

# 中墨两国水轮机加权平均效率计算方式的差异

严宏波

(中工国际工程股份有限公司 北京 100080)

**摘要** 讨论墨西哥与中国在计算水轮机加权平均效率方式上的差异,同时通过墨西哥 1 座  $2 \times 6\,000\text{ kW}$  的小水电项目进行了实例分析,并进一步指出了两种计算方式的优、缺点,目的在于引导中国水电设备制造厂家和设计单位深入了解墨西哥联邦电力委员为该国水电项目制定的有别于 IEC 标准的特殊技术规范,以利于在技术层面消除墨西哥与中国之间在水电技术交流方面的障碍,从而促进中国企业进入墨西哥电力工程承包市场。

**关键词** 水轮机加权平均效率;加权系数;计算方式差异;墨西哥;中国

**中图分类号** TK730.2      **文献标识码** A      **文章编号** 1006-764X(2007)S2-0104-02

由于墨西哥与中国在水电建设领域里过去缺乏技术交流,造成目前很少有中国水电企业和设计院能充分了解墨西哥当地对水电站某些关键技术参数的特别规定。墨西哥全部的电力技术规范由墨西哥联邦电力委员会(Commission de Federal Electricidad, 简称 CFE)在参照 IEC 标准的基础上制定和颁布,绝大部分标准与 IEC 标准相同,但对某些主要设备参数作了特殊规定。充分了解这些规定,是中国公司能顺利进入墨西哥电力市场的必备条件。本文将主要针对水电站中水轮机发电机组的加权平均效率问题,分析和讨论墨西哥与中国在计算方式上的差异。

## 1 水轮机加权平均效率计算方式的差异

### 1.1 水轮机效率计算与相关参数测量简介

进行水轮机真机效率试验,实际上是测定水轮发电机组的效率,然后求得水轮机的效率。水轮机计算公式<sup>[1]</sup>如下:

$$\eta_T = \frac{N_g \times 10^4}{9.81QH\eta_g} \quad (1)$$

式中: $\eta_T$  为水轮机效率,%; $N_g$  为发电机有功功率, MW; $\eta_g$  为发电机效率,%; $Q$  为水轮机流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $H$  为水轮机工作水头, m。

根据效率试验规程要求,由传感器测得的发电机有功功率实测值  $N_{gi}$  以及水轮机相对流量  $Q_i$  均要换算到额定转速下各工况实测水轮机工作水头的算术平均值。每一工况点实测水轮机工作水头的算术

平均值  $H_t$  换算公式如下:

$$N_{gi} = N'_{gi} \left( \frac{H_t}{H_{ti}} \right)^{3/2} \quad (2)$$

$$Q_i = Q'_i \left( \frac{H_t}{H_{ti}} \right)^{1/2} \quad (3)$$

式中: $H_t$  为额定转速下各工况实测水轮机工作水头的算术平均值,  $H_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ );  $H_{ti}$  为对应  $i$  工况的水轮机工作水头; $N_{gi}$  为换算至平均工作水头的  $i$  工况的发电机功率; $Q_i$  为换算至平均工作水头下的  $i$  工况的水轮机相对流量; $N'_{gi}$  为对应  $i$  工况的发电机有功功率实测值; $Q'_i$  为对应  $i$  工况的水轮机流量实测值。

流量测量可以采用超声波流量计进行,有关流量计算方法,可根据文献[2]中的公式计算如下:

$$Q = K_Q A \sum W_i v_i \quad (4)$$

式中: $Q$  为流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $K_Q$  为流量系数; $A$  为管道过流断面面积,  $\text{m}^2$ ;  $W_i$  为第  $i$  声路的权重系数; $v_i$  为第  $i$  声路的流速,  $\text{m/s}$ ;  $i$  为声路序号。

水轮机工作水头可按文献[3]中的公式进行计算:

$$H = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{A_2 v_2^2 - A_3 v_3^2}{2G} \quad (5)$$

式中: $\Delta P$  为蜗壳进口与尾水管出口的压差,可采用精度为 0.2% 的 1151DP8E 型压力传感器测量; $\rho$  为水的密度,  $\rho = 981\text{ kg/m}^3$ ;  $v_2$  为蜗壳进口断面水流平

