

GEI 视角：“一带一路”国家可再生能源发展与能源转型的潜力分析

北京市朝阳区永续全球环境研究所 (GEI)

作者：徐生年、陈秀莲、许冰清

致谢

首先项目组特别感谢橡树基金会和世界自然基金会(瑞士)北京代表处的资助和支持。其次报告的完成,还需要特别感谢实习生许冰清、万苇达、陈一心和吴雨霏,在数据收集和整理分析方面的认真细致的工作。本报告由能源与气候变化组和海外投资、贸易与环境组共同协作完成,感谢组内各位同事的支持和讨论,感谢报告撰写过程中咨询的相关专家。

目录

第一章 简介	2
第二章 “一带一路”国家煤炭与可再生能源评估指标体系	3
第一节 已有“一带一路”国家指标体系	3
第二节 本研究报告所用指标体系	3
第三章 数据来源	5
第一节 化石能源数据情况	5
第二节 可再生能源数据情况	6
第四章 评估方法学	9
第一节 归一化处理	9
第二节 指标权重	11
第五章 分析结果	13
第一节 “一带一路”国家可再生能源发展情况和投资风险	13
第二节 “一带一路”国家能源转型潜力分析	15
第三节 政策建议	18

第一章 简介

“一带一路”倡议是中国倡议并主导的跨国经济带，覆盖的国家和地区一直在扩大和推进。“一带一路”沿线国家^[1]，多数为新型经济体和发展中国家，处于经济上升期及工业化阶段，基础设施建设及电力缺口巨大，能源消费呈不断增长趋势。

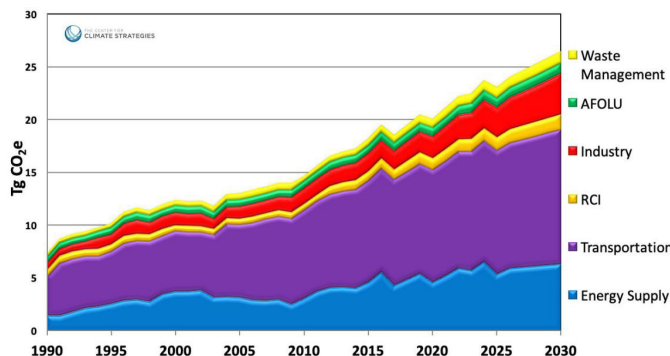
“一带一路”沿线国家的电力主要来源是传统化石能源，尤以煤电居多。2015年，“一带一路”沿线国家煤电运行装机容量约为13.98亿KW，约占世界煤电装机总量的73%^[2]。

中国在“一带一路”沿线国家参与基础设施建设，尤其是能源电力方面的投资也在增加。以“一带一路”沿线的亚洲国家为例，2013年以来，中国在亚洲国家的基础设施支出达到近8000亿美元，其中能源基础设施支出约占1/3^[3]。2017年，中国在亚洲国家能源方面的投资达3000亿美元，占全球1.6万亿美元总额的五分之一。根据中国电力企业联合会2018年7月发布的数据^[4]，2013至2017年，中国主要电力企业在“一带一路”沿线国家签订电力工程合同494个，总金额912亿美元；实际完成投资3000万美元以上的项目50多个，共完成投资80亿美元。

一个国家随着经济发展，对能源的需求将会越来越多。如果能源的需求基本上靠化石能源来供给，其温室气体的排放也将越来越多，特别是发展中国家（包含最不发达国家，如缅甸）。下图是墨西哥下加利福尼亚州的未来BAU(Business As Usual 照常情景)下各行业的排放增长情况^[5]。“一带一路”国家中可能大部分现在的温室气体排放还很少，但是随着经济的发展，其潜在的增量和总量都将非常巨大。为了达到《巴黎协定》的努力将全球温升控制在1.5摄氏度内的目标，在推动“一带一路”国

家经济发展的同时，提高可再生能源在一次能源中的比例，对全球气候变化的目标完成将至关重要。同时各国基本上都加入了巴黎协定，提交了自主贡献目标，可再生能源的开发和使用也将有助于帮助各国实现其自主贡献目标。

图1 墨西哥下加利福尼亚州未来照常情景排放增长情况



作为中国的NGO，GEI在解决中国国内环境和气候变化问题的同时，也长期致力于发现和推动解决“一带一路”国家的相关环境和能源问题。截止2018年6月，加入“一带一路”倡议的国家总共有71个（表1.1中列出的，随着时间推移，还在扩大中），地理、环境、与政治，各国的情况都不一样。为了更好地开展工作，稳步推进可再生在“一带一路”国家的发展，解决各国未来对化石能源的过分依赖问题，GEI根据实际需求，设计了一套评估指标体系——参考第二章节，根据设定好的指标体系，收集了“一带一路”国家最新的数据——参考第三章节，进行了数据分析，对“一带一路”国家进行了排名——参考第四章节。本工作为下一步选取合适国家进行进一步分析和实地开展工作做好充分的准备。

表 1.1 71 个“一带一路”国家（以国家名称英文字母排序）（截止 2018 年 6 月）

阿富汗	阿尔巴尼亚	亚美尼亚	阿塞拜疆	巴林	孟加拉	白俄罗斯	不丹	波黑	文莱
保加利亚	柬埔寨	中国	克罗地亚	捷克	埃及	爱沙尼亚	埃塞俄比亚	格鲁吉亚	匈牙利
印度	印度尼西亚	伊朗	伊拉克	以色列	约旦	哈萨克斯坦	科威特	吉尔吉斯斯坦	老挝
拉脱维亚	黎巴嫩	立陶宛	马其顿	马来西亚	马尔代夫	摩尔多瓦	蒙古国	黑山	摩洛哥
缅甸	尼泊尔	新西兰	阿曼	巴基斯坦	巴勒斯坦	巴拿马	菲律宾	波兰	卡塔尔
罗马尼亚	俄罗斯	沙特阿拉伯	塞尔维亚	新加坡	斯洛伐克	斯洛文尼亚	南非	韩国	斯里兰卡
叙利亚	塔吉克斯坦	泰国	东帝汶	土耳其	土库曼斯坦	乌克兰	阿联酋	乌兹别克斯坦	越南
也门									

1 中国“一带一路”网, Belt and Road Portal; <https://www.yidaiyilu.gov.cn>
 2 “一带一路”绿色电力合作研究, 袁家海等, 中国水利水电出版社
 3 数据来源: Oxford Economics
 4 国家能源局, http://www.nea.gov.cn/2018-07/31/c_137358732.htm《我国电力企业五年签约“一带一路”项目912亿元》
 5 《低碳政策规划工具LCD Planning》, CCS与GEI培训教材

