

冷干机设计与安装控制研究

文鹏
(广东亨通光电科技有限公司 广东 东莞 523000)

摘要: 随着科技发展, 冷冻式干燥机(以下简称“冷干机”)的应用率提升, 该设备具有良好的适应性, 其核心功能是保鲜控温, 属于可靠的空气压缩、干燥及冷却处理设备。冷干机常用于医学、生物等领域, 在设备应用期间, 依托制冷剂与压缩空气相互间的转换, 形成源源不断的热交换, 在此基础上降低空气中的水分含量, 起到调节温度的作用。但从该设备的实际使用情况来看, 冷干机在服役期间仍存在问题, 如换热效率不足、温控不到位等。为此, 需积极探究冷干机系统设计组成和作业原理, 剖析冷干机设计依据, 并从工作效率优化控制的角度出发, 研究设备的安装控制技术, 为冷干机的使用积累经验。

关键词: 冷干机; 设计依据; 安装控制

0 引言

在科技快速发展的推动下, 压缩机行业得到了空前发展, 在当代的发展更是取得了重大突破, 压缩空气技术应用范围广, 在行业发展中的地位较高。面对新的市场需求, 对这种压缩空气技术的要求持续走高, 对“干燥度”和“纯度”的标准更加严格。但在现实中, 受技术和压缩设备适用环境的影响, 冷干机在整体功能上还有较大的上升空间。基于此, 需掌握冷干机设计依据, 提高冷干机综合性能, 通过安装控制技术的应用, 保证设备的可靠性。

1 冷干机的运行原理

冷干机设计理念先进, 属于引用新型技术理念和模式发展起来的空气压缩、干燥设备, 其运行原理为: 在传统冷媒技术框架上, 实现与空气压缩技术更进一步融合, 形成新的交换技术, 实现空气热交换。在实际运行阶段, 该设备会将内部空气温度降低, 温度区间为 2 ~ 10℃, 该温度称为露点温度, 在这样的状态下, 会促使空气中水分分离, 形成一道特殊屏障, 此时再通过空气交换, 对周围空气进行压缩、降温处理。研究发现, 冷冻干燥技术具有极高的应用价值, 在低温下可自动完成对物料的脱水干燥, 与此同时还可起到保护谷物的效果, 其作用十分显著, 因此冷干机也被誉为最可靠的干燥技术。

使用冷却系统将需要进行压缩的空气强制处理, 使其科学冷却到露点以下, 在技术保障下, 确保空气中水分凝结, 从而实现干燥的效果。该技术的应用, 可使原本空气分子变成细分子水滴, 并完整与空气分离, 在固定条件下除去大部分水分, 保障达到预期的干燥、冷却效果^[1]。现实中, 根据湿度特性分析, 可绘制如图 1 所示的空气含湿特性曲线图, 其中, 饱和湿度 D 是重要参数, 与气温 T

存在联系紧密。当空气含水量不饱和时, 温度从 t 到 t_1 过程中, 可明显看到空气含水率(重要指标)逐渐提高, 趋近饱和, 变成最终数值 d_2 。此外, 当空气持续冷却, 与之相关的饱和水分会呈曲线下降, 最终落到 d_3 节点, 此时的空气温度也会改变, 从 t_1 点继续下降, 当现实温度降低到 t_2 以下, 会促使水分凝结, 让多数水滴从空气中析出, 起到水分分离的效果。

