



“十四五”我国抽水蓄能进入高质量发展阶段

□ 赵增海

自2020年我国向世界做出“2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和”的庄严承诺以来，一系列相关政策举措正在加速落地，“1+N”的政策体系正逐渐形成。在“双碳”目标引领下，我国能源革命的进程将加速推进。

为确保“到2030年，非化石能源占一次能源消费比重达到25%左右，风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上”目标的实现，发展抽水蓄能正在成为必要路径。“十四五”期间，我国抽水蓄能产业将进入高质量发展阶段。

抽水蓄能发展迎来重大机遇

我国“3060”目标的提出，给能源转型和新能源发展提出了新的要求。从发展趋势来看，未来五年内，可再生能源将成为我国能源消费的增量主体，并逐步走向存量替代；2030年~2035年期间，可再生能源将可以满足能源消费增量；到2050年，可再生能源将成为中国能源消费总量主体，占比将超过50%。

与此同时，随着可再生能源的大规模开发利用，电力系统将迫切需要调节电源。由于风、光等新能源具有随机性、波动性等特点，为了新能源规模化、高比例发展，必须同时伴随储能的大发展。构建以新能源为主体的新型电力系统，逐步提升新能源消纳比例、应用占比，一方面要增加电力系统

的调节资源；另一方面要做好网、源、核、储协调。

从经济性、可靠性等多因素综合分析，当前及未来一段时间内，电力系统发展的调节电源主要是抽水蓄能，加快发展抽水蓄能，对于可再生能源的发展和能源结构调整，具有重大意义。

抽水蓄能电站是构建新型电力系统的关键支撑，具有安全保证性高、灵活调节性能好，全生命周期最经济、环境效益最好等优势；同时，抽水蓄能电站的生态景观可以与周边环境进行有机融合，实现与自然和谐共处，显著提升当地环境和社会效益。在提升绿水青山颜值的同时，还将创造金山银山的价值，发展空间十分广阔。

中国抽水蓄能发展基础良好

国际上抽水蓄能的发展，经历过“验证阶段”“快速发展阶段”和“平稳发展阶段”，其中，“平稳发展期”始于20世纪90年代。截至2020年底，全球抽水蓄能装机容量达到1.59亿千瓦，约占全部储能装机容量的94%，另有超过100个抽水蓄能电站项目在建，正在开展前期工作的装机容量超过2亿千瓦。预计到2030年，全球装机容量将在现有基础上增加50%以上，到2050年，将扩大一倍以上。

中国的抽水蓄能发展起步于20世纪60年代，先后经历过“产业起步”“探索发展”“完善发展”“蓬勃发展”四个阶段。自2015年以来，产业发展进入了“蓬勃发展”期，截至目前，我国已



抽水蓄能电站承担着调峰、填谷、调频、调相、事故备用和配合新能源进行储能等多项任务，是构建新型电力系统不可或缺的重要部分。图为鸟瞰广州抽水蓄能电站下库。

投产抽水蓄能电站总规模3249万千瓦，主要分布在华东、华北、华中和广东；在建抽水蓄能电站总规模5513万千瓦，约60%分布在华东和华北，投运、在建规模均居世界第一。

随着一大批标志性工程相继建设投产，我国抽水蓄能电站工程技术水平和机组制造自主化水平都得到显著提升，国内厂家在600米水头段及以下大容量、高转速抽水蓄能机组自主

研制上已达到了国际先进水平。通过一批大型抽水蓄能电站建设实践，基本形成涵盖标准制定、规划设计、工程建设、装备制造、运营维护的全产业链发展体系和专业化发展模式。

多措并举保障中长期高质量发展

2021年9月，国家能源局发布《抽水蓄能中长期发展规划》（以下简称《规划》），将指导未来一段时间中国抽

水蓄能健康有序加快发展。《规划》有三个特点：一是第一次提出抽水蓄能现代化产业；二是体现了积极发展的思路，提出“应归尽归”“能开快开”；三是国家、省级能源主管部门职责分工明确，国家能源主管部门主要抓规划和监督评估，即抓“两头”，省级部门则主要抓项目核准、全过程监督管理，即抓“中间”。

