

2021 年全球水电发展现状与开发潜力分析

杨子儒,李诚康,周兴波

(水电水利规划设计总院,北京 100120)

摘要:为全面了解全球水电发展现状、分析全球水电开发及国际水电市场发展潜力,基于国际水电协会发布的年度报告,通过分析近几年全球水电发展现状发现,全球水电总装机容量持续增加,受各国疫情防控与 2050 碳中和目标双重影响,2021 年增量虽未达到预估的 2% 但较 2020 年增速仍有回升。结合全球水电资源开发情况,分析了全球水电开发的潜力,发现亚洲、南美洲、非洲、北美洲开发潜力较大,中国、巴西、俄罗斯、加拿大、美国水电总体发展潜力名列前茅,不丹、冰岛、巴布亚新几内亚、圭亚那、加蓬人均水电潜力较大。

关键词:水力资源;全球水电;装机容量;发展现状;开发潜力

中图分类号:TV213;TV753 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2022)03-0039-06

Global hydropower development status and potential analysis in 2021//YANG Ziru, LI Chengkang, ZHOU Xingbo
(China Renewable Energy Engineering Institute, Beijing 100120, China)

Abstract: In order to comprehensively understand the current situation of global hydropower development, and to analyze the development potential of global hydropower and the international hydropower market, the current situation of global hydropower development in recent years was analyzed based on the hydropower annual reports released by the International Hydropower Association. It is found that the total installed capacity of global hydropower continues to increase, and affected by the continuous COVID-19 and the 2050 carbon neutrality target, the increase rate was still rebounded although it did not reach the estimated 2%. Combined with the development of global hydropower resources, the potential of global hydropower development was analyzed. The results show that Asia, South America, Africa, and North America have great development potential. China, Brazil, Russia, Canada, and the United States are among the best in overall hydropower potential. Bhutan, Iceland, Papua New Zealand Guinea, Guyana, and Gabon have relatively large hydropower potential per capita.

Key words: hydropower resources; global hydropower; installed capacity; development status; development potential

水电是迄今为止最重要的可再生能源,提供了世界总电力的 16% 和所有可再生电力的 45%,且其灵活性和储能性优良,如抽水蓄能电站可在平衡太阳能和风能的不均衡供应方面发挥关键调蓄作用。水电因其可产生大量低碳电力并且能够灵活调峰的特性,必将在世界能源清洁化发展中发挥重要作用。在全球 2050 年实现碳中和的目标下,世界需要增加 260 000 万 kW 的水电装机容量,才有可能将全球气温上升控制到 1.5℃ 以下,这意味着需要在未来 30 年内建设与前 100 年相同的装机总量。

目前已有多位学者对全球水电开发潜力采用多种方法进行了预估。Guya 等^[1-2]通过 GIS 和水文建模技术评估水电潜力。Coskun 等^[3]通过水文遥感和 GIS 建模测量水力发电的潜力。Mosier 等^[4]通过水

电潜力评估工具 (HPAT) 评估全球陆地区域的径流资源潜力。Lehner 等^[5]通过水资源模型和水文评估,评估未来世界水电的潜力。Olivier 等^[6]通过数据分析和水电分布分析微小型水电潜力。

近年来,国内众多学者^[7-13]多对国内的水电发展进行了详细研究,如李锐等^[14]系统分析了中国水电发展情况,但对全球水电发展现状、水电开发市场、最新水电发展潜力变化分析不足。本文将系统地梳理全球北美洲、南美洲、非洲、欧洲、中亚和南亚、东亚及环太平洋地区的水电发展现状和市场动态,并结合全球水电发电需求、人均发电潜力,分析水电开发潜力和未来市场,为了解全球水电发展现状、分析全球水电开发及国际水电市场发展潜力提供参考。

基金项目:中国电建集团科技项目 (DJ-ZDXM-2021-10)
作者简介:杨子儒(1993—),男,工程师,硕士,主要从事水电工程安全应急及信息化研究。E-mail:yangzirucreei@163.com
通信作者:周兴波(1988—),男,高级工程师,博士,主要从事水电工程、安全应急等研究。E-mail:amzhoubx@foxmail.com

