

[0059] S1,获取冷却塔的实时参数和设计参数;

[0060] S2,根据实时参数和设计参数计算实测进塔空气流量、实测气水比和修正冷却数;

[0061] S3,根据实测气水比、修正冷却数和设计参数中的设计曲线确定修正气水比;

[0062] S4,根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率。

[0063] 所述实施例提供的冷却塔冷却效率监测方法,通过获取实时参数和设计参数,实时计算出修正冷却数,实时确定修正气水比,进而监测冷却塔冷却效率,实现快速准确监测出冷却塔冷却效率,且实时监测,时效性强,方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化,并根据冷却塔运行情况做优化调整,使冷却塔处于最佳运行状态,以提高能耗比。

[0064] 可选地,本发明实施例中,所述实时参数包括:风机电功率、进塔空气温度、大气压力、空气相对湿度、冷却塔上水门后水压力、实测进塔水温度和出塔水温度;所述设计参数包括设计进塔空气流量、设计风机轴功率、设计进塔空气比体积、设计进塔空气密度和设计进塔水温度。

[0065] 可选地,本发明实施例中,所述S2中计算实测进塔空气流量包括:

[0066] 根据实时参数计算实测风机轴功率、实测进塔空气密度、空气含湿量和实测进塔空气比体积;

[0067] 根据设计进塔空气流量、实测风机轴功率、设计风机轴功率、实测进塔空气比体积、设计进塔空气比体积、实测进塔空气密度和设计进塔空气密度计算实测进塔空气流量。

[0068] 具体地,计算实测进塔空气流量的表达式是:

[0069] $$G_t = G_d\left(\frac{\nu_d}{\nu_t}\right)\left(\frac{N_t}{N_d}\right)^{1/3}\left(\frac{\rho_d}{\rho_t}\right)^{1/3}$$

[0070] 其中,G_d为设计进塔空气流量,单位为kg(DA)/h,N_t为实测风机轴功率,单位为kW,N_d为设计风机轴功率,单位为kW,v_t为实测进塔空气比体积,单位为$m^3/kg(DA)$,v_d为设计进塔空气比体积,单位为$m^3/kg(DA)$,ρ_t为实测进塔空气密度,单位为kg/m^3,ρ_d为设计进塔空气密度,单位为kg/m^3。

[0071] 可选地,本发明实施例中,所述根据实时参数计算实测风机轴功率、实测进塔空气密度、空气含湿量和实测进塔空气比体积包括:

[0072] 根据风机电功率计算实测风机轴功率;

[0073] 根据进塔空气温度、大气压力和空气相对湿度计算实测进塔空气密度;

[0074] 根据空气相对湿度和大气压力计算空气含湿量;

[0075] 根据空气含湿量、大气压力和进塔空气温度计算实测进塔空气比体积。

[0076] 具体地,计算实测风机轴功率的表达式是:

[0077] $N_t = \eta_{tm} \times N$

[0078] 其中，η_{tm}为传动功率，设置为0.99，N为风机电功率，单位为kW。

[0079] 计算实测进塔空气密度的表达式是：

[0080] $$\rho_t = \frac{1}{(t_{a1}+273.15)}(0.003483 p_A - 0.001316 \phi p''_\theta)$$

[0081] 其中，t_{a1}为进塔空气温度，单位为℃；p_A为大气压力，单位为kPa；Φ为进塔空气相对湿度%；p''_θ为进塔空气温度对应的饱和水蒸气压力，单位为kPa，所述进塔空气温度对应的饱和水蒸气压力是根据进塔空气温度的具体数值查找饱和水蒸气压力表确定的。

[0082] 计算空气含湿量的表达式是：

[0083] $$x = 0.622 \frac{\phi p''_\theta}{p_A - \phi p''_\theta}$$

[0084] 计算实测进塔空气比体积的表达式是：

[0085] $$v_t = \frac{461.5 \times (t_{a1}+273.15)}{p_A}(0.622 + x)$$

[0086] 其中，x为空气含湿量，单位为kg/kg(DA)。

[0087] 可选地，本发明实施例中，所述S2中计算实测气水比包括：

[0088] 根据冷却塔上水门后水压力计算实测进塔水流量；

[0089] 根据实测进塔空气流量和实测进塔水流量计算实测气水比。

[0090] 具体地，计算实测进塔水流量的表达式是：

[0091] $Q_t = a*P^2+b*P+c$

[0092] 其中，a、b、c为系数，所述系数根据实测进塔水流量与冷却塔上水门后水压力关系确定，P为冷却塔上水门后水压力，单位为kPa。

[0093] 确定所述系数具体包括：使用超声波流量计测量实测进塔水流量，确定实测进塔水流量与冷却塔上水门后水压力之间的关系，得到a、b、c。按照设定期限对所述系数进行标定。所述设定期限包括1天至1年，优选地，设定期限为90天。按照设定期限对所述系数进行标定，实现冷却塔的冷却效率的监测更准确。

