利用旋转流动提高冷却塔汽水回收效率的实验研究

徐永君　　鄂学全　　阚常珍

（中国科学院力学研究所，北京，100080）

摘要　本文介绍了一种可广泛应用的旋转流动汽水回收原理性实验研究，与传统的波纹板汽水回收方法相比较，旋流流动收水方法通过改变气（汽）流的上升流动为旋转上升流动，利用离心力将气流中的颗粒状水滴直接甩到器壁回收，保证湿空气基本均能够与壁面接触并且增大湿空气与壁面的接触时间，在接触旋转流动过程中使湿空气中的水蒸汽尽可能多地凝结成水滴回收。通过实验研究，旋转流动收水方法能达到比较理想的收水效果，收水效率相比较具有很大程度的提高。通过与现有波纹收水方法收水性能的比较实验，其他指标与波纹收水方法相当的情况下，收水效率提高10%～20%。

旋转流动汽水回收方法可广泛适用于冶金、石油、化工、动力、纺织、大型中央空调等几乎所有需要回收水节能的行业中。特别适合应用与火力发电厂的大型冷却塔。本方法具有广泛的应用价值和经济价值。特别是对周边生态的环保意义重大。

关键词　旋转流动，收水效率，发电厂，冷却塔，环保

1　引言

水冷却系统是化学、石油加工、煤气加工、机械制造、冶金、发电等许多工业部门工艺装置的重要组成部分之一。工艺装置的产量、产品的质量和成本、原料和电力的电能消耗量都取决于水冷却系统的运转状况及其性能和效率。随着工农业的不断发展，用电量的不断增大，发电厂的冷却水装置不断增多。特别是在我国北方地区严重缺水的情况下，发电厂的增多带来了大型冷却塔的增多。由于大型冷却塔排出大量含水热空气，带走了许多宝贵的水资源，同时影响了周围的环境，冷却水中的添加剂对周围环境造成了一定污染。随着在世界范围内水资源缺乏问题变的越来越严重，节约用水成为广泛被重视的一个研究内容。从20世纪60年代开始至今世界上一直采用波纹板收水（如图1所示），波纹板收水虽然可以起到一定的节水作用，但对降温效果有一定的影响[1~2]。

本文讨论了一种利用旋转流动汽水回收原理进行收水的新理念，旋流流动收水方法通过改变气（汽）流的上升流动为旋转上升流动，利用离心力将气流中的颗粒状水滴直接甩到器壁回收，保证湿空气基本均能够与壁面接触并且增大湿空气与壁面的接触时间，在接触旋转流动过程中使湿空气中的水蒸汽尽可能多地凝结成水滴回收。基于这一思路进行了大量实验研究

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

工作，实验结果表明旋转流动收水方法能达到比较理想的收水效果，收水效率相比较具有很大程度的提高。通过与现有波纹收水方法收水性能的比较实验，其他指标与波纹收水方法相当情况下，收水效率提高 10%－20%[3]。

2 旋流收水原理及相应收水装置

如图 2 所示单体旋流收水装置，大面积收水呈蜂窝状排列布置覆盖即可。湿空气从基座入口上升流入收水装置，经导流板导引改变为旋转气流旋转上升流动，旋转上升一段时间后，流经整流格栅整流后又转变为平流上升。在湿空气流经收水装置上升的过程中，一方面利用离心力将气流中的颗粒状水滴直接甩到器壁回收，另一方面保证湿空气基本均能够与壁面接触并且增大湿空气与壁面的接触时间，在接触旋转流动过程中使湿空气中的水蒸汽尽可能多地凝结成水滴回收。当 α 角增大，收水效果减小而降温效果提高，可根据实际工程需要利用实验手段确定合理 α 角度值。

