

冷却塔

1. 简介.....	1
2. 冷却塔的类型.....	4
3. 冷却塔评估.....	8
4. 提高能源效率的可能性.....	10
5. 方案清单.....	14
6. 工作表.....	15
7. 参考资料.....	17

1. 简介

本章简单介绍冷却塔的主要特性。

1.1 什么是冷却塔？

很多领域都需要用到冷却水，如空调器、生产过程、发电等。冷却塔就是一种通过将水中的热量吸收出来然后排放到大气中，从而使水流的温度降低的设备。冷却塔利用蒸发作用使水蒸发为流动的汽流，随后将其排入大气，从而使剩余的水大幅度地冷却(见图1)。冷却塔降低水温的能力比仅用空气排热的设备(如汽车水箱)高，因此冷却塔的成本-效果和能源效率更高。

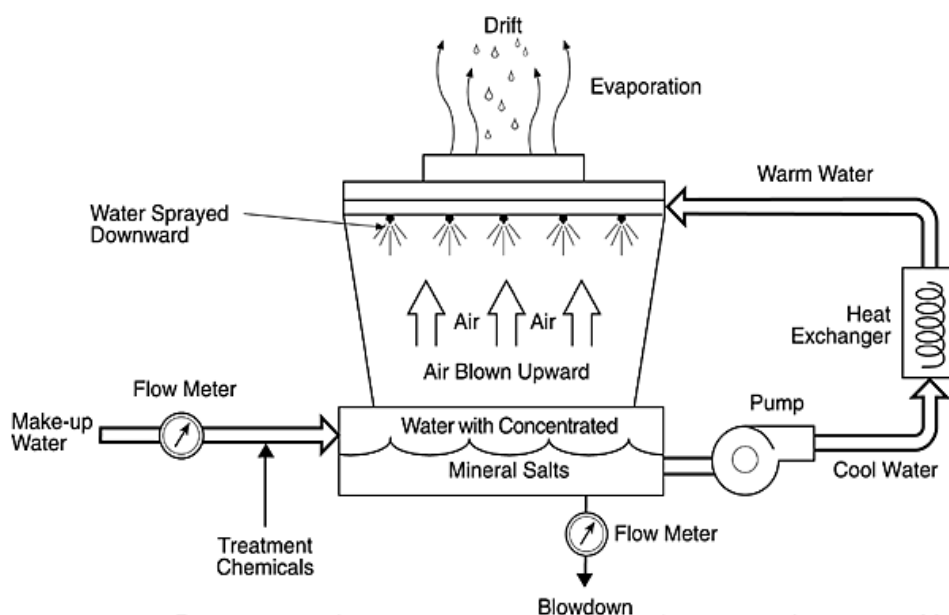


图 1.冷却水系统原理图
(美国西北太平洋国家实验室, 2001)

1.2 冷却塔的组成部分

冷却塔的基本组成部分包括塔架和塔壳、填料、冷水槽、除水器、进风口、百叶窗、喷嘴和通风机。下面分别介绍这些部件：¹

塔架和塔壳：大部分冷却塔都有结构框架，用于支撑外壳、马达、风机和其他部件。对于一些小型的冷却塔，如一些玻璃纤维机组，可能塔壳实质上就是塔架。

填料：大部分冷却塔采用填料(用塑料或木料制成)来充分增加水和空气的接触，从而促进热传递。冷却塔填料有两种类型：

- **点滴式淋水填料：**水流经连续多层横放的淋水棒，不断地分解为较小的水滴，同时也淋湿填料表面。塑料的点滴式淋水填料比木质的点滴式淋水更利于促进热传递。
- **薄膜式淋水填料：**由一组紧密排列的塑料表面组成，水在这些表面上展开形成一层与空气接触的薄膜。表面可以是平直的、波浪形、蜂窝形或者其他形状。薄膜式淋水填料比点滴式淋水填料效率更高，能够以较小的体积提供相同的传热效率。

冷水槽：冷水槽位于塔底或塔底附近，用于接收从冷却塔和填料流下的冷却水。冷水槽通常有一个集水坑或低点，以便安装冷水排放接头。在很多冷却塔设计方案中，冷水槽位于所有填料的下方。不过，在一些强制送风对流式方案中，填料底部的水被引入一个环形沟中，这个环形沟就起到冷水槽的作用。在填料下方会安装几个螺旋桨式风机，向上给冷却塔通风。在这种设计方案中，冷却塔被安装在支柱上，以便工作人员进入塔底维修风机及其电动机。

除水器：除水器用来收集出塔气流中夹带的飘滴，否则这些水滴就会耗散到大气中。

进风口：进风口是空气进入冷却塔的入口。进风口可能占据冷却塔的整个一面(横流式冷却塔)，或位于塔一侧的下方或塔的底部(逆流式冷却塔)。

百叶窗：通常，横流式冷却塔都有进气百叶窗。百叶窗的作用是平衡进入填料的气流，并将水保留在冷却塔内。很多逆流式冷却塔都不需要百叶窗。

喷嘴：喷嘴用于喷洒水淋湿填料。为了使整个填料表面都能够湿度润湿，必须在填料顶部统一分配水。喷嘴可以固定，进行圆形或方形喷洒；或安装在旋转组件上，一些圆形截面的冷却塔采用这种设计。

