

SHMFF 去离子水冷却系统制冷升级改造设计 *

唐佳丽^{1,2†}, 欧阳峥嵘¹, 石玉洋¹

¹中国科学院 强磁场科学中心, 合肥 230031;

²中国科学技术大学, 合肥 230026

收稿日期: 2018-09-07; 接收日期: 2018-10-19

【摘要】 稳态强磁场实验装置去离子水冷却系统是保障水冷磁体稳定运行的必要技术装备系统之一. 由于越来越多科学实验的开展, 冷冻水蓄冷量不足的问题凸显, 严重制约了水冷磁体的运行机时. 本文介绍了去离子水冷却系统升级改造的方案设计及具体措施. 采用优化设计的布水器, 将现有蓄冷量增加一倍; 为维持较短的制冷时间, 新增大温差离心式冷水机组, 与现有制冷机组并联使用; 为了改善制冷系统的高耗能特性, 增加闭式冷却塔在秋冬季节使用, 系统可根据不同的湿球温度及回水温度, 选择不同的制冷模式, 让其取代冷水机组或其部分负荷使用, 实现节能的目的.

关键词: 制冷系统, 布水器, 闭式冷却塔, 节能

PACS: 7460, 7490, 0290

The Refrigeration Upgrading Design on Deionized Cooling WaterSystem of Steady High Magnetic Field Facilities *

TANG Jiali^{1,2}, OUYANG Zhengrong¹, SHI Yuyang¹

¹ High MagneticFieldLaboratory, ChineseAcademyofSciences, Hefei, 230031, China;

² UniversityofScienceandTechnologyofChina, Hefei, 230026, China

Received date: 2018-09-07; accepted date: 2018-10-19

【Abstract】 Deionized cooling water system of steady high magnetic field facilities is one of the most important technology and equipment system for the resistive magnet operation. The insufficient of chilled water storage capacity restrict the resistive magnet operating time. The scheme design and specific measures of deionized cooling water system upgrading were introduced in this paper. The optimized diffuser design will be used in another chilled water storage tank, and the storage capacity will be doubled. A large temperature difference chiller will be added in this system to keep a short refrigeration time and it can operate with the existing chillers in parallel. The closed circuit cooling tower will be used in winter to improve the high energy consumption of the refrigeration system. Different operation mode can be chosen according to different wet bulb temperature and return water temperature and all or part of the chiller load will be replaced by the tower.

Keywords: Refrigerating system, diffuser, closed circuit cooling tower, energy conservation

PACS: 7460, 7490, 0290

* SHMFF 去离子水冷却系统维修改造项目(编号:DSS-WXGZ-2018-0002)资助的课题.

† tangjl@hml.ac.cn

1 引言

稳态强磁场实验装置(Steady High Magnetic Field Facilities, SHMFF)去离子水冷却系统于2012年基本建设完成,主要用于冷却水冷磁体消耗大量电能而产生的热量。去离子水冷却系统主要包括纯水制备及提纯系统、制冷系统以及水冷控制系统。通过系统调试,磁体冷却循环水电阻率 $\geq 15 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$,溶解氧含量 $\leq 10 \text{ ppb}$,冷水机组制取 6°C 冷冻水,系统蓄冷量达到 3000 m^3 ,满足水冷磁体在 20 MW 热负荷下运行3个小时的设计要求。

制冷系统采用2台总制冷量 8 MW 的离心式冷水机组串联制冷,将 26°C 的实验热回水降温至 6°C 。系统采用自然分层水蓄冷模式,夜间制冷存储在蓄水罐中,实验中用于与磁体循环冷却水进行热交换,目前可提供的最大冷量为 3000 m^3 。但实际运行过程中,水冷磁体HWM11、WM1、WM5的运行最大负荷远大于 20 MW ,最高甚至接近 28 MW ,冷冻水运行流量可达到 $1180 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上,并且水冷磁体实验过程中,去离子水冷却系统需与多系统协调运行,实验准备、实验等待、实验过程中故障恢复等多种状态均会消耗冷冻水,蓄冷量很难满足水冷磁体运行3个小时的要求。若采用蓄冷罐加冷水机组联合供冷的模式,又受制于电源系统容量不足,并且串联运行的冷水机组不适用于联合供冷,因为水冷磁体扫场过程中,冷冻水回水温度快速变化,两台冷机可能会出现频繁增载、减载等情况,导致出水温度波动。

为解决目前的问题,需对去离子水冷却系统进行必要的改造。本文提出了SHMFF去离子水冷却系统制冷系统具体的改造措施,及预期将达到的效果。

2 水蓄冷系统升级改造

由于受限于蓄冷量,水冷磁体的运行机时受到很大影响,也不利于一些有较长实验时间需求的实验用户,因此本次改造将首先对水蓄冷系统进行改造。由于本项目最初设计时考虑双罐倒空法,因此建设了两个 3000 m^3 蓄水罐,为了实现后期蓄冷量的升级,前期在其中一个罐体中安装了八圈八角形布水器,通过实验证实其可实现大流量、大温差下 80% 以上的蓄冷效率。后期针对极端工况下自然分层水蓄冷效率的提高进行了大量的计算及实验研

