

# 稠联水击现象产生的根源及解决方案

赵联峰

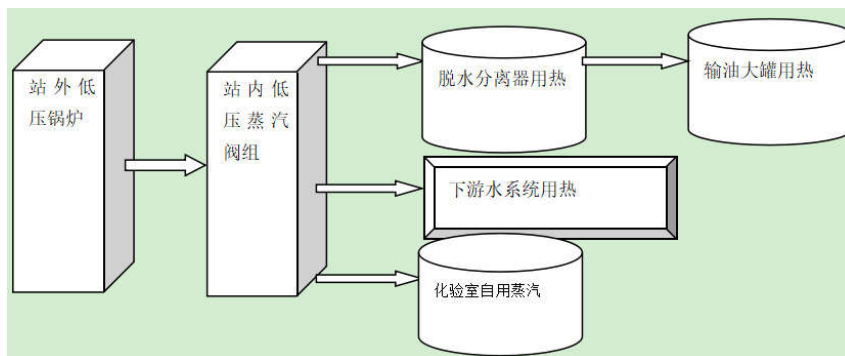
河南油田石油工程技术研究院（技术检测中心）唐河采油工程所 河南 南阳 473400

**摘要：**稠油联合站站外来液依靠低压锅炉系统加热，但在给脱水分离器和输油大罐加热的过程中，水击现象广泛存在，伴随着水击现象的发生管壁的扩张和收缩管线压力会有一个急剧的升高，其数值将大大超过正常工作压力，不仅造成管线破裂，还会造成分离器内盘管刺漏严重影响了生产的正常进行。给生产带来严重安全隐患。如何解决水击现象本文给出了相应的解决办法。

**关键词：**稠油联合站；水击；加热系统；脱水分离器；防控技术

**引言：**近年来，稠油联合站对原油处理、污水、注水、消防等系统完善改造，建成污油单独处理工艺，实现污油单独处理外输，提升原油处理及外输质量。为达油水分离效果，站内用稠联外低压锅炉加热油水系统，站外低

压蒸汽（0.5MPa、130℃）进站后分三路供油、水系统加热及化验岗用热，形成特色稠油处理模式。然而，加热时水击现象频繁，尤其是低压蒸汽从阀组至脱水分离器、外输大罐这一路，造成设备损坏，干扰正常生产。



蒸汽输送流程示意图

## 1 水击现象基础理论解析

### 1.1 水击的定义

流体在压力管道内流动时，若遇到阀门骤开骤关、泵组突然启停等工况突变，流速会发生急剧变化。由于流体自身具有惯性，且存在一定的可压缩性，这种流速突变会引发管道内流体压力产生周期性的剧烈波动，压力峰值可远超正常工作压力。同时，压力波动会带动管壁发生高频扩张与收缩，伴随强烈的振动和刺耳的撞击声，这种流体力学现象被称为水击（又称水锤）。在稠联蒸汽加热系统中，水击多表现为“蒸汽水击”，即蒸汽与管道内冷凝水相遇后，冷凝水被蒸汽快速加热汽化，体积急剧膨胀引发的压力冲击<sup>[1]</sup>。

### 1.2 水击产生的基本原理

当流体在管道内流动时，若阀门突然关闭，水流会因惯性作用在阀门处瞬间停滞。此时，供水管末端因水流突然停滞，其惯性力会导致局部压力急剧升高，形

成最大水击升压。这种水击升压会以弹性波的形式沿管道向上游传播，即“水击波”。当水击波传播至管道进口（如恒压供水箱处）时，因进口压力恒定，水击波会发生反射，形成“减压波”并向下游传播。减压波到达供水管末端与相关区域时，会使局部压力骤降，形成负水击压强。在压力波动过程中，水击升压可能使逆止阀克服压力室压力瞬时开启，水注入压力室，气压表同步出现明显压力搏动；当减压波到达后，相关区域压力低于压力室，逆止阀关闭，阀门在负水击压力与自身重力作用下向下运动，重新开启水流通道的。上述过程周而复始，阀门持续自动启闭，水击现象反复发生。结合此原理与稠联实际工况，水击产生的核心逻辑可概括为“流速突变—惯性作用—压力波动—波系反射”。在稠联蒸汽管道中，蒸汽流速突变的诱因主要包括：蒸汽阀组快速启闭、管道内冷凝水积聚导致流道截面突变、蒸汽供给压力波动引发流速波动等。这些诱因会触发与上述类

似的压力波动过程，最终形成水击。

### 1.3 水击的分类及特征

依据水击波传播与反射特性，水击分直接与间接两类，核心区别在于阀门关闭时间（ $T'$ ）与水击波相长（ $T$ ）的比值，两倍相长为一个完整压力波动周期。直接水击是阀门关闭时间  $T' < T$ ，阀门完全关闭前，初始水击波反射回阀门处，水击升压与反射波叠加，压力峰值大、破坏性强，多发生于阀门骤关等极端工况，稠联蒸汽管道发生时压力峰值可达正常工作压力 3 - 5 倍。间接水击是  $T' > T$ ，阀门完全关闭后反射波才到，压力峰值相对低，破坏性小于直接水击，但频繁发生会造成疲劳损伤，稠联日常生产中多为间接水击，占比超 80%。此外，结合稠联工况，水击还可分为启动、运行、停运型三类，分别发生于管道投运、正常生产、停运阶段<sup>[2]</sup>。