1 全球水电发展现状

近年来,全球水电总装机容量保持快速增长势头。2016—2020 年 全 球 水 电 总 装 机 容 量 由 124 500 万 kW 增长至 133 000 万 kW,2019 年新增水电装机仅 1700 万 kW,增幅为近 5 年最低^[15-19]。随着各国疫情防控升级和经济复苏,水电行业复苏迹象正在出现,2020 年新增水电装机量为 2 200 万 kW。从各地区发展看,东亚和太平洋地区水电总装机容量以 50 100 万 kW 依旧是高居第一,欧洲水电总装机容量 25 400 万 kW 位居第二位,北美洲 20 500 万 kW 名列第三,其他地区水电总装机容量依次为南美洲 17 700 万 kW、中南亚 15 500 万 kW、非洲 3 800 万 kW。2020 年东亚和环太平洋地区新增水电装机容量最大,为 1 446.6 万 kW,其次是欧洲新增水电装机容量为 303.2 万 kW,南美洲新增水电装机容量最小,为 47.6 万 kW。从国家角度看,2020 年中国以最大水电装机容量 37 020 万 kW 和最大增长装机容量 1 376 万 kW 居于世界首位,第二名巴西水电总装机容量为 10 930 万 kW,美国水电总装机容量 10 200 万 kW,加拿大水电总装机 8 200 万 kW,印度水电总装机容量 5 050 万 kW,日本水电总装机容量 4 990 万 kW,俄罗斯水电总装机容量 4 990 万 kW。

1.1 北美洲

截至 2020 年,北美洲水电总装机容量 20 500 万 kW,其中美国、加拿大、墨西哥、哥斯达黎加水电总装机容量(含抽水蓄能电站)分别为 10 200 万 kW、8 200 万 kW、1 261.2 万 kW、233.1 万 kW,占北美洲水电总装机容量约 97%,与 2019 年相比略有增长,北美洲各国水电发展情况见表 1。2020 年北美洲年发电量 7 240 亿 kW·h,新增装机容量 53.1 万 kW,其中加拿大新增 27.5 万 kW,多米尼加共和国新增 12.3 万 kW,洪都拉斯新增 10.8 万 kW,美国新增 2.4 万 kW。

目前,美国的水电装机总容量(包括抽水蓄能)仍然保持在 10 202.4 万 kW,美国水电行业和相关协会在保护河流开发水电能源方面达成共识协议,预估有 5 000 万 kW 的水电潜力待开发。为加拿大水电占总装机总量一半,但产生的电力约占年度发电总量的 60%。2020 年,加拿大魁北克政府批准了阿巴拉契斯-缅因州互连线项目,该项目每年将为美国提供约 94.5 亿 kW·h 的清洁水电,并计划未来 3 年在水电项目建设持续投入 3.315 亿美元,以达到 2030 年 90% 的电力生产零排放和 2050 年碳中和的目标。哥斯达黎加在 2020 年达到了 100% 可再生能源发电的目标,其中 72% 的发电来自水电,较 2019 年水电发电量增长了约 6%。墨西哥在大

表 1 北美洲主要国家和地区水电发展情况

国家	装机容量/万 kW		2020 年发电量/ (亿 kW·h)
	2019 年	2020 年	
美国	10 200.0	10 202.4	2 910.0
加拿大	8 200.0	8 227.5	3 830.0
墨西哥	1 212.6	1 261.2	231.2
哥斯达黎加	234.3	233.1	82.9
巴拿马	178.6	178.6	72.5
危地马拉	155.9	155.9	57.6
洪都拉斯	72.9	83.7	27.0
多米尼加共和国	61.6	73.9	1.2
萨尔瓦多	57.5	57.5	19.9
尼加拉瓜	15.7	15.7	5.7
波多黎各	10.0	10.0	0.5
古巴	6.8	6.8	0.6
海地	6.0	6.0	1.3
伯利兹	5.5	5.5	0.8
牙买加	3.0	3.0	1.6
瓜德罗普	1.1	1.1	0.3
多米尼加	0.7	0.7	0.4
格林纳丁斯	0.7	0.7	0.4

于 1 000 万 kW 装机容量电站中有 85% 是 30 年前投入使用的,因此其水力发电维护改造潜力巨大。墨西哥政府已制定了升级现有 18 座水电站的计划,预计到 2030 年达到 2 600 万 kW 的水力发电能力,墨西哥未来水电市场发展前景广阔。洪都拉斯获得一笔来自美洲开发银行的 1 800 万美元贷款投资,用于对其境内最大的水电站莫拉桑水电站的升级改造项目。为了达到可再生能源替代燃料能源的目标,波多黎各、牙买加政府都制定了相应的水电、抽蓄电站项目建设的发展计划。

