

# 供风系统余热再生零气耗吸附式干燥器改进及优化

王大伟, 王秋霞, 王仲杨, 南文姣

(白银有色集团股份有限公司, 甘肃 白银 730900)

**[摘要]** 余热再生零气耗吸附式干燥器是白银有色铜业公司的主要送风设备, 循环风机是干燥器的核心部件, 循环风机运行状况直接影响到干燥器的露点问题, 目前运行的干燥器循环风机为内置结构, 设备在运行过程中容易出现露点飘逸, 排气温度高, 不易观察和维护检修困难的等技术问题, 通过技术改进, 将干燥器内置循环风机改造为外置循环风机, 可以有效解决相关技术问题。本文通过内外循环风机结构对比及运行效果来探讨对干燥器的改进及优化问题。

**[关键词]** 余热再生零气耗吸附式干燥器; 露点飘逸; 排气温度; 内置循环风机; 外置循环风机

**[中图分类号]** TF811 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)04-0072-06

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.04.014

## 0 引言

白银有色集团股份有限公司铜业公司经过不断发展和多次技术升级, 目前生产规模达到年产阴极铜 32 万 t、硫酸 102 万 t。铜业公司闪速炉动力中心余热再生零气耗吸附式干燥器承担铜业公司的供水、供风任务。

现有型号为 CHD2500RZ 的吸附式干燥器能提供无油干燥风, 其运行流程为 A 塔余热再生/B 塔吸附阶段: 空压机排出的高温压缩空气进入 A 塔余热加热再生后进入冷却器、分离器、B 塔吸附水分后经后置过滤器排出; 辅助加热再生/吸附阶段: 高温压缩空气经旁通直接进入冷却器、分离器、B 塔、后置过滤器排出, 同时循环风机启动抽取约 15% 干燥成品气进入辅助加热器进行二次高温加热深度后再进入 A 塔, 并进一步深度脱附水分后再与主气流汇合一并进入冷却器; 吹冷阶段: 加热器停止运行, 循环风机继续抽取部分干气经再生气冷却器进入 A 塔利用塔内余热对吸附剂进行

边吹冷边再生。

但是该型号的吸附式干燥器在实际工作中, 由于循环风机为内置结构, 所以存在不容易观察、维护检修困难、排气温度等缺点, 同时在二次高温加热深度再生抽取的干燥空气量约为总量的 15%, 其携带余热能量不足, 吸附不彻底, 从而导致露点飘逸, 设备运行极不稳定。

## 1 余热再生零气耗吸附式干燥器简介

近年来, 随着国内工业快速发展, 对配套使用的设备提出了更高的要求。余热再生零气耗吸附式干燥器属于目前成熟的吸附式干燥器, 其零气耗技术来源于等压再生零排放天然气脱水装置成熟技术。

余热再生技术是伴随着离心机和无油螺杆的广泛应用以及近十年离心机技术进步, 排气温度下降而增加了余热再生利用的难度, 将等压再生零气耗技术与余热利用整合后形成了余热再生零气耗吸附式干燥器。余热再生零气耗吸附式干燥器包含五大系统。

空压机余热利用系统: 90% 以上的再生能量来自于空压机余热。再生气回收系统: 采用干气等压加热再生/吹冷并回收, 整个过程零气耗。辅助电加热/二次冷却系统: 电加热器设置在再生干气侧, 电耗仅为空压机输入功率的 0.5% ~ 1%, 当排气温度低于 90 °C, 启动混搭加热, 提升再生能力; 二次冷却

**[收稿日期]** 2023-05-09

**[第一作者]** 王大伟 (1990—), 男, 甘肃白银人, 助理工程师, 大学本科, 主要从事机械设备管理工作, 现任白银有色集团股份有限公司铜业公司机械技术协理。

**[引用格式]** 王大伟, 王秋霞, 王仲杨, 等. 供风系统余热再生零气耗吸附式干燥器改进及优化[J]. 有色设备, 2023, 37(4): 72-77.

器串联在常规主冷却器之后,利用现场冷水源或自配工业冷水机组。吸附干燥过滤系统:提供无油干燥空气。智能控制管理系统:自动控制,负荷调节,远程监测,故障显示。实现设备低露点、低漂移、零气耗三大功能。