[0094] 实测气水比是根据所述实测进塔空气流量与实测进塔水流量的比值得到。

[0095] 可选地，本发明实施例中，所述S2中计算修正冷却数包括：

[0096] 根据实时参数计算进塔空气比焓、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓和进出塔水平均温度对应饱和空气比焓；

[0097] 根据进塔空气比焓、实测气水比、出塔水温度和实测进塔水温度计算出塔空气比焓；

[0098] 根据进塔空气比焓和出塔空气比焓计算进出塔湿空气比焓的平均值；

[0099] 根据进塔空气比焓、出塔空气比焓、进出塔湿空气比焓的平均值、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓、进出塔水平均温度对应饱和空气比焓、实测进塔水温度和出塔水温度计算实测冷却数；

[0100] 根据实测冷却数、设计进塔水温度和实测进塔水温度计算修正冷却数。

[0101] 具体地，计算出塔空气比焓的表达式是：

[0102] $$h_2 = h_1 + \frac{c_w \Delta t}{\lambda}$$

[0103] 其中，λ为实测气水比，c_w为水比热容，设置为4.186kJ/(kg.℃)，Δt为水温差，单位为℃，所述水温差为出塔水温度与实测进塔水温度之间的差值。

[0104] 计算进出塔湿空气比焓的平均值的表达式是：

[0105] $$h_m = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

[0106] 其中，h_1为进塔空气比焓，单位为kJ/kg(DA)，h_2为出塔空气比焓，单位为kJ/kg(DA)。

[0107] 计算实测冷却数的表达式是：

[0108] $$\Omega_t' = \frac{c_w \Delta t}{6}\left(\frac{1}{h_2'' - h_1} + \frac{4}{h_m'' - h_m} + \frac{1}{h_1'' - h_2}\right)$$

[0109] 其中，c_w为水比热容，设置为4.186kJ/(kg.℃)，Δt为水温差，单位为℃，所述水温差为出塔水温度与实测进塔水温度之间的差值，h_1为进塔空气比焓，单位为kg/kg(DA)，h_2为出塔空气比焓，单位为kg/kg(DA)，h_m为进出塔湿空气比焓的平均值，单位为kg/kg(DA)，h''_1为进塔水温度对应饱和空气比焓，单位为kg/kg(DA)，h''_2为出塔水温度对应饱和空气比焓，单位为kg/kg(DA)，h''_m为进出塔水平均温度对应饱和空气比焓，单位为kg/kg(DA)。

[0110] 计算修正冷却数的表达式是：

[0111] $$\Omega_{tx}' = \Omega_t' \left(\frac{t_{d1}}{t_1}\right)^{-p_0}$$

[0112] 其中，Ω'_t为实测冷却数，t_{d1}为设计进塔水温度，单位为℃，t_1为实测进塔水温度，p_0为修正冷却系数，设置为0.4～0.45。

[0113] 通过设计参数获取设计进塔水温度，通过实时参数获取实测进塔水温度，通过设计参数和实时参数计算得到实测冷却数，根据上述设计进塔水温度、实测进塔水温度和实测冷却数计算出修正冷却数。当冷却塔的实测进塔水温度与设计进塔水温度偏差大于±2℃时，冷却塔运行状况与设计状况偏离较多，为能够准确评价冷却塔冷却效率，要将实测冷却数进行相应修正。如果实测冷却数不修正，实测进塔水温度对冷却塔冷却效率产生一定影响，监测到的冷却塔冷却效率将不能真实反应冷却塔的性能。修正后就剔除了实测进塔水温度的影响，准确评价了冷却塔冷却效率，进而体现出冷却塔冷却效率与设计冷却效率偏差有多少，从而进行相关运行调整来改变冷却塔冷却效率，使冷却塔处于最佳的运行状态，提高能耗比。

[0114] 可选地，本发明实施例中，所述根据实时参数计算进塔空气比焓、进塔水温度对应饱和空气比焓、出塔水温度对应饱和空气比焓和进出塔水平均温度对应饱和空气比焓包括：

