ICS 07.060；27.180
CCS F14

HY

中 华 人 民 共 和 国 海 洋 行 业 标 准

HY/T XXXXX—XXXX

潮流能发电装置运行技术指标综合评估方法

Comprehensive evaluation method for running technology index of tidal current energy generators

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

（报批稿）

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX –XX-XX 实施

中华人民共和国自然资源部　　发 布

目　　次

前　　言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 综合评估方法 2
附　录　A　（规范性） 综合评估方法 6
参　考　文　献 9

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC 283）归口。

本文件起草单位：国家海洋技术中心、上海海事大学、山东电力工程咨询院有限公司、中广核研究院有限公司。

本文件主要起草人：方芳、汪小勇、周虹丽、丁杰、姜波、李扬眉、武贺、吴国伟、毕大勇、周庆伟、方舣洲、王天真、高迪驹、邓胜忠、朱月涌、侯二虎、白杨、孟洁、朱丽宁。

潮流能发电装置运行技术指标综合评估方法

1 范围

本文件规定了潮流能发电装置（以下简称为“装置”）运行技术指标的综合评估方法。

本文件适用于装置运行阶段的技术指标评估工作。

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 18523—2001 水文仪器安全要求

GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差

GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变

GB/T 13972—2010 海洋水文仪器通用技术条件

GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波

GJB 368B—2009 装备维修性工作通用要求

GJB 450A—2004 装备可靠性工作通用要求

GJB 2547A—2012 装备测试性工作通用要求

GJB 3872—1999 装备综合保障通用要求

IEC/TS 62600-200 海洋能-波浪能、潮流能和其他水流能转换装置-第200部分：潮流能转换装置-电力性能评估(Marine energy—Wave,tidal and other water current converters—Part 200: Electricity producing tidal energy converters—Power performance assessment)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

潮流能发电 tidal current power generation

利用潮流的动能驱动叶轮旋转或其他形式使发电机发电的过程。

[来源：GB/T 33543.3—2017，2.16，有修改]

3.2

电能质量 power quality

装置并网处的电特性，关系到供用电设备正常工作（或运行）的电压、电流和频率等各种指标偏离基准技术参数的程度。

[来源：GB/T 32507—2016，定义2.2.1，有修改]

3.3

可靠性 reliability

一个系统或装置在给定时段和给定条件下正常运行的可能性。

[来源：GB/T 37551—2019，4.1.15]

3.4

可维护性 maintainability

在规定的条件下和规定的时间内，按规定的程序和方法对特定使用条件下的装置进行维修时，保持或者恢复到规定状态的能力。

[来源：GJB 451A—2005，2.1.4.1，有修改]

3.5

保障性 supportability

装置的设计特性和计划的保障资源满足装置稳定运行和极端天气下使用要求的能力。

3.6

测试性 testability

装置能及时、准确地确定其状态（可工作、不可工作或性能下降程度），并隔离其内部故障的一种设计特性。

[来源：GJB 2547A—2012，3.3.1，有修改]

3.7

安全性 safety

装置具有的不导致人员伤亡、损坏、财产损失或不危及人员健康和环境的能力。

[来源：GJB 900A—2012，3.3，有修改]

3.8

环境适应性 environmental worthiness

装置在规定的环境条件下正常运行，且达到规定的各项性能指标的能力。

4 综合评估方法

4.1 概述

装置运行技术指标的综合评估采用基于模糊综合评判法的数学方法。

4.2 确定评估目的

通过综合评估，给出客观的技术评价结果。

4.3 确立评估原则

综合评估应遵循以下原则：

a) 全面性原则，综合评估应全面地反映装置运行阶段质量的整体水平；
b) 层次性原则，综合评估在指标设置上应按照指标间的层次递进关系进行设置；
c) 独立性原则，指标应在同一层次上相互独立没有交叉。

