

# 蓄能运行有利于风电等 新能源的可持续发展

曹楚生<sup>1,2</sup>

(1. 天津大学, 天津 300072; 2. 水利部天津水利水电勘测设计研究院, 天津 300222)

[摘要] 蓄能运行即通过不同蓄能设施利用电网低谷剩余电能储存转换,变成和再生能源一样,可周而复始更新使用,形成可持续发展的循环机制。蓄能设施涵盖抽水蓄能和其他蓄电、蓄能装置。当今水电发展受限于水能资源,在原电力开发基础上再考虑蓄能运行后可使之步入新的境界,有利于风电等新能源和整个电网的可持续发展。

[关键词] 蓄能运行;风电;可持续发展

[中图分类号] TM614 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)11-0093-05

## 1 前言

笔者有幸参与中国工程院海上风电论坛会议,会议上听取了工程介绍和现场考察,感到东海大桥海上风电示范工程,在开工短短几年内已初具规模,其中3台风机已成功投入运行,实令人可喜可贺!参与会议的专家代表对东海大桥海上风电示范工程的宏观和微观问题,如设计科研、建设施工、风机研制、防腐防雷、成本经济、风险管理、环境生态等方面各抒己见。对设计科研、建设施工、风机研制、防腐防雷、成本经济、风险管理、环境生态以及陆上海上(风电)、国内国外、并网和并不网、多元化应用(海水淡化、电化铝等)、气候变化等进行探讨。此外还提出了一些耐人深思的问题如:会不会发不出电、联不进网;集中、分散开发孰优;还指出风电存在的随机不稳定和间断性应设法予以改进。笔者认为,蓄能运行有利于风电等新能源和整个电网的可持续发展。

## 2 电能发展新形势

我国电能以火电为主,近年已近九成,煤炭石化等能源燃烧后排出的有害气体因其温室效应而造成

气候变暖已成为全球重大问题。近些年已制定节能减排规划,除逐步改用洁净煤等发电技术外,还提出一系列发展清洁能源如水电、核电、风电、太阳能电等的决定。故在优化电源组成,积极发展清洁和可再生能源至关重要。今将文献[1]~[4]在这方面发展和前景分述于下:

1)水电。我国水能资源蕴藏量 $6.76 \times 10^8$  kW,其中可开发容量 $3.78 \times 10^8$  kW,为世界之冠。古称我国有三江三河,近悉雅鲁藏布江、澜沧江、怒江水资源也极丰富。故上述可开发容量等尚会有所增加(增加10%~20%)。预计2020,2030,2050年水电装机分别为 $2.6 \times 10^8$  kW、 $3.5 \times 10^8$  kW、 $4.5 \times 10^8$  kW。

2)核电。核电是一种技术成熟并可取代化石燃料的清洁能源。在发达国家中曾有起伏,今核能已约占各种电能总和的17%。核电在我国起步晚,仅约占1%,估计到2020年约 $0.3 \times 10^8$  kW。

3)风电。我国年均风速 $>6$  m/s的面积达 $66 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,按 $6 \sim 8$  kW/km<sup>2</sup>,可装机 $40 \times 10^8 \sim 50 \times 10^8$  kW。当然这种估算可能偏大,但也指出风电资源丰富、发展前景很好。据悉我国陆上和近海风电发

[收稿日期] 2010-08-10

[作者简介] 曹楚生(1926—),男,江苏无锡市人,中国工程院院士,中国工程设计大师,天津大学教授,水利部天津水利水电设计研究院教授高级工程师,长期从事水利工程设计;E-mail: cstsaoen@yahoo.com.cn

展很快,目前已建成风电逾  $1\,000 \times 10^4$  kW 以上,预计到 2020 年风电装机将达  $0.3 \times 10^8$  kW 以上。

4) 太阳能。我国 2/3 国土面积日均辐射量  $> 4\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ ,如按此估算,储量极为可观。但由于采集储存和应用等原因,目前预计至 2020 年太阳能发电装机仅约  $0.01 \times 10^8$  kW。

