

刘家峡水电厂空耗水量的计算及考核

燕爱玲,黄 强,刘 招

(西安理工大学水利水电学院,陕西 西安 710048)

摘要 :刘家峡水电厂在长期运行过程中,既承担一定的电网备用容量,又担负着繁重的下游综合用水任务,会产生大量的空耗水量.针对这一问题,提出了以机组空载流量为依据的空耗水量计算方法.通过对刘家峡水电厂 2003 年实际产生的空耗水量的分析,制定了相应的空耗考核标准及考核等级,从而为提高水能利用率,优化厂内经济运行,进一步提高调度管理水平提供了理论依据.

关键词 :刘家峡水电厂;空耗水量;备用容量;考核标准

中图分类号 :TV214 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2007)01-0010-04

由于水电机组启停迅速、调节性能好,电网的备用任务大多由水电机组承担.因此,水电厂必然会产生非发电出库水量^[1-4].在非发电出库水量中,一部分是承担旋转备用所必需的,另一部分是调度不当造成负荷备用预留过多而产生的空耗水量.刘家峡水库在实际运行中,既承担着流域灌溉、防洪、防凌、供水等繁重的综合利用任务,又承担着系统旋转备用任务,发电机组难以在最佳效率区运行,造成了大量的机组空耗损失.由于黄河水资源短缺,近年来流域用水矛盾越来越突出.因此,本文针对刘家峡水电厂机组空转耗水损失问题进行了空耗水量的计算方法和考核标准研究,从而为提高水能利用率,优化厂内经济运行,进一步提高调度管理水平提供了理论依据.

1 空耗水量的计算原理和方法

空耗水量是指水电厂为承担电力系统安全备用容量而耗用的水量.空耗水量理论算法的关键是确定水轮机组间的最优开机方式.这要知道水电厂各台机组的效率曲线.对一些老机组来说,效率曲线不易获得.此外,空耗水量理论算法的计算过程也比较复杂^[5-8].为此,本文提出了一种简单而实用的空耗水量计算方法.该方法是根据水电机组的空载流量进行近似求解的.水电厂在运行过程中,若实际备用超过电网所需合理备用且超出部分达到 1 台机组的可调出力,则说明目前所开机组数不合理,造成了 1 台或 1 台以上机组的浪费,即可认为有机组空载,而通过空载机组台数计算出的空载所浪费的水量即为空耗水量;若未超过 1 台机组可调出力,则认为造成的空耗是合理的,是承担旋转备用所必需的.根据上述分析,可得

$$W_k = \ln[(N_{\max} - N_s - N_h)/N_n]Q_{\text{空载}}(H)t \quad (N_{\max} - N_s - N_h > N_n) \tag{1}$$

式中: W_k ——水电站空耗水量; t ——空载时段; $N_{\max}$ ——水电厂在当前水头下投运机组最大可调出力; N_s ——水电站实际出力; N_h ——电网需要水电站提供的备用; N_n ——机组最小单机可调出力; H ——水头; $Q_{\text{空载}}(H)$ ——水头 H 下机组的空载流量; $\ln[(N_{\max} - N_s - N_h)/N_n]$ ——造成空耗的机组台数.

1.1 合理备用容量 N_h 的确定

负荷备用受电网安全和经济的双重约束.按照西北电网旋转备用容量不能低于 3% 的原则,可确定电网所需旋转备用容量^[9].水电厂的合理备用既可以按电网分配比例确定,也可以按下列公式计算:

$$N_{h\text{平}} = N_{\text{平}} k_{\text{平}} \eta = (\sum E_{\text{网}} / \sum h) k_{\text{平}} \eta \tag{2}$$

$$N_{h\text{峰}} = N_{\text{峰}} k_{\text{峰}} \eta = (\sum N_{\text{网max}} / D) 0.9 k_{\text{峰}} \eta \tag{3}$$

$$N_{h\text{谷}} = N_{\text{谷}} k_{\text{谷}} \eta = (\sum N_{\text{网min}} / D) 1.1 k_{\text{谷}} \eta \tag{4}$$

式中 : $N_{\text{h平}}$ 、 $N_{\text{h谷}}$ 、 $N_{\text{h峰}}$ ——月平段负荷、低谷负荷和高峰负荷 ; $E_{\text{网}}$ 、 $N_{\text{网min}}$ 、 $N_{\text{网max}}$ ——电网电量、日最低负荷及最高负荷 ; h 、 D ——机组运行时数和天数 ; $k_{\text{平}}$ 、 $k_{\text{谷}}$ 、 $k_{\text{峰}}$ ——电网平、谷、峰段备用比例 ; η ——水电厂分摊电网旋转备用比例 0.9、1.1——电网负荷计算的经验权重.

