

矿用防爆变频器水冷板设计

赵颖秋

(中信重工开诚智能装备有限公司 河北 唐山 063020)

摘要: 针对矿用防爆变频器水冷板散热不均及流道低温环境冻裂的问题, 本文提出优化设计的水冷板流道结构。该结构由进水主流道、分支流道和出水主流道组成, 流道采用多支路并联结构布局, 进水口布置在低位, 同时兼做放水口, 可以完全放空流道内存水, 消除了低温冻裂流道问题。文章还详细阐述了此流道结构的布局方式及结构参数。此结构在矿用变频器上的应用已得到了验证, 效果良好。

关键词: 矿用防爆变频器; 水冷板; 流道

0 引言

矿用防爆变频器水冷板是设备正常工作的关键结构部件, 变频器在工作运行过程中产生的功耗 90% 由水冷板进行散热处理。若变频器功率器件工作温度降低 10%, 其可靠性会增加一倍, 因此, 如何正确处理变频器的散热, 有效降低工作温升, 提高功率器件的可靠性, 以便延长设备的使用寿命是防爆变频器需首要解决的问题。

在水冷板设计中, 将水道做成横向串联形式, 进水口在最下边, 出水口在最上边, 水流由下到上依次流过几组功率器件的发热区域, 此种结构的优点是水流通畅单一, 易于排空流道存水, 避免低温存放冻裂流道, 但缺点是水流末段水温较高, 散热能力降低, 长期运行会降低末段处功率器件使用寿命。因此, 需要对水冷板的流道结构进行优化设计, 使其在确保完全放空流道内存水的情况下, 使流道散热水流均衡, 保持良好的散热性能, 从而提高变频器功率器件的使用寿命。

1 流道结构布局优化设计

横向串联形式的水冷板流道结构如图 1 所示, 变频器功率器件安装在水冷板正面, 流道布置在器件下方。冷却水由进水口流入, 依次流过器件 1 至器件 5, 每个器件下方的水道有两路, 这两路水道为同一水路折返而来。由图 1 可知, 器件 1 的冷却效果最好, 器件 5 的冷却效果最差, 在满足器件 5 散热需求的前提下, 需要较大的水流量和较低的冷却水温, 如此会导致配套的水冷却系统功耗偏高。另外, 上部器件相比下部器件, 其长期工作在较高温度下, 可靠性会降低, 使用寿命缩短。

因此, 需要对图 1 所示的水冷板流道结构进行优化

改进。首先需要解决器件散热不均的问题, 其次要均衡水流量和水温, 最后还要考虑加工的难易程度和经济性。冷却水路并联是解决器件散热不均的关键措施, 在流道中设置导流格栅可以做到均衡水流量和水温, 采取整板铣削流道、流道盖板封焊等加工工艺可以做到产品的生产制造高性价比。

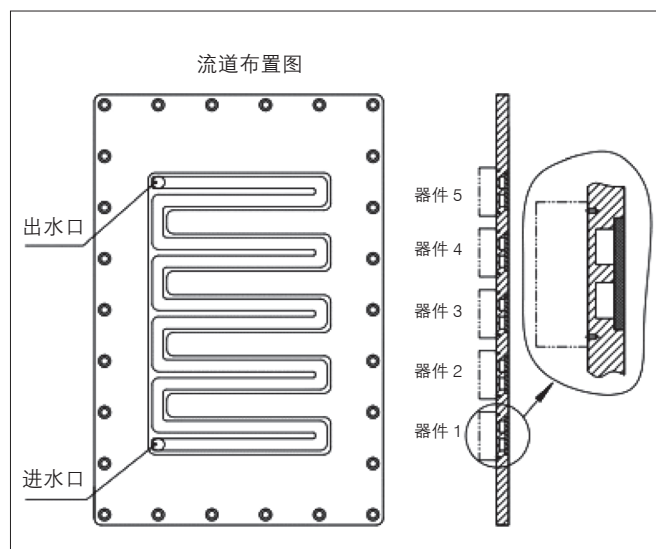


图 1 横向串联水冷板流道结构图

经过优化设计的水冷板如图 2 所示。冷却水路并联设计需要将流道设计成三部分, 即进水主流道、分支流道和出水主流道。进水主流道布置在图示水冷板的左侧, 外部冷却水由进水口流入主流道; 进水主流道右侧设计有 5 路分支流道开口, 主流道的冷却水同时流入分支流道; 分支流道经过两次折返后汇入右侧出水主流道, 继而热交换升温后的冷却水由出水口流出。分支流道布置在每个器件下方, 其宽度、高度与主流道相同, 为均衡水流量和水温, 在每个器件下的分支流道设计成串联式

