

龙羊峡水电站增容效益计算与分析^{*}

刘俊萍¹, 黄 强¹, 田峰巍¹, 佟春生^{1, 2}

(1 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2 华北工学院分院, 山西 太原 030008)

[摘 要] 拟定增容前后的2种方案, 采用13年径流系列, 结合龙羊峡水库正常运行调度图, 进行径流调节计算, 获得各方案和电站实际运行的关键指标, 通过方案间的对比分析, 得出电站发电量增容效益, 为电站进行增容改造提供参考。

[关键词] 龙羊峡水电站; 增容; 效益计算

[中图分类号] TV 213.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)02-0153-05

1 龙羊峡水电站概况

龙羊峡水库位于青海省贵德县境内的黄河龙羊峡峡谷, 是黄河干流上游的一座大型水利枢纽。龙羊峡水库设计正常蓄水位 2 600 m, 相应库容 247 亿 m³, 汛限水位 2 594 m, 设计洪水位 2 602.25 m, 校核洪水位 2 607 m, 死水位 2 530 m, 死库容为 53.43 亿 m³, 调节库容 193.4 亿 m³, 库容系数 0.94, 具有优良的多年调节性能。电站以发电为主, 兼顾防洪、灌溉、防凌、渔业、旅游等综合利用功能。

龙羊峡水电站装有4台机组, 单机额定容量 32 万 kW, 电站总装机容量 128 万 kW, 水库于 1986-10-15 下闸蓄水, 1#~4# 机组分别于 1987-10、1987-12、1988-07 和 1989-06 投产, 相继并网发电。电站建成发电后提高了下游李家峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、大峡、青铜峡等大中型梯级水电站的保证出力和发电量。截止 2000 年底, 全厂累计发电 531.22 亿 kW·h, 为西北地区工农牧业生产和人民生活提供了强大、可靠的电源, 为西北电网的安全稳定运行发挥了重要作用。

2 问题的提出

随着社会经济的快速发展, 对电力的需求越来越大, 用电质量要求也越来越高, 而早些年投产的水电站相继出现了设备老化、技术落后等问题, 通过设备更新改造, 如水轮机转轮优化设计, 转轮、转轮室、导水机构、发电机改造等先进技术, 可使水电站达到

增容增效的目的^[1, 2]。采用新技术、新工艺改造水电站, 要比新建一个相同容量的电站投资少, 见效快^[3]。

龙羊峡水电站担负西北电网的调峰调频任务, 在汛期常降低出力调峰和弃水调峰, 尽管如此, 调峰容量仍不足, 设备利用小时数比设计值低很多, 机组发电能力得不到充分发挥。利用调节性能好的已建水电站进行扩建增容, 是加速改善电源结构, 增强调峰能力的有效举措^[4]。

1999-12, 有关单位对龙羊峡电站水轮发电机组——主变压器增容进行了试验。2001 年, 国家电力公司西北勘测设计研究院对水轮发电机组增容的可能性进行了论证, 各项结果表明, 若通过技术改造和采用先进设备, 龙羊峡水电站已有的发电机组、主变压器和相关电气设备具有增容的条件和潜力, 可使单机由 32 万 kW 提高到 35 万 kW, 总装机容量由 128 万 kW 提高到 140 万 kW, 本研究的主要任务是计算龙羊峡电站机组增容 12 万 kW 后产生的电量增值效益, 为将要进行的龙羊峡电站增容改造工程提供依据。

3 模型建立

龙羊峡水库是一座多年调节水库, 可进行径流的多年调节。为体现水库的多年调节特点, 发挥多年调节作用, 通过建立水库径流调节模型, 采用 1988~2000 年系列进行计算, 分析增容后电量增加的效益。由于黄河上游梯级水电站已初步形成, 各水

* [收稿日期] 2002-04-11

[基金项目] 国家 973 重点基础研究发展规划项目(G1999043608); 国家自然科学基金资助项目(50079021)

[作者简介] 刘俊萍(1969-), 女, 山西太原人, 工程师, 在读博士, 主要从事水文水资源研究。

库、电站是按梯级联合运行方式工作,因此,在龙羊峡电站增容发电量复核计算时,必须考虑梯级联合运行^[5,6]。本文计算以龙羊峡电站梯级联合运行调度图(设计提供的常规调度图)为依据,进行长系列计算,为龙羊峡增容提供比较合理、可靠的结果。

