

我国抽水蓄能电站建设进展与运行情况综述

②

6-11

白宏坤 谈为雄[✓] 索丽生

(河海大学水利水电工程学院 南京 210098)

F426.61

TV743

摘要 介绍我国抽水蓄能电站建设进展与未来发展趋势,对我国已建成投产的各种抽水蓄能电站的运行情况和作用分别进行了综述,指出建造一定比例的抽水蓄能电站是提高电网整体安全经济运行的最佳措施。

关键词 抽水蓄能电站 电网 电能 综述 发展趋势 中国

自从1968年我国首次在岗南水电站从日本引进1台单机容量为1.1万kW的小型斜流可逆式机组以来,在华北地区已相继建成岗南、密云、潘家口三座混合式抽水蓄能电站。近年来,我国国民经济进入高速发展阶段,全国各主要电网的用电构成都发生了质的变化,且许多电网的水电比重也逐年下降,水电调峰能力减弱,降低了火电机组的发电效益和安全,使调峰的矛盾日益突出,最有效的解决措施就是在负荷中心附近兴建抽水蓄能电站。

按照我国的电力发展规划,2000年总装机容量将达 3×10^8 kW,如果按抽水蓄能电站容量占总容量比重的8%~12%计算,到本世纪末我国抽水蓄能电站装机应达到2400~3600万kW;若按发达国家最高比重计算,应达到5000万kW。我国现已建的容量仅为540万kW,远远低于应达到的标准,所以必须大力发展抽水蓄能电站^[1]。目前我国已建成广州、十三陵等抽水蓄能电站,正在建设天荒坪抽水蓄能电站。近几年,我国的抽水蓄能电站建设的新趋向可概述为下面几点。

a. 大中型抽水蓄能电站规划选点前期工作加快。规划、设计、建设抽水蓄能电站的

热潮,从华北、东北以及沿海各省市竞相掀起,如华北的张河湾、板桥峪、西龙池、雾灵山、遥桥峪、桃花寺等,东北的青石岭,广东的广州抽水蓄能电站Ⅱ期,山东的泰安等都是选出的较好的站址。

b. 地方性电网也在大力发展抽水蓄能电站。目前,不仅全国各大电网都在积极选点、筹建,各省网和地方电网也在积极开展这项工作。浙江省电网的宁波市电网,正在建设溪口抽水蓄能电站,鄞县电网也完成了龙观抽水蓄能电站的初步设计工作;河南省电网正在进行宝泉抽水蓄能电站的初步设计,南阳地区电网则已完成回龙抽水蓄能电站的初步设计工作;安徽省电网正在抓紧响洪甸水电站改建成混合式抽水蓄能电站和琅琊山抽水蓄能电站的设计工作;江苏、福建等省拟建的站点也很多。

c. 建设调水式抽水蓄能电站。调水式抽水蓄能电站可以实现跨流域调水,从而可以解决调节性能差的缺陷,实现系统负荷的日调节、周调节和年内调节,提高水电站在枯水期的保证出力。

国内外对水电站,特别是抽水蓄能电站的静态效益、动态效益的研究已取得了很大

第一作者简介:白宏坤,女,博士研究生、从事水电系统优化规划及动能经济研究。

的进展。抽水蓄能电站的效益可以用我国已建成运行的抽水蓄能电站的实例来说明。

1 广州抽水蓄能电站

广州抽水蓄能电站^[2,3]所在的广东电网,1994年发电设备容量为1023万kW,其中水电204万kW,火电800万kW。1994年电网最高日负荷为670万kW,最大峰谷差为293.4万kW,1995年电网最高日负荷为709.4万kW,最大峰谷差为303.8万kW。全省水电调峰能力约65万kW,火电调峰能力约100万kW。以往在高峰时段,采用大量购买香港电力调峰,最大购电功率达110万kW。由于电力供应严重缺乏,很多耗电大户都自己设置有预备发电机组以保证在尖峰负荷时能连续供电,尽管如此,仍需频繁采用拉闸限电方式来保证电网的正常运行。