第二章 “一带一路”国家煤炭与可再生能源评估指标体系

第一节 已有“一带一路”国家指标体系

“一带一路”国家的研究，有国家信息中心主导的“一带一路”国别合作度评价指标体系和64国的综合测评^[6]。他们从“政策沟通度”、“设施联通度”、“经贸畅通度”、“资金融通度”和“民心相通度”五个维度进行评估。其评价结果显示，俄罗斯、哈萨克斯坦、泰国、巴基斯坦和印度尼西亚位列前五名。2个国家属于“深度合作型”，13个国家属于“快速推进型”，17个国家属于“逐步拓展型”，32个国家属于“有待加强型”。

表 2.1 化石能源指标

储量			产量			发电量 / 装机量占比			消费量		
石油	天然气	煤炭	石油	天然气	煤炭	石油	天然气	煤炭	石油	天然气	煤炭

化石能源方面，我们选取了“储量”、“产量”、“发电量 / 装机量占比”和“消费量”四个一级指标，在每个一级指标下面是按石油、天然气和煤炭这三个二级指标划分的。储量

和产量，体现的是一个国家化石能源的潜力，发电量 / 装机量占比和消费量体现的是这个国家对化石能源的依赖程度。其中石油和天然气用的是发电量占比，煤炭是装机量。

表 2.2 可再生能源指标

潜力				发展阶段				其他	
水电	风能	太阳能	生物质	水电	风能	太阳能	生物质	国家自主贡献目标	可再生能源政策

在可再生能源方面，我们选取了“潜力”和“发展阶段”两个大的一级指标，二级指标为“水电”、“风能”、“太阳能”和“生物质”，其他的可再生能源暂时没有计入，如“地热能”、

“潮汐能”等。我们选取这四种可再生能源作为二级指标，主要是因为他们是现今应用较多的四种可再生能源类型，具有一定的代表性。

表 2.3 其他非能源指标

非能源类型指标					
投资分险	人口	GDP	GDP 增长率	人均每年电力消耗	电网覆盖率

6 “一带一路”国别合作度评价报告(2016)，<http://www.sic.gov.cn/News/456/8077.htm>

7 “一带一路”绿色电力合作研究，袁家海等，中国水利水电出版社

一个国家未来在化石能源和可再生能源的发展的博弈中，除了考虑化石能源和可再生能源方面的现有发展水平和潜力外，还需要考虑其针对巴黎协定^[8]所做出的承诺——国家自主贡献目标。目标说明了一个国家未来在减排和发展可再生能源方面可能会作出的努力程度。除了目标以外，一个国家现存的可再生能源相关政策支持也非常的重要，在可再生能源的发展前期阶段，政策的支持有时候是必须的。考虑相关可再生能源政策外，我们还考虑了在各个国家的投资分险情况。人口、电网覆盖率和人均电力消耗也是考虑未来能源发展和需求的重要因素，我们也把它们纳入到了我们的指标体系中。

8 巴黎协定, Paris Agreement, UNFCCC 2015, https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

第二节 可再生能源数据情况

为了计算各种可再生能源的所处的发展阶段，除了潜力的数据，还需要知道各种可再生能源的现有装机量。关于指标“发展阶段”的计算方法，我们在第四章评估方法中会详细说明。太阳能和生物质能源的装机量 (total installed capacity) 数据来自 2017 IRENA 的报告《Renewable Capacity Statistics 2017》^[15]，其中风能的装机量数据，使用了 Steve Sawyer 的全球风能报告《GLOBAL WIND REPORT 2017》^[16]。水电的装机量，我

们的数据来源是 Richard Taylor 的报告《2017 Hydropower Status Report》^[17]。

各种可再生能源的潜力数据收集比较复杂，大部分数据来自于 2014 年 UNDP 的报告《Renewable Energy Snapshots》^[18]。但是因为数据缺失比较多，又经过多方数据来源的检索，尽量补全了缺失的数据。表 3.2 列出了各种可再生能源潜力的数据所有其他来源。

表 3.2 可再生能源潜力数据独立来源的国家及文献编号

国家名称	水电潜力	风能潜力	太阳能潜力	生物质能潜力	国家名称	水电潜力	风能潜力	太阳能潜力	生物质能潜力
阿富汗	1	1	2		马其顿	25			
阿尔巴尼亚	3			4	蒙古		26		
巴林	5			6	黑山共和国	27			
孟加拉		7	8		摩洛哥		28		
白俄罗斯	9				尼泊尔		29	30	
文莱	10				菲律宾	31	32	33	
柬埔寨	11	12			罗马尼亚	34			
中国	13	14		15	俄罗斯	35			
爱沙尼亚	16				斯里兰卡	36	37		
格鲁吉亚	17				塔吉克斯坦	38			
印度	18		19		泰国	39			
印度尼西亚		20	21		东帝汶	40	40		
老挝	22		22	22	土耳其	41			
黎巴嫩	23				越南		42		
立陶宛	24				也门	43			

15 IRENA - International Renewable Energy Agency, Mar. 2017, www.irena.org/publications/2017/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2017.

16 GWEC, Global Wind Energy Council, 2017, <http://files.gwec.net/files/GWR2017.pdf?ref=Website>

17 Taylor, Richard. "2017 Hydropower Status Report." Types of Hydropower | International Hydropower Association, 2017, <http://www.hydropower.org/2017-hydropower-status-report>

18 "Renewable Energy Snapshots." UNDP in Europe and Central Asia, United Nations Development Programme, 23 July 2014, http://www.eurasia.undp.org/content/rbec/en/home/library/environment_energy/renewable-energy-snapshots.html