1.2 水电站的最大可调出力 N_{max} 和单机可调出力 N_{n} 的确定

水电站最大可调出力 N_{max} 取决于不同时段开机工况及其当时机组组合情况 ,即

$$N_{\text{max}} = \max\{\sum N_i(H)\}$$

(5)

单机可调出力为

$$N_{\text{n}} = \min\{N_i(H)\}$$

(6)

式中 : $N_i(H)$ ——当前时段水电站开机的单机可调出力 ; i ——开机台数.

1.3 实际出力

实际出力为计算时段内水电站的实时总出力 ,即

$$N_{\text{s}} = \sum_{i=1}^5 N_{i\text{实时}}$$

(7)

根据电网运行特点和调度经验 ,可认为短时空耗为合理空耗 ,同时 ,为保证水电厂的安全经济运行 ,将运行机组最小开机台数确定为 1. 由于各机组开停机时间不同 ,计算时必须已知出电厂开停机工况 . 具体实现方法是 :首先根据所有机组开机工况划分时段 ,将开停机的初始时刻作为一个时间段的开始时刻 ,然后统计各时段开机台数 ,最后 ,通过各时段实际旋转备用与合理旋转备用之差是否超过最小单机可调出力并达到一定时长的分析 ,计算各时段的空耗水量 ,将产生空耗的相邻时段相连 ,可求出日、月、年的空耗水量 . 那么 ,所求时段 (日、月、年) 内总空耗水量就可以按式 (1) 进行计算 .

2 刘家峡水电厂空耗水量计算

2.1 空耗水量计算条件

根据 2003 年刘家峡水电厂实际运行资料 (主要性能指标 (表 1)、机组空载水头-流量关系 (表 2)、2003 年逐月耗水率 (表 3) 以及水电厂机组开停机资料、日运行资料和水电厂实际出力资料) ,应用上述方法对空耗水量进行实例分析 .

表 1 刘家峡水电厂主要性能指标

Table 1 Main performance indexes of Liujiaxia Hydropower Plant

正常蓄水位/m	总库容/亿 m ³	装机容量/万 kW	出力系数	多年平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	电站最大水头/m	平均发电量/(亿 kW·h)
1 735	64	135	8.3	877	114	57.6

表 2 机组空载水头与流量的关系

Table 2 Head-discharge relationship of no-load units

1 号机组		2 号或 4 号机组		3 号机组		5 号机组	
水头/m	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	水头/m	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	水头/m	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	水头/m	流量/(m ³ ·s ⁻¹)
78	41	78	42	86 ~ 88	52	86 ~ 88	57
79	40	79	41	89 ~ 91	51	89 ~ 91	56
80 ~ 81	39	80	40	92 ~ 94	50	92 ~ 94	55
82 ~ 83	38	81 ~ 82	39	95 ~ 98	49	95 ~ 98	54
84 ~ 91	37	83 ~ 84	38	99 ~ 101	48	99 ~ 101	53
92 ~ 98	36	85 ~ 95	37	102 ~ 105	47	102 ~ 105	52
95 ~ 105	35	96 ~ 104	36	106 ~ 109	46	106 ~ 109	51
106 ~ 114	34	105 ~ 114	35	110 ~ 114	45	110 ~ 114	50

表 3 刘家峡水电厂 2003 年逐月耗水率

Table 3 Monthly water loss rate of Liujiaxia Hydropower Plant in 2003

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
耗水率/(m ³ ·(kW·h) ⁻¹)	4.79	5.20	5.55	4.60	4.39	4.39	4.47	4.27	3.98	3.86	3.86	4.21

由于空耗水量受西北电网合理备用及刘家峡水电厂承担备用比例的影响 ,为了确定合理的考核条件 ,参照多年平均比例 ,设计了 6 种考核方案 :方案 1 ,刘家峡水库承担旋转备用为 0 ,即不考虑其承担备用 ;方案

2 刘家峡水库承担旋转备用为 50 MW ;方案 3 刘家峡水库承担旋转备用为 100 MW ;方案 4 刘家峡水库承担旋转备用为 150 MW ;方案 5 刘家峡水库承担旋转备用为 200 MW ;方案 6 刘家峡水库承担的旋转备用按电网分配比例确定.

2.2 空耗水量的计算结果及分析

对 6 种考核方案分别进行了 1 h 2 h 和 3 h 3 种空耗延时年空耗水量的计算 ,计算结果见表 4.