4.4 分析评估对象

确定装置的类型、功能性能、布放环境等，获取装置相关的机电信息和布放位置的环境信息等。

4.5 确立综合评估指标体系

确立装置的综合评估指标体系，示例见图1。图1中1级指标、2级指标和3级指标的建立方法见4.6，图1中所列举各单项指标的选取见4.7。

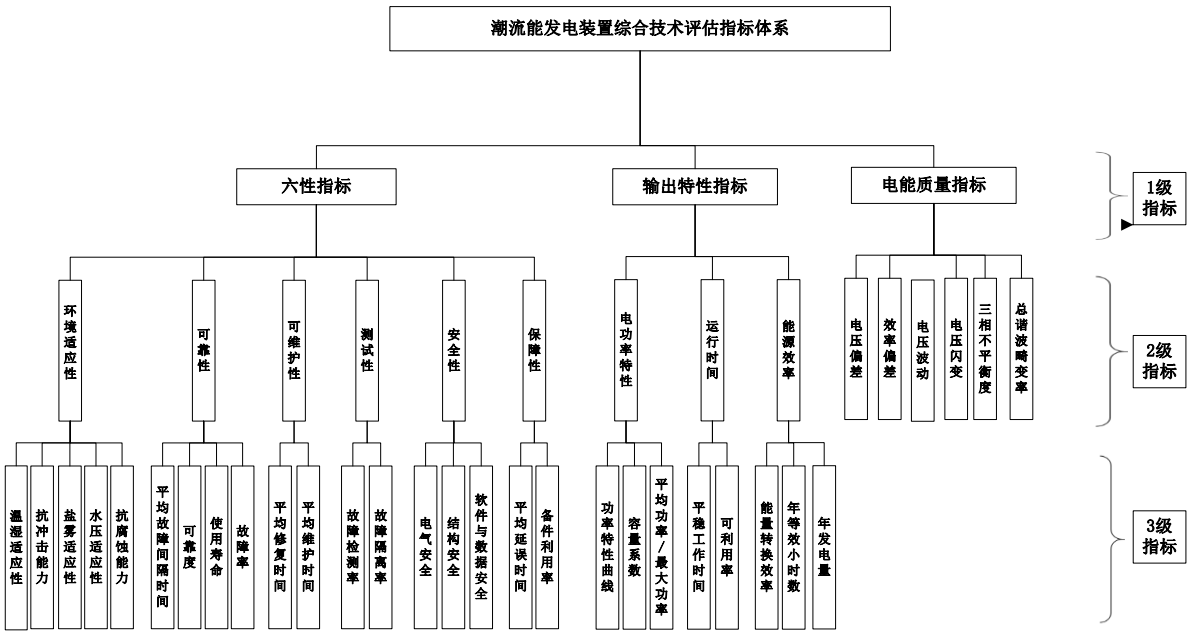


图1　潮流能发电装置的综合评估指标体系示意图

4.6　综合评估指标体系的建立方法

4.6.1　1 级指标

1 级指标应为对装置运行时的功能性能产生重大影响的指标，分为输出特性指标、电能质量指标和六性指标等。

4.6.2　2 级指标

2级指标应为1级指标的分解：

a)　输出特性指标分解为电功率特性、运行时间和能源转换效率等；

b)　电能质量指标分解为电压偏差、频率偏差、电压波动/闪变、三相不平衡和总谐波畸变率等，依据的标准如下：

1)　电压偏差指标依据 GB/T 12325；

2)　频率偏差指标依据 GB/T 15945；

3)　电压波动/闪变指标依据 GB/T 12326；

4)　三相不平衡指标依据 GB/T 15543；

5)　总谐波畸变率指标依据 GB/T 24337。

c)　六性指标分解为可靠性、可维护性、保障性、测试性、安全性和环境适应性。

4.6.3　3 级指标

3级指标应为2级指标的细化。3级指标的提炼依据的标准如下：

a)　输出特性指标中 3 级指标的提炼依据 IEC/TS 62600-200；

b)　六性指标中 3 级指标的提炼具体依据：

1)　可靠性指标包含平均故障间隔时间、可靠度、使用寿命和故障率等，进一步扩展依据 GJB 450A—2004 中的 4.6.2.2；

2)　可维护性指标包含平均修复时间和平均维护时间等，进一步扩展依据 GJB 368B—2009 中的 4.6.1.2；

3)　测试性指标包含故障检测率和故障隔离率等，进一步扩展依据 GJB 2547A—2012 中的 4.6.2；

4) 安全性指标包含电气安全、结构安全和软件与数据安全等，进一步扩展依据 GB 18523—2001 第 6 章、第 7 章及第 8 章；
5) 保障性指标包含平均延误时间和备件利用率等，进一步扩展依据 GJB 3872—1999 中的 4.3.1.1；
6) 环境适应性包含温湿适应性、抗冲击能力、盐雾适应性、水压适应性和抗腐蚀能力等，进一步扩展依据 GB/T 13972—2010 中的 5.4.1。

4.6.4 n 级指标

n级指标应为n-1级指标的进一步细化。

4.7 运行技术指标的选取

分析装置稳定运行的评估影响要素，分解影响要素，提出能反映上1级指标特性的指标。装置运行技术指标的选取见表1，其中指标的确定包含（但不限于）表1中所示。

