

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2016.01.11

修水高沙水文站抱子石水电站建成后对流量测验的影响分析

王 强

(江西省九江市水文局,江西 九江 332000)

**摘 要:** 修水高沙水文站抱子石水电站建成后,对流量测验产生了影响。通过分析该站流量测验的现状,结合抱子石水电站的实际情况,提出了相应的改进措施,以确保流量测验的准确性和可靠性。

**关键词:** 流量测验;抱子石水电站;影响分析

**中图分类号:** TP273.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-4701(2016)01-0048-06

## 0 引言

随着江河水能资源的不断开发利用,南方水资源丰沛、水能具备开发价值的天然河道逐级逐步进行了截流开发,原有的天然河道或自由河段不断缩减,一大批水文站的自然观测环境和监测条件受到严重影响,不少水文站常规收集的资料监测工作变得十分困难和复杂。

修水高沙水文站因下游建起抱子石水电站后,其基本测验断面受回水淹没影响,流量测验资料已无法满足资料整编精度要求。因此,在抱子石水电站区间开展流量方式的测量研究,通过现场实测实验,分析验证本区域水电站发电泄流效率因数 $\eta$ ,进而通过实测效率因数和电站出力、实测水头等要素,利用水力学原理和计算方法<sup>[1]</sup>,推算河段实际径流过程。

## 1 工程概况

高沙水文站建于1957年,位于江西省修水县城附近四都镇高沙村。集水面积5 303 km<sup>2</sup>,承担水位、流量、泥沙、颗粒分析、降水和水温等基础水文要素的常年监测和资料收集任务。同时为流域内的修水县城防汛抗旱和下游柘林水库安全调度提供实时水雨情信息。

高沙水文站实测最大年径流量是1998年的94.06×

10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,最小年径流量是1968年的22.39×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。实测最高水位99.00 m,相应流量9 200 m<sup>3</sup>/s,实测最大流速为7.14 m/s,实测最大水深15.80 m。实测多年平均流量156.20 m<sup>3</sup>/s,最大水位变幅14.20 m。

位于高沙水文站下游7.8 km处的抱子石水电站1998年开始设计,2001年12月9日正式开工兴建,坝址控制流域面积为5 343 km<sup>2</sup>,水库总库容4 810×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,正常蓄水位93.50 m,相应库容4 270×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,装机容量2×20 MW,年平均发电量12 775×10<sup>4</sup> kW·h。抱子石水电站建成后,严重影响高沙水文的水位~流量关系。

## 2 抱子石水电站发电泄流效率因数 $\eta$ 的测定

高沙水文站自从下游抱子石水电站运行以来,除高水期间测流不受太大影响外,中低水时受电站回水影响无法正常开展测流,年度资料整编无法进行。但通过电站出力和大坝上下游水位同步观测来推算流量过程从水力学角度来分析是可行的,国内外已经有这方面的研究<sup>[2]</sup>。一般采用水电站工程流量计算<sup>[3]</sup>,其理论公式为:

$$Q = N_s / 9.8\eta h \text{ 或 } q = N / 9.8\eta h \quad (1)$$

式中:  $Q$ ——流量, m<sup>3</sup>/s;

$N_s$ ——各机电总功率, kW;

$N$ ——单机电功率, kW;

$q$ ——单机流量, m/s

$\eta$ ——效率,%;

$h$ ——实测水头(反击式水轮机为站上、下水位差;冲击式水轮机为站上水位与喷嘴中心之高差),m。

在实际应用时采用的理论公式中的效率系数大多是采用理论值或经验值,这些系数或因实际建筑物的建筑质量或因地理因素和环境因素,其差别较大,导致推算结果与实际泄流有较大出入。上式中发电出力 $N_s$ 可通过工程计量设备直接获得,水头 $h$ 可以通过上下游水位计实测获得,唯一不确定因数就剩下效率因数 $\eta$ 了,而影响效率因数的因素较多,如:水轮机、发电机、变压器、传动装置等设备的效率以及水头损失等。

可见,效率因数 $\eta$ 的率定是关键,只要通过实验研究确定了效率因数 $\eta$ ,使用电站出力和大坝上下游同步观测水位来推算整个流量过程是可行的。因此,在实际应用时需要对效率因数 $\eta$ 进行率定,并以此率定后的成果作为全面应用的依据。

