

# 异形钢管蒸发式冷凝器的传热与能耗性能

蒋翔, 李元希, 涂爱民, 朱冬生

(华南理工大学化学与化工学院传热强化与过程节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640)

**摘要:**提出了弹形管和扭曲管对蒸发式冷凝器强化传热, 测试了冷却水喷淋密度和风速对其传热与能耗性能的影响, 并与圆管进行了对比。研究表明, 传热系数和能耗均随冷却水喷淋密度和风速的增大而增大, 但冷却水喷淋密度增大到一定值后, 传热系数基本不变甚至略有减小; 弹形管和扭曲管比圆管的传热系数分别高 9.2% ~ 19.0% 和 18.0% ~ 33.1%, 总能耗分别低 2.6% ~ 4.9% 和高 2.6% ~ 4.9%, 综合性能比分别高 11.1% ~ 23.0% 和 16.7% ~ 23.7%。

**关键词:**蒸发式冷凝器; 节能; 节水; 强化传热; 异形管

中图分类号: TK124; TQ021.3

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2008)09-0066-05

## Heat and power characters of evaporative condenser with special-shape steel tubes

JIANG Xiang, LI Yuan-xi, TU Ai-min, ZHU Dong-sheng

(The Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer & Energy Conservation, chemistry and Chemical engineering institute, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** To enhance the heat transfer and flow processes, both especial-shape tubes that included bullet-tube and twist-tube are used in the evaporative condenser, and compared the existing round-tube. An experimental system is established, heat transfer coefficient and power performance characters of the evaporative condenser are investigated with various operation parameters. The results indicate that the heat transfer coefficient and power are increased with the airflow velocity and sprayed water flowing rate, while the heat transfer coefficient is changeless after the sprayed water flowing rate reaches a minimum of 0.055 kg/(m·s). The heat transfer coefficient of the bullet-tube is 9.2% - 19.0% more higher than that of round-tube in evaporative condenser, while the power decreased 2.6% - 4.9%. The heat transfer coefficient of the twist-tube is 18.0% - 33.1% more higher than that of round-tube in evaporative condenser, and the power increased 2.6% - 4.9%.

**Key words:** evaporative condenser; energy saving; water saving; enhanced heat transfer; special-shape tube

近年来,蒸发式冷凝器日益广泛应用于化工、石化、冶金、电力、食品、酿酒、冷冻等工业生产过程及制冷空调设备中,对节能、节水发挥了重要作用。它将冷换过程中的水冷式冷凝器和冷却塔合二为一,大大减小了冷却塔和冷凝器之间的冷却水泵功耗,同时风机功耗减小,冷却水损失少,耗水量小<sup>[1-2]</sup>。

一些学者从热力学和节能、节水角度论证了蒸发式冷凝器相对于风冷和水冷设备的优势,但传热系数与水冷式设备相比仍然偏小,强化传热是一个重要方向<sup>[3-6]</sup>;一些研究者进行了模拟及实验研究,包括传热、传质与流动性能,以及它与热泵及海水淡化技术的结合技术<sup>[7-12]</sup>,但至今没有成熟结论,设计和应用主要依赖工程数据,而且作为一种近年来才逐步被广泛应用的设备,工程数据相当缺乏。

笔者前期的工作中已研究了水喷淋密度和空气

流场对铜质圆管的影响<sup>[13-14]</sup>,本文利用前期研究成果,设计和建立性能实验平台,在不同冷却水喷淋密度和风速下,对圆管、弹形管<sup>[15]</sup>和扭曲管<sup>[16]</sup>等 3 种水平钢质蒸发式冷凝器传热、传质性能进行研究,丰富理论研究体系,为蒸发式冷凝器设计和推广应用创造条件。

