

ICS 27.180

P 61

备案号: J2343—2017

**NB**

中华人民共和国能源行业标准

**P**

**NB / T 31107 — 2017**

---

## 低风速风力发电机组选型导则

Guide for type selection of wind turbine generator system  
for low wind speed

**2017-03-28 发布**

**2017-08-01 实施**

---

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

## 低风速风力发电机组选型导则

Guide for type selection of wind turbine generator system  
for low wind speed

**NB/T 31107 — 2017**

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2017 年 8 月 1 日

中国电力出版社

2017 北 京

国家能源局  
公 告

2017 年 第 6 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52 号）有关规定，经审查，国家能源局批准《页岩气 储层改造 第 2 部分：工厂化压裂作业技术规范》等 159 项行业标准，其中能源标准（NB）34 项、电力标准（DL）39 项、石油标准（SY）86 项，现予以发布。

上述标准中电力领域标准由中国电力出版社及中国计划出版社出版发行，煤炭领域标准由煤炭工业出版社出版发行，石油天然气、页岩气领域标准由石油工业出版社出版发行，锅炉压力容器标准由新华出版社出版发行。

附件：行业标准目录

国家能源局  
2017 年 3 月 28 日

NB/T 31107 — 2017

附件：

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
10	NB/T 31107—2017	低风速风力发电机组选型 导则			2017-03-28	2017-08-01
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2013 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2013〕526 号）的要求，导则编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本导则。

本导则的主要技术内容是：机组等级分类、参数及结构技术要求，附属系统技术要求，试验，运输、运行和维护。

本导则由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业风电标准化技术委员会风电场规划设计分技术委员会负责具体内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮编：100120）。

本导则主编单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

本导则参编单位：中车株洲电力机车研究所有限公司

本导则主要起草人员：康本贤 董德兰 桑志强 王立鹏  
王 靛 巫发明 盛 科 刘红文  
阮向艳 田伟辉 胡己坤 杨镇濠  
吴解萍 王 磊 李慧新

本导则主要审查人员：谢宏文 李健英 赵生校 糜又晚  
秦初升 田景奎 韩伶俐 张佳丽  
郭伟钊 张双益 薛 扬 王 巍  
孟庆顺 朱宏栋 王其君 黎 波  
赵长全 李仕胜

NB/T 31107 — 2017

目 次

1 总则 .....1

2 术语和符号 .....2

2.1 术语 .....2

2.2 符号 .....2

3 机组等级分类、参数及结构技术要求.....3

3.1 机组等级分类 .....3

3.2 主要参数选择 .....3

3.3 载荷、性能和结构技术要求 .....4

4 附属系统技术要求.....6

4.1 叶片 .....6

4.2 变桨系统.....6

4.3 传动链系统 .....6

4.4 偏航系统.....6

4.5 塔架 .....7

4.6 控制与保护系统.....8

4.7 在线振动监测系统 .....8

5 试验 .....9

6 运输、运行和维护.....10

本导则用词说明 .....11

引用标准名录 .....12

附：条文说明 .....13

Contents

1 General provisions ..... 1

2 Terms and symbols..... 2

2.1 Terms..... 2

2.2 Symbols ..... 2

3 Wind turbine classes, parameters and structural technology requirements ..... 3

3.1 Wind turbine classes ..... 3

3.2 Main parameters ..... 3

3.3 Loads, performance and structural requirements ..... 4

4 Auxiliary system technology requirements..... 6

4.1 Blade ..... 6

4.2 Pitch system ..... 6

4.3 Drive-train system ..... 6

4.4 Yaw system..... 6

4.5 Tower ..... 7

4.6 Control and protection system..... 8

4.7 On-Line vibration monitoring system ..... 8

5 Test ..... 9

6 Transportation, operation and maintenance ..... 10

Explanation of wording in this guide ..... 11

List of normative standards ..... 12

Addition: Explanation of provisions..... 13

## **1 总 则**

**1.0.1** 为规范低风速风力发电机组的选型及使用，提高机组运行的可靠性和经济性，制定本导则。

**1.0.2** 本导则适用于低风速风力发电机组的选型及使用。

**1.0.3** 低风速风力发电机组选型，除应符合本导则外，尚应符合国家现行有关标准的规定。



## NB/T 31107 — 2017

# 2 术 语 和 符 号

## 2.1 术 语

低风速风力发电机组 wind turbine generator system for low wind speed

适用于标准空气密度轮毂高度处代表年平均风速不高于 6.5m/s、风功率密度不高于  $320\text{W}/\text{m}^2$  风能资源条件下的风力发电机组。

