

喷雾增湿空冷器优化设计研究

吕兵 牛宗玲

烟台冰轮换热技术有限公司, 山东 烟台 264006

[摘要] 文章以喷雾增湿空冷器为研究对象, 围绕该产品的优化设计方案展开了讨论。首先介绍了产品的特点, 其次说明了本系统的运行环境、工作原理, 并对系统构成、设计标准及设计要点进行了详细介绍, 最后结合实际数据, 证实了本系统具有良好的经济性及实效性。希望能给人以启发, 使该产品所具有价值得到最大程度实现。

[关键词] 空冷器设备; 喷雾增湿; 冷却空气; 优化设计

DOI: 10.33142/ec.v6i1.7717

中图分类号: P4;F426.22;TE966

文献标识码: A

Study on Optimum Design of spray Humidification Air Cooler

LYU Bing, NIU Zongling

Yantai Moon Heat Exchange Technology Co., Ltd., Yantai, Shandong, 264006, China

Abstract: The article takes the spray humidification air cooler as the research object, and discusses the optimal design scheme of the product. The characteristics of the product are introduced firstly, then the operating environment and working principle of the system are explained, and the system composition, design standards and design points are introduced in detail. Finally, combined with the actual data, the system is proved to have good economy and effectiveness, which hope it can inspire people and maximize the value of this product.

Keywords: air cooler equipment; spray humidification; cooling air; optimum design

引言

现阶段, 空冷器已作为热交换设备在石油化工等领域得到广泛运用, 与传统翅片式干空冷相比, 喷雾增湿系统具有使用范围广、结构紧凑和热效率良好等优点, 对本系统加以运用, 可以通过冷却低温介质温度的方式, 使回收低温介质的成本得到有力控制。由于空冷器项目普遍具有出口温度偏低、处理量大等特点, 常规喷雾增湿系统所能发挥的作用十分有限, 故设计人员决定对既有系统加以优化, 通过改善系统性能的方式, 将外界环境、夏季高温给空冷器所带来影响降至最低。

1 产品介绍

空冷器又称作空气冷却器, 可以简单地理解为利用空气降低冷却管内介质的设备, 该设备在冷却水系统运行期间, 发挥着极为重要的作用。根据冷却方式的不同, 可将空冷器划分成三类, 首先是干空冷, 该设备能够将管内介质与外界环境的温差控制在 20℃左右, 其次是湿空冷, 该设备可确保管内外温差在 3℃~5℃之间, 最后是联合空冷器, 该设备能够使管内介质快速下降到与外界环境持平的温度^[1]。各类空冷器所适用场景往往有所不同, 一般来说, 喷雾增湿设备、干空冷多用于冷却单相介质, 喷水增湿、联合空冷更适用于冷却两相介质。此外, 上述空冷器的区别还体现在工作原理方面, 喷雾增湿、干空冷主要通过空气升温的方式, 降低管内介质温度, 联合空冷、喷水增湿则通过水分蒸发控制管内介质温度。

2 喷雾增湿设计讨论

喷雾增湿系统具有降温、增湿的功能, 在维持空冷器稳定运行、降低冷却水温等方面, 均发挥着无法被替代的作用。对该系统进行设计期间, 设计人员应对以下内容引起重视:

2.1 运行环境

本项目中, 产品运行环境的空气湿度为 45%, 全年平均最高气温为 30℃, 其他性能参数见表 1:

表 1 产品性能参数

项目	参数	单位
热负荷	24.5	MW
风机风量	2900000	nm ³ /h
管内流量	430000	kg/h
风机数量	12	台
管束总量	12	束
管束尺寸	9*3	m
入口温度	120	℃
出口温度	30	℃
设备体积	12*40	m
运行压力	7	MPa

结合表 1 可知, 产品具有三个特点, 一是介质流量和热负荷相对较大, 二是占地面积、换热面积较大, 三是出口温度偏低, 基本能够达到夏季极端温度^[2]。

2.2 工作原理

本系统充分利用湿球温度低于干球温度这一环境特点,经由高压水泵、喷头,将液态水转化为雾化液滴,确保雾化液滴能够在风机所施加作用力的影响下,快速融入空气并作用于空冷器迎风面,在增加湿度的同时,促使干球温度快速下降到湿球温度。事实证明,对本系统加以运用,可以使设备更加紧凑,并通过控制传热温差和强化产品换热能力的方式,减少产品占地面积,使产品更具有经济价值。

