

“一带一路”及其毗邻区域 0.25°分辨率太阳能发电潜力数据集 (2015)

辛晓洲¹, 张 乾^{1,2}, 张海龙^{1*}, 龚 围^{1,3}, 李 丽¹, 柳钦火^{1*}, 仲 波¹, 吴善龙^{1,4}

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 重庆师范大学, 重庆 400047; 4. 重庆邮电大学, 重庆 400065

摘 要: 研究“一带一路”及其毗邻区域太阳能发电潜力, 可以为未来清洁能源发展规划提供决策依据。“一带一路”及其毗邻区域 0.25°分辨率太阳能发电潜力数据集基于多因子评价模型所得, 综合考虑三个因素(太阳辐射、地表覆盖和地形), 使用 GLCNMO (Global Land Cover By National Mapping Organizations) 30 土地覆被产品, 确定不同土地利用类型所对应的因子系数, 以计算土地栅格可用面积的比例; 利用 SRTM30 (Shuttle Radar Topography Mission Global Coverage With 30-Second Resolution) 高程数据, 得到坡度限制区域; 采用 2015 年的 MuSyQ (Multi-Source Data Synergized Quantitative Remote Sensing Production System) 辐射产品, 获取年地表入射太阳辐射量。数据结果表明: 阿拉伯半岛、伊朗高原以及非洲撒哈拉沙漠地区太阳能发电潜力最大, 最高可达 400 kWh/m²。该数据集分辨率是 0.25°, 储存为.tif 格式, 数据量为 3.75 MB。

关键词: “一带一路”; 太阳能发电潜力; 光能资源

DOI: 10.3974/geodp.2017.04.04

1 前言

随着煤炭等化石燃料直接燃烧所带来的大气污染、温室效应等环境问题的加剧, 可再生能源成为人们关注的焦点^[1]。太阳能作为新能源的一种, 具有取之不尽, 分布广泛、清洁、安全等优势, 被国际公认是未来最具竞争力的新能源之一^[2]。目前太阳能发电发展迅速, 2016 年全球可再生能源发电容量增加了 161 GW, 而太阳能新增 71 GW, 太阳能对全球可再生能源发电装机目标的实现有望起到主要作用^[3]。

理论上的太阳能发电潜力是指太阳能被完全利用下的发电能力, 与事实上的能力相差甚远, 因为许多因素, 包括地理区域的可用性、光能利用率都将会影响其发电潜力。Sabo Lurwan^[4]、Charabi^[5]分别基于 GIS 确定研究区内适宜建设光伏电站的区域, 并估算区域内

收稿日期: 2017-11-24; 修订日期: 2017-12-11; 出版日期: 2017-12-25

基金项目: 国家自然科学基金 (41201352, 41771394)

*通讯作者: 张海龙 L-6186-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, zhlnjnu@163.com;

柳钦火 S-1647-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, liuqh@radi.ac.cn

论文引用格式: 辛晓洲, 张乾, 张海龙等. “一带一路”及其毗邻区域 0.25°分辨率太阳能发电潜力数据集 (2015) [J]. 全球变化数据学报, 2017, 1(2): 408–413. DOI: 10.3974/geodb.2017.04.04.

数据集引用格式: 张乾, 辛晓洲, 张海龙等. “一带一路”及其毗邻区域 0.25°分辨率太阳能发电潜力数据集 (2015) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2017. DOI: 10.3974/geodb.2017.03.17.V1.

年际的太阳能发电潜力。基于 MuSyQ（Multi-Source Data Synergized Quantitative Remote Sensing Production System）辐射产品、GLCNMO（Global Land Cover By National Mapping Organizations）土地覆盖产品、SRTM30（Shuttle Radar Topography Mission Global Coverage With 30-Second Resolution）高程数据，根据太阳能发电潜力的计算公式，得到“一带一路”及其毗邻区域太阳能发电潜力数据集^[6]。基于该数据，以国家为单位统计了发电潜力并与光伏装机量、GDP 等数据进行了对比分析。该数据反映了“一带一路”及其毗邻区域的太阳能发电潜力的空间格局，为未来清洁能源发展规划提供决策参考依据。

