



中华人民共和国国家标准

GB/T 25391—2010

风力提水机组技术规范

Technical specification of water-pumping wind-mill

2010-11-10 发布

2011-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 Ⅲ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 符号与缩写 5

5 机组的型号、分类..... 6

6 风力提水机组的技术要求 7

7 风力提水机组的试验方法..... 25

8 包装、运输 32

附录 A（资料性附录） 风力提水机组试验记录用表 34

前 言

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国风力机械标准化技术委员会(SAC/TC 50)归口。

本标准起草单位:水利部牧区水利科学研究所。

本标准主要起草人:吴永忠、程荣香、韩雪、刘惠敏、查咏、刘文兵、王世峰、张瑞强。

风力提水机组技术规范

1 范围

本标准规定了风力提水机组型号、技术要求、试验方法、包装运输等方面的内容。

本标准适用于 20 kW 以下、水平轴、机械传动或电传动的风力提水机组。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 197 普通螺纹公差(GB/T 197—2003,ISO 965-1:1998,MOD)

GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口(GB/T 985.1—2008,ISO 9692-1:2003,MOD)

GB/T 1032 三相异步电动机试验方法

GB/T 1095 平键键槽的剖面尺寸(GB/T 1095—2003,ASME B18.25.1M:1996,neq)

GB/T 1096 普通型平键(GB/T 1096—2003,ASME B18.25.1M:1996,neq)

GB/T 1184—1996 形状和位置公差 未注公差值(ISO 2768-2:1989,eqv)

GB/T 1220 不锈钢棒

GB/T 1527 铜及铜合金拉制管

GB/T 1804 一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差(GB/T 1804—2000,ISO 2768-1:1989,eqv)

GB/T 2816 井用潜水泵

GB/T 2818 井用潜水异步电动机

GB/T 2900.53 电工术语 风力发电机组(GB/T 2900.53—2001,IEC 60050-415:1999,IDT)

GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管(GB/T 3091—2008,ISO 559:1991,neq)

GB/T 3214 水泵流量的测定方法

GB/T 3216—2005 回转动力泵水力性能验收试验 1 级和 2 级(ISO 9906:1999,MOD)

GB 4208—2008 外壳防护等级(IP 代码)(IEC 60529:2001,IDT)

GB/T 4662 滚动轴承 额定静载荷(GB/T 4662—2003,ISO 76:1987,ISO 76/AMD.1:1999,IDT)

GB 4824 工业、科学和医疗(ISM)射频设备电磁骚扰特性限值和测量方法(GB 4824—2004,CISPR 11:2003,IDT)

GB/T 4942.1 旋转电机整体结构的防护等级(IP 代码)-分级(GB/T 4942.1—2006,IEC 60034-5:2000,IDT)

GB/T 5661 轴向吸入离心泵机械密封和软填料用空腔尺寸(GB/T 5661—2004,ISO 3069:2000,IDT)

GB/T 6391 滚动轴承 额定动载荷和额定寿命(GB/T 6391—2003,ISO 281:1990,ISO 281:1990/AMD.1:2000,ISO 281:1990/AMD.2:2000,IDT)

GB/T 7784 机动往复泵 试验方法

GB/T 10760.2—2003 离网型风力发电机组用发电机 第 2 部分:试验方法

GB/T 12467.1~GB/T 12467.4 焊接质量要求金属材料的熔化焊(GB/T 12467.1~GB/T 12467.4—1998,ISO 3834-1~ISO 3834-4:1994,IDT)

GB/T 12785 潜水电泵 试验方法

GB/T 19068.1—2003 离网型风力发电机组 第1部分:技术条件

GB 50057 建筑物防雷设计规范

JB/T 4297 泵产品涂漆技术条件

JB/T 5673 农林拖拉机及机具涂漆 通用技术条件

JB/T 5943—1991 工程机械 焊接件通用技术条件

JB/T 9615.2 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘试验限值

IEC 60364 建筑物电气装置

IEC 61000 电磁兼容性(EMC)

3 术语和定义

GB/T 2900.53 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

机座 frame

用来支撑塔架上方风力机所有设备及附件的部件。

3.2

回转体 axisymmetric body

指机座与塔架之间的连接件。

3.3

控制机构 control mechanism

接收风力机信息或环境信息,而后调节风力机,使其保持在工作要求范围内的子系统。

3.4

安全机构 safety mechanism

确保机组在设计范围内工作的机构。

3.5

设计极限 design limits

设计中使用的最大值或最小值。

3.6

风能利用系数 rotor power coefficient

风轮能够从自然风中得到的能量的百分比,按公式(1)定义:

$$C_P = \frac{1}{2} \times \frac{P}{\rho \pi R^2 V_\infty^3} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

C_P ——风能利用系数;

P ——风力机能够从自然风中得到的能量;

ρ ——空气密度;

V_∞ ——来流风速;

R ——风轮半径。

3.7

推力系数 thrust coefficient

推力系数按公式(2)定义:

$$C_T = \frac{1}{2} \times \frac{T}{\rho \pi R^2 V_\infty^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 C_T ——推力系数；
 T ——风轮所受的气动推力。

3.8

扭矩系数 torque coefficient

扭矩系数按公式(3)定义：

$$C_M = \frac{1}{2} \times \frac{M}{\rho \pi R^2 V_\infty^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 C_M ——扭矩系数；
 M ——风轮扭矩。

3.9

升阻比 lift-drag ratio

升阻比是指升力系数与阻力系数的比值。

3.10

叶尖速比 tip-speed ratio

风轮的叶尖线速度与来流风速的比值。

3.11

压力中心 pressure center

压力中心是指叶片上气动合力的作用点，它是空气动力合力作用线和弦线的交点，作用在压力中心上的力只有升力和阻力。

3.12

极大风速 extreme wind speed

t 秒内的平均最高风速，它可能是 N 年一遇。一般 $t=10$ 秒， $N=50$ 年。

3.13

叶片锥角 tilt angle of blade

是指叶片相对于和旋转轴垂直平面的倾斜角度。

3.14

风轮倾角 tilt angle of rotor shaft

是指风轮相对于和旋转轴平行的平面的倾斜角度。

3.15

体积流量 volume flow

单位时间内从泵出口排出并进入管路的液体体积。

3.16

入口总水头 inlet total water head

泵入口截面处液体的总水头为：

$$H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{\rho_1 g} + \frac{1}{2} \times \frac{v_1^2}{g} \dots\dots\dots (4)$$

式中：
下标“1”代表泵入口截面；
 H ——扬程；
 Z ——到基准面的距离；

p ——压力；
 v ——水的流速；
 g ——重力加速度。

3. 17

出口总水头 outlet total water head

泵出口截面处液体的总水头为：

$$H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{\rho_2 g} + \frac{1}{2} \times \frac{v_2^2}{g} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：
 下标“2”代表泵出口截面。

3. 18

扬程 lift

其值等于泵的出口总水头与入口总水头的代数差， $H = H_2 - H_1$ 。

3. 19

轴功率 shaft power

轴功率是原动机传递给泵轴上的功率。

3. 20

基准面 base level

通过由叶轮叶片进口边的外端所描绘的圆的中心的水平面。对于多级泵以第一级叶轮为基准，对于立式多级泵以上部叶片为基准。

3. 21

规定点 operating point

是指对于指定的泵，在设计制造时所给定的转速、流量、扬程、轴功率、汽蚀余量以及效率的值所对应的工况点。

3. 22

泵效率 pump efficiency

$$\eta = \frac{P_u}{P_s} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：
 η ——泵效率；
 P_u ——水泵的输出功率；
 P_s ——水泵的轴功率。

3. 23

型式数 type number

型式数是一个无因次量，由公式(7)定义：

$$K = \frac{1}{30} \times \frac{\pi \eta (Q')^{1/2}}{(gH')^{3/4}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中：
 Q' ——每一级吸入口的体积流量；
 H' ——泵的单级扬程。

注：型式数按规定点计算。

3. 24

容积效率 volumetric efficiency

扣除容积损失后泵的实际流出液体与流入液体的比值。

3.25

密封装置 **sealing device**

为防止液体流出泵外或空气流入泵内的而设在轴与泵壳之间的装置。

3.26

机械密封 **mechanical seal**

靠两个经过精密加工的端面(动环和静环)沿轴向紧密接触达到密封的装置。

3.27

软填料 **soft packing**

用非金属材料制成的填料为软填料。

3.28

汽蚀余量 **NPSH**

入口总水头加上相应于大气压力的水头,减去相应于汽化压力的水头。NPSH 与基准面有关。

3.29

有效汽蚀余量 **NPSHA**

在同一流量下有效的 NPSH 值,它由泵的安装条件确定。

3.30

必需汽蚀余量 **NPSHR**

在规定转速和流量下必需的 NPSH 值,它由设计制造时给出。

3.31

第一临界转速 **the first critical speed**

旋转部件的最低横向自然振动频率与旋转频率相一致时的转速。

3.32

最大允许工作压力 **maximum allowable working pressure**

泵在最恶劣工作条件下的极限压力。

3.33

额定压力 **rated pressure**

对某一给定的应用场合,在最恶劣工作条件下的极限压力。

3.34

轴向水推力 **axial thrust**

泵在起动或正常工作时,叶轮前、后盖板产生的压力差。

4 符号与缩写

4.1 本标准使用下列符号和单位:

A_b	桨叶的投影面积	$[m^2]$
A_f	尾舵面积	$[m^2]$
A_3	风轮回转面积	$[m^2]$
B	风轮叶片数	$[枚]$
C_M	扭矩系数	$[-]$
C_P	风能利用系数	$[-]$
C_T	推力系数	$[-]$
$F_{\text{风}}$	风轮气动推力	$[N]$

F_{ts}	塔架风压	[Pa]
g	重力加速度	[m/s ²]
H	扬程	[m]
H_0	参照高度,一般 H_0 为 10 m	[—]
I	时距 0.5 min 内的电流平均值	[A]
M	风轮扭矩	[N·m]
N	发电机输出功率	[W]
n_j	最佳转速	[r/min]
p	压力	[N/m ²]
P	风力机能够从自然风中得到的能量	[J]
P_o	水泵的输出功率	[W]
P_A	水泵的轴功率	[W]
Q'	每一级吸入口的体积流量	[m ³ /s]
R	风轮半径	[m]
T_{max}	拉线最大拉力	[N]
T	风轮所受的气动推力	[N]
Δt	时间坐标上每格代表的时间	[s]
U	时距 0.5 min 内的电压平均值	[V]
V_∞	来流风速	[m/s]
V_H	高度 H 处的风速	[m/s]
V_0	参考高度 H 处的风速	[m/s]
ΔV	轴向风速变化量	[m/s]
$\bar{V}$	平均风速	[m/s]
ϕ	空气动力系数	[—]
V_s	风轮中心处的暴风风速	[m/s]
W_1	A 处塔架抗弯截面模数	[cm ³]
Z	到基准面的距离	[m]
η	泵效率	[—]
σ_A	最危险断面的应力	[N/cm ²]
φ	折减系数	[—]
α	参考地面粗糙度影响的指数	[—]
ρ	空气密度	[kg/m ³]