2.3 系统构成

2.3.1 高压泵

高压泵流量为 $15\text{m}^3/\text{h}$,扬程为 340m 。37kW 电机和缓冲罐相连,进水管路接有过滤器、手动截止阀,水泵出口设有手动截止阀以及止回阀。

2.3.2 主管路

主管路并入高压泵管路,管件、管线材质均为 304 不锈钢,管径分为 DN25、DN80 两种。管路进水口与过滤器相接,由过滤器对注入管路的水进行过滤。

2.3.3 缓冲罐

脱盐水罐材质为不锈钢,容积能够达到 7.5m^3 。软水先经由脱水管网进入缓冲罐,再通过喷头喷出。缓冲罐内部设有远传液位计、就地液位计和报警器,罐底加装排污阀,顶部装有溢流阀、呼吸阀。

2.3.4 高压喷雾

每跨高压喷雾均配有四根支管,支管分别布设在单跨两侧,这样设计的目的是为日后检修人员检修电机预留通道。本项目中,各支管长度均为 24m ,支管所连接喷头之间的距离为 0.5m ,每根支管所连接喷头数量相同(以 10 个为最佳)。喷嘴优选超细雾化喷嘴,向喷嘴施加 2.5MPa 的压力,喷嘴可喷出粒径在 $60\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 之间的细微雾点,喷雾量能够达到 $0.25\text{L}/\text{min}$ ^[3]。喷头具备自动清洁功能。另外,该配件所使用不锈钢喷片均已经过锻压,具有良好的耐压性。

2.4 设计标准

焊缝接口呈 V 型,夹角在 $55^\circ\sim 65^\circ$ 之间,每边与坡口边缘的重合宽度为 2mm ,连接相同壁厚的管件时,应保证管件内壁平整,错边量 \leq 壁厚 $\times 10\%$,其中,1 级管道错边量不得超过 1mm ,其他管道错边量不得超过 2mm 。若需要将管段对口,则应以接口中心为起点,对距起点 200mm 以内的管段直线度进行检查,如果公称直径在 100mm 以下,则合格标准为直线度偏差不得超过 1mm 。焊接完成后,还应利用射线对焊缝质量进行检查,若检查结果符合以下要求,代表焊缝质量达标:①100%检测焊缝的质量为 II 级;②局部检测质量为 III 级。

2.5 设计说明

2.5.1 设计方案

喷雾增湿系统需要用到喷淋管线、高压水泵和雾化喷

头等配件,高压水泵流量主要取决于空气含水量、风机风量,柱塞泵出口压力以 80bar 为最佳,喷头所喷出雾化除盐水的粒径处于 $60\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 之间,此外,本系统管线还接有过滤器,这样设计能够保证除盐水得到充分净化。结合运行环境特征确定喷雾条件,夏季环境温度 $\geq 40^\circ\text{C}$ 、其他季节环境温度 $\geq 30^\circ\text{C}$ 时,启动系统并喷雾。计算可知,将环境温度由 40°C 降至 30°C 需要消耗大量除盐水,此时,系统耗水量约为 $15\text{m}^3/\text{h}$ 。设计人员以系统扬程、耗水量为依据,将水泵电机额定参数定为 37kW ,系统运行流程如图 1 所示:

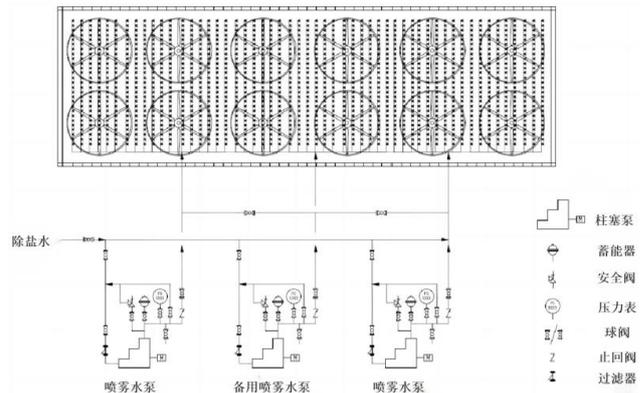


图 1 喷雾增湿系统

分析图 1 可知,本系统需接入两用一备共三台水泵,此外,还要接入以下配件:①喷头②喷淋管线③除盐水管④蓄能器、压力表等仪表管件⑤止回阀、安全阀等管道阀门^[4]。其中,喷淋管线、喷头通过螺纹可靠连接,管线沿纵向敷设在空冷器底部,为确保喷雾效果达到客户要求,设计人员采取了以下措施:一是严格控制相邻管线的距离,避免由于喷雾范围重合,导致喷雾结成大量水滴并落下,浪费水资源;二是对换热管与喷头之间的距离加以调整,确保喷雾范围和喷头作用半径相符。

