

生物制药行业闪蒸气回收的技术分析

刘海洋 颜世天 刘琦峰 孟凡影 杨丽艳

长春生物制品研究所有限责任公司 吉林长春 130000

【摘要】在新时代背景下，我国洁净制药行业发展迅猛，GMP 等行业规范要求不断提高，蒸汽作为主要的能耗，不少企业还存在诸多的浪费，造成大量的能耗损失。本文结合生物制药行业的特点，深入剖析蒸汽使用后凝结水和闪蒸气的回收技术，旨在为制药行业的可持续发展和降本增效提供有力参考。

【关键词】蒸汽系统；闪蒸气回收；凝结水；换热器；凝结水回收装置

引言：

随着生物制药行业的蓬勃发展，对生产过程中的能源利用效率和环保要求日益严苛。蒸汽作为生物制药生产中广泛应用的能源载体，其消耗在企业能耗中占据显著比例。然而，当前生物制药企业在蒸汽系统运行过程中，普遍存在蒸汽凝结水和闪蒸气未充分回收利用的情况，不仅造成了能源的极大浪费，还增加了企业的生产成本，对环境也产生了一定的负面影响。深入研究并有效实施蒸汽凝结水及闪蒸气的回收技术，对于生物制药企业实现节能减排、提升经济效益以及践行绿色发展理念具有至关重要的意义。

1 生物制药行业蒸汽系统运行现状分析

1.1 疏水阀选型问题

1.1.1 目前施工方技术人员水平不一，疏水阀选型常出现错误。不少施工方仅依据管径来选择疏水阀，而实际上，蒸汽压力、凝结水排量、安装位置以及背压大小等众多参数，都是疏水阀正确选型的关键因素。

1.1.2 在部分生物制药企业，像高压灭菌柜、配液罐等工艺设备的使用人员，由于对蒸汽系统知识掌握不足，担心影响设备正常运行，便不用疏水阀，而是用手阀替代。他们在设备使用前，提前打开手阀排掉凝结水，然后再开启设备。这种操作方式导致了蒸汽的严重浪费。

1.1.3 在东北地区，冬季空调系统新风预热的蒸汽用量较大，且冬季盘管频繁出现冻裂现象，蒸气凝结水排放不畅常被归咎于此。为避免盘管再次冻裂，多数空调系统新风预热的蒸汽疏水阀都开启旁通，这无疑造成了大量的蒸汽浪费。

1.2 凝结水回收问题

在凝结水回收方面，多数生物制药工厂已认识到蒸气凝结水的价值，几乎都安装了凝结水回收装置。但存在的问题是，绝大部分回收的凝结水仅应用于制水间及空调系统，而工艺设备处的凝结水却未被回收。企业往往认为这是为了确保工艺凝结水正常排放，避免回收导致凝结水排放背压过大。但实际上，直接将凝结水排到室外与回收到罐的背压是相同的。

1.3 闪蒸气浪费现象

目前，生物制药企业对闪蒸气的回收利用极为有限，基本都是直接排放。由于疏水阀选型不当、未使用疏水阀或开启旁通等原因，导致大量“闪蒸气”夹杂着蒸汽喷出，造成了严重的资源浪费，并且对整个厂区的环境产生不良影响。闪蒸气会侵蚀建筑物的防水层和外立面，缩短建筑物的使用寿命（图1）。本文章主要针对东北地区生物制药厂房运行特点，制定方案解决闪蒸气回收的问题。



图1

2 闪蒸气回收关键技术研究

2.1 闪蒸气产生的原因

闪蒸气的产生源于液体所处压力的突然降低。当处于较高压力状态下的液体，如高压蒸汽冷凝水，因通过减压阀、进入压力较低的容器等因素，压力急剧下降。此时，液体温度超过其在新压力下的沸点，处于过热状态。但这种过热状态不稳定，液体迅速自发地释放多余能量，其中一部分液体瞬间汽化成蒸汽，这些在压力骤降瞬间产生的蒸汽即为闪蒸气。

