

利用工业余热的单级氨水吸收式 制冷机在制冰生产中的应用

葛圣才*

(金陵石化公司化工一厂)

〔摘要〕 介绍以工业余热为热源的单级氨水吸收式制冷机在工业制冰(蓄冷)与冷藏中的应用。初步论证了该机在生产中的性能和变化规律,用焓效率和当量热系数分析了该机回收余热的经济效果,提出了实际操作过程中主要注意事项。并且用该机与压缩式制冷机进行了技术经济比较,证明其在工业余热升级利用及节能增效中所起的作用。

关键词 余热 制冰 经济效果

前言

在很多工业企业,低品位工业余热面广量大,也极易被人们忽视,更谈不上升级利用,而同时又要消耗大量的高品位电能用于制冷。据预计^{〔1〕}1990年我国约有 $33.49 \times 10^4 \text{ kJ/y}$ 的低位余热资源可被利用,而耗于工业制冷的电能(不包括深冷工业)高达250亿千瓦·时,占当年计划发电量的6.3%之多。随着“八·五”规划的不断付诸实施,低位余热将相应增加,工业需冷量也会大幅度上升。因此利用低位余热制冷是解决我国能源紧缺的有效途径之一。

利用低位余热的双级氨水吸收式制冷机国内已有研究,但对利用工业余热的单级氨水吸收式制冷机应用于制冰达到蓄冷之目的研究尚未见过报导。

1991年7月,金陵石化公司宁江化工一厂新建成一套利用低位余热的单级氨水吸

收式制冷机,用于制冰(蓄冷)和冷藏生产,取得了一次性投运成功。从根本上解决了该厂用电困难与某化工工艺生产间歇用冷的矛盾。

经过一段时间运转实际考核,证明利用工业余热的单级氨水吸收式制冷机应用于制冰、制冷,效果是显著的,在石化工业及其他行业有较高的推广价值。

1 装置流程及结果分析

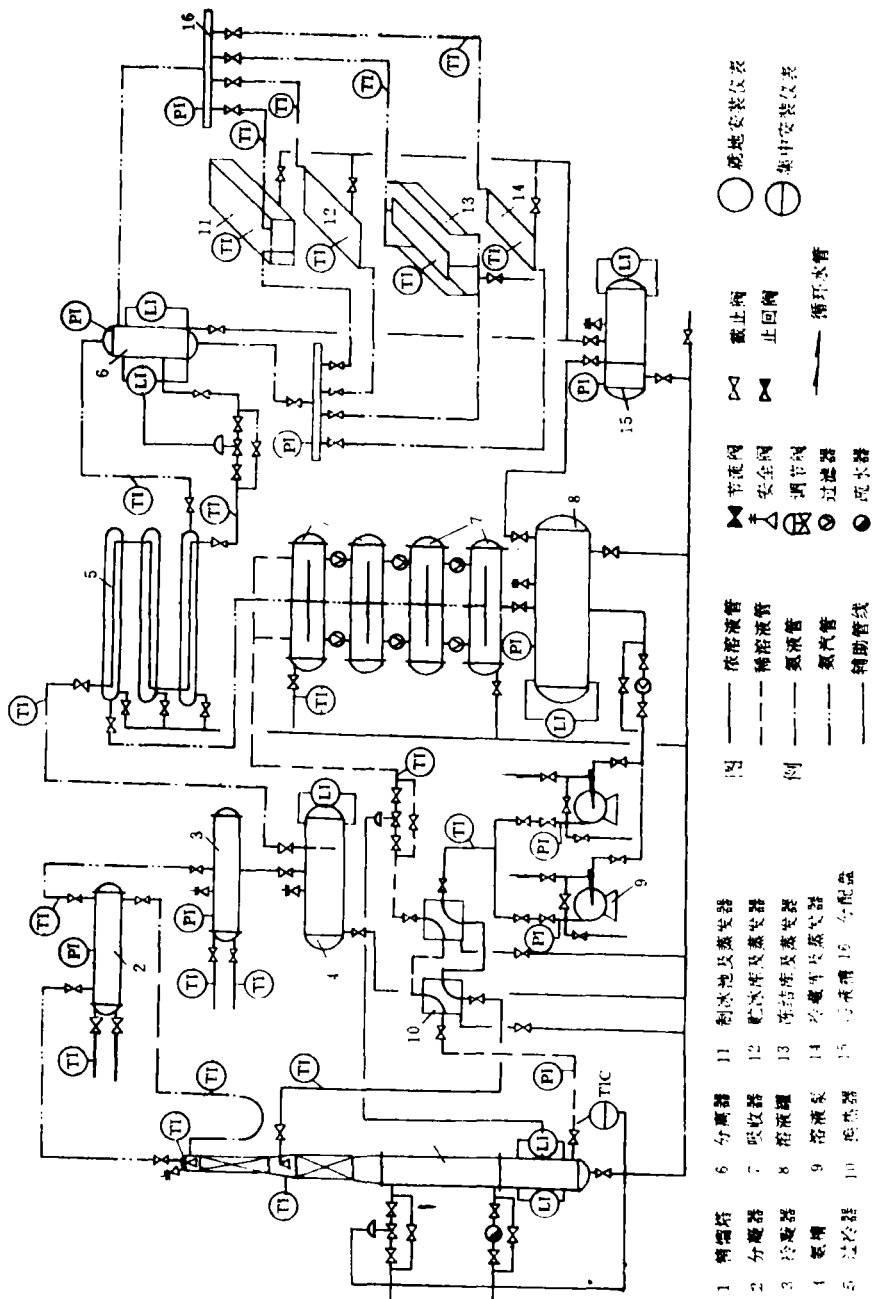
本装置采用直接蒸发制冷流程。工艺流程如图1所示

设计条件为,以 0.3 MPa (表压)饱和水蒸气为热源,在冷却水温度 30°C 情况下,连续生产出 $-18 \sim -24^\circ\text{C}$ 的盐水(氨蒸发温度为 $-30 \sim -32^\circ\text{C}$),在连续侧向搅拌的制冰槽中制成冰块。在上述条件下设计制冰量为 $20 \sim 25$ 吨/天,制冷量为 $8.79 \times 10^4 \text{ kJ/h}$ (包括冷藏等用冷)。

* 陈秉德、成裕同志参加了此工作

收稿日期 1992-01-27 收修改稿 1992-05-28

本文联系人 葛圣才 男 30 工程师 210038南京



本装置流程有如下特点:

- (1) 采用闭式冷却循环供水系统;
- (2) 外回流冷凝;
- (3) 重力供液;
- (4) 制冰槽内选择了侧向搅拌;
- (5) 实现了进入氨液分离器氨流量的控制;
- (6) 实现了进入吸收器稀溶液量的调控。

