

丹江口大坝加高后发电效益的探讨

余进生, 亢春建, 张 停

(汉江集团公司水利枢纽管理处, 湖北 丹江口 442700)

摘要 通过对丹江口初期工程水库运行情况的分析, 揭示了丹江口水利枢纽 36 a 来水量遵循着一定的自然规律, 防汛弃水与发电之间存在着相互协调的关系. 探讨了丹江口大坝加高后如何最大化利用高坝大库的弃水资源, 协调好调水、防汛与发电之间的相互关系, 通过扩机增容、兴建(引水渠首) 电站增容以及现役机组改造增容, 提高丹江口大坝的发电效益.

关键词 水力发电; 发电效益; 大坝加高; 弃水量; 扩机增容; 丹江口大坝

中图分类号: TV632.63

文献标识码: B

文章编号: 1006-764X(2005)06-0088-03

Discussion on benefit of power generation of Danjiangkou Dam after being heightened//YU Jin-sheng, KANG Chun-jian, ZHANG Ting. *Hydro project administration of Hanjiang Group Corporation, Danjiangkou 442700, China*

Abstract Based on the current situation of reservoir operation in the Danjiangkou Hydro Project at the initial stage, the natural regularity of water volume and the relationship between water discharge for flood control and power generation for the past 36 years were revealed. The measure of full use of the volume of water discharge from the reservoir after being heightened to adjust the relationships between water diversion, flood control and power generation was discussed, and the idea of improvement of power generation benefit by increasing the number of generating sets, building power stations at the intake of channel, and increasing single-unit capacity was also discussed.

Key words: hydroelectric power generation; benefit of power generation; dam heightening; volume of water discharge; increasing number of generating set; Danjiangkou Dam

南水北调中线工程的源头工程丹江口水利枢纽是一座具有防洪、发电、通航、灌溉等综合效益的大型水利水电工程, 也是南水北调中线工程的水源工程. 一期工程建成后, 大坝加高前水库总库容 210 亿 m^3 , 设计正常蓄水位 157 m, 相应库容为 174.5 亿 m^3 , 其中有效库容 102.2 亿 m^3 , 防洪库容 78 亿 m^3 , 为不完全年调节水库. 大坝坝顶高程 162 m, 最大坝高 97 m. 枢纽挡水建筑物总长约 2.5 km. 发电建筑物为坝后式厂房, 装机 6 台, 总装机容量 90 万 kW. 自 1968 年 10 月 1 日首台机组发电, 截至 2003 年 12 月 31 日, 水力发电厂累计发电达 1 183.86 亿 kW·h, 为湖北、河南两省工农业的发展起到举足轻重的作用. 丹江口大坝加高在即, 大坝加高后, 水力发电前景如何是值得关注的重要问题.

1 初期工程水库运行情况分析

丹江口电厂从 1968 年首台机组发电到 2003 年运行已达 36 a, 由丹江口水库历年来的来水量、弃水量和发电量情况可知丹江口水利枢纽初期工程所产

生的经济效益可观. 但有一部分水量因受防洪调度及其他因素的影响只有弃掉, 累计弃水量达 2 268.66 亿 m^3 . 由此可知丹江口水利枢纽初期工程还有一些不足, 弃掉的这部分水量没有得到充分的利用. 现选取水库运行的典型年份(丰水年、平水年、枯水年) 情况作简要说明.

1.1 丰水年

1983 年是丹江口水库洪峰最多的一年, 全年来水量 755 亿 m^3 , 洪峰大于 30 000 m^3/s 的有 2 次, 全年弃水天数为 116 d, 弃水总量为 379 亿 m^3 . 最高库水位达到 160.07 m, 超过千年一遇设计洪水位. 最大洪峰发生在 10 月份, 为 34 300 m^3/s . 下游杜家台开闸分洪 2 次, 13 560 hm^2 耕地被淹没, 9 万多人受灾. 755 亿 m^3 来水量相当于平水年(1987 年) 来水量 377 亿 m^3 的两倍、枯水年(1999 年) 来水量 145 亿 m^3 的 5 倍. 即使大坝加高以后也难免弃水 200 亿 m^3 以上. 面对凶猛的洪水, 调度部门提前开闸留出库容, 拦洪削峰有效运行.

