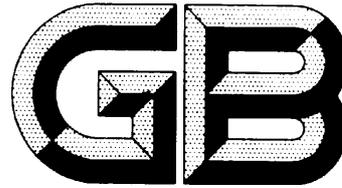


ICS 27.180
F 11



中华人民共和国国家标准

GB/T ××××—××××

风力发电机组 运行评价指标体系

Wind Turbines - Operation evaluation index system

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 录

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义.....	1
4 符号和缩略语.....	2
5 基本评价指标.....	2
5.1 发电性能.....	2
5.2 可利用率（AVAILABILITY）	3
5.3 可靠性（RELIABILITY）	5
5.4 运维经济性.....	7
6 运行质量评价方法	9
6.1 数据来源和主要评价指标.....	9
6.2 单一型号风力发电机组运行质量的评价	10
参 考 文 献.....	11

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国风力发电标准化技术委员会（SAC/TC 50）归口。

本标准主要起草单位：XXX。

本标准主要起草人：XXX。

风力发电机组 运行评价指标体系

1 范围

本文件规定了风力发电机组主要评价指标、计算分析和综合评价方法。

本文件适用于已并网运行的风电场风力发电机组运行质量的数据统计、计算分析和行业评价工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 33225 风力发电机组 基于机舱风速计法的功率特性测试

GB/Z 35482 风力发电机组 时间可利用率

GB/Z 35483 风力发电机组 发电量可利用率

GB/T18451.2 风力发电机组功率特性测试

3 术语和定义

GB/T 2900.53 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

机组故障 wind turbine failure

机组不能执行规定功能，并且不能远程复位和启动运行的停机事件，预防性维修或其它计划性活动或缺乏外部资源的情况除外。故障通常是产品本身失效后的状态，但也可能在失效前就存在。机组故障可用故障发生频次、平均故障间隔时间（MTBF）、平均排除故障耗时等指标衡量。

3.2

亚健康 sub-health

机组未报故障停机，但不能正常运行的状态。

3.3

可靠性 reliability

风电机组、子系统或部件在一定时间内、一定条件下无故障地执行指定功能的能力和可能性。

4 符号和缩略语

PCC	功率曲线符合性
PPSD	功率特性偏离
TBA	基于时间的风力发电机组可利用率
PBA	基于发电量的风力发电机组可利用率
MTBI	平均检修间隔时间
MTBF	平均故障间隔时间
MTTR	平均故障修复时间
FTAF	故障频次
MTOTF	平均机组故障总耗时
O&MCOE	度电维修成本

5 基本评价指标

从发电性能、可利用率、可靠性和运维经济性四个维度给出相关评价指标及计算方法。

5.1 发电性能

5.1.1 功率曲线符合性 (PCC, Power Curve Conformance)

功率曲线是风力发电机组输出功率和风速对应关系的曲线，是衡量风力发电机组发电性能的方法。通常使用按 IEC 61400-12-1 标准测量的功率曲线及估算的年发电量 (AEP) 来表征风力发电机组功率特性。计算方法如下：

