

热能压缩机在硫磷生产热平衡系统中的应用

环境保护部南京环境科学研究所 阎尔平

江苏中建南京工程设计有限公司 花序

【摘要】主要介绍了在化工生产中，Y型热力压缩机在热能产出与耗用之间如何建立最有效最经济的平衡网络系统中的应用。结合工程生产实例提供采用热力压缩低压蒸汽回用，高效闪蒸及余热制冷，建立换热网络，降低生产能耗，使其蒸汽能量品位和数量都得到合理的使用。

【关键词】热平衡网络，热力压缩机，低压蒸汽回用、高效蒸发、余热制冷

江苏中建南京工程设计有限公司在承接湖北某企业进行1000MTPD硫酸项目的工程设计过程中发现，该企业硫酸项目作为蒸汽热能的输出装置，汽源压力等级较多，相对于该企业其它（例如湿法磷酸装置，磷酸浓缩装置，精制磷酸装置，复合肥装置，工业一铵装置，石膏板建材装置等）用汽装置出现了蒸汽等级杂乱不匹配，热能损耗大，全厂热能难以平衡，生产调度协调困难，不得不使用燃煤锅炉供热的状况。

针对上述状况，江苏中建南京工程设计有限公司与环境保护部南京环境科学研究所联合组成专题科研组，研发的Y型热力压缩机并将其应用在供汽与用汽的热平衡系统中，有效的解决了产汽等级不统一，用汽规格繁多及生产过程中间接换热，大量副产蒸汽无法使用导致热能损耗等难题，在解决了热能平衡，各工艺系统平稳的问题的同时，大大降低了生产管理成本。本文分析和论述采用专门设计的热力压缩供热技术进行蒸汽供热系统梯级优化和能量平衡，实现高效节能。

1. 能量系统的转换原理

1.1 能量的品位

能量是物质的基本特性参数，它表示物质所具有的做功能力。热力学第一定律说明了不同形式的能量可以转换，但在转换过程中数量守恒，热力学第二定律指出，能量除了有量的多少外，还有品位的高低，不同品位的能量转变为功的能力不同。 μ 表示热力系统中物质在任意状态下相对于环境零态（dead state）所具有的最大做功能力。 $\mu_{\text{死}}$ 表示物质所具有的总能中，相对于环境零态，不可转变为技术功部分。根据 μ 的定义，对于开口系物质所具的比 μ 为：

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (1)$$

根据火用的定义，物质流的物理火用为：

$$e = h - e = h_0 + T_0(s - s_0) \quad (2)$$

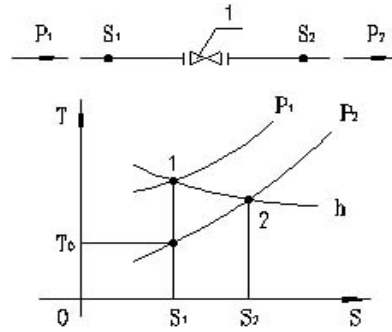


图 1

1-减压阀

火用的概念是建立在热力学第一定律和第二定律基础上的热力参数，它表示能量在给定的环境条件下 (P_0 、 T_0 及其它参数)，所能产生的最大有用功。它既可以表示能量的数量，又可以表示能量的品位及其可利用程度，火用的单位与焓的单位相同。在实际能量转换过程中，火用只会减少，不会守恒。

高品位蒸汽具有较高的值，应该避免在能量转换过程中有效能的无效贬值，即减少能量转换过程中的不可逆过程。

1.2 常规热力系统蒸汽节流减压的能量损失

在常规热力系统的设计运行中，通常采用阀门进行节流减压。采用阀门利用其阻力特性控制调节生产用汽设备的用汽压力及用汽量的方法均称为蒸汽节流减压，它是对外界不作功的熵增等焓过程，蒸汽在节流减压过程中，由于摩擦、涡流使大量有规则运动的分子变为无序运动，产生耗散功，导致熵的增加，致使蒸汽能量产生无形的损失。（见图 1）

从热力学第一定律热效率观点分析，蒸汽节流减压前后焓值相等即 $h_2 = h_1$ ，反应不出能量的损失。但是，熵的增加反映了在孤立的热力系统中，能量产生变质，无疑这是能量的无效贬值和用能的浪费。蒸汽节流减压前后的损失，可以表达为：

$$e_{x1} - e_{x2} = T_0((s_2 - s_1)) \quad (3)$$

目前蒸汽节流减压仍然是传统的供热模式，各工业企业普遍采用的调节蒸汽压力的方法，通过减压阀将高品位蒸汽节流减压得到所需要的用汽参数，致使能量贬值，这是能量的无形损失，同时由热力系统通过疏水器排出的蒸汽冷凝水夹带大量二次蒸发汽，排放到大气中，造成能量浪费。这是能量的有形损失。

