

三角带传动离心风机电动机轴承损坏原因分析

罗杰 薛超

摘要

三角带传动是核电厂通风系统离心风机的一种传动方式。3、4# 机组功率运行期间,电动机断轴、电动机轴承损坏引起定转子扫膛事故是三角带传动离心风机发生了多次的典型而严重的故障模式。为明确产生故障的根本原因,避免同类设备发生重复性故障,本文通过对一起离心风机的现场故障进行深度剖析,通过引用标准、建立模型、理论计算、调研等一系列手段,找到了引起三角带传动离心风机发生以上机械故障的主要原因,为优化相关维修规程建立了重要的理论依据。根据现场条件实施技术改造,将三角带传动风机改造为直连风机,从根本上消除三角带给风机造成的潜在故障风险。

关键词

皮带张力;轴承基本额定寿命;径向力

中图分类号: TM614

文献标识码: A

DOI: 10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2020.08.21

0 引言

风机是核电厂各类通风系统的常用旋转设备。从结构上区分,可以分为轴流风机、直连式离心风机、皮带传动式离心风机。皮带传动式离心风机主要由电动机、主动轮、从动轮、三角带皮带、风机等部件组成。由于三角带的材料属性,该类离心风机运行过程中会不可避免地产生皮带磨损、传递效率降低、皮带过紧、打滑等问题。尤为值得注意的是,皮带传动式离心风机与其他两种风机相比,由于皮带张紧力对电动机轴头主动轮的附加径向作用力,使电动机转轴及其轴承承受除转子重力外的额外径向拉力,电动机转轴及其轴承使用寿命定会受到影响。若皮带张紧力设置过大,无疑会加速电机轴承疲劳,缩短轴承使用寿命。核电厂电气厂房主通风系统某离心风机 2014 年 8 月 17 日,发生一起离心风机电机轴承损坏进而引发电机定转子扫膛事故。因此,需要对离心风机三角带皮带张力的设定方法,以及设定皮带张紧力后对电动机轴承寿命的影响作出定量或定性分析判断,用于指导现场设备的维护工作。

罗杰

中核核电运行管理有限公司(嘉兴 314000)

薛超

中核核电运行管理有限公司(嘉兴 314000)

1 设备和系统概述

1.1 系统概述

DVL,核电厂电气厂房主通风系统,设计用于以下区域的通风:低压和中压配电盘室及继电器室通风;出入口通道区和冷区通风;压缩机房通风。其中低压和中压配电盘室及继电器室通风系统,主要用于对相关区域的运行设备保持其室内温度在规定限值以内,并保持各房间内有微小正压,避免尘埃渗入。该通风系统投运后,可保持冬季房间温度不低于 5℃,保持夏季温度不高于 35℃。

1.2 设备概述

故障风机的厂内设备位号为 4DVL202ZV,厂内设备名称为低压和中

压配电盘室及继电器室 A 列排风机(以下简称 2 号风机)。主要由风机叶轮、风机主轴、风机机壳、风机轴承座,皮带轮、皮带、皮带罩、电动机、公用底座构成。风机型号为 QF-C14-8 型,风量 45695/h,浙江上风厂制造。风机配套电动机为佳木斯电机厂生产,电动机型号 Y2 200L-4,额定电压 380V,额定功率 30kW,额定转数 1452r/min,重 272kg。电动机两侧轴承室均设置有注油孔,两端轴承型号均为 SKF6312。电机与风机采用皮带传动,皮带型号为窄 V 带 SPB3550。电动机将电能转化为转子机械能,通过带轮与皮带摩擦力的作用使皮带及风机获得动能,从而将机械能从电机侧传递至风机侧。

2 离心风机故障

2.1 故障现象

2014 年 8 月 17 日,主控室触发某配电盘报警,随后触发火灾报警。运行人员根据报警配电盘锁定故障区域,发现刚刚还在运行的 2 号风机已停运,空气四周弥漫有焦糊味。维修人员对相关设备进行详细检查,发现 2 号风机配电开关抽屉内 B 相熔丝熔断;电动机驱动端轴承保持架扭曲断裂、滚珠变形、轴承油脂发黑;电动机定转子已扫膛,定子表面绝缘材料高温变色、磨损严重。



