

海水直流冷却工艺与逆流机械通风冷却塔 循环水冷却工艺方案比选

李韶东

中国石油化工股份有限公司天津分公司

摘要: 本文简述了海水冷却工艺技术方案及设计方案。从投资及运行成本方面与传统常规逆流机械通风冷却塔循环水冷却工艺方案进行了综合比较, 经比较择优选择适合的工艺路线。

关键词: 闭式循环冷却; 海水直流冷却; 换热设备; 取水口; 排水口; 逆流机械通风冷却塔; 投资费用; 运行成本

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2022.09.101

某石油化工项目为满足各生产装置及辅助公用工程单元循环水需求设置二座逆流机械通风冷却循环水场(循环量分别为: 第一循环水场90000t/h; 第二循环水场85500t/h), 在项目可研设计阶段针对循环水采用常规冷却塔工艺路线与海水直流冷却工艺路线进行了综合比选, 进而选择合理的工艺路线。

一、海水直流冷却方案简介

海水直流冷却是应用较为广泛的一种海水冷却方案, 具有取水温度低、冷却效果好和系统运行管理简单等优点。

(一) 工艺流程简介

闭式循环冷却: 在闭路循环冷却系统内, 以除盐水作为冷却介质, 低温水流经工艺换热器对工艺介质进行冷却, 完成热量交换后的热水在中间换热器内经海水冷却后循环使用;

海水直流冷却: 海水在中间换热器换热升温后, 直接排海。工艺流程见图1。

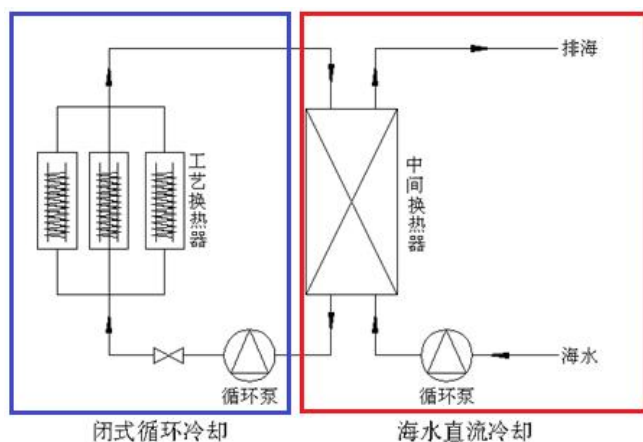


图1 海水直流冷却工艺流程简图

海水取排水系统工艺流程如下:

海水→取水头部→自流管→集水间→拦污栅→旋转滤网→海水取水泵→进水压力管→换热设备→陆域输送管→排水口→海水。

(二) 方案设计条件

1. 根据《海水冷却水排放要求》(GB/T 39361-2020), 对于除核电机组项目外的其他海水冷却水排放水温温升要求, 夏季不超过当时当地海水温度9℃, 冬季不超过当时当地海水温度12℃。

根据《天津市海洋功能区划》(2011-2020年)、《天津市海洋环境保护规划(2014-2020年)》《天津市生态保护红线》《海水水质标准》(GB3097-1997)要求, 确定本工程海水取排位置。

按照以上标准规范, 经设计院核算, 能够满足海水排水口温升标准要求。

2. 某化工项目常规循环水场, 设计循环水量合计175500t/h, 循环水设计供/回水温度32℃/42℃。设计海水循环规模190000m³/h。

3. 海水温度夏天按照26℃设计。

4. 取排水口选址原则

1) 海水取排水口布置应满足海域环保要求。
2) 取排水口布置应尽量靠近使用中心, 节约工程投资及后期运营能耗。

3) 取水口布置应保证取水顺畅、稳定且水质优良, 减少海浪、潮汐、泥沙等影响。

4) 排水口应保证排水流畅, 同时应与取水口相隔足够的距离, 不对取水口进水水温造成影响。

5) 合理处理海水取排水口与周边建构筑物、设施等的关系。

(三) 取水方案

1. 海水取水量

该方案海水(冷却水)全部由岸边取水泵供给, 夏季最高海水温度为26℃, 按夏季控制工况9℃温升, 排水温度35℃, 根据冷、热流体换热量平衡可得以下关系式:

$$C_{\text{工艺水}} \cdot Q_{\text{工艺水}} \cdot \Delta t_{\text{工艺水}} = C_{\text{海水}} \cdot Q_{\text{海水}} \cdot \Delta t_{\text{海水}}$$

$$Q_{\text{海水}} = C_{\text{工艺水}} \cdot Q_{\text{工艺水}} \cdot \Delta t_{\text{工艺水}} \div (C_{\text{海水}} \cdot \Delta t_{\text{海水}})$$

式中:

$Q_{\text{海水}}$ ——海水流量, t/h;

$Q_{\text{海水1}}$ ——第一循环水场海水流量, t/h;

$Q_{\text{海水2}}$ ——第二循环水场海水流量, t/h;

$C_{\text{工艺水}}$ ——工艺水比热, 4.187kJ/kg·°C;

$Q_{\text{工艺水}}$ ——工艺水流量, t/h;

$\Delta t_{\text{工艺水}}$ ——工艺水温升, 10°C;

$C_{\text{海水}}$ ——海水比热, 暂定4.04kJ/kg·°C;

$\Delta t_{\text{海水}}$ ——海水温升, 9°C;

则, 二座循环水场水量如下:

$$Q_{\text{海水1}} = 4.18\text{kJ/kg}\cdot\text{°C} * 85500\text{t/h} * 10\text{°C} \div 4.04\text{kJ/kg}\cdot\text{°C} \div 9\text{°C} \approx 98300\text{t/h}$$

$$Q_{\text{海水2}} = 4.18\text{kJ/kg}\cdot\text{°C} * 72000\text{t/h} * 10\text{°C} \div 4.04\text{kJ/kg}\cdot\text{°C} \div 9\text{°C} \approx 82800\text{t/h}$$

2. 取水口位置

海水取水口布置于该化工项目区域东侧。取水口结构主要包括进水管和取水池结构, 进水管为3根3.0m×3.0m混凝土涵管, 单根总长度约110m(含取水头长度); 取水池结构尺度为57m×29.5m(净尺度), 由前池、滤网间和取水泵房基础组成; 取水池结构上方设取水泵房一座。

3. 取水头部位置和形式

设计取水头三座, 采用鸟笼式, 单座直径为12m, 每座对应一根取水管。为控制取水口进口处平均流速小于0.3m/s, 取水窗高2.5m, 进水粗格栅面积不小于79m²。为满足安全取水要求, 设置取水窗顶高程为-7.00m。

4. 取水泵站

根据后方厂区工艺及对应换热方案, 泵房设备设置为: 立式斜流泵5台, 4用1备, $Q=12.6\text{m}^3/\text{s}$, $H=25\text{m}$, 电动机功率4500KW/台。本方案采用独立流道和泵室布置, 充分保证水泵间不产生干扰, 吸水槽相互独立; 同时保证进水水流尽量布置顺直, 避免转弯或偏流。公共配水前池将海水分配至5个独立流道, 经闸门、格栅、旋转滤网进入泵室。取水泵房输水管采用4根DN3000GRP管道输送至换热装置供水总管。

(四) 换热器区

1. 换热器区布置于该项目区域内, 占地约32832平方米。取水泵房与换热器区之间通过4根DN3000的GRP管相连, 单根GRP管长度约450m。

中间换热器采用海水直流供水冷却系统, 海水经取水泵加压后通过4根DN3000的供水管道(GRP管道)送至中间换热器, 在中间换热器内低温海水与高温工艺水换热将工艺水温度由42°C冷却为32°C, 海水吸收热量后温度升高, 经排水管排回大海。

