

水电站装机容量的重新思考

熊开智¹ 成立芹²

(1. 二滩水电开发有限责任公司 成都 610021 2. 中国民航大学 天津 300300)

[摘要] 通过分析我国电力系统负荷变化、水电的特点及水电在电力系统中承担调峰任务的巨大优势,以华东电网的现状为例,重点分析了我国水电站装机容量确定原则与我国电力系统调峰需求的矛盾,提出了电力系统成本最优的水电站装机容量选择原则,通过峰谷不平衡电价等反映不同时期电量价值的不同,最后,通过实例研究该原则对水电站装机容量确定的影响,对我国大型水电站装机容量的确定提出新的思考。

[关键词] 水电站 装机容量 调峰 电力系统

[中图分类号] TV737 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2007)08-0026-04

随着我国社会经济发展,产业结构的不断调整,我国的用电结构发生了很大变化。第一、第二产业比重下降,第三产业比重上升,城镇居民生活用电迅速增长,电力负荷特性发生显著变化,负荷率下降,年际和日用电负荷的峰谷差越来越大,对电网的调峰要求不断提高。目前我国电网中主要以火电、水电为主,并有少量核电,其中火电的比例约占80%左右,但是,火电在电力系统中的调峰能力不强,目前许多电网不得不采取一些中小型低参数火电机组24 h内启停、水电弃水调峰等办法适应系统调峰要求,尽管如此,运行中仍难以避免高峰负荷时的频率偏低、低谷时频率过高的现象。由此,不得不考虑建设一些具有较强调节能力的大型水电站来弥补电力系统的不足,这与水电的特点是密切相关的。

1 水电的特点

首先,水电具有无法比拟的调峰性能。对于水轮发电机,从启动到输出最大功率只需要3~5 min,同时,根据需要调整其输出功率也仅仅需要几秒钟的时间,水电的这一性能要远远优于其它型式的能源。尽管其它型式的电能也具有一定的调峰能力,比如说,火力发电机组也可以旋转备用,适应调峰要

求,但是代价要高昂得多,即使如此,也不如水轮机组快捷方便。表1,表2是一个停机状态下再启动的简单对比:

表1 各种不同电源设备停止8 h后再启动所需时间

Table 1 Reboot time of the power facilities after eight hours halt

| 电厂类型 | 启动时间 |
|------------|---------|
| 水电 | 3~5 min |
| 燃煤、燃油电厂 | 3 h |
| LNG 电厂 | 约3 h |
| LNG 复合循环电厂 | 约1 h |
| 核电 | 约5 d |

表2 水电厂和火电厂的运转特性参考表

Table 2 Working characteristics of hydropower and thermal power plants

| 电厂类型 | 水电 | 火电 |
|---|------|--------|
| 输出功率变化速度/ $\text{MW} \cdot \text{min}^{-1}$ | 约200 | 约20~60 |
| AFC 变化幅度/MW | 约500 | 约50 |

以上两表所反映出的水电在调峰、调频方面的优良特性,对于保证电网安全可靠的运行极为重要,在电网出现计划之外的电力需求以及意外停电时,设备能够瞬间启动并迅速提供电力。此外,即使发

[收稿日期] 2006-08-24; **修回日期** 2006-10-30

[基金项目] 中国民航学院博士科研启动基金资助项目(05qb10S)

[作者简介] 熊开智(1978-),男,二滩水电开发有限责任公司工程师、博士

电设备正处于运转过程中,也可以在数秒内对其输出功率进行调整,根据细小的需求变化采取相应措施,因此,在白天用电需求变化幅度较大时,水电可以为电网提供周波数稳定、性质优良的电力供应。

其次,从最有效地利用能源的角度,水电是电网中承担调峰任务的最佳选择。电能不能贮存,电网中必须时时刻刻保持着供需平衡,而需求在一天当中的变化又非常大。水电开启方便,启动速度快,调节能力强。虽然火电也可降低出力来适应电网的负荷变化,但是单位电能的燃煤消耗将大幅提高,根据相关统计资料,在降低出力后的单位电能标准煤耗率较满负荷运行时约增加 10%~20%。因此,从能量的有效利用看,电网中最适合于调峰的电源无疑是水电。各种型式的电能及其在电网中发挥的作用如图 1 所示。

