

# 云南省发展绿氢产业的路径研究

袁丽梅<sup>1</sup> 董志胜<sup>2</sup>

1. 曲靖师范学院国际学院, 中国·云南 曲靖 655011

2. 曲靖师范学院应用技术学院, 中国·云南 曲靖 655011

**【摘要】**绿氢作为低碳环保的二次能源,在21世纪中后期将成为人类社会用能的主体之一,云南省作为我国的绿色能源基地必须大力发展绿氢产业。在分析了云南省发展绿氢产业的意义和发展绿氢产业的优势后,提出了发展绿氢产业的目标定位与总体思路,提出了设计绿氢产业发展路线图,做好绿氢产业发展顶层规划等六条绿氢产业发展的对策建议。

**【关键词】**绿氢产业;氢能;绿氢;低碳

**【基金项目】**

2023年云南省教育厅科学研究基金项目:“云南省发展绿氢产业的路径研究”;编号:2023J1026。

能源是驱动人类社会发展的原始动力,人类的发展历史就是人类利用能源的历史,一个国家的能源利用水平在一定程度上决定了这个国家的社会发展水平和未来发展潜力。为应对全球气候变化,能源利用的“去碳化”已经成为人类共识,世界各国都在极力追求无碳排放的新能源体系。氢能被国际社会公认为21世纪的终极能源,从生产到利用全过程清洁低碳,而且还具有能量密度高、可长时间存储等优点,可以预见绿氢将成为21世纪中后期人类社会能源利用的主体之一。云南省具有丰富的水能、风能、太阳能、生物质能、地热能等绿色能源资源,是绿氢产业的天然发展基地,大力发展绿氢产业是云南省建设我国西部绿色能源基地和打好“绿色能源牌”的重要抓手。

## 1 氢能和绿氢概念辨析

氢能是氢气与氧气或者其他氧化剂发生化学反应时产生的化学能,氢气是氢能的载体,人们日常生活中提到的氢能实质上指的是氢气。氢气不仅是能源,也是重要的化工原料,氢能指的是氢气作为能源使用。目前氢气作为能源主要应用在两个方面,一是代替煤炭、天然气通过燃烧给电网提供低碳电力,二是代替汽柴油通过燃料电池给机动车提供动力。氢气燃烧和通过燃料电池转化为电能的副产品只有水,清洁环保,这是氢能被广泛看好的主要原因。

绿氢是我国特有的叫法,主要指的是利用可再生能源通过电解水获得的氢气,内涵是该种类型氢气的生产过程低碳环保。我国对绿氢的概念界定采取的是定性方式,对绿氢生产过程中产生的二氧化碳的量没有进行规定。世界主要经济体对绿氢叫法和定义不尽相同,欧盟的叫法是可再

生氢(Renewable Hydrogen),规定生产一公斤可再生氢产生的二氧化碳要低于4.4公斤,并且提出了三条判断可再生氢的标准;美国的叫法是清洁氢(Clean Hydrogen),生产一公斤清洁氢产生的二氧化碳要低于4公斤;日本的叫法是低碳氢,生产一公斤低碳氢产生的二氧化碳要低于3.4公斤。<sup>[1]</sup>在我国,氢能的本质就是绿氢,因为氢能被广泛推崇的原因就是低碳环保可再生,只有绿氢才符合这一基本特征。

## 2 云南省发展绿氢产业的意义

### 2.1 绿氢产业有助于提高我国的能源安全水平

我国在能源领域少油少气的自然禀赋导致每年需要大量进口石油和天然气。2023年我国进口原油56399万吨,对外依存度为73.0%;进口天然气11997万吨,对外依存度为41.8%,<sup>[2]</sup>我国石油和天然气对外较高的依存度不利于我国的能源安全。我国国土面积广袤,具有丰富的水能、太阳能、风能、地热能和生物质能等可再生能源资源,通过这些能源资源可以获得大量绿氢。随着氢燃料电池技术的成熟,绿氢在交通运输领域可以代替石油;随着天然气掺氢的大规模使用,绿氢在取暖、发电、烹饪等领域可以减少天然气的使用。绿氢对石油和天然气的替代能够减少我国对石油和天然气的进口依赖,从而能够减少我国能源的对外依存度。云南省作为我国的重要绿色能源基地,需要大力发展绿氢产业,为提高我国的能源安全水平做出贡献。

