ICS 03.100.50
CCS G 01

# 团 体 标 准

T/CS 278—2025

# MVR 蒸发结晶系统能耗核算与运行维护技术规范

Technical specification for energy consumption accounting and operation maintenance of MVR evaporation crystallization system

2025－12－30 发布　　2025－12－30 实施

中国商品学会　　发 布

# 目　　次

前　　言 ..... II
引　　言 ..... III
1 范围 ..... 1
2 规范性引用文件 ..... 1
3 术语和定义 ..... 1
4 总体要求 ..... 1
5 能耗核算 ..... 1
5.1 基本要求 ..... 1
5.2 蒸汽能耗核算 ..... 2
5.3 电能能耗核算 ..... 2
5.4 能耗核算周期 ..... 2
6 运行维护 ..... 2
6.1 日常巡检 ..... 2
6.2 关键设备维护 ..... 3
6.3 故障处理与应急预案 ..... 3
6.4 化学清洗与防腐 ..... 3
7 运行监测与评价 ..... 4
7.1 运行监测 ..... 4
7.2 评价 ..... 4
7.3 结果分析与评价报告 ..... 4
8 设备标识与档案管理 ..... 5
8.1 设备标识 ..... 5
8.2 档案管理 ..... 5

# 前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由扬州纪扬机械设备有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：扬州纪扬机械设备有限公司、江苏江尊机械设备有限公司、江都区小纪镇苏帆食品机械厂、扬州先博信息科技有限公司、扬州菁添勤科技有限公司、北京联合利来企业管理有限公司。

本文件主要起草人：马念、陈春林、周爱冬、苏爱春、樊学军、谈家彬、范金余。

# 引　言

随着工业废水处理、食品浓缩、化工结晶等领域的快速发展，MVR 蒸发结晶技术因其显著的节能优势得到广泛应用。该技术通过回收二次蒸汽的潜热，大幅降低系统能耗，符合国家节能减排战略要求。然而，目前行业内缺乏统一的能耗核算与运行维护技术规范，导致系统设计、运行评价缺乏科学依据，且存在能效评估存在能量平衡计算方法不统一、运行维护标准缺失、能效评价指标不完善等问题。这些问题直接制约了 MVR 技术的推广应用和能效提升，亟须建立科学规范的技术标准。

本文件参考 GB/T 15914、GB/T 27712 和 GB/T 29052 等标准的技术要求，结合 MVR 蒸发结晶系统特点，规定了 MVR 蒸发结晶系统的总体要求、能耗核算、运行维护技术要求、监测与评价及标志、标签与文件管理要求。这些内容为 MVR 蒸发结晶系统的设计、运行和维护提供了技术依据。

本文件主要适用于化工、制药、食品、环保等行业 MVR 蒸发结晶系统的设计单位、设备制造商、系统运营商及相关监管部门。通过实施本文件，可规范系统能耗核算方法，优化运行维护流程，提升系统能效水平。

本文件的实施将产生显著的经济和社会效益。在经济效益方面，通过规范能耗核算和优化运行维护，可显著降低系统能耗；在社会效益方面，有助于推动行业节能减排，实现绿色低碳发展。同时，本文件可为政府部门制定相关产业政策提供技术支撑。

# MVR 蒸发结晶系统能耗核算与运行维护技术规范

## 1 范围

本文件规定了 MVR 蒸发结晶系统的总体要求、能耗核算、运行维护、运行监测与评价及设备标识与档案管理的技术要求。

本文件适用于化工、制药、食品、环保等行业中采用 MVR 蒸发结晶系统的能耗核算、运行维护及能效评价。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15914 蒸汽加热设备节能监测方法

GB/T 27712 非木浆多效蒸发系统能量平衡及能量效率计算方法

GB/T 29052 工业蒸汽锅炉节水降耗技术导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**MVR 蒸发结晶系统 mechanical vapor recompression evaporation and crystallization system**