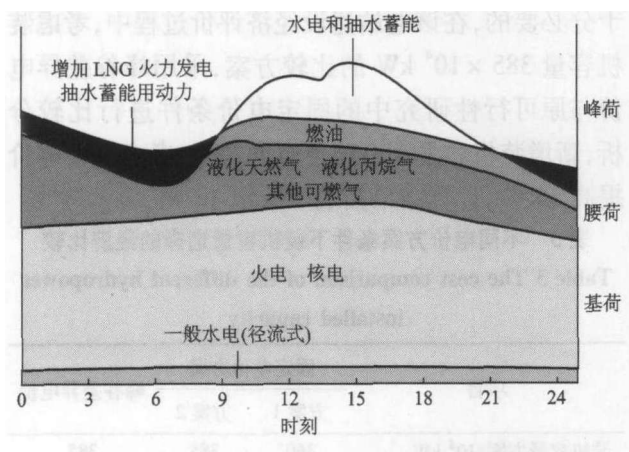


图 1 不同的电能在电网中的作用

Fig. 1 The function of the different power plant in the power net

再次,水电可变成成本低,竞争力强。水电虽然一次性投资大、从投产到产出时间相对较长,但是水电长期运行成本则比其它形式的能源低得多。图 2 是一个典型的关于水电、火电和核电等运行费用的比较图。

最后,水电是清洁的能源,在生产过程中不会产生任何污染;水电又是可再生的能源,合理地开发并充分利用水能资源符合科学发展观的要求。

水电有着其它电源系统难以替代的优势,近年来,我国的水电开发也取得了大量成就,一大批大型的年、季调节水电站相继建成发电。但是,我国电力系统存在的矛盾依然没有得到显著的改善,特别是华东电网,一方面,电网在峰荷期间电力供应严重不足,另一方面,与之相连的一些水电站由于装机容量

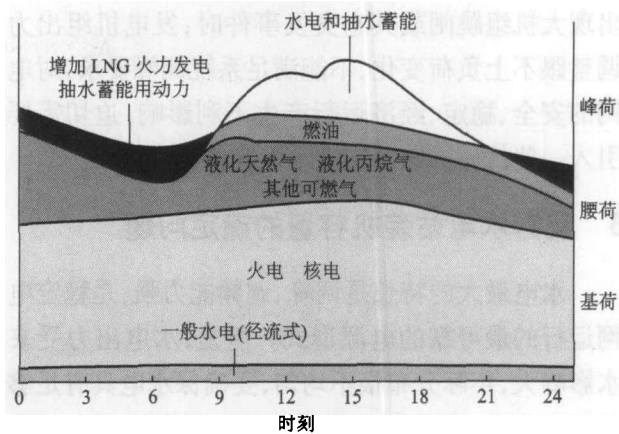


图 2 水电、火电和核电等运行费用比较

Fig. 2 The cost comparison of hydropower, thermal power and nuclear power

的限制在丰水期不得不大量弃水确保大坝的安全。造成这种局面的原因与我国电网的特点及我国水电站装机容量的确定方式密切相关。

2 华东电网现状

华东地区是我国经济的核心地区,工农业总产值占全国的 1/4 以上。华东电网截至 2000 年底发电装机容量为 $5\,666.3 \times 10^4$ kW,其中火电占 88.8%,水电占 10.6%,核电占 0.53%。整个华东地区一次能源匮乏,水力资源和煤炭储量分别仅占全国的 3.6% 和 4.2%。

随着地区经济不断发展,华东电网负荷不断增长,用电结构不断变化,峰谷差相应增大,华东电网的年度最高负荷在夏季,2002 年夏季高峰到来前,华东电网统调装机容量 $5\,098 \times 10^4$ kW,最大可调容量 $4\,860 \times 10^4$ kW,而当年华东全网统调最高用电负荷达 $5\,125.6 \times 10^4$ kW,最高发电负荷 $4\,945.1 \times 10^4$ kW,已非常接近最大可调出力,2002 年,华东电网用电最大峰谷差达到 $1\,818 \times 10^4$ kW。通过对华东电网的用电趋势及负荷特性分析,预计华东电网 2010 年日最小负荷率为 0.59,至 2020 年将达 0.54,峰谷差将达 $5\,812 \times 10^4$ kW。

华东电网是以火电为主的电网,水电在系统中所占比重较小。2000 年可参与调峰的常规水电装机容量为 184.0×10^4 kW,抽水蓄能电站装机容量为 196.0×10^4 kW,燃气轮机装机容量 122.0×10^4 kW,因此大部份峰谷差的调节仍要依靠火电来承担,调峰问题十分突出。近年来投产的机组又主要为大容量火电机组,其调峰应变能力有限,在电网

出现大机组跳闸或其它突发事件时,发电机组出力调整跟不上负荷变化,不能满足系统调峰要求,对电网的安全、稳定、经济运行产生不利影响,迫切需要引入一些优质的电源来满足系统的调峰需要。