图 1 轴承油脂发黑



图 2 轴承保持架弯曲断裂、滚动体脱离滚道

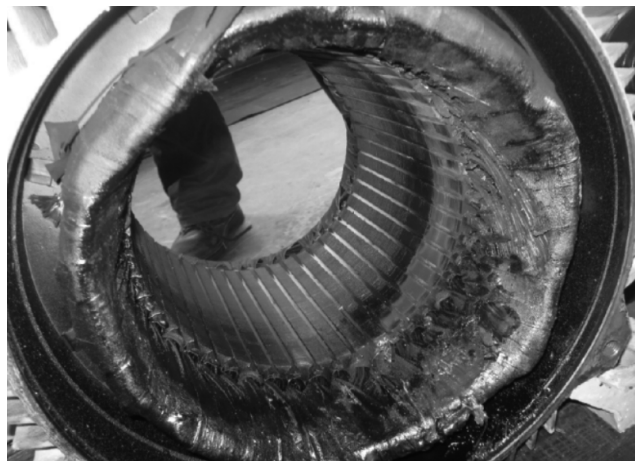


图 3 电动机定转子扫膛

2.2 原因分析

2.2.1 故障设备检修史

2 号风机从机组投运至故障发生前,设备的历史检修时间、检修任务、检修主要工作内容列下表 1 详细说明:

表 1

时间	工作描述	工作主要内容
2012.1.12	电机清洁与绝缘检查	测量电机参数
2012.2.10	轴承半年润滑	调整张力值为 60N
2012.7.11	轴承半年润滑	调整张力值为 60N
2013.1.15	风机解体检查	调整张力值为 60N
2013.1.15	电机解体大修	更换电机两端轴承
2013.4.17	6 个月加油脂	添加润滑脂
2013.8.10	轴承半年润滑	调整张力值为 80N
2013.10.18	6 个月加油脂	添加润滑脂
2014.1.27	轴承检查及润滑油更换	调整张力值为 60N
2014.1.27	电机清洁与绝缘检查	测量电机参数
2014.4.21	6 个月加油脂	添加润滑脂
2014.7.14	轴承半年润滑	调整张力值为 80N

2 号风机预防性维护工作主要包含:

(1) 风机轴承半年润滑,工作过程中对皮带张紧力进行调整,张紧力调整范围为 60N 至 80N 之间。

(2) 电动机清洁与绝缘检查,主要测量电动机基本电气参数。

(3) 电动机 6 个月加油脂,目的是保证电机两侧轴承润滑充足。

(4) 电动机解体大修,预维周期为 3 年。主要工作内容为电动机抽转子,定转子目视检查,电机机械尺寸测量,更换两端轴承。

2 号风机作为低压和中压配电盘室及继电器室排风机,设计上要求电厂功率运行期间连续运行,不切换、不停运。2013 年 1 月 15 日该风机与电动机进行同步解体检查,电动机两端更换新轴承。2014 年 8 月 16

日,电动机发生定转子扫膛事故,这两个时间点的时间间隔为 18 个月,由于 402 大修期间该设备停运近半月,故 2 号风机电动机新轴承的实际使用寿命为 17.5 月。

2013 年 1 月 15 日,电动机进行解体检修,期间更换了电动机两侧轴承。该轴承为电厂备件仓库正品轴承,在轴承安装前进行手盘检查,转动灵活无异常。电动机组装后进行通电空载试验,轴承无异音,电机本体温度、轴承温度、三相电流一致性均满足要求。因此,2 号风机故障不是因电动机轴承质量或轴承安装问题造成的。

对比秦二厂 2 号机组同位号风机,均为皮带传动,电动机功率均为 30kW,风机型号相同,均为 QF-C14-8。电动机解体检修项目预防性维修周期相同,均为 3 年。通过查阅历史工单并与秦二厂 2 号机组维修部门了解,秦二厂 2 号风机在电厂功率运行期间从未发生轴承损坏并导致电机扫膛的故障。所以,2 号风机电动机解体周期设置为 3 年是合理。电机解体项目预维周期不合理不是引起电机轴承损坏的原因。