## 2 余热再生零气耗吸附式干燥器主要技术参数

目前白银有色集团股份有限公司铜业公司有一台余热再生零气耗吸附式干燥器,其型号为CHD2500RZ。工艺参数流量:250 Nm<sup>3</sup>/min;工作压力:0.5~0.8 MPa;进气温度 $\geq 100$  °C;再生方式:利用压缩热+辅助电加热再生吸附;常压露点 $\leq -40$  °C(夏季)/ $\leq -50$  °C(冬季)。

## 3 余热再生零气耗吸附式干燥器的结构及原理

余热再生零气耗吸附式干燥器内置循环风机结构图如图1所示,其流程为:A塔余热再生/B塔吸附阶段:空压机排出的高温压缩空气进入A塔余热加热再生后进入冷却器、分离器、B塔吸附水分后经后置过滤器排出。辅助加热再生/吸附阶段:高温压缩空气经旁通直接进入冷却器、分离器、B塔、后置过滤器排出,同时循环风机启动抽取约15%干燥成品气经辅助加热器进入A塔进一步深度脱附水分后再与主气流汇合并进入冷却器。吹冷阶段:加热器停止运行,循环风机继续抽取部分干气经再生气冷却器进入A塔利用塔内余热对吸附剂进行边吹冷边再生(PSA+PST)。

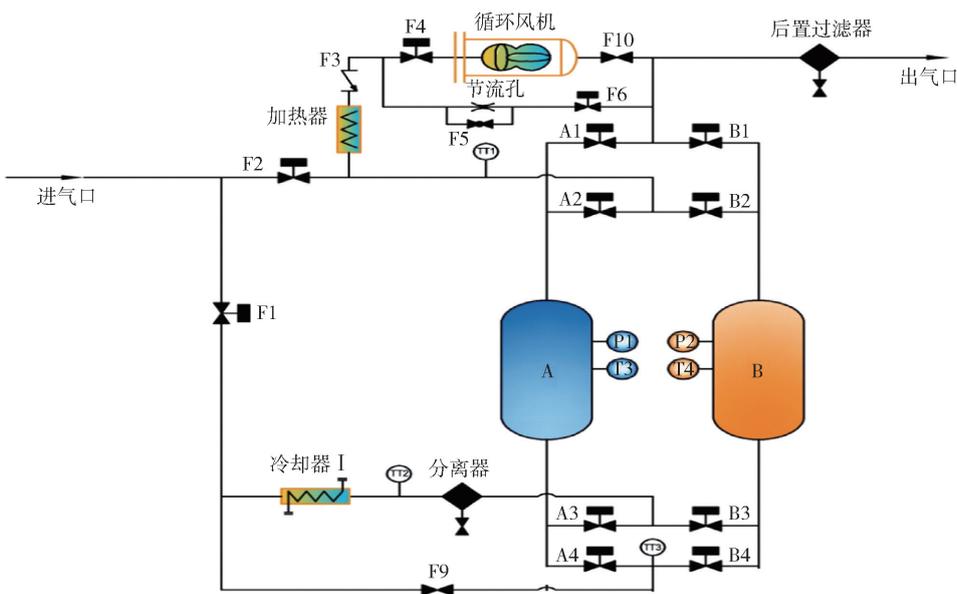


图1 余热再生零气耗吸附式干燥器内置循环风机的结构图

## 4 余热再生零气耗吸附式干燥器问题分析及改进

在实用过程中发现余热再生零气耗吸附式干燥器内置循环风机结构(如图1所示),设备在运行过程中会出现露点飘逸,排气温度高,不易观察和维护检修困难的等技术问题,严重影响正常生产。通过多次技术优化,将余热再生零气耗吸附式干燥器内置循环风机改造为外置循环风机结构,可以有效解决上述问题。余热再生零气耗吸附式干燥器外置循