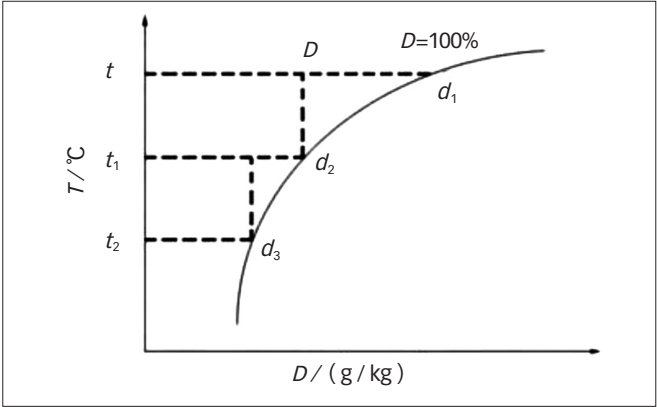


图 1 空气含湿特性曲线图

基于对空气湿度参数深入性剖析发现, 冷冻干燥机的设计目的非常明确, 实现原理简单, 总的思路是对空气压缩后完成冷却操作。具体操作过程是: 将原本湿润空气压缩, 迫使温度降到露点温度之下, 促使水分沉积下来(以水分子的形式), 实现干燥空气的目的。在整个过程中, 空气中的油雾和非常微小的固体物质也会随之被清理, 起到洁净空气的效果。

2 冷干机设计依据

2.1 压缩机的选型依据

冷干机构成复杂, 其中最关键的配件就是制冷压缩机。

通过深入研究发现, 制冷压缩机制冷作用显著, 其内部设置的冷却系统较为稳定, 可持续提供压缩空气。与此同时, 制冷压缩机的选择从整体性能上也决定了系统内相关的制冷量和实际的脱水效果。在现实应用中, 如果制冷压缩机功率不稳定, 过大的功率会促使气体处理量增多, 诱发严重的资源浪费。另外, 过大的功率会增加制冷剂的堆积堵塞, 从而不断损伤整个制冷系统, 但如果系统功率太小, 冷干机将发挥不了作用, 无法达到露点设计目标。

实践证明, 如果制冷剂返回回路前压缩机停止运行, 就会诱发“液锤”故障, 该故障处理起来比较复杂, 而一旦形成, 需要花费较多时间才能恢复。在现实应用中, 液态制冷剂并不稳定, 可压缩性较差, 设备运转时压缩机内部零件容易受损, 被液态制冷剂损坏。针对上述技术问题, 需重视压缩机选型, 利用科学方式为其匹配性价比较高的制冷压缩机。

2.2 热交换器选择依据

冷凝器功能特殊, 是一种将热量转换的设备, 可将热量从制冷剂通过设计渠道传递到系统外部, 起到散热的功能。冷凝器应用时, 可按冷却介质分类, 由此便有了风冷式冷干机和水冷式冷干机的区别。现实中, 两种冷干机最简单的辨别方法是设备内部是否有风扇装置。结合相关经验可知, 风冷式冷凝器的结构是比较固定的, 一般采用铜管翅片, 这种结构性能稳定, 运行效率理想, 与空调使用的室外机同理; 另一种水冷式冷凝器结构形态是管束结构, 拥有一个外筒, 在外筒内部分散着较多的制冷剂管路, 并且在外壳本身还自带进水口和出水口^[2]。在现实应用中, 风冷式冷凝器的限制条件较少, 不需要冷凝, 具体的操作由电动机驱动, 因此适用领域很广。在中国西北地区, 因得天独厚的风力资源, 这种类型的冷干机占据了冷干机总使用量的 90% 以上, 但其冷却效果相较于水冷式冷凝器差一些, 且体积比水冷设备大。

2.3 蒸发器和预冷器选型依据

蒸发器和预冷器选型也是较为重要的内容, 通常情况下, 进气口温度是已知的 (在冷干机运行中), 这项参数是重要的参考, 可借助温度传感器得出。基于此, 通过计算其温度差, 可系统地、科学地检验蒸发器的效果。在上述工作基础上, 还要得出相关的压力露点, 利用动态化防范措施, 调整进出气口的温度。具体操作中, 需假定一个已知温度 (压缩空气进入蒸发器时期的温度), 通过这样的方式, 确定出口状态, 并充分了解蒸发器和预冷器负载^[3]。

空气含湿量计算公式为:

$$d = 0.622 \times \frac{\phi P_b}{P - P_b}$$

式中: d — 空气含湿量;

ϕ — 相对空气湿度;

P — 入口压力;