表 4 2003 年刘家峡水电厂空耗水量计算结果

Table 4 Calculated result of water loss of Liujiaxia Hydropower Plant in 2003

方 案	方案 1			方案 2			方案 3		
	$t' = 1\text{ h}$	$t' = 2\text{ h}$	$t' = 3\text{ h}$	$t' = 1\text{ h}$	$t' = 2\text{ h}$	$t' = 3\text{ h}$	$t' = 1\text{ h}$	$t' = 2\text{ h}$	$t' = 3\text{ h}$
年空耗水量/亿 m^3	9.9527	9.1927	8.2164	7.0500	6.1721	5.7133	4.9120	4.0861	3.5127

方 案	方案 4			方案 5			方案 6		
	$t' = 1\text{ h}$	$t' = 2\text{ h}$	$t' = 3\text{ h}$	$t' = 1\text{ h}$	$t' = 2\text{ h}$	$t' = 3\text{ h}$	$t' = 1\text{ h}$	$t' = 2\text{ h}$	$t' = 3\text{ h}$
年空耗水量/亿 m^3	3.1565	2.4872	2.1249	1.9045	1.9622	1.3575	7.6024	6.7579	6.2241

注 : t' 表示空耗延时.

空耗延时是考核过程中所做的技术处理 ,目的是为电网调度提供合理可行的操作途径 ,延时长短反映了空耗水量统计的疏密度 .分析结果表明 :空耗水量随着合理备用的增大而减少 ,处于同一延时状态时 ,空耗水量的变化率为 2% ~ 12% .空耗水量随着考核时间的延长而减小 .在同一考核方案下 ,空耗水量变化率为 0.08% ~ 100% .年内各时段空耗水量存在明显差异 :4 ~ 11 月 ,空耗水量较小 ,而在 12 ~ 3 月的防凌期内 ,空耗水量占全年总空耗水量的 54% ,空耗水量明显增加.

3 空耗水量考核标准

3.1 空耗水量考核方案的推荐

- 考核方案简单、实用 ,推荐方案的实施安全、可靠 ,才能保证水电机组运行有一定的节水空间.
- a. 空耗延时的选择 .延时短 ,统计结果较准确 ,减少空耗的空间较大 ,但网调人员为追求节水目标会导致开停机过于频繁 ,影响水电厂安全运行 ,延时长 ,会造成空耗遗漏 ,统计结果不够准确 .因此 ,选择 2 h 的空耗延时进行考核较为合理可行 ,而且仍有较大的节水潜力 .
- b. 合理备用的选择 .在西北电网中 ,刘家峡水电厂运行主要以承担下游综合利用任务为主 ,承担备用过大 ,将使其失去更大的经济效益和市场竞争能力 .选择 100 MW 的备用 ,既符合方案实施要安全、可靠、留有余地的原则 ,又对电网调度提出了更加严格的要求 .

综上所述 ,将方案 3 作为刘家峡水电厂的空耗考核方案较为合理 .因此 ,按方案 3 计算了 2003 年刘家峡水电厂运行中产生的空耗水量 ,计算结果如图 1 所示 .

根据计算结果 ,年空耗水量为 4.0861 亿 m^3 ,相应的发电量为 0.917 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$.该发电量占全年发电量的 2.5% ,占多年平均发电量的 1.6% .同时 ,防凌期内空耗水量占全年总空耗水量的 54% ,空耗明显增加 .因此 ,承担旋转备用使得以承担下游调控任务为主的刘家峡水电厂在实际运行过程中产生大量空耗水量 ,防凌期控制小流量时的空耗水量在总空耗水量中所占的比重更大 .

3.2 空耗水量考核标准及考核等级划分

从理论上讲 ,空耗水量为 0 是水库运行的最高标准 ,但实际运行中不易实现 .其主要原因是 ,不可能做到准确预测实时负荷变化情况、调整机组运行方式以及预留恰到好处的合理备用而完全避免空耗 .因此 ,在确定考核标准时 ,目标不宜定得过高 ,否则目标不易达到 ;目标也不宜定得太低 ,否则难以发挥调度运行人员的主观能动性和积极性 .

