

[故障处理]

空压机电气系统故障分析和处理

文/宋建洋

中海石油（中国）有限公司深圳分公司

叙述实际工作中遇到的空压机电气系统故障，经过分析检查出抽屉柜内插接件接触电阻过大、动力电缆载流量冗余不足和空压机散热风机卡阻三点主要因素。通过重新选型抽屉柜插接件、优化改造低压盘抽屉柜动力电缆和更换散热风机轴承等措施，最终解决空压机高发的故障，产生了良好的经济效益。

空压机装置为钻采平台提供清洁干燥的压缩空气，主要供平台工艺生产、气动仪表控制和公共气源使用，是平台稳定生产的关键设备。然而在平台运行期间，空压机出现抽屉柜内插接件和电缆高温发热、空压机排气温度过高等故障，造成空压机关停，严重影响了平台的安全生产。

某海上生产钻井平台装设了两台氮气空压机和两台仪表气空压机，所使用的氮气空压机设备为Ingersoll Rand R90-160N，仪表气空压机为Ingersoll Rand MJ75 SEA/C，主从模式并联运行，执行24 h工作制。

工艺流程。空气被螺杆泵压缩后，温度急剧升高，增压后的气体进入油气分离器析出空气中的油滴后，经过冷却器（散热风机）降低到40℃以下，然后再进入空气储罐；当油温低于40℃时，润滑油不经冷却器直接进入机体，当油温超过55℃时，油通过油冷却器（散热风机）冷却后再进入主机。

配电系统。氮气空压机抽屉柜从低压配电盘获取电能，又将电能控制分配到空压机现场配电箱。抽屉柜开关设计电压400 V，计算电流288 A。抽屉柜内主电路由进出线插接件、动力电缆和断路器组成。

空压机是平台得以稳定生产的关键设备。然而空压机系统在电源回路和散热系统方面存在故障。

故障现象分析与处理

1. 抽屉柜插接件高温烧蚀、空压机配电中断，影响生产

（1）故障现象

氮气空压机抽屉柜使用的插接件为双爪卡钳式，在维保期间，使用热成像仪探测空压机配电抽屉柜插接件温度时，发现抽屉柜进出插接件发热温度不均，而且C相异常高温达103℃。连接插接件的端子发热，电缆绝缘皮已经出现老化。拆解故障发热的抽屉柜插接件，发现抽屉柜插接件与母线接触点也有烧蚀情况，插接件已经高温氧化，拉紧弹簧失去弹力。在抽出配电抽屉柜时，发现有卡阻现象。

（2）故障分析

通过查阅氮气空压机低压抽屉柜插接件每月红外线检查记录，并实际测量插接件接触电阻，测量故障相插接件接触电阻大于40 mΩ，插接件接触电阻不达标。接触电阻越大，发热越严重，故障发热与插接件接触电阻呈现正相关。

进一步拆开故障相插接件，发现插接件的连接螺孔M10，连接螺栓使用M8，连接螺栓与螺孔不匹配，导体电流接触面积不足，在大功率、大电流作用下，存在局部高温现象，加速插接件拉紧弹簧老化，弹簧弹力减弱，接触电阻进一步增大，加速插接件高温，进入恶性循环。最终造成插接件的烧蚀，导致空压机供电可靠性降低。

(3) 故障处理

根据空压机机组的额定功率计算额定电流，重新为插接件造型。原氮气空压机插接件选择的是温州兴机电器有限公司CZC5-B-3-630A的一次插座，现更换为亿超开关柜附件公司主电路插接件CZC5-B-3-630A的一次插座，螺栓使用M10的螺栓，拉紧弹簧替换为弹片，延长弹性使用寿命。

对插接件接触点使用导电膏进行润滑导电，降低了插接件的接触电阻，提高了插接件的使用寿命。

(4) 故障处理效果

经过改造和测试，两台氮气空压机低压配电抽屉柜插接件触点接触电阻 $R \leq 40 \text{ m}\Omega$ ，符合标准。在完成更换后，将插接件接触点均匀涂抹导电膏，润滑接触点，抽屉柜插拔顺畅良好。实际测量的插接件接触电阻统计见表1。

表1 氮气空压机插接件整改前后接触电阻汇总

(单位: $\text{m}\Omega$)						
名称	氮R	氮S	氮T	氮U	氮V	氮W
整改前	13	56	11	12	11	44
整改后	12	11	13	11	11	12
结果	正常	正常	正常	正常	正常	正常