广州抽水蓄能电站建于广东省从化市吕田镇,装机容量为4×30万kW,水库库容能满足4台抽水蓄能机组满载发电6h。它的建设,就是为了解决电网中快速增长的尖峰负荷需求和为了配合省内的大亚湾180万kW的核电站的运行。

电站主体工程于1989年5月25日开工,电站自1993年6月29日第一台机组投入运行,1994年12月1日4台机组投入商业运行以来,以其运行方式灵活、启动快速、调峰调频性能优良等特点,在确保广东电网的安全稳定运行方面发挥着重要作用。

1.1 调峰填谷

1994年夏季负荷高峰期间,由于该电站提供了几十万千瓦的发电容量,广东电力中心调度所没有因发电容量不足而限电,并且由于该电站的投产,在1994年下半年以后,广东电网基本做到不临时拉闸限电。电站作为大亚湾核电站的配套工程,无论在配合核电机组甩负荷实验,还是在保证核电机组满载稳发方面都起到十分重要的作用。1994年其抽水用电量是11.9亿kW·h,有相当的份额是吸收核电的低谷电量,其中香港中华

电力公司使用的50%的容量,要吸收70%核电的低谷电量。它正常运行年份,可使大亚湾核电站发电量从100亿kW·h增加到126亿kW·h。

1.2 事故备用

1994年5月起,该蓄能电站曾响应10次电网故障,其中核电机组跳闸4次,广东电网与西南电网解列4次,由于蓄能机组迅速增加出力,对恢复电网运行频率起着重大的作用。1994年8月29日17时8分,蓄能电站3台机组运行于发电工况,总出力56万kW,核电1台机组跳闸使电网频率下降到48.9Hz,蓄能电站3台机组在几秒钟内自动加满负荷,总出力达99万kW。1995年该电站响应过26次电网故障,1996年1~6月响应过18次电网故障。

电站投运以后,中华电力公司电网用于事故备用的燃气机组就极少启动,仅此一项就为中华电力公司创造了可观的经济效益。

1.3 无功控制、电压调整

电站靠近负荷中心,对电网无功控制、电压调整起着一定的作用。1994和1995年春节期间,广东电网负荷都很低,如1995年1月30日,电网最低负荷只有192万kW,500kV电压有时高达540kV以上,电网除采取其它控制措施降低电压外,还充分利用蓄能机组进行调相运行来吸收电网多余无功,对稳定500kV运行电压取得了相当理想的效果。在1995年春节期间(1月29日至2月4日),蓄能电站共吸收无功电量17502MVar,平均每天吸收2500MVar,最高吸收无功功率达316MVar^[3]。

1.4 其它作用

通过蓄能机组,汛期减少水电站弃水,保证水电站带基荷满发,汛期将西南电网廉价低谷水电转换成高峰时段电力,都取得了较好的经济效益。1994年广东电网共购西南电网电量28.75亿kW·h,比1993年增长88%。

电站的建设,除对电网调峰填谷、配合核

电站运行外,还为电网提供事故备用和调频、调相、调压作用,而且可使电网内的火电站充分发挥设备容量,增加出力,从而大大提高了电网的整体经济效益。

2 潘家口混合式抽水蓄能电站

潘家口混合式抽水蓄能电站^[2,4,5]是我国目前最大的混合式抽水蓄能电站,它所在的华北电网的京津唐电网,是典型的以火电为主的电网。电网长期处于电力紧缺状态,目前缺电严重,更缺乏调峰容量,长期靠计划用电、拉闸限电和压负荷保谷等措施来保证电网安全运行。1989年京津唐电网最高负荷为636万kW,全年拉闸限电达208848条次,给人民生活带来极大的不便,也严重地制约了本地区国民经济的正常发展。

