

浅谈某新建涂装车间电泳制冷系统设计说明及要求

陶磊, 王明, 甘正升, 申标, 黄海山, 完颜成功
(奇瑞汽车股份有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 详细阐述了涂装车间电泳槽工艺所需制冷系统的整体设计与核心要求。该电泳制冷系统是一个高度集成的复杂工程, 旨在确保电泳槽液温度精准、稳定地维持在严格的工艺窗口内, 是保证电泳漆膜质量的关键。系统主要由以下核心单元构成: 冷水机组作为冷源核心, 负责产生低温冷冻水; 冷冻水循环系统负责将冷冻水高效、稳定地输送至电泳槽热交换器, 带走槽液热量; 冷却塔通过空气换热对冷却水进行初步降温; 电气控制系统则是整个系统的“大脑”, 实现对各设备运行状态的实时监测、自动连锁控制、温度精确调节及故障报警功能。整个系统的设计需满足高可靠性、高效节能、自动化运行及便于维护等综合技术指标要求。

关键词: 电泳制冷系统; 冷水机组; 冷却塔; 冷却水循环系统; 涂装车间

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)11-0049-04

Design Description and Requirements for Electrophoretic Refrigeration System in a Newly Built Painting Workshop

TAO Lei, WANG Ming, GAN Zheng-sheng, SHEN Biao, HUANG Hai-shan, WANYAN Cheng-gong
(Chery Automobile Co., Ltd., Wuhu 241000, Anhui, China)

Abstract: This article elaborates on the overall design and core requirements of the refrigeration system required for the electrophoresis tank process in the painting workshop. The electrophoresis refrigeration system is a highly integrated and complex project aimed at ensuring that the temperature of the electrophoresis tank solution is accurately and stably maintained within a strict process window, which is the key to ensuring the quality of the electrophoresis paint film. The system mainly consists of the following core units: the chiller unit serves as the cold source core, responsible for generating low-temperature chilled water. The chilled water circulation system is responsible for efficiently and stably transporting chilled water to the electrophoresis tank heat exchanger, taking away the heat from the tank solution. The cooling tower uses air heat exchange to preliminarily cool the cooling water. The electrical control system is the "brain" of the entire system, which realizes real-time monitoring of the operating status of various devices, automatic interlocking control, precise temperature adjustment, and fault alarm functions. The design of the entire system needs to meet comprehensive technical indicators such as high reliability, high efficiency, energy saving, automated operation, and ease of maintenance.

Key words: electrophoretic refrigeration system; chiller unit; cooling tower; cooling water circulation system; painting workshop

收稿日期: 2024-05-27

作者简介: 陶磊(1982—), 男, 本科, 工程师, 主要从事汽车涂装工艺研究及设备开发、涂装新工厂规划建设等工作。E-mail: 1324033986@qq.com。

0 引言

电泳制冷系统承担电泳槽液、EDRO 系统、硅烷槽液、主压缩空气干燥机组、备用空压机、输调漆管中管、面漆循环风空调、清漆循环风空调、调漆间空调、面漆闪干强冷、面漆闪干除湿、套色线循环风空调、套色线

闪干强冷、套色线闪干除湿的制冷任务。

1 设计说明

电泳制冷系统的冷水机组采用三用一备，全部采用螺杆式冷水机组，或采用螺杆式冷水机组与离心式冷水机组的组合。其中3台机组满足以上设备最大冷量需求，备用冷水机组与制冷量最大的冷水机组规格型号保持一致。

核心工艺冷却：首要任务是精确控制电泳槽液温度，这是电泳漆膜形成质量（膜厚、均匀性、防腐性）的决定性因素。同时，还需为电泳后超滤水洗（EDRO）系统和硅烷槽液提供冷却，确保前处理及后冲洗工艺的稳定性和效果。

压缩空气系统保障：为主压缩空气干燥机组以及备用空压机提供冷却水，确保压缩空气的露点稳定，防止因水分导致的喷涂缺陷和设备锈蚀。

输调漆系统温控：为输调漆管中管系统提供冷冻水循环，维持油漆在输送管路中的恒定低温，防止油漆在管道内结皮、沉淀或发生品质变化。

喷漆室环境控制：承担面漆循环风空调、清漆循环风空调以及套色线循环风空调的冷负荷，为喷漆室创造恒温恒湿的洁净环境，保障喷涂质量和漆膜流平。

闪干与除湿工艺：为面漆闪干强冷、面漆闪干除湿、套色线闪干强冷、套色线闪干除湿等工序提供所需能量。强冷确保漆膜快速定型，除湿则需深度冷却以有效降低空气露点，两者对多层涂装（如色漆+清漆）的质量和效率至关重要。

