

# 空气预冷系统换热效率低的原因分析及解决措施

柴育鹏 徐艳龙 张生鹏 姚良波 秦小改

内蒙古伊泰煤制油有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要:**空分设备中预冷系统运行,直接制约纯化器分子筛的吸附效率以及整套空分设备的稳定性。空冷塔出口温度长期偏高,导致分子筛吸附器运行负荷增大,吸附剂吸附效率降低,造成整体负荷偏低,甚者可能导致空分被迫停车。通过辨识分析,在预冷系统增加冷冻冰机、抑制空冷塔和氨水塔分布管结垢等举措,解决空冷塔出口温度偏高的瓶颈,提高装置运行负荷。

**关键词:**分子筛吸附器;预冷系统;冷冻机;分布管

内蒙古伊泰16万t/a煤制油项目配套空分设备采用液空低温精馏技术,空分精馏所需各等级压缩空气由曼透平压缩机组提供。空压机组提压的原料空气经空气预冷、两台分子筛吸附器净化后,送入低温膨胀机、深冷精馏系统制取氧气、氮气及富裕低温液体产品。

2019年5月之后,由于循环水质影响,水温持续上涨,导致空冷塔出口温度一度超出设计操作值,制约分子筛吸附效率,进塔空气量偏低导致氧产量无法满足后系统负荷,影响全厂整体高负荷运行。

## 1 制约空冷塔出口温度偏高的因素分析

### 1.1 循环水质影响

鉴于煤制油厂区设计缺陷,全厂共用一套循环水系统,换热介质多、复杂,若换热器泄漏,工艺物料进入循环水系统极易造成循环水COD升高;由于环境因素,空气中沙尘含量多,换热设备带入发铁锈、水垢易堵塞换热器,均会影响换热效率。

### 1.2 填料结垢、粉化

空压机出口的高温空气在空冷塔内与经聚丙烯鲍尔环均匀分布后的冷却水、冷冻水直接换热、洗涤。由于循环水不断蒸发,水中盐类浓度不断提高,极易在聚丙烯鲍尔环变层结垢,加之高温影响,长期运行后聚丙烯鲍尔环结构容易出现断裂、粉化的现象;空气中被洗涤的灰尘、夹带的泥沙沉积在填料孔隙形成“死区”,降低了换热效果,甚至出现偏流现象,造成分子筛带水事故。

### 1.3 水分布器堵塞

循环水经过水泵在空冷塔、氨水塔内通过分布管、聚丙烯鲍尔环均匀分布后直接换热,由于循环水夹带有泥沙、铁锈等会堵塞水分布管,供水量降低,影响换热效果;同时受冷冻水温度低的影响,循环水中的盐类溶解度降低,结晶析出易造成冷冻水水分步堵塞,致使冷冻水供水不足、空冷塔冷冻水分布不均匀,气液换热不充

分,造成空冷塔出口温度偏高,影响分子筛吸附效率<sup>[1]</sup>。

### 1.4 空冷塔、氨水塔丝网除沫器结垢堵塞

丝网除沫器主要用于分离气体中夹带的液滴(水),由于循环水质差、硬度及浊度偏高,运行期间气液夹带的杂质在塔顶丝网除沫器上容易集聚,日积月累容易堵塞,造成分离效果降低,甚至发生偏流现象,造成分子筛带水事故<sup>[2]</sup>。

## 2 解决空冷塔出口温度偏高的措施

空冷塔出口温度的高低,直接影响着分子筛吸附器的运行、精馏塔的工况以及整套空分设备的稳定性。据相关资料统计,当进入吸附器的空气温度每升高3℃,空气中的水含量就会增加1倍多,这就大大增加了分子筛吸附器吸附水分的负担,影响装置安全稳定运行。

降低进塔空气温度,不仅能提高空分设备的经济性,而且降低了空气中的饱和水含量。因此,要尽可能地降低空气进塔温度。

本套空分设备在现运行阶段主要解决方法如下。

### 2.1 降低循环水温度

由于全厂公用一套循环水系统,从源头降低温度较为困难。经咨询相关厂家、设计院,建议在预冷系统单套增加一套处理量约800m<sup>3</sup>/h的凉水塔系统,鉴于因投资费用较高,改造难度大等因素,不予采纳。