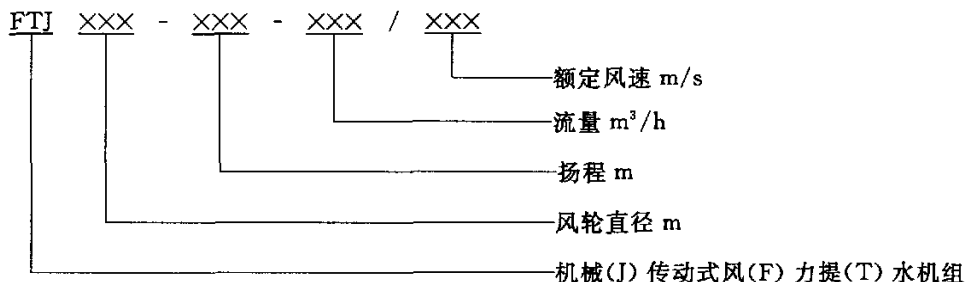
4.2 缩写

NPSH (net positive suction head)	汽蚀余量
NPSHa (net positive suction head available)	有效汽蚀余量
NPSHr (net positive suction head required)	必需汽蚀余量

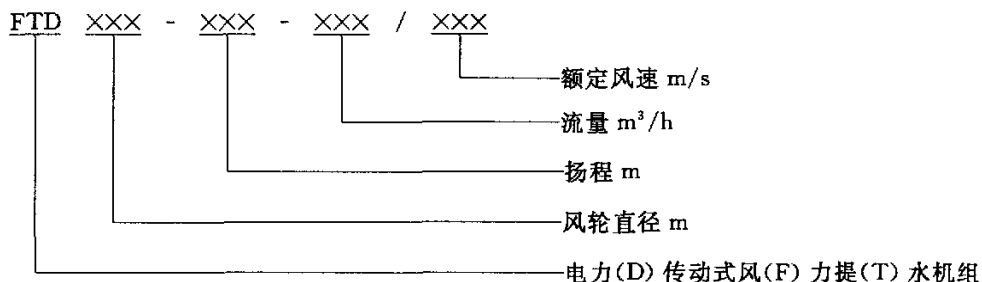
5 机组的型号、分类

5.1 机组的型号

5.1.1 机械传动式风力提水机组的型号由以下部分组成:



5.1.2 电力传动式风力提水机组的型号由以下部分组成：



5.2 机组的分类

5.2.1 按风力提水机组传动方式分类：

5.2.1.1 机械传动式风力提水机组：

- 1) 往复式风力提水机组；
- 2) 旋转式风力提水机组。

5.2.1.2 电力传动式风力提水机组：

- 1) 风力发电驱动直流电动机带动水泵的提水机组；
- 2) 风力发电驱动交流电动机带动水泵的提水机组。

5.2.2 按风力机风轮气动特性进行分类：

5.2.2.1 升力型风力提水机组。

5.2.2.2 阻力型风力提水机组。

5.2.3 按水泵类型进行分类：

5.2.3.1 离心泵风力提水机组：

- 1) 普通型离心泵风力提水机组；
- 2) 潜水电泵风力提水机组。

5.2.3.2 容积泵风力提水机组：

- 1) 活塞泵风力提水机组；
- 2) 隔膜泵、链管水车风力提水机组；
- 3) 螺杆泵风力提水机组；
- 4) 转子泵风力提水机组。

6 风力提水机组的技术要求

6.1 一般技术要求

6.1.1 环境条件

6.1.1.1 风况条件

6.1.1.1.1 风速风能

年平均风速大于等于 2.5 m/s ；年平均有效风能密度大于等于 300 W/m^2 ；年有效风速小时数大于

3 000 h;30 年一遇最大风速小于 40 m/s;盛行风向的风频应大于 40%,次盛行风向的风频应大于 25%。

6.1.1.1.2 风切变

风切变指数 α 的取值最大不超过 0.25。

6.1.1.1.3 阵风

阵风条件应满足:

- a) 最大瞬时风速的阵风因子一般取 1.5~1.7;
- b) 轴向风速变化量按公式(8)计算:

$$\Delta V = \pm (0.5 \sim 0.7) \bar{V} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

ΔV ——轴向风速变化量;

$\bar{V}$ ——平均风速。

- c) 风向变化角为 $\pm 30^\circ \sim \pm 45^\circ$;
- d) 安全风速沿海地区取 50 m/s,内陆地区取 40 m/s。

6.1.1.2 其他环境条件

至少应考虑下列其他环境条件,并将它们的作用在设计文件中阐明:

- 温度,一般为 $-30^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$;
- 湿度,最湿月份月平均最高相对湿度为 90%,同时该月月平均最低温度不高于 25°C 。

6.1.2 水质条件

提水使用的水质应满足下列要求:

- 城镇一般清水,如河水、湖水、池塘水、井水等;
- 水的温度不高于 40°C ;
- 固体物质含量(按质量计)不大于 0.01%;
- 固体物质颗粒不大于 0.2 mm;
- 酸碱度 pH 值在 6.5~8.5 之间;
- 硫化氢的含量不大于 1.5 mg/L;
- 氯离子的含量不大于 400 mg/L。

6.2 风力机—机械提水系统

6.2.1 风力机

风力机—水泵提水系统中风力机主要由以下部件构成,在设计文件中应对风力机各部件进行详细的设计说明:

- 风轮;
- 传动装置;
- 调向机构;
- 调速机构;
- 附属构件,包括机舱、机座、回转体、制动器、防雷装置。

6.2.1.1 风轮

6.2.1.1.1 直径系列:3.0,3.5,4.0,4.5,5.0,6.0,6.5,7.0,8.0,10.0(m)

6.2.1.1.2 风力机—水泵提水系统的额定风速和切入风速

风力机—水泵提水系统的额定风速宜为当地年平均风速的(1.5~2)倍。

风力机—水泵提水系统的切入风速宜不大于 4 m/s。

6.2.1.1.3 停机风速

风力机—水泵提水系统风力机的停机风速按下列要求选取:

- 匹配拉杆泵、螺旋泵、螺杆泵的低速风力机停机风速不低于 14 m/s。

——匹配离心式水泵的高速风力机停机风速不低于 18 m/s。

6.2.1.1.4 叶尖速比

叶尖速比与风轮叶片数的关系见表 1：

表 1 叶尖速比与风轮叶片数的关系表

叶尖速比	1~2	2~4	4~6		≥ 6
叶片数	8~24	6~12	3~6	2~4	2~3

风力机—水泵提水系统风力机叶尖速比的选取根据下列原则：

——匹配拉杆泵、螺旋泵的中低速风力机一般取 $\lambda=1\sim 2$ ；

——匹配离心泵的风力机要求转速较高，一般取 $\lambda=3\sim 5$ 。

6.2.1.1.5 翼型的选择

风力机叶片翼型的选择根据以下原则：

——升阻比高；

——失速平缓；

——压力中心随攻角变化小；

——翼型相对厚度满足结构设计和受力要求；

——工艺性好。

6.2.1.1.6 气动设计方法

气动设计计算应给出下列内容：

——叶片扭转角沿叶片展向的分布；

——叶片弦长沿叶片展向的分布；

——叶片剖面厚度沿叶片展向的分布。

为使制造工艺简单，对风轮气动特性要求不高的风力提水机，可采用等弦长的弧型板叶片。

6.2.1.1.7 风轮结构设计

风轮组成部件：

——叶片数少于 10 的低速风轮，应由轮毂、叶轴、叶片托板、叶片等部件组成。叶轴应布置在叶片迎风面以减少尾流损失。

——叶片数大于 10 的低速风轮，除设置轮毂、叶轴、叶片托板、叶片等部件，还应加设支撑杆系、双支撑圈或单支撑圈以保证风轮结构的稳定性。支撑杆系、叶轴应布置在叶片迎风面以减少尾流损失。

——匹配离心式水泵的高速风轮与风力发电用的风轮类似，由轮毂、叶轴和叶片组成。

6.2.1.1.8 轮毂

轮毂应由铸铁或钢板焊接而成；

铸钢轮毂不允许存在夹渣、缩孔、砂眼、裂缝等缺陷；

焊接的轮毂，焊缝必须经过超声波检查，还应考虑交变应力引起的焊缝疲劳。钢板的厚度由叶片能承受的最大离心力载荷确定。

6.2.1.1.9 桨叶与轮毂的连接

多叶片风力机的桨叶通过支撑圈、支撑杆系与轮毂连接。安装完成后，叶片应在同一平面内旋转。小型高速风力机桨叶与轮毂一般采用叶轴与风轮旋转轴垂直的刚性连接方式。桨叶与轮毂连接所用螺栓不仅材质要好，还应加垫双耳止动垫圈以锁定螺母。

6.2.1.2 调向机构——尾舵

尾舵调向机构的一般要求：

——当风向偏离风轮主轴 $10^\circ\sim 20^\circ$ 时，尾舵应能保证风轮及时的偏转对风；

- 应考虑风轮调向时对风力机载荷产生的影响,在尾翼上安装缓冲装置,使风轮平缓的跟踪风向;
- 尾舵形式、尾翼的面积、形状及尾杆的长度一般依据公式(9)、(10)、(11)并通过现场试验最终确定:

$$l \approx (0.4 - 0.6)D \dots\dots\dots (9)$$

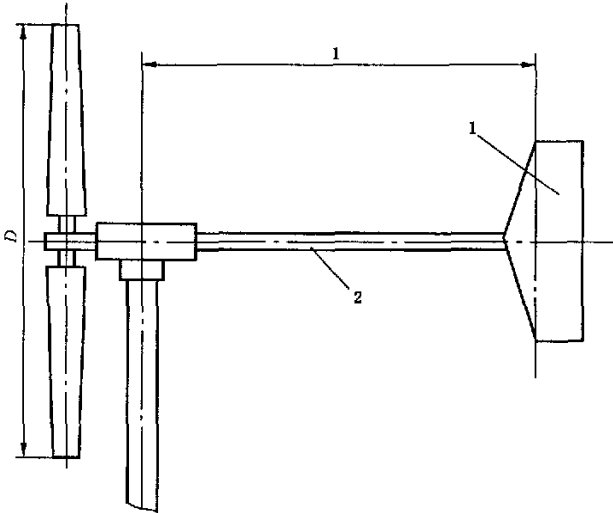
对于多叶片风轮: $A_f = (0.08 - 0.12)A_3 \dots\dots\dots (10)$

对于 2 ~ 4 叶片的风轮: $A_f = (0.03 - 0.05)A_3 \dots\dots\dots (11)$

式中:

- A_f ——尾舵面积;
- A_3 ——风轮回转面积;
- l ——塔架中心线到尾翼前端的距离;
- D ——风轮直径。

尾舵调向机构如图 1 所示。



- 1——尾翼;
- 2——尾杆。

图 1 尾舵调向机构结构示意图

6.2.1.3 调速机构

风力机应配备专门的调速机构,使其在安全风速范围内能够自动的限制风轮转速、控制风轮的功率输出。风力提水用中小型风力机的调速机构应符合下列规定:

