

论冷却塔节能

侯红立

(上海金日冷却设备有限公司, 上海 201609)

摘要: 冷却塔是冷却水循环的关键设备之一,也是能源消耗的重点设备.在目前要求节能减排的大背景下,冷却塔节能刻不容缓.探讨冷却塔如何节能,分别从依托新技术发展对冷却塔设计进行革新、对已有冷却塔技术进行改造以及控制冷却塔运行等方面进行分析,认为目前冷却塔行业的节能应从以下方面着手:一是冷却塔供应商提供高效节能优化的冷却塔;二是对已有冷却塔系统中效率低下的零部件进行替换或改进;三是冷却塔使用者对冷却塔的运行进行合理的管理.

关键词: 冷却塔; 节能; 热负荷

中图分类号: TU 991.42

文献标志码: A

Discussion on Energy-saving Technology of Cooling Tower

HOU Hongli

(Shanghai Kingsun Cooling Equipment Co., Ltd., Shanghai 201609, China)

Abstract: Cooling tower is the key equipment and main energy consumption device in cooling water circulation system. In the context of energy-saving and emission-reduction, how to reduce energy consumption of cooling tower is getting more and more urgent for us. The analysis including innovation of cooling tower design based on new technology, retrofit of existing cooling tower and control of cooling tower operation was conducted. The energy-saving of cooling tower can be achieved from the following three aspects including high efficiency cooling tower selection, replacement of the inefficient components in the existing ones and management improvement of cooling tower operation.

Keywords: cooling tower; energy-saving; heat load

随着社会、经济的发展,能源短缺问题越来越严重.循环冷却水在工业用水中普遍使用,是能源消耗的重点领域.据不完全统计,我国循环水每年耗电约300~450亿kW·h^[1].冷却塔是冷却水循环的关键设备,也是循环水耗能的重要部件.在

要求节能减排的大背景下,冷却塔自身的节能刻不容缓.我国冷却塔行业起步比发达国家晚,但发展迅速,与国外相比差距逐渐缩小,特别是近年来由于计算机数值模拟技术在填料、散水装置及风机开发设计中得到越来越多的应用,使得冷却塔

的研究创新方面得到较快发展,这也为冷却塔的节能提供了保障.本文从以下几个方面分析冷却塔节能中仍有待加强的工作:通过先进的科技手段如数值模拟方法推动冷却塔节能优化设计;对已有冷却塔中影响换热能力的零部件进行挖潜改造或替换;加强冷却水循环系统的科学管理,如冷却塔的控制及循环水系统的水质处理等,优化配置,着眼长远,实现整个循环水系统的能源节约.

1 依靠数值模拟技术推动冷却塔节能

近年来,随着科学技术的迅速发展,数值模拟与计算机技术的不断进步,许多冷却塔生产厂家已开始或尝试采用计算机流场模拟手段对冷却塔开展分析和计算,并在冷却塔的诸多细节中考虑采用节能措施,提高冷却塔效率.比如,针对动能回收风筒、气室导流、均匀布水系统(包括喷嘴的筛选)、低能耗高效率填料的筛选、最佳进风高度的确定、水泵扬程的优化选择以及降低湿空气回流率以提升冷却塔运行效果等进行研究.采用微观研究方法可快速、直观地描述研究对象的状态,包括温度场、速度场、压力场、分子扩散轨迹等.这样就可以针对性地采取各种方法,促进冷却塔节能.

1.1 确定高效率填料及其运行的合适区间

淋水填料是冷却塔的核心部件,是冷却塔中空气与热水进行热质交换的主要场所,其热力性能和阻力性能直接影响冷却塔的冷却效果,也是间接体现能耗高低的关键部件,因此要充分掌握高效填料的应用条件.一般来说,高效填料的散质系数大,比表面积大,但是其阻力小,能耗低.对比国内外同类填料的热力特性发现,虽然它们都是薄膜式填料,单位体积的密度相近,比表面和孔隙率也相近,仅细节部分的构造有所区别,但热力特性相差较大.性能高的填料完成相同的设计任务,所需的气水比小,风机耗电少.除了继续开发新的填料品种外,也要注重开发现有填料的潜力,改进试验装置及方法.在进行热力测试的同时,对不同淋水密度和风速下的填料特性给予区分,并针对不同的气象条件与不同的运行区间加以论证,这

样填料的特性才能在实践中得到充分有效的运用.不应在冷却塔的设计时不顾其运行的边界条件和气象条件、进出水水温等,将热力特性方程 $\beta_{sv} = Bg^m q^n$, $\Omega = A\lambda^{m_1}$ [2] 中的系数 A 和 B 均作为常数考虑,其中: β_{sv} 为容积散质系数; m 、 m_1 、 n 均为试验常数,不同冷却塔均有各自的常数; g 为空气质量流量; q 为冷却塔的淋水密度; Ω 为冷却数; λ 为气水比.另外,实际冷却塔中的配水条件和配风条件与实验室的条件不尽相同,所以设计出的冷却塔不能充分发挥出填料特性,结果导致冷却塔在运行中难以达到节能效果.

