

清洁能源部长会议合作机制下区域与全球能源互联网倡议的机遇及挑战

朱峥^{1,2}, 李帅虎³

1. 全球能源互联网集团有限公司, 北京 100031

2. 全球能源互联网发展合作组织, 北京 100031

3. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 长沙 410082

摘要 清洁能源部长会议是目前全球清洁能源领域级别最高的政府间多边国际合作机制, 中国作为发起成员国之一, 积极参与清洁能源领域内的国际多边合作, 并牵头发起成立了区域与全球能源互联网倡议。为深化全面清洁能源开发及区域电网互联等领域的国际合作, 结合担任区域与全球能源互联网倡议协调机构角色的经验, 分析了电网互联对于促进清洁能源消纳的意义, 研究了区域与全球能源互联网倡议在国际多边合作机制下的机遇及挑战, 并提出了相关政策建议, 为相关国家政府及合作伙伴推动电网互联提供参考和借鉴。

关键词 清洁能源部长会议; 区域与全球能源互联网; 电网互联; 国际合作机制

清洁能源部长会议(Clean Energy Ministerial)是目前全球清洁能源领域最高级别的政府间多边国际合作机制, 旨在促进清洁能源技术的政策制定和规划实施, 分享经验教训及最佳实践案例, 加速全球能源转型^[1]。2010年, 首届清洁能源部长会议在美国华盛顿召开, 中国作为创始成员国参加部长会议, 并与美国联合提出了开展电动汽车示范城市和先进汽车示范应用的倡议。2016年, 全球能源互联网发展合作组织正式成立, 致力于联络各成员国政府及相关合作伙伴共同推动电网互联, 促进清洁能源发展, 这标志着中国打破了西方国家在能源领域长期以来的主导权, 逐步将中国的理念推向全

球, 也逐步扩大中国在能源领域的话语权和影响力。首批会员达到80家, 覆盖了来自亚洲、欧洲、非洲、美洲和大洋洲5大洲国家, 包括2名个人会员、10家社会团体、10所研究机构与院校、58家企业(其中世界500强企业22家)。2018年, 中国牵头在丹麦举办的第9届清洁能源部长会议上发起了区域与全球能源互联网倡议, 旨在推动电网互联互通, 促进大规模清洁能源开发及消纳, 倡议创始成员国还包括智利、芬兰、南非、韩国、阿联酋, 全球能源互联网发展合作组织为倡议协调机构。

区域与全球能源互联网倡议是中国基于本国及全球电力发展状况, 率先在全球提出了从区域到

收稿日期: 2022-04-20; 修回日期: 2022-07-20

基金项目: 清洁能源部长会议国际多边合作机制区域与电网互联倡议

作者简介: 朱峥, 高级工程师, 研究方向为电力系统调度运行规划、国际能源研究及合作, 电子信箱: zhuzheng2376@sina.com

引用格式: 朱峥, 李帅虎. 清洁能源部长会议合作机制下区域与全球能源互联网倡议的机遇及挑战[J]. 科技导报, 2022, 40(24): 31-37; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.24.004

全球电网的概念,从区域电网进一步拓展到全球电网互联的远景目标,也将借此平台促进各区域分享实践经验,进一步加快各区域电网互联,最终实现全球电网一体化,促进区域及全球电力资源的优化配置,提升各国经济发展水平和人民福祉。为深化全面清洁能源开发及区域电网互联等领域的国际合作,本文结合担任区域与全球能源互联网倡议协调机构角色的经验,分析了电网互联对于促进清洁能源消纳的意义,研究了区域与全球能源互联网倡议在国际多边合作机制下的机遇及挑战,并提出了相关政策建议,为相关国家政府及合作伙伴推动电网互联提供参考和借鉴。