潘家口水利枢纽是引滦工程之首,电站上库为一多年调节水库,总库容29.3亿m³,水库水位年际变化较大,下库为反调节库容,库容较小。电站装机容量42万kW,装有1×15万kW的常规机组和3×9万kW的抽水蓄能机组,常规机组于1981年正式并网运行,抽水蓄能机组于1991年7月投入试运行,1992年底全部投入运行。

该电站加装抽水蓄能机组后,由一个“以水定电”的季节性电站变成长年发电的水电站,给电网带来了多方面的效益。

2.1 解决发电与供水的矛盾

由于潘家口水库的主要任务是向下游天津、唐山两市提供城市及工农业用水,结合供水发电,且下泄流量不均匀,需视下游用水而定,最大月供水3.66亿m³,最小月供水0.14亿m³,相差近26倍。常规机组只能在供水期内运行,为季节性运行,而安装抽水蓄能机组后,常规机组、蓄能机组互为补充,参加电网的调峰运行,运行方式灵活。蓄能机组在每年4~6月作为常规机组运行,从7月到来年3月作为蓄能机组运行,潘家口电站平均每年发电量5.89亿kW·h,其中2.38亿kW·h是常规机组的发电量,剩下的是抽水蓄

能机组的发电量。

2.2 调峰效益

该电站所处电网是以火电机组为主的电网,在总装机容量中,火电机组比重为87.72%,水电装机86.25万kW,占4.32%,火电中单机容量在10万kW以上的有84台,共1489.5万kW,占78.5%,属高温高压机组。由于其启停需要较长时间,只能靠压20%~30%负荷来参加系统调峰,而且增减负荷的速度较慢,一般为每分钟增减额定容量的1%,而可以作为调峰启停的中低温机组全部算上仅占14%,一些安装在边远偏僻地区的机组不可能参加开停调峰,1992年全网最大峰谷差值540.2万kW,电网的调峰十分困难,基本手段是限制供电指标或拉闸限电。

潘家口3台抽水蓄能机组的投入运行,能在电网调峰中起一定的作用:高峰时能迅速带上27万kW以减少低周波运行时间;低谷时开机填谷,以补偿因火电机组压负荷而引起的高周波运行,特别是减少火电机组的开停。

在1991年7月11日投产的抽水蓄能2号机组,至1992年8月31日,机组累计运行了1902h,为华北电网调峰发电9447万kW·h,起到了显著的调峰填谷作用。

2.3 事故备用

电站为系统提供事故备用容量,紧急时可及时开机,以避免由于系统中突然发生的事故停电对国民经济带来的巨大经济损失。电站3号和4号抽水蓄能机组在1993年前4个月的运行中,平均每天发电、抽水各开停3.5次,其中实际开停最多的为2月17日,抽水开停各4次,发电运行开停各3次。在2月5日连续运行时间最长,4个月内两机运行时间超过1500h,占日历时50%以上,按抽发电量计算,平均综合效率为71.84%。

2.4 能量转换效益

由于抽水时的填谷作用,可以改善火电机组的运转条件,使担负腰荷的火电机组不必压负荷运行,使之能以均匀的出力在最优

工况运行,既可提高火电机组的利用率,延长机组寿命,又能减少运行维护费用,降低发电煤耗。如华北电网中 10 万 kW 机组压到 5 万 kW 运行,煤耗增长为 $60 \sim 80 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$,厂用电增长 4%。蓄能电站的建设适应了所在电网的需要,改善了火电的运行条件。

2.5 经济与社会效益

电站运行可分为两个时段:集中供水期蓄能机组按常规机组运行,补充常规机组的不足;抽水发电期蓄能机组多抽水,供常规机组发电,也补充了蓄能机组的不足,两种机组互为补充可以达到少耗电多发电的目的,提高了电站的经济效益。电站的建成,可免建替代火电站,节约投资,改善电网运行条件,每年为系统节煤 25.8 万 t,减少对环境的污染,缓和供电紧张的局面。

