

冷却塔设计参数与节水、节能的关系

韩玲

(东华工程科技股份有限公司, 合肥 230024)

摘要: 对国内在役的某些机械通风冷却塔的运行测试数据进行了分析, 认为有些冷却塔的设计能力偏大, 使冷却塔的热效率偏低, 导致占地和设备材料的浪费, 其原因是冷却塔设计水量和进塔温度偏高。对已建成的能力偏大的冷却塔, 建议降低冷却水量或减少冷却塔的运行台数, 以降低电力消耗, 提高冷却塔的效率。

关键词: 循环冷却水; 冷却塔; 节水; 节能; 节地

中图分类号: TQ051.502; X-4 文献标识码: A 文章编号: 1009-2455(2008)02-0001-04

Relationship between design parameters of cooling tower and water and energy saving

HAN Ling

(East China Engineering Science and Technology Co., Ltd., Hefei 230024, China)

Abstract: Through the analysis of the data of operation test of some in-service mechanical draft cooling towers in China, the design capacity of some cooling towers was considered to be somewhat larger which led to lower thermal efficiency, waste of space and equipment materials as well; the reason caused these problems was: the design influent quantity and influent temperature of the cooling tower was higher. For the constructed cooling towers which had larger capacity, it was suggested that: descending cooling water quantity or decreasing number of running cooling towers so as to save energy and improve efficiency.

Keywords: circulating cooling water; cooling tower; water saving; energy saving; space saving

由于工作的关系, 笔者接触到一些在役机械通风冷却塔的测试数据。对这些测试数据的分析表明, 有些工业系统冷却塔的能力普遍偏大, 会造成水量和能量的不必要的浪费。笔者试图对产生这一现象的原因进行分析, 以期对节水、节能发挥一些微薄的作用。

1 冷却塔的作用

许多工业生产过程都是放热过程。以石油和化工生产过程为例, 大多化学反应过程是伴随着放热过程进行的, 需要不断地将反应释放的热量排走, 这就需要在反应过程中进行冷却。由于水具有热容量大、稳定性优异、不易分解、在通常使用的温度范围内不会产生明显的膨胀或压缩、便于输送和分配等特点, 因而被广泛地用作冷却介质。随着工业的迅猛发展, 水的需求量也惊人地增加着。一个产

量为 80×10^4 t/a 乙烯的联合化工装置需水量约为 11×10^4 m³/h, 一座产量为 30×10^4 t/a 合成氨的化肥厂, 需水量约为 2.5×10^4 m³/h, 一座 1 000 MW 的火电厂, 约需冷却水量 $(14 \sim 18) \times 10^4$ m³/h。日本曾对工业用水的分配进行过调查, 具体见表 1^[1]。

表 1 工业用水按用途的分配率

Tab. 1 Rates of industrial water distribution according to utilization

工业部门	用途					
	冷却	锅炉	洗涤	空调	工艺流程	其他
化工	87.3	1.5	5.9	3.2		2.1
石油	90.1	3.9	2.8	0.6		2.6
钢铁	85.4	0.4	9.8	1.7		2.7
机械	42.8	2.7	20.7	12.6		21.2
食品	48.0	4.4	30.7	5.7	6.5	5.5

收稿日期: 2008-03-07

国内虽未看到类似的统计数据,但对冷却水量有个基本的统计。国家发展与改革委员会等六部委提出的《中国节水技术政策大纲》指出:工业冷却水量占工业用水总量的80%左右,取水量占工业取水总量的30%~40%。火力发电、钢铁、石油、石化、化工、造纸、纺织、有色金属、食品与发酵等行业取水量约占全国工业总取水量的60%(含火力发电直流冷却用水)。按《中国节水技术政策大纲》给出的数据,2005年,我国工业取水量大约为 $1.285 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,如果按照上述比例,冷却水量占工业取水量的40%,不考虑民用空调循环冷却水系统,仅上述行业的循环冷却水的取水量就达到 $514 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,按补充水量占循环水量的2.5%计,若冷却塔的工作时间按每年8000h计,约合循环冷却水量 $2.57 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{h}$,而冷却塔是循环冷却水系统不可缺少的设备,可见冷却塔的作用有多大。

2 冷却塔的设计选用

上世纪70年代,伴随着13套大化肥装置的引进,同时引进了冷却塔技术,尤其是机械通风冷却塔技术。从70年代到80年代,石油和化工系统的机械通风冷却塔都是设计人员自己设计计算的。在设计过程中,循环冷却水量和进水、回水温度通常由工艺专业提出,给排水专业的人员根据工艺提出的条件、工程所在地的气象条件,来分析、计算确定拟选用冷却塔的形式、计算出单塔能力和需要的

冷却塔的台数。从上世纪80年代末起,机械通风冷却塔越来越设备化,越来越商品化,给排水设计人员选用冷却塔也越来越简单化。现在,有些给排水专业的设计人员选择冷却塔时简单到只要将工艺专业提的循环冷却水量和进、出冷却塔的水温条件以及气象参数提交给冷却塔设备制造商就万事大吉了,对工艺专业提的条件不去问个为什么,对制造商的计算结果不加分析和验算,就盲目认可,使得冷却塔的设计条件偏离实际运行条件。