综上所述,非水能可再生能源中风电近年进展迅速、前景看好,水电目前尚有较大的开发空间,一些条件较好的站点都已在修建和筹建中,在 10 余年内将逐渐进入尾声。

应该指出我国能源随时间的推移,到 2020—2050 年我国能源缺口将分别达到  $18\% \sim 30\%$ <sup>[3]</sup>,可再生新能源和核电将首次主要承担起补充上述能源缺口的任务。由此可见至 2050 年这些可再生新能源将从目前补充或辅助能源进入主导能源,21 世纪下半叶将更显示其重要性,逐渐成为电能发展的主力。总之这些可再生新能源的开发利用可替代日益短缺的煤、油、气和水能资源,对节能减排十分有利,且它们的资源相对丰富,有可靠的保障能力,可大规模开发利用。但其中风能和太阳能等都具有显著的随机不稳定性 and 间断性,所在电网必须具有足够的事事故备用容量和可靠的蓄能设施。

水电火电和可再生新能源等的可持续发展,需要通过蓄能运行可使电网中各种能源和谐共处,形成可持续发展体系,按各自有利方式平稳运行,达到共赢局面,凸显其节能的巨大作用。

抽水蓄能历史悠久已逾百年,对电网调峰作用明显,已逐渐得到发展壮大。尤其在欧美日等工业发达国家进展尤为迅猛,抽水蓄能的装机容量已达常规水电站的  $1/3 \sim 1$ ,即可逆式抽水蓄能机组最多的已接近或超过常规发电机组的装机容量。

但近 20 年来由于种种原因,该国等电能结构不断调整,煤电核电相对减少,而调峰性能较好的燃气轮机、液化天然气等大量增加,且除抽水蓄能外的其他蓄能设施也不断涌现,故相比之下,抽水蓄能在这些国家发展显著放缓或停顿<sup>[5]</sup>。

而我国情况正相反,煤电比重一直居高不下,抽水蓄能仍在持续发展中。但当前我国油气开发引进、输送储存正在大力发展中,估计在不久未来我国这类调峰性能较好的电能的使用率亦会增加,情况也会随之变化。

### 3 各种蓄能设施

当水电发展受水能资源限制,不能与其他电源同

步增长,造成电流周波和电压加大,影响输电质量。

尖峰时缺水,可临时增设燃气轮机解决,而低谷时多余电所占比重达一定程度后,将会影响电网输电质量,并增加能耗和有害气体等排放量的增加,使电力系统的进一步发展受到阻碍。

抽水蓄能使电网中各种类型机组如火电、水电、核电等机组都可在优良工况下平稳运行,可尽量延长上述诸机组的运行时间和减少启停次数,节约能耗,减少有害气体排放并保证运行安全作用显著,在技术和经济上都是可行和有效的。

作为水电的补充,抽水蓄能使水电重新步入了新的境界。水电原本已无新的水能资源以供开发,但可利用电网低谷无用电能,通过抽水蓄能储存转换,在尖峰时发电,使水利水电的发展起死回生,增加了新的活力。

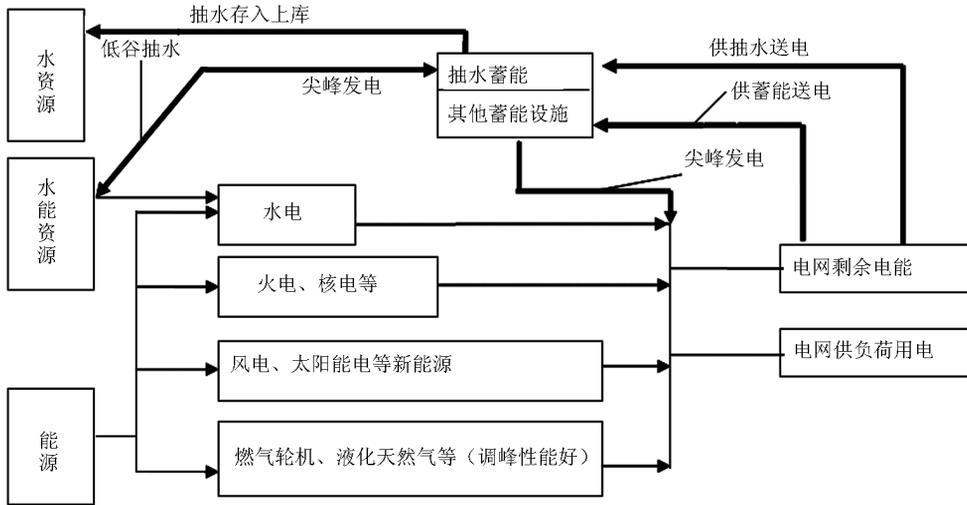
近 20 年来我国抽水蓄能电站建设迅速崛起,已建在建装机容量约  $2\,000 \times 10^4$  kW,而正好在此期间欧美日等国抽水蓄能呈背道而驰,其发展速度却显著放缓。究其原因主要在于电能组成、蓄能设施和电网调峰情况不同。发达国家电能中煤电、核电发展趋缓或停顿,而油气电站发展较快(如图 1 所示燃气轮机、液化气等)且有较好的调峰性能。