通风机：冷却塔使用的通风机有轴流式通风机(螺旋桨式)和离心式通风机。通常，螺旋桨式通风机用于诱导通风式冷却塔，而强制通风塔则可采用螺旋桨式和离心式两种通风机。根据尺寸大小，螺旋桨式通风机有固定式和可调叶距式两种类型。安装非自动可调距式桨叶的通风机可用于很宽的功率范围，因为它可以通过调节，以最低的能耗提供需要的气流。自动可调距式桨叶可以随着荷载状态的变化改变气流。

¹ 1.2 节整体摘自*冷却塔*。资料来源：电气设施的能源效率，第7章，第135至151页，经印度电力部能源效率局授权引用。

1.3 冷却塔材料

最初，冷却塔是用木材建造的，包括塔架、塔壳、百叶窗、填料和冷水槽。有时冷水槽是用混凝土制成的。现在，建造冷却塔的材料有很多种。选择材料的出发点是提高耐腐蚀性，减少维护次数，以及提高可靠性和延长使用寿命。镀锌钢、各种等级的不锈钢、玻璃纤维和混凝土都是建造冷却塔广泛应用的材料，一些部件还可用铝和塑料。²

塔架和塔壳：虽然现在还有木制冷却塔，但其中的很多部件也是用不同的材料制成的，如木制的玻璃纤维框架周围的外壳、玻璃纤维制成的进气百叶窗、塑料制成的填料以及钢制的冷水槽。很多冷却塔(塔壳和水槽)是用镀锌钢制成的，如果存在腐蚀性气体的问题，塔身和/或塔基则以不锈钢制成。一些更大的冷却塔是用混凝土制成的。玻璃纤维也广泛用于制造冷却塔外壳和水槽，因为它们能够延长冷却塔的使用寿命，防止有害化学物质的腐蚀。

填料：塑料被广泛用做冷却塔填料，包括聚氯乙烯(PVC)、聚丙烯等聚合物。如果因为水的状态需要使用点滴式淋水填料，木塔中仍然使用经过处理的木制点滴式淋水填料，但塑料点滴式淋水填料也被广泛采用。由于换热效率更高，在循环水不含有会堵塞填料通道的杂质的情况下，可以选用薄膜式淋水填料。

喷嘴：塑料也被广泛用于制作喷嘴。很多喷嘴是用聚氯乙烯(PVC)、ABS 塑料、聚丙烯和玻璃纤维尼龙制成的。

通风机：铝、玻璃纤维和热镀锌钢是常用的通风机材料。离心式通风机通常是用镀锌钢材制成的。螺旋桨式通风机是用镀锌钢、铝或模制玻璃纤维增强塑料制成的。

² 1.3 节摘自《冷却塔》。资料来源：电气设施的能源效率，第 7 章，第 135 至 151 页，经印度电力部能源效率局授权引用。

2. 冷却塔的类型

本节介绍两类主要的冷却塔：自然通风冷却塔和机械通风冷却塔。

2.1 自然通风冷却塔

自然通风冷却塔，又称双曲线冷却塔，利用周围空气和塔内热空气的温度差来进行冷却。当热空气在塔内上升(因为热空气会上升)，新鲜冷空气从塔底的空气入口被吸入塔内。由于其结构，此类冷却塔不需要通风机，塔内几乎没有会影响性能的热空气循环。自然通风冷却塔的塔体最常用的材料是混凝土，塔高可达200米。此类冷却塔几乎只用于大热负荷的冷却，因为大型混凝土结构是很昂贵的。

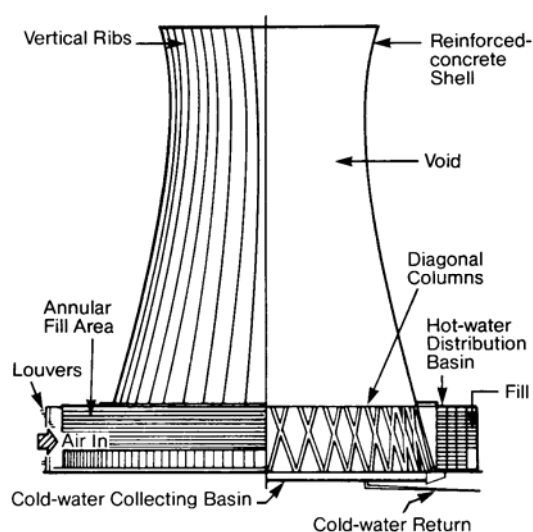


图 2. 横流式自然通风冷却塔

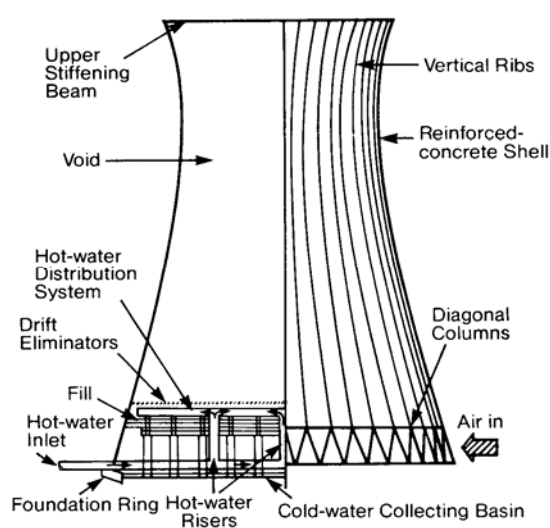


图 3. 逆流式自然通风冷却塔

(Gulf Coast Chemical Commercial Inc, 1995)