[0115] 根据进塔空气温度和空气含湿量计算进塔空气比焓；

[0116] 根据实测进塔水温度和大气压力计算进塔水温度对应饱和空气比焓；

[0117] 根据出塔水温度和大气压力计算出塔水温度对应饱和空气比焓；

[0118] 根据实测进塔水温度、出塔水温度和大气压力计算进出塔水平均温度对应饱和空气比焓。

[0119] 具体地，计算进塔空气比焓的表达式是：

[0120] $h_1=c_d t_{a1}+x(\gamma_0+c_v t_{a1})$

[0121] 其中，c_d为干空气比热容，设置为1.005kJ/(kg.℃)，γ_0为水在0℃时的汽化热，设置为2500kJ/kg，c_v为水蒸气比热容，设置为1.846kJ/(kg.℃)。

[0122] 计算进塔水温度对应饱和空气比焓的表达式是：

[0123] $$h_1^{''}=c_d t_1+0.622\frac{p_{t1}^{''}}{p_A-p_{t1}^{''}}(\gamma_0+c_v t_1)$$

[0124] 其中，t_1为实测进塔水温度，单位为℃，p''_{t1}为实测进塔水温度t_1对应的饱和水蒸气压力，单位为kPa，所述实测进塔水温度t_1对应的饱和水蒸气压力是根据实测进塔水温度的具体数值查找饱和水蒸气压力表确定的；p_A为大气压力。

[0125] 计算出塔水温度对应饱和空气比焓的表达式是：

[0126] $$h_2^{''}=c_d t_2+0.622\frac{p_{t2}^{''}}{p_A-p_{t2}^{''}}(\gamma_0+c_v t_2)$$

[0127] 其中，t_2为出塔水温度，单位为℃，p''_{t2}为出塔水温度t_2对应的饱和水蒸气压力，单位为kPa，所述出塔水温度t_2对应的饱和水蒸气压力是根据出塔水温度的具体数值查找饱和水蒸气压力表确定的。

[0128] 计算进出塔水平均温度对应饱和空气比焓的表达式是：

[0129] $$h_m^{''}=c_d\left(\frac{t_1+t_2}{2}\right)+0.622\frac{p_m^{''}}{p_A-p_m^{''}}\left(\gamma_0+c_v\left(\frac{t_1+t_2}{2}\right)\right)$$

[0130] 其中，p''_m为实测进塔水温度与出塔水温度的平均值对应的饱和水蒸气压力，单位为kPa；实测进塔水温度与出塔水温度的平均值对应的饱和水蒸气压力是根据实测进塔水温度与出塔水温度的平均值的具体数值查找饱和水蒸气压力表确定的；所述实测进塔水温度与出塔水温度的平均值是将实测进塔水温度的数值与出塔水温度的数值相加后并除以2得到。

[0131] 上述实施例中，通过实时参数和设计参数，实时计算出实测气水比、实测冷却数、修正冷却数和实测进塔空气流量，进而监测冷却塔冷却效率，实现快速准确监测出冷却塔冷却效率，且实时监测，时效性强，方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化，并根据冷却塔运行情况做优化调整，使冷却塔处于最佳运行状态，以提高能耗比。

[0132] 可选地，本发明实施例中，所述S3包括：

[0133] S3.1，根据设计参数中的设计曲线得到工作特性曲线和设计热力特性曲线；

[0134] S3.2，在以冷却数为纵坐标、气水比为横坐标的坐标系中绘制所述工作特性曲线和设计热力特性曲线；

[0135] S3.3，确定以修正冷却数和实测气水比为坐标的坐标点；

[0136] S3.4，绘制穿过所述坐标点的平行于所述设计热力特性曲线的运行热力特性曲线；

[0137] S3.5，求得所述工作特性曲线与所述运行热力特性曲线的交点，所述交点的横坐标为修正气水比。

[0138] 具体地，如图2所示，设计曲线包括工作特性曲线和设计热力特性曲线，设计参数

中的设计曲线是现有技术，工作特性曲线和设计热力特性曲线均是由冷却塔生产厂家提供，在此不再赘述。使用最小二次法将所述工作特性曲线和设计热力特性曲线转换为数学模型。所述实测气水比和修正冷却数是经过所述S2步骤计算得出，得到在坐标系内的坐标点b。通过解数学方程方式确定通过所述坐标点的平行于设计热力特性曲线的运行热力特性曲线。通过解工作特性曲线和运行热力特性曲线的数学方程组方式，求出所述交点c。