环风机结构图如图2所示。

其流程为A塔吸附/B塔余热再生:空压机排出的高温压缩空气经过阀门F2、B2进入B塔利用系统余热加热再生后经法兰B4、F9进入水冷却器、分离器然后经阀门A3进入A塔吸附水分后经阀门A1、后置过滤器排出。A塔吸附/B塔干气加热:进气口高温主气流直接通过阀门F1、水冷却器、分离器后经阀门A3进入A塔吸附然后经阀门A1、后置过滤器排出。再生B塔经阀门Z4泄压完成后打开阀门Z3、打开阀门F6及加热器,取部分通过后置过

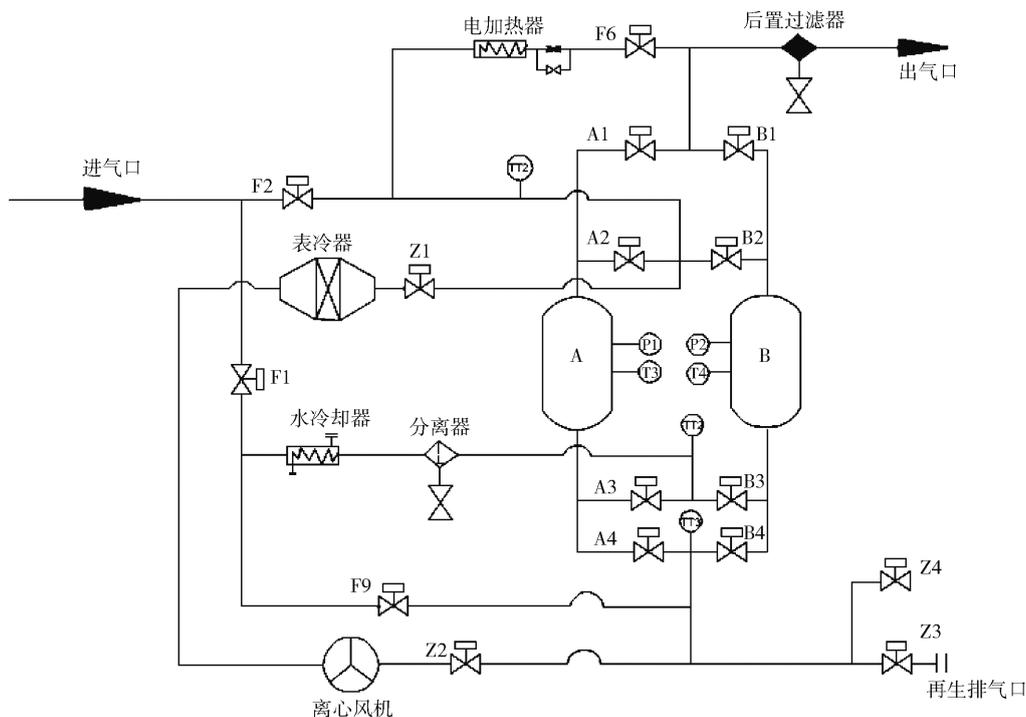


图 2 余热再生零气耗吸附式干燥器外置循环风机结构图

滤器排除的成品气经加热器加热到  $160 \sim 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$  后经阀门 B2 进入 B 塔进行二次高温加热深度再生 (补偿余热能量不足), 然后由阀门 B4、Z3 排出。A 塔吸附/B 塔吹冷再生: A 塔吸附与上述流程不变。B 塔进入闭式循环吹冷阶段。离心风机继续开启, 抽取 B 塔内余气经 B2、表冷器进入离心机风机提压后经过 Z2、B4 进入 B 再生塔进行吹冷, 然后再经阀门 B2、Z1、表冷器进入离心风机组成闭式循环, 对 B 塔持续吹冷。

