

抽水蓄能电站综述

王海曙

(河海大学图书馆 南京 210098)

TV743

124.7.6/3.8

摘要 介绍 90 年代国内外抽水蓄能电站建设动态的发展前景。认为抽水蓄能电站是当今电力系统用于快速加荷和卸荷,解决日负荷调度问题的最佳途径。并指出由于绝大多数抽水蓄能电站厂房设置于地下,又处于负荷中心,洞室(厂房)的结构分析计算,动态效益数学模型的理论依据,电站泥沙引起的库容淤损,上下库进水口旋涡以及大型可逆式水泵水轮机的研制等问题有待进一步研究。

关键词 抽水蓄能电站 动态效益 旋涡 调峰 地下厂房 泥沙

随着经济的发展以及人们生活水平的提高,电力系统的日负荷峰谷差越来越大,预计到 21 世纪初,我国东北、华北、华东均将成为几万 MW 的大电力系统,它们的峰谷差将超过 1 万 MW^[1],如华东电网的峰谷差将达到 1.232 万 MW。因此,迫切需要提出解决调峰填谷的有力措施,从根本上解决峰谷差的问题。兴建抽水蓄能电站是较好的举措。

1 国内外抽水蓄能电站建设现状

国际上在 60 年代开始大力兴建抽水蓄能电站,在电站建设方面有了成熟的经验。在西欧有些国家,目前已处于饱和状态,如意大利在 60~80 年代是鼎盛时期,抽水蓄能电站由 700 MW 增加到 7 000 MW^[1~3]。日本到 1999 年抽水蓄能电站的总装机容量将达 2 299 万 kW,占日本全部装机容量的 10.2%,占全部水电装机容量的 52.5%^[4]。日本在使用变速水泵水轮机可逆式机组方面获得了很大成功,这种机组可以很快由抽水方式转变到发电方式,反之亦然,可同步发电,更重要的是在抽水方式中允许负荷直线上升。目

前世界上已建成抽水蓄能电站 290 座,其中中国 4 座(包括台湾 1 座);正在施工的有 42 座,其中中国 5 座;在规划中 551 座,中国有 7 座,总计 883 座,总装机容量为 501 376 MW。

目前世界上有 448 座大型地下水电站,而抽水蓄能电站占其中 1/4 以上^[3]。中国最大的天荒坪抽水蓄能电站总装机容量为 1 800 MW,水头为 510 m,电站为地下厂房,尺寸 200 m×20 m×46 m,是我国华东电网调峰填谷的骨干电站,它距杭州仅 57 km,距上海 175 km,距南京 180 km。

60~80 年代,是西欧一些国家兴建抽水蓄能电站的最盛时期,而在东亚一些国家,目前正在大力兴建抽水蓄能电站,尤其是中国和日本,详见表 1^[3]。日本大川池(Ohkawachi)抽水蓄能电站,装机容量为 1 320 MW,于 1994 年建成,安装了世界上最大的可调速抽水蓄能机组,由 Kansai/日立公司对调速抽水蓄能机组进行长期的研究开发,这种机组在抽水方式与发电方式中负荷均可调节。1993 年底该公司在大川池站投产了 2 台 400 MW 的可调速抽水蓄能机组,在发电工况中,转速

作者简介:王海曙,女,工程师,从事情报检索与文献资源的开发工作,曾发表《封闭式吸水池的实验研究》等论文。

表 1 几个国家抽水蓄能电站统计

国 名	已 建		正在施工		规 划		总装机容量/MW	占世界总装机容量比例/%
	站数	装机容量/MW	站数	装机容量/MW	站数	装机容量/MW		
中 国	4	1283	5	5490	7	7000	13773	2.75
日 本	38	17005	8	5480	440	329116	351601	70.10
法 国	22	4900	0	0	0	0	4900	0.98
德 国	35	5688	0	0	1	1060	6748	1.34
美 国	38	18091	2	975	34	20287	39353	7.85
西班牙	23	4915	3	1320	11	-	6235	1.24
意大利	20	6449	3	600	1	1000	8049	1.60

