

# 电力现货市场背景下的水电出力优化与光伏发电消纳

王友伟

华能江西电力交易运营中心 江西 南昌 330038

**【摘要】**：本着节能减排、双碳调整的发展目标，新型电力系统根据市场所需要的节能环保产品，根据自身优势，发挥自身功效，在水电机组通过优化提升自身内部的潜力。保障市场份额的同时需要对光伏新能源提供更多的发展空间，本文针对电力现货市场背景下的发展方向及发展策略给予调整，保障电力结算运行方式得以有效展开，通过优质的案例进行对比分析，并对现有市场建设和新能源消纳提出参考意见。

**【关键词】**：“双碳”目标；电力现货市场；光伏发电；出力优化；新能源消纳

## Hydropower output optimization and photovoltaic power generation consumption under the background of electric power spot market

Youwei Wang

Huaneng Jiangxi Electric Power Trading and Operation Center, Jiangxi Nanchang 330038

**Abstract:** In line with the energy conservation of development and emission reduction, double carbon adjustment, the new power system according to the market needs of energy conservation and environmental protection products, according to their own advantages, in hydropower units through optimization to improve their internal potential, guarantee market share, and need to provide more development space, in the background of the development direction and power spot market adjustment, ensure the power settlement operation effectively, through the quality case comparative analysis, and the existing market construction and new energy consumption reference.

**Keywords:** "double carbon" target; electricity spot market; photovoltaic power generation; output optimization; new energy consumption

### 引言

随着电力行业发展，碳达峰、碳中和的发展背景对电力行业产生发展产生制约。因此，绿色能源、电力系统尤其是光伏发电、风力发电、水力发电等都将获得巨大的发展空间与发展调配。具体的措施以及表现方式：以交易所绿色电力为交易对象，生产企业想要用电，就必须通过碳排放交易所获得相应电力额度。不同行业获得不同的电力额度，想要获得更多的电力额度需要根据产品的政策或是临时限制进行把控。通过优化调配对生产限额以及生产配额进行多方面整合，使发展空间和绿色能源得到有效发展。对高能耗污染行业进行有效调控，使过剩的产品以及过剩电力受到碳综合背景下的多重调整，在全国范围内建立纯电力并网企业，深化体制改革，使电力市场在改革的浪潮中不断得到优化。本着绿色电力的原则，在发电成本不断降低的情况下，适当提高石化能源电力价格，通过绿色补贴电力经营模式，使绿色能源电力企业在不断保证成本的前提下保障优质利润，使电力价格不断提升，更有利于各项需求的调控，碳中和的最终目的是降低能耗，本着可持续发展低碳环保的各项举措，使电力发展摆脱原油对石化能源的依赖。

## 1 现货市场背景下的水电与光伏发电特点

### 1.1 水电与光伏发电量的时间分布

目前全社会的用电需求还在逐年上升，而在碳捕获与封存技术尚不成熟的条件下，电力行业需要大力发展零碳发电技术。目前规模下的零碳发电技术一般是水电、生物质和风光等

非化石燃料发电技术。水电目前已成为我国第二大主力装机电源，大规模增长空间有限。水电发展由于资源受限、厂址选择受限、移民安置困难、季节性丰枯期导致的发电不均、生态保护影响大等原因，就目前的技术水平，水电在未来全社会用电量中的占比总体可能呈下降趋势，大规模增长的条件尚不具备。核电受制于安全要求、技术难度伴随固定投资增加、厂址选择受限和核废料处理困难等问题，就目前的技术水平来看，核电尚不具备大规模增长的条件。

### 1.2 电力现货市场量价关系

储能消纳风光发电的优劣：储能技术可以很好地起到移峰填谷的作用，有效消除风光新能源的波动性。目前实施的储能技术主要分为物理机械储能、电化学储能和氢储能几种。物理机械储能以抽水蓄能、压缩空气储能和飞轮储能为代表。物理储能的优势就是安全系数较高、储能容量大、技术成熟、寿命长，而劣势则是投资成本大、选址困难、效率低。因此，在可预见的时间内或者至少近期内，在经济性上尚无一种储能技术可以成为风光发电消纳的主要手段，就是说传统的“电力不具备大规模经济存储条件”的规律仍然在发挥作用。大电网消纳风光发电的工作原理：大电网消纳风光发电就是利用电网的电能输送能力，将风光发电发出的具有波动性、随机性的电能及时输送到电力需求侧，利用电力系统内部可调节性机组的调节能力虚拟储能实现风光发电消纳。大电网消纳风光发电相对于储能技术的优势就是经济性明显，而存在的劣势就是存在安全