### 2.2 绿氢产业能够提高我国工业的低碳发展水平

绿氢作为能源使用只是绿氢应用的一个方面,也是未来大规模使用的重点,短期内我国绿氢产业发展的最大机遇

是耦合工业的脱碳发展。在“双碳”背景下，无碳化生产也是工业企业的最高追求，绿氢作为重要的生产原料对推进工业绿色发展具有重要作用。2023年我国氢气消费超过了4000万吨，其中的灰氢和蓝氢占比超过了99%，绿氢只占1%，所以绿氢具有巨大的应用市场。我国是世界上最大的化工产品生产国，用绿氢替代灰氢和蓝氢应用于化工生产领域，将生产大量脱碳化学品，能够提高化学品产业的脱碳发展水平。绿氢应用于新型钢铁脱碳冶炼，将提高我国钢铁冶炼行业的低碳发展水平。

### 2.3 绿氢产业有助于云南省打好“绿色能源牌”

云南省将打造世界一流“绿色能源牌”作为能源产业发展的战略部署。为了提高绿色能源占比，未来云南省将大力增加水利发电的装机容量，大力建设太阳能发电项目和风能发电项目。随着绿色能源装机容量的增加，由于其不稳定不连续的特性，将产生更多的弃水弃风弃光现象。虽然水利发电相对稳定，但是云南省2022年还是产生了25亿千瓦时的弃水电量。<sup>[3]</sup>由于太阳能光伏发电和风力发电的波动性更大，将产生更大比例的弃光弃风电量。绿氢储能作为可以大规模长周期存储的储能方式，可以有效解决弃水弃光弃风的问题，将多余的电量转化为绿氢存储。云南作为我国的绿色能源第一大省，要及早涉足绿氢产业。

### 2.4 绿氢产业有助于云南省打造外向型绿色能源基地

欧洲一直以来是全球能源消费的重点区域，每年需要从俄罗斯、美国、阿拉伯等地区进口大量的石油和天然气。在氢能时代，欧洲的大部分国家由于国土面积、人口分布等原因，绿氢产量满足不了本国的消费需求，绿氢生产成本也相对较高，因此需要大量进口绿氢。2023年3月，欧盟委员会发布欧洲氢能银行计划，目标是到2030年将绿氢年产量提升至1000万吨，并每年从域外国家进口1000万吨绿氢；德国的《国家氢能战略》指出，预计到2030年，德国氢能需求量的50%到70%需要进口，以上数据说明欧盟等发达国家需要进口大量绿氢。而且，当绿氢成为主流能源之后，与云南接壤的国家和东盟各国都会成为绿氢的潜在消费国。云南省接壤越南、老挝和缅甸，具备将绿氢出口的区位优势。长期来看，可以利用我国光伏产业生产大国的优势建立绿氢生产成本的优势，通过建立缅甸输氢管道和海运的方式将绿氢销售到欧洲，通过输氢管道将绿氢销售到东南亚各国，打造外向型绿色能源基地。

## 3 云南省发展绿氢产业的优势

### 3.1 具有丰富的水能资源

云南省地处云贵高原，是青藏高原和中部地区的过度地带，海拔自西向东逐渐降低，辖区内多高山峡谷，海拔变化较大，容易形成水能落差。云南省大部分地区属于亚热带高原季风气候，降水量较大，再加之发源于青海、西藏的河流来水，水资源丰富。云南省的水能资源蕴藏量达1.04亿千瓦，居全国第3位，水能资源主要集中于滇西北的金沙江、澜沧江、怒江三大水系，可开发装机容量0.9亿多千瓦，居全国第2位，目前水电装机容量为8200万千瓦，水能资源非常丰富。

### 3.2 具有丰富的太阳能资源

云南省高海拔低纬度的地理位置，造就了丰富的太阳能资源。云南省地处云贵高原腹地，平均海拔超过2000米，较高的海拔导致空气比较稀薄，太阳光能够更多的穿过大气层照射在光伏板上，太阳能能量密度高。云南省地处北纬 $21^{\circ} 8' \sim 29^{\circ} 15'$ 之间，纬度相对较低，日照时间相对较长，太阳能光伏发电时间更长。根据《2023年中国风能太阳能资源年景公报》的数据，云南省太阳能2023年水平面总辐照量平均值为 $1497.5\text{KWh}/\text{m}^2$ ，在全国31个省区市中排在第7位，<sup>[4]</sup>再加之云南省的辖区面积大，太阳能资源总量巨大。