## 5 余热再生零气耗吸附式干燥器改造过程

余热再生零气耗吸附式干燥器改进过程如图 3 所示: 提供一种余热再生零气耗吸附式干燥器系统, 包括 A 塔、B 塔、进气管。进气管上连通有加热管, 加热管从左到右依次设有电加热器、后置过滤器、进气管, 从上到下依次设有表冷器、离心风机, A 塔、B 塔通过回形管连通, 回形管与进气管、加热管连通, 进气管上设有与回形管连通的连通管, 连通管上设有水冷却器、分离器, 进气管上设有与连通管连通的排气管, 排气管上设有泄压管, 进气管、加热管、回形管、连通管、排气管、泄压管上分别设有阀门。

因离心风机通过进气管外置, 所以便于工作人员观察, 维护检修也容易, 不会影响离心风机的自身

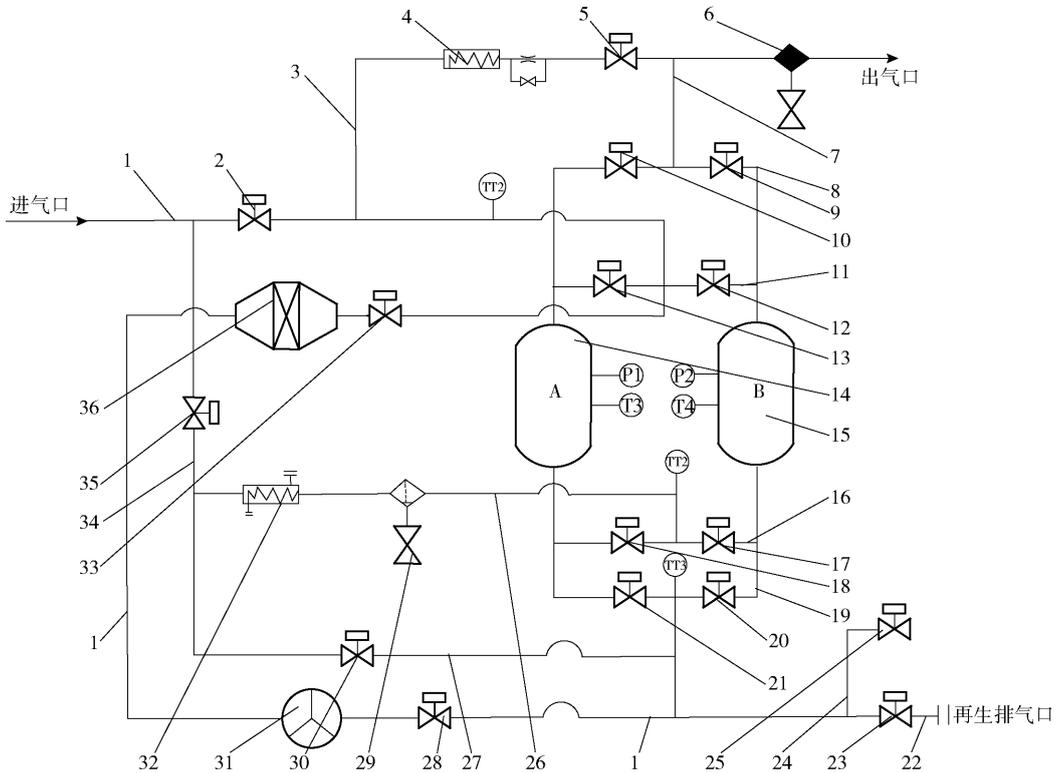
温度及损坏自身部件, 而且因离心风机外置, 电加热器可以吸附更多余热, 使电加热器携带余热能量足够吸附彻底, 从而保证设备运行稳定, 避免了露点飘逸的情况。整个系统的运行可分为三步, 第一步为 A 塔吸附/B 塔余热再生: 外部空压机排出的高温压缩空气通过进气管、回形管进入 B 塔, 并利用 B 塔系统余热加热再生后通过回形管、连通管进入水冷却器、分离器, 然后进入 A 塔吸附水分后通过回形管、排气管进入后置过滤器, 然后再排出; 第二步为 A 塔吸附/B 塔干气加热: 高温压缩空气通过进气管、连通管进入水冷却器、分离器后经回形管进入 A 塔吸附, 然后通过回形管、加热管进入后置过滤器后排出, 再生 B 塔通过泄压管泄压后打开加热器, 经过 A 塔吸附的干燥空气在进入加热管时, 约占总量  $15\% \sim 25\%$  的干燥空气会进入电加热器内, 使得吸附彻底, 避免露点飘逸, 而电加热器对其进行  $160 \sim 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$  的加热, 然后再通过加热管、进气管、回形管进入 B 塔进行二次高温加热深度再生, 以补偿余热能量不足, 再通过回形管、排气管排出; 第三步为 A 塔吸附/B 塔吹冷再生: 高温压缩空气通过进气管、连通管进入水冷却器、分离器后经回形管进入 A 塔吸附, 通过回形管、加热管进入后置过滤器后排出, 则 B 塔进入闭式循环吹冷阶段, 即离心风机继续开启,