抽水蓄能常有 2 种形式:a. 发电 - 抽水可逆式抽水蓄能机组(水泵 + 常规水机组)组成;b. 此外早在国外就还有各种不同的压缩空气蓄能和蓄电池等其他蓄能设施,压缩空气蓄能电站常修建在人工开凿的岩洞或溶洞里,较早的有德国 Huntorf 和美国 Alabama 压缩空气蓄能电站,装机容量分别为  $29 \times 10^4$  kW、 $11 \times 10^4$  kW<sup>[6]</sup>。蓄能设施和电网调峰性状和电能组成是息息相关的。

近悉美国 Utah 州拟修建北 Eden 抽水蓄能电站,为美国停止修建此类电站 20 年来的首例。该州和我国相似盛产煤炭,燃煤电站占 90%,由于风电等发电不稳定并有间断性,故提出此蓄能电站以增加电网的调峰能力。该电站水头为 227 ~ 283 m,装机容量  $70 \times 10^4$  kW<sup>[7]</sup>。今从国外近月新期刊“Waterpower & dam construction (14 Oct 2009)”获悉美国水电协会(NHA)提出利用新技术对原有水机组进行革新改造可增加新出力  $2\,300 \times 10^4 \sim 6\,000 \times 10^4$  kW 和 70 万新就业岗位,并提出应支持水电、抽水蓄能和小水电,制定优惠政策和发展基金。这说明随着电能组成的改变,抽水蓄能或其他蓄能设施会应运而生。近些年国外期刊时有报道大力发展

风电信息,据悉美国 VCH 公司称拟至 2030 年使风电比重从 2 % 激增至 20 %,近年来我国陆上和海上

风电发展很快,除抽水蓄能外也相应地发展了一些独特的蓄电、蓄能设施。



注: a. 通过抽水蓄能抽水存入上水库: 可供尖峰时再发电或需要时供水; 通过其他蓄能设施的储存, 在需要时发电, 图中所示的循环链对促进电能的可持续发展十分有利。b. 如不设蓄能设施, 不能形成循环链, 阻止了可持续发展, 往往只能采用“火电深度调峰”, “水电弃水调峰”或“以水定电”等不合理措施, 导致电能和水能的大量流失, 甚为可惜! c. 水电因受限于水能资源导致调峰电源减少, 而发展燃气轮机、液化天然气等对改善电网调峰性能有利

图 1 通过蓄能运行形成的循环链——能源可持续发展结构图

Fig. 1 The circling chain gained from the storage management—the sustainable development sketch

火电在超临界和超超临界基础上又有发展, 目前工业发达国家都在竞相研发中, 还不断有新品种出现。我国也在引进消化、迎头赶上。据悉我国过去煤耗约 500 ~ 600 kg/(kW·h), 而今新建大型机组已降低约一半, 且机组的压负荷运行限制幅度, 可从过去的 20 % ~ 30 % 增至 50 %, 这对电网运行是有利的, 在技术上是很大的进步。有人说火电也有较好的调峰能力, 殊不知火电由于压负荷运行, 往往使机组不能在最优或较优工况下稳定运行, 故这种压负荷方式的“调峰”是有代价的。

