



南非西开普省的恩卡尼非正式住区
图片来源:MrNovel/Shutterstock

太阳能解决方案： 填补离网住区的能源缺口

离网城市人口

电力是可持续发展的基础,是基本家庭活动的必需品。¹缺电可能会阻碍生产力的发展,限制创收机会,以及妨碍生活条件的改善。全球仍有近11亿人无电可用,另有10亿人在使用不可靠、不稳定的电网。^{2,3}虽然近年来印度和尼日利亚等国家在电网电气化普及方面取得了重大进展,但预计到2030年,仍有近7.8亿人无法使用电网。²因此,要实现到2030年普及低价、可靠、现代化的能源服务这一可持续发展目标,我们需要给出新的、突破性的可持续供电方案。

尽管农村地区对离网能源解决方案的需求最大,但城市居民面临的电力供应问题同样不容忽视。目前发展中国家约有48%的人口居住在城市,预计到2050年,这一比例可能上升至63%。⁴近四分之一的城市人口生活在各种形式的非正式住区。而在非洲、亚洲和拉丁美洲的一些发展迅速的城市,这一比例要大得多。日益增加的对基础设施和基础服务(清洁饮水、卫生设施以及低价可靠的能源供给,如电力)的需求,往往超过了城市的供给能力。

为城市非正式住区提供基本服务是一个重大挑战,因市政府在为非正式住区提供正规城市服务方面的



态度不同,各个地区的情况也不一样。就供电而言,这些挑战包括土地权、当局对合法占用的认可、利益攸关方的不愿参与、服务价格、电力供应商的投资回报以及与现有电网和其它必要基础设施间的差距。⁵

缺乏棚屋或房屋所在的正式所有权可能导致无法向当地或国家电力公司申请正式连接电网。⁶电力供应商在为这些社区提供服务时担心自己的盈利问题:首先是财务应允的高违约率,其次是低水平的电力消费。这两个问题都与社区居民低水平和不稳定的收入有关。^{5,6}

人口密度高、建筑物和住宅距离近、普遍使用煤油、石蜡灯、蜡烛和其他明火能源,让火灾成为非正式住区面临的主要威胁。^{7,8}这些火灾危险和与之相关的室内空气污染已经足以让各利益攸关方安装供电设

施。⁹⁻¹¹然而,连接了几户人家后,却会出现大量非法和超负荷的电力连接,它们对非正式住区构成重大安全隐患,包括人们熟悉的火灾危险和触电死亡等。来自南非的调查显示,在一些非正式住区,超过30%的的住户将非法接电作为主要电源。⁵

即使建立了电网连接,供电也不一定可靠。一些在发展中国家常年连接电网的家庭,常常通过定期储水和电池充电来适应突发停电问题。¹²即便是发达国家也会经历停电,有时当强烈风暴来袭时会彻底停电,当其他极端事件(如热浪)使电力供应变得紧张时也会经历轮流停电,又称轮流式间歇供电或轮换供电。¹³发展中国家和发达国家的家庭往往会购买小型柴油发电机备用。这些发电机产生的温室气体、有毒废气和噪音污染。^{12,13}



2016年,夜晚的地球

图片来源:美国国家宇航局地球观测所/美国国家海洋和大气管理局,国家地球物理数据中心

太阳能光伏的发展

几十年来, 多边组织、政府和非政府组织在电网无法到达的农村地区推广了分散式太阳能光伏系统, 特别是为公共服务供电, 如学校和诊所照明、信息交流和通信、社区抽水和疫苗制冷。^{14,15}如今, 当政府和企业无法满足包括非正式城市住区在内的电网网络扩建和维护的需求时, 分散式太阳能光伏系统可被视为电网供电的替代解决方案。¹⁴

近年来, 在非洲和亚洲的低收入社区, 小型分布式太阳能系统的普及率日益增加, 有至少95%的离网人口居住在这些社区。¹⁶⁻¹⁸这些系统的范围从具有内置太阳能电池板、电池和发光二极管(LED)灯泡的独立灯笼, 配备有太阳能电池板、至少一个LED灯泡的小型或微型太阳能装置, 以及带USB的充电插座以供手机甚至低功率家的用的电池。³价格方面, 从10美元的太阳能灯具到50美元的微型太阳能光伏系统不等。

这些相对实惠的太阳能照明产品带来了更好的投资回报, 特别是它们比灯笼的煤油或石蜡、用于手电筒的干电池或蜡烛的经常性成本低、寿命更长。^{3,19}更强大的太阳能家庭系统除了具备这些功能以外还能支持多盏电灯和相对较大的直流家用电器, 如收音机、风扇、电视甚至冰箱。

撒哈拉以南非洲的许多离网人口将家庭总收入的约10-30%用于支付煤油, 而在撒哈拉以南非洲和亚洲, 贫困人口每年花费157亿美元用于煤油照明。^{20,21}使用太阳能灯笼代替煤油灯笼可减少大量家庭开支, 并大大减少了灯笼和蜡烛中明火的使用, 从而降低室内空气污染和非正式住区的火灾风险。^{11,21-23}这些微型家庭太阳能系统对广大离网人口而言已变得越来越有吸引力。

各种光伏零部件的价格持续下降以及技术的飞速发展有目共睹。由于制造效率的提高和规模经济的增长, 晶体硅太阳能电池的成本在2008年至2016年期间下降了85%。²¹