1) 发电量符合率 = (实际发电量/潜在发电量) * 100%

$$F_p = \left(\frac{P_A}{P_p} \right) \times 100\%$$

式中：

F_p ——发电量符合率

P_A ——实际发电量

P_p ——潜在发电量， $P_p = P_A + P_L$ ， P_L 为损失发电量。

2) 其中损失电量 P_L 可采用全场平均发电量法或机舱功率曲线法。

$$P_{LAVE} = \sum_i \left(\frac{P_{ALL} - P_{SH-LPi}}{N_{OGFP}} \right)$$

$$P_{LPC} = \sum_i (PC_i \times F_{Wi} - P_{SH-LPi})$$

式中：

P_{LAVE} ——全场平均发电量法损失电量

P_{ALL} ——某机组停机 (或亚健康运行或限发) 时段全场发电量

P_{SH-LP_i} ——亚健康运行或限发时段该机组的发电量

N_{OGFP} ——正常运行机组台数

P_{LPC} ——机舱功率曲线法损失电量

PC_i ——某机组停机（或亚健康运行或限发）时段 SCADA 数据计算的功率曲线

F_{W_i} ——某机组停机（或亚健康运行或限发）时段 SCADA 记录的机舱风速仪风频分布

其中，损失电量的计算以全场平均发电量法为主，以机舱功率曲线法为辅，计算针对同一型号机组进行。当全场停电时，用机舱功率曲线法补算停电时段的损失电量。当现场地理条件复杂时，如复杂山地风电场，可同时使用两种计算方法计算，计算结果差异较大时，需要分析原因，修正误差。

3) 潜在发电量按照风电场条件下的动态功率曲线与评价期内风电场风功率预测系统测风数据的风频分布计算。

5.1.2 功率特性偏离 (PPSD, Power Performance Standard Deviation)

功率特性偏离是衡量风力发电机组发电性能控制水平的一种方法。风力发电机组的功率曲线是通过散点分布图绘制而成，功率特性偏离是指在实测功率曲线的标准偏差（每个风速 bin 区间）的条带范围内，测量散点的分散程度。

由于功率特性偏离的评价主要揭示风力发电机组的控制水平，所以用于评价功率特性偏离的数据可以使用来自风力发电机组 SCADA 系统的数据。

计算过程中采用正常运行机组的功率曲线。

5.2 可利用率 (Availability)

可利用率是反映风力发电机组在已运行期间的故障水平及服务 and 备件供应的及时性以及环境和电网条件满足风力发电机组运行范围程度的综合性指标。目前有以下两种方法评价可利用率。

5.2.1 基于时间的风力发电机组可利用率 (TBA, Time Based Availability)

