



冰山集团
Bingshan since 1930



第七届中国制冷空调产学研论坛

适用于工商制冷领域的 降膜式螺杆冷水机组关键技术解析

报告人：王恕清 正高级工程师

2025年8月26日

陕西西安



目 录

CONTENTS

01

项目背景

02

研发历程

03

关键技术

04

创新成果

05

推广应用

06

荣誉奖项

制冷系统高效、低碳、可靠运行对冷水机组提出了更高要求

降膜蒸发技术是解决冷水机组能效与制冷剂用量约束的有效途径

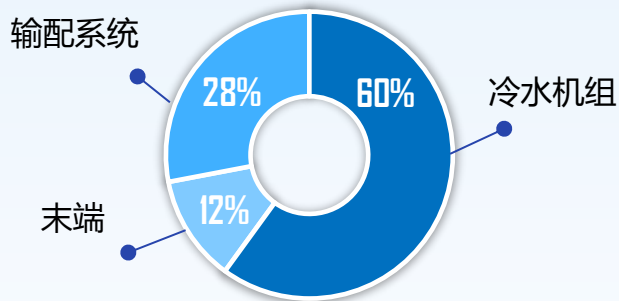
建筑能源消耗

占40%

制冷空调系统

占50%

典型制冷系统能耗占比



机组能效

提升10%

能源消耗

降低1%

	能效	制冷剂用量
干式机组	较低	少
满液机组	较高	多

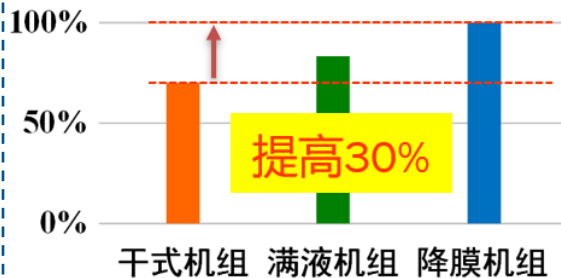
传统冷水机组：

能效

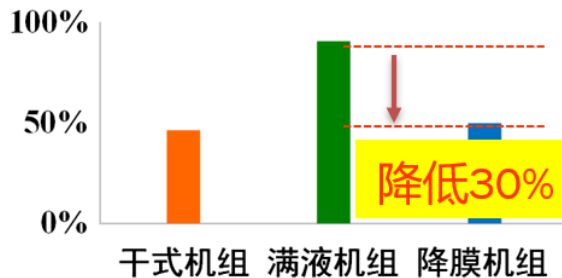
相互制约

制冷剂用量

能效对比



制冷剂用量对比





技术开发（委托）合同

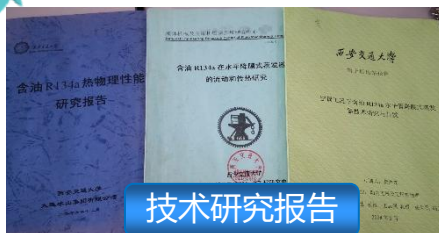
甲方：大连冰山集团有限公司（盖章）
法定代表人/委托代理人：（签名）

2006年11月3日

乙方：西安交通大学流体机械及运输机国家工程研究中心（盖章）
法定代表人/委托代理人：（签名）
2006年11月10日

技术研发(2010-2015)

- 气液分离和布液器件研发
- 制冷系统循环控制技术研发
- 冷水机组油平衡技术研发



理论研究(2005-2010)

- 含油制冷剂热物理性质研究
- 制冷剂在水平降膜蒸发器的流动和传热研究



20年磨一剑

一台冷水机组的长期主义突围战

推广应用(2015-2025)

- 乳品啤酒医药化工领域800用户,近2000台套
- 0.5℃冰水、+25℃高温、-25℃低温行业首台套应用

持续进化(2025—)

- 集成健康诊断技术实现预测性维护
- 嵌入MPC技术实现系统节能
-



西安交通大学研究团队

围绕高温、高压复杂流体热物性及其应用研究

何茂刚
教授

- 国家杰出青年基金、中国青年科技奖获得者
- 中国高等教育学会工程热物理专委会副理事长
- 中国计量测试学会热物性专业委员会副主任
- 中国工程热物理学会工程热力学分会委员
- 动力系统国家重点实验室学术委员会委员
- 《热科学与技术》编委会副主任

张颖
教授刘向阳
教授

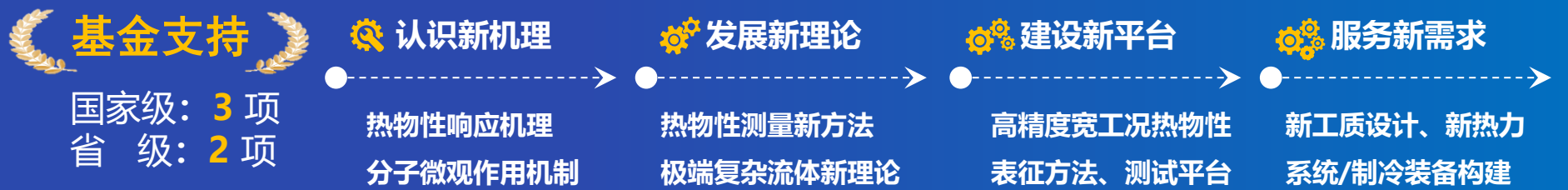
获得荣誉

- 国家科技进步创新团队一等奖
- 国家科技进步二等奖、
- 省部级科技进步二等奖(5项)
- 发表学术论文 500 余篇
 - SCI收录 312 篇
 - ESI论文 8篇
 - SCI他引 4500 多次
- 获发明专利 36 项
- 软件著作权 11 项
- 撰写专著 3 部
- 编写教材 5 部

研发平台

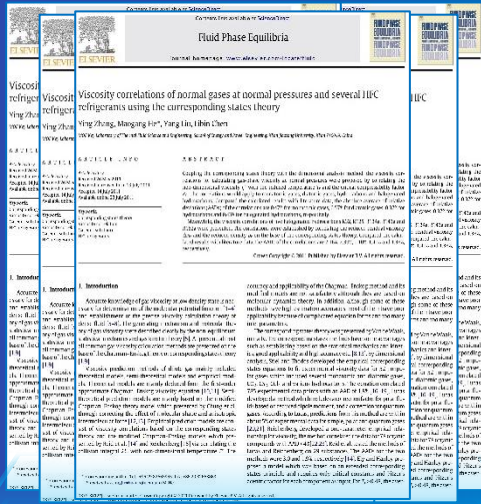
- 1个国家协同创新中心
 - 2个国际合作平台
 - 3个省部级科研基地、
- 实验室拥有国内首套、国际领先的热物性测试装置 20 余套。覆盖流体、固体工质平衡性质和迁移性质的宽工况、高精度测量。

测试能力



项目类别	项目名称	项目编号	实施时间
中国博士后科学基金	水平管降膜式蒸发器 传质传热特性的研究	20060400997	2006.6-2007.6
辽宁省自然科学基金	含油R134a水平管降膜蒸发器 管间两相流动传热研究	20072159	2007.1-2008.12
国家自然科学基金重点	流体热物性测试新方法 及其应用研究	50836004	2009.1-2013.12
国家杰出青年科学基金	流体热物理性质	51525604	2016.1-2020.12

发表论文
SCI 索引 **4 篇**
EI 索引 **4 篇**



序号	论文名称/刊名/级别	发表时间	通讯作者	第一作者
1	Thermophysical Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (CH ₂ FCF ₃) Refrigerant-Oil Mixtures in the Saturated Liquid Phase with Lubricant Concentration in the Range (0 to 100) ppm / Journal of Chemical and Engineering Data/ SCI	2008.3	何茂刚	何茂刚
2	Measurement of falling film thickness around a horizontal tube using Laser-induced fluorescence technique / Journal of Physics: Conference Series / SCI	2008.12	何茂刚	王小飞
3	Kinematic Viscosity of R410A and R407C Refrigerant-Oil Mixtures in the Saturated Liquid Phase with Lubricant Mass Fraction in the Range of (0 to 0.0001) / Journal of Chemical and Engineering Data /SCI	2009.12	何茂刚	张颖
4	Viscosity correlations of normal gases at normal pressures and several HFC refrigerants using the corresponding states theory / Fluid Phase Equilibria/ SCI	2011.6	何茂刚	张颖
5	水平管降膜蒸发器管外液体流动数值模拟/工程热物理论学报/ EI	2008.8	何茂刚	王小飞
6	制冷用水平管降膜蒸发器的研究进展及新技术/化工学报/ EI	2008.12	何茂刚	何茂刚
7	水平管外降膜流动的膜厚测量和数值模拟/西安交通大学学报/ EI	2010.9	何茂刚	何茂刚
8	布液方式对水平蒸发管管间流型转换的影响/西安交通大学学报/ EI	2012.1	何茂刚	张颖