本方案设计海水直流供水冷却系统最大取水量时排水温升按不超过9°C考虑。根据热量平衡原理, 在工艺水排热量一定的情况下, 冷却水温升与所取冷却水量成反比例关系, 取水量大则温升小、取水量小则温升大, 为了尽可能减少取水量以降低系统运行成本, 本次中间

换热器计算、选型按照取排水温升9°C作为设计条件。

2. 结合本项目取用海水作为冷却水源的工程特点, 为确保冷却系统安全、可靠, 推荐采用管壳式换热器作为中间换热器。海水(冷却水)走管程, 采用钛管材质(与海水接触的水室采用内衬钛板); 工艺水走壳程, 采用碳钢。

3. 换热器配置方案。第一循环水场配置2组管壳式换热器, 每组配置12台换热器, 10台运行2台备用; 第二循环水厂配置2组管壳式换热器, 每组配置10台换热器, 8台运行2台备用。

4. 为提高设备可靠性, 在每台换热器前设置电动滤水器, 有效过滤海水杂质, 降低换热管堵塞风险; 并为每台换热器配置有胶球清洗装置, 定期投运, 保持换热管内清洁, 维持换热器良好的运行状态; 每台换热器前后各设置一电动蝶阀, 检修时可单独切除每一台换热器, 实现系统不停运检修维护。

(五) 变配电间及制氯间

取水泵房南侧布置有变配电所1座及制氯间1座。

(六) 排水方案

1. 排水口结构

海水排水口两个方案, 方案一: 1#排水口布置于取水口南侧, 1#排水口距取水口间距约2.7km; 方案二: 2#排水口布置于取水口东侧, 2#排水口距取水口直线距离约7.0km。

排水口结构主要包括排水混凝土箱涵及消力池结构。排水箱涵自换热器区通过转换井后, 采用四孔砼箱涵(单孔尺寸3.0m×3.5m)穿现状护岸后排出, 排水箱涵总长度约2876m。

采用4孔3.0×3.5m混凝土箱涵直接排至排口, 为消除排水对船停靠影响, 排出口采用表层排海, 且出口处流水控制在0.3m/s, 排水口采用钢筋混凝土结构。

海水排水口两个方案, 方案一: 1#排水口布置于取水口南侧, 1#排水口距取水口间距约2.7km; 方案二: 2#排水口布置于取水口东侧, 2#排水口距取水口直线距离约7.0km。

2. 本次方案设计充分考虑取水口布置对临近码头及航道的影响, 设计要求取水头进水流速及排水口流速均不大于0.3m/s, 同时将取水头及排水口与临近码头离开一定距离布置, 取排水设施对临近码头及航道的影响较小。

二、逆流机械通风冷却塔循环水冷却工艺

常规循环水场采用机械通风敞开式循环冷却水系统。循环冷却水系统工艺由循环冷却水系统、水质处理系统(包括加药系统、加氯系统和旁流水处理系统)组成。

(一) 循环冷却水系统

各装置及辅助设置所用循环水靠余压经管道回至冷

却塔进行冷却，冷却后的水汇入冷却塔水池，经平衡渠流入吸水池，由循环水泵通过管道将冷却水加压送至各生产装置和辅助设施。循环水系统控制要求：循环水泵现场开停、低液位报警；冷却塔风机现场开停；水泵和风机控制室只停不开。

（二）水质处理系统

按照投加缓蚀阻垢剂、杀菌剂及分散剂设计。杀菌剂应采用氧化性杀菌剂和非氧化性杀菌剂。

1. 投加缓蚀阻垢剂系统

为防止设备结垢腐蚀，达到满足生产合格水质的要求，本设计设有自动投加缓蚀剂、阻垢剂系统，根据水中有害离子、电导控制或荧光示踪等方法，通过计量泵自动控制投加缓蚀剂和阻垢剂，并自动控制循环水排污、循环水补水。同时设有循环水监测换热器，对循环水结垢、腐蚀、污垢情况进行在线监测，以便随时调整药剂的投加量及配方。加药系统由药剂罐、计量泵、管道和控制柜等组成。