龙羊峡水电站以发电为主,兼顾下游综合利用任务。因此,模型的目标为发电量最大,建立长系列径流调节计算模型,计算时段取 1 个月。

目标函数:

$$\max E = \sum_{t=1}^n N_t \cdot \Delta t \quad (1)$$

式中, N_t 为 t 时段的出力; Δt 为 t 时段小时数。

约束条件:

(1) 各时段水量平衡约束

$$V_{t+1} = V_t + (Q_t - q_t) \cdot \Delta t \quad (2)$$

式中, V_{t+1} 为 t 时段末水库库容; V_t 为 t 时段初水库库容; Q_t 为 t 时段入库流量平均值; q_t 为 t 时段出库流量平均值,包括发电流量和弃水流量。

(2) 库容约束

$$V \leq V_t \leq \bar{V} \quad (3)$$

式中, V 为水库在 t 时段的下限约束值; $\bar{V}$ 为水库的上限约束值。

(3) 水库泄流能力约束

水库下泄流量 q_t 受水库泄洪建筑物最大泄流能力 G_t 制约,即:

$$q_t \leq G_t \quad (4)$$

(4) 出力约束

$$N \leq N_t \leq \bar{N} \quad (5)$$

式中, N 为水电站出力的下限值; $\bar{N}$ 为水电站出力的上限值。

(5) 水电站水头约束

$$H \leq H_t \leq \bar{H} \quad (6)$$

式中, H 为水电站允许最小水头; $\bar{H}$ 为水电站允许最大水头。

4 龙羊峡水电站实际运行状况

电站于 1987-09 投入运行,到 2001 年实际运行了 15 年,共发电 560.57 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,其中 1987-09~12 发电 4.73 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,1988~2000 年共计发电 526.49 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,2001-01~09 发电 29.35 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,因 1987 年和 2001 年运行不满 12 个月,故不计,则 1988~2000 年 13 年年平均发电 40.50 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

龙羊峡水库 1988~2000 年实际运行情况见图 1。由图 1 可以看出,1989 年水较大,弃水 67 亿 m^3 ,1997 年水仅有 142.9 亿 m^3 ,但电站仍有弃水 5.08 亿 m^3 ,其余年份出库总水量与发电水量基本相等,图 1 中这 2 条线基本重合。

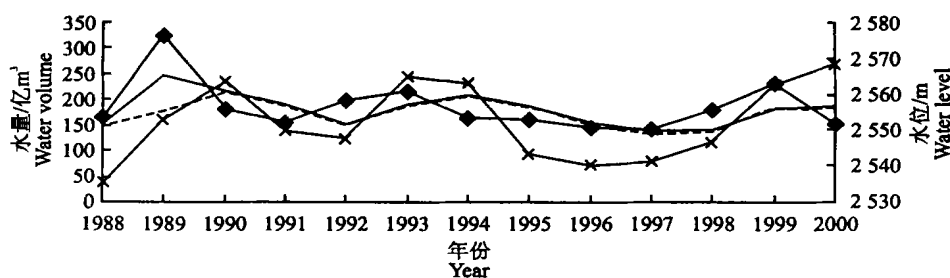


图 1 龙羊峡电站 1988~2000 年实际运行状况

- - - 入库总水量; ——— 出库总水量; ····· 发电水量; - x - 平均水位

Fig. 1 Actual operating situation of Longyangxia hydropower plant in 1988-2000

- - - Total reservoir inflow; ——— Total reservoir outflow; ····· Power flow; - x - Mean water head

5 1988~2000 年调度成果及分析

5.1 计算成果

为比较电站增容前后的发电效益,根据不同的装机容量 N 和不同的综合出力系数 k ,拟定 2 种方案,其中方案 1 的装机容量 128 万 kW ,综合出力系

数 8.3;方案 2 的装机容量 140 万 kW ,综合出力系数 8.5。

采用 1988~2000 年径流系列,以月为计算时段,结合龙羊峡水库正常运行调度图,进行长系列径流调节计算,方案 1 计算结果见图 2,1989 年水较大 (326.75 亿 m^3),弃水 12.60 亿 m^3 ,1993 年水为