究。升级改造将保留现有的八圈八角形布水器设计,并在罐体的上下部分别加装均流孔板。

均流孔板对斜温层的厚度有较为显著的削弱^[1,2],基于前期设计的布水器性能测试平台,对安装均流孔板前后的斜温层效果进行了测试,如图1所示。表1为布水器及均流孔板设计参数。罐体初始布水器类型为四圈八角形布水器。该平台主要包含两个蓄水罐,冷、热水罐直径 1.3 m ,高 2 m ,水泵流量为 $2 \text{ m}^3/\text{h}$,罐内每隔 10 cm 一个测温点,热水罐加装电加热,建立冷热水罐的温差。

表1 布水器均流孔板设计参数

布水器类型	四圈八角形
布水长度	9.4 m
开孔孔径	6 mm
出口流速	约 0.12 m/s
均流孔板面积	$1.26 \text{ m} \times 1.26 \text{ m} = 1.59 \text{ m}^2$
均流孔板材质	4 mm 厚PP板
开孔直径	6 mm
总开孔面积	约 40%
安装高度(距离水面)	5 cm

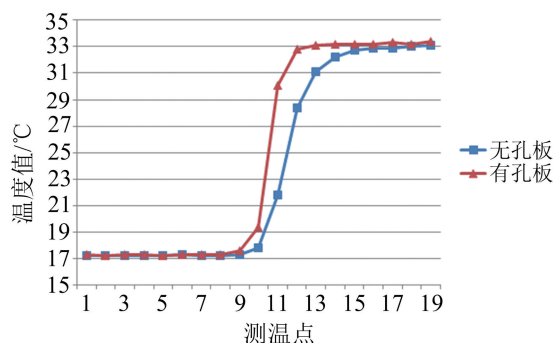


图1 加装均流孔板前后的罐内斜温层对比

由图中可以看出加装均流孔板后蓄冷效率较无均流孔板方案提高了 8% 左右。由于直接在本项目 3000 m^3 的蓄水罐中试验新的水蓄冷方案工程量较大,因此在前期已知八角形布水器可取得 80% 以上蓄冷效率的前提下,在实验平台验证了加装均流孔板后蓄冷效率的提高,可充分说明该方案的可行性。

3 制冷能力的提升

目前,去离子水冷却系统夜间制冷,最长运行 8 个小时,蓄满 3000 m^3 冷冻水,若后期另一个蓄冷罐投入使用,蓄冷时间最长将达到 16 小时。因此,需要

对制冷量进行升级,计划投入一台新的大温差离心式冷水机组,与现有的制冷系统并联运行,保障最长8小时的蓄冷时间,尽可能不影响水冷磁体的实验运行安排。

由于各台水冷磁体运行热回水的温度不尽相同,但普遍较高,因此在冷水机组的选择上需要考虑大温差机型。前期六台水冷磁体运行热回水温度大多低于 18°C (水冷磁体 WM2, WM4 实验回水温度高于 20°C),考虑到改造项目装备厅空间不足,结合几大冷水机组生产厂家的实际型号,选定方案为单台单压缩机大温差离心机,进出口水温为 $18^{\circ}\text{C}/6^{\circ}\text{C}$,流量与现有两台串联运行机组的流量一致。

运行多台冷水机组必将消耗大量电能,基于系统制冷量提升的必要性,需要相应采取合理的节能方案,在保障系统运行稳定性的前提下减少能耗。系统将采用闭式冷却塔在冬季时,取代冷水机组或其部分负荷运行,以实现较好的节能效果。图2为系统升级改造后的原理图。

4 节能优化措施分析

4.1 冷水机组能耗分析

新增大温差离心式冷水机组满负荷运行时,功率超过900 kW,且冬季运行,还需考虑室外冷却水温度,一般情况下,冷却水温低于 12.8°C ,冷水机组无法开启^[3]。本系统需采取电加热的方式,在冬季将

冷却水温度升至 16°C 以上,电加热总功率约100 kW,因此冬季运行冷水机组制冷耗能较高。改造方案中,采用闭式冷却塔作为冷机上游或下游,在冬季及过渡性季节取代新增冷水机组或者其部分负荷使用,以实现节能的目的。

