

工业循环水泵及管线的计算与选型

侯晨茹, 南君芳, 张叶新, 薛建森, 苏江峰

(国投金城冶金有限责任公司, 河南 灵宝 472500)

[摘要] 在某厂房建设期间,需要对高温设备配备一套冷却系统。为了将流量为 $37 \text{ m}^3/\text{h}$ 的循环水输送至冷却床,完成高温设备降温任务,需要选择合适的输送泵及管线。根据车间内的布局预设管路走向,最后通过理论计算确定泵的入口管规格 $\Phi 102 \times 4 \text{ mm}$,出口管规格 $\Phi 73 \times 4 \text{ mm}$,泵的型号 ISGB65-12.5(I),完成管路设计和泵的选型。

[关键词] 循环水; 管路设计; 理论计算; 泵的选型

[中图分类号] TP273 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)04-0078-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.04.015

0 前言

泵在化工、船舶、国防等行业有着广泛的应用,既可以输送水、油、酸、碱液等液体,也可输送含悬浮固体物等流体。在实际生产中,如果需要实现某种流体的空间传输,往往会选择工业泵为流体提供动力,将机械能转化成流体运动所需要的动能,实现流体输送任务。若泵选择的过大或过小,会存在汽蚀、振动、卡顿等风险,长此以往,导致较高的维修成本和较短的使用寿命。因此,根据工况科学合理的选择工业泵,一方面充分利用泵的最佳效率点,提升输送效率;另一面有效降低生产成本,实现效益最大化。

在某生产车间建设期间,需要对高温设备配备一套冷却系统,涉及到相关泵的选型,本文以此为例,给出工业泵选型的步骤及思路,为相关行业技术人员提供参考。总的思路先根据厂房建设布局进行管线走向基础设计,此外依据工艺计算需要输送的流量任务,利用输送任务推算出管径的大小、流体流动状态、阻力损失等相关数据,确定泵的扬程,根据流量、扬程、输送介质的物理性质选择合适的工业泵。

[收稿日期] 2023-05-09

[第一作者] 侯晨茹(1993—),女,陕西渭南人,硕士,工程师,主要从事冶金类设备设计工作。

[引用格式] 侯晨茹,南君芳,张叶新,等.工业循环水泵及管线的计算与选型[J].有色设备,2023,37(4):78-82.

1 设计目标

在冶炼行业,一般采用水冷方式对高温部件进行热交换,对其降温并改善工作环境。以某建设生产车间为例,车间准备增加一台火法提纯炉设备,预估生产时设备的运行温度为 $650 \text{ }^\circ\text{C}$ 。生产时原料通过料盘(材质为 304 不锈钢)装满后推进炉体,原料在炉体内加热挥发,挥发时间设计为 6 h ,完成挥发后料盘被传送机构拉出炉体,转运至冷却床,通过底部冷却床对料盘冷却降温至室温($20 \text{ }^\circ\text{C}$),冷却时间设计为 4 h 。为了在预期的时间内达到预定的冷却效果,需要提前估算总的循环水量。

1.1 确定输送的流量

假设挥发料盘的热量全部通过循环水带走热量,根据式(1)计算料盘总的热量 Q 。

$$Q = C \times m \times (T_2 - T_1) \quad (1)$$

式中 Q —热量, kJ;

C —热容, kJ/kg/ $^\circ\text{C}$;

T_2, T_1 —料盘的最终温度、初始温度, $^\circ\text{C}$ 。

已知挥发料盘为 304 材质,密度 ρ 为 $7.98 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,体积 V 为 2.448 m^3 ,质量 m 为 1953.5 kg ,比热容 C 为 $0.5 \text{ kJ/kg/}^\circ\text{C}$,挥发料盘的初始温度 T_1 为 $650 \text{ }^\circ\text{C}$,最终冷却温度 T_2 为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$,最终可以计算得:总的热量 Q 为 6153537.6 kJ 。

