



中华人民共和国国家标准

GB/T 28545—2023

代替 GB/T 28545—2012

水轮机、蓄能泵和水泵水轮机 更新改造和性能改善导则

Directives for rehabilitation and performance improvement for hydraulic
turbines, storage pumps and pump-turbines

(IEC 62256:2017, Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines—
Rehabilitation and performance improvement, MOD)

2023-12-28 发布

2024-07-01 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 次

前言	VII
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 改造的原因	2
5.1 概述	2
5.2 提高可靠性和可用性	4
5.3 修复性能和延长使用寿命	4
5.4 性能改善	4
5.5 提高电站安全性	4
5.6 环境、社会和管理问题	4
5.7 降低维护和运行成本	5
5.8 其他需要考虑的问题	5
6 更新改造的工作内容	5
6.1 资料的收集和评估	5
6.1.1 资料收集	5
6.1.2 资料评估	6
6.2 方案的确定	6
6.2.1 通则	6
6.2.2 各种比选方案改造范围的确定	7
6.2.3 比选方案的成本确定	8
6.2.4 比选方案进度安排的确定	8
6.2.5 比选方案效益的确定	8
6.2.6 比选方案的风险管理	8
6.2.7 比选方案的经济分析	9
6.3 合同条款	9
6.3.1 概述	9
6.3.2 技术规范	9
6.3.3 招标与评标	9
6.3.4 合同授予	9
6.4 项目实施	10
6.4.1 模型试验	10

6.4.2	设计、施工、安装与试验	10
6.5	改造结果及保证值符合性评估	10
6.5.1	概述	10
6.5.2	水轮机性能评估	11
6.5.3	发电机性能评估	11
6.5.4	处罚和/或奖励评估	11
6.6	改造进度、成本分析和风险分析	11
6.6.1	进度计划	11
6.6.2	经济和财务分析	13
6.6.3	敏感性分析	16
6.6.4	结论	16
6.7	风险分析	16
6.7.1	通则	16
6.7.2	未达到预期性能的风险	17
6.7.3	不改造继续运行的风险	17
6.7.4	停机时间延长的风险	17
6.7.5	财务风险	18
6.7.6	项目范围的风险	18
6.7.7	其他风险	18
7	改造工作范围的评估与决策	19
7.1	概述	19
7.2	水电站现场条件评估	19
7.2.1	水文	19
7.2.2	实际发电量	20
7.2.3	环境、社会及有关法规	20
7.3	水轮机评估	20
7.3.1	通则	20
7.3.2	水轮机整体性评估	21
7.3.3	水轮机性能评估	29
7.4	机组相关设备的评估与决策	41
7.4.1	通则	41
7.4.2	发电机和推力轴承	42
7.4.3	水轮机调速器	42
7.4.4	水轮机进出水阀、泄压阀	43
7.4.5	辅助设备	43
7.4.6	安装、拆卸和维护用的设备	43
7.4.7	压力钢管和其他过水渠道	43

7.4.8	电站水头变化的影响	44
7.4.9	电网	44
8	水力设计及性能试验	44
8.1	通则	44
8.2	水力设计计算	45
8.2.1	通则	45
8.2.2	CFD 的作用	45
8.2.3	CFD 循环的步骤	46
8.2.4	CFD 计算的精度	46
8.2.5	怎样在改造中应用 CFD	46
8.2.6	CFD 和模型试验的比较	47
8.3	模型试验	48
8.3.1	概述	48
8.3.2	模型试验的相似性	48
8.3.3	模型试验内容	48
8.3.4	模型试验的应用	49
8.3.5	模型试验地点	50
8.4	原型机性能试验	51
8.4.1	概述	51
8.4.2	原型性能试验精度	51
8.4.3	原型性能试验的类型	51
8.4.4	结果评价	52
附录 A (资料性)	技术规范	53
A.1	概述	53
A.2	参考标准	53
A.3	投标文件中需提供的资料	54
A.4	在项目执行期间需制定的文件	55
附录 B (资料性)	项目的组织	57
B.1	概述	57
B.2	组织决策	57
B.3	所需的专业意见	57
B.4	改造工程的前期研究	58
附录 C (资料性)	评估实例	59
C.1	总则	59
C.2	转轮(适用于混流式、轴流式和水斗式)	59
C.2.1	文件——可用资料	59
C.2.2	设计复核	60