表1 装置运行技术指标的选取

影响要素	指标	释义
电功率特性	功率特性曲线	以特征流速为横坐标、以输出功率为纵坐标而绘制的曲线，表征装置捕获动能能力大小的重要指标。
	容量系数	表征装置能量输出情况，是装置在给定时间内平均输出功率与额定功率的比值。
	平均功率/最大功率	表征装置正常运行过程中,输出最大电功率的能力, 即指在整个测试周期内,装置平均功率与最大功率之比,比值越接近实数1,表明该装置输出最大功率的次数越多,其电功率的输出能力就越好。
运行时间	可利用率	在提供了必要的外部资源的前提下，装置在给定条件和给定时段正常运行的能力。对于连续运行的装置,可利用率=正常运行时间/(正常运行时间+停机时间)。
	平稳工作时间	装置在整个测量周期中,每次涨潮、落潮期间装置正常工作能够稳定输出电功率时间。
能源效率	能量转换效率	表征装置净电功率输出与真实潮流能能量输入之比。
	年等效小时数	装置统计周期内（一般为1年）的发电量折算到其满负荷运行下的发电小时数。
	年发电量	装置一年内总发电量。
电能质量	电压偏差	实际运行电压对系统标称电压的偏差相对值，以百分数表示。
	电压波动	基波电压方均根值（有效值）一系列的变动或连续的改变。
	闪变	人对于视觉不稳定的感受,这种视觉不稳定是由于供电电压波动引起光源的照度或频率随时间变化而导致的。
	不平衡度	三相电力系统中三相不平衡的程度。用电压、电流负序基波分量或零序基波分量与正序基波分量的方均根值百分比表示。
	总谐波畸变率	周期性交变量中的谐波含量的方均根值与其基波分量的方均根值之比,用百分数表示，包括总谐波畸变率和电流总谐波畸变率。
	频率偏差	系统频率实测值与标准值之差。
可靠性	平均故障间隔时间	在规定的条件下和规定的期间内，装置寿命内总正常运行时间与总故障次数之比。
	可靠度	装置在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的能力。
	使用寿命	装置在规定条件下从首次开始使用直至其最终淘汰所经历的时间。
	故障率	在规定的条件下和规定的期间内，装置的故障总数与寿命单位总数之比。
可维护性	平均修复时间	在规定的条件和规定的期间内装置在规定的维修级别上,修复性维修总时间与该级别上被修复装置的故障总数之比。
	平均维护时间	与维护有关的一种维修性参数，指装置总维护时间与维护次数之比。
测试性	故障检测率	用规定的方法正确检测到的故障数与故障总数之比。
	故障隔离率	用规定的方法将检测到的故障正确隔离到不大于规定模糊度的故障数与检测到的故障数之比。
安全性	结构安全	在正常工作条件下，装置结构上的不稳定性，不应给操作或维修人员带来危险,同时装置的强度和材料应具有足够的机械强度,应能经受其使用环境下各种恶劣气候的变化和可能发生的不当操作。