### 3 $f \wedge \circ \bullet$

由 $\eta=N_s/9.8Qh$ 或 $\eta=N/9.8qh$ 可知,电功率 $N_s$ (或 $N$ )可以根据实际发电出力得到,水头 $h$ 也可以由上下游实际观测的水位求得,只有流量(或 $q$ )待定,而且也是较难得出真实数值的因数,要率定效率因数 $\eta$ ,必须通过水文测验方式才能收集得到。

#### 3.1 分析方法

应用水文测验方式,按照《河流流量测验规范》要求,实测修水抱子石水电站发电运行时,水轮机实际过水流量。为尽量收集各种条件下,水轮机发电流量变化情况,必须分期分批,针对不同机组运行组合、不同季节水头情况下,实测收集稳定出流流量。实测流量次数要求:为收集较稳定的水轮机运行出流,避免人为因素随机性,以建立具有代表性和可靠性的发电与泄流量的关系,应至少实测40~60次不同机组组合运行的实际过水流量,最低不能少于30次。收集实测流量期间,水电站实际运行记录资料,包括机组运行状况、发电出力、实际水头变化详细资料等。并挑选出对应实测流量时间的平均出力 $N_s$ 和平均水头 $h$ 。根据实测流量和相应发电功率、实际水头,采用合并效率法分析率定合并效率因数 $\eta$ 。根据逐次实测资料的分析计算,建立抱子石水电站综合的发电功率与发电效率因数的关系,运用水文资料分析评定标准和方法,进行关系评定。

每次测流时,都是选在电站不泄洪的晴天或阴天

进行,尾水渠内只有发电尾水,无其他客水加入。所测流量,一般都是电站调度运行的最佳效率发电状态。抱子石水电站水轮机的实验模型效率因数为0.84~0.85,为抱子石水电站提供的理论值。

抱子石水电站装有2台 $2 \times 10^4$  kW的水轮发电机,单机满负荷发电功率 $2 \times 10^4$  kW,尾水流量一般为 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右,2台机组满负荷发电时的尾水流量为 $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右。运行时,单机发电功率为 $1.0 \times 10^4$  kW~ $2.0 \times 10^4$  kW,2台机组发电功率为 $2.2 \times 10^4$  kW~ $4.0 \times 10^4$  kW。毛水头为上游进水口水位与下游坝下水位之差。

#### 3.2 分析过程

水电站通过实测流量率定合并效率系数 $\eta$ ,一般常以实测水头 $h$ ,电功率 $N_s$ 或单机功率 $N$ 以及额定功率百分比 $P_1(N/n_1)$ 或限制功率百分比 $P_2(N/n_2)$ 等与 $\eta$ 或 $Q$ 、 $q$ 建立相关关系,进行定线推流。

综合实际需要,决定采用电功因子与出流量直接相关法<sup>[3]</sup>:根据水电站出流公式 $Q=N_s/9.8\eta h$ ,可建立 $Q-N_s/h$ 相关关系线或建立 $Q=K(N_s/h)^\alpha$ 关系方程式(待定参数 $K$ 与 $\alpha$ 根据实测资料求解)据此推流。先分析确定真实稳定的效率系数,再利用实测效率系数和发电出力,推求实际流量过程。

根据在抱子石水电站尾水槽测流断面实测的流量成果,制成实测流量成果表,共计122次。由于现场野外流量实测分两个年度(2010年和2011年)进行,故资料成果也分两部分汇总。

2010年实测的流量共18次,测验方法为相对水深0.6水深一点法,基本上是一台机组运行发电的成果,实测最小流量 $80.80 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大流量 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大流速 $1.38 \text{ m/s}$ ,最大水深 $6.10 \text{ m}$ ,水位变幅只有 $0.40 \text{ m}$ 。