为此,公司利用每次大修时间组织清理循环水塔池内淤泥、杂质,避免运行期间带入全厂换热器;同时改进循环水泵入口过滤装置;改善药剂加注调节硬度、浊度等指标。

### 2.2 降低冷冻水温度

2012年夏季冷冻水温度偏高(最高10.3℃),导致空冷塔出口温度持续在15.5℃以上,制约空分设备运行,临时配置高压消防水和低压消防水供氨水塔,可以维持冷冻水降低4℃左右,空冷塔出口温度可降低约1℃,但

是造成公用车间循环水塔池液位高溢流；长期使用未经处理的原水会造成氨水塔、空冷塔填料和分布器结垢、堵塞。

与同行技术人员交流，为彻底解决冷冻水温度高的瓶颈，唯独在冷冻水泵出口增加冷冻机组来降温，效果明显。

目前使用较多的是溴化锂和氟利昂R22、R134a冷冻机组。溴化锂冷冻机组既能回收低能蒸汽，又可以降低所需冷冻水温度，但是日常操作不当或因蒸汽中断、断电事故，易造成溴化锂结晶。而单一降低冷冻水温度以氟利昂R22或R134a制冷机较为实用，且维护方便、故障

率较低<sup>[3]</sup>。

2021年公司开展“修旧利费、节能创效”活动，将原办公区氟利昂冷冻机组调拨至空分设备，该套机组处理冷冻水量刚好满足预冷系统冷冻水流量。经现场技改、对机组维护保养，于2021年5月底投运冷冻水温度由原来同期平均9~10℃降低到5℃以下，空冷塔出口温度能降低至14℃左右，尤其将两台冷冻水泵并联运行，效果显著。结合运行经验，又协调搬迁一台冰机，在夏季高温时段两台冰机并联运行，这样既能保证冷冻水温度降至操作至，又能作为备用机使用。

表（1）：安装冰机前后冷冻水对比表

时间	环境温度℃	循环水温度℃	冷冻水温度℃	冷冻水量t/h	空冷塔出口温度℃	氧气产量KNm <sup>3</sup> /h
2020年夏季运行数据（安装冰机前）						
7.29	31	31.9	8.5	95	15.4	54.871
7.31	31.2	32.7	9.4	98	17.4	54.415
8.1	28.5	32.7	8.8	100	16.3	55.515
2021年投运一台冰机数据						
5.28	26	30.4	5.3	105	13.37	56.965
6.1	25.7	31.1	5.6	100	13.95	56.956
6.4	25.8	30.7	6.3	98	14.46	57.274
2022年投运两台冰机、两台冷冻水泵数据						
6.2	31	31.6	4.6	115	12.4	56.798
6.9	31.6	32.4	4.5	118	13.2	57.246
6.10	30.9	31.8	4.3	115	12.5	57.345

从上表可以看出，加装冰机后，效果明显，且在公开允许的情况下，加大了氧气产量。

安装冷冻冰机后，降低了冷冻水温度，解决了空冷塔出口温度高的瓶颈。但是持续较低温度的冷冻水亦会形成结垢堵塞：2022年8月中旬，冷冻水流量阀FV1028逐渐开大直至全开，两台水泵出口压力均在0.95mpa以上，而冷冻水量缓慢降低至100t/h，分析判断分布器堵塞。利

用2022年10月一次非计划停车窗口期，打开检查空冷塔冷冻水分布器发现分布管结垢严重、堵塞分布管小孔，取样化验分析为钙、镁成份含量较高。分析原因：低温冷冻水，长期运行，导致循环水中钙镁离子化合物溶解度降低、析出，形成低温结垢与夹杂泥沙等机械杂质“抱团”堵塞分布器。（如图01，图02）



冷冻水分布器结垢严重  
图01 “空冷塔冷冻水分布器”



分布器内的垢片  
图02 “冷冻水分布器清理的结垢”

