

# 制药厂区蒸汽凝结水回用研究

张攀攀

天俱时工程科技集团有限公司

**[摘要]** 制药厂区生产过程中会产生大量蒸汽凝结水, 将收集的蒸汽凝结水用于淋浴热水系统预热, 降温后的凝结水用于循环水补水, 可同时回收热量和水量, 提高了资源利用率, 达到节能和环保的目的。研究蒸汽凝结水回用系统的设计要点, 并分析系统运行问题以及影响因素。

**[关键词]** 蒸汽凝结水; 热水; 回用; 节能

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.510

## 1、概述

制药厂区换热器、反应釜等设备生产过程中需使用大量蒸汽, 并产生蒸汽凝结水, 这些凝结水温度可达90℃, 热量高且水质好, 具有很高的回收利用价值, 减少化石、电力能源的消耗及水的消耗, 对制药企业节能降耗、降低生产成本有极大的意义。按照过往经验, 大型化工厂内的锅炉设备通常可接收大部分的蒸汽凝结水, 但随着各地环保政策越来越严, 对新建厂区自建锅炉的要求越来越高, 部分厂区现有锅炉也面临拆除的风险, 医药厂区蒸汽越来越多的由市政蒸汽提供, 锅炉拆除后大量的冷凝水将无处消耗, 由于其温度高, 降温排放将造成水资源浪费和处理费用增加, 因此需要考虑新的回用方式。

制药厂区内通常设有集中淋浴系统, 人员众多, 对淋浴等生活热水需求量较大, 所需热能也很高, 且用水时间、用水量相对固定, 将蒸汽凝水用于淋浴热水系统预热, 降温后的凝结水用于循环水补水, 可同时回收蒸汽凝水的热量和水量。

## 2、可行性分析与系统设计

### 2.1 回用方式

凝结水的产生原理为蒸馏的过程, 水质类似蒸馏水, 在蒸汽和凝结水输送过程由于管道和设备腐蚀、被加热介质的泄漏可能会造成一定污染。因此, 凝结水水质较好, 通过一定预处理后, 水质可满足绝大多数场合的用水要求。根据项目各生产车间生产工艺的分析, 该药厂每个生产车间均有用蒸汽设备, 车间蒸汽凝结水通过管道收集至回收罐, 经过一定预处理, 汇总后可稳定提供约90℃的凝结水。

蒸汽凝结水回用可分为直接使用和间接使用, 直接使用将凝结水直接通入热水箱, 系统简单可直接利用凝结水, 效率也高, 可完全回收热量和凝结水, 但对水质要求高; 间接利用通过换热器进行热交换, 仅能利用凝结水中的部分热量, 系统复杂、效率较低, 但更卫生。根据当地热力公司提供资料, 结合本项目生产特点和文献资料分析, 本项目蒸汽凝结水的水质不符合现行《生活饮用水卫生标准》的要求, 考虑到后期设备、管道老化可能造成凝结水水质变差, 为保证淋浴水质, 建议采用间接利用的方式。

### 2.2 热量平衡分析

#### 2.2.1 耗热量

根据《建筑给水排水设计标准》GB50015-2019, 厂区淋浴热水系统按定时集中热水供应系统考虑, 主要设计参数通常有: 淋浴器数量、使用人数、用水点使用温度、冷水温度等, 计算得出耗热量、热水量。耗热量、热水量按如下公式计算:

$$(1) Q_h = \sum q_h C (t_{r1} - t_1) \rho_r n_o b_g C_r \quad (2) q_{rh} = Q_h / (t_{r2} - t_1) C \rho_r C_r$$

主要参数:  $Q_h$ —设计小时耗热量 (kJ/h);

$q_{rh}$ —设计小时热水量 (L/h);

$q_h$ —卫生器具热水用水定额 (L/h), 淋浴器通常为200~300L/h;

$t_{r1}$ —使用温度 (°C), 通常为37~40°C;

$t_{r2}$ —设计热水温度 (°C), 通常为55~60°C;

$t_1$ —冷水温度 (°C), 根据当地水温资料确定, 无资料可参《建筑给水排水设计标准》

$n_o$ —同类型卫生器具数;

$b_g$ —同类型卫生器具的同时使用百分数。

$C$ —水的比热 [kJ/(kg·°C)],  $C = 4.187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\rho_r$ —热水密度 (kg/L);