表 3.3 可再生能源潜力数据参考文献及出处

编号	文献来源
1	ISLAMIC REPUBLIC STATE OF AFGHANISTAN, Ministry of Energy and Water 2016
2	MEW renewable energy policy 2015
3	Albania NATIONAL AGENCY OF NATURAL RESOURCES
4	National action plan for renewable energy resources in Albania
5	National Electric Power Regulatory Authority, Islamic Republic of Pakistan, 2017
6	Solar GCC Alliance, 33 TWh per year, 8 hours per day
7	Wind mind International
8	Dhaka Tribune
9	ministry of foreign affairs of the republic of belarus http://mfa.gov.by/en/press/news_mfa/c94ca97d8b531a40.html
10	https://www.reeep.org/brunei-darussalam-2012
11	Hydroworld
12	Open Development Cambodia
13	大坝之问, http://www.iwhr.com/zgskyww/ztbd/dbzhw/second/webinfo/2011/01/1294879660871389.htm
14	http://www.nea.gov.cn/131215784_11n.pdf
15	https://www.bioenergyconsult.com/biomass-energy-china/
16	http://www.inforse.org/europe/success/SU_H_EST.htm
17	http://investingeorgia.org/en/keysectors/energy/investment-opportunities/hydro-power-plants
18	government of india ministry of power https://powermin.nic.in/en/content/faqs-hydropower
19	The National Institute of Solar Energy in India
20	International Renewable Energy Agency (IRENA)
21	MEMR,2017 https://www.ojk.go.id/sustainable-finance/id/publikasi/riset-dan-statistik/Pages/RENEWABLE-ENERGY-FOR-INDONESIA-2017.aspx
22	Laos Institute of Renewable Energy Promotion, Ministry of Energy and Mines
23	Lebanese Centre for Energy Conservation
24	https://infograph.venngage.com/p/23404/the-advancement-use-of-hydropower-in-lithuania https://www.worldenergy.org/data/resources/country/lithuania/hydropower/
25	http://shpp.moepp.gov.mk/349/energy-sector
26	Power Engineer International
27	https://www.hydropower.org/country-profiles/western-balkans-montenegro
28	CDER and GTZ, Published by ecomena
29	Alternative Energy Promotion Centre (AEPIC)
30	The himalayan times https://thehimalayantimes.com/opinion/renewable-energy-huge-potentials/
31	www.microhydropower.net/rsa/

32	Philippine Department of Energy/REMB
33	http://www.manilatimes.net/ph-solar-power-exceeds-1k-mw/319955/
34	https://www.climatechange.org/romania/energy/
35	https://www.hydropower.org/country-profiles/russia
36	Ceylon Electricity board
37	Windpowerik
38	https://www.export.gov/article?id=Tajikistan-Power-Generation-and-Distribution
39	https://www.researchgate.net/publication/273397907_Current_Status_and_Potential_of_Hydro_Energy_in_Thailand_A_Review
40	http://timor-leste.gov.tl/?p=3827&n=1&lang=en , Government of Timor-Leste
41	https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00908319950014524
42	新华社 http://www.fenglifadian.com/news/world/15331FCA8.html
43	ESI Africa

——其他信息数据情况

各个国家自主贡献目标的数据来自各国提交的 INDC 目标文件，由 UNFCCC 网站 (<https://www4.unfccc.int/sites/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>) 获取。

可再生能源政策的信息来源是 REN21 《全球可再生能源报告 2017》^[19]，其中详细归纳了各个国家的可再生能源相关的政策信息。包含可再生能源目标，法律法规相关的政策，以及补贴和金融政策。

投资分险的数据我们结合了 Basel AML Index 2017^[20] 的结果和世界银行 (World Bank) 的结果^[21]。

人口的数据来自于国际货币基金组织的数据库^[22]，人均电力消耗数据来自于 CIA 网站数据库^[23]，电网覆盖率数据来自于世界银行数据库^[24]。

以上是所有指标的数据来源情况说明，文中还有用到其他数据的地方都会另外说明。

19 REN21, 2017, Renewable 2017 Global Status Report

20 Basel AML Index 2017 Report, https://index.baselgovernance.org/sites/index/documents/BaseL_AML_Index_Report_2017.pdf

21 Ranking of Economies-Doing Business, Doing Business in Switzerland, The World Bank Group, 2017, www.doingbusiness.org/rankings

22 https://www.imf.org/external/datamapper/LP@WEO/OEMDC/ADVEC/WEO_WORLD

23 <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2233rank.html>

24 <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=VN>

第四章 评估方法学

第一节 归一化处理

各指标数据的类型和数值都不一样，为了能够比较，首先我们对数据进行了归一化处理。根据不同的数据类型和分布，我们使用了两种归一化方法：1，极大极小值归一化法， $x' = (x$

$- \min) / (\max - \min)$ ；2，对数归一法， $x' = (\log x - \log \min) / (\log \max - \log \min)$ 。两种方法中， x' 是归一化后数值， x 是原始数据， \min 是指标数据最小值， \max 是指标数据最大值。 \log 是对原始数据取 10 为底的对数。在第二种归一化过程中，有些原始数据可能为 0，在这种特殊情况下，我们取对数操作的过程中在原始数据的基础上加 1。

表 4.1 各类指标数据处理方法，1 为使用极大极小值归一法；2 为使用对数归一法

一级指标	二级指标	三级指标	归一化处理方法
化石能源	储量	石油	2
		煤炭	2
		天然气	2
	产量	石油	2
		煤炭	2
		天然气	2
	发电量 / 装机量占比	石油	1
		煤炭	1
		天然气	1
	消费量	石油	2
		煤炭	2
		天然气	2
可再生能源	潜力	水电	2
		风能	2
		太阳能	2
		生物质	2
	发展阶段	水电	1
		风能	1
		太阳能	1
		生物质	1
	国家自主贡献目标		1
	可再生能源政策		1
其他相关指标	投资分险		1
	人口		2
	GDP		2
	GDP 增长率		1
	人均电力消耗量		1
	电网覆盖率		原始值

其中需要特别说明的指标有四个，第一个是“电网覆盖率”，我们使用的是原始数值。第二个是人均电力消耗量，我们把各国人均电力年消耗量与世界平均水平进行比较， $x' = 1 - (x - x_{\min}) / (x - x_{\max})$ ，其中个变量的说明与上面归一化方法中的变量一致，所不同的是我们认为人均电力消耗量越低，其未来电力发展需求越高，对能源的需求就越高，在我们的评估系统中其分值就越高。

第三个指标是“可再生能源”下的二级指标“发展阶段”，我们使用了一个简单的数学模型来对指标赋值。二级指标“发展阶段”的值，我们认为是可再生能源现有装机量与其潜力数据的比值的函数。简单的说就是，我们假设在“发展阶段”等于0，即潜力完全没有开发的时候，市场没有形成，对此类可再生能源的发展不利，其函数值为0；如果“发展阶段”等于1，即潜力全部开发的时候，这个时候将没有市场潜力，可再生能源也就没法再发展，此时其函数值也为0。在装机量与潜力比值数值处于[0,1]内的时候，我们认为其潜力已经有了一定的开发，已经形成了一定的市场，而且还有一定的潜在市场没有开发，其赋值介于[0,1]区间。我们假设其最有利于市场发展的阶段是装机量与潜力比值为0.3的时候。介于以上的假设，我们使用了一个先验阶梯函数4.1来对发展阶段赋值。本函数是人为的赋值函数，并没有实际和理论验证过程，对此假设可以继续做进一步的研究。

$$f(x) = \begin{cases} x/0.3 & x < 0.3 \\ (1-x)/0.7 & x \geq 0.3 \end{cases} \quad (\text{函数 4.1})$$