- 当自然风的风速超过设计的额定风速时,调速机构应发挥作用。
- 调速机构应该能保证风力机安全运行的同时保持一定的输出功率。
- 采用变桨距调速时,应设置一个能保证所有桨叶都能同时动作的同步装置,避免叶片产生强烈振动。
- 采用风轮侧偏装置调速时,较多用到弹簧复位机构,应注意考虑弹簧的防腐、防锈处理;在盐雾较严重的地区,应使用配重机构替代弹簧复位机构。
- 使用弹簧复位机构时,弹簧复位力矩必须这样选择:在风轮侧偏力矩的联合作用下,使风轮偏转到一定的角度,在该角度、该风速下风轮仍能保持一定的输出功率。
- 采用风轮侧偏装置调速时,应注意考虑风轮陀螺力矩的影响。

——用弹簧平衡的铰接式尾舵,其尾杆的最危险断面在它与弹簧的连接处,应注意该点的强度校核。

6.2.1.4 附属构件

6.2.1.4.1 机舱

机舱设计应满足下列要求:

- 机舱要设计的轻巧、美观,下风向布置的风力机尤其要注重流线型;
- 应选用重量轻、强度高而又耐腐蚀的材料;
- 机舱的外表应作防腐、防锈处理;
- 机舱的设计应使得机舱内部的设备便于维修。

6.2.1.4.2 机座

机座设计应满足下列要求:

- 机座应满足一定的强度、刚度,并在此基础上力求耐用、紧凑、轻巧;
- 焊接处不应有未焊透、气孔、裂缝、烧穿、夹渣和造成降低强度的缺陷;
- 机座的外表应作防腐、防锈处理。

6.2.1.4.3 回转体

回转体设计应满足下列要求:

- 回转体一般由固定套、回转圈及轴承组成。
- 选用回转体轴承应考虑承受作用在回转体上的轴向载荷与径向载荷。

6.2.1.4.4 制动装置

机组应设置一套或多套制动装置,当自然风速超过安全风速或机组需要维修停机时,制动装置应发挥作用。其一般要求如下列规定:

- 制动装置应能使风轮由任意工作状态转入停止状态或空转状态;
- 至少有一套制动装置直接作用在低速轴上或风轮上;
- 解除制动应该有恰当的动作,解除制动不应导致机组重新起动,起动应单独进行。

6.2.1.4.5 防雷装置

防雷装置的设计按照 GB 50057 执行。

6.2.2 塔架

6.2.2.1 塔架的设计应符合下列要求

- 风力机塔架应能承受相当于设计值的最大载荷(包括安全系数);
- 塔架的零部件应由能满足使用要求的材料制造;
- 应提供全部螺栓和紧固装置,给出拧紧力矩说明,如有需要,应提供合适的拉索,明确规定拉紧方法;
- 塔架焊接作业的质量保证应根据 GB/T 12467.1~GB/T 12467.4 执行;不允许在接头表面出现不合要求的裂缝、切割缺陷或其他裂痕;
- 塔架及其零部件外部表面应进行防护处理,保证塔架不受环境的腐蚀,保证各部件之间不产生电解腐蚀;
- 应考虑将塔架制成分段式结构,以便于运输、安装及批量生产。

6.2.2.2 塔架高度

塔架高度的最低限度值应按公式(12)计算:

$$H = h + c + D/2 \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

H ——塔架高度;

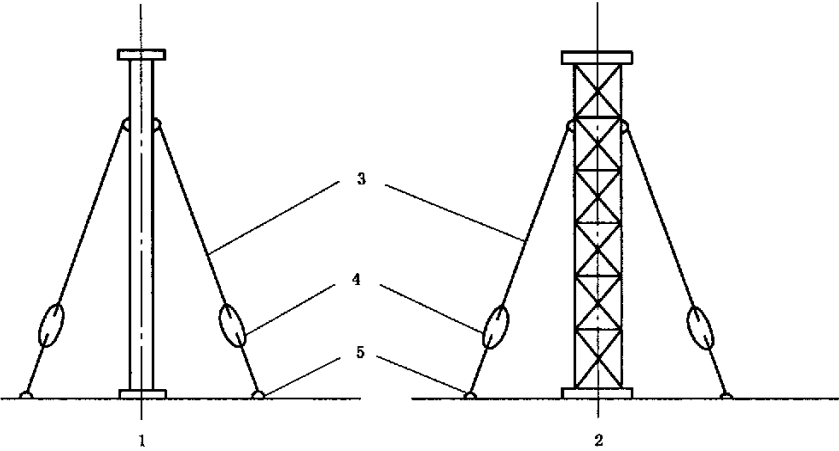
h ——接近风力机障碍物的高度;

c ——障碍物到风轮最低点的距离。

风力机——水泵提水机组的风力机多为低速风力机,推荐的塔架高度系列:6 m,7 m,9 m,10 m,12 m,14 m,15 m,18 m,21 m。

6.2.2.3 塔架形式

微、小型风力机塔架多采用单管拉线式和桁架拉线式,并分别配有 3~4 根拉线。如图 2 所示。



- 1——单管拉线式;
- 2——桁架拉线式;
- 3——拉线;
- 4——花兰螺栓;
- 5——地锚。

图 2 单管拉线式和桁架拉线式塔架

6.2.2.4 塔架载荷

6.2.2.4.1 总则

应考虑与塔架强度计算有关的两种载荷:作用在风轮上的气动推力、塔架本身所承受的最大风压。以上两种载荷均应按暴风工况进行考虑,以保证塔架的安全性。

6.2.2.4.2 作用在风轮上的气动推力的计算

作用在风轮上的气动推力,推荐用公式(13)计算

$$F_{\text{风}} = \frac{1}{2} \times C_t \rho V_s^2 A_b B \phi \dots\dots\dots (13)$$

式中:

- $F_{\text{风}}$ ——风轮气动推力;
- C_t ——推力系数;
- A_b ——桨叶的投影面积;
- B ——风轮叶片数;
- ϕ ——空气动力系数,当系统的最低自振频率 >2 Hz 时, $\phi=1$;
- V_s ——风轮中心处的暴风风速。

6.2.2.4.3 塔架风压的计算

塔架风压的计算,推荐用公式(14)计算

$$F_{\text{风}} = \frac{1}{2} \times \rho V_s^2 A_t \phi \dots\dots\dots (14)$$

式中:

F_{ts} ——塔架风压;

A_t ——塔架的投影面积,单位为平方米(m^2);

ϕ ——空气动力系数,圆柱密闭塔架 $\phi=0.7$,桁架塔架 $\phi=1.4$ 。

6.2.2.4.4 塔架强度校核

a) 拉线式塔架最危险断面在拉线与塔架的连接处,如图3中A点所示。

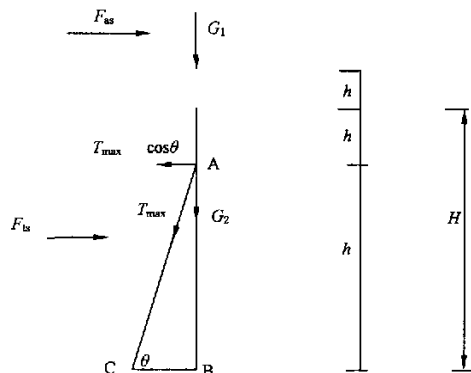


图3 拉线式塔架最危险断面在拉线与塔架的连接处

b) 拉线式塔架拉线最大拉力的计算应按作用到塔架上的负载只由一根拉线来承担计算,具体应按公式(15)计算:

$$T_{\max} = \frac{F_{ts}(h_1 + H) + F_{ts}H/2}{h_2 \cdot \cos\theta} \quad (15)$$

式中:

$T_{\max}$ ——拉线最大拉力;

h_1 ——风轮中心到风轮顶端的距离;

h_2 ——A点上部塔架的高度;

θ ——拉线与地面间的夹角;

H ——塔架总高度,见图3。

c) 最危险塔架断面的A处的应力按公式(16)计算:

$$\sigma_A = \frac{F_{ts}(h_1 + h_2) \times 100}{W_1} + \frac{G_1}{\phi_1 A_1} \quad (16)$$

式中:

σ_A ——最危险断面的应力;

G_1 ——A点上方所受的总重力;

A_1 ——A处塔架的截面积;

ϕ ——折减系数;

W_1 ——A处塔架抗弯截面模数。

6.2.3 配套水泵

6.2.3.1 拉杆泵

6.2.3.1.1 与风力机配套的拉杆泵按结构特点分为以下两种形式:

——单作用式拉杆泵;

——双作用式拉杆泵。

6.2.3.1.2 拉杆泵基本参数如下:

拉杆泵泵缸直径系列:

45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm, 120 mm, 160 mm, 200 mm, 250 mm, 320 mm, 400 mm, 500 mm。

拉杆泵活塞行程系列:

100 mm, 120 mm, 140 mm, 160 mm, 180 mm, 210 mm, 240 mm, 270 mm。

6.2.3.1.3 拉杆泵与风力机在正常的匹配条件下,在额定风速时,其主要性能指标应符合表 2 的规定。

表 2 性能指标

项 目	性能指标
容积效率	≥ 0.90
泵效率	不低于设计值的 0.98
流量	不低于设计值的 0.95
扬程	不低于设计值
首次故障前平均工作时间	$\geq 1\,000\text{ h}$

6.2.3.1.4 与风力机配套的拉杆泵主要由进水滤网、进水接头、上活塞总成、下活塞总成、泵缸、泵杆、泵管等部件组成。下活塞总成由阀座、阀门、皮碗和下活塞等零件构成。

a) 拉杆的主要技术要求:

- 所用材料的机械性能应符合 GB/T 3091 中规定的不带螺纹普通钢管的机械性能;
- 拉杆焊合件,两端的螺纹应在焊接后加工,其轴线同轴度的公差等级应符合 GB/T 1184 中规定的 12 级;外螺纹公差带为 GB/T 197 中规定的 6 h,内螺纹公差带为 GB/T 197 中规定的 6 H。

b) 泵缸应符合下列技术指标:

- 所用材料的机械性能应符合 GB/T 1527 中规定的拉制 H62 Y2 的机械性能;
- 泵缸内表面上活塞工作段,其轴线直线公差度等级应符合 GB/T 1184 中规定的 9 级,表面粗糙度参数为 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 。

c) 活塞总成的技术指标:

- 阀门与泵杆应采用机械性能符合 GB/T 1220 中规定的 2Cr13 钢制造;
- 阀门与阀座工作表面必须配对研磨,接触表面粗糙度参数值为 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 。

6.2.3.1.5 泵体装配前应进行防锈处理,用普通钢材或铸铁制作的零件,其配合表面应涂防锈油脂,非配合表面涂漆,涂漆要求应符合 JB/T 5673 的规定。

用普通钢材制作的进水滤网、螺钉、螺母等零部件应镀锌防锈。

6.2.3.1.6 各零部件的焊接应符合下列要求:

- 碳钢和低合金钢零件的焊接形式及尺寸应符合 GB/T 985.1 的规定;
- 焊缝不应有未焊透、气孔、裂缝、烧穿、夹渣和造成降低强度或密封性能的缺陷;
- 焊条应根据所焊零件的强度或化学成分来选择。

6.2.3.1.7 拉杆泵装配应符合下列规定:

- 所有零部件必须经检验合格方可进行装配;
- 皮碗必须在清水中浸泡 24 h 后方可进行装配;
- 所有螺栓、螺母应拧紧,并加垫止动垫圈。

6.2.3.1.8 拉杆泵的试验应按下列规定执行:

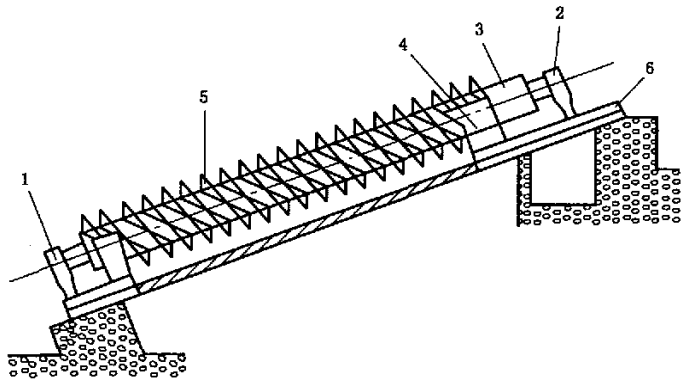
- 对泵管、管接头、阀门与阀座应作水压实验和密封检查;
- 对泵管、管接头作水压实验,实验压力为工作压力的 1.5 倍,保持压力 5 min,不应有泄露现象;
- 对阀门与阀座应进行密封检查,在无外界附加压力作用下,注水保持 5 min,不应有渗漏显现;

- 按照 GB/T 7784 中的规定对拉杆泵的容积效率、泵效率进行试验,并用容积法测量流量;
- 拉杆泵的扬程按现场实际工作状况进行测量,测量自活塞行程中点的水平面至出口的垂直距离;
- 记录拉杆泵自安装运行开始至首次出现故障的累计工作时间。

6.2.3.2 螺旋泵

6.2.3.2.1 螺旋泵组成

螺旋泵由泵轴、上轴承座、下轴承座、外支架、泵壳、螺旋叶片组成。其结构如图 4 所示。



- 1——下轴承座;
- 2——上轴承座;
- 3——泵轴;
- 4——泵壳;
- 5——旋转叶片;
- 6——外支架。

图 4 螺旋泵结构示意图

6.2.3.2.2 螺旋泵基本参数

螺旋泵基本参数见表 3 规定。

表 3 螺旋泵基本参数

螺旋泵外缘直径 mm	转速 r/min	流量 L/s	
		安装角 30°时(标准)	安装角 38°时(最大)
300	112	14	10.5
400	92	26	20
500	79	46	34
600	70	69	52
800	58	135	100
1 000	50	235	175

注 1: 表中流量是指螺旋泵外缘直径与泵轴直径之比为 2 : 1 时的流量。
注 2: 表中流量是指螺旋叶片为三头时的流量,二头与一头时的流量分别为三头的 0.8 与 0.64 倍。

6.2.3.2.3 螺旋泵的最佳转速与工作转速

螺旋泵的最佳转速按公式(17)计算:

$$n_j = \frac{50}{\sqrt[3]{D}}$$

.....(17)

式中：

- n_j ——最佳转速；
- D ——螺旋泵外缘直径。

螺旋泵的工作转速 n 应按公式(18)的范围确定：

$$0.6\eta_i < n < 1.1\eta_i$$

.....(18)

6.2.3.2.4 螺旋泵轴承的技术要求

螺旋泵轴承应符合下列技术要求：

- 轴承或轴承座设计要考虑因泵轴温度变化而引起的轴向移动，轴承设计寿命不低于 100 000 h，水下轴承寿命不低于 50 000 h；
- 轴承可以使用润滑脂非强制润滑，水下轴承也可以使用强制润滑；
- 轴承座与外部相通的空隙应设有防止污物和污水的密封装置。

6.2.3.2.5 螺旋泵联轴器技术要求

螺旋泵应选用弹性联轴器，联轴器应与输出轴的最大扭矩和最大转速相适应。

6.2.3.2.6 螺旋泵叶片技术要求

螺旋泵叶片为阿基米德螺旋面，不应有明显的翘曲，其导程和螺距尺寸误差不低于 GB/T 1804 中 Js18 所规定的公差。

6.2.3.2.7 螺旋泵焊接技术要求

焊接件各部分焊缝不应有未焊透、气孔、裂缝、烧穿、夹渣和造成降低强度或密封性能的缺陷，其焊接质量应符合 JB/T 5943 的要求；

- 金属焊接件焊缝强度不得低于母体材料强度；
- 焊条应根据所焊零件的强度或化学成分来选择。

6.2.3.2.8 螺旋泵装配要求

泵装配应符合下列规定：

- 所有零部件必须经检验合格方可进行装配；
- 上、下轴头与泵体连接后，应保证同轴度，其形位公差应符合 GB/T 1184—1996 表 2 中 C 级规定；
- 泵轴与动力输出轴线应保证同轴度，其形位公差同轴度应符合 GB/T 1184—1996 表 2 中 B 级的规定；
- 所有螺栓、螺母应拧紧，并加垫止动垫圈。

6.2.3.2.9 螺旋泵防锈处理

泵体装配前应进行防锈处理；

用普通钢材或铸铁制作的零件，其配合表面应涂防锈油脂，非配合表面涂漆，涂漆要求应符合 JB/T 5673 的规定；

用普通钢材制作的螺钉、螺母等零部件应镀锌防锈。

6.2.3.2.10 螺旋泵可靠性要求

- 每年检修一次，无故障工作时间不得少于 8 000 h；
- 整机的使用年限不得少于 10 年。

6.2.3.2.11 螺旋泵试验

空载试验时泵轴可水平安装，连续运行时间不少于 2 h，并符合下列要求：

- 泵轴转速应符合设计要求；
- 上下轴承运转中不得有异常响声；

——轴承温升不得超过 35 ℃。

其他试验包括流量、提升高度、轴功率和效率的水泵性能试验。试验方法如下：

——流量的测量应符合 GB/T 3214 的规定；测量提升高度时，可将进水水位调至最佳进水水位，根据进水水位和出水水位之差求得提升高度；

——轴功率应通过测定转速和扭转力矩得出；

——转速的测量可用直接显示的数字仪表测出测量时间内的转数；

——测量扭转力矩可采用天平式测功计和扭转式测功计，测量扭转力矩时应同时测定转速；按泵的规定点轴功率选用天平式测功计和扭矩传感器，其值应在测功计或扭矩传感器额定值的 1/3 以上；

——水泵效率按公式(19)、(20)计算：

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$P_u = \rho Q H g \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

Q——水泵的体积流量；

H——水泵的扬程。

试验测量的不确定度应符合 GB/T 3216—2005 中 6.2 的要求。

6.2.3.3 离心泵

6.2.3.3.1 概述

离心式水泵要求转速较高，一般与高速风力机配套使用。与高速风力机配套使用的离心式水泵应符合本节所规定的技术要求。

6.2.3.3.2 汽蚀余量(NPSH)

NPSH_r 应按 GB/T 3216 规定的常温清水为基础来确定。NPSH_a 必须比 NPSH_r 大一个余量，该余量至少为 0.5 m。

6.2.3.3.3 性能曲线

离心式水泵应给出相应的性能曲线，表示出水泵容许的工作范围。

6.2.3.3.4 临界转速

在工作条件下，当连接到风力机上时转子的实际第一横向临界转速至少应超过(包括气轮机驱动泵的自停转速在内)最高许可连续转速的 10%。

6.2.3.3.5 承压件

水泵的承压件应符合下列技术要求：

——应明确规定水泵的最大允许工作压力，泵的额定压力不得超过泵法兰的公称压力；

——泵由铸铁、球墨铸铁、碳钢或不锈钢制造时，在常温下的基本设计压力应至少是 0.6 MPa；

——对于抗拉强度要求不允许达到额定值 0.6 MPa 的材料，应根据材料的应力-温度额定值调整其压力-温度额定值，并加以明确说明；

——低扬程水泵可以有较低的压力-温度额定值；

——泵的承压壳体(包括轴封箱、填料压盖、密封压盖在内)，应有适当的厚度使之能在工作温度下经受住最大允许工作压力和水压试验压力；

——泵体垫的设计应适合于额定工作条件和环境温度下的水压试验条件；

——连接承压件的螺栓和螺柱的选择应适合于最大允许工作压力。

6.2.3.3.6 叶轮

水泵叶轮的设计：

——风力提水用离心式水泵叶轮宜采用闭式叶轮；

——水泵叶轮应加以固定以防止其按指定方向旋转时沿周向或轴向移动。

6.2.3.3.7 运行间隙

确定静止件和旋转件之间的运行间隙时,应考虑工作条件和零件的材料性能(如硬度、抗摩擦性),间隙的大小应能防止在工作条件下相互接触,使卡住的危险性减至最小。

6.2.3.3.8 轴和轴套

轴的尺寸和刚性的设计应考虑下列因素:

- 风力机的额定功率;
- 使填料和密封工作状态良好;
- 起动方法及其相关的负荷;
- 磨损和卡住的危险性。

填料函密封区域的表面粗糙度应使机械密封和填料密封均能处于良好的工作状态。

密封区域轴或轴套的直径应符合 GB/T 5661 的规定。

轴和轴套的制造和装配应使通过填料函外端面径向平面处的径向跳动值满足表 4 的要求。

轴承允许的转子轴向位移不得对机械密封性能产生有害的影响。

表 4 径向跳动值

公称外径	径向跳动值
<50 mm	≤50 μm
50 mm~100 mm	50 μm~100 μm
>100 mm	≤100 μm

6.2.3.3.9 轴承

水泵轴承应符合下列技术要求:

- 风力提水用离心式水泵通常使用标准类型的滚动轴承;
- 应按照 GB/T 4662 和 GB/T 6391 的要求计算和选用滚动轴承;
- 水泵在允许工作范围内运行时的基本额定寿命不小于 10 000 h;
- 使用说明中应说明润滑剂的种类、剂量和使用次数;
- 轴承箱应能防止杂质的侵入和润滑剂的流失。

6.2.3.3.10 轴封

轴封的技术要求:

- 轴封装置允许使用机械密封和软填料;
- 密封腔尺寸应符合 GB/T 5661 的规定;
- 应提供足够的空间使之无须移动或拆卸填料压盖部件和防护装置外的任何零件即可更换填料(包括压紧填料);
- 填料压盖应能经受住压紧填料所需的力;
- 机械密封的水压试验压力不得超过极限密封压力;
- 应选择合适的密封元件,能经受腐蚀、磨损和机械应力。