可以调节,系统出力变化范围为 96~320 MW;在抽水运行中,也可调速,系统输入功率的变化范围为 210~400 MW^[5]。又如美国南卡罗来纳州的巴德克(Bad Creek)抽水蓄能电站,总装机为 1440 MW,装有 4 台单机可逆式水泵-水轮机。该站在设计过程中对基岩进行了深勘探钻孔水力压裂试验(高压压水试验进行到岩石开裂),而开裂的方向用感应检测定,并计算出洞室岩体的主应力。另一种方法拟定在电站洞室顶部开挖试验量测孔,进行实地测量研究。采用上述两种方法测得岩体应力很接近,说明水力压裂法论证地下厂房布置方案,是既可靠又省钱并节省时间的一种方法^[5]。

2 我国已建抽水蓄能电站运行实例和发展规划

我国抽水蓄能电站的建设虽然迟后西欧国家一二十年,但在吸取西欧经验的基础上,近年来发展很快。北京十三陵抽水蓄能电站虽然容量不大(4×200 MW),水头 430 m,但所处的地理环境优越,距北京的中心电网仅有 40 km,在规划设计时特别注重环境问题,并与人文景观和旅游资源融为一体,因此,它不仅是北京电网系统中调峰填谷的骨干电站,也是北京地区的重要景点,为我国库区旅游资源的综合利用提供了一个典型范例^[6]。

广州抽水蓄能电站装机容量 4×300 MW,水头为 543 m,离广州电网中心 90 km,与已建的大亚湾核电站联合运行,由电网调度充分发挥该电站的作用,起到了调

峰填谷,事故备用,调频、调相的主导作用。1995 年广州抽水蓄能电站改为与大亚湾核电站联合租赁的经营方式,1995 年电站抽水耗电量为 13.68 亿 kW·h,发电量为 10.7 亿 kW·h,比 1994 年增加 17%;机组可用率为 83.5%,机组启动为 3397 台次,成功率为 96.2%,比 1994 年启动增加 30%,成功率提高 2.6%。以上主要生产运行指标,均接近世界大型抽水蓄能电站运行水平。该站在 1995 年出售给香港抽水蓄能发展有限公司 3×30 万 kW·h 电量,价值 5000 万港元,取得了较好的经济效益^[7]。

华中、华南地区虽然水力资源丰富,但由于水电站的调节能力差,枯水期出力小,而在汛期基荷容量过剩,造成在低谷时大量弃水现象。为了充分利用汛期过剩的水力资源,填补枯水期出力不足,准备在广西地区筹建抽水蓄能电站^[8]。湖南省对当前电网调峰状况进行分析,预测远景的调峰要求,在查勘、调查研究的基础上拟在湖南平江福寿山建一座水头为 793 m,装机容量为 3000 MW 的平江抽水蓄能电站,详见表 2^[9]。

表 2 湖南省抽水蓄能电站规划

年 份	容量/MW	占中南电网的比例/%
2000	520	4.3
2010	1660	6.8
2020	3720	9.1

长期以来华北地区的电网主要以火电为主,缺乏调峰容量,要解决此矛盾只有兴建抽水蓄能电站。最近在海河流域太行山、燕山地区进行选点分析,初步选了 24 个点,其总

装机容量为 2123 万 kW。宝泉抽水蓄能电站位于河南省北部辉县境内的海河支流峪河干流上,拟利用已建的宝泉水库作为下库,在该库区左岸支流东沟上新建上水库,最大毛水头为 572 m,初步计划装机容量 4×300 MW,年发电量为 20.1 亿 kW·h,年抽水量耗电为 26.8 亿 kW·h。山西省拟在滹沱河上建西龙池抽水蓄能电站,装机为 100 万 kW,年发电量为 18.25 亿 kW·h。河北省在甘陶河上拟建张河湾抽水蓄能电站,装机为 100 万 kW,年发电量为 17.88 亿 kW·h^[10-12]。

