

# 大功率水冷系统换热问题及改造效果分析\*

唐佳丽 欧阳嵘

中国科学院 强磁场科学中心, 合肥 230031

收稿日期: 2016-03-25; 修回日期: 2016-04-14

**【摘要】** 分析了稳态强磁场实验装置大功率水冷系统换热所存在的问题, 以及导致该问题的多种原因. 提出了在现有条件下具体的改造方法, 包括增加板片提高换热面积以及对其进行拆除清洗减小污垢热阻. 对比分析了板式换热器改造前后在不同水冷磁体运行负荷下的换热效果. 提出了此类水冷系统换热问题的根本原因及解决办法, 为其他水系统设计及改造提供参考.

关键词: 大功率水冷系统, 板式换热器, 流量, 污垢热阻

PACS: 7460, 7490, 0290

DOI: 10.13380/j.cnki.chin.j.lowtemp.phys.2016.05.005

## 1 引言

为了保障水冷磁体的稳定运行, 稳态强磁场实验装置建成了最大热负荷为 28 MW 的水冷却系统. 以不高于 7℃ 的冷冻水通过板式换热器与磁体冷却循环水进行换热, 从而保障磁体入口水温维持在 10℃ 左右. 但由于磁体实际运行时, 其冷却循环水流量高于设计值, 而冷冻水流量较设计值偏低, 导致板式换热器换热效果不佳, 在大功率下无法保证磁体入口水温不高于 10℃ 的要求. 为了磁体实验的长期稳定运行, 最直接有效的办法是对板式换热器进行改造, 并对改造后的换热效果进行验证.

## 2 目前存在的问题

图 1 为水冷系统的换热原理图, 三台冷冻水泵将冷冻水送至板式换热器与冷却水冷磁体的高纯水进行换热, 目的是保持较低的磁体入口水温. 而冷冻水流量的降低直接导致板换换热量的减少, 纯水流量的增大无疑对板换的换热面积提出了更高的要求.

表 1 为水冷系统板式换热器的前期选型参数,

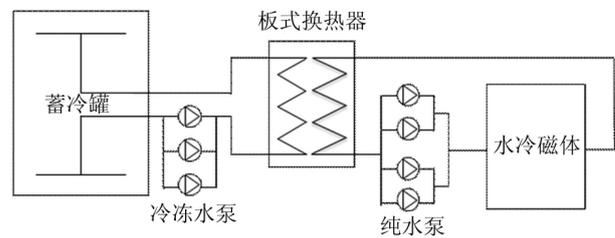


图 1 水冷系统换热原理图

在给定参数下, 换热负荷可达到 28 MW. 而在实际运行过程中, 两侧流量的改变以及冷冻水侧结垢的问题都影响了实际换热量, 最终导致磁体冷却水出水温度偏高.

表 1 板式换热器选型参数

	冷冻水	磁体冷却纯水
板换进水温度(℃)	8	38
板换出水温度(℃)	26	10
流量(m <sup>3</sup> /h)	1338	860
总热负荷(kW)	28093	
换热面积, m <sup>2</sup>	967.3	

### 2.1 运行参数变化的影响

在实际运行过程中, 磁体冷却水流量最大可达到 1000 m<sup>3</sup>/h, 而冷冻水流量最大仅为 1150 m<sup>3</sup>/h

\* 国家发改委(2007)“稳态强磁场装置”大科学工程资助的课题.

左右,在磁体运行负荷未达到 28 MW 的情况下,板换纯水侧出口水温已无法稳定在 10℃,如表 2 所示.这主要是由于磁体冷却水流量升高,板式换热器的热负荷加大,而冷冻水侧流量反而降低了,导致换热面积不足.

表 2 板换实际运行参数

	冷冻水	磁体冷却水
板换进水温度(℃)	6.6	30.05
板换出水温度(℃)	21.4	10.8
总热负荷(MW)	22	
流量(m <sup>3</sup> /h)	1140	1000
磁体进水温度(℃)		11.7
磁体出水温度(℃)		30.03

磁体冷却纯水由于管道漏热以及纯水泵的影响,还有一定的温升,最终导致磁体的入口水温偏高,这直接影响了水冷磁体的稳定运行.

### 2.2 污垢热阻影响

由于水冷磁体调试运行时间长,磁体冷却水侧由于水质为高纯水,结垢的可能性较低,而冷冻水侧换热表面可能存在结垢问题.在冷、热流体温差不变的情况下,污垢系数变大会导致传热系数减小,从而导致换热量减小.板式换热器总传热系数计算式<sup>[1]</sup>如下:

$$K = \left( \frac{1}{\alpha_1} + R_1 + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + R_2 + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}$$

其中  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  分别为板片两侧的传热膜系数, W/(m<sup>2</sup>·K);  $R_1$  和  $R_2$  分别代表板片两侧污垢系数;  $\delta_p$  表示板片厚度, m;  $\lambda_p$  表示板片导热系数, W/(m<sup>2</sup>·K). 因此有必要对板式换热器进行拆除彻底清洗,以提高换热效果.

## 3 改造方法及效果分析

改善换热效果的方法主要包括增大冷冻水流量、增加板式换热器换热面积以及对换热器进行清洗.而目前系统已经建成的情况下,通过改造管路或设备等手段来提高冷冻水流量工程量较大.因此,只能在现有基础上通过增加板片来提高换热面积并对其进行清洗.