3 我国水电站装机容量的确定问题

水电最大的特长是调峰、调频能力强,是稳定电网运行的最可靠的电源型式。但是,水电出力受来水影响大,年际分布很不均匀,要确保水电有足够的调峰能力,特别是在华东电网负荷高峰具备相应的调峰能力,水电站必须具有足够的装机容量。然而,我国目前根据水能利用程度(装机年利用小时数)、电站静态投资及动能经济指标、容量在各受电地区电力系统中发挥作用的情况、电价市场竞争力等确定水电站装机容量的设计方法中存在着较大的问题,主要问题如下:

1) 在装机容量确定过程中,通常过分追求高的年利用小时数,对河水能利用而言,在一定条件下可基本达到水能的经济利用,但对整个电力系统而言,却并非一定如此。对日最小负荷率低、峰谷差大、调峰要求较高的电力系统,在峰荷时段往往对容量的要求极高,由于时段较短,对电量的要求则低得多,此时水电调峰容量往往不足,特别是华东电网,在负荷高峰期正值河流汛期,由于装机容量的限制,为确保水能的充分利用,水电往往只能用于电力系统的基荷与腰荷,采用火电降低出力进行调峰,大大增加调峰成本。

2) 在静态投资及动能经济指标分析中,水电采用单一电价,且电价水平相对偏低,往往难以真实体现出水电在电力系统中的重要作用。在经济分析中,宜考虑峰谷电价的合理拉开,通过经济杠杆充分反映大型年、季调节水电站在电力系统中的调峰、调频作用。随着技术进步,机组投入在整个水电工程造价中的比例越来越低,在大坝等水工建筑物已定的情况下,增加装机容量只是机组及引水发电系统费用的少量增加,所以,在经济分析中采用合理的峰谷差别电价,增加年、季调节电站的装机容量通常可以提高电站的经济指标,在电站实际运行过程中往往可以得到更高的投资回报。

3) 在经济评价中,水电对国民经济评价的作用没有有效的反映出来,水电是可再生资源,在电站完成投资建设后的运行期内,通过水能的自然循环取得源源不断的电力,不会实质性减小国家资源,然而

火电消耗的燃油及燃煤都是不可再生资源,不断利用就不断减少,终将消耗殆尽。目前,在煤炭市场化后,燃煤价格不断上涨,使得火电成本不断增加,水电的竞争力不断提高,因此,在水电站投资经济评价过程中,适当提高水电的价格水平,增加水电的装机容量,对各受电区电力系统的长远发展和稳定运行是十分有利的。

4 工程实例

某大型水电工程总库容 $77.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 调节库容 $49.1 \times 10^8 \text{ m}^3$, 属年调节水库, 设计装机容量 $360 \times 10^4 \text{ kW}$, 保证出力 1086 MW , 年利用小时数 4616 。该水库库容系数 0.128 , 较周边类似大型水电工程库容系统 ($0.045 \sim 0.10$) 高, 该电站建成后除满足地区电网需求外, 同时送电华东电网, 因此, 提高装机容量增加系统的调峰容量及备用容量是合理也是十分必要的, 在该电站建设经济评价过程中, 考虑装机容量 $385 \times 10^4 \text{ kW}$ 的比较方案, 采用峰谷差异电价与原可行性研究中的固定电价条件进行比较分析, 新增装机容量完全用于电网调峰, 考虑峰荷电价提高 50% , 计算结果如表 3 所示。

表 3 不同电价方案条件下装机容量选择的经济比较
Table 3 The cost comparison of the different hydropower installed capacity

| 项目 | 固定电价方案 | | 峰谷差异电价 |
|--|--------|-------|--------|
| | 方案 1 | 方案 2 | |
| 装机容量方案/ 10^4 kW | 360 | 385 | 385 |
| 工作容量/ 10^4 kW | 320 | 345 | 345 |
| 备用容量/ 10^4 kW | 40 | 40 | 40 |
| 年发电量/ $10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ | 174.0 | 176.9 | 176.9 |
| 水量利用率/% | 93.4 | 95.1 | 95.1 |
| 装机年利用小时数 | 4 835 | 4 285 | 4 285 |
| 补充装机年利用小时数 | | 1160 | |
| 工程静态投资/亿元 | 169.9 | 174.8 | 174.8 |
| 单位 kW 投资/元 | 4 720 | 4 541 | 4 541 |
| 单位电能投资/元 | 0.977 | 0.988 | 0.988 |
| 补充单位 kW 投资/元 | | 1957 | |
| 补充单位电能投资/元 | | 1.687 | |
| 总费用现值/亿元 | 97.0 | 98.3 | 181.0 |
| 投资内部收益率/% | 8.01 | 8.00 | 9.16 |
| 贷款偿还期/a | 25.1 | 25.1 | 22.3 |

