

## 水轮机部分新机型

张富钦

(东方电机厂)

我国幅员辽阔，江河纵横，蕴藏着极其丰富的水力资源。优先发展水电，提供价廉而洁净的能源，是加快工农业建设的前提，也是“富民”、“升位”的基本保证。为此要求能制造出效率高，汽蚀破坏小，稳定性能好的水能机；同时还期待着能开发出结构更简单，制造更方便，性能更优良的新机型。广大水轮机研究工作者一方面努力提高现有机型的性能，如我厂研究所为龙羊峡、天生桥、二滩等电站研究成功的新转轮，水轮机比转速都有较大提高；同时也积极研究水轮机新机型。近年来，适用于不同条件的水轮机新机型不断出现，如天津电气传动设计研究所研制出适用于潮汐电站的双向贯流式水轮机就是其中一例，它们各有特色和创新。本文结合我省具体情况，将国内外新近研究、改进成功，并投入使用的部分适用于中、小水电开发的水轮机新机型予以介绍。

### 一、新型混流式水轮机

现代混流式水轮机由于结构简单、维护方便、效率高，为各机型中使用最广的。无论从容量，还是以台数来计算都超过了其他所有机型的总和。目前，水头从几米到七百米；容量从几千瓦到七十三万千瓦，不同比转速的混流式水轮机，都广泛地使用着，并仍在不断向高水头方向发展，八百米高水头混流式水轮机正在日本等国研制。然而，低水头部分由于结构限制，较长一段时期内，混流式水轮机最高比转速仍停留在300~350米千瓦左右，因而受到了轴流式、斜流式水轮机的挑战。为了保持和发展它适于中、低水头段的优势，最近有大力开发高比转速混流式水轮机的趋势。美国、日本等国正在积极研究 $n_s=200\sim600$ 米千瓦的新混流式水轮机。美国A·C公司无下环结构的新型混流式水轮机就是其中之一(图1)。

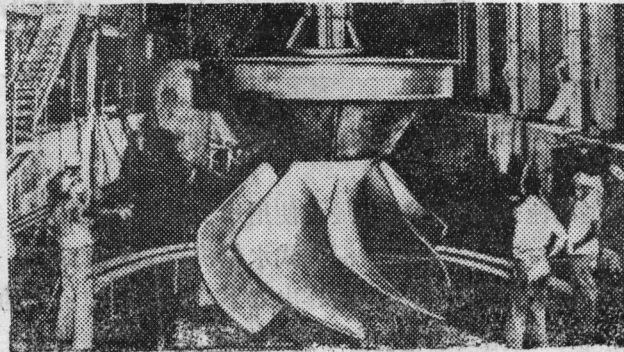


图1 美国A·C公司无下环结构的新型混流式水轮机

这种新型混流式水轮机集中了轴流式、斜流式、混流式的优点。它同轴流式水轮机一样没有下环,使转轮结构简化,制造方便,尤其是焊接转轮的焊接工作量差不多可减少一倍。没有下环也就没有下环圆盘内外两面的摩擦损失,使水轮机能保持较高的效率。它同斜流式水轮机一样,叶片进出水边处于倾斜位置,可获得较混流式水轮机高得多的最优单位转速,使发电机尺寸大大缩小。它同混流式水轮机一样叶片固定在转轮上冠,强度优于转浆式水轮机。轮壳也小、流道宽广、单位流量大,使水轮机尺寸小,重量轻。它的叶片数也比较多,一般6~10片,叶片总面积足够大,以保持汽蚀性能同现有混流式一致。美国A·C公司一个最高可用到70米水头的新型混流式水轮机,比转速 $n_s$ 达400米千瓦以上,比现有混流式高40%左右。用 $D_1=305$ 毫米模型作试验, $n'_{10n}=105$ 转/分、 $Q_{1max}=1600$ 升/秒、 $\eta_{max}=91.5\%$ ,可以清楚地看出其优越性。所以,它一出现就立即得到了推广(表1、图2)。

表1 新型混流式水轮机在美推广使用情况

电 站	水 头 (呎)	转 速 (转/分)	出 力 (马力)	原机型	使用新型后,在原 水头下出力提高%
Martio Dam	145	112.5	78000	混流式	73
Conowingo	86	120	85000	轴流式	65
Yadkin Falls	54	128.6	15000	轴流式	30
Wilson	86	105.9	74600	轴流式	136
Narrows	175	163.6	36000	混流式	22
Lay Dam	81	120	40000	轴流式	76

