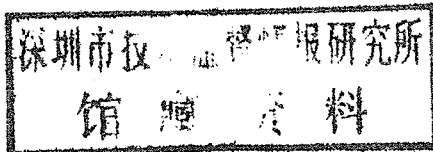


中华人民共和国国家标准

GB/T 13981—92

风力机设计通用要求

Design general requirements
for wind energy conversion system



1992-12-17 发布

1993-07-01 实施

国家技术监督局 发布

中华人民共和国国家标准

风力机设计通用要求

GB/T 13981—92

Design general requirements
for wind energy conversion system

1 主题内容与适用范围

本标准规定了风力机的主要设计原则和使用环境、载荷、气动设计、结构设计等方面的设计要求。本标准适用于中、小型水平轴风力机的设计。其他类型的风力机设计可参照使用。

2 引用标准

GB 8974 风力机 术语

3 术语、符号

3.1 术语

设计时采用的术语应符合 GB 8974 的规定。

3.2 符号

- D ——风轮直径；
- σ ——风轮实度；
- B ——风轮叶片数；
- λ ——叶尖速度比；
- ρ_0 ——标准大气密度；
- c_p ——风能利用系数；
- c_m ——扭矩系数；
- c_t ——轴向推力系数；
- P ——功率；
- M ——扭矩；
- P_n ——额定功率；
- V ——风速；
- V_{\max} ——安全风速；
- V_n ——额定风速；
- ΔV ——轴向风速变化量；
- \bar{V} ——平均风速；
- \bar{V}_y ——年平均风速；
- V_i ——区间风速增量的中间值；
- V_H ——高度 H 处的风速；
- V_0 ——参照高度 H_0 处的风速；

E_y ——年输出能量。

4 设计总则

- 4.1 应具有足够的强度和刚度。
- 4.2 应具有良好的工艺性和经济性。
- 4.3 应具有高的可靠性和良好的使用维护性。
- 4.4 应具有良好的性能：
 - a. 系统总效率高；
 - b. 工作风速范围宽；
 - c. 对电视、电讯传输影响小；
 - d. 噪声低；
 - e. 重量轻。
- 4.5 应满足环境条件要求。

5 环境条件

风力机的设计应考虑对其性能、使用和安全有影响的自然环境条件。

5.1 大气条件

5.1.1 标准大气参数(海平面)

压力 $p_0=101.325 \text{ kPa}$

温度 $t_0=15^\circ\text{C}$ (或 $T_0=288.15 \text{ K}$)