2011年汛期实测水轮机发电流量104次。实测工作分两种情况进行,一种情况是一台水轮机组运行发电,另一种情况是两台机组运行发电。2011年一台机组运行时,实测了62次流量,实测最小流量 $76.90 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大流量 $152 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大流速 $1.29 \text{ m/s}$ ,最大水深 $6.20 \text{ m}$ ,水位变幅只有 $0.50 \text{ m}$ 。挑选2010~2011年一台机组运行时的部分流量测次见表1。2011年2台机组运行时,实测了42次流量,实测最小流量 $235 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大流量 $329 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大流速 $2.59 \text{ m/s}$ ,最大水深 $6.90 \text{ m}$ ,水位变幅 $0.40 \text{ m}$ 。挑选2011年两台机组运行时的部分流量测次见表2。

#### 3.3 成果率定

(1)根据垂线平均流速分析成果,共选出58次垂线比测资料,进行了0.6水深一点法流速与多点法垂线平

| 施测<br>号<br>数 | 施测时间 |    |    | 测验方法     |          | 基本水    |           | 流量<br>/(m³/s) | 断面面<br>积/m² | 流速/(m/s) |      | 水面宽<br>/m | 水深/m |     |
|--------------|------|----|----|----------|----------|--------|-----------|---------------|-------------|----------|------|-----------|------|-----|
|              | 年    | 月  | 日  | 起<br>时:分 | 止<br>时:分 | (流速仪)  | 尺水位<br>/m |               |             | 平均       | 最大   |           | 平均   | 最大  |
|              |      |    |    |          |          |        |           |               |             |          |      |           |      |     |
| 1            | 2010 | 11 | 8  | 11:57    | 13:30    | 15/0.6 | 8.65      | 80.8          | 135         | 0.60     | 0.78 | 32.4      | 4.17 | 5.7 |
| 2            |      |    |    | 14:40    | 15:37    | 15/0.6 | 67        | 85.5          | 135         | 0.63     | 0.85 | 32.4      | 4.17 | 5.7 |
| 3            |      |    | 9  | 13:30    | 14:20    | 15/0.6 | 9.00      | 143           | 147         | 0.97     | 1.32 | 34.0      | 4.32 | 6.1 |
| 4            |      |    | 10 | 14:50    | 15:51    | 15/0.6 | 8.99      | 144           | 147         | 0.98     | 1.35 | 34.0      | 4.32 | 6.1 |
| 5            |      |    |    | 16:08    | 17:08    | 15/0.6 | 9.01      | 144           | 147         | 0.98     | 1.38 | 34.0      | 4.32 | 6.1 |
| 6            |      |    | 11 | 14:00    | 14:50    | 15/0.6 | 8.99      | 145           | 147         | 0.99     | 1.32 | 34.0      | 4.32 | 6.1 |
| 7            |      |    | 12 | 13:00    | 14:00    | 15/0.6 | 84        | 119           | 143         | 0.83     | 1.13 | 33.4      | 4.28 | 5.9 |
| 8            | 2011 | 5  | 10 | 11:23    | 11:48    | 15/0.6 | 8.87      | 123           | 142         | 0.87     | 1.19 | 33.6      | 4.23 | 5.9 |
| 9            |      |    |    | 16:15    | 16:39    | 15/0.6 | 91        | 127           | 144         | 0.88     | 1.18 | 33.6      | 4.29 | 6.0 |
| 10           |      | 6  | 1  | 15:00    | 15:46    | 15/0.6 | 65        | 76.9          | 135         | 0.57     | 0.67 | 32.7      | 4.13 | 5.7 |
