

联合连发式抽水蓄能电站开发探讨

梁 军

(四川省水利厅,四川成都 610072)

摘要:在水能资源丰富且梯级开发成熟的四川多个流域大型水库电站库区区域大规模开发抽水蓄能电站,采用网络调控等信息技术实现抽蓄电站联合依次无间断连发的发电方式,净增电网电量,提升能源结构中清洁能源的占比,助力实现双碳目标,同时实现水资源综合利用,具有广阔的前景和十分重要的现实意义。

关键词:双碳目标;能源发展;抽水蓄能;联合连发

中图分类号:TV743;U665.12

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2022)06-0035-05

Discussion on Pumped-storage Projects Development with Combined Continuous Power Generation

LIANG Jun

(Sichuan Provincial Water Resources Department, Chengdu Sichuan 610072)

Abstract: Large-scale pumped storages are proposed to developed in reservoir areas with multiple basins in Sichuan province in view of the abundance of water resources and the maturity of cascade development. Information technologies, such as network regulation, are utilized to realize a continuous power generation from pumped-storage projects in a combined and uninterrupted manner. In this way, the net increment of the electric quantity, promotion of the proportion of clean energy in energy structure, carbon peak and carbon neutrality goals and comprehensive utilization of water resources can be achieved, which is of prospects and vital significance.

Key words: Carbon peak and carbon neutrality; Energy development; Pumped storage; Combine and continuous power generation

0 引言

中国要在 2030 年前碳排放达峰,努力争取 2060 年前实现碳中和(以下简称“双碳”目标)。要实现“双碳”目标,须在能源结构上有所侧重或调整,大力发展水电、风电和光伏等清洁能源,逐步替代诸如煤电、油电等化石能源。

随着风能、光能等新能源的发展,也需要风电光电出力不稳定、随机性较大的“稳压器”——抽水蓄能电站。抽水蓄能电站广泛用于电网的调峰、调频和电站的事故备用,这些特点对于电力系统的稳定必不可少。本文经过研究分析,认为抽水蓄能方式在发电输出电力、生态环境保护、水资源综合利用与开发,都有更为广阔的前景。在水能资源丰富且梯级水力发电开发成熟的流域,采取流域联合调度、精准调控的大数据管理模式,对流域进行“水电二次开发”,对实现“碳达峰”和“碳

中和”目标具有十分重要的意义。

1 四川电力系统存在的主要问题^[1-2]

1.1 四川电力现状

据有关资料显示,截至 2020 年底,四川省电力装机容量约 10 295 万 kW,2020 年电力结构见图 1。四川电网是西南电网的重要组成部分,已形成覆盖全省各市的 500 kV“梯格形”网架。雅中直流投产后四川电网将形成“5 直+8 交”联网格局,最大外送规模 3 850 万 kW。通过 3 回±800 kV 直流与华东电网相连,通过 1 回±800 kV 直流与华中相连,通过 1 回±500 kV 直流与西北电网相连,通过 6 回 500 kV 交流与重庆电网相连,通过 220 kV 交流巴澜双回与西藏昌都电网相连,初步实现了“大电网、大枢纽、大平台”的建设目标。

2020 年,四川经济社会用电总量 2 865 亿 kWh,最大用电负荷 5 400 万 kW,同比分别增长

收稿日期:2022-10-08

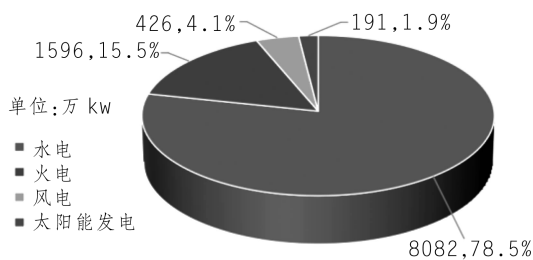


图1 2020年电力结构示意图

8.7%和9.4%。目前,四川电力输出与结构仍然存在较大问题,主要有以下几方面:

(1)水电调蓄能力逐渐不足。四川虽是水电大省,但具有季调节能力以上的水库电站比重不高,随着常规水电开发接近“天花板”,2030年以后常规水电总体供给能力有所不足。