6.2.3.3.11 焊接要求

焊接件各部分焊缝不应有未焊透、气孔、裂缝、烧穿、夹渣和造成降低强度或密封性能的缺陷,其焊接质量应符合 JB/T 5943 的要求;

金属焊接件焊缝强度不得低于母体材料强度;

焊条应根据所焊零件的强度或化学成分来选择。

6.2.3.3.12 防锈处理

泵体装配前应进行防锈处理;

用普通钢材或铸铁制作的零件,其配合表面应涂防锈油脂,非配合表面涂漆,涂漆要求应符合 JB/T 5673 的规定;

用普通钢材制作的螺钉、螺母等零部件应镀锌防锈。

6.2.3.3.13 离心泵试验

关于离心泵试验方法有下列规定:

- 离心泵的承压件应做水压试验,试验压力至少是基本设计压力的 1.3 倍。
- 泵的水力性能试验(包括流量、提升高度、轴功率和效率的测量)按本标准 6.2.3.2.11 中第 2 款的相关规定执行。
- 离心泵应做汽蚀试验,汽蚀试验方法见 GB/T 3216—2005 中 11 的规定。

6.2.4 机组控制和安全机构的要求

6.2.4.1 机组的控制机构

机组对工作的控制应包含风力机转速控制、调向控制、安全控制及水泵的工作控制。

控制机构可控制的功能或参数如下:

- 风轮转速;
- 风轮迎风调节;
- 风力机输出功率范围;
- 机组的启动和关车过程。

6.2.4.2 机组的安全机构

由于控制机构失效或发生危险导致机组不能正常工作时,安全机构应该起作用。安全机构应能满足如下要求:

- 安全机构应设计为独立的机构,当机组出现故障时安全机构应能独立正常的工作;
- 应设有两套以上的安全机构,每一套都能独立的保证机组在设计极限范围内运行;
- 安全机构在下列情形下应该起作用:风力机超速运转;风力机过分振动;
- 机组应配有防雷装置;
- 控制和安全机构功能冲突时,应优先考虑安全机构;
- 风力机应设计有制动装置,在必要时可使风力机应急刹车,并使制动装置及机组其他部件不产生不可修复的破坏。

6.3 风力发电—电泵提水系统

6.3.1 风力发电机

6.3.1.1 风力发电机部件构成

风力发电机主要由以下部件构成,在文件中应对各部件进行详细的设计说明:

- 风轮;
- 发电机;
- 传动装置;
- 调向机构;
- 调速机构;
- 附属构件,包括机舱、机座、回转体、制动器、防雷装置。

6.3.1.2 基本参数

6.3.1.2.1 额定风速和切入风速

风力发电—电泵提水系统的额定风速应为当地年平均风速的 1.5~2 倍。

风力发电—电泵提水系统的切入风速应不大于 4 m/s。

6.3.1.2.2 停机风速

风力发电—电泵提水系统风力机应选择高速风力机,停机风速不低于 18 m/s。

6.3.1.2.3 叶尖速比

风力发电—电泵提水系统的风力机为高速风力机,叶片数取2~3,叶尖速比 $\lambda \geq 5$ 。

6.3.1.2.4 翼型的选择

风力机叶片翼型的选择根据以下原则:

- 升阻比高;
- 失速平缓;
- 压力中心随攻角变化小;
- 翼型相对厚度满足结构设计和受力要求;
- 工艺性好。

6.3.1.3 气动设计方法

推荐采用 Wilson 设计方法或在此方法基础上加以改进的可靠的设计方法,通过计算确定叶片的气动外形。

气动设计计算应给出下列内容:

- 叶片扭转角沿叶片展向的分布;
- 叶片弦长沿叶片展向的分布;
- 叶片剖面厚度沿叶片展向的分布。

6.3.1.4 风力机气动性能参数

应在不同的叶尖速比 λ 下计算各项气动性能参数,并绘制出相应的关系曲线:

- 风能利用系数 C_P ;
- 扭矩系数 C_m ;
- 风轮轴向推力系数 C_t 。

6.3.1.5 风力发电机机组额定功率系列

风力发电—电泵提水系统的风力发电机额定功率有以下系列:

0.5 kW, 1.0 kW, 2.0 kW, 3.0 kW, 5.0 kW, 10 kW, 15 kW, 20 kW。

6.3.1.6 风轮

6.3.1.6.1 推荐风轮直径

3.0 m, 3.5 m, 4.0 m, 4.5 m, 5.0 m, 6.0 m, 6.5 m, 7.0 m, 8.0 m, 10.0 m。

6.3.1.6.2 风轮结构

风轮主要由轮毂、叶片、叶轴及桨柄构成。

桨叶与轮毂一般采用叶轴与风轮旋转轴垂直的刚性连接方式,可采用辐射式或切线式连接方式。桨叶与轮毂连接所用螺栓不仅材质要好,还应加垫双耳止动垫圈以锁定螺母。

6.3.1.6.3 风轮装配

风轮装配完成后应满足下列平衡要求:

- 静力平衡。要求各叶片重量相同,且各自重心与轴心距离相同。
- 动力平衡。要求各叶片不仅重心与轴心距离相同,而且各叶片重心应在同一平面内。
- 空气动力平衡。要求各叶片相同半径处安装角一致,尤其应注意各叶片0.75R处的安装角一致(R为风轮半径)。

6.3.1.7 发电机

6.3.1.7.1 发电机宜采用转子以永磁材料或直流励磁电磁铁制成的三相交流同步发电机。

6.3.1.7.2 发电机应满足以下技术要求:

- 发电机的工作转速范围:1 kW以下(含1 kW)工作转速为65%~150%的额定转速,2 kW以上(含2 kW)工作转速为65%~125%的额定转速;
- 在65%的额定转速下,发电机的空载电压应不低于额定电压;

- 当发电机在额定电压下并输出额定功率时,其转速应不大于 105% 的额定转速;
- 在最大工作转速下,发电机应能承受输出功率增大至 1.5 倍额定值的过载运行,历时 5 min;
- 发电机在空载情况下,应能承受 2 倍的额定转速,历时 2 min,转子结构不发生损坏及有害变形;
- 发电机额定运行时,其输出交流电压的频率不小于 20 Hz;
- 发电机连接线应符合 GB/T 19068.1 的规定;
- 发电机应能承受短路机械强度试验而不发生损坏及有害变形,试验应在发电机空载转速为额定转速时进行,历时 3 s;
- 在空载条件下,发电机的起动阻力矩应不大于表 5 的规定;

表 5 最大起动阻力矩

功率/kW	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	7.5	10	15	20
最大起动阻力矩/N·m	1.0	1.5	2.5	3.0	4.5	6.0	7.5	10	13

- 发电机定子绕组应能承受历时 1 min 的耐电压试验而不发生击穿,试验电压有如下规定:试验电压频率为 50 Hz,尽可能为正弦波形;
- 对功率小于 1 kW 且额定电压低于 100 V 的发电机,试验电压的有效值为 500 V+2 倍额定电压;其余,试验电压的有效值为 1 000 V+2 倍额定电压;
- 发电机定子绕组应能承受匝间冲击耐电压试验而不击穿,其试验冲击电压峰值按 JB/T 9615.2 的规定;
- 发电机的外壳防护等级不低于 IP54(见 GB/T 4942.1)。

6.3.1.7.3 发电机的外壳防护试验,除应符合 GB/T 4942.1 的规定外,还应满足下列要求:

- 经防尘试验后,轴承无沙尘进入;
- 经防水试验后,接线盒、轴承及端盖止口部位不应有水进入;
- 发电机应能承受-25℃的耐低温试验。在试验温度下,轴承润滑脂不得凝固,发电机应能正常起动,发电机的全部零部件及引出线不应有开裂现象。发电机的起动阻力矩应不大于常温下起动阻力矩的 2 倍;
- 发电机的端盖止口等结合面应涂有防锈油脂或半干性密封胶油;
- 发电机表面应喷涂防腐漆,油漆表面干燥完整,无污损、裂痕等现象;
- 发电机应具有六个出线端。从轴伸端视之,发电机的接线盒应置于机座右侧或顶部,2 kW 及以下的发电机也可以制成三个出线端,在不影响防护性能的条件下直接从机壳下部引出;
- 发电机运行时,从轴伸端视之,其旋转方向宜为顺时针。

6.3.1.7.4 发电机试验方法按 GB/T 10760.2 执行。

6.3.1.8 传动装置

风力发电—电泵提水系统,风轮与发电机可采用齿轮箱连接,也可以使风轮与发电机直接相连。对系统的传动装置一般有下列要求:

- 发电机功率 5 kW 以下(包含 5 kW),风轮直接驱动发电机;发电机功率在 5 kW 以上时,也可由风轮通过齿轮箱驱动发电机;
- 风轮直接驱动发电机时,发电机轴伸采用锥度为 1:10 的圆锥形轴伸;
- 应注意主轴螺纹的旋向,保证运转过程中的惯性力使轴端螺母越转越紧;如果顺风看,风轮顺时针旋转,则锁定风轮用的轴端螺母采用左旋螺母;反之,则采用右旋螺母;
- 锁定风轮用的轴端螺母应加垫止动垫圈;
- 主轴上的推力轴承应按风轮在运行中所承受的最大气动推力来选取;
- 使用齿轮箱时,在传动链所有工作范围内,传动轮系、轴系不得发生共振;

- 齿轮箱应有必要的设备保证其充分润滑和冷却；
- 传动部件材料的选择应考虑强度、塑性、韧性三方面的综合机械性能；
- 齿轮箱输入、输出轴与壳体之间必须采用动密封措施，以防止润滑油泄漏；
- 所有传动部件均应进行防腐、防锈处理。

6.3.1.9 调向机构

按照 6.2.1.2 的规定执行。

6.3.1.10 调速机构

按照 6.2.1.3 的规定执行。

6.3.1.11 附属构件

按照 6.2.1.4 的规定执行。

6.3.2 风力机塔架

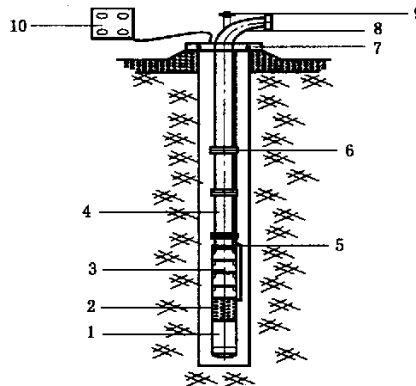
按本标准 6.2.2 所规定的内容执行。

6.3.3 配套水泵

6.3.3.1 配套水泵组成

风力发电—电泵提水系统中，与风力发电机配套的水泵主要是并用潜水电泵。如图 5 所示，并用潜水电泵由泵工作部件、电动机、扬水管、防水电缆、泵座、控制开关及相关的附件组成。

