

# Application of Condensate Water Recovery Device

Dongjie Fu Lulu Leng Bingbing Zhang Lan Peng Yunyun Wan

Qingdao Bonard Machinery Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266108, China

## Abstract

Condensed water recovery device is a kind of high-efficiency and environmentally friendly equipment for recycling condensed water. It plays an important role in improving energy efficiency, reducing energy consumption and environmental pollution. This device has a wide range of applications, including industrial systems such as steam boilers, engines and flue gas treatment, air conditioning systems in commercial buildings, as well as air conditioners and refrigerators in residential buildings. The condensed water produced by these systems and equipment can be recycled by the device, so as to save water resources, reduce production costs and reduce environmental pollution.

## Keywords

Heat exchanger; High-temperature water pump; Condensate water

## 凝结水回收装置的应用

付栋杰 冷路路 张兵兵 彭兰 万云云

青岛博纳德机械科技有限公司, 中国·山东 青岛 266108

## 摘要

凝结水回收装置是高效环保的冷凝水回收利用设备, 可有效提升能源利用率、降低能耗并减少污染。该装置广泛应用于工业蒸汽锅炉、动力机组、烟气处理及商业与民用空调、制冷设备等领域, 通过回收冷凝水实现水资源节约、运行成本降低与环境效益提升。

## 关键词

换热器, 高温水泵, 冷凝水

## 1 引言

在现代工业生产体系中, 蒸汽作为一种应用极为广泛的热能载体, 在换热、加热、蒸馏、干燥、反应伴热等工艺环节中发挥着不可替代的作用。蒸汽在完成热能释放后, 会形成具有较高温度的凝结水, 这部分凝结水不仅水质优良, 还携带大量可回收的显热, 是极具利用价值的二次能源。然而, 在传统的开放式排放系统中, 大量高温凝结水被直接排放, 不仅造成了显著的能源浪费与水资源损耗, 还容易引发管网水击、设备腐蚀、现场环境恶劣等一系列问题。在此背景下, 凝结水回收装置凭借其高效、节能、稳定、环保等优势, 逐渐成为石化、化工、纺织、造纸、食品、医药等行业热力系统优化改造中的关键设备。

凝结水回收装置是一种专门用于高温凝结水收集、冷却、增压、输送及循环利用的集成化设备, 其设计核心在于在保证系统最佳加热与换热效果的前提下, 合理控制并改善水泵汽蚀性能, 平衡装置内部蒸汽量与压力分布, 最终实现

凝结水的全封闭、高效率、安全稳定回收。与传统开式回收方式相比, 全封闭回收能够有效避免凝结水与空气接触, 减少溶解氧进入系统, 降低管道与锅炉设备的氧化腐蚀风险, 同时最大限度保留凝结水携带的热量, 提高整体热能利用率。

该装置普遍采用智能化、多功能、全自动控制系统, 能够在无人值守的状态下长期稳定运行。其工作流程涵盖凝结水收集、过滤、冷却、稳压、增压、输送等多个环节, 通过对温度、压力、液位、流量等关键参数的实时监测与自动调节, 将原本可能被直接排放、造成浪费的高温凝结水进行系统化回收与再利用。整套装置结构紧凑、自动化程度高、运行噪音低、操作维护简便, 能够适应不同工况、不同压力等级下的凝结水回收需求, 是现代工业节能降耗、提高系统安全性、实现绿色生产的重要技术装备<sup>[4]</sup>。

## 2 设计目的及流程

### 2.1 设计目的

本文所介绍的凝结水回收装置, 主要应用于石化行业液态组分罐区。在石化生产过程中, 部分液态组分需要通过蒸汽加热维持适宜的操作温度, 以保证物料流动性、防止凝

【作者简介】付栋杰(1985—), 女, 中国河北廊坊人, 本科, 工程师, 从事专业机械设计制造及其自动化研究。

固或满足工艺储存要求。该罐区液化气化工艺采用1.0MPa低压蒸汽作为加热热源，蒸汽在完成加热任务后形成高温凝结水。在未设置回收装置前，这部分高温凝结水直接就近排入厂区凝结水管网，由于高温凝结水在管网内容易产生闪蒸蒸汽，导致管网内汽水两相共存，极易引发管网水击、振动、噪声、管道疲劳损伤等安全隐患，严重时还会造成管路泄漏、支架变形甚至设备损坏，对系统稳定运行构成威胁。

为有效回收这部分高温凝结水，充分利用其蕴含的热量与水资源，同时尽可能避免在输送与回收过程中产生水击现象，保障全厂管网安全稳定运行，项目在管网单元内设置1套专用凝结水回收装置，对凝结水进行集中回收、降温、增压处理后，再平稳送入全厂凝结水管网。