3 调水式抽水蓄能电站

湖南慈利抽水蓄能工程^[6]是一调水式抽水蓄能电站,它于 1990 年 7 月建成投产。这种抽水蓄能电站的特点是:①下水库有天然径流来源,上水库没有或有较少天然径流来源;②调峰发电量往往大于填谷的耗电量。慈利抽水蓄能电站从沅水支流白洋河上游渠溶溪的渠溶抽水站抽水至赵家垭水库,赵家垭水库后设 3 级水电站,共装机 12300kW,发电后的尾水流入澧水支流零溪河,年抽水 1670 万 m^3 ,年抽水用电量 340 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,年发电量 1390 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,形成跨流域抽水→引水→蓄水→发电的完整体系,是我国第一座跨流域的抽水蓄能工程,电站投产后运行良好。蓄能工程的上库赵家垭水库,集雨面积 33.5 km^2 ,年平均来水量 3 300 万 m^3 ,库容 6658 万 m^3 ,库容系数大于 2,常年不能蓄满,是年内调节的蓄能工程,调节性能很好,且由于水库位置高,落差大,用来发电效益好。先后建一、二、三级电站来发电,水头达 380 m。蓄能电站的渠溶抽水站,位于沅水支流白洋河上游的渠溶溪,集雨面积 24.5 km^2 ,水库(下库)容积小,不能存储,必须及时抽入

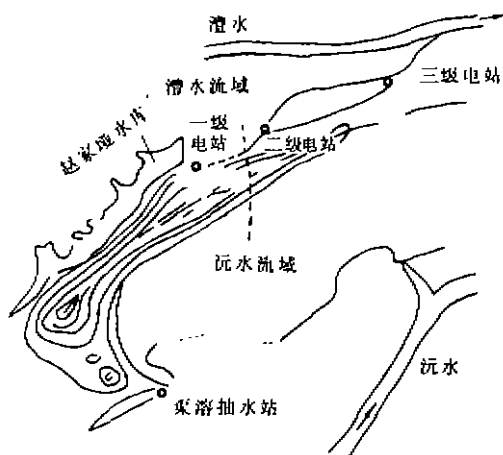


图 1 慈利抽水蓄能工程平面位置示意图

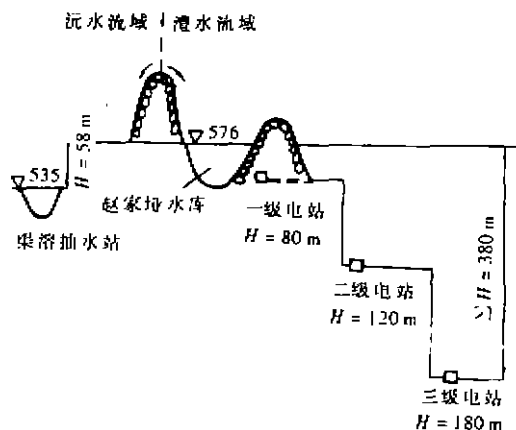


图 2 慈利抽水蓄能工程剖面图

库,抽水最大扬程 58 m。图 1 和图 2 是慈利抽水蓄能工程平面位置示意图和剖面图。

慈利县电网 1990 年全县总装机容量 4 万 kW,其中水电 3.25 万 kW,火电 0.75 万 kW,系统中水、火电比例为 0.81:0.19,是一个以水电为主的地方小电网。针对电网以水电为主的特点,电力系统需要的是补充枯水期电能,提高系统保证出力,抽水蓄能电站就是基于这种需要而建的。