辅助区域空调：为调漆间提供制冷，保证调漆区域的环境温度，维护油漆配方的稳定性。

2 技术要求

2.1 冷水机组

1) 冷水机组全年都能正常工作，全年都能提供冷冻水，为用冷设备正常供应冷冻水。

2) 采用水冷式冷水机组，节能高效，运行稳定可靠。

3) 机组在制造厂充满制冷剂和冷却润滑油，具备调试和运行的基本条件，制冷剂采用 HFC-R134a 四氟乙烷。

4) 冷水机容量采用自动四级变容量调节或连续变容量调节。

5) 冷水机组制造的非金属材料均不含有机硅酮。

6) 冷水机组在额定工况运行噪声不大于国标限值。

7) 冷媒泄漏量小于 5 g/a。

8) 冷水机组确保冷冻水出水温度 7℃，回水温度 12℃。

9) 机组具有高低压保护、排气过热保护、压缩机

电机过热保护、过电流保护、反相保护、防冻温度保护、断水保护、紧急停止开关、水流开关、安全阀等功能。

2.2 冷冻水箱

确保冷却塔冷水机组全年都能正常工作，为用冷设备正常供应冷却水。与冷水机组配套的冷却塔冷量应为冷水机组最大冷量的 1.5 倍。所有冷冻机组共用冷却塔，若采用开式冷却塔，则需设置冷却水箱，水箱容积不低于总冷却水 5 min 的循环量。

2.2.1 水箱设计要求

1) 侧壁板及底板采用 4 mm 厚钢板制作，顶板采用 2 mm 厚钢板制作，材质为 SUS304 不锈钢。箱体立柱采用 H 型钢或工字钢，底部及顶部要用相同规格的 H 型钢或工字钢与立柱相连，形成一个稳固的框架结构。箱体各个面均采用工字钢或槽钢加强，确保各方面强度和刚性的总体要求，不产生变形。

2) 在箱体顶部设置人孔门，在人孔门外设有可调角度的安全照明灯，供清洗箱体用。安全照明灯固定在可折叠、旋转的机构上，使用时，照明灯可以伸进箱体内部，照明灯方向可以 360° 调整，以实现箱体各个角落进行照射。不用时，照明灯收回到人孔门旁边，保持美观。安全照明灯采用 LED 投光灯，功率不低于 100 W。

3) 在箱体顶部四周设置安全栏杆，并设置通往顶部的斜梯。安全栏杆与箱顶、斜梯采用螺栓连接形式。斜梯角度不大于 45°，采用热镀锌格栅踏步，下方设置接灰盘，接灰盘与梯梁螺栓连接，接灰盘采用镀锌钢板折制，厚度不低于 2 mm。

4) 箱体内在人孔门处，设置用圆钢管制成的、供上下箱体使用的带扶手的梯子，梯级防滑，管径不低于 DN25。

5) 箱底制成斜底，箱体最低位置处设有排净管和阀门，管径 DN80。箱体上部设置溢流管，溢流管管径满足注水流速要求。泵吸口距离箱底约 100 mm。

6) 箱体设置静压式液位计，液位计前设置阀门。

7) 冷却水箱设置自动补水管和阀门、手动补水管路和阀门，自动补水管阀与手动补水管阀互为旁路。自动补水管径不低于 DN25，与液位计联控。手动补水管径不低于 DN80。冷却水箱补工业水。

2.2.2 蓄冷系统

1) 蓄冷水箱按照放冷 8 h 设计，蓄冷箱布水系统采用可调节型布水方式。布水器中直接冲击液面的散流器能够根据系统负荷变化及对应流量变化，自动调整散流孔射流面积的大小，从而降低斜温层的厚度及布水死角。布水器的效果能保证 85% 以上的

放冷效率。

2)蓄冷箱布水器设计的弗劳德数 <1 ,以保证蓄冷罐在垂直方向上的温度分层。布水器的出口雷诺数 $<2\ 000$,以降低对斜温层的干扰。

3)罐体内考虑设置测温系统,对测温线位置、数量、布线和安装进行充分考虑。蓄冷罐中心每隔 500 mm 配备一个测温点,蓄冷罐设置液位传感器,并设有高低液位报警等控制装置和信号输出接口。

