

## 试论小型水电站发电设备技术改造

张富钦 吴文清

(东方电机厂)

### 提 要

文章针对我国部分小型水电站存在设备旧、选型不当、制造质量差等问题而影响经济效益的发挥，论述了小型水电站设备技术改造的必要性。综述我国近年来水电设备科研、设计制造水平的显著进步，论证了改造的可靠性。进一步根据几个水电站改造实例及带来的巨大经济效益，说明改造经济价值并提出了改造的具体措施、办法，可供我国小型水电站发电设备技术改造的参考。

### 一、前 言

我国幅员辽阔，河流众多，径流丰沛，可开发利用的水力资源有3.78亿kW。另外还有遍布全国约7000余万kW可开发的小型水电资源。解放后，国家十分重视小型水电站的建设。三十多年来，因地制宜、自力更生，在有条件的地方都积极发展小水电。据统计，到1983年止，全国已建成小型水电站76579座，总装机容量达1000万kW。仅四川省就有7000多座，总装机容量超过100万kW。目前各县都设立了电力公司，培养锻炼了一支能从事小水电建设和管理的技术队伍。与此相适应，从事小型水电设备制造的工厂也超过了百家，有力地促进了小型水电站的发展。这些小型水电站有的直接并入国家电网，小水电和大电网紧密配合，互为补充，有的输入地方电网或单独为乡、村供电，是多快好省解决农村电力的有效途径，特别对边远地区和偏僻乡村发挥了巨大作用，为四化建设作出了贡献。

### 二、小型水电站发电设备改造的必要性

事物总是从无到有，从有到好不断发展的。自十一届三中全会后，随着农村经济体制改革的开展，地方工业和农村经济得到飞跃发展，农民生活富裕了，家电开始普及，对小型水电站供电质量的要求也随之提高。然而，目前小型水电站，无论是建设、管理、运行，还是设备制造、维护等方面都存在着一些急待解决的问题。如已运行及正在建设的小型水电站中，设备陈旧，选型不当，制造质量差等原因，使不少水轮机出力不足，效率低，气蚀破坏严重，事故停机率高，严重影响小水电经济效益的发挥。

#### 1. 设备陈旧

设备陈旧有两种情况：一种是已运行多年，损坏严重，超过使用寿命的旧机组，个别水电站还有五十年代铁木结构的水轮机；另一种是机型陈旧，如使用范围最广、使用最多的HL110转轮，它是一个十分陈旧的转轮，系美国1921年的产品，因过流能力小、效率低、气蚀严重而早已淘汰，但我们却沿用至今，使不少水电站尺寸大，成本高，

效率低。

### 2. 选型不当

为了降低小型水电站设备制造成本，标准化、系列化、通用化十分重要。然而，由于水电设备的特殊性，水轮机水力特性确定了一个最优运行范围。小型水电站初步设计时，从标准化系列产品中合理选择一种机型，使水轮机在这个最优范围内运行。但不少小型水电站，不注意合理选型，而是按出力、尺寸去套用，或干脆买一台现成机组来代用。套用、代用的结果往往使水轮机长期偏离最优工况区运行，产生出力不足、振动大、气蚀破坏严重等，才知道选型不当。但换一台机组不容易，只好凑合使用，但损失很大。例如，四川省有近十个小水电站使用 HL110-WJ-60 型水轮机和 1 000 r/min 的发电机组成的机组。按 HL110 转轮最优运行区，适用于设计水头为 90~100m 的电站，扩大一点为 80~116 米。但竟有设计水头为 145 米或 50~60 米的水电站也套用此机组。其中石棉安顺水电站，设计水头 145 米，水轮机对应设计水头的转速已不到 50r/min，效率降低 5% 以上，水流进口有很大正冲角，造成背面脱流、气蚀。在一般情况下，电站出力不足往往是水轮机出力不足引起的，而这种情况又有一些是很典型的选型不当造成的。如西昌水电站，设计水头 44 米，使用了原下硐水电站转轮直径为 720mm 的水轮机，出力可达 1050kW，但电站水量和发电机容量仅 720kW。由于水轮机尺寸偏大，致使水轮机长期在低负荷下运行，效率很低。