函数的图形表示如图4.1所示。在发展阶段处于0.3的时候，其赋值最大为1，被认为最具发展潜力。

最后一个需要特别说明的二级指标是“可再生能源政策”。我们使用的是REN21的《全球可再生能源报告2017》^[25]中收集的各国的能源类“政策”汇总。其中包含了可再生能源目标、电力和能源政策以及投资资金和补贴等13个方面的“政策”。这些“政策”按照覆盖面和存在时间分为：全国范围已经存在并经过修订的政策，全国范围已经存在/即将生效政策，省级范围已经存在并经过修订的政策，省级范围已经存在/即将生效政策，新政策，已失效政策。我们按照以上几种类型进行了量化，具体分值见表4.2。

图 4.1 二级指标“发展阶段”的赋值函数 4.1 的图形表示

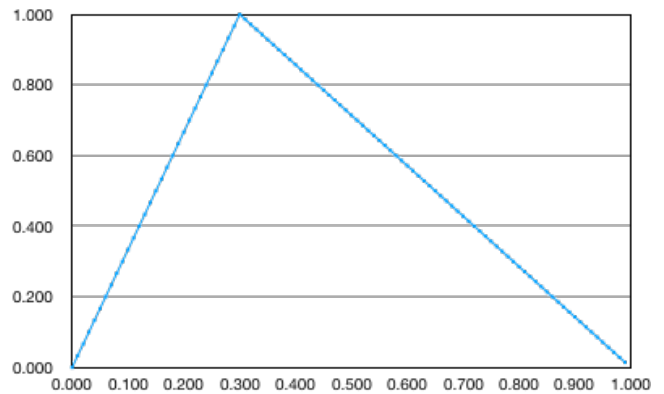


表 4.2 政策类型赋值表

政策类型	具体含义	赋值
R	全国范围已经存在并经过修订的	6
X and H	全国范围已经存在 / 即将生效	5
R*	省级范围已经存在并经过修订的	4
X* and H*	省级范围已经存在 / 即将生效	3
N	新政策	2
O	已失效政策	1

第二节 指标权重

根据指标体系收集了所需数据后，对数据进行归一化处理，最后我们还需要各指标的权重。根据最简单的权重方法（指标数），表4.3列出了我们进行综合排名时所用的指标权重系统。由表4.3可知，总分值是3分制。

表 4.3 “一带一路”国家能源潜力指标权重

一级指标 权重	二级指标 权重	三级指标（归一化） 权重
化石能源 × 1/4	储量 × 1/3	石油 × 1
		煤炭 × 1
		天然气 × 1
	产量 × 1/3	石油 × 1
		煤炭 × 1
		天然气 × 1
	发电量 / 装机量占比 × 1/3	石油 × 1
		煤炭 × 1
		天然气 × 1
	消费量 × 1/3	石油 × 1
		煤炭 × 1
		天然气 × 1
可再生能源 × 1/4	潜力 × 1/4	水电 × 1
		风能 × 1
		太阳能 × 1
		生物质 × 1
	发展阶段 × 1/4	水电 × 1
		风能 × 1
		太阳能 × 1
		生物质 × 1
	国家自主贡献目标 × 1	
	可再生能源政策 × 1	
其他相关指标 × 1/5	投资分险 × 1	
	人口 × 1	
	GDP × 1	
	GDP 增长率 × 1	
	人均电力消耗量 × 1	

第五章 分析结果

第一节 “一带一路” 国家可再生能源发展情况和投资风险

1. 可再生能源潜力最大的十个国家：

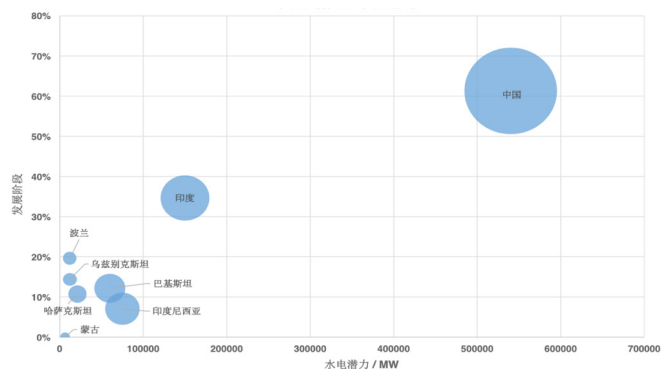
我们通过收集化石能源和可再生能源在“一带一路”国家的资源分布和发展情况，将会从资源潜力、发展阶段和政策环境等方面，对“一带一路”国家进行分析，评估出最适合发展可再生能源的国家排名。图 5.1 列出了在可再生能源潜力总量上最丰富的十个“一带一路”国家（按储量排名，不包含中国）。

图 5.1 “一带一路” 国家可再生能源潜力排名前十国家；备注：引用编号不在此文章，另附文列出

排名	国别	太阳能 [GW]	水电 [GW]	风能 [GW]	生物质 [GW]	总潜力 [GW]
1	中国	>3,000 ^[21]	540 ^[19]	1,000 ^[20]	75 ^[22]	4,615
2	哈萨克斯坦	3,760 ^[17]	21 ^[11]	354 ^[17]	0.3 ^[17]	4,135
3	巴基斯坦	2,900 ^[13]	60 ^[12]	>20 ^[5]		2,960
4	蒙古		6.2-6.4 ^[9]	1,100 ^[10]		2,600 ^[11]
5	印度	750 ^[4]	150 ^[6]	103 ^[7]	68 ^[8]	1,071
6	波兰	290 ^[17]	11.95 ^[2]	620 ^[17]	28.8 ^[17]	951
7	乌克兰	807 ^[17]		26.8 ^[17]	24.5 ^[17]	859
8	土库曼斯坦	655 ^[17]		10 ^[17]		665
9	印度尼西亚	532 ^[18]	75 ^[13]	113.5 ^[18]	32 ^[18]	752.5
10	乌兹别克斯坦	593 ^[17]	12 ^[14]	1.6 ^[17]	0.8 ^[17]	607.4
11	越南		35 ^[16]	500 ^[15]		535

鉴于一些国家的可再生能源仍在继续探明中，缺乏具体的数据。从我们收集的数据表中可以看出，排名前十的国家其可再生能源资源禀赋各异。其中哈萨克斯坦和蒙古分别拥有最丰富的太阳能和风力发电资源，而中国则拥有最丰富的水力发电资源和生物质能。