本项目闭式冷却塔主要考虑作为新增冷水机组上游使用,结合安装现场实际情况,选型参数定为:湿球温度 $=8^{\circ}\text{C}$,进出口水温: $23.5^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$,流量为100 L/s。结合本项目所在地实际天气参数,每年11月份至来年3月,通常可将闭式冷却塔作为3号冷水机组的上游运行,而在极低温天气,适当的进水温度下,闭式塔可作为下游直接制取 6°C 的冷冻水储存于蓄冷罐,表2列举了在几种常见的制冷工况下,完全采用冷水机组进行制冷及串入闭式冷却塔进行制冷的功率分析。

采用闭式冷却塔作为冷水机组上游,在回水温度较高的情况下,其制冷功率明显优于单独采用冷水机组运行的工况。系统现有两台大温差串联冷水机组,在湿球温度高,且回水温度超过 18°C 的前提下,可以单独运行此两台机组制冷,单根据多年运行经验,该工况较少出现。若在冬季极低温情况下,且热回水温度不高,可直接采用闭式塔进行制冷,节能效果显著。后期在实际运行过程中,可结合回水温度及湿球温度进行多种制冷模式的选择。

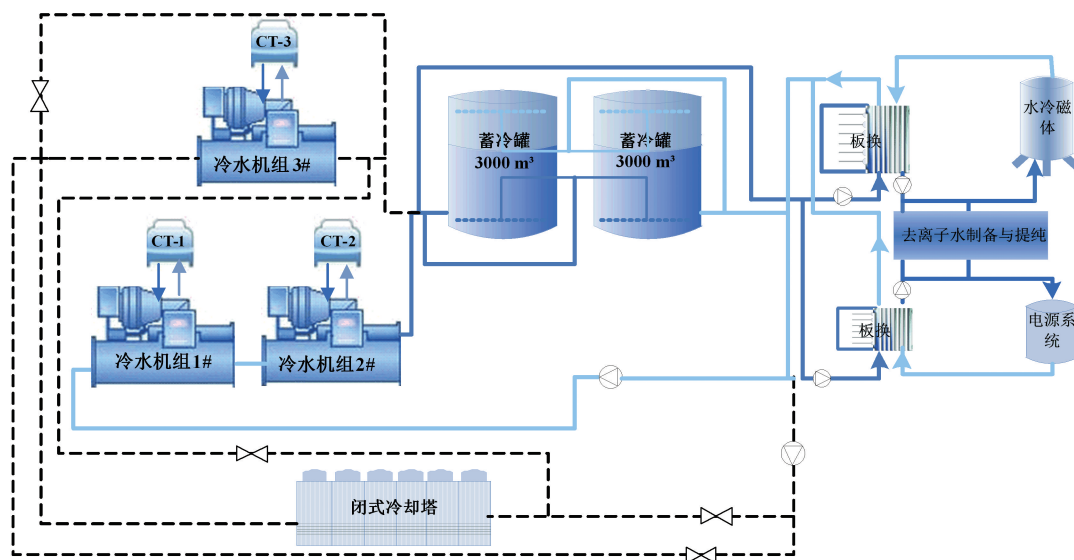


图2 去离子水冷却系统制冷升级改造后原理图

表 2 不同运行模式下制冷功率分析

	制冷模式	进出口水温,℃	功率,kW	备注说明
对照参数	冷水机组	18—6	930	超过 18℃ 回水,单用冷机无法运行
	上游:闭式塔	20.2—12.2	447	湿球温度:5℃
	下游:冷水机组	12.2—6		
改造参数	上游:冷水机组	20.2—13	618	湿球温度:−1℃
	下游:闭式塔	13—6		
	闭式塔	14—6	82	湿球温度:−2℃

5 总 结

SHMFF 去离子水冷却系统的正常稳定运行为水冷磁体实验提供了重要保障.蓄冷量的不足,导致运行机时远落后于国际其他几大强磁场实验室;制冷量的不足会导致过长的蓄冷时间,因此有必要对去离子水冷却系统制冷进行升级改造.本次改造设计可概括为以下几点:

(1)基于本项目前期已较好的使用了八圈八角形布水器,并在极端工况下取得了良好的蓄冷效率,

因此结合布水器性能测试平台,将进一步优化设计后的布水系统运用于本次升级改造,具备可行性;

(2)结合各台水冷磁体运行的冷冻水回水温度参数,本次改造采用大温差离心式冷水机组,与前期制冷系统并联制冷,保障合理的制冷时间.

(3)由于制冷运行能耗较高,本次改造加入闭式冷却塔设计,冬季运行,在秋冬季节适当的湿球温度下运行,取代冷水机组或其部分负荷,实现节能的目的.

参 考 文 献

[1] Juan Bai. Optimum research on slotted-pipe diffuser of naturally stratified water-storage tank [D]. Tian Jin: Tian Jin University,2009.

[2] Ge Yin. Economic efficiency study of CWS system for existing buildings[D].Tian Jin:Tian Jin University,2012.

[3] M. S. Liu, H. Zhao, B. Gao, REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING, 16 (2016), 79.