1 区域与全球能源互联网倡议

1.1 倡议背景

随着经济的发展,化石能源的大量开发利用,带来了资源紧张、环境污染、气候变化三大挑战,严重威胁人类生存和发展^[1]。2015年9月26日,习近平总书记在联合国发展峰会上发表了题为《谋共同永续发展 做合作共赢伙伴》的重要讲话,提出了探讨构建全球能源互联网、推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求的中国倡议^[2]。全球能源互联网是以特/超高压输电、柔性直流输电和海底电缆等先进技术为支撑,由跨洲、跨国骨干网架和各国各电压等级电网构成,连接各大洲大型能源基地,适应各种集中式、分布式电源,能够将风能、太阳能、海洋能等可再生能源输送到各类用户,是服务范围广、配置能力强、安全可靠、绿色低碳的全球能源配置平台,具有网架坚强、广泛互联、高度智能、开放互动等特征^[4]。综上所述,全球能源互联网的本质是以骨干电网建设为基础的互联能源网。而能源网、交通网、通信(信息)网是全球最重要的3大基础网络设施。经过多年建设,当下交通网、通信(信息)网已实现全球互联,现代能源网络则必然向跨国跨洲、全球互联方向发展^[5]。

1.2 倡议内容

根据区域与全球能源互联网倡议内容^[6],全球能源互联网按照国内互联—洲内互联—洲际互联

3步走的发展路线,可以在全球推广成熟的特高压交、直流输电技术和分布式微电网技术,根据当地国家的需求开发清洁能源和建设电网,统筹考虑相关国家的法律、标准、技术、环保和工程建设、运营等问题,示范工程先行,有序建设全球能源互联网^[7]。然而,在现存电网发展模式下,电网的建设主要围绕大型燃煤发电厂和负荷中心建设,形成了二氧化碳高排放的电力系统。近年来,世界大部分国家都开始制定和出台碳减排的相关政策,大力推动“清洁替代”和“电能替代”,其中关键之一就是发展可再生能源发电技术。截至2021年底,中国可再生能源发电装机达到10.63亿kW,占总发电装机容量的44.8%。其中,水电装机3.91亿kW(其中抽水蓄能0.36亿kW)、风电装机3.28亿kW、光伏发电装机3.06亿kW、生物质发电装机3798万kW,分别占全国总发电装机容量的16.5%、13.8%、12.9%和1.6%,海上风电装机跃居世界第一^[8]。随着大规模可再生能源的开发及接入电网,传统的电网面临新的挑战^[9-11]。太阳能、风能等新能源的波动性及间歇性,对电网安全稳定运行有较大冲击,甚至可能会引发电网大面积停电事故。在此背景下,中国提出了区域与全球能源互联网倡议以应对能源危机、环境保护及电网安全稳定等方面的新挑战,主要包括:一是通过长距离、大容量的特高压及超高压输电技术实现电网互联,平抑清洁能源对电网的冲击,增加电网的安全冗余度;二是电网互联能有效利用全球各区域的时间差、季节差、峰谷差,对电力需求进行互补,实现电能的高效利用,提供清洁、廉价的优质电;三是促进全球能源转型和气候变化目标^[12]。

2 区域与全球能源互联网倡议机遇及挑战

2.1 区域与全球能源互联网倡议机遇

区域与全球能源互联网倡议是一个可持续发展的全球能源供应路线图,为全球化、区域化的能源可持续、可再生发展提供了蓝图。电网全球互联将带来的显著优势如下。

1) 电力系统调峰和削减备用容量。由于不同地区的生产活动、经济结构和气候的差异,电力需求表现出相当大的互补性。例如,一些地区的年最大负荷出现在夏季,另一些地区的年最大负荷出现在冬季;在一些地区,最大日负荷出现在白天,而在另一些地区,则出现在夜间。将这些地区的电网互联,通过平衡季节性和日内峰值负荷,减少装机容量需求。同样,不同的国家有不同的供电结构和不同的输出特性。加强电网互联互通,可以实现多能源相互支持,减少高峰负荷时期对备用容量的需求。

2) 促进可再生能源一体化。互联互通是提高电网调节、存储容量和灵活性的有效手段。互联电网可以提高电力系统的运行灵活性,共享资源,充分挖掘电网吸收大规模可再生能源的潜力,从而有助于可再生能源的大规模开发和整合。

3) 实现能源资源大规模优化配置。电力负荷中心通常位于大城市。由于能源需求量大,当地可再生能源不能完全满足当地需求。与此同时,水力、风能和太阳能等可再生能源的发展受到资源地理分布的限制,资源丰富的地区通常远离负荷中心。结合中国经验,高电压大容量输电项目能将中西部清洁低廉的风电或太阳能光伏电输送到东部负荷中心,在目前电力市场建设优化的背景下,到东部负荷中心的落地电价相比本地火电上网电价更有竞争力,有助于降低当地工商业的用电用能成本,实现可再生能源资源的优化配置。

