

## 溴化锂吸收式制冷技术在聚酯生产工艺的节能应用

谭越

乐金空调(山东)有限公司, 山东 青岛 266109

**[摘要]**文中介绍了溴化锂吸收式制冷技术的工作原理以及溴化锂制冷机的产品优势,将该技术应用于化纤生产工艺中,可充分利用化纤聚酯生产工艺过程的酯化蒸汽,制取聚酯工艺冷却、喷丝冷却车间等工艺需要的冷水,实现余热利用,节能高效目的。文中结合实际案例对酯化蒸汽采用间接利用与直接利用两种节能方案,通过与传统电驱动制冷机方案对比,采用溴化锂吸收式制冷技术的节能方案收益性明显,投资回收期短,对同行业在节能减排、余热利用等方面具有重要的参考意义。

**[关键词]**酯化蒸汽; 溴化锂; 余热利用; 节能

DOI: 10.33142/ec.v5i3.5496

中图分类号: TQ113.29

文献标识码: A

### Energy Saving Application of Lithium Bromide Absorption Refrigeration Technology in Polyester Production Process

TAN Yue

LG Air Conditioning (Shandong) Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266109, China

**Abstract:** This paper introduces the working principle of lithium bromide absorption refrigeration technology and the product advantages of lithium bromide refrigerator. Applying this technology to the chemical fiber polyester production process can make full use of the esterification steam in the chemical fiber polyester production process to produce the cold water required by polyester process cooling and spinning cooling workshop, so as to realize the purpose of waste heat utilization, energy saving and high efficiency. Combined with practical cases, two energy-saving schemes of indirect utilization and direct utilization are adopted for esterification steam. Compared with the scheme of traditional electric driven refrigerator, the energy-saving scheme using lithium bromide absorption refrigeration technology has obvious profitability and short investment payback period, which has important reference significance for the same industry in energy conservation, emission reduction and waste heat utilization.

**Keywords:** esterification steam; lithium bromide; waste heat utilization; energy conservation

#### 1 背景

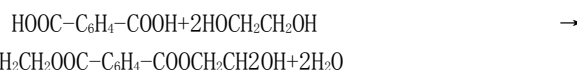
化学纤维是用天然高分子化合物或人工合成的高分子化合物为原料,经过制备纺丝原液、纺丝和后处理等工序制得的具有纺织性能的纤维,广泛用于制造衣着织物、滤布、绳索、渔网、电绝缘线、医疗缝线、轮胎等。近年来,我国化纤工业持续快速发展,2020年化纤产量突破了6000万吨,占全球比重超过70%<sup>[1]</sup>,其中聚酯涤纶是我国最大的化纤品种,其产量占到了化纤产量的近80%的市场份额<sup>[2]</sup>,因此聚酯系列的市场变化和发展趋势是化纤行业关注的重点。

“十四五”期间,在绿色发展和双碳目标的引领下,化纤行业承担着绿色制造、保护生态的社会责任,同时也独立承担着提高纤维制品循环再利用水平,降低行业企业碳排放的重要使命。

在聚酯生产加工工序中,存在高温高压、液体和气体相变转化,有着丰富的余热资源。目前,聚酯工艺路线有直接酯化法(PTA法)和酯交换法(DMT法)。其中,PTA法具有原料消耗低、反应时间短等优势,自80年代起已成为聚酯的主要工艺和首选技术路线。乙二醇为聚酯生产的原材料之一,与对苯二甲酸反应生成聚酯,在直接酯化法

连续缩聚路线中,必须不断的将乙二醇分离塔产生的大量酯化蒸汽排出,才能保证酯化反应持续进行,混合蒸汽经工艺塔分离之后,经塔顶冷凝器冷却,热量被循环冷却水带走,造成能源热量的浪费<sup>[3]</sup>。排放的酯化蒸汽温度为低压饱和蒸汽,蒸汽温度在100℃左右,可以作为溴化锂吸收式制冷机的热源,通过制取冷水,满足用户用冷需求。

苯二甲酸与乙二醇的酯化反应化学式:



#### 2 溴化锂吸收式制冷技术简介

吸收式制冷技术主要是利用某些具有特殊性质的工质,通过一种物质对另一种物质的吸收和释放,产生物质的状态变化循环往复,从而伴随吸收热量和释放热量过程。吸收式制冷机由发生器、冷凝器、蒸发器、吸收器、溶液泵、冷剂泵、节流阀等部件组成。

常见的吸收式制冷机有氨水吸收式以及溴化锂吸收式两种。与采用电驱动离心压缩式制冷系统不同,吸收式制冷技术可利用采用低品位热源的热能直接驱动,运行成本远低于电驱动系统。吸收式系统多采用H<sub>2</sub>O-LiBr溶液、NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O溶液等自然工质作为制冷剂,具有环境友好特性,同

时具有安全、可无噪音运行、可靠性高、经济性能好等显著优点<sup>[4]</sup>。经过几十年的发展,吸收式制冷机在余热利用、总能系统和区域集中供热供冷方面得到了进一步的推广应用。

吸收式溴化锂制冷技术的其制冷剂为水,吸收剂为溴化锂水溶液,溴化锂溶液作为一种广泛应用的吸收式制冷工质,其 ODP, GWP 均为零,是一种环保型工质,并具有优良的热力学性能<sup>[5]</sup>。相对于氨水吸收式制冷机,溴化锂机组在安全性能、热效率、应用范围等方面更有优势,广泛应用于热电厂、石油化工、化肥厂等行业领域。

根据余热利用的热源类型不同,溴化锂吸收式机组常见有热水型以及蒸汽型两种类型。现以热水型溴化锂机组为例,简述溴化锂吸收式机组工作原理,主要分为内部循环以及外部水系统循环。其中,内部溴化锂溶液以及冷剂水-蒸汽循环<sup>[6]</sup>主要流程如下:

溴化锂浓溶液在吸收器内吸收蒸发器产生的冷剂蒸汽,溶液浓度变稀,成为稀溶液。稀溶液在溶液泵的驱动作用下,经过溶液热交换器的加热升温后,送至发生器内通过换热管内的热水加热,成为高温浓溶液,产生大量的高温冷剂蒸汽,成为浓溶液,浓溶液经溶液热交换器与来自吸收器的稀溶液换热后,进入吸收器喷淋,从而往复完成溶液循环。

发生器内产生的冷剂蒸汽进入冷凝器内被冷却水冷却,成为低温冷剂水。冷剂水经减压节流装置后进入蒸发器,经过冷剂泵的驱动,低温冷剂水吸收来自用户的冷媒水的热量,使冷媒水温度降低,制取冷水;同时,蒸发器内部的冷剂水蒸发成冷剂蒸汽,经挡液板进入吸收器与上述浓溶液,完成冷剂循环过程。

溴化锂外部循环主要包括三部分:(1)经过蒸发器的冷水系统,在冷剂蒸汽相变过程,换热管内部的冷水热量冷却,从而实现制取 7℃ 的冷水。(2)冷却水系统主要吸收利用机组内部吸收器以及冷凝器的热量,通过冷却塔降温后再进入吸收器、冷凝器往复循环。(3)热源系统,主要提供热水,促使溶液浓度变化,实现内部循环动力。

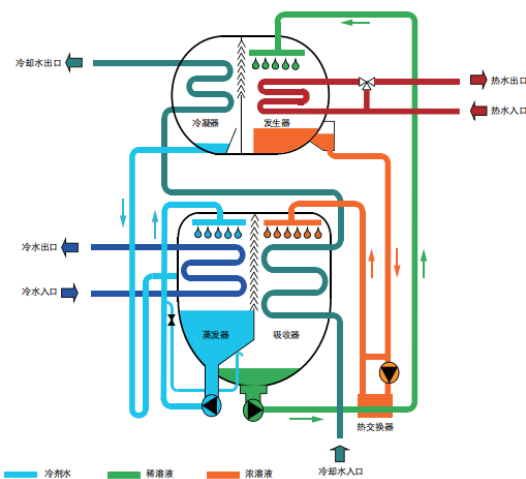


图1 热水型溴化锂吸收式制冷机循环原理图

### 3 案例应用

已知某化工厂乙二醇分离塔产生的低压饱和酯化蒸汽,其温度为 102℃,压力约 0.012MPa,流量 15789kg/h,主要成分有水蒸气 97.33%,乙二醇 0.5%,乙醛 0.9%,其他有机物(乙醚、乙酸、环状烷烃等)1.27%,PH 值约为 3.8,呈酸性,其汽化潜热约为 2608 KJ/kg。根据已知流量以及热值,通过计算可得,这部分酯化蒸汽的总热量为 11435kW。