1.2 平水年

年来水量在 300 亿 ~ 400 亿 m^3 的平水年份约占

1/3.选择具有代表性的 1990 年(来水量 360 亿 m³)作为分析对象,可发现该年洪水多出现在 6~9 月份.夏秋之交东南暖湿气流与西北冷空气频繁对流,借秦岭海拔高 2500 m 的屏障和抬升,造成冷暖湿气交汇形成暴雨,加之扇形分布的支流汇集造成洪峰.此类气象造雨过程,年年都会发生,它既无定时,又无定量,随意性极强,1990 年的几次洪峰偏偏就发生在 6~9 月份内.从 6 月 21 日起到 8 月 20 日为 149 m 防洪汛限水位控制期,虽然正值发电黄金季节,忍痛弃水 52.3 亿 m³.按常规预计 9~10 月份还有大洪水,结果却没有,汛末最高水位只蓄到 152.5 m,距正常高水位 157 m 还差 4.5 m,少蓄水 30.7 亿 m³,造成了防汛与发电争水的不利局面.

1.3 枯水年

1999 年是建库以后来水量最少的年份,年来水 145 亿 m³,加上年库存和年内来水量,可供兴利的库容只有 188.8 亿 m³,没有弃水.年初水位 144.01 m,比死水位 140 m 只高出 4.01 m,直到年末也没有突破.由于水位太低,水轮发电机在平均水头 49.5 m 下运行,出力在 8.75 万~10.0 万 kW 之间,年发电量只有 15.475 亿 kW·h.从历史资料看,1998 年弃水 50.2 亿 m³,直接影响到 1999 年的效益.假如 1998 年不弃水,枯水年可借上年多余水,库水位将提高到 167.5 m,距大坝后期正常高水位 170 m 尚差 2.5 m,按同样发电用水计算将获得 26.865 亿 kW·h 电量,这就是高坝大库的效益,同是枯水年,发电结果是不同的.

2 挖掘水力能源的思路

2.1 弃水的利用

水库运行至 2003 年底弃水总量达 2268.66 亿 m³,年均弃水约 63 亿 m³.如能将弃水量用于发电,经济效益将非常可观.大坝加高以后,按照汛期预留防洪库容以确保防洪需要,在基本满足下游供水和航运需要的前题下,按尽量多北调水量的调度原则进行水库调度.水库调度实施科学管理,选用可靠性高、代表性强的 30 a 水文系列(1956~1985 年),用长江水利委员会提供的调度图,采用按库水位高低分区进行调度的方式,进行长系列计算,计算结果见表 1.

由表 1 可见,30 a 中仅有 7 a 没有弃水,占 23%,77% 的年份仍有弃水.这就是说大坝加高以后水库运行仍然有弃水,且多年平均弃水量高达 46.25 亿 m³.按每度电耗水 7 m³ 来计算,可产生 6.6 亿 kW·h 电量.除去自然蒸发及集中弃水等原因,按年利用 720 h(1 个月)计算,利用大坝加高机会在右岸扩机 4 台 17.5 万 kW 机组,可增发电量 5 亿 kW·h 以上.值当前全国电力紧缺之际,如果在