事故连锁反应风险，而且大电网消纳容易出现经济责任难以划分的情况。

## 2 电力现货市场背景下的水电出力优化

当前，全球正处于从高碳向低碳及净零碳转型的重要历史时期，围绕碳中和将开启一轮新技术和新产业的竞赛。“碳中和”战略在推动绿色经济复苏的同时，将促进能源、制造、科技、消费等众多行业的价值链重构，最为确定的是将为新能源产业注入长期发展动力，光伏、风电、氢能、核能等将引领未来能源革命。太阳能产业是指参与太阳能资源的开发、应用等一系列过程活动的企事业单位集合体，主要包括太阳能发电产业链、太阳能器具产业链、太阳能利用与建筑产业链三类产业链。在碳中和要求的全球能源革命中，光伏作为新能源发电的最佳选择之一，是未来最具确定性的产业赛道。中国光伏发电产业链条较为成熟，主要环节全球市场地位突出，硅料、硅片、电池和组件产量的全球占比都超过 60%，龙头企业的集中度和竞争力不断提升。除了光伏组件链条外，光伏产业链还包括光伏玻璃、背板、焊带、边框、逆变器、汇流箱、光伏支架等配套材料和设备，以及光伏工程 EPC 企业、光伏电站运营商等。光伏装机容量的快速增长，带动了一系列配套产业的快速发展，催生了多个细分领域的龙头企业。

### 2.1 目标函数

从技术发展看，光伏主链条的技术不断迭代升级，随着电池转换效率逐渐接近天花板，晶体硅异质结太阳能电池等 N 型太阳能电池技术，大尺寸硅片电池技术，成为高转换效率硅基太阳能电池的热点方向。围绕能源转换率、产品成本和成品率等指标，高效技术创新成为产业竞争的核心。因此，除了关注产能和产量，还要关注企业在新技术上的迭代更新速度。从光伏应用看，以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地，将成为未来能源的重要基础；面向公共建筑、工商业和民用建筑的分布式光伏场景将得到广泛推广。

### 2.2 约束条件

水资源费与库区维护基金是政府根据发电量/上网电量向水电站征收的费用，其用于水资源的节约、保护和管理，及对库区移民进行补助、对水电站库区进行维护，其占总营业成本比较小。我国 2006 年明确提出要征收水资源费。水力发电从 2009 年 9 月开始正式执行，根据实际发电量，按 0.003~0.008 元/千瓦时征收。2015 年起最低征收标准上调至 0.005 元/方。水电机组在日前市场和实时市场中的出清电量保持不变，需要满足：

$$\sum_{t=1}^T q_t^{da} = Q^{da} \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^T q_t^{rt} = Q^{rt} \quad (2)$$

式中： $Q^{da}$  为水电站在第  $t$  个时段的日前市场电量； $Q^{rt}$  为水电站在第  $t$  个时段的实时市场电量。

## 3 算例与分析

### 3.1 算例介绍

以某电力现货市场 2020 年 6 月（单周）、2021 年 5 月和 2021 年 9 月结算试运行的实际电量、电价数据为案例，对水电出力进行事后优化分析，并研究其对光伏发电消纳的影响。

### 3.2 水电机组电能量收益

水电机组电能量收益建设期这个时候资金需求量大，是典型的重资产行业，建设周期一般在 5~10 年，该时期现金流量大量流出，在建工程不断增长，无收入，随着机组不断投产，公司现金流迅速提升，但这时候利润并不会迅猛增加，而是呈缓慢增长的态势。主要的原因还是机器需要折旧，同时还得还原来欠下来的债。此时现金流一部分用来还债，一部分可以开始给股东分红。由于该时段同时是光伏大发的时段，水电的出力优化也为光伏发电的消纳提供了空间。

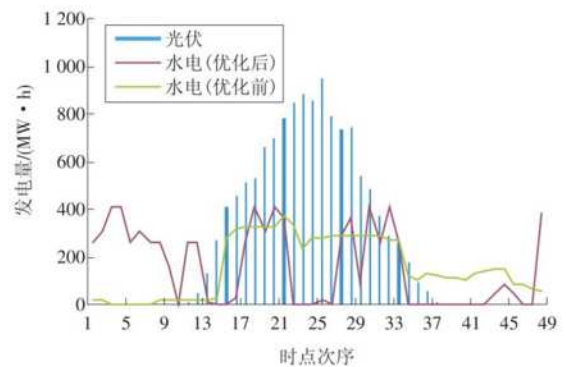


图 1 水电和光伏发电量时间分布

近年来，中国风电连续多年新增装机居全球首位，成为全球第一风电大国。风电超越核电，成为仅次于火电、水电的中国第三大主力电源。中国风电起步于“三北”地区，经历“建设大基地、融入大电网”的快速发展，由于补贴政策、弃风问题导致的风电周期性成为过去时，未来将呈现超大型风电光伏基地、海上风电和低速风电开发引领的持续发展局面。海上风电成为新的优质风电资源区。各个发电厂的平均电价以及电费见表 1。