均速度  $\mu\text{m/s}$  ; $v_3$  为尾水管出口断面水流平均速度 ,  
 $\text{m/s}$  ; $A_2$  为蜗壳进口断面流速分布不均匀系数 , $A_2 =$   
 $A_3 = 1$  , $A_3$  为尾水管出口断面流速分布不均匀系数 ;  
 $G$  为当地的重力加速度值 ,按电厂海拔高度及纬度  
取  $G = 9.785 \text{ m/s}^2$ 。

$v_2$  和  $v_3$  可按  $v = Q/F$  计算 ,其中流量可通过  
实测得到 ,断面面积  $F$  可根据具体情况查图纸求  
得 ,蜗壳进口断面面积为  $34.4196 \text{ m}^2$  ,尾水管出口断  
面面积为  $89.625 \text{ m}^2$ 。

1.2 中国和墨西哥关于水轮机加权平均效率的计算  
在中国 ,水轮机的加权平均效率计算公式如下 :

$$\eta_w = \frac{1}{10n}(\eta_{100} + \eta_{90} + \eta_{80} + \eta_{70} + \dots + \eta_{10n}) \tag{6}$$

式中 : $\eta_w$  为水轮机加权平均效率 ,% ; $\eta_{100}$  为水轮机  
在设计水头下 100% 设计出力的效率 ; $\eta_{90}$  为水轮机  
在设计水头下 90% 设计出力的效率 ; $\eta_{80}$  为水轮机在  
设计水头下 80% 设计出力的效率 ; $\eta_{10n}$  为水轮机在  
设计水头下  $10n\%$  设计出力的效率。

在墨西哥 ,CFE 制定的水轮机加权平均效率计  
算公式如下 :

$$\eta_w = \frac{1}{10}(6\eta_{100} + 3\eta_{90} + \eta_{80}) \tag{7}$$

式中各项符号意义同式(6)。

2 对两种计算方式差异的分析

2.1 直观分析

从上述效率计算公式的对照中可以看出 ,中国  
在计算加权平均效率时通常选取的加权系数为 1 ,  
选取的效率值点是一个系列 ;而墨西哥国家电力委  
员会制定的加权平均效率计算公式中只选取较优化  
的 3 个效率点  $\eta_{100}$  , $\eta_{90}$  和  $\eta_{80}$  ,加权系数分别选取为  
6/3 和 1 ,因此很明显 ,其最后计算出来的加权平均  
效率值将会比中国通常采用的计算公式所得值高。

表 1 墨西哥本尼多华雷斯水电站水轮机水头、活动导叶开度、出力、效率和流量对应值

| 水轮机<br>出力/% | 最大水头(净水头 47 m) |          |              |                                             | 设计水头(净水头 38 m) |          |              |                                             | 最小水头(净水头 33.55 m) |          |              |                                             |
|-------------|----------------|----------|--------------|---------------------------------------------|----------------|----------|--------------|---------------------------------------------|-------------------|----------|--------------|---------------------------------------------|
|             | 水轮机<br>出力/kW   | 效率/<br>% | 活动导叶<br>开度/% | 流量/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 水轮机<br>出力/kW   | 效率/<br>% | 活动导叶<br>开度/% | 流量/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 水轮机<br>出力/kW      | 效率/<br>% | 活动导叶<br>开度/% | 流量/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
| 100         | 8 500          | 92.51    | 100          | 20.0                                        | 6 232          | 93.62    | 100          | 17.9                                        | 5 220             | 93.59    | 100          | 17.0                                        |
| 90          | 7 650          | 93.61    | 87           | 17.8                                        | 5 608          | 93.67    | 88           | 16.1                                        | 4 698             | 92.23    | 92           | 15.6                                        |
| 80          | 6 800          | 92.41    | 78           | 16.0                                        | 4 985          | 91.73    | 81           | 14.7                                        | 4 176             | 89.87    | 83           | 14.2                                        |
| 70          | 5 950          | 90.29    | 70           | 14.4                                        | 4 362          | 89.49    | 73           | 13.2                                        | 3 654             | 88.05    | 75           | 12.7                                        |
| 60          | 5 100          | 87.32    | 62           | 12.7                                        | 3 739          | 87.11    | 64           | 11.6                                        | 3 132             | 85.26    | 66           | 11.2                                        |
| 50          | 4 250          | 83.89    | 54           | 11.1                                        | 3 116          | 82.45    | 62           | 10.2                                        | 2 610             | 80.03    | 59           | 10.0                                        |
| 40          | 3 400          | 79.09    | 47           | 9.4                                         | 2 492          | 76.03    | 54           | 8.9                                         | 2 088             | 73.13    | 53           | 8.7                                         |
| 高效工作点       | 7 650          | 93.61    | 87           | 17.8                                        | 5 908          | 94.02    | 93           | 16.9                                        | 5 162             | 93.60    | 98.0         | 16.8                                        |

