

国内风电设备的润滑现状与“昆仑” 风电设备润滑解决方案

续 景, 王晓波, 张龙华, 王会东
(中国石油兰州润滑油研究开发中心, 730060)

摘要: 分析了国内风力发电设备各部位的润滑特点及其存在的问题。提出了“昆仑”风力发电设备润滑解决方案, 对“昆仑”风电设备专用油脂的品种、性能特点以及其在宁夏贺兰山风力发电厂的应用情况进行了介绍。得出昆仑风电设备专用油脂性能优于作对比的国外产品, 更适合我国北方风电厂风电设备的润滑与维护的结论。

关键词: 风力发电; 润滑; 风电设备; 维护

0 引言

我国的风能资源储量丰富, 风力资源开发前景十分广阔。截止2007年底, 全国21个省、市、特别行政区及自治区(除台湾省外)已建成风电场158个, 累计运行风力发电机组6 469台, 装机容量达590.6万kW。其中以进口600 kW~1 MW商品化大型风电机组为主。根据国家发改委对外公布的《可再生能源发展“十一五”规划》, 到2010年, 全国风电总装机容量达到1 000万kW, 形成江苏、河北、内蒙古、甘肃等5个100万kW级的风电基地。中国风电市场的容量正日益庞大, 伴随着风电装机容量的不断增加, 风力发电设备的润滑问题也逐渐受到人们的关注。

大型风电设备因其具有价格昂贵, 工作环境恶劣, 现场不便对主要部位进行拆卸维修, 以及设计上要求使用寿命长等特点, 对润滑油脂的性能要求很高。基于我国风电运行外部环境及运行工况的特点, 对风力发电机各润滑部位的润滑及使用进口润滑产品存在的问题进行分析, 并在此基础上提出“昆仑”风电设备润滑解决方案。通过在宁夏贺兰山风力发电厂一年半的应用, 以及贺兰山风电厂风机应用国产润滑油脂替代进口油脂验收会的顺利

召开, 与会专家一致通过验收并建议在我国风电行业推广使用。这一风电润滑系列产品的成功开发, 标志着我国风电设备专用高性能润滑油、润滑脂的国产化研究开发取得了重要成果, 为下一步全面推广和应用奠定了良好基础, 将为我国风电行业降低运行成本、减少设备故障等发挥重要作用。

1 风力发电机的主要润滑部位与润滑解决方案

风力发电机的工作原理很简单, 空气流动的动能作用在叶轮上, 将动能转换成机械能推动叶轮旋转, 叶轮的转轴与发电机的转轴通过变速箱相连, 从而带动发电机发电。如图1所示, 风力发电机主要的润滑部位包括叶片轴承、主轴承、齿轮箱、发电机轴承、偏航系统等。其中, 齿轮箱与偏航减速机目前多采用油润滑, 而其他几个润滑部位主要采用润滑脂润滑。

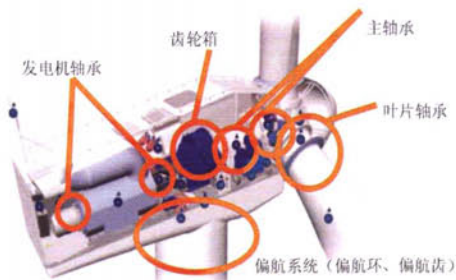


图1 大型风电设备的主要润滑部位

1.1 齿轮箱的润滑

齿轮箱是风力发电机的主要润滑部位, 用油量占风力发电机用油量的3/4左右。风力发电机齿轮箱

主要为多级平行轴行星斜齿轮变速箱,可以将很低的风轮转速(850 kW的风力发电机通常为27 r/min)变为很高的发电机转速(通常1 600 r/min),多采用油池飞溅式润滑或压力强制循环润滑。考虑到我国的风力发电机多安装在边远及沿海地区,润滑油受气候温差、湿度等影响较大,齿轮箱维修不便,因此设计要求齿轮箱使用寿命长、承受负荷大等。所用的齿轮油除了具有良好的极压抗磨性能、冷却性能和清洗性能外,还应具有良好的热氧化稳定性、水解安定性、抗乳化性能、抗泡性能、高低温性能以及长的使用寿命,同时还应具有较低的摩擦系数以降低齿轮传动中的功率损耗。