慈利抽水蓄能电站的建成,完成了三个调节:①跨流域引水调节;②丰、枯水期调节;③峰谷用电调节,对电网产生了很大的效益。

3.1 跨流域引水调节

电站由于跨流域引水而形成发电水头的优势,其抽水运行只决定于抽水站的来水情

况,而不依赖于系统的供电情况,且抽水扬程与发电水头之比为1:6.5,抽水耗电 $1\text{kW}\cdot\text{h}$,可换得发电 $4\text{kW}\cdot\text{h}$,发电量大于抽水耗电量。

3.2 丰枯水调节

慈利电网占80%以上比重的水电中,大部分是调节性能差的水电站,每年丰水季节(主要是5~7月)径流电站满发时,火电停机,抽水蓄能电站大量抽水并负担系统调峰和备用;枯水季节(主要是11月至来年3月)由于来水减少,水电出力不足,火电全开尚不足以满足需要,抽水蓄能电站发电,并负担系统部分调峰和备用,增加枯水期电能,实行年调节,转换季节电能为保证电能,提高系统保证出力,全年为系统提供调峰和备用,提高系统的电能质量。

3.3 峰谷用电调节

电站的调节性能很好,是年调节,平时在进行年调节时也可以同时进行日调节、周调节以满足调峰填谷的需要。此外还可担负系统调频、调相、负荷调整、旋转备用,提高系统运行的灵活性和可靠性。

3.4 效益

电站不仅增加了系统的电能,提高了电能质量,同时还可以担负系统调峰和备用。其直接经济效益按湖南现行电网电价计算,丰水期 $0.07\text{元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,枯水期 $0.12\text{元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,考虑线损10%,丰水期抽水量占90%,枯水期抽水量占10%,则增加年发电收入138.5万元,年利润85万元,8年可收回投资。增加社会总产值3753万元,可替代小火电容量5000万kW,每年可节省原煤2万t。按华中电网动态效益分析成果,小水电每千瓦为系统提供的调峰、调频、调相、事故备用等动态效益平均约60元/a,则每年增加系统动态效益30万元。

慈利抽水蓄能工程规模虽小,作用和效益却很大,这对于水电比例相对较大的华中电网和西南电网的电源结构的优化是一个很好的启示。如果适当地建设一批这样的电站,将会对西南电网的电网结构改进起重大

作用。

4 结 语

a. 一定比例的抽水蓄能电站的建设是必要的,而且它抽水所需要的电能是完全有保障的。电网中需不需要建设抽水蓄能电站,可以由火电、核电技术最小出力的总和是否大于系统最低负荷值的比较中得出。我国的各大电网如广东、华北、华东等电网的火、核电技术最小出力总和均大于系统最低负荷值,在低谷,机组压低出力运行或停机很难满足负荷要求时,建设一定比例的抽水蓄能电站可将火、核电机组在低谷运行时发出的大于最低负荷值的部分电能作为其抽水电源,这样,既满足了机组的运行条件,又解决了抽水电源问题。

b. 电力系统负荷特性不断变化,抽水蓄能电站的作用日益重要。随着社会进步,电力系统的用电结构也在不断发生变化,日最小负荷率 β 和日平均负荷率 γ 都在不断的减小,这对整个系统运行都会有很大的影响,非常不经济,而抽水蓄能电站填谷调峰作用将它放在了调峰电源的前列。

c. 抽水蓄能电站投入电力系统运行,产生了巨大的经济效益。抽水蓄能电站投入电力系统运行,改善了火、核电机组的运行条件,同时由于在系统中还具有调频、调相、事故备用等作用,可提高电网运行的可靠性,给电力系统带来经济效益。

d. 混合式抽水蓄能电站发展大有潜力。我国有很多中小型综合利用水库,这些水库往往由于综合利用的要求,不能根据需要来发电,水电不能得到充分利用,加装抽水蓄能机组之后,解决了用水和发电的矛盾,使常规机组的利用小时大大增加,能充分利用天然径流发电,减少弃水。将这些综合利用水库改建为混合式抽水蓄能电站可大大提高这些电站在电网中的作用。