2 数据集元数据简介

“一带一路”及其毗邻区域太阳能发电潜力数据集的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 “一带一路”及其毗邻区域 0.25°分辨率太阳能发电潜力数据集元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	“一带一路”及其毗邻区域 0.25°分辨率太阳能发电潜力数据集（2015）
数据集短名	B&RSolarPower
作者信息	张乾 M-9694-2017, 中国科学院遥感与数字地球研究所, 2270211857@qq.com 辛晓洲 S-3681-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, xin_xzh@163.com 张海龙 L-6186-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, zhlnjnu@163.com 龚围 Q-8293-2017, 中国科学院遥感与数字地球研究所, 1271129410@qq.com 李丽 S-4533-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, lili3982@163.com 柳钦火 S-1647-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, liuqh@radi.ac.cn
地理区域	亚洲、欧洲、非洲和大洋洲
数据年代	2015 年
时间分辨率	1 年
空间分辨率	0.25°
数据格式	.tif
数据量	3.75 MB
数据集组成	一个.tif 格式的数据文件
基金项目	国家自然科学基金（41201352, 41771394）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报》（中英文）发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[7]

3 数据研发方法

3.1 基础数据

“一带一路”及其毗邻区域太阳能发电潜力数据集使用的基础数据有 MuSyQ 辐射产品、GLCNMO 土地覆盖产品、SRTM3 高程数据，其基本信息如表 2 所示。

表 2 基础数据信息汇总表

数据来源	数据类型	时间	空间分辨率	数据量
中国科学院遥感与数字地球研究所	MuSyQ 辐射产品	2015	0.05°	95.50 GB
日本地理空间信息管理局，千叶大学和合作组织	GLCNMO 土地覆盖产品	2003	30"	0.87 GB
下载地址： http://www.iscgm.org/gmd/download/glcnm.html				
美国国家航空航天局	SRTM30 高程数据	2004	30"	1.45 GB
下载地址： http://vterrain.org/Elevation/SRTM/				

3.2 算法原理

研究利用 Wang^[8-9]所使用的评估太阳能发电潜力的方法，考虑了太阳能发电的地理潜能和技术潜能，提出地理潜能是为了考虑不同土地类型所接受太阳能的比例不同所造成的影响。为了计算每个土地栅格可用面积的比例，尽管不是所有的土地都可以被用来收集太阳能，但研究考虑了每种土地类型的因子系数，定义为可以收集太阳能的面积占土地栅格面积的比例，每个栅格可用面积的比例是栅格中每种土地类型面积与相应因子系数乘积的总和。技术潜能由地理潜能乘以太阳能发电系统将光能转化为电能的效率所得到，提出技术潜能是为了考虑由太阳能转换为电能的过程中所损失的地理潜能，以说明更真实的太阳能发电潜力。

将太阳能发电潜力定义为：

$$G = \frac{E \times A \times P}{3.6} \tag{1}$$

式中， G 是指太阳能发电潜力 (kWh/m^2)， E 是指年地表入射太阳辐射量 (MJ/m^2)， A 是指可获得太阳能的面积比例， P 是太阳能发电系统将光能转化为电能的效率，取值 0.168，除以 3.6 是进行单位转换。像元是基本的计算单元。

公式 (1) 中 A 的计算方法为：

$$A = \sum_{j=1}^n \pi_j a_j \tag{2}$$

式中， π_j 是指第 j 类土地覆盖的适应性因子， a_j 是指一个栅格像元中第 j 类土地覆盖所占面积比例， n 是指土地覆盖类型的数目。

另外，坡度大于 5° 的地区不适合建设光伏电站等大型发电设施，将其定义为太阳能发电的限制区。

3.3 技术路线

太阳能发电潜力生成技术流程如图 1 所示，其中一些具体算法如下：

(1) 可用面积的比例：根据公式 (2)，使用 GLCN MO 土地覆盖产品，确定不同土地利用

类型所对应的因子系数，计算得到每个土地栅格可用面积的比例。

（2）年地表入射太阳辐射量：对 MuSyQ 辐射产品中的短波辐射数据集进行逐日、逐月累加，得到年地表入射太阳辐射量。

（3）太阳能发电潜力（包括坡度大于 5°的地区）：根据公式（1）进行计算。

（4）太阳能发电潜力（不包括坡度大于 5°的地区）：利用 SRTM30 高程数据得到坡度限制区，对陡峭的地区进行掩膜处理。

4 数据结果

数据是以.tif 格式存储，数据空间分辨率是 0.25°。数据结果表明：西亚的阿拉伯半岛、伊朗高原以及非洲撒哈拉沙漠部分地区太阳能发电潜力最高，在 330 kWh/m² 以上，该地区太阳能资源丰富且地表覆盖稀疏植被，非常适于太阳能资源开发。东亚的西北部、中亚部分地区、南部非洲以及澳大利亚广大的中西部拥有面积较为广阔的发电潜力高值区，太阳能发电潜力都在 230 kWh/m²以上。

