

说明书

一种冷冻机房节能优化控制系统及方法

技术领域：

本发明涉及一种节能系统及方法，特别是冷冻机房系统。

背景技术：

在整个建筑能耗中，空调系统的能耗占有很大的比例，一般在40~50%左右。而在空调系统的能耗中，冷冻机房设备（包括冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔）约占60%~70%。一个采用电制冷的办公建筑中，空调冷源（冷冻机房）—冷水机组、冷冻和冷却水泵以及冷却塔的全年用电占整个建筑全年用电的30~35%。

空调系统中的制冷运行过程为：冷水机组制备一定温度的冷冻水，通过冷冻水泵输送到末端设备，与室内空气进行热交换，吸收室内的热量，同时除去室内空气中多余的水分，以满足室内环境的要求。冷冻水吸收室内的热量后温度升高，再通过冷水机组冷却后循环使用。冷水机组在工作时产生的热量（主要为冷冻水从室内吸收的热量，也包括冷水机组工作时自身损耗所产生的热量）则由循环冷却水吸收，通过冷却水泵输送到冷却塔与室外空气进行热、湿交换，最终散发在大气环境中。

因此，如何最大化地节省冷冻机房能耗对降低整体建筑的能耗有着至关重要的意义，现有技术中，有的可以采用较低的冷冻水供水温度及较小的冷

冻水流量，此时冷水机组的能耗较高，但冷冻水泵的能耗较低，或者采用较高的冷冻水供水温度和较大的冷冻水流量。同样，对于相同的冷水机组出力要求，可以选择使其工作在较低的冷凝压力下，此时冷水机组的能耗较低，但是由于较低的冷凝压力需要较高的冷却水流量，因而冷却水泵的能耗较高；或者相反，采用冷水机组能耗较高而冷却水泵能耗较低的工作方式没有。因此，并没有一个比较优化的节能方法。

现有技术中，有些方法在稳定的实验室条件下或许可行，但在实际运行过程中，由于冷冻机房中的所有设备均处于连续运行状态，制冷负荷和天气参数也会随时发生变化，这将导致采集获得的参数实际值不具有规律性，通过上述方法调整能耗模型无法对能耗模型进行优化，甚至可能产生相反的效果，因此在实际运行中通过上述方法寻找整个冷冻机房设备运行效率最高的工况点是不现实的。另外，现有技术中，没有同时建立冷却塔换热模型，这必然会降低其能耗控制的效果。

发明内容：

为了克服现有技术的不足，本发明提供了一种冷冻机房节能优化控制系统及方法，能够大大提高了装置对空调系统冷冻机房优化节能的控制效果，最大化地节省冷冻机房能耗。

按照本发明提供的一种冷冻机房节能优化控制系统，包括工业控制计算机，可编程控制器，RS485通讯接口模块，流量传感器，温度传感器，室外温湿度传感器，三相有功功率变送器，差压传感器，水泵变频器，冷却塔风扇变频器，电动阀及开关量执行器、冷水机组；其中：流量传感器、温度传感器、室外温湿度传感器、三相有功功率变送器、水泵变频器和冷却塔风扇

变频器分别与可编程控制器连接，可编程控制器通过工业以太网与工业控制计算机通讯，RS485通讯接口模块与冷水机组连接通过ModBus协议与工业控制计算机通讯；所述的温度传感器分别用于监测冷冻水供/回水温度，冷却水供/回水温度，室外温湿度传感器用于监测室外空气干球温度和相对湿度，流量传感器用于监测水泵运行时的水流量，三相有功功率变送器用于监测冷水机组、水泵和冷却塔的运行能耗，压差传感器用于监测末端用户侧压差，所述的可编程控制器和所述的RS485通讯接口模块用于实时采集所述的传感器获得的数据，所述的工业计算机用于保存所述的数据并与发出运行控制指令。

按照本发明提供的冷冻机房节能优化控制系统，还具有如下附属技术特征：

室外温湿度传感器设置于室外冷却塔进风口附近，冷冻水供回水总管上分别安装有温度传感器，冷却水供回水总管上分别安装温度传感器，冷冻水供水或回水总管上安装有流量传感器，冷却水供水或回水总管上安装流量传感器，冷冻水供回水总管之间安装有差压传感器，每台冷水机组的蒸发器进口和冷凝器进口、每台冷却塔供水管和回水管上分别安装有电动阀及开关量执行器，每台冷水机组、每台冷冻水泵、每台冷却水泵以及每台冷却塔分别安装有三相有功功率变送器。

所述的可编程控制器采集的数据包括流量传感器、温度传感器、室外温湿度传感器、三相有功功率变送器和差压传感器所获得的数据，所述的可编程控制器将上述数据发送到工业控制计算机，所述的工业控制计算机设定的时间间隔逐一保存所述的数据。其中，冷却水的供回水温度由温度传感器检