这对于我国在墨西哥水电项目投标技术方案制作 ,  
以及承包商在合同中对效率值的承诺非常重要。

2.2 理论分析

结合水轮机运转特性曲线(图 1<sup>①</sup>)分析 ,如果采  
用计算公式(6) ,说明在计算设备加权平均效率时综  
合考虑了机组在整个水头工作范围的条件下得到的  
平均效率 ,但在选取各个工况下的加权系数时 ,对全  
部工况予以平行对待 ,因此全部加权系数均为 1 ;如  
果采用计算公式(7) ,则说明在计算设备加权平均效  
率时不是平行考虑机组在整个水头工作范围内的工  
况 ,而是侧重考虑设计点附近的工况水平 ,很明显 ,  
基于设计点附近工况计算出的加权平均效率一定比  
基于平行考虑机组全部工况而计算出的效率值高。

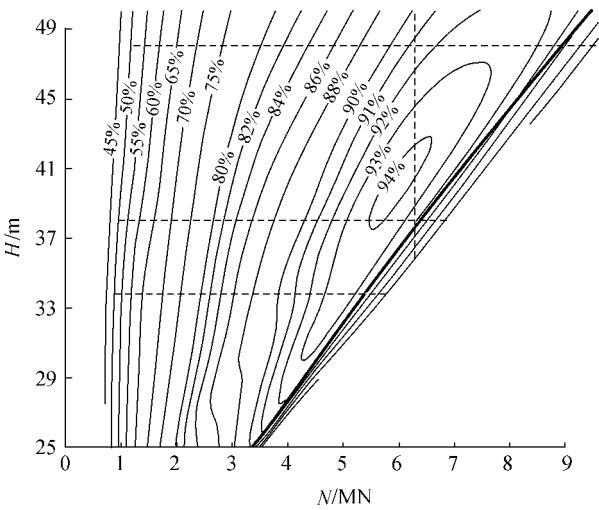


图 1 水轮机 HLA551-LJ-153 运转特性曲线

2.3 实例分析

为了清楚地说明上述两种计算方式下水轮机加  
权平均效率的差异 ,下面我将通过墨西哥当地 1 座  
正在开发建设的小水电项目(  $2 \times 6\,000 \text{ kW}$  )为例 ,就  
计算出的加权平均效率结果进行对比分析。表 1<sup>①</sup>  
是该电站水轮机工作水头、导叶开度、出力、效率和  
流量对应值。

① 摘自墨西哥水电有限公司目前正在开发的本尼多华雷斯水电项目( HPP Benito Juárez )资料 ,2005。

让这种工法在中国健康发展,为我国的生态水利事业作贡献,还有很多重要的工作要做,笔者认为当前首先要做的事如下:①尽快制定石笼产品的国家标准;②现行堤防设计规范,增补石笼护岸的相关设计、施工、验收等内容。限于篇幅,本文仅仅阐述了石笼护坡结构的设计方法,供设计人员参考。

参考文献:

[1] 王晓玲,王珏.格宾与雷诺护垫河岸防护结构管理[J].湖南水利水电,2006(2):84-86.  
[2] 金德钢,孙尧,沈先秀.蜂巢挡墙在城市河道中的应用[J].浙江水利科技,2005(1):39-40,60.  
[3] 伏永朋,赵欣,等.石笼技术在长江三峡三斗坪镇护岸防治工程中的应用[J].地质灾害和环境保护,2006(2):49-53.

