



中华人民共和国国家标准

GB/T 15613—2023/IEC 60193:2019

代替 GB/T 15613.1—2008, GB/T 15613.2—2008, GB/T 15613.3—2008, GB/T 10969—2008

水轮机、蓄能泵和水泵水轮机 模型验收试验

Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines
model acceptance tests

(IEC 60193:2019, Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines—
Model acceptance tests, IDT)

2023-03-17 发布

2023-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	VII
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义、符号和单位	2
3.1 通则	2
3.2 通用术语	2
3.3 单位	4
3.4 术语、符号和单位	4
4 水力性能保证值的性质和范围	23
4.1 通则	23
4.1.1 设计数据及商定值	23
4.1.2 水力性能保证值的定义	24
4.1.3 相关量的保证	24
4.1.4 保证形式	24
4.2 通过模型试验验证的主要水力性能的保证值	24
4.2.1 各种类型水力机械的保证量	24
4.2.2 具体应用	25
4.3 模型试验不能验证的保证值	26
4.3.1 空蚀的保证	26
4.3.2 最大瞬态超速和最大瞬态压力上升的保证值	26
4.3.3 噪声和振动的保证值	27
4.4 辅助性能数据	27
5 试验的执行	27
5.1 对试验台和模型的要求	27
5.1.1 实验室的选择	27
5.1.2 试验台	27
5.1.3 模型要求	28
5.2 尺寸检查	30
5.2.1 通则	30
5.2.2 原型和模型所用术语的解释	30
5.2.3 尺寸检查的目的	30
5.2.4 一般准则	30
5.2.5 尺寸检查程序	31

5.2.6	不同类型水力机械的应用	32
5.2.7	尺寸检查的方法	32
5.2.8	尺寸检查测量精度	40
5.2.9	尺寸检查范围	40
5.2.10	水轮机、水泵和水泵水轮机原型和模型之间几何相似性的允许最大偏差	44
5.2.11	表面波浪度和粗糙度	46
5.3	水力相似	49
5.3.1	基本理论要求和相似数	49
5.3.2	本文件中采用的水力相似条件	49
5.3.3	各种类型模型试验相似性要求	50
5.3.4	雷诺数相似	51
5.3.5	弗劳德数相似	51
5.3.6	其他相似条件	53
5.4	试验条件	54
5.4.1	试验条件的确定	54
5.4.2	模型尺寸的最小值和应满足的试验条件	54
5.4.3	测量中的波动和稳定性	55
5.4.4	工况点的调节	55
5.5	试验程序	55
5.5.1	试验组织	55
5.5.2	检查与标定	57
5.5.3	试验实施	58
5.5.4	故障和重复试验	62
5.5.5	最终试验报告	63
5.6	测量方法介绍	63
5.6.1	总则	63
5.6.2	主要水力性能保证相关的参量测量	64
5.6.3	辅助性能数据测量	65
5.6.4	数据采集和处理	65
5.7	物理特性	65
5.7.1	总则	65
5.7.2	重力加速度	65
5.7.3	水的物理特性	66
5.7.4	大气的物理条件	70
5.7.5	水银的密度	70
6	主要水力性能的测量和计算方法	70
6.1	数据采集和处理	70

6.1.1	概述	70
6.1.2	一般要求	71
6.1.3	数据采集	71
6.1.4	部件要求	73
6.1.5	数据采集系统的检查	75
6.2	流量测量	77
6.2.1	总则	77
6.2.2	测量方法的选择	78
6.2.3	测量精度	78
6.2.4	原级方法	79
6.2.5	次级方法	80
6.3	压力测量	82
6.3.1	通则	82
6.3.2	压力测量断面的选择	82
6.3.3	测压头和连接管路	82
6.3.4	压力测量仪器	84
6.3.5	压力测量仪器的标定	89
6.3.6	真空测量	90
6.3.7	压力测量的不确定度	90
6.4	自由水位的测量(也可参见 ISO 4373)	90
6.4.1	总则	90
6.4.2	水位测量断面的选择	91
6.4.3	测量断面的测点数	91
6.4.4	测量方法	91
6.4.5	自由水位测量的不确定度	92
6.5	水力比能 E 和净正吸入比能 NPSE 的确定	93
6.5.1	通则	93
6.5.2	水力比能 E 的确定	93
6.5.3	E 的简化公式	95
6.5.4	净正吸入比能 NPSE 的确定	100
6.6	主轴力矩的测量	101
6.6.1	总则	101
6.6.2	力矩的测量方法	102
6.6.3	输入功率/输出功率的测量方法	102
6.6.4	测功布置及原理图	103
6.6.5	系统检查	107
6.6.6	标定	107