## 1 实验装置流程及测试

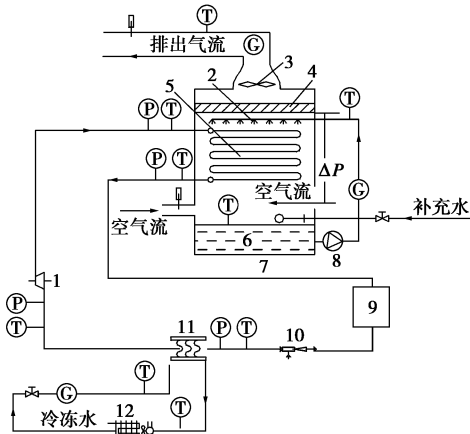
实验装置和流程见图 1。包括完整的制冷机组及测试系统,实验装置包括制冷剂 R22, 12P 涡旋式调频压缩机,外平衡式热力膨胀阀,板式蒸发器(工艺换热量 39.8 kW);蒸发式冷凝器传热管为圆管、弹形管、扭曲管,圆管均为  $\Phi 25 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$  的 10# 钢管,具体参数如图 2。盘管组整体热浸锌,外表传热面积为 12.25 m<sup>2</sup>,三角形叉排,水平管间距 52 mm,

收稿日期: 2008-05-13

基金项目: 教育部博士点基金项目(20050561017); 粤港关键领域重点突破招标项目(2007A010701001); 广州市科技成果转化项目(2007C13G0041)

作者简介: 蒋翔(1977-), 男, 博士, 讲师, 主要从事高效换热、蒸发式制冷空调的研究及应用, 020-87114185-412, jiangx@scut.edu.cn。

垂直管间距 38 ~ 52 mm。



1—压缩机;2—喷嘴;3—风机;4—挡水板;5—换热盘管;  
6—水槽;7—蒸发式冷凝器;8—水泵;9—储液罐;10—膨胀阀;  
11—蒸发器;12—换热器

图1 实验系统流程图

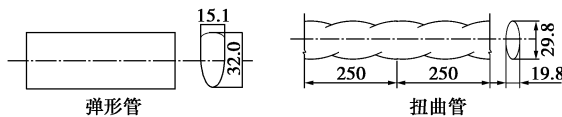


图2 实验用异形管结构示意图

实验流程为:压缩机将 R22 蒸汽排向蒸发式冷凝器的传热盘管内,与管外表面的水膜交换热量,同时水膜与空气流以潜热为主、显热为辅的方式交换热量,热湿空气流由轴流风机经风管排出室外以带走水蒸气和热量,未蒸发的水流回水槽供循环使用;R22 蒸汽冷凝后,经储液罐和干燥过滤器进入膨胀阀和蒸发器蒸发,并重新回到压缩机吸气状态,冷量

(上接第 65 页)

显著提高。表 1 为改造前后丙烯精制效果的对比。

表 1 改造前后丙烯精制效果的对比

	改造前		改造后	
	原料	净化后	原料	净化后
总硫质量分数/ $10^{-6}$	2.11	1.43	3.57	< 0.1
总氯质量分数/ $10^{-6}$	1.26	1.26	1.15	< 0.1
$H_3As$ 质量分数/ $10^{-9}$	70	70	90	< 30

## 5 结语

通过对丙烯精制工艺的改造,各新增 1 台脱水塔、脱有机氯塔、脱砷塔,丙烯精制系统改造后,丙烯精制能力得到提高,精制效果明显改善,尤其是脱砷催化剂 R998 和脱有机氯剂的使用进一步完善了丙

由冷冻水送走。

实验中恒温、恒湿空气由风洞提供,压缩机蒸汽流量和蒸发式冷凝器的风量、水量均由变频器控制调节,冷冻水流量由阀门控制调节。

需要测试的数据包括:冷却水泵、风机和压缩机实时功耗,冷却水、冷冻水、空气、制冷剂流量,盘管组进出口、每 2 层盘管内均装有制冷剂蒸汽压力表,空气温度取进出口平均温度,风速为空气进入管束前截面速度。实验中采用了自动监控、手动测试相结合的方法,两者偏差不超过 2%。自动监测系统采用具有多点数字采集功能的巡检仪,配置平板电脑系统,并由 MCGS 全中文组态软件支持,以便实时存储记录实验数据。手动测量采用德国 Testo 系列热工仪器,温度测量精度为  $0.1^{\circ}C$ ,风速测量精度为 1%,空气湿度测量偏差为  $\pm 2\%$ ,压力表和涡轮流量计测量精度为 0.5%,功率表精度为  $\pm 0.05\%$ 。