自然通风冷却塔有两种类型：

- 横流式自然通风冷却塔(图 2)：空气横向流过下落的水，填料位于塔的外部。
- 逆流式自然通风冷却塔(图 3)：空气自下而上流过下落的水，因此填料位于塔内部，尽管塔的设计要依据特定的现场情况。

2.2 机械通风冷却塔

机械通风冷却塔装配了大型风机以强制或牵引空气通过循环水。水从填料表面向下流动，可以增加和空气的接触时间——这有利于最大限度地提高水和空气之间的换热效率。机械通风冷却塔的冷却速率取决于多个参数，如风机尺寸和运行速率，提供系统阻力的填料等。

机械通风冷却塔的冷却能力选择范围很宽。这类冷却塔既可以在工厂生产也可以在工地假设——例如混凝土塔就只是在工地假设的。

很多冷却塔都会采用组合式架设，以达到需要的冷却能力。因此，很多冷却塔都是两个或多个独立冷却塔，或称为“室”，的组合。此类塔常常以室的数量来命名，如“8室冷却塔”。多室冷却塔可以以直线形、正方形或圆形排列，取决于单个冷却塔的形狀以及进气口是位于塔的侧面还是底部。

表1汇总了三种类型的机械通风冷却塔。

表1. 各类机械通风冷却塔的主要特性(based on AIRAH)

冷却塔类型	优点	缺点
强制通风冷却塔(图4)：空气在一台位于进气口风机吹动下通过冷却塔	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 适用于在离心式风机的作用下空气阻力较高的情况 ▪ 通风机较为安静 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 由于空气进入速度高而排出速度低而形成二次循环，这个问题可以通过将冷却塔架设在与排气管道结合的工作间内解决
诱导通风横流式冷却塔(图5)： <ul style="list-style-type: none"> ▪ 水从塔顶进入冷却塔，然后流经填料 ▪ 空气从塔身一侧(单流冷却塔)或从相反的两侧(双流冷却塔)进入冷却塔 ▪ 一台引风机将吸引空气穿过填料流向塔顶的出口 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 二次循环比强制通风冷却塔少，因为排出空气的速度比进入空气的速度高3-4倍 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 通风机和驱动电机的结构要求它们具备防潮、防腐蚀的功能，因为它们处在潮湿的排出空气的路径上
诱导通风逆流式冷却塔(图6)： <ul style="list-style-type: none"> ▪ 热水从塔顶进入塔内 ▪ 空气从塔底进入，从塔顶排除 ▪ 采用强制和诱导式通风机 		

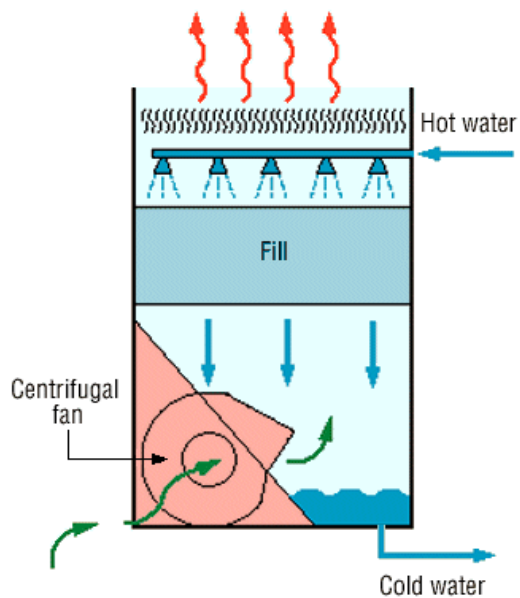


图 4. 强制通风冷却塔(参考图片)