2. 投加杀菌剂及分散剂系统

为了有效地控制循环冷却水系统中的菌藻和生物粘泥，设计采用了投加分散剂防止生物粘泥结团，同时投加次氯酸钠作为杀菌剂，并具备自动连续投加功能。

3. 旁流水处理系统

为了降低循环水浊度，减少循环水中生物粘泥量的增加，根据我国有关规范要求，采用旁流水处理设施。本设计采用重力无阀过滤罐，系统为自动控制，根据过滤罐进出口的压力差自动开启过滤罐进出口的电动阀，从而完成过滤、清洗等过程。旁流水处理系统由压力过滤罐、电动阀组、管道及控制柜组成。

4. 循环冷却水系统设计参数如下

循环冷却给水系统工作压力：0.45-0.55MPaG

循环冷却回水系统工作压力：0.2-0.25MPaG

循环冷却给水系统设计温度：32℃

循环冷却回水系统设计温度：42℃

三、投资估算及运行费用

（一）投资估算

1. 该石油化工项目设置二座循环水场（循环量分别为90000t/h、85500t/h），工程费估算42000万元。

2. 海水直流冷却方案投资估算由两部分组成：闭式循环系统、海水取用系统。

其中：闭式循环系统工程费估算18000万元；

海水取用系统工程费估算：方案一116153.46万元；方案二171175.09万元。

合计海水直流冷却工程费估算：方案一134153.46万元；方案二189175.09万元

3. 对比设置循环水场工程费增加：

方案一92153.46万元；方案二147175.09万元。

（二）运行费用（以年计）

1. 项目设置二座循环水场（循环量分别为90000t/h、85500t/h），运行费用30135.48万元。

2. 海水直流冷却方案运行费用（海水温升按照全年9℃设计、仅按第一方案进行对比），闭式循环系统运行费用12520.89万元；海水取用系统运行费用14189.53万元。

运行费用合计：26710.42万元。

3. 对比设置循环水场运行费用降低3425.06万元

4. 海水冷却方案修理费用较设置循环水场增加898.78万元。（其中：总循环量149796万吨计；循环水场修理费0.004元/吨水；海水冷却方案修理费0.010元/吨水）

5. 其他投资费用的变化

采用海水直冷工艺减少循环水场排污水，相应减少达标排放污水，核减排放费用280万元。

6. 综合运行费用的变化

海水直流冷却方案中海水温升按照9℃设计，运行费用降低2806.28万元

四、存在的问题

（一）海水直流冷却方案对该项目总图布置方面的影响

取消二座循环水场。增加中间换热器布置、泵房以及管道布置。

（二）后续运行管理中需考虑的问题

如藻类聚集、水母泛滥、贝壳长满等突发的应急生产情况。海水取、排水口设置在航道，货轮进出装卸会影响到海水的水质。

（三）关于排水温度升高问题

目前设计按照标准要求，夏季不超过当时当地海水温度9℃，冬季不超过当时当地海水温度12℃。需要委托第三方完成评估报告。评估内容：一是海水温升问题；二是加药余氯排水评估。

五、结论

海水冷却技术目前较多用于沿海火电厂，而石化企业特点与火电厂有较大差异。火电厂冷却水用户特点是大而集中，工况简单；石化企业循环水用户多，工艺工况（温度、压力及介质类型）复杂，运行安全要求高。按照上述投资及运行费用，经综合比选，该项目仍按常规循环水场设计。

参考文献

[1] 陶泓, 刘富宝. 制药企业综合节能风冷冷却塔的应用[J]. 节能. 2015, (12).

[2] 梁孟. 浅谈太阳辐射换热空调制冷技术的最新研究进展[J]. 建材与装饰, 2018. 52. 130.

[3] 殷俊, 庄续奎, 董武雄, 等. 机力通风冷却塔结构辐射噪声分析及控制[J]. 城市建设理论研究(电子版). 2015, (17).