电动机自 2013 年 1 月 15 日解体检修任务完成后,严格按照 PM 项目,在规定的间隔定期进行轴承 6 个月加油脂工作,即电动机两端轴承有足够的油脂润滑。

为明确电动机轴承损坏的根本原因,引入 SKF 轴承手册中轴承基本额定寿命概念,代入轴承运转时表征轴承受力的各参量,从计算皮带初始带拉力为起点,对电机轴承(型号 SKF6312)基本额定寿命进行估算。

2.2.2 轴承基本额定寿命

轴承基本额定寿命的表达式为: $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$ 或 $L_{10h} =$

$\frac{10^6}{60n} L_{10}$ 其中:

L_{10} : 基本额定寿命(90%的概率不损坏),单位“百万转”

L_{10h} : 基本额定寿命(90%的概率不损坏),单位“工作小时”

C: 基本额定动负荷,单位“KN”

P: 轴承受力当量动负荷,“KN”

n=转速,r/min

p=寿命公式中的指数,当为球轴承时为 3,当为滚子轴承时为 10/3

轴承基本额定寿命描述的是在试验条件下以“轴承 90% 概率不损坏”为考核指标,在给定 P(当量动负荷)

时,某型号轴承的基本额定寿命。轴承的基本额定寿命通常有两种表示方式, L_{10} 以转速为单位, L_{10h} 以时间为单位。通常我们使用时间为单位的轴承基本额定寿命。对给定型号的轴承,基本额定动负荷可查阅 SKF 手册,式中 n 为电动机额定转数。故求出当量动负荷后代入相关公式,便可得到该当量动负荷下的轴承基本额定寿命。

2.2.3 规程张紧力下轴承基本额定寿命

依上节介绍,欲求轴承基本额定寿命,先求轴承当量动负荷。

(1) 单根皮带初拉力计算

根据国标 GB13575.1-2008《普通和窄 V 带传动》,初拉力的描述如下:初拉力的测定,通常是在 V 带与两带切点的跨度中点处,施加一规定的垂直带边的力 G,使跨度每 100m 产生挠度 1.6mm。

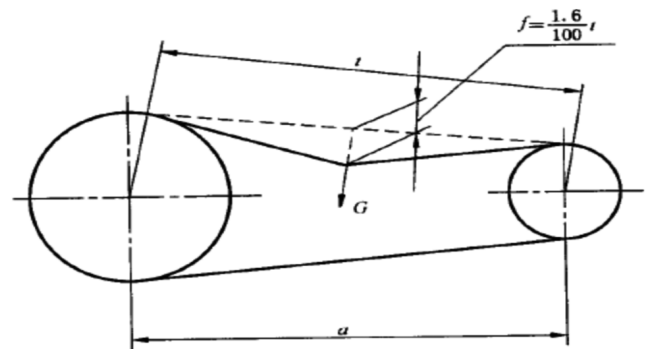


图 4

对于运转后的 V 带,测定初拉力所加的 G 值,引用公式:

$$G = \frac{k \cdot F_0 + \Delta F}{16}$$

其中:

G: 垂直力(维修规程中皮带张力)

k: 系数(针对使用过的旧皮带,k 取 1)

F_0 : 单根皮带初拉力

ΔF : 初拉力的增量(皮带类别型号不同,该值不同)

2 号风机使用的皮带型号为 SPB3550,参考《普通和窄 V 带传动》标准中的表格,SPB 型初拉力增量为 40。

2013 年 1 月 15 日,电动机解体大修,更换两端新轴承。在此之后,机械专业在四次执行预维工作轴承半年润滑时,将皮带张力调整至 60N-80N 之间。当 G 为 80N,k 取 1, ΔF 为 40,代入公式求得 F_0 为 1240N。

(2) 电动机主动轮处的皮带拉力计算

主动轮直径 55mm、从动轮直径 65mm,皮带总长

表 2 初拉力的增量 ΔF_0

带型	Y	Z	A	B	C	D	E	SPZ	SPA	SPB	SPC
$\Delta F_0/N$	6	10	15	20	29.4	58.8	108	20	25	40	78