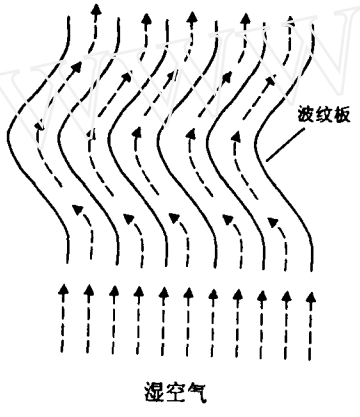

图 1 波纹收水示意图

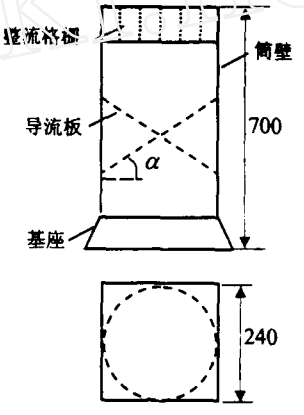

图 2 旋流收水装置示意图

3 实验方法

考虑波纹板收水与旋流收水的对比性试验，不必模拟原塔条件。除几何相似性外，应考虑动力学相似性，做到局部适当雷诺数(Reynolds number)模拟。

针对本研究的实际情况我们进行塔的局部模拟试验。即模拟塔体内某地条件，建立收缩截面以下的塔体模型。对无收水装置、波纹板收水模型和旋流收水模型进行实验比较。本实验研究主要采用比较试验法，即在模型冷却塔中，在相同的工况条件下，进行模型波纹板收水和需要探索的旋流冷却收水试验。也就是说，在相同的淋水密度(热水流量相等)、相同的风机速度、相同的热水温度以及基本相同的周围环境(室内温度、室外温度、空气湿度和大气压强)条件下，进行上述两种收水器的性能试验，比较两者之间的优劣(主要观察两者的收水和降温两种功能的效果)。先进行波纹板收水器(与旋流冷却收水器通风截面积相同)试验，然后换成

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

旋流冷却收水器进行试验，并对各有关参数进行比较。

4 实验设备简介

如图 3 所示，本实验装置系统主要由五部分组成：冷却塔模型本体结构；风机系统；冷热水冷却系统；测量系统；收水装置。基于几何相似和动力学相似两方面，考虑到实验室空间和造价的限制，根据某实际原型冷却塔缩比建模型。按 1∶40 的比例做原塔模型设计，用透明有机玻璃制成。为了增加空气与水滴之间对流的热交换时间，下部延长 800mm 直筒段，形成圆筒裙部(图 3 所示)。内部填料等设备按原塔尺寸缩小为 1∶5。