相关的附件包括：电缆卡子、电缆防护罩、电缆接头材料、闸阀、空气阀密封垫等。



- | | |
|-----------|-----------|
| 1——电动机； | 6——电缆卡子； |
| 2——滤水网； | 7——泵座； |
| 3——泵工作部件； | 8——弯头； |
| 4——扬水管； | 9——放气阀； |
| 5——防水电缆； | 10——控制开关。 |

图 5 并用潜水泵结构图

6.3.3.2 水泵基本参数的偏差

泵流量、扬程、效率的允差应符合 GB/T 3216 的 C 级规定。

当泵效率高于规定值，而流量、扬程的允差超过 GB/T 3216 的规定时，允许扬程的规定值按公式 (21) 修正，并以修正后的扬程值作为规定扬程再计算允差。

$$H' = H_{sp} \times \eta' / \eta_{sp} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

H' ——修正后的扬程值；

H_{sp} ——扬程的修正值；

η' ——实测水泵效率；

η_{sp} ——规定水泵效率。

6.3.3.3 水泵轴向力

在水泵允许使用的性能范围内,向下的轴向力(包括水推力和转子自重)应小于表6的规定。启动时产生的短时的轴向力应小于表6中规定值的40%。

表6 允许轴向力

电动机座号	100	150	175	200	250	300	350	400
允许轴向力,kN	1.35	5.40	7.20	9.00	13.50	19.80		

6.3.3.4 泵工作部件

6.3.3.4.1 水泵工作部件包括叶轮、导流壳(导叶)等零部件应满足以下规定:

- 泵工作部件与电动机的连接尺寸及偏差应符合 GB/T 2816 的规定;
- 泵工作部件的最大尺寸应符合 GB/T 2816 中规定的电泵井下部分最大径向尺寸;
- 叶轮用平键传递扭矩,轴套定位;也可用锥套固定并传递扭矩;
- 用平键传递扭矩时,平键和键槽的形式及尺寸应符合 GB/T 1095 和 GB/T 1096 的规定;
- 叶轮用锥套固定时,其锥度为 1:30。锥孔和锥套开口前的有效接触面积应不小于配合面积的 60%;
- 采用封闭式叶轮时,导流壳与叶轮的口环相配合处应设置可更换的密封环;
- 密封环用过盈配合或螺钉可靠的固定在壳体上。密封环与叶轮的口环相配合处径向的间隙应符合表7的规定;

表7 密封环与叶轮的口环相配合处径向的间隙

单位为毫米

密封环内径	≤75	>75~100	>110~160	>160~200	>200~250	>250
间隙	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50

- 各导流壳(包括进水段和阀体)之间用止口定位,各截面结合处应有密封措施;
- 设置在进水段周围的滤水网,其孔的尺寸不应超过水泵流道最小尺寸的 70%,孔的总面积一般应不小于叶轮进口有效面积的 5 倍;
- 泵轴的直径应根据其最大配带功率和在最大扬程下所承受的轴向力按第三强度理论计算,其最大合应力不应超过钢材屈服点的 30%或抗拉强度的 18%;
- 泵轴与电动机轴分开制造时,两轴之间通常用套筒式联轴器相连。联轴器除能传递功率外,还应能传递泵轴向上或向下的力;
- 泵工作部件上端应装逆止阀。

6.3.3.4.2 泵轴直径系列:14 mm,18 mm,25 mm,28 mm,32 mm,38 mm,42 mm,50 mm,60 mm,70 mm。

6.3.3.4.3 水泵扬水管应符合下列要求:

- 法兰连接的扬水管应保证电缆通过法兰处的投影尺寸不大于泵工作部件或电动机的最大外径尺寸;
- 扬水管的连接应保证平直、可靠,不松动;
- 在规定流量点,扬水管内水流速一般为 1.5 m/s~3 m/s;
- 单根扬水管长度一般不大于 3 m。

6.3.3.4.4 与泵配套的电动机应符合 GB/T 2818 的规定。配用电机的额定功率应不小于泵在允许使用范围内的最大轴功率的 1.05 倍。

6.3.3.4.5 水泵防水电缆应满足如下要求:

- 电缆对水的绝缘电阻应不低于 100 MΩ;
- 常温下(25℃),电流为额定值,电缆的电压降应不大于额定电压的 5%。

6.3.3.4.6 水泵主要零、部件选用的材料应不低于表 8 的规定；抽送饮用水的泵还应考虑到所选材料对水质是否存在污染。

表 8 主要零、部件选用的材料规定

零件名称	材料牌号	标准代号
叶轮、导叶、密封环	锡青铜 ZQSn6-6-3	GB 1176
	灰铸铁 HT200	GB 9439
导流壳、逆止阀	灰铸铁 HT200	GB 9439
进水段、泵座	灰铸铁 HT200	GB 9439
	球墨铸铁 QT450-10	GB 1348
泵轴	2Cr13	GB 1220
	35	GB 699
锥套、轴套	3Cr13	GB 1220
平键	45	GB 699
扬水管	(钢管) Q235—A	GB 700
导轴承	铅青铜 ZQPb5-25	GB 1176

6.3.3.4.7 凡与轴承相配合的转动零件应镀铬，镀铬应符合下列要求：

- 镀铬层厚度为 0.08 mm~0.12 mm，硬度大于 HRC50；
- 全部铬层除边缘外应均匀光泽，无明显颗粒，不允许有条状、重叠、裂纹、起泡、脱皮或成片的针眼等缺陷。

6.3.3.4.8 各零部件的焊接应符合下列要求：

- 碳钢和低合金钢零件的焊接形式及尺寸应符合 GB/T 985.1 的规定；
- 焊缝不应有未焊透、气孔、裂缝、烧穿、夹渣和造成降低强度或密封性能的缺陷；
- 焊条应根据所焊零件的强度或化学成分来选择。

6.3.3.4.9 水泵防锈处理，用普通钢材或铸铁制作的零件，其配合表面应涂防锈油脂，非配合表面涂漆，涂漆要求应符合 JB/T 4297 的规定。

用普通钢材制作的进水滤网、螺钉、螺母等零部件应镀锌防锈。

6.3.3.4.10 水泵工作部件的装配应符合下列规定：

- 泵工作部件在装配完成后，水平放置检查转动部分，转动应均匀，无卡滞现象；
- 转动部分的轴向总窜动量应大于 4 mm；
- 所有螺栓、螺母应拧紧，并加垫止动垫圈。

6.3.3.4.11 在正常使用条件下，泵的平均无故障工作时间不少于 2 500 h。

6.3.3.4.12 对导流壳、阀体、弯头、扬水管等承受水压的零件应作水压试验。试验压力为工作压力的 1.5 倍，保持压力 5 min，不应有泄漏现象。

6.3.3.4.13 水泵的性能试验和试验结果分析计算应符合 GB/T 12785 的规定。水泵试验时允许使用专供试验用的电动机进行，但电动机的额定功率不应大于泵所需轴功率的 2 倍。

6.3.4 机组的控制和安全系统

风力发电—电泵提水系统应配有完备的控制系统和安全保护系统，保证机组在设计极限范围内安全正常运行，并避免人和牲畜直接或间接的受到伤害。风力发电—电泵提水系统的控制和安全机构除应符合 6.2.4 要求外，其电气系统还应符合下列安全要求：

- 每个电气元件应具有适当的抗电磁干扰性能指标(IEC 61000)，在选择所有电气元件时应保证其在整个电气系统内不会对其他元件和周围环境产生有害的影响(GB 4824)；
- 制造者应提供下列参数，规定机组的电气系统安全运行的范围：
 - 发电机的额定电流；

- 发电机的额定电压和连接风力机的允许偏差；
 - 发电机的额定转速；
 - 电泵额定功率；
 - 电泵的额定电流、额定电压；
 - 电泵的额定转速。
- 机组的电气系统或分系统应设置合适的开关装置，以便满足维护、实验、故障检测、修理等需要；
- 机组的电气系统应装有适当的装置，在发生故障时应能保护发电机、电泵及其他电气元件不受损坏，尤其应提供由于超载和短路时的过电保护；
- 应考虑安装和运行期间导线所能承受的机械应力；
- 应保护人和牲畜避免因直接或间接接触机组带电部件而可能引起的危险(IEC 60364)，防止直接接触带电部件的保护至少应达到 GB 4208 中 IP23 的规定。

7 风力提水机组的试验方法

7.1 风力提水机组试验内容

风力提水机组试验内容包括：性能试验、汽蚀试验、控制保护功能试验及生产试验。

7.2 试验机具

试验机具应具有质量检查合格证、使用说明书及必需的技术文件。试验前应对样机主要易损件进行测定，将结果填入附录 A 表 A.1 中；试验样机的使用、调整和保养应按使用说明书的规定进行。

7.3 试验仪器

试验前必须对测试仪器、仪表及工具进行检定及校正。

选择的仪器应使所测值在仪器测量范围的 20%~95% 之内。

7.4 试验装置

7.4.1 风速风向仪的架设

在风力机的两侧与最多风向相垂直的方向上，对称的架设两个风速风向仪，其高度与风轮中心距地面高度相等；而且每一风速风向仪的架设处距风力机塔架中心的距离应是风轮直径的 3~5 倍。计算测试值时，取两者的算术平均值。