基于”一带一路”及其毗邻区域的太阳能发电潜力图层（图 2），统计了部分国家的总太阳能发电潜力和人均太阳能发电潜力，并与光伏装机量、GDP 和人均电力消费量做对比分析，如表 3 所示。澳大利亚的总太阳能发电潜力最高，为 1.59×10⁶ TWh，中国次之，为

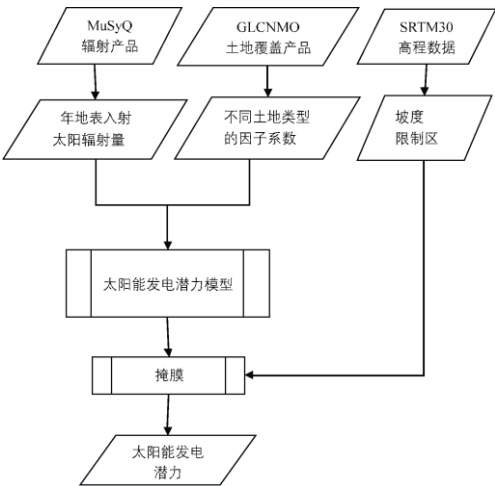


图 1 太阳能发电潜力生成技术流程图

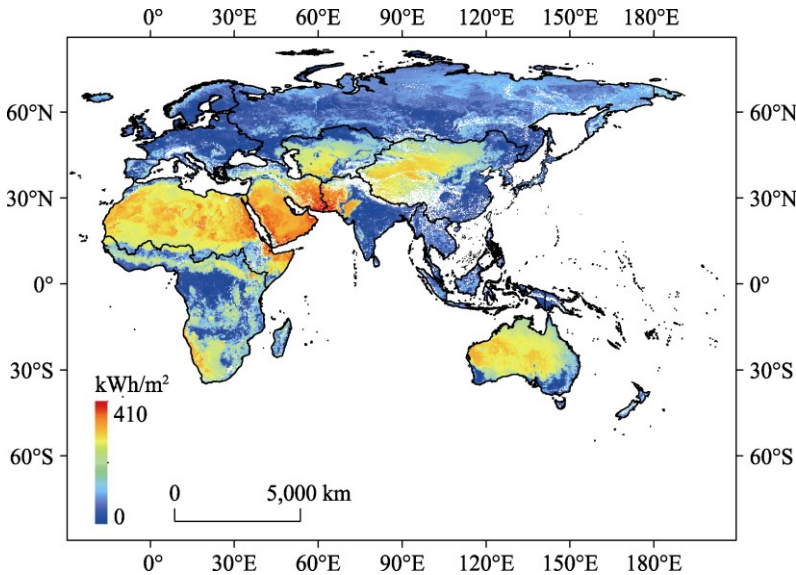


图 2 2015 年“一带一路”及其毗邻区域太阳能发电潜力图

1.05×10^6 TWh, 中国 2016 年新增和累计光伏装机量全球第一, 分别为 35.5 GW 和 78.1 GW。西亚和非洲北部国家光照资源丰富, 平均太阳能发电潜力高, 自然优势明显, 但非洲、西亚大多数国家装机量很低, 只有南非超过 1 GW。欧洲经济发达, 人均电力消费量大, 同时是世界太阳能开发和使用较早的地区, 普及率很高, 德国、意大利、英国、法国、西班牙光伏装机量世界排名前十。