当前我国进口风电设备齿轮箱润滑油主要使用Mobil XMP320、Texaco Meropa320等国外产品,这些产品性能较为全面,但在我国西北部风电场使用时出现了低温启动困难的情况,说明油品的低温性能较差,油品不太适合我国西北地区的气候特点。昆仑风电设备专用齿轮油针对风电机组低温停机以及油品的换油周期较短的问题,设计开发了FD2000半合成型风电专用齿轮油,该产品在贺兰山风电厂18个月使用试验中表现了良好的性能。表1给出了昆仑风电设备专用齿轮油与贺兰山风电厂Vestas及Gamesa风机装机新油典型数据对比。

表1 风力发电设备3种工业齿轮油性能分析评定结果

项 目	测试结果			试验方法
	Vestas油	Gamesa油	昆仑油	
运动粘度(40℃)/(mm ² ·s ⁻¹)	319.4	308.1	309.9	GB/T 265
粘度指数	96	97	124	GB/T 1995
倾点/℃	-15	-15	-24	GB/T 3535
铜片腐蚀(100℃,3h),级 (121℃,3h),级	1b	1b	1b 1b	GB/T 5096
锈蚀试验 蒸馏水 人工海水	无锈 无锈	无锈 无锈	无锈 无锈	GB/T 11143
82℃抗乳化试验 (40-37-3)/min	60	-	20	GB/T 7305
旋转氧弹(150℃)/min	93	95	306	SH/T 0193
泡沫性/(mL·mL ⁻¹) 24℃	-	-	0/0	GB/T 12579
93.5℃	-	-	0/0	
后24℃	-	-	0/0	
四球机试验				
综合磨损指数(ZMZ)/N	509.6	570.6	723.2	GB/T 3142
烧结负荷(P ₀)/N	3 089.1	3 922.7	4 903.3	SH/T 0189
磨斑直径D ₉₀ TM /mm	0.31	0.31	0.32	
Timken OK负荷/N	266.9	266.9	289.1	GB/T 11144

从表1结果可以看出:宁夏贺兰山风力发电厂Vestas和Gamesa 2种机型所用进口齿轮油,可以满足常规320重负荷工业齿轮油的要求;但在实际使用时存在低温停机,高温报警,表现在油品指标上就是倾点高,粘温性能差。昆仑半合成型FD2000风电设备专用齿轮油,对产品的粘度指数和倾点进行了加强,选用高性能添加剂和独特的配方技术使油品具有优良的腐蚀性能、防锈性能和较高的极压性能,同时对油品的氧化性能进行了加强,产品的性能参数达到并优于Vestas和Gamesa 2种机型发电机组使用的进口齿轮油水平,在一年半的使用周期中,昆仑FD2000风电设备专用高性能齿轮油高低温性能良好,在冬季环境下,机组没有出现低温停机的情况;在夏季环境下,高温报警次数明显低于使用进口油脂的参比机组;风电设备运行正常,齿轮润滑状况良好,齿面未发生过度磨损、擦伤及点蚀,达到了预期的效果。

1.2 叶片轴承的润滑

风电透平设备通过转子叶片捕获风能并将能量传递到转子轮毂上。叶片通过叶片轴承安装于轮毂上,并可在液下系统作用下转动以调节桨距,改变转子受风面从而起到调节转速及关机的作用。叶片轴承连接着重达数吨的叶片,并且随叶片转子的转动承受交变的径向及轴向载荷。叶片轴承采用润滑脂润滑,对叶片轴承润滑脂的要求有:

(1) 宽的使用温度范围

风电透平设备常工作在恶劣环境中,以我国西部为例,环境温度低温-40~-20℃,高温约40~50℃,阳光暴晒下物件表面温度在70~90℃,而风电设备需通过变桨实现转速控制及关机,所以要求任何条件下都能实现叶片变桨动作,否则易出现危险。因此,要求润滑脂需在宽的温度范围内,甚至极端温度范围内可靠工作,通常要求润滑脂的有效工作温度至少在-45~95℃的温度范围内。

(2) 优异的防水性能

叶片轴承暴露于环境中,且处于迎风面,一旦遇风雨天气,则易受到雨水的冲蚀,所以要求叶片轴承润滑脂有优异的抗水性。

(3) 优良的防锈、防腐蚀、密封防沙尘性能

叶片轴承按设计为全寿命工作,其应一直工作至整台风电机组报废,但叶片轴承暴露于环境中,易受环境侵蚀,我国西部又多发沙尘天气,所以要

求叶片轴承润滑脂应有优异的防锈、防腐蚀、密封防沙尘性能。

(4) 优良的减摩、抗磨及极压性能

叶片轴承处于频繁起停的工作状态,并且存在微振,如润滑不当,轴承易发生擦伤及微动磨损,因此要求叶片润滑脂应具有优良的减摩、抗磨及极压性能。

当前,国内风电场叶片轴承的润滑普遍采用壳牌的AEROSHELL GREASE 14,执行的是MIL-C-25537C标准,这种脂是为直升机主叶片转子和尾转子轴承设计;它的低温性能、抗水性、防锈性能可满足要求,但这种脂的抗擦伤能力和承载能力(极压性能)较低,而大型风电设备的叶片自重及负载远较直升机叶片高,所以这种脂用于风电叶片轴承可能存在叶片轴承在极压条件下损伤或损坏的风险。

昆仑风电设备叶片轴承专用润滑脂是根据大型风力发电设备叶片轴承的设计与运行工况特点及对润滑防护的特殊要求设计的高性能专用润滑产品。昆仑风电设备叶片轴承专用润滑脂以高性能合成油为基础油,以特制金属皂为稠化剂,辅以多种高性能添加剂精制而成,可适应低温、高温、高低温交替变化、雨雪、沙尘等恶劣环境条件下对风电设备叶片轴承进行长效润滑与防护的要求。

表2给出了昆仑风电设备叶片轴承专用润滑脂

表2 昆仑风电设备叶片轴承专用润滑脂典型数据

项目	测试数据		测试方法	
	昆仑产品	对比产品		
最高使用温度/℃	110	93	-	
最低使用温度/℃	-65	-54	-	
基础油	全合成	矿物油	-	
粘度 40 ℃/(mm ² ·s ⁻¹)	13.1	12.5	-	
粘度指数	126	107	-	
滴点/℃	159	149	GB/T 3498	
锥入度, 1/10 mm	265	269	GB/T 269	
延长工作锥入度(10 ⁵ 次)差值, 0.1 mm	+35	+41	GB/T 269	
钢网分油量(100 ℃, 24 h)/%	0.7	1.4	SH/T 0324	
氧化安定性(99 ℃ × 100 h, 0.77 MPa)压力降MPa ≤	0.010 5	0.029 8	SH/T 3025	
蒸发量(100 ℃, 24 h)/%	1.9	6.2	GB/T 7325	
水流失量(38 ℃, 1 h)/%	3.4	7.5	SH/T 0109	
腐蚀(T ₂ 铜片, 100 ℃, 24 h)	通过	通过	GB/T 7326	
四球试验	PB/N	1 981	490	GB/T 3142 SH/T 0189
	PD/N	2 540	1 569	
	磨斑直径/mm	0.45	0.47	

产品的主要理化性能及摩擦学性能评价数据,并与贺兰山风电场当前正在使用的产品进行对比。从表中数据可知:对比产品使用温度范围为-54~93 ℃,有良好的机械安定性、胶体安定性、氧化安定性、抗水性、抗磨性及小的蒸发损失,基本可以满足风电设备叶片轴承的润滑与防护要求,但该润滑脂的承载能力设计的较低,从而使叶片轴承存在意外擦伤损坏的可能性。昆仑风电设备叶片轴承专用润滑脂产品的上述性能测试结果与对比产品相当,并且特别在适用温度、氧化安定性及承载能力上进行了加强,从而在叶片轴承的润滑与维护方面具有更高的可靠性。