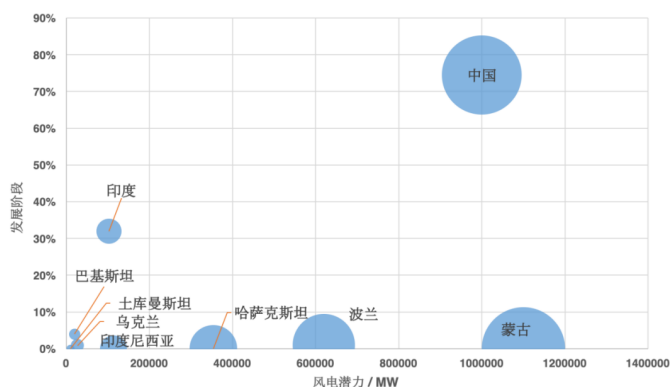
图 5.2 可再生能源潜力排名前十国家水资源潜力和发展阶段



2. 可再生能源发展阶段

值得注意的是，虽然太阳能发电成本不断下降，各个国家在太阳能的利用方面仍处于初期，十个国家中仅有我国和印度开发超过储量的 1%，开发程度分别为 2.6% 与 1.3%。而水力发电由于技术成熟，发电成本低，是目前人类社会应用最广泛的可再生能源。中国的水力发电资源利用率已经超过 60% (图 5.2)，未来五年仍将处于快速增长期。而根据印度电力局的公开信息，印度目前开发了约 26% 的水电资源。再看水力发电资源储量排名第三和第四的印尼和巴基斯坦，据央视网信息，今年四月，我国电建国际公司与印尼卡扬水电能源有限公司共同签署了印尼卡扬河 1-5 梯级水电站项目联合开发协议，而中企承建的巴基斯坦尼鲁姆—杰卢姆水电站也于同时期进入正式运营阶段。从上表可以看出蒙古的风能储量巨大，我国华北电力大学与蒙古科技大学成立了中蒙可再生能源创新中心，致力于推动中蒙在可再生能源教育、科技、培训、产业、专业智库等方面的深度合作。

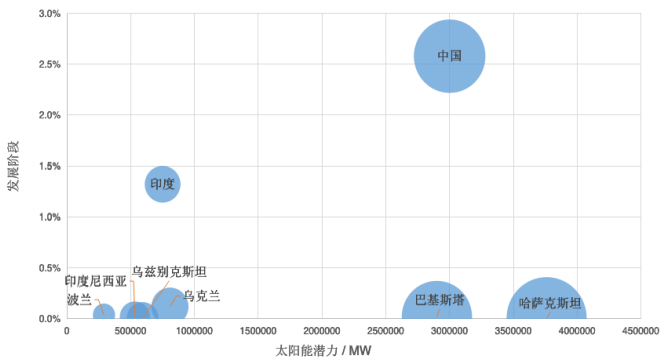
图 5.3 可再生能源潜力排名前十国家风电潜力和发展阶段



自 2012-16 年间，随着风电技术的不断成熟，我国新增风电装机容量增长速度很快，目前已经成为全球风电装机最大的国家。但根据布鲁金斯研究中心的报告^[26]，我们在新增装机容量快速增长的同时弃风率较高，应着力于改善风力预测并根据预测进行调度操作。印度风力发电也已进入成熟期，数据显示印度已经开发了占储量 30% 左右的风力资源。其余国家仍处于发展初期，风力资源的应用均不显著。

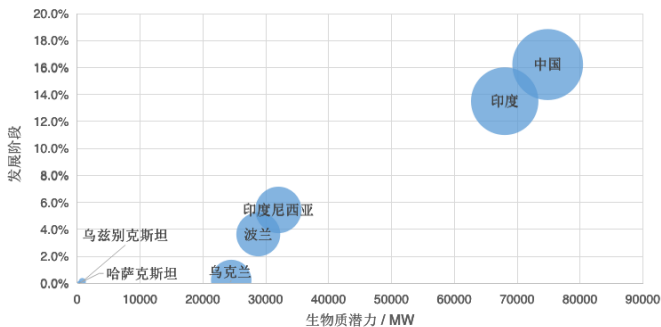
26 齐晔, Jiaqi Lu, and 朱梦戈, 中国弃风问题与美国经验, Brookings, 2018.

图 5.4 可再生能源潜力排名前十国家太阳能潜力和发展阶段



由于生物质能的开发利用成本较其他能源高，且我国及表内其他国家政策偏向于光伏发电及风能发电，生物质能似乎不如其他可再生能源一般受宠。我国因为太阳能资源算比较丰富，虽然最近几年发展迅速，但是有待开发的潜力还很巨大，各国太阳能开发都还远低于 5% 的水平，如图 5.4。生物质能方面，目前我国和印度分别开发了本国生物能储量的约 16% 和 13%，印尼和波兰分别开发了本国生物能储量的约 5.4% 和 3.6%，如图 5.5。生物质能利用现在面临的主要问题有原材料成本较高且较分散，导致物流不经济；同时生物质发电技术是一个跨度较大的综合新领域，不同处理技术的发展水平不一；再加上国家政策对太阳能和风能的倾斜，使得生物质能的开发仍处于比较混乱的阶段。

图 5.5 可再生能源潜力排名前十国家生物质能潜力和发展阶段



3. 投资风险和政策支持

根据 REN21 公布的 2018 年可再生能源现状报告^[27]，我们对比分析了各个国家发展可再生能源的支持鼓励政策，其中包括可再生能源发展目标，应对气候变化国家自主贡献目标，各种管制性政策以及财政激励政策。管制性政策可细分为上网电

价补贴政策，可再生能源配额制政策，净电量结算政策，可再生能源电力证书。而税收优惠、退税、绩效激励、优惠贷款和担保等财政激励政策也进一步促进了可再生能源的投资，有助于降低项目前期高昂的成本负担。

在综合分析以上各类政策后，对可再生能源发展政策上较为友好的国家有中国，印度，印尼和波兰。十个国家中仅土库曼斯坦还未公布发展可再生能源的相关计划，因此具体政策环境目前较不明朗。据世界经济论坛今年 2 月的报道^[28]，美国，中国和印度正引导着全球能源革命的浪潮。其中中国的可再生能源将在 2022 年占据全球清洁能源总额的 40%。而印度则得益于竞争性招标，不仅太阳能发电和风电占据了电力增量的 90%，光伏平价上网的度电成本也为全球最低。