## 2.2 设计流程

工艺系统产生的高温凝结水首先进入凝结水回收装置，经凝结水/循环水换热器冷却降温后，进入凝结水回收罐进行暂存与稳压，再通过凝结水泵提升压力至0.5MPa以上，最终并入全厂凝结水管网统一回收利用。整套系统采用闭式回收方式，整个回收、冷却、加压、输送过程均在密闭管路和容器内完成，不与大气接触，有效杜绝了空气进入系统，提高了回收效率，降低了腐蚀风险。

在具体运行参数上，进入凝结水回收装置的凝结水按照压力1.0MPa、温度约184℃进行设计核算。经过换热器冷却后，凝结水温度降至100℃以下，再送入凝结水罐，随后由凝结水泵加压至0.55MPa后送入全厂工艺凝结水管网，满足后续回用要求。

凝结水泵设计能够在进水流量30%~100%负荷范围内连续稳定运行，适应工况波动带来的流量变化。整套设备采用全自动运行模式，运行平稳、响应迅速、可靠性高，正常工况下无需专人现场监护。考虑到介质温度较高、易发生汽蚀的特点，凝结水泵必须采用专用防汽蚀泵，并配套完善的防汽蚀结构与措施，确保在高温凝结水工况下不发生汽蚀、振动、噪音等问题，延长泵组使用寿命。

系统在运行过程中具备完善的智能化程序控制功能，可实现自动报警、自动调节、自动保护、凝结水泵自动切换等一系列自动化操作。同时，设备操作压力可根据实际管网需求与现场工况进行灵活调节，保证系统始终处于高效、安全、稳定的运行区间，满足石化装置连续化、长周期运行的要求。

## 3 装置核心结构组成

本高效智能闭式凝结水回收装置为集成式成套设备，整合换热、存储、输送、控制等功能模块，核心部件(见图1)包括：换热器(凝结水/循环水换热器)、集水罐(凝结水回收罐)、防汽蚀装置、高温水泵、液位传感装置、电气控制柜与控制系统、压力表、温度表、温度变送器、冷却水路调节阀、高温水泵出口流量计、流量调节阀、以及整套工艺

管路、阀门、法兰及附属部件。各部件采用模块化设计，安装便捷，可适配不同工业场景的安装与运行要求<sup>[5]</sup>。



图1 凝结水回收装置核心组成

## 4 工作原理

凝结水回收装置的工作原理主要基于热力学基本定律以及水与水蒸汽的相变规律。水在吸收热量后由液态转变为蒸汽，具有较高的温度、压力与能量；当蒸汽释放热量、温度降低至饱和温度以下时，会由气态重新转变为液态，这一过程称为冷凝。装置正是利用蒸汽凝结成水的相变特性，将工艺系统中产生的高温凝结水进行收集、冷却、处理和输送，实现能源与水资源的双重回收<sup>[1-3]</sup>。

在装置内部，高温凝结水首先进入换热器，与循环冷却水进行间接换热，使凝结水温度降低至安全稳定区间，避免因温度过高、闪蒸严重而导致水泵汽蚀。冷却后的凝结水进入集水罐，通过液位控制实现自动补水与排水平衡。高温水泵从集水罐吸水，在防汽蚀装置的保护下稳定加压，将凝结水送入全厂管网，完成回收利用<sup>[1-3]</sup>。

从节能角度来看，该装置可高效回收凝结水中的热量。在部分系统中，可通过两级闪蒸方式回收闪蒸蒸汽，用回收蒸汽替代部分新蒸汽参与加热，从而节约新鲜蒸汽消耗量，减少锅炉燃料消耗。同时，回收后的高温凝结水水质接近纯水，杂质少、含盐量低、硬度极低，可直接作为锅炉补水使用，大幅降低水处理费用，减少软化、除盐、除氧药剂消耗，降低废水排放量，在节约水资源的同时，有效减少烟气与废水排放，实现保护环境、绿色低碳的目标<sup>[1-3]</sup>。

## 5 工艺描述

### 5.1 收集环节

工业工艺系统产生的高温凝结水统一收集，密闭输送至装置内部换热器。

### 5.2 冷却环节

装置将系统收集的高温凝结水引导至换热器部分。同时循环冷却水通过公用工程管道引导至换热器，与高温凝

水进行逆流传热，通过充分的热交换，高温凝结水温度降低至 100℃以下，随后进入集水罐。为保证出口温度稳定，在换热器出口至集水罐入口管路设置温度变送器，循环冷却水入口管路设置调节阀，温度信号与调节阀开度实行连锁自动控制：