| 11           |      |    |    | 17:25    | 18:03    | 15/0.6 | 77        | 97.1          | 138         | 0.70     | 0.84 | 32.9      | 4.19 | 5.8 |
| 12           |      |    | 2  | 11:45    | 12:12    | 15/0.6 | 81        | 121           | 140         | 0.86     | 1.10 | 33.2      | 4.22 | 5.9 |
| 13           |      |    |    | 12:15    | 12:56    | 15/0.6 | 85        | 120           | 141         | 0.85     | 1.07 | 33.4      | 4.22 | 5.9 |
| 14           |      | 7  | 6  | 14:00    | 14:30    | 15/0.6 | 9.01      | 139           | 147         | 0.95     | 1.16 | 34.0      | 4.32 | 6.1 |
| 15           |      |    | 14 | 13:00    | 13:30    | 15/0.6 | 9.11      | 140           | 151         | 0.93     | 1.19 | 34.2      | 4.42 | 6.2 |
| 16           |      |    | 15 | 10:00    | 10:34    | 15/0.6 | 8.92      | 114           | 144         | 0.79     | 0.95 | 33.6      | 4.29 | 6.0 |
| 17           |      |    |    | 16:00    | 16:42    | 15/0.6 | 94        | 118           | 144         | 0.82     | 0.98 | 33.8      | 4.26 | 6.0 |
| 18           |      |    | 18 | 15:14    | 15:44    | 15/0.6 | 9.08      | 147           | 149         | 0.99     | 1.29 | 34.4      | 4.33 | 6.1 |
| 19           |      |    | 19 | 10:30    | 11:00    | 15/17  | 06        | 139           | 149         | 0.93     | 1.15 | 34.4      | 4.33 | 6.1 |
| 20           |      |    |    | 16:00    | 16:25    | 15/0.6 | 08        | 138           | 149         | 0.93     | 1.16 | 34.4      | 4.33 | 6.1 |
| 21           |      |    | 20 | 11:40    | 12:13    | 15/0.6 | 05        | 141           | 148         | 0.95     | 1.25 | 34.2      | 4.33 | 6.1 |
| 22           |      | 8  | 1  | 16:04    | 16:43    | 15/0.6 | 02        | 134           | 147         | 0.91     | 1.17 | 34.0      | 4.32 | 6.1 |
| 23           |      |    |    | 17:12    | 17:37    | 15/0.6 | 04        | 132           | 147         | 0.90     | 1.04 | 34.2      | 4.30 | 6.1 |
| 24           |      |    |    | 18:02    | 18:36    | 15/0.6 | 05        | 132           | 148         | 0.89     | 1.18 | 34.2      | 4.33 | 6.1 |
| 25           |      |    | 2  | 19:01    | 19:25    | 15/0.6 | 01        | 130           | 147         | 0.88     | 1.18 | 34.0      | 4.32 | 6.1 |
| 26           |      | 11 | 10 | 11:18    | 12:30    | 15/43  | 8.80      | 84.6          | 139         | 0.61     | 0.83 | 33.2      | 4.19 | 5.8 |
| 27           |      |    |    | 13:34    | 16:20    | 15/41  | 81        | 88.2          | 140         | 0.63     | 0.84 | 33.2      | 4.22 | 5.9 |
| 28           |      |    |    | 16:20    | 17:23    | 15/17  | 81        | 82.5          | 140         | 0.59     | 0.81 | 33.2      | 4.22 | 5.9 |
| 29           |      |    | 11 | 13:32    | 14:59    | 15/19  | 92        | 94.9          | 144         | 0.66     | 0.96 | 33.7      | 4.27 | 6.0 |