### 3.1 清洗板式换热器

由于板式换热器一侧为纯水,板片较为干净,而另一侧为冷冻水,在长期运行过程中容易产生结垢,图 2 为冷冻水侧清洗前后的板片情况.采取的手段为彻底拆除高压清洗.

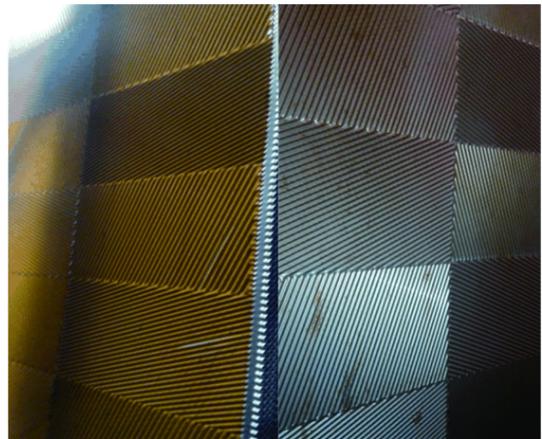


图 2 板式换热器清洗前后对比

### 3.2 增加板式换热器板片数量

首先根据现有板式换热器结构核定最大可增加板片数量,增加板片后结合清洗效果,分析换热量的改善情况.图 3 为改造后与改造前水冷磁体在 25000 A~35000 A 电流下运行的磁体进出口水温及流量参数对比,在板式换热器增加板片后,磁体入口水温有较明显的降低.改造后,磁体在 25000 A~35000 A 运行时,板换纯水侧的出口水温 TIC401N 最高为 9.78℃,磁体入口水温 TE430N 最高为 10.6℃.而改造前板换纯水侧出口水温 TIC401 最高为 11.05℃,磁体入口水温 TE430 最高为 12.02℃.而 TE432 及 TE432N 分别指改造前后磁体出口水温.

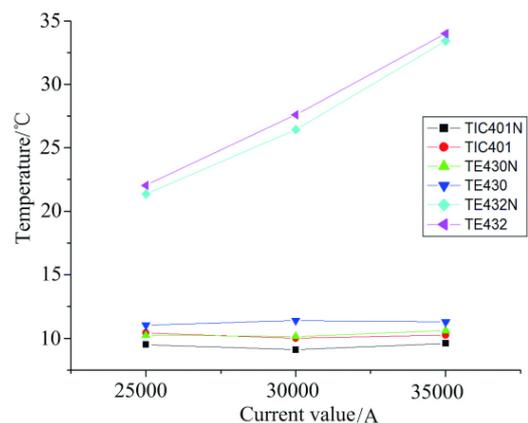


图 3 改造前后不同电流下磁体相关温度参数变化

表3为增加板片后,在不同热负荷下,板式换热器的实际运行参数与计算书给出的参数对比情况,磁体冷却纯水侧的出水温度可以很好的维持在10℃以下。

表3 改造后板换实际运行参数与计算书参数对比

	12 MW		17 MW		24 MW		
	计算参数	实际运行	计算参数	实际运行	计算参数	实际运行	
纯水	进水温度,℃	21.1	21.4	26	26	32.8	33.3
	出水温度,℃	9.5	9.5	9.5	9.3	9.5	9.6
	流量,m <sup>3</sup> /h	889.2	892.1	888.8	880	888.2	881.6
冷冻水	进水温度,℃	7	7.2	6.8	6.8	6.8	6.8
	出水温度,℃	18	16.9	19.75	18.6	25.1	22.8
	流量,m <sup>3</sup> /h	939.5	944.8	1129.3	1139.6	1128.9	1152

## 4 结 论

目前,虽然通过增加板片数量并对其进行高压清洗的手段,提高了板式换热器的换热量,但磁体实际并未运行在最大功率28 MW,运行效果还有待检验。通过对本问题的分析,主要可以得出以下几点结论。

1)板换选型时,需留有足够的余量,换热面积不足时可通过增加板片的方式提高换热面积。

2)根据自身水质特点,确定板式换热器清洗的周期,减小结垢对换热效果的影响。

3)在增加板片也无法维持所需换热效果时,需要通过工程改造,增加管径或设备性能来提高冷冻水流量,从而提高板式换热器的散热量。

## 参 考 文 献

[1] 钱颂文. 换热器设计手册[J]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

# The Problem of Heatexchanger in High-powered Cooling Water System and the Renovation Effect Analysis\*

TANG Jiali OUYANG Zhengrong

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

Received date:2016-03-25; revised manuscript received date:2016-04-14

**【Abstract】** Analyzed the problem of the heat exchanger in high-powered cooling water system of steady high magnetic field facilities and several reasons of these problems. Provided several technical reforming methods mainly include plate number increasing and cleaning of heat exchanger, so as to achieve the results of increasing heat transfer area and decreasing the fouling resistance coefficient. Compared the before and after heat transfer effect in different loads of the resistant magnet. The root reason and solutions of this type heat transfer problem was indicated, it can provide references to the other cooling water system design or reform in this type.

**Keywords:** high-powered cooling water system; plate heat exchanger; water flow; fouling resistance coefficient

**PACS:** 7460,7490,0290