TBA 指在一定的评价时间内风力发电机组无故障可使用时间占评价时间的百分比。其计算方法如下：

$$TBA = \frac{T_A}{T_A + T_U} \times 100\%$$

式中：

TBA——时间可利用率

T_A ——可用小时数

T_U ——不可用小时数

其中，时间包括统计时间和无效数据时间，统计时间又区分为可用小时数 T_A 和不可用小时数 T_U 。TBA 具体计算方法参考 GB/Z 35482。

5.2.2 基于发电量的风力发电机组可利用率（PBA, Production Based Availability）

PBA 是指一定的评价时间内风力发电机组实际发电量占潜在发电量的百分比。其计算方法如下：

$$PBA = \left(1 - \frac{P_{LW}}{P_A + P_{LW} + P_{LNW}} \right) \times 100\%$$

其中，

$$P_{LW} = \sum_i \left(\frac{P_{AP} - P_{SHi}}{N_{OGFP}} \right)$$

或/和

$$P_{LW} = \sum_i (PC_i * F_{wi} - P_{SHi})$$

$$P_{LNW} = \sum_i \left(\frac{P_{APN} - P_{LPi}}{N_{OGFP}} \right)$$

或/和

$$P_{LNW} = \sum_i (PC_{Ni} * F_{Nwi} - P_{LPi})$$

式中：

PBA——基于发电量的风力发电机组可利用率

P_{LW} ——机组损失电量

P_A ——实际发电量

P_{LNW} ——非机组原因损失电量

P_{AP} ——某机组自身原因停机（或亚健康运行）时段的全场发电量

P_{SHi} ——因自身原因停机（或亚健康运行）的某机组亚健康运行时段该机组的 SCADA 记录发电量

N_{OGFP} ——正常运行机组台数

PC_i ——因自身原因停机（或亚健康运行）的某机组评价期内 SCADA 数据计算的功率曲线

F_{wi} ——因自身原因停机（或亚健康运行）的某机组评价时段 SCADA 记录的机舱风速仪风频分布

P_{APN} ——某机组非自身原因停机（或限发等）时段的全场发电量

P_{LPi} ——因非自身原因停机（或限发等）的某机组限发时段发电量

PC_{Ni} ——因非自身原因停机（或限发等）的某机组评价期内 SCADA 数据计算的功率曲线

F_{Nwi} ——因非自身原因停机（或限发等）的某机组评价时段 SCADA 记录的机舱风速仪风频分布

其中，机组损失电量和非机组原因损失电量的计算以全场平均发电量法为主，以机舱功率曲线法为辅。当全场停电时，用机舱功率曲线法补算停电时段的损失电量。当现场地

理条件复杂时，如复杂山地风电场，应同时用两种计算方法计算，计算结果差异较大时，需要分析原因，修正误差。PBA 具体计算方法可参考 GB/Z 35483。

5.3 可靠性 (Reliability)

风力发电机组的可靠性与设计、生产、安装、调试和维护的质量好坏有直接关系。

评价风力发电机组可靠性的指标有：故障频次 (FTAF, Failure Times And Frequency)、平均检修间隔时间 (MTBI, Mean time between Inspection)、平均故障间隔时间 (MTBF, Mean Time Between Failures)、平均修理间隔时间 (MTBR, Mean Time Between Repair)、平均故障修复时间 (MTTR, Mean Time To Repair) 和平均机组故障总耗时 (MTOTF, Mean Time of Turbine Failures)。

5.3.1 故障频次 (FTAF, Failure Times And Frequency)

故障频次 FTAF 定义为风力发电机组在一定的统计周期内单台机组平均发生故障的次数。其计算方法如下：

- a) 确定统计周期，一般为一年，此时故障频次的单位为单台机组年平均故障次数（根据统计周期不同其单位有所不同）；
- b) 确定统计周期内机组数量和主故障次数（即机组主控系统报出的造成停机的首故障），此处主故障应除去电网故障；
- c) 除去不考虑的故障后，故障频次按下式计算：

故障频次=主故障次数/机组数量 （次/单台机组.年）

$$FTAF = \frac{MFT}{N}$$

式中：

FTAF——故障频次

MFT——主故障次数

N——机组台数

5.3.2 平均检修间隔时间 (MTBI, Mean Time Between Inspection)

平均检修间隔时间 MTBI 是两次定期或非定期维护之间间隔的时间。检修次数统计需遵循以下原则：

- a) 包括定期检修、非定期的实验、测试验证类工作、故障处理、维修、检查等现场停机操作工作；
- b) 每次风力发电机组现场维护开关切换至“本地”则计为一次检修；
- c) 单台风力发电机组一个工作日内出现多次检修记录，则计为一次；
- d) 如果一次维护持续几天，则仍视为一次单一事件；
- e) 业主要求的及其他强制检查（非机组因素）不计入检修次数。

具体计算方法如下：

- a) 根据控制系统记录的维护开关切换至“本地”的次数，按照上述统计原则进行检修次数统计；
- b) 确定统计样本范围内风力发电机组数量和统计周期内小时数，并按下式进行计算：

$$MTBI = \frac{T \times N}{n_i}$$

式中：

MTBI——平均检修间隔时间

T——统计周期小时数

N——机组台数

其中，如果检修次数为 0，则需要扩大统计周期或者样本范围直至检修次数不为 0，才能进行计算。

5.3.3 平均故障间隔时间 (MTBF, Mean Times Between Failures)

平均故障间隔时间 MTBF 是指风力发电机组两次相邻故障之间时间的期望。它直接衡量风力发电机组整体可靠性水平，综合评估风力发电机组故障频次和故障维修能力。其计算方法为：在规定的条件下和规定的时间内，风力发电机组两次相邻故障时间之和与风力发电机组故障次数的比值。其计算方法如下：