## 2.2 符 号

$C_p$  ——风轮转换的风的动能与通过风轮扫掠面积的全部风的动能的比值；

$I_{\text{ref}}$  ——风速 15m/s 时湍流强度的期望值；

$v_{\text{ave}}$  ——风力发电机组轮毂高度处的年平均风速；

$v_{\text{ref}}$  ——用于定义风力发电机组极限等级的风速参数；

$\lambda$  ——同一时刻叶尖线速度与轮毂高度处风速的比值。

### 3 机组等级分类、参数及结构技术要求

#### 3.1 机组等级分类

低风速风力发电机组等级根据年平均风速可分为 D-I、D-II、D-III、D-S 四级，每个等级根据湍流强度可分为 A、B、C 三类。低风速风力发电机组等级分类参数应符合表 3.1.1 的规定。

表 3.1.1 低风速风力发电机组等级分类参数

机组等级		D-I	D-II	D-III	D-S
$v_{\text{ref}}$ (m/s)		37.5			由设计者规定参数
$v_{\text{ave}}$ (m/s)		6.5	6.0	5.5	
$I_{10}$	A	0.210			
	B	0.183			
	C	0.157			

- 注：1  $v_{\text{ref}}$  (m/s) 采用现行国家标准《风力发电机组 设计要求》GB/T 18451.1 规定标准 III 类参考风速。
- 2  $I_{10}$ ——风速为 10m/s 时，湍流强度值为  $1.31 \times I_{\text{ref}}$ 。  $I_{\text{ref}}$  采用现行国家标准《风力发电机组 设计要求》GB/T 18451.1 规定。其中，A 表示较高湍流特性等级，B 表示中等湍流特性等级，C 表示较低湍流特性等级。
- 3 低风速风力发电机组等级分类命名为 D-X-Y，其中第一位代表低风速风力发电机组，第二位代表年平均风速，第三位代表湍流强度。
- 4 对 D-S 级风力发电机组，制造厂应在设计文件中说明所采用的设计参数。

