

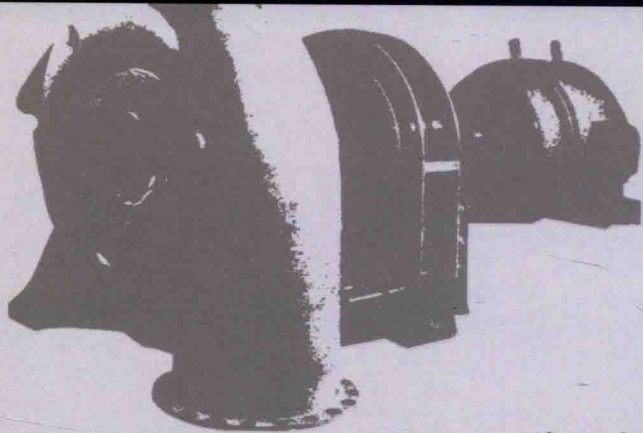


水电设备的 研究与实践

—— 第 20 次中国水电设备
学术讨论会论文集

中国水力发电工程学会水力机械专业委员会
中国电机工程学会水电设备专业委员会
中国动力工程学会水轮机专业委员会

编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

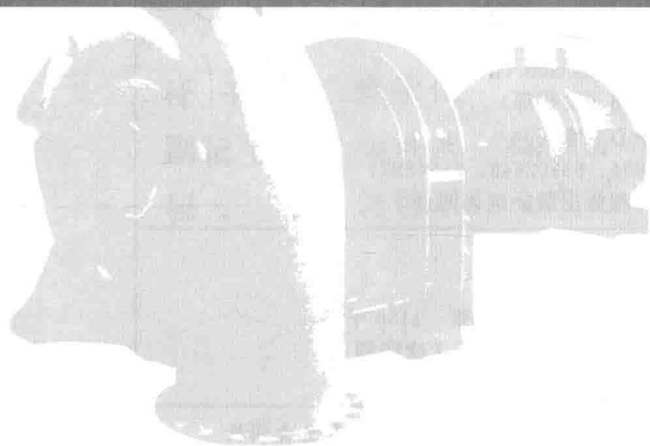
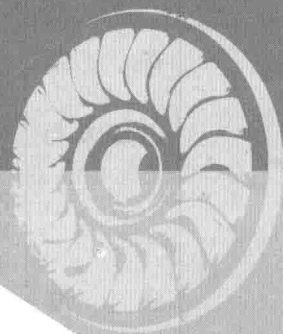


水电设备的 研究与实践

——第20次中国水电设备
学术讨论会论文集

中国水力发电工程学会水力机械专业委员会
中国电机工程学会水电设备专业委员会
中国动力工程学会水轮机专业委员会

编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是第 20 次中国水电设备学术讨论会论文集, 共收录 120 篇论文。这些论文汇集了广大设计人员和工程技术人员大量的研究和实践成果, 内容涉及水力设计及选型、水轮机设计及制造、发电机设计及制造、试验研究、稳定运行、空蚀与磨损、水力过渡过程、安装与运行、水电站改造、辅机及其他等十个部分。论文集内容丰富, 实用性强, 对广大水电设备工作者有较高参考价值 and 借鉴意义, 可供相关学者、专家以及工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

水电设备的研究与实践 : 第20次中国水电设备学术讨论会论文集 / 中国水力发电工程学会水力机械专业委员会, 中国电机工程学会水电设备专业委员会, 中国动力工程学会水轮机专业委员会编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2015. 10

ISBN 978-7-5170-3687-6

I. ①水… II. ①中… ②中… ③中… III. ①水力发电站—设备—学术会议—文集 IV. ①TV73-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第230330号

书 名	水电设备的研究与实践 ——第 20 次中国水电设备学术讨论会论文集
作 者	中国水力发电工程学会水力机械专业委员会 中国电机工程学会水电设备专业委员会 编 中国动力工程学会水轮机专业委员会
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 48.5 印张 1150 千字
版 次	2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷
定 价	192.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