## 2 数据处理

### 2.1 冷凝热负荷 $Q_c$ 的计算

冷凝负荷的计算有 3 种方法:一是制冷量  $Q_c$  加上压缩机轴功率  $P_c$  与效率  $\eta_c$  之积,制冷量由冷冻水质量流量和进出口温差求得;二是制冷剂质量流量与相变热的乘积;三是进出口空气流的焓变。经反复校核,发现三者差别不超过 4%,第 1 种方法测试条件最稳定,对实际应用条件最有意义:

$$Q_c = \rho_w V_w c_{p,w} (t_{w,in} - t_{w,out}) + P_c \eta_c \quad (1)$$

冷冻水的定压比热  $c_{p,w}$  和密度  $\rho_w$  通过进出口的平均温度用内插法查得。

烯精制流程。半年来的生产实践表明,丙烯精制系统的改造达到了预期目标,满足了环氧氯丙烷装置长周期、高负荷运转的需要,同时降低了物耗,提高了装置盈利能力,增加了经济效益。

## 参考文献

- [1] 朱晓军,朱建华,吕亮功,等.液态丙烯脱硫装置的效能评价[J].石油化工,2004,33(9):875-879.
- [2] 蔡展,麦永懿,曹育才,等.石油烃脱砷研究进展[J].精细石油化工进展,2004,5(2):19-22.
- [3] 余启炎,冷冰,郝雪松,等.裂解气脱砷催化剂及工艺研究[J].石油化工,2003,32(7):549-551.
- [4] 王定博,袁震光,冷冰,等.脱砷剂研究进展[J].化工进展,2002,21(1):17-19.
- [5] 郑贤敏.钨基催化剂失活原因及预防措施[J].浙江海洋学院学报,2007,26(2):198-201. ■

## 2.2 总传热系数 $K$ 的计算

影响蒸发式冷凝器总体传热性能最重要的2个参数是冷凝温度  $t_k$  和湿球温度  $t_{wa}$ , 实际工程计算中也取2个温度之差为基准温差, 本文也采用此法求出总传热系数  $K$  值:

$$K = Q_c / A_o (t_k - t_{wa}) \quad (2)$$

采用最小二乘法拟合传热系数公式。

## 2.3 能耗性能的计算

蒸发式冷凝器包括水和空气2种流体耗能, 传热管的水阻力特性基本相同, 而空气阻力特性则有较大不同, 因此无法采用单一流体的阻力系数法评估其动力性能。先分别得到水泵和风机的实际功率曲线, 然后依据不同操作条件下的水量和风量求得水泵和风机功耗之和  $P$ , 作为蒸发式冷凝器动力性能评价依据。

## 2.4 综合性能评价方法

性能评价的方法有多种, 如需节省设备投资, 可选用  $K$  值大的管型, 如要节省运行费用, 可选用  $P$  值较小的管型。本文按如下方法评价蒸发式冷凝器性能:

$$Y = K / P^{1/3} \quad (3)$$

性能系数  $Y$  值越大, 传热管的综合性能越好。

## 3 实验结果与分析

### 3.1 传热性能

实验中空气湿球温度  $26.6 \sim 27.4^\circ\text{C}$ , 相对湿度  $78\% \sim 81\%$ , R22 冷凝温度为  $36.3 \sim 37.0^\circ\text{C}$ , 补水率为水蒸发量的1.5倍。不同风速  $u_f$  的3种管型传热系数  $K$  随水喷淋密度  $\Gamma$  的变化如图3至图5所示。