C.2.3	检查项目	60
C.2.4	检验结果的评估	61
C.2.5	现状评估	63
C.2.6	工作范围	63
C.3	座环	64
C.3.1	文件——可用资料	64
C.3.2	设计评审	65
C.3.3	检验项目	65
C.3.4	检验结果的评估	66
C.3.5	现状评估	66
C.3.6	工作范围(可能采取的行动)	67
C.4	活动导叶	67
C.4.1	资料——可用数据	67
C.4.2	复核设计	68
C.4.3	检查项目	68
C.4.4	检验结果的评估	69
C.4.5	现状评估	70
C.4.6	工作范围	70
C.5	实例:出现严重裂纹的水斗式转轮	71
C.5.1	水斗式转轮的数据	71
C.5.2	疲劳分析	72
C.5.3	断裂力学分析	73
C.5.4	水斗式转轮的分析结果	74
附录 D (资料性)	部件的剩余寿命	75
D.1	概述	75
D.2	剩余寿命计算(根据当前状态)	77
D.3	剩余寿命评估标准	78
D.4	当前状态的评估	79
D.4.1	检查级别	79
D.4.2	检查结果	79
D.4.3	基于相对重要性的部件评级	80
D.4.4	检查结果的排序	80
D.5	运行工况的影响	81
附录 E (资料性)	评估现有水轮机的检查清单	83
附录 F (资料性)	评估有关设备的清单	107
参考文献	110

图 1	水斗式转轮水斗的裂纹危险区域 A 和区域 B	29
图 2	2005 年统计的混流式水轮机(模型)效率和水力损失分布与比转速关系	31
图 3	混流式水轮机转轮空化和磨蚀	35
图 4	水斗式水斗进水边背面空蚀	36
图 5	某混流式水泵水轮机在很低负荷超时运行所造成的高压边空蚀	36
图 6	某混流式水轮机严重的泥沙磨损	38
图 D.1	浴缸曲线	75
图 D.2	剩余寿命估算程序	76
图 D.3	疲劳过程中不同阶段的行为示意图	77
图 D.4	混流式水轮机启动和满载时叶片上的应变仪信号	81
表 1	主要改造工作之前水电站及其辅助系统的预期寿命	2
表 2	典型的常规检查	22
表 3	新更换或已修复转轮时的转轮止水密封设计及其状况对的混流式水轮机效率的潜在影响	32
表 4	混流式水轮机转轮预期效率提高值(包括改进翼型、恢复表面状态和减小止漏环损失)	33
表 5	改造/更换更新混流式水轮机流道其他部件后水轮机潜在效率的提高	33
表 D.1	检验结果评级系统示例	80
表 D.2	基于相对重要性的不同权重因子 $X_1 \sim X_7$ 的混流式和转桨式水轮机部件典型列表示例	80
表 D.3	包括三个评估标准的单一组成部分评估的评级示例	81
表 E.1	水轮机埋件的评估——座环(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	83
表 E.2	水轮机埋件的评估——蜗壳或半蜗壳(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	84
表 E.3	水轮机埋件的评估——基础环(转轮室)(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	85
表 E.4	水轮机埋件的评估——尾水管(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	86
表 E.5	水轮机非埋入、非旋转部件的评估——顶盖(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	87
表 E.6	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——支持盖及内顶盖(适合于转桨式和定桨式水轮机)	89
表 E.7	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——底环(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	90
表 E.8	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——导叶(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	92
表 E.9	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——导叶操作机构(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	94
表 E.10	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——控制环(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	95
表 E.11	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——接力器(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	95
表 E.12	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——导轴承(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	96
表 E.13	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——水轮机主轴密封(机械密封或填料密封盒)(适合于	