第 20 次中国水电设备学术讨论会组织机构

组 织 委 员 会

主 任	赵 琨					
副 主 任	陆 力	邱希亮	张成平	张 强	石清华	
委 员	胡伟明	李 正	蒋登云	付国锋	陈顺义	
	刘仲民	陈服军	徐尚智	方向阳	彭忠年	
	覃大清	尹国军	李仁年			

学 术 委 员 会

主 任	曹树良					
副 主 任	杨建东	王正伟	罗兴铎	郑 源	王福军	
委 员	游 超	曾镇铃	王建华	苑连军	苟东明	
	李月彬	武赛波	李胜兵	马震岳	孟晓超	
	陈 东	潘罗平	卜良峰	田子勤	张双全	
	王修礼	王洪杰				

秘 书 处

秘 书 长	戴康俊				
副秘书长	徐洪泉	魏显著	韩伶俐	郑建兴	
秘 书	刘诗琪	涂东花	刘 娟	张海平	

前 言

第 20 次中国水电设备学术讨论会将于 2015 年 10 月在四川省成都市召开。会议由中国水力发电工程学会水力机械专业委员会、中国电机工程学会水电设备专业委员会、中国动力工程学会水轮机专业委员会、中国长江三峡集团公司机电工程局和中国水力发电工程学会水力机械专业委员会信息网联合主办，是一个跨学会、跨行业、跨部门，且能充分体现我国水电设备行业技术水平和发展趋势的全国性权威学术会议。

改革开放以来，我国水电事业的飞速发展取得了举世瞩目的成绩，给水电工作者带来了许多新的机遇和挑战，至 2014 年我国水电总装机容量达到约 3 亿 kW，提前一年完成了我国“十二五”水电发展规划目标。随着三峡、小湾、龙滩、拉西瓦、溪洛渡、向家坝等水电站顺利建成投运，白鹤滩、乌东德等水电站开工建设，我国混流式机组技术已达到国际先进水平；敦化、绩溪、阳江等高水头大型抽水蓄能电站的科研设计和大型轴贯流式机组的制造、运行等方面也已进入世界先进水平。本次会议将为国内大专院校、科研、设计、制造、安装、运行及管理部門的学者、专家和工程技术人员搭建一个学术交流平台，重点围绕大型水电机组的设计、制造、工程应用、运行和管理中的技术问题开展学术交流和总结，就水力发电工程及水电设备技术发展的新思想、新观点和先进技术进行交流，对设计、制造、运行和管理中存在的技术问题开展研讨，对水电站建设、运行和管理经验进行总结分析，对新建或改造电站、泵站的选型设计及水电事业的发展战略提出建议，推动水电事业的科学发展。

会议论文集共收录学术论文 120 篇，汇聚了广大设计人员和工程技术人员大量的研究和实践成果。根据内容分为 10 部分：水力设计及选型、水轮机设计及制造、发电机设计及制造、试验研究、稳定运行、空蚀与磨损、水力过渡过程、安装与运行、水电站改造、辅机及其他。希望本文集能对广大水电设备工作者提供借鉴和帮助，以促进我国水电设备技术水平得到进一步提高，推动水电行业的科技进步。

经过三个专委会、中国长江三峡集团公司机电工程局和水力机械专业委员会信息网的通力合作，特别是在论文作者和审稿专家的积极支持以及会议

协办单位东方电气集团东方电机有限公司的鼎力相助下，本论文集得以顺利出版。在此，我们谨向为本论文集的出版提供过指导、支持和帮助的单位、专家及各位论文作者表示深深的谢意！同时对于出版社编审人员的辛勤劳动，在此一并表示感谢！