1.3 风电设备主轴承的润滑

风电设备主轴承通常为自调节球面滚子推力轴承,其套装在主轴上并承受转子由于重力及变曲运动所产生的转子推力。轴承直接使用螺栓连接到吊舱底盘并使用润滑脂润滑。大型风机的主轴承连接着重达几十吨叶片转子,并将风能转化的巨大的动力传递到齿轮箱;风力发电机主轴承承受的负荷较大,转速相对较慢,因此,除了与叶片轴承脂相同的要求外,还要求润滑脂具有良好的承载能力。主轴承对润滑脂的性能要求主要有:

(1) 宽的使用温度范围

如叶片轴承一样,主轴承的工作温度特点是启动时温度受环境温度影响,根据我国西北地区气候特点,要求润滑脂的最低有效工作温度至少在-30 ℃,但由于主轴承润滑设计所需的基础油粘度较大,而高粘度的基础油通常倾点较高,所以,在满足基础油粘度要求的前提下实现低倾点,是主轴承润滑脂制备的技术难点,采用优质高性能的合成基础油可望解决这一难题。

(2) 高的承载能力

主轴承的运行工况属低速重载,所以主轴承润滑脂应具有足够的极压性能,以有效避免摩擦件在重载或冲击载荷下发生擦伤及胶合;如果润滑剂油膜厚度不足以防止接触表面上微粒的金属摩擦,轴承寿命就会缩短。解决办法之一是使用通常所说的EP(极端压力)添加剂。由局部表面粗糙的接触引起的高温激活这些添加剂,导致在接触点发生轻微磨损。结果是表面更为平滑、接触应力降低和使用寿命延长。但很多高性能EP添加剂为硫/磷型,这些添加剂可能对轴承钢基体的强度有不利影响,其可能

在没有表面粗糙接触的情况下也起化学反应,而且可能导致通常由微小点蚀引起的轴承失效加速。如何在不使用具有腐蚀元素的前题下实现高承载性能是主轴润滑脂的技术关键。

(3) 优良的减摩性及低温启动性能

过多的摩擦不仅降低风能转化效率,而且会导致轴承温升超过设计正常运行温度,从而导致润滑失效并易造成轴承损坏。

(4) 优异的抗磨性能,以有效延长摩擦件的使用寿命

当前国内风电厂主轴承的润滑多使用SKF公司的LGWM 1润滑脂,它是一种极压低温脂,以矿物油为基础油,以锂皂为稠化剂,可适用于-30~110℃、低温、低速、重载的工况条件下工作,为此昆仑风电设备专用润滑脂产品克服国外润滑脂在风机主轴承润滑出现的问题,设计了风电设备主轴承专用润滑脂。该产品以高性能合成油为基础油,以特制金属皂为稠化剂,辅以多种高性能添加剂精制而成。本产品可在宽的温度范围内对风力发电机主轴承进行有效润滑及防护,可适应风电设备转子频繁低温启动及重载低速连续运行。

表3给出了昆仑风电设备主轴承专用润滑脂产品的主要理化性能及摩擦学性能评价数据,并与贺兰山风电场当前正在使用的产品进行对比。从表中数据可知:对比产品使用温度范围为-30~110℃,有