密度 $\rho_0=1.225 \text{ kg/m}^3$

5.1.2 温度

设计时所考虑的环境温度范围一般为 $-40\sim+40^\circ\text{C}$ 。

5.1.3 湿度

风力机的设计应考虑湿度的影响。

5.2 盐雾

风力机的设计应考虑盐雾的影响。

5.3 冰雪

风力机的设计应考虑积雪和结冰的影响。

5.4 砂尘

风力机的设计应考虑砂尘的影响。

5.5 雷击

风力机的设计应考虑雷击的影响。

5.6 自然风

风力机的设计应考虑自然风的特性。

5.6.1 风速频率

风速频率由年风频曲线描述,年风频曲线由风场对风力进行统计、分析并按威布尔分布或瑞利分布给出。典型的年风频曲线如图1所示。

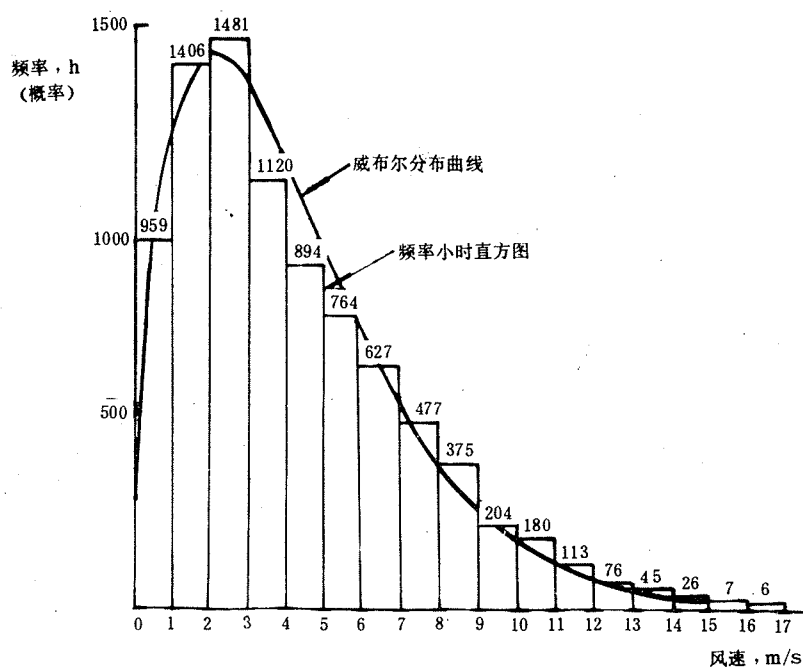


图 1 典型的年风频曲线图

5.6.2 风剪切

风剪切数学模型为：

$$\frac{V_H}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

式中： V_H ——高度 H 处的风速，m/s；

V_0 ——参照高度 H_0 处的风速，m/s；

H ——离地面高度，m；

H_0 ——参照高度，一般 H_0 为 10m；

α ——考虑地面粗糙度影响的指数， α 的取值范围参照表 1。

表 1

地 面 状 态	α
平滑(海面、沙、雪地)	0.10~0.13
一般不平滑(短草地、庄稼地、乡村)	0.13~0.20
不平滑(树林、市郊)	0.20~0.27
非常不平滑(城区、高大建筑)	0.27~0.40

5.6.3 阵风

5.6.3.1 最大瞬时风速

最大瞬时风速等于平均风速与阵风因子的乘积。阵风因子一般取 1.5~1.7。

5.6.3.2 轴向风速变化量

轴向风速变化量按式(2)计算：

$$\Delta V = \pm (0.5 \sim 0.7) \bar{V} \dots\dots\dots (2)$$

式中： ΔV ——轴向风速变化量，m/s；

\bar{V} ——平均风速，m/s。

5.6.3.3 风向变化角

风向变化角为 $\pm 30^\circ \sim \pm 45^\circ$ 。

5.6.4 安全风速

安全风速沿海地区取 50 m/s，内陆地区取 40 m/s。

5.7 其他环境条件

风力机的设计还应考虑霉菌、紫外线、酸雨、空气污染作用等环境条件的影响。

6 气动设计

6.1 主要参数选取

6.1.1 切入风速和额定风速

风力发电机组的切入风速和额定风速按表 2 选取，风力提水机组的切入风速和额定风速按表 3 选取。

表 2 风力发电机组参数表

机组额定功率 kW	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1	2	3
额定风速 m/s	6,7,8			7,8			8,9,10	
切入风速(不大于) m/s	3.5,3.7,4			3.7,4			4,4.5	
机组额定功率 kW	5	10	15	20	30	50	100	200
额定风速 m/s	8,9,10	8,10		10,12			12	
切入风速(不大于) m/s	4,4.5	4,4.5		4.5,5			5	

表 3 风力提水机组参数表

风轮直径 m	2	2.5	3.2	4	5	6	8	10
额定风速 m/s	7,8			8				
切入风速(不大于) m/s	3.5,4			4				4.5
风轮直径 m	5.5	7	9					
额定风速 m/s	7,8							
切入风速(不大于) m/s	3,3.5							

6.1.2 停车风速

高速风力机停车风速不低于 18 m/s,低速风力机停车风速不低于 14 m/s。

6.1.3 风轮直径

风力机的风轮直径按式(3)确定:

$$D = \sqrt{\frac{8P_n}{c_p \rho_0 V_n^3 \pi \eta_1 \eta_2}} \dots\dots\dots (3)$$

式中: D ——风轮直径, m;

P_n ——风力机组额定功率, W;

c_p ——风能利用系数;

V_n ——额定风速, m/s;

η_1 ——发电机或其他工作机效率;

η_2 ——机械传动系统效率。

6.1.4 叶尖速度比

6.1.4.1 叶尖速度比和风轮实度是密切相关的,风轮实度与叶片数及叶片的平面形状有关。叶尖速度比与叶片数的关系见表 4,叶尖速度比与风轮实度的关系见图 2。

表 4 叶尖速度比与叶片数关系

叶尖速度比	1	2	4		≥ 5
叶片数	8~24	6~12	3~6	2~4	2~3

6.1.4.2 叶尖速度比的取值范围为:

高速风力机一般取 6~8,低速风力机一般不大于 3。

6.2 翼型选择

风力机叶片的翼型根据下列原则选择:

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



图 2 叶尖速度比与风轮实度关系曲线

6.3 气动设计方法

推荐采用威尔逊(Wilson)设计方法或在此方法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(即叶片的扭转角、弦长、剖面厚度沿展向的分布)及额定叶尖速度比。

6.4 风力机气动性能参数

设计时应计算:

- a. 风能利用系数 c_p ;
- b. 扭矩系数 c_m ;
- c. 风轮轴向推力系数 c_t ;
- d. 叶尖速度比 λ 。

6.5 风力机年输出能量

风力机年输出能量按式(4)计算:

$$E_y = (8760) \sum_{V_i=1}^{18} (f_{V_i}^p \cdot P_{V_i}) \dots\dots\dots (4)$$

式中: E_y ——年输出能量, kWh;
 V_i ——区间风速增量的中间值, m/s;
 P_{V_i} ——对应于风速 V_i 的功率, kW;
 \bar{V}_y ——年平均风速, m/s;
 \bar{V} ——平均风速, m/s;
 $f_{V_i}^p = \left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot \left(\frac{V_i}{\bar{V}_y}\right) \cdot \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V_i}{\bar{V}_y}\right)^2\right]$ 。

6.6 风力机性能的表达方法

风力机性能由下列关系曲线表示：

- a. 风能利用系数 c_p 与叶尖速度比 λ 的关系曲线；
- b. 不同风速 V 的风轮扭矩 M 与风轮转速 n 的关系曲线；
- c. 输出功率 P 与风速 V 的关系曲线；
- d. 年输出能量 E_y 与年平均风速 \bar{V}_y 的关系曲线。

7 载荷

风力机设计时应考虑不同工况下的载荷和载荷计算要求。

7.1 不同工况下的载荷

7.1.1 正常工作

风力机在工作风速范围内正常工作时所受的载荷，这是风力机的基本载荷：

- a. 风力机在额定工况下的载荷；
- b. 风速按区间取为常值时的载荷；
- c. 按 15 年寿命确定载荷的循环次数。

7.1.2 正常工作遇阵风

风力机在工作风速范围内正常工作突遇阵风时所受的载荷：

- a. 风力机在额定工况时突遇阵风所受的载荷；
- b. 风速接近停车风速，风力机超速状态突遇阵风所受的载荷。

7.1.3 运行中出现故障

风力机在运行中出现故障引起的载荷，故障情况有：

- a. 无负载引起超速时的载荷；
- b. 不允许的突加负载时的载荷；
- c. 风轮转速控制系统故障时的载荷；
- d. 调向机构故障时的载荷；
- e. 传动系统故障时的载荷。

7.1.4 最大风速

- a. 风力机停车时，遇最大风时的载荷；
- b. 风力机在慢转状态时，遇最大风时的载荷。

7.1.5 应急刹车

风力机应急刹车时的载荷。

7.1.6 运输、安装、调试

风力机运输、安装、调试过程中作用在零部件上的载荷。

7.2 载荷计算要求

7.2.1 在计算时，应考虑风轮和全机的气动载荷、惯性载荷、重力载荷和阻尼载荷。

7.2.2 对给出的每种工况下的载荷，均应考虑：

- a. 风速变化；
- b. 风轮转速变化；
- c. 叶片桨距变化；
- d. 风轮迎风速度和方向的变化；
- e. 阵风效应；
- f. 叶片预锥角、风轮旋转轴倾角的影响；
- g. 风力机及安全机构所处状态；

h. 塔影效应;