众所周知抽水蓄能和其他蓄能设施的替代容量的比值是很高的, 而且还可相应增加该电网中水电等机组的出力, 可以通过计算知其效益。国内外实践和研究认为, 当蓄能设施占该电网总装机的 10 % 左右时, 可使电网中各种机组均可在各自最优或优良工况下运行, 可使各种机组均得益, 使它们在电网中的替代容量增加: a. 使水电机组的原来 20 % ~ 30 % 保证出力增至 90 % 左右的替代容量; b. 火电机组在低谷时不必进行深度压负荷运行; c. 可很好解决核电和风电等的调峰问题。故除可替代大量电力外, 还有可观的容量和电量效益, 使节能减排面貌一新。随着科技进步, 蓄能设施会向多元化发展。

#### 4 风电等新能源与蓄能配套有利于可持续发展

水利水电发展往往受限于水资源和水能资源, 火电受限于矿石资源和有害气体的排放, 核电无调峰能力, 而可再生新能源风能、太阳能发电既不稳定又有间歇性。在上述诸电源发展受阻时, 如考虑蓄能运行后, 具有储存转换、更新利用、以丰补歉、循环再生的特殊功能。常用的蓄能设施: 有抽水蓄能可逆式发电—抽水机组和发电机组—抽水泵; 另有压缩空气, 蓄电池等蓄电蓄能设施。我国目前以抽水蓄能为主, 以后当向多元化发展。

可再生新能源和水电火电发展都离不开其他资源和行业间的相互支持、共同提高。蓄能运行使电网中低谷时剩余电能转换成尖峰时的宝贵电能。实质上其作用相当于使电网中日益增长的、如不用反而会带来负面影响的剩余电能转换成为可再次利用的电能, 和再生能源一样, 再次使用。如图 1 中粗线显示, 由于增设了抽水蓄能和其他蓄能设施, 使电网多余电能得以为抽水及蓄能设施供电。这样水资源、水能资源和能源可以和谐共处, 共谋发展, 构建可持续发展的循环机制。对促进循环经济、节能减排和

可持续发展十分有利。

## 5 优化和建议

抽水蓄能和其他蓄能设施作为水电的补充和内涵时,可发挥其储存转换、循环再生等特殊功能,上述诸新能源、储存设施均在加紧筹划并积极进行,预计不久电网调峰状况将大为改观。

同时我国当前为油气电站的开发引进、输送储存正在大力发展中,电能组成正面临改革。故相应的蓄能设施也将不断完善。众所周知蓄能运行有利于电网调峰,应尽量使之完善;而电网本身的电能组成亦应尽量使之具有较好的调峰性能。以上说明蓄能运行和电网调峰是相辅相成的。为此提出以下建议:

1) 优化蓄能运行。加速修建抽水蓄能,可以集腋成裘、化废为宝并有利和谐社会成长<sup>[8]</sup>,条件成熟时,及时修建前述其他类型的蓄能蓄电设施。优先发展具有较好调节性能的电站,上下水库通过发电抽水,可增加总的调蓄作用。对梯级水电站可考虑设置、或部分改用、或预留可逆式蓄能机组的可能性。

2) 改善电网调峰。我国当前经济急剧增长,具有调峰性能的水电因受限于水能资源将不能和其他电能同步增长,除加速修建蓄能电站优化蓄能运行外,还应视前述大型油气储存库站和管网设施等陆续建成情况,尽快增加燃气轮机和液化天然气电站以改善电网自身的调峰性能。

3) 节能减排。为应对当今火电核电和新能源特别是风电的迅猛发展,要关注必需的蓄能配套和紧急事故备用<sup>[7,9,10]</sup>。由于削峰填谷作用可使各机组都在最优工况下运行,对节约能耗和排污有利。

4) 新的开发空间。我国修建大坝达 8 万多座,居世界首位,但水库总库容仅约  $6\ 000 \times 10^8\ \text{m}^3$ ,仅为美国和前苏联的一半。建议在新建、改建、扩建中注意扩大水库库容并可考虑增设抽水蓄以增加水库的调蓄能力和装机容量。在合适地形条件特别在江河上游山区及河源段是难得的优越的开发空间。河源段集雨面积一般很小,只能修建小型或中型水利水电枢纽。但从我国和欧美等国经验看,对某一小流域面积内有了抽水蓄能的参与,容量会有大幅度的增加,有时会从数万千瓦增至百万级千瓦。