### 3.3 具有丰富的风能资源

云南省处于青藏高原向南的延伸地带，易于季风的流动；属于亚热带季风气候，每年的11月至次年的4月受季风影响，风能资源丰富。云南省的风能资源总储量约为1.23亿千瓦，可开发的风电装机规模总量约2000万千瓦。风能资源虽然不如水能资源和太阳能资源，但是云南省广阔的辖区面积和可开发的风能资源大多分布在高山区，使大部分风能资源都可以得到有效开发。2023年云南省的风电发电量为277.2亿千瓦时，在全国31个省市区中排名第11位。

### 3.4 具有丰富的生物质能资源

云南省生物质能富集，生物质原料种质居全国之首。<sup>[5]</sup>云南是全国植物种类最多的省份，被誉为“植物王国”，全省有高等植物19333种，占全国的50.1%。云南省的森林面积为2392.65万公顷，森林覆盖率为65.04%，森林蓄积量为20.67亿立方米，每年森林抚育和退化林改造会产生大量的树木和枝叶，这些都是生物质能发电的原料。根据第三次全国国土调查的数据，云南省的耕地面积为8093.32万亩，在全国排名第9位，如此大规模的耕地每年会产生大量的作物秸秆，也是生物质能发电原料的重要来源。2023年年末，云南省的城镇常住人口2473万，这些城镇人口年都

会产生数量相对稳定的生活垃圾，这些垃圾也是生物质能发电的原材料。

### 3.5 具有丰富的地热能

云南省位于亚欧板块和印度洋板块的交界地带，处于地壳活动频繁区域，相对应的地热资源丰富，可开采的地热水水量和地热能居全国第二位。<sup>[6]</sup>根据云南省地质矿产勘查开发局的调查，过热水、高温热水地热资源主要分布在滇西地区，包括6个过热水分布带及2个高温热水分布带，滇西地区的腾冲—梁河过热水分布带是可用于地热发电的优势资源区块。虽然云南省目前只有一座地热能发电站，但是从全球来看地热能发电技术已经非常成熟，美国、冰岛、日本、墨西哥等国建设了大量地热能电站。随着绿色能源资源开发利用的深入，云南省丰富的地热资源会逐渐得到开发。

### 3.6 具有广阔的国土面积

云南省的国土总面积为39.41万平方千米，2023年的常住人口为4673万，土地面积巨大，人口密度相对较低。太阳能发电、风力发电、水利发电以及与之配套的输变电设施的建设都需要大面积的土地作为发展空间，云南省广阔的地域使这些能源资源能够得到充分开发，受土地面积限制和人口分布限制不得开发的绿色能源资源很少。生物质能发电、地热能发电以及与风光水发电配套的储能设施也需要土地空间，云南省的国土面积能够提供有效支撑。

## 4 云南省发展绿氢产业的目标定位与总体思路

### 4.1 绿氢产业发展的目标定位

2040年前，将云南省建设成为我国的绿氢产业基地，打造绿氢产业全产业链；2050年前，将云南省建设成为我国的绿氢输出基地，向广东等地区输出绿氢；2060年前，将云南省建设成我国的绿氢对外出口基地，向欧盟和东南亚国家输出绿氢。

### 4.2 绿氢产业发展的总体思路

一是做大绿氢产业发展的基础，大力建设光伏发电项目和风电项目，为绿氢生产提供可再生的电力支持。以太阳能光伏发电为主体，以风力发电和水利发电的剩余产能为辅助，构建绿氢生产能源体系。二是做强绿氢产业稳定产出的基础，大力建设新型储能项目，为绿氢生产提供稳定的电力支持。以抽水储能、压缩空气储能和液流电池储能为主体，以锂离子电池储能和钠离子电池储能为辅助，构建绿氢稳定能源供给系统。三是以构建新型电网系统为目标，促进电氢的耦合发展，带动绿氢产业与国家电网的同