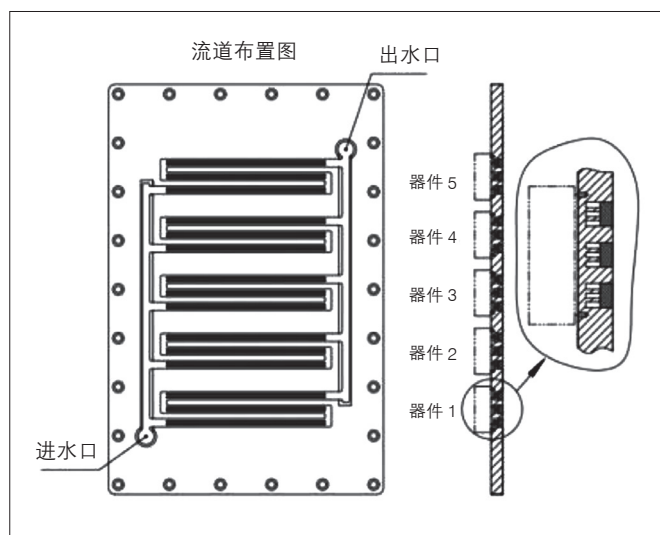


图2 优化改进后的水冷板流道结构图

三路水道，同时在分支流道内部设计有导流格栅，将分支流道隔离成三路独立的狭小水路，其作用是降低流速、增大散热面积、提高散热效率。当设备在低温环境中存放时，为避免流道内存水，造成低温结冰冻裂水冷板，可同时打开进水口和出水口，在自然重力作用下，水冷板流道内的水可以完全排空。

2 结构分析

2.1 热传导和热对流

水冷板散热是通过热传导和热对流两种形式来完成的，是一种耦合散热形式。热传导是水冷板将器件功耗热量由器件侧传至水冷板内部流道侧，是固体传热。由傅立叶定律的热传导基本方程可知，单位时间内通过传热层的热量 Q 与该层的温度变化率 dt 和传热层面积 A 成正比，即：

$$Q = -KA \frac{dt}{dx}$$

式中： K —导热系数；

x —沿传热层的坐标。

如图2所示，优化后的水冷板流道中增加了两道隔栅，若优化前传热层面积：

$$A = aL + 2bL$$

式中： a —分支单流道矩形截面底边长度；

b —分支单流道矩形截面侧边长度；

L —分支单流道总长度。

则优化后的传热层面积 $A = aL + 6bL$ ，优化后的传热层面积为优化前的3倍，水冷板散热效率提高3倍。

热对流是流动着的流体与固体壁面之间的热量交换过程，由牛顿冷却公式可知，对流传递的热量 Q 与流

道内表面面积成正比，即：

$$Q = Ah\Delta t_1$$

式中： Δt_1 —温差；

h —对流换热系数；

A —流道内表面积。

当水冷板流道中增加了2道隔栅后，流道内表面积 A 同样会增加到优化前的3倍，水冷板的散热效率也提高了3倍。另外，水冷板与环境空气也会产生热对流，形成热变量交换过程，但这部分热对流交换的热量与水冷板冷却水的热交换相比很微小，可忽略不计。

热量的传递均与传热面积相关且成正比，增大传热面积则会提高散热效率。在图2所示的结构中，分支流道内设计了导流格栅，其与水冷板为一体式结构，相较于没有导流格栅结构的流道，流道内传热层面积 A 成倍增加，显著提高了水冷板的散热性能。

2.2 流道散热水流均衡分析

对于每个器件的散热而言，冷却水自进水口至出水口的流程是完全相同的，等压的进水主流道和等压的出水主流道布置在左右两侧，相同温度的冷却水分成5路同时进入分支流道，如此解决了横向串联流道水冷板末端器件流道内的冷却水温度高而导致热对流的 Δt_1 温差相比前段的器件流道小，以致对流传热效率低，器件工作温度高，寿命减短。

以器件1为例，冷却水由进水口用最短距离 L_1 到达器件1处的分支流道，由分支流道的 $3L$ 路程流出到达出水口需要用4段器件间距 h ，总路程为 $L_1 + 3L + 4h$ ；而对于器件2，冷却水自进水口需要用最短距离 L_1 加上1段器件间距 h 到达器件2的分支流道，再由分支流道的 $3L$ 路程流出到达出水口则需要用3段器件间距，总路程同样为 $L_1 + 3L + 4h$ ；依次类推，每个器件都需要用相同的 L_1 和4段器件间距的主流道流程 h 和相同的分支流道流程 L 来完成散热，保证了流道散热水流的均衡。

在相同的工况情况下，即相同的环境温度、冷却水温和水流量，对两种结构的水冷板的散热性能进行分析。考虑到水冷板与环境空气之间存在热对流交换，因此首先设定分析类型为外部类型包含固体内热传导，气体选择空气，液体选择水。设定冷却水入口边界条件为入口质量流量 0.8kg/s ，水温 20°C ，冷却水出口为静压类型 0.1MPa ，设定热源为器件1至器件5，发热功耗 20000W ，设定目标为全局流体温度、全局固体温度、器件1固体温度、器件2固体温度、器件3固体温度、器件4固体温度、器件5器体温度。