由于 2003 年为枯水年(刘家峡水电厂平均入库流量为 516 m^3/s ,多年平均流量为 877 m^3/s) ,空耗大多发

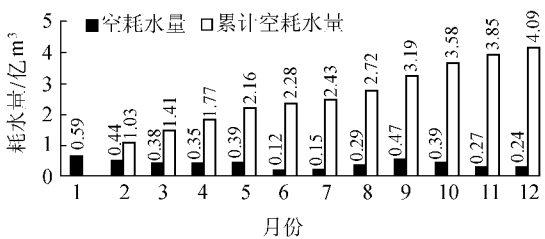


图 1 刘家峡水电厂 2003 年空耗水量变化情况
Fig.1 Variation of water loss of Liujiaxia Hydropower Plant in 2003

生在小流量时期,根据刘家峡水库的不完全年调节性能,若将 2003 年空耗作为考核标准,目标偏低,达不到节水增发的目的。按照刘家峡水库 2003 年发电量占多年平均发电量 80% 的比例对空耗水量进行同倍比放大,其值既可代表平均年的空耗指标,也可保证一定的节水空间。

按照预留一定裕度(一般为 5%)的原则,根据推荐方案(空耗水量 4.086 1 亿 m^3),建议刘家峡水电厂采用 3.5 亿 m^3 空耗水量的考核标准并按如下等级进行考核:优秀:节水 50% 以上,实际空耗水量小于 1.8 亿 m^3 ;良好:节水 50% ~ 10%,实际空耗水量在 1.8 亿 ~ 3.2 亿 m^3 之间;合格:节水 0 ~ 10%,实际空耗水量在 3.2 亿 ~ 3.5 亿 m^3 之间;不合格:实际空耗水量大于 3.5 亿 m^3 。

若采用这一考核方案对刘家峡水电厂 2004 年空耗水量进行考核,则刘家峡水电厂 2004 年总空耗水量为 3.6183 亿 m^3 ,等级为不合格。由于 2004 年属枯水年,来水少,电网要求不变时,造成大量的空耗水量损失。因此,对于来水相对平水年较少的年份来讲,要达到考核目标就比较困难。然而,这既可以提高整个电网的管理运行水平,又可以使空耗达到最小、发电效益达到最大。

4 结 论

a. 本文空耗水量的计算方法简便易行,可用于刘家峡水电厂空耗水量的计算。

b. 按照安全、可靠、简单、实用的原则,若根据下游综合用水情况实施优化调度,则刘家峡水电厂空耗水量考核方案应为:预留旋转备用 100 MW,考核时段为空耗延时 2 h。

c. 2003 年刘家峡水电厂空耗水量为 4.086 1 亿 m^3 ,若能利用这部分水量发有功电量,将产生很大的经济效益。由于空耗是不合理开机方式造成的,通过提高水电厂内经济运行水平,及时调整开机台数,可以使空耗达到最小、发电效益达到最大。

d. 刘家峡水电厂空耗考核标准应为 3.5 亿 m^3 ,考核等级可分为优秀、良好、合格和不合格 4 种。

参考文献:

- [1] 黄强. 用模糊动态规划进行水电站水库优化调度[J]. 水力发电学报, 1993(1): 27-36.
- [2] 徐晨光, 黄强, 赵麦换. 中小型水电站厂内经济运行准实时系统的设计与实现[J]. 水力发电学报, 2003(1): 15-20.
- [3] 刘军. 京津唐电网旋转备用容量的合理安排[J]. 华北电力技术, 1997(7): 12-15.
- [4] 张玉山, 李继清, 纪昌明, 等. 市场环境下水电运营方式的探讨[J]. 水电自动化与大坝监测, 2003, 27(5): 8-10.
- [5] 张勇传. 水电站经济运行原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998: 17-35.
- [6] 安宁, 周双喜, 朱凌志, 等. 负荷特性对江苏电网电压稳定性影响的仿真分析[J]. 中国电力, 2006(8): 16-21.
- [7] LEE F N. Short-term unit commitment—A new method[J]. IEEE Trans on PWRS, 1988, 3(2): 176-179.
- [8] 杨汉成, 索丽生, 朱永忠. 水电机组效率的神经网络算法[J]. 三峡大学学报, 2002, 24(1): 94-96.
- [9] 刘俊萍, 黄强, 田峰巍, 等. 多年调节水电站节水增发电量考核计算方法研究[J]. 西安理工大学学报, 2003(4): 356-360.

Water loss calculation and check for Liujiaxia Hydropower Plant

YAN Ai-ling, HUANG Qiang, LIU Zhao

(Faculty of Water Resources and Hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract Liujiaxia Hydropower Plant has been running for a long period of time, in addition to a certain volume of reserve capacities for the electrical network, it takes on heavy tasks of water supply to the downstream of the river basin, therefore, a large volume of water loss is induced. In consideration of the fact, a method for calculating the volume of water loss was proposed based on the no-load discharges of the generator units. It was used to analyze the actual water loss of Liujiaxia Hydropower Plant in 2003, and the checking criterion and the checking grade of the volume of water loss were formulated. The result provides a theoretical basis for improving the utilization rate of water energy, optimizing the running of the plant, and further raising the level of plant regulation and management.

Key words Liujiaxia Hydropower Plant; water loss; reserve capacity; checking criterion