(2)输电线网建设滞后凸显。即使建成特高压交流环网,电网总体滞后局面并未根本扭转,500 kV变电站数量和变电容量仍然不够,网架仍需加强,满足远期新能源需要大规模输入送出。

(3)电网调峰容量将出现缺口。随着居民用电和产业结构调整,峰谷差越来越大,新能源的大量输入其反负荷特性将进一步加大调峰需求,随

着水电开发程度的提高,中长期四川将出现调峰缺口。

(4)电网安全稳定运行复杂。省内电网和省外电网之间、交直流电网之间相互影响、相互作用明显增强,电网低频震荡尤其是大区间震荡问题日益凸显,电网运行控制问题复杂。另外,成都负荷中心存在短路电流偏高、安全运行风险偏大等问题。

1.2 未来发展预测

根据《四川省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》及《四川能源发展“十四五”规划及2035年远景目标》,结合新时代推进西部大开发形成新格局、成渝地区双城经济圈建设等国家战略在四川的进一步实施。在能源转型发展加速清洁替代和电能替代的推动下,今后较长时期的四川省用电量和用电负荷将保持较大增长。预计用电量2030年、2035年分别较2020年增长54%、57%,最大负荷2030年、2035年分别较2020年增长71%、78%,但增速分别呈递减趋势。四川省中长期电力负荷需求预测见图2。

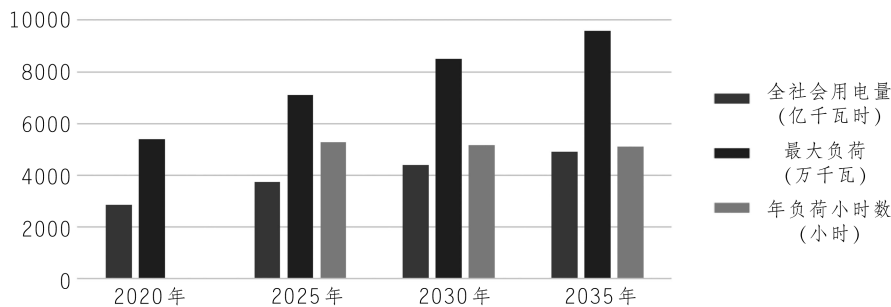


图2 四川省中长期电力负荷需求预测

1.3 未来电力结构性需求

未来电力供需形势严峻,随着四川经济社会高质量发展的持续深入,对电力刚性需求仍保持强劲态势,据有关资料,四川中长期电源建设时序安排见表1。

由于风光电的开发仍然存在环保影响等不确定性,在较长一段时间内,火电不得不有一定的增长以致于很难退出历史舞台或者降至双碳目标要求以内,这也成为今后若干年电力发展的颇具争议之处。

2 双碳目标下四川能源发展

截至2018年年底,我国电力装机中,水电、太

表1 四川省中长期电源建设时序安排表 /万 kW

水平年	2020年	2025年	2030年	2035年
1、水电	8 082	10 577	12 161	12 380
其中:省内消纳	6 662	7 927	9 300	9 520
2、风电	426	1 000+	1 300+	1 500+
其中:省内消纳	426	1 000	1 300	1 500
3、光伏	191	1 200+	3 400+	6 000+
其中:省内消纳	191	1 200	3 400	6 000
4、火电	1 596	2 270	2 300	2 200
其中:燃煤机组	1 212	1 412	1 412	1 282
其中:燃气机组	128	583	583	585
其中:生物质机组				333
全省合计装机	10 295	15 047+	19 161+	22 080+

阳能、风电的装机占比为 37%，火电占比为 60%，2018 年当年的发电量中，水电、太阳能、风电占比为 27%，火电占比为 68%，可见我国火电比重太大，也就是碳排放指标较高。全球范围看，要实现气温升高幅度较工业化之前控制在 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ 以内的目标，最重要的措施就是要实现水电、太阳能、风电等清洁能源占比从 20% 提高到 70%；煤电的比重由 40% 下降到 10%。由此，在今后若干年内如何在双碳目标下发展电力、改善并优化电力产出结构，应当认真研究、从现在开始，“抓早、抓要、抓全局”，只有这样才能真正实现双碳目标。