授权专利

发明专利 10 项
实用新型 10 项

序号	专利类别	专利名称	专利号	授权日期
1	发明专利	一种新型经济器螺杆机制冷系统	2010102170282	2012.10.17
2	发明专利	一种压缩机油冷却系统及控制方法	2015105090691	2013.08.14
3	发明专利	一种压缩机组均油系统	2011101737416	2013.08.14
4	发明专利	带有油液分离器的引射回油制冷系统	2015107118849	2015.10.29
5	发明专利	气液分离型分液器	2016103904914	2016.06.06
6	发明专利	适用于降膜蒸发器的迷宫式挡液结构	2017100986194	2018.08.09
7	发明专利	一种多模态特征融合神经网络的制冷设备故障诊断方法	2022104850724	2022.05.06
8	发明专利	一种制冷螺杆压缩机能级测定方法	2023100010017	2023.01.03
9	发明专利	一种制冷空调机组健康诊断方法	2023100389339	2023.01.12
10	发明专利	一种基于半监督对比学习的制冷机组故障诊断方法	202310077202.5	2023.07.21

授权专利

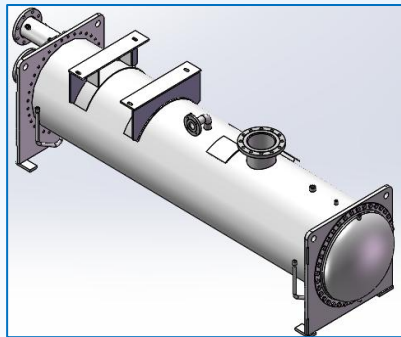
发明专利 10 项
实用新型 10 项

序号	专利类别	专利名称	专利号	授权日期
11	实用新型	适用于冰水机组的引射器	2012204139768	2013.03.20
12	实用新型	适用于螺杆制冷机组的油分离器	2017201639524	2017.10.10
13	实用新型	适用于降膜蒸发器的迷宫式挡液结构	2017201639539	2017.12.08
14	实用新型	适用于降膜机组的制冷剂管路	2017215316754	2018.06.12
15	实用新型	可降低制冷剂充注量的管壳式冷凝器	201721531681X	2018.08.24
16	实用新型	适用于横管降膜蒸发器的布液装置	2018202445253	2018.09.18
17	实用新型	具有两级分液腔室结构的布液器	2018204126229	2018.11.27
18	实用新型	适用于制冷机组的闪蒸式经济器	2018218539547	2019.06.28
19	实用新型	一种降膜式蒸发器	2019210752883	2019.07.10
20	实用新型	具有双液包结构的卧式管壳式冷凝器	2018218286399	2019.08.20

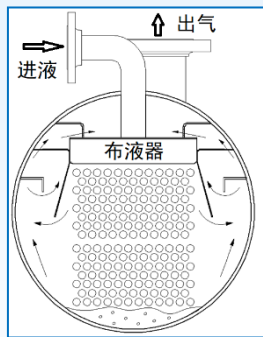
创新点1

高效的降膜式蒸发器

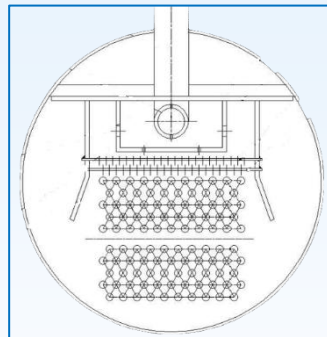
发明了**迷宫式**气液分离新结构和**带缓冲槽的喷雾式**布液器新结构，重构了**气流通道布局**。传热系数提高**30%**，助力冷水机组COP提高**3%**。



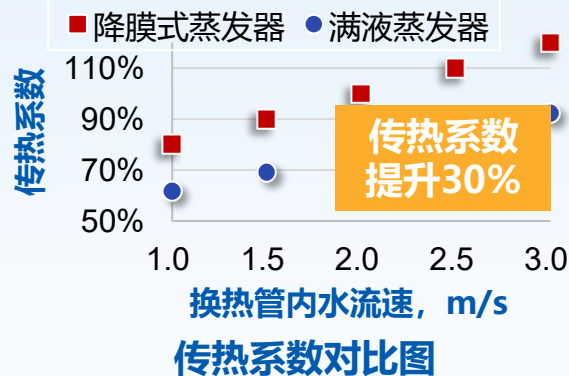
新型降膜式蒸发器



气液分离结构图



布液器结构图

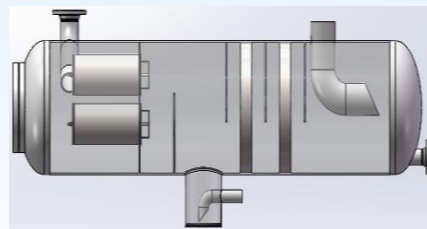
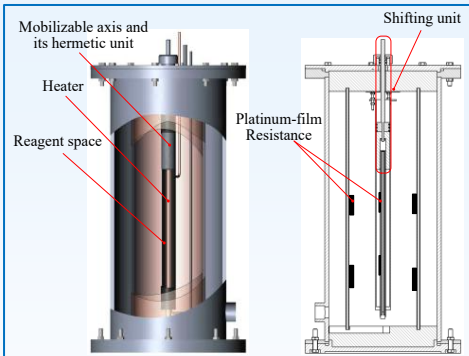


支撑材料：授权发明专利 2 项，实用新型专利 4 项，SCI/EI等论文 5 篇

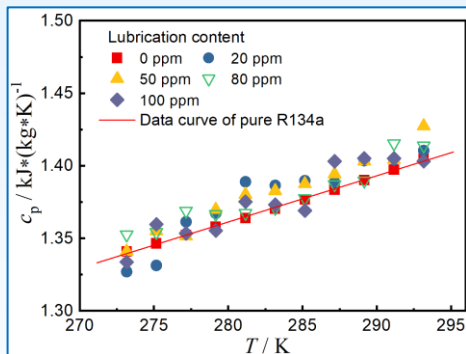
创新点2

制冷系统油平衡新技术

提出含油制冷剂**热物性测试技术**并获取**高精度数据**，
提出制冷系统**油平衡新技术**，冷水机组COP提高2%，
机组运行稳定性可靠性大幅提升。

油分离器
结构图

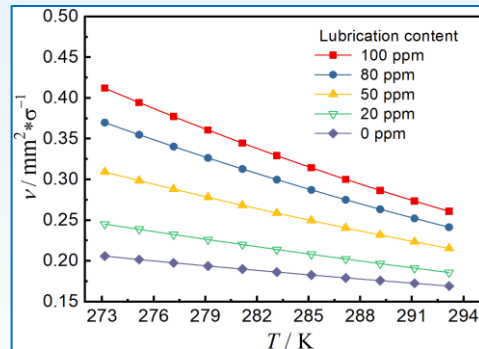
比热容测量装置



含油制冷剂比热容



黏度测量装置



含油制冷剂黏度

支撑材料：授权发明专利 **3** 项，实用新型专利 **2** 项，SCI/EI等论文 **3** 篇

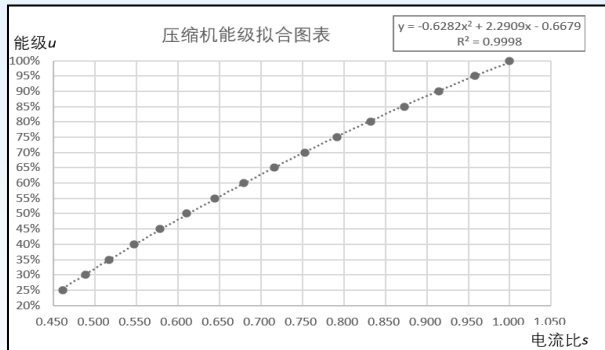
创新点3

制冷系统循环控制技术

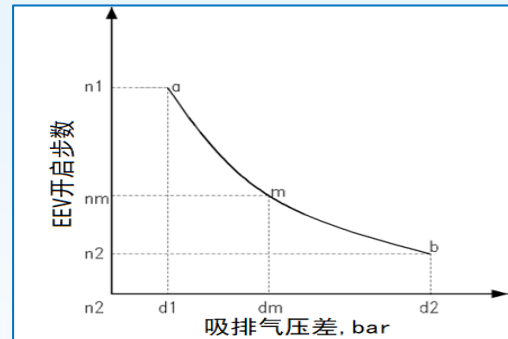
研发了包括**温度矩阵法**增减载、**电流法**能级指示、**计算开度法**供液控制技术在内的制冷系统循环控制技术，大幅提升冷水机组运行稳定性和可靠性。