6.6.7	力矩测量的不确定度(95%的置信水平)	108
6.7	转速测量	109
6.7.1	总则	109
6.7.2	转速测量方法	109
6.7.3	检查	109
6.7.4	测量的不确定度	109
6.8	试验结果的计算和表示	109
6.8.1	总体要求	109
6.8.2	保证范围内的功率、流量和效率	115
6.8.3	稳态飞逸转速及流量的计算	124
6.9	误差分析	128
6.9.1	定义	128
6.9.2	模型试验中不确定度的确定	129
6.10	与保证值的比较	132
6.10.1	总则	132
6.10.2	插值曲线和总不确定度带宽	132
6.10.3	保证范围内的功率、流量和/或水力比能和效率	133
6.10.4	飞逸转速和飞逸流量	136
6.10.5	空化保证	137
7	辅助性能试验——测量方法和结果	138
7.1	辅助试验数据测量说明	138
7.1.1	通则	138
7.1.2	试验条件和试验程序	139
7.1.3	测量的不确定度	139
7.1.4	模型到原型的换算	139
7.2	脉动量	139
7.2.1	脉动量测量的数据采集和数据处理	139
7.2.2	压力脉动	143
7.2.3	主轴力矩脉动	154
7.3	轴向力和径向力	155
7.3.1	通则	155
7.3.2	轴向水推力	156
7.3.3	径向推力	162
7.4	控制机构部件的水力载荷	165
7.4.1	通则	165
7.4.2	导叶力矩	166
7.4.3	转轮叶片力矩	171

7.4.4	水斗式水轮机喷针作用力和折向器力矩	175
7.5	拓展的运行范围内的试验	178
7.5.1	总则	178
7.5.2	四象限	178
7.5.3	运行工况	179
7.5.4	试验范围	181
7.5.5	拓展运行范围的试验方法	182
7.6	有关原型指数试验的差压测量	184
7.6.1	总则	184
7.6.2	试验目的	184
7.6.3	试验的实施	184
7.6.4	试验结果分析	184
7.6.5	换算到原型	185
7.6.6	不确定度	185
附录 A (资料性)	无量纲术语	186
附录 B (规范性)	物理特性、数据	188
附录 C (资料性)	试验和计算程序汇总	194
附录 D (规范性)	反击式机械水力效率的比尺效应	198
附录 E (资料性)	GB/T 15613 和 IEC 62097:2019 关于反击式水力机械水力效率换算方法的比较	203
附录 F (规范性)	考虑机组摩擦损失和风损的原型飞逸特性的计算	205
附录 G (资料性)	确定最光滑曲线的示例:独立区段法	206
附录 H (资料性)	误差源分析和不确定度评估的示例	209
附录 I (规范性)	水斗式水轮机水力效率的比尺效应	214
附录 J (规范性)	恒定运行条件下试验的随机误差分析	217
附录 K (规范性)	电站空化系数 σ_{pi} 的计算	220
附录 L (资料性)	水力比能、流量和功率的流程图	223
附录 M (资料性)	压力信号的同步和异步分量	225
附录 N (资料性)	水力系统的固有频率	227
附录 O (资料性)	轴向力分量的计算	228
参考文献		233

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。

本文件代替 GB/T 15613.1—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验 第一部分：通用规定》、GB/T 15613.2—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验 第二部分：常规水力性能试验》、GB/T 15613.3—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验 第三部分：辅助性能试验》和 GB/T 10969—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机通流部件技术条件》，与 GB/T 15613.1—2008、GB/T 15613.2—2008、GB/T 15613.3—2008 和 GB/T 10969—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了空化系数的定义(见 3.4.7, GB/T 15613.1—2008 中的 3.3.6)；
- b) 更改了压力脉动名词术语和分析方法(见 3.4.11, GB/T 15613.1—2008 中的 3.3.10)；
- c) 更改了模型和原型尺寸检查方法和检查工具(见 5.2.1、5.2.3、5.2.4、5.2.5 和 5.2.7, GB/T 10969—2008 中的 4.1、4.2 和 4.5)；
- d) 由于采用了新技术,增加了尺寸检查的精度要求(见 5.2.8)；
- e) 将尺寸检查表进行合并简化(见 5.2.10, GB/T 10969—2008 中的 4.7.1.6、4.7.2.3 和 4.7.3.5)；
- f) 更改了原型波浪度的要求(见 5.2.11.2, GB/T 10969—2008 中的 4.8.2)；
- g) 更改了粗糙度的测量方法(见 5.2.11.3, GB/T 10969—2008 中的 4.8.1)；
- h) 更改了空化试验中气核含量的测量方法/基准(见 5.7.3.2.2, GB/T 15613.1—2008 中的 5.5.3.2)；
- i) 更改了流量测量方法(见 6.2, GB/T 15613.2—2008 中的 5.2)；
- j) 增加了准确测量模型压力脉动分析时间的要求(见 7.2.1.2.4)；
- k) 更改了将模型压力脉动测量值换算到原型的方法(见 7.2.2.8, GB/T 15613.3—2008 中的 5.1.7)；
- l) 更改了对径向推力的换算方法(见 7.3, GB/T 15613.3—2008 中的 5.3.3)；
- m) 更改了控制部件水力载荷试验(见 7.4, GB/T 15613.3—2008 中的 5.4)；
- n) 更改了拓展运行范围内的试验方法(见 7.5, GB/T 15613.3—2008 中的 5.5)；
- o) 更改了指数试验相关内容(见 7.6, GB/T 15613.3—2008 中的 5.6)；
- p) 增加了 IEC 62097:2019 涉及的一种新的水力性能换算方法(见附录 E)；
- q) 增加了轴向力分量的计算(见附录 O)。