- (1) 当检测温度高于设定值时，控制系统自动增大调节阀开度，增加冷却水量，强化冷却效果；
- (2) 当温度低于设定值时，关小调节阀开度，减少冷却水量；
- (3) 当温度超过高高限（HH）时，系统自动发出报警信号，提醒操作人员检查处理。

### 5.3 储存环节

集水罐对凝结水进行缓冲储存，集水罐上设置液位变送器，液位变送器实时传输液位数据至控制系统，对罐内液位进行实时监测与控制：

- (1) 当液位低于设定低液位（设定值 200mm）时，系统发出报警提示，DCS 系统不执行动作；
- (2) 当液位低于设定低低液位（LL）时，为防止水泵空转、汽蚀及损坏，系统在延时 5s 后自动连锁停泵，实现安全保护。

### 5.4 加压输送环节

集水罐出口设置高温水泵，高温水泵一用一备，当主泵出现故障、维护或达到运行时限时，备用泵可自动投入运行，保证系统连续工作。水泵入口配备防汽蚀装置，通过改善入口流态、抑制闪蒸、稳定压力等方式，避免水泵在高温工况下发生汽蚀，保证泵组长期稳定运行。水泵出口管路分两路，一路为出水主管，将冷却、加压后的凝结水送至下游全厂凝结水管网；另一路为回流管，将多余水量回流至集水罐，实现流量调节与系统稳压。至下游管网一路设置流量变送器，回流至集水罐一路设置流量调节阀。流量变送器与流量调节阀共同控制至下游管网的凝结水量。当高于设定流量时，调节阀开度调大，多余流量的凝结水回流至集水罐；当低于设定流量时，调节阀开度调小，减少回流至集水罐的凝结水量，保证至下游管网的凝结水量。通过这种方式，稳定控制外送凝结水流量，保证管网压力与流量平稳，避免大幅波动。