运行一段时间后，用红外线热成像仪对抽屉柜内母线侧插接件和负载侧插接件进行温度监测跟踪，温度相对稳定，各相插接件温度范围为 $28 \sim 45^\circ\text{C}$ ，达到良好的效果。

2. 抽屉柜电缆高温烧坏，存在电气火灾隐患

(1) 故障现象

氮气空压机低压抽屉开关中的主电缆采用聚氯乙烯绝缘护套，多股镀锡电缆，抽屉柜布局较为紧凑，使用红外线热成像仪测量主电缆温度达到 80.5°C 。主电缆绝缘层出现碳化发黑、龟裂情况。

(2) 故障分析

查阅空压机参数表（见表2），计算出空压机总电流为 270 A 。电线截面积为 70 mm^2 ，根据导线载流量计算口诀，铜电线在散热良好的环境中，按照 3 A/mm^2 的载流量计算， $70 \text{ mm}^2 \times 3 \text{ A/mm}^2 = 210 \text{ A}$ ，不能带载 270 A ，需要选截面积为 95 mm^2 的电线。再由于配电柜空间狭小、散热条件较差，增加载流余量，选横截面积 120 mm^2 的电缆或者 $\geq 120 \text{ mm}^2$ 的铜排连接。

表2 氮气空压机参数表

名称	额定电压	额定频率	总功率	抽屉柜插接件
氮气空压机	380 V	50 Hz	160 kW	650 A
三相电功率公式： $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$ 式中， P 代表功率； U 代表线电压； I 代表电流； $\cos\varphi$ 代表功率因数。 $\sqrt{3}=1.732$ ，功率因数 $\cos\varphi$ 电阻性负载取值1；感性负载取值0.8，结合本平台功率因数取0.9。因此根据公式求得：氮气空压机总电流为 270.11 A				

(3) 故障处理

增大载流导体截面积，采取将动力电缆更换为软铜排的措施。选择软铜排要考虑载流量和发热（允许温升）两个条件，按柜内温度选择艾力锋/柔性铜排（ERIFLEX/FLEXIBAR）时

导体温升 $=T_2 - T_1 = \Delta T$

式中 T_1 为柜内温度； T_2 导体温度。选择柔性母线时，允许载流量及给定截面积的柔性母排在给定温升情况下的电流承载能力数据见表3。

表3 ERIFLEX/FLEXIBAR柔性母排型号参数表

电流/A	型号	截面积 mm^2	ΔT			
		N层 $\times$ A宽 $\times$ B厚	60	50	40	30
125	552420	$6 \times 9 \times 0.8$ (43)	269	245	220	190
250	552460	$4 \times 15 \times 0.8$ (50)	350	320	286	248
400	552520	$5 \times 20 \times 1$ (100)	460	420	376	326
500	552580	$5 \times 24 \times 1$ (120)	563	514	460	398
630	552650	$5 \times 32 \times 1$ (160)	702	640	573	496
800	552780	$5 \times 50 \times 1$ (250)	1 016	930	830	718

根据氮气空压机额定电流 270 A ，设定柜内温度 T_1 为 30°C ，导体最大温度 T_2 不超过 70°C ，导体温升 ΔT 为 40°C ；且要求横截面积 $\geq 120 \text{ mm}^2$ ，综合考虑，氮气空压机A/B低压配电抽屉柜选择艾力锋ERIFLEX型号552580，截面积为 $5 \times 24 \times 1$ （ 120 mm^2 ）的柔性母排，载流 500 A 满足要求。

进行抽屉柜动力电缆优化改造，拆除发热损坏的动力电缆，更换为软铜排。

(4) 故障处理效果

经过整改，对主开关间两台氮气空压机低压抽屉柜动力电缆发热情况进行了实际测量和比对，利用红外线热成像仪进行检查，氮气空压机低压盘配电抽屉柜内动力电缆发热情况有明显的改善，使得电缆符合GB 50217—2018《电力工程电缆设计标准》（电缆发热温度小于 70°C ）的规定，电缆载流量增大，有效降低了电缆的发热温度，增强了电缆供电的可靠性，延长了电缆的使用寿命。