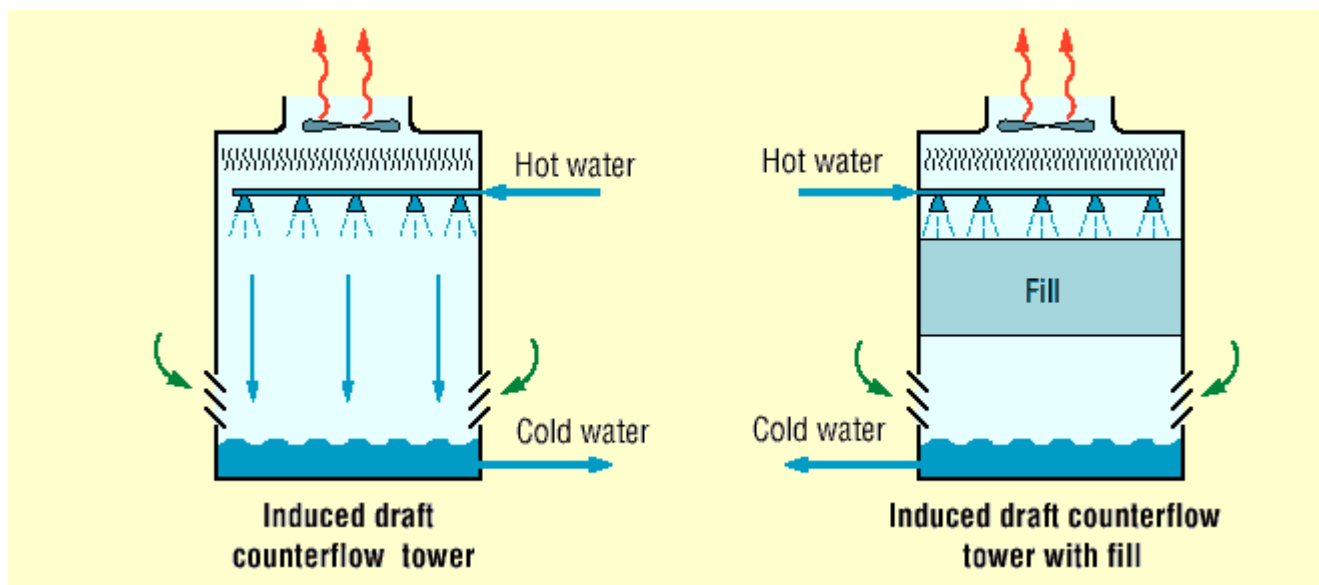


图 5. 诱导通风逆流式冷却塔 (GEO4VA)

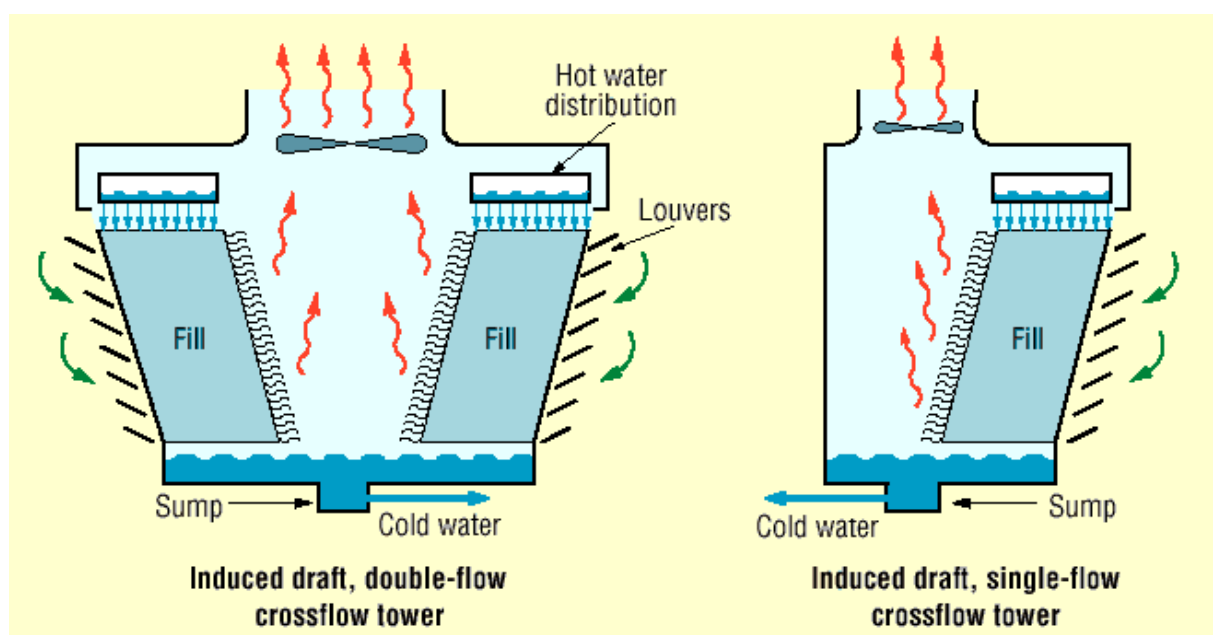


图 6. 诱导通风横流式冷却塔 (GEO4VA)

3. 冷却塔评估

本节介绍评估冷却塔性能的方法。³ (CONFIRM REREFENCE) 评估冷却塔性能的目的是评估目前的逼近度和温差与设计值的差异水平，确定浪费能源的区域并提出改进方案。