由图3至图5可见, 传热系数  $K$  随风速  $u_f$  和冷却水喷淋密度  $\Gamma$  的增大而增大, 在实验范围内, 圆管、弹形管和扭曲管的  $K$  随  $u_f$  的增大率分别为  $32.9\% \sim 42.6\%$ 、 $38.4\% \sim 47.4\%$  和  $41.2\% \sim 53.5\%$ , 随  $\Gamma$  的增大率分别为  $42.5\% \sim 52.8\%$ 、 $49.0\% \sim 59.2\%$  和  $34.9\% \sim 46.1\%$ , 但  $\Gamma$  增至  $0.065 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$  后, 扭曲管传热系数略有增大, 圆管和弹形管传热系数基本不变; 随着  $u_f$  和  $\Gamma$  的增大,  $K$  增大速率有放缓的趋势, 而  $\Gamma$  增至  $0.065 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$  后, 不仅不会增大传热系数, 还会增加功耗, 不宜采用, 适宜传热的  $\Gamma$  为  $0.050 \sim 0.065 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ;  $\Gamma$  越大时,  $u_f$  对  $K$  影响越小,  $u_f$  越大时,  $\Gamma$  对  $K$  影响越小, 这样当湿球温度较低即传热温差增大时, 可在较大的一个参数下适当减小另一个参数。

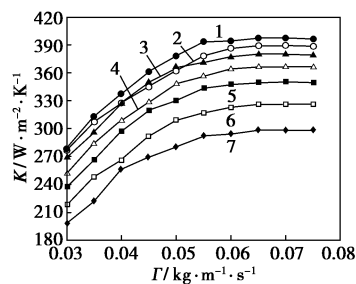


图3 圆管传热系数与风速、水喷淋密度的关系  
风速  $u_f/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ : 1—3.8; 2—3.4; 3—3.0; 4—2.6;  
5—2.2; 6—1.8; 7—1.4

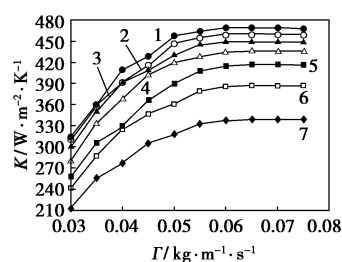


图4 弹形管传热系数与风速、水喷淋密度的关系  
风速  $u_f/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ : 1—3.8; 2—3.4; 3—3.0; 4—2.6;  
5—2.2; 6—1.8; 7—1.4

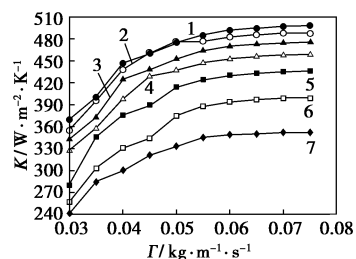


图5 扭曲管传热系数与风速、水喷淋密度的关系  
风速  $u_f/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ : 1—3.8; 2—3.4; 3—3.0; 4—2.6;  
5—2.2; 6—1.8; 7—1.4

图3 圆管传热系数与风速、水喷淋密度的关系

图4 弹形管传热系数与风速、水喷淋密度的关系

图5 扭曲管传热系数与风速、水喷淋密度的关系

据分析, 冷却水对传热性能的影响主要包括水膜覆盖率、厚度、湍动程度及流动速度,  $\Gamma$  增大基本不影响水膜流动速度, 但可增大水膜覆盖率、厚度及湍动程度, 水膜覆盖率和湍动程度增大有利于传热, 而厚度增大则会增加热阻;  $\Gamma$  在  $0.030 \sim 0.065 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$  时, 水膜覆盖率增大超过厚度增大对传热的影响, 传热系数增大; 水膜覆盖率增加到一定值后, 即  $0.065 \sim 0.075 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$  时, 某一管型的传热管表面水膜覆盖率基本不变, 对传热影响较小, 同时水膜湍动程度及厚度增大, 两者影响的相对大小决定了  $K$  的变化, 但此时两者影响都不大或影响基本抵消, 因此传热系数基本不变。风速增大可增加水膜的波动频率和幅度, 增大热质交换的剧烈程度; 可增大水和空气的相对移动速度, 在水膜表面产生