216 19 亿 m³, 弃水为 5 87 亿 m³, 其余年份没有弃水, 出库总水量与发电水量相等, 这 2 条线重合。

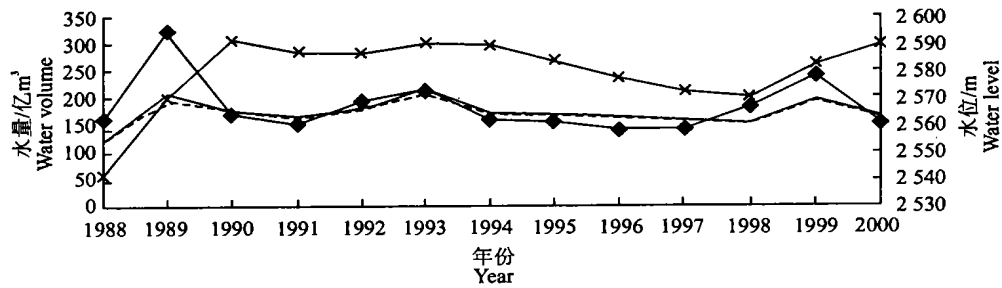


图 2 方案 1 调度结果
- - - 入库总水量; ——— 出库总水量; ····· 发电水量; - × - 平均水位

Fig. 2 Dispatching result of scheme 1

- - - Total reservoir inflow; ——— Total reservoir outflow; ····· Power flow; - × - Mean water head

方案 2 的计算结果见图 3, 1989 年弃水 10 60 亿 m³, 1993 年弃水 3 85 亿 m³, 其余年份没有弃水, 出库总水量与发电水量这 2 条线重合。图 4 为电站

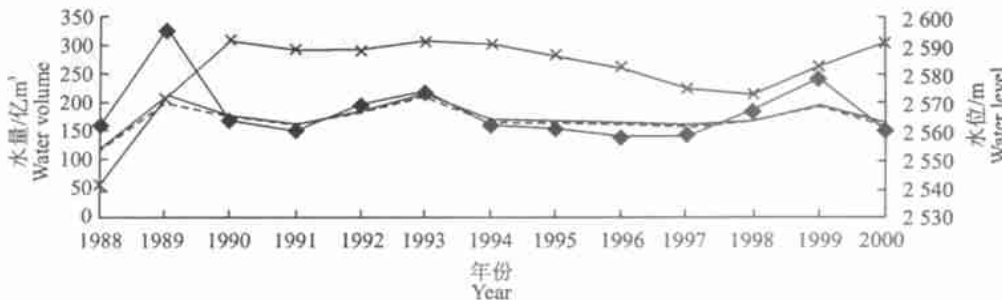


图 3 方案 2 调度结果
—◆—, 入库总水量; ———, 出库总水量; ·····, 发电水量; —×—, 平均水位

Fig. 3 Dispatching result of scheme 2

—◆—, Total reservoir inflow; ———, Total reservoir outflow; ·····, Power flow; —×—, Mean water head

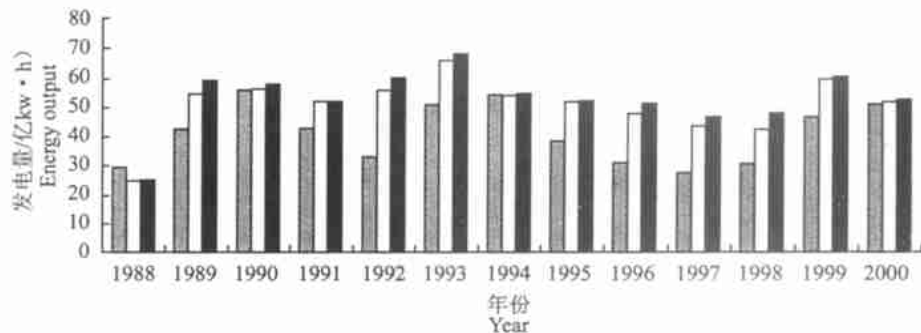


图 4 实际、方案 1 和方案 2 发电量

■. 实际; □. 方案 1; ■. 方案 2

Fig. 4 Energy output of actual operation, scheme 1 and scheme 2

■. Actual running; □. Scheme 1; ■. Scheme 2

表 1 列出设计值、实际运行、方案 1 和方案 2 的多年平均径流、多年平均发电量、多年平均水头、装机年利用小时数等关键指标。设计值是采用 1919~1980 年 61 年径流系列的计算成果, 实际运行、方案 1 和方案 2 均采用 1988~2000 年的径流资料。