2.5.2 配件选型

(1) 管道

考虑到喷雾系统属于典型的高压系统,要想使系统长期处于稳定、高效的运行状态,关键是要对供水管道材质进行优化,改用更符合要求的锈钢管道。排污管、补水管及其他无压/常压管,均可选用内衬塑钢材质的管道。

(2) 水泵

本项目对喷雾水泵所提出要求可被归纳为两点,一是供水压力大,二是流量可控。由于系统启动后,水压、水量均会呈现出稳步增加的态势,因此,若条件允许,应为喷雾水泵配备先进的变频电机,为系统提供保护。另外,考虑到大规模喷雾系统多由数个子系统组成,设计人员提出了以下建议:根据子系统数量确定水泵数量,确保各子系统均配有相应的水泵,在降低系统控制难度的同时,使系统得到稳定且高效的运行。

(3) 喷头

喷头选型是否科学,通常会给系统运行效果产生巨大影响。本系统所选用喷头为不锈钢雾化喷头,喷头内部装有过滤器。喷头孔径在 0.4mm~2.2mm 之间,工作压力在 60bar 以上。向喷头施加一定压力,各喷头所喷出水量均能够达到 10L/h~500L/h。研究发现,喷头雾化效果、喷雾总量均取决于供水压力,一般情况下,供水压力越高,雾化效果及喷雾总量越理想。出于降低前期安装、日常检修及更换难度的考虑,喷头多通过丝扣进行连接,根据螺纹形式,可以将喷头分成锥螺纹、直螺纹两类,前者的特点是螺纹外径逐渐变大,后者的螺纹外径保持不变。若现场水压未超过 30bar,首选直螺纹喷头,若水压在 30bar 及以上,则应安装锥螺纹喷头,此外,还要注意一点,即:喷头接口螺纹、喷头螺纹形式应保持一致,以免由于接口与喷头连接不紧密,出现漏水或是飞溅等问题。

2.5.3 设计要点

(1) 喷头

喷头均安装在空冷器下方,需要设计人员以喷射角度、供水压力、喷雾需求和实际喷雾量为依据,对喷头数量加以确定。其中,喷射角度、供水压力和实际喷雾量均为固定值,喷雾需求则需要结合风速、环境温度以及相对湿度等因素进行计算。若条件允许,可以先布设一套完整的测试装置,根据试运行情况调整喷头数量及布局,保证喷雾冷却、增湿效果达到预期。一般来说,喷头朝向并无明确规定,若喷头朝向上方,则要避免水雾直达空冷器框架或是管束,以免由于温度下降过快,导致水雾提前凝结降落,如果喷头朝向下方,则要杜绝喷头与地面完全垂直,这样做能够避免水雾直达喷雾管道并快速凝结,使冷却、增湿效果受到影响。在本项目中,出于提高系统安全性的考虑,设计人员决定将外侧喷头朝向统一设定为下方内侧,此举能够有效解决喷雾飞溅的问题。

另外,喷雾系统所连接喷头数量极多,只有对喷头进行划分,才能在降低控制难度的前提下使项目更具经济性,简单来说,就是将喷雾系统划分成多个子系统,确保各子系统均能够正常运行。目前,实证有效的系统划分方式有两种,分别是环境划分、区域划分,前者是指根据物理区域对系统进行划分,保证各子系统所连接喷头分布均匀,这样做的优点是能够保证空冷器下方湿度、温度相同,后者则强调按照地理区域划分系统,具有管理、控制难度小的优点。若系统覆盖范围较大,则应综合使用以上两种方法,确保冷却、增湿效果理想。

(2) 进风区

在条件允许的情况下,可以分别在产品进风口、管束下方增设进风区,对喷头进行集中布设。这样设计能够降低外界因素对喷头的干扰,使空气冷却及增湿效果达到预期。但要注意一点,即:增设进风区会提高项目建设成本,因此,设计人员应视情况做出决定。