根据式(2)计算循环水的体积流量 Q_v 。

$$Q_v = \frac{Q}{1000C'\Delta T} \quad (2)$$

式中 Q_v —体积流量, m^3/h ;
 Q —料盘总的热量, kJ ;
 C' —水的热容, $\text{kJ}/\text{kg}/^\circ\text{C}$;
 t —冷却时间, h ;
 ΔT —循环水冷却前后的温度差, $^\circ\text{C}$ 。

根据式(1)得到总的热量 Q 为 6 153 537.6 kJ , 这些热量全部由水带走。查得水的比热容 C' 为 4.2 $\text{kJ}/\text{kg}/^\circ\text{C}$, 冷却时间 t 为 4 h , 温度差 ΔT 设计为 10 $^\circ\text{C}$, 将上述参数带入式(2), 可以求得循环水的体积流量 Q_v 为 36.628 m^3/h 。

1.2 确定设计的目标任务

根据 1.1 中得到本次设计的任务是选择合适的泵将流量为 37 m^3/h 的循环水送到冷却床。根据基础设计泵的入口管道长度 l_1 为 0.5 m , 出口管道长度 l_2 为 17 m , 在管道拐弯处焊接 4 个标准 90 $^\circ$ 弯头, 在泵的进口、出口、冷却盘进水口各安装一个闸阀便于调节流量, 为统计冷却水消耗的用量, 管道中间安装一个涡轮流量计测量流量, 管道敷设如图 1 所示。

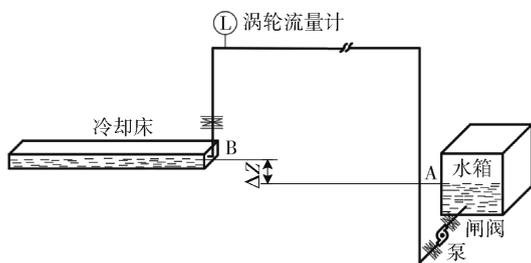


图1 循环水管道敷设图

2 设计计算

2.1 确定输送流体管径

在输送流量确定的情况下, 根据设计经验选择泵入口流速为 1.50 m/s , 泵出口流速为 3.00 m/s 。管径与流体流速成反比, 设计流速越大, 管径越细, 反之设计流速越小, 则所需要配置的管径则越粗, 因此确定管径的根本在于选择流体的流速。因为管道内的流体是循环水, 管道选择普通碳钢无缝管即可, 根据式(3)分别计算泵进口和出口的管径。

$$Q_v = 3600 \times \pi \frac{(d \times 10^{-3})^2}{4} \nu \quad (3)$$

式中 ν —管道流速, m/s ;
 d —管道直径, mm ;
 Q_v —体积流量, m^3/h 。

将式(2)计算得到的体积流量带入, 分别得到

泵入口管的内径 d_1 为 93 mm , 泵出口的管内径 d_2 为 66 mm 。通过查询无缝钢管的标准尺寸^[1], 选择泵入口管规格 $\Phi 102 \times 4 \text{ mm}$, 泵出口管规格 $\Phi 73 \times 4 \text{ mm}$ 。将新的管内径分别带入式(3)核算泵入口管的流速为 1.46 m/s , 泵出口管的流速为 3.07 m/s 。

2.2 确定流体的流动状态

流体在管道内受到的摩擦力与流体的流动状态有着密切的关系, 同时摩擦力的大小会对泵的选择产生直接的影响, 因此确定流体的流动状态是一项重要工作。流体力学中根据雷诺数 Re 判断管道内流体的流动状态, 当 $Re \leq 2000$ 时, 流体中各质点全部延轴线方向运动, 并且流体各质点之间相互独立、互不影响, 流体的这种流动状态为层流; 当 $2000 \leq Re \leq 4000$ 时, 流体各质点之间不再是简单的轴线运动, 开始相互作用, 出现小范围扰动, 此时流体的流动状态处于过渡区; 当 $Re \geq 4000$ 时, 流体质点伴有严重的横向扰动, 质点之间彼此相互影响, 流体处于湍流区^[2]。根据式(4)计算流体流动的雷诺数 Re 。

$$Re = \frac{\rho \nu d}{\mu} \quad (4)$$

式中 ρ —流体密度, kg/m^3 ;
 ν —管道流速, m/s ;
 d —管道直径, mm ;
 μ —流体黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;
 Re —雷诺数。