未来，我国抽水蓄能产业的发展

大力发展抽水蓄能是云南构建新型电力系统必由之路

□ 朱国金 向军 苗楚婷

云南省以水、风、光为代表的绿色能源资源禀赋优异，当前已基本建成国家级水电基地和“西电东送”重要送端。在“四个革命、一个合作”与“双碳”战略目标的指引下，未来大规模发展新能源，全面建成国家清洁能源基地、新型电力系统先行示范区、能源碳达峰示范区以及区域国际绿色能源枢纽，已成为云南省能源产业发展的鸿业远图。然而，高比例新能源接入将给电网安全稳定运行带来诸多问题，为适应云南省未来大规模新能源建设，确保新型电力系统的稳定与安全，既需要电网发挥消纳高比例新能源的核心枢纽作用，也需要储能规模化应用。

抽水蓄能是支撑新型电力系统的重要储能技术和基础装备，对推动能源绿色转型、应对极端事件、保障能源安全、促进能源高质量发展、助力“双碳”战略目标有效达成具有重要意义。今年以来，国家发展改革委、国家能源局多次发文支持抽水蓄能发展，其中，国家能源局印发的《抽水蓄能中长期发展规划》（2021—2035年）更是为我国抽水蓄能事业发展指明了方向。在多重因素的叠加影响下，未来云南省抽水蓄能发展有较大空间，有望迎来一波热潮。

云南省能源电力发展进入新阶段，构建以新能源为主体的新型电力系统势在必行

改革开放40多年来，云南省电力发展势头迅猛，绿色能源产业成绩斐然，多项绿色能源指标全国领先、世界一流。截至2020年底，云南省电力装机已突破1亿千瓦，绿色能源装机占比84%，高出全国平均约46个百分点；绿色能源发电量占比90.5%，高出全国平均约67个百分点。伴随“双

碳”战略目标的提出，云南省能源电力发展进入新阶段，新能源发展机遇空前，构建以新能源为主体的新型电力系统势在必行。

社会经济发展全面加速，云南省电力需求持续增长。“十三五”后期以来，云南省加速产业结构调整，构建现代化产业体系，持续推进新型城镇化建设，全省能源电力需求飞速增长。“十四五”期间，云南省全社会用电量年均增长率将超过10%。此外，东部地区对云南电力的需求日益旺盛，西电东送规模将进一步扩大，全省综合用电需求明显增大，电力供应形势由略有盈余向供应紧张转变。

电源结构深度转变，新能源将成为增量电源的主体。云南省水电开发大潮已然退去，未开发水电资源不足3000万千瓦，且剩余水电资源大多集中在金沙江、怒江等流域，面临生态环境、移民搬迁、民族文化等多重压力，难以满足云南省经济社会发展需求。火电在国家能源结构低碳转型的整体趋势下，大规模新增装机的可行性较低。与水电、火电步入开发平台期不同，云南省新能源开发潜力巨大，预计资源量超1.7亿千瓦，未开发率超过92%。“十四五”时期，云南省将新增新能源装机5000万千瓦以上，到2035年，云南省将新增新能源装机超1亿千瓦。“十四五”以后，以风电、光伏为代表的可再生能源将成为增量电源的绝对主体。

抽水蓄能是新型电力系统的调节器和稳定器，是大规模新能源建设的助推器，是西电东送战略实施的安全阀

抽水蓄能是新型电力系统的稳定器。伴随新能源大规模开发与投产，云南省电源结构将由之前的以水电为主、火电与新能源为辅逐步向以水电与新能源为主、火电小比例辅助转

变。由于新能源基本不提供有效电力，而云南省负荷增长需求又与规划调节电源发展规模极不匹配，未来电力供应保障将存在问题。经研究预测，在无新增调节电源的情况下，云南电网2030年、2035年将分别存在约1400万千瓦、2200万千瓦的电力缺口，系统中长期电力供应形势极为严峻。结合全国能源电力发展趋势及云南省自身电源发展潜力分析，未来云南省电力缺口将主要由推动澜沧江、金沙江大型水电扩机、建设抽水蓄能电站以及布局少量气电予以解决。从系统调节电力需求特点来看，云南电网枯期主要缺多能互补的调节电力，汛期主要缺绝对调峰电力，云南省中长期建设一定规模的抽水蓄能电站，可为系统提供容量效益，保障系统电力供应。