1.2 南美洲

截至 2020 年,南美洲水电总装机容量达到 17 700 万 kW,水电总装机容量(包括抽水蓄能电站)排名为巴西 10 927.1 万 kW、委内瑞拉 1 539.3 万 kW、哥伦比亚 1 194.1 万 kW、阿根廷 1 134 万 kW、巴拉圭 881 万 kW、智利 694.5 万 kW,各国水电发展情况见表 2。2020 年,南美洲水电新增装机 47.6 万 kW,其中巴西新增装机 21.3 万 kW,智利新增装机 20.5 万 kW,阿根廷新增 3 万 kW,哥伦比亚新增 2.4 万 kW,秘鲁新增 0.235 万 kW。

南美洲是水电需求和发展最快的地区之一,尽管由于新冠疫情导致 2020 年的能源需求有所降低,但是为了加快经济复苏,减少化石燃料依赖,水电仍旧是南美洲最好的选择。巴西此前正在经历长期干旱,由于巴西国家电力供应的 60% 以上来自水电,干旱直接导致巴西能源危机。巴西政府在拥有 5.2 万 kW 装机的巴塔勒哈水电站策划一个水光互补项目,其中光伏电站装机为 3 万 kW。哥伦比亚的水力发电约占本国发电量的 70%。哥伦比亚的

表 2 南美洲主要国家和地区水电发展情况			
国家	装机容量/万 kW		2020 年发电量/ (亿 kW·h)
	2019 年	2020 年	
巴西	10905.8	10927.1	4 095.0
委内瑞拉	1 539.3	1 539.3	720.0
哥伦比亚	1 191.7	1 194.1	458.2
阿根廷	1 131.0	1 134.0	303.5
巴拉圭	881.0	881.0	493.4
智利	674.0	694.5	207.9
秘鲁	539.4	539.6	290.4
厄瓜多尔	507.4	507.6	247.9
乌拉圭	153.8	153.8	39.5
玻利维亚	73.5	73.5	29.4
苏里南	19.0	19.0	13.6
法属圭亚那	11.9	11.9	4.4
圭亚那	0.05	0.3	

地理特征在小型水电开发方面具有优势,2020 年 9 月,装机容量 19.9 万 kW 的圣安德烈斯德库尔基亚水电站(San Andres de Cuerquia)正式运行,此外政府还公布了丽池 I(Retiro I)、丽池 II(Retiro II)和乔雷里塔斯(Chorreritas)3 个水电站开发计划,其总装机容量约 6 万 kW。秘鲁的可再生能源投资进一步扩大,在计划新增 200 万 kW 装机的项目中大部分是水电项目,投资成本总计超过 22 亿美元,其中包括 2021 年投产的 8.4 万 kW 的拉维尔根(La Virgen)水电项目,预计 2022 年后投产的电站有装机容量 5.62 万 kW 的图卢马尤Ⅳ(Tulumayo Ⅳ)、8.32 万 kW 装机的图卢马尤Ⅴ(Tulumayo Ⅴ)、装机容量 10.21 万 kW 的安托鲁伊斯Ⅲ(Anto Ruiz Ⅲ)以及装机容量 10.38 万 kW 的安托鲁伊斯Ⅳ(Anto Ruiz Ⅳ)。此外还有在阿雷基帕(Arequipa)的 Lluella(28.8 万 kW)和瓦努科的 Huallag I(39.2 万 kW)。

1.3 非洲

水电是非洲主要的可再生能源,截至 2020 年,非洲水电总装机容量 3 800 万 kW,约占总电力份额的 16%,实现低碳能源转型后预计到 2040 年将增加到 23%。埃塞俄比亚总装机容量 407.4 万 kW,安哥拉总装机容量 383.6 万 kW,南非总装机容量 359.6 万 kW,非洲主要国家水电发展情况见表 3。2020 年新增水电装机容量 93.8 万 kW,其中安哥拉新增 40.1 万 kW,埃塞俄比亚新增 25.4 万 kW,几内亚新增 22.5 万 kW。