3550mm,从三者的尺寸可知主动轮两侧皮带近似平行,主动轮处皮带总拉力为:

$$F_r = 2ZF_0$$

三角带组数 Z 为 4, F_0 为 1240N, 代入公式, F_r 为 9920N。

(3) 皮带拉力折算至电动机驱动端轴承处的径向拉力

电动机转子轴向尺寸简化图:

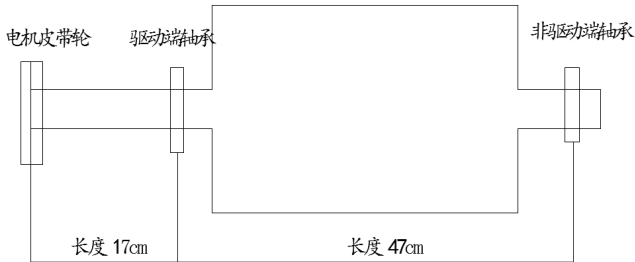


图 5

主动轮至电机驱动端轴承距离为 17cm, 电机两轴承之间距离为 47cm, 由力矩平衡原理, 可求电机驱动端轴承内圈径向拉力值:

$$F_{\text{轴承}} = \frac{17+47}{47} F_r = 13508\text{N}$$

该电动机总重 272kg, 依据电动机设计经验, 一般情况下电机转子重量约为电机总重量的三分之一, 故可估转子重量为 90kg, 转子重力为 882N, 电机两端轴承各承担一半转子重力, 则轴承内圈受转子压力为 441N。

电机驱动端轴承内圈主要承担两个力, 转子压力和径向拉力。其中转子重量压力为 441N, 径向拉力值 13508N, 两者之比为 3%。由于内圈承受的转子重量压力百分比很小, 由平行四边形法则, 二力合成后, 合成力的大小、方向, 基本与径向拉力相同。因此以下相关计算直接忽略重力。

(4) 电机驱动端轴承内圈处当量动负荷

参照浙江上风厂给出的试验经验数据, 当 SPB3550 皮带张力设置完成后, 风机持续运行一小时左右时, 皮带拉力将衰减至初期的 60% 左右, 并保持稳定运行。据此, 电机驱动端轴承内圈处的当量动负荷:

$$P = 60\% F_{\text{轴承}} = 8.105\text{KN}$$

(5) 求轴承的基本额定寿命

将电机转速 $n = 1452\text{r/min}$, 查手册 SKF6312 轴承基本额定负荷 $C = 85.2\text{kN}$, 轴承内圈处的当量动负荷 $P = 8.105\text{kN}$, 球轴承指数系数 $p = 3$ 代入轴承基本额定寿命公式:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

有: $L_{10h} = 13334$ 小时 ≈ 1.5 年

当皮带张紧力 G 取 60N 时, 重复以上计算步骤, 得:

$$L_{10h} = 3.9$$
 年

通过以上计算, 可知当皮带张力为 60N 时, 该风机电动机轴承 SKF6312 的基本额定寿命为 3.9 年。当皮带张力为 80N 时, 该风机电动机轴承 SKF6312 的基本额定寿命下降为 1.5 年, 也就是说 2 号风机皮带张力的少量增加会导致轴承基本额定寿命的大幅下降。

2.2.4 国标张紧力下轴承基本额定寿命

为了有效地将电机侧的机械能通过皮带传递至风机侧, 从设计的角度, 单根皮带初拉力与电动机额定功率、电动机额定转速、皮带组数、皮带线速度、窄 V 带单位长度的质量等参数遵守严格的函数关系。根据国标 GB/T13575.1-2008《普通和窄 V 带传动》, 对单根带拉力的计算给出了理论计算公式:

$$F_0 = 500 * \frac{(2.5 - K_a) P_d}{K_a * V * Z} + m V^2$$

其中 F_0 : 单根皮带初拉力

K_a : 包角系数, 由于该风机的电机皮带轮与风机带轮相差不大, 其值取 1

Z : V 带的根数, 现场配置 4 条 V 带

P_d : 电动机功率, 30kW

V : 皮带线速度, 单位 m/s (计算为 17m/s)

m : 窄 V 带单位长度质量 (对 SPB 皮带, 此值为 0.192kg/m)

