

，

中华人民共和国行业标准

# 水轮机模型浑水验收试验规程

**SL 142—97**

条 文 说 明

# 目次

编制说明 .....	3
1 总则.....	4
2 术语的定义、符号及计量单位.....	5
3 模型验收试验台 .....	6
4 模型水轮机组 .....	7
5 模型验收试验各种参数测量及误差 .....	8
6 模型验收试验 .....	9
7 保证值的验证 .....	10

## 编 制 说 明

**任务概述** 目前，在含沙水流中运行的水轮机其性能是在清水条件下验收的。但是，根据国内水轮机模型浑水试验结果来看，水流含沙将对其性能（如效率、流量、出力、空化等）产生一定影响。因此，在建的三峡、小浪底等大型水电工程都要求对其水轮机进行模型浑水试验研究。然而，目前国内外尚无关于水轮机模型浑水试验的标准，而已建成的水轮机模型浑水试验台在试验方法及精度要求上也存在一定差别，试验结果缺乏可比性。因此，迫切需要制定一个统一的标准来规范水轮机模型浑水试验的各个环节。为此，1994年水利部科技司提出了《水轮机模型浑水验收试验规程》的编制项目并下达任务，该规程由中国水利水电科学研究院及水利部天津勘测设计研究院负责起草。

**编制经过** 受水利部科技司委托，中国水利水电科学研究院作为主要起草单位于1994年6月完成了《水轮机模型浑水验收试验规程》的初稿，并在部科技司标准处召开的标准编制计划会议上征求意见。之后又在有关起草单位内进一步征求意见，对初稿进行了重新整理和编排，于1995年7月完成了征求意见稿，并向25个单位寄发了38份征求意见，共收到返回意见15份（见意见汇总表）。根据返回的意见，对征求意见稿进行了修改，于1996年3月完成了送审稿。1996年7月17日至19日在北京召开了《水轮机模型浑水验收试验规程》行业标准审查会，根据专家评审意见，对送审稿进一步进行了修改，于1996年9月完成了报批稿。

# 1 总 则

**1.2.3** 目前水轮机模型浑水试验台一般采用电磁流量计测量流量。根据以往经验，当含沙量超过  $50 \text{ kg/m}^3$  时，将对流量测量产生明显影响，因此本规程规定了试验含沙量的上限为  $50 \text{ kg/m}^3$ 。

本规程只适用于悬移质浑水验收试验，意味着将根据试验模型水轮机的流量大小改变试验台管路直径，以保证泥沙充分悬浮。

## 1.3 引用标准

目前国内外尚无关于水轮机模型浑水试验的标准供参考。在编制本规程时，主要根据国内浑水模型试验积累的经验，并参考了 GB/T15613—95《水轮机模型验收试验规程》、IEC193（1965）《水轮机模型验收试验国际规程》、IEC193A（1972）《水轮机模型空化验收试验国际规程》、IEC193No. 1（1977）《水轮机模型验收试验国际规程的修正》、IEC995（1991）《用考虑比尺效应的水力机械模型验收试验确定原型性能》等标准。在技术要求及试验台测试精度方面主要参照了 GB/T15613—95，在原型水轮机性能计算方面主要参照了 IEC 995（1991）。

**1.4.1** 本规程中只写入了能量、空化、飞逸转速、磨损特性及水压脉动等五项最基本的浑水试验内容。其中空化试验项目应包含空化初生检测，有条件的应进行浑水情况下的空化初生检测。磨损特性试验目前用易损涂层法进行，用于磨损部位及磨损强度的相对比较。

## 2 术语的定义、符号及计量单位

浑水试验系统一旦加入泥沙，很难完全冲洗干净。因此，有必要给出在浑水试验台上试验时清水的定义。本规程在给出这一定义时主要考虑了：①能够目测空化初生；②在这种状态下长时间运行不会对过流表面产生明显磨损。

在本规程中有关的浑水柱及压强均换算成清水柱。

重度不是我国统一实行的法定计量单位，但考虑到其在水力机械行业沿用已久，故本规程将其作为导出单位使用。

本规程中，水头均折算成清水水柱进行计算，因此水轮机净水头与图 2—1 中几何净水头（浑水水柱）不同，故未在图中标出  $H_n$ ， $H_n$  按图 2—1 所示公式计算。

### 3 模型验收试验台

**3.7** 即使是高精度试验台不同的台之间也存在着测试差异。为能较准确地了解水流挟沙对机组各项性能指标的影响，本规程规定清、浑水验收试验应在同一试验台进行。

**3.12** 在水流紊动的情况下，测压环管内的水体存在随机性瞬态流动。当挟沙水进入测压环管后，由于水流速度降低，泥沙将沉淀。为防止测压环管堵塞，需对测压环管进行监测，并在环管上相应设置排沙阀

**3.17** 目前还难于做到旋转机械内部二相流动的准确模拟，按近似相似推导出的泥沙模拟条件也难于满足。但是，国内多年试验结果表明，模型用原型过机泥沙，其磨损部位及形态与原型情况是相近的，故暂时规定模型试验选用原型过机泥沙。以后随着科学技术的发展逐步进行修订。

