

[变频器]

水下道路隧道大轴流风机变频器柜稳定性运行方案的研究

文/南京长江隧道有限责任公司 金郁颀

大轴流风机是确保南京应天大街长江隧道通风排烟的重要设备。针对大轴流风机变频器控制柜内元器件发热量进行研究分析，提出一种改善运行环境的提升措施，并对提升方案进行了验证，证明方案可有效提高变频器柜的运行稳定性，降低因变频器柜故障导致隧道通风排烟设备的停费率。

南京应天大街长江隧道采用分段纵向通风形式，隧道利用两端工作井内轴流风机实现日常通风；在火灾工况下采用射流风机+轴流风机组合式分段通风方式，除车流出口段即明挖暗埋段从出口排烟外，盾构段火灾工况下产生的热烟均通过工作井的轴流风机实现高空排风，因此大轴流风机是实现隧道通风排烟的重要组成部分之一。应天大街隧道在江北工作井设有 200 kW 大轴流风机 4 台，梅子洲工作井设有 250 kW 大轴流风机 3 台，日常通风运行采用变频调速技术；火灾工况下，采用工频直起，确保最快速度达到最大排烟量。

轴流风机控制柜安装于风机旁，实现风机的就地控制及远程信号的上传及输入。工作井的环境粉尘含量大、不具备均衡的外部温度，控制柜内的变频器及其附件长期处于恶劣的工作环境中。由于应天大街隧道运营了十年，变频器已整体更换，更换后变频器已出现频繁故障的情况。因此，只有通过一定的技术手段，改变变频器的运行环境，才能使其达到正常工作寿命。本文提出了一种针对过江隧道工作井内变频器柜的稳定性运行方案，对于同样运行环境恶劣的情况具有借鉴意义，通过

一段时间的试运行观察，已达到变频器柜稳定运行的目的。

大轴流风机变频器柜常态化故障分析

1. 变频器柜运行环境分析

应天大街水下隧道纵深长，通风量大，大轴流风机变频器柜长期以来的工作环境湿度大、易进尘，较为恶劣。根据应天大街隧道多年的运营情况分析，变频器柜常态化故障的主要原因就是通风散热不良。柜内空气流量是影响温升的关键因素，如果变频器柜通风不畅，很可能导致散热不佳，从而降低变频器各模块元件的运行可靠性，产生严重故障。

目前，应天大街隧道江北工作井内选用的是 ACS880-04 变频器柜，机柜组装轻松易行且经济合理，紧凑坚固的机柜设计可以节省许多占地空间，易于维护和维修。它采用空气循环冷却方式，通过里外空气的交换进行散热。变频器柜有散热孔，空气交换时很可能将粉尘、油脂等杂物带入柜体内部，吸附在变频器元件表面，大量积灰不仅影响散热，灰尘中的金属性粉尘还会

引起主控板的短路故障。由此可知,温度和粉尘是影响变频器运行的重要指标,而这两者又往往相互矛盾,散热良好就会带来很多粉尘,隔离灰尘则会散热不佳。与此同时,由于应天大街隧道中环境复杂又恶劣,长期依靠运行人员的定期维护极,不方便且工作量较大,经济和社会效益都不高。

2. 变频器柜散热情况分析

变频器在控制大轴流风机运行时散热量较大,满负荷工作时它的总损耗约为系统额定功率的 3%,损耗转化成热量排放,极易引起柜内温升。变频器运行环境的温度要求通常为-15~40℃,室温过高会使变频器过热,引发断电自我保护,带来直接损失。即使变频器本来的散热设计优良,柜体也会成为散热的重大负担,使热量难以被空气循环带走,因此柜体设计要考虑柜内外的换热、防护问题。

变频器满负荷工作时的最大散热量取决于变频器的型号和尺寸,因此柜体温升值取决于柜内设备的功率损耗和散热面积,按照安装方式,变频器柜主要分为密闭柜体、强制风冷柜体两种。本文选用的 ACS880-04 变频器属于后者,其独立的变频柜柜体高 1 541 mm,宽 350 mm,深 505 mm,温升公式为

$$\Delta T = \frac{\alpha P_N (1 - \eta)}{Q} \quad (1)$$

式中, ΔT 是设备升高的温度; α 是设备的功率损失系数; P_N 是变频器的额定功率,本文所用大轴流风机变频器有 200 kW 和 250 kW 两种规格; η 是变频器满负荷工作时的效率; Q 是变频器运行时的柜内空气流量,为 1 200 m³/h。