增减载逻辑 水温 变化 速度	温区 (℃)					
	<6.3 to<ts-tf	6.3-6.7 ts-tf/2≤to<ts-tf/2	6.7-7.0 ts-tf/2≤to<ts	7.0-7.3 ts≤to<ts+tf/2	7.3-7.6 ts+tf/2≤to<ts+tf	≥7.6 to≥ts+tf
快速下降	持续减载	快减	快减	慢减	慢减	保持
慢速下降	快减	快减	慢减	保持	保持	慢增
不变	慢减	慢减	保持	保持	慢增	快增
慢速升高	保持	保持	保持	慢增	快增	快增
快速升高	保持	慢增	慢增	快增	快增	持续增载

温度矩阵法增减载逻辑示意图



电流法压缩机能级指示原理图



计算开度法供液控制原理图

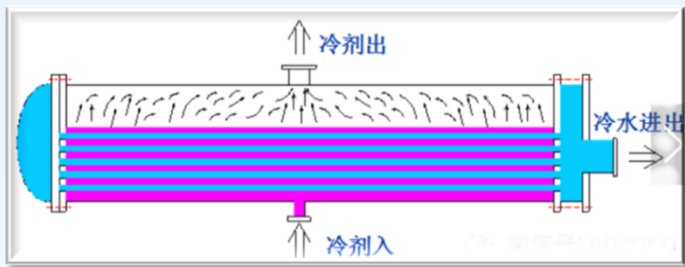
支撑材料： 授权发明专利 **2** 项，实用新型专利 **4** 项，科技论文 **8** 篇

❖ 问题：降膜蒸发器换热性能是否比满液蒸发器传热系数高？

反方意见一：降膜和满液都是管外制冷剂沸腾蒸发，换热机理没有本质不同，传热系数不可能有太大的差异

反方意见二：经过对比测试发现降膜的性能和满液差不多，且降膜蒸发器多了结构复杂的布液器而且布管也复杂，所以就只做满液冷水机组

满液式蒸发器

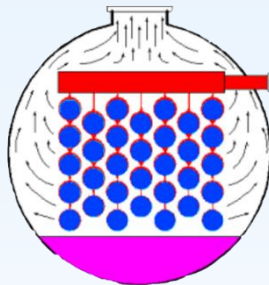


- ① 大量气泡穿过管束影响换热管表面沸腾换热
- ② 为防止出气带液而降低液位,液面上换热管不参与沸腾换热
- ③ 油在换热管外形成油膜抑制沸腾换热强度
- ④ 静液柱导致底部换热管外制冷剂饱和温度升高

满液蒸发器的传热系数最多只达到单管性能70%左右

对比

降膜式蒸发器



- ① 如果换热管外表面均匀成膜会形成无气泡干扰的纯沸腾换热
- ② 液位高低只决定了降膜区和满液区的分配比例,不影响换热
- ③ 润滑油对液面上的降膜区换热无影响
- ④ 基本无静液柱对蒸发温度的影响

布液均匀的降膜蒸发器传热性能：可接近单管性能

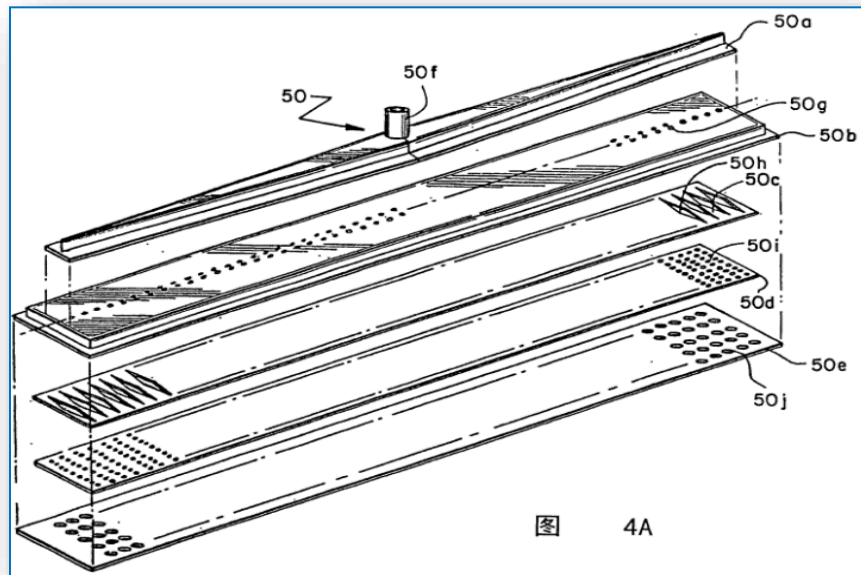
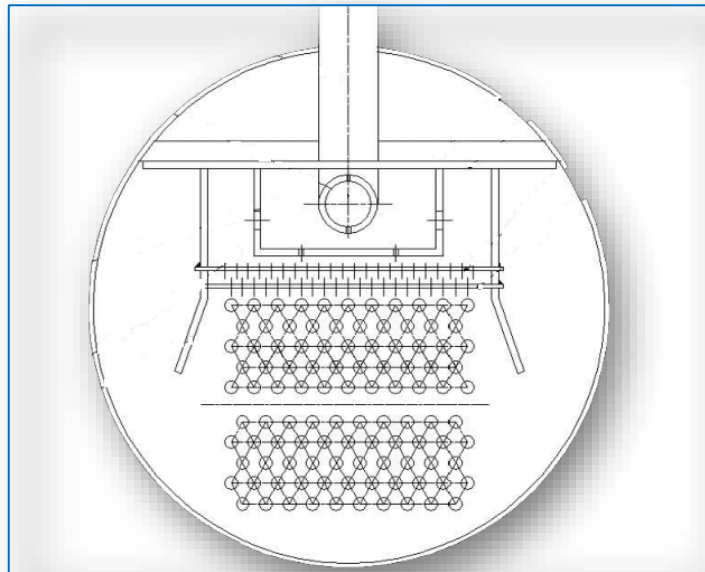


图 4A

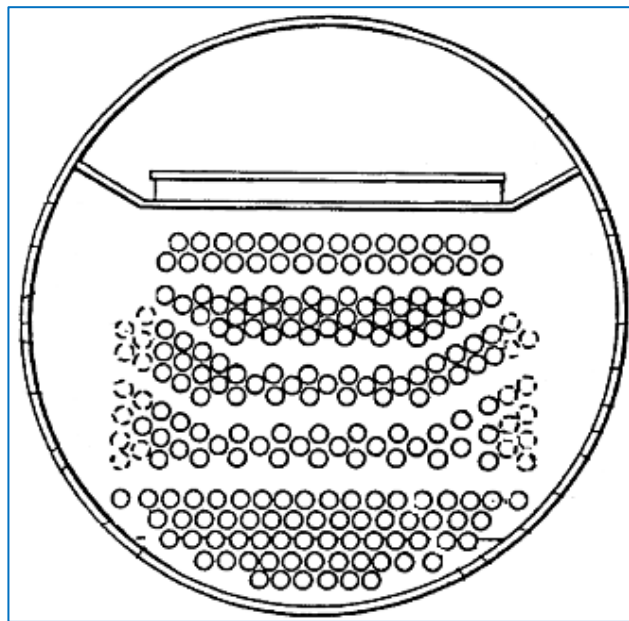
TRANE布液器结构示意图

- ❖ 制冷剂进入布液器后沿着4层开孔形状各异的多孔板向下流动
- ❖ 其他布液器结构有差异，但制冷剂的流动方向均为始终向下
- ❖ 低负荷时容易“近水楼台先得月” 远离进液管区域干蒸区增多