由于编辑时间仓促，水平和经验有限，错误和不当之处在所难免，敬请各位读者批评指正！

编者

2015年9月

目 录

前 言

水 力 设 计 及 选 型

水泵的比转速及单位参数选择·····	徐洪泉	陆 力	覃大清	李铁友	3	
白鹤滩水电站额定水头的选择·····	方晓红	李胜兵	曾昭芳		9	
混流式水轮机水力损失分析·····	刘胜柱	朱国俊	张 铮		14	
乌东德水电站水轮机水力设计要点分析·····	吴喜东	岳晓锋	许 彬	张 韬	19	
可变速水泵水轮机及其选型设计特点 ·····	王 庆	黑川敏史	筱原朗	德 宫 健 男	26	
白鹤滩水电站水力机械设计主要特点 ·····	方 杰	李胜兵	周 杰	陈顺义	方晓红	33
白鹤滩水电站转轮轴向水推力数值模拟研究 ·····	李 万	王 威	高海军	宫让勤	钱忠东	40
双向贯流式水轮机水力性能优化设计研究 ·····	陈瑞瑞	吴广宽	罗兴铸	刘胜柱	沈 丹	48
基于泵工况水泵水轮机转轮的改型优化·····	占 戈	冯建军	刘胜柱	罗兴铸		54
贯流式水轮机模型水力矩测试技术 ·····	张海平	朱 雷	张建光	陈 莹	孟晓超	61
埃塞俄比亚 GD-3 电站水轮机选型设计 ·····				刘 霞		66
基于 CFD 的高比转速水轮机导叶部件的水力设计探讨 ·····	丁 华	卢 池	中村高纪	榎本保之		71
锦屏二级水电站水轮机主要参数选择·····	吴胜华	黄靖乾	陆 星	陈顺义		82
螺旋轴流泵内部流场数值模拟及性能优化 ·····	许 骁	罗兴铸	刘胜柱	冯建军		92
长短叶片转轮在高水头水轮机中的应用·····				杜荣幸		98
巨型水轮机筒形阀在大型水电工程中的研究应用·····	陈 诚	王胜华	朱惠君			104
白市水电站水轮机参数选择及结构设计·····				龙良民		110
卧式混流式水轮机尾水管几何参数对性能影响的研究 ·····	张 铮	刘胜柱	吴广宽	罗兴铸		117
波黑 MRSOVO 水电站水轮机选型设计研究·····				熊晓明		123
北本水电站贯流式水轮发电机组参数初步选择·····		王胜华	陈 诚			128
桐子林水电站水轮机参数选择·····	孙绍艳	王 威	李 涛			137