冷却水量和进水、回水温度是工艺专业提出的能够保证工艺装置正常运行的条件。对不同的行业,进出冷却塔的温差不同。通常,火力发电厂冷却水的温差一般在6~8,而化工、石油化工装置冷却水的温差一般为8~12,冶金工业有些系统冷却水的温差有时达到20~30。热季冷却塔出水温度的高低直接影响着产品的产量和质量,例如,火电厂冷却水的温差直接影响凝气器的效率,也就直接影响着发电量,冷却塔出水温度每降低1,每发1度电可以减少煤耗0.5g。因此火力发电厂冷却塔的进出水温度要求非常严格。

3 某些机械通风冷却塔的运行现状

然而,对于一些机械通风冷却塔运行情况的调查表明,冷却塔的进出水温差控制得较为粗放。笔者从一个国内专业从事冷却塔验收测试的机构得到一些石油和化工系统的冷却塔的实测数据,见表2。

冷却塔的完善程度,可以用热效率系数来

表2 石化系统某些冷却塔的设计与实测数据比较

Tab. 2 Comparison between design data and practical data of some cooling towers in petrochemical system

比较项目	测试塔代号									
	A		B		C		D		E	
	设计	测试								
风机直径 /m	9.75		9.14		9.14		8.53		9.14	
淋水面积 F/m ²	324		289		289		198		324	
进塔水量 Q/(m ³ ·h ⁻¹)	4 500	4 637	3 000	3 154	4 300	4 127	3 000	3 154	4 000	3 991
进塔风量 G/(×10 ⁴ m ³ ·h ⁻¹)	275.0		265	243	258.2	229.3	258.2	170.7	286.3	221.9
进塔水温 t ₁ /	42.0	37.90	43.0	37.3	43.0	35.9	43.0	35.2	43.0	36.7
出塔水温 t ₂ /	32.0	31.20	33.0	30.2	33.0	29.4	33.0	30.2	33.0	28.8
进出塔水温差 t /	10	6.7	10	7.1	10	6.5	10	5	10	7.9
干球温度 /	33.0	32.3	34.0	26.9	34.0	26.5	32.6	31.2	34.1	29.6
湿球温度 /	28.2	28.1	28.2	24.1	28.2	24.3	28.2	26.7	28.5	24.6
逼近度(t ₂ -) /	3.8	3.1	4.8	6.1	4.8	5.1	4.8	3.5	4.5	4.2
热负荷 Q t	45 000	31 068	30 000	22 393	43 000	26 826	30 000	15 770	40 000	31 529
冷却热效率系数	0.72	0.68	0.68	0.54	0.68	0.56	0.68	0.59	0.69	0.65

衡量:

$$= \frac{t_1 - t_2}{t_1} \quad (1)$$

从表 2 对 的计算数据看, 冷却热效率总体偏低。从表面看, 冷却塔的运行热效率低, 人们首先想到的是冷却塔的能力不足, 实际情况不尽然。

逼近度($t_2 -$, 也称冷却幅高)是冷却塔设计的重要控制参数之一。湿球温度 是冷却塔的冷却极限, 但通过冷却塔将循环水冷却到极限温度是不可能的, 这样冷却塔的面积将无限大, 按照国家规范, $t_2 - = 3 \sim 5$ 是经济合理的。从表 2 知, 除了 B、C 两个塔的 $t_2 -$ 的实测值高于设计值以外, 其余 3 个塔的 $t_2 -$ 均小于或远小于设计逼近度。

如果将公式(1)变换成下式:

$$= \frac{t_1 - t_2}{t_1} = \frac{1}{1 + \frac{t_1 -}{t}} \quad (2)$$

由上式可知, 当 $t_2 -$ 在一定范围时, 冷却热效率与进出塔的水温差 t 相关, 水温差越高, 冷却塔的热效率越高。由于 t_2 受逼近度的限制, 只有提高进塔水温才能提高冷却塔的热效率。可是, 我们从表 2 的实测数据可以看出, 所列出的 5 个冷却塔的进塔水温均远远低于设计值, 效率远未得到发挥。

笔者从冷却塔的测试机构了解到, 上世纪 90 年代前建成的机械通风冷却塔, 验收测试的水温差还比较接近设计值, 近年来建成的冷却塔, 验收测试水温差普遍低于设计值, 而且有偏离越来越大的趋势, 这不能不引起设计人员的重视。

4 原因与害处分析

4.1 进塔水温低的原因

石化系统机械通风冷却塔进塔水温偏低的原因: 第一、可能是工艺负荷不足; 第二、设计冷却水量偏大; 第三、循环冷却水的设计温差偏大, 或者说循环冷却水的回水温度偏高。第一种可能性是给排水专业或冷却塔所不能解决的, 本文重点讨论第二、第三种因素。冷却塔的作用是将循环冷却水的水温降低到工艺装置所需要的某一温度, 这个温度是由生产过程的可靠性和经济性决定的。在整个冷却塔中循环冷却水所要散出的热量为:

$$H = QC(t_1 - t_2) = QC \cdot t \quad (3)$$

式中: Q——循环水量;