本文件等同采用 IEC 60193:2019《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机 模型验收试验》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——在图 3 说明 a)、3.4.13、表 3、5.3.1、5.3.5.2.1、5.3.5.2.3、5.5.3.6、5.7.5、图 56～图 58、图 61、图 62、图 64、图 66、图 68、图 74～图 79、图 92 中增加注。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国水轮机标准化技术委员会(SAC/TC 175)归口。

本文件起草单位：哈尔滨大电机研究所有限公司、中国水利水电科学研究院、东方电气集团东方电机有限公司、哈尔滨电机厂有限责任公司、国网新源控股有限公司、中水北方勘测设计研究有限责任公司、国网湖南省电力有限公司电力科学研究院、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、中国三峡建

工(集团)有限公司、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、中国农业大学水利与土木工程学院、国网新源控股有限公司抽水蓄能技术经济研究院、国家水力发电设备工程技术研究中心、水力发电设备国家重点实验室、北京中水科水电科技开发有限公司。

本文件主要起草人：覃大清、张海平、刘德民、徐用良、何成连、张建光、肖微、田海平、刘洁、胡清娟、王福军、蒋登云、伍志军、陈顺义、张恩博、吴喜东、朱雷、张弋扬、陈莹、黄波、李海军、李立、唐卫平、孟晓超、赵越、郑应霞、谢捷敏、刘诗琪。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1995年首次发布为GB/T 15613—1995；

——2008年第一次修订时，以GB/T 15613—1995和IEC 60193:1999为基础，将标准分为GB/T 15613.1—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验 第一部分：通用规定》、GB/T 15613.2—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验 第二部分：常规水力性能试验》、GB/T 15613.3—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验 第三部分：辅助性能试验》和GB/T 10969—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机通流部件技术条件》四个部分；

——本次为第二次修订。

水轮机、蓄能泵和水泵水轮机 模型验收试验

1 范围

本文件适用于在实验室条件下试验的冲击式和反击式的水轮机、蓄能泵和水泵水轮机。

本文件适用于机组功率大于 5 MW 或公称直径大于 3 m 的原型对应的模型。将本文件所规定的程序完全地应用于机组功率或公称直径较小的水轮机,一般来说并不合适。但若供需双方认可,则此类水力机械上也可参照执行。

在本文件中,术语“水轮机”包括以水轮机方式运行的水泵水轮机,术语“水泵”包括以水泵方式运行的水泵水轮机。

除与试验有关的事项之外,本文件不包括纯商业利益的事项。

只要机械的结构或部件不影响模型的性能或模型与原型间的相互关系,那么本文件既不涉及水力机械的详细结构,也不涉及水力机械部件的机械性能。

本文件规定了验证水轮机、蓄能泵和水泵水轮机的主要水力性能是否满足合同保证值(见 4.2)所进行的模型验收试验的有关事项。

如果对试验的任何步骤持异议,可参看本文件,它包含了指导试验进行的规则和描述了所采取的测量方法。

本文件的主要目的是:

- 定义所使用的术语和参数;
- 为了确定模型的水力性能,规定试验方法和所涉及的测量参数;
- 规定结果的计算方法以及与保证值的比较方法;
- 确定本文件所规定范围内的合同保证值是否得到满足;
- 定义最终报告的范围、内容和结构。

保证值可以以下列方式之一给出:

- 原型水力性能保证值,考虑比尺效应后根据模型试验结果计算获得;
- 模型水力性能的保证值。

此外,为了水轮机原型的设计或运行,也需要确定一些辅助性能数据(见 4.4)。与第 4 章~第 6 章对主要水力性能的要求不同,第 7 章给出的有关辅助性能数据的信息对使用者仅具有建议或指导性(见 7.1)。

如果现场验收试验(见 GB/T 20043—2005)的预期条件不能验证原型的保证值,更推荐进行模型验收试验。

IEC 62097:2019 介绍了一种适用于水泵水轮机、混流式水轮机和轴流式水轮机的考虑模型和原型过流表面粗糙度的性能换算方法。这种方法需要模型和原型表面粗糙度数据,在考虑模型和原型间效率修正时考虑了 n_{ED} 、 Q_{ED} 和 P_{ED} 因数的变化。但是对半蜗式混流式和轴流式水轮机,由于缺乏足够数据,该换算方法尚未得到充分验证。此外,IEC 62097:2019 不适用于蓄能泵、水斗式水轮机和斜流式水轮机。因此,除非有特殊的约定,可以假设模型和原型均为水力光滑流动,按照附录 D 和附录 I 给出的换算公式和程序计算。附录 E 说明了 IEC 60193 和 IEC 62097:2019 换算方法的应用范围和局限性。

从模型到原型的性能转换方法需在主要水力性能合同中明确定义。

本文件也适用于其他目的模型试验,例如对比试验和研究及开发性的工作。