#### 3.2 主要参数选择

3.2.1 低风速风力发电机组额定电压宜为 0.69kV 或 3.15kV。

3.2.2 低风速风力发电机组辅助设备的额定电压宜采用 0.4kV 或 0.69kV。

**3.2.3** 低风速风力发电机组短时过负荷能力应由过负荷时间和过负荷系数决定。过负荷条件由制造厂和用户协商确定，额定电网条件下短时过负荷能力参数宜按表 3.2.3 的规定取值。

**表 3.2.3 额定电网条件下短时过负荷能力参数**

过负荷系数	过负荷时间 (s)
1.10	10
1.05	60
1.02	600

**3.3 载荷、性能和结构技术要求**

**3.3.1** 低风速风力发电机组的载荷计算工况定义、安全系数及结构强度应符合现行国家标准《风力发电机组 设计要求》GB/T 18451.1 的规定。其中载荷计算工况还应同时满足本导则第 3.1 节的等级分类要求。

**3.3.2** 应根据场址条件对低风速风力发电机组进行载荷校核。场址条件参数应包括空气密度、年平均风速、风频分布、最大风速、湍流强度、风切变、入流角。对于存在凝冻气候的风电场，应考虑机组凝冻覆冰引起的不平衡载荷。

**3.3.3** 低风速风力发电机组载荷测量应符合现行国家标准《风力发电机组 机械载荷测量》GB/Z 25426 的规定。

**3.3.4** 切入风速不宜高于 3.0m/s、额定风速不宜高于 10m/s、切出风速宜高于 18m/s。

**3.3.5** 低风速风力发电机组  $C_p$  最大值不应小于 0.48。

**3.3.6** 风力发电机组低于额定功率运行时的自用电率应小于额定功率的 2.5%。

**3.3.7** 低风速风力发电机组轮毂高度处的噪声不应高于现行国家标准《风力发电机组 验收规范》GB/T 20319 规定的噪声值。对于场址条件无法满足环保噪声标准的风电场，宜采用具有低噪声

工作模式的风力发电机组。

**3.3.8** 低风速风力发电机组叶片、齿轮箱、发电机、主轴承等主要部件的极限强度和疲劳强度应通过型式试验验证。

**3.3.9** 低风速风力发电机组应通过动力学特性的验证，主要包括叶片、传动链系统、发电机、偏航系统、塔架动力学特性的验证。

## 4 附属系统技术要求

### 4.1 叶 片

**4.1.1** 叶片技术要求应符合现行国家标准《风力发电机组 风轮叶片》GB/T 25383 的规定。

**4.1.2** 叶片的挥舞一阶固有频率、摆振一阶固有频率、扭转一阶固有频率与风轮激振频率一倍转频  $1P$ 、三倍转频  $3P$  的差不应小于 5%，以避免发生过度振动或共振。

**4.1.3** 低风速风力发电机组的叶片设计应采用具有低风速特性的专用翼型。

**4.1.4** 受运输限制的风电场，叶片可分段，叶片分段处连接强度应进行试验验证。

### 4.2 变 桨 系 统

**4.2.1** 风力发电机组变桨轴承技术要求应符合现行国家标准《滚动轴承 风力发电机组偏航、变桨轴承》GB/T 29717 的规定。

**4.2.2** 风力发电机组变桨距系统技术要求应符合现行国家标准《风力发电机组 变桨距系统》GB/T 32077 的规定。

### 4.3 传 动 链 系 统

额定功率时传动链效率应高于 92.5%，50%的额定功率时传动链效率应高于 91.5%。

### 4.4 偏 航 系 统

**4.4.1** 偏航系统技术要求应符合现行行业标准《风力发电机组 偏

航系统 第1部分：技术条件》JB/T 10425.1 的规定。

**4.4.2** 偏航系统应包括偏航驱动、偏航轴承、偏航电动机和小齿轮；偏航系统应有多个偏航驱动和偏航电动机。

**4.4.3** 偏航速度宜小于  $15/R$ ，单位为  $(^\circ/\text{s})$ ；偏航加速度宜小于  $450/R^2$ ，单位为  $(^\circ/\text{s}^2)$ ；其中  $R$  为风力发电机组风轮的半径，单位为  $\text{m}$ 。

## 4.5 塔 架

**4.5.1** 钢制管状塔架设计、制造和验收应符合现行国家标准《风力发电机组 塔架》GB/T 19072 的规定。

**4.5.2** 钢制管状塔架工作状态下的固有频率应在大于风轮激振频率一倍转频  $1P$  的 105%和小于风轮激振频率三倍转频  $3P$  的 95% 的范围内。钢制管状柔性塔架工作状态下，固有频率宜小于风轮激振频率一倍转频  $1P$  的 90%，并应通过控制避开共振点。计算塔架固有频率时，应考虑塔架基础的刚度。固有频率的计算应包括扭转 1 阶，弯曲 1 阶、2 阶。

**4.5.3** 钢制管状塔架基础的计算应考虑塔基变形对基础的影响。

**4.5.4** 预应力钢丝索混凝土-钢塔筒混合塔架设计应满足下列要求：

1 混凝土段混凝土标号选择应满足塔架受力要求，应选取合适的预应力锚固体系，以保证工作及极端工况下混凝土均处于受压状态，且预应力锚索处于安全状态。

2 混合塔架工作状态下，整体一阶固有频率应在大于风轮激振频率一倍转频  $1P$  的 105%且小于风轮激振频率三倍转频  $3P$  的 95%的范围内。进行混合塔架固有频率分析时，应采用多体运动学方法综合考虑地基、基础和风力发电机组的影响。

3 混合塔架内应设置预埋构件，供电梯安装使用，以满足运行检修要求。

4 混合塔架高度、混凝土段与钢制段高度配比的确定，应综合考虑所应用风电场风能资源、相配套风力发电机组、结构受力



合理性、工程造价和施工等因素。

**4.5.5** 预应力钢丝绳混凝土-钢塔筒塔架基础计算应考虑塔架变形的二次效应影响。

**4.5.6** 塔架高度应根据风电场的风切变和地形条件，通过技术经济比较确定。

## **4.6 控制与保护系统**

**4.6.1** 低风速风力发电机组控制与保护系统技术要求应符合现行国家标准《风力发电机组 设计要求》GB/T 18451.1、《风力发电机组 控制器 技术条件》GB/T 19069、《风力发电机组 控制器 试验方法》GB/T 19070 的规定。