安哥拉政府将水电开发作为 2025 总体战略的重点,随着国内装机容量最大的劳卡(Lauca)水电站全部机组投产发电,安哥拉已经成为非洲第二大的水电生产国。几内亚取得中国“一带一路”倡议支持,苏阿皮蒂(Souapiti)水电站已于 2020 年 11 月投产发电,预计 2021 年底全部机组投产发电。埃塞俄比亚水电装机容量是非洲地区最多的,

表 3 非洲主要国家水电发展情况			
国家	装机容量/万 kW		2020 年发电量/ (亿 kW·h)
	2019 年	2020 年	
埃塞俄比亚	382.0	407.4	135.6
安哥拉	343.5	383.6	100.8
南非	359.6	359.6	56.7
埃及	287.6	287.6	120.9
刚果民主共和国	275.0	276.0	91.9
赞比亚	240.0	240.0	136.7
莫桑比克	221.6	221.6	141.7
尼日利亚	211.0	211.1	61.0
苏丹	192.3	192.3	77.5
摩洛哥	177.0	177.0	15.5
加纳	158.4	158.4	72.1
津巴布韦	107.6	109.1	72.6
乌干达	104.0	104.0	40.3
科特迪瓦	87.9	87.9	23.1
肯尼亚	82.6	83.7	35.2
喀麦隆	79.2	82.2	58.8
几内亚	48.1	70.6	24.7
坦桑尼亚	58.6	59.6	23.5
马拉维	37.1	37.1	13.0
纳米比亚	34.7	34.7	9.5

Genale-Dawa Ⅲ项目(25.4 万 kW)于 2020 年 2 月并入埃塞俄比亚电网,635 万 kW 的复兴大坝项目于 2020 年 7 月完成水库第一阶段蓄水工作,预计将于 2023 年投产运行。乌干达政府计划到 2030 年将电力产能增加 1 倍以上,其中水电份额占近 70%,60 万 kW的卡鲁玛(Karuma)水电项目于 2021 年已投产运行。尼日利亚制定了到 2030 年电网装机容量增加到 3 200 万 kW,其中水电装机容量1 400万 kW,正在筹建尼日利亚最大的 305 万 kW 曼比拉(Mambila)水电项目。摩洛哥可再生资源丰富,水电装机容量 177 万 kW,预计到 2030 年总装机容量增加 1 010 万 kW,正在建设有 35 万 kW 的阿卜杜勒穆门(Abdelmoumen)抽水蓄能电站和 30 万 kW 的伊法萨(Ifahsa)抽水蓄能项目。赞比亚截至 2020 年水电装机 240 万 kW,正在建设一座 75 万 kW 的卡富埃峡谷下游水电项目,同时和津巴布韦共同建设 240 万 kW 巴托卡峡谷水电项目,该项目预计发电量超过 100 亿 kW·h。

1.4 欧洲

水电是欧洲可再生能源的主要来源,截至 2020 年,欧洲水电总装机容量达到 25 400 万 kW,占总发电量的 13%,其中挪威、土耳其、法国、意大利、西班牙水电总装机容量(包括抽水蓄能电站)分别为 3 299.5 万 kW、3 098.4 万 kW、2 550.8 万 kW、2 259.3 万 kW、2 040.9 万 kW。2020 年新增水电装机容量 303.2 万 kW,主要有土耳其新增 248.1 万 kW、挪威新增 32.4 万 kW、阿尔巴尼亚新增 19.7 万 kW、