表3 昆仑风电设备主轴承专用润滑脂典型数据

项 目	测试数据		测试方法	
	昆仑产品	对比产品		
最高使用温度/℃	200	110	-	
最低使用温度/℃	-40	-30	-	
基础油	全合成	矿物油	-	
粘度 40℃/(mm ² ·s ⁻¹)	205	200	-	
粘度指数	140	79	-	
滴点/℃	300	182	GB/T 3498	
锥入度,1/10 mm	310	325	GB/T 269	
延长工作锥入度(10 ⁵ 次)差值,0.1 mm	+25	+30	GB/T 269	
钢网分油量(100℃,24 h)/%	1.68	4.66	SH/T 0324	
氧化安定性(99℃×100 h, 0.77 MPa)压力降 MPa ≤	0.015 4	0.065 4	SH/T 3025	
蒸发量(100℃,24 h)/%	0.9	6.2	GB/T 7325	
水淋流失量(38℃,1 h)/%	5.4	10.2	SH/T 0109	
腐蚀(T ₂ 铜片,100℃,24 h)	通过	通过	GB/T 7326	
四球试验	PB/N	988	696	GB/T 3142 SH/T 0189
	PD/N	5 390	5 390	
	磨斑直径/mm	0.55	0.63	

良好的机械安定性、胶体安定性、氧化安定性、抗水性、抗磨性及小的蒸发损失,可基本满足风电设备主轴承的润滑与防护要求,但该润滑脂采用矿物油作为基础油,粘度指数低、倾点高,最低使用温度较高,易造成低温启动困难,最高使用温度低,难以保证轴承意外升温情况下的润滑与防护;PB值较低,表明该润滑脂抗擦伤性能和减摩性能较差;磨斑直径较大,表明该润滑脂抗磨性能较差。昆仑风电设备主轴承专用润滑脂产品的上述性能测试结果优于对比产品,特别是在最低使用温度、最高使用温度、基础油的粘度指数、抗磨抗擦伤性能方面进行了加强,从而对主轴承的润滑与维护具有更高的可靠性。

1.4 发电机轴承的润滑

发电机轴承是发电机的主要润滑点,长期运转温度可达80℃以上,夏天在旷野地带受太阳直射,温度会更高。因此,要求发电机轴承润滑脂能够在高温下保持良好的润滑而不流失,即具有良好的高温性能,同时,为防止低温启动困难,发电机轴承润滑脂还应具有良好的低温性能。风电设备发电机的功率较大,因此还要求润滑脂具有良好的抗磨极压性能、抗氧化性能、防锈性能和长的使用寿命。

当前我国风电厂发电机轴承的润滑主要使用BEM41-132、FAG Arcanol L135v等国外产品,这些产品具有优异的性能,但价格较为昂贵。为此昆仑风电设备专用润滑脂产品根据国外润滑脂在风力发电机轴承润滑出现的问题,提高了发电机轴承的抗磨极压性能、抗氧化性能、防锈性能和长的使用寿命,设计了风电设备发电机轴承专用润滑脂。该产品以高性能合成油为基础油,以特制金属皂为稠化剂,辅以多种高性能添加剂精制而成,可在宽的温度范围内对发电机轴承进行有效润滑及防护,可适应风电设备发电机转子频繁低温启动及高温连续运行对轴承润滑脂的要求。

表4给出了昆仑风电设备发电机轴承专用润滑脂产品的主要理化性能及摩擦学性能评价数据,并与贺兰山风电场当前正在使用的产品进行对比。从表中数据可知:对比产品使用温度范围为-30~150℃,有良好的机械安定性、胶体安定性、氧化安定性、抗水性、极压抗磨性及小的蒸发损失,可满足风电设备发电机轴承的润滑与防护要求。昆仑风电设备主轴承专用润滑脂产品的上述性能测试结果与对比

表4 昆仑风电设备发电机轴承专用润滑脂的性能对比

项目	测试数据		测试方法	
	昆仑产品	对比产品		
最高使用温度/℃	200	150	-	
最低使用温度/℃	-40	-30	-	
基础油	全合成	矿物油	-	
粘度(40℃)/(mm ² ·s ⁻¹)	101	120	-	
粘度指数	142	116	-	
滴点/℃	315	308	GB/T 3498	
锥入度, 1/10 mm	276	285	GB/T 269	
延长工作锥入度(10 ³ 次)差值, 0.1 mm	+35	+70	GB/T 269	
钢网分油量(100℃, 24 h)/%	0.98	1.02	SH/T 0324	
氧化安定性(99℃×100 h, 0.77 MPa)压力降MPa ≤	0.020 3	0.043 8	SH/T 3025	
蒸发量(100℃, 24 h)/%	0.8	4.3	GB/T 7325	
腐蚀(T ₂ 铜片, 100℃, 24 h)	通过	通过	GB/T 7326	
四球 试验	PB/N	1 363	932	GB/T 3142
	PD/N	3 430	3 430	SH/T 0189
	磨斑直径/mm	0.39	0.39	