大轴流风机变频器柜稳定性运行方案

1. 稳定性运行方案设计思路

当今变频器的应用广泛,提高变频器工作的稳定性与可靠性,降低后期运维量,是设计者面临的重要问题。本文所提变频器需要加上外围辅助元件,按成套变频柜的形式交给用户,这就要重视柜体的结构设计。通过上文对 ACS880-04 变频器柜运行环境及散热情况的分析,显然散热不良的根源在于“空气循环冷却”的设计思路,只有降低对空冷的依赖性,才能明显提升变频器的散热

效果。

为改善应天大街水下隧道里变频器柜内粉尘多、温度高等的恶劣环境条件,本文提出了一种针对过江隧道工作井内变频器柜的稳定性运行方案,在原有变频器柜的侧面增加了空调柜,为避免空调故障导致散热不佳,还在顶部增加了排风扇,整体的设计方案如图 1 所示。

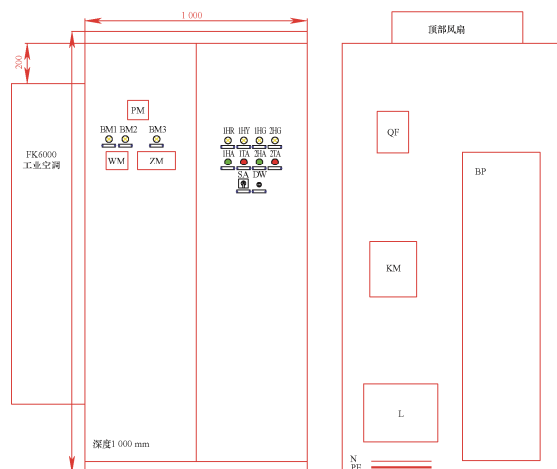


图 1 大轴流风机变频器柜稳定性运行方案设计图

2. 稳定性运行方案设计原理

(1) 侧面空调柜

增加柜内外温差能够起到很好的散热效果,因此侧面增设空调柜就可以给变频器降温,使变频器柜内的温度保持在 25~30℃,这将极大地改善变频器的运行环境。后期维护也只是给外机散热片进行吹扫,工作量较小。

本文选用 FK6000 空调柜,机柜空调通过内外两个完全独立、隔绝的空气循环把机柜内部的空气冷却,同时把柜内的热量通过热交换驱散出柜外,从而保护柜内的电气元件在可控的温度范围运行,同时机柜空调具有除湿功能,保证机柜内部有理想的温度和湿度。其内循环采用 IP54 无冷凝水设计,外循环采用 IP34 防护设计,在机柜密封较差的情况下,蒸发不及的冷凝水会从空调的备用排水口排出,同时空调内部采用了双重的冷凝水收集装置,完全杜绝了冷凝水进入柜内的可能;此外还采用了环保、耐高温、高背压型 R134a 压缩机,自带电流过载保护,适用环境温度最高可达 55℃。空调柜的结构如图 2 所示,空调柜制冷型变频器柜体结构示意图如图 3 所示。

(2) 顶装散热风扇

若空调柜意外失效,只依靠柜体内外的空气对流无法提供有效的热量交换,变频器很可能会因为散热不佳而使各模块元件的运行可靠性降低,产生严重故障。此时,在顶部装设散热风扇进行强排风,抽出热空气、吸入冷

空气就可以解决这个问题。当柜体内的空气温度逐渐升高时,热空气密度小会积聚到柜内上方,从变频器柜上端面开口,利用风扇将热空气排出,让外界干燥清洁的冷空气在柜内形成对流,可达到降低柜体温度的目的。