测，通过可编程控制器传送到工业计算机，另外，冷水机组本身还有一组冷却水供回水温度的传感器，其数据通过 RS485 接口直接传送到工业计算机，冷冻水的供回水温度与此相同。

所述 RS485 通讯接口模块至少对冷水机组的冷冻水供回水温度、冷却水供回水温度、冷凝温度、冷凝压力、蒸发温度、蒸发压力参数进行数据采集，用ModBus协议与工业控制计算机通讯并传输所述的冷水机组的数据信息，并按时间序列保存，即按一定的时间间隔逐组保存数据。

所述的工业控制计算机对可编程控制器与RS485通讯接口模块采集到的数据信息进行处理，在以整个冷冻机房能耗最低为目标函数，确定出冷冻机房各设备在下一时刻的优化节能运行工况，并将结果传输给可编程控制器和RS485通讯接口模块。

所述的可编程控制器和RS485通讯接口模块将优化运行工况传输给对应设备的调节器，使各设备在优化运行工况下运行。

本发明还提供了一种冷冻机房节能优化控制方法，包括如下步骤：

第一步，建立数学模型，根据冷冻机房各设备的系列实测运行参数，结合各设备的出厂运行参数，建立各设备的运行参数与能耗之间的数学模型，同时建立校正程序；

第二步，实时数据采样，获取冷水机组中至少冷冻水供回水温度、冷却水供回水温度、冷凝温度、冷凝压力、蒸发温度、蒸发压力的参数，同时获取室外干球温度、室外相对湿度、冷冻水供水温度、冷冻水回水温度、冷却水供水温度、冷却水回水温度、冷冻水流量、冷却水流量、冷水机组的功率、

冷冻水泵的功率、冷却水泵的功率和冷却塔的功率，并按照一定的时间间隔逐一保存这些数据；

第三步，校正数学模型，根据第二步所测得的实时运行数据，调用校正程序，对第一步中的数学模型进行在线实时校正；系统中各设备的能耗根据其运行参数通过数学模型进行计算，计算结果用于能耗预测及优化运行，但由于数学模型与实际设备之间可能会有一定的偏差，为了提高预测的准确性，需要在运行过程中根据实测的数据对计算结果乃至数学模型本身进行实时在线修正；

第四步，优化计算，以各设备的能耗模型之和为最小为目标进行优化计算，得到冷冻机房各设备的最佳运行工况，同时对冷水机组进行喘振预测，当冷机即将面临喘振威胁时，通过改变冷水机组的工况点提前对冷水机组进行喘振保护，在喘振威胁消除后自动恢复原有工况点；

第五步，反馈，将第四步得到的最佳运行工况传输给各设备，各设备按优化结果中的工况运行，使整个冷冻机房在最小的能耗下运行；

第六步，在一定的时间间隔，重复第三步、第四步和第五步。

本发明提供的冷冻机房节能优化控制的方法，还具有如下附属技术特征：

由于冷冻机房中主要的设备有冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔，因此对这四种主要设备建立能耗模型，第一步所述的数学模型为冷水机组能耗模型、冷冻水泵能耗模型、冷却水泵能耗模型和冷却塔能耗模型，所述的数学模型如下：

$$P_{chiller} = \sum_{i=1}^{n_{chiller}} \frac{Q_{nom,i}}{COP_{nom,i}} \cdot PLR_{adj,i} \cdot TEMP_{adj,i}$$

$$PLR_{adj} = a_0 + a_1 \left(\frac{Q_{chiller}}{Q_{nom}} \right) + a_2 \left(\frac{Q_{chiller}}{Q_{nom}} \right)^2$$

$$TEMP_{adj} = b_0 + b_1 T_{CHWS} + b_2 T_{CHWS}^2 + b_3 T_{CWS} + b_4 T_{CWS}^2 + b_5 T_{CHWS} \cdot T_{CWS}$$

$$P_{pump} = \frac{k Q_w^3 + H_{st,w} Q_w}{\eta_p \eta_c \eta_m} + P_{VFD}$$

$$P_{CHWpump} = \sum_{j=0}^{n_{CHWpump}} \sum_{J=0}^3 c_{J,j} Q_{w-CHWpump}^J$$

$$P_{CWPump} = \sum_{k=0}^{n_{CWPump}} \sum_{K=0}^3 d_{K,k} Q_{w-CWPump}^K$$

$$P_{CTfan} = \sum_{l=0}^{n_{CTfan}} \sum_{L=0}^3 e_{L,l} Q_{air-CTfan}^L$$

$$Q_{rej} = \frac{x_1 m_w^{x_3}}{1 + x_2 \left(\frac{m_w}{m_a} \right)^{x_3}} (T_{CWS} - T_{wb,i})$$