可采取预防措施：

1) 在冷冻水总管安装一台旋风分离装置，利用离心

力作用沉积循环水中的大密度颗粒，定期排污减少带入空冷塔，可缓解结垢、堵塞。（如图03）



图03 冷冻水总管上增加了旋风分离器

2) 定期在冷冻水管道加药剂, 抑制低温结垢, 考虑到盐酸等强酸对空冷塔内件、金属填料有一定腐蚀, 一般使用弱酸, 如柠檬酸。因本套空分装置非独立循环水系统, 运行期间向循环水系统加药剂用量较大、费用高, 不建议采取。

3) 采购安装抑制结垢较好的除垢设备。

### 2.3 塔内填料等设施的维护

由于该套空分设备的空冷塔、氨水塔中填料运行年限已有10年之久, 老化、粉碎严重, 2019年检修、清理填料时发现结垢严重、碎屑较多, 且积存大量泥沙(累计清理约800公斤), 尤其在空冷塔底部、冷冻水段结垢较为严重, 加剧恶化了空冷塔、氨水塔的换热效率, 亦造成分子筛吸附器进口温度偏高。

1) 利用大修机会, 掏出塔内填料清洗, 筛选更换结垢、粉化严重的同规格型号备用填料; 机械清洗丝网除沫器使其达到气液分离的效果; 利用高压清洗分布器内的结垢、逐个疏通分布管小孔, 以此提高供水量, 其实气液均匀分布、充分换热<sup>[5]</sup>。

2) 每次检修回装分布器后, 向空冷塔冷却水、冷冻水分布器、氨水塔水分布器通入循环水, 检查分布器法兰、垫片有无泄漏、有无走“短路”现象, 避免投运后因分布不均造成偏流影响换热效果。

3) 结合近年来运行经验, 改造预冷系统水泵、氨水塔上水过滤器, 技改为可切换式的管道过滤器, 强化过滤网管控, 保证进入空冷塔、氨水塔的不带机械杂质, 从源头降低分布器堵塞的风险。并将其推广运用在油冷器、空压机和增压机级间冷却器上水, 效果显著<sup>[4]</sup>。

4) 利用大修机会清洗空压机内冷却器、定期切换清理空压机内冷却器上水管道过滤网, 以此降低空压机出口温度, 提高空压机效率。

### 3 结束语

空气预冷系统连接于空气过滤、压缩系统和分子筛纯化系统之间, 主要是为降低分子筛纯化器的入口空气温度、减少饱和水份含量, 同时洗涤空气中的粉尘、酸性介质等, 有利于改善分子筛纯化器吸附工作状况。避免分子筛对二氧化碳、碳氢化合物等的吸附效率, 从而造成分子筛出口二氧化碳超标堵塞主换热器、精馏塔填料及阀门, 甚至导致主冷凝蒸发器碳氢化合物超标, 严重时, 易发生设备安全事故。

空气预冷系统可靠运行, 既保障分子筛吸附器有效运行, 提高吸附剂使用寿命, 又降低了压缩机运行能耗。

本套空分设备无后备氧气系统, 其稳定、长周期运行, 对全厂生产装置连续运行尤为重要。结合近年来空分行业发生的安全事故, 在设计初期严格按照相关行业、国家规范合理布局, 严把试车、投运, 降低风险发生的可能性。日常运行中, 认真履行设备厂家、工艺包设计商提供的技术要求、运行参数, 制定严格的操作应急预案, 才能有效保障长周期、安全运行。

### 参考文献

- [1] 丁盼盼, 王德胜, 刘春燕. 分子筛吸附器故障分析及优化措施[J]. 化肥工业. 2017, (5).
- [2] 程建军. 安化公司8000空分装置空气预冷系统优化节能技术[J]. 河南化工. 2021, (2). 39-41.
- [3] 姜磊, 梁琦. 空分装置预冷系统优化节能设计[J]. 冶金设备. 2022, (2). 22-25.
- [4] 柏旭刚, 荣育栋. 冷冻机组制冷效果差原因分析及处置[J]. 化工管理. 2018, (18).
- [5] 陈俊武. 催化裂化工艺与工程 [M]. 中国石化出版社, 2005.