抽取 B 塔内余气经回形管、进气管、表冷器进入离心风机提压后经过进气管、回形管进入 B 塔进行吹冷再生,再经回形管、进气管、表冷器进入离心风机内,从而组成闭式循环,对 B 塔持续吹冷;采用离心风机可以免除原风机容器内风机较困难的保养问题,同时采用离心风机除偶尔加注润滑脂外无需其他保养,运行可靠性也大大提高。

具体的,B 塔进行加热吸附为 PSA 再生方式,B 塔进行吹冷再生为 PST 再生方式。

如图 3 所示,在上述的基础上,回形管包括连接管一、连接管二,连接管一包括通气管一,通气管一上设有与进气管连通的通气管二,通气管一通过短管与加热管连通,连接管二包括通气管三,通气管三上设有通气管四,通气管三、通气管四上连通有同一连通管。在本实施例中,通气管一、通气管二、通气管三、通气管四可保证系统能顺利进行 A 塔吸附/B 塔余热再生、A 塔吸附/B 塔干气加热、A 塔吸附/B 塔吹冷的运行流程;其中,进气管与通气管二连通有

利于高温压缩空气进入 B 塔进行余热加热再生,通气管一通过短管与加热管连通有利于 A 塔在吸附水分后进入后置过滤器内,通气管三上设有通气管四,便于连通连通管。通气管一上设有阀门 A 一、阀门 B 一,通气管一处于阀门 A 二、阀门 B 一之间的部位连通有短管。通气管二上设有阀门 A 二、阀门 B 二,通气管二处于阀门 A 二、阀门 B 二之间的部位连通有进气管。连通管包括输送管,输送管从上到下依次设有与通气管四连通的分支管一、与通气管三连通的分支管二,分支管一从左到右一次设有水冷却器,分离器,分支管二与排气管连通,分支管二上设有阀门 F 二。通气管三上设有阀门 A 三、阀门 B 三,通气管三处于阀门 A 三、阀门 B 三之间的部位连通有分支管一,通气管四上设有阀门 A 四、阀门 B 四,通气管四处于阀门 A 四、阀门 B 四之间的部位连通有分支管二。进气管处于输送管、加热管之间的部位设有阀门 F 二,进气管处于通气管二、表冷器之间的部位设有阀门 Z 一,进气管处于



1. 进气管 2. 阀门 F2 3. 加热管 4. 电加热器 5. 阀门 F2 6. 后置过滤器 7. 短管 8. 通气管一 9. 阀门 B 一 10. 阀门 A 一 11. 通气管二 12. 阀门 A 二 13. 阀门 B 一 14. A 塔 15. B 塔 16. 通气管四 17. 阀门 A 三 18. 阀门 B 三 19. 通气管三 20. 阀门 B 四 21. 阀门 A 四 22. 排气管 23. 阀门 Z 三 24. 泄压管 25. 阀门 Z 四 26. 分支管一 27. 分支管二 28. 阀门 Z 二 29. 分离器 30. 阀门 F2 31. 离心风机 32. 水冷却器 33. 阀门 Z 一 34. 输送管 35. 阀门 F 一 36. 表冷器