将水的密度(1000 kg/m^3)、黏度(0.00298 $\text{Pa} \cdot \text{s}$)和进出口管的流速、管径数值分别带入(4)式, 计算得入口管的雷诺数 Re_1 为 46 270, 大于 4 000, 可以认为入口管的流动状态为湍流^[2]; 同样得到出口管的雷诺数 Re_2 为 66 914, 大于 4 000, 出口管的流动状态为湍流。

湍流状态下, 流体在管道中流动时, 其摩擦阻力系数 λ 的值与管壁的相对粗糙度 ε' 有关, 相对粗糙度的计算如(5)式所示。

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{d} \quad (5)$$

式中 d —管子内径, mm ;
 ε —绝对粗糙度, mm ;
 ε' —相对粗糙度。

查得无缝钢管绝对粗糙度为 0.2 mm , 分别带入管径数值 d_1 、 d_2 , 得到进出口管子的相对粗糙度 ε'_1 、 ε'_2 分别为 0.002 13、0.003 077。查询摩擦阻力系数

λ 与雷诺数 Re 、相对粗糙度 ε' 关系图^[2], 得到进口管道的摩擦阻力系数 λ_1 为 0.025 2, 出口管道的摩擦阻力系数 λ_2 为 0.025 3。

2.3 泵将流体从水箱输送到冷却床的阻力损失计算

泵将流体从水箱输送到冷却床的过程中, 流体的阻力损失主要由两部分组成, 一部分是由流体流动时管道的摩擦阻力带来的损失, 另一部分是管件带来的局部阻力损失, 总的阻力损失是二者之和, 计算如式(6)。

$$h_f = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

式中: λ —管道的摩擦阻力系数;

l —管道长度, m;

d —管子内径, m;

$\sum \zeta$ —管件的阻力系数之和;

v —流体的流速, m/s;

h_f —阻力损失, m。

各管件的阻力系数如表 1 所示。

表 1 各管件的阻力系数

管件名称	管长/管件数量	摩擦系数/阻力系数
进口管	0.5 m	0.025 2
进口端	闸阀(全开)	1 个 0.17
	进口突然缩小	0.5
出口管	17 m	0.025 3
出口端	闸阀(全开)	2 个 0.17
	出口突然扩大	1
	标准 90°弯头	4 个 0.97
	涡轮流量计	1 个 2.4

带入相应数值, 计算得泵的入口端的阻力损失 h_{f1} 为 0.086 5 m, 出口端的阻力损失 h_{f2} 为 6.736 0 m。

$$\sum h_f = h_{f1} + h_{f2} \quad (7)$$

由式(7) 计算得整个系统内总的阻力损失 $\sum h_f$ 为 6.822 6 m。

2.4 泵将流体从水箱输送到冷却床所需扬程计算

扬程是指泵的有效压头, 即单位质量流体通过泵获得的能量净增加值, 是泵的重要工作性能参数, 可表示为流体的压力能头、动能头和位能头的增加^[3]。为了计算流体从水箱输送到冷却床的扬程

值, 在 A、B 液面之间使用伯努利方程, 根据式(8) 计算扬程。

$$h = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{\Delta v^2}{2g} + \sum h_f \quad (8)$$

式中: h —所需扬程, m;

Δz —A、B 液面高度差, m;

g —重力加速度, m/s²;

Δv —A、B 液面流速差, m/s;

Δp —A、B 液面压力差, Pa;

ρ —流体密度, kg/m³;