所述的第四步中，优化计算方法为：

$$P_{chiller_plant} = \text{Min}(P_{chiller} + P_{CHWpump} + P_{CWPump} + P_{CTfan})$$

其中：

- $P_{chiller}$: 冷水机组能耗，kW；
- $n_{Chiller}$: 冷水机组运行台数；
- Q_{nom} : 冷水机组名义冷量，kW；
- COP_{nom} : 冷水机组名义 COP；
- PLR_{adj} : 冷水机组部分负荷调节因子；
- $TEMP_{adj}$: 冷水机组温度调节因子；
- a_0 、 a_1 、 a_2 : 冷水机组部分负荷调节因子系数；
- $Q_{chiller}$: 冷水机组实际冷量，kW；
- b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 : 冷水机组温度调节因子系数；
- T_{CHWS} : 冷冻水供水温度，℃；
- P_{pump} : 水泵能耗，kW；

$H_{st,w}$:	静压(仅对开式系统) , mH ₂ O;
k :	与管道特性曲线有关的系数;
Q_w :	水流量, kg/s;
η_p :	水泵效率;
η_c :	传动效率;
η_m :	电机效率;
P_{VFD} :	变频器能耗, kW;
$P_{CHWpump}$:	冷冻水泵能耗, kW;
$n_{CHWpump}$:	冷冻水泵运行台数;
c_{Jj} :	冷冻水泵系数;
$Q_{w_CHWpump}$:	冷冻水泵流量, kg/s;
P_{CWpump} :	冷却水泵能耗, kW;
$d_{K,k}$:	冷却水泵系数;
Q_{w_CWpump} :	冷却水泵流量, kg/s;
n_{CWpump} :	冷却水泵运行台数;
P_{CTfan} :	冷却塔能耗, kW;
n_{CTfan} :	冷却塔运行台数;
$e_{L,j}$:	冷却塔系数;
Q_{air_CTfan} :	冷却塔风量, kg/s; 其中, 对单速和双速冷却塔而言, 风量可从厂家样本获知, 对于变频冷却塔风量的变化体现在冷却塔风机频率的变化上;
Q_{rej} :	冷却塔散热率, kW;
m_w :	冷却水流量, kg/s;
m_a :	空气流量, kg/s; 其中, 对单速和双速冷却塔而言, 风量可从厂家样本获知, 对于变频冷却塔风量的变化体现在冷却塔风机频率的变化上;
T_{CWS} :	冷却水供水温度, °C;
$T_{wb,i}$:	空气干球温度, °C;

第二步骤中实时数据采样的时间间隔最短设定为2分钟。以便可以采集更多的数据，及时发现系统异常故障。

第六步骤中，重复的时间间隔为最小值为10分钟。在一般的冷冻水系统中，冷冻水从冷水机组供出流经水泵和末端换热后，再次回到冷水机组需要一定的时间，10分钟可以较好反映出这一过程，如果间隔时间过短则不能体现这整个过程无法获知比较准确的负荷情况，如果时间过长会导致系统长时间处于非优化工况下运行，造成能量浪费。

本发明全面考虑了冷冻机房内各设备的运行过程中的相互影响，将整个冷冻机房为整体，全面考虑各设备的最佳运行工况，寻求冷冻机房中各设备的最佳组合，实现冷冻机房运行于较高的状态，从而整个系统能耗最低，实现节能的目的。

附图说明：

图 1 是本发明装置实施例的结构示意图。

图 2 是本发明方法实施例流程图。

具体实施方式：

如图 1、图 2 所示，本发明装置实施例包括：工业控制计算机 1，可编程控制器 2，RS485 通讯接口模块 3，流量传感器 4，温度传感器 5，室外温湿度传感器 6，三相有功功率变送器 7，差压传感器 8，水泵变频器 9，冷却塔风扇变频器 10，电动阀及开关量执行器 11，冷水机组 12。

依本发明，可以设置若干个流量传感器 4、若干个温度传感器 5、一个室外温湿度传感器 6、若干个三相有功功率变送器 7、差压传感器 8、若干个水泵变频器 9 和若干个冷却塔风扇变频器 10 分别与可编程控制器 2 连接，可编程控制器 2 通过工业以太网与工业控制计算机 1 通讯，RS485 通讯接口模块 3 与机组连接通过 ModBus 协议与工业控制计算机 1 通讯。室外温湿度传感器 6 置于室外冷却塔进风口附近，冷冻水供回水总管上分别安装一个温度传感器 5，冷却水供回水总管上分别安装一个温度传感器 5，冷冻水供水或回水总管上安装一个流量传感器 4，冷却水供水或回水总管上安装一个流量传感器 4，冷冻水供回水总管之间安装差压传感器 8，每台冷水机组蒸发器进口和冷凝器进口、每台冷却塔供水管和回水管上分别安装一个电动阀及开关量执行器 11，每台冷水机组、每台冷冻水泵、每台冷却水泵以及每台冷却塔分别安装一个三相有功功率变送器 7。