### 3. 机组制造质量差

一些小型或微型水电站，为了降低机组造价，设计成制造简单、方便的产品。这是一种设计手法，但多数小型水电设备制造缺陷不是这个原因，而是其它因素造成的。有些小水轮机厂，设计力量薄弱，部分设计人员不太懂水轮机通流部件几何相似的重要性。他们图本厂制造方便，随意改动蜗壳、座环、尾水管形状和尺寸，甚至改动导叶、转轮尺寸，同模型不模拟，使水力性能恶化。有的厂由于设备所限，工艺水平差，制造质量达不到标准。使机器事故率高，拆修频繁。年利用率不足 2 000 h 的小型水电站中，不少是由于机组制造质量差造成的。

小型水电设备中存在的上述种种问题，说明小型水电设备技术改造，势在必行，广大水轮机研制者，应努力作出贡献。

## 三、对小型水电设备改造的几点体会和建议

近年来，我国水电设备的科研和制造水平有了明显进步，有的项目已达到世界先进水平。闻名世界的长江葛洲坝水电站，直径 11.3m，容量 17 万 kW 的转浆式水轮机，是我国自己研究、设计、制造成功的。性能优良，荣获国家科技进步特等奖。龙羊峡水电站单机容量 32 万 kW 的混流式水轮机，也是我们自己研究成功的新转轮。我们还生产不少中小型水轮发电机组，远销欧、美、亚洲，质量符合 IEC 标准，深受国外用户好评。这些成绩和经验为我国小型水电设备技术改造提供了可能性。在小水电设备技术改造的起步上，我厂也作了一些工作，略谈几点体会和建议。

### 1. 大力推广国内最新科研成果，改造小型水电设备

由于水电建设和技术发展的需要，我国加强了水力试验研究基地的建设，近年来陆续投资兴建了几座高水头水轮机试验台，对原有试验设备也进行了更新，试验成功了一批又一批优良转轮。例如，我们对小型水电站混流式水轮机中常用的 HL110、HL160、HL180、HL220，同我厂新转轮 D46、D06a、D41、D74 转轮进行分析比较，两组转轮参数列于表 1。

表 1 新、老转轮参数对照表

转轮型号	最优单位转速 $n'_{10}$ (r/min)	最优效率 $\eta$ (%)	限制工况 单位流量 $Q_1'$ (l/s)	气蚀系数 $\delta_m$	比转速 $n_s$ (m, kW)	最大使用 水头 (m)
HL110—54	61.5	90.5	380	0.05	110	200
D46—40	67.5	91.6	634	0.045	161	200
HL160—46	67	90.7	670	0.065	160	150
D06a—40	69	91.5	830	0.06	165	150
HL180—46	67	91.5	860	0.085	180	125
D41—35	77	92	1123	0.106	245	137
HL220—46	70	92	1140	0.133	220	85
D74—35	79	92.7	1247	0.143	266	100

由表可知，新转轮效率普遍比老转轮高 0.5~1.1%，单位流量大 9~65%，比转速高 16~46%，气蚀系数相当或略有提高。若用这些国内最新科研成果去改造小水电，可以收到很大效益。具体改造方案可由水电站，设计院、制造厂协商确定，大体有三种方案。