传统方式为采用冷却水进行降温处理,关于喷丝冷却车间等工艺冷量采用电驱动离心压缩式制冷系统。现通过采用吸收式溴化锂制冷技术,可充分利用酯化反应过程中产生的蒸汽废热,可以获得冷水,满足工艺生产或者舒适性需求。对于这部分热量的利用,吸收式溴化锂制冷技术有直接利用以及间接利用两种方式,这两种方式的相关技术对比如表 1 所示。

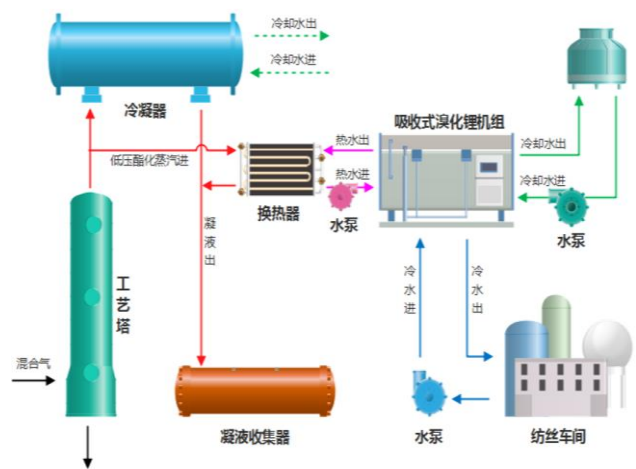


图2 间接利用酯化蒸汽的工艺流程图

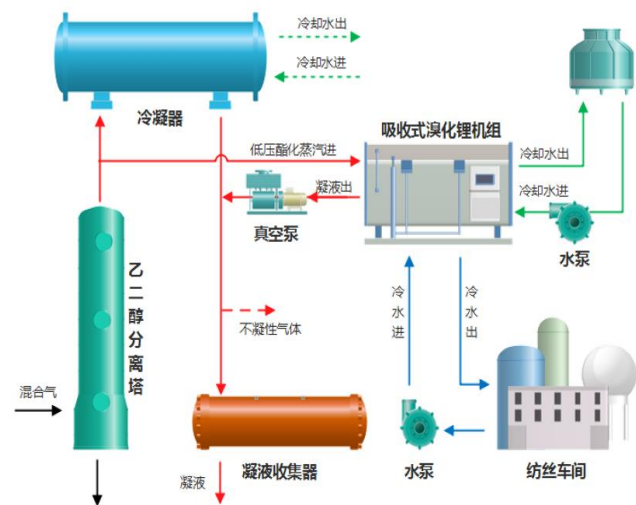


图3 直接利用酯化蒸汽的工艺流程图

表 1 直接利用和间接利用技术方案对比

对比	直接利用	间接利用
设备类型	低压蒸汽型溴化锂吸收式制冷机	可拆卸式换热器+热水型溴化锂吸收式制冷机
换热器设计	<p>设备少，流程简单，热效率高。水蒸气中夹杂少量酯化聚合物，可能会造成传热管堵塞，PH值酸性，对于发生器要求高，需要特殊设计，方案如下：</p> <p>(1) 酯化蒸汽所接触发生器管板、水室材质采用复合板 Q345R+S31603</p> <p>(2) 发生器换热管材质采用 S31603</p> <p>(3) 在蒸汽管路中追加过滤器，对相关杂质进行过滤，从而有效降低阻塞风险</p>	<p>系统换热器采用可拆卸，对于酯化蒸汽侧附带的杂质，可方便拆卸、清洗；制取的热不会阻塞传热管，虽然热水回收后温度降低，余热利用率低，但可以直接采用标准常规溴化锂制冷机，热水管路系统增加水泵提供循环动力。</p>
管路系统布置	<p>酯化蒸汽压力较低，不适合长距离输送，为使酯化蒸汽克服在设备内的流动阻力，实现凝结水以及不凝性气体排出，系统管路需配合，凝结水的排放方式为低于制冷设备凝结水出口的高度，设置凝结水箱，并具备水封功能，并增加一台水环真空泵，从而实现凝结水排放以及蒸汽内部不凝气体的收集。</p> <p>关于机组布置位置，需要将溴化锂制冷机放置在距离酯化蒸汽分离设备较近的地方，也就是厂房顶部区域。</p>	<p>只需将热水换热器放置在酯化蒸汽分离设备所处车间的任何位置，整体土建安装成本低，布置较为灵活。</p>