采用机械蒸汽再压缩技术实现溶液蒸发浓缩与结晶的成套设备系统。

注：通常由蒸发器、压缩机、结晶器、冷凝器、真空系统等主要设备组成。

3.2

**机械蒸汽再压缩 mechanical vapor recompression，MVR**

通过机械压缩机将二次蒸汽增压升温后作为热源回用的节能技术。

## 4 总体要求

4.1 MVR蒸发结晶系统应由机械蒸汽再压缩装置、蒸发器、结晶器、冷凝器、真空系统、控制系统等核心部件组成。

4.2 系统功能应满足物料蒸发、结晶分离、热能回收等基本工艺要求。

4.3 控制系统应具备实时监测、自动调节和故障报警功能，对系统运行参数进行精确控制。

4.4 真空系统应确保系统在设计的负压条件下稳定运行。

4.5 MVR 蒸发结晶系统的设计参数应综合考虑物料特性、处理量、能耗要求等因素。

## 5 能耗核算

### 5.1 基本要求

5.1.1 MVR 蒸发结晶系统的能耗核算应遵循科学性、准确性和可操作性的基本原则。

5.1.2 核算过程中宜充分考虑系统运行的实际工况，采用合理的计算方法和修正系数，确保核算结果能够真实反映系统的能源利用效率。

5.1.3 能耗核算的范围应包括蒸汽能耗、电能能耗以及辅助能源消耗。其中蒸汽能耗主要来源于蒸发器的加热过程，电能能耗主要包括压缩机、泵组等电气设备的运行消耗。辅助能源消耗则涉及冷却水、

仪表空气等其他能源形式的消耗。

### 5.2 蒸汽能耗核算

5.2.1 蒸汽能耗核算应按照 GB/T 15914 的要求执行。
5.2.2 核算时宜考虑蒸汽的消耗量、压力和温度等关键参数。
5.2.3 蒸汽消耗量应通过高精度流量计实时监测，并记录每小时的平均值。流量计的安装位置应避免蒸汽管道的弯头和阀门等可能影响测量精度的部位。
5.2.4 蒸汽压力和温度应分别通过压力传感器和温度传感器进行监测，传感器应定期校准。
5.2.5 核算结果应记录并保存。

### 5.3 电能能耗核算

5.3.1 电能能耗核算应依据 GB/T 27712 进行，确保数据的准确性和可比性。
5.3.2 核算时应包括压缩机、泵、控制系统等主要用电设备的能耗。
5.3.3 电能消耗量应通过电能表实时监测，并记录每小时的平均值。电能表的精度等级应不低于 0.5 级，并定期进行校准。
5.3.5 核算结果应记录并保存。
5.3.6 电能能耗核算时，还应考虑设备的运行效率和负载率。

### 5.4 能耗核算周期

5.4.1 MVR 蒸发结晶系统的能耗核算周期应根据系统运行特点和实际需求确定。
5.4.2 能耗核算宜每日进行一次，记录当日的蒸汽能耗和电能能耗数据。每月应进行一次汇总分析，评估系统的能耗状况和节能潜力。
5.4.3 对于连续运行的 MVR 系统，能耗核算周期可适当缩短，如每 8 h 进行一次核算，以便及时发现能耗异常并采取措施。
5.4.4 对于间歇运行的 MVR 系统，能耗核算周期可根据实际运行时间调整，确保核算数据的完整性和准确性。
5.4.5 应按照 GB/T 29052 的要求确定能耗核算周期，确保核算结果具有可比性和可追溯性。核算周期内的数据应妥善保存，并定期进行统计分析。

## 6 运行维护

### 6.1 日常巡检

6.1.1 巡检工作应按照规定的频次和内容执行，主要涵盖设备运行状态、工艺参数、安全防护等方面。
6.1.2 巡检人员应经过专业培训，熟悉系统工艺流程和设备特性，能够准确识别异常情况。
6.1.3 日常巡检应重点关注蒸发器、压缩机、冷凝器、泵组等核心设备的运行参数，包括但不限于温度、压力、流量、振动等指标。
6.1.4 所有巡检数据应实时记录并形成巡检报告，作为系统运行状态评估的依据。巡检工作中对蒸汽加热设备的监测方法应按 GB/T 15914 中的规定执行。
6.1.5 MVR 蒸发结晶系统日常巡检要求应符合表 1 的规定。

**表 1 MVR 蒸发结晶系统日常巡检要求**

| 巡检项目 | 检查内容 | 正常范围 | 检查频次 |
|---|---|---|---|
| 蒸发器温度 | 各效蒸发温度 | 80℃～120℃ | 每 2 h |
| 压缩机压力 | 进出口压力差 | 0.15 MPa～0.35 MPa | 每 4 h |
| 循环泵振动 | 轴承振动速度 | ≤4.5 mm/s | 每班次 |
| 真空度 | 系统真空压力 | -0.08 MPa～-0.095 MPa | 每 4 h |
| 冷凝水水质 | 电导率 | 电导率≤50 μS/cm | 每日 |
| | pH 值 | pH 6-8 | |