- a) 统计样本项目故障名称、故障时间等信息，故障数据选取风力发电机组故障（含远程人工复位）；
- b) 删除电网类故障，以及其他发生原因视为非机组本身造成的故障；
- c) 对于剩余故障，按照下式进行计算：

$$MTBF = \Sigma (\text{统计周期内日历小时数} - \text{SCADA系统无连接时间}) / \text{总故障次数}$$

$$MTBF = \frac{T_T - T_{IU}}{N_F}$$

式中：

MTBF——平均故障间隔时间

T_T——统计周期小时数

T_{IU}——SCADA 系统无连接时间

N_F——故障次数

如果故障次数为 0，则需要扩大统计周期或者样本范围直至故障次数不为 0，才能进行计算。对于统计周期和样本范围均已确定的情况，应标明“无故障”。

根据所要考察故障范围的不同，可以进一步细分评价不同类型故障影响结果（如需要现场维修、更换部件、大部件损坏等）的平均无故障运行时间。也可以进一步分析风力发电机组在不同风速段（如风速 < 8m/s、8m/s-额定风速、额定风速以上）的平均无故障运行时间。

平均修理间隔时间 MTBR 反映需要人工现场维修的故障平均发生的时间间隔，可在去除不需要现场维修的故障次数和停机时间后，参照上述方法计算。

5.3.4 平均故障修复时间 (MTTR, Mean Time To Repair)

平均故障修复时间MTTR是指在规定的条件下和规定的期间内,风力发电机组的故障维修总时间(即故障持续总时间,故障发生时间起至系统恢复正常止)与风力发电机组的故障次数之比。它是衡量维修服务团队响应速度、故障诊断、修复效率和备件保障能力的综合指标。其计算方法如下:

a) 统计样本项目故障名称、故障时间等信息,故障数据选取风力发电机组故障(含远程人工复位);

b) 删除电网类故障;

c) 对于剩余故障,按照下式进行计算:

$$MTTR = \frac{\text{统计范围内故障造成的停机时间总和}}{\text{故障次数}}$$

$$MTTR = \frac{T_S}{N_F}$$

式中:

MTTR——平均故障修复时间

T_S ——停机时间

N_F ——故障次数

其中,如果故障次数为0,则需要扩大统计周期或者样本范围直至故障次数不为0,才能进行计算。

根据所要考察故障范围和维修级别的不同,可以进一步细分评价不同类型故障影响结果(如需要现场维修、更换部件、大部件损坏等)的平均故障修复时间。也可以进一步分析风力发电机组在不同风速段(如:风速<8m/s、8m/s~额定风速、额定风速以上)发生故障的平均故障修复时间。

5.3.5 平均机组故障总耗时 (MTOTF, Mean Time of Turbine Failures)

平均机组故障总耗时 MTOTF 定义为一年内因风力发电机组故障停机消耗的总时间,综合反映风力发电机组运行质量和维修服务团队响应速度、故障诊断、修复效率和备件保障能力。其计算方式如下:

$$MTOTF=8760*MTTR / (MTBF+MTTR)$$

5.4 运维经济性

5.4.1 损失电量和损失电量成本

通过本标准5.1.1可得到统计范围内的损失电量，进而得到损失电量对应的售电收入损失。损失电量成本以上网售电电价为准，与可靠性相关的损失电量只包括故障损失电量和因风力发电机组本身原因导致的亚健康损失电量。

5.4.2 备件成本

备件成本是指统计期内，统计样本范围内风力发电机组消耗的备品备件成本总和。它与风力发电机组的内在可靠性密切相关。备件成本可从如下维度进行统计：

- a) 单位千瓦备件成本，单位元/kW；
- b) 度电备件成本，单位元/kWh；
- c) 单台机组备件成本，单位元；
- d) 不同机型、容量、地域等的备件成本对比分析。

5.4.3 维护成本

这里的维护成本包括年度定检和日常维护成本。

5.4.4 修理成本

风力发电机组的修理成本定义为机组使用过程中运维所产生的人力和物力投入，包括但不限于人工成本、设备使用成本、运输（车辆和船只）成本、安装成本和技术服务成本等，但不包括备件成本部分。

