

[变频器]

中压水冷变频器在海洋平台的设计应用

文/海洋石油工程股份有限公司 李璇 谭红莹 丁洪霞 张晓宇 杜银昌

海洋平台变频器因其容量较小、电压等级较低，通常采用风冷设计。中压大功率变频器发热量大，采用风冷设计，存在尺寸大、散热效率低及运行噪声高等问题。分析了水冷变频器的优势，介绍了水冷变频器在海洋平台的设计应用。

在影响变频器性能的众多因素中，散热设计是极其重要的。如果变频器散热设计不好，二极管、IGBT等功率元器件温度升高，超过所允许的工作温度，变频器的性能就会受到影响，严重时还会造成变频器报警、停机，甚至损坏。

变频器散热主要包括风冷（空气冷却）和水冷两种方式。一般中小容量变频器多采用风冷方式，大容量变频器主要采用水冷方式。海洋平台变频器因其驱动负载功率较小、电压等级较低，多采用风冷方式。近年来，随着中压大功率调速设备在海洋平台的应用逐渐增多，如大功率注水泵、大功率天然气压缩机等，中压大功率变频器在海洋平台的应用也逐渐增多。

根据厂商提供的数据，变频器在运行过程中产生的热损耗，一般占其额定容量的3%左右。中

压大容量变频器因其额定功率大，发热量往往较高，如某海洋平台设计使用的中压变频器额定功率达6 300 kW，单台变频器发热量接近200 kW，正常工作时两台变频器投入运行，总发热量接近400 kW。如此大容量的变频器如继续采用风冷设计，存在冷却设备尺寸大、散热效率低、运行噪声高和HVAC设计难度大等一系列问题。

不同冷却方式比较

通常，对于中小容量变频器，采用风冷设计即可满足要求，且较为经济。当变频器容量较高时，采用水冷方式，有许多突出的优势，如大功率水冷变频器尺寸小、结构紧凑、散热效率高及运行噪声低。变频器水冷方式与风冷方式比较如下表所示。

表 变频器水冷方式与风冷方式比较

水冷方式	风冷方式
换热效率高	换热效率低
可靠性高	可靠性低：冷却风扇寿命短，需要定期更换
外形尺寸小，结构紧凑，节省空间	外形尺寸大，体积大，占用空间面积大
运行时声音小，适于有人值守环境	运行时振动和噪声大，需要单独设置房间，不适于人员长时间值守
散热量低，房间HVAC设计简单，HVAC设备易于选型	散热量非常大，房间HVAC设计和HVAC设备选型困难
多适合于中高压、大功率变频器	多适用于低压、中小容量变频器

根据以上对比可知，对于中压大功率变频器，采用水冷设计，具有优异的散热性能和较高的可靠性，结构紧凑，且适应环境能力强。因此，中压大功率变频器采用水冷设计是较为理想

的选择和方案。

水冷变频器主要原理

水冷变频器通常由起动柜、移相变压器、功

率单元柜、控制柜和水冷单元（水冷系统）等组成。水冷单元是变频器的冷却系统，主要向主回路功率元器件提供内循环冷却水，将功率元器件产生的热量与外循环冷却水进行热交换，并对内循环冷却水进行不断地净化。水冷单元通常由以下部分组成。

1) 冷却水循环泵。水冷单元通常配备两台冷却水循环泵，一台运行，另一台备用。备用冷却水循环泵可在变频器运行过程中随时进行维护。两台冷却水循环泵可定时进行运行模式和备用模式的自动切换。

2) 水—水冷却器。即水—水热交换器，水—水冷却器在内部循环去离子水（即“纯净水”）和外部循环冷却水之间进行热交换。

3) 水质处理回路。通过内部去离子装置去除内部循环去离子水中的杂质（离子），降低内部循环去离子水的电导率，以保持内部循环水的“纯度”。

4) 控制和监视仪表。对内部循环去离子水的温度、压力和电导率等进行实时监控。一旦超标，立即发出报警信号，严重时直接停机。

5) 膨胀箱。主要用于压力补偿。

6) 辅助电源。用户提供的辅助电源连接到水冷单元，并在内部分配到其他单元。

变频器内部采用密闭的去离子水进行冷却，外部通过水—水冷却器使用外部的冷却水进行冷却。变频器水冷系统的设计是针对变频器内部密闭去离子水的再冷却，在对变频器冷却后，高温的去离子水流回到水—水冷却器，利用水—水冷却器和外循环的冷却水将去离子水冷却到预期的设定温度。