$\sum h_f$ —阻力损失, m。

因为设计任务中的水箱和冷却床均是敞口容器, 所以 A、B 液面压力差 Δp 为 0, A、B 液面流速差 Δv 为 0。A、B 液面高度差 Δz 为 1 m, 阻力损失 $\sum h_f$ 为 6.822 6 m, 计算得到扬程 h 为 7.822 6 m。通常情况下, 泵所需要的额定扬程是计算扬程的 1.05 ~ 1.1 倍, 所以最终的扬程 h 确定为 8.6 m。

3 泵的选择

在选择合适的泵输送流体前主要考虑的因素有流体的物化性质、流量 Q_v 、扬程 h , 所选泵的型号和性能必须符合生产现场所需的流量、扬程、温度等工艺参数的要求。

3.1 输送流体的物理化学性质

流体的物理化学性质主要影响选择泵的叶轮材质、驱动力、密封性。当输送的流体易燃、易爆、有毒, 则对泵的轴封要求较高, 可采用无泄漏泵, 如选择隔膜泵、屏蔽泵; 当输送的流体腐蚀性较强, 则要求泵的叶轮采用耐腐蚀性材料, 如工程塑料磁力驱动泵、不锈钢耐腐蚀泵等^[4]; 当输送的流体掺杂有固体颗粒时, 则必须选择采用耐磨材料制成的对流部件的泵。此外, 轴封采用清洁液体冲洗^[5]。

基于本设计敷设的管路, 输送的流体是新水, 温度在 20 °C 左右, 故选择材质为普通铸铁材质的泵即可。此外考虑到现场空间有限、工况复杂等情况, 选用 ISGB 立式便拆式管道离心泵, 与市面上其它 ISG 管道离心泵、IS 离心泵、SH 双吸离心泵等常规离心泵相比, ISGB 立式便拆式管道离心泵增加了加长联轴器结构, 更换泵内部配件时无需挪动电机, 也无需拆卸泵体和管道, 可以直接在线更换, 具有运转更平稳、使用寿命长、配套更方便、维护保养更轻松等

的优点。

3.2 工艺参数

泵的类型确定好之后,下一步需要考虑的是生产时的工艺参数,进而确定泵的具体序列。本次设计的输送任务要将流量 Q_p 为 $37 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 h 为 8.6 m ,可以选择泵型号为 ISGB65-12.5(I),具体相关参数如表 2 所示。

表 2 泵的性能参数

流量 $Q/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	扬程 h/m	效率 $\eta/\%$	转速 $n/$ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	电机功率 P/kW	必须汽蚀 余量/ m
50	20	72.5	2900	3	3

3.3 设计分析

此项设计作以下几点说明:①计算局部阻力时按照阀门全开设计,实际中会根据生产情况调节阀门的开度。阀门关小会使管道内流体的流量减小,同时会使局部阻力系数增大,管道的特性曲线变陡,扬程会增加;②设计时利用雷诺数 Re 和管道的相对粗糙度 ε' 查询流体在管道中的摩擦系数 λ ,存在一定的误差;③在本文中只对泵的选型做了介绍,实际工业建设时,在泵的型号选好之后,要根据实际情况确定泵的工作点和允许安装高度。

3.4 水泵安装注意事项

选择好合适的水泵之后,在现场安装时必须注意以下几点:①首先水泵在安装时不能受力,因此尽可能保证管路的进出口轴线安装在一条直线上,因此水泵前后进出口部件需要用钢角架支撑固定或吊起来,不能出现晃动的情况;②在水泵的进口要安装过滤器,并且水泵与管路连接前要冲洗,避免系统内留有残渣,在高压运转下使叶片快速磨损,影响水泵的使用寿命;③在水泵进出口处尽可能安装压力表,以便实时观察系统内的压力情况,进行流量和压力调节。

3.5 水泵启动前的准备工作

水泵在正式投入使用前要进行试运行,启动前认真检查泵的相关部件(出入口管线、支架、阀门、压力表接头)是否符合安装规范,紧固件(地脚螺栓、法兰等)有无松动,冷却水是否畅通。安排现场