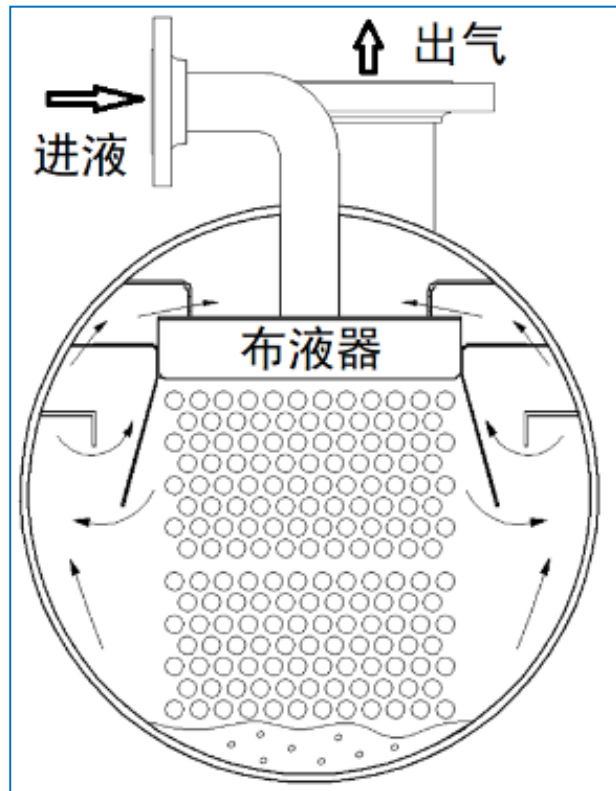
冰山布液器结构示意图

- ❖ 缓冲槽结构使制冷剂先充满缓冲槽后再向斜上方喷射
- ❖ 即使在制冷剂流量比较小也可以沿长度方向均匀分配



TRANE布管示意图

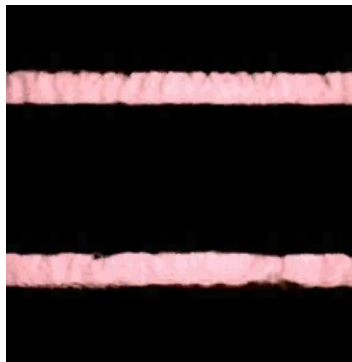
- 降膜蒸发器的布管结构，有转置三角形、正三角形以及预留气流通道的结构



冰山布管示意图

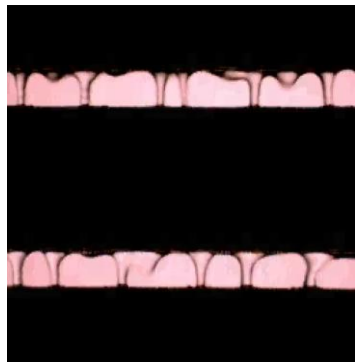
- 完全采用正三角形布管结构不额外考虑气流通道的

第1、2排管



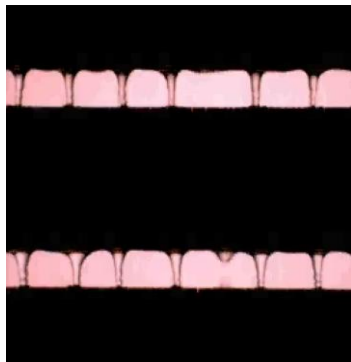
片状流

第3、4排管



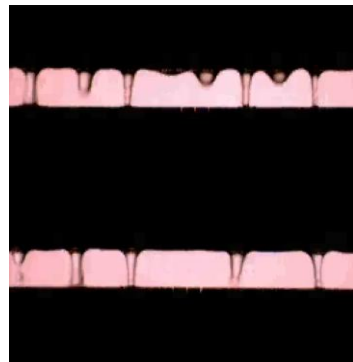
片状流+柱状流

第5、6排管



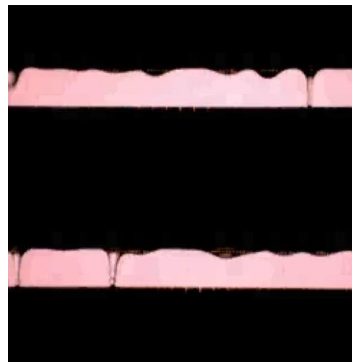
柱状流+滴状流

第7、8排管



柱状流+滴状流

第9、10排管



滴状流

- ◆ 全降膜——为平衡轴向换热差异必需一定比例的满液区，一般为20%左右，所谓的全降膜是以底部区域大量换热管处于干蒸区所造成的假象，损失的换热性能必然要通过多加换热管来弥补，所以**全降膜不可能存在**
- ◆ 满液区占比高——过高的满液区比例（比如满液区占到40%以上）说明布液均匀性较差，靠满液区的增加来弥补布液器布液不均所造成的换热性能衰减
- ◆ 二次布液器——在蒸发器的中下部再加一个类似滴淋盘的装置把制冷剂液体收集后进行再次分配，因底部换热管轴向温差更大，如果二次布液能够实现均匀布液，会使底部换热管干蒸区的占比进一步增加！

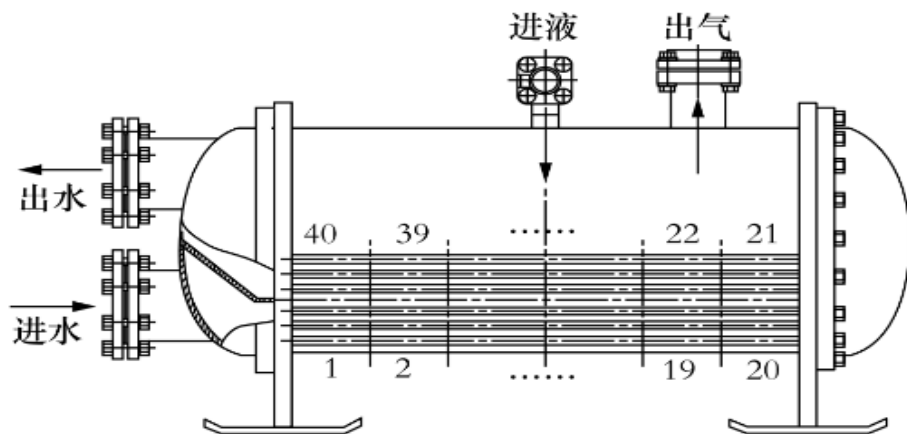


图1 一个典型的降膜式蒸发器结构示意图

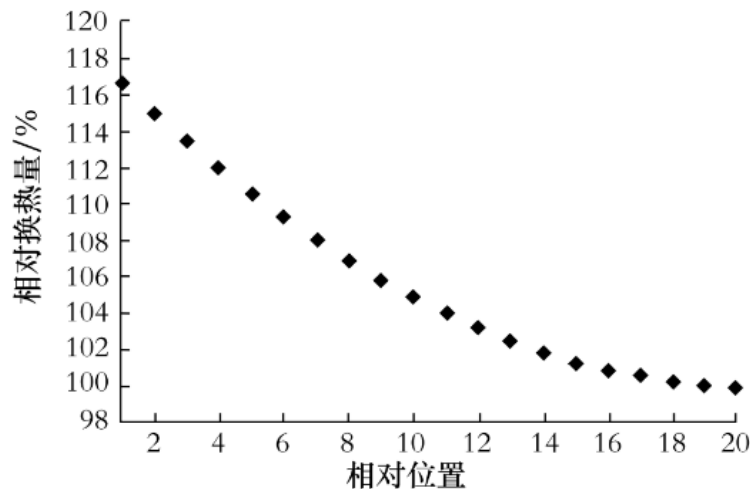


图5 降膜式蒸发器轴向换热分布示意图

第14卷 第4期
2014年4月

制冷与空调
REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING

107-112

有关降膜蒸发技术的几个热点问题浅析

王恕清¹⁾ 苏厚泉²⁾

¹⁾(大连冰山集团有限公司设计研究院) ²⁾(山东格瑞德·中兴空调有限公司)

摘要 从理论和应用实践的角度对有关降膜蒸发技术的几个热点问题进行论述,包括降膜蒸发技术对机组能效比提升的贡献、降膜式蒸发器轴向换热量的差异和降膜式机组的系统优化策略等。

关键词 冷水机组;蒸发;降膜因子;轴向换热量;系统优化

★技术背景

传统的根据角位移或直线位移传感器的压缩机能级指示方法存在准确度差、可靠性低等缺陷

★技术原理

通过测量压缩机的实际电流，精确测定螺杆压缩机的当前能级

★技术路径

- ①实时采集蒸发温度、冷凝温度、电流和电压等参数，并计算压缩机满负荷电流(虚拟值)
- ②计算实测电流与相同工况下压缩机满负荷电流计算值之比
- ③根据预设的电流比与能级百分比的关系式，准确计算螺杆压缩机的当前能级。

★技术优势

能级指示精确且无滞后，可取消角位移传感器或直线位移传感器，降低成本且减少故障点

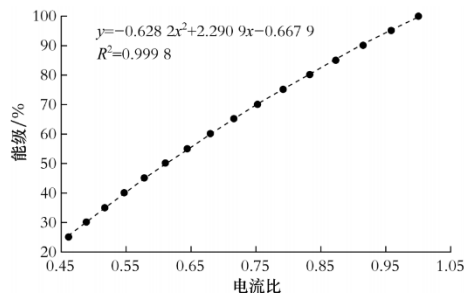


图6 电流法压缩机能级测定逻辑示意图^[4]