影响要素	指标	释义
	电气安全	完成基本的电气安全测试，包括绝缘电阻、泄漏电流及介电强度的测试，并具备各种防雷和防电磁辐射的措施。
	软件及数据安全	对应用软件程序、系统数据及测量采集数据应具有安全防护和防意外操作失误等保护措施。
保障性	平均延误时间	在规定的时间内，保障资源延误总时间与保障事件总数之比。
	备件利用率	表征装置故障后对备件的利用情况，备件利用率越高说明装置故障后处理效率越高。
环境适用性	温湿适应性	装置在其寿命期预计可能遇到的温湿环境作用下能实现其所有预定功能和性能及不被破坏的能力。
	抗冲击能力	装置在其寿命期内预计可承受的抵抗冲击的能力。
	盐雾适应性	装置在其寿命期预计可能承受的抵抗盐沉积物对装置物理和电气性能的影响的能力。
	水压适应性	装置在其寿命期内预计可承受的海水压力。
	抗腐蚀能力	装置在其寿命期内预计可能承受的抵抗腐蚀对结构的影响的能力。
注：未并网的装置应剪裁掉电能质量的相关指标。		

4.8 其他需注意的问题

根据装置的特征、类型、布放环境、工作载体和运行方式等因素对综合评估指标体系中的运行技术指标进行确认或剪裁，确认或剪裁的方式可采取调研装置研发人员、使用人员或开展专家评议等，明确指标确认或者剪裁的原因。

4.9 构建综合评估模型

在建立综合评估指标体系的基础上，通过分层分类评估构建综合评估模型。基于模糊综合评判法构建综合评估模型的基本过程如下：

a） 确定指标集；
b） 确立评语集；
c） 单指标模糊评判；
d） 确定指标权重；
e） 模糊综合评判；
f） 综合评估结果的量化处理；
g） 评估结果分析。

综合评估方法见附录A。

附 录 A
（规范性）
综合评估方法

A.1 确定指标集

根据综合评估指标体系确定指标集$U=(u_1,u_2,\ldots,u_m)$，其中$u_i(i=1,2,\ldots,m)$表示影响评估对象的各项指标。

A.2 确定评语集

评语集$V=(v_1,v_2,\ldots,v_n)$，用$v_j(j=1,2,\ldots,n)$来描述每一评估指标$u_i(i=1,2,\ldots,m)$所处状态的评估结果，即评估等级。

A.3 单指标模糊评判

对指标集$U=(u_1,u_2,\ldots,u_m)$中的每一指标进行判断，计算每一指标u_i在评判集$v_j(j=1,2,\ldots,n)$的模糊集$R_i=(r_{i1},r_{i2},\ldots,r_{im})$。确定$r_{im}$的方法采用专家评分法：由若干个专家组成评估小组进行评估,即评判每个指标u_i的评估等级v_j，他们之间的隶属程度用小数表示（隶属度即在所有专家中赞同的人数与总人数的比值）。由单指标的模糊集汇总得到隶属度矩阵R，隶属度矩阵R按式（A.1）计算。

$$R=\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(A.1)$$

式中：

R ——隶属度矩阵；

r_{mn} —第m行，第n列单指标评估隶属度。

A.4 基于层次分析法的改进方法确定指标权重

应用层次分析法，判断各层次中指标之间的相对重要性,确定各个指标的权重及权重集W，各指标的权重系数满足式（A.2）。

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1(w_i \geq 0) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(A.2)$$