方案 1. 利用原机组，只更换一个水轮机转轮，以提高效率、出力。该方案对水轮机出力不足、效率低、气蚀破坏严重的水电站，往往是投资少、见效快的方案。例如：原用 HL160 转轮的水电站，可用 D06a 转轮进行更新改造，仅换一个转轮即可。1985 年福建连城水电站经中南勘测设计院提出进行的技术改造，就是用两台 D06a-WJ-71 转轮，更换 HL160-WJ-71 转轮，该电站由于水头偏低，达不到额定出力，实际效率只有 84%，出力 2800kW。改造后效率提高 5.3%，出力达到 3477kW，增加 24%；运行良好，无异常振动；各部位温升均在允许范围之内；气蚀破坏轻微。从 1985 年 7 月开始发电到同年 10 月 26 日，运行 2000 多小时，增发电 70 万度，达到了更换转轮改造之目的。

方案 2. 用新机组更换老机组 该方案适用于已运行多年，机组损坏严重，该更新换代的；电站机型选用不合理，套用、代用而存在严重缺陷的；水电站水量有余，可以增容扩建的水电站。投资可能比第一方案大些，但经济效益也相应增大。我们用这种方案为云南大寨水电站增容作了改进。大寨水电站设计水头 178 米，原装有四台 HL110-LJ-110 机组，单机出力 1 万 kW。电站增容时，我们用 D08-LJ-96 和 D10-LJ-96 新机型代替老机型，水轮机转轮直径减少了 14.6%，出力反而从 1 万 kW 增加到 1.3 万 kW，如同样大小的直径，出力可增加 60% 以上，经济效益将更为显著。

方案 3. 针对该水电站存在的问题进行改造 这种方案针对电站存在的各种特殊问题，如通流部件设计不合理，引起异常振动；水轮机选择不合理，使其经常偏离最优工况区运行，效率低、振动大、气蚀严重。改造时应找有关科研单位咨询，针对具体问题

开展研究，往往能得出一些投资少、效果好的改造方案。如已谈到的西昌水电站，原水轮机导叶高度为 $0.3D_1$ ，单位流量9501/s。如用同样高度导叶的新转轮，则流量可加大。水电部成勘院提出用一种单位流量小的低比速转轮提高上冠，使其符合原导叶高度，适应发电机出力的改造方案是合理的，可以收到预期效果。

有些同志担心，现有小型水电站的水轮机参数低，其气蚀破坏和泥沙磨损已相当严重，如果改用参数高的水轮机，气蚀和泥沙磨损破坏不是更严重吗？其实不一定。水轮机气蚀和泥沙磨损破坏的原因多种多样，就转轮本身而言，参数不同固然是个因素，但破坏在很大程度上取决于转轮内部流态分布大小；取决于制造质量和运行条件的好坏。可以说，国内新研究成功的转轮绝大多数不是单方面追求能量的高指标，而对气蚀、稳定性也十分重视，往往是综合性能全面优于原型谱转轮。举两例说明此问题。

第一是 HL160 和 D06a 转轮，两转轮流道尺寸几乎一致，经水力内特性分析结果得知，D06a 转轮流速和压力分布比 HL160 均匀，模型试验和沙田水电厂真机运行表明 D06a 气蚀性能比 HL160 好。

第二是 HL110 和 D08 转轮，两转轮均可用于 200 米水头。HL110 转轮是六十多年前设计的，当时用于水轮机的钢材性能差，为满足强度要求，转轮流道狭窄，过流面积很小，而 D08 转轮是 70 年代设计的，过流面积比 HL110 增大了一倍。模型试验结果过流能力比 HL110 提高 65%，比转速提高 46%，而气蚀性能并不恶化。大寨水电站真机运行表明气蚀破坏比 HL110 转轮轻。

大寨水电站 3\* 机，HL110-LJ-110 机型，出力 1 万 kW。运行 12 328 h 后，水轮机整个流道破坏严重，17 个叶片中 14 片有大缺口，大块脱落，缺口纵深达 45 mm。2\* 机装 D08-LJ-96 机型，最大出力可达 1.3 万 kW，运行 10 092 h 后，对气蚀和泥沙磨损进行观测，其主要气蚀部位在叶片背面出水边靠近下环区，其特性为蜂窝、针条和鱼鳞状，1\* 叶片有一个  $\phi 2.5$  mm 穿孔，没有脱落缺口现象，气蚀破坏最大深度 6 mm，总面积  $134.4 \text{ cm}^2$ ，总体积  $11.19 \text{ cm}^2$ ，算得气蚀指数  $K = 0.024 \times 10^{-4} \text{ mm/h}$ ，属 I 级气蚀标准。