## 6 结语

我国部分城乡用水用电时有供不应求的现象,虽水利水电进展神速,一些地区水资源和水能资源

已出现开发殆尽现象,再修建新的工程将受到限制,并影响水利水电的可持续发展。甚至有人认为我国水资源和水利水电的开发利用已濒临极限。

由于水电受水能资源限制,不能和其他火电核电等同步增长,可调峰电源比重日减。考虑蓄能运行后有利于改善电网调峰填谷、调频调相、快速爬坡、快速启停、黑启动和事故备用等作用明显。蓄能运行和电网调峰是相互促进、相辅相成,故还应关注蓄能蓄电设施等的改进。现将文章重点述于下:

1) 在当前能源发展新形势下,可再生新能源等正在兴起并将逐渐部分取代当前正在迅猛发展的火电和水电。但应该指出上述诸新能源或处于初创或处于萌芽期,据估计 20 至 30 年后才会逐渐进入主导能源,同时相信我国油气开发引进、输送储存能力达到一定程度时,特别是当上述储存管网库站已足以满足频繁启动的燃气轮机和液化气等发电需要,将使调峰性能为之一新。

2) 在此新旧能源交替的各个时段,要及时考虑各种电能连同水利水电和抽水蓄能的优化配置、合理调度运行,同时所在电网还必须具备与各种新旧电能相配套的蓄能设施和事故备用容量,以保证安全运行并发挥节能减排的预期效果。

3) 当前国内外风电等新能源的快速兴起,水电、火电和核电等也将进行相应的改革和发展,同时还应特别关注风电与蓄电蓄能设施配套进行,以确保安全。

4) 我国主要江河经过建国后 60 年的治理,水资源和水能资源已基本上或即将开发殆尽,似已进入山穷水尽无路可走的地步。为此在原开发的基础上再考虑蓄能运行可使之步入新的境界,并有利于风电等新能源和整个电网的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 钱正英. 中国水利[M]. 北京: 水利水电出版社, 1989.
- [2] 曹楚生. Both Pump Storage Plant and Hydropower is Favorable to the Retainable Development of Power Network[C]//联合国水电与可持续发展会议文集. 北京, 2004.
- [3] 曹楚生. 水利水电的蓄能运行有利于节能减排和可持续发展. 第十届中国科协年会/河南省领导与院士座谈会调研报告集[R]. 中国科协调研宣传部, 2008.
- [4] Institution of Civil Engineers. Pumped Storage[S]. Thomas Telford, London, 1990.
- [5] 邱彬如. 世界抽水蓄能电站新发展[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [6] Rachel Wright. Making the most of pumped storage, Inter[R]. Water Power & Dam Construction, 2009.

- [7] 何 璟. 电源的资源条件决定了我国需要大力发展抽水蓄能 [R]. 再认识抽水蓄能电站, 国网新源控股公司, 2006.
- [8] 潘家铮. 和谐社会和抽水蓄能 [R]. 再认识抽水蓄能电站, 国网新源控股公司, 2006.
- [9] 张彦仲. 依靠科技创新建设节约型社会. 中国工程院节约型社会项目组 [R]. 北京, 2006.
- [10] 杜祥琬, 黄其励. 我国再生能源战略研究 [R]. 北京: 中国工程院, 2008.

## The storage management favorable to the sustainable development

Cao Chusheng<sup>1,2</sup>

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Ministry of Water, Tianjin Hydropower Prospect Design & Research Institute, Tianjin 300222, China)

[ **Abstract** ] The power net will be created short in peak and surplus in valley. Supplementing pump storage plant into the ordinary hydropower, the surplus valley power can be changed into the precious peak power. Actually it is equivalent to say that the surplus power may be renewable and it is favorable to the sustainable development.

[ **Key words** ] storage management; wind electricity; sustainable development

---

(上接 92 页)

## The transmission technologies of large-scale offshore wind farms

Zhu Yifei ,Tao Tieling

( Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Co. ,Ltd. , Wuhan 430010 ,China)

[ **Abstract** ] In this paper the grid-connected demand of large-scale offshore wind power was analyzed , and a detailed comparation is presented for three kinds of transmission technologies :HVAC (high voltngce alternating current) ,HVDC (high voltngce direct current) based on line commutated converter(LCC) ,HVDC based on voltage source converter(VSC). The losses are made numerical analysis for gaining the application scope of various transmission systems.

[ **Key words** ] offshore wind farm;HVAC; HVDC; LCC; VSC