2.2 闪蒸气的产量

以 0.3MPa 环境下 100kg 的蒸汽为例，从水蒸气热力性质表中可查得，0.3MPa 下饱和水的焓值 h_1 约为 561.4kJ/kg，常压（0.1MPa）下饱和水的焓值 h_2 约为 417.5kJ/kg，常压下饱和蒸汽的焓值 h_v 约 2675.7kJ/kg。根据能量守恒定律，100kg 的蒸汽凝结水从 0.3MPa 释放到常压时，设产生闪蒸气的质量为 m_v ，剩余饱和水的质量为 $m_w = 100 - m_v$ ，则有 $100 \times h_1 = m_v \times h_v + m_w \times h_2$ ，即 $100 \times 561.4 = m_v \times 2675.7 + (100 - m_v) \times 417.5$ 。通过计算可得 $m_v \approx 6.38\text{kg}$ ，所以 100kg 的 0.3MPa 蒸汽凝结水释放到常压情况下所产生的闪蒸气的量约为 6.38kg。在理想状态下，闪蒸气占蒸汽耗量约 6.4%，但实际由于多种因素影响，该数值可能会达到 15% 左右。

2.3 闪蒸气的特点

闪蒸气具有以下特性：

2.3.1 产生量不稳定。其生成量取决于液体初始压力、温度以及压力降低速率等多种因素，这些因素稍有变动，闪蒸气生成量就会出现较大波动。

2.3.2 品质相对较差。由于闪蒸气在压力骤降瞬间快速

形成，会携带较多杂质和水分，导致纯净度较低。

2.3.3 具有可利用性。尽管闪蒸气存在上述特性，但其仍蕴含一定能量，可通过合适技术手段进行回收利用，如用于预热等操作，以提高能源利用效率。

3 闪蒸气回收解决方案

本方案结合生物制药厂房和东北地区气候特点进行设计，旨在以最小投资实现最大程度的能源回收利用，具体方案如下：

首先，通过凝结水回收装置收集整个厂房产生的凝结水。可根据实际情况选择将凝结水回收到锅炉房，或者排放到降温池。若排放到降温池，设备可不设置凝结水泵，而是通过溢流方式将凝结水自然流到室外降温池。

若既有部分凝结水需要回收至锅炉房，又有部分凝结水直接排放至降温池，这样可设置两个凝结水回收罐，同时将两个大气联通管（闪蒸气排放口）连接到一起，并安装换热器。此换热器应确保不影响罐体内压力，以保证凝结水排放处于正常背压状态，目前市场上已有成熟的此类换热器产品。（见图2）

3.1 冬季运行模式

冬季，东北地区需要使用采暖系统。在此模式下，在采暖系统回收管上接三通，并通过换热器先利用闪蒸气对采暖回水进行预热，然后再经过采暖换热器加热后供出。此方案在东北地区已相对成熟。具体操作如下：如图2，关闭 α_1 和 α_2 阀门，关闭温控系统，开启 β_1 、 β_2 和 α_3 阀门。采暖回水先进入闪蒸气换热器进行预热，之后再进入采暖换热器，以此减少采暖换热器蒸汽用量，同时热水