网络首发时间：2025-05-13 15:54:30 网络首发地址：<https://link.cnki.net/urlid/11.4519/b.20250512.0927.003>

制冷与空调
REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING

降膜式螺杆冷水机组关键技术研究

王恕清¹⁾ 战赫²⁾

¹⁾ (冰山冷热科技股份有限公司)

²⁾ (大连海洋大学)

证书号第8069709号



专利公告信息

发明专利证书

发 明 名 称：一种制冷空调机组用螺杆压缩机能级测定方法

专 利 权 人：冰山冷热科技股份有限公司

地 址：116000 辽宁省大连市经济

发 明 人：王恕清;丁军;杨鹏;王宏禹;周海峰;张为民;何国祥;核

专 利 号：ZL 2023 1 0001001.7

专利申请日：2023年01月03日

授权公告日：2025年07月15日

申请时申请人：冰山冷热科技股份有限公司

申请时发明人：王恕清;丁军;杨鹏;王宏禹;李文博;姜远新;张昕;王炜平;周海峰;张为民;何国祥;杨宝华;高梦欣

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨



一种制冷空调机组
用螺杆压缩机能级
测定方法

★技术背景

常规根据温差与设定值偏差的增减载控制方法水温精度较差

★技术原理

温度矩阵法是一种创新的负荷调节策略，旨在优化降膜机组的运行效率和稳定性。该技术通过构建一个精细的温度矩阵，依据冷水出水温度的区间、变化速度和方向，实现对压缩机增减载动作的精准控制。

★技术路径

温度矩阵基于两个关键维度构建：一是冷水出水温度的横向温区，反映实测值与设定值的相对位置；二是纵向水温变化的速度和方向，捕捉水温的动态变化趋势。

★技术优势

有效提高压缩机增减载动作的精准度，降低水温波动幅度，从而将水温控制精度提高至 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内

增减载 逻辑 水温 变化 速度	温区 ($^{\circ}\text{C}$)					
	<6.3 $t_o < t_s - t_f$	$6.3-6.7$ $t_s - t_f / 2 \leq t_o < t_s - t_f / 2$	$6.7-7.0$ $t_s - t_f / 2 \leq t_o < t_s$	$7.0-7.3$ $t_s \leq t_o < t_s + t_f / 2$	$7.3-7.6$ $t_s + t_f / 2 \leq t_o < t_s + t_f$	≥ 7.6 $t_o \geq t_s + t_f$
快速下降	持续减载	快减	快减	慢减	慢减	保持
慢速下降	快减	快减	慢减	保持	保持	慢增
不变	慢减	慢减	保持	保持	慢增	快增
慢速升高	保持	保持	保持	慢增	快增	快增
快速升高	保持	慢增	慢增	快增	快增	持续增载

网络首发时间：2025-05-13 15:54:30 网络首发地址：<https://link.cnki.net/urlid/11.4519.tb.20250512.0927.003>

制冷与空调
REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING

· 1 ·

降膜式螺杆冷水机组关键技术研究

王恕清¹⁾ 战赫²⁾

¹⁾ (冰山冷热科技股份有限公司)

²⁾ (大连海洋大学)

★技术背景

传统供液控制方法如：吸气过热度、排气过热度、蒸发器/冷凝器侧液位计或浮球阀、孔板节流等存在各种问题

★技术原理

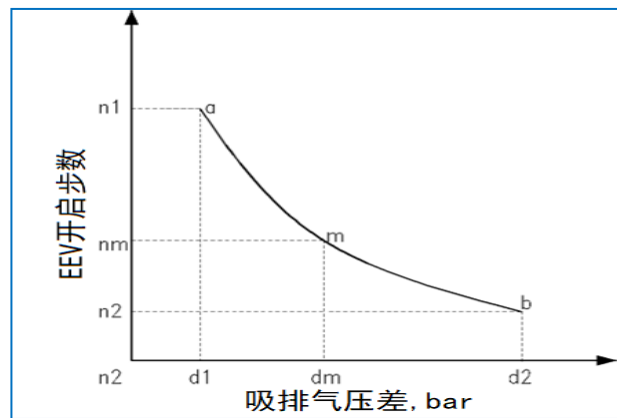
通过计算并精确调整电子膨胀阀（EEV）的开度，进而间接维持蒸发器液位的稳定，从而确保降膜机组的高效运行

★技术路径

选择三个具有代表性的吸排气压差点（ d_1 、 d_2 和 d_m ），利用这三点的坐标，拟合出一个二次多项式，并把压缩机能级与之关联。同时利用蒸发器小温差对EEV开度进行修正

★技术优势

无需额外的硬件设备投入，供液控制精确、稳定、可靠



第12卷 第3期
2012年6月

制冷与空调
REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING

116-121

计算开度法电子膨胀阀供液控制技术研究

王恕清

（大连冰山集团有限公司设计研究院）

摘 要 计算开度法是一种适用于满液式或降膜式冷水/热泵机组的电子膨胀阀供液控制技术。该技术的核心思想是实时计算压缩机的吸气质量流量和通过电子膨胀阀的制冷剂液体质量流量，并计算为保持前述二者始终相等的电子膨胀阀准确开启步数。该技术同其他供液控制技术相比，具有控制精度高、稳定性高、成本低等诸多优点。本文结合一个具体的降膜式螺杆式冷水机组实例，对计算开度法电子膨胀阀供液控制技术进行全面深入的阐述。最后得出结论：计算开度法电子膨胀阀供液控制技术，如果应用得当，可为降膜式或满液式冷水/热泵机组的稳定性和运行效率的提高发挥积极的作用。

关键词 冷水/热泵机组；降膜式；满液式；计算开度法；电子膨胀阀；供液控制；双变量函数

参数基准确定

动态阈值设定

实时数据采集

健康状态量化

综合诊断报告

项目

计算公式

蒸发器小温差	$= f(\text{冷量, 能级, 传热系数, 面积, 蒸发器液位, 进水温度, 出水温度})$
冷凝器小温差	$= f(\text{冷凝器负荷, 能级, 传热系数, 冷凝器面积, 冷凝器清洁度 (不凝性气体含量), 进水温度, 出水温度})$
排气过热度	$= f(\text{冷凝温度, 蒸发温度, 能级, 压缩机绝热效率, 吸气温度, 吸气带液量})$
压缩机电流	$= f(\text{冷凝温度, 蒸发温度, 能级, 电压, 功率因数, 电机效率, 压缩机绝热效率, 轴承或转子磨损度})$

针对冷水机组运行状态复杂多变、正常与故障状态界限模糊的特点，基于机理模型的健康诊断技术，通过连续数字形式表示机组健康状态

网络首发时间：2025-06-24 14:49:57 网络首发地址：<https://link.cnki.net/urlid/11.4519.TB.20250624.1306.006>

制冷空调
REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING

引用本文：
DOI:

基于机理模型的制冷空调机组健康诊断技术研究

王恕清¹⁾ 刘兵兵²⁾

¹⁾(冰山冷热科技股份有限公司)

²⁾(石家庄君乐宝乳业有限公司)

摘要 针对制冷空调机组运行状态复杂多变、正常状态与故障状态界限模糊的问题，提出一种基于机理模型的健康诊断技术。该技术通过深入挖掘设备状态变化过程的内在规律，以连续的数字形式表达这些规律，从而能够更精确、更全面地反映制冷空调机组的运行状态变化趋势。首先确定机组在设计工况下满负荷稳定运行时各项参数的基准值，然后根据实际工况定期采集机组运行参数，评估机组蒸发器、冷凝器、排气系统以及压缩机的状态得分。基于这些状态得分，计算机组的健康诊断综合得分，并依据得分阈值对机组进行分项及总体健康诊断。该技术可为运维管理人员提供直观、量化的机组健康状态信息，便于及时发现与处理潜在问题，进而提高机组运行效率和可靠性。此外，本研究还探讨数据采集准确性、诊断结果可靠性等问题，并提出相应应对策略。

证书号第7173481号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种制冷空调机组健康诊断方法

专利权人：大连冰山嘉德自动化有限公司
冰山技术服务(大连)有限公司

地址：116000 辽宁省大连市

发明人：王恕清、王陆庆、方清

专利号：ZL 2023 1

专利申请日：2023年01月12日

授权公告日：2024年07月09日

申请日申请人：大连冰山嘉德自动化有限公司
冰山技术服务(大连)有限公司

申请日发明人：王恕清、王峰、杨鹏、陈志奎、任浩、丁玺、王宏禹、李文博、李季
陆庆、方清、张为民、高梦欣

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨



第1页(共1页)

