

锦屏水电站枯期运行方式浅析

李金明, 季苏蕾, 龚学刚, 王定立, 马金奎, 张 昕

(二滩水电开发有限责任公司锦屏水力发电厂(筹), 四川 西昌 615000)

摘要:通过分析锦屏1、2级电站首尾相接的特点,初步探讨了枯水期两级电站经济运行的有功优化可行方式,为电站投产后的实际安全经济运行提供了参考。

关键词:枯水期;经济运行;有功优化

Abstract: The feasible mode for active power optimization of the economic operation between the two-stage hydropower stations in low water period are discussed through the analysis on the features of Jinping Power Plant in which the first stage station and the second stage station are connected end to end. It provides a useful reference for the safe and economic operation after the hydropower stations being put into service.

Key words: low water period; economic operation; active power optimization

中图分类号:TM735 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2012)01-0054-03

锦屏水电站由二滩水电开发有限责任公司(以下简称“二滩公司”)锦屏水力发电厂(目前为筹备机构,以下简称“锦屏电厂”)负责管理,它位于四川省凉山州盐源、木里、冕宁三县交界处,系雅砻江下游河段的龙头电站,是国家“西电东送”、“川电外送”能源发展战略的重要组成部分。锦屏水电站包括锦屏1级、锦屏2级水电站,总装机8400MW。锦屏1级水电站混凝土双曲拱坝坝高305m,为世界同类坝型中第一高坝;总库容 $7.765 \times 10^6 \text{ m}^3$,调节库容 $491 \times 10^7 \text{ m}^3$,具有年调节能力,装机6台,总装机容量3600MW,设计多年平均发电量为16.62TWh;锦屏2级水电站通过16.7km的引水隧洞引水发电,最大水头达318.8m;总库容 $1.428 \times 10^4 \text{ m}^3$,调节库容为 $496 \times 10^4 \text{ m}^3$;装机8台,总装机容量4800MW,多年平均发电量为24.23TWh。锦屏水电站计划首台机组于2012年年底投产发电,2014年机组全部投产发电。

锦屏水电站装机容量大,是电网中调峰调压的主力电站,其枯期运行方式是否合理,直接关系到电网安全与供电质量。下面从机组枯期运行的有功分配方面对机组枯期运行方式进行了探讨。

1 枯期有功优化

根据锦屏1、2级水电站的特点,实行两站间的梯级调度将极大程度的提高水能利用率,凸显梯级水库调度的优势。但锦屏1、2级水库水力条件复杂,枯期

运行状况多样,为实现两级电站间负荷的合理分配,有必要对负荷分配模型加以简化研究。

锦屏1级水电站最大水头240m,最小水头153m,调节库容 $491 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。按照图1所示机组运行特性曲线,当1级水电站水头保持在200m到240m时,机组最大出力能达到额定出力。枯期水库低水位运行,水头小于200m时,机组最大出力受限,将不能达到额定出力。

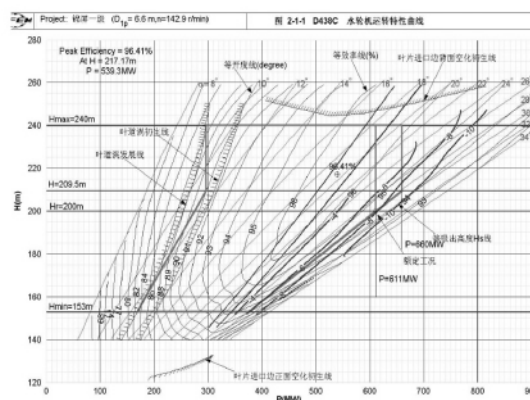


图1 锦屏1级水轮机运转特性曲线

锦屏2级水电站正常蓄水位1646m,死水位1640m,可调库容较小,为 $496 \times 10^3 \text{ m}^3$,为日调节库容。为满足下游生态需求,2级闸坝设有生态泄放洞,向下游泄水。

若使锦屏的总出力在1、2级电站机组内合理分配,将使水能利用得到极大的提高,对此,提出以下计算模型。

模型简化如下。

(1) 假定锦屏1级6台机组运行工况、效率分别相同,锦屏2级8台机组运行工况、效率分别相同,此时单级站内负荷分配满足理想化的分配。

(2) 由于锦屏2级水头变化范围窄(正常水位1646m,死水位1640m),根据图2所示锦屏二级机组运行特性曲线,可知在1640~1646m水位区间运行时,机组的工况变化不大,机组的效率也接近于设计值。此时,在锦屏电站总负荷可在1、2级间自由分配的情况下,可安排锦屏1级电站的发电流量等于2级电站的发电流量与生态泄放流量之和,保持2级机组在高水头下运行,同时合理安排两站内的开机台数,使机组运行在高效率区。