在性能评估中，使用便携式检测设备测量以下参数：

- 空气的湿球温度
- 空气的干球温度
- 冷却塔入口水温
- 冷却塔出口水温
- 排气温度
- 泵和风机电机的电气参数
- 水流速
- 空气流速

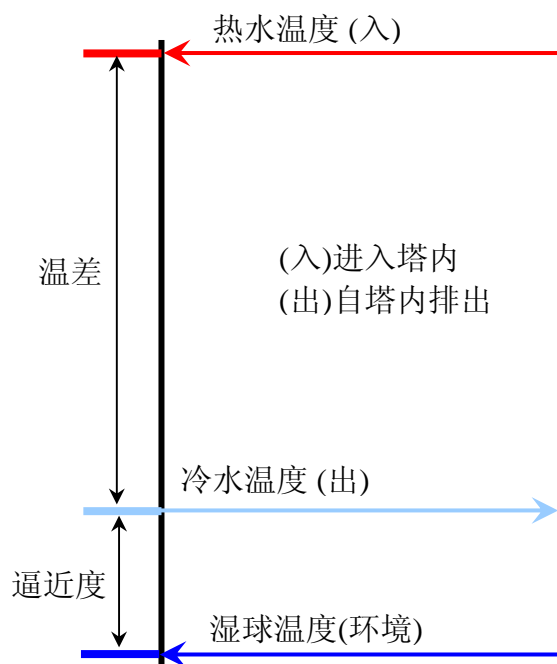


图7. 冷却塔的温差和逼近度

测出以上参数后，利用它们通过多个途径来确定冷却塔的性能，分别是：

- a) **温差** (见图7). 即进入塔内的水和流出塔外的水温度之差。温差大则表示冷却塔降低水温的效率高，因此也就表示其性能良好。计算温差的公式如下：

$$\text{冷却塔温差 (}^{\circ}\text{C)} = [\text{水的入口温度 (}^{\circ}\text{C)} - \text{水的出口温度 (}^{\circ}\text{C)}]$$

³ 1.2 节根据冷却塔编写。资料来源：电气设施的能源效率，第7章，第135至151页，经印度电力部能源效率局授权引用。

- b) **逼近度** (见图7). 逼近度是指经过冷却塔冷却后的水温与环境湿球温度的差值。**逼近度越小，冷却塔的冷却性能越好。**虽然温差和逼近度都需要进行测量，但“逼近度”更能有效的显示冷却塔的性能。

$$\text{冷却塔逼近度 } (^{\circ}\text{C}) = [\text{出的出口温度 } (^{\circ}\text{C}) - \text{环境湿球温度 } (^{\circ}\text{C})]$$

- c) **效率**. 冷却塔的效率是指实际温差和理想温差(即进入冷却塔的水温与环境湿球温度的差值)的比值(以百分比计算)，也就是说效率= 温差/(温差+逼近度)。此比值越高，冷却塔的效率越高。

$$\text{冷却塔效率 } (\%) = 100 \times (\text{入水温度} - \text{出水温度}) / (\text{入水温度} - \text{环境湿球温度})$$

- d) **冷却能力**. 冷却能力是指冷却塔使水在单位时间内释放的热量，单位是千卡/小时或 **TR**，它等于水的质量流速、比热和温差的乘积。

- e) **蒸发损失**. 蒸发损失是指冷却过程中蒸发的水量。理论上每释放 **10,000,000** 千卡热量，蒸发的水量为 1.8 m^3 。计算蒸发量可用以下公式(Perry公式)：

$$\text{蒸发损失 } (\text{m}^3/\text{hr}) = 0.00085 \times 1.8 \times \text{循环速率 } (\text{m}^3/\text{hr}) \times (\text{T1}-\text{T2})$$

$$\text{T1} - \text{T2} = \text{入水和出水温度之差}$$

- f) **浓缩倍数 (C.O.C)**. 浓缩倍数是指循环水中溶解的固体和补充水中溶解的固体的比率。

- g) **排污损失**. 由浓缩倍数和蒸发损失确定，计算公式：

$$\text{排污量} = \text{蒸发损失} / (\text{C.O.C} - 1)$$

- h) **液气比(L/G)**. 冷却塔的液气比(L/G)是指水和空气的质量流量的比值。冷却塔的液气比设计值是一定的，但随着季节的变化需要对水和空气的流速进行调节，以获得最高的冷却塔效率。该调节可以通过改变水槽负荷或风叶角度来实现。热力学定律规定，从水中释放的热量和环境空气吸收的热量一定相等。因此可以用以下公式来计算液气比：

$$L(\text{T1} - \text{T2}) = G(\text{h2} - \text{h1})$$

$$L/G = (\text{h2} - \text{h1}) / (\text{T1} - \text{T2})$$

其中：

L/G = 水和空气质量流量比值 (kg/kg)

T1 = 热水温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T2 = 冷水温度 ($^{\circ}\text{C}$)

h2 = 排气湿球温度下汽水混合物的焓(单位同上)

h1 = 进气湿球温度下汽水混合物的焓(单位同上)

4. 提高能源效率的可能性

本节介绍提高冷却塔能源效率的主要区域。⁴ 使冷却塔节能的主要区域包括：

CONFIRM REREFENCE

- 选择合适的冷却塔(因为架设完成后，冷却塔的结构形式就不能再更改)
- 填料
- 泵和配水系统
- 通风机和电机

4.1 选择合适的冷却塔

冷却塔架设完成后，要大幅度提高其能源性能就很困难了。影响冷却塔性能的因素有很多，在选择冷却塔时都应该考虑到：冷却能力、温差、逼近度、热负荷、湿球温度，以及这些因素之间的关系。说明如下：

4.1.1 冷却能力

冷却塔冷却能力的指示参数是热耗散系数(单位千卡/小时)和循环流速(立方米/小时)。不过，衡量冷却塔性能仅有这些参数还不够。例如，冷却温差13.9⁰C、循环流速4540立方米/小时的冷却塔，可能比冷却温差19.5⁰C、循环流速4540立方米/小时的冷却塔要大。因此，确定冷却塔的冷却能力还需要其他设计参数。