水轮机设计及制造

上冠结构型式对转轮应力以及固有频率的影响

..... 吕桂萍 刘晶石 王 燕 李永恒 149

混流式水轮机转轮热处理前后焊接残余应力分析

..... 陈 柳 李海玲 任绍成 姜明利 杨跃超 153

冲击式水轮机配水环岔管加强筋强度对比分析

..... 刘晶石 姜铁良 吕桂萍 钟 苏 164

白鹤滩现场转轮加工厂设计一瞥..... 李胜兵 方晓红 何 杰 张东胜 169

浅谈溪洛渡左岸电站机组座环现场加工..... 黄 平 175

四川岷江汉阳航电枢纽工程灯泡贯流式水轮机结构设计

..... 谢 勇 钟志君 梁艳来 180

抽水蓄能水轮机部件结构刚强度分析研究..... 王治国 田 超 184

机组调相运行的设计特点..... 胡婉宁 189

水泵水轮机球阀全模型刚强度有限元计算..... 张恩佳 192

数字缸在溪洛渡电站筒形阀控制系统中的应用

..... 沈 芳 张承俊 苏纪成 井弦伟 197

溪洛渡水电站圆筒阀同步方式及运行方式研究..... 孙立鹏 蔡 伟 201

黄登水轮机转轮上冠泵板对顶盖取水的影响

..... 杨二豪 吴 钢 杨庭豪 文树洁 邓金杰 209

千米级冲击式水轮机配水环管强度设计与试验验证..... 何 涛 王建明 唐多生 215

溪洛渡水电站机组推力头和镜板结构安全分析

..... 邓国庆 江晓林 陆 明 耿在明 224

发电机设计及制造

弹性油箱支承塑料瓦推力轴承在巨型水轮发电机组上的应用研究

..... 武中德 吴军令 刘平安 231

抽水蓄能电站发电电动机的主力机型..... 赵 政 236

大型发电电动机通风冷却关键技术研究..... 张海波 王 超 廖毅刚 李冬梅 240

哈电大型定子线棒 VPI 绝缘体系的关键技术研究

..... 付 强 满宇光 黄程伟 冯 超 郑 伟 张秋寒
..... 潘延明 隋银德 卢春莲 赫 兢 249

大型水轮发电机组推力轴承结构型式及特点..... 江晓林 陆 明 宾 斌 258

溪洛渡水轮发电机通风冷却系统设计及结构特点说明

..... 安志华 秦光宇 刘 双 265

蒲石河发电电动机电磁设计的选择与分析..... 罗建华 273

西藏旁多水电站高海拔中、大容量水轮发电机的开发与设计

..... 付佩贤 张 翀 祁腊梅 278

安谷水电站 190MW 水轮发电机整体结构设计	郑觉平	284
亭子口水轮发电机转子设计特点	吴 鹏 唐凤姣 李文栋	289

试 验 研 究

压力脉动信号的测试分析	徐洪泉 吴 剑 廖翠林 王武昌 赵立策	297
大型水轮机转轮静平衡试验方法及误差评价	任绍成 李海玲 姜明利 陈 柳	303
基于 PSIM 仿真对向家坝电站 4 号机励磁小电流试验波形异常分析	胡 伟	309
振摆分频状态评价在峡江电站的应用	刘润根 陈 伟 徐兴龙	317
溪洛渡电厂机组启动试运行试验研究	陈绪鹏 蔡肇斌 田 威 陈学力	323
厄瓜多尔可卡可多辛克雷尔水电站水斗式水轮机模型验收试验	张 林 乔中均 孙玉涵 刘绍谦	329
GIS 局放耦合器密封性现场检测及气体泄露容许值的探讨和建议	许 捷	334
基于概率分布的水电机组轴瓦温度报警策略研究	曹登峰 潘罗平 周 叶	339
基于新异类检测的水电机组诊断评估方法研究	周 叶 潘罗平 曹登峰	344
呼和浩特抽水蓄能电站 SFC 系统调试技术	莫文华	352
基于磁栅尺测量水位高度的校正池标定	王修礼 周同旭 李雅洁 王柏柏 董 麟	357
泰国纳瑞水电站灯泡式水轮发电机效率实测和计算	曹文杰 王修礼 夏 伟 魏中正	362
一种主轴摆度信号处理及轴心轨迹提纯的实用方法	张 飞 赵毅锋 潘罗平	369

稳 定 运 行

空腔危害及压力脉动传递机理研究	徐洪泉 王万鹏 廖翠林 赵立策 王武昌 范小付	377
浅析水轮机振动的危害、评价标准、原因及相应的减振措施	时天富 曹 静	386
水电机组顶盖异常低频信号分析处理	陈绪鹏 蔡肇斌 刘 攀 汪 泉 李德忠	392
基于 CFD 数值模拟方法预测叶道涡等现象	杨 康 王茜芸 魏显著	399
国产水泵—水轮机选型中的空化（汽蚀）及吸出高度问题	高道扬	404

空 蚀 及 磨 损

瑞丽江一级水电站泥沙特性与磨蚀防护分析	余江成 陈碧辉 高庆龙 夏 伟	415
高水头多泥沙水电站水轮机过流部件碳化钨喷涂技术应用分析	杨 斌 徐 彬	423
应用于水力机械磨蚀研究的测试系统	陆 力 刘 娟 张建光 易艳林	429
攻克泥沙磨蚀破坏难题，彻底解决厂区共振重大安全隐患	蔡正华 蔡 垚	435
三门峡水电站水轮机磨蚀防护	崔岱恒	444
新疆地区小型水轮机磨蚀调研分析	余江成 姚 光 高庆龙 李萍萍	448

托泵依水电站水轮机抗泥沙策略的探讨	安 刚	456
-------------------------	-----	-----

水 力 过 渡 过 程

经验模态分析法在黑麋峰机组甩负荷试验中的应用	郑建兴 刘 平 曾艳梅 伍志军 黄 梅	465
锦屏二级水电站小波动稳定性分析及对策研究	方 杰 汪德楼 吴胜华 陈顺义 冯真秋	473
水泵水轮机“S”特性对抽水蓄能电站大波动过渡过程的影响	曾艳梅 李向江	479
基于非均匀三次 B 样条拟合的工程曲线数据压缩方法	李 立 彭 丹	486
抽水蓄能电站工况转换过程中的压力脉动实验研究	刘振华	493
抽水蓄能电站水柱分离现象研究	杨海霞 樊红刚 翁麒宇	498
石头河水库坝后电站水力—机械过渡过程计算优化分析	张新萍 赵 旭	509
调压井与调压阀综合对比分析	张振中 冯志丹 王稳亭 赵 爽 刘长林	514
老挝某电站调压阀对水轮机水力性能的影响	冯志丹 张士昂 赵跃智 陈冠男	520