$C_\gamma$ —热水供应系统的热损失系数,  $C_\gamma = 1.10 \sim 1.15$ ;

#### 2.2.2 供热量

根据耗热量、产热量需求以及进出水温度要求, 计算关键设备—换热器的换热面积, 并分析蒸汽凝结水的供热量是否足够, 换热面积按如下公式计算:

$$(1) F_{jr} = C_r Q_h / (\varepsilon K \Delta t_j) \quad (2) \Delta t_j = (\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}) / \ln (\Delta t_{\max} / \Delta t_{\min})$$

$F_{jr}$ —水加热器的加热面积 (m<sup>2</sup>);

$K$ —传热系数 [kJ/(m<sup>2</sup>·°C·h)], 估算可取  $K = 2000 \sim 3000$ , 实际参厂家样本;

$\varepsilon$ —水垢和热媒分布不均匀影响传热效率的系数, 采用0.6~0.8;

$\Delta t_j$ —热媒与被加热水的计算温度差 (°C);  $\Delta t_{\max}$ —热媒与被加热水在换热器一端的最大温差 (°C);  $\Delta t_{\min}$ —热媒与被加热水在换热器另一端的最小温差 (°C);

根据蒸汽凝水的水量、温度及淋浴用热水量变化情况确定换热设备数量, 通常不少于2套, 以便检修或事故时仍可以低负荷运行。

蒸汽凝结水通常为连续产生, 水量相对平均, 但最大时供热量通常不能满足使用需求, 因此可考虑设置热水箱储存部分热水, 以弥补集中淋浴时段凝结水量不足。

### 2.3 系统设计

#### 2.3.1 制热流程设计

换热器选型设计原则是满足系统水量(热量)需要, 提供安全稳定的水温、水压。因此, 对于一次换热能使被加热水升至所需温度的蒸汽、热媒水为热媒时, 均宜采用导流型容积式、半容积式水加热器; 对于太阳能、热泵等低密度热源问接换热供水时, 很难(或很不合理)经一次换热将被加热水开至所需温度, 故宜采用板换、两端加循环泵配贮热水设施循环加热供水。由于厂区蒸汽凝结水量、水温均不是很稳定, 综合考虑间接利用方式优先采用板式换热器的方式制热。

热水系统预热设备和辅助加热设备采用串联方式, 通过

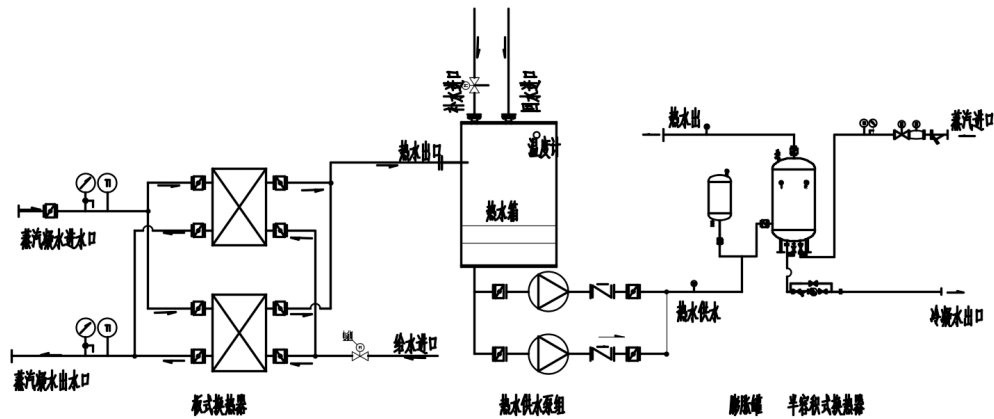


图1 热水系统设计流程

蒸汽凝水预热后的热水储存在热水箱中备用，水箱容积的选择原则为可保证在空闲时段将产生的热水储存起来，同时避免水箱过大增加初期投资及后期维护费用，通常可考虑储存一次淋浴用热水量。当水箱中的热水温度达到设定值时可直接供给淋浴用热水，若达不到设定值则经半容积式换热器进一步加热后供给淋浴用热水，热水系统设计流程见图1。

### 2.3.2 控制要求

在系统的冷水进水口设置电动阀，管路上设置温度监测，通过调整进水流量保证产水温度达到设计要求。当供水时段最大用水量超过热水箱的容积时，直接向热水箱补充冷水，然后通过半容积式换热器将水加热到设定温度，保证系统在任何情况下都能稳定运行、不断水，同时需控制冷水供水流量，防止热水箱中注入过量冷水，影响系统的后续使用，进水管设置电动阀门根据水箱水位调整补水量。