	混流式、转桨式和定桨式水轮机)	98
表 E.14	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——推力轴承支架(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机单独的轴承支架或支撑于水轮机顶盖上的推力支架)	98
表 E.15	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——喷嘴(适合于水斗式水轮机)	99
表 E.16	水轮机非埋入、非旋转部件的评价——偏流器和消能装置(适合于水斗式水轮机)	99
表 E.17	水轮机旋转部件的评价——转轮(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	100
表 E.18	水轮机旋转部件的评价——转轮(适合于转桨式和定桨式水轮机的补充)	102
表 E.19	水轮机旋转部件的评价——转轮(适合于水斗式水轮机)	103
表 E.20	水轮机旋转部件的评价——水轮机主轴(适合于水斗式、混流式、转桨式和定桨式水轮机)	104
表 E.21	水轮机旋转部分的评价——受油器及配油管(适合于转桨式水轮机)	105
表 E.22	水轮机辅助设备的评价——转速及负荷调节系统(调速器)(适合于所有水轮机和水泵水轮机)	105
表 E.23	水轮机辅助设备的评价——尾水管补气系统(适合于水斗式、混流式、转桨式和定桨式水轮机)	106
表 E.24	水轮机辅助设备的评价——润滑系统(导叶机构)(适合于混流式、转桨式和定桨式水轮机)	106
表 F.1	相关设备的评估——调速器	107
表 F.2	相关设备的评估——发电机和推力轴承	107
表 F.3	相关设备的评估——压力钢管和水轮机进水阀	108
表 F.4	相关设备的评估——土建工程	109
表 F.5	相关设备的评估——起重机、吊装设备	109

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 28545—2012《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机更新改造和性能改善导则》，与 GB/T 28545—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了适用范围，将冲击式水轮机改为水斗式水轮机(见第 1 章，2012 年版的第 1 章)；
- b) 删除了术语“现代技术改造”(见 2012 年版的 3.4)；
- c) 增加了术语“更换”及其定义(见 3.4)；
- d) 增加了缩略语(见第 4 章)；
- e) 更改了改造的原因，对改造的 7 个主要原因进行了详细描述(见 5.2~5.8，2012 年版的第 4 章)；
- f) 更改了方案的确定，从改造范围、成本、进度、效益、风险管理和经济分析方面对比选方案的确定进行了细化(见 6.2.2~6.2.7，2012 年版的 5.2.3.1~5.2.3.6)；
- g) 增加了典型的常规检查表(见表 2)；
- h) 增加了对温度、噪声、不锈钢电偶腐蚀和刮蹭方面评估的内容(见 7.3.2.2.5~7.3.2.2.7)；
- i) 增加了流道本身和其相邻部件的粗糙度对效率的影响(见 7.3.3.3.2)；
- j) 增加了止漏环密封间隙对水力性能影响的评估(见表 3)；
- k) 增加了混流式水轮机更换转轮(包括改进翼型、恢复表面状态和减小止漏环损失)后预期效率的提高值(见表 4)；
- l) 增加了改造/更换更新混流式水轮机流道其他部件后水轮机潜在效率的提高值(见表 5)；
- m) 删除了将转轮下环部分叶片伸入尾水管锥管上部的改造方案(见 2012 年版的 6.3.4.5.3)；
- n) 删除了导叶超长设计的方案(见 2012 年版的 6.3.4.5.3)；
- o) 增加了对电网产生影响的评估(见 7.4.9)；
- p) 更改了改造工程的可行性研究方面的内容(见 B.4，2012 年版的 A.1.4)。

本文件修改采用 IEC 62256:2017《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机 更新改造和性能改善》。

本文件与 IEC 62256:2017 相比做了下述结构调整：

- 第 4 章对应 IEC 62256:2017 中第 3 章的缩略语部分；
- 第 5 章对应 IEC 62256:2017 中的第 4 章；
- 第 6 章对应 IEC 62256:2017 中的 5.3.4.2~第 6 章；
- 7.3.3 对应 IEC 62256:2017 中的 7.3.4；
- 附录 A 对应 IEC 62256:2017 中的第 9 章；
- 附录 B 对应 IEC 62256:2017 中的 5.1、5.2.1、5.2.2、5.3.2、5.3.3、5.3.4.1；
- 附录 C 对应 IEC 62256:2017 中的附录 B；
- 附录 D 对应 IEC 62256:2017 中的 7.3.3；
- 附录 E 对应 IEC 62256:2017 中的附录 A；
- 附录 F 对应 IEC 62256:2017 中的附录 C。