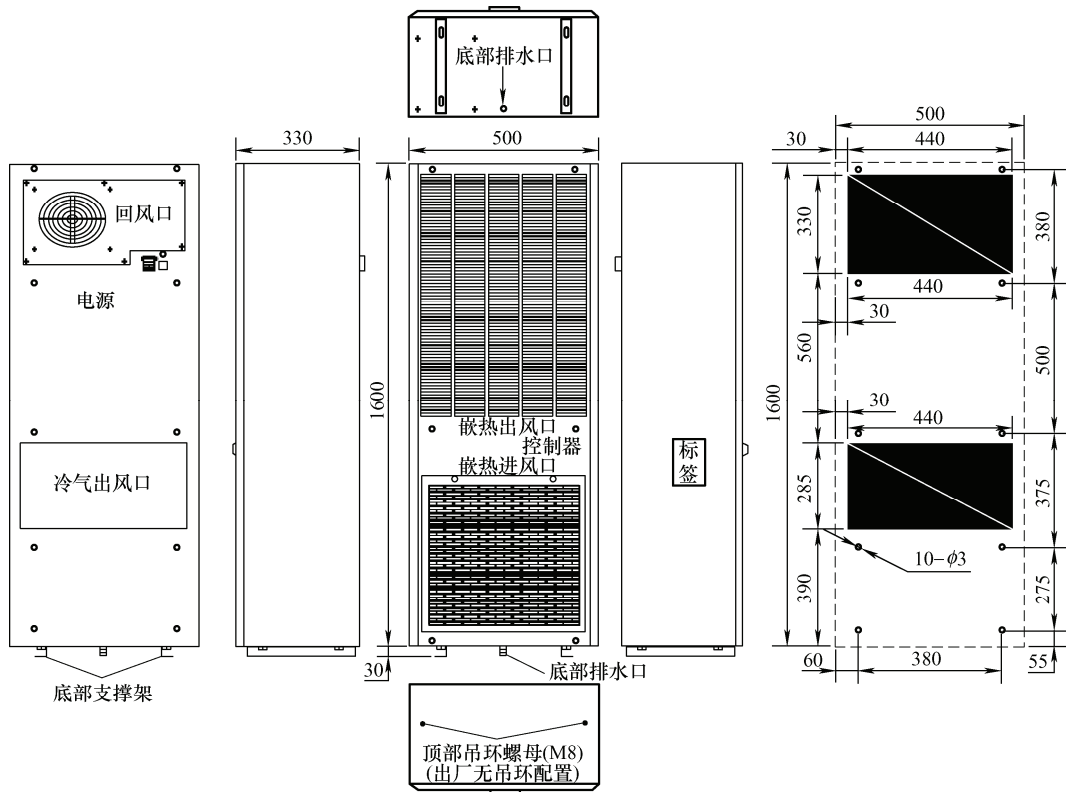


图2 FK6000 空调柜结构图

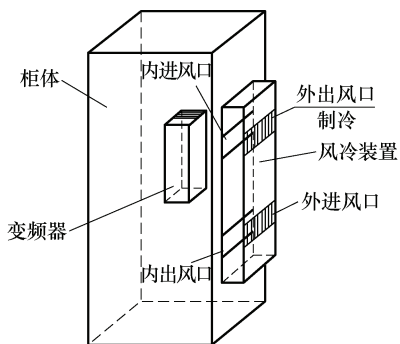


图3 空调柜制冷型变频器柜体结构示意图

顶装风扇体积小、重量轻,采用高性能和工业级的球心轴承风机,短时间内就可以完全降低电气柜的内部温度。它的迷宫屋顶式外形既能防雨又能防止其他外来机械式损伤,加上自带密封框的特点可以达到

比较好的密封效果,通过在柜体下部配置不同的过滤器可以达到最佳的空气流量,可避免外界空气里的灰尘、油脂等杂质进入柜体。另外,它安装简单,只需在柜顶开个方孔,紧固好随附的四个螺丝即可,整套安装只有一个过滤器,维护更加简单,在 $-20\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内都可以高效工作。因此,电气柜顶装散热风扇特别适用于应天大街水下隧道这种高温、环境十分恶劣、要求苛刻的场合。

排风机风量的选择依据于变频器的排风量,应选择风量小于变频器风量的排风扇,因为排风扇主要是将柜内堆积的热空气抽出柜外,不直接参与变频器与外界空气的热交换。顶装风扇的结构如图4所示,风机强排型变频器柜体结构示意图如图5所示。