3. 散热风机卡阻，空压机排气高温报警关停

(1) 故障现象

氮气空压机在运行过程中，显示空压机排气高

温关停。立即用温枪测量空压机机体，温度显示112℃（空压机109℃关停），排除温度探头故障，确认空压机确实出现排气温度高温。

根据空压机油路冷却工艺图，依次排查故障。通过油窥镜查看润滑油液位正常，检查油冷却器、油过滤器和温控阀均正常。风机有较大噪声和振动，经过在线设备振动监测导出振动监测频谱图进行分析。停下风机后，用螺钉刀盘动散热风机，发现散热风机卡阻，散热风机热保护动作。

(2) 故障分析

螺杆泵压缩空气做功后，产生大量热量，需要靠润滑油润滑螺杆和带走热量。当油温超过55℃时，油通过油冷却器冷却后再进入主机，油冷却器依靠风机进行强制散热。然而散热风机因卡阻过载跳停，造成空压机润滑油不能及时冷却，导致空压机排气温度过高关停，空压机油路冷却流程如图1所示。

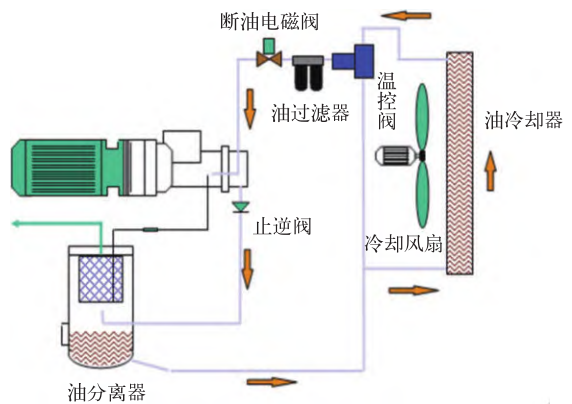


图1 氮气空压机油路冷却流程

检查冷却风扇地脚锁紧螺母，未发现松动；风扇叶片良好，运行时测量散热风机运行电流6.8 A（散热风机额定功率3 kW，额定电流4.5 A），停机测量散热风机相对地绝缘和相间直流电阻，记录绝缘电阻>50 MΩ，直流电阻为99.3 Ω、99.3 Ω和99.3 Ω，电动机参数正常，只需更换电动机轴承即可。

(3) 故障处理

- 1) 将氮气空压机退出运行，做好断电隔离。
- 2) 拆除散热风机，解体检修，检查电机轴承润滑油变质，且轴承保持架破裂。
- 3) 更换电机轴承NSK6206。
- 4) 回装散热风机。

(4) 故障处理效果

通电测试，散热风机运行电流正常，无振动杂音，空压机润滑油等充分冷却，机组运行正常。

空压机故障处理效果检查

1. 改造效果

经过故障处理和改造后，再次统计空压机故障情况。

空压机机组故障率由原来的6.55%下降到1.2%，满足公司故障率<2.0%的要求，实现预期目标值。

2. 主要问题解决程度

将改造前后对空压机机组故障率因素进行统计，见表4。

表4 改造前后空压机停机故障率问题统计

序号	存在问题	频数/h		频率（%）	
		改造前	改造后	改造前	改造后
1	进气蝶阀故障	53.8	45	7.0	42.1
2	膜制氮装置故障	30.7	28	4.0	26.1
3	其他故障	53.8	15.5	2.0	14
4	电源回路故障	346	10	45.0	9.4
5	散热系统故障	323	9	42.0	8.4
	合计	769	107	100	100

电气人员根据空压机停机故障率问题的统计，绘制出排列图，将改造前后故障率问题进行对比。

改造前后设备故障原因的累计频率百分比图形对比，之前的主要原因是电源回路故障和散热系统故障，在此次改造后频数明显降低，电源回路故障频率由45.0%降为9.4%，散热系统故障频率由42.0%降为8.4%，均已降为非主导因素，而且空压机故障总频数大大减少，主要问题在本次故障处理和改造中得以解决。

结束语

针对抽屉柜电气发热问题和空压机排气温度高问题，通过资料收集与分析，采用重新选型插件件、更换软铜排扩大冗余度和更换风机轴承的方法，改进了氮气/仪表气空压机工艺性能，降低了设备故障率，保证了平台用气的可靠性，减少了维修成本和维修劳动强度，从本质上消除电气火灾隐患，保证了平台安全生产。EA

(收稿日期：2023-04-26)