基于机理模型的健康诊断技术框架

参数基准确定

动态阈值设定

实时数据采集

健康状态量化

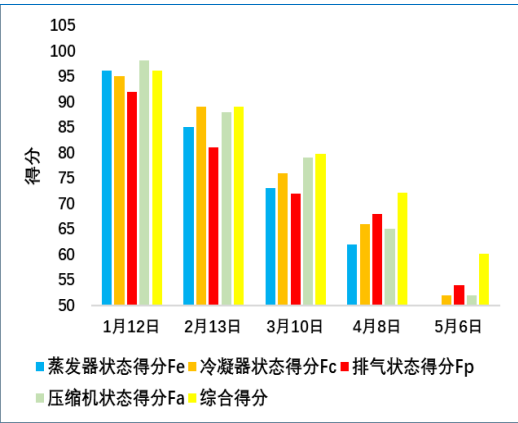
综合诊断报告

健康诊断报告一览表

项目	得分上限	得分下限	诊断结论
蒸发器状态得分 F_e	-	90	蒸发器状态正常
	90	75	留意制冷剂泄漏
	75	60	注意检漏并补充制冷剂
	60	-	及时检漏并补充制冷剂
冷凝器状态得分 F_c	-	90	冷凝器状态正常
	90	75	留意冷凝器脏堵
	75	60	考虑清洗冷凝器
	60	-	及时清洗冷凝器
排气状态得分 F_p	-	90	排气过热度正常
	90	75	留意压缩机吸气带液
	75	60	检查制冷剂充注量和节流机构
	60	-	及时检查制冷剂及节流机构
压缩机状态得分 F_a	-	90	压缩机运行正常
	90	75	留意压缩机磨损
	75	60	检查压缩机噪音和润滑油
	60	-	及时检修压缩机
综合得分 F_z	-	90	机组运行正常
	90	75	机组运行基本正常,注意巡检
	75	60	机组运行轻微异常,适时维护
	60	-	机组运行异常请及时维护

技术价值

为冷水机组运维管理人员提供直观、量化的机组健康状态信息，便于及时发现与处理潜在问题，进而提高机组运行效率和可靠性



《制冷与空调》杂志

发表论文

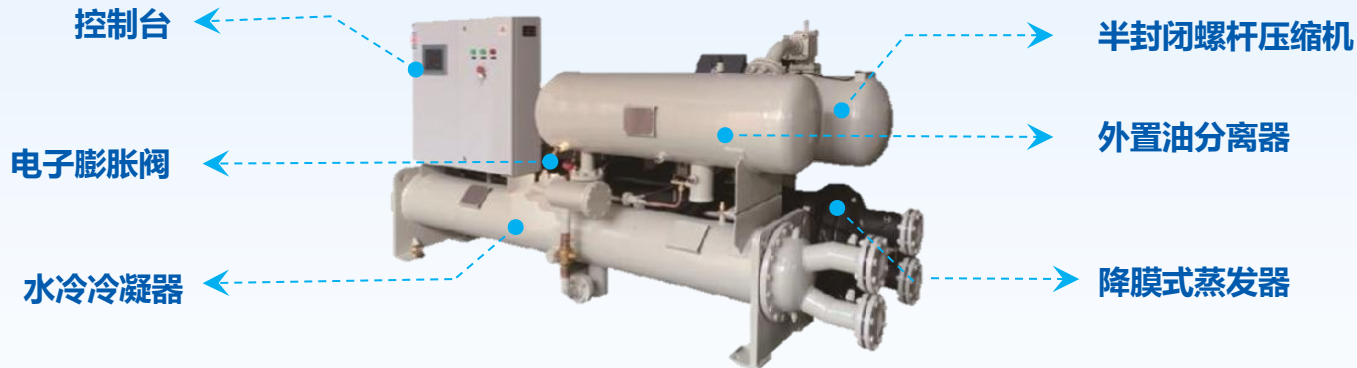
10篇



序号	论文名称	发表时间	第一作者
1	计算开度法电子膨胀阀供液控制技术研究	2012.06	王恕清
2	有关降膜蒸发技术的几个热点问题浅析	2014.04	王恕清
3	油分离器和回油技术对降膜机组性能的影响	2014.10	王恕清
4	降膜式制冷机组的系统设计和运行控制技术分析	2015.01	王恕清
5	降膜机组在工程中的应用价值刍议	2019.02	王恕清
6	不同冷却方式制冷系统的热点问题分析	2020.06	王恕清
7	有关冷水机组节能的几个热点话题评析	2021.04	王恕清
8	降膜式蒸发器在制冷空调领域的应用价值研究	2023.04	王恕清
9	降膜式螺杆冷水机组关键技术研究	2025.05	王恕清
10	基于机理模型的制冷机组健康诊断技术研究	2025.06	王恕清

产品结构

降膜式半封闭螺杆冷水机组



产品配置

- 单压缩机/双压缩机
- 制冷剂类型: R134a/R22/R507A
- 启动方式: 星三角启动/软启/变频
- 换热管材质: 紫铜/镍铜/不锈钢/钛
- 其他配置: 低压电/非防爆/水冷

产品类型

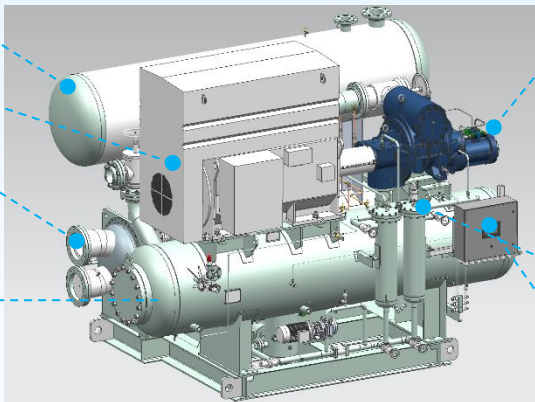
序号	工况名称	温度范围
1	常温冷水	+3°C~+15°C
2	盐水	≥-30°C
3	乙二醇	≥-20°C

序号	产品名称	温度范围
4	水源热泵	+40°C~+80°C
5	近0°C冰水	+0.1°C~+2°C
6	高温冷水	+15°C~+30°C

产品结构

降膜式开启螺杆冷水机组

辅助储液器
电机
降膜式蒸发器
油分离器



VLG开启螺杆压缩机

油循环系统

控制台

产品荣获
2023年度
冰山冷热
创新产品奖

产品主要配置

- 制冷剂类型：R134a/R22/R507A
- 动力电压：380V/6kV/10kV.....
- 防爆等级：**d IIBT4/ d IICT4.....**
- 启动方式：星三角/软启/变频
- 换热管材质：紫铜/镍铜

产品类型

序号	工况名称	温度范围
1	常温冷水	+3℃~+15℃
2	盐水	≥~-30℃
3	乙二醇	≥-20℃

序号	产品名称	温度范围
4	水源热泵	+40℃~+80℃
5	近0℃冰水	+0.1℃~+2℃
6	高温冷水	+15℃~+30℃

在行业内首次将降膜技术拓展到 类似中央空调的常温工况以外的其他应用场景

工业制冷领域4类典型应用场景

常温工况

医药化工和食品饮料生产工艺中对该工况冷源的需求非常旺盛，包括下列工况：

- +3℃~+7℃冷水
- +7℃~+15℃冷水
- -5℃~0℃乙二醇
- 0℃~+3℃乙二醇

0℃~+3℃冰水工况

乳品冷却工艺

- 需要1~2℃工艺冰水

啤酒酿造

- 制备糖化和脱氧冰水需要0℃冷源

医药化工企业

- 某些工艺流程有0℃左右冷源需求

低温操作间和高温冷库

- 制冷系统需要提供0℃以上冰水以维持房间温度12℃左右

-5℃~-30℃低温工况

医药化工和食品饮料生产工艺对下列典型温度冷源有大量需求：

- -5℃乙二醇/盐水
- -10℃乙二醇/盐水
- -15℃乙二醇/盐水
- -20℃乙二醇/盐水
- -25℃~-30℃盐水

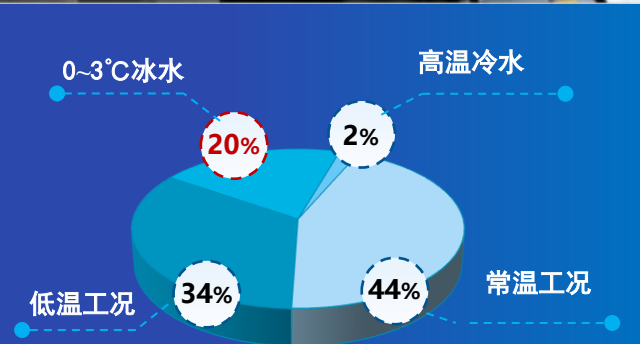
+15℃以上高温冷水工况

医药化工和食品饮料生产工艺中对下列典型温度冷源也有一定需求：

- +15℃冷水
- +20℃冷水
- +25℃冷水
- +30℃冷水(或低于冷却塔处理的温度下限)