空气分压,提高水的饱和程度和化学势,相当于增加传热、传质推动力;可增强水膜表面的毛细作用,形成“毛细诱导表面蒸发”;可加快水气主体与界面的更新速率,以及移走水蒸气和热量的过程,上述影响均使  $K$  增大。

由图3至图5还可看出,在实验范围内,弹形管和扭曲管比圆管的  $K$  分别高 9.2% ~ 19.0% 和 18.0% ~ 33.1%,强化传热作用明显。据分析,弹形管的强化传热作用机理是:①主要作用是强化空气、空气与水之间的传热。弹形管的特殊长短轴形状使管水平间距增大的同时垂直间距减小,即空气导流面积增大而阻力面积减小,这样迎风面阻力减小,背风面的气流流动死区减少,水气接触面气流局部流动速度加快,水膜表面的水蒸气及热量得以更快移走,减小了水和空气间传热、传质的平衡时间,从而强化了传热过程。②从水分布的角度看,弹形管顶端曲率半径较小,水膜更容易附着,在管表面滑移速度更快,厚度减小,换热完成后,相对圆管更容易从管底部脱落。③管内截面异形化,当量直径减小,增加了冷凝气液的扰动程度,冷凝液传热膜系数相应增大。扭曲管的强化传热作用机理如下:①主要作用是强化水膜、水膜与空气之间的传热。管表面可双面湿润,水膜覆盖率增大,可克服其他管型容易形成“干斑”的缺点,减缓结垢速度,同时由于螺旋状通道的导向和应力作用,水膜湍动程度增大、容易成膜且更新速率加快,从而水膜厚度减小,在换热完成后不会在管底部聚集,水膜传热性能得到大大提升。②从空气的角度看,扭曲管除形状改变外,管截面方向的不断变化可使管间空气不断变化流向,以较小的整体流量即可保持较高的局部流速,增大传热、传质的剧烈程度,流体流动路线加长也可使热质交换更充分。③强化冷凝传热的基本原理与弹形管相同,但扰动更为强烈。另外,弹形管和扭曲管仍为光管,不需要额外的装配、维护、检查。

将蒸发式冷凝器传热系数拟合为  $\Gamma$  及  $u_f$  的函数,当  $u_f$  为 1.4 ~ 3.8 m/s、 $\Gamma$  为 0.030 ~ 0.065 kg/(m·s) 时,圆管传热系数式为式(4),数据拟合的偏差为 -5.88% ~ 5.79%,平均偏差  $\pm 2.16\%$  :

$$K = 1045\Gamma^{0.4942} u_f^{0.3277} \quad (4)$$

弹形管传热系数式为式(5),数据拟合偏差为 -6.36% ~ 6.49%,平均偏差  $\pm 2.31\%$  :

$$K = 1792\Gamma^{0.6202} u_f^{0.3562} \quad (5)$$

扭曲管传热系数式为式(6),数据拟合的偏差为 -6.93% ~ 6.47%,平均偏差  $\pm 2.03\%$  :

$$K = 1003\Gamma^{0.4265} u_f^{0.3955} \quad (6)$$

### 3.2 能耗性能

蒸发式冷凝器包括水泵和风机 2 个耗能设备,因此需要综合考虑功耗。

图6为水泵能耗与水喷淋量的关系,可以看出水泵能耗随水喷淋量的增大而增大。据分析,水泵能耗由水喷淋量、扬程和水管阻力决定,与传热管无关,由于水泵将蒸发式冷凝器底部水槽的水提升至喷嘴即可,扬程和水管阻力都较小,水泵能耗主要受水喷淋量的影响。

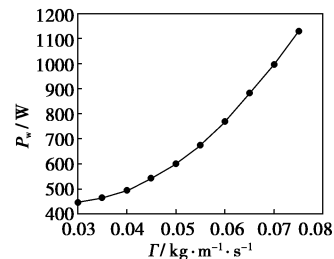
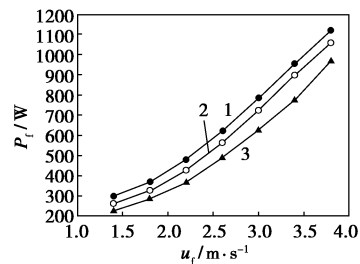