表 1 丹江口水库多年调水量统计

年份	入库 流量/ 亿 m ³	可调 水量/ 亿 m ³	陶岔 引水量/ 亿 m ³	清泉沟 引水量/ 亿 m ³	下游泄 水量/ 亿 m ³	弃水量/ 亿 m ³	发电量/ 亿 kW·h
1956	488.35	159.88	150.55	6.798	310.31	102.27	33.73
1957	250.78	94.07	82.96	11.803	193.74	6.87	28.096
1958	583.94	153.95	141.98	11.888	295.04	81.14	34.844
1959	212.12	96.32	85.41	11.388	239.25	16.05	33.835
1960	329.37	95.71	81.64	11.278	175.56	0.00	26.802
1961	375.97	144.74	130.73	13.972	198.81	8.52	31.658
1962	270.02	122.26	110.42	14.072	172.78	0.00	27.534
1963	628.14	191.03	183.86	7.866	364.77	126.46	40.187
1964	748.60	213.74	207.11	5.908	511.35	234.30	48.362
1965	385.38	188.46	175.71	9.954	279.22	42.96	39.530
1966	207.65	56.30	48.24	11.956	174.66	0.00	24.937
1967	420.80	153.19	138.42	13.131	218.88	35.13	29.847
1968	464.61	163.74	153.94	9.235	245.67	53.31	33.013
1969	254.52	133.92	121.66	11.531	190.93	5.01	30.113
1970	330.87	135.71	125.44	10.811	162.52	0.00	27.118
1971	381.07	160.51	149.91	11.078	187.89	3.63	31.305
1972	267.39	131.44	121.32	11.039	214.91	10.68	32.322
1973	355.68	132.08	120.00	10.006	156.96	0.00	26.258
1974	421.86	178.49	164.92	13.392	207.89	16.10	33.141
1975	483.43	203.54	191.60	11.553	263.70	38.07	39.313
1976	268.93	140.88	128.96	13.560	206.89	13.39	31.451
1977	235.59	103.63	92.40	10.171	159.76	0.00	24.566
1978	219.00	59.96	52.92	9.661	171.23	0.00	24.699
1979	330.05	106.91	92.78	13.344	169.60	1.13	26.231
1980	463.93	170.88	161.34	8.103	240.61	32.45	34.916
1981	475.85	171.72	157.22	14.225	312.09	89.50	37.167
1982	439.44	166.54	155.95	10.649	264.32	58.33	34.624
1983	750.64	205.16	194.00	10.297	501.02	232.48	46.362
1984	580.44	188.68	180.37	9.579	388.27	149.95	40.972
1985	372.71	175.55	165.56	9.097	236.92	26.61	35.706
平均	390.21	146.63	135.58	10.911	247.19	46.25	32.955

注:最大可调水量为 213.74 亿 m³(1964 年),最小可调水量为 56.30 亿 m³(1966 年).

丹江口大坝加高的同时,在右岸建设厂房扩机增容,既不需要导流工程,也不增加水库淹没及挡水建筑物的费用,工程投资节省、施工方便、工期短、收效快.此项目得到了华中电力集团公司和汉江集团公司的重视,于 1997 年 6 月编写了《丹江口水利枢纽后期规模扩机工程研究报告》,一旦实施,效益将非常显著.

2.2 后期引水工程能源的利用

丹江口水库大坝加高后,调水 145 亿 m³ 给北京、天津及沿线省市,可利用库水位与总干渠水位的季节性落差在调水过程中的跌落能量兴建渠首电站,重复利用水资源,执行调水、发电同步原则,在不影响调水总量和供水质量的前提下,尽可能利用引水动能获得发电效益,使调水与发电取得双赢.

陶岔引水闸是南水北调中线工程丹江口水库的引水渠首,位于河南淅川县陶岔村,坐落在汤山和禹山之间的垭口部,1973 年引水闸等系统工程初期规

模已建成。

大坝加高到 176.6 m 高程,经过陶岔引水闸调水 145 亿 m^3 ,加权平均水头为 13.9 m,多年平均流量为 460 m^3/s ,总电量 3.64 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。在满足南水北调对引水闸要求的前提下,充分利用水能。利用现有建筑物引水闸加高的机会,尽可能减少工程量,合理选择技术经济指标进行综合分析。该电站宜装机 60 MW,年发电量 3 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,水量利用率 81.9%,年利用小时数估计在 5 000 h 以上,电站布置 4 台轴流转桨式机组,装机高程 142 m,选单机容量 10 MW 和单机容量 20 MW 各 2 台是有可能实现的。