安 装 与 运 行

大型抽水蓄能电站蜗壳水压试验及混凝土保压浇筑	李 军	531
巨型水轮发电机磁极起吊变形分析	周佳亮	537
地下厂房高落差大直径离相封闭母线安装技术实践	王新利	541
大型分瓣定子机座现场组焊变形的控制	李 华	547
三峡 ALSTOM 机组推力瓦瓦温分析与调整	杨 杰	551
葛洲坝电站 125MW 机组调速器引导阀卡涩故障分析及处理	吴定平	557
溪洛渡水电站机组轴瓦测温系统优化解决方案	于 欢 童绪林	565
向家坝电站 AGC 功能实现与应用分析	常中原 郑学康 许 彦 王英鑫	570
800MW 水轮发电机组滑环装置碳刷过热分析及维护对策	陈 锋 李汶珈	574
清远抽水蓄能电站厚板环形浮动磁轭叠装过程控制与分析	李铁军 黄小红 韩 萍 小野田勉	580
三峡电厂直流控制电源供电方式优化	汪 林 李妮婷 田源泉	586
呼蓄电站蜗壳水压试验相关研究	姚 亮 肖 荣	593
立式水轮发电机上端轴滑转子现场加温热套工艺	李 军	599
某贯流式水轮发电机故障机理及对策分析	李建富 周光厚 肖 翦 刘传坤	604
越南中宋水电站座环、蜗壳安装施工措施研究	李向江 王志会 何 平 曾艳梅	611
球面支柱支承的大型塑料瓦推力轴承安装特性	张东胜 武中德 王建刚 刘平安	617

BIM 技术应用于观音岩水电站机电设备安装	刘志鹏	622
大型岔管安装及水压试验	徐磊	626

水电站改造

黄河青铜峡水电站机组技术改造的实施.....	苑连军	王少锋	马国强	635	
葛洲坝电站水轮机改造增容综述.....	刘斌	陶吉全	刘腾彬	642	
向家坝右岸电站 TAH 机组顶盖与座环密封结构改造方案	张军	张红伟	余凯鹏	喻忻	648
云峰水电站 2# 机组水轮机改造设计方案	李冬阳	庄乾彪	何香凝	654	
丰满水轮机尾水管更新改造.....		冯艳蓉	李奎生	659	
三峡地下电站 HEC 机组分段关闭装置设计改进		徐波	张雅琦	663	
降低定子绕组温升的措施研究与实践.....	耿乾坤	张春辉	王俊青	666	
水轮发电机刷架装置过热缺陷分析及优化改造.....		李香华	耿乾坤	671	
湖北省电力公司黄龙滩水力发电厂机组推力轴承分析及改造研究.....		戴锋		676	
尼日利亚 KAINJI 电站 5#、6# 水轮机及其附属设备改造	陈建福	焦刚毅	王威	682	
东西关水电站机组增容改造综述.....	陈宏川	朱红	邓树明	689	
水电厂计算机监控系统升级改造实施模式及在长江电力的应用探索		谢秋华	刘海波	695	

辅机及其他

向家坝水电站调速器压油泵出口组合阀结构设计·····	徐 波	宋晶辉	陈中志	701		
白鹤滩水电站水轮机调速器方案·····	方晓红	李胜兵	705			
水电站机组压水供气热力学变化过程的分析与探讨						
·····	杨 磊	郑建兴	何银芝	付国锋	赵亚男	709
活塞式减压阀在向家坝电站的应用·····	陈 诚	陈中志	喻 忻	717		
调速器机械液压系统工程应用问题初探·····	原立毅	蒋登云	郭筱蓉	723		
锦屏二级水电站技术供水系统简介·····	黄靖乾	吴胜华	陆 星	729		
天池抽水蓄能电站通风空调系统设计·····	李 斌	魏 超	张 楠	733		
蟠龙抽水蓄能电站输水系统金属结构布置与设计·····			钱 佳	739		
水力控制阀在技术供水系统中的应用探讨·····	张 军	刘佳洋	李帅访	743		
厄瓜多尔 CCS 水电站技术供水方案的研究应用 ·····		李红帅	高小涛	749		
海洋能源的开发与利用·····			王曰平	754		