所述的温度传感器 5 分别用于监测冷冻水供回水温度，冷却水供回水温度，室外温湿度传感器 6 用于监测室外空气干球温度和相对湿度，流量传感器 4 用于监测水泵运行时的水流量，三相有功功率变送器 7 用于监测冷水机组、水泵和冷却塔的运行能耗，压差传感器 8 用于监测末端用户侧压差；可编程控制器 2 对流量传感器 4、温度传感器 5、室外温湿度传感器 6、三相有功功率变送器 7 和差压传感器 8 进行数据采集并发送到工业控制计算机 1，并按一定的时间间隔逐一保存；RS485 通讯接口模块 3 对冷水机组的冷冻水供回水温度、冷却水供回水温度、冷凝温度、冷凝压力、蒸发温度、蒸发压力等参数进行数据采集，用 ModBus 协议与工业控制计算机 1 通讯向其传输冷水机组的这些数据信息，并按时间序列保存；工业控制计算机 1 对可编程控制

器 2 与 RS485 通讯接口模块 3 采集到的数据信息进行处理，在以整个冷冻机房能耗最低为目标函数，确定出冷冻机房各设备在下一时刻的优化节能运行工况，并将结果传输给可编程控制器 2 和 RS485 通讯接口模块 3；可编程控制器 2 和 RS485 通讯接口模块 3 将优化运行工况传输给对应设备的调节器，在满足制冷负荷的前提下，使各设备在整个冷冻机房总能耗最小的情况下节能安全运行。

如图 2 所示，本发明方法实施流程，具体说明如下：

首先，根据冷冻机房各设备的系列实测运行参数，结合各设备的出厂运行参数，建立各设备的运行参数与能耗之间的数学模型，同时建立校正程序，在本实施例中，建立的数学模型是冷水机组能耗模型、冷冻水泵能耗模型、冷却水泵能耗模型和冷却塔能耗模型；

其次，工业控制计算机通过 RS485 通讯接口模块获取冷水机组的冷冻水供回水温度、冷却水供回水温度、冷凝温度、冷凝压力、蒸发温度、蒸发压力等参数，通过可编程控制器获取传感器传来的室外干球温度、相对湿度、冷冻水供水温度、冷冻水回水温度、冷却水供水温度、冷却水回水温度、冷冻水流量、冷却水流量、冷水机组的功率、冷冻水泵的功率、冷却水泵的功率和冷却塔的功率，按照一定的时间间隔逐一保存这些数据；时间间隔可以设置为 2 分钟；

接下来，工业控制计算机通过 RS485 通讯接口模块和可编程控制器获取各设备的实时运行数据后，调用模型校正程序对冷冻机房中各设备的能耗模型进行在线实时校正；

然后，工业控制计算机根据监测的实时制冷负荷和气象参数，根据已校正的冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔的能耗模型，以整个冷冻机房效率最高作为目标，即将冷水机组能耗模型、冷冻水泵能耗模型、冷却水泵能耗模型和冷却塔能耗模型之各最小值做为目标，进行优化计算得到冷冻机房各设备的最佳运行工况，同时对冷水机组进行喘振预测，当冷机即将面临喘振威胁时，通过改变冷水机组的工况点提前对冷水机组进行喘振保护，在喘振威胁消除后自动恢复原有工况点；

最后，工业控制计算机通过 RS485 通讯接口模块以及工业以太网将优化计算得到的最佳运行工况传输给冷水机组和可编程控制器，各设备按优化结果中的工况运行，使整个冷冻机房在最小的能耗下节能运行；

本实施例中，工业控制计算机 1 中的优化节能工况计算模型描述如下：

$$P_{chiller_plant} = \text{Min}(P_{chiller} + P_{CHWpump} + P_{CWpump} + P_{CTfan}) \quad (1)$$

$$P_{chiller} = \sum_{i=1}^{n_{chiller}} \frac{Q_{nom,i}}{COP_{nom,i}} \cdot PLR_{adj,i} \cdot TEMP_{adj,i} \quad (2)$$

$$PLR_{adj} = a_0 + a_1 \left(\frac{Q_{chiller}}{Q_{nom}} \right) + a_2 \left(\frac{Q_{chiller}}{Q_{nom}} \right)^2 \quad (3)$$