[0139] 上述实施例中，通过实测气水比和修正冷却数确定坐标，根据设计曲线和坐标实时确定修正气水比，进而监测冷却塔冷却效率，实现快速准确监测出冷却塔冷却效率，且实时监测，时效性强，方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化，并根据冷却塔运行情况做优化调整，使冷却塔处于最佳运行状态，以提高能耗比。

[0140] 可选地，本发明实施例中，所述S4包括：根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率，所述冷却塔冷却效率的表达式是：

[0141] $$\eta_Q = \frac{G_t}{Q_d \lambda_c} \times 100\%$$

[0142] 其中，G_t为实测进塔空气流量，Q_d为设计进塔水流量，单位为kg/h，λ_c为修正气水比。

[0143] 具体地，所述实测进塔空气流量是经过所述S2步骤计算得出，所述修正气水比是经过所述S3步骤确定得到，所述设计进塔水流量是设计参数中包括的其中一个参数。

[0144] 上述实施例中，通过实时得到实测进塔空气流量、实时得到修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率，实现快速准确监测出冷却塔冷却效率，且实时监测，时效性强，方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化，并根据冷却塔运行情况做优化调整，使冷却塔处于最佳运行状态，以提高能耗比。

[0145] 可选地，本发明实施例中，所述S1包括：获取实时参数和设计参数，并对实时参数进行预处理。

[0146] 具体地，所述实时参数通过分布式控制系统获得，获得实时参数后对实时参数进行预处理，所述预处理包括校正、上下限检验、中值检验和滑动滤波检验等；所述设计参数通过冷却塔生产厂家获取。

[0147] 上述实施例中，通过实时获取实时参数，并对实时参数中的数据进行预处理，以保证实时参数的准确性，实现快速准确监测出冷却塔冷却效率，且实时监测，时效性强，方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化，并根据冷却塔运行情况做优化调整，使冷却塔处于最佳运行状态，以提高能耗比。

[0148] 可选地，本发明实施例中，还包括将所述冷却塔冷却效率、修正气水比、实测气水比和修正冷却数进行显示并保存的步骤。

[0149] 如图3所示，本发明实施例提供的冷却塔冷却效率监测系统，包括：

[0150] 获取模块，用于获取冷却塔的实时参数和设计参数；

[0151] 计算模块，用于根据实时参数和设计参数计算实测进塔空气流量、实测气水比和修正冷却数；

[0152] 确定模块，用于根据实测气水比、修正冷却数和设计参数中的设计曲线确定修正气水比；

[0153] 监测模块，用于根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水

流量监测出冷却塔冷却效率。

[0154] 所述实施例提供的冷却塔冷却效率监测系统，通过获取实时参数和设计参数，实时计算出修正冷却数，实时确定修正气水比，进而监测冷却塔冷却效率，实现快速准确监测出冷却塔冷却效率，且实时监测，时效性强，方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化，并根据冷却塔运行情况做优化调整，使冷却塔处于最佳运行状态，以提高能耗比，计算过程由系统实现，减少人工成本。

[0155] 可选地，本发明实施例中，所述确定模块包括曲线确定单元、第一绘制单元、坐标点确定单元、第二绘制单元和修正气水比计算单元；所述曲线确定单元用于根据设计参数中的设计曲线得到工作特性曲线和设计热力特性曲线；所述第一绘制单元用于在以冷却数为纵坐标、气水比为横坐标的坐标系中绘制所述工作特性曲线和设计热力特性曲线；所述坐标点确定单元用于确定以修正冷却数和实测气水比为坐标的坐标点；所述第二绘制单元用于绘制穿过所述坐标点的平行于所述设计热力特性曲线的运行热力特性曲线；所述修正气水比计算单元用于求得所述工作特性曲线与所述运行热力特性曲线的交点，所述交点的横坐标为修正气水比。

[0156] 上述实施例中，通过实测气水比和修正冷却数确定坐标，根据设计曲线和坐标实时确定修正气水比，进而监测冷却塔冷却效率，实现快速准确监测出冷却塔冷却效率，且实时监测，时效性强，方便观察不同环境下冷却塔冷却效率的变化，并根据冷却塔运行情况做优化调整，使冷却塔处于最佳运行状态，以提高能耗比。

