

# 一种适用于保护高精设备的循环水冷却系统

蔡兴彪

东方电气集团东方汽轮机有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i1.7644

**[摘要]** 在现代工业中循环水冷却系统在各行业已普遍应用于降低被保护设备的温度, 从而保障设备的正常、高效运行。随着工业技术的不断发展和工艺条件的不断提升, 在对于高精设备保护的情况下, 普通循环水冷却系统的适用性因为水质、成本等因素而受到了极大的局限。本文提出了根据经济适用的原则和不同环境下的水质要求等因素, 将传统循环水冷却系统的设计思路进行的调整, 从而设计、规划出使用于保护高精设备的循环水冷却系统。并从循环、节能、水质、保护等方面论述了系统的设计思路。

**[关键词]** 循环水冷却系统; 温度; 冷却介质; 冷却设备; 热交换; 水质; 器件保护; 温度监测; 温度控制; 内外循环; 换热器

## A circulating water cooling system suitable for protecting high-precision equipment

Cai Xingbiao

Dongfang Electric Group Dongfang Steam Turbine Co., LTD.

**[Abstract]** In the modern industry, the circulating water cooling system has been widely used in various industries to reduce the temperature of the protected equipment, so as to ensure the normal and efficient operation of the equipment. With the continuous development of industrial technology and the continuous improvement of process conditions, under the protection of high precision equipment, the applicability of ordinary circulating water cooling system is greatly limited due to water quality, cost and other factors. This paper adjusts the design idea of traditional circulating water cooling system according to the principles of applicable to economy and water quality requirements in different environments, so as to design and plan the circulating water cooling system for protecting high precision equipment. This paper discusses the system from the aspects of circulation, energy saving, water quality and protection.

**[Key words]** Circulating water cooling system; temperature; cooling medium; cooling equipment; heat exchange; water quality; device protection; temperature monitoring; temperature control; internal and external circulation; heat exchanger

在许多工业应用中, 高温是一个常见的问题, 它可能导致设备过热、故障甚至损坏。循环冷却水方案通过循环供应冷却水, 来有效地降低设备温度, 以确保其正常、高效运行。循环冷却水方案是基于热交换原理, 通过将冷却介质(通常是水)通过循环系统与被冷却的设备或系统进行热交换, 达到降低设备温度的目的。

### 一、系统基本原理如下:

1. 利用冷却设备(如冷却塔)将冷却水冷却至较低的温度。
2. 将冷却水泵送至被冷却设备或系统中, 冷却水与设备或

系统的热量发生热交换。

3. 冷却水吸收设备或系统中的热量, 因而温度升高。

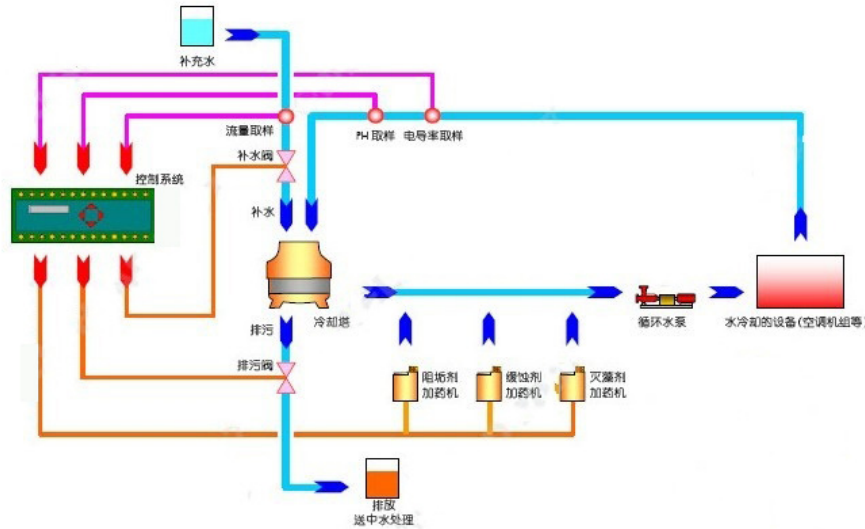
4. 热量交换后的冷却水再次被泵送至冷却设备进行冷却, 形成循环。

### 二、系统组成

循环冷却水方案通常由以下几个基本组成部分组成:

1. 冷却水箱(槽); 2. 冷却设备; 3. 冷却水泵; 4. 管道系统; 5. 冷却水控制系统

### 三、普通应用环境的循环水冷却系统示意图:



四、应用环境

循环水冷却方案广泛应用于各个工业领域，包括但不限于以下几个方面：

- 1 电力行业；2 制造业；3 化工行业；4 钢铁冶金；5 制冷空调

五、适用于保护高精设备的循环水冷却系统

随着工业技术和水平的不断提升，在一些循环水冷却的应用环境条件下，被保护的设备及涉及精细化结构和高价值部件，对整个循环水冷却系统设计提出了更全面、更高的要求，由此诞生了一种适用于保护高精设备的循环水冷却系统设计方案。