**3.18** 由于泥沙颗粒表面微裂缝中可能存留未溶解气体，故要求在新沙加入后，系统应在  $7\sim 8\text{m}$  真空度下再运行一段时间，但考虑到时间过长会导致模型机组过流表面磨损，故将这一时间规定为  $20\text{min}$  以上。

**3.20** 试验台的测试误差及稳定性是其最为重要的技术指标。参照 GB/T15613—95，将水轮机模型验收试验的允许总误差限定为  $\pm 0.3\%$ （清水）和  $\pm 0.5\%$ （浑水）。考虑到我国一些试验台还缺乏测量仪器的标定条件，允许总误差限可放大到  $\pm 0.5\%$ （清水）和  $\pm 0.8\%$ （浑水）。

## 4 模型水轮机组

**4.3** 我国河流的悬移质泥沙中硬质颗粒所占比重较大，如黄河沙中石英及长石含量约占 90%。为保证在浑水验收试验前、后，试验结果能较好地重复，要求过流表面的材料应具有一定的抗磨能力，以保证浑水试验后，过流表面的粗糙度及形状变化能符合本规程 4.4 的规定。

**4.4** 对水轮机模型通流部件几何形状允许偏差及过流表面粗糙度要求，本规程与 GB/T 15613—95 中给出的有关规定相当。

**4.5** 常规的模型水轮机轴密封方法是机械密封法，这种方法在浑水条件下易造成密封面材料磨损和浑水外漏，从而导致浑水试验期间摩擦力不稳定，故不宜采用。

## 5 模型验收试验各种参数测量及误差

**5.1.3** 水流挟沙后将对电磁流量计性能产生一定影响，尤其是泥沙中含有铁磁物质时影响很大。由于河流中泥沙来源复杂，同一河流在不同季节其泥沙来源也不尽相同。因此有条件时还应进行流量计的浑水校验。

**5.5.1** 为保证含沙水取样时，在取样断面泥沙能充分悬浮，取样点应设在高压侧且取样断面管径应与进口测压断面管径一致。

**5.5.2** 由于水平管断面上泥沙含量分布不均匀，下边含沙量大，上边含沙量小，而管中心的含沙量接近于管断面上含沙量平均值，故取样点应设在管中心。

**5.5.5** 工况点不同时，试验管路上的水流流速也会不同，这必然影响试验系统内泥沙的沉降及泥沙浓度分布，因此，两次取样应在相同工况下进行。

**5.10** 水流含沙后动力粘滞系数可按下式计算： $\mu_s = \mu (1 - S_v / S_{vm})^{-2}$ 。式中， $S_{vm}$ 为极限含沙量（以体积百分比计），对黄河沙， $S_{vm}=0.59$ ； $S_v$ 为体积含沙量； $\mu$ 为清水的动力粘滞系数。在本规程适用的最大含沙量  $50\text{kg/m}^3$  条件下，浑水动力粘滞系数与清水的相比，相差不超过 7%，故本规程暂规定浑水动力粘滞系数取清水值。



## 6 模型验收试验

**6.2.1** 在浑水情况下空化气泡无法目测，需用间接法检测空化初生，在间接法中，声学法从使用的方便性、准确性来看，都优于电学法和放射性同位素法，且广泛应用于水力机械及船舶螺旋桨的空化研究中，故本规程推荐声学法。

**6.6.2** 做磨损特性试验时，因涂层厚度及其表面粗糙度对机组性能及内部流态有一定影响，故提出对涂层厚度及表面粗糙度的要求。

**6.6.3** 因试验台通常为循环系统，在长时间试验过程中泥沙颗粒的形状和尺寸因撞击作用会有所改变，为保证所试泥沙的形状特性和尺寸在试验过程中不致发生大的变化，对磨损特性试验特规定每 3 h 更换一次泥沙。

## 7 保证值的验证

**7.1~7.7** 对于在含沙水流中工作的水轮机来说，磨损是其重要保证值之一。限于目前的科技发展水平及模型试验技术，还难于将模型的磨损量定量换算至原型，而只能就原型的磨损部位以及各部位的磨损相对强度作出预测。因此，磨损特性试验结果仅供抗磨相对强度比较、抗磨改进及原型抗磨防护作参考，而不作为原型磨损量的保证。

如何将浑水条件下水力机械的各项性能换算至原型，目前尚无可依的方法，故此，本规程暂规定按清水的计算公式进行换算，其中效率换算方法采用 IEC995 (1991) 推荐的公式。此外，由于试验含沙量改变时水轮机最高效率值会发生变化，因此，对不同的含沙量，应分别计算效率增量  $\Delta\eta$ ，由此换算出相同含沙量下的原型各点效率值。