产品相当,并在最低使用温度、最高使用温度、基础油的粘度指数、抗擦伤性能方面进行了加强。

1.5 偏航系统的润滑

偏航系统可以使风轮扫掠面积总是垂直于主风向,虽然速度不高,但偏转轴承和齿轮承受的负荷较大,而且偏转齿轮一般为开式结构,由于没有发电机轴承运转速度快,自身产生热量相对少,因而受气候及环境影响大。偏航系统的润滑点主要有偏航系统轴承和齿轮,以及发电机组偏航减速机。其中偏航系统轴承和齿轮对润滑脂的要求主要有:

- (1) 极宽的使用温度范围,以保证偏航系统在各种气候条件下的正常工作;
- (2) 优异的防水及防腐蚀性能,以保证偏航系统各部件免受环境的侵蚀;
- (3) 极高的承载能力,以有效避免摩擦件在重载或冲击载荷下发生擦伤及胶合;
- (4) 优良的减摩性及低温启动性能,可使设备在较宽温度范围内以较小的扭矩启动及运行;
- (5) 优异的抗磨性能,可有效延长摩擦件的工作寿命。

当前我国风电厂偏航系统轴承和齿轮的润滑主要使用Optimol Optipit和Grafoscon A-G 1 Ultra等国外润滑脂产品,这些产品在极压抗磨性、防护性能上基本可满足偏航系统齿轮及轴承润滑的要求。但这些产品的一个不可忽视的缺点是低温性较差,

其所采用的基础油的倾点在-10℃左右。这就意味着,在我国西部地区冬季,风电设备偏航系统的润滑难以保证。为此昆仑风电设备专用润滑脂产品根据国外润滑脂在风机偏行系统润滑出现的问题,设计了风电设备偏航系统专用润滑脂。该产品以高性能合成油为基础油,以特制金属皂为稠化剂,辅以多种高性能添加剂精制而成,特别是含有高效减摩、抗磨及抗极压作用的新型润滑添加剂,可在非常宽的环境温度范围内及野外恶劣气候条件下对风电偏航轴承进行有效防护,可适应风电偏航轴承长期正常工作对减摩、抗磨及极压等润滑方面的要求。由于使用了具有自修复特性的新型高性能抗磨添加剂,长期使用本品可大大延长风电偏航轴承与齿轮的寿命。

表5、表6分别给出了昆仑风电设备偏航轴承与齿轮专用润滑脂产品的主要理化性能及摩擦学性能评价数据,并与贺兰山风电场当前正在使用的产品进行对比。从表中数据可知:对比产品最低使用温度分别为-10℃和-15℃,这样在我国北方风场的冬季就难以起到润滑作用,同时对对比产品的抗磨性能较差,长期使用易造成偏航轴承因润滑不良而磨损或损坏。昆仑风电设备偏航系统专用润滑脂产品在保证其他性能优于对比产品基础上,对最低使用温度、最高使用温度、基础油的粘度指数、抗擦伤性能方面进行了加强,从而更适合我国北方风电场风电设备偏航轴承的润滑与维护。