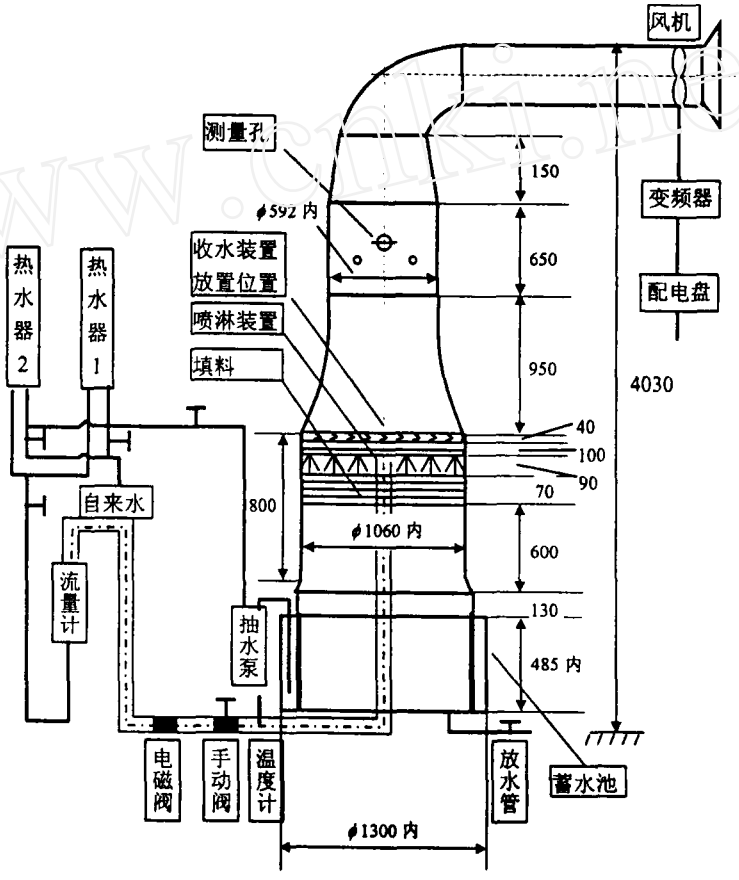

图 3 实验装置示意图

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5 收水实验及参数测量

5.1 参数测量

在实验过程中，主要考察对比在相同工况条件下，无收水装置、旋流收水装置和波纹板收水的收水效率及降温效果。为此需要进行环境参量测量，包括大气压、温度和湿度。塔内参量测量，包括冷却塔模型进口段总压和静压；冷却塔出口段(即上部测量圆筒中)的总压和静压、温度、湿度；进出水温度、进出水流量；进出口风速。由于篇幅限制各测量方法和手段这里不加以赘述。

5.2 数据采集

采样系统主要包括两种方式，一种方式为微机采样部分，一种方式为人工读数部分。其中微机采样部分分别包括：4 个温度传感器(包括 1 个进水温度计，3 个不同位置的蓄水池出水温度计)、3 个压力传感器(未喷淋时，测量段圆筒两个压力传感器、进口段一个；喷淋时，三个压力传感器均用在测量段)和温湿度计(布置在测量段)。共 9 路微伏信号经过变送到微机的 A/D 转换板上。通过采样程序进行采样，每次为 2s 采 1 024 采样点，取平均。人工读数部分分别包括：大气压力测量、环境温度和湿度测量、进风口风速测量和淋水实验时水的流量，蓄水池水位。配合微机采样进行人工读数并记录。

5.3 实验状态

实验过程中分别进行了不同调频器频率情况下的实验，无收水装置进行了 5Hz、10Hz、15Hz、20Hz、30Hz 五种情况的实验，波纹收水进行了 10Hz、20Hz、30Hz、35Hz、40Hz 五种情况的实验，旋流收水装置情况下进行了 5Hz、10Hz、15Hz、20Hz、30Hz 五种情况的实验。

表 1 塔体进风口气流风速

	风机频率 f(Hz)							
风速(m/s)	5	10	15	20	30	35	40	45
无收水装置	0.515 5	0.829 0	1.374 3	1.777 3	2.680 5			
波纹板收水装置		0.711 9		1.476 4	2.092 9	2.429 9	2.839 4	
旋流收水装置		0.598 3	0.845 2	1.171 1	1.719 6		2.253 0	2.506 0

6 实验结果分析

6.1 气流速度

气流速度是一个重要参量，它可以在一定程度上反映整个流道的阻力，同时也就是可以反

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

映不同收水装置对整个流道阻力的影响。在实验过程中对各种不同调频器频率相应的实验情况下直接利用手持风速仪在进风口(进风口为塔底边与水池间空气进入的部位)测量进气风速(其中包括东、西、南、北4个方位点分别进行4～5次测量,不同方位和不同次数取平均),表1为不同频率下进风口气流速度,图4为几种情况拟合曲线,可以看出气流速度与频率呈线性关系,线性度比较高。

6.2 节水和降温效果

力求在相同的工况条件下,进行基于无收水装置情况的波纹板收水和旋流收水对比试验。即在相同的淋水密度(热水流量相等)、相同的风机速度、相同的热水温度以及基本相同的周围环境(室内温度、室外温度、空气湿度和大气压强)条件下,进行上述两种收水器的性能试验,比较两者之间的优劣(主要观察两者的收水和降温两种功能的效果)。先进行波纹板收水(与旋流冷却收水底部截面积相同)试验,然后换成旋流冷却收水装置进行试验,而后对各有关参数进行比较。为了能够保证试验的可比性,同时减少各种可能的影响和误差,在每种试验中采用相同的试验手段、相同的试验时间、相同的加热温度、相同的初始淋水水位、严格采样时间和次数等。具体步骤和相关试验结果如下:① 热水器显示温度定在43°C,自来水淋水试验,蓄水池水位达到345mm时停止。在此过程中采样10次。以此作为循环淋水试验初始条件进行循环试验;② 热水器显示温度定在46°C,开始循环试验,循环3h开始采样,每1min采样一次,共采样10次,总共循环4h30min,记录最终水位,确定水损失量。表2为各种情况下的收水和降温效果,收水效率提高10%多;图5为收水和降温总体效果的拟合曲线,图中反映出相同温降情况下旋流收水装置收水效果好。