表 1 龙羊峡水电站增容计算成果关键指标

Table 1 The key indexes of generating capacity increase calculation result of Longyangxia hydropower plant

运行方案 Operation scheme	平均径流/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) Mean annual runoff	平均来水量/ 亿 m^3 Mean annual runoff volume	装机容量/ 万 kW Installed capacity	平均发电量/ (亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$) Mean annual energy output	平均发电水量/ 亿 m^3 Mean annual power flow	装机年利用 小时数/h Annual using hours of installed capacity
设计值 Design value	650	205.00	128	59.42		4 642
1988~ 2000 年实际运行 Actual operation in 1988 - 2000	585	184.40	128	40.50	163.50	3 164
方案 1 Scheme 1	585	184.40	128	50.72	171.93	3 963
方案 2 Scheme 2	585	184.40	140	52.54	171.92	3 752

运行方案 Operation scheme	平均弃水量/ 亿 m^3 Mean annual surplus water volume	平均水头/m Mean annual head	发电保证率/% Power guaranteed probability	耗水率/ ($\text{m}^3 \cdot$ $\text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) Water consumption probability	综合出力系数 Synthetic output coefficient
设计值 Design value		134.8	91.70		8.3
1988~ 2000 年实际运行 Actual operation in 1988 - 2000	5.89	99.69	24.84	4.42	8.27
方案 1 Scheme 1	1.42	126.86	78.34	3.46	8.3
方案 2 Scheme 2	1.11	128.29	83.44	3.34	8.5

5.2 实际运行情况与设计值和方案 1 的比较分析

龙羊峡电站实际运行的年平均发电量为 40.5 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 占设计值 59.42 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 的 68.2%。龙羊峡水库 1988~ 2000 年水较枯, 13 年的平均径流量只有 184.4 亿 m^3 , 占多年平均径流量的 89.9%。龙羊峡电站在入库水量减少 10.1% 的条件下, 其发电量减少了 31.8%。方案 1 与电站实际运行采用的装机容量相同, 均为 128 万 kW, 综合出力系数基本相同, 其计算结果代表电站增容前的运行情况。从表 1 可以看出, 方案 1 的多年平均发电量比实际运行的大 10.22 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 占实际发电量的 25%, 其原因是:

(1) 龙羊峡水库初期运行是不合理的。初期运行时, 水电站低水位运行情况比较严重, 由于来水较枯和电力系统供需矛盾等原因, 如 1993 年(入库平均流量 685 m^3/s)和 1994 年(506 m^3/s , 低于平均径流 585 m^3/s)被迫大发电, 致使 1995、1996 年电站均处于低水位运行, 电站年平均水头从 1993、1994 年的 110.0 m, 降低到 90.65~ 87.63 m, 发电耗水率也由 3.8 $\text{m}^3/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 增加到 5.09 $\text{m}^3/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 损失了大量电能。

(2) 初期运行时, 一些调度管理措施不完善, 制度不健全, 缺乏调度经验; 加之 1992 年以来, 黄河下游断流, 国务院实施了 5 次远距离调水, 对龙羊峡电站正常发电影响较大。

5.3 方案 1 与方案 2 的比较分析

由表 1 可以看出, 增容改造完成后, 容量增加

12 万 kW, 可增发电量 1.82 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 是设计值的 3.1%。2 种方案虽然都有弃水, 但方案 2 增容后较方案 1 减少弃水 0.31 亿 m^3 , 增容后各指标除装机年利用小时数外, 均好于增容前(方案 1), 说明电站增容后, 效益是明显的。