整套工艺在全自动模式下运行，调节精准、响应迅速、保护完善，能够适应石化装置连续、稳定、长周期运行的要求（详见图 2）。

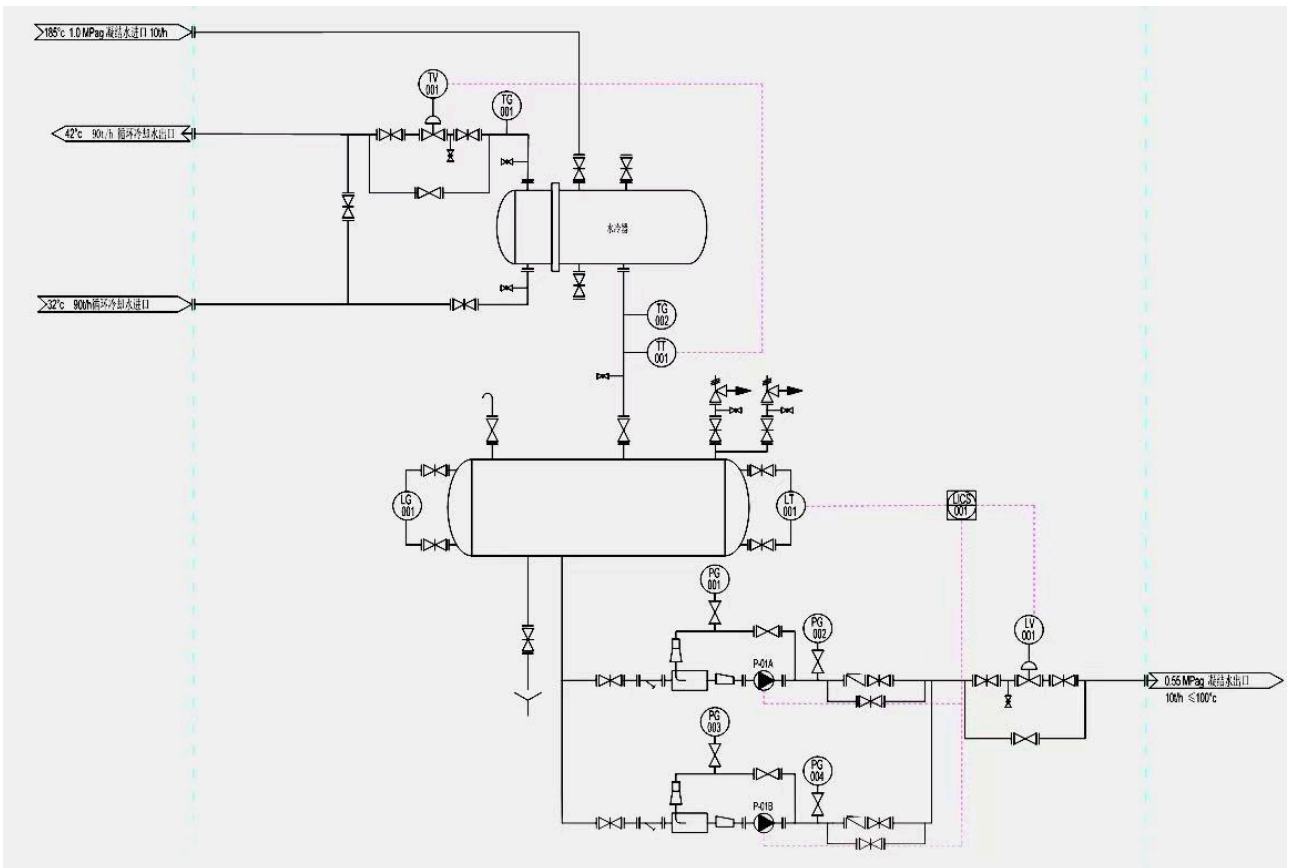


图 2 工艺流程图

## 6 技术特点与工程应用价值

### 6.1 核心技术特点

- (1) 密闭式运行: 全程无氧气渗入, 大幅降低管道、锅炉等设备的氧化腐蚀风险, 延长设备使用寿命。
- (2) 智能自动化: 搭载智能控制系统, 实现液位、温度、压力、流量的自动调节, 无需人工值守, 运行稳定可靠。
- (3) 高效节能: 回收凝结水余热与优质水资源, 减少锅炉补水与燃料消耗, 降低企业能耗成本。
- (4) 防汽蚀设计: 配套专用防汽蚀装置, 解决高温水泵汽蚀难题, 提升系统运行安全性与稳定性。

### 6.2 工程应用价值

各类使用蒸汽的系统与设备在运行过程中都会产生不同数量的凝结水, 这些凝结水均可通过凝结水回收装置实现有效回收与再利用。通过推广应用闭式、高效、智能化的凝结水回收装置, 企业能够显著节约水资源、降低燃料消耗、减少废水与废气排放、延长设备寿命、降低维护成本, 在提升经济效益的同时, 实现良好的环境效益与社会效益。

在石化行业中, 由于装置规模大、蒸汽用量高、凝结水产量大、系统连续性强, 采用高效闭式凝结水回收装置尤为重要。它不仅能解决水击、腐蚀、能耗高等问题, 还能提升全厂热能系统综合效率, 助力企业实现安全、稳定、长周期、满负荷、优化运行, 符合现代石化行业高质量发展与绿色低碳发展的总体方向。

本装置可广泛应用于石油化工、精细化工、纺织印染、造纸、食品加工、医药、建材、供暖、商业建筑中央空调等多个行业, 适配各类蒸汽系统凝结水回收场景。应用后可显著提升能源利用率, 减少水资源浪费, 改善现场生产环境, 符合工业节能降耗、绿色低碳的发展要求, 具备极高的推广

与应用价值。

## 7 结语

本文设计的高效智能闭式凝结水回收装置, 通过闭式结构与智能控制技术的结合, 有效解决了传统凝结水回收方式存在的能源浪费、设备腐蚀、运行不稳定等问题。装置集成化程度高、自动化水平强、节能效果显著, 可满足多行业工业系统的凝结水回收利用需求, 为工业企业实现节能降耗、绿色生产提供了可靠的技术方案, 在工业节能领域具有广阔的应用前景。

总的来说, 本套凝结水回收装置是一种高效、节能、环保、安全的凝结水回收设备, 在优化工业热力系统、提高能源利用效率、降低能源消耗、减少水资源浪费、减轻设备腐蚀、改善现场环境、降低运行成本等方面均具有十分重要的作用。随着国家“双碳”目标的推进与节能降耗政策不断深化, 凝结水回收装置已成为现代工业生产中不可或缺的节能装备。

### 参考文献

- [1] 钱颂文. 换热器设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 程代京, 刘银河. 蒸汽凝结水的回收及利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [3] 周大平. 蒸汽管网凝结水闭式回收装置原理及应用研究[J]. 辽宁化工, 2023, 52(04): 609-612.
- [4] 李君. 冷凝水回收技术现状及展望[J]. 应用能源技术, 2016(07): 36-38.
- [5] 王明传, 徐向英, 王存金等. 凝结水余热回收的典型实例[J]. 能源与节能, 2017(09): 99-100.
- [6] 曹振华. 空调系统中冷凝水作为水资源的回收利用技术研究[J]. 制冷与空调(四川), 2019, 33(05): 54-57.