4)冷却塔及冷却水系统保证冬季为冷冻机组提供冷却水,保证冷水机组能全年 24 h 正常工作。

2.2.3 开式冷却塔

1)冷却塔经过 CTI 认证,采用标准配置。

2)排污管出口安装 PVC 球阀。

3)填料片燃烧性为 B1 级难燃;片材密度 $\leq 1.55\text{ g/cm}^3$,平片拉伸强度 $\geq 40\text{ MPa}$,耐 $90\text{ }^\circ\text{C}$,填料块放在 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 水中不变形, $50\text{ }^\circ\text{C}$ 下长期稳定工作。

4)播水盆盖必须将播水盆全部封闭,播水系统在 20 Pa 水压下可保证均匀布水、不阻塞。

5)底盘集水槽净水深度保证正常使用功能,组与组塔底盆内部连通,进水口与出水口法兰连接。

6)皮带寿命 $\geq 7\ 000\text{ h}$,叶片弯曲强度 $\geq 196\text{ MPa}$,风机静平衡试验等级 $\geq G6.3$ 。

7)塔体抗风压 $\geq 250\text{ kgf/m}^2$,塔体抗震烈度 8 级,具备点检走道,维修平台,爬梯(含护笼),塔顶安装防护栏。

8)飘水率:循环水量 0.001% ,蒸发损失 $<0.83\%$;进水口消能缓冲装置,采用播水自然重力池式配水,布水时的积水深度 $\geq 0.05\text{ m}$,整塔使用寿命 ≥ 15 年。

9)配套使用自动反冲洗过滤器和自动加药装置,达到缓蚀阻垢、杀菌除藻的效果,并提供设备投入使用后 6 个月内的药剂。

2.2.4 闭式冷却塔

1)闭式冷却塔配备自动防冻保护系统,喷淋水集水槽应设有电加热装置和温度控制装置,保证冬季水槽、水泵、盘管均不结冰,同时又能防止水槽内加热器干烧。

2)闭式冷却塔所采用的冷却盘管材质为无缝磷脱氧紫铜管(壁厚 $\geq 0.4\text{ mm}$),管倾斜布置,坡向设计与水流方向一致,停机时利于冬季排空,冷却水可在 15 min 内完全排出,防止结冻。散热盘管检修时,拆开空冷塔侧板,单根盘管能够方便地从塔体侧面抽出。

3)单组冷却盘管母管上部最高处设排气阀,下部最低处设放水阀,放水球阀管径不小于 $DN32$ 。

4)换热盘管设计压力不低于 1.0 MPa ,具有不易

结垢、耐腐蚀性,并提供相关质量及性能测试报告。

5)进出口母管、法兰采用热镀锌防腐。

2.3 循环管路系统

设置一整套管路、自动控制阀组、检测仪器仪表,可实现厂区动力站房不供冷时,自动切换为由电冰制冷系统为调漆间空调供冷。自动控制阀组及检测仪器仪表品牌参照前处理电冰品牌要求,在电冰制冷系统控制柜屏幕上实时显示自动控制开关、仪器仪表检测等信号。系统切换要确保稳定可靠,不得产生相互窜液问题。自动控制阀组、检测仪器仪表位置应便于观察与检修。