因为循环冷却系统的补充水即使采用低硬低碱的水质，补入冷却水系统后随着浓缩倍数的提高，碱度、PH 会随之上升，结垢性系统性增加，主要为结碳酸钙垢。而循环水浓缩倍数是指在循环冷却水中，由于蒸发而浓缩的物质含量与补充水中同一物质含量的比值，或者指补充水量与排污水量的比值。循环水在运行过程中水分不断蒸发，若溶液浓度超过同样条件下饱和溶解度时，会出现盐类的沉析，因此循环水的浓缩倍数有一定的限制值。举例说明如下：

假设总循环水量为 16000 m<sup>3</sup>/h

补水量 P= P<sub>1</sub>+ P<sub>2</sub>+ P<sub>3</sub>+ P<sub>4</sub>

式中：P<sub>1</sub>：蒸发损失；P<sub>2</sub>：风吹损失；P<sub>3</sub>：泄漏损失；P<sub>4</sub>：排污量

1、蒸发损失 P<sub>1</sub>

$$P_1 = K \cdot \Delta t \cdot Q$$

K：系数（在环境温度为 11.7℃ 时，K=0.0012，某地市年平均气温为 11.7℃）

Δt：进出水温差 取 Δt=6℃

Q：系统循环量 16000 m<sup>3</sup>/h

$$P_1 = 16000 \times 0.12 \times 6 = 115.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

2、风吹损失量 P<sub>2</sub>

对于机械通风凉水塔，在有收水器的情况下，风吹损失率为取 0.1%。

$$P_2 = 16000 \times 0.1\% = 16 \text{ m}^3/\text{h}$$

3、泄漏损失 P<sub>3</sub>

由于系统式密闭循环，机泵的泄漏可忽略不计。

$$P_3 = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

4、浓缩倍率 N

循环水的浓缩倍率取 N=3

5、补水量 P，

系统蒸发量 P<sub>1</sub>=115.2 m<sup>3</sup>/h，N=3

$$\therefore N = P / (P - P_1)$$

$$\therefore P = N \cdot P_1 / (N - 1) = 115.2 \times 3 / 2 = 172.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

6、理论排污量 P<sub>4</sub>

$$P_4 = 172.8 - 115.2 - 16 = 41.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

表 1

循环水总量 (m <sup>3</sup> /h)	浓缩倍数	蒸发损失 (m <sup>3</sup> /h)	蒸发损失系数	风吹损失	风吹损失率	系统进出水温差	补水量 (m <sup>3</sup> /h)	排污量 (m <sup>3</sup> /h)	年排污量 (m <sup>3</sup> /h)	提高浓缩倍数年少排污量 (m <sup>3</sup> /h)
16000	3	115.2	0.12%	16	0.10%	6	172.80	41.6	332800	0
16000	4	115.2	0.12%	16	0.10%	6	153.60	22.4	179200	153600
16000	5	115.2	0.12%	16	0.10%	6	144.00	12.8	102400	230400
16000	6	115.2	0.12%	16	0.10%	6	138.24	7.04	56320	276480

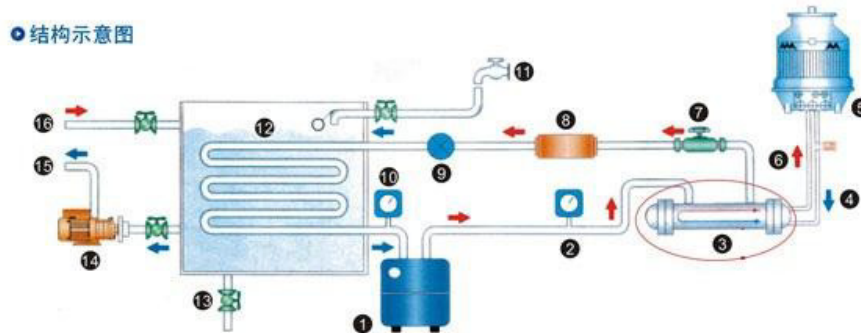
当循环水浓缩倍数≥3.0，自然 PH 上升，最高可达到 8.8 以上，呈现出结垢倾向；PH 大于 9.2，有超出缓蚀阻垢剂的承受能力的状况。同时循环水的全面腐蚀性轻微，但循环水溶解氧充足、含有腐蚀性 CL，对 TP304、316L 不锈钢均存在点腐蚀的隐患，严重时可能导致穿孔泄漏。并且因为循环水温度适中，日照充足情况下，细菌藻类容易繁殖，会产生粘性很强的菌

藻粘泥，附着形成软垢、分散形成浑浊物。

在这样的情况下为了有效的对高精度设备进行保护，循环水冷却系统承载着全天候无故障安全平稳运行的重担。要达到这一方案目标，就必须确保冷却水流安全、畅通地有效带走设备产生的高温能量，从而将系统分为内、外循环模式：设备发热部件——换热器——冷却系统。设备发热部件——换热器之