表 3 “一带一路”及其毗邻区域部分国家的光伏装机量、太阳能发电潜力以及经济状况统计表

国家	所属地区	光伏装机量(GW)(总电力需求的光伏渗透率)	太阳能发电潜力($\times 10^3$ TWh)	GDP ($\times 10^{11}$ 美元)	人均发电潜力 ($\times 10^4$ kWh)	人均 GDP ($\times 10^3$ 美元)	人均电力消费量($\times 10^2$ kWh)
中国	东亚	78.1 (1.80%)	1,051.0	110.1	76.6	8.0	
日本		42.8 (4.90%)	8.2	43.8	6.5	34.5	78.4
韩国		4.4 (1.15%)	2.1	13.8	4.1	27.2	105.2
德国	欧洲	41.2 (7.00%)	14.0	33.6	17.2	41.3	88.8
意大利		19.3 (7.30%)	10.3	18.2	16.9	30.0	50.0
英国		11.6 (3.40%)	7.6	28.6	11.7	43.9	50.9
法国		7.1 (1.63%)	24.6	24.2	36.8	36.2	68.9
西班牙		5.5 (3.33%)	27.9	12.0	60.1	25.8	53.6
比利时		3.4 (4.25%)	1.1	4.6	9.7	40.3	76.6
希腊		2.6 (7.40%)	5.8	1.9	53.6	18.0	50.9
荷兰		2.1(1.78%)	1.1	7.5	6.5	44.3	66.8
捷克		2.1 (3.40%)	2.0	1.9	19.0	17.5	62.4
瑞士		1.6 (2.83%)	1.9	6.7	22.9	80.9	74.3
罗马尼亚		1.5 (2.88%)	9.4	1.8	47.4	9.0	25.9
奥地利		1.1 (1.78%)	2.9	3.8	33.7	43.8	82.9
丹麦		0.9 (2.75%)	0.5	3.0	8.8	52.0	58.3
印度	南亚	9.0 (1.55%)	132.9	21.0	10.1	1.6	8.0
巴基斯坦		1.7	160.8	2.7	85.1	1.4	4.6
泰国	东南亚	2.2 (1.93%)	27.6	4.0	40.6	5.8	25.6
菲律宾		0.9	9.9	2.9	9.8	2.9	7.0
以色列	西亚	0.9 (2.85%)	4.2	3.0	50.1	35.7	64.7
土耳其		0.8 (0.48%)	75.3	7.2	95.7	9.1	39.0
澳大利亚	大洋洲	5.9 (3.85%)	1,592.4	13.4	6,696.1	56.3	99.4
南非	非洲	1.5 (1.03%)	202.6	3.1	368.7	5.7	41.7

注：光伏装机量和总电力需求的光伏渗透率数据来自 PVPS（光伏电力系统项目）的 2016 年全球光伏市场快报；电力消费总量数据来自 IEA（国际能源署）。

5 讨论

太阳能作为新能源的一种, 被国际公认是未来最具竞争力的新能源之一。本文综合考虑太阳辐射、地表覆被、地形等因素, 基于 MuSyQ 辐射产品、GLCNMO 土地覆盖产品、

SRTM30 高程数据,根据太阳能发电潜力的计算公式,得到“一带一路”及其毗邻区域太阳能发电潜力空间分布,在此基础上,统计了各国的发电潜力和光伏装机量、GDP 等数据进行了对比分析。该数据为清洁能源发展规划提供了决策参考依据,对未来促进太阳能发电的利用,推动能源可持续发展有重要意义。

作者分工: 柳钦火、辛晓洲、张海龙和仲波对数据集的开发做了总体设计;龚围、吴善龙采集和处理数据并制作图件;张乾、张海龙和李丽完成数据分析,撰写了数据论文。

参考文献

- [1] 由世俊,孙贺江,马德刚等. 中国的太阳能资源及应用潜力[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(2): 57-59.
- [2] 李柯,何凡能. 中国陆地太阳能资源开发潜力区域分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1049-1054. DOI: 10.11820/dlkxjz.2010.09.004.
- [3] Renewable Capacity Statistics 2017 [ED/OL]. <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&>.
- [4] Lurwan, S. M., Idrees, M. O., Ahmed, G. B., *et al.* GIS-based optimal site selection for installation of large-scale smart grid-connected photovoltaic (PV) power plants in Selangor, Malaysia [J]. *American Journal of Applied Sciences*, 2017, 14(1): 174-183. DOI: 10.3844/ajassp.2017.174.183.
- [5] Charabi, Y., Gastli, A. PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation [J]. *Renewable Energy*, 2011, 36(9): 2554-2561. DOI: 10.1016/j.renene.2010.10.037.
- [6] 张乾,辛晓洲,张海龙等. “一带一路”及其毗邻区域 0.25°分辨率太阳能发电潜力数据集(2015) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2017. DOI: 10.3974/geodb.2017.03.17.V1.
- [7] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).
- [8] Wang, S. F., Leduc, S., Wang, S. C., *et al.* A new thinking for renewable energy model: remote sensing-based renewable energy model [J]. *International Journal of Energy Research*, 2009, 33(8): 778-786. DOI: 10.1002/er.1518.
- [9] Wang, S. F., Koch, B. Determining profits for solar energy with remote sensing data [J]. *Energy*, 2010, 35(7): 2934-2938. DOI: 10.1016/j.energy.2010.03.025.