可以建立新的热力压缩机供热系统替代上述传统供热模式，减少蒸汽在节流减压过程中造成的能量贬值。采用热力压缩机回收蒸汽冷凝水系统中产生的二次蒸发汽，将其增压并入热力系统供生产用汽。从而解决能量的有形损失和无形损失。

2. 热力压缩机

专门研发的 Y 型热力压缩机可以替代蒸汽节流式减压，利用高品位蒸汽能量将二次蒸发汽压力提高至设定值，同新蒸汽一并供给热用户用汽。

高品位工作蒸汽压缩低品位蒸汽的能力，用引射系数 μ 来表示。它等于被压缩的低压流体和高品位工作流体的重量比，表示单位质量的高品位工作流体压缩低品位流体的能力。

$$\mu = G_L / G_p \quad (4)$$

通过热力压缩机循环供给热用户的能量增加的倍数，称为供热系数 COP。供热系数可以表示为：

$$\text{COP} = (\mu h_L + h_p) / h_p \quad (5)$$

国外引进和大型化工装置中，较为普遍的采用工业透平实现热能的梯级利用。采用 Y 型热力压缩机用于工业热力系统中，实现热能的梯级利用和能量平衡尚为罕见。可压缩流体蒸汽在 Y 型热力压缩机中的运动是十分复杂的传热、传质过程。但是，它可以按流体的热力参数及流量工况进行非定型设计，灵活地用于热力系统中。Y 型热力压缩机，可以按用户生产工艺特点、新蒸汽的压力及能量品位、不同的新蒸汽压力和工艺参数进行专门设计，使其在热力系统中高效运行。

3. 某企业原全厂蒸汽供需平衡状况（见图 1）

图 1 原全厂蒸汽供需图

3.1 副产蒸汽量大，能量品位高

该企业硫酸装置副产蒸汽量 90-100t/h，其压力分别为 0.5MPa、1.0MPa 及 3.82MPa（450℃）三个压力等级，其中 3.82MPa（450℃）付产蒸汽约占 50%以上，副产蒸汽数量大、压力较高是其最大的特点。

3.2 生产设备用汽量大

通常超过 100t/h，并且用汽压力等级较多，通常有 1.0MPa，0.80MPa，0.60MPa 及 0.20MPa 四种蒸汽压力等级蒸汽，因为用汽压力等级较多，有利于实现蒸汽热能梯级供热。

3.3 低压蒸汽用能比例大

根据企业统计， $P=0.20\text{MPa}$ 压力等级蒸汽用量占全部用汽量 60%以上，为避免在生产过程中采用蒸汽节流减压方式提供 $P=0.20\text{MPa}$ 压力等级蒸汽，而造成蒸汽能量转换过程中有效能的无效贬值，故采用了热力压缩机供热方案，同时可以充分回收利用蒸汽冷凝水系统产生的二次蒸发汽。

3.4 余热制冷有利于蒸汽能量平衡

磷酸精制过程需要提供 $+10^{\circ}\text{C}$ 冷冻水，可以采用溴化锂吸收余热制冷，但该企业在生产过程中产生了大量的高温冷凝水，如将成品蒸汽用于溴化锂吸收式制冷显然是不合理的，这是热能转换中的浪费。为了充分利用蒸汽冷凝水的余热。采用热水型溴化锂吸收式制冷机供应冷冻水是较为合理的供冷方式，可以将其工业生产设备排出的蒸汽冷凝水余热做为单效溴化锂吸收制冷的热源。

4. 某企业采用热力压缩机后蒸汽供需平衡系统(见图 2)

本项目可以采用热力压缩机供热、高效蒸发及余热制冷共三个热力单元组成。论述如下：

4.1 JC-101 供热系统

热用户 1 耗用 $P=1.0\text{MPa}$ 蒸汽，可以由 $P=1.0\text{MPa}$ 蒸汽直供，设备排出的蒸汽冷凝水进入专门设计的高效闪蒸罐 V101，通过热力压缩机 JC-101 将蒸汽冷凝水系统产生的二次蒸发汽增压后供 $P=0.60\text{MPa}$ 蒸汽的热用户 2。

4.2 高效闪蒸系统

高效闪蒸罐 V101 及热用户 4 排出的蒸汽冷凝水，直接在 V201 进行高效扩容闪蒸，产生二次蒸发汽并入低压蒸汽管网，供低压蒸汽用户 5 生产用汽。

4.3 JC-201 供热系统

高效闪蒸罐 V201 及低压工艺用汽设备排出的蒸汽冷凝水先后进入高效闪蒸罐 V202 及 V203 依序进行两级扩容闪蒸，产生的二次蒸发汽由热力压缩机 JC-201、JC-202 增压后并入低压蒸汽管网供低压蒸汽热用户 5 生产用汽。