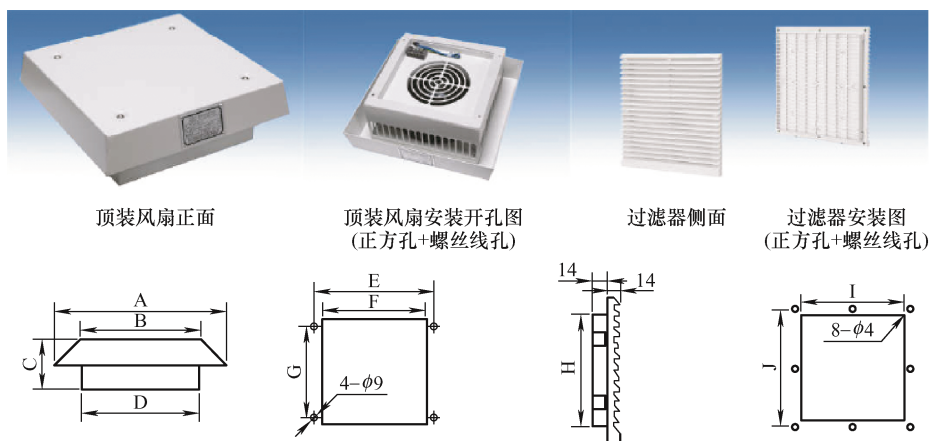


图4 顶装风扇结构图

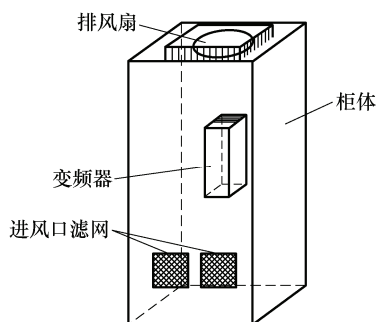


图5 风机强排型变频器柜体结构示意图

大轴流风机变频器柜稳定性运行方案验证

为了验证该方案的散热效果，进行了现场试验，本文所用大轴流风机变频器有 200 kW 和 250 kW 两种规格，经过实际数据情况测算，其散热量分别为 5 602 W、6 409 W。以 200 kW 规格的 ACS880-04 变频器柜为例，记录了在不同工作时间下的内部空气温度，并将改造后的变频器柜与原始柜的温度数据进行对比，室温为 24 ℃。试验结果见下表。

表 不同工作时间下的内部空气温度

工作时间/h	3	6	9	12	15	18	21	24
改造前温度/℃	27	33	38	42	44	45	46	46
改造后温度/℃	25	27	29	30	31	31	32	32

由上表可知，改造前大轴流风机变频器柜的温度升高了 22 ℃，改造后的变频器柜温度上升缓慢，温升仅有 8 ℃，最后柜内温度可以维持在 32 ℃左右，可见散热效果比较明显。证明方案可有效提高变频器柜的运行稳定性，

降低因变频器柜故障导致隧道通风排烟设备的停用率。

因此，针对水下道路隧道内纵深长、通风量大的特殊工作环境，变频器柜长期处于湿度大、进尘多的恶劣运行情况，又无法建设专用配电间的严重现实问题。本文提出了大轴流风机变频器柜的稳定性运行方案，将顶部排风扇和侧面空调柜结合，将变频器柜工作时向上排出的热气通过排风扇排出室外，同时利用空调柜产生的冷空气在变频器柜内循环吸收变频器运行产生的热量，通风和排风起到冷热交换的作用，共同给变频器降低温度，降低空调柜的运转负荷，可以在较恶劣的工作运行环境下达达到更好的降温效果。

结束语

本文针对大轴流风机变频器控制柜的运行环境及散热情况进行了研究分析，将排风扇与空调柜相配合，提出了一种可以改善变频器柜工作环境的稳定性运行方案，并对该方案进行了验证，证明变频器柜改造后，解决了散热、粉尘等综合问题，保障了变频器的可靠运行，减少了对设备的隐性伤害，为变频器的长时间稳定运行提供了保障。同时，改造成本低、散热效果好，室内可以保持在 32 ℃左右，既提高了设备使用效率，又满足了生产工艺要求，降低了设备的运维费用和故障停机周期。此外，对于同类型的水下道路隧道或其他高湿度、多粉尘的相似恶劣工作环境，本方案不仅能够有效改善运行环境并提升社会效益，而且具有较高的可推广使用性和参考借鉴价值。EA

(收稿日期：2021.04.14)