**4.6.2** 转矩控制宜增强对湍流风的能量捕获能力。变桨控制宜考虑切入风速、额定风速时叶片气动特性，进行桨距角调节，提高低风速风力发电机组发电性能。

## **4.7 在线振动监测系统**

**4.7.1** 在线振动状态监测系统技术要求应符合现行行业标准《风力发电机组振动状态监测导则》NB/T 31004 的规定。

**4.7.2** 风力发电机组宜使用固定式在线振动状态监测系统，监测的范围包含转速信号和风力发电机组主轴承、齿轮箱和发电机等关键部件的振动。

## 5 试 验

**5.0.1** 风力发电机组试验运行外部条件应符合现行国家标准《风力发电机组 设计要求》GB/T 18451.1 的规定。

**5.0.2** 风力发电机组型式试验应符合现行国家标准《风力发电机组 第2部分：通用试验方法》GB/T 19960.2 的规定。

**5.0.3** 风力发电机组型式试验项目应包括下列内容：

- 1 功率特性测试。
- 2 电能质量测量。
- 3 机械载荷测量。
- 4 噪声测试。
- 5 低电压穿越能力测试。

**5.0.4** 风力发电机组功率特性测试应符合现行国家标准《风力发电机组 功率特性试验》GB/T 18451.2 的规定。

**5.0.5** 风力发电机组电能质量测试内容应包括频率、谐波、电压波动、闪变、功率因数等，并应符合现行国家标准《风力发电机组 电能质量测量和评估方法》GB/T 20320、《电能质量 供电电压偏差》GB/T 12325、《电能质量 公用电网谐波》GB/T 14549、《电能质量 三相电压不平衡》GB/T 15543、《电能质量 电力系统频率偏差》GB/T 15945 和《电能质量 电压波动和闪变》GB/T 12326 的规定。

**5.0.6** 风力发电机组应进行设计载荷验证，计算实际的疲劳载荷谱，完成机组寿命评估。风力发电机组机械载荷测试应符合现行国家标准《风力发电机组 机械载荷测量》GB/Z 25426 的规定。

**5.0.7** 风力发电机组噪声测试应符合现行国家标准《风力发电机组 噪声测量方法》GB/T 22516 和《风力发电机组 公称视在声功率级和音值》GB/Z 25425 的规定。



## 6 运输、运行和维护

**6.0.1** 制造厂应根据风力发电机组叶片、机舱、轮毂等大部件的外形尺寸、重量以及结构形式，并结合风电场的道路运输条件制定详细的运输方案。叶片宜采用特种双向平板转向车辆等特种运输车，叶片宜采用倾斜运输方式。低风速风力发电机组在运输中宜安装三维冲撞记录仪，制造厂应给出所能承受运输水平冲撞的强度要求。