7.4.2 风力机和风力发电机输出参数的测录装置

装置原理图如图 6 所示：

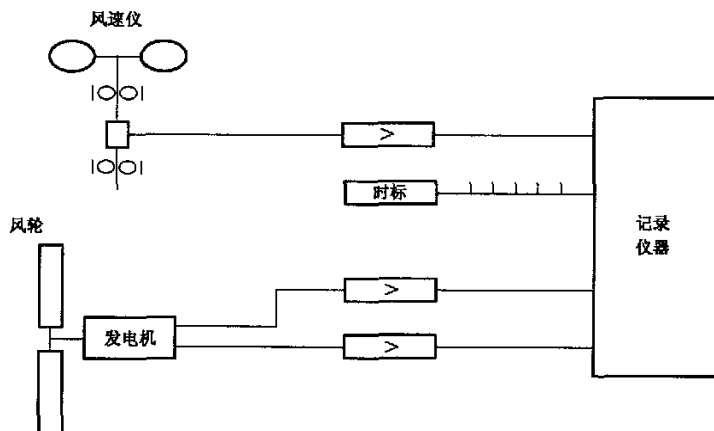


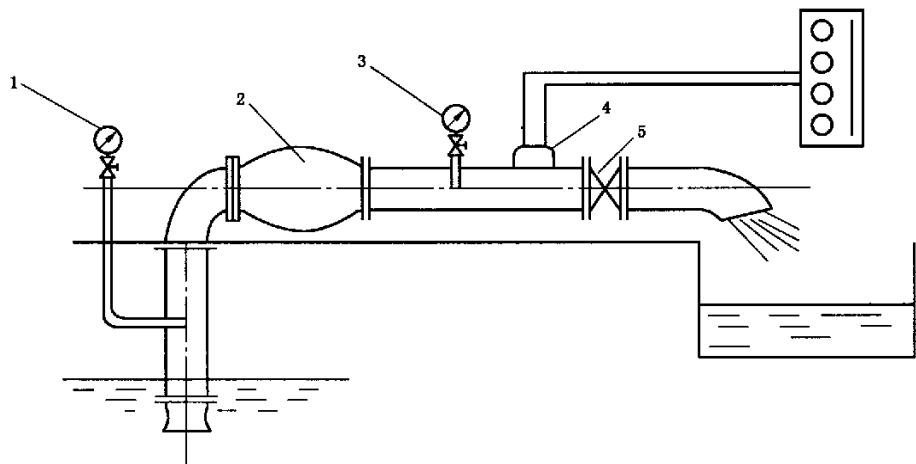
图 6 风力机和风力发电机输出参数的测录装置原理图

7.4.3 提水机具的试验装置

7.4.3.1 应采取有效措施来保证通过测量截面的液流具有如下特性：

- 轴对称的速度分布；
- 等静压分布；
- 无装置引起的旋涡。

7.4.3.2 非潜水泵试验装置如图 7 所示：



- 1——真空表；
- 2——试验泵；
- 3——压力表；
- 4——流量计；
- 5——流量调节阀。

图 7 非潜水泵试验装置示意图

对于非潜水泵试验装置，从具有自由液面的水池中引水或是在壁式回路中所设置的具有静止液面的大容器中引水，入口等直径直管段长度应是：

- 若入口节流阀一直保持全开状态，入口等直径直管段长度应不少于 $7D$ ；
- 若入口节流阀处于任意开度状态，入口等直径直管段长度应不少于 $12D$ 。

7.4.3.3 对于潜水泵，不可能将其全部扬水管都装上试验。对于未装的这部分扬水管的水头损失及传动轴系所消耗的功率均不能测得。而且泵的任意止推轴承在试验时所承受的负载也总比在最终实际安装条件下工作的负载为轻，所以不能测定出最终的功率。

潜水电泵试验装置如图 8 所示：

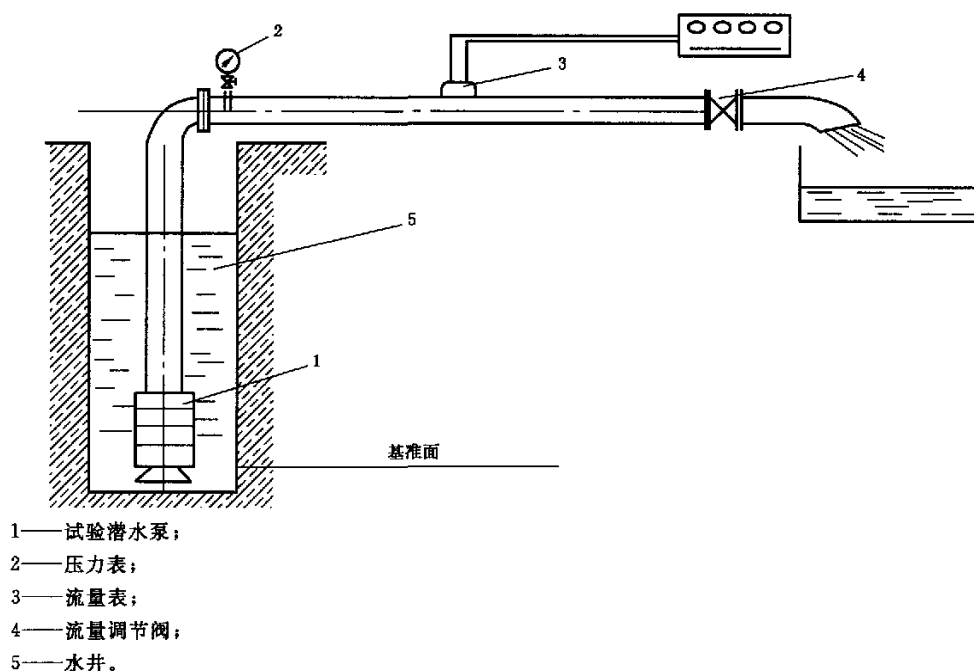


图 8 潜水电泵试验装置示意图

7.4.3.4 对于非稳定流(如拉杆泵)和输水管泵(如螺旋泵)试验装置如图 9 所示:拉杆泵的扬程按现场实际工作状况进行测量,测量自活塞行程中点的水平面至出水口的垂直距离。记录拉杆泵自安装运行开始至首次出现故障时的累计工作时间。

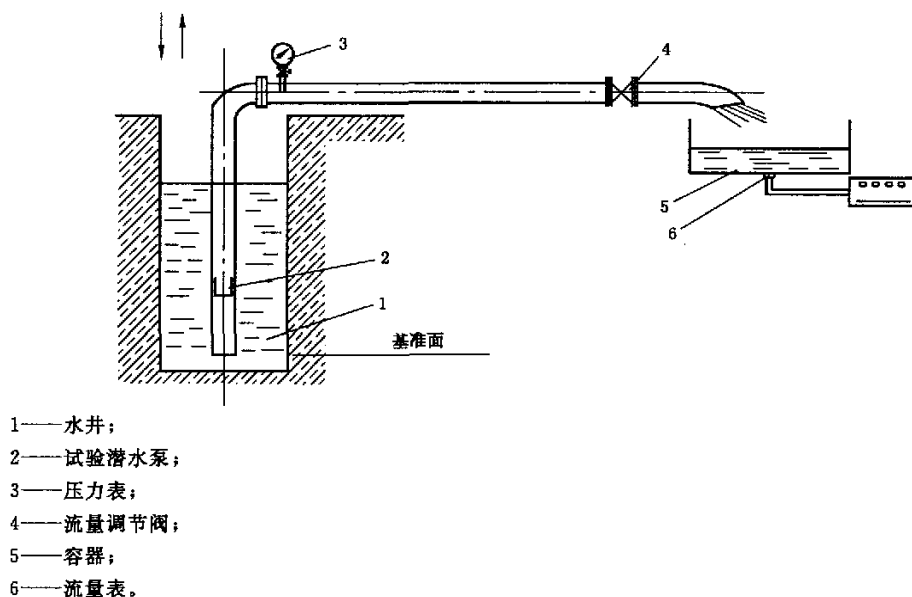


图 9 拉杆泵试验装置示意图

7.5 试验条件

试验条件应考虑以下方面:

——试验场地年平均风速应大于 3 m/s,最高风速应不小于 30 m/s。应注意考虑地形及周围障碍物的影响;

- 试验用水应使用常温清水进行；
- 潜水电泵一般应在淹没于水中的条件下进行。

7.6 系统运行的稳定性

7.6.1 本标准中“波动”和“变化”的定义

- 波动：在一次读数的时间内，读数相对平均值的短周期变动。
- 变化：同一量相邻两次读数间的数值改变。

7.6.2 风轮对风

通过本标准 7.4.2 中风力机和风力发电机输出参数的测录装置观测风速比较稳定，其变化幅度不大于 0.5 m/s 时，方可进行试验。

7.6.3 水泵主要参数稳定性

水泵主要参数的最大波动幅度及同一参数多次重复读数的变化值达到表 9 与表 10 的规定时，系统处于稳定运行状态，否则为不稳定运行。对于一组读数，只有确信波动已稳定在表 9 与表 10 的范围内时方可进行记录。

7.7 性能试验

7.7.1 性能试验定义

性能试验是为了确定机组扬程、流量、效率与风速的关系。试验测量点应均匀的分布在整个性能曲线上。试验测量点不应少于 30 个。

表 9 最大允许波动幅度

测定量	最大允许波动幅度/%	
	1 级	2 级
流量	±3	±6
扬程		
功率		
转矩		
转速	±1	±2

注：1 级适用于高精度的试验，2 级适用于低精度的试验。

表 10 同一量多次重复测量的变化范围

重复读数组数	每一量多次重复测量的最大值与最小值间的最大偏差/%			
	流量 扬程 转矩 功率		转速	
	1 级	2 级	1 级	2 级
3	0.8	1.8	0.25	1.0
5	1.6	3.5	0.5	2.0
7	2.2	4.5	0.7	2.7
9	2.8	5.8	0.9	3.3

注 1：1 级适用于高精度的试验，2 级适用于低精度的试验。

注 2：最大值与最小值之间的百分数差等于：

$$\frac{\text{最大值} - \text{最小值}}{\text{最大值}} \times 100\%$$

7.7.2 风轮起动风速的测定

试验时,风轮对风,机组处于正常工作位置,风速稳定,测取风轮由静止状态开始转动大于一圈时的最小风速,这个风速为起动风速。重复试验次数不得少于6次,取其算术平均值,结果填入附录A表A.3。

7.7.3 机组切入风速的测定

机组处于正常工作状态,风速稳定,测取机组开始提水并能够持续0.5 min时的最小风速,这个风速为机组的切入风速。重复试验次数不得少于6次,取其算术平均值,结果填入附录A表A.4。

7.7.4 机组输出特性的测试

测试需要在机组开始工作至自动关车的整个风速范围内进行。限于测试点风力资源条件,测试时的最高风速可以小于机组关车时的风速,但不得低于机组设计风速的1.4倍。

在整个测试范围内,其测点次数不得少于30次。将测试结果填入附录A表A.5与表A.6中。限于仪器条件不能测取瞬时风速时,允许用平均风速计测得结果代替瞬时风速。

7.8 风力发电—电泵提水系统

每一测试点平均值的测定时距为0.5 min,机组按正常工作时接线,同步测取其瞬时风速、电流、电压、流量及扬程,然后按式(22)~式(24)进行计算:

$$V_{\text{平均}} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^3}{n}} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$N = UI \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$P_{\text{水}} = \rho g QH \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

$V_{\text{平均}}$ ——时距0.5 min内风速立方后的平均值;

V_i ——瞬时风速;

U ——时距0.5 min内的电压平均值;

I ——时距0.5 min内的电流平均值;

N ——发电机输出功率;

$P_{\text{水}}$ ——输出水功率;

H ——时距0.5 min内的平均扬程;

Q ——时距0.5 min内的平均流量;

n ——测点次数。

根据测试结果,作出输出特性曲线 $N = f(V_{\text{平均}})$ 、 $P_{\text{水}} = f(V_{\text{平均}})$ 。

7.9 风力机—水泵提水系统

对于拉杆泵,以冲程次数为准,每一测试点的冲程数不少于30次;对于其他泵,每一测试点平均值的测定时距为0.5 min。同步测取其瞬时风速、流量及扬程,然后按式(25)、式(26)进行计算:

$$V_{\text{平均}} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^3}{n}} \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$P_{\text{水}} = \rho g QH \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (26)$$

根据测试结果,作出输出特性曲线 $P_{\text{水}} = f(V_{\text{平均}})$ 。

7.10 风轮、水泵转速的测定

风轮转速的测定可采用光电式、磁电式等传感器,对于风力发电—电泵也可测其频率进行折算。根据测试结果绘制函数图形: $n_{\text{平均}} = f(V_{\text{平均}})$ 。