4) 形成以电力贸易为主的新格局。由于化石能源枯竭、气候变化和环境污染的影响,清洁能源生产、消费电气化和全球能源配置已成为不可阻挡的趋势。全球互联骨干电网将成为实现能源转型的“硬”渠道,互联电力市场将为机制建设搭建“软”平台。

2.2 区域与全球能源互联网倡议挑战

区域与全球能源互联网建设不仅涉及非常广域的地理区域,存在不同的气候资源条件和时空的差异,还牵涉到不同国家国情、文化及技术的差异,给电网互联带来了以下的5方面挑战。

1) 地缘政治问题。能源安全将是各国政府优

先考虑的重点问题,电网互联线路的受入端国家对此更加担忧,随着全球局部政局不稳,地缘政治的影响加剧^[13-14],受入端国家并不能把本国的能源安全寄托于周边国家,尤其是两国存在资源领土争端的环境下,更是加大了电网互联的难度。

2) 技术标准问题。目前特高压工程仅在中国、巴西等国内得到应用,跨国跨洲电网在特高压及新型输电标准、电网互联标准等还未得到统一^[15-17],项目标准只能采取因地制宜的发展模式,不具备普遍性和统一性。

3) 项目投融资问题。高电压等级电网互联工程投资较大,需要政府、企业、金融机构等诸多机构共同参与,项目的论证及可行性研究难度大,投入大、收益低、风险大、周期长。

4) 市场交易问题。随着全球各国电力市场的建设,跨国跨洲电力市场面临新的挑战,现货市场交易机制、电力交易金融衍生品等需要进一步研究应用。

5) 利益分配问题。当跨国输电项目跨越多个国家时,多个国家对于互联项目的收益分配较难协调,很难达成一个多方共赢的方案,只要有其中一个国家对方案不满意便可以“一票否决”。

3 区域与全球能源互联网案例分析

3.1 欧洲电网与非洲北部互联状况

欧洲电网是目前全球能源互联网程度最高的地区^[18-19],以欧洲电网为例进行研究分析,对于全球其他区域电网互联具有重要参考价值^[20-22]。鉴于非洲北部拥有丰富的可再生能源资源,欧洲和北非之间的电网互联可以促进非洲和欧洲预期的火电被非洲廉价的可再生能源取代,这具有减少碳排放的环境效益。同时,有助于将北非的资源优势转化为经济优势,为当地居民提供就业机会,提高发展中国家和欠发达国家人民的生活水平,缩小国家之间的差距,实现人类的共同可持续发展。

欧洲电力发展基础扎实,装机容量稳步增长,结构调整不断取得进展,电气化水平领先世界。随着各国政府努力开发可再生能源,技术进步显著降

低了可再生能源发电成本,可再生能源发电技术将在未来继续在欧洲大陆大规模使用。欧洲互联电网目前包括4个同步电网区域,欧洲大陆、北欧地区、波罗的海和英国-爱尔兰,以及冰岛和塞浦路斯两个独立系统。同步电网主要通过 $\pm 200 \sim \pm 285$ kV 直流输电线路互联,由欧洲输电运行商联盟(ENTSO-E)负责规划运营欧洲电网。欧洲输电运行商联盟成立于2009年,由35个欧洲国家的42个输电运营商组成。

目前,欧洲大陆电网与北非电网同步互联,覆盖ENTSO-E的24个成员国,以及摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯等北非国家(表1)。ENTSO-E拥有在欧盟内部建立和维护能源市场的法律权限,以支持欧洲能源发展和气候目标。根据欧盟的预测,未来欧盟的一次能源需求将继续增加,而由于产量下降,能源对外依赖将进一步增加。因此,发展可再生能源,加快统一电力市场建设,开展跨国跨洲资源优化和电网互联互通,是实现低碳排放、保障能源安全的有效途径。欧盟委员会表示,充足的电网互联容量对于促进欧洲电力市场的发展、确保电力

安全供应和提高可再生能源的整合能力具有重要意义。

根据图1所示的欧洲与北非互联电网结构,可以将欧洲电网互联分为南、北两部分,目前南部,连接伊比利亚半岛与法国和摩洛哥的电网的输电能力相对较低。通过加强欧洲和马格里布之间的电网互联将有助于实现欧盟的能源政策目标,并促进该地区可再生能源的发展。北部,北欧同步电网由丹麦、瑞典、挪威和芬兰的电网组成,当与欧洲大陆的电网互联时,它提高了电力系统的灵活性,促进了资源的优化配置。