$$TEMP_{adj} = b_0 + b_1 T_{CHWS} + b_2 T_{CHWS}^2 + b_3 T_{CWS} + b_4 T_{CWS}^2 + b_5 T_{CHWS} \cdot T_{CWS} \quad (4)$$

$$P_{pump} = \frac{kQ_w^3 + H_{st.w}Q_w}{\eta_p \eta_c \eta_m} + P_{VFD} \quad (5)$$

$$P_{CHWpump} = \sum_{j=0}^{n_{CHWpump}} \sum_{J=0}^3 c_{J,j} Q_{w_CHWpump}^J \quad (6)$$

$$P_{CWpump} = \sum_{k=0}^{n_{CWpump}} \sum_{K=0}^3 d_{K,k} Q_{w_CWpump}^K \quad (7)$$

$$P_{CTfan} = \sum_{l=0}^{n_{CTfan}} \sum_{L=0}^3 e_{L,l} Q_{air_CTfan}^L \quad (8)$$

$$Q_{rej} = \frac{x_1 m_w^{x_3}}{1 + x_2 \left(\frac{m_w}{m_a} \right)^{x_3}} (T_{CHWS} - T_{wb,i}) \quad (9)$$

其中:

中:

$P_{chiller}$:	冷水机组能耗, kW;
$n_{Chiller}$:	冷水机组运行台数;
Q_{nom} :	冷水机组名义冷量, kW;
COP_{nom} :	冷水机组名义 COP;
PLR_{adj} :	冷水机组部分负荷调节因子;
$TEMP_{adj}$:	冷水机组温度调节因子;
a_0 、 a_1 、 a_2 :	冷水机组部分负荷调节因子系数;
$Q_{chiller}$:	冷水机组实际冷量, kW;
b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 :	冷水机组温度调节因子系数;
T_{CHWS} :	冷冻水供水温度, °C; 冷水机组温度调节因子系数
P_{pump} :	水泵能耗, kW;
$H_{st,w}$:	静压(仅对开式系统) , mH ₂ O;
k :	与管道特性曲线有关的系数;
Q_w :	水流量, kg/s;
η_p :	水泵效率;
η_c :	传动效率;
η_m :	电机效率;
P_{VFD} :	变频器能耗, kW;
$P_{CHWpump}$:	冷冻水泵能耗, kW;
$n_{CHWpump}$:	冷冻水泵运行台数;
C_{Jj} :	冷冻水泵系数;
$Q_{w_CHWpump}$:	冷冻水泵流量, kg/s;
P_{CWpump} :	冷却水泵能耗, kW;
$d_{K,k}$:	冷却水泵系数;

Q_{w_CWpump} :	冷却水泵流量, kg/s;
n_{CWpump} :	冷却水泵运行台数;
P_{CTfan} :	冷却塔能耗, kW;
n_{CTfan} :	冷却塔运行台数;
$e_{L,j}$:	冷却塔系数;
Q_{air_CTfan} :	冷却塔风量, kg/s;
Q_{rej} :	冷却塔散热率, kW;
m_w :	冷却水流量, kg/s;
m_a :	空气流量, kg/s;
T_{CWS} :	冷却水供水温度, °C;
$T_{wb,i}$:	空气湿球温度, °C;

式 (1) 为以整个冷冻机房效率最高作为目标函数, 式 (2) 是冷水机组的能效模型, 式 (3) 是冷水机组能效模型中的部分负荷调节因子, 式 (4) 是冷水机组能效模型中的温度调节因子, 式中的系数 a_0 、 a_1 、 a_2 、 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 根据冷水机组运行特性结合厂家的样本资料回归拟合得到, 式 (5)、(6)、(7) 是水泵的能效模型, 式中的系数 $c_{J,j}$ 、 $d_{k,k}$ 根据实测得到的水泵一系列运行流量和对应能耗, 并结合冷机厂家相应样本, 由多元非线性回归得到, 式 (8) 是冷却塔的能效模型, 式中的系数 $e_{L,1}$ 根据实测得到的冷却塔风扇一系列运行风量和对应能耗, 并结合冷机厂家相应样本, 由多元非线性回归得到, 式 (9) 是冷却塔散热率与通过冷却塔的风量、水量、冷却水温以及空气的湿球温度之间的关系, 式中系数 x_1 、 x_2 、 x_3 根据一系列环境空气干湿球温度条件下, 通过冷却塔风扇的风量、冷却水流量、冷却水温与冷却塔的换热量的对应关系, 结合冷却塔厂家的相应样本资料, 由多元非线性回归得到。