间通过超纯水进行热量交换形成内循环系统，然后再通过换热器——冷却系统之间的大流量水冷方式有效控制换热器温度，从而达成对内、外循环水温度的有效控制。此方案的关键因素是因为内循环时的设备发热部件往往是整个设备的关键、核心的高精部件，其中涉及的毛细管网络密布。在这样的情况下，

如何更有效地保护毛细管路的通畅、效率成为整个方案的核心：封闭式的内循环，并采用超纯水作为换热介质，从根本上保护整个毛细管网络的通畅和换热效率。示图如下（部件 12 为换热器）：



对于换热器及整个系统的换热计算如下：

1. 热量换算公式：

换热器的热量计算通常使用传热的基本公式： $Q=U \times A \times \Delta T_m$

其中，Q 表示换热器的热量传输量（单位为热量单位/时间，如瓦特或千瓦），U 是换热系数（单位为热导率乘以传热面积除以传热距离），A 是传热面积（单位为平方米）， $\Delta T_m$  是温度差（单位为摄氏度或开尔文）。

热传导系数（U）是换热器设计的重要参数，它代表了换热介质的传热特性。根据具体的换热器类型和传热介质，U 的计算方法有所不同。以下是一些常用的 U 计算方法：

-对于管壳式换热器：

$$U=1/[ (1/h1) + (\sum Ri) + (1/h2) ]$$

其中，h1 和 h2 分别是冷介质和热介质的对流传热系数，

$\sum Ri$  是壳程内的热阻总和。

-对于板式换热器：

$$U=1/[ (1/h1) + (1/h2) + (\sum Ri) ]$$

其中，h1 和 h2 分别是冷介质和热介质的对流传热系数，

$\sum Ri$  是板内的热阻总和。

需要注意的是，这里的对流传热系数（h）和壳程或板内的热阻（Ri）通常需要通过实验或文献资料获得。

-对于其他类型的换热器，需要根据具体的情况选择相应的换热系数计算方法。

2. 面积计算公式：

换热器的面积计算方法与热量计算有关，可以根据热量换算公式中的公式进行求解。

假设我们已经知道了换热量（Q）、热传导系数（U）和温度差（ $\Delta T_m$ ），则面积（A）可以通过如下公式计算：

$$A=Q/ (U \times \Delta T_m)$$

这个公式也可以反过来使用，即通过已知的面积和热传导系数来计算热量：

$$Q=U \times A \times \Delta T_m$$

（单位保持一致。使用国际单位制（如瓦特、米、摄氏度等））

采用内外分离的循环水冷却系统设计方案中通过引入对换热器的应用来确保系统的水质保护、控温精度、稳压恒定、分时节能等方面。在设计方案中，需要确定系统的具体参数和配置。例如，冷却水的循环系统由冷、热水池、泵房（站）、

被冷却的设备或产品、冷却设备、管路系统等组成。系统的工作流程为：外部循环中温度升高的热水流入热水池，经热水泵提升后流入冷却塔进行冷却，冷却后的冷水流入冷水池，再经冷水泵提升送入换热器对内循环的超纯水进行冷却，再通过超纯水对内循环中的精密设备及部件进行冷却和保护。

六、新型设计的主要优点

1. 稳定运行：内外分离的循环冷却水系统设计，通过内循环使用高质量的超纯水和有效的水质控制和化学处理，能够维持水质稳定，防止结垢和腐蚀，确保设备长时间稳定、高效运行，降低设备故障率和维护成本。

2. 降低成本：与传统一体式冷却水系统相比，内外循环的冷却水系统减少了冷却水的补充和处理成本，同时也减少了热能损失，提高了能源效率，降低了企业的运行成本。

3. 环保减排：由于内循环使用超纯水，减少了蒸发和处理压力，减轻了对周围水体的热污染，同时也减少了污水处理负担，有助于环境保护。

4. 节水节能：内外循环的冷却水系统通过多次重复使用超纯水和冷却水，大幅度减少了对新鲜水资源的需求，实现了水资源的高效利用，显著降低了企业的水费支出和对环境的水资源压力。

5. 智能控制：内外循环的冷却水系统将采用智能化控制系统，可根据冷却负荷和水质自动调整循环流量、化学药剂添加量等，确保系统在不同工况下都能达到最佳运行状态，同时减少人工干预，提高工作效率。

6. 延长设备寿命：通过恰当的水质管理，减少了结垢和腐蚀对换热器等设备的损害，延长了设备的使用寿命，减少了更换设备带来的停机时间和资金投入。

结语：

本文对传统循环水冷却系统在现代工业中的应用环境和效果进行分析，并在此基础上针对适用于高精设备的保护，提出采用内、外循环的机构方式，有效地解决在循环系统中因水质变化造成的热交换效率下降、设备危害等实际问题。并通过引入热交换器的应用方式，实现内、外循环的水质分治（流），通过超纯水实现内循环的热交换，再通过热交换器实现内外循环的介质温度控制达成整个循环水系统的有效运行，从而实现对精细设备的保护。