众所周知，四川水资源位列全国第二，省内十大江河及众多中小河流技术可开发量居全国首位，境内各类水库电站多达 3 400 余座，最著名的有金沙江、雅砻江、大渡河、岷江、嘉陵江等江河流域数百座大中型梯级电站。根据全省规划水电的开发建设条件和前期工作进展情况，预计到 2030 年和 2035 年全省水电装机将达到 1.22 亿 kW 和 1.24 亿 kW，占技术可开发量将达到 82.0% 以上，其中供电四川电网水电装机占比约 76% 左右。“天花板”如何突破，持续经济最优的水电建设，发展抽水蓄能即所谓“水电二次开发”势在必行，四川现有的梯级开发成熟的多个流域大型水库电站库区为发展抽水蓄能创造了基本条件。

从能源结构的合理性分析，依据黄金分割原理，水电、风电、光伏与火电的安装比为 6.18 : 3.24 : 0.58，而四川能源资源结构决定也是以水、风、光为主，建立高比例可再生能源系统，推动能源高质量发展。根据四川省风电和光伏资源潜力、建设成本变化、国家“双碳”战略要求、电力发展需要，梳理各风电、光伏场址的开发条件和开发时序，按照非水可再生能源消纳权重预期要求，预计 2025 年四川省内消纳的风电、光伏装机规模分别较 2020 年增长 2.3 倍、6.3 倍，预计 2030 年相应较 2020 年增长 3 倍、17.8 倍，2035 年相应较 2020 年增长 3.5 倍、31.4 倍。由此可见，四川未来十多年将在风力发电和光伏发电装机容量上实现大幅提升，尤其是光伏发电。从区域上看，到 2030 年凉山州风电基本开发完毕，后期风电增长主要在甘孜州和阿坝州，同时，2025 年以后的光伏新增主要分布在甘孜州和阿坝州，后期主要集中在甘孜州。由于从电网安全运行角度，风力发

电与光伏发电需要数倍的水电进行稳定消纳，这样在现有的梯级开发成熟的多个流域大型水库电站库区发展抽水蓄能，进行所谓“水电二次开发”也是稳定电网运行的必然。加之火电消退后电网占比的缺口，也需要抽水蓄能这样的发电方式予以补偿。

3 四川抽水蓄能电站的发展与展望

3.1 抽水蓄能的发展思路

按照四川现有电力能源存在的问题和双碳目标下四川能源发展的分析，在今后相当长的时间段内，由于仍然存在电力系统丰枯变化、电价价差波动、欠缺大规模蓄能条件等问题，政府有关部门应当大力发展抽水蓄能电站，这不仅是为了消纳和平抑随机性大的风光电以及常规的电网系统调峰、调相和事故备用等功能，而且在一个全新的层面，使抽水蓄能形成一种新型的能源增量，在电网系统中弥补火电被取缔后的巨大缺口。

四川是水电大省，能源结构以水电为主，在现有梯级开发成熟的多个流域大型水库电站库区开发抽水蓄能电站值得研究。结合四川的自然地理和水文条件所构成的水能资源优势条件，开发多流域联合连发的抽水蓄能电站，不间断地输出电力，从而极大限度取代煤、油等化石能源，并且优化风能、光能等新兴能源，最终形成以抽水蓄能为增量、常规水电为主体的水电能源结构。通过网络调控技术实行多流域联合调度的抽蓄电站连续发电的新模式，在提升电网精准调度并加上多流域 n 个抽蓄电站的无缝对接、连续发电上网的方式，在能源结构上增添了一层用电保证，这就是“水电二次开发”的具体内容。

3.2 抽水蓄能的技术方案

抽水蓄能目前的建设方案，往往是一个下库一个上库，目前四川金沙江、雅砻江、大渡河等流域已建水电站的水库调蓄能力强，充当联合连发式抽水蓄能主体(图 3)，是基于一个大型水库作为共同下水库几个抽蓄电站按各自的上水库进行联合连续依次发电的新模式。