表2 温降及收水效果比较

f(Hz)	无收水装置		波纹收水装置			旋流收水装置		
	ΔQ	ΔT	ΔQ	ΔT	ρ	ΔQ	ΔT	ρ
5	0.230 3	7.11				0.161 6	5.78	29.83
10	0.307 1	8.72	0.266 7	7.63	13.16	0.234 3	7.50	23.71
15	0.388 0	10.73				0.286 9	8.82	26.06
20	0.420 3	11.72	0.365 5	9.84	13.04	0.329 7	9.69	21.56
30	0.525 3	13.05	0.414 8	11.42	21.04	0.379 7	11.33	27.72
35			0.442 0	12.52				
40			0.474 4	12.91				

注:1. 淋水面积为0.48×0.48m²; 2. ΔQ 水损失量(kg/min);3. ΔT 温降(°C);4. ρ 收水效率(与无收水比(%)).

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

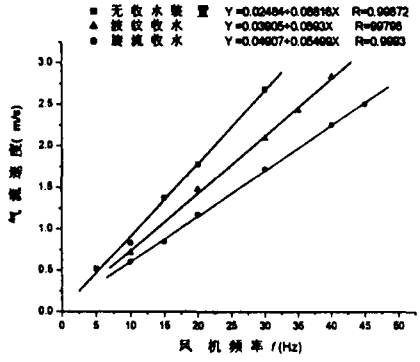

图 4 塔体进风口气流风速拟合曲线
（R 为线性度）

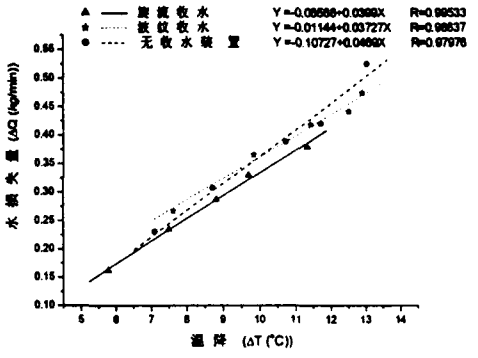

图 5 降温和收水对比实验拟合曲线
（R 为线性度）

6 结论

经大量试验研究，可归纳出如下几点结论：

（1）实验设备设计合理可行，保证了实验数据的可靠性。

（2）实验数据表明流经整个实验流道的气流速度与风机频率之间存在线性关系。

（3）大量的实验中，包含了满足动力学相似所需的气流速度。在各种频率情况下，无收水装置、波纹收水和旋流收水装置收水时，降温效果和收水效果以及气流速度所满足的规律基本一致。

（4）利用旋流收水原理收水，与波纹收水相比，在降温效果基本相同情况下，收水效果可提高 10%多。

参 考 文 献

1 赵振国. 冷却塔. 北京：中国水利水电出版社，1997.

2 李德兴. 冷却塔. 上海：上海科学技术出版社，1981.

3 郭学全，徐永君，阚常珍. 旋流收水器研制报告. 中国科学院力学研究所，2001.

Experimental study on increasing water saving efficiency in cooling tower by using swirling flow method

Xu Yong-jun， E Xue-quan， Kan Chang-zhen

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: This paper is concerned with water saving for water-loop cooling tower sys-

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

tem in power plant by using swirling flow water saving method, which is a newly developed method. In contrast to the corrugated plate water saving method, the key point is that the swirling water saving method makes the steam swirling up along the device wall rather than engender laminar flow in a corrugated plate. Experimental study shows that the corrugated plate device can save approximately 10 percent of the total lost water. In contrast to the scale model of corrugated plate water saving device, experimental analyses have demonstrated that the swirling flow water saving method is more efficient, with capacity of saving more than 20 percent.

Key words: cooling tower; power plant; water saving; corrugated plat water saving method; swirling flow water saving method

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net