图 3 余热再生零气耗吸附式干燥器改造过程示意图

离心风机、分支管二之间的部位设有阀门 Z 二。

输送管上设有阀门 F 一, 阀门 F 一设在分支管一的上方。排气管从左到右依次设有泄压管、阀门 Z 三, 泄压管上设有阀门 Z 四。加热管处于电加热管、后置过滤器之间的部位连通有短管, 加热管处于电加热器、短管之间的部位设有阀门 F 三。

系统运行并进行第一步, A 塔吸附/B 塔余热再生: 外部空压机排出的高温压缩空气通过进气管上的阀门 F 二、通气管二上的阀门 B 二进入 B 塔, 并利用 B 塔余热加热再生后通过通气管三上的阀门 B 四、分支管二上阀门 F 二进入水冷却器、分离器, 经冷却和分离后的空气通过通气管四上的阀门 A 三进入 A 塔吸附水分, 然后通过通气管一上的阀门 A 一、短管、后置过滤器排出; 进入第二步, A 塔吸附/B 塔干气加热: 高温压缩空气通过进气管、输送管上的阀门 F 一进入水冷却器、分离器, 经冷却和分离后的空气通过通气管上阀门 A 三进入 A 塔吸附水分, 然后通过通气管四上的阀门 A 一、短管、后置过滤器排出, 再生 B 塔通过泄压管的阀门 Z 四卸压后打开加热器、加热管上的阀门 F 三、排气管上的阀门 Z 三, 因阀门 F 三是打开的, 所以通过后置过滤器排放干燥空气时, 约占总量 20% 的干燥空气会通过阀门 F 三进入电加热器内, 使得吸附彻底, 从而避免露点飘逸, 而电加热器会对其进行 170℃ 的加热, 然后再通过进气管、通气管二上的阀门 B 二进入 B 塔进行二次高温加热深度再生, 以补偿余热能量不足, 然后再通过通气管三上的阀门 B 四、排气管上的阀门 Z 三排出; 进入第三步, A 塔吸附/B 塔吹冷再生: 高温压缩空气通过进气管、输送管上的阀门 F 一进入水冷却器、分离器, 经冷却和分离后的空气通过通气管上阀门 A 三进入 A 塔吸附水分, 然后通过通气管四上的阀门 A 一、短管、后置过滤器排出, 则 B 塔进入闭式循环吹冷阶段, 即离心风机继续开启, 抽取 B 塔内余气并经通气管二上的阀门 B 二、进气管上的阀门 Z 一、表冷器进入离心风机提压力后通过进气管上的阀门 Z 二、通气管三上的阀门 B 四进入 B 塔进行吹冷再生, 然后再通过通气管上的阀门 B 二、进气管上的阀门 Z 一、表冷器进入离心风机内, 因而组成闭式循环, 对 B 塔持续吹冷。进气管处于阀门 Z 一之前的部分是带压管道, 压力  $\leq 8\text{bar}$ , 带压管道能确保流速。阀门 Z 三为气动蝶阀。

## 6 余热再生零气耗吸附式干燥器改造后效果

### 6.1 解决设备露点飘逸

离心风机通过进气管外置, 外置的离心风机便于工作人员观察, 维护检修也容易, 而且排气是直接排放在外, 不会影响离心风机的自身温度及损坏自身部件, 同时在二次高温加热深度再生抽取的干燥空气量约为总量的 15% ~ 25%, 其携带余热能量足够, 吸附彻底, 从而保证设备运行稳定, 避免了露点飘逸的情况。

### 6.2 解决余热能量不足

整个系统可形成余热、干气加热、鼓风闭式吹冷的再生系统, 余热是进入零气耗余热再生干燥器的高温压缩空气携带的热能, 用于对干燥器水分吸附; 干气加热是为了对经过外置离心风机干燥后的空气通过电加热器二次高温加热深度再生, 补偿余热能量之不足; 鼓风闭式吹冷是抽取塔内余气经表冷器进入离心风机提压后对再生塔进行吹冷, 将 PSA + PST 两种再生方式充分结合, 同时采用鼓风大流量吹冷, 可大大地缓解切换后零气耗余热再生干燥器的露点飘逸及排气温度高等问题。阀门 F 三可控制后置过滤器排出的成品气进入电加热器的量, 从而使进入电加热器内成品气余热能量足, 而且电加热器吸附成品气更彻底, 因而避免了露点飘逸的情况, 使得设备运行稳定。