**6.0.2** 制造厂应提供风力发电机组运行手册，并应对风力发电机组的调试和现场试验进行技术指导。运行手册应包括产品说明书、操作规程、危险情况警告、故障排除以及运行记录等内容。

**6.0.3** 制造厂应提供风力发电机组维护手册，维护手册应主要包括风力发电机组型号、维护条件、维护工作步骤、应急处理方案以及维护报告空白表单等内容。

## 本导则用词说明

**1** 为了便于在执行本导则条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1) 表示很严格,非这样做不可的:  
正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- 2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:  
正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;
- 3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:  
正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;
- 4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《电能质量 供电电压偏差》GB/T 12325  
《电能质量 电压波动和闪变》GB/T 12326  
《电能质量 公用电网谐波》GB/T 14549  
《电能质量 三相电压不平衡》GB/T 15543  
《电能质量 电力系统频率偏差》GB/T 15945  
《风力发电机组 设计要求》GB/T 18451.1  
《风力发电机组 功率特性试验》GB/T 18451.2  
《风力发电机组 控制器 技术条件》GB/T 19069  
《风力发电机组 控制器 试验方法》GB/T 19070  
《风力发电机组 塔架》GB/T 19072  
《风力发电机组 第2部分：通用试验方法》GB/T 19960.2  
《风力发电机组 验收规范》GB/T 20319  
《风力发电机组 电能质量测量和评估方法》GB/T 20320  
《风力发电机组 噪声测量方法》GB/T 22516  
《风力发电机组 风轮叶片》GB/T 25383  
《风力发电机组 公称视在声功率级和音值》GB/Z 25425  
《风力发电机组 机械载荷测量》GB/Z 25426  
《滚动轴承 风力发电机组偏航、变桨轴承》GB/T 29717  
《风力发电机组 变桨距系统》GB/T 32077  
《风力发电机组振动状态监测导则》NB/T 31004  
《风力发电机组 偏航系统 第1部分：技术条件》JB/T 10425.1

中华人民共和国能源行业标准

低风速风力发电机组选型导则

**NB / T 31107 — 2017**

条 文 说 明

## 制 定 说 明

《低风速风力发电机组选型导则》NB/T 31107—2017，经国家能源局 2017 年 3 月 28 日以第 6 号公告批准发布。

本导则制定过程中，编制组在广泛调查研究的基础上，总结了我国低风速风力发电机组的设计、运行的实践经验，同时参考了国外先进技术标准。

为便于广大设计、制造、建设等单位有关人员在使用本导则时能正确理解和执行条文规定，《低风速风力发电机组选型导则》编写组按章、节、条顺序编制了本导则的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与导则正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握导则规定的参考。

目 次

2 术语和符号 .....16

2.1 术语 .....16

3 机组等级分类、参数及结构技术要求.....18

3.1 机组等级分类.....18

3.2 主要参数选择.....19

3.3 载荷、性能及结构技术要求 .....19

4 附属系统技术要求.....21

4.1 叶片 .....21

4.3 传动链系统 .....21

4.4 偏航系统.....21

4.6 控制与保护系统.....21

4.7 在线振动监测系统 .....22

6 运输、运行和维护.....23

2 术 语 和 符 号

2.1 术 语

风功率密度蕴含了风速、风速分布和空气密度的影响，是风电场风能资源的综合指标。风电场风能指标的高低与风功率密度的高低相关联，参照《风电场风能资源评估方法》GB/T 18710—2002；风功率密度等级见表 1，推算给出当前主流轮毂高度处年平均风速。将风功率密度和年平均风速引入到低风速风力发电机组的定义。

表 1 风 功 率 密 度 等 级

高度 (m)	10		30		50	
风功率密度等级	风功率密度 (W/m <sup>2</sup> )	年平均风速参考值 (m/s)	风功率密度 (W/m <sup>2</sup> )	年平均风速参考值 (m/s)	风功率密度 (W/m <sup>2</sup> )	年平均风速参考值 (m/s)
1	<100	4.4	<160	5.1	<200	5.6
2	100~150	5.1	160~240	5.9	200~300	6.4
3	150~200	5.6	240~320	6.5	300~400	7
4	200~250	6	320~400	7	400~500	7.5
5	250~300	6.4	400~480	7.4	500~600	8
6	300~400	7	480~640	8.2	600~800	8.8
7	400~1000	9.4	640~1600	11	800~2000	11.9

注：与风功率密度上限值对应的年平均风速参考值，应按海平面标准大气压及风速频率为瑞利分布的情况推算。

根据风切变指数 1/7 和 1/10，计算主流轮毂高度处年平均风速，见表 2 和表 3。

表 2 主流轮毂高度处年平均风速（风切变指数 1/7）

高度（m）	70	80	90	100	风力发电
风功率密度等级	年平均风速参考值（m/s）	年平均风速参考值（m/s）	年平均风速参考值（m/s）	年平均风速参考值（m/s）	
1	5.8	5.9	6.0	6.1	低风速
2	6.7	6.9	7.0	7.1	低风速
3	7.4	7.5	7.7	7.8	较好
4	7.9	8.1	8.2	8.3	好
5	8.5	8.6	8.8	8.9	很好
6	9.2	9.4	9.6	9.7	很好
7	12.4	12.7	12.9	13.1	很好