## 6.2 关键设备维护

6.2.1 MVR 系统的关键设备维护应建立预防性维护体系，根据设备运行时间和工况制定维护计划。
6.2.2 所有维护作业应形成完整的维护记录，包括维护内容、更换备件、测试数据等信息。
6.2.3 应按照 GB/T 29052 中关于工业蒸汽设备使用管理的技术要求进行。
6.2.4 维护内容应包括以下方面：
——压缩机维护：每运行 2000 h 检查轴承间隙，每 5000 h 更换润滑油；
——蒸发器维护：每月检查换热管束结垢情况，每季度进行压力测试；
——循环泵维护：每 3 个月检查机械密封，每半年更换轴承润滑脂；
——电气系统维护：每月检查接线端子紧固度，每年检测绝缘电阻。

## 6.3 故障处理与应急预案

### 6.3.1 故障处理

MVR 系统运行故障处理应符合下列要求：
a） 系统运行过程中可能出现的故障主要包括压缩机过载、真空度异常、换热效率下降等；
b） 针对各类故障应建立分级响应机制，明确故障判断标准和处理流程；
c） 操作人员应熟悉系统紧急停车程序，掌握关键设备的隔离方法。

### 6.3.2 应急预案

应急预案应符合下列要求：
a） 应急预案应覆盖电源中断、介质泄漏、设备过热等突发情况，定期组织应急演练；
b） 对于可能造成生产中断的重大故障，应建立备用设备切换方案；
c） 所有故障处理过程应详细记录，包括故障现象、处理措施、恢复时间等信息。
常见故障处理措施应符合表 2 的规定。

**表 2 常见故障处理措施**

| 故障类型 | 现象特征 | 应急措施 | 后续处理 |
|---|---|---|---|
| 压缩机过载 | 电流超限报警 | 立即停机检查 | 检查机械负载和电气系统 |
| 真空度不足 | 蒸发温度升高 | 检查密封系统 | 更换密封件或检漏 |
| 换热效率下降 | 温差异常增大 | 化学清洗管束 | 优化操作参数 |
| 循环泵故障 | 流量急剧下降 | 启用备用泵 | 检修机械密封 |

## 6.4 化学清洗与防腐

### 6.4.1 化学清洗

MVR 系统的化学清洗应符合下列要求：
a） 应根据水质情况和运行周期科学制定方案；
b） 清洗前应进行全面的垢样分析，确定合适的清洗药剂和浓度；
c） 酸洗过程应严格控制温度、流速和 pH 值，避免对金属基材造成腐蚀；
d） 清洗后应进行中和钝化处理，并检测清洗效果。
e） 化学清洗周期：根据水质硬度确定，一般每 6—12 个月一次；
f） 清洗药剂选择：针对碳酸盐垢采用酸性清洗剂，硅酸盐垢应用碱性清洗剂；

### 6.4.2 防腐

系统防腐应符合下列要求：
a） 应采取综合措施，包括材料选择、介质处理和电化学保护等；
b） 对于碳钢部件，应定期检查防腐涂层状态，及时修补损伤部位；
c） 不锈钢设备宜避免氯离子腐蚀，控制介质中氯离子浓度在允许范围内；
d） 所有化学处理过程应符合环保要求，废液应经处理后达标排放；
e） 防腐检测：每季度测量设备壁厚，每年进行全面的腐蚀检查；
f） 废液处理：清洗废液 pH 值调节至 6—9 后方可排放。

# 7 运行监测与评价

## 7.1 运行监测

### 7.1.1 监测项目

MVR 蒸发结晶系统的监测应覆盖系统运行全过程，包括能量输入、输出、电能消耗及环境参数等关键指标。监测数据应实时采集并记录，采样频率不低于 1 次/h，重要参数应采用在线监测设备。监测项目主要包括蒸汽流量、温度、压力、电功率、冷却水流量及浓缩液浓度等核心参数。

### 7.1.2 监测方法

蒸汽监测应采用经过校准的流量计和温度传感器，测量误差不超过±1.5%。应按照 GB/T 15914 中关于蒸汽参数的监测执行。电能监测应配置精度等级不低于 0.5 级的电能表，并定期进行校验。浓缩液浓度的监测可采用在线密度计或实验室取样分析，两者数据偏差应控制在±2%以内。

MVR 系统核心监测项目及技术要求应符合表 3 的规定。

**表 3 MVR 系统核心监测项目及技术要求**

| 监测项目 | 监测方法 | 精度要求 | 监测频率 |
|---|---|---|---|
| 蒸汽流量 | 涡轮流量计 | ±1.0% | 连续监测 |
| 蒸汽温度 | 温度传感器 | ±0.5℃ | 1 次/10 min |
| 电功率 | 智能电能表 | 0.5 级 | 连续监测 |
| 浓缩液密度 | 在线密度计 | ±0.5 g/cm³ | 1 次/h |
| 冷却水 pH 值 | 在线 pH 传感器 | ±0.2 | |