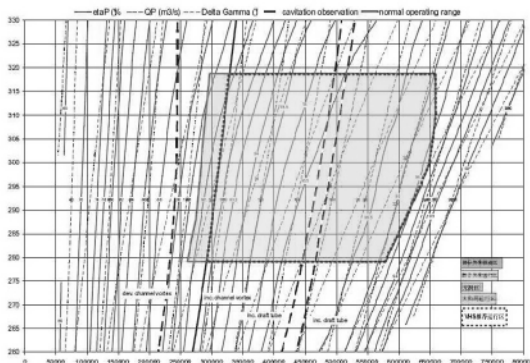


图2 锦屏2级水轮机运转特性曲线

(3) 假定锦屏1级、2级机组振动区上下限出力分别为 Z_{11} Z_{12} Z_{21} Z_{22} 。

列出目标函数如下。

$$\min Q_i = \min \sum_{j=1}^6 Q_{1j} \quad (1)$$

约束条件为

$$\sum_{j=1}^6 P_{1j} + \sum_{j=1}^8 P_{2j} = P_s \quad (2)$$

$$P_{ij} \leq P(H_i) \begin{cases} i=1, j=1, 2, \dots, 6 \\ i=2, j=1, 2, \dots, 8 \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{ij} \leq Z_{i1} \vee P_{ij} \geq Z_{i2} \begin{cases} i=1, j=1, 2, \dots, 6 \\ i=2, j=1, 2, \dots, 8 \end{cases} \quad (4)$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_x \quad (5)$$

$$P_{ij} = \rho g Q_{ij} H_i \eta_{it} \eta_{ic} \begin{cases} i=1, j=1, 2, \dots, 6 \\ i=2, j=1, 2, \dots, 8 \end{cases} \quad (6)$$

$$153 \leq H_1 \leq 240$$

$$H_2 = 288$$

符号说明: Q_i 为 i 级发电流量; Q_{ij} 为 i 级第 j 台机组的发电流量; P_{ij} 为 i 级第 j 台机组的有功出力; P_s 为锦屏1、2级电站总有功给定值; $P(H_i)$ 为 i 级机组出力

限制曲线; Z_{i1} 为 i 级机组振动区下限出力; Z_{i2} 为 i 级机组振动区上限出力; Q_x 为2级生态泄放洞流量; η_{it} 为 i 级水轮机效率; η_{ic} 为 i 级发电机效率; H_i 为 i 级水头值。由此约束条件,便可计算出1、2级负荷的最优分配。将之分配到1、2级电站的各机组,将使水能得到最优利用。

举例如下:枯期时锦屏1级运行在200m水头,2级运行最大水头318.8m,锦屏电站要求总负荷为3800MW时,可按上述模型计算得出两级电站的负荷分配,以达到水能利用的最大化。

表1 站间负荷分配表

1级水头 /m	2级水头 /m	总负荷 /MW	泄放洞流量 /(m^3/s)
200	318.8	3800	80

续表1

锦1总负荷 /MW	锦1发电流量 /(m^3/s)	锦2总负荷 /MW	锦2发电流量 /(m^3/s)
1548	855	2252	775

此时,

$$\begin{cases} 1548 \text{ MW} + 2252 \text{ MW} = 3800 \text{ MW} \\ 775 \text{ m}^3/\text{s} + 80 \text{ m}^3/\text{s} = 855 \text{ m}^3/\text{s} \end{cases}$$

1、2级的总负荷满足电网的需求,同时,1级发电流量等于2级发电流量与生态泄放量之和,也即水能得到充分的利用。

结合水轮机特性曲线,择优选取两站内机组高效率运行区域,同时避开机组振动区,考虑适当保留旋转备用容量和无功调节能力,可将两站内的负荷做如下分配。

表2 机组负荷分配表(单位:MW)

1级	1F	2F	3F	4F	5F	6F
	550	-	98	450	-	450

续表2

2级	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	8F
	600	-	450	102	500	-	600	-

如此,便将锦屏电站的总负荷按照前述模型,分配到了各台机组,最终使水能得到较优的利用。

模型改进优化的建议如下。

(1) 保持1、2级电站总过机流量相同,只是在一定范围内的优化。如果进一步修改目标函数,追求1、2级发电的综合耗水率最小,则能使水能得到最佳的利用,篇幅限制,不再讨论。