图6 水泵功耗与水喷淋密度的关系

图7为风机能耗  $P_f$  与  $u_f$  的关系,可以看出风机能耗随风速的增大而增大,扭曲管比圆管和弹形管的  $P_f$  分别高 10% 和 20% 左右。结果表明扭曲管在强化传热的同时,也增大了空气流动阻力,而弹形管则对两方面均有益处。据分析,风机功耗由风量、空气流动压降和风机效率共同决定,风速增大一方面增大风量,另一方面增大空气流动压降,因此风机能耗增大;空气流动压降与管形状有较大关系,扭曲管和弹形管都靠加快空气、空气与水接触的局部流速来强化空气传热,但扭曲管空气流向不断发生变化,强化传热作用更为明显的同时也会形成一些死区,从而增大空气流动压降,而弹形管在加快空气与水的换热过程后即快速流走,基本没有死区,从流动的角度讲气流流场更加合理,因此压降更小,能耗相应更小。



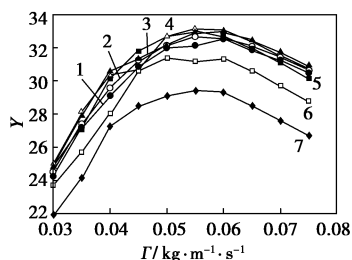
管型:1—扭曲管;2—圆管;3—弹形管

图7 不同管型风机功耗  $P_f$  与风速  $u_f$  的关系

综合水泵和风机能耗之和,扭曲管比圆管和弹形管分别高 2.6% ~ 4.9% 和 5.2% ~ 10.4%。

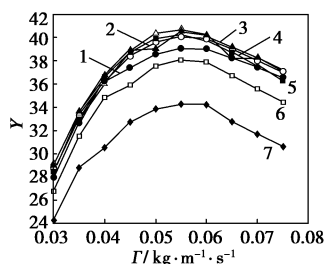
### 3.3 综合性能评价

各管型蒸发式冷凝器的综合性能评价如图 8 至图 10 所示。由图 8 至图 10 可见,适宜的风速  $u_f$  为 2.6~3.4 m/s,3 种管型差别不大;适宜的水喷淋密度  $\Gamma$  为 0.05~0.06 kg/(m·s),但最佳  $\Gamma$  值扭曲管比弹形管小,弹形管又比圆管略小,表明扭曲管比另外 2 种管型更能在较低喷淋密度下运行。弹形管和扭曲管的性能系数  $Y$  比圆管分别高 11.1%~23.0% 和 16.7%~23.7%,在较低的  $\Gamma$  和  $u_f$  下,扭曲管  $Y$  略高于弹形管,在较高的  $\Gamma$  和  $u_f$  下则基本相当。



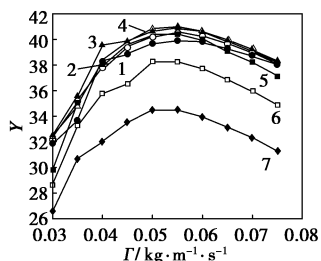
风速  $u_f/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ : 1—3.8; 2—3.4; 3—3.0; 4—2.6; 5—2.2; 6—1.8; 7—1.4

图 8 圆管的综合性能系数



风速  $u_f/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ : 1—3.8; 2—3.4; 3—3.0; 4—2.6; 5—2.2; 6—1.8; 7—1.4

图 9 弹形管的综合性能系数



风速  $u_f/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ : 1—3.8; 2—3.4; 3—3.0; 4—2.6; 5—2.2; 6—1.8; 7—1.4