热水箱中设置温度监测，根据水箱中的温度自动控制辅助加热设备是否开启及其供热量，确保热水制备系统的出水温度能满足要求。辅助加热系统可自动控制出水温度。热水供水系统管路采用同程供水方式，供水泵兼循环泵，淋浴前定时开启循环，循环泵根据热水主管温度自动启停，保证热水管道内水温达标，且配水点水温不得高于50℃。

根据热水制热系统的蒸汽凝水水量、水温，冷水进出水温度，厂区生产制度等因素，通过系统中温度反馈，相应调整系统的电动阀开关、循环泵运行、蒸汽补充量等，使整个系统可以自动化运行，减少人员操作量，保证系统运行的可靠性。

### 2.3.3 水温、水质保证

热水箱和热水供水干管上均应考虑设置保温材料进行保温，提高热水使用效率，减少热量损耗。给水、热水管道在使用前必须进行冲洗和消毒，直到出水符合国家《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)方可使用。

热水系统刚运行或维修后，进行热力杀菌，即热水供水温度应升温至65℃，持续8h灭菌；或采用一周一次升温至70℃，持续时间2min灭菌。同时应在热水供水主管或水箱中设置消毒设施，保证热水水质，提高热水系统的卫生安全性。消毒灭菌装置可采用银离子消毒器或紫外光催化二氧化钛灭菌装置。银离子有持续消毒作用，有利于抑制生物膜的形成，适用于集中生活热水系统。

### 2.3.4 凝水回收

降温后的凝水水质较好，用于循环水补水，不但节约自来水用水，还可间接减少循环水系统排污量，具有良好的经济和环保效益。可根据厂区的具体布局、凝水水量、循环

水量等因素，将凝水补充至循环水池或直接接入循环水系统回水管路。

但回用到循环水补水需充分考虑补充凝水后对循环水pH值、钙硬度、碱度、水质日常控制和预膜作业的潜在影响，及时跟踪并调整方案，以保证循环水系统的运行稳定。

### 3、问题及关键因素分析

(1) 凝水水量、温度、水质。前期制定方案时，由于厂区通常还未建设运行，凝水参数可能不太准确，因此设计时供热量尽量考虑富裕，运行期间应定期监测、记录、分析凝水水量、温度，并根据具体运行结果适当调整系统运行方式，尽量最大化利用凝水余热。对凝水水质也应密切关注，防止设备、管道结垢、腐蚀，运行管理中注意监测水质，避免影响热水水质。

(2) 凝水收集方式。由于不同厂区凝水水量、产生部位、投资、节能等因素各不相同，需结合具体项目确定凝水是否收集回用以及具体收集方式，通常医药厂区凝水产量不稳定，但生产车间布置相对集中，因此汇总收集到一个凝水箱后用于淋浴用热水预热。凝水回用时还需综合分析储存、供给设施和管网投入以及回用可节省的费用等因素后确定具体设计方案。

(3) 由于缺乏蒸汽凝水利用方面的设计规范，凝水回用系统形式、设计参数及运行方式的合理性、经济性还有待验证，生产运行管理中需逐步总结经验。

### 4、结论

蒸汽凝水回用于淋浴热水预热需考虑到凝水来源不稳定、瞬时供热量小、持续供热量充足等特点，项目设计时要综合分析供、耗热量平衡，项目投资、运行费用，项目节省费用等多种因素后确定是否回用蒸汽凝水。充分回收利用凝水的热量，对制药企业生产运行具有重要的经济、环保、节能意义，根据不同的生产条件，分析凝水特点，探索不同的回用途径，是制药企业节能环保发展的一个重要方向。

### 参考文献

[1] 高凯. 蒸汽凝水回收用于生活热水系统的工程设计[J]. 工程建设, 2008(03): 35-38.  
 [2] 李舒扬. 蒸汽凝水余热作为生活热水系统热源的设计探讨[J]. 建筑知识: 学术刊, 2013(7): 2.  
 [3] 建筑给水排水设计标准 GB50015-2019  
 [4] 谢标林. 工业供热蒸汽凝水回收方案研究[J]. 科学技术创新, 2020(25): 149-151.