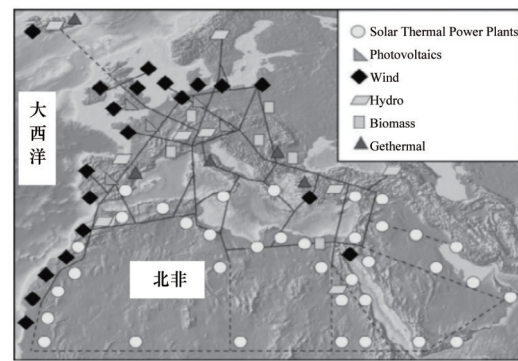


图1 欧洲与北非互联电网架构

表1 欧洲南部电网运营商

区域	国家	电网运行商(TSOs)
欧洲南部	西班牙	Red Eléctrica de España(REE)
	葡萄牙	Redes Energéticas Nacionais(REN)
	意大利	Terna Rete Italia(TRI)
	法国	Réseau de transport d'électricité(RTE)
非洲北部	摩洛哥	Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable(ONEE)
	阿尔及利亚	Société Nationale de l'Electricité et du Gaz (Sonelgaz)
	突尼斯	Société Tunisienne d'Electricité et du Gaz (STEG)

非洲各国家的电力体制不完全相同。摩洛哥电力市场由摩洛哥水电公用事业公司(ONEE)主导,该公司由能源部、矿业部、水利部和环境部进行行政和技术监督。这种垂直整合的模式贯穿摩洛哥电力生产的各个方面,包括发电、输电、配电和调度。ONEE负责摩洛哥的所有发电和输电业务,是专有发电厂、独立发电商(IPP)和私营电厂的唯一买家。1962年,突尼斯政府将发电、输电、配电和进出口电力收归国有,并将运营和管理委托给突尼

斯电力和天然气公司(STEG),该公司是隶属于工业部的一家财务独立的公用事业公司。根据阿拉伯马格里布联盟国家元首签署的《马拉喀什条约》,马格里布电力委员会将整合该地区的所有电网。2003年,马格里布电力委员会与欧盟签署协议,进一步强调了整合马格里布电力市场的政治意愿。虽然马格里布国家之间的电力交易量目前较低,但当地的基础设施和政治改革为该地区的电网互联奠定了良好的基础。为了促进与北非的可再生电

力贸易,欧盟允许非成员国在欧洲市场上销售可再生电力,并允许成员国进口一定配额的可再生电力。但在2008年金融危机之后,欧洲的电力需求下降,进口意愿下降。近年来,RES4MED、MedGrid、Med TSO等国际组织致力于促进欧洲和非洲电力部门之间的合作。

3.2 欧洲南部现有电力基础设施和未来规划

目前,泛地中海环网已初具规模,非洲—欧洲电网互联研究已展开。自20世纪90年代以来,许多机构对非洲—欧洲电网互联进行了研究,两大洲加强电网互联的时机越来越成熟。2016年2月,随着一条新的互联线路投入运营,西班牙和法国电网的互联容量从1.4 GW增加到2.8 GW。伊比利亚地区和法国输电系统运营商在相关项目的研究和评估方面取得了积极进展,旨在将西班牙和法国之间的电力交换容量提高到8 GW。目前,西班牙和摩洛哥的电网由2条400 kV交流海底电缆互连。从摩洛哥到西班牙的最大输电容量为600 MW,从西班牙到摩洛哥的最大输电容量为900 MW。葡萄牙通过6回400 kV和3回220 kV线路与西班牙互联,最大电力交换容量为3.1 GW,占葡萄牙风电和太阳能装机容量的59%^[23]。跨境输电已成为支持葡萄牙新能源发展的重要保障。