利用上述模型建立了虚拟系统后, 就可以通过全局寻优算法找出冷冻机房处于最高效率的运行状态。该全局优化算法的输入包括: 实时冷负荷和气象

参数。同时还应注意部分限值设定。首先冷冻机房内每种设备都有其最大的运行容量和运行台数；其次冷冻机房内的每一种设备都与其他设备以一种特定的方式连接，运行过程中相互影响，例如冷机、水泵和冷却塔必须同时运行才能够实现制冷过程；此外，质量和能量平衡也是该全局优化算法必须要考虑的条件，例如在系统运行过程中，流经冷却水泵、冷却塔和冷凝器的冷却水量必须相等，冷却塔的散热量应大致等于冷负荷与冷机功率之和。

进行优化计算时，算法应监测到实时冷负荷和气象参数，以之作为输入条件，以前文提及的相关限制条件作为约束，以整个冷冻机房效率最高作为目标函数。这里采用一种高效方法，根据建立的虚拟系统模型，来寻找最优运行设备组合和最优设备设定值组合。一旦寻找到该最优组合，它们将被应用到实际冷冻机房，以保证实际冷冻机房运行于高效的状态。

中间过程某一工况为例：

例如：某个时间点，某冷冻机房的现实工况为：冷机台数现运行一台冷水机组、一台冷冻水泵、一台冷却水泵、一台冷却塔，冷水机组名义冷量 $Q_{nom,1}$ 为 7032kW，冷水机组名义 $COP_{nom,1}$ 为 5.1。冷水机组实际冷量 $Q_{chiller}$ 为 4922kW，冷冻水供水温度 7℃，冷却水供水温度 29℃，冷水机组部分负荷调节因子系数 $a_0=0.13547$ ， $a_1=0.75320$ ， $a_3=0.10684$ ；冷水机组温度调节因子系数 $b_0=0.68874$ ， $b_1=-0.0043184$ ， $b_2=0.0010723$ ， $b_3=0.0014989$ ， $b_4=0.0004789$ ， $b_5=-0.0010965$ 。冷冻水泵变频运行，冷冻水流量 235kg/s；冷却水泵变频运行，冷却水流量 279kg/s；冷冻水泵系数 $c_{0,1}=38.001$ 、 $c_{1,1}=0.17599$ 、 $c_{2,1}=-0.00014970$ 、 $c_{3,1}=2.6998 \times 10^{-7}$ ；冷却水泵系数 $d_{0,1}=0.014346$ 、 $d_{1,1}=-0.00010675$ 、 $d_{2,1}=0.0$ 、 $d_{3,1}=0.0000015552$ ；冷却塔为单速冷却塔，冷却

塔风扇工频运行在 50Hz，冷却塔风扇功率为额定功率 42kW。根据所建立数学模型，得出：

$$PLR_{adj} = 0.13547 + 0.75320 \times \left(\frac{4922}{7032} \right) + 0.10684 \times \left(\frac{4922}{7032} \right)^2 = 0.715$$

$$\begin{aligned} TEMP_{adj} &= 0.68874 - 0.0043184 \times 7 + 0.0010723 \times 7 \times 7 + 0.0014989 \times 29 \\ &\quad + 0.0004789 \times 29 \times 29 - 0.0010965 \times 7 \times 29 \\ &= 0.935 \end{aligned}$$

$$P_{chiller} = \frac{7032}{5.1} \times 0.715 \times 0.935 = 921kW$$

$$\begin{aligned} P_{CHW_{pump}} &= 38.001 + 0.17599 \times 235 - 0.0001497 \times 235 \times 235 \\ &\quad + 2.6998 \times 10^{-7} \times 235 \times 235 \times 235 \\ &= 74.6kW \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{CW_{pump}} &= 0.014346 - 0.00010675 \times 279 \\ &\quad + 0.0000015552 \times 279 \times 279 \times 279 \\ &= 33.8kW \end{aligned}$$

$$P_{CTfan} = 42kW$$

这种运行工况下冷冻机房的总能耗为：

$$\begin{aligned} P_{chiller_plant} &= 921 + 74.6 + 33.8 + 42 \\ &= 1071.4kW \end{aligned}$$

得到这个工况的冷冻机房总能耗后，优化控制算法会用相同的方法计算该实时冷负荷和气象参数条件下，各种设备在不同运行工况的冷冻机房总能耗，最终确定一个最优工况，即其总能耗是所有工况的冷冻机房总能耗的最小值，然后实现该最优工况，达到节能的目的。

上述实施例只为说明本发明之用，而并非是对本发明的限制，有关领域的普通技术人员，在此基础上，还可以做出多种变更和改进方案，而不脱离本发明的精神和保护范围。本权利要求书中，希望已经包含了符合本发明实质和范围的所有这些变更和改进方案。