水力设计及选型



水泵的比转速及单位参数选择

徐洪泉¹ 陆 力¹ 覃大清² 李铁友¹

(1. 中国水利水电科学研究院 北京 100038;

2. 哈尔滨大电机研究所 黑龙江 哈尔滨 150040)

【摘 要】 本文通过分析水泵和水轮机在功率及效率方面的区别,论述了水泵比转速和水轮机比转速的差别,指出了目前存在的部分错误做法。在分析水泵各参数在自变量、因变量方面和水轮机的差异的基础上,介绍了适用于水泵的单位参数,指出了和水轮机单位参数的区别,提出了将这些单位参数分别改称“水泵流量系数”、“水泵能量系数”、“水泵功率系数”和“水泵力矩系数”的建议,并论述了空化系数和托马数的区别,探讨了它们对水轮机和水泵的适用性及物理意义,建议在 IEC60193 和 GB/T 15613.1 标准修订时能对适用于水泵的比转速、单位参数和空化系数进行修订。

【关键词】 水泵;比转速;单位参数;流量系数;能量系数;空化系数

1 引言

水泵是水力机械的一部分,与水轮机一样在国民经济发展中发挥着重要作用。与水轮机相比,水泵的应用领域更加广泛,仅叶片泵就可以用于多个领域,如农业灌溉、工业冷却循环系统、调水工程、城市供水工程等。在水利水电行业,近几十年来由于抽水蓄能电站和大型调水工程的大规模建设,新型水泵和水泵水轮机的开发及性能提高更是备受关注。但是,从水轮机的角度分析水力机械时,尤其是用水轮机的性能参数衡量水泵时,选择单位参数应特别谨慎,避免采用错误的水泵评价指标,给水泵参数选择造成混乱。因此,有必要比较分析水泵和水轮机的异同、探讨水泵比转速和单位参数的选择问题,以确保水泵单位参数选用的正确性和适用性,并建议修订 IEC(国际电工委员会)标准及国家标准时,采用合理的水泵单位参数。

2 水泵的比转速

水泵的比转速是参考和借鉴水轮机的比转速演变发展而来的。

众所周知,水轮机比转速定义为 1m 水头发出 1kW 功率时的转速^[1-2],表示为

$$n_s = \frac{n \sqrt{P}}{H^{1.25}} \quad (1)$$

式中 P ——水轮机功率, kW;

n ——水轮机转速, r/min;

H ——水头, m。

需要说明的是, 尽管在教科书、国家标准及 IEC 标准中, 均没有把比转速作为评价水轮机性能是否先进的指标, 但在实际的水轮机设计和选型过程中, 通常自觉或不自觉地将比转速作为判别水轮机性能先进与否的指标之一。从客观上来说, 在同样水头和功率条件下, 转速比较高的水轮发电机组造价会比较低。而且, 通过式 (1) 也不难看出, 在同样水头和转速条件下, 比转速高的水轮机输出功率大。如将水轮机输出功率 P 用水密度 ρ 、重力加速度 g 、流量 Q 、水头 H 和效率 η 来表示 ($P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta / 1000$), 则式 (1) 变换为

$$n_s = \frac{n \sqrt{\rho g Q \eta / 1000}}{H^{0.75}} \quad (2)$$

由式 (2) 可以看出, 在相同的转速及水头条件下, 过流量大、效率高的水轮机比转速高, 这也是人们选择高比转速的原因之一。

但是, 如果将式 (1) 式参考应用于水泵^[3], 比转速的含义尽管还相同, 其性质和作用却大不一样。水泵和水轮机不同, 水轮机输出功率越大越好, 水泵则是输入功率越小越好。因此, 采用式 (1) 计算的比转速可能因输入功率大而比较高, 该比转速无法评价水泵性能优劣。同样, 如将水泵输入功率计算公式 ($P_P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q / 1000 \eta_P$) 代入式 (1), 可得水泵比转速 n_{sP} 为