塞尔维亚新增 2.5 万 kW、芬兰新增 0.6 万 kW,欧洲主要国家水电发展情况见表 4。

表 4 欧洲主要国家水电发展情况

国家	装机容量/万 kW		2020 年发电量/ (亿 kW·h)
	2019 年	2020 年	
挪威	3 267.1	3 299.5	1 416.9
土耳其	2 850.3	3 098.4	773.9
法国	2 555.7	2 550.8	648.4
意大利	2 259.3	2 259.3	477.2
西班牙	2 041.4	2 040.9	333.4
瑞士	1 686.3	1 688.1	406.2
瑞典	1 647.8	1 647.8	716.0
奥地利	1 454.5	1 459.7	425.2
德国	1 102.2	1 102.2	247.5
葡萄牙	719.3	719.3	139.6
罗马尼亚	631.3	631.3	155.3
乌克兰	622.9	622.9	48.5
英国	471.2	471.2	76.4
希腊	340.0	340.0	34.3
芬兰	325.7	326.3	155.5
保加利亚	312.9	312.9	33.7
塞尔维亚	309.8	312.3	96.6
斯洛伐克	252.2	252.2	46.7
波斯尼亚和黑塞哥维那	251.3	251.3	61.0
阿尔巴尼亚	219.3	239.0	52.8
波兰	238.5	238.5	29.3
捷克	226.8	226.8	34.0
克罗地亚	214.1	214.1	34.0
冰岛	208.6	208.6	124.6
拉托维亚	157.6	157.6	25.9
斯洛文尼亚	152.4	152.4	52.4
比利时	142.7	142.7	12.8
卢森堡	133.0	133.0	10.9
立陶宛	101.6	101.6	10.6
马其顿	67.4	67.4	12.4

2020 年,欧盟可再生能源的总发电量首次超过化石燃料,水力发电总量比 2019 年增加了 4%,主要来自北欧和伊比利亚的发电量增加。挪威是世界水电比重最高的国家,在欧洲国家中水电装机容量最多,近几年通过 Nedre Otta (7.8 万 kW)、Leikanger(7.7 万 kW)和 Østerbo(4.8 万 kW)等中小规模开发继续增加其水电装机容量。2020 年,土耳其的水电装机容量增加了 248.1 万 kW,增长了近 10%,投产了 122.4 万 kW 的伊利苏(Ilisu)水电站、42.9 万 kW 的切廷(Cetin)水电站、12 万 kW 的阿尔帕斯兰二期(Alpaslan II)水电站和 50 万 kW 的下卡莱克(Lower Kaleköy)水电站。法国的 9.7 万 kW 罗曼什-加韦(Romanche-Gavet)项目投产作为之前罗曼什河沿岸运营的 6 座水电站和 5 座水坝的代替品,大大减少了周边地区的环境和社会影响。葡萄牙的 Tâmega 河上新建 Gouvães、Daivões 和 Alto Tâmega 水电站,该河上将增加 115.8 万 kW 电力装机,包括

88 万 kW 的 Gouvães 抽水蓄能电站。阿尔巴尼亚 2020 年新建投产一座莫格利采(Moglice)水电站,位于德沃尔河上,装机容量为 19.7 万 kW。

1.5 中亚和南亚

中亚和南亚地区水电资源分布不均,大部分水电潜力仍未开发,电力基础设施建设是中南亚国家当前的重要任务之一。截至 2020 年,中亚和南亚国家水电总装机容量达 15 400 万 kW,印度和俄罗斯水电装机容量均在 5 000 万 kW 左右,伊朗水电装机容量 1 216.9 万 kW,巴基斯坦近年来的水电开发逐见成效,已经接近 1 000 万 kW,中亚和南亚国家水电发展情况见表 5。2020 年,中亚和南亚水电新增装机 160.9 万 kW,其中印度新增 47.9 万 kW,俄罗斯新增 38 万 kW,以色列新增 30 万 kW,格鲁吉亚新增 17.9 万 kW,巴基斯坦新增 10.2 万 kW。

表 5 中亚和南亚国家水电发展情况

国家	装机容量/万 kW		2020 年发电量/ (亿 kW·h)
	2019 年	2020 年	
印度	5 007.0	5 054.9	1 550.0
俄罗斯	4 953.2	4 991.2	1 960.0
伊朗	1 216.9	1 216.9	277.0
巴基斯坦	982.7	992.9	373.8
塔吉克斯坦	639.5	639.5	170.0
吉尔吉斯斯坦	327.1	389.2	148.0
格鲁吉亚	307.0	344.9	82.5
伊拉克	275.3	275.3	18.0
哈萨克斯坦	259.8	273.0	99.0
不丹	232.6	232.6	89.5
乌兹别克斯坦	186.5	200.5	69.0
斯里兰卡	171.9	180.9	49.0
叙利亚	150.5	150.5	7.5
亚美尼亚	124.9	129.3	25.0
尼泊尔	112.7	127.8	30.0
阿塞拜疆	113.1	113.1	10.3
阿富汗	46.1	46.1	6.2
以色列	0.7	30.7	0.2
黎巴嫩	22.1	28.2	9.7
孟加拉国	23.0	23.0	6.1