总体来看，我国和印度的政策环境对可再生能源都非常友好。我国《可再生能源发展“十三五”规划》指出到 2020 年，可再生能源发电装机达 6.8 亿千瓦，发电量 1.9 万亿千瓦时，占全部发电量的 27%。而近日，印度政府将原计划设定的 2022 年底实现可再生能源装机容量达到 175 吉瓦上调至 227 吉瓦^[29]，意味着印度可再生能源供电比例将增至 28%。2017 年印度中央电力管理局公布的第三份《国家电力规划》(草案)预计，到 2022 年，印度非化石燃料发电将占总装机容量的 46.8%^[30]；中国的非化石能源发电占比同样将保持增长，但增速较印度略慢。至中国的“十三五”末期(2020 年)，非化石能源将占中国发电装机总量的 39%^[31]。除却中国和印度外，印尼政府也在大力支持发展可再生能源，印尼能源和矿产部副部长达哈尔表示，政府将对可再生能源项目给予税收减免，确保建设和运营成本低于该地区平均水平，以此鼓励本国和外国投资方加大力度联合开发印尼可再生能源市场^[32]。

4. 可再生能源潜力前十的国家 NDC 目标

中国政府向联合国气候变化框架公约秘书处提交的国家自主贡献文件指出中国计划在 2030 年之前将单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%-65% 并且实现非化石能源占一次能源消费比重达到 20% 左右的目标，森林蓄积量比 2005 年增加 45 亿立方米。

印度则承诺在 2030 年之前将单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 33%-35%，并在技术转移和绿色气候基金(Green Climate Fund) 提供的贷款帮助下实现非化石燃料发电在总装机容量中的占比提高至 40%，同时通过增加森林和绿地面积，增加 25 亿到 30 亿吨碳汇。

27 REN21, Renewables 2018 Global Status Report, 2018.

28 Rob Smith, Three countries are leading the renewable energy revolution, World Economic Forum, 26 Feb 2018.

29 Nishtha Saluja, Sarita Singh, Renewable energy target now 227 GW, will need \$50 billion more in investments, The Economic Times, 05 Jun 2018.

30 中国储能网新闻中心，《印度公布十年电力规划草案》，中国能源报，18-05-2017. <http://www.esncn.com.cn/news/show-422106.html>

31 “龙象赛跑”：中印电力规划谁更绿色？中对话，08-05-2017.

32 田原，印尼大力发展可再生能源，经济日报，13-02

其他国家提交的国家自主贡献文件中，波兰作为欧盟的成员国，将于2030年之前实现减少40%温室气体排放的目标；一直希望加入欧盟的乌克兰也提交了相同的目标。其余的国家中，印尼的目标较为详细，计划分别与2020年和2030年之前达到减排预计温室气体总量的26%和29%。

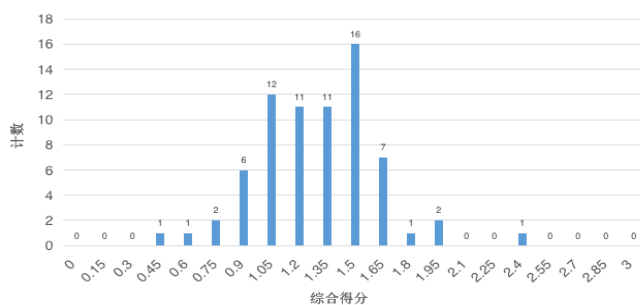
就这十个国家的整体投资环境来看，根据世界银行发布的营商环境报告，全球排名较前的国家有波兰和哈萨克斯坦，分别是第27和36名。蒙古，印尼，乌兹别克斯坦和乌克兰排在中间，而中国和印度排名靠后，分别是第78和100名。虽然世行的排名显示在中国和印度成立或运营公司的监管环境较为严格和复杂，但在可再生能源领域，根据不同国家制造产业的产能情况，对外资的需求也各有不同。以印度为例，印度目前本国的供应能力、制造能力都太差，不依赖外资没有可能实现政府制定的太阳能发展目标^[33]。

据可再生能源咨询公司Ecofys近期发布的报告，波兰将很难在2020年达到国家可再生能源行动计划的目标（总能源消费的15%来自可再生能源），目前预计仅能达到13.8%^[34]。在最不理想的情况下，预计只能达到10.0%。

蒙古于国家能源政策(2015-2030)中指出可再生能源在2023年之前增至全国总能源产能的20%，在2030年之前增至30%^[35]。印尼在国家能源政策(2014)中计划2025年可再生能源在总能源中的占比达到23%^[36]。乌克兰在《国家可再生能源行动计划(2014)》中指出在2020年之前实现可再生资源占最终总能源消费的11%，12.4%的供热与制冷需求由可再生能源满足，电力需求的11%来自可再生能源以及10%的交通能源需求来自可再生能源^[37]。乌兹别克斯坦规划在2025年时将可再生能源发电增至总发电量的19.7%，其中水力发电，太阳能发电和风力发电分别增长1.24GW, 450MW和302MW^[38]。哈萨克斯坦在《绿色能源概念(2013)》中指出在2050年之前实现总发电量的50%来自可再生能源^[39]。巴基斯坦目前还没有明确的可再生能源目标，但政府正在促进政策的改革与监管的转型，希望未来能够提高可再生能源在总发电量中的占比^[40]。据能源发展署报告^[41]，土库曼斯坦还没有设立可再生能源发展目标。

33 国际 | 印度能源市场现状及风险分析，中国电力报，2018年6月11日
 34 Emiliano Bellini, Poland to miss 2020 EU renewable energy target, Ecofys, April 26, 2017.
 35 Government of Mongolia, Scaling-up Renewable Energy Programme Investment Plan for Mongolia, Dec, 2015, https://www.climateinvestmentfunds.org/sites/cif_encr/files/srep_ip_mongolia_final_14_dec_2015-latest.pdf
 36 Government of Indonesia, National Energy Policy, Government Regulation No. 79/2014.
 37 Government of Ukraine, National Renewable Energy Action Plan, October, 2014.
 38 Government of Uzbekistan, Resolution on Further Development of Renewable Energy and Energy Efficiency 2017-2025, 2016.
 39 Republic of Kazakhstan, Concept for transition of the Republic of Kazakhstan to Green Economy, 2013.
 40 Amin Ahmed, Target solar, wind and hydro for future power generation: report, Dawnnews, April 13, 2018
 41 International Energy Agency, Eastern Europe, Caucasus and Central Asia Energy Policies Beyond IEA Countries, 2015.