3 抽水蓄能电站建设需解决的问题

抽水蓄能电站是一项综合性很强的技术工程,它涉及的专业面很广,如经济效益的评估方法,水工,水力机械,电气,水力学及岩石力学的结构计算,地下洞室岩土力学的反分析,以及岩石裂隙渗流的耦合分析等等。由于它要具备上下库才能工作运行,机组常采用可逆式机组,兼作水轮机和抽水机方式运行,所以机组的安装高程一般低于下库死水位以下几十米,因此绝大部分抽水蓄能电站厂房设置于地下,以适应变化很大的下游水位。如美国 1992 年兴建的霍普山抽水蓄能电站,地处纽约负荷中心,竣工后发电设备全处于地下,其装机容量为 200 万 kW,是一座电站建筑与艺术融合一体的大型地下抽水蓄能电站^[13]。由于众多抽水蓄能电站地下厂房的特定条件,就有许多特定的问题有待解决。

3.1 地下洞室(厂房)的结构分析计算

地下洞室群围岩稳定分析是目前地下工程中一个重要的研究课题。岩体裂隙渗流耦合应力的分析,地下洞室岩土力学的反分析,围岩进行防渗灌浆处理,混凝土施工垂直联接周边应力分析,边坡的稳定分析计算等,均是目前许多学者所研究和探讨的课题^[14-16]。

3.2 建立动态效益数学模型的理论依据^[2]

为了弄清抽水蓄能电站灵活运行给电力系统带来的总体动态经济效益,调度员和操作人员必须对机组运行实时监测,统计分析一个有代表性的年份,从中选定有代表性的参数作为建立数模的理论依据,弄清动态效益的数量,以便更好地促进抽水蓄能电站的建设。

3.3 抽水蓄能电站的泥沙问题

抽水蓄能电站需反复抽用下库的有效库容中的水量,因此过机的年水量往往比入库的总水量要大。例如,辽宁的蒲石河抽水蓄能电站,年总抽水量为 30.6 亿 m^3 ,为入库年径流量 7.47 亿 m^3 的 4.1 倍,这样势必影响上下库有效库容的淤损,以及过机泥沙对机组磨损影响,这是抽水蓄能电站设计运行需要考虑的重要问题^①。

3.4 上下库进水口旋涡问题^[16]

抽水蓄能电站的主要特点之一是启动频繁(如广州抽水蓄能电站在 1995 年启动 3397 台次,平均每天启动 9 次之多),引起上库进(出)水口与下库进(出)水口的水位变化频繁,水位消落深度大(如美国的 Bad Creek 抽水蓄能电站上库最大消落深度为 48.8 m,下库为 9.1 m)^[5]。在进水口处产生不均匀的水流条件,容易形成轴向旋涡与横轴旋涡,使水流出现脱流现象,机组产生振动和空蚀。为了消除或减少旋涡,要通过水工水力学模型试验来确定防涡栅和防涡隔墩的尺寸。

3.5 抽水蓄能电站的机组问题^[18]

抽水蓄能电站机组的投资占整个投资的比重较大,而我国大中型机组几乎全部由国外引进,可以说大型可逆式的水泵水轮机在我国的设计与制造尚属空白。要发展我国的抽水蓄能电站的建设,一定要加强抽水蓄能电站可逆式机组的设计与制造,争取早日做到可逆式机组的国产化,以减少设备投资,从而降低电站的总造价。(下转第 32 页)