将以上各数值代入单根带拉力计算公式, 得 F_0 为 390N。

表 3 窄 V 带单位长度质量 m

带型	SPZ	SPA	SPB	SPC
$m/(\text{kg/m})$	0.072	0.112	0.192	0.370

张紧力公式：

$$G = \frac{k \cdot F_0 + \Delta F}{16}$$

k 值取 1.5 时(新皮带时),张紧力 G 为 39N。

主动轮处皮带对带轮的轴压力：

$$F_r = 2ZF_0$$

Z 取 4 时,带轮受皮带压力 F_r 为 3120N。

折算至驱动端轴承处受力：

$$F_{\text{轴承}} = \frac{17+47}{47} F_r$$

可知 $F_{\text{轴承}}$ 计算值为 4250N。

由厂家经验公式：

$$P = 60\% F_{\text{轴承}}$$

可知 P 计算值为 2.55KN。

轴承基本额定寿命：

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p = 412500 = 34 \text{ 年}$$

k 值取 1 时(旧皮带),张紧力 G 为 26.8N

将按国标《普通和窄 V 带传动》计算出皮带张紧力下的轴承基本额定寿命与维修规程皮带张力上下限对应轴承基本额定寿命做对比：

表 4

皮带张力	单根皮带拉力	轴承基本额定寿命	张力由来	皮带使用程度
39N	390N	34 年	国标上限值	新皮带
26.8N	390N	34 年	国标下限值	旧皮带
60N	920N	3.9 年	维修规程	旧皮带
80N	1240N	1.5 年	维修规程	旧皮带

可见,通过理论计算,对于离心式皮带风机,皮带张力设置为不同值时,电动机驱动端轴承 SKF6312 的基本额定寿命会发生明显变化,且较小的皮带张力变化量 ΔG 会引起更大的轴承基本额定寿命变化量 ΔL_{10h} ,即皮带张力对轴承基本额定寿命的影响非常敏感,因此对某一设计已完成的皮带传动装置,传动功率、转速、皮带型号、皮带组数已确定的情况下,皮带张力的设定值需由相关国标要求进行严格计算,才能保证设备安全、可靠地运转。

3 维修策略优化

3.1 定标准

为了保证电厂三角带传动式离心风机能够在预维周期内安全高效地为系统服务,尽可能避免 2 号风机同类设备故障发生,这就要求我们的维修操规程能够正确地指导现场设备的检修维护工作,避免规程关键操作步骤的设定数据不适用于维修对象,给设备连续运行带来隐患。

(1) 经过对秦二厂 1、2# 机组、防城港核电同位号同型号风机的维修规程进行调研以及根据国标《普通和窄 V 带传动》中对初拉力公式的应用和计算,在咨询风机厂家意见的基础上,重新对维修规程《扩建机组 QF-C14-8 型风机全面解体检查》进行升版,维修规程升版原因为“修改张力标准,添加皮带对中数据”。将 2 号风机皮带张紧力的上下限由“60N-90N”修改成“27N-46N”。

(2) 为确保风机运行可靠性,降低设备检修的维护成本。对于现场空间、传动功率满足改造要求的皮带传动风机,在通过设计院、厂家评估后对现场皮带传动风机进行改造,改造为直联风机,风机叶轮直接通过键连接至电机轴。避免了皮带故障或皮带张紧力过大造成设备故障停运,同时也节约了维修成本。目前,我厂 3、4# 机组电缆层通风系统,13 台三角带传动风机已改造为直连风机,改造完成后现场使用效果良好。

4 总结

对三角带传动离心风机电动机,应在满足功率传动的前提下,依据国标《普通和窄 V 带传动》的相关技术要求,计算不同风机的皮带张紧力设定范围,同时核算电动机轴承寿命,避免因皮带张紧力过大而导致电机轴承寿命在运转过程中严重缩短,造成轴承故障性损坏,引发电动机定转子扫膛事故。

参考文献

[1] 实履豫,刘振国.《V 带和窄 V 带的应用》,《粮食与饲料工业》,2002(6):8-9.

[2] GBT13575.1-2008,《普通和窄 V 带传动(第一部分:基准宽度制)》.

[3] SKF,《轴承综合型录》,2010-12.