### 6.3 解决设备内部热量排出

因型号为 CHD2500RZ 的吸附式干燥器的循环风机是内置的, 且干燥器是密闭的, 所以干燥器内的热量无法及时排除, 再加上热量含有一定水分, 所以循环风机主轴在高速运转过程中会发生损坏, 而外置的离心风机可及时将热量排放至外界, 因而不会影响离心风机的自身温度及破坏自身的部件。

### 6.4 解决对管路排出气体降温

拆除原内置风机及风机容置、板式换热器及风机侧再生管路, 增加离心风机、表冷器及部分阀门、管路, 形成余热、干气加热、外置风机闭式吹冷的再生循环系统。离心风机在高速旋转的过程中可对管道中的气体降温。

## 7 结语

余热再生零气耗吸附式干燥器是白银有色集团股份有限公司铜业公司供风的核心设备, 循环风机

是余热再生零气耗吸附式干燥器的重要组成部分,经过对循环风机的改进及优化,有效解决设备的露点飘逸、温度高、不稳定运行等问题。

#### [参考文献]

- [1] 曹银强. 电气控制改造在环境集烟系统中的应用[J]. 有色设备, 2022, 36(03): 47 - 50.
- [2] 刘永龙, 郑小娜, 武逸云, 等. 烟气制酸净化工序酸泥处理系统优化改造及应用[J]. 有色设备, 2022, 36(01): 57 - 59.
- [3] 刘永龙, 王明得, 郑小娜. 烟气制酸 SO<sub>2</sub> 风机润滑系统故障分析及解决措施[J]. 有色设备, 2021, 35(02): 75 - 77.
- [4] 孙志向. 零气耗余热再生干燥器工程应用分析[J]. 化工管理, 2017(13): 126 - 127.
- [5] 武逸云, 刘永龙, 郑小娜. 制酸系统阳极保护酸冷却器漏酸报警装置的改造及应用[J]. 有色设备, 2023, 37(03): 43 - 47.
- [6] 顾大为. 余热发电站的继电保护配置及整定计算[J]. 有色设备, 2022, 36(06): 88 - 92.
- [7] 邵浔峰, 王天龙. 余热再生吸附式干燥机在压缩空气系统中的应用研究[C] // 中国建筑学会建筑热动力分会. 中国建筑学会建筑热动力分会第十六届学术交流会论文集. 《建筑热能通风空调》编辑部, 2009: 90 - 92.
- [8] 孟庆雨, 冯卫华, 刘升会. 四环锌镭综合回收厂烟气余热利用现状分析[J]. 有色设备, 2022, 36(06): 93 - 96.
- [9] 徐巍, 葛启发, 张维国. 基于模糊 PID 的风机风量控制系统[J]. 有色设备, 2022, 36(02): 9 - 13 + 17.

## Improvement and Optimization of Zero Gas Consumption Adsorption Dryer for Air Supply System

WANG Da-wei, WANG Qiu-xia, WANG Zhong-yang, NAN Wen-jiao

**Abstract:** Waste heat regeneration zero gas consumption adsorption dryer is the main air supply equipment, the circulation fan is the core component of the dryer, the operating condition of the dryer, the current operation of the dryer circulation fan is built-in structure, the equipment will be prone to elegant, high exhaust temperature, not easy to observe and maintenance difficult technical problems, through technical improvement, the dryer built-in circulation fan into external circulation fan, can effectively solve the relevant technical problems. This paper discusses the improvement and optimization of the dryer through the comparison of internal and external circulation fan.

**Key words:** waste heat regeneration zero gas consumption adsorption dryer; elegant dew point; exhaust temperature; built-in circulation fan; external circulation fan