2020 年,中亚和南亚国家有超过 160 万 kW 的水电容量投入运行,主要来自印度、俄罗斯、以色列、格鲁吉亚和巴基斯坦的新增产能。印度启动了 30 万 kW 卡蒙(Kameng)、288 万 kW 迪邦(Dibang)、50 万 kW 菩提伽耶(Bodhghat)、16.3 万 kW 阿提拉皮利(Athirappilly)、2.4 万 kW 北科尔(North Koel)、24 万 kW 库特尔(Kutehr)等水电项目。俄罗斯水力资源十分丰富,2020 年投产了 34.6 万 kW 萨拉马格卡亚一期(Zaramagskaya I)、1 万 kW 上巴尔卡尔斯卡亚(Verkhnebalkarskaya)、0.56 万 kW 乌斯季-杰古金斯卡娅(Ust-Dzhegutinskaya)和扩建增加 2.29 万 kW 伊尔库茨克(Irkutsk)水电项目。乌兹别

克斯坦有着 75% 以上的潜在水电容量未开发,因此制定了到 2030 年将水力发电量增加一倍的国家能源战略,2020 年,乌兹别克尼德罗能源公司新建和改造投产了 6 个水电站,总装机容量 7.14 万 kW,可发电量 541 亿 kW·h。巴基斯坦 2020 年投产了庞奇河附近的 10.2 万 kW 古尔普尔(Gulpur)水电站,同时获得了亚洲开发银行 3 亿美元贷款用于昆哈尔河上一座 30 万 kW 水电站的建设。尼泊尔约有 88% 的潜在水电资料待开发,2020 年,因受新冠疫情影响有 3 座水电站投产时间推迟,但也有 2 座装机容量 7.4 万 kW 的水电项目投产。不丹近年来着重落实国家能源政策,计划到 2030 年达到 500 万 kW 水电装机容量,目前正在与印度政府谋划建设 60 万 kW 的孔隆楚(Kholongchhu)项目,是不丹东部地区首个水电合资项目。格鲁吉亚一直在可持续能源发展方面致力建设,2020 年新增 17.8 万 kW 水电装机容量。

1.6 东亚及环太平洋地区

截至 2020 年,东亚和环太平洋地区水电总装机容量 50 149 万 kW,占全球总装机容量的 37.7%,主要归功于中国贡献了其中的 27.8%。2020 年,东亚和环太平洋地区新增装机容量 1 446.6 万 kW,其中中国新增水电装机容量 1 376 万 kW,占东亚和环太平洋地区的 95.1%;印度尼西亚新增 23.6 万 kW,老挝新增 17.6 万 kW,日本新增 11.1 万 kW,马来西亚新增 10.1 万 kW,东亚和环太平洋国家水电发展情况见表 6。

表 6 东亚和环太平洋国家和地区水电发展情况

国家	装机容量/万 kW		2020 年发电量/ (亿 kW·h)
	2019 年	2020 年	
中国	35 640.0	37 016.0	13 552.0
日本	4 990.5	5 001.6	891.7
越南	1 675.9	1 711.1	519.8
澳大利亚	879.0	879.0	148.9
韩国	720.0	737.6	193.3
马来西亚	640.5	650.6	71.0
新西兰	617.4	627.5	156.6
印度尼西亚	588.5	612.1	186.3
朝鲜	535.4	535.4	239.8
老挝	483.4	501.0	120.0
泰国	451.0	451.3	45.4
菲律宾	438.6	438.5	77.9
缅甸	333.1	333.1	111.9
柬埔寨	133.0	133	34.9
巴布亚新几内亚	23.4	23.4	8.0
斐济	12.5	12.5	5.0
新喀里多尼亚	7.8	7.8	2.2