经半年多累计运转,装置各项指标均满足设计要求。启动、停车和操作简便、可靠。

为了掌握单级氨水吸收式制冷机的性能及变化规律,我们在实际生产中作了如下工况运转。

1.1 设计工况下的运转

表1中列出了主要设计指标值与实测平均值的比较:

表 1

指标项目	设计值	实测平均值	备注
热源蒸汽压力(表)	0.3 MPa	0.3 MPa	
冷却水进口温度	30°C	28°C	
制冰池温度	-20°C	-20.5°C	
蒸汽耗量	1.044 t/h	0.967 t/h	
冷却水循环量	200 t/h	220 t/h	
理论热力系数	0.391	0.43	

1.2 变工况运转

我们着重讨论变工况对 $\Delta\xi$ 的影响,据介绍^[2] $\Delta\xi < 0.06$ 就很不经济。 $f \propto \Delta\xi^{-1}$, $\Delta\xi$ 减小可提高 f 使循环性能恶化;反之,使循环性能好转。

为了简明起见,我们不考虑发生器和吸收器中工质与外界的传热温差,且每个工况测定都是假定在系统充分稳定条件下进行。

(1) 加热热源温度变化对 $\Delta\xi$ 的影响

在冷却水进口温度及制冷温度不变时, t_h 与 $\Delta\xi$ 关系见表2

表 2

热源温度 t_h (°C)	160	140	135	125	122
ξ_2 (% Wt)	14.2	21.8	24.0	28.8	30.0
$\Delta\xi$ (% Wt)	17.28	9.68	7.48	2.68	1.48

可见,适当提高 t_h 利于改善性能系数。

(2) 制冷温度变化对 $\Delta\xi$ 的影响

在加热热源温度与冷却水进口温度不变时, t_2 与 $\Delta\xi$ 关系见表3。

表 3

制冷温度 t_2 (°C)	-15	-18	-20	-22	-24
ξ_2 (% Wt)	34.4	32.3	31.5	29.5	27.5
$\Delta\xi$ (% Wt)	10.4	8.3	7.5	5.5	3.5

因此,在满足工艺过程要求前提下,应尽量提高制冷温度。

(3) 冷却水进口温度变化对 $\Delta\xi$ 的影响

在加热热源温度及制冷温度不变时, t_{s1} 变化对冷凝器工况影响见表4,对吸收器工况影响见表5

表 4

冷却水进口温度 t_{s1} (°C)	28	26	28	30	32
ξ_2 (% Wt)	19.5	20.6	21.6	22.0	24.0
$\Delta\xi$ (% Wt)	11.98	10.88	9.88	9.48	7.48

表 5

冷却水进口温度 t_{s1} (°C)	24	26	28	30	32
ξ_2 (% Wt)	35.4	34.0	33.4	31.9	31.0
$\Delta\xi$ (% Wt)	11.4	10.0	9.4	7.9	7.0