表 3 主流轮毂高度处年平均风速（风切变指数 1/10）

高度（m）	70	80	90	100	风力发电
风功率密度等级	年平均风速参考值（m/s）	年平均风速参考值（m/s）	年平均风速参考值（m/s）	年平均风速参考值（m/s）	
1	5.3	5.4	5.5	5.5	低风速
2	6.2	6.3	6.4	6.4	低风速
3	6.8	6.9	7.0	7.0	较好
4	7.3	7.4	7.5	7.6	好
5	7.8	7.9	8.0	8.1	很好
6	8.5	8.6	8.7	8.8	很好
7	11.4	11.6	11.7	11.8	很好



3 机组等级分类、参数及结构技术要求

3.1 机 组 等 级 分 类

低风速风力发电机组等级分类目的在于涵盖大多数应用情况，分级按照相应的年平均风速、湍流强度进行，在现行国家标准的基础上对低风速段，以年平均风速为基础进行了细化。 $v_{ref}$ 采用现行国家标准《风力发电机组 设计要求》GB/T 18451.1 规定标准 III 类参考风速。随着叶片加长，低风速机组的极限载荷主导影响因素是空气密度和湍流强度，参考风速的影响度较小。因此，可采用标准 III 类参考风速作为低风速风力发电机组统一设计值。

根据低风速风电场实测风数据可知，15m/s 的风速样本量极少。从风速瑞利分布可知，年平均风速 6.5m/s 时，15m/s 风速概率占比只有 0.43%；年平均风速 5.5m/s 时，15m/s 风速概率占比只有 0.11%。10m/s 的风速占比相对较高，详见表 4。结合标准 GB 18451.1 中要求， $v_{hub}$ （指风力发电机组轮毂高度处的风速）在  $0.2v_{ref}$  到  $0.4v_{ref}$  的范围内，所有湍流标准偏差的代表值应大于或等于场地湍流标准差分布的 90%分位数。同时，GB/T 18451.1 中给出  $v_{ref}=5\times v_{ave}$ ，因此湍流强度需关注风速范围为  $v_{ave}$  到  $2v_{ave}$ ，见表 5。

表 4 低风速风电场风速概率占比

低风速风力发电机组等级	D-I	D-II	D-III
年平均风速（m/s）	6.5	6	5.5
15m/s 风速概率占比（%）	0.43	0.24	0.11
10m/s 风速概率占比（%）	2.9	2.46	1.94

表 5 湍流强度需关注的风速范围

低风速风力发电机组等级	D-I	D-II	D-III
年平均风速（m/s）	6.5	6	5.5
$v_{hub}$ 范围（m/s）	6.5-13	6-12	5.5-11

3.2 主要参数选择

3.2.2 风力发电机组辅助设备的额定电压一般为 0.4kV，为了规范统一，本条推荐低风速风力发电机组辅助设备的额定电压采用 0.4kV。

3.3 载荷、性能及结构技术要求

3.3.4、3.3.5 为了提高风力发电机组的性能，降低机组的成本，风力发电机组设计选型过程中，性能需具有竞争优势，因此，对风力发电机组切入风速、切出风速、额定风速、 $C_p$  值进行规定。

为确保低风速风电场具有开发价值，针对低风速风电场开发的低风速风力发电机组，其单位千瓦扫风面积不宜低于  $4.7\text{m}^2/\text{kW}$ ，具体要求见表 6。当综合折减系数为 0.7，建议低风速风力发电机组等效满负荷小时数不低于 2000h。

表 6 机组单位千瓦扫风面积和等效满负荷小时数

低风速风力发电机组等级	D-I	D-II	D-III
年平均风速（m/s）	6.5	6	5.5
单位千瓦扫风面积（ $\text{m}^2/\text{kW}$ ）	4.7	5.2	5.75
1.5MW 风轮直径（m）	95	100	105
2.0MW 风轮直径（m）	109	115	121
2.5MW 风轮直径（m）	122	129	135
3.0MW 风轮直径（m）	134	141	148
等效满负荷小时数（h）	2607	2429	2213