陶岔渠首电站应与引水闸二期加高工程同步进行,电站厂房在前期引水建筑物保护下施工,工程简单、施工方便、工期短、收效快,可望在 3 a 内建成发电。

2.3 机组增容改造仍有潜力可控

机组增容改造也可以增加发电量,以丹江口水力发电厂 3 号水轮机组试验成果为例来说明。2001 年 9 月和 2003 年 9 月由福建省电力试验研究院对 3 号机组分别进行改造前和改造后 3 次原型试验。改造前 1 次试验的水头为 65.90 m,改造后 2 次试验的水头分别为 52.06 m 和 66.29 m。试验目的是检验试验水头下机组的效率和出力保证值,同时率定蜗壳流量系数。试验获得水轮机工作特性曲线和流道特性曲线共 10 项。机组增容改造结果为水轮机额定功率由 154 MW 增加到 173.4 MW,最大水头由 71 m 上升到 81 m,最小水头由 44 m 上升到 49 m,额定流量由 275 m^3/s 增至 303 m^3/s ,发电机额定功率由 150 MW 增至 175 MW,额定电流由 6 470 A 增至 7 547 A,其他参数不变。通过原型试验可得出如下结论:①水轮机在试验水头 66.29 m 时效率保证能满足;②实测水轮机出力为 180.54 MW,换算到 66.29 m 水头下为 182.05 MW,考虑出力测量的误差,实际出力比保证值 179 MW 大 1.7 MW;③采用高精度测试仪,取得了理想的试验精度;④蜗壳流量系数率定不确定度为 $\pm 2\%$,将来可用该系数进行流量测试;⑤试验成果各曲线符合规律,可作为指导机组经济运行的依据;⑥经过改造,机组出力增加约 20 MW,并且在 40 ~ 160 MW 负荷范围内,机组平均效率增加 3%,由此表明机组技术改造是成功的。

丹江口电厂 6 台机组全部改造完成以后,总装机容量将达到 105 万 kW,丹江口电厂跨入大型电厂行列。随着大坝加高,全厂发电设备将在比初期工程高出 13 m 水头的工况下发电,效益可观。

3 结 语

2010 年丹江口大坝加高工程可望完工,枢纽承

担的多项水利任务的能力都将有较大提高,防洪仍占首位,发电降至第三,北调供水属硬性指标应确保,但大坝加高后发电仍有潜力可控:

a. 大坝加高 14.6 m 后,设计库容增加约 116 亿 m^3 ,水库由不完全年调节变为多年调节,可减少弃水,保证发电指标的完成。

b. 引水总干渠渠首电站利用调水过程中的跌落能量,重复利用水资源装机发电作为对丹江口水力发电厂的补偿工程,可取得 3 亿 ~ 5 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 电量。

c. 丹江口电厂 6 台机组全部完成更新改造,总装机容量可达 105 万 kW,水轮发电机组长年运行在额定水头 63.5 m 及以上区间,效率大增,其每度电耗水由过去 7 ~ 10 m^3 降低到 6.5 m^3 。

d. 利用弃水扩机 4 台后,年利用小时数按 720 h 计算,可获电量 5 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

e. 除上述内容外,丹江口水力发电厂还可从下列项目中获得效益:①可从下游供水中获取电量。汉江中、下游工农业用水和通航用水亦属保证指标,常年不断流。按 1 台发电机额定流量 240 m^3/s 计算,1 a 将获基荷电量 15.33 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。②抢汛发电争取电量。一般 6 ~ 10 月份是发电的黄金季节,大坝加高以后,夏汛期从 6 月 21 日到 8 月 20 日防汛限制水位为 160 m,秋汛期从 8 月 21 日到 10 月 20 日汛洪限制水位为 163.5 m。根据多年运行经验,抢汛满发时间多年平均为 60 d 以上。参照建库 36 a 以来多年平均弃水 63 亿 m^3 ,考虑大坝加高有效库容增加等因素,在保证引水的条件下争发 15 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 电量是完全可行的。③供水期剩余水量发电。汛末拦尾蓄水最多为 290.5 亿 m^3 ,减去死库容 128 亿 m^3 ,可供兴利的有 162.5 亿 m^3 ,按年调水 145 亿 m^3 计算,7 个月共调水 84.58 亿 m^3 。考虑多年来水量的不均匀性,扣除下游用水 50 亿 m^3 ,可支付湖北、河南两省灌溉和其他用水不超过 14.58 亿 m^3 ,还有 13.34 亿 m^3 用来发电,其发电量为 2.05 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

参考文献:

- [1] 张兰英.对丹江口水库弃水的分析[J].丹江口水利,1993(9):81—87.
- [2] 李玲娣,余数秋,亢书兰,等.丹江口水利枢纽后期扩机工程研究报告[R].华中电力集团公司,汉江集团公司,1997.
- [3] 郭生柱,林琳.丹江口水电厂 3 号水轮机组效率及出力验收报告[R].福州:福建省电力试验研究院,2004.

(收稿日期 2004-11-19 编辑 骆超)