### 2. 改造小水电设备制造厂，提高机组制造质量

大、中、小型机组，均不同程度地存在制造质量差的问题。近年来，不少制造厂在提高机组质量方面作了很多努力。如投资引进技术，改造设备，培养人材，力争在最短时间内达到国家和 IEC 标准。要提高制造质量不仅要增设一些先进加工设备，更重要是思想上重视，牢固树立为用户服务，质量第一的思想，尽快采用新技术、新工艺。例如：过去小型水轮机转轮多采用整铸结构，光洁度和型线都很难达到标准要求。现在很多小水轮机厂采用组焊结构，叶片采用二次成形或单独铸造，靠样板铲磨、检查，然后组焊，产品一般能达到国家标准。

### 3. 重视小型水电站的改造

国外对小型水电设备更新换代，技术改造十分重视。有资料记载，美国 A·C 公司和加拿大多米宁公司生产的小水电设备，用于更新的占总产量的 40%。我国有关部门反映水电设备存在这样那样严重问题的不少，但真正实现设备技术改造的比例很小。其主要原因是技术改造不够重视，不少小型水电站是地方或集体兴办的，筹集资金比较困

难，明知设备应该更换，但图一时之便，只顾眼前得失，致使设备改造一拖再拖，难以实现。

福建连城水电站趁电站大修期间，更换了两台D06a-WJ-71新型水轮机转轮，效率比原转轮提高5.3%，改造投资约6.7万元。而新建一座1200kW的水电站，投资约需200万元，改造费用只相当其三分之一，效益之显著显而易见。连城水电站改造后，一台机运行三个月多发电70万度，价值5万元，即可收回改造成本的绝大部分。

#### 四、结语

1. 小型水电站对繁荣和发展地方经济，解决农村用电作出了巨大贡献。为更好地发挥其经济效益，必须进行技术改造与设备更新。

2. 近年来我国水电设备科研和制造能力有了很大进步，已具备对小型水电设备进行完善和改造的技术力量。小型水电设备技术改造是投资少、收效快、得益大的措施。已建水电站设备的技术改造，与开发新水电站相结合，使水电为四化作出更大的贡献。

#### 东西关水电站在积极筹建中

为了解决武胜县及其周围县严重缺电的局面，位于武胜县境内的嘉陵江干流东西关水电站在积极筹建中。南充地区成立了以行署专员冯西尧为组长，地委副书记文正经、行署副专员郭光杰、地区计委主任张永凡为副组长，水电、交通、银行、财政等有关部门及联办县的负责同志为成员的筹建领导小组，以加强对东西关水电站筹建工作的领导。办公室设在武胜县，办理具体事宜。

电站建设的关键在于资金，根据国家计委(87)规动字1号文件精神、武胜县人民政府积极主动，近月来奔波于各单位，先后与东方电机成套设备公司、西南电业管理局及一些施工单位进行了筹资方面的洽谈，现已初步落实资金5000万元。

东西关水电站初步设计和水工模型试验目前正在积极进行中。

四川省副省长蒲海清同志于今年7月14日视察了东西关水电站建设地址及检查了前期准备工作情况后说：“东西关水电站的地理条件好、施工条件好、交通方便、投资低、效益好，是一个好点子。………如果有钱，你们都可以搞，省里可以承担责任。资金是个大问题，省里是积极支持的，………东西关三上三下，这次上了就不下了。………”领导的关怀，给电站建设以极大的鼓舞。

(水电部成勘院 张登仕 武胜县水电局 李茂林)