[0157] 上述系统的各模块所执行的功能已经在上述实施例冷却塔冷却效率监测方法中做了详细的介绍，这里不再赘述。

[0158] 以上所述仅为本发明的较佳实施例，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

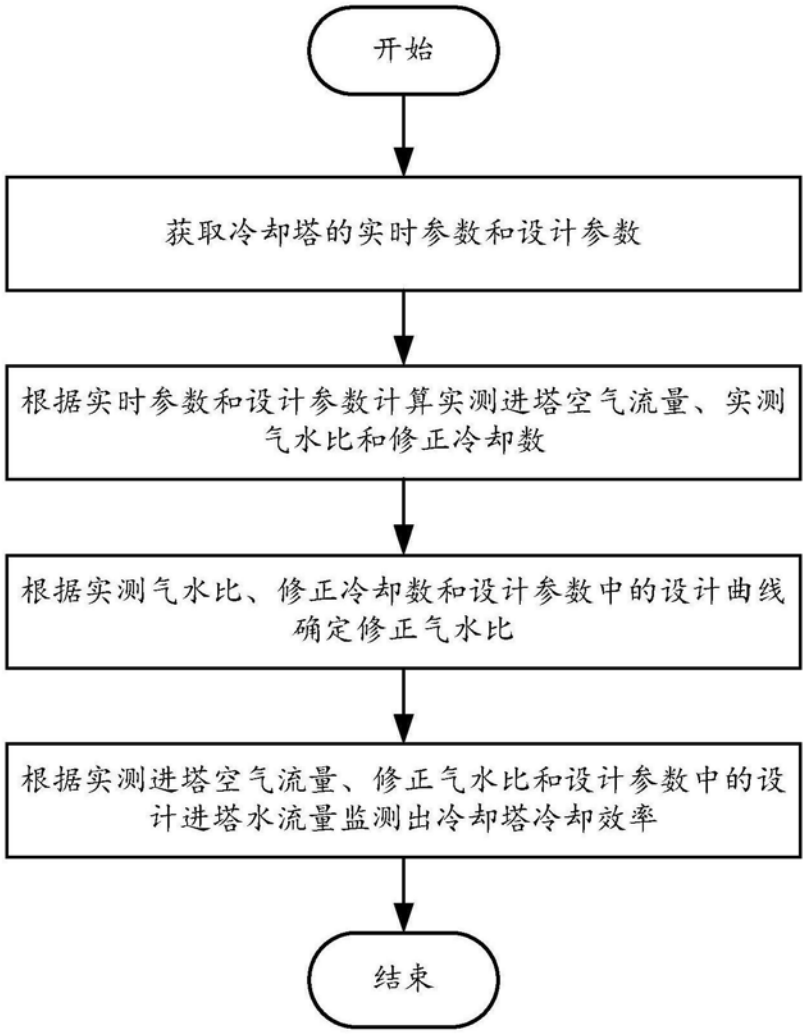

开始
获取冷却塔的实时参数和设计参数
根据实时参数和设计参数计算实测进塔空气流量、实测气水比和修正冷却数
根据实测气水比、修正冷却数和设计参数中的设计曲线确定修正气水比
根据实测进塔空气流量、修正气水比和设计参数中的设计进塔水流量监测出冷却塔冷却效率
结束

图1

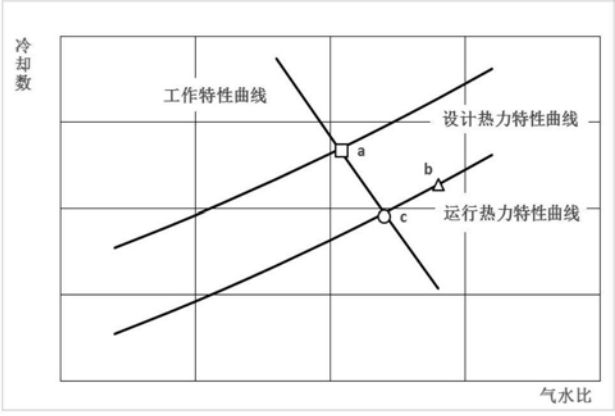

冷却数
工作特性曲线
设计热力特性曲线
运行热力特性曲线
a
b
c
气水比

图2

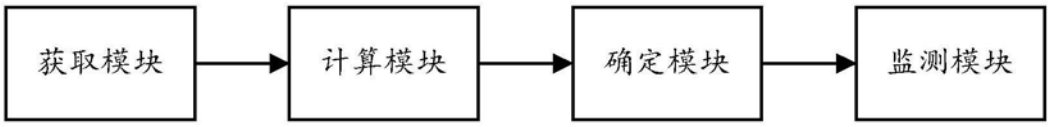


图3