中国作为全球水电装机容量最大的国家,2020 年水电年发电量 13 552 亿 kW·h,占总发电量的 31%,中国致力于绿色可持续能源开发,并宣布

计划于 2025 年实现煤炭消费峰值,于 2060 年实现碳中和;2020 年新增了绩溪抽水蓄能电站最后 4 台机组投产发电,2021 年 6 月 16 日,乌东德水电站 12 台机组全部投产发电,总装机容量 1 020 万 kW,是中国第四、世界第七大水电站。同时,国家能源局印发《2021 年能源工作指导意见》开展了全国新一轮抽水蓄能中长期规划,加快长龙山、荒沟等抽水蓄能电站建成投产。东盟区域政府提出到 2025 年实现 23% 可再生能源计划,旨在促进区域互联和经济发展。老挝继续推出到 2030 年出口 2 000 万 kW 的计划,并宣布了 72.8 万 kW 的 Phou Ngoy 项目。马来西亚将大型水电作为其可再生能源发展的一部分,加大了这方面的投入,正在建设 128.5 万 kW 的 Baleh 项目,沙捞越州正在筹建 Limbang 2 (13 万 kW)、Belaga (16 万 kW)、Linau (18.2 万 kW)、Trusan 2 (24 万 kW)、Baram 3 (30 万 kW)、Pelagus (46.5 万 kW) 以及 Kota 2 (1.2 万 kW) 项目。泰国政府决定能源转型,计划到 2030 年将煤炭产能份额减少至 5%,已建成投产 Klong Tron 项目,正在建设 1.4 万 kW 的 Pha Chuk 项目。菲律宾截至 2020 年水电装机容量 438.5 万 kW,为促进可再生能源发展,政府暂停新建燃煤电厂,并放开了外资和私人对水电等项目的投入。巴布亚新几内亚水电市场开发前景广阔,正在建设的 18 万 kW 的 Ramu 2 水电项目,是该国最大的能源基础设施投资。澳大利亚加强绿色能源开发,截至 2020 年水电装机容量 879 万 kW,塔斯马尼亚州政府宣布到 2040 年实现 200% 可再生能源目标,并与澳大利亚联邦政府签署了双边减排和能源减排协议。

2 全球水电开发潜力分析

由于地理环境和气候环境的影响,全球水能资源分布很不均匀。从技术可开发量分布看,亚洲占比为 50%,南美洲 18%,北美洲 14%,非洲 9%、欧洲 8% 和大洋洲 1%。全球水电开发潜力理论分布情况如图 1 所示^[20]。依据各类研究估算,全球水电理论蕴藏量为 (36 ~ 128) 万亿 kW·h/a,技术可开发量为 (8 ~ 26) 万亿 kW·h/a,经济可开发量

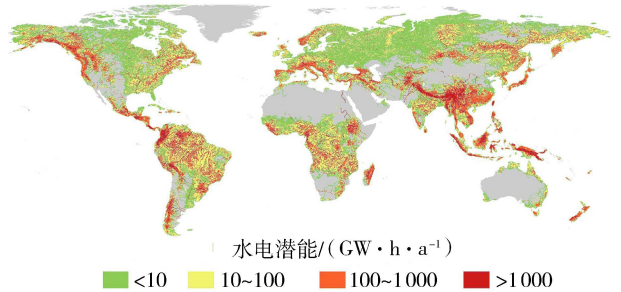


图 1 全球水电开发潜力理论分布

(8~21) 万亿 kW·h/a。

预计到 2030 年,全球累计水电装机容量将从 2020 年的约 13.3 亿 kW 扩大到略高于 15.55 亿 kW,增幅为 17% 约 2.3 亿 kW。由上述及图 1 可知,北美洲西北部与南部、南美洲西北部与西南部、非洲的中南部、欧洲的南部、东南亚及太平洋地区水电资源较丰富。亚洲的水电发展潜力占全球的 48%,根据水电开发潜力与国家人口关系,发现尼泊尔、缅甸和加蓬等国家人均水电潜力较高但发电量较低,因此这些国家的水电市场有较大潜力。