## 7.2 评价

MVR 蒸发结晶系统的运行评价应综合考虑能耗指标、运行稳定性和设备状态三个方面：

a） 能耗指标评价：单位产品蒸汽消耗量不应超过设计值的 110%，单位产品电耗不应超过设计值的 105%；

b） 运行稳定性评价：系统年连续运行时间应达到 8000 h 以上，非计划停机次数每年不超过 3 次；

c） 设备状态评价：压缩机振动值应小于 4.5 mm/s，换热器污垢系数应小于 0.0005 $m^2 \cdot K/W$。

## 7.3 结果分析与评价报告

### 7.3.1 结果分析

监测数据的分析应采用趋势分析、对比分析和偏差分析相结合的方法。趋势分析应绘制关键参数的历史曲线图，识别运行规律和异常波动；对比分析应将实际数据与设计值、行业标杆值进行横向比较；偏差分析应计算各参数的允许偏差范围，对超标数据标注预警。

### 7.3.2 评价报告

能效评价报告应符合下列要求：

a） 报告应包含但不限于系统运行概况、监测数据汇总、能效指标计算、异常情况说明及改进建议等内容；

b） 报告编制周期为季度，重要异常情况应在 24 h 内提交专项分析报告；

c） 所有报告应保存至少 5 年，并纳入技术档案管理体系；

d） 数据采集系统应具备自动校验功能，异常数据应标记并人工复核；

e） 能效分析报告应由技术负责人签字确认，重大能效问题应组织专家评审；

f） 应定期将能效数据上传至行业监管平台，接受第三方核查。

# 8 设备标识与档案管理

## 8.1 设备标识

### 8.1.1 内容

MVR 蒸发结晶系统的所有设备应设置永久性的标识，标识内容应包括但不限于：

a） 设备名称；
b） 型号规格；
c） 主要技术参数；
d） 出厂编号；
e） 制造日期；
f） 制造商名称等信息。

对于关键设备，如压缩机、蒸发器、冷凝器等，还应标注设备的最大工作压力、最高工作温度等安全参数。

### 8.1.2 标识

设备标识应符合下列要求：

a） 材质应耐腐蚀、耐磨损，在系统运行环境下能够长期保持清晰可读
b） 标识的安装位置应选择在设备易于观察的部位，避免被管道或其他部件遮挡；
c） 对于高温或高压设备，标识应安装在安全距离外，便于操作人员查看；
d） 系统管道的标识应符合工业管道标识的相关标准，不同介质的管道应采用不同颜色进行区分，并在显著位置标注介质名称、流向箭头及压力等级；
e） 蒸汽管道、循环水管道、冷凝水管道等主要管道系统应每隔 5 m 设置一处标识。

## 8.2 档案管理

### 8.2.1 档案内容

MVR 蒸发结晶系统应建立完整的技术档案管理制度，档案内容应包括但不限于：

a） 系统设计文件；
b） 设备出厂资料；
c） 安装调试记录；
d） 验收报告；
e） 运行维护记录；
f） 能耗监测数据；
g） 维修记录等。

### 8.2.2 管理

档案管理应符合下列要求：

a） 系统运行过程中产生的数据记录应至少保存 3 年，包括每日运行参数记录、能耗数据记录、设备巡检记录等；
b） 对于重大维修、改造或事故处理记录，应永久保存；
c） 档案管理人员应定期检查档案的保存状况，确保档案资料完整、清晰、可读；
d） 技术档案的查阅和借阅应建立审批制度，重要技术档案的修改应经过技术负责人批准；
e） 系统进行重大改造或更新时，应及时更新相关技术档案，并注明变更内容和日期；
f） 档案室应配备防火、防潮、防虫等设施，确保档案的安全保存。

MVR 系统技术档案分类及保存期限应符合表 4 的规定。

**表 4 MVR 系统技术档案分类及保存期限**

| 档案类别 | 主要内容 | 保存期限 |
|---|---|---|
| 设计文件 | 工艺流程图、设备布置图、管道轴测图等 | 永久 |
| 设备资料 | 设备说明书、合格证、检测报告等 | 设备报废后 5 年 |

| 档案类别 | 主要内容 | 保存期限 |
| --- | --- | --- |
| 安装记录 | 安装过程记录、调试报告等 | 永久 |
| 运行记录 | 日常运行参数、能耗数据等 | 3 年 |
| 维护记录 | 定期维护、故障处理记录等 | 5 年 |
| 改造记录 | 系统改造方案、验收报告等 | 永久 |