C——水的热容;

t——冷却水的温差。

对于石油和化工系统, 每个换热器的冷却水量和水温不尽相同, 因此进入冷却塔的水量和水温往往是上百台换热器的出口水温的加权平均值, 而工艺计算通常偏于粗放、保守。当这些偏于保守的水量、水温数据提交给给排水专业, 给排水设计人员选塔的时候可能再加个保险系数, 最终的结果是冷却塔的能力偏大。更有甚者, 有时可能一套图纸建很多套装置, 大家就一次次地重复着这些偏于保守的设计, 没有人去关心冷却塔的能力是否偏大, 是否由此而导致一些浪费, 业主和设计人员关心的只是工艺装置能否出合格的产品。这实际上暴露出我们设计的粗放与保守。

4.2 设计保守导致的浪费

冷却塔能力的评价是受很多因素影响, 仅从表 2 的数据, 我们无法对表中所列出的冷却塔进行能力上的评价。从表 2 的数据可以看出, 实测的进出水温度均低于设计值, 这说明冷却塔的能力是够的, 在这个条件下, 引入热负荷 $Q \cdot t$ 这个参数来考察冷却塔的能力。从表 2 的数据可计算出, 5 座塔的实测热负荷最低为设计值的 53%, 最高为设计值的 79%。若按 20% 的富裕量考虑, 我们来计算一下经济帐:

占地及材料的浪费

节水、节能、节地、节材、环保是国家强调的“四节一环保”。假如这些塔的能力有 20% 的富裕度, 也就是说冷却塔的占地面积和建造材料约浪费了 20%。

电能的浪费

如果将温差提高 20%, 根据 $H = QC(t_1 - t_2) = QC \cdot t$ 的关系, 由于需要移走的总热量是不变的, Q 就可以降低 20%。对于一座设计能力 4 000 m³/h 的冷却塔, 若上塔扬程为 15 m, 每年的运行时间按 8 000 h 计, 则循环水量减少 20%, 就意味着每年减少输送水的电力消耗:

$$\begin{aligned} N &= \frac{QH}{102} t \\ &= \frac{1\,000 \times 4\,000 \times 0.2 \times 15}{102 \times 0.85 \times 3\,600} \times 8\,000 \\ &= 307\,574 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \end{aligned}$$

式中: —— 水的密度, kg/m³;

H—— 冷却塔上塔扬程, m;

t—— 运行时间, h;

——总传动效率，取 0.85。

这仅仅是一座冷却塔多消耗的电量，可见浪费是多么的惊人。

对设计取水量的影响

冷却水量大，意味着设计取水量增加。冷却水的补充水量按下式计算：

$$Q_m = Q_e \frac{K}{K-1} = \frac{QC t}{K-1} \frac{K}{K-1} \quad (4)$$

式中： Q_m ——补充水量；

Q_e ——蒸发水量；

——汽化潜热；

K ——浓缩倍数。

如果冷却水量大 20%，那么设计补充水量也大 20%，如果按冷却水量占工业取水量的 40% 计，那么设计取水量就会增加 8%，也就是单位产品的设计取水量要增加 8%。当然设计取水量大，并不意味着实际运行时取水量大，但至少影响了设计取水量指标。

对浓缩倍数的影响

根据公式(4)，在一定的浓缩倍数下，当温差减小时，蒸发水量也减小，补充水量亦相应减小，当实际补充水量仍维持设计量时，则循环水的浓缩倍数会减小。很多循环冷却水系统的浓缩倍数达不到设计值与此关系很大。

5 建议

在全社会注重节水、节能的今天，这种浪费现象应引起足够的重视。为此，对将要建设的循环冷却水系统，应重视计算冷却水量及温差，以便选择的冷却塔更接近实际运行条件。同时，设计单位对所设计的冷却塔应进行回访，了解运行情况，不断调整、改进设计工作，并根据冷却塔的实际情况，协助生产单位优化运行条件，最大限度地减少能量的消耗。

对已经建成的能力偏大的冷却塔，建议在满足工艺要求的条件下，在允许的水量变化范围内降低冷却水量，或者停开一台冷却塔，这样，虽然占地和设备材料的消耗无法挽回，但至少能节省电耗及运行费用。

本文的写作得到了西安热工研究院有限公司陈玉玲的大力支持，特此致谢。

参考文献：

- [1] 纪芳田，包义华. 循环冷却水处理基础知识[M]. 北京：化学工业出版社，1986.

作者简介：韩玲(1957-)，女，山东文登人，教授级高工，任全国化工给排水设计技术中心站站长，东华工程科技股份有限公司副总工程师，(电话)0551-3626449。