注:表中水位基面为假定;断面位置为抱电断面。

表 2 修水抱子石水电站实测发电流量成果表(水轮机组运行数量:2 台)

| 施测<br>号<br>数 | 施测时间 |   |    | 基本水           |               |           | 断面面<br>积/m² | 流速/(m/s) |      | 水面宽<br>/m | 水深/m |      |          |
|--------------|------|---|----|---------------|---------------|-----------|-------------|----------|------|-----------|------|------|----------|
|              | 年    | 月 | 日  | 测验方法<br>(流速仪) | 流量<br>/(m³/s) | 尺水位<br>/m |             | 平均       | 最大   |           | 平均   | 最大   |          |
|              |      |   |    |               |               |           |             |          |      |           |      |      | 起<br>时:分 |
| 1            | 2011 | 6 | 9  | 9:00          | 9:27          | 15/0.6    | 322         | 9.81     | 1.84 | 2.14      | 37.3 | 4.69 | 6.9      |
| 2            |      |   |    | 9:28          | 10:00         | 15/0.6    | 316         | 82       | 1.80 | 2.08      | 37.4 | 4.71 | 6.9      |
| 3            |      |   |    | 15:00         | 15:26         | 15/17     | 285         | 63       | 1.70 | 1.84      | 36.3 | 4.63 | 6.7      |
| 4            |      |   |    | 16:32         | 17:01         | 15/17     | 260         | 60       | 1.55 | 1.69      | 36.3 | 4.63 | 6.7      |
| 5            |      |   |    | 17:02         | 17:30         | 15/0.6    | 259         | 60       | 1.54 | 1.76      | 36.3 | 4.63 | 6.7      |
| 6            |      |   |    | 17:32         | 18:00         | 15/17     | 261         | 59       | 1.55 | 1.78      | 36.2 | 4.64 | 6.7      |
| 7            |      |   |    | 19:00         | 19:30         | 15/0.6    | 241         | 46       | 1.49 | 1.68      | 35.7 | 4.54 | 6.5      |
| 8            |      |   |    | 19:31         | 20:00         | 15/0.6    | 235         | 42       | 1.46 | 1.65      | 35.5 | 4.54 | 6.5      |
| 9            |      |   | 23 | 12:41         | 13:05         | 15/0.6    | 285         | 85       | 1.62 | 1.92      | 37.4 | 4.71 | 6.9      |
| 10           |      |   |    | 14:43         | 15:07         | 15/0.6    | 224         | 56       | 1.35 | 1.67      | 36.2 | 4.59 | 6.6      |
| 11           |      |   | 24 | 13:40         | 14:01         | 15/0.6    | 321         | 58       | 1.93 | 2.17      | 36.2 | 4.59 | 6.6      |
| 12           |      |   |    | 14:03         | 14:26         | 15/0.6    | 309         | 67       | 1.83 | 2.10      | 36.5 | 4.63 | 6.7      |
| 13           |      |   |    | 14:34         | 15:02         | 15/17     | 329         | 70       | 1.92 | 2.26      | 36.7 | 4.66 | 6.8      |
| 14           |      |   |    | 17:10         | 17:37         | 15/17     | 320         | 84       | 1.82 | 2.17      | 37.4 | 4.71 | 6.9      |
| 15           |      |   |    | 18:20         | 18:42         | 15/0.6    | 329         | 85       | 1.87 | 2.16      | 37.5 | 4.69 | 6.9      |
| 16           |      |   | 27 | 15:12         | 15:39         | 15/0.6    | 273         | 69       | 1.60 | 1.81      | 36.7 | 4.66 | 6.8      |
| 17           |      |   |    | 15:41         | 16:12         | 15/0.6    | 274         | 70       | 1.60 | 1.83      | 36.7 | 4.66 | 6.8      |
| 18           |      |   |    | 16:58         | 17:21         | 15/0.6    | 272         | 69       | 1.59 | 1.80      | 36.7 | 4.66 | 6.8      |
| 19           |      |   |    | 18:03         | 18:29         | 15/0.6    | 266         | 67       | 1.57 | 1.78      | 36.6 | 4.62 | 6.7      |
| 20           |      |   |    | 20:00         | 20:28         | 15/0.6    | 262         | 67       | 1.55 | 1.78      | 36.6 | 4.62 | 6.7      |
| 21           |      |   |    | 20:30         | 21:00         | 15/0.6    | 265         | 67       | 1.57 | 1.79      | 36.6 | 4.62 | 6.7      |
| 22           |      |   | 29 | 10:00         | 10:36         | 15/17     | 329         | 85       | 1.87 | 2.59      | 37.5 | 4.69 | 6.9      |
| 23           |      |   |    | 10:39         | 11:02         | 15/0.6    | 316         | 85       | 1.80 | 2.02      | 37.5 | 4.69 | 6.9      |
| 24           |      |   |    | 11:05         | 11:26         | 15/0.6    | 322         | 87       | 1.82 | 2.01      | 37.8 | 4.68 | 6.9      |
| 25           |      |   |    | 15:00         | 15:28         | 15/0.6    | 310         | 85       | 1.76 | 1.97      | 37.5 | 4.69 | 6.9      |
| 26           |      |   |    | 17:00         | 17:26         | 15/0.6    | 315         | 88       | 1.78 | 2.01      | 37.8 | 4.68 | 6.9      |
| 27           |      |   |    | 18:37         | 19:04         | 15/0.6    | 309         | 85       | 1.76 | 2.00      | 37.5 | 4.69 | 6.9      |
| 28           |      | 7 | 19 | 17:34         | 18:00         | 15/0.6    | 283         | 58       | 1.70 | 1.91      | 36.2 | 4.59 | 6.6      |
| 29           |      |   |    | 18:02         | 18:35         | 15/0.6    | 276         | 62       | 1.66 | 1.88      | 36.2 | 4.59 | 6.6      |
| 30           |      |   |    | 18:37         | 19:21         | 15/17     | 280         | 64       | 1.67 | 1.82      | 36.4 | 4.62 | 6.7      |