$$n_{sP} = \frac{n \sqrt{\rho g Q / 1000 \eta_P}}{H^{0.75}} \quad (3)$$

由式 (3) 可更清晰看出该水泵比转速的缺陷: 水泵效率 η_P 越低, 水泵比转速 n_{sP} 越高, 这也更进一步说明选用该比转速有悖初衷。可能是出于修正这一错误的考虑, 现在在水泵水轮机工况的参数选择时, 已很少采用式 (1) 或式 (3), 而多采用“流量比转速”^[4] n_q , 即

$$n_q = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{0.75}} \quad (4)$$

尽管式 (4) 并没有像式 (1) 反映水轮机性能水平那样反映出水泵的性能先进性, 但和式 (3) 的水泵比转速相比要合理一些, 故得到广泛应用。

此外, 还有一个被广泛采用的水泵比转速公式, 即

$$n_{sP} = 3.65 n_q \quad (5)$$

从表达形式上来看, 式 (5) 将流量比转速换算为功率比转速, 但实际上其和功率又没有任何关系, 且系数 3.65 是过去功率单位采用马力 (HP) 时的系数 ($n_s = 3.65 n Q^{0.5} / H^{0.75} \text{ m} \cdot \text{HP}$), 如今采用这一系数, 单位却标注为 $\text{m} \cdot \text{kW}$, 难以理解, 建议今后不再采用。

3 水泵和水轮机的区别及对单位参数选择的影响

和比转速类似, 水泵的单位参数也不应照抄水轮机, 应根据其特点, 采用能准确反映水泵性能特征且不致引起歧义的单位参数。

3.1 水泵和水轮机的区别

水泵和水轮机都属于水力机械，其相似之处很多，但其差别也比较大。水泵是利用输入的外力做功将机械能转换为水的动能和势能，而水轮机则相反，是将水的势能转换为机械能，带动水轮机及发电机旋转。

此外，水泵和水轮机在扬程（或水头）、流量、转速、力矩、功率等参数之间关系的区别也会影响对这些单位参数的正确选取，尤其是分清条件参数和性能参数。

条件参数是由电站（或泵站）的自然条件或设计选择决定的水力机械外部条件；性能参数是由水力机械的内、外部条件共同决定的基本功能。对水轮机来说，水头是电站的条件参数，其余参数（例如流量、转速、力矩和功率）均属水轮机的性能参数，都随水头变化而变化。但对于水泵来说，转速是泵站的条件参数，而包括扬程在内的其余参量均随转速变化而改变，属于水泵的性能参数。下面将结合各单位参数的选择论述条件参数差别对其正确选择和应用的影响。

3.2 对单位参数选择的影响

要使单位参数清晰、明确地反映参数本身的变化规律，除必须符合水力相似准则外，还应遵循着另外一条“潜规则”，即：“单位参数需建立该性能参数和自然参数（或称自变量）及几何参数之间的函数关系，而不涉及其他性能参数”。以水轮机为例，其转速因数（Speed factor） n_{ED} 、流量因数（Discharge factor） Q_{ED} 、力矩因数（Torque factor） T_{ED} 、功率因数（Power factor） P_{ED} 等都建立了各性能参数（分别为转速 n 、流量 Q 、力矩 T 和功率 P ）和条件参数水头 H （水力比能 E 即代表水头 H ， $E=g \cdot H$ ）及几何参数 D 之间的相似关系，其表达式分别为

$$n_{ED} = \frac{nD}{E^{0.5}} \quad (6)$$

$$Q_{ED} = \frac{Q}{D^2 E^{0.5}} \quad (7)$$

$$T_{ED} = \frac{T}{\rho D^3 E} \quad (8)$$

$$P_{ED} = \frac{P}{\rho D^2 E^{1.5}} \quad (9)$$

显然，4 个单位参数均为相应性能参数和条件参数 E （比能）及几何尺寸 D 之间的函数关系，和其他参数无关。此外，条件参数 E 均出现在计算单位参数公式的分母上，其优点是在利用单位参数计算该性能参数时，该性能参数和 E^α （ $\alpha > 0$ ）呈正比例关系。水泵的条件参数是转速 n ，其单位参数也应围绕 n 和几何尺寸参数 D 来建立。