表 1 水电平均电价和水电站电费

项目	2020 年 5 月(单周)	2020 年 7 月	2021 年 3 月
原有平均电价 /[元·(MW·h)-1]	521.23	449.63	501.29
优化后平均电价/ [元·(MW·h)-1]	566.6	536.4	646.93

优化后水电电费 增量 /万元	124.08	2220.77	1770.57
水电电费增量比 例/%	8.7	19.3	29.1

(上接表1)

### 3.3 水电与光伏发电量的分布

水电出力优化后,大功率风机已成为海上风电的发展方向,整套风电机组、海上升压站、海底电缆、运输吊装运维设备和船舶等,将带动新的风电产业链发展。在风电资源区之外,中国在国际上创新发展出低速风电产业,低风速开发引领世界风电向着更长叶片、更高塔筒、定制化设计、全生命周期的方向发展。中国中东部和南部地区可开发低风速风资源达10亿千瓦,目前开发量不到两成,未来拓展空间巨大。近年来,开发低风速风资源的分散式风电项目布局加速。从产业链看,中国是全球最大的风电零部件制造供应链基地,整机、叶片、塔架、主轴、轮毂、法兰、变流器等各环节企业发展都很活跃,补贴政策带来的风电“抢装潮”也加大了产业的扩散。伴随风电产业链被平价上网倒逼降本增效,风机大型化等趋势带来的行业壁垒加深,齿轮箱、发电机、轮毂、叶片等核心零部件也要相应大型化,整个产业链环节将进入优胜劣汰的整合阶段引起差异的原因与尖峰负荷时段相似。

表2 不同时段水电发电量统计

时段		2020年5月	2020年7月	2021年3月
每日光伏发电时段	优化前	1 515.29	2 995.31	1 418.33
	优化后	1 195.72	2 401.45	956.59
每日光伏大发时段	优化前	586.02	796.19	355.51
	优化后	365.03	366.99	45.44
每日净负荷尖峰时段	优化前	112.88	140.14	89.42
	优化后	160.35	144.29	49.07
每日净负荷高峰时段	优化前	1 254.70	2 359.40	1 275.20
	优化后	1 304.30	2 050.40	1113.20

### 参考文献:

- [1] 人民日报社.习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话[N].人民日报,2020-09-23(1).
- [2] 国家电网公司.国家电网公司发布“碳达峰、碳中和”行动方案[N].国家电网报,2021-03-02(1).
- [3] 科技厅.出台碳达峰碳中和科技创新行动方案[EB/OL].(2020-7-19)[2021-12-20].  
[http://www.most.gov.cn/dfkj/zj/zxdt/202106/t20210618\\_175262.html](http://www.most.gov.cn/dfkj/zj/zxdt/202106/t20210618_175262.html).
- [4] 吉斌,孙绘,梁肖,等.面向“双碳”目标的碳电市场融合交易探讨[J].华电技术,2021,43(6):33-40.
- [5] 人民日报社.推动平台经济规范健康持续发展把碳达峰 碳中和纳入生态文明建设整体布局[N].人民日报,2021-03-16(1).

### 4 结论

水电的原理,就是高位的水流流向低位,将水的势能转化为动能,水推动发电机,将水的动能转化为电能。从宏观上来讲,水电的护城河是老天给的。它是一种清洁能源,相比火电等高能耗发电,水电无污染、更清洁,一直是能源政策所鼓励的发电方式之一。水电的价格更具竞争优势,除了第一次建水电站需要投入巨资以外,水电站后续运营成本是非常低的。从常识上理解,不需要投入原材料,只需要几个人看着水电站,维护运营即可,这一点从水电上网电价可见一斑,水电上网电价水电小时利用数更长。相比于太阳能、风电风力强度不够不能发电的情况,水电明显可以全天候发电,利用时间更长。当然水电也有丰水、枯水期,清洁能源小时利用数,因此水电一直在我国能源结构中占据重要位置,并且还呈稳定增加的趋势。当然,宏观上的优势并不一定代表企业赚钱,就比如光伏发电也是清洁能源,但是前几年竞争异常激烈,大批企业破产倒闭。因此下一步还需要夯实这个行业的商业模式。企业的净利润主要由营收和成本费用决定。在水电行业中,营收规模主要由发电量和上网电价决定,发电越多赚得越多。发电量主要由装机容量和设备利用小时数决定,后者又主要取决于来水情况。当前,我国水电主要有成本加成电价、标杆电价、落地端反推电价和市场化定价四种模式,发改委发文进一步完善水电价格形成机制规定,规定对新投产水电公司,省内消纳电量的上网电价,实行标杆电价制度,而跨省跨区域的交易价格则由供需双方协商确定,协商时,参照受电地区省级电网企业平均购电价格扣减输电价格,得到的即落地端反推电价。