P_b — 水蒸气分压。

蒸发器出口温度计算也是关键性的内容, 其公式为:

$$t_D = \frac{h_D - 2501d_D}{1.004 + 1.84d_D}$$

式中: t_D — 蒸发器出口温度;

h_D — 压缩空气焓值;

d_D — 压缩空气含湿量。

根据计算结果可知, 在实际反应中, 当预冷器出口温度 (重要指标) 与蒸发器进口温度呈现负相关关系时, 入口温度每降低 1℃ (蒸发器的), 出口温度就会上升 1.4℃。除此之外, 压力露点每上升 1℃, 对应的出口温度也会随之上升 1℃。由此可见, 设备应用期间蒸发器入口温度可直接决定预冷器出口温度, 对其控制效果比较理想。通过对比预冷器冷量可知, 蒸发器入口温度是重要参照, 冷干机使用中要想达到预期效果, 需从蒸发器的进口温度控制入手进行技术改良。

2.4 制冷剂选择

除了上述内容外, 冷干机的设计依据中, 制冷剂选择也是不容忽视的内容, 具有决定性的影响。通过研究发现, R404A 制冷剂应用范围广, 常用于新冰箱的灌装, 其环保属性可达到欧洲环保署的要求, 使用该制冷剂可减轻人体的损害。

3 冷干机内部安装控制

3.1 内部安装现有问题

明确了设计依据之后, 还需对现阶段表现出的冷干机内部安装问题实施分析研究, 并一一攻克。结合现实可知, 冷干机的结构形式比较固定, 都是采用内置式结构, 这种结构导致的问题主要有:

(1) 实际操作中, 空压机内置难以控制, 会造成整机体积不理想。目前, 在社会需求的变化中, 空压机的设计不仅要高效, 还要确保小巧, 只有这样, 才能适用于更多场景, 满足更多应用需求。将冷干机安装在原本就已经非常紧凑的空气压缩机中, 操作难度较高, 对冷干机内部结构要求较高。稍有不慎, 便会增加冷干机安装的复杂性, 并且影响最终效果^[4]。

(2) 冷干机定位难以控制。通过系统拆解发现, 冷干机整体布局复杂, 拥有单独的冷凝器和进行换热的风扇, 冷干机安装启动后, 会在空气中产生湍流。为此, 冷干机使用时必须保证冷干机结构内部进出风通畅, 通过技术手段保证进风和排风, 提高冷干机运行质量。

(3) 结合实践经验可知, 冷干机内置安装后, 会造成系统性的应力控制难。之所以会出现这种问题, 核心原因是空压机本身组成特殊, 其包括很多零件, 如油液分离器、机架和 PLC 控制箱等。这些构件本身的重量较大, 再加上自身的冷凝器, 所以机架的受力平衡就显得无比关键, 否则在

运输的过程中极易造成重心不稳,从而导致机架被压坏。

3.2 安装控制有效措施

针对上述问题,需积极应用优化措施,来提高冷干机工作效率。

3.2.1 PLC 控制软件应用

近年来,在行业和社会需求的牵引下,冷干机的功能逐渐丰富,其自动化程度发展最快,在技术保障下,冷干机基本实现了全自动控制,处理效率得以大幅提升。冷干机实际操作中控制方法很多,可采用 PE 型号的工控机或者是家用计算机进行控制。在充分研究冻干机运行需求和控制特点的基础上,一种基于可编程控制器(PLC)为重点驱动的自动控制系统被研发出来,其通讯接口采用的是 RS-485。该控制系统配置灵活,可靠性比较高,测量准确,控制灵敏,在实际操作中可以作为计算机直接接口,也可以作为触摸屏直接接口,符合冻干工艺的需求^[5]。PLC 本身具有极强的连锁保护功能,并附带定时功能,这种特殊功能可在应急状态下完整各种冻干工艺的应急操作。

控制系统的优化措施主要有:

(1) 在主回路上安装了性能稳定的功能开关,不但能保护电动机过载,同时还可实现过电流保护,该装置反应灵敏,不受电动机起动电流的影响。

(2) 安装驱动电动机的接触器,这部分的主要线路由 PLC 控制,不仅便于控制,且维护操作简单。其中,电加热回路非常关键,除了有过流空气开关作为保护外,其驱动形式应用的是固态继电器,可便于产生 PWM 输出接口。