式中：

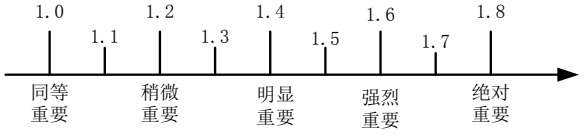
w_i ——u_i指标权重值。

采用序关系分析法对层次分析法进行改进，步骤如下：

a) 按照各指标对评估对象的重要性程度确定序关系：即指标$U=(u_1,u_2,\ldots,u_m)$，根据专家经验对各指标的相对重要性进行排序，得到序关系$u_i \succ u_2 \succ \ldots \succ u_k(i,j,k=1,2,\ldots,m)$；

b) 给出相邻指标u_k与u_{k+1}之间相对重要程度的比较，用r_k表示，

$r_k=w_{k-1}/w_k\ (k=m,m-1,m-2,\ldots 3,2)$，$r_k$的赋值见图A.1，$r_k$一般由决策者或者评估专家提供。



图A.1 比例标度表

c) 计算指标 u_k 的权重系数 w_k。若 $u_1, u_2, ..u_m$ 具有序关系，则 r_{k-1} 与 r_k 应满足 $r_{k-1} \geq r_k (k = m, m-1, m-2, ..3, 2)$。指标 u_k 的权重系数 w_k 按式（A.3）计算。

$$w_k = (1 + \sum_{k=2}^{n} \prod_{i=k}^{n} r_i)^{-1} \qquad \text{.....(A.3)}$$

式中：

w_k ——u_k 指标的权重值；

r_i ——u_{k+1} 与 u_k 的比值，代表相邻指标间的相对重要程度。

A.5 模糊综合评判

将权重向量 W 与隶属度矩阵进行模糊变换得到综合评估向量 B，按式（A.4）计算。

$$\begin{aligned} B &= W \bullet R \\ &= (w_1, w_2, \cdots, w_m) \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} \\ &= (b_1, b_2, \cdots, b_m) \end{aligned} \qquad \text{.....(A.4)}$$

式中：

B ——基于诸因子的综合评估结果，应按模糊数学最大隶属度原则，取隶属度最大者所对应的等级作为评估的适宜级别；

W ——权重向量；

R ——隶属度矩阵；

b_m ——1级指标评估值。

A.6 综合评估结果的量化处理

将评语集分为4个等级，即 $n = 4$，$V = (v_1, v_2, v_3, v_4)$。按照百分制，分别对应优秀[80，100]，取值90；良好（70，80），取值75；基本合格[60，70），取值65；不合格[0，60），取值30。

综合评估等积分值 P 反映了由评估向量 B 和等级参数向量 V 带来的综合信息，综合评估等级分值 P 按式（A.5）计算。

$$P = B \bullet V^T = (b_1, b_2, ..., b_m) \begin{pmatrix} 90 \\ 75 \\ 65 \\ 30 \end{pmatrix} \qquad \text{.....(A.5)}$$

式中：

P ——综合评估等级分值

B ——基于诸因子的综合评估结果；

V ——综合评估等级；

b_m ——1级指标评估值。

A.7 综合评估结果分析

P 是综合评估结果，反映了装置的综合技术水平，P 值越大，装置综合技术水平越高，装置稳定运行能力越强，技术成熟度越高，开展规模化利用的价值越大。

参 考 文 献

[1] GB/T 5081—1985 电子产品现场工作可靠性、有效性和维修性数据收集指南
[2] GB/T 18185—2014 水文仪器可靠性技术要求
[3] GB/T 19485—2004 海洋工程环境影响评价技术导则
[4] GB/T 33543.1—2017 海洋能术语 第1部分：通用
[5] GB/T 33543.3—2017 海洋能术语 第3部分：电站
[6] HY/T 059—2002 海洋站自动化观测通用技术要求
[7] 杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选[M].北京：清华大学出版社，2008.