作业人员启泵前盘车,检查转子是否转动轻松灵活,检查泵体内是否有金属撞击声或摩擦声。

3.6 水泵试运转

检查完成后泵入口阀门全开,关闭出口阀,启动电机,全面检查机泵的运转情况,观察是否有漏水情况,及时做好试运转记录,以便后期整改。

3.7 水泵使用注意事项

水泵在正常使用时还应注意以下几点:①在任何情况下都不允许离心泵空转,避免损坏零部件,在长期运行时,现场作业人员要关注离心泵的运转声音,出现异响及时上报,避免出现故障耽误生产;②离心泵启动后,在出口阀未开的情况下,不能长时间运转,因此电机启动后及时打开出口阀;③离心泵不允许用入口阀来调节流量,而应用出口阀来调节系统的流量;④在正常情况下,离心泵运行的最小流量应不低于额定流量的三分之一。

4 结论

通过输送流量、管道直径、流动状态、阻力损失和扬程的计算分析,最终得到以下结论。

1)要实现在 4 小时内将料盘冷却至室温,需要循环水的流量为 $37 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

2)根据设计经验选择管线的流速,确定泵的入口管规格 $\Phi 102 \times 4 \text{ mm}$,出口管规格 $\Phi 73 \times 4 \text{ mm}$ 。

3)根据输送任务和厂房布局敷设循环水管线,循环水的流动状态为湍流,阻力损失 6.822 m ,扬程 8.6 m ,选择泵型号为 ISGB65-12.5(I)。

4)水泵的安装、运行必须符合规范,才能保证水泵长期稳定运转。

[参考文献]

- [1] GB/T 50398—2018,无缝钢管工程设计标准[S].
- [2] 陈敏恒,丛德滋,齐鸣斋,等.化工原理[M].北京:化学工业出版社,2020.
- [3] 钟原.工业泵的选型[J].化学工程与装备,2021(8):214-215+189.
- [4] 祝福生,郭春华,夏楠君.工业泵在湿法腐蚀清洗设备中的应用[J].电子工业专用设备,2016,45(1):43-46.
- [5] 魏洪.自贡工业泵厂出版 N 型两相流泥浆泵选型样本[J].东方电气评论,1991(2):96.

The Calculation and Selection of Industrial Circulating Water Pumps and Pipelines

HOU Chen-ru, NAN Jun-fang, ZHANG Ye-xin, XUE Jian-sen, SU Jiang-feng

Abstract: During the construction of a certain factory building, it is necessary to equip a cooling system for high-temperature equipment. In order to transport the circulating water with a flow of $37 \text{ m}^3/\text{h}$ to the cooling bed and complete the cooling task of the material tray, it is necessary to select a suitable pump and pipeline. The pipeline route is preset according to the layout in the workshop. Through relevant theoretical calculation, the inlet pipe specification of the pump is selected $\Phi 102 \times 4 \text{ mm}$; the outlet pipe size is $\Phi 73 \times 4 \text{ mm}$; the pump model is ISGB65-12.5 (I). Finally pipeline design and pump selection are completed.

Key words: circulating water; pipeline design; theoretical calculation; pump selection



(上接第 71 页)

Prediction of Aluminum Alloy Properties Based on Different Machine Learning Algorithms

LI Ting

Abstract: Aluminum alloys are widely used in aerospace and transportation fields due to their high strength and low weight. In this paper, with aluminum alloy components as the input vector and tensile strength as the target variable, four different machine learning algorithm models, RF, ET, Bagging and Adaboost, are established. The results show that RF model has the best prediction performance, $R = 0.89$, $MAE = 40.33$. The content of Ti plays a positive role in predicting the tensile strength of aluminum alloys. The higher the content of Ti, the greater the tensile strength. The prediction of tensile strength of aluminum alloy with Mg and Cu content is not obvious. The content of Zn element, Ce element and Y element plays a negative role in predicting the tensile strength of aluminum alloy. The element content is great, that the tensile strength value is small. The importance of the characteristics is $Ti > Mg > Cu > Zn > Ce > Y$.

Key words: machine learning; aluminum alloy; tensile strength; performance prediction