e. 在西南电网大力推广调水式抽水蓄能电站。在西南电网所在地区,水力资源特

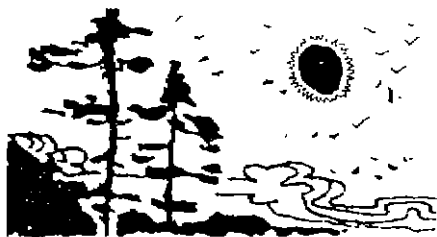
别丰富,占全国的67.8%,但已开发的还不到5%,电网中电源多为小水电,水电的调节性能均较差,在最近乃至将来一段时间内,西南电网将着重于水电开发,水电的比重就会逐渐增大,其调节性能的问题将越来越成为电网的关键问题,因此在西南电网一些有条件的地区建设调水式抽水蓄能电站对电网结构的改进会起到决定性的作用^[2]

实践表明,抽水蓄能电站是混合电源系统的重要组成部分,它可以以多种形式来配合电网的安全运行,开发它与火、核、径流式水电匹配运行,是提高电网整体安全经济运行的最佳措施。随着21世纪的来临,它已经发展成为一种综合性资源管理技术,不仅能提供现代社会所需的优质电力,而且还能适应由于资源匮乏而引起的资源方面的挑战。

参考文献

- 1 贾毅.中国的抽水蓄能电站应有大的发展.见:中国水力发电工程学会等主编,'93抽水蓄能技术经济研讨会文集 天津:天津科学技术出版社,1994.8~9
- 2 杨德晔主编.中国电力百科全书 水力发电卷.北京:水利电力出版社,1995
- 3 黄国祯.广蓄电厂在电网运行中的作用.广东电力,1995(2):40~42
- 4 杨承沪.潘家口抽水蓄能电站在华北电网中的作用.见:中国水力发电工程学会等主编,'93抽水蓄能技术经济研讨会文集 天津:天津科学技术出版社,1994.126~130
- 5 陈育文.论混合式抽水蓄能电站的开发.水电技术经济,1992,10(4):25~29
- 6 陈金安等.我国第一座跨流域抽水蓄能电站运行情况介绍.水力发电,1992(1):61~63

(收稿日期:1997-01-27 编辑:熊水斌)



什么是知识经济

1996年年底,经济合作与发展组织(OECD)在一份题为《1996年科学、技术和产业展望》的报告中,首次提出了“以知识为基础的经济”的概念,并对知识经济作了比较全面、系统的阐述。该报告是西方国家对这一新的经济理论研究的总结。

这份报告除了阐述“知识是提高劳动生产率和实现经济增长的驱动力”“知识投资的特征是增加回报率”等主要论点外,还比较全面地介绍了知识经济的其它主要概念:

①知识传播是经济运行的基础要素。国家创新体系的结构是推动经济发展的决定性因素。

②在知识经济中,对有熟练技能的劳动力的需求日益增长,因此,要通过促进公众掌握学习知识的能力,来提高人力资本的素质。

③主要由公共研究机构 and 高等院校组成的“科学系统”是知识生产、传播和转让的关键因素。科学系统不仅应具备生产知识和传播知识的功能,而且还应具备把知识转让给经济部门和社会其它部门的功能。

④在知识经济中,政府在科技、产业和教育方面的政策,应着重于促进知识的传播,以及提高人力资本素质和促进组织结构改革。

⑤在知识经济中,知识的传播和知识的生产同等重要,因而更加重视“知识传播网络”和“国家创新体系”。

⑥要通过改进传统的R&D经费和人员投入的指标,制定一套知识经济指标体系来测度:知识对经济的贡献率(知识产出、知识投资的回报率、知识投资对经济增长的影响等);知识的传播(特别是知识传播网络和国家创新体系的功能);知识的学习(人力资本的开发和技能的熟练程度等);知识的存量和流量以及知识投入等等。

(摘自《互联网世界》,1998(5))