抽水蓄能是新型电力系统的调节器。云南省主力调峰电源目前主要为有调节能力的水电和燃煤火电。虽然，省内水电装机比重较大，但大型调节水库数量有限，流域水电调蓄能力弱，水电汛枯出力差异大，整体调峰能力有限；受资源条件、“十三五”弃水、煤炭产能等因素影响，云南省火电装机比重较低，占比不足15%，火电可提供的调峰能力有限。随着新能源大规模接入，以及未来云南省整体调峰需求的不断增长，峰谷差的持续扩大，存量电源调峰能力已无法满足系统未来发展需求，系统对包括抽水蓄能在内的调峰电源建设需求将大大增加，抽水蓄能将成为云南省新型电力系统中重要的调节器。

抽水蓄能是大规模新能源建设的助推器。以新能源为主体的新型电力系统在超短周期（毫秒至秒级）、短周期（分钟至小时级）、日周等不同时间尺度均有调节需求，而抽水蓄能主要用于满足系统短周期、日周调节能力

需求，重点解决新能源出力特性与用电负荷特性匹配性较差、新能源受天气影响而导致的在较长时间尺度上电力供应不确定性等问题。作为优质的灵活性调节电源，抽水蓄能快速响应能力以及长时间的容量储备，可以有效应对风光新能源发电的随机性和不确定性，平滑新能源出力的同时实现新能源电量的时移，保障新能源入网安全。

抽水蓄能是西电东送战略有效实施的安全阀。云南是西电东送重要的省区之一，目前已建成10条直流外送大通道向广东、广西、华中送电。根据云南省“十四五”绿色能源规划，将逐步推动区域电网互联互通，打造国际能源枢纽。作为辐射全国、面向东南亚的电力交换枢纽，云南电网未来既是送端也是受端，交直流混合运行，特高压与绿色能源双箭齐发。从未来云南对外大规模的电力交换情况来看，在西电东送和互联互通战略通道主要电力交换端口附近配置一定抽水蓄能电站，配合特高压外送通道的运行，可提高西电东送电力系统运行的经济性和安全稳定性，保障西电东送战略有效实施。

云南省抽水蓄能资源条件优越，发展潜力大

受电力供需、电源结构、政策机制等因素影响，云南省抽水蓄能电站建设起步较晚，2020年前未能形成系统性的选点规划，也无已建或在建抽水蓄能电站。当前，国家正在积极完善和出台相关政策支持抽水蓄能建设，随着各项支撑政策的逐步完备，抽水蓄能发展前景较为广阔。

云南省由于独特的地形地貌、水系等条件，抽水蓄能电站资源十分丰富，可支撑抽水蓄能大规模开发建设。云南省抽水蓄能中长期规划过程

中初步普查梳理出全省范围内的抽水蓄能资源站点超过200个，合计装机容量超过3亿千瓦。而在大滇中（楚雄、昆明、曲靖、玉溪等地）、滇南（红河、文山）负荷中心以及新能源富集地开发条件较好的常规抽水蓄能资源站点超过20个，规模近3000万千瓦，具备支撑中长期开发建设的天然条件。同时，金沙江和澜沧江干流梯级大型水电站分布集中，还具备建设混合式抽水蓄能电站的条件。

为更好地发挥抽水蓄能电站作用，满足云南电网未来调峰需要，促进新能源开发与消纳，提升西电东送稳定性，改善电力系统结构，提高系统运行的安全性和经济性，结合云南省电力系统结构及电源分布情况，云南省抽水蓄能中长期规划站点将优先考虑在大滇中、滇南等负荷中心布局，保障系统电力供应；在风光负荷集中区域布局（红河、文山、曲靖、楚雄等地），促进新能源开发与消纳。预计到2030年，云南省拟建成抽水蓄能装机规模达400万千瓦以上，有效支撑云南省新型电力系统建设，全省电力供应及调峰保障能力得到提升。到2035年，云南省拟建成抽水蓄能装机规模达800万千瓦以上，新能源开发利用更加高质高效，电力供应保量提质。