步升级发展。

## 5 云南省发展绿氢产业的对策建议

### 5.1 设计绿氢产业发展路线图，做好绿氢产业发展顶层规划

截止目前，除了浙江、江苏、广东、黑龙江、云南5个省份外全国其它省区市都制定了专门的氢能产业发展的规划类文件。云南省要重视绿氢产业的未来发展前景，及早编制出台专项的《云南省氢能产业发展规划》，设计云南省绿氢产业发展路线图，做好绿氢产业发展的顶层规划。要利用发展规划，明确绿氢产业发展的指导思想和发展目标，凝聚社会共识，以全社会之力发展绿氢产业；要明确保证要素，以政策和财政支持为导向，引导社会资源配置，吸引全国的绿氢龙头企业入驻云南；要明确重点任务，做到有的放矢，以攻克绿氢产业发展的关键技术为突破口带动绿氢产业发展；要明确产业布局，充分发挥各个地区资源和产业优势，保证绿氢产业的有序发展。

### 5.2 以交通领域的氢能应用为突破口，发展绿氢应用示范项目

交通运输业是目前绿氢应用较为成熟的领域，氢燃料电池已经在我国的交通大巴、货运重卡、客运轮船等大型交通运输工具上得到广泛应用。一是利用云南省旅游业发达，旅游大巴拥有量较多的优势，发展旅游大巴绿氢示范项目，以绿氢旅游大巴的示范应用带动绿氢的生产、储存和使用。二是利用云南省采矿业发达的优势，发展矿业的绿氢货运重卡示范项目。氢能货运重卡是有效降低矿业碳排放的重要措施之一，相对于电车具有绝对的优势，云南省有锡业股份、驰宏锌锗、贵研铂业、云天化四家矿业上市公司，这些企业对绿氢重卡需求量很大。三是利用云南省湖泊众多，需要的旅游和巡查的轮船较多的优势，发展绿氢船舶示范项目。云南省有九大高原湖泊和星罗棋布的各种中小型湖泊，这些湖泊大都需要轮船进行巡查，还有一些开发有游船旅游项目，为了减少对湖泊的污染，以氢燃料电池为动力的绿氢轮船有较大的市场。

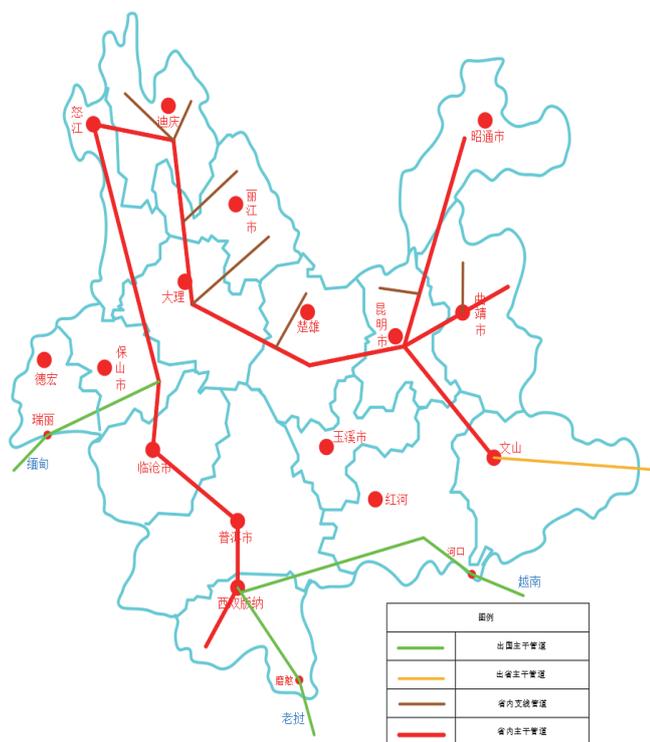
### 5.3 依托太阳能光伏发电项目建设，推动绿氢生产项目建设

相对于风力发电，云南省的太阳能光伏发电的潜力巨大。2023年，太阳能资源远远低于云南省的贵州、广东、湖北等省份的光伏发电量都超过了云南省，按照这些省份太阳能光伏发电项目的建设标准，云南省的大部分地区都可以建设光伏发电项目。自2024年4月开始，我国电网不再