注：国内风电行业中，2.0MW 低风速风轮直径约在 110m 以上。计算等效满负荷小时数采用的综合折减系数为 0.7。

**3.3.7** 距居民区较近的风电场，根据《声环境质量标准》GB 3096 要求，2 类地区夜间噪声应小于 50dB；按照《风力发电机组验收规范》GB/T 20319—2006 中 5.10 噪声测定要求，风力发电机组声功率应小于或等于 110dB（A）。表 7 给出机组噪声与居民区位置噪声对应值，距居民 300m 的低风速风力发电机组，其噪声不宜高于 105dB。

**表 7 机组噪声与居民位置噪声对应值**

轮毂中心处噪声（dB）		110	107	105
塔筒高度（m）		85	85	85
居民区到风电机组的水平距离（m）	137	60.86	57.86	55.86
	200	58.27	55.27	53.27
	310	54.87	51.87	49.87
	400	52.77	49.77	47.77
	500	50.90	47.90	45.90
	560	49.95	46.95	44.95

**3.3.9** 低风速风力发电机组普遍采用长叶片以提高风力发机组扫风面积，保证风能的捕获。由于叶片加长和塔架增高，传统的部件惯性增加，整机频率向低频率的方向延伸。为了避免共振对风力发电机组产生破坏，提高风力发电机组安全与可靠性，必须进行整机的动力学分析。

## 4 附属系统技术要求

### 4.1 叶 片

**4.1.3** 低风速风力发电机组的叶片应该具有良好的低风速捕获性能，尽可能地捕获更多的风能，本导则规范叶片的要求：低风速风力发电机组的叶片设计应使叶片  $C_p-\lambda$  曲线上的高效区尽量宽。

### 4.3 传 动 链 系 统

风力发电机组齿轮箱损耗影响机组的发电量。应提供齿轮箱损耗曲线，给出空载时的损耗。

### 4.4 偏 航 系 统

**4.4.3** 对于低风速风力发电机组，为避免风轮和叶片产生过大陀螺力矩，偏航速度和偏航加速度取值应通过系统力学分析确定，本导则给出建议值。

### 4.6 控 制 与 保 护 系 统

**4.6.2** 低风速风电场在低风速时气流持续性差，需对风力发电机组的切入控制参数与保护逻辑进行优化设计，避免低风速时频繁启停机，保证低风速风力发电机组的安全性，并尽可能地捕获低风速段的风能；此外，风速较低时，湍流强度大，增大低风速风力发电机组捕获湍流风能力以及减小湍流强度对风力发电机组结构载荷的影响，也是控制与保护系统需要考虑的重要因素。变桨控制宜考虑切入风速、额定风速时叶片气动特性，进行桨距角调节，提高低风速风力发电机组发电性能。

## **4.7 在线振动监测系统**

**4.7.1** 根据能源行业标准《风力发电机组振动状态监测导则》NB/T 30014 规定，2MW 及以上风力发电机组必须安装振动状态监测系统，包含在线数据监测和故障诊断服务功能。

**4.7.2** 对振动在线监测系统在线数据监测的范围进行了明确，对故障诊断服务应包含的内容进行了规定，以便于用户优化维修工作，减少意外停机，延长部件使用寿命。

## 6 运输、运行和维护

**6.0.1** 低风速风电场多位于山区，山高、坡陡、路窄、弯急是该地区的突出特点，低风速风力发电机组对运输车辆动力及制动要求很高，不利于安全行车，因此，根据风力发电机组的外形尺寸、重量以及结构形式，并结合低风速地区风电场的道路运输条件，采取科学、有效的运输方案，才能保证运输的安全性，本条主要推荐运输方案的相关原则，同时提出运输过程中的相关要求。

**6.0.2** 由于风电场业主对制造厂商风力发电机组的机型描述、操作规程、危险情况警告、故障排除以及运行记录采集等并不了解，所以本导则在本条规定了风力发电机组制造厂商应随机提供风力发电机组运行手册，手册中应对上述提到的机型描述、操作规程等包含内容进行详细解释和描述。

**6.0.3** 由于风电场业主对制造厂商风力发电机组的维护条件、维护工作步骤、应急处理方案等并不了解，所以本导则在本条规定了风力发电机组制造厂商应随机提供风力发电机组运行维护手册，手册中应对上述提到的维护条件、维护工作步骤、应急处理方案等包含内容进行详细解释和描述。

---