散热仿真结果如图3、图4所示。由结果可知，横向

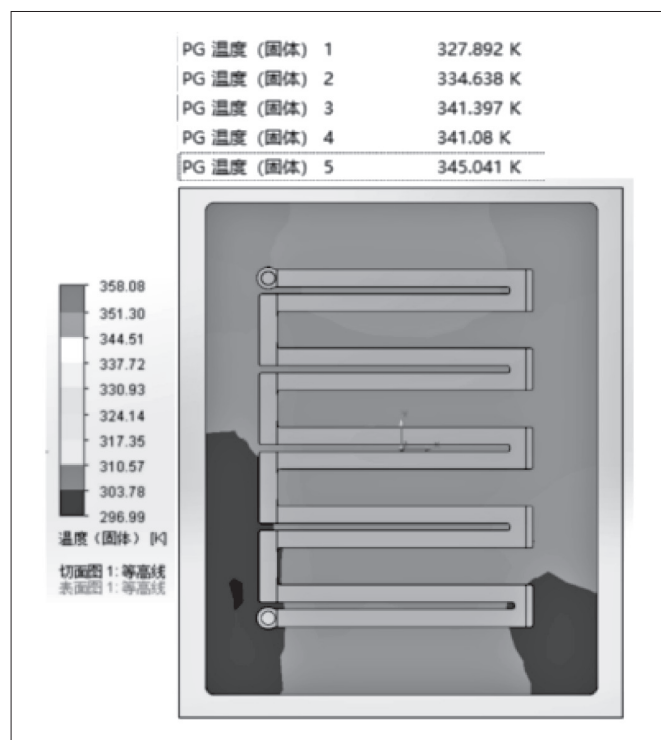


图3 横向串联流道水冷板散热仿真

串联流道水冷板器件1至器件5的板面温度依次升高,此结果反映出串联水路末端的器件5工作温度最高,在满足器件5散热需求的前提下,需要较大的水流量和较低的冷却水温,而器件5长期工作在较高温度下,可靠性相对较低温区的器件会降低,使用寿命会减短。图4优化改进后的水冷板器件板面温升整体较低,且5个器件板面的温差小,最大温升器件2为318.635K,最小温升器件5为312.025K,最大温差6.61K,而横向串联流道水冷板器件板面温升最大为器件5,数值为345.041K,温升最小为器件1,数值为327.892,温差为17.149K。

2.3 加工工艺性分析

水冷板采用整体板材做基础底板,正面作为隔爆安装面及器件安装板进行整体加工,背面水口及流道进行铣削加工。流道盖板作为封闭流道零件焊接在加工好的流道上方。流道转折处加工圆角过渡,以减小流体损失。

3 结语

通过对水冷板流道的结构形式进行优化设计,由单

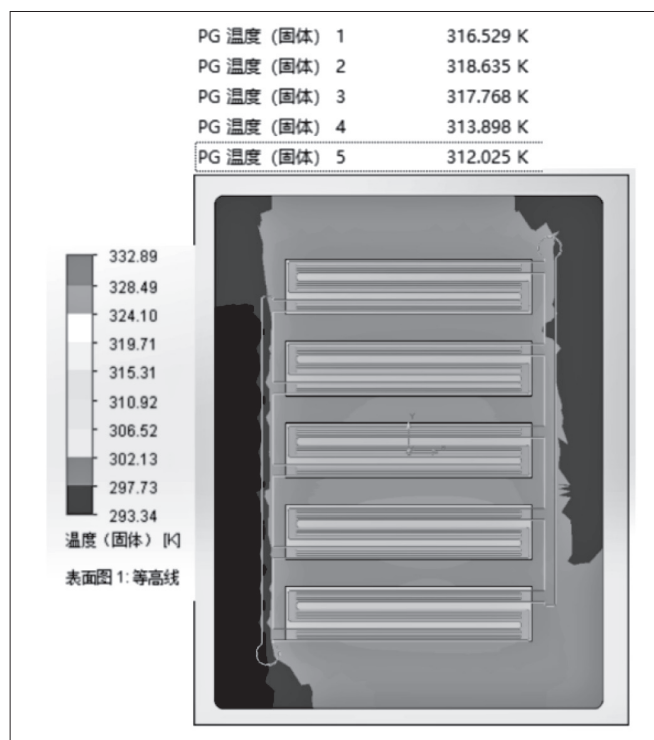


图4 优化改进后的水冷板散热仿真

一串联结构改进成了主体并联、多分支串联结构,解决了水冷板散热不均导致一部分变频器功率器件可靠性降低的问题;低位进水口、高位出水口设计,避免了低温环境存放流道存水冻坏水冷板的问题;优化设计的导流格栅结构,相较于没有导流格栅结构的流道,增大了流道内传热层面积,提高了水冷板散热性能,降低了配套水冷却系统的功耗。

参考文献:

- [1] 杨伟林. 浅谈防爆变频器的散热设计[J]. 防爆电机, 2019, 54(01): 36-39+42.
- [2] 刘栓柱. 矿用变频器水冷循环系统失效分析及改造[J]. 同煤科技, 2018(03): 25-26+29.
- [3] 尹玉兴, 朱兆霞. 矿用隔爆型变频器水冷散热性能研究[J]. 煤矿机械, 2015, 36(08): 83-85.

作者简介: 赵颖秋(1975-), 女, 汉族, 河北唐山人, 工程师, 研究方向: 矿用防爆电气设备的研发与设计。