①陈储军等.蒲石河抽水蓄能电站泥沙问题分析.1997 年水电水利工程水文泥沙技术总结研讨会论文,湖北,宜昌,1997,6

3.3 安全监测措施

3.3.1 大堤外部监测系统

大堤外部监测系统为端点提供可靠准确的基准,通过这些视准线端点测量大堤各测点的位移。监测网的起算点设在远离变形区的山上,距受采动段干堤约 6 km,见图 6。

3.3.2 大堤内部监测系统

选择干堤的 3 个断面与行洪堤的 4 个断面,各布置 3~4 根测斜管,利用测斜管以伺服式加速度计或倾斜仪测定内部水平位移,以 CT—1 型电磁式沉降仪测定堤内竖向位移。每个断面布置 3 条垂线,采用 CZ—2,

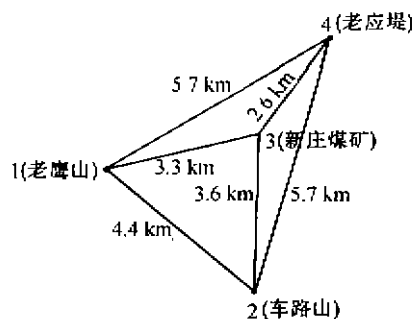


图 6 外部监测网

CZ—4 型孔隙水压力计观测堤体、堤基的渗流情况。

(收稿日期:1997-08-25 编辑:许宇鹏)

(上接第 23 页)

以上列举了几个主要研究课题,这些课题的解决,可以更加提高抽水蓄能电站的经济效益,增加电站的安全可靠性,使抽水蓄能电站在 21 世纪获得新的发展。

参考文献

- 1 陆佑楣,潘家净.抽水蓄能电站.北京:水利电力出版社,1992
- 2 周之豪,陈崇仁,王海曙.抽水蓄能电站建设的新发展.河海大学科技情报,1989,9(3):1~8
- 3 International water power and dam construction 1997 year book. Wilmington Business Publishing, 1997
- 4 中国水利学会,水利部外事组,水利部科技教育司.国外水利水电考察报告选编 上册.北京:水利电力出版社,1993
- 5 Cgeol MSc Die FGS. Pumped storage part II: North America Africa and Asia. International Water Power and Dam Construction, 1995, 47(7): 34~36
- 6 赵真.抽水蓄能电站与环境.水力发电,1997(3): 8~10
- 7 广蓄电力联营公司.转变经营方式后广州抽水蓄能电站 1995 年生产经营扭亏为盈并成为广东省创汇项目.水力发电,1996(4):2
- 8 张绍康.广西建设抽水蓄能电站的必要性和效益.广西科学,1995,2(1):72~76
- 9 刘世澄.湖南电网抽水蓄能电站规划的初探.华

中电力,1996,9(1):1~4

- 10 李景崇,赵大洲.河南省兴建抽水蓄能电站的必要性论证.水力发电学报,1997(2):1~7
- 11 Cheng Xuemin. Recent progress in pumped strage schemes in China. International Water Power and Dam Construction, 1993, 45(2): 16~19
- 12 唐文华.海河流域抽水蓄能电站选点的初步总结.水力发电学报,1994(2):1~8
- 13 雷利·保,戴延安 F. 霍普山工程(美)抽水蓄能电站的艺术杰作.国外水电技术,1996(1):1~8
- 14 Kaiser P K. Stress determination by back-analysis of excavation--induced stress changes—a case study. Rock Mechanics and Rock Engineering, 1990, 23(3): 185~200
- 15 Amvsn B Z, Shick V M. Using back analysis to estimate geotechnical field parameters for the design of support systems for tunnels. Tunnelling and Under Ground Space Technology, 1992, 7(3): 281~284
- 16 Lapin G G. Experience abroad in the construction of hydro-electric pumped storage power station. Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo, 1992(6): 26~30
- 17 Bestuzheva N P. Hydraulic studies of the after bay at the zagorsh Hydro-Electric Pumped Storage Power Station. Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo, 1992(8): 34~38
- 18 陈守伦.抽水蓄能电站的规划与经济评价——'94抽水蓄能工程国际学术讨论会论文综述(一).水利水电科技进展,1995,15(2):6~7

(收稿日期:1997-07-22 编辑:熊水斌)