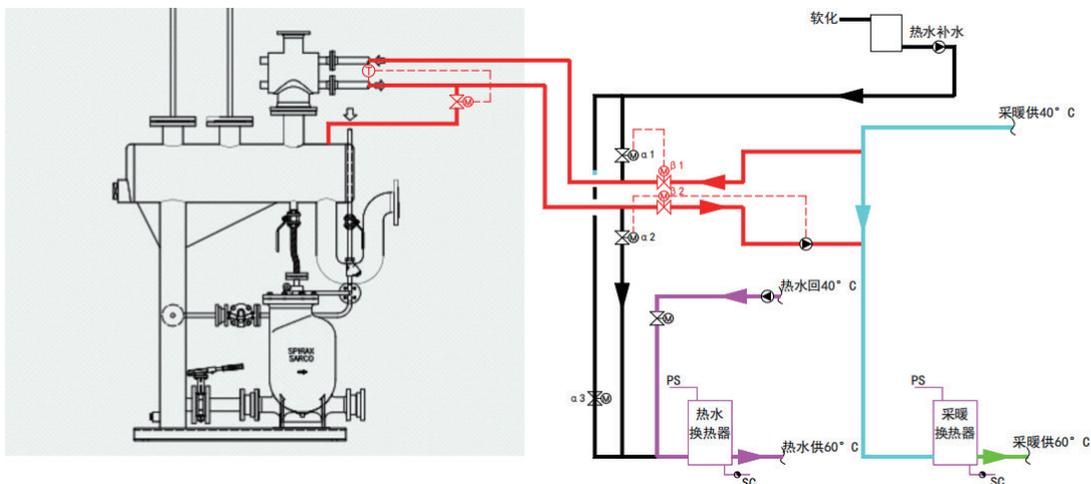


图2

系统正常运行。

3.2 夏季运行模式

夏季,采暖系统停止运行,此时采用热水系统进行闪蒸气热回收。热水系统本身为循环系统,使用点用水时需要向热水系统补充软化水。利用闪蒸气换热器将热水补水预热后,再进入热水循环系统。具体操作如下:如图2,开启 $\alpha 1$ 和 $\alpha 2$ 阀门,开启温控系统,关闭 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 和 $\alpha 3$ 阀门。热水补水先经过闪蒸气换热器预热,然后进入热水循环系统,以减少热水换热的蒸汽耗量。

3.3 温控系统作用

冬季东北地区采暖能耗需求较大,因此闪蒸气的热量全部回收也不足以满足加热要求,因此不存在闪蒸气过剩的问题。但需要注意的是,夏季运行时,热水系统并非稳定的热源需求系统。基于此方案中设置了温感控制系统。当检测到闪蒸气换热器出口温度过高(80°C)时,说明热水系统补水需求量较少。此时,需要通过温控阀门控制电动阀开启,将温度较高的软化水排放到凝结水回收罐内,然后再通过凝结水泵输送到锅炉房重新利用。

通过实施该方案,能够有效回收生物制药企业生产过程中产生的闪蒸气,将其能量充分利用于冬季采暖和夏季热水供应等环节,彻底杜绝厂区“小白龙”情况,减少蒸汽消耗,降低企业能耗成本,同时减少对环境的热污染。此外,该方案具备良好的通用性,北方地区的其他行业同样能够借鉴此方案,开展闪蒸气回收工作。

4 结论

生物制药行业作为能源消耗较大的行业之一,在蒸汽系统运行过程中,对蒸汽凝结水和闪蒸气的有效回收利用具有巨大潜力。闪蒸气作为一种具有可利用价值的能源,虽然存在产生量不稳定、品质不高等特点,但通过合理的回收技术和方案设计,能够实现其能量的有效回收。本文所提出的结合生物制药厂房和东北地区气候特点的闪蒸气回收解决方案,具有投资小、能源回收效率高的优势,在冬季和夏季不同运行模式下,均能充分利用闪蒸气的热量,为企业节约能源成本。未来,随着技术的不断进步和创新,生物制药行业在蒸汽凝结水和闪蒸气回收领域有望取得更大突破,实现更加绿色、高效的生产模式。

参考文献:

- [1] 兰静. 蒸汽疏水阀的选型及蒸汽管道疏水量的计算[J]. 云南电力技术. 2009. 37.
- [2] 罗晖. 蒸汽疏水阀选型原则[J]. 化工设计. 2012. 22 (2).
- [3] 斯派莎克产品手册.
- [4] 施振球. 动力管道设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

作者简介:

刘海洋(1990.10.07-), 性别: 男, 籍贯: 吉林省辽源市, 目前为暖通工程师中级职称, 学士学位。主要研究方向为生物制药企业工程系统及工程设备维修保养和节能减排方向。