承担可再生能源电量的全额收购义务,这意味着很光伏发电项目要依靠自身消费掉产生的电量,绿氢生产是目前唯一的出路。云南省要依托太阳能光伏发电项目建设,要求必须配套建设电解水制氢设施,以提高绿氢产能;要积极推进基于太阳能光伏发电项目的绿氢制储加用一体化项目建设,以此解决绿氢运输成本高的难题。

#### 5.4 规划氢能管道主干线,构建绿氢运输的主干网络

2060年左右绿氢将在全社会获得大规模应用已经成为共识,云南省要及早规划绿氢大规模运输的氢能管道建设,构建绿氢运输的主干网络。为了实现“西氢东输”的目标要构建将绿氢输送到沿海地区的广州、深圳、香港、澳门等城市的出省主干管道,预想该主干管道从文山市向东南方向出省;为了现实将绿氢销售到欧洲、东南亚国家的目标,要构建将绿氢输送到欧洲、缅甸、老挝、泰国、越南等国家的出国主干管道,预想从德宏的瑞丽市、西双版纳的磨憨镇、红河的河口镇三个地方出国;为了绿氢的收集和消费,要构建省内的绿氢主干管道和支线管道。依据云南省水、风、光绿色能源资源的分布情况,预想设计的绿氢出省、出国的主干管道及省内主干管道、支线管道如图一。



图一云南省出省、出国及省内绿氢管道设计图

#### 5.5 建设新型储能项目,为绿氢生产提供电力支持

风力发电在风力比较大的时段,太阳能光伏发电在中午太阳辐射比较集中的时段,水利发电在上游来水比较大的发电高峰期时段,短时间内产生的电量会超出电网消纳能

力,也会超过这些发电项目配套的电解水制氢项目的电力消耗能力,所以必须配套其他新型储能项目,为保证绿氢生产持续稳定进行提供电力储能。云南省要为风光水发电项目配套适当规模的抽水储能项目、液流电池储能项目和压缩空气储能项目,这三类储能项目储能容量大,项目生命周期长,能够长时间为绿氢生产提供电力支持。

#### 5.6 积极发展绿色甲醇生产示范,拓展绿氢应用场景

绿氢存储和运输过程中容易产生爆炸,成本相对较高,将绿氢变为同样低碳环保的绿色甲醇成为绿氢存储和运输的重要技术路线。绿色甲醇可以作为燃料进行燃烧发电和加热,也可以作为化石燃料用于交通运输工具的动力燃料。2024年1月,欧盟将航运业纳入欧盟碳排放交易系统,海运船舶公司都开始积极制定脱碳战略,用绿氢制取的绿色甲醇替代传统燃油作为船用燃料是其中最成熟的方案,在这一领域绿色甲醇需求量巨大。绿色甲醇作为重要的化工原料,在化工行业也有广泛的需求。云南省要积极发展绿色甲醇生产示范项目,将绿氢转化为甲醇进行存储和运输。

#### 参考文献:

- [1] 张秉毅, 李欢. 明确绿氢范畴规范氢能产业[J]. 智能网联汽车, 2023(06): 60-62.
- [2] 国家统计局. 《中华人民共和国2023年国民经济和社会发展统计公报》[Z]. 204-02-29.
- [3] 云南省人民政府办公厅. 云南省绿色能源发展“十四五”规划[Z]. 2022-12-30.
- [4] 中国气象局风能太阳能中心. 2023年中国风能太阳能资源年景公报[Z]. 2024-02.
- [5] 云南省人民政府办公厅. 云南省绿色能源发展“十四五”规划[Z]. 2022-12-30.
- [6] 云南省人民政府网站. 自然资源[EB/OL]. [https://www.yn.gov.cn/yngk/gk/201904/t20190403\\_96264.html](https://www.yn.gov.cn/yngk/gk/201904/t20190403_96264.html). 2023-11-17.
- [7] 高伏芳, 李胜, 朱荣华, 等. 大理州地热资源分布及开发现状[J]. 中国水运(下半月), 2023, 23(12): 72-73+86.
- [8] 王然, 田永纯, 翟好晴, 等. 云南省地热能资源开发利用的对策建议[J]. 云南科技管理, 2022, 35(04): 23-25.

#### 作者简介:

袁丽梅(1985.12-), 云南曲靖人, 汉, 讲师, 硕士, 主要从事高等教育和区域经济方面的研究。