3 废水排放系统及水泵

3.1 废水排放系统

1)排水沟沟底最高位置处与 0 m 地面距离不低于 400 mm ,并且向废水收集坑或地漏倾斜。排水沟上沿预埋两层角钢。

2)排水沟上方铺格栅。排水沟上方需要过叉车、搬运物料的,格栅应加厚,防止变形。

3)是否设置废水收集坑及排污泵根据项目环评最终确定。如设置废水收集坑及排污泵,废水排污泵设置 1 台,不设置备用泵。

3.2 水泵

1)冷冻水泵、冷却水泵均与冷水机组配套,按最大供冷时两用一备设置。

2)泵的入口设有管道过滤器,出口设有单向阀。

3)确保冷冻水到各使用点的压力不低于 0.2 MPa ,满足所有用冷设备的冷量需求。水泵材质及机封形式要求见表 1。

表 1 水泵材质及形式

使用位置	泵体材质	叶轮材质	机封形式	备注
冷冻水泵	碳钢	SUS304	单机械密封	联轴器、卧式
冷却水泵		不锈钢		

4)水泵吸口与出口均设置柔性接头,柔性接头采用等径形式,柔性接头处的流速宜控制在 $2\sim 2.5\text{ m/s}$,最高不得高于 3 m/s 。

5)所有水泵出口均设耐酸碱膜片式电接点压力表,可根据工艺和设备保护设定压力上下限,对水泵工作状态进行监控。

6)在现场设置开关机按钮盒和维修开关,所有水泵均可实现系统自动控制开关机,也可以在控制系统授权情况下,通过现场按钮进行开关机操作。

7)水泵联轴器保护罩上方设置保洁踏板,采用热镀锌材质,确保强度,人员踩踏不变形。

4 其他辅助设备

4.1 说明

1)根据冷却水稳定工作的需要设置加药、清洗等辅助设备。设备应易于操作、维护方便、成本低。我方负责提供6个月用量的药剂。

2)设置冷冻水杀菌剂加药装置,并提供6个月用量的非氧化型杀菌剂。设备应操作简便、维护方便、成本低廉。

3)将一级纯水管路接到冷冻水管补水点,冷冻水管内补充一级纯水。将工业水管连接到冷冻水管补水点,冷冻水管冲洗时采用工业水。

4.2 接水盘

1)水泵模组的下方均设有接水盘。接水盘大小合适,确保从设备(包括低位排放管)滴落的液体全部被接水盘接住。

2)接水盘采用2mm厚SUS304不锈钢板制成。

3)接水盘最低位置处设排净管,并接入排水沟,排净管入口处设过滤装置,有效防止管路堵塞。管径不低于DN25。

4)接水盘下方设置槽钢框架底座,强度需满足上方设备动静载荷的要求。接水盘高度需满足排水管在钢平台设置套管高度的要求。

5)接水盘槽钢框架底座下方设置可调节高度的带减振垫的脚。反渗透模组接水盘下可不设置可调节高度的带减振垫的脚,其底座高度满足钢平台上套管高度的要求。

4.3 压缩空气供气

1)各气动阀门直接接入压缩空气。

2)压缩空气采用硬管送到各使用点1m范围内,再用软管与用气设备相连,或用硬管直接与设备相连,软管应有效固定,确保美观。

3)所有用气点上均设置阀门和过滤减压阀,形式如图1所示。各支管路管径除特殊要求外,均为DN15。过滤减压阀有效固定,不晃动,固定支架采用3mm SUS304不锈钢板折制,确保美观。



图1 减压阀

4.4 管路及阀门

1)管径DN50及以上的不锈钢管路采用松套法兰加焊环方式连接;其他材质管路安装符合公用管路的规范要求(抗震、承重、热胀冷缩、保温等)。

2)所有管路最低位置处均设置排净阀,可将管路中的积水排净,带快速接头。除特殊要求外,所有排净阀及快速接头管径均为DN25。

3)所有接到排水沟内的管路,在沟内做90°弯头,避免排水对水沟的玻璃钢造成直接冲击和损伤。

4)整个管路上的阀门、水泵、过滤器、换热器等,在设计和安装过程中均满足后期正常使用时的维修便利性要求。管路、阀门及垫片材质要求见表2。

表2 管路、阀门及垫片材质要求

部件名称	管路及阀门材质	垫片材质
工业水、冷水、压缩空气	与公用管路材质保持一致	EPDM
纯水	SUS304 不锈钢	EPDM

5 结语

电泳制冷系统具有可靠性,在工艺用冷量达不到单台制冷机最小开机要求时,电泳制冷系统要能稳定供冷。电泳制冷系统设备安装位置在车间最终布置完成后确定,部分或大部分将安装于厂区动力站房内。

参考文献:

- [1] 张涛,冯志明,邱爱杰,等.汽车涂装电泳冷却供冷系统的设计及节能探讨[J].现代涂料与涂装,2021(6):58-61.
- [2] 王翔.冷却塔供冷系统设计方法[J].暖通空调,2009(7):99-104.
- [3] 卞荷洁,赵华,陈文勇,等.防腐方式对翅片管式换热器管外性能的影响[J].制冷与空调,2018(4):85-88.
- [4] 韩岭岭,宋景新,张涛,等.浅谈乘用车涂装车间前处理电泳设备技术选型[J].现代涂料与涂装,2023(1):48-52.
- [5] 李志杰,魏玲云,翁波,等.浅谈汽车工厂涂装车间电泳线“不停产”改造[J].现代涂料与涂装,2022(11):70-72.
- [6] 宋景新.涂装车间电泳入口转载异常分析和措施探讨[J].现代涂料与涂装,2021(5):32-34.
- [7] 汪宇.汽车“电泳无打磨”可行性研究[J].现代涂料与涂装,2014(4):37-40.
- [8] 潘晓铭,张京川,李建学,等.汽车涂装生产线能耗的研究分析及节能优化[J].涂层与防护,2024(1):39-44.
- [9] 何佳星,郭定邦.海外工厂的电泳工艺设计探讨[J].现代涂料与涂装,2016(10):48-49.
- [10] 罗于.冷却塔供冷系统设计方法探讨[J].制冷与空调(四川),2023(4):562-567.