

[补充信息]

运行状态下风力机叶片涂层沙蚀磨损研究

王 健¹, 杜国正¹, 张 永^{1,✉}, 高 靖², 苏力德¹, 王超誉¹

1 内蒙古农业大学机电工程学院, 呼和浩特 010018;

2 内蒙机械动力研究所, 呼和浩特 010010

[Supplementary Information]

Research on Sand Erosion Wear of Wind Turbine Blade Coating in Operation State

WANG Jian¹, DU Guozheng¹, ZHANG Yong^{1,✉}, GAO Jing², SU Lide¹, WANG Chaoyu¹

1 College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2 Inner Mongolia Institute of Mechanical Power, Hohhot 010010, China

风力机缩微模型叶片制作

叶片长度、弦长及翼型厚度按照尺寸比例系数与 1.5 MW 风力机叶片原型一一对应。

叶片防护涂料采用聚氨酯底漆+聚氨酯面漆配套体系, 具体涂装过程: (1) 将聚氨酯漆、专用固化剂按 4:1 的比例进行调配, 搅拌混合均匀后静止熟化 20 min。(2) 对木胎叶片表面进行打磨, 确保表面光滑平整。(3) 在叶片涂装聚氨酯漆之前, 确保叶片干燥, 防止涂装后漆面起泡。(4) 在叶片表面均匀喷涂聚氨酯底漆并进行打磨, 打磨后的干膜厚度应处于 80~140 μm 。(5) 均匀喷涂聚氨酯面漆, 喷涂后面漆的干膜厚度处于 80~140 μm 。涂装完成后的涂层总干膜厚度应为 160~280 μm 。风力机叶片缩微模型成品如图 S1 所示。



图 S1 风力机叶片微缩模型成品

Fig.S1 Finished product of wind turbine blades miniature model

试验沙粒粒径分布

对试验用沙使用分级筛进行筛选并称重, 得到沙粒粒径分布情况, 如表 S1 所示。

表 S1 沙粒粒径分布

Table.S1 Particle size distribution of sand

Particle size/mm	Proportion/%
<1.0	2.943
1.0~1.2	25.048
1.2~1.5	63.734
1.5~2.0	7.838
>2.0	0.437

叶轮转速设置

试验中通过调节变频器控制电机的输出转速，进而调控叶轮的转速，同时采用接触式高精度转速表对叶轮实际转速进行测量。转速表如图 S2 所示，测量范围为 0.5~19 999 RPM，测量误差为±0.05%。



图S2 接触式高精度转速表

Fig.S2 Contact high-precision tachometer

冲蚀磨损量测试

在冲蚀磨损试验前后，清理叶片表面，通过精度为 0.01 g 的精密电子天平对试验叶片称重、记录，采用失重法确定叶片冲蚀后的失重量。

$$\Delta W = W_{\text{前}} - W_{\text{后}} \quad (1)$$

式中： ΔW 为涂层冲蚀磨损量； $W_{\text{前}}$ 为冲蚀磨损前叶片重量； $W_{\text{后}}$ 为冲蚀磨损后叶片重量。

运行状态下风力机叶片涂层风沙冲蚀磨损试验

试验中采用铸铁皮带轮作为轮毂传动轮，根据试验所选取的冲蚀区域，在冲蚀平台上相应位置进行固定，风力机缩微模型安装图如图 S3 所示。

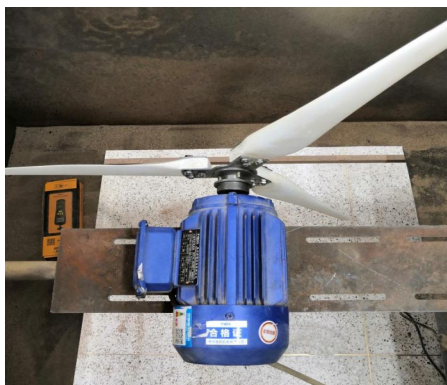


图 S3 风力机叶片缩微模型安装图

Fig.S3 Installation drawing of wind turbine blade miniature model

试验采用改进后的气流挟沙喷射冲蚀磨损试验台 XS-40, 对运行状态下的风力机缩微模型进行加速冲蚀磨损试验, 如图 S4 所示。



图 S4 气流挟沙喷射冲蚀磨损试验台 XS-40

Fig.S4 Air carrying sand jet erosion wear test bench XS-40

试验中来流挟沙风与叶轮旋转平面呈 90° 夹角。试验开展前应对风力机叶片缩微模型进行预冲蚀处理, 确定能测得涂层冲蚀磨损量的时间间隔, 并作为后期试验的测量间隔。预先去除紧固螺栓周边的叶片涂层, 并将其打磨光滑, 防止拆装过程发生涂层脱落造成试验误差。

微观形貌采集

试验采用日立 S-530 型扫描电子显微镜对磨损最严重的迎风面前缘和近后缘处进行表面磨损形貌观察, 喷金后的涂层试样如图 S5 所示, 较明亮部分为凸起, 较暗沉部分为凹陷。



图 S5 喷金后的涂层试样

Fig.S5 Coating sample after gold sprayin