首次将降膜技术拓展到
0~3℃工艺冰水应用场景



0~3℃冰水工况
降膜机组销售占比

工况特点

物料冷却到4℃以下或房间温度维持在10~12℃，考虑到输送管道的升温，希望机组冰水温度尽量**不高于1℃**，且**负荷波动较大**。

技术难点

- ❖ 干式机组运行**效率过低**且因蒸发器**容易结冰**而影响机组稳定运行。
- ❖ 满液机组因易出现**吸气带液**或**压缩机失油**风险而不易稳定运行。
- ❖ 板换机组**成本高昂**且运行**效率不高**。

解决方案

- ❖ 降膜式蒸发器小温差按0.5℃左右设计，成本可控。
- ❖ 出水**温度**和蒸发**压力**梯级预警和**断水**三重蒸发器防冻保护措施。
- ❖ **温度矩阵法**增减载+**计算开度法**EEV供液控制逻辑联合运行。

实施效果

- ❖ 冰水最低温度可达-0.7℃(此时蒸发温度-0.9℃)。
- ❖ 即使负荷剧烈波动时，也可确保冰水出水**温控精度±0.15℃以内**。
- ❖ 蒸发器液位稳定，压缩机无吸气带液和失油风险。

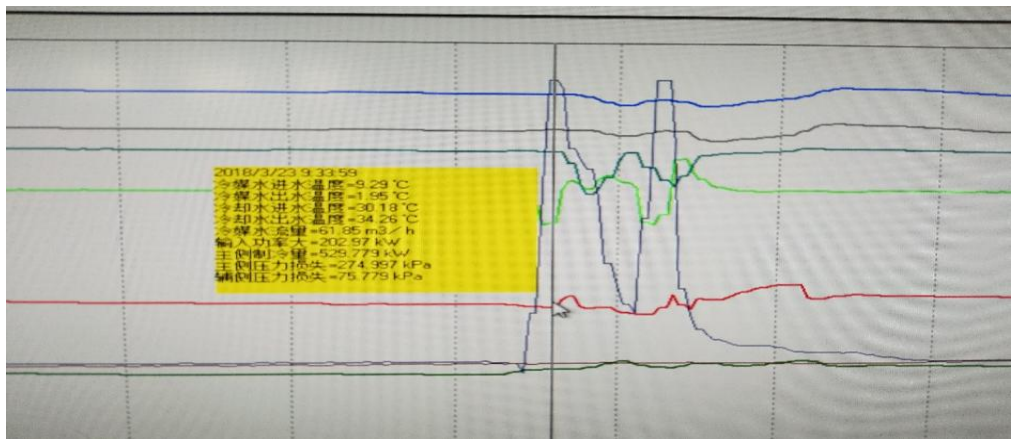
案例介绍

- ❖ **乳品行业首台套应用情况**:陕西和氏乳业2016年6月订购3台出水温1~2℃、冷量844kW降膜冰水机组。
- ❖ **啤酒行业首台套应用情况**:梅州珠江啤酒2024年11月，采用2台冰山降膜机组，**首次用0.5℃冰水通过板换制取3℃左右糖化和脱氧冰水**，此前所有的啤酒制造工艺中均采用0-1℃酒精水(或乙二醇溶液)制取冰水。

- 用户名称：河南花花牛乳业
- 机组型号：LS285B1D
- 最低出水温度-0.7°C、实测蒸发温度-

降膜式蒸发器传热计算程序 (v1.0)

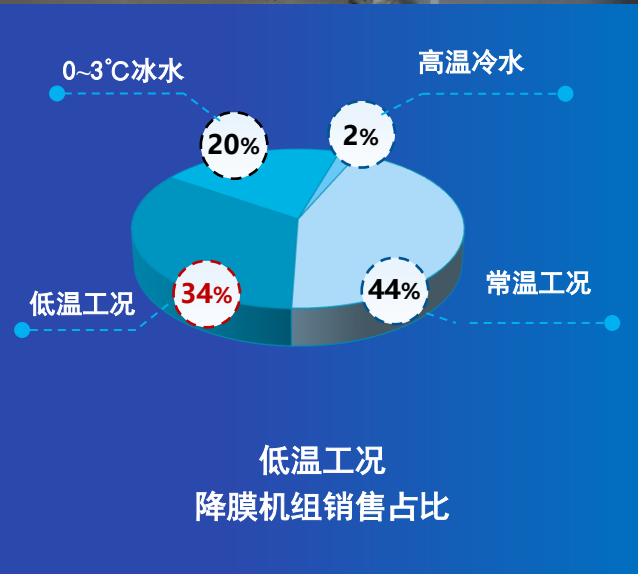
数据输入	设计参数	制冷量 (KW)	冷水进口温度tw1 (°C)	冷水出口温度tw2 (°C)	温差 (°C)	蒸发温度t (°C)
	输入数据	1000	9.6	-0.7	10.3	-1.21
	铜管参数	换热管长(m)	名义外径φ (m)	内径Di (m)	翅根径Dr (m)	西得和塔特常数STCI
	输入数据	2.43	0.01905	0.01654	0.0178	0.073
	铜管参数	常数C	常数D	管内实际面积Ai, act (m²/m)	铜导热系数 (kW/m.k)	污垢系数 (m².k)/KW
	输入数据	0.855	0.264	0.08	0.398	0.018
	输入假设蒸发器换热管数	192	管间距 (m)	0.024	输入管程数	4
	计算所得冷水温平均tf (°C)	4.45	设定传热温差		假设铜管壁厚≈8.5°C时的μw	0.001409
			3.36			
	水在该温度下的物性参数	Prf	ρ f (kg/m3)	kf (W/(m.K))	Cp (kJ/(kg.k))	μf (Pa.s)
蒸发温度计算过程	输入数据	9.73	999.7	0.573	4.192	0.001328
	热流密度	35.8	换热面积	27.9		
	管内水侧换热系数计算		铜重量, kg	235.2	铜管单重, kg	当前管型
	管内截面积A _u (m²)	0.0002149	铜管单价, 元	93.0	0.49	内螺纹管
	冷水流量 (m³/h)	83.4	铜管总价, 元	21873.6		
	管内流速v (m/s)	2.25	水量, m3/h	300245.71	进出水流速, m/s	
	雷诺数Re _f	27969.0	进出水管径, DN	65	6.98	
	管内水侧换热系数hi (W/m².k)	19322				
	管外R22侧换热系数计算					
	单管有效换热面积A ₀ (m²)	0.1454				
计算结果	热流密度q [*] (KW/m²)	35.8136	铜侧换热系数ho (WLV法, W/m².K)	27456.8	管外阻力计算	
	铜侧换热系数h ₀ (KW/(m².K))	22.4222	27456.8			
	φ	0.1304				
	Be	1.6202	热流密度假定值			
	修正后h ₀ (KW/(m².K))	36.3278	35819.7			
	管壁换热系数W/(m².K)	609113	热流密度修正因子	管外换热系数修正因子		
	传热面积比β1	1.1518	0.999999			
	污垢面积比β2	0.7481	实际铜侧换热			
	总换热系数U ₀ (W/(m².K))	10651	52168			
	蒸发器传热温差θ _g (°C)	3.36	蒸发温度修正因子			
计算结果	求得蒸发温度 (te°C)	-1.20	0.99979	若绿色区域中修正因子不接近1.00则反复按上面2个迭代按钮		



系统状态			
蒸发器出水温度	-0.7 °C	冷凝器出水温度	+34.3 °C
蒸发器小温差	+0.2 °C	冷凝器小温差	+2.4 °C
压缩机	● 喷液阀	● 回油阀	● 引射阀
排气温度	+63.8 °C	输出容量	100 %
排气压力	+13.15 bar	实测电流	+341.9 A
冷凝温度	+36.7 °C	油压	+13.15 bar
排气过热度	+27.1 °C	油压差	-0.01 bar
吸气压力	+3.84 bar	油低压差	+9.32 bar
蒸发温度	-0.9 °C	高低压差	+9.31 bar
		电机温度	+41.3 °C
故障查询			