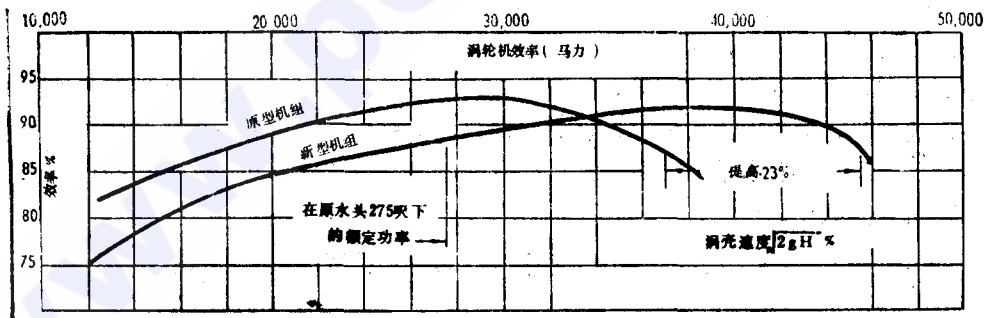


图2 新型、原型水轮机的出力和效率

上图所示的新型混流式水轮机实际最大使用水头已达到325呎。新型水轮机在相同水头、相同尺寸下,出力比原轴流式、混流式水轮机高22~136%,平均高67%。换句话说,采用新型水轮机,在同样水头、同样出力下,水轮发电机组的尺寸、重量、造价可降低1/3。因此,新型混流式水轮机由于它比转速高,在125米水头以下范围内具有相当大的优势,可以取代部分混流式、轴流式水轮机使用。

## 二、组合的贯流混流式水轮机

为减轻水轮机重量,改善水力特性,四川工业学院杜同教授将贯流式水轮机的引水部件同混流式水轮机转轮组合(图3),设计了一种贯流混流式水轮机。

这种新机型是用扭曲的固定导叶来产生预环量以适应水轮机进口条件。因此,它不再需要直径很大的涡壳,既减轻重量,又可减少涡壳中水力损失,从导叶出口到转轮进口结构也较原混流式合理。混流式水轮机水流径向进入,轴向出水,转了一个 $90^\circ$ 度大弯,加之下环进口处转弯半径又小,使轴面流速分布不均匀,高速水流集中在下环附近,因此,水轮机下环附近叶片最容易受汽蚀和磨损破坏。新机型是斜向进水,轴向出水,只转 $45^\circ$ 度角左右,其下环附近的转弯半径也大,使轴面流速分布均匀,效率和汽蚀性能就有可能获得改善。贯流混流式水轮机也具有尺寸小、重量轻、水力性能好的优点,适用于中、高水头。第一批

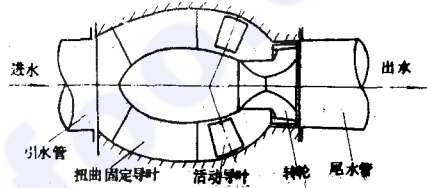


图3 贯流混流式水轮机示意图

HL220—WG35型贯流混流轴伸式水轮机已由内江水轮机厂生产,并用于省内外一批小水电站上。贵州省赤水县桂香公社水电站采用了这种水轮机,已于82年3月发电。该电站认为这种新型水轮机重量轻、出力足、运行平稳,有一定推广价值。

## 三、新改进的双击式水轮机

双击式水轮机已有几十年的历史,我国有不少中、小水轮机厂在生产。它没有笨重而形状复杂的涡壳、导水机构。转轮基本上无轴向水推力,不需要价格昂贵、维护困难的推力轴承。这种水轮机结构特别简单,制造很方便,价格便宜,设备简陋的小农机厂亦可生产。在200米水头以下,1000千瓦以内的小水轮机上可以使用。由于双击式水轮机转轮叶片数多(一般为24~36片),水流二次通过叶片,所以转轮水力摩擦和排挤损失大,效率较低。我国生产的小型双击式水轮机效率一般为75%左右,故推广受到影响。针对效率低这一弱点,近年来日本富士等公司作了大量试验研究工作,水轮机效率有了较大提高。具体措施有:

(1) 将导叶和转轮按1:2比例分成二段,小流量时使用1/3导叶,随着流量增加可开2/3导叶或全开(图4)。这样,双击式水轮机的最高效率虽稍低于混流式,但中、小负荷区都大大优于混流式,流量从20%到100%的范围内效率都有80%左右,这对于水库小,流量或负荷变化大的中、小电站很有价值。

(2) 选择涡壳最优进口角和冲角。过去双击式水轮机涡壳进口角 $\theta$ (图5),在 $90^\circ \sim 150^\circ$ 范围内自由选取。通过试验找到 $\theta=120^\circ$ 时效率最高。确定 $\theta=120^\circ$ ,冲角 $\gamma=15^\circ$ 时效率最优。这一组 $\theta=120^\circ$ , $\gamma=15^\circ$ 组合效率比其它方案高1.2%左右。

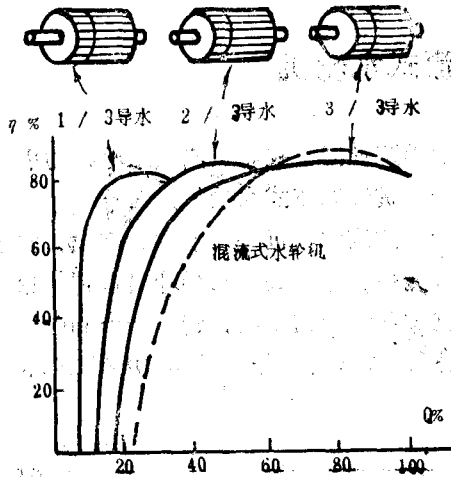
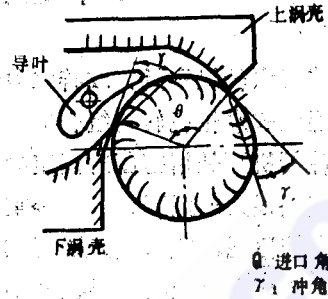