权 利 要 求 书

1、一种冷冻机房节能优化控制系统，其特征在于：包括工业控制计算机（1），可编程控制器（2），RS485 通讯接口模块（3），流量传感器（4），温度传感器（5），室外温湿度传感器（6），三相有功功率变送器（7），差压传感器（8），水泵变频器（9），冷却塔风扇变频器（10），电动阀及开关量执行器（11）、冷水机组（12）；其中：流量传感器（4）、温度传感器（5）、室外温湿度传感器（6）、三相有功功率变送器（7）、水泵变频器（9）和冷却塔风扇变频器（10）分别与可编程控制器（2）连接，可编程控制器（2）通过工业以太网与工业控制计算机（1）通讯，RS485 通讯接口模块（3）与冷水机组连接通过 ModBus 协议与工业控制计算机（1）通讯；所述的温度传感器（5）分别用于监测冷冻水供回水温度，冷却水供回水温度，室外温湿度传感器（6）用于监测室外空气干球温度和相对湿度，流量传感器（4）用于监测水泵运行时的水流量，三相有功功率变送器（7）用于监测冷水机组、水泵和冷却塔的运行能耗，压差传感器（8）用于监测末端用户侧压差，所述的可编程控制器（2）和所述的 RS485 通讯接口模块（3）用于实时采集所述的传感器获得的数据，所述的工业计算机（1）用于保存所述的数据并与发出运行控制指令。

2、根据权利要求 1 所述的冷冻机房节能优化控制系统，其特征在于：室外温湿度传感器（6）设置于室外冷却塔进风口附近，冷冻水供回水总管上分别安装有温度传感器（5），冷却水供回水总管上分别安装温度传感器（5），冷冻水供水或回水总管上安装有流量传感器（4），冷却水供水或回水总管上

安装流量传感器（4），冷冻水供回水总管之间安装有差压传感器（8），每台冷水机组的蒸发器进口和冷凝器进口、每台冷却塔供水管和回水管上分别安装有电动阀及开关量执行器（11），每台冷水机组、每台冷冻水泵、每台冷却水泵以及每台冷却塔分别安装有三相有功功率变送器（7）。

3、根据权利要求 2 所述的冷冻机房节能优化控制系统，其特征在于：所述的可编程控制器（2）采集的数据包括流量传感器（4）、温度传感器（5）、室外温湿度传感器（6）、三相有功功率变送器（7）和差压传感器（8）所获得的数据，所述的可编程控制器（2）将上述数据发送到工业控制计算机（1），所述的工业控制计算机（1）按设定的时间间隔逐一保存所述的数据。

4、根据权利要求 2 所述的冷冻机房节能优化控制系统，其特征在于：所述的 RS485 通讯接口模块（3）至少对冷水机组的冷冻水供回水温度、冷却水供回水温度、冷凝温度、冷凝压力、蒸发温度、蒸发压力参数进行数据采集，用 ModBus 协议与工业控制计算机（1）通讯并传输所述的冷水机组的数据信息，并按时间序列保存。

5、根据权利要求 1-4 中任一项所述的冷冻机房节能优化控制系统，其特征在于：所述的工业控制计算机（1）对可编程控制器（2）与 RS485 通讯接口模块（3）采集到的数据信息进行处理，在以整个冷冻机房能耗最低为目标函数，确定出冷冻机房各设备在下一时刻的优化节能运行工况，并将结果传输给可编程控制器（2）和 RS485 通讯接口模块（3）。

6、根据权利要求 5 所述的冷冻机房节能优化控制系统，其特征在于：所述的可编程控制器（2）和 RS485 通讯接口模块（3）将优化运行工况传输给对应设备的调节器，使各设备在优化运行工况下运行。

7、一种冷冻机房节能优化控制方法，其特征在于：包括如下步骤：

第一步，建立数学模型，根据冷冻机房各设备的系列实测运行参数，结合各设备的出厂运行参数，建立各设备的运行参数与能耗之间的数学模型，同时建立校正程序；

第二步，实时数据采样，获取冷水机组中至少冷冻水供回水温度、冷却水供回水温度、冷凝温度、冷凝压力、蒸发温度、蒸发压力的参数，同时获取室外干球温度、室外相对湿度、冷冻水供水温度、冷冻水回水温度、冷却水供水温度、冷却水回水温度、冷冻水流量、冷却水流量、冷水机组的功率、冷冻水泵的功率、冷却水泵的功率和冷却塔的功率，并按照一定的时间间隔逐一保存这些数据；

第三步，校正数学模型，根据第二步所测得的实时运行数据，调用校正程序，对第一步中的数学模型进行在线实时校正；

第四步，优化计算，以各设备的能耗模型之和为最小为目标进行优化计算，得到冷冻机房各设备的最佳运行工况，同时对冷水机组进行喘振预测，当冷机即将面临喘振威胁时，通过改变冷水机组的工况点提前对冷水机组进行喘振保护，在喘振威胁消除后自动恢复原有工况点；