首次将降膜技术拓展到
-5℃~-30℃低温冷媒应用场景



低温工况
降膜机组销售占比

工况特点

医药化工和食品饮料生产过程中为了维持物料温度达到工艺要求，对温度范围在-5℃~-30℃的冷源有大量需求。

技术难点

- ❖ 干式机组存在效率过低、清污困难、换热管壁厚较薄影响蒸发器寿命等问题。
- ❖ 满液机组因易出现**吸气带液**或**压缩机失油**风险而不易稳定运行。

解决方案

- ❖ 降膜式蒸发器小温差按2℃左右设计，成本可控。
- ❖ 管内**强化换热**措施+控制换热管内**最优流速**等措施确保高效换热。
- ❖ **温度矩阵法**增减载+**计算开度法**EEV供液控制逻辑联合运行。

实施效果

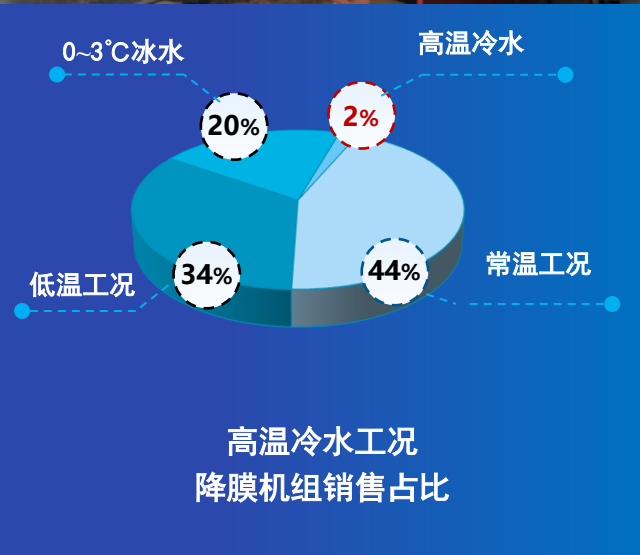
- ❖ 盐水温度最低温度可达-33℃(此时蒸发温度-35℃)。
- ❖ 乙二醇溶液最低温度可达-20℃(此时蒸发温度-22℃)。
- ❖ 蒸发器液位稳定，压缩机无吸气带液和失油风险。

案例介绍

- ❖ **首台套应用情况**：青海铜业2016年12月订购1台-25℃出液冷量187kW的降膜盐水机组。
- ❖ 宁夏泰瑞药业下属企业(泰盛、联顺)2020年1月累计订购11台-10℃工况总冷量14MW降膜乙二醇机组。
- ❖ 韩国浦项集团2023年2月订购3台-10℃和3台-20℃总冷量9MW降膜乙二醇机组。



首次将降膜技术拓展到
+15℃~+25℃高温冷水工况



工况特点

医药化工和食品饮料生产过程中对+15℃~+25℃高温冷水有一定需求，该温度冷源在环境温度较高时无法靠冷却塔制取。

高温水源热泵的蒸发器出水温度可高至**60℃以上**。

技术难点

❖ 蒸发器水温较高时，其中的制冷剂沸腾比较剧烈，满液蒸发器为防止出气带液，需要将液位控制得很低，蒸发器难以做高。

解决方案

- ❖ 降膜式蒸发器小温差按1℃左右设计，成本可控。
- ❖ 降膜式蒸发器设置专利技术**迷宫式气液分离**结构有效防止高水温时出气带液。

实施效果

- ❖ 蒸发器出水温度目前最高做到37℃(如宁波诺里昂项目,蒸发温度36℃)，未来挑战蒸发器出水温度60℃以上。
- ❖ 压缩机无吸气带液和失油风险，机组运行稳定。

案例介绍

- ❖ **首台套应用情况**：宁夏泰瑞药业2018年6月订购24台21℃出水、总冷量70MW降膜冷水机组。
- ❖ **宁波诺里昂化学**2020年4月订购2台蒸发器出水温度37℃总制热量为3800kW的降膜水源热泵机组。
- ❖ 山西五寨速冻玉米项目2024年1月订购4台15℃出水合计冷量9MW的降膜冷水机组。



单位名称	应用对象	起止时间
内蒙古伊利实业集团	7个工厂超40台	2019年开始至今
内蒙古蒙牛乳业集团	近10个工厂超50台	2017年开始至今
石家庄君乐宝乳业集团	超过10个工厂超30台	2017年开始至今
嘉士伯啤酒集团	2个工厂10余台	2021年开始至今
宁夏泰瑞药业	3个工厂超40台	2018年开始至今

截至2025年中, 乳品、啤酒、医药化工领域**800**余用户累计使用**近2000台**降膜机组





省部级科学奖 2 项
其他认定/奖励 6 项

01

冰山降膜机组因其显著的技术优势和经济效益，不断获得各级政府部门和行业协会的认定和奖励。

02

获得的奖项不仅是技术水平的认可，更是对“产学研用”模式在推动行业技术进步、服务国家“双碳”战略方面价值的肯定。

降膜机组近年认定/奖项汇总表

序号	认定/奖项名称	认定/颁发部门	时间
1	辽宁省专精特新产品	辽宁省工信厅	2020 年 8 月
2	中国节能与生态产品	中国制冷学会	2022 年 12 月
3	大连市科学技术进步奖	大连市人民政府	2022 年 12 月
4	辽宁省工业企业创新产品	辽宁省工信厅/财政厅	2023 年 6 月
5	国家制冷空调领域	中国节能协会	2024 年 12 月
	节能降碳产品推荐目录	中国制冷空调工业协会	
6	辽宁省科技进步二等奖	辽宁省人民政府	2024 年 12 月
7	全国商业科技进步二等奖	中国商业联合会	2024 年 12 月
8	冰山最高科技奖	大连冰山集团有限公司	2024 年 12 月



01

是制冷行业中降膜技术迄今所获得的最具分量的科学技术奖

02

冰山集团近20年来由成员企业牵头申报项目所获得的最具含金量的科学技术奖

辽宁省科技进步二等奖 2023年

中国商业联合会科技进步二等奖 2024年



冰山最高科技奖

2024年



大连市科技进步奖

2022年



中国制冷节能降碳产品

2024年



辽宁省专精特新产品

2020年



中国制冷学会节能产品

2023年



辽宁省工业创新产品

2023年





CRN

CHINESE REFRIGERATION NEWSLETTER

中国制冷简报

2024年双碳背景下中国制冷技术研究及应用进展专刊

降膜式半封闭螺杆冷水机组关键技术研发与产业化

所获奖项名称：辽宁省科技进步奖二等奖

主要完成人：王恕清、张颖、张为民、何茂刚、单永明、刘向阳、谭锋、刘光华、姜远新

主要完成单位：冰山冷热科技股份有限公司、西安交通大学、冰山松洋冷机系统(大连)有限公司



2024年双碳专刊 158

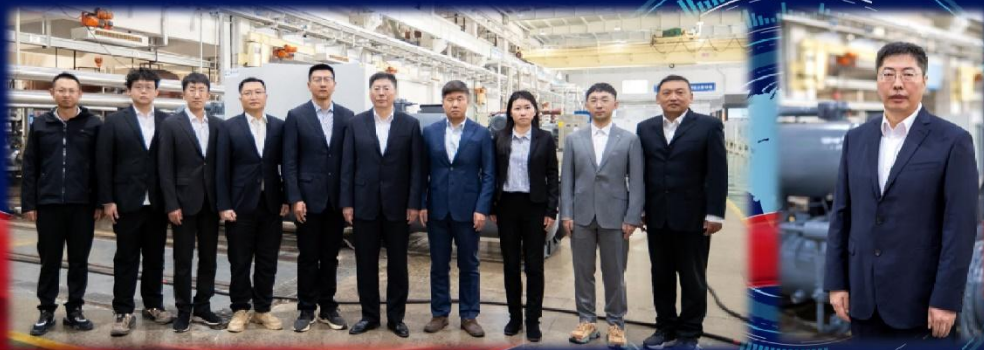


降膜项目所获“冰山最高科技奖”是“冰山科技奖”设立近10年来数十家企业申报的上百个项目中唯一获此殊荣的项目



降膜式半封闭螺杆冷水机组关键技术研发与产业化

冰山最高科技奖



项目负责人：王恕清

冰山冷热科技股份有限公司团队

王恕清、张为民、姜远新、张昕、杨鹏、王宏禹、李文博、
郭汉玉、隋丹、高智翔、李驰、范雪萍





冰山集团
Bingshan since 1930

协同创新 融合发展



报告人：王恕清

请多指正