图 10 扭曲管的综合性能系数

## 4 结语

(1) 水喷淋密度和空气流速对蒸发式冷凝器性能均有重要影响,传热系数和能耗均随水喷淋密度

和风速的增大而增大,但水喷淋密度超过 0.06 kg/(m·s) 后传热系数变化不大,适宜传热的水喷淋密度为 0.05~0.06 kg/(m·s),适宜的风速为 2.6~3.4 m/s。

(2) 弹形管和扭曲管比圆管的  $K$  分别高 9.2%~19.0% 和 18.0%~33.1%,同时扭曲管比圆管和弹形管的风机能耗分别高 10% 和 20% 左右,弹形管和扭曲管的性能系数  $Y$  比圆管分别高 11.1%~23.0% 和 16.7%~23.7%。

### 符号说明

- $A_i$ —管内表面积( $\text{m}^2$ )
- $A_o$ —管外表面积( $\text{m}^2$ )
- $K$ —总传热系数 [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ]
- $Q_c$ —冷凝器热负荷( $\text{kW}$ )
- $T$ —温度( $^\circ\text{C}$ )
- $u_f$ —冷凝器迎面风速( $\text{m/s}$ )
- $\Gamma$ —水喷淋密度 [ $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ]
- 下角标:
- $i$ —管内
- $k$ —制冷剂
- $o$ —管外
- $w$ —水
- $wa$ —湿空气

### 参考文献

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 2007 中国建筑节能年度发展研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] ASHRAE. ASHRAE handbook of System & Equipment[M]. Atlanta: ASHRAE, 1995.
- [3] Ertunca H M, Hosoz M. Artificial neural network analysis of a refrigeration system with an evaporative condenser[J]. Applied Thermal Eng, 2006, 26(5/6): 627-635.
- [4] Hajidavalloo E. Application of evaporative cooling on the condenser of window air conditioner[J]. Applied Thermal Eng, 2007, 27(11/12): 1937-1943.
- [5] Hosoz M, Kilicarslan A. Performance evaluations of refrigeration systems with air-cooled, water-cooled and evaporative condensers[J]. International Journal of Energy Research, 2004, 28(8): 683-696.
- [6] Abbassi A, Bahar L. Application of neural network for the modeling and control of evaporative condenser cooling load[J]. Applied Thermal Eng, 2005, 25(17/18): 3176-3186.
- [7] Manske K A, Reindl D T, Klein S A. Evaporative condenser control in industrial refrigeration systems[J]. Int J of Refrigeration, 2001, 21(7): 676-691.
- [8] Hwang Y, Radermacher R. An experimental evaluation of a residential-sized evaporatively cooled condenser[J]. Int J of Refrigeration, 2001, 24(5): 238-249.
- [9] Armbruster R, Mitrovic J. Evaporative cooling of a falling water film on horizontal tubes[J]. Experimental Thermal and Fluid Sci, 1998(18): 183-194.

(下转第 72 页)

地支撑起整个机器。大型 CTL 离心萃取分离机的机架还另配减震系统,吸收震动,以免震动传递给地面,产生破坏作用。传动部件主要由防爆电机、电机安装座和弹性联轴器等组成。因为是直联结构,节省了皮带传动,设备结构紧凑。

## 2 工作原理

CTL 直联式离心萃取分离机工作原理如图 2 所示。互不相溶的两液相(原料液和萃取剂)分别自机壳的 2 个进料管口进入机壳和转鼓外壁形成的外腔,借助转鼓的旋转而快速混合。转鼓底部和机壳上的叶轮形成自吸泵作用,该作用产生吸力,使混合后的液体通过转鼓底部的通道吸入转鼓内部。转鼓内部借助幅板叶片分为 4 个竖直的腔体,进入的液体相互平衡。液体在转鼓内从下而上的流动过程中逐渐分离。