1.2 研究并模拟散水系统

冷却塔的散水系统通常包括主管、支管、喷嘴等.研究散水系统除了追求喷嘴的均匀性外,还要考虑复合布置时喷嘴布水的均匀性,以及喷嘴的散水压力.目前低压力喷嘴的工作水压一般在 1.0~3.0 m.改善冷却塔布水的均匀性,对喷嘴的合理布置设计特别重要.冷却塔良好的热力特性和布水均匀性密不可分.布水均匀性不好,复合分布的评价系数均方差 σ 就大,那么冷却塔高效与节能就无从谈起.目前可以利用计算机 CFD (computational fluid dynamics) 模拟和试验相结合的手段,提高喷嘴分布的均匀性,从而明显缩短布水均匀性的验证时间,提升效率.

1.3 采用模拟手段改善冷却塔流场

冷却塔内空气流动时经过的通道十分复杂,如气流经过入口转弯、淋水填料入口与出口的突然收缩和扩大、收水器中气流转折及气液分离、风筒入口和出口的转弯变化等过程.气流的急剧变化使得流动的阻力加大,冷却塔风机静压增大,还有流速的骤变更易引起气流分离等问题.这种现象使得冷却塔耗能增加,塔内风速分布不均匀.比如,模拟研究发现,一定条件下气流在冷却塔流场中的压力比在 5~8 时,就要设计导流檐^[3],否则入口气流的涡流,有时会造成通过塔壁周围填料的风速仅为整个冷却塔填料平均风速的 20%,而这部分填料面积约占整个填料面积的 10%~20%.于是这些填料难以充分发挥散热作用,热力性能就达不到设计要求.流场模拟时可以通过模拟流体的流动、换热等物理现象,在较短的时间内预测冷却塔内的流场,为实验提供指导,并为设计

提供参考.模拟后通过较少的实验验证,即可获得更为准确的设计依据,使得空气流在冷却塔内的流道合理紧凑,零部件的阻力进一步减小,使冷却塔节能技术的发展更迅速.

为了使冷却塔的节能技术得到健康有序地发展,相关机构拟定了节能冷却塔的标准,如CQC 3136—2012^[4],使冷却塔节能的量化指标有了评价与遵循的依据.

2 挖潜改造推动已有冷却塔的节能

由于受技术条件等限制,冷却塔可能在零部件和各部件匹配优化等方面存在诸多需要挖潜改造之处,比如散水系统、高效填料以及气流通道中易造成气流绕流分离和脱流的零部件等.通过挖潜改造可提高冷却塔运行效率,降低能源消耗.下面对此进行简要论述.

2.1 散水系统选用压力低、均方差小的喷嘴

减小循环水的供水压力,降低循环水泵的扬程时,节能效果显著.例如,系统循环水量为 $1\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 时,扬程降低2 m,可节能7.8 kW.按每年运行4 000 h计,可节电31 200 kW·h,节能量十分可观.另外,入风口高度降低也可以降低冷却塔供水扬程,但是要与冷却塔入风口风速一并考虑.入风口高度降低,入风面积随之减小,入口风速则会增加,风机运行的全压增大,反而使风机耗能增加,达到一定程度时气流分离的涡流现象严重,又会使冷却塔性能降低.

2.2 改善气流通过构件时的通道

冷却塔入风口、风机下缘、风筒入口支撑梁、散水系统及其支撑架等,通常会影晌气流通过.将一些支撑梁或支撑架的直角改造成圆弧,以减少支撑梁或支撑架后气体绕流分离和涡流区域,可降低系统运行的空气阻力.目前已有许多这方面的工程改造案例,并取得了很好的效果.

3 从控制冷却塔运行着手进行节能

3.1 因地制宜规划选用和使用冷却塔

众所周知,我国地域广阔,各地气象条件千差万别,冷却塔运行的气象条件、用途等都不同,要

因地制宜地规划选用和使用冷却塔.冷却塔运行时,可以对出塔水温实时监测,根据出水温度调节冷却塔风机的转速,使得出塔水温接近设备预设的温度,这样既有利于设备稳定运行,又有利于延长设备的使用寿命.目前常用的风机转速控制方式有选用双速电机或者采用变频控制,控制技术也十分成熟.下面举例说明运行控制方式对冷却塔节能产生的影响.