通过以上经济比较可知,采用峰谷差异电价后,增加水电站装机容量的经济指标都有了一定的提高。增加装机容量 $25 \times 10^4 \text{ kW}$, 年发电量增加 $2.9 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 在电力系统调峰过程中可代替约 $10 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤的发电量, 对减小我国不可再生资源消耗, 降低环境污染等都是十分有利的。

在水电站装机容量确定过程中,采用不同的分析

比较原则,可能直接影响到水电站建设方案的经济评价结果,同时也可能最终决定了水电站装机容量的确定。根据目前我国电力系统调峰能力不足与系统调峰能力要求不断增大的矛盾,改变现有水电装机容量确定中的问题,适当增加水电站的调峰容量,对一定程度上缓解电力系统调峰压力是十分有利的。

5 结语

随着我国社会经济的进步,电力需求迅速增长,年际及日负荷峰谷差日益加大,电能结构的不平衡性导致电网调峰、调频能力低下且调节成本高。水电与火电、核电等电源相比,具有负荷变化成本低,调节速度快,具有极佳的调峰、调频性能。但是,在我国水电站建设经济评价过程中,通常采用单一电价和年利用小时数为主的水电站装机容量确定模式,难以真实反应电力系统中峰谷电量价值的差异性和水电站在电网中的调峰、调频作用,没有完全根据电网需要及水库径流调节能力合理确定水电站的装机容量,不利于电网中各电源的合理配置及水能资源利用效益的最大化。在电力逐步市场化、非再生性一次能源煤炭逐渐减少、环保要求不断提高的今天,从发电企业、电网乃至整个社会效益最大化的角度考虑,水电的装机容量定为多少才是最优的?水电站建设投资大、发挥效益时间长,与设计阶段充

分考虑水电站的装机容量相比,建成后进行水电站的扩容往往带来极大的资金投入,同时给工程安全也带来极大的风险,因此,在水电站设计中,如何确定水电站、特别是具有长期调节能力的大型水电站的装机容量?这些都是迫切需要解决的问题。

参考文献

- [1] 钟登华,曹广晶,成立芹.三峡电站优化调度研究[J].水利水电技术.2001,34(12):47~49
- [2] 成立芹,钟登华,熊开智.电力市场下发电方最佳策略研究[J].电网技术.2003,27(12):196~198
- [3] 钟登华,熊开智,成立芹.遗传算法的改进及其在水库优化调度中的应用[J].中国工程科学,2003,5(9):22~26
- [4] Zhong Denghua, Cheng Liqin, Xiong Kaizhi. Application Study of Dynamic Simulation in Water Transport System[A]. Fourth International Conference on Virtual Reality and Its Application in Industry[C]. Ballingham WA: SPIE. 2003
- [5] Zhong Denghua, Xiong Kaizhi, Cheng Liqin. Actuality and prospect of visual numerical simulation in water diversion systems [A]. Fourth International Conference on Virtual Reality and Its Application in Industry[C]. Ballingham WA: SPIE. 2003
- [6] Yan J A, Zhong D H, Cheng L Q, Liang X P. Study on decision-making and alternative optimum of urban flood control and disaster reduction[A]. Wu, et al (eds), Flood Defence'2002 Volume II[C], New York Ltd: Science Press, 2002, ISBN 1-880132-54-0, 1388-1394
- [7] 曹广晶.三峡水库优化调度研究[D].天津:天津大学.2004

The New Consideration of the Hydropower Installed Capacity

Xiong Kaizhi¹, Cheng Liqin²

(1. Ertan Hydropower Development Company Ltd., Chengdu 610021, China;

2. Civil Aviation University of China, Tianjin 300300 China)

[Abstract] This paper investigates the load development of power systems, the characteristics of the hydropower, and the tremendous advantages of the hydropower in peak adjusting of power systems. Using the East China power system as an illustrative example, the inconsistencies in the calculating principle of the hydropower installed capacity and the demand of the power system are assessed. A new calculating principle that minimizes the cost of the power system is proposed. The effect of the new calculating principle on the hydropower installed capacity is evaluated by using a real case. The analysis provides significant insights in calculating the installed capacity of large hydropower in China.

[Key words] hydropower, installed capacity, peak adjusting, power system