系统部署谋划抽水蓄能工作，推动云南省抽水蓄能高质量发展

云南省抽水蓄能发展还处于起步阶段，为有效推动优势抽蓄项目落地，保障云南抽水蓄能高质量发展、稳健有序开发，后期还需加强相关研究部署。

完善相关配套机制，促进抽水蓄能健康发展。紧跟国家政策，因地制宜完善科学合理、实用性强的抽蓄市场化运营模式和价格机制，促进云南省抽水蓄能健康发展，包括：建立多元

重点推荐

绿动未来 向“光”迅跑

面朝大海、向海而兴。江苏盐城坚定不移地走在“两海两绿”的高质量发展道路上，绿色能源风生水起；不懈追求、向光“领跑者”，正泰新能源致力让“锦绣光伏”解决方案再添“锦绣”。未来，两者之间会有哪些故事上演？

8版

将坚持四个基本原则：生态优先、和谐共存；合理布局、重点突出；成熟先行、超前储备；因地制宜、创新发展。其中，在“因地制宜、创新发展”方面，要重点研究混合式抽水蓄能，研究废弃矿坑的利用，以及中小和微小抽水蓄能的创新。

按照《规划》提出的发展目标，到2025年，我国抽水蓄能投产规模较“十三五”将翻一番，达6200万千瓦左右；到2030年，投产规模较“十四五”将再翻一番，达1.2亿千瓦左右；到2035年，将形成具有国际竞争力强的现代化产业。

为此，未来要完成六项重点任务：一是已建项目效能提升；二是积极推进在建项目建设，包括加强工程建设管理，推动智能建造，做好环保和移民安置工作等；三是加快新建项目开工建设；四是创新抽水蓄能发展模式；五是加强科技和装备创新，对高水头、更大容量的抽水蓄能进行重点研发；六是建立行业监管体系。制定综合监测技术导则，建立监测信息公开机制。

《规划》中还提出多种保障措施并举，主要包括鼓励投资多元化、制定电价政策、做好“多规协同”、加强资源储备、探索形式多样化、加快前期工作等。在“制定电价政策”方面，今年国家有关部委相继出台了多个鼓励政策，如国家发展改革委出台的《关于进一步完善抽水蓄能价格形成机制的意见》，解决了抽水蓄能电站成本回收机制，并鼓励能源企业投资自建调峰电源等。在做好“多规协同”方面，要把抽水蓄能规划和国土空间规划、生态规划做好协同。

（作者系水电水利规划设计总院副院长）

化的投资机制，鼓励社会资本投资，促进抽水蓄能电站投资建设市场化；研究完善储能价格形成机制，探索推进季节性电价、分时电价等机制；建立健全储能作为独立市场主体参与辅助服务市场机制，提供调频、备用等交易品种；探索抽水蓄能电站和新能源等项目协调配套投资及运营管理模式，实现项目联合优化运行，促进优势互补、良性互动，减少资源浪费。

统筹抽蓄布局 and 关键核心技术攻关，夯实发展基础。结合云南省不同地区电力供需形势、新能源消纳形势、电价承受能力等，合理确定各类储能中长期发展规模、应用场景和建设时序，统筹优化抽水蓄能建设布局；同时，根据云南省抽蓄资源特点及建设条件，超前部署抽水蓄能建设技术攻关，在复杂地质条件下的抽水蓄能电站洞室稳定关键技术、抽水蓄能电站库盆防渗关键技术方面取得突破，为云南复杂地质条件下抽水蓄能开发建设扫清障碍。

做好各环节的要素保障，推动抽水蓄能稳步发展。加强抽水蓄能开发项目与国家及云南省其他各项规划的统筹协调，在开发布局、开发强度、重点任务和发展方向等方面与国民经济与社会发展规划、国土空间规划、生态保护红线等上位规划和重大政策战略相适应，推动规划有效落地实施。

（朱国金系中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司副总经理兼总工程师；向军系中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司副总工程师；苗楚婷系中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司规划研究院技术骨干）

能源发展编辑部
主任：张宇
执行主编：焦红霞
新闻热线：(010)56805160
监督电话：(010)56805167
电邮：ceeq66@sina.com
网址：www.nationalee.com