5.4.5 自用电成本

风力发电机组在运行中，从电网取电用于风力发电机组系统运行的电量称为自用电量。自用电量数据由风力发电机组控制系统从辅助变压器位置测量得到，进而可计算出自用电量的成本。

同时，风力发电机组的自用电率可通过统计周期内风力发电机组自用电量和发电量的比值获得，其计算公式如下：

$$R_C = \frac{E_C}{E_P}$$

式中：

R_C ——自用电率

E_C ——自用电量

E_P ——发电量

5.4.6 度电维修成本

特定风电场的度电维修成本是评价风力发电机组运行质量的综合指标。本标准考虑了备件成本、检修成本两部分，按年度计算。其计算公式如下：

$$O \& MCOE = \frac{C_{sp} + C_m + C_r}{P_A}$$

式中：

O&MCOE——度电维修成本

C_{sp} ——年备件成本

C_m ——年维护成本

C_r ——年修理成本

P_A ——年实际上网电量

项目建成投产后，年备件成本、维护成本和修理成本均可按本标准5.4.2~5.4.3计算获得。

根据项目数据收集情况和不同的评价目的，可在上述公式的基础上相应增减项目，进行不同内涵的度电成本的分析。

5.4.7 单位千瓦检修成本

单位千瓦检修成本是在一定的统计期内，统计样本机组的维护成本、修理成本和备品备件成本之和与其装机容量（kW）之比。其计算公式如下：

$$O \& MC/kW = \frac{C_{sp} + C_m + C_r}{C_w}$$

式中：

O&MC/kW——单位千瓦检修成本

C_{sp} ——年备件成本

C_m ——年维护成本

C_r ——年修理成本

C_w ——统计样本装机容量

备品备件成本、维护成本和修理成本可按本标准5.4.2~5.4.4计算。统计样本装机容量按照统计样本机组的容量计算。

上述风力发电机组的四大指标体系中，发电性能、可利用率和可靠性这三大类可作为某一型号风力发电机组运行质量的单项评价指标，运维经济性指标 O&MCOE 和 O&MC/kW 则可作为某一型号风力发电机组运行质量的综合评价指标。实际应用中，可根据不同的评价目的，选择合适的评价指标。

6 运行质量评价方法

6.1 数据来源和主要评价指标

风力发电机组运行质量评价主要采用被评价风力发电机组 SCADA 系统的历史数据、运

行维护记录数据、电网调度记录及上网电量等数据。至少应包括功率、风速、发电量、机组状态信息、全部故障记录、运行维修记录、限发记录、上网电量、输变电设施故障记录和检修停机时间信息。

本着“面向问题、易于操作、横向可比、结果有用”的原则，可采用基于发电量的可利用率 PBA、平均故障间隔时间 MTBF（或 MTBI）和平均机组故障总耗时 MTOTF 三项指标作为现阶段风力发电机组运行质量评价的主要指标。

表 1 基于 SCADA 系统和运维记录及限发记录等数据的评价指标

基本评价指标	主要评价指标	备注
发电性能	PCC	仅计算，不评价
	PPSD	仅计算，不评价
可利用率	TBA	TBA 仅计算，不评价
	PBA	仅计算，不评价
可靠性	MTBI	MTBI
	MTBF	仅计算，不评价
	MTBR	仅计算，不评价
	MTTR	仅计算，不评价
	FTAF	仅计算，不评价
	MTOTF	MTOTF
运维经济性	O&M COE	仅计算，不评价
	O&M/kW	仅计算，不评价

在实际评价过程中，由于受数据完整性的限制，在不同数据下应用风力发电机组运行质量评价指标时会略有差异。

6.2 单一型号风力发电机组运行质量的评价

基于特定风电场某一型号风力发电机组的 SCADA 数据和运行维护记录数据，按表 1 完整计算风力发电机组运行质量评价的三项主要指标。评价对象为单台机组，样本内逐台评价，通常以年为评价周期。

参 考 文 献

[1].NB/T 31045—2013 风电场运行指标与评价导则