5.4 增容改造工程造价与效益的对比分析

根据国家电力公司西北勘测设计研究院完成的《龙羊峡水力发电厂水轮发电机组额定出力从 320 MW 提高到 350 MW 可行性综合论证报告》, 龙羊峡增容改造工程总投资是 10 637 万元, 工期 2 年, 增加的发电量售电价按 0.183 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$)计, 售电收入为 3 330.6 万元/年, 全部投资所得税后财务内部收益率为 11.33%, 平均投资利润率为 12.70%, 资本金财务内部收益率为 11.73%, 说明该项目具有较强的还贷能力和盈利能力。因此, 龙羊峡增容改造工程经济评价是可行的。

6 结 论

龙羊峡水电站发电机组经过技术改造, 电站装机容量从 128 万 kW 提高到 140 万 kW, 采用与电站实际运行同长度的 13 年径流系列, 计算增容前后的 2 种方案, 通过 2 种方案与龙羊峡电站实际运行情况的比较分析, 以及增容改造工程的经济评价, 可知电站增容是可行的, 效益是明显的。为了适应西北电网负荷增长, 充分提高水能资源的利用效率, 为西电东送提供更多优质电力, 对龙羊峡电站老机组进行技术改造并增容, 显得十分必要且具有重要意义。



[参考文献]

[1] 王国海, 陶星明 水轮机增容改造与新技术的应用[J] 大电机技术, 2001, (7): 1- 7.
[2] 曲卫东, 朱海滨, 唐士涛 水轮机出力不足分析及转轮的改造[J] 黑龙江水利科技, 2001, (4): 66- 67.
[3] 马小杰译 非洲的水电工程改造[J] 水利水电快报, 2001, 22(7): 23- 26
[4] 熊家英, 熊 飞 水电站扩建增容是加速改善电源结构增强调峰能力的有效举措[J] 贵州水力发电, 2001, 15(1): 13- 16
[5] 黄 强 水能利用[M] 北京: 水利电力出版社, 1999
[6] 周之豪, 沈曾源, 施熙灿, 等 水利水能规划[M] 北京: 水利电力出版社, 1986

Benefits calculation and analysis of generating capacity increase of
Longyangxia hydropower plant

L IU Jun-ping¹, HUANG Qiang¹, TIAN Feng-wei¹, TONG Chun-sheng^{1, 2}

(1 Hydroelectric Engineering Institute of Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 College of North China Institute of Technology, Taiyuan, Shanxi 030008, China)

Abstract: Proposing two schemes which represent the ones before and after increasing generating capacity respectively, adapting 13 years runoff series, combining dispatching chart of Longyangxia reservoir in normal operation, the paper carries out runoff regulating computation, key indexes of each scheme and real operation are gained. By comparing and analyzing the results of each scheme, the energy output benefits increment are obtained, which provide references for the reconstruction of capacity increase.

Key words: Longyangxia hydropower plant; generating capacity; benefits calculation

· 简 讯 ·

西北农林科技大学 2001 年度科技论文数
在全国农业高等学校中名列第一

据中国科学技术信息研究所《2001 年度中国科技论文统计与分析》年度研究报告, 2001 年度西北农林科技大学科技论文数, 以 794 篇在全国农业高校科技论文数前 30 名排行表中名列第 1 名(表 1)。

表 1 2001 年全国农业高校科技论文数前 30 名排行表

名次	高校名称	论文数	名次	高校名称	论文数
1	西北农林科技大学	794	16	沈阳农业大学	169
2	中国农业大学	630	17	四川农业大学	160
3	南京农业大学	556	18	东北农业大学	157
4	福建农林大学	351	19	吉林农业大学	142
5	华南农业大学	351	20	黑龙江八一农业大学	140
6	山东农业大学	351	21	云南农业大学	138
7	华中农业大学	320	22	河南农业大学	132
8	东北林业大学	233	23	内蒙古农业大学	130
9	河北农业大学	206	24	中南林学院	125
10	湖南农业大学	201	25	甘肃农业大学	113
11	西南农业大学	195	26	上海水产大学	100
12	北京农业大学	190	27	莱阳农学院	99
13	江西农业大学	186	28	北京农学院	97
14	安徽农业大学	184	29	浙江农学院	86
15	南京林业大学	184	30	山西农业大学	64

(温晓平 供稿)