4.1.2 温差

温差不是由冷却塔本身，而是由受其冷却的生产过程决定的。换热器的温差完全由其热负荷和换热器与冷却塔之间的水循环速率决定。温差是热负荷和系统中水循环速率的函数。

$$\text{温差 } ^{\circ}\text{C} = \text{热负荷 (千卡/小时)} / \text{水循环速率 (升/小时)}$$

冷却塔通常设定为在一定的湿球温度下将一定流速的水从一个温度降低到另一个温度。例如，某个冷却塔被设定为在26.7⁰C的湿球温度下将4540立方米/小时的水从48.9⁰C冷却到26.7⁰C

4.1.3 逼近度

作为一条一般规律，冷水温度与环境湿球温度的逼近度越近，冷却塔的造价就越高，因为它的体积更大。通常冷却塔制造商能够担保的对设计湿球温度最低的逼近度为2.8⁰C。在选择冷却塔的大小时，逼近度是最重要的一个参数，其次是流速，温差和湿球温度的重要性可以低一些。

$$\text{逼近度 (5.5}^{\circ}\text{C)} = \text{冷水温度 } 32.2^{\circ}\text{C} - \text{环境湿球温度 (26.7}^{\circ}\text{C)}$$

⁴ 1.2 节根据冷却塔编写。资料来源：电气设施的能源效率，第7章，第135至151页，经印度电力部能源效率局授权引用。

4.1.4 热负荷

冷却塔承受的热负荷是由受其冷却的生产过程决定的。冷却度是由工艺过程需要的工作温度确定的。在大多数情况下，需要保持较低的工作温度，以便提高运行效率，或提高产品的质量或产量。不过，在一些应用中(如内燃机)，需要较高的工作温度。冷却塔的体积和成本随热负荷的提高而增大。购买冷却塔时尺寸选择过小(如果热负荷预算过小)或过大(如果热负荷预算过大)是一个需要引起注意的问题。

工艺过程的热负荷可能会随着过程的变化而发生很大的变化，因此很难准确确定。另一方面，空调和制冷系统的热负荷的确定则能够更准确一些。

各种能源设备的排热量数据可以查阅到。以下是一些实例 **REFERENCE**:

- 空气压缩机
 - 单级空压机 - 129 千卡/千瓦/小时
 - 带后冷却器的单级空压机 - 862 千卡/千瓦/小时
 - 带中间冷却器的双级空压机 - 518 千卡/千瓦/小时
 - 带中间冷却器和后冷却器的双级空压机 - 862 千卡/千瓦/小时
- 压缩式制冷机 - 63 千卡/分钟/TR
- 吸收式制冷机 - 127 千卡/分钟/TR
- 蒸汽轮机冷凝器 - 555 千卡/千克蒸汽
- 四冲程增压式柴油发动机 - 880 千卡/千瓦/小时
- 四冲程天然气发动机 - 1523 千卡/千瓦/小时 (= 18 kg/cm² 压力)

4.1.5 湿球温度

湿球温度是蒸发水冷却设备的一个重要参数，因为这个温度是水能够冷却到的最低温度。因此，进入冷却塔的空气的湿球温度决定了整个工厂、工艺或者系统的最低工作温度。根据湿球温度预选冷却塔时要考虑以下因素：

- 理论上，冷却塔可以将水冷却到入口空气的湿球温度。但实际上水只能被冷却到比湿球温度高的温度，因为热量需要从冷却塔中排出来。
- 根据设计湿球温度预算冷却塔时要考虑冷却塔所在地的情况。冷却塔所在地的实际湿球温度高于冷却塔设计湿球温度的时间不应超过5%。通常，设计湿球温度接近夏季最高湿球温度的平均值。
- 要确定湿球温度是特指环境湿球温度(冷却塔周围空气的湿球温度)还是入口处空气的湿球温度(进入冷却塔空气的湿球温度，它常常会受回流入塔内的蒸汽影响)。由于回流蒸汽的影响无法预知，因此倾向于选择环境湿球温度。
- 向供应商确认冷却塔是否能够应对湿球温度升高的影响。
- 冷水温度必须足够低，以便在最佳温度水平下进行换热或凝结蒸汽。既要选择大小合适的冷却塔和换热器时，又要将成本控制在最低水平，可以考虑换热的总量和温度。

4.1.6 温差、流量和热负荷的关系

当循环水量和热负荷增大时，温差随之增大。这就意味着如果热负荷增大造成温差增大，就需要一个更大的冷却塔。温差增大可能有两个原因：

- 入水温度升高(而出口处的冷水温度不变)。在这种情况下，要释放多余的热量需要的投资额不高。

- 出水温度降低(入口处的热水温度不变)。在这种情况下，需要大幅增加冷却塔的尺
寸，因为逼近度也降低了，相应的投资可能会较高。

4.1.7 逼近度和湿球温度的关系

冷却塔的设计湿球温度是由其地理位置决定的。在一定的逼近度值下(以及在一定的温差和流速下)，湿球温度越高，需要的塔的尺寸就越小。例如，流量4540立方米/小时、温差16.67°C、逼近度4.45°C的冷却塔，在21.11°C的湿球温度下需要选择的冷却塔就比在26.67°C的湿球温度下需要选择的冷却塔大。因为在更高湿球温度下，空气能够吸收的热量更多。这可以用以下实例解释，在两个不同的湿球温度下：