[4] 陈梅,邱郁敏.河流护坡工程生态材料的应用[J].广东水利水电,2005(2):18-19,21.  
[5] 张焕洲,谢平,等.格宾网材在黄石长江干堤合兴堤段的应用[J].人民长江,2005(9):38-39,48.  
[6] U. S. Department of Transportation. Design of road channels with flexible linings[D]. Federal Highway Administration, 2005.  
[7] P. za Porta Maggiore, 5 BOLOGNA. Bank protection reference manua[D]. Maccaferri Pty LTD, 2005.  
[8] Dale Chaychuk. The use of gabions and reno mattresses in river and-stream rehabilita-tion[J]. Stormwater Industry association 2005 Regional Conference, 2005.  
[9] GB 50286—98 堤防工程设计规范[S].  
[10] 日本工业标准协会. Japanese industry standard of gabions [D]. Japanese Industry Standards Association, 2002.  
(收稿日期:2007-03-05 编辑:高建群)

(上接第105页)

如果根据公式(6)进行计算,该电站水轮机在设计工况下的加权平均效率为87.73%;如果根据公式(7)计算,该电站水轮机在设计工况下的加权平均效率为93.45%。可以看出,采用公式(7)计算出来的加权平均效率值比采用公式(6)计算出来的结果高出5.72个百分点,因此,如果在不了解墨西哥当地对水轮机加权平均效率计算方式的特殊规定的情况下,墨西哥水电项目业主将难以接受中国推荐的水电设备。

2.4 两种计算方式的优、缺点

从上述分析可以得到:①公式(6)的计算方式实用于机组在整个工况范围内的工作水头变化幅度大,并且变化比较频繁的情形,但是对于机组主要集中在设计水头附近的情形,利用公式(6)计算出来的加权平均效率将会比实际值小。②公式(7)的计算方式实用于机组主要集中在设计水头附近的情形,对于这种情形,该计算方式可以相对准确地描述机组设备的加权平均效率,相反,对于机组在整个工况范围内的工作水头变化幅度大,并且变化比较频繁的情形,如果采用该计算方式,显然计算出来的加权平均效率值偏大,不能客观地反映设备的真实加权平均效率。

3 结 语

中国和墨西哥在水轮机加权平均效率计算方式上存在明显差异,二者有各自的使用优点和缺点,但是考虑到中国的水电企业通常容易惯性考虑问题,

习惯于简单地将中国在国内、外广泛成功使用的水电技术规范直接运用于有一定特殊性的国家(比如墨西哥),本文对于拟进入墨西哥水电市场的企业提供指导。

本文仅仅只是针对中国和墨西哥在水电项目中水轮机加权平均效率的计算方式差异进行了探讨分析,实际上除了加权平均效率计算方式的差异外,墨西哥联邦电力委员会在IEC标准基础上制定了许多其他类似的具有本土化特征的水电建设技术标准,比如:发电机电压等级、发电机的选型原则、厂用交、直流电电压和电流等级等一些有别于IEC标准的特殊规定,均需要拟进入墨西哥电力市场的中国设备厂家和设计院作深入了解,从这个角度来说,本文起到了抛砖引玉的作用。

参考文献:

[1] 刘启钊.水电站[M].3版.北京:中国水利水电出版社,1998.  
[2] 向文平.水轮发电机组效率试验[EB/OL].http://www.ceppea.org,2002.  
[3] 张恩博.丰满发电厂4号水轮机效率测试研究[J].东北电力技术,1999(11).  
[4] CFE. Potencial hidroeléctrico nacional[C]//Subdirección de Construcción. Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos,2000.  
[5] Valdez Ingenieros SA de CV. Estudio para la identificación de proyectos nuevos y la rehabilitación de minicentrales en la zona de Orizaba, Veracruz, México [C]//CONAE-USAID-SNL, Coordinación Técnica,2003.

(收稿日期:2006-07-21 编辑:高建群)