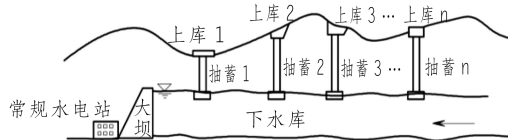


图 3 联合连发式抽水蓄能示意图

具体方案是,在电力系统用电低谷期(一般为半夜时分),从1到 n 个抽蓄电站同时将下水库的水抽到各自的上水库储存,然后根据电网指令,在某些时段(不一定是用电高峰期)进行依次发电,电网接收新生电量交由用电市场消费,这一过程循环往复,呈周期性发电,结果就是整个电网事实上增加了 n 个抽蓄电量(扣除抽水所消耗的部分电量)。设第一个抽蓄发电的电量为 E_1 ,发电时间为 t_1 ;第二个抽蓄发电量为 E_2 ,发电时间为 t_2 ……,第 n 个为 L_n ,发电时间为 t_n 。那么,联合连发式抽蓄的运行方案为:

总的发电时间 T :

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n = \sum_{i=1}^n t_i > 24 \text{ h} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

总的出力 N :

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_n = \sum_{i=1}^n N_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中 T 为多个抽蓄电站联合连续发电的时间; N 为净增加电网的发电出力。由此改变了电力负荷图的电量时程,增加了电网的售电收益。

因此,通过联合连发式的抽蓄所形成的新的电量 E ,完全可以替代火电的发电量及其增加值

E_f ,由此,系统的发电量净值为:

$$E_p = E + (E_0 - E_f) \quad (3)$$

式中 E_0 为现有电力系统(含水、火、风、光电)的总发电量,万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

上式即为双碳目标下能源工业发展的基本模式。

3.3 联合连发式抽水蓄能的开发前景

联合连发式抽蓄电站的开发主要是基于已经建成的大中型水电站库区与两岸山体的地形优势,笔者初步统计四川建设抽蓄条件较好的一些大型水库电站指标(表2)。这些高坝大库形成的水库电站具有十分优越的修建连发式抽水蓄能电站的条件,可开发建设数量与规模也相当可观。首先是下水库的库容十分巨大,如两河口库容约108亿 m^3 ;其次大坝截断河流形成的库区长度较长,如二滩电站库区长约145 km;第三就是库区两岸山体较高,具有较大的落差,如猴子岩两岸山体高达300~1 500 m。这三个条件具备的水库便可以规划建设多个抽蓄电站,形成联合连发式抽水蓄能电站。另外,这样操作还有一个前提条件就是环保移民征地等限制性因素不构成一票否决。

表2 一些大型水电站指标表

序号	水库电站名称	主坝高/m	电站装机万kW	水库库区长度/km	正常水位与两岸高山差值/m	调节性	总库容/亿 m^3	调节库容/亿 m^3
1	两河口	295	300	112.0	>450	年调节	107.67	65.6
2	锦屏一级	305	360	59.2	600	年调节	77.6	49.1
3	二滩	240	330	145.0	>150	季调节	57.9	33.7
4	杨房沟	155	150	38.6	460	日调节	4.558	0.538
5	官地	168	240	58.0	>210	日调节	7.6	1.232
6	卡拉	126	102	34.0	550	日调节	3.58	0.365
7	孟底沟	198	240	54.5	700	日调节	8.68	0.59
8	紫坪铺	156	76	26.5	300	不完全年调节	11.12	1.60
9	双江口	315	200	58.0	400~2100	年调节	28.97	19.17
10	猴子岩	223.5	170	40.0	300~1500	季调节	7.06	3.87
11	大岗山	210	260	40.0	200~1000	周调节	7.42	1.17
12	瀑布沟	186	360	72.0	200~1000	不完全年调节	53.37	38.94

从同时满足库容大、库区长、库盆高三个条件分析,我国最大的抽蓄基地当属三峡水库,因为三峡水库从坝址到库尾长约730 km。从理论上讲,可沿库区两岸崇山峻岭建造无数座抽水蓄能电

站,这些电站都有各自的上库,也有共同的下库——三峡水库,这些抽蓄电站按照“抽十发十”的开发模式(模式一)即抽十成水上山发十成水的电(不计水电损耗)所增加的集成电量是巨大的。

上库主要利用两岸天然盆状环山地形或溪沟细流筑坝而成,个别上库利用天然湖泊或已建水库;水头一般在 200~800 m 之间。在这些巨型电站库区成规模地修建一系列的抽蓄水电站另外一个有利条件就是送出的便捷性,许多电站都有相应的送出工程,抽蓄电站“搭便车”或“先上车,后补票”也是可行的。