- 进入冷却塔的湿球温度为21.1°C的空气，每千克含有的热量为18.86千卡。假设流出冷却塔的湿球温度为32.2°C，每千克含有热量24.17千卡。温度升高了11.1°C，每千克空气吸收了12.1千卡的热量。
- 进入冷却塔的湿球温度为26.67°C的空气，每千克含有的热量为24.17千卡。假设流出冷却塔的湿球温度为37.8°C，每千克含有热量39.67千卡。温度同样升高了11.1°C，每千克空气却吸收了15.5千卡的热量，比第一种情况要多很多。

4.2 填料的作用

在冷却塔中，热水被散布到填料的表面，在塔内向下流动、与空气接触的过程中，通过蒸发而被冷却。填料在两个方面影响能量消耗：

- 将水抽到填料上方的泵和用于通风的风机都需要用电。高效设计的填料，配合适当的配水系统、除水器、通风机、变速器和电机，能够降低电力消耗。
- 空气和水之间的热交换受换热表面积、换热的持续时间以及水的湍流情况(它决定水和空气的混合能否彻底)。所有这几个因素又都由填料的性质决定，因此影响换热的主要因素就是填料的性质。换热越充分，冷却塔的效率就越高。

冷却塔填料有三种类型：

- **点滴式淋水填料：**点滴式淋水填料通过将水喷溅成小水滴，产生足够的换热表面积。水滴的表面就是水和空气进行热交换的表面。
- **薄膜式淋水填料：**在薄膜式淋水填料上，水在薄板的两面形成一层薄膜。薄膜的表面就是与周围空气发生热交换的表面。薄膜式淋水填料可以节约大量的电，因为它需要的空气更少，而且需要的抽水扬程更小。
- **低阻塞薄膜式淋水填料：**凹槽尺寸较大的低阻塞薄膜式淋水填料是今年开发出来处理高混浊度的水的。与传统的点滴式淋水填料相比，低阻塞薄膜式淋水填料在节电和性能方面，低阻塞薄膜式淋水填料被认为是最佳的选择。

表 1：各种填料的设计参数
(印度能源效率局, 2004; Ramarao; and Shivaraman)

	点滴式 淋水填料	薄膜式 淋水填料	Low Clog Film Fill
液气比范围	1.1 – 1.5	1.5 – 2.0	1.4 – 1.8
有效换热面积	30 – 45 m ² /m ³	150 m ² /m ³	85 - 100 m ² /m ³
需要的填料高度	5 – 10 m	1.2 – 1.5 m	1.5 – 1.8 m
需要的抽水扬程	9 – 12 m	5 – 8 m	6 – 9 m
空气总量需求	高	很低	低

4.3 泵和水分配

4.3.1 泵

能够提高泵的能源效率的区域在*泵和泵浦系统*一章中详述。

4.3.2 优化冷却水处理

任何冷却塔，不管它采用何种填料，都必须进行冷却水处理(如控制悬浮固体和藻类生长)。随着水成本的提高，通过冷却水处理提高浓缩倍数(COC)能够大大降低补充水的需求量。在大型工厂和电站，提高浓缩倍数通常被认为是节约水资源的重点区域。

4.3.3 安装除水器

冷却塔中漂滴的问题不容忽视。目前，大部分提供给最终用户的技术参数中假定的漂滴损失为0.02%。

不过随着技术的进步和PVC材料的生产，冷却塔制造商改进了除水器的设计，从而使目前的漂滴损失可以低至0.003 – 0.001%。

4.4 冷却塔通风机

冷却塔通风机的作用是使一定量的空气流过系统。通风机必须克服系统阻力，产生所谓的“压降”，从而使空气在塔内流动。通风机的作用是产生空气流动和压降。通风机的气流输出量和电力消耗量决定其效率。

风机效率很大程度上取决于风叶的外形。风叶包括以下几种类型：

- 金属风叶，它是通过挤压或铸造工艺制造的，因此很难做出理想的符合空气动力学的外形。
- 纤维增强塑料(FRP)风叶通常是手工成形，因此更容易根据特定的工况制作成最优化的空气动力学外形。由于纤维增强塑料风叶较轻，需要的起动扭矩较小，电机功率较小，因此传动箱、电机和轴承的寿命更长，维护也更简单。

风叶外形符合空气动力学，优化螺旋、锥度，具有较高的上升系数和下降系数比的通风机能够达到85-92%的效率。不过，叶梢间隙、气流障碍和入口形状等对通风机的效率也有很大的影响。