本文件与 IEC 62256:2017 的技术差异及其原因如下：

- 更改了适用范围，删除了斜流式机组(见第 1 章)；
- 增加了规范性引用的 GB/T 2900.45(见第 3 章)；

- 删除了术语“升级”“扩大性大修”“现代技术改造”“改建”“整修”(见 IEC 62256:2017 中的第 3 章)；
- 删除了缩略语“ACG”“ETA”“FMA”“FMECA”“FTA”“HAZOP”“IRR”“PCB”“VAR”(见 IEC 62256:2017 中的第 3 章)；
- 更改了改造的原因(见第 5 章)；
- 删除了改造工程逻辑流程图(见 IEC 62256:2017 中的图 1)；
- 增加了规范性引用的 GB/T 15613(见 6.4.2)；
- 增加了运行方式的优化(见 6.6.2.3.3)；
- 增加了尾水管鼓包对水轮机状态的影响(见 7.3.2.4.1)；
- 删除了关于混流式水轮机改造后潜在效率提高和转桨式水轮机改造后在效率提高的图(见 IEC 62256:2017 中的图 11 和图 12)；
- 更改了转轮改进对水轮机效率的影响(见 7.3.3.3.2)；
- 更改了水轮机其他部件改进改进对水轮机效率的影响(见 7.3.3.3.3)；
- 删除了美国胡佛坝水电站机组改造和加拿大奥特尔德斯电站(Outardes)3 号水轮发电机组的改造项目的实例和曲线(IEC 62256:2017 中的 7.3.4.2)；
- 删除了仅改进混流式水轮机转轮水力设计后的潜在效率提高值和加拿大魁北克拉格朗德三级电站(La Grande-3)水轮机转轮(1982 年投入运行)通过对叶片出水边稍微切削而获得效率提高的情况和曲线(IEC 62256:2017 中的 7.3.4.3.2)。

本文件做了下列编辑性改动：

- 将标准名称改为《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机更新改造和性能改善导则》；
- 用资料性引用的 GB/T 15613 替换了 IEC 60193(见 6.5.2、7.3.2.2.8.2、8.3.4.2、8.3.4.3)；
- 用资料性引用的 GB/T 20043 替换了 IEC 60041，用资料性引用的 GB/T 15469.1、GB/T 19184 替换了 IEC 60193(见 6.5.2、8.4.1)；
- 用资料性引用的 GB/T 17189 替换了 IEC 60944(见 7.3.2.2.3、7.4.1)；
- 用资料性引用的 GB/T 32584 替换了 ISO 7919-5:2005，增加了安装和运行维护问题(见 7.3.2.2.8.1)；
- 更改了参考文献。

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：哈尔滨电机厂有限责任公司、中国水利水电科学研究院、中国水利电力对外有限公司、东方电气集团东方电机有限公司、中国长江三峡集团有限公司、上海福伊特水电设备有限公司、长江勘测规划设计研究有限责任公司、中国长江电力股份有限公司葛洲坝电厂、白鹤滩电厂、水利部水利水电规划设计总院、哈尔滨大电机研究所有限公司、重庆水轮机厂有限责任公司、中国电建集团华东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、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、华电电力科学研究院有限公司、三峡国际能源投资集团有限公司。

本文件主要起草人：宫让勤、游超、潘罗平、王伦其、李长勇、刘洁、张鹏、郑涛平、邱绍平、马龙、王建明、井弦伟、伍志军、覃大清、王向志、李金伟、高海军、高鹏、胡雄峰、伍杰、王磊、王宪平、丁况、李立、杨艳。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2012 年首次发布为 GB/T 28545—2012；
- 本次为第一次修订。

水轮机、蓄能泵和水泵水轮机 更新改造和性能改善导则

1 范围

本文件适用于下列型式的水轮机、蓄能泵和水泵水轮机：

- 混流式；
- 轴流式；
- 贯流式；
- 水斗式。

本文件给出了可能影响水轮机、蓄能泵和水泵水轮机改造或可能受改造影响的电站厂房内的其他设备,但未作详细论述。

本文件的目的是协助鉴别、评价和实施水轮机、蓄能泵和水泵水轮机的更新改造和性能改善项目工作,适用于业主、咨询单位和供货厂商确定下列事项：

- 更新改造和性能改善的需求和经济性分析；
- 更新改造的工作范围；
- 技术要求；
- 效果评估。

本文件的目的如下：

- 为决策过程提供帮助；
- 为改造提供信息资源；
- 认定改造过程中的重大问题；
- 确定改造过程中的关键点。

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 2900.45 电工术语 水电站水力机械设备(GB/T 2900.45—2006,IEC/TR 61364:1999,MOD)

GB/T 15613 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验(GB/T 15613—2023,IEC 60193:2019,IDT)

3 术语和定义

GB/T 2900.45 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

更新改造 rehabilitation

设备的效率和/或容量恢复至接近新机组的水平或通过重新建立整机的性能,延长设备的使用寿命。