图 5.6 71 个一带一路国家综合得分分布



第二节 “一带一路” 国家能源转型潜力分析

根据我们的指标体系、指标权重以及收集到的数据，最后计算出71个“一带一路”国家的综合得分，并进行了排名，如表5.1所示。作为辅助参考数据，表中同时还列出了电网覆盖率指标。至于为什么不把电网覆盖率计入评估系统中，是基于以下考虑。我们认为电网覆盖率高，有利于发展大规模可再生能源发电项目和分布式上网可再生能源项目；而电网覆盖率低，更有利于发展离网/社区网络的可再生能源项目（如缅甸在未来10年内都没有电网规划覆盖的区域）。鉴于以上电网覆盖率高和低各有利弊，我们把电网覆盖率指标单独列出，不计入指标体系的评分中。

我们对71个国家的综合得分的分布情况进行了一定的分析，其分布如图V-1所示。各国的得分情况大部分还是集中在中间1.5偏下，低于0.8的国家有四个，高于2.2的国家只有一个印度。

在排名前十的国家里面，我们已经做过一定基础调研的国家有印度尼西亚和越南。在排名靠中间的国家里面，我们已经在斯里兰卡和缅甸开展了项目。在排名靠后的国家里面，我们在柬埔寨做过一定的调研，建立了一定的合作基础。

跟周边国家比，印度尼西亚的整体电网覆盖率还是算好的，不过因为岛屿众多，其电网覆盖率在各岛之间差别太大，有些岛屿的电网覆盖率甚至不足50%^[42]。印度尼西亚丰富多样的可再生资源，如水能、地热、生物质、太阳能、风能和海洋能为其电网建设提供多样的解决方案。电网结构中，2016年煤电占比为54.69%，整个化石能源占比为87.55%，可在能源只有12.45%（含水电）。考虑到气候变化的影响和能源安全，印度尼西亚政府在其国家能源政策中设定2025年，可再生能源在一次能源消费中的占比达到23%^[43]。

42 2017, Power in Indonesia, <https://www.pwc.com/id/en/energy-utilities-mining/assets/power/power-guide-2017.pdf>
 43 Ibid

从2000到2015年，随着经济发展，越南的可再生能源（生物质和水电）在一次能源供给中占得比例从53%降到了24%，而煤炭的比例从15%上升到了35%，而煤电厂在煤炭的消耗中占了大部分。越南已经从一个能源出口国变成了一个能源进口国，而且随着经济的增长，预计未来一次能源的进口比例将会进一步增加^[44]。电力方面，越南的电力需求将会保持在8%的年均增长率一直到2035年，而新增的电力需求预计大部分会由煤电厂来供给。

在排名靠中间部分的国家里面，2015年斯里兰卡的电力供给中52%由化石能源提供。而斯里兰卡是一个化石能源贫乏的国家，大部分以来进口^[45]。同时，斯里兰卡在可再生能源方面，资源又相当丰富。在我们的指标体系中，斯里兰卡在可再生能源方面排在“一带一路”国家中的前五。

一。

表 5.1 “一带一路”国家能源转型潜力排名

国家名	总得分 (总分 3)	排名	电网覆盖率
印度	2.279	1	0.85
中国	1.870	2	1.00
印度尼西亚	1.838	3	0.98
菲律宾	1.670	4	0.91
波兰	1.642	5	1.00
埃及	1.601	6	1.00
越南	1.594	7	1.00
罗马尼亚	1.548	8	1.00
泰国	1.541	9	1.00
匈牙利	1.530	10	1.00
孟加拉	1.505	11	0.76
俄罗斯	1.482	12	1.00
乌克兰	1.479	13	1.00
土耳其	1.468	14	1.00
哈萨克斯坦	1.463	15	1.00

缅甸是一个电网覆盖率基本上只达到一半的国家，其电网建设和普及还有很长的路要走。人均电力消耗量也是世界最低国家之一。缅甸在水电和天然气资源方面又是特别的丰富^[46]。现阶段，缅甸的电力生产主要来自水电和天然气，一部分煤电厂也已经建立。预计在未来的电网结构中，煤电的比例将会快速增长^[47]。

在排名靠后的国家中，柬埔寨的电网覆盖率在周边国家中算低的。柬埔寨的能源基本上都是靠进口，如电力从老挝、泰国以及越南进口。最近几年因为煤电发展，电力对进口的依赖有所减少。不管是石油还是煤炭，柬埔寨都需要全部进口。石油的主要消费来自于交通部门。国内发电现在主要是水电(43%,2015)和煤电(51%,2015)^[48]。低电网覆盖率和高度的能源依赖进口，让可再生的离网发电成为未来电力发展的重要选择之

国家名	总得分 (总分 3)	排名	电网覆盖率
乌兹别克斯坦	1.462	16	1.00
阿尔巴尼亚	1.453	17	1.00
捷克	1.452	18	1.00
塞尔维亚	1.438	19	1.00
白俄罗斯	1.438	20	1.00
伊朗	1.434	21	1.00
摩洛哥	1.430	22	1.00
韩国	1.408	23	1.00
巴基斯坦	1.397	24	0.99
阿联酋	1.367	25	1.00
立陶宛	1.359	26	1.00
南非	1.351	27	0.84
保加利亚	1.336	28	1.00
马来西亚	1.325	29	1.00
斯里兰卡	1.317	30	0.96

44 Energy Outlook Report 2017, by Danish Energy Agency. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/Official_docs/Vietnam/vietnam-energy-outlook-report-2017-eng.pdf

45 2017, Assessment of Sri Lanka's Power Sector - 100% Electricity Generation through Renewable Energy by 2050. http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/sustainable_energy/assessment-of-sri-lanka-s-power-sector.html

46 Myanmar Energy Sector Assessment, Strategy, and Road Map, 2016, ADB, <https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/218286/mya-energy-sector-assessment.pdf>

47 The Government of the Republic of the Union of Myanmar National Energy Management Committee, 2015, by ADB, IES, MMIC

48 Cambodia National Energy Statistics 2016, the General Department of Energy and General Department of Petroleum, MME of Cambodia

国家名	总得分 (总分 3)	排名	电网覆盖率
斯洛伐克	1.307	31	1.00
波黑	1.285	32	1.00
以色列	1.261	33	1.00
马其顿	1.261	34	1.00
克罗地亚	1.259	35	1.00
约旦	1.252	36	1.00
蒙古	1.247	37	0.82
缅甸	1.218	38	0.57
新西兰	1.179	39	1.00
希腊	1.169	40	1.00
斯洛文尼亚	1.168	41	1.00
拉脱维亚	1.163	42	1.00
尼泊尔	1.146	43	0.91
阿塞拜疆	1.136	44	1.00
吉尔吉斯斯坦	1.132	45	1.00
塔吉克斯坦	1.113	46	1.00
阿曼	1.103	47	1.00
摩尔多瓦	1.092	48	1.00
黑山	1.069	49	1.00
伊拉克	1.045	50	1.00