可见, t_{s1} 的适当降低有助于循环性能改善。

综上所述,文献[3]理论分析是正确的。同时得出 t_h 、 t_2 、 t_{s1} 三者是影响氨水吸收式制冷机的主要因素这一结论。

1.3 运转过程主要注意事项

(1) 水进入蒸发器对制冷效果的影响

随着设备长时间运行、蒸发器内含水越积越多,从而使蒸发压力较纯氨时低,而蒸发温度反而上升。发现上述现象,应及时排污。排污量一般控制为进蒸发器氨量的(1~5)%。文献[4]介绍了水含量对蒸发压力的影响。

(2) 电压变化对溶液泵及系统的影响

实际运行,电压变化导致溶液泵供液不正常,破坏系统的正常运转。本文根据文

献[2]推导出下式:

$$V_r = A \cdot V^2 \quad (1)$$

A ——常量,

V ——电压变化率%;

V_r ——溶液量变化率%。

电压变化引起溶液量变化规律可有上式得到。

2 装置能量指标与技术经济

2.1 焓效率

仅用热力系数来评价吸收式制冷机的能量指标,笔者认为是不完整、不恰当的。为了把所耗电量的品位、产生冷量的温度高低和品位不同也考虑在内加以比较,采用焓效率作为评价不同制冷机的能量指标就十分必要。

焓效率 η_{Ex} [5]可用下式表示:

$$\eta_{Ex} = \frac{\text{系统中收益的焓}}{\text{系统中消耗的焓}} = \frac{E_{xg}}{E_{rp}} \quad (2)$$

下面就 8AS17 型氨压缩式制冷机在工况: $t_z = -30^\circ\text{C}$ 及 $t_{s1} = 30^\circ\text{C}$ 时制冷量 $Q_0 = 19.5 \times 10^4 \times 4.1868 \text{ kJ/h}$, 功率 100kW 与单级氨吸收式制冷机在 $t_z = -30^\circ\text{C}$, $t_{s1} = 30^\circ\text{C}$ 时, 采用 143°C 热源, $\xi = 0.391$ 焓效率进行计算、比较:

氨压缩式制冷机

$$\eta_{Ex} = \frac{\left(\frac{T_W}{T_0} - 1\right) Q_0}{IV} = 0.56$$

氨吸收式制冷机

$$\eta_{Ex} = \frac{\left(\frac{T_W}{T_0} - 1\right) Q_0}{\left(1 - \frac{T_W}{T_h}\right) Q_h} = 0.36$$

由上可知:氨水吸收式制冷机的焓效率低于相同工况下压缩式制冷机数值。但与性能系数比已大大接近。这是由于氨吸收制冷系统内存在着较多不可逆损失[6]。

2.2 当量热力系数

热力系数这一指标仅表明产生一定冷量

需要消耗多少热量,并不反映产生热量的过程及效率。

焓效率考虑了耗能的品位,用于判断系统有效能利用的程度和不可逆程度。但不足之处未能充分反映氨水吸收式制冷机能够利用低品位热能的特点。因为无论何种制冷方式均需消耗能源,而用消耗一定量燃料热能产生的冷量来考核制冷系统的能量指标更趋合理。

当量热力系数 ζ_c 是指消耗 1kJ 燃料热能所得到的制冷量 kJ 数。 ζ_c 愈大表示燃料热能利用愈好。

本文仍就前述工况两种制冷机当量热力系数的相对值进行比较分析(以%表示)见表6

表 6

制冷机型	$\zeta_c = (t_z = -30^\circ\text{C})$	备注
单级氨压缩式	68.95%	
单级氨吸收式	46.05%	

由表6数据知,氨吸收制冷机的当量热力系数低于压缩式。这是因为采用小锅炉余汽品位很低,且小锅炉本身效率仅为0.60左右。但据介绍[3]当蒸发温度越低时,两种机型 ζ_c 越相接近。

2.3 技术经济

本文从投资费和运行费来综合评估装置技术经济性。将本制冷系统与同规模制冷量的压缩式系统作一比较,其结果见表7。

由表7,比较吸收式与压缩式机组。

(1) 投资费多耗42.98万元;

(2) 运行费每年可节省19万元。吸收式生产成本仅为压缩式的50%左右。

按年耗计,吸收式多耗的投资费用2.3年即可回收(复利计法)。

综上所述,本文介绍的单级氨水吸收式制冷机同其他低温余热利用装置一样,其投资较大。本装置投资中材料费占80%之多,但主要消耗价廉易得的普通碳钢,设备制造持有压力容器许可证的工厂均可生产。每年