注:表中水位基面为假定;断面位置为抱电断面。

均流速进行了综合分析。经过分析,两者呈线性相关,(见图1),相关系数为0.984 2,点相关标准差为3.658 %,置信水平为95 %的随机不确定度为7.316 %,符合一类精度水文站单一关系随机不确定度8 %的标准。将部分采用垂线0.6水深一点法施测的流量成果计算的虚流量换算成计算实际流量 $Q$ 。

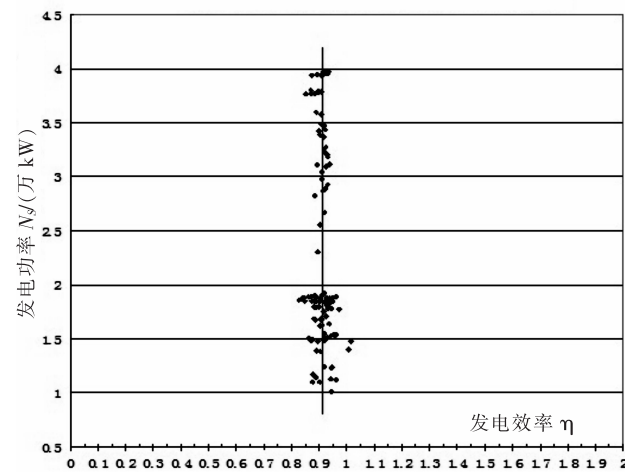


图1 抱子石水电站发电出力与效率系数 $\eta$ 分析图

(2)根据电站提供的上下游水位资料和发电出力资料,计算出每次实测流量起止时刻的瞬时水头和瞬时出力,并以此计算出对应实测流量成果的平均水头 $\bar{H}$ 和平均出力 $\bar{N}_s$ 。

(3)根据计算流量(实测成果) $Q$ 和相应时间的平均水头 $\bar{H}$ 、平均出力 $\bar{N}_s$ ,按照综合效率系数计算公式: $\eta=\bar{N}_s/9.8Q\bar{H}$ 计算出每次实测流量时机组运行的效率系数 $\eta$ 。

(4)从计算结果来看,机组运行的不同组合(单机1

号机组、单机2号机组或两台机组全开),实测分析的效率系数 $\eta$ 没有明显的区别,在总共分析计算的122个实测成果中,仅有第28、29、75次等测流时刻正逢水轮机组刚刚启动运行,出力处于不稳定状态,故其计算成果偏差较大(作为特殊点不予考虑)。其余实测成果相对稳定。

经相关分析,95 %的实测成果稳定在0.91上下,其相对偏差小于8 %。经多次试算最后确定,发电效率因数 $\eta$ 为一固定常数0.91。

4 精度评定

参照《水文整编规范》中定线精度要求:

(1)标准差可按式计算

$$S=\left[\frac{1}{n-2}\sum(\ln Q_i-\ln Q_{ci})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$
$$\text{或 } S=\left[\frac{1}{n-2}\sum\left(\frac{Q_i-Q_{ci}}{Q_{ci}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

式中: $S$ ——实测点标准差;

$Q_i$ ——第 $i$ 次实测流量。

$Q_{ci}$ ——第 $c$ 次实测流量 $Q_i$ 相应的曲线上的流量。

$n$ ——测点总数。

将流量 $Q$ 因素换成发电综合效率系数 $\eta$ 进行评定。

(2)随机不确定度可按式计算

$$X'_Q=2S \tag{3}$$

式中 $X'_Q$ ——置信水平为95 %的随机不确定度。

实测关系点据与关系线无明显显示系统偏离时,系统

表3 水文站定线误差标准

| 站类       | 定线方法  | 定线精度指标    |          |
|----------|-------|-----------|----------|
|          |       | 系统误差/(±%) | 随机不确定度/% |
| 一类精度的水文站 | 单一曲线法 | 1         | 8        |
|          | 水力因素法 | 2         | 10       |
| 二类精度的水文站 | 单一曲线法 | 1         | 10       |
|          | 水力因素法 | 2         | 12       |
| 三类精度的水文站 | 单一曲线法 | 2         | 11       |
|          | 水力因素法 | 3         | 15       |