例如,上海夏季空调外界设计湿球温度为 $28.2\ ^\circ\text{C}$,冷却循环水的进、出塔水温分别为 $37\ ^\circ\text{C}$ 、 $32\ ^\circ\text{C}$,若循环水量为 $1\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,则在该条件下冷却塔选用的风机功率为37 kW.

规划冷却塔时应考虑上海室外温度.2001—2010年上海地区每月平均气温如图1所示.

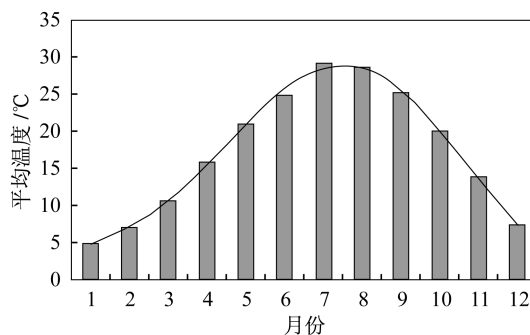


图1 上海地区每月平均气温(2001—2010年)

Fig. 1 Monthly mean temperature in Shanghai (2001-2010)

空调负荷,即空调区夏季计算的热量可根据下列各项确定^[5]:①通过围护结构传入的热量;②通过外窗进入的太阳辐射热量;③人体散热量;④照明散热量;⑤设备、器具、管道及其他内部热源的散热量;⑥食物或者其他物料的散热量;⑦渗透空气带入的热量;⑧伴随着各种散湿过程中产生的各种潜热量.

由于应用场合不同,各因素产生热量的比例不同.本文仅考虑由气温变化引起的对流所产生的负荷.根据气象条件,5~9月一般是使用空调的月份.最热的月份7月和8月平均气温接近 $30\ ^\circ\text{C}$,负荷最大;6月和9月平均温度为 $25\ ^\circ\text{C}$,负荷次之;5月室外平均温度在 $22\ ^\circ\text{C}$ 左右,负荷最小,暂且忽略.

假设仅考虑热对流,且7月负荷为 Q ,估算空

调每月负荷与 7 月的比值.

热对流热量为

$$q_1 = CL_E = KF(t_{w1} - t_n) \quad (1)$$

式中: CL_E 为外墙、屋顶或者外窗形成的逐时冷负荷, W ; K 为外墙、屋顶或者外窗传热系数, $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$; F 为外墙、屋顶或者外窗传热面积, m^2 ; t_{w1} 为外墙、屋顶或者外窗逐时冷负荷计算温度, $^\circ C$; t_n 为夏季空调室内计算温度, $^\circ C$.

分别将各月份温度条件代入式(1),求得各月负荷与最热月负荷比值,结果如图 2 所示.

冷却塔释放的热量与风量一次方成正比,风机风量与风机转速一次方成正比,而风机耗功率与风机转速的三次方成正比.即相同的风机在相同角度下,有

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{n_1}{n_2}, \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (2)$$

式中: n_1 、 n_2 为冷却塔风机不同的转速; G_1 、 G_2 为冷却塔风机在不同转速下对应的风量; N_1 、 N_2 为冷却塔风机在不同转速下对应消耗的轴功率.

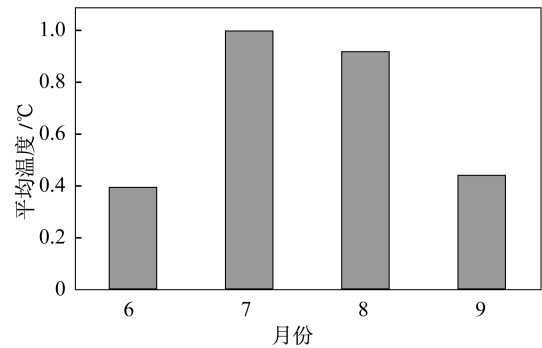


图 2 各月负荷与最热月负荷比值

Fig. 2 Ratio of monthly heat load to heat load in the hottest month

基于以上负荷和风机功率消耗与风量比的关系,假定设计条件为:冷却塔进水温度为 $37^\circ C$,出水温度为 $32^\circ C$,湿球温度为 $28.2^\circ C$,冷却水循环水量为 $1\ 000\ m^3 \cdot h^{-1}$.不同控制方式下,冷却塔风机电机耗电量计算结果如表 1 所示.