### 1.4 水击的危害机制及表现

水击对稠联管道系统危害多维且叠加，从设备振动到爆炸事故皆有可能。一是设备与管道损坏，瞬时高压冲击薄弱环节，导致管壁穿孔、接头破裂等，孔板等部位损坏概率占设备损坏总数 65%，高频振动还会使支吊架松动、焊口开裂。二是生产秩序紊乱，设备故障致生产中断，如脱水分离器盘管刺漏影响油水分离，输油大罐穿孔造成原油泄漏，压力波动还影响蒸汽供给稳定性。三是安全与环境风险，蒸汽泄漏可能烫伤人员，原油泄漏会引发火灾爆炸，污染土壤地下水，强烈噪声影响作业人员身心健康。行业统计显示，稠联蒸汽加热系统压力升高幅度可达正常 10 倍以上，风险极高。

## 2 稠联水击现象产生的根源深度剖析

### 2.1 管道设计与布局不合理：隐患滋生的根源

疏水系统设计不合理，低位点、死端未设置疏水阀或选型不当，导致冷凝水无法及时排出。在脱水分离器、输油大罐加热盘管进口段的“倒U型”拐点处，冷凝水易积聚形成“水塞”，蒸汽推动水塞高速流动撞击管道和设备，引发水击。同时，部分蒸汽管道直径偏小，流速远超设计限值，流体惯性增大，工况微小变化就会引发流速急剧波动，产生水击。设备连接方式不当，蒸汽进口管道未设缓冲段，直角弯头设计导致流体流经时产生强烈涡流，为水击的产生提供了初始动力。

### 2.2 操作不规范与工艺控制不当：人为因素致险

操作不规范与工艺控制不当是导致稠联水击现象频发的重要人为因素。操作人员在调整蒸汽负荷或启停设备时，阀门操作过于急促，骤开骤关情况普遍存在。例如，管道投运时为加快暖管速度快速开启启汽阀，导致蒸汽与冷凝水剧烈混合，引发启动型水击。暖管工艺执

行不到位，部分操作人员未按规定开启疏水阀或暖管时间不足，管道内残留大量冷凝水，蒸汽进入后立即引发水击。因原油来液量波动，锅炉负荷需频繁调整，导致蒸汽供给压力和流量剧烈变化，进一步加剧了水击现象的发生<sup>[3]</sup>。

### 2.3 设备老化与维护不及时：隐患累积的危机

设备老化与维护不及时是稠联水击现象频发的又一重要原因。部分疏水阀已运行超过5年，内部阀芯、密封件严重磨损，导致疏水阀泄漏或堵塞，无法正常排出冷凝水，积聚在管道内引发水击。蒸汽管道长期运行导致内壁腐蚀，形成坑蚀和沟槽，同时蒸汽中的矿物质结垢，缩小了流道截面，增加了流速和流场扰动，诱发水击。部分压力监测设备因老化或损坏，无法准确监测管道内压力变化，操作人员无法及时掌握压力波动情况，难以提前预判水击风险，导致水击危害扩大。

### 2.4 介质特性与工况波动影响：复杂环境的挑战

介质特性与工况波动对稠联水击现象的发生产生了显著影响。站外低压锅炉提供的蒸汽中含有少量水分和杂质，形成“汽水两相流”，密度和流速分布不均，易引发局部压力波动，产生水击。原油来液量不稳定，流量和含水率随油井生产工况波动，导致原油处理负荷变化，蒸汽供给量需频繁调整，引发蒸汽压力和流速波动，形成运行型水击。环境温度的变化也对水击现象产生了影响，冬季环境温度低，管道散热快，易形成冷凝水；夏季环境温度高，管道内蒸汽体积膨胀，若阀门调节不及时，会导致管道内压力升高，增加水击发生的概率。

## 3 稠联水击现象的综合解决方案

### 3.1 优化管道设计与改造

其一，完善疏水与放空系统。全面排查站内蒸汽管道，在低位点、死端等位置增设“浮球式 + 热静力式”双作用疏水阀，重点区域前设过滤器；在管道末端及拐点增设放空阀。2025年，稠联更换4处疏水阀、增设8处放空阀，重点区域冷凝水排出效率提升90%。其二，优化管道参数与布局。改造流速超标管道，增大直径，将流速控制在15 - 20m/s，如脱水分离器进口蒸汽管道直径从DN80增至DN100；把直角弯头改为缓弯弯头；在设备进口管道设长度  $\geq 1\text{m}$  的缓冲段。其三，增设水击防护装置。在水击高发路段增设水击吸纳器，在管道关键位置安装安全阀和泄压阀，设定泄压阈值为正常工作压力的1.2倍。