表4 发电效率系数 $\eta$ 率定成果及质量评定表

| 比测次数 | 综合效率系数 $\eta$ | 系统误差    | 误差 $\leq\pm 8\%$ 定线合格率 | 标准差    | 随机不确定度 |
|------|---------------|---------|------------------------|--------|--------|
| 122  | 0.91          | -0.02 % | 95 %                   | 3.40 % | 6.80 % |



误差可采用测点(或校正点)对关系线相对误差的均值(见表3)。

对照定线精度指标,高沙站属于一类精度水文站,根据相对误差控制在 $\pm 8\%$ 以内为标准,综合分析评定(见表4):

抱子石水电站发电综合效率系数 $\eta=0.91$ ,定线合格率为 $95\%$ ;定线系统误差 $\bar{\mu}=-0.02\%$ ,在 $\pm 1\%$ 的允许误差范围之内,符合规范要求;标准差 $S=3.40\%$ ;置信水平为 $95\%$ 的随机不确定度 $X'_0=6.80\%$ 。

分析抱子石水电站发电综合效率系数高于理论值的原因,主要是电站计算水头的上下游水位计安装位置与水轮机组位置过近,尤其是下游尾水波浪无形中抬高了水位,造成计算的水头偏小。这也是不同电站实际综合效率系数与理论值产生差异的重要原因之一。

## 5 结论

通过水电站发电出力、相应水头资料和实测实际发电流量,率定出抱子石水电站实际发电效率系数 $\eta$ 为 $0.91$ 。因此,可以用此率定成果推算出实际发电泄流量,并按照面积倍比推算出高沙水文站在下游抱子石水电

站正常发电期间(非大坝泄流)的径流过程,配合在洪水期大坝泄洪时在高沙水文站测验断面实测流量,那么高沙站完整的径流过程也就能相应推算出来。

随着抱子石水电站的运行,考虑水轮机的消耗磨损等因素,效率因数也可能会发生变化,仍需要通过 $1\sim 2$ 年的率定补充工作,确定效率因数的变化范围和规律,随后每年是否可通过 $30$ 次左右的实测成果率定出效率因数,推求高沙水文站的径流过程,将是下一步探讨研究的工作重点。

如今,受水利工程影响的水文站越来越多,探索全新测验和整编方法,给我们带来新的挑战,此次率定方法和率定成果对有类似水电站蓄水影响的水文站资料分析和收集具有参考借鉴作用。

## 参考文献:

- [1] 张志昌.水力学[M].北京:水利水电出版社.2011.
- [2] 汪正学.渭河上游磨子潭水电站发电综合效率系数的率定[J].江淮水利科技.2012(1):25~26.
- [3] 王增海.水电站发电流量计算方法探讨[J].人民黄河.2012(8):117~119.

## Calibration and analysis of the discharge efficiency factor $\eta$ of the Baozishi hydropower station at the downstream of Gaoshazhan

DUAN Qingqing

Jiujiang Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Jiujiang 332000, China

**Abstract:** Affected by water conservancy projects, it becomes difficult for many hydrological stations to properly run hydrologic surveys and hydrological data compilations. In order to maintain the continuity and consistency of hydrologic data, the actual efficiency factor, which was calibrated through in-situ tests, was combined used with generating power to calculate generating discharge. In this paper, the discharge efficiency factor  $\eta$  of the Baozishi hydropower station at the downstream of Gaoshazhan was calibrated through experiments and the result was verified, hence new testing methods and data collection methods was explored.

**Key words:** Baozishi hydropower station; Discharge efficiency factor  $\eta$ ; Experimental calibration; Result analysis

• > ° £ " ‡