i. 风剪切。

注: 对不大于 10 kW 的风力机可不考虑 h 和 i 项的影响。

7.2.3 若结构在载荷作用下产生的变形明显地改变了载荷的大小和分布时, 则应考虑变形的影响。

8 强度准则

8.1 安全系数

第 7 章所述载荷均为使用载荷, 设计载荷是使用载荷乘以安全系数。

一般部件的安全系数取 1.5, 对于重要接头、铸件和焊接件等关键零部件, 其安全系数值应适当增大。

8.2 材料机械性能

材料的机械性能应根据有关标准的规定选用, 凡在现行标准中未列出的材料(特别是复合材料), 其性能应经试验验证后方可使用。

8.3 强度要求

8.3.1 一般要求

应通过可靠的分析方法和试验验证, 证实风力机各部件能满足静强度要求和动强度要求。

8.3.2 静强度要求

在设计破坏载荷作用下, 各部件结构的应力应不超过材料的极限应力, 应不影响风力机的安全和使用。

8.3.3 动强度要求

采用安全寿命设计原则设计的部件, 应保证在使用寿命期内不发生疲劳破坏。采用损伤容限设计原则设计的部件, 应综合考虑材料应力水平和结构形式, 以减少由于未发现的缺陷、裂纹或损伤的扩展而造成风力机破坏。

9 结构设计

9.1 一般要求

9.1.1 应采取保护措施保证风力机在规定的使用环境条件下, 在其寿命期内不损坏。

9.1.2 应保证风力机局部发生故障或损坏时, 不致引起总体破坏。

9.1.3 对于在维护中不易接近、难以修复或更换的零部件, 应采用安全寿命设计原则。

9.1.4 对于在维护中易于检查、修复或更换的零部件, 建议采用损伤容限设计原则, 应选择合适的结构型式和材料, 规定相应的检修周期和安全工作周期。

安全工作周期 = $f_n \times$ 检修周期

系数 $f_n \geq 2$ 。

9.1.5 对风力机的各零部件, 应采取有效的防腐措施。

9.2 安全机构

风力机应设计有安全机构。典型的安全机构有: 叶片变距机构、风轮偏离风向机构、气动阻力板和刹车机构。

9.2.1 安全机构应设计为独立的机构, 当风力机及部件出现故障时, 安全机构应能独立正常工作。

9.2.2 应设计有两套以上的安全机构, 当一套安全机构失灵时, 另一套仍能保护风力机不发生破坏。

9.2.3 对不小于 1 kW 的风力机, 安全机构应能限制风轮最大工作转速不超过 125% 额定转速; 对小于 1 kW 的风力机, 安全机构应能限制风轮最大工作转速不超过 150% 额定转速。

9.2.4 刹车机构设计要求

a. 停车时刹车, 除应在维修时能刹住风轮外, 还应具有在安全风速范围内刹住风轮的功能;

b. 运行中刹车允许有其他机构配合,以满足风轮最大功率和风轮最大工作转速时的功率消耗,保证刹住风轮;

c. 应急刹车应保证刹车机构及主要部件不产生不可修复的破坏。

9.3 动力学设计

9.3.1 动力学分析计算

9.3.1.1 部件的固有特性:

- a. 风轮;
- b. 操纵系统;
- c. 平台构架;
- d. 传动系统;
- e. 塔架。

9.3.1.2 稳定性:

- a. 气动弹性稳定性;
- b. 电气、机械系统稳定性;
- c. 操纵稳定性。

9.3.2 动力学设计要求

在结构设计时应通过可靠的动力学模型、计算分析和试验,对风力机各系统、部件的动力学特性和相互关系作详细的分析。

9.3.2.1 在结构设计时,应使风力机各系统、部件的固有频率在全部使用状态下尽量避开激振力频率,以保证不发生有害的和过度的振动,必要时采用吸振、减振和限幅等措施。

9.3.2.2 应通过分析、计算和试验来保证风力机及其部件在全部使用状态下不发出颤振、发散及其他不稳定现象。

附加说明:

本标准由中华人民共和国航空航天工业部提出。

本标准由全国风力机械标准化技术委员会归口。

本标准由航空航天工业部第六〇二研究所负责起草。

本标准主要起草人苏小光、陈国岩、袁俊中。

(京)新登字 023 号

GB/T 13981—92

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
风 力 机 设 计 通 用 要 求

GB/T 13981—92

*

中国标准出版社出版

(北京复外三里河)

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 3/4 字数 18 千字

1993 年 8 月第一版 1993 年 8 月第一次印刷

印数 1—2000

*

书号: 155066·1-9683 定价 1.80 元

*

标 目 221—11