第五步，反馈，将第四步得到的最佳运行工况传输给各设备，各设备按优化结果中的工况运行，使整个冷冻机房在最小的能耗下运行；

第六步，在一定的时间间隔，重复第三步、第四步和第五步。

8、根据权利要求6所述的冷冻机房节能优化控制的方法，其特征在于：第一步所述的数学模型为冷水机组能耗模型、冷冻水泵能耗模型、冷却水泵能耗模型和冷却塔能耗模型，所述的数学模型如下：

$$P_{chiller} = \sum_{i=1}^{n_{chiller}} \frac{Q_{nom,i}}{COP_{nom,i}} \cdot PLR_{adj,i} \cdot TEMP_{adj,i}$$

$$PLR_{adj} = a_0 + a_1 \left(\frac{Q_{chiller}}{Q_{nom}} \right) + a_2 \left(\frac{Q_{chiller}}{Q_{nom}} \right)^2$$

$$TEMP_{adj} = b_0 + b_1 T_{CHWS} + b_2 T_{CHWS}^2 + b_3 T_{CWS} + b_4 T_{CWS}^2 + b_5 T_{CHWS} \cdot T_{CWS}$$

$$P_{pump} = \frac{kQ_w^3 + H_{st.w}Q_w}{\eta_p \eta_c \eta_m} + P_{VFD}$$

$$P_{CHWpump} = \sum_{j=0}^{n_{CHWpump}} \sum_{J=0}^3 c_{J,j} Q_{w-CHWpump}^J$$

$$P_{CWpump} = \sum_{k=0}^{n_{CWpump}} \sum_{K=0}^3 d_{K,k} Q_{w-CWpump}^K$$

$$P_{CTfan} = \sum_{l=0}^{n_{CTfan}} \sum_{L=0}^3 e_{L,l} Q_{air-CTfan}^L$$

$$Q_{rej} = \frac{x_1 m_w^{x_3}}{1 + x_2 \left(\frac{m_w}{m_a} \right)^{x_3}} (T_{CWS} - T_{wb,i})$$

所述的第四步中，优化计算方法为：

$$P_{chiller_plant} = \text{Min}(P_{chiller} + P_{CHWpump} + P_{CWpump} + P_{CTfan})$$

其中：

- $P_{chiller}$: 冷水机组能耗，kW；
- $n_{chiller}$: 冷水机组运行台数；
- Q_{nom} : 冷水机组名义冷量，kW；
- COP_{nom} : 冷水机组名义 COP；
- PLR_{adj} : 冷水机组部分负荷调节因子；
- $TEMP_{adj}$: 冷水机组温度调节因子；
- a_0 、 a_1 、 a_2 : 冷水机组部分负荷调节因子系数；
- $Q_{chiller}$: 冷水机组实际冷量，kW；
- b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 : 冷水机组温度调节因子系数；

T_{CHWS} :	冷冻水供水温度, °C;
P_{pump} :	水泵能耗, kW;
$H_{st,w}$:	静压(仅对开式系统), mH ₂ O;
k :	与管道特性曲线有关的系数;
Q_w :	水流量, kg/s;
η_p :	水泵效率;
η_c :	传动效率;
η_m :	电机效率;
P_{VFD} :	变频器能耗, kW;
$P_{CHWpump}$:	冷冻水泵能耗, kW;
$n_{CHWpump}$:	冷冻水泵运行台数;
$c_{J,j}$:	冷冻水泵系数;
$Q_{w_CHWpump}$:	冷冻水泵流量, kg/s;
P_{CWpump} :	冷却水泵能耗, kW;
$d_{K,k}$:	冷却水泵系数;
Q_{w_CWpump} :	冷却水泵流量, kg/s;
n_{CWpump} :	冷却水泵运行台数;
P_{CTfan} :	冷却塔能耗, kW;
n_{CTfan} :	冷却塔运行台数;
$e_{L,l}$:	冷却塔系数;
Q_{air_CTfan} :	冷却塔风量, kg/s;
Q_{rej} :	冷却塔散热率, kW;
m_w :	冷却水流量, kg/s;
m_a :	空气流量, kg/s;
T_{CWS} :	冷却水供水温度, °C;
$T_{wb,i}$:	空气湿球温度, °C;

9、根据权利要求6或7所述的冷冻机房节能优化控制的方法, 其特征在于: 第二步骤中实时数据采样的时间间隔最短设定为2分钟。

10、根据权利要求6或7所述的冷冻机房节能优化控制的方法，其特征在于：第六步骤中，重复的时间间隔为最小值为10分钟。