#### 4 经济分析

结合上述酯化蒸汽的间接利用以及直接利用两种方案，同传统离心压缩式制冷机进行对比分析。这部分酯化蒸汽的总热量以及参考单效制冷机 COP 一般取 0.7 计算，利用这部分酯化蒸汽，溴化锂吸收式制冷机可提供的总制冷量 8000 KW。通过制冷机型号确定，建议采用 2 台热水型或者蒸汽型溴化锂吸收式机组。传统方案采用离心压缩式制冷机 COP 在 5.8 左右，相同冷量下单台需要耗电约为 690KW。该酯化工艺的年运行时间为 8000 小时/年，负荷系数 0.8，电价按照 1 元/度，相关参数按照以上数据，单台溴化锂吸收式制冷机的经济分析如表 2 所示。

其中计算公式参考如下：

①传统离心机运行费用=输入功率\*每小时电价\*全年运行时间\*负荷系数=690\*1\*8000\*0.8=442 万元

②节能方案初投资包含溴化锂机组，辅助设备可拆卸

式板换、水泵等材料费用以及安装人工费。

③溴化锂制冷机电力运行费用=溴化锂机组耗电功率\*每小时电价\*全年运行时间\*负荷系数=21.6\*1\*8000h\*0.8=14 万元

④净收益=传统离心机运行费用-单台溴化锂制冷机电力运行费用=442-14=428 万元

⑤投资回收期=节能方案出投资/净收益

通过对酯化蒸汽的间接利用以及直接利用方案的经济性分析，节能应用方案净收益明显，2 年内即可回收相关投资费用。虽然间接利用回收期略长一点，但考虑后期酯化蒸汽利用制冷机、附属设备的维护以及采暖季可利用该蒸汽采暖，建议间接利用方案更有推广性。

表 2 单台溴化锂节能收益性分析

项目	节能方案一 间接利用	节能方案二 直接利用
传统离心机运行费用（万元）	442	442
节能方案初投资（万元）	500	475
溴化锂制冷机电力运行费用（万元）	14	14
净收益（万元）	428	428
投资回收期（年）	1.2	1.1

#### 5 结束语

采用溴化锂吸收式制冷技术对传统化纤生产工艺的节能改造，充分利用酯化蒸汽的热量，节能高效，为实现“双碳”目标提供技术应用方案，为后期同行业其他工艺的余热利用提供了节能应用案例。

#### [参考文献]

[1] 宁翠娟. 纺织新材料创新路径[J]. 纺织科学研究, 2021(6): 28-35.

[2] 郭春花. 推动化纤实体行业 and 资本市场有效深度融合中国聚酯涤纶行业运行及金融机构交流会(辽阳高新 2020) 举办[J]. 纺织服装周刊, 2020(3): 28-29.

[3] 张建, 李潇玮. 聚酯酯化蒸汽余热的合理利用与经济效益分析[J]. 聚酯工业, 2020, 33(2): 10-12.

[4] 陈光明, 石玉琦. 吸收式制冷(热泵)循环流程研究进展[J]. 制冷学报, 2017, 38(4): 1-22.

[5] 杨磊, 李华山, 陆振能, 等. 溴化锂吸收式制冷技术研究进展[J]. 新能源进展, 2019, 7(6): 532-541.

[6] 戴永庆. 溴化锂吸收式制冷技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.

作者简介: 谭越 (1988.11-), 山东省临朐县人, 汉族, 本科学历, 乐金空调(山东)有限公司工程师, 从事中央空调的开发设计工作。