4.4 蒸汽冷凝水余热制冷

由高效闪蒸罐 V203 排出的蒸汽冷凝水全部用于余热制冷，在本设计中，将热力压缩机供热及余热制冷作为整体设计，便于操作，效果显著。

按上述生产装置计算，热水进出蒸汽发生器温度分别为 95°C ， 75°C ，冷冻水进出蒸发器温度为 $13\sim 8^{\circ}\text{C}$ ，制冷量约为 $15 \times 10^5\text{Kcal/h}$ ，采用同蒸汽型溴化锂吸收式制冷相比，将节省低压蒸汽约 4t/h 。

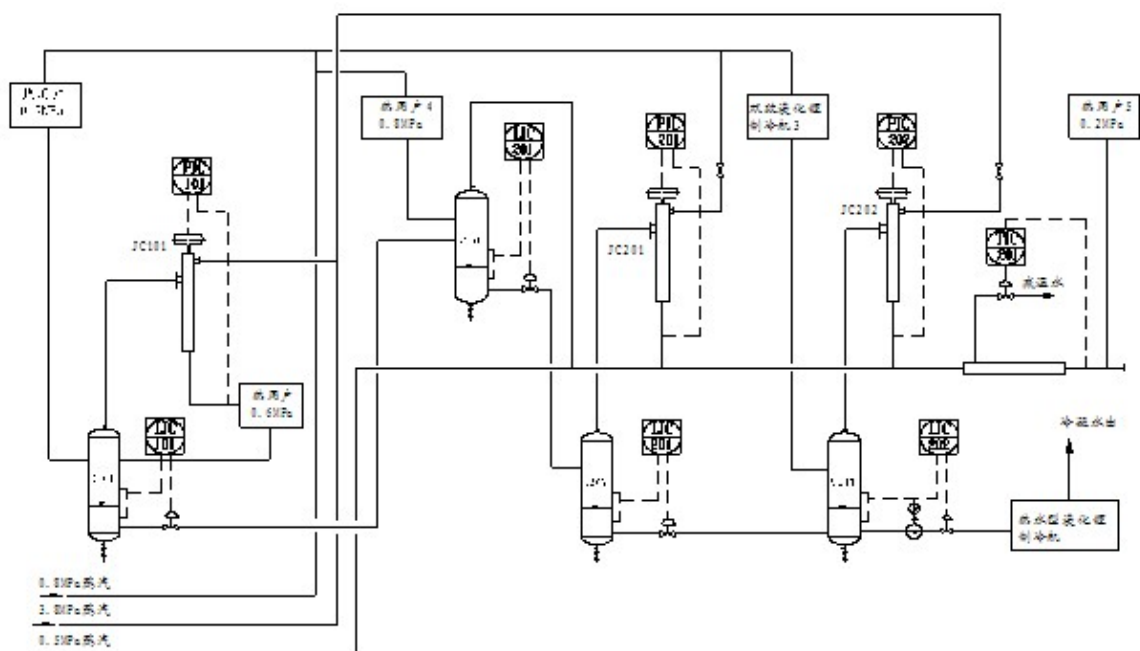


图 2 采用 Y 型热力压缩机供热系统平衡图

5. 效益分析

采用热力压缩机供热系统后,该企业年节约用汽约 70Kt 蒸汽(蒸汽按市场价 200 元/吨),年节约成本约合 1400 万元。采用我们具有自主技术产权的专利技术和专门设计的热力压缩机供热及余热制冷系统,运行可靠,经济效益显著,投入生产运行后,其节汽量占总用汽量 5~10%,预计在一年以内投资就可以全部收回。

6、结论

热力压缩机供热及余热制冷在化工生产热平衡中的应用,不仅降低企业生产成本,提高装置开车率,增加装置之间开停车可协调率,更为我国迈向“资源节约型”“环境友好型”社会作出重要贡献。

【作者简介】

阎尔平(1937-),男,满族,吉林省吉林市人,国家环境保护部南京环境科学研究所研究员,中共党员,享受国务院颁发的政府特殊津贴。主要从事工业节能,工业企业清洁生产,能源综合利用和环境保护技术方向研究工作。

花序(1971-),男,汉族,江苏省南京市人,现任江苏中建南京工程设计有限公司总经理。主要从事硫磷设计,新技术研发推广等管理工作。

E-mail: hua@JSZJNJ.com 025-58392633、13951000005