3.2.1 水泵流量系数和水轮机单位流量

在 IEC 标准 IEC60193—1999《水压涡轮、存储涡轮和抽水涡轮—模块验收实验》和国家标准 GB/T 15613.1—2008《水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验 第 1 部分：通用规定》中，均定义了流量系数（Discharge coefficient） Q_{nD} ，其表达式为

$$Q_{nD} = \frac{Q}{nD^3} \quad (10)$$

显然， Q_{nD} 是一无量纲的相似数，其建立了流量 Q 、转速 n 及尺寸参数 D 之间的关

系,符合水泵单位参数的基本要求,可用于表述流量随转速这一条件参数变化的相似性能。在水泵和水泵水轮机水泵工况的模型试验中,多采用流量系数 Q_{nD} 作为流量的单位参数来表达水泵的流量特性。

但是,在 IEC 标准 IEC60193—1999 和国家标准 GB/T 15613.1—2008 这两个标准中,并没有明确 Q_{nD} 是水泵流量系数,而且其和适用于水轮机的流量因数 Q_{ED} 从名称上非常难区别,故很容易造成混淆。有的在水轮机试验中采用了适用于水泵的流量系数 Q_{nD} ,也有的在水泵试验中采用了适用于水轮机的流量因数 Q_{ED} 或单位流量 Q_{11} ,通过这种错用的单位参数及其关系曲线很难清晰地了解真机水泵的性能。

单位流量 Q_{11} 是忽略了重力加速度 g 影响的流量因数 Q_{ED} 的近似表达,即

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2 H^{0.5}} \quad (11)$$

如果在水泵工况应用单位流量 Q_{11} ,由于流量 Q 和扬程 H 都是性能参数,而真正影响性能参数变化的条件参数 n 没有出现,两个性能参数之间又相互影响,等于间接地用流量 Q 随扬程 H 的变化反映流量 Q 随转速 n 的变化,造成了人为的复杂化,因此不主张在水泵试验中采用。但是,水泵水轮机的四象限试验除外,因其中包含水轮机工况,其四象限特性曲线坐标需保持一致。

为避免因分不清流量系数、流量因数而错误应用的情况出现,建议今后修订 IEC60193—1999 和 GB/T 15613.1—2008 等标准时,将“流量系数”改称“水泵流量系数”,而将“流量因数”改称“流量系数”(称“因数”不符合习惯),并注明“只适用于水轮机”。同样,也应对单位流量注明“只适用于水轮机”。

3.2.2 水泵压力系数和水轮机单位转速

与流量系数类似,在上述两个标准中也定义了能量系数(Energy coefficient) E_{nD} ,其表达式为

$$E_{nD} = \frac{E}{n^2 D^2} \quad (12)$$

与其他单位参数不同的是,能量系数 E_{nD} 和转速因数 n_{ED} 基本上是分子、分母对调关系,关键是水轮机中的性能参数 n 在水泵中变成了条件参数,故在水泵中不能再用转速因数 n_{ED} ,只应采用能量系数 E_{nD} 。

类似地,在水泵和水泵水轮机水泵工况的试验中,也不宜采用水轮机常用的单位转速 n_{11} ($n_{11} = n \cdot D / H^{0.5}$),其原因在于用条件参数 n 随性能参数 H 变化的规律来描述扬程 H 的相似变化明显因果倒置,通过模型单位转速及其曲线难以正确了解水泵扬程性能,故不主张在水泵试验中采用(水泵水轮机的四象限试验除外)。

与 Q_{nD} 类似,在两个标准中并没有规定 E_{nD} 为水泵能量系数,也没有说明其适用于水泵。因此,在实际的水力机械模型试验中,也常遇到在水轮机试验时采用类似于能量系数 E_{nD} 或在水泵试验中采用转速因数 n_{ED} (或单位转速 n_{11}) 的情况。为避免因分不清能量系数、转速因数而错误应用的情况出现,建议今后修订标准时,将“能量系数”改称“水泵能量系数”,而将“转速因数”改称“转速系数”,并注明“只适用于水轮机”。同样的,也应对单位转速注明“只适用于水轮机”。