从表 2 可知,如在这些高坝大库的库区以平均 5 km 选择一个抽蓄点位,则将建造大约 145 座抽蓄电站,假设每座抽蓄平均装机 100 万 kW,总装机可达 14 500 万 kW,如抽水成本与发电效率等消耗按 0.5 打折,也远远大于 2030 年火电装机 2 300 万 kW 的发展目标,可见,水电替代火电是可行的。

3.4 水资源多目标用途

四川省的金沙江、雅砻江、大渡河、岷江等流域存在明显的“干热河谷”区域,区域内人高水低,望得见水用不到水,结果只有望水兴叹。通过兴建抽水蓄能,利用这些抽蓄点位引水上山、一水多用就完全具备条件,从而实现供水、灌溉、环保、减灾等水资源综合利用,也就是实现从抽水蓄能到“抽水蓄源”的转变。按照“抽十发七八用三二”的开发模式(模式二),兼顾水资源综合利用,从而有利于高山或高半山的人饮水安全与高附加值农业生产发展,使植被培育、森林防火、水土流失防治等生态环境用水需求得到保障。

特别一提的是,在三峡库区位于重庆市境内的小江调水曾经是南水北调西线的比选方案,那么在小江附近修建二三座抽水蓄能电站,必将盘活这个提水难、成本高、得不偿失的西线方案,使小江调水不再是一个耗资巨大的高成本抽水泵站,而是按照“抽十发六调四”(模式三)即抽十成水上山、六成用于发电、四成水调到北方去的经济型发电调水的可行性方案进行实施,用抽蓄的方式彻底改变小江调水只耗电背包袱的得不偿失的窘境,还可以为电网出力,实现水资源综合利用。

四川道孚抽水蓄能电站预可研报告通过审查

北极星电力网获悉,近日,水电水利规划设计总院在成都主持召开《四川省道孚抽水蓄能电站预可行性研究报告》审查会议。评审专家认为报告基本满足预可行性研究阶段勘测设计内容和工作深度,同意该报告通过审查。道孚抽水蓄能电站是《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035 年)》、《四川抽水蓄能中长期发展(2021—2035 年)实施方案》“十四五”期间重点实施项目。同时也是 2022 年极端气候导致电力供需严峻形势下,四川省能源电力保供重点督办项目。

(摘自北极星电力网)

4 结 语

本文通过分析四川电力能源系统现状及存在的水电调蓄能力不足、电网调峰容量缺口较大、电网稳定安全运行保障有待提升等主要问题,分析在“双碳”目标下四川能源总量和结构优化发展,认为四川能源发展仍然应以水力发电为核心基础,并在观念创新方面深下功夫,为此,对基于网络调控技术的联合连发式抽水蓄能做了初步的技术方案设计 & 功能分析,得出以下主要结论:

(1)在“双碳”目标引领下,大力发展以水电清洁能源为主、兼顾非化石能源开发的我国能源发展策略是正确的。

(2)在电力系统丰枯变化、欠缺大规模蓄能条件的情况下,在四川发展抽蓄电站可望在不远的将来完全取代化石能源,成为新的能源供给结构增量,可加快推进抽水蓄能电站的开发建设。

(3)基于四川同时满足库容大、库区长、库盆高三个条件的高坝大库较多,联合连发式抽蓄方案在四川开发的前景十分优越,有助于促进四川大力发展耗电产业(如电动汽车等),并提升“西电东送”的质量。

(4)联合连发式抽水蓄能的三种开发模式应按具体情况选择,体现“一水多用,水电互补”的发展思路。在“抽十发七八留三二”的用水构成中,留够留足上水库所涉及的生产、生活、生态用水,保障与满足经济社会多层面、多目标的用水需求。

(5)应深入研究联合连发式抽蓄的经济可行性与合理性,制定相应规划与建设时序,大力推进水电清洁能源的“二次开发”。

参考文献:

- [1] 四川省发展改革委. 四川省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要[R]. 2020.
- [2] 四川省能源局. 四川能源发展“十四五”规划及 2035 年远景目标[R]. 2021.

作者简介:

梁 军(1962-),男,四川阆中人,高级工程师,工学博士,从事水利水电工程技术管理工作。(责任编辑:卓啟昌)