水泵转速的测定可用直接显示的数字仪表测出测量时间内的转数。对于交流电机驱动的水泵,可用平均频率观测值和转差率确定。当采用闪光测频法和感应线圈法测定转数和转差率时,应按GB/T 1032的规定执行。

7.11 流量的测量

流量的测量按 GB/T 3214 进行。

7.12 扬程的测量

水泵的扬程按下列定义并按式(27)~(29)进行计算:

水泵入口总水头:

$$H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{\rho_1 g} + \frac{1}{2} \times \frac{v_1^2}{g} \quad \dots\dots\dots(27)$$

水泵出口总水头:

$$H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{\rho_2 g} + \frac{1}{2} \times \frac{v_2^2}{g} \quad \dots\dots\dots(28)$$

水泵扬程:

$$H = H_2 - H_1 \quad \dots\dots\dots(29)$$

式中:

下标“1”代表泵入口截面,“2”代表泵出口截面;

H ——扬程;

Z ——到基准面的距离;

p ——压力;

v ——水的流速。

对于潜水泵, $Z_1 = 0$, $V_1 = 0$, P_2 为水泵基准面到水面的液体压力。

7.13 水泵入口和出口摩阻损失

泵的扬程是指泵的出口法兰与入口法兰处的总水头差,而测压点通常离这些法兰还有一段距离。因此,在测得的泵扬程中需将测压点至法兰之间由于摩阻所造成的水头损失(H_{j1} 和 H_{j2})加上。但是,只有当 $H_{j1} + H_{j2} \geq 0.005 H$ 时,才需要进行这种修正。

如测压点与法兰之间的管路是等径圆截面无阻碍直管路,则摩阻损失由公式(30)、(31)求得:

$$H_j = \frac{1}{2} \times \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{g} \quad \dots\dots\dots(30)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \times \lg \left[\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + 3.7 \times \frac{k}{D} \right] \quad \dots\dots\dots(31)$$

式中:

$\text{Re} = \frac{vD}{\nu}$ (纯数值);

$\frac{k}{D} = \frac{\text{管路粗糙度}}{\text{管路直径}}$ (纯数值)。

7.14 取压孔

入口取压孔一般设在与水泵入口同心同直径的管路上,正常情况下设在泵入口法兰上游 2 倍入口管径处,不应设在部位:

- 扩散管内和扩散管下游 $4D$ 以内的直管部分;
- 弯曲面内,无论弯头本身或弯头下游 $4D$ 以内的直管部分,但在此区间;
- 可以垂直于弯曲平面设置取压孔;
- 截面急剧缩小部分下游 $4D$ 以内或其他形式的截面积突变部分下游 $4D$ 以内的直管部分。
- 出口取压孔通常设置在泵出口法兰下游 2 倍出口直径处。
- 对于型式数小于或等于 0.5 的泵,如果出口取压孔是在垂直于蜗壳平面或泵壳形成的弯管平面的位置上,那么该孔亦可直接设置在泵的出口法兰上。
- 对于型式数大于 0.5 的泵,直平行管必须与泵排出管同心、同直径。在管壁上开取压孔时应位

于与蜗壳平面或泵壳形成的弯管平面相垂直,并通过管轴心线的平面内。

取压孔应按图 10 所示的要求制造。孔中心线应垂直于管的内壁面,边缘不得有毛刺,周围光滑齐平。取压孔的直径为 2 mm~6 mm 或等于取压孔管径的 1/10,取二者中的小者,孔深应不小于 2.5 倍孔径。取压孔与测压仪表之间的连接管的内径至少应等于取压孔的直径,连接系统要严密。

测压仪表之前应加装三通旋塞阀或者加设有限的阻尼器。这样,当测压仪表的读数剧烈波动时,可进行必要的调整,或者排除连接管中的空气。

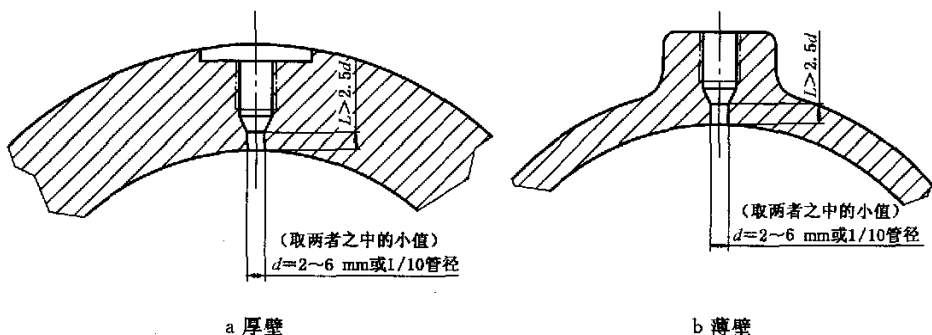


图 10 取压孔

7.15 效率的计算

机组效率:

$$\eta_{js} = \frac{1}{2} \times \frac{P_{*}}{\rho_{\text{风}} AV_{\text{平均}}^3} \dots\dots\dots (32)$$

$$P_{*} = \rho g QH \times 10^{-3} \dots\dots\dots (33)$$

式中:

η_{js} ——风力提水机组效率;

$\rho_{\text{风}}$ ——空气密度;

A ——风轮迎风面积;

$V_{\text{平均}}$ ——平均风速。

根据测试、计算结果,作出机组效率特性曲线 $\eta_{js} = f(V_{\text{平均}})$ 。

对于潜水泵机组,通常不装全部扬水管进行试验,泵的止推轴承、传动轴系及轴承所消耗的功率不能全部测得,应估算并说明与功率和效率有关的止推轴承、传动轴系及轴承的损失。

7.16 汽蚀试验

风力提水机组水泵的汽蚀试验应按 GB/T 3216 中 11 章的规定进行。

7.17 生产试验

7.17.1 一般规定

对于生产试验有下列一般规定:

- 试验目的:考核风力提水机组在生产条件下的经济性、可靠性、适应性和耐久性等技术经济指标。
- 试验样机不少于两台,并应分点进行试验,试验点的选择应具有代表性。
- 样机考核的纯工作时间不得少于 2 000 h,如试验期间发生重大事故(主要工作部件损坏),需重新进行试验。考核的最大风速不得低于试验点当年的最大风速,测试结果填入附录 A 中表 A.7。
- 试验之后应测量主要易损件的磨损量及变形量。试验中,零部件损坏时,需记录和测定损坏原因及部位,并记录该零部件累计工作时间,结果记入附录 A 中表 A.1、表 A.2。

7.17.2 测定主要技术经济指标

7.17.2.1 使用可靠性系数

$$K = \frac{T_{\text{施}}}{T_{\text{施}} + T_{\text{故}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中：
K——使用可靠性系数；
T_施——累计纯工作时间；
T_故——累计故障时间。

7.17.2.2 年生产量

7.17.2.2.1 平均风速的测定

采用自记风速风向仪，24 h 自动记录，取正点前 10 min 平均数为下一时段的小时平均风速，24 次的算术平均值即为当日日平均风速。观测期间的日平均风速的算术平均值为观测期间的日平均风速。

7.17.2.2.2 年提水量的测定

利用水表自动记录提水量，对于拉杆泵，需在水表前加一缓冲池。试验时，提水高度必须与设计值基本一致。

7.17.2.2.3 年提水量计算

$$Q_{\text{年}} = \frac{\sum Q_0}{T_0} \times 8\,760 \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中：
Q_年——年提水量；
∑Q₀——试验期间总提水量；
T₀——测试期间总延续时间。

如果条件不具备，允许用记录总耗水量进行折算。

7.18 试验报告

7.18.1 概述

在系统的试验测定后，应将所测取的资料进行整理分析，编写出试验报告。

7.18.2 试验报告内容

- 试验目的、地点、概况；
- 样机简介(用途、主要结构及技术特征)；
- 性能试验结果；
- 生产试验结果；
- 使用单位意见及群众评定；
- 存在问题及改进意见；
- 结论。

8 包装、运输

8.1 包装

风力提水机组设备固定和包装的方式应保证运输的安全，具体要求如下：

- 对叶片应采取保护措施，使其表面和前后缘不受损伤；
- 对发电机、传动装置、水泵等采取柔性支撑，以减轻运输中振动对轴承的影响；
- 对转动部件应设计带阻尼的锁定机构，防止运输中设备的转动。

8.2 运输

运输时应掌握以下情况：

- 设备的三视图和外形尺寸；
- 机组的重量和中心位置；
- 货物的吊点位置；
- 货物支重面的尺寸；
- 固定方式和加固方案。

风力提水机组固定及包装方式应满足运输对货物重量和外形尺寸的超限规定。

运输方案应考虑运输安全性并减少装卸次数。

附录 A

(资料性附录)

风力提水机组试验记录用表

表 A.1 主要零部件磨损情况记录表

机具名称型号:

试验前测定日期:

试验样机编号:

试验后测定日期:

制造单位:

试验地点:

[illegible]

测定:

记录:

表 A.2 零部件损坏变形情况记录表

机具名称型号:

测定时间:

试验样机编号:

测定地点:

制造单位:

序号	零部件名称	损坏变形情况	损坏变形原因	累计工作时间 h	备注

表 A.3 起动风速记录用表

年 月 日

测定次数	起动风速 m/s
1	
2	
3	
4	
5	
6	
平均	

测试：

地点:

记录:

温度:

表 A.4 切入风速记录用表

年 月 日

测定次数	切入风速 m/s
1	
2	
3	
4	
5	
6	
平均	

测试：

地点：

记录：

温度：

表 A.5 风力发电—电泵提水系统输出特性记录用表

温度：

海拔高度：

序号	风速 m/s		平均 风速	电流 A		平均 电流	电压 V		平均 功率 W	平均 流量 m ³ /s	平均 扬程 m	备 注	
	记录曲线高度 mm			记录曲线 高度 mm			记录曲线 高度 mm						平均 电压
	瞬 时 值	$h_{\text{平均}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n h_i^2}{n}}$		瞬 时 值	平 均 值		瞬 时 值	平 均 值					
1												风速、电流、电 压标定曲线中每 1 mm分别代表风 速为()m/s, 电流 为()A, 电压为 ()V	
2													
3													
4													
5													

测试：

记录：

地点：

日期：

表 A.6 风力机—水泵提水系统输出特性记录用表

温度：

海拔高度：

序号	风速 m/s		流量 m³/s				平均扬程 m	平均功率 W	备 注
	记录曲线高度 mm		平均 风速	容积 m³	时间 s	Q m³/s			
	瞬 时 值	$h_{\text{平均}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n h_i^3}{n}}$							
1									风速标定曲线中每 1 mm 代表风速为 () m/s
2									
3									
4									
5									

测试：

记录：

地点：

日期：

表 A.7 生产查定用表

机具名称：

型号：

日期	风速 m/s		纯工作时间 h		故障停车时间 h	保养时间 h	其他
	小时平均风速	日平均风速	起止时间	总计			

试验地点：

记录：