同时，冷却单元还将对去离子水的纯净度等进行监测和调节。去离子水的电导率用传感器实时监测，并显示在水泵系统的仪表盘上。如果电导率超过设定值的话，将产生报警或停机信号，并传送到上级控制器。

某海洋平台水冷变频器设计

1. 变频器配置

某海洋平台上不设主电站，电源引自其临近中心平台35 kV电力系统，并经一条21.5 km，35 kV，3C×300 mm²复合海底电缆为该平台供电。该平台天然气压缩机配置如下。

压缩机台数：共计3台，2用1备。

机组类型：电动机驱动离心式压缩机（采用

变频器调速运行，设置一对一变频器）。

变频器容量：每台额定容量为6 300 kW。

由于变频器功率大，运行过程中的热量损失高，需要为变频器配备一套独立的冷却系统。冷却系统需要考虑以下几个方面：

1) 综合冷却系统的投资和运营成本。

2) 设备维护量。

3) 无故障运行时间。

该平台变频器如采用常规风冷设计，两台变频器运行时发热量接近400 kW，对通风设计、房间布置和平台总体设计都将产生重大影响：HVAC系统设计难度大大增加，变频器及HVAC设备尺寸远大于常规项目，房间面积大幅增加，平台总体设计方案显著变化。为解决上述问题，降低变频器发热量，该项目设计应用水冷变频器。

2. 水冷系统流程

图1为该项目水冷变频器的水冷系统流程图。由图1可知，该水冷系统有两套冷却水循环泵。变频器内部功率元器件由密闭去离子水冷却，去离子水将热量带至水—水冷却器E1，再由外部循环冷却介质——平台海水将去离子水热量带走。

冷却水循环泵使去离子水以130 L/min的流量循环。去离子罐用于降低去离子水的电导率，去离子水电导率的报警值为0.5 μS/cm。变频器运行时去离子水温度的报警值为39℃，正常运行时温度保持在设定值32℃左右。三通阀的作用是通过调节经过水冷换热器E1的循环水流量，使去离子水的温度保持在32℃，同时保持循环水总流量不变。

外部循环冷却介质来自平台所处海域的海水，水质较差，水中杂质较多，运行一定时间后造成外部循环水管线过滤器堵塞，导致水冷换热器无法进行热量交换，因而造成内部循环水温度升高而故障停机。清洗外部循环水管线过滤器时必须停机后进行，无法在线清洗。为了实现清洗过滤器时不影响设备运行，在外部循环水进水管线上增加了“主路F1”和“旁路F2”两个过滤器，使用时互为冗余，清洗主路过滤器时先打开旁路阀门再关闭主路阀门，然后再清洗主路过滤器，清洗旁路过滤器过程与此相同。该设计实现了在不影响设备运行的情况下清洗过滤器。

内部密闭去离子水进入变频器装置，带走二极管和IGBT等整流单元、逆变单元以及大功率制动模块的热量，即通过水冷单元，将整流、逆变、制动单元以及管路和热交换器，组成了一个

