

SHMFF 水冷系统蓄水罐与冷水机组联合供冷模式研究

唐佳丽, 欧阳峥嵘

(中国科学院强磁场科学中心, 合肥 230031)

摘要: 稳态强磁场实验装置水冷系统具有大流量、大蓄冷温差的特点。前期设计由于考虑占地、成本等因素, 所具备的蓄冷量无法满足今后磁体实验延长实验时间的要求。为扩大蓄冷量, 提高冷冻水使用效率, 现提出了蓄冷罐联合冷水机组供冷的模式, 并将其与自然分层法进行了对比分析。

关键词: 水冷系统; 蓄冷罐; 冷水机组; 运行模式

Research on chilled water supply by water storage tank in cooling water system of SHMFF with chiller

Tang Jiali, Ouyang Zhengrong

(High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: Cooling water system of steady high magnetic field facilities (SHMFF) has the characteristics of large flow rate and large temperature difference. The chilled water capacity in early-stage design could not meet the long experiment time in the future because of the availability of land and the cost. A new operation mode of the cooling water system was proposed to improve chilled water storage capacity and efficiency. Moreover, a comparative analysis on this model and naturally stratified was made.

Keywords: Cooling water system, Chilled water storage tank, Chiller, Operation mode

1 引言

稳态强磁场实验装置水冷系统(Steady High Magnetic Field Facilities, SHMFF)在前期设计中, 由于考虑到占地面积以及成本的限制, 建设了2个有效容积为3000m³的蓄水罐, 而为了保证磁体实验过程中冷冻水水温的稳定性, 采取双罐倒空模式进行蓄、供冷。但目前的冷量仅可供给水冷磁体在20MW热负荷下运行3个小时, 无法满足今后磁体实验时间延长的要求, 因此, 必须对现有水冷系统进行优化改造。而考虑到大流量、大蓄冷温差的系统特征, 若采用自然分层法, 斜温层厚度对有效冷量的影响存在一定的不确定性, 并且还需考虑在已建成的罐体中加装布水器的成本问题, 因此, 探索出蓄冷罐联合冷水机组共同供冷的模式, 该模式不仅运行稳定, 更可大大提高冷冻水的使用效率。

2 水冷系统运行模式优化

现有水冷系统采用夜间蓄冷模式。利用两台总制冷量为8MW的冷水机组串联制冷, 制取6℃的冷冻水送入蓄冷罐, 白天供给水冷磁体实验, 换热后26℃热回水回到缓冲罐, 夜晚经冷水机组制冷后再次回到蓄冷罐, 这也就是传统的双罐倒空蓄冷法。因此, 虽然该系统的两个罐体有效容积共达到6000m³, 但实际有效蓄冷量仅3000m³。若要扩大蓄冷量, 必须对系统运行进行优化改造, 以下分别针对目前探索的运行模式进行分析。

2.1 自然分层法扩大蓄冷量的可行性分析

为了充分的使用罐体, 首先想到采用自然分层法, 在两个罐体中安装布水器, 这样蓄冷罐及缓冲罐就可以同时用于蓄冷及供冷, 但前提是必须实现较好的斜温层, 才能够从根本上提高蓄冷量, 其原理图如图1所示。

在系统建设初期, 为了验证自然分层法的可行性, 已在蓄冷罐中安装了布水器。蓄冷实验蓄冷罐初始水温为12.4℃, 制冷温度为5℃, 通过计算得出斜温层厚度超过了1m。而更为关键的供冷过程, 流量约为蓄冷流量的3倍, 温差也将达到

收稿日期: 2012-06-25

基金项目: 中国科学院合肥物质科学研究院院长基金“火花”(编号: Y16JSL1131B2Q)。

作者简介: 唐佳丽(1985-), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向: 水冷系统设计、水蓄冷技术。

20℃。为了保障磁体安全,在未确定布水器性能前,无法进行实际供冷实验。因此,利用流体力学软件 CFX 的模拟,分别模拟了蓄冷过程中,流量

在 370m³/h 与 1000m³/h 的斜温层厚度,对比图如图 2 所示。对于本次模拟,模型的建立基于以下假设条件:

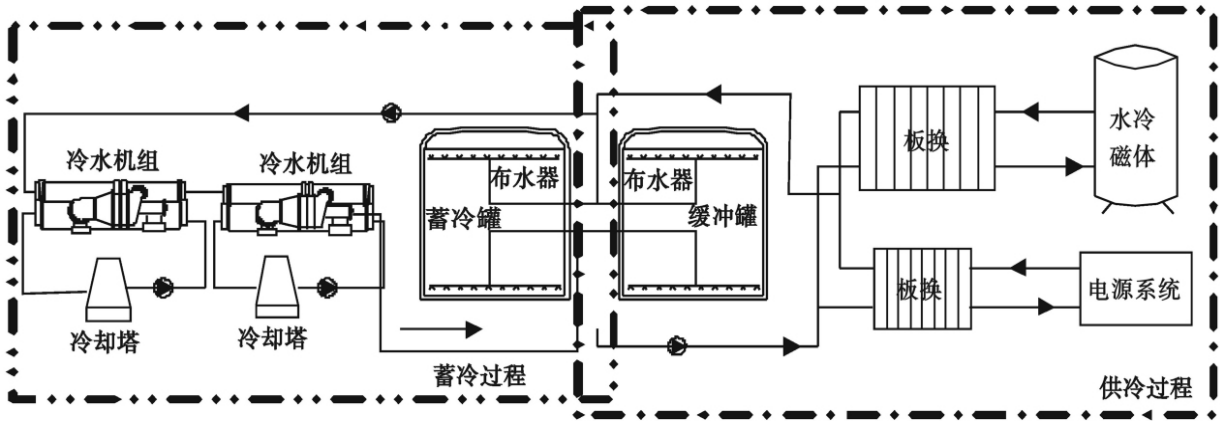
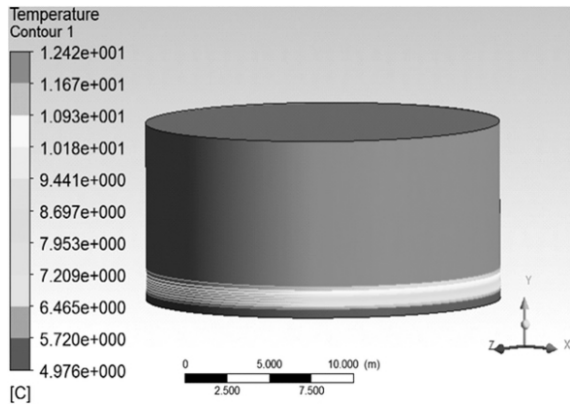


图 1 自然分层法蓄、供冷示意图

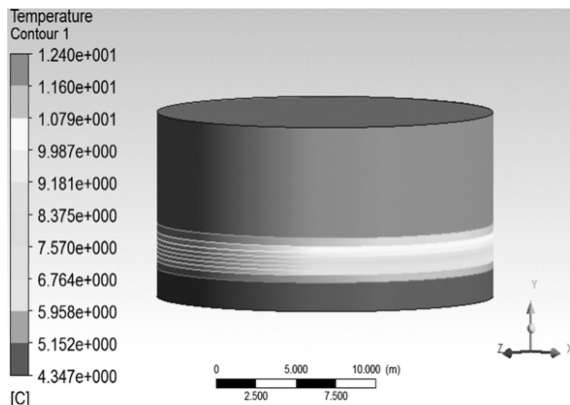
Fig. 1 Schematic of chilled water storage and supply by naturally stratified method

(1) 蓄冷罐中的布水口由几千个小型散流器组成,计算机的计算能力无法完全按照蓄冷管的物理形式建模。因此建模时,将蓄冷罐的布水器

设为均匀流苏的平面;(2) 由于罐体外层有 10cm 后的聚氨酯保温材料,而罐体材料钢的导热系数远远大于保温材料,因此在模拟中将其导热性能忽略;(3) 布水器的所有连接水管做了保温处理,模拟计算中不考虑其温度等因素对罐内温度场的影响。



a 流量: 370m³/h



b 流量: 1000m³/h

图 2 蓄冷过程不同流量的斜温层厚度

Fig. 2 The thermocline in chilled water storage process under different flow

同济大学于航等人针对自然分层法的研究表明,斜温层厚度会随着蓄冷温差及流量的增大而增大^[1]。而从模拟结果也可以看出流量对斜温层厚度的影响较为显著,图中是蓄冷 1 小时后斜温层的厚度情况,可以看出在流量为 1000m³/h 时,其斜温层厚度为流量在 370m³/h 时的两倍以上。而蓄冷过程在流量为 370m³/h 时的斜温层厚度与我们实际实验计算出的斜温层厚度也较为接近,说明本次模拟是具有一定参考性的。因此,在本蓄冷系统中若采用自然分层法可能会面临成本与实际效果无法匹配的结果。因此,我们还应该继续探索更为优化的系统运行模式。

2.2 蓄冷罐加冷水机组供冷模式分析

蓄冷过程与原系统设计管路相同,可利用冷水机组在夜间进行制冷,送入蓄冷罐。实验过程中,再开启冷水机组,即是被加热的回水通过一路管道进入缓冲罐,同时另一个管路直接将热回水通过冷水机组降温,降温后的冷冻水重新回到蓄冷罐,这样罐体中的冷量可以得到不断的补充,从而磁体的实验时间可得以延长。该运行模式的原理图见图 3 所示:

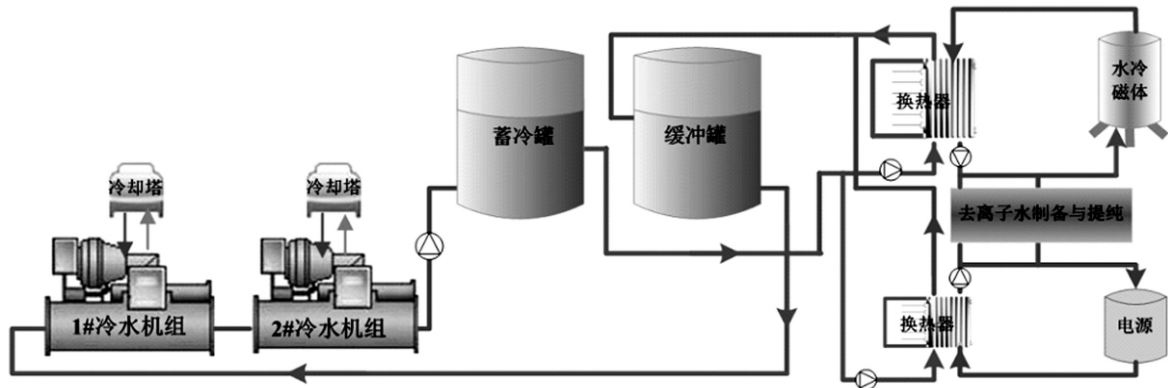


图 3 罐体加冷水机组供冷原理图

Fig. 3 Schematic of chilled water supply by chilled water storage tank combining chiller

该方法目前存在的问题主要是需对已有的管线进行改造。现有管路由于前期已考虑加装布水器,因此罐体上都有预留的管道接口。为避免与原运行模式的管路冲突,还另外需要加装管道及阀门等部件,但该部分施工量较小。另外,还需考虑冷水机组夜晚及实验过程中均需要开机的电能消耗的成本问题。

3 水冷系统优化改造经济性分析

3.1 采用自然分层法的成本分析

由于实验需要,前期在蓄冷罐中已安装了布水器,因此若通过采用自然分层法进行模式优化,需在缓冲罐中加装布水器。包括布水器、钢材以及施工过程中对现有罐体进行切割后再恢复的费用总计超过 50 万元。目前蓄冷流量约为 370m³/h,原方案单罐蓄冷约 9 小时可蓄满,若采用自然分层法,双罐蓄冷过程共需冷水机组运行约 18 小时,即冷水机组较原方案需多运行 9 个小时,这也产生了较高的电费成本。另外,结合模拟结果,若供冷时罐体的斜温层厚度达到 2.5m,那么总有效冷量约为 4800m³,供冷最大流量约 1000m³/h,即可供磁体实验近 5 小时。

3.2 罐体加冷水机组联合供冷模式的成本分析

若采用蓄冷罐加冷水机组联合供冷模式,则需要对管道进行改造。但基于现有系统管路,需改造的部分较少,其费用远远低于加装布水器所需的费用。该模式蓄冷过程不变,供冷过程由于不断有 6℃ 冷冻水补充,通过计算可得出冷冻水量可供磁体实验约 5.5 小时。该方案所需的主要用电成本即是冷水机组需在供冷过程中多运行 5.5 小时,这也短于自然分层法所需的运行时间。

因此该方案更具有优越性,其不仅可延长一定的磁体实验时间,还可以节约电费成本。

4 结论

本文针对稳态强磁场实验装置水冷系统现状进行了介绍。由于水冷磁体运行条件的极端性,决定了该水冷系统具有大流量、大蓄冷温差特性。目前的系统蓄冷量无法满足今后长时间磁体实验的需求,因此必须在现有基础上对水冷系统运行模式进行对比分析。具体分析结果主要包括如下两方面:

(1) 分析了采用自然分层法进行水蓄冷系统改造的可行性。通过软件模拟得出了大流量、大温差等因素对斜温层厚度的影响,可以判断采用自然分层法所取得的蓄冷效率不高,并且由于实验条件限制,还无法通过实验对模拟结果进行更深入的验证。而在缓冲罐内安装布水器也会产生较高的成本。此外,由于双罐同时蓄冷,冷水机组的运行时间也延长了一倍,这也会造成电费的升高。

(2) 若采用罐体加冷水机组联合运行模式,蓄冷过程较原系统无任何改变。而为了满足正常供冷,仅需加装部分管道,将原有系统的蓄、供冷的管路分开,即可实现磁体实验时间延长至 5.5 小时。该方法使得冷冻水的利用率大大提高。并且管道改造费用以及实验时冷水机组开启的电能消耗,远远低于采用自然分层法的运行模式。

参考文献

[1] 于航,邓育勇,等. 温度分层型水蓄冷罐的仿真研究[J]. 能源技术,2006 27(3):120-126.