图4 双击式水轮机效率曲线

图5 蜗壳进口角 $\theta$ 及冲角 $\gamma$ 

(3) 对导叶形状进行了研究。试验表明导叶形状对效率也有较大影响。一共试验了四种方案的导叶, 效率差0.2~0.6%, 其中以D型最好(图6)。

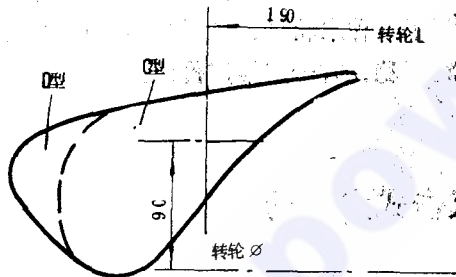


图6 导叶形状

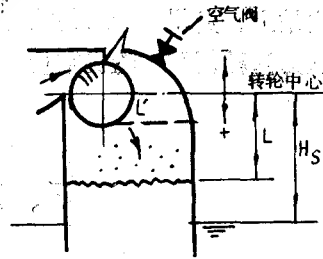


图7 尾水管利用

(4) 尾水管的利用。双击式水轮机属于冲击式, 一般来说尾水管无法利用。但试验证实, 双击式水轮机尾水管可以回收能量, 当空气阀调节适当时恢复率高达50~70%。试验还表明, 当导叶开度大于60%, 调节空气阀使L达到L'位置时(图7)效率最高。

(5) 对转轮内部流道重点研究了叶片形状、叶片数、中间隔板对水力损失的影响, 找出最优方案。例如, 叶片数31片时效率较高。

通过这一系列试验研究, 使双击式水轮机最高效率达到83%。这一改进使双击式水轮机焕发了青春, 成为日本小水电中的一种推广机型, 使双击式水轮机系列化, 成批生产, 并开始向澳大利亚等国出口。这些经验值得我们借鉴。

#### 四、节能小水轮机一年可回收投资

以前, 许多化工流程中, 高压介质从脱碳塔回到再生塔前, 均经过一个消能阀门来减压, 而后再回到再生塔, 致使一部分高压介质的能量白白浪费。自从世界上发生石油

能源危机以来,各国都十分重视节能工作,许多工业发达的国家纷纷将小水轮机用到化工流程中回收余压,取得了显著效果。例如,大庆化工厂从美国引进的30万吨合成氨装置,就在消能阀门处装有 $10 \times 10$ MST型小水轮机。该机回收功率为440千瓦,最高效率83.2%左右,每年可节约电能350万度,价值几十万元。哈尔滨大电机研究所从79年起先后为大庆石油化工总厂,上海炼油厂等设计了节能小水轮机。运行实践表明,节能小水轮机运行稳定,安全可靠,节能效果好。我省石油化学工业也很发达,化工系统中可回收的潜在能量肯定不少,节能小水轮机将会受到重视。这种节能小水轮机有如下特点:

1. **运行工况恒定,无需活动导叶**  
由于化工流程中参数(H、Q)基本都是恒定的,所以小水轮机只在一个确定工况下运行,就无需活动导叶,这就使水轮机结构大大简化。

2. **出口有余压、不受汽蚀限制**  
由于小水轮机出口有余压,加之流程中介质具有一定腐蚀性,其通流部件都用不锈钢制造,可不受汽蚀影响。这样,转轮叶片数可减少,一般只用6片,使转轮制造方便。

3. **回收能量效率有所提高**  
在化工流程中也有采用泵轮回回收能量的。由于泵轮效率一般比水轮机低,加之泵轮反转作水轮机用时效率更低。如日本 $10 \times 18$ HTHVC型能量回收泵轮效率仅77%,而我国哈尔滨大电机研究所NH032—23型节能小水轮机效率可达83.9%。

4. **机组简单、造价便宜、一年回收投资**  
由于整个机组结构简单、体积小、重量轻,造价也便宜。哈尔滨大电机研究所为大庆设计的节能小水轮机,运行一年就回收了投资。

## 五、结 束 语

节省投资,多创利润,是改革者的共同心愿,但愿望的实现必须依靠技术进步。尽快地采用国内外先进、合理、可靠的新技术,必将是“富民”、“升位”的钥匙。上述仅为国内外近年来研制的十几种新机型中的一部分,很可能有不当之处,请批评指正。

东方电机厂研究所为了发展我国水轮机品种,已将新型混流式水轮机的研究列入了科研计划。第一个新型混流式水轮机模型转轮D91已完成设计,目前正在加工,预计明年一季度可得到初步结果。