结合现实冻干经验可知,食品冻干机必须满足对冻干室、水汽凝结器等多个单元的温度测控要求。当水汽凝结器降温到一定程度(-35℃左右时),在工作需要下才能启动真空系统。为强化冻干控制效果,在冻干过程中需做好温度监控,随时监测搁板温度和水汽凝结器的温度变化。为达成以上测温需求,可采用 SLI35 数字温度调节仪,在此基础上实施多点测温。实践证明,该系列仪表附带有网络线性校正模块以及自动冷端补偿电路,对外界抗干扰能力强。同时,可与 PC 联机,利用这样的方式,满足控制工艺流程与报警的现实应用需求。为了提高冻干机的运行质量和效率,可选用分散控制模式,将各点温度(冻干室)并联设置一个回路,形成闭环调节系统。

3.2.2 布局优化

除了打造高效的 PLC 控制系统外,还要注重整体布局的优化。冷干机想要发挥作用,其安装优化方案的比对是重要的内容。如果布局不合理,冷干机被放置在了错误的功能分区,那么在三维设计过程中,可明显感受到冷干机运行受阻,与空压机部件干扰严重。或者在冷干机运行中呈现出压缩机的进/出口风道彼此干涉现象,让整体运行效率降低。实际操作中,需依据现有技术和冷干机运行理论,实施技术革新,对整体布局进行优化,妥善放置冷

干机。通过合理的方式,将内部空间释放出来,借此巧妙提高进气量。在进气量提高基础上优化配置,平衡好相关设备重量(风扇和风扇电机的),并做好科学分配,让整体的重心点在一条水平线上,使得机架受力均衡。通过这样的方式,消除机架被压坏的风险。

3.2.3 钢材选择

冷干机安装控制中,钢材选择不容忽视,将起到强化基础支撑的作用。从现实应用来看,冷干机运行中主要依靠支撑架固定,所以冷干机的自重会左右支撑架的性能,如果设备自重较大,会促使空压机整体刚性减弱,出现强度下降的问题。此外,冷干机运行中也会对空压结构造成负荷,影响其整体运转性能,为此需落实好材料选型,满足以下设计要求:(1) 空压机型号板材厚度需达标,通常为 4mm,只有这样才能承载一定的压力;(2) 结合实际使用中冷干机内置设计要求,需合理调节板材最大公差;(3) 冷干机下架安装架稳固性至关重要,应采用 Q235 钢(实践证明,Q235 钢可达到使用要求);(4) 冷干机固定底盘应用中,最大变形为 1mm,为承担如此大的变形力,同样应该优选 Q235 钢材。

4 结语

随着社会的不断进步,冷干机被广泛运用,并得到了认可。其工作原理简单,依靠的是制冷剂和空气压缩,完成效率较高的空气热交替,通过这样的方式剔除掉空气中多余的含水量,以达到干燥和净化的目的。目前,冷干机气体压缩技术已成为重要的气源处理方式,功效十分显著,因此冷干机也是气动系统中地位较高的气体处理装置。但从实际应用了解到,该系统较大的体积问题阻碍了冷干机的发展,工作效率也有待提高。所以在未来,要清楚冷干机的设计依据,应用合理的安装控制措施,为冷干机系统优化提供助力。

参考文献:

- [1] 袁杰,金阿龙,温素珍,等.冷干机设计依据与安装控制分析[J].科技创新与应用,2022,12(16):109-112.
- [2] 马云,晁阳,李红旗,等.空气压缩机监控系统设计及应用[J].设备管理与维修,2021(07):105-106.
- [3] 赵光锋,万国彬.冷干机压缩机结霜原因分析及处理[J].机电信息,2020(32):67+69.
- [4] 李斌.箱体式固井用空压机组设计与应用[J].化学工程与装备,2018(12):154-157.
- [5] 杨竑光.内置冷干机的设计与研究[D].上海:上海交通大学,2015.

作者简介: 文鹏(1989.03-),男,汉族,湖北黄冈人,本科,工程师,研究方向:机械设计制造及其自动化。