(3) 喷雾管网

划分系统的工作结束后,尽快根据系统划分情况规划管网走向及布局,确保管网能够贯穿各个区域,并对各区域既有喷雾系统进行可靠连接,通过均匀配水的方式,使系统价值得到最大化实现。在布设管网时,应对以下几点引起重视:首先,若条件允许,应优先对管网进行环状布设,如果现场不满足环状布设的条件,可酌情改为枝状布设,并对各系统所连接喷头的压差加以控制,以免由于压差超出允许范围,导致喷雾冷却、增湿效果不理想。其次,布设管网时,应避开检修轴承、风机的通道,确保日后检修工作能够得到有序开展。再次,分别在支管、主管末端增设排水管道及阀门,保证工作人员只需简单操作,便能够将管网积水彻底放空,此外,还应在支管、主管末端安装排气管道与阀门,这是因为重启系统时,管网内部往往存在大量空气,只有尽快排出空气,才能避免压力波动过大,致使系统受到不必要的影响。最后,考虑到运行状态下,管道内部压力较高,在布设管道时,应使用专用管夹对管道加以固定。

(4) 喷雾水池

作为水源供给主体,喷雾水池的重要性有目共睹。本系统对水质所提出要求极高,若水源含有杂质,不仅会堵塞喷头,还会影响系统的运行。除特殊情况外,喷雾增湿系统均可使用软化水、纯水或脱盐水作为水源,本项目中,出于降低运行成本的考虑,决定使用脱盐水作为水源,并在现场搭建封闭喷雾水池,水池材质以不锈钢、钢筋砼为主。研究发现,本系统多用于温度较高的夏季,具有耗水量大的特点,为避免系统运行致使企业出现水源供不应求的情况,设计人员提出了以下建议:根据系统每日需水量,确定水池尺寸及容量,在夜间储存一定量的脱盐水,确保系统在用水量较大的白天,仍然能够维持正常运行^[5]。

2.6 经济价值

干空冷入口温度通常为最高气温、平均最高气温增加 5℃,本系统入口温度为湿球温度,二者的区别如表 2 所示:

表 2 系统参数差异

项目	本系统	干空冷
管束总量	12 束	16 束
空气温度	30℃	40℃
设备体积	12*40m	12*52m

分析表 2 能够发现,干空冷入口温度明显高于本系统,在设备热负荷值完全相同的情况下,干空冷占地面积、换热面积均大于本系统。将设备寿命设为 20 年,除盐水成本为 7 元/t,电费为 0.7 元/kW·h,按照每年需要运行 8400h 计算,则可以得出以下结论:首先,本系统能效高于干空冷,二者差值在 30%左右;其次,本系统运行能耗低于干空冷,可以为用户节约 81 万左右的费用;最后,本系统

建设成本低于干空冷，二者差值能够达到约 580 万。

3 结束语

综上，本文重点讨论了喷雾增湿系统的优化方案，分别从经济性、换热性出发，对优化后系统、干空冷进行了对比，指出本系统具有运行成本低、节水节能和降温增湿效果好等优点。现阶段，系统已正式投运，可以在出现环境温度快速上升、热风循环等情况时，通过调节起喷温度的方式，为空冷器提供良好的运行环境，未来应对本系统进行大范围推广，确保其所具有作用在石化空冷等领域得到最大程度发挥。

[参考文献]

[1]杜翠凤,晋伟博,王九柱,等.基于强化传热和流阻特性的矿用空冷器结构优化[J].金属矿山,2022(11):1-12.

[2]刘昱杰,杨树方,李德义,等.表面蒸发式空冷器管束失效分析与防护对策[J].表面技术,2022,23(10):1-11.

[3]陈天皖,茅柳柳.高压真空电子束焊接技术在 Incoloy 825 高压空冷器制造上的应用[J].设备监理,2022(4):71-74.

[4]蒋良雄.柴油加氢空冷器氯化铵结晶风险评估及防控措施研究[J].炼油技术与工程,2022,52(7):64-68.

[5]胡峰源,刘洪佳.基于 FLUENT 和 CAESAR II 的空冷器进口管道数值模拟和应力分析[J].山东化工,2022,51(8):187-189.

作者简介:吕兵(1987.9-),女,所学专业:机械工程及自动化+软件工程,目前就职单位:烟台冰轮换热技术有限公司。