北非太阳能资源极其丰富,主要分布在撒哈拉沙漠,技术开采量为939 TW·h/a。由于北非与南欧接壤,在地中海沿岸推动跨境、跨区域和洲际能源互联,实现撒哈拉太阳能向欧洲的洲际传输和消费,可以大大提高清洁能源的利用效率。目前,摩洛哥、阿尔及利亚和突尼斯3个北非国家的电网已通过两回400 kV交流线路与欧洲大陆的电网同步互联。土耳其与希腊和保加利亚同步,成为欧洲大陆电网的一部分。埃及与东地中海地区阿拉伯国家之间的同步互联已经建立,并通过叙利亚、伊拉克和土耳其的电网同步互联。最后,突尼斯和利比亚通过220 kV线路同步互联,形成了沿地中海边缘的非洲—欧洲电网互联。

为了大规模消纳可再生能源,欧盟不断加快跨国电网建设,欧洲输电运营商联盟提出到2030年所有成员国跨国输电容量至少占本国发电容量的

15%。要在北非和西亚获得不稳定的可再生能源,需要欧洲电力市场的交易机制和电力系统具有更大的灵活性。电力市场的设计必须解决低碳发展带来的短期发电容量充足、周期性过剩、爬坡率约束、预测误差、电网拥堵等问题。由于地缘政治、国际关系、利益冲突、大国之间权力博弈等因素,欧盟与区域外地区之间更大的区域合作受到阻碍,电网互联和跨境电力贸易合作进展相对缓慢。

3.3 对中国的相关启示

通过案例可知,欧洲电网互联互通成功的关键在于:(1)高度一体化的政治互信及法律制度保障,这是互联互通项目从规划到落地能否成功的基石;(2)高度繁荣的经济文化交流,有利于各国家从社会总体福利最优的角度去规划和开展合作项目;(3)科学化的顶层设计和工作机制,有利于为项目协调、规划、设计、施工、投产、运维等全过程实施提供最优的解决方案,能大幅提高项目的推进效率。电网互联是一个周期较长的复杂系统工程,对于中国来说,在开展相关倡议及项目合作时,一是需充分结合各地区各国家的实际情况,因地制宜,加强利益相关方能力建设,建设打造电网互联互通的知识分享平台,邀请各区域电网专家共同探讨和分享电网互联的经验及教训,有利于相关国家机构在推进电网互联的过程中,丰富实践案例经验,分享能源转型路径等;二是争取在清洁能源部长会议、G20、联合国框架合作等多边合作机制下,积极宣传相关理念,分享互联互通的最新研究成果及方案,争取获得全球更多国家的政策支持;三是加强与利益相关方的合作交流,制定优化区域电网规划及重点项目可行性方案、投融资方案等,从政策层面到工作层面稳步推进。

4 建议

在推动区域与全球能源互联网倡议实施时,全球各区域经济发展水平不均衡,局部政治互信度差异较大,因此很难有标准统一的方案来解决问题,综合研究比较欧洲电网互联的相关经验,建议如下。

1) 建立政治高度互信的外交关系,推动区域一体化。欧盟政治高度互信,经济社会高度一体化对于欧洲电网互联成功至关重要,欧洲输电运营商联盟发挥了资源统筹优化的关键角色,并以法律的层面进行保障和落实,有利于欧洲电网的中长期规划和重点项目的实施。

2) 建立推动电网互联规划运行及协调机构,负责协调处理电网互联的政策、技术、项目、投融资等系列关键问题,推动和协调利益相关方,推动项目论证、实施和运营评估,欧洲输电运行商联盟在欧盟电网规划、项目储备、项目融资、建设、运营、协调、市场交易等全生命周期发挥了关键作用。

3) 加强项目统筹,规划符合各方利益的重点项目,并开展项目的可行性研究,纳入项目储备库,阶段性开展清洁能源项目及配套重点电网互联项目。

4) 发挥倡议平台作用,引导更多的成员国及合作伙伴加入倡议,促进政府、企业、金融机构、咨询机构等多方联动,形成多方合力,助力项目的开发及建设。

参考文献(References)