表 7

项目	吸收式		压缩式	
	年耗	金额	年耗	金额
设备费		57.74		34.40
安装费		39.50		23.53
其他费用		11.55		6.88
小计		108.79		64.81
差值	43.98万元			
运行费用	蒸汽	8400 t 8.40		
	电	24万kW·h 9.60	92万kW·h 36.80	
	润滑油		1000 kg 0.20	
小计		18.00		37.00
差值	-19.00万元			

1. 计价, (1) 设备费参本装置施工图设计概算及上海第一冷冻机厂产品报价单
 (2) 电 0.40元/(kW·h) (现行价格)
 余热蒸汽 10元/t
 润滑油 2000元/t
 (3) 冷却水耗已折成电耗计入
 2. 全年运行时间按8000小时计;
 3. 运行费中维修费均未计入;
 4. 差值为吸收式与压缩式之差;

可节电68万度, 折合标煤 275 吨。因此, 利用工业余热制冷是节能降耗非常有效的措施, 对缓解能源供需日益尖锐的矛盾, 发展国民经济作用巨大。

3 结 论

(1) 本装置主要热力性能指标达到了设计要求。证明利用工业余热的单级氨水吸收式制冷机在制冰、冷藏工业中运用技术上是可行的, 经济效果是明显的。生产过程中无三废排放, 且运行平稳可靠、操作简便易控、维修方便。有较大的操作弹性, 可实现无级调节, 还可进行多种蒸发温度控制;

(2) 单级氨水吸收式制冷——制冰、冷藏是升级利用低品位热源重要途径之一, 体现了按质用能, 节省高品位电力的原则;

(3) 工业余热利用潜力很大, 尤其是石油化工企业, 能源消耗约占产品成本的

11%。本装置的运行成功, 为今后那些既有大量余热, 又需生产冷饮、防暑降温, 甚至还需冷库的企业提供了节能增效的经验;

(4) 经对装置能量指标及技术经济比较, 证明在一定场合吸收式制冷较氨压缩式制冷具有更高的经济和社会价值。

符号说明

- $\Delta\xi$ ——放气范围, %wt
- ξ_2 ——稀氨液浓度, %wt
- ξ_4 ——浓氨液浓度, %wt
- t_h ——热源温度, °C
- t_r ——液氨蒸发温度, °C
- t_{s1} ——冷却水温度, °C
- f ——溶液循环倍率, kg/kg
- A ——常量
- V_r ——浓溶液流量, m³/h
- V ——电压, V
- Q_0 ——制冷量, kJ/h
- ζ ——热力系数
- ζ_0 ——当量热力系数
- η_{Ex} ——焓效率
- E_{xk} ——系测中收益的焓, kJ/h
- E_{xp} ——系统中消耗的焓, kJ/h
- Q_h ——耗热量, kJ/h
- W ——耗功, kJ/h

参考文献

- 1 陈幼军, 五年来制冷设备迅速发展. 中国制冷学会第二次专业委员会论文集, 1984.1.
- 2 制冷工程设计手册编写组. 制冷工程设计手册. 中国建筑工业出版社, 1978
- 3 Бадильяко и С, И Т. Д, Асорбционные хоподильные Машины, Издательство Пищевая Промышленность, Москва, 1966. стр 157
- 4 Bogart M. Ammonia Absorption Refrigeration in Industrial Processes. Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1981. P73
- 5 杨恩文主编. 高等工程热力学, 高等教育出版社 1988
- 6 杨恩文, 流体工程, 1990.3. P58.

(30)

Thermodynamic Analysis of the Recovery and Utilization of Waste gas from a Synthetic Ammonia works

Su Yucheng

(Wuxue City Fertilizer Works of Wubei province)

Tan Qingcai

(No.4 Design Institute of Ministry of Chemical Industry)

Abstract

By way of energy calculation and effective energy analysis the authors have come to the conclusion that the heat supply to a heated system by the use of a heat engine - heat pump unit is more rational and economical than the heat supply provided directly by burning fuel. A brief description is given of the waste gas recovery and utilization in a synthetic ammonia manufacturing works.

Key words: waste gas recovery, heat engine -- heat pump unit

(32)

The Application in Ice making production of One-stage Ammonia Absorption Type Refrigerator based on Waste Heat Recovery

Ge Shengcai

(No.1 Chemical Engineering Plant of Jinlin Petrochemical Corp.)

Abstract

This paper deals with the application of one stage ammonia absorption type refrigerator based on industrial waste heat recovery in industrial ice making (cold storage) and refrigeration. A preliminary assessment of its performance and variation relationship of efficiency during its operation has been given. The economic results from the use of waste heat is studied based on exergy efficiency and equivalent thermal factor. Some main precautions in the course of practical operation are also put forward. A technical and economic comparison of the said type of refrigerator with a compression type refrigerator demonstrates that the former has some advantages in respect of industrial waste heat utilization and energy saving.

Key words: waste heat, ice making, performance and variation relationship, economic results