表 1 不同控制方式下电机耗电量

Tab. 1 Motor power consumption under different operation modes

控制方式	电机功率/kW	运行时间/h		耗电量/(kW·h)
		7,8月份	6,9月份	
常规控制	37	1 440	1 440	106 560
双速控制	37/5.5	1 440(风机高速运行)	1 440(风机低速运行)	61 200
变频器控制	37	运行频率随热负荷变化而变化	运行频率随热负荷变化而变化	约 54 200

由表 1 可以看出,采用变频控制节能最显著,即用电量最省,仅为常规单速电机耗电量的 50.9%;双速控制能耗次之,为常规控制耗电的 57.4%.可见,冷却塔规划和采用的控制方式不同,其电能消耗量差异较大,所以合理的规划和选用对冷却塔系统节能的意义非同一般.对于空调领域中负荷随季节变化的场合,应采用变频器控制.采用变频器控制还有一个作用,由于它是根据负载变化不断地调整风机转速来改变风量,冷却塔出水温度保持相对稳定,水温保持稳定,这对主机运行有极大的好处,不容易产生“液击”等问题,有利于主机及制冷系统运行.

3.2 循环冷却水系统的水质管理

在讨论冷却塔运行节能时,循环冷却水的水

质处理是常常被忽略的一个问题.但是循环水处理对冷却塔节能同样重要.要使冷却塔长期稳定高效运行,必须对循环水水质加以控制.因为冷却塔主要是靠蒸发传质进行热量的传递.随着循环水中水分子的蒸发,其钙镁离子浓度不断加大,于是结垢问题变得突出.污垢往往存在于冷却塔构件上,影响冷却塔通风,造成通风阻力增加,风机耗功增加.结垢严重时也同样影响布水,水流经填料的通道变小,循环水难以通过,甚至会造成填料的坍塌.目前市场上采用物理、化学等多种方法改善循环水水质,使得循环水少结垢或延缓结垢,以确保冷却塔长期处于良好的运行状态,大大延长其性能衰减的时间.常见的化学处理方法是在循环水中加入阻垢剂和杀菌灭藻剂等减缓循环管

路、换热器壁面及冷却塔内污垢的生成;也有在循环水中加入臭氧作为杀生剂^[6]破坏微生物的生存环境,使污垢难以附着在循环系统的构件上,从而提高冷却塔换热效率,使冷却塔节能效果在长期运行中得以积累。

4 结 论

在目前节能减排的大环境下,冷却塔节能刻不容缓.对于新塔来说优化设计很重要,要运用新的科技手段来设计冷却塔,优化冷却塔中的填料、布水、风机及塔内流场等;对于已经运行多年的已有冷却塔进行改造,更换落后、低效能的零部件,改进影响流场的部件等;冷却塔的运行管理也必须加以重视,采用双速电机或变频控制等合理的方式使风机转速随冷却塔的负荷变化而变化,从而达到节能的目的.另外,对循环冷却水水质进行检测和处理,以减少系统中结垢,保持冷却塔高效

运行,节约能源消耗。

参考文献:

- [1] 胡连江,王敬.浅谈冷却塔节能技术[J].工业用水与废水,2006,37(增刊):1-5.
- [2] 赵顺安.冷却塔工艺原理[M].北京:中国建筑工业出版社,2015:128.
- [3] 中华人民共和国建设部.GB/T 50392—2006 机械通风冷却塔工艺设计规范[S].北京:中国计划出版社,2007.
- [4] 中国国家认证认可监督管理委员会.CQC 3136—2012 开式冷却塔节能认证技术规范[S].北京:中国质量认证中心,2012.
- [5] 陆耀庆.实用供热空调设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1993:692.
- [6] 周本省.工业水处理技术[M].北京:化学工业出版社,2002:139-141.



我国最大规模“渔光互补”光伏发电项目投运

1月11日,全国最大规模“渔光互补”光伏发电项目在浙江省慈溪市周巷水库和长河水库投运。该项目总投资18亿元,总装机容量达20万kW,预计年均发电量约2.2亿kW·h。水面上共铺设了75万多块光伏板阵列,光伏板下方水域养殖鱼虾。该项目所发电量全部接入国家电网,据测算每年可实现售电收入约2.4亿元,年渔业收入约1300万元。该项目产生的清洁电能可以满足约10万户家庭一年的用电量,相当于节约标准煤7.04万t。

我国首个功能最完善的海上移动式试采平台交付

我国自主设计建造的首个海上移动式试采油平台“海洋石油162”2月23日在山东烟台顺利交付。“海洋石油162”是一座四桩腿的海洋自升式试采、修井一体化平台,该平台主要用于油田开发前的测试,

据介绍,“海洋石油162”拥有多项自主知识产权,创造了3项国内第一,即外输软管国产化应用,中控系统国产化用于海上,集试采、油气处理、原油存储、修井功能于一体的试采平台。它的成功建造标志着我国海洋工程装备开发能力和创新能力迈上新台阶。

(王 波)