### 3.2 规范操作流程与强化工艺控制

制定标准化操作规范，编写《稠联蒸汽系统操作手册》，明确阀门操作、暖管、负荷调整等关键环节标

准。规定阀门启闭时间不少于30秒，严禁骤开骤关；管道投运前暖管不少于2小时，缓慢开启进汽阀、全开疏水阀，待温度稳定、无大量冷凝水排出后，再提高蒸汽供给量。优化负荷调整策略，建立蒸汽负荷与原油来液量联动调控机制，安装在线监测设备实时采集数据，预判负荷变化。来液量波动时，“小幅度、多次数”调整锅炉负荷，大幅调整需提前开疏水阀并加强监测。加强暖管与停运管理，投运时专人负责，监测温度、压力和疏水情况；停运后及时关进汽阀、保持疏水阀开启。采用疏水母管系统的区域，要控制好压力，防止蒸汽串入停运管道引发水击。

### 3.3 强化设备维护与状态监测

建立设备定期检修制度。制定《稠联蒸汽系统设备检修计划》，对疏水阀、阀门等定期检修。疏水阀每季度性能检测、每年换密封件；管道每两年检测内壁腐蚀和结垢情况，超标及时处理；压力监测设备每月校准。推广设备状态监测技术，在水击高发路段管道安装传感器和变送器，建立在线监测系统，数据超阈值自动报警并推送信息至手机终端，利用大数据分析提前预判故障和水击风险。此外，提升蒸汽品质，加强站外低压锅炉运行管理，优化燃烧工艺，降低蒸汽水分和杂质含量，在蒸汽进站阀组前增设汽水分离器和过滤器，减少对管道系统的影响。

### 3.4 应对特殊工况的专项措施

#### 3.4.1 冬季水击防控

冬季环境温度低，管道散热迅速，冷凝水生成量大幅增加，这给稠联蒸汽管道系统带来了极大的水击隐患。为有效防控冬季水击，需在冬季来临前对管道进行全面的保温改造。采用岩棉保温层与外护板相结合的双层保温结构，岩棉保温层能有效减少热量散失，外护板则可保护保温层不受外界因素破坏。同时，在室外管道的疏水阀和放空阀处增设伴热装置，确保阀门在低温环境下仍能正常开启和关闭，防止因阀门冻结失效而导致冷凝水积聚，进而引发水击，保障管道系统在冬季的安全稳定运行。

#### 3.4.2 汽水共腾防控

汽水共腾是导致蒸汽带水的关键因素，会显著加剧水击风险。当锅炉内汽水混合物剧烈翻腾，蒸汽中携带大量水分时，就会引发汽水共腾现象。为防控这一问题，需加强锅炉给水品质控制，定期检测给水含盐量，

确保其符合标准要求。适当增加锅炉定期排污和连续排污的频率和强度，降低炉水含盐量，减少汽水共腾的发生几率。一旦出现汽水共腾迹象，如蒸汽压力波动、汽包水位异常等，应立即减少燃料供给和蒸汽输出，开启汽包放水阀降低水位，待工况稳定后再恢复正常运行，避免水击事故的发生<sup>[4]</sup>。

#### 3.4.3 应急处置流程

制定完善的《水击事故应急处置预案》对于应对突发水击事故至关重要。预案应明确水击发生后的应急响应流程，包括操作人员发现水击后的第一时间报告流程、各岗位人员的责任分工以及具体的处置措施。当发生水击时，操作人员应迅速降低蒸汽供给量，开启相关疏水阀和泄压阀，降低管道压力，防止压力进一步升高导致设备损坏。

### 4 实施效果评估与持续改进

在实施上述综合解决方案后，需对防控效果进行全面评估。通过定期收集管道压力、设备运行状态等数据，对比措施实施前后水击发生的频率、强度等指标，评估防控措施的有效性。若发现部分区域水击现象仍未得到有效控制，需深入分析原因，针对性地调整防控策略。同时，建立持续改进机制。随着生产工况的变化和新技术的应用，不断优化防控方案。

### 结束语

稠联水击现象危害严重，影响生产安全与效率。通过对其产生根源的深入剖析，明确了管道设计、操作、设备、工况等多方面因素。综合解决方案从设计改造、操作规范、设备维护、工况调控及特殊工况应对等多维度发力，形成完整防控体系。后续需持续落实各项措施，加强监测与管理，不断完善防控技术，以有效降低水击危害，保障稠联生产安全稳定运行。

### 参考文献

- [1]张元元,杨晓明,杨淑娟.输油管道水击现象产生原因及预防措施[J].中国化工贸易,2021(9):9-10.
- [2]雷鸣远.液体输送管道水击现象的产生及防控[J].化工设计, 2021, 31(1): 6-8,46.
- [3]张健康,邓育轩.利用蓄压腔对原油输送管道产生的水击现象进行防护的研究[J].科学技术创新,2022(26):46-49.
- [4]王军.炼油装置水击现象的原因分析及防治[J].石油化工技术与经济, 2020, 36(4):49-52.