人均水电开发潜力是一个可以反映一个国家当前水电开发现状和水电潜力的重要参数,一个国家人均水电开发潜力较低的原因一般有 3 个,一是地势较平坦,例如荷兰;二是气候干旱水量少,如沙特阿拉伯;三是人口众多,例如孟加拉国、德国、日本等。人均水电开发潜力世界前 20 位国家分别为不丹(31.9 万 kW·h/a)、冰岛(27.5 万 kW·h/a)、巴布亚新几内亚(15.8 万 kW·h/a)、圭亚那(13.8 万 kW·h/a)、加蓬(10.7 万 kW·h/a)、苏里南(10.2 万 kW·h/a)、加拿大(8.9 万 kW·h/a)、玻利维亚(8.0 万 kW·h/a)、新西兰(6.2 万 kW·h/a)、刚果(5.5 万 kW·h/a)、挪威(5.1 万 kW·h/a)、老挝(5.0 万 kW·h/a)、黑山(4.6 万 kW·h/a)、秘鲁(3.9 万 kW·h/a)、赤道几内亚(3.8 万 kW·h/a)、哥伦比亚(3.5 万 kW·h/a)、赞比亚(3.1 万 kW·h/a)、伯利兹(3.1 万 kW·h/a)、尼泊尔(2.9 万 kW·h/a)、智利(2.8 万 kW·h/a)。水电潜力较大的俄罗斯、巴西、美国、中国的人均水电开发潜力分别为 2.4 万 kW·h/a、1.8 万 kW·h/a、0.8 万 kW·h/a、0.5 万 kW·h/a,分居于世界第 27 位、第 37 位、第 62 位、第 74 位。玻利维亚、赞比亚、尼泊尔、缅甸和加蓬等几个电力短缺频繁的国家人均水电潜力很大,所以可以增加水电装机容量,大力开发水电。同时,在全球碳中和以及能源短缺的双重作用下,人均水电开发潜力较大的国家,尽管在目前认为是经济发展较慢的地区,未来也可能进一步扩大水电开发与生产。

3 结 语

水电作为最重要、应用最广泛的可再生能源约占全球总发电量的 17%。水电仍有大约三分之二的经济可行潜力有待开发,在拉丁美洲、中非、印度和中国未开发的水利资源仍然很丰富。

截至 2020 年,全球水电累计装机容量达 133 010.6 万 kW,与 2019 年相比增长 1.6%,包括抽水蓄能电站装机容量为 15 949.4 万 kW,全年发电量为 43 700 亿 kW·h,与 2019 年同比增长

1.1%。2020 年新增水电装机容量 2 200 万 kW。中国以 1 376 万 kW 位列 2020 年新增水电装机容量最多的国家,土耳其以新增 248 万 kW 位列第二,印度新增 47.8 万 kW,安哥拉新增 40.1 万 kW。根据水力资源分布以及人均水电发展潜力情况看,非洲中部、南亚及东南亚、拉丁美洲地区、美洲西北部地区未来水电开发潜力较大,不丹、冰岛、玻利维亚、刚果、挪威、老挝、缅甸等国水电市场前景广阔。

随着国际社会对保障能源安全、保护生态环境、应对气候变化等问题日益重视,能源绿色低碳发展已成为世界各国普遍共识,清洁能源开发利用也成为实现经济社会和能源可持续发展的重要选择。全球为了应对气候变暖问题,IEA 的目标是要水电装机容量在未来 30 年的时间要增长 1 倍,作为最重要的清洁可靠的可再生能源,水电发展必然会成为世界各国政府未来能源发展的重点方向。由于抽水蓄能电站调峰储能以及在水、风、光多能互补中的重要作用,抽水蓄能电站具有良好市场前景。伴随着信息技术、卫星技术、民航无人机技术、5G 通信技术、云计算、虚拟现实技术的进步,水电站和电厂的勘测设计、施工建设和运行维护等方面也伴随着技术革新升级。此外,全球超长运行的水电大坝也逐年增多,加上全球极端气候和自然灾害发生频率也逐年上升,水电站和水库大坝的安全管理与风险防控是全球各界关注的问题,政府和企业将投入更多资源到相关领域以探索更好地解决办法。同时,世界范围内越来越多的超长运行电站有更新重建现代化新型水电的需求。

参考文献:

- [1] CUYA D G P, BRANDIMARTE L, POPESCU I, et al. A GIS-based assessment of maximum potential hydropower production in La Plata basin under global changes [J]. Renewable Energy, 2013, 50: 103-114.
- [2] KUSRE B C, BARUAH D C, BORDOLOI P K, et al. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India) [J]. Applied Energy, 2009, 87(1): 298-309.
- [3] COSKUN H G, ERIS E, AGIRALIOGLU N, et al. Remote sensing and GIS innovation with hydrologic modelling for Hydroelectric Power Plant (HPP) in Poorly Gauged Basins [J]. Water Resources Management, 2010, 24(14): 3757-3772.
- [4] MOSIER T M, SHARP K V, HILL D. The Hydropower Potential Assessment Tool (HPAT): evaluation of run-of-river resource potential for any global land area and application to Falls Creek, Oregon, USA [J]. Renewable Energy, 2016, 97: 492-503. (下转第 56 页)