(2) 机组有空载流量,即实际运行中流量与机组出力并不是严格正比关系,如将实际运行得出的实验

数据带回模型的约束条件中,将使计算结果更趋合理。

(3) 锦屏1、2级电站总共有14台大容量机组,调节范围大,运行方式灵活,在出力分配上应结合机组的效率区和振动区,结合水库水位控制及来水情况,科学优化分配机组负荷,降低耗水率。

(4) 实际运行中,同级电站的各机组效率不可能完全相同,若据实际情况带入各机组效率,让效率高的机组优先带负荷运行,也能使模型得到优化。

(5) 在事故情况或调度要求紧急调频情况下,可优先将负荷分配给2级机组短时运行,发挥2级的日调节库容的作用。

该部分主要提出了锦屏电站总负荷在1、2级站内机组分配的一种计算模型,使之能计算出各机组的最优负荷分配,并提出了对计算模型的改进意见,以期能在站内AGC的原理设计中起到一定的参考作用。

2 结 语

做好锦屏电站投运后枯期运行分析对保证电力系统安全和在满足系统各项指标的前提下最大程度节约水资源,从而充分发挥电站效益有着非常重要的意义。仅在一定条件下做了研究尝试。电站投产后枯期运行时锦屏1、2级电站负荷不统一安排情况下的优化调度等问题还需实际验证分析。

参考文献

- [1] 田开华,王旭东.二滩水电站枯水期经济运行及改善方法探讨[J].水电站机电技术,2005,28(5):54-55.
- [2] 孟祥萍,高嫵.电力系统分析[M].北京:高等教育出版社,2004.

(收稿日期:2011-10-17)

(上接第33页)

将式(3)代入式(12)得

$$W_{Q正} = 2W_{Q误} + \sqrt{3}W_{P正} \quad (13)$$

将式(11)和式(13)联合求解得

$$W_{P正} = W_{P误}/2 - \sqrt{3}W_{Q误}/2 \quad (14)$$

$$W_{Q正} = W_{Q误}/2 + \sqrt{3}W_{P误}/2 \quad (15)$$

由于错误接线情况下的有功电能和无功电能可以根据实际抄见电量计算,正确电量即可根据抄见有功和无功电量计算得出,消除了功率因数不恒定的影响,保证差错电量计算的准确性。

若按计量点2记录的加权平均功率因素0.92值代入更正系数计算故障期间的正确电量为

$$\begin{aligned} W_{P正} &= G_P \times W_{P误} \\ &= \frac{2}{1 - \sqrt{3}\text{tg}\varphi} \times W_{P误} \\ &= 251\,488 \text{ kWh} \\ W_{Q正} &= G_Q \times W_{Q误} \\ &= \frac{2}{1 - \sqrt{3}\text{ctg}\varphi} \times W_{Q误} \\ &= 55\,162 \text{ kvar} \end{aligned}$$

用上述计算出的电量反推回去计算该线路的损耗为3.79%,与全年累计线损损率3.12%相差较大。

按错误计量期间的实际计量的有功电量和无功电量计算故障期间的正确电量为

$$\begin{aligned} W_{P正} &= W_{P误}/2 - \sqrt{3}W_{Q误}/2 \\ &= 267\,485 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{Q正} &= W_{Q误}/2 + \sqrt{3}W_{P误}/2 \\ &= 43\,744 \text{ kvar} \end{aligned}$$

用上述计算出的电量反推回去计算该线路的损耗为3.20%,与全年累计线损损率3.12%非常接近,故此方法计算值更接近实际值。

4 结 语

通过对10 kV高压三相三线计量装置现场测试电流、电压、相位的测试数据,采用相量图分析方法,可以确定计量装置接线的接入情况,并可推算出故障情况下的差错更正系数。通过更正系数的公式代换计算,采用故障期间的错误有功电量和无功电量计算出故障期间的正确有功电量和无功电量,减少了由于功率因数不恒定带来的电量计算影响,电量的计算更加准确。

参考文献

- [1] 鲍卫东.电能计量装置接线差错时电量计算方法探讨[J].电测与仪表,2007,44(6):26-30,23.
- [2] 孟凡利,祝素云,李红艳.运行中电能计量装置错误接线检测与分析[M].北京:中国电力出版社,2006.

(收稿日期:2011-11-07)