表5 昆仑风电设备偏航轴承专用润滑脂典型数据

项目	测试数据		测试方法	
	昆仑产品	对比产品		
最高使用温度/℃	200	140	-	
最低使用温度/℃	-30	-10	-	
基础油	全合成	半合成	-	
粘度(40℃)/(mm ² ·s ⁻¹)	3 980	3 520	-	
粘度指数	150	-	-	
滴点/℃	305	287	GB/T 3498	
锥入度, 1/10 mm	266	270	GB/T 269	
延长工作锥入度(10 ³ 次)差值, 0.1 mm	+27	+28	GB/T 269	
钢网分油量(100℃, 24 h)/%	0.21	0.32	SH/T 0324	
氧化安定性(99℃×100 h, 0.77 MPa)压力降MPa ≤	0.054 4	0.086 3	SH/T 3025	
蒸发量(100℃, 24 h)/%	0.8	4.3	GB/T 7325	
腐蚀(T ₂ 铜片, 100℃, 24 h)	通过	通过	GB/T 7326	
四球 试验	PB/N	1 294	834	GB/T 3142
	PD/N	2 940	2 940	SH/T 0189
	磨斑直径/mm	0.45	0.49	

表6 昆仑风电设备偏航齿轮专用润滑脂典型数据

项目	测试数据		测试方法	
	昆仑产品	对比产品		
最高使用温度/℃	200	150	-	
最低使用温度/℃	-30	-15	-	
基础油	全合成	矿物油	-	
粘度(40℃)/(mm ² ·s ⁻¹)	390	435	-	
粘度指数	147	72	-	
滴点/℃	305	252	GB/T 3498	
锥入度, 1/10 mm	320	342	GB/T 269	
延长工作锥入度(10 ⁵ 次差值, 0.1 mm)	+36	+38	GB/T 269	
钢网分油量(100℃, 24h)/%	1.59	2.34	SH/T 0324	
氧化安定性(99℃×100h, 0.77 MPa)压力降MPa ≤	0.010 9	0.035 2	SH/T 3025	
蒸发量(100℃, 24h)/%	0.5	2.3	GB/T 7325	
腐蚀(T, 铜片, 100℃, 24h)	通过	通过	GB/T 7326	
四球试验	PB/N	834	834	GB/T 3142
	PD/N	6 370	6 370	SH/T 0189
	磨斑直径/mm	0.50	0.76	

表7 昆仑风电偏航减速机专用油性能对比

项目	实测数据		试验方法	
	昆仑风电偏航减速机专用油	对比油品(国外)		
40℃运动粘度/(mm ² ·s ⁻¹)	321.6	302.8	GB/T 265	
(-25℃)运动粘度/(mm ² ·s ⁻¹)	62 251	大于70 000	GB/T 265	
粘度指数	154	235	GB/T 1995	
倾点/℃	-39	-42	GB/T 3535	
铜片腐蚀(100℃, 3h), 级	1b	1b	GB/T 5096	
机械杂质/(%) (m)	0.001	0.001	GB/T 511	
水分/(%) (m)	痕迹	痕迹	GB/T 260	
泡沫性/(mL·mL ⁻¹)				
24℃	0/0	-	GB/T 12579	
93.5℃	0/0			
后24℃	0/0			
表观粘度(-40℃)/(Pa·S)	500 000	扭矩大, 测不出	GB/T 11145	
氧化安定性(旋转氧弹法, 150℃)/min	744	802	SH/T 0193	
极压抗磨性能(四球机法)	PB值/N	1 667.1	1 510.2	
	PD值/N	3 089.1	1 961.3	GB/T 3142
	ZMZ/N	664.3	-	SH/T 0189
	D ₉₀ ⁹⁰ /mm	0.31	0.30	

宁夏贺兰山风力发电厂风力发电机组偏航减速机基本上全部采用进口油品润滑, 在使用时这些偏航减速机漏油严重, 造成减速机缺油, 蜗轮蜗杆系

尚属空白, 国外润滑油产品并不完全适合我国风电场

国内风电设备的润滑现状与“昆仑”风电设备润滑解决方案



作者：[续景](#)，[王晓波](#)，[张龙华](#)，[王会东](#)
作者单位：[中国石油兰州润滑油研究开发中心, 730060](#)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Conference_6768424.aspx

授权使用：东南大学图书馆(wfdndx)，授权号：651e7521-3e9d-4a85-b5f0-9e9700f613f5

下载时间：2011年2月27日