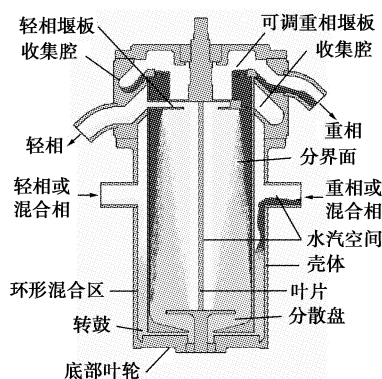


图 2 CTL 直联式离心萃取分离机工作原理图

分离区从转鼓底部一直到轻相堰板,保证有足够的形成液/液分界面。分离开的液/液相分别通过轻、重相堰汇集到各自的收集腔,并分别由各自出口排出。

重相堰板可以方便拆下和更换,可以更换合适直径的重相堰板,以达到良好的分离效果。

## 3 技术创新与特点

CTL 离心萃取分离机的主要技术创新点如下。

(上接第 70 页)

- [10] 许莉,王世昌,王宇新.水平管外壁薄膜蒸发侧表面传热系数[J].化工学报,2004,55(1):19-24.
- [11] Michalis G V, Andronikos E F, Georgios T K, et al. Incorporated evaporative condenser[J]. Applied Thermal Eng, 2007, 27(5/6): 823-828.
- [12] Bilal A Q, Syed M Z. A comprehensive design and rating study of evaporative coolers and condensers: Part I. Performance evaluation[J]. Int J of Refrigeration, 2006, 29(4): 645-658.

### 3.1 在位清洗机构

离心萃取分离机要求原料液不能含有固体杂质。但在实际应用过程中,经常会遇到原料液中含有细微杂质或产生结晶等固体,这些固体或多或少地会在转鼓里产生沉积。如果不能及时清除,沉积的固体会越来越多。一方面会引起机器振动异常,甚至损坏机器;另一方面还会破坏两液相在转鼓内的平衡界面,产生轻、重相互夹带,导致分离不清,影响机器的分离效果,最后不得不停机拆卸出转鼓,人工进行彻底清洗。这样势必会占用生产时间,拆卸、安装转鼓也比较麻烦,操作劳动强度大。CTL 离心萃取分离机的转鼓在位清洗设备可以在不打开机器、不拆卸转鼓的情况下,定期通入压力水进行在位喷洗,能有效地清洗掉转鼓内壁的沉积物,很好地解决了这个问题。

### 3.2 防乳化装置

在一些生产应用中,工艺上只要求完成液/液两相的分离,不需要高强度的混合;或者在处理一些对剪切作用敏感的物料体系时,需要控制搅拌混合液体的强度,避免因搅拌产生强烈乳化现象而增加分离的难度。CTL 离心萃取分离机的防乳化装置,在转鼓与壳体之间增加了 1 个防乳化套筒,该防乳化套筒与壳体之间形成了 1 个静态混合空间,进入壳体的液体避免了与转鼓高速旋转的外表面接触,直接通过该静态混合空间,经机器底部,通过转鼓底部的自吸泵作用,被吸入转鼓内部,沿转鼓向上运动过程中实现分离。该装置的应用,使得液/液两相或混合相因高速搅动产生的剪切作用降至最小,可有效防止乳化现象的发生。

CTL 离心萃取分离机还具有如下一些特点:①占用空间小。电机直接驱动、无传动附件,结构紧凑,节省占地面积和减小操作空间。②适应性能强。与传统的厢式萃取设备和塔式萃取设备相比,CTL 离心萃取分离机级存留时间短、分相迅速、适应的流比范围宽;通过调换堰板和变频调速可满足不同密度、黏度的液体物料。③萃取效率高。相平衡建立快,

- [13] 蒋翔.蒸发式冷凝器管外流体流动与传热传质性能及机理的研究[D].广州:华南理工大学,2006.
- [14] 朱冬生,沈家龙,蒋翔.蒸发式冷凝器管外水膜传热性能实验研究[J].高校化学工程学报,2007,21(2):31-36.
- [15] 华南理工大学.弹形管蒸发式冷换设备:中国,200520054429.5 [P].2006-09-06.
- [16] 华南理工大学.交变曲面波纹管型蒸发式冷凝器:中国,02227886.9 [P].2003-06-25. ■