有报道说一种效率更高的空心纤维增强塑料风叶正取代金属或玻璃纤维增强塑料风叶。这种风叶能够节约能源20-30%，投资回收期仅有6至7个月(NPC)。

*风机和鼓风机*一章将更加详细地介绍风机。

5. 方案清单

本节列举提高冷却塔能源效率最重要的方案。

- 根据供应商建议在冷却塔周围留出足够的空间，并重新排布或更改干扰空气进入或排出的构件。
- 根据季节和/或负荷变化调整优化冷却塔风叶角度。
- 校正风叶间隙过大和/或不均匀，调整不平衡的风机。
- 在老式逆流式冷却塔中，用新的不会堵塞的方形喷嘴取代老式的喷嘴。
- 用自熄性PVC材料制成的蜂窝式薄膜淋水填料取代点滴式淋水填料。
- 选用喷水形式更加统一的喷嘴。
- 定期清理堵塞的冷却塔配水喷嘴。
- 平衡进入冷却塔热水槽的水流。
- 覆盖热水槽，从而减少造成污垢的藻类生长。
- 根据浓缩倍数上限优化排污流速。
- 用低压降、自熄性PVC材料制成的蜂窝状设备取代平板式除水器
- 控制大负荷下的流速保持在设计范围内
- 通过(a)隔离窑炉、空气压缩机、柴油发电机组等热负荷较高的设备，(b)将冷却塔与交流电站、自备电厂冷凝器等敏感的应用隔离，使冷却水温度保持在最低水平。
注：冷却水温度每升高1°C可能会使空调压缩机电力消耗量升高2.7%。冷却水温度每降低1°C可使热电厂的热消耗率减少5 kCal/kWh。
- 监控逼近度、效率以及冷却能力，持续优化冷却塔的性能，但要考虑季节变化和细节变化。
- 监控液气比和冷却水流速，并根据设计值和季节变化对这些参数进行修正。例如：在夏季和逼近度较高时增加水负载；在季风时节和逼近度较低时增加空气流量。
- 考虑提高浓缩倍数的措施从而节约水。
- 考虑采用能源效率较高的纤维增强塑料风叶从而节约能源。
- 根据出水温度控制冷却塔通风机，特别是在小型机组中。
- 定期检查冷却水泵，尽可能地提高它们的效率。

6. 工作表

本节包括以下工作表：

1. 关键技术参数
2. 冷却塔性能

工作表 1：关键技术参数

序号	参 数	单 位	冷 却 塔	
			冷却塔 1	冷却塔 2
1.	冷却塔类型			
2.	冷却塔数量			
3.	每组塔的塔室数量			
4.	每个塔室的面积			
5.	水流量	m ³ /hr		
6.	抽水功率	kW		
7.	抽水扬程	m		
8.	通风机功率	kW		
9.	设计热水温度	°C		
10.	设计冷水温度	°C		
11.	设计湿球温度	°C		

工作表 2：冷却塔性能

序号	参 数	单 位	冷 却 塔	
			冷却塔 1	冷却塔 2
1.	干球温度	°C		
2.	湿球温度	°C		
3.	冷却塔入口温度	°C		
4.	冷却塔出口温度	°C		
5.	温差	°C		
6.	逼近度	°C		
7.	冷却塔效率	%		
8.	平均水流量	kg/hr		
9.	平均空气流量	kg/hr		
10.	液气比(L/G)	kg 水/kg 空气		
11.	蒸发损失	m ³ /hr		
12.	冷却塔热负荷	kCal/hr		

7. 参考资料

澳大利亚制冷空调和采暖学会(AIRAH).*冷却塔的类型*. 摘自：冷却塔的选择，第1级 – 参与者指导版 1.0 www.airah.org.au/downloads/CPD-samplepg.pdf.

美国采暖、制冷和空调协会. *美国采暖、制冷和空调协会手册*. 第四版. 2001

国家生产管理委员会 (NPC). *NPC 案例研究*.

印度电力部能源效率局.*冷却塔*. 摘自：热电工程中的能源效率问题. 第七章，第135 – 151页. 2004

Perry. *Perry 化学工程师手册*. 第12-17页.

美国西北太平洋国家实验室, *图片库*. 2001. www.pnl.gov, www.cce.iastate.edu/courses/ce525/Cooling%20Towers.doc

Gulf Coast Chemical Commercial Inc. *冷却系统*. 1995
www.gc3.com/techdb/manual/coolfs.htm

GEO4VA, 维吉尼亚州原料矿能部. *地环路的配置和安装*. www.geo4va.vt.edu/A2/A2.htm

Ramarao, R.A. Paltech 冷却塔及设备公司. *填料的设计*.

Shivaraman, T. Shiriram Towertech Ltd. *冷却塔的选择和设计*.
www.shiriramtowertech.com

Copyright:

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.

版权声明:

本出版物可供任何形式的培训或非盈利活动全部或部分复制使用，无需经过版权所有者的特别许可，而只需在副本中注明出处即可。如需在其他出版物中引用本出版物中的内容，请向 UNEP 发送一份该出版物的副本。

未经联合国环境规划署的书面许可，禁止将此出版物用于转售或任何其他商业用途。

Disclaimer:

This energy equipment module was prepared as part of the project "Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including its translation into other languages than English. This is the translated version from the chapter in English, and does not constitute an official United Nations publication.

免责声明:

该能源设备简介是“亚太地区工业温室气体排放削减计划”(GERIAP)的一部分，由印度国家生产力委员会编写。尽管 UNEP 为保证此出版物的内容的正确性做出了不懈的努力，但是 UNEP 不承担其内容的准确性和完整性的责任，对任何通过直接或间接使用或者依赖该出版物内容，包括其非英语译本，而遭受的损失或者伤害，UNEP 概不负责。本材料是英文原版的中文译本，不属于联合国的官方出版物。