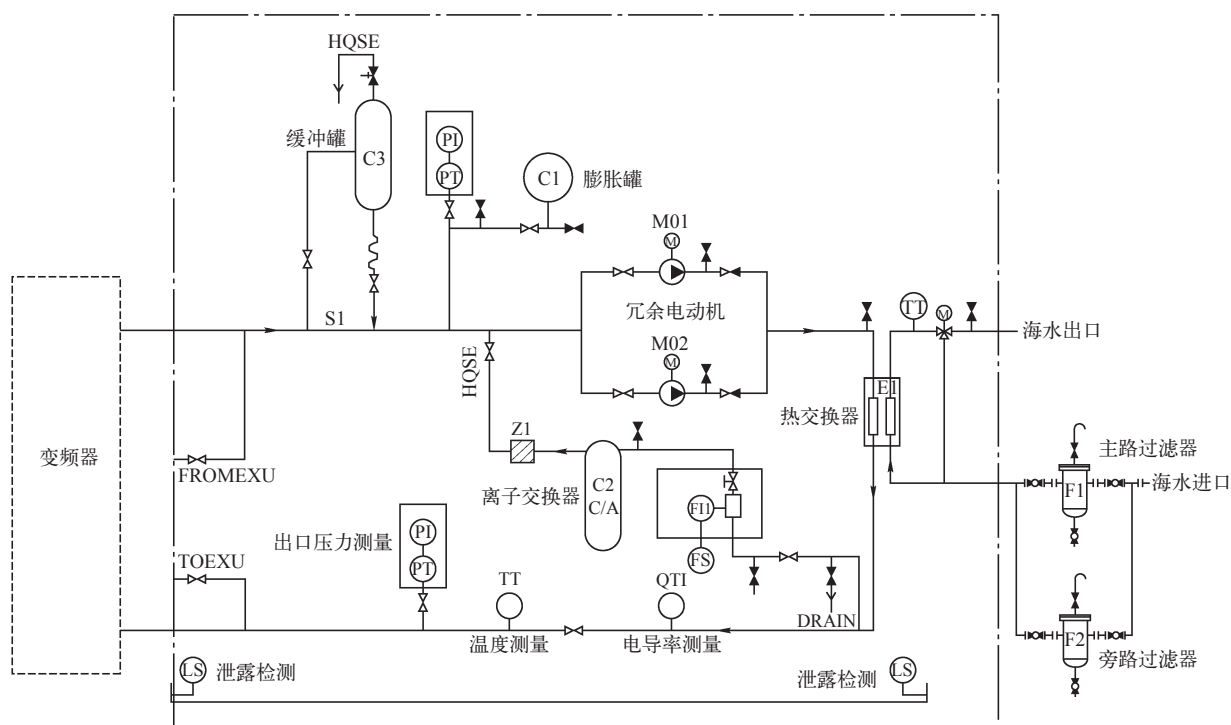


图1 水冷变频器冷却系统流程图

封闭的水冷系统回路。

根据以上分析可知，水冷系统回路实际由以下三个回路组成。

1) 内部密闭去离子水回路。内部密闭去离子水将功率元器件的热损失传送到水-水冷却器。

2) 外部循环海水回路。外部循环海水将水-水冷却器的热量传送到外部冷却系统。

3) 水质处理回路。为保持去离子水具有较低的电导率，水质处理回路对去离子水冷却回路不断地进行净化处理。该回路还包括补水连接头和流量检测仪等。

与此同时，变频器水冷单元还设计有一套完善的保护和监测系统，主要包括：①内部去离子水离子含量监测；②内部去离子水进口和出口水温监测；③内部去离子水流量监测；④内部去离子水压力监测；⑤漏水监控与报警；⑥电导率监控与报警；⑦内部阀门和水泵状态监测等。

3. 设计中应注意的问题

在进行水冷变频器设计时，还应注意以下两点问题。

1) 管线材质选取。在进行冷却单元设计时，应根据内、外部冷却介质合理地设计选择管线材质。一般去离子水、工业淡水可选用不锈钢管，海水根据其水质特性和腐蚀严重程度可设计选用

铜镍合金管或钛管，严重时还可以考虑双层管设计。

2) 水-水冷却器布置。目前市场上各个厂商冷却单元的设计不尽相同。有的厂商冷却水循环泵与水-水冷却器集中设计和布置，有的厂商冷却水循环泵和水-水冷却器各自独立设计和布置。前者的好处在于设计紧凑，布置时占用空间小；后者的好处是可将水-水冷却器单独布置于室外，这样可确保海水不会进到电气房间，从而避免海水泄露损坏电气设备。设计时建议将水-水冷却器单独布置于室外。

结束语

本文比较了变频器的两种冷却方式，阐述了水冷变频器的主要原理，介绍了某海洋平台水冷变频器的典型设计。根据以上分析可知，水冷变频器具有散热效率高、运行噪声小和占用空间少等特点，是大功率变频器的发展趋势。在海洋平台空间紧凑、环境恶劣及投资造价高这一特殊的应用场合下具有独特的优势。随着大功率变频调速设备在海洋平台的应用逐渐增多，水冷变频器在海洋平台必将有着广阔的应用前景。EA

(收稿日期：2019.12.03)

(编辑：朱金凤)