- [1] The Clean Energy Ministerial (CEM)[EB/OL]. (2022-01-01)[2022-04-14]. <https://www.cleanenergyministerial.org/who-we-are/>.
- [2] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015: 199-377.
- [3] 王益民. 全球能源互联网理念及前景展望[J]. 中国电力, 2016, 49(3): 1-5.
- [4] 周原冰. 全球能源互联网及关键技术[J]. 科学通报, 2019, 64(19): 1985-1994.
- [5] 刘振亚. 全球能源互联网跨国跨洲互联研究及展望[J]. 2016, 36(19): 5103-5110.
- [6] 全球能源互联网发展合作组织. 破解危机[M]. 北京: 中国电力出版社, 2020, 165-247.
- [7] 黄其励. 中国可再生能源发展对建设全球能源互联网的启示[J]. 全球能源互联网, 2018, 1(1): 1-8.
- [8] 2021年可再生能源发展再上新台阶[EB/OL]. (2022-01-29)[2022-04-15]. http://www.gov.cn/xinwen/2022-01/29/content_5671076.htm.
- [9] 桌振宇, 张宁, 谢小荣, 等. 高比例可再生能源电力系统关键技术及发展挑战[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(9): 171-191.
- [10] 郭鸿业, 陈启鑫, 夏清, 等. 电力市场中的灵活调节服务: 基本概念、均衡模型与研究方向[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(11): 3057-3066.
- [11] 程耀华, 张宁, 王佳明, 等. 面向高比例可再生能源并网的输电规划方案综合评价[J]. 电力系统自动化, 2021, 43(3): 33-42.
- [12] 赵秋莉, 冯君淑, 金艳鸣, 等. 全球能源互联网背景下的环境效益评估[J]. 全球能源互联网, 2018, 5(1): 257-262.
- [13] 李海石, 徐向艺, 张磊. “一带一路”背景下全球能源互联网运行机制构建[J]. 山东大学学报(工学版), 2017, 47(6): 134-142.
- [14] 王阳. 全球能源互联网主题国际态势分析[R]. 北京: 高科技及产业化, 2019.
- [15] 张晶, 刘晓巍, 张松涛, 等. 全球能源互联网标准体系优先领域研究[J]. 供用电, 2018, 35(8): 61-66, 72.
- [16] 张晶, 李彬, 戴朝波, 等. 全球能源互联网标准体系研究[J]. 电网技术, 2017, 41(7): 2055-2063.
- [17] 李彬, 吴倩, 张晶, 等. 全球能源互联网标准体系构建的方法论[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(3): 1-6.
- [18] 张博彦. 全球能源互联网视角下的中国与欧亚地区电力合作[D]. 北京: 中国社会科学院大学(研究生院), 2020.
- [19] 张小平, 李佳宁, 付灏, 等. 全球能源互联网对话工业4.0[J]. 电网技术, 2016, 40(6): 1607-1611.
- [20] 俞凯峰, 黄磊, 闫涛, 等. 中东北非电网互联与可持续发展研究[J]. 全球能源互联网, 2022, 5(1): 71-84.
- [21] 朱彤. 电网跨国互联的制度分析: 欧洲经验与中国问题[J]. 当代财经, 2019, 2(1): 3-13.
- [22] 郑漳华, 殷光治, 宋卫东. 欧洲电网互联现状分析及其对构建能源互联网的启示[J]. 电力建设, 2015, 36(10): 40-45.
- [23] 全球能源互联网发展合作组织. 欧洲能源互联网研究与展望[R]. 北京: 全球能源互联网发展合作组织, 2019.

Opportunity and challenge of the Regional and Global Energy Interconnection Initiative under the cooperation mechanism of the Clean Energy Ministerial

ZHU Zheng^{1,2}, LI Shuaihu³

1. Global Energy Interconnection Group Co., Ltd., Beijing 100031, China
2. Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization, Beijing 100031, China
3. Changsha University of Science and Technology, Changsha 410082, China

Abstract The Clean Energy Ministerial is currently the highest-level intergovernmental multilateral international cooperation mechanism in the field of clean energy in the world. As one of the founding member states, China has actively participated in international multilateral cooperation in the field of clean energy and takes the lead in initiating the regional and global energy interconnection initiative. Based on the experience of the role as a coordinator of the Regional and Global Energy Interconnection Initiative, this paper fully participates in the international cooperation in the fields of clean energy development and regional power grid interconnection, analyzes the significance of power grid interconnection in promoting clean energy consumption, studies the opportunities and challenges of the Regional and Global Energy Interconnection initiative under the international multilateral cooperation mechanism, and puts forward relevant policy recommendations which has been recognized by the Secretariat of the Clean Energy Ministerial, and provides reference for the governments and partners to promote power grid interconnection.

Keywords Clean Energy Ministerial; regional and global energy interconnection; power grid interconnection; international cooperation mechanism ●



(责任编辑 祝叶华)