国家名	总得分 (总分 3)	排名	电网覆盖率
亚美尼亚	1.043	51	1.00
沙特阿拉伯	1.041	52	1.00
老挝	1.027	53	0.87
土库曼斯坦	1.013	54	1.00
新加坡	1.000	55	1.00
爱沙尼亚	0.999	56	1.00
科威特	0.962	57	1.00
卡塔尔	0.939	58	1.00
巴拿马	0.928	59	0.93
格鲁吉亚	0.928	60	0.43
阿富汗	0.927	61	0.84
也门	0.893	62	0.72
柬埔寨	0.856	63	0.50
文莱	0.848	64	1.00
叙利亚	0.844	65	1.00
巴林	0.833	66	1.00
黎巴嫩	0.830	67	1.00
泰国	0.718	68	0.63
不丹	0.685	69	1.00
巴勒斯坦	0.598	70	0.00
马尔代夫	0.412	71	1.00

第三节 政策建议

结合上述“一带一路”国家可再生能源及能源转型潜力评估结果，可以看出，“一带一路”国家资源禀赋、能源规划及能源潜力各不相同，因此，中国参与“一带一路”各国的能源投资及建设的相关政策也应有所不同。具体建议如下：

1、“一带一路”倡议下大力倡导“一带一路”绿色能源投资

1) 政策上设立绿色能源投资的优先级

对可再生能源发展及能源转型潜力大（如：上表可再生能源潜力排名前十位及能源转型潜力排名前十位）的国家，在其能源投资的相关政策中，应优先鼓励可再生能源的投资。建议“一带一路”投资相关的各政策制定方，分别设立“一带一路”绿色能源投资优先级：

a) 在对外投资政策中，明确不再鼓励参与这些东道国化石能源的投资，仅支持对这些国家的可再生能源投资；

b) 中国金融机构明确不再参与这些东道国化石能源的投资，并在对企业的融资审批中，不再为化石能源投资提供贷款，同时建立长效促进机制，为这些国家的可再生能源投资提供低利率的优惠贷款，完善绿色信贷机制，将“一带一路”资金流引向可再生能源领域；

c) 行业协会（如：新能源海外发展联盟、中国电力企业联盟等）出台“一带一路”国家可再生能源投资指南，引导中国的能源电力企业积极参与这些国家的可再生能源投资。

2) 有针对性地支持“一带一路”国家的可再生能源发展项目

可再生能源及能源转型潜力排名靠前的国家，发展阶段各异，各项可再生能源的发展路径也各不相同，因此，“一带一路”国家的可再生能源投资需要分国别、分产业、有针对性地进行，尤其需要政策上的细化引导，如：

a) 对可再生能源发展政策较为友好的东道国（如：印度、印度尼西亚、波兰、越南等国，通过税收优惠等鼓励政策吸引外资参与其可再生能源的投资），中国可以从国家层面积极推动双边的可再生能源合作；

b) 对资源禀赋各异的情况（如：哈萨克斯坦和蒙古分别拥有最丰富的太阳能和风力发电资源），可结合各资源的储量及不同发展阶段，从产业层面推动“一带一路”可再生能源投资；

c) 对电网覆盖率低、能源进口依赖程度高的国别（如：斯里兰卡、柬埔寨、缅甸等国），可支持其可再生能源的离网发电。

2、加强中国与“一带一路”国家可再生能源不同层面的交流活动

中国目前是全球风力发电规模最大、增长最快的市场，也已是名副其实的世界光伏制造中心（从最上游的硅料到最下游的终端环节，每一个环节中国在全球市场的占比都基本超过了50%）。通过与“一带一路”国家在可再生能源领域不同层面的交流，将中国的可再生能源技术及发展经验推广到“一带一路”国家，将有利于促进“一带一路”国家的可再生能源发展及能源转型，帮助这些国家实现 NDC 减排目标。

1) 加强中国与“一带一路”国家在政策、技术、企业及民间智库各个层面的交流

与可再生能源发展潜力较大的国家加强交流，包括：促进政府间可再生能源政策发展的经验与教训交流；推动中国智库企业在东道国可再生能源的深入研究，鼓励中国企业更多地参与后期经营，提高中国可再生能源企业在当地的能源准入水平；增加对东道国可再生能源行业的人员技术培训、项目规划后的经营支持等；鼓励中国的民间智库与 NGO 走出去，促进双边信息的传递与沟通，将中国的可再生能源发展历程及经验分享出去，并同各国共同研究适合当地国情的发展理论和实践。

2) 加强国际间交流

中国的可再生能源硬件技术已达到全球领先水平，但在能源项目能力建设方面较弱，而世界银行、亚洲开发银行等多边金融机构在这个方面制度较全，应增加国际机构间的交流，推动中国可再生能源行业“走出去”。

3、充分利用现有的资金、平台和政策工具促进“一带一路”国家可再生能源发展

“一带一路”国家的可再生能源发展需要多方的支持，充分利用现有的资金、区域平台及政策工具，将有利于促进“一带一路”沿线国家的可再生能源发展和能源转型。

1) 南南合作援助基金

中国设立的“南南合作援助基金”，通过增加对最不发达国家及发展中国家的投资，推动以清洁和绿色方式满足其在能源、电力、基础设施建设等领域的发展需求。“一带一路”国家多数是欠发达和发展中国家，尤其是可再生能源发展潜力大的国家，可以充分利用中国的南南合作援助基金，快捷有效地为其可再生能源的发展提供资金支持。

2) 东南亚国家联盟、湄公河流域等区域合作平台

报告评估结果中，印度尼西亚、越南、菲律宾、泰国等国，属于可再生能源发展潜力或能源转型潜力排名靠前的国家，可以通过与东盟（东南亚国家联盟）、澜湄合作（澜沧江—湄公河流域可持续开发和互惠务实合作）等平台开展合作，共同支持区域内可再生能源发展潜力较大的国家，推进可再生能源开发及能源转型的进程。

3) 可再生能源工具包

中国在可再生能源领域的探索与开发，除了产业、行业方面的先进技术，还包括了民间智库开发的一些工具。如：GEI 推广的可再生能源工具包及可再生能源示范项目，可以帮助可再生能源潜力较大的国家从国家、地区、项目等层面更完整地进行规划，支持其可再生能源行业的发展。工具包还可以提供规划层面的执行机制（例如技术支持、调整的监管方案、融资选择），进而撬动可再生能源的商业投资。充分利用现有的工具，通过可再生能源项目的规划以及示范，探索东道国可行的模式与政策，将有助于“一带一路”国家加速发展可再生能源并提高气候适应力的努力。