LED技术的进步使效率变得更高 - 每单位电量能发出更多的光。高污染的铅酸电池正在被淘汰, 取而代之的是高性能锂离子电池, 它们的储能更高, 使用寿命更长, 充电更快, 效率更高。²⁴虽然电池是太阳能家庭系统中最昂贵的部件, 但锂离子电池的价格在五年内已下降了近65%, 而且由于其在笔记本电脑和其他设备上的广泛使用, 预计价格会进一步下降。²¹



用回收罐制成的煤油灯芯灯
Evan Mills供图

离网太阳能

离网人口

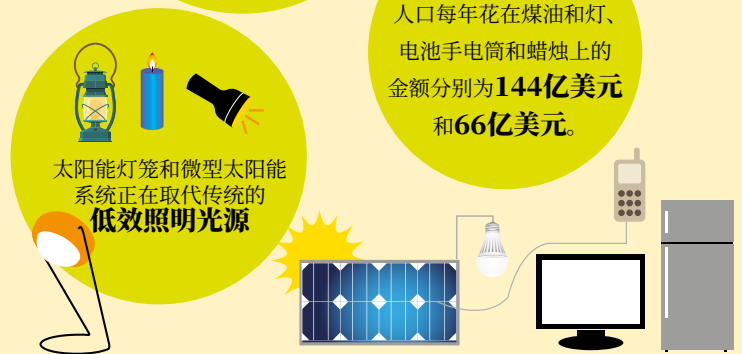


太阳能光伏

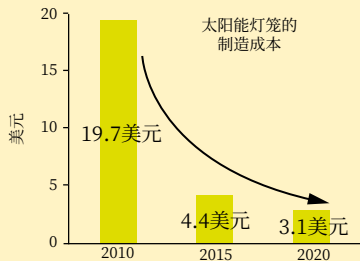
这些太阳能光伏的范围从支持至少一个灯泡的**太阳能灯笼**、小型太阳能系统或**微型太阳能系统**到能够支持多个LED灯和直流家用电器的**电池容量更大的太阳能家庭系统**。

太阳能光伏正在农村和市区的离网人口中，尤其在非洲和南亚，成为主流

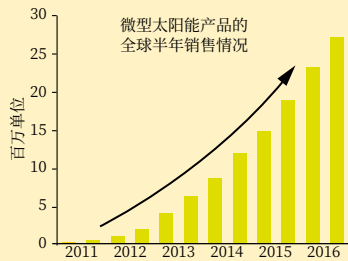
非洲和南亚的离网人口每年花在煤油和灯、电池手电筒和蜡烛上的金额分别为**144亿美元**和**66亿美元**。



价格在下降



销量在上升



挑战和机遇

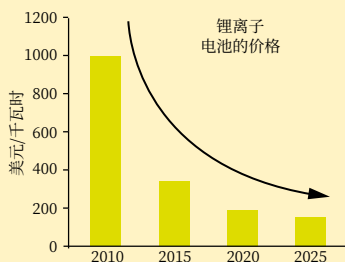
精心设计

的可再生能源政策和明确的愿景结合推进**技术和市场创新**鼓励今天的离网社区继续走清洁能源和**可持续发展的道路**

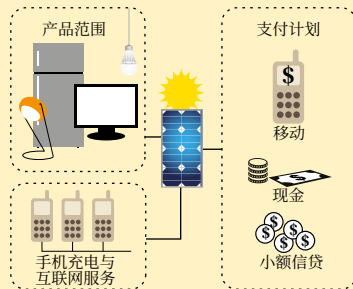


预测在未来几十年，太阳能产品产生的**电子垃圾**将呈指数上升。这将要求对用过的产品进行环境无害化管理，但同时也为**回收市场**带来了机会

电池成本在下降



多样化的商业模式



离网太阳能系统能在整个价值链中提供**数十万个就业机会**

联合国环境署估计，向高效的离网照明过渡创造的**工作数量**可能是燃料照明创造的**工作数量的30倍**

离网太阳能的创新营销

使得太阳能电力进入非正式住区市场的一个关键因素是商业模式的创新。^{16,25,26}虽然对某些人而言,微型太阳能和太阳能家庭系统是可以负担得起的,但离网人口中的最低收入人口还是没有能力支付起步设备。许多小型和初创公司正在提供帮助消费者克服前期费用障碍的融资方案,旨在通过市场的高容量实现最终盈利。^{16,17,19}

此类计划一些方案,让人们只需支付小笔资金,几乎与他们以往购买煤油的花费相当。在通过“即付即用制”中,消费者先支付一小部分费用,然后按每日、每周或每月分期付款。如未能按时付款,系统就自动停止工作。付款全部完成后,消费者就完全拥有了该产品。这种方案通常与现有的手机金融服务结合起来,在如撒哈拉以南非洲的一些地区,这些业务已经相当成熟。^{17,27}

在印度,近三分之一的城市人口生活在非正式住区。²⁸对德里非正式住区的一项调查估计,每个居民的平均月收入只有105美元(INR 6 676),而且90%的收入都用于日常开销。²⁹大多数公司提供融资方案,旨在为从农村移居到印度高速发展城市非正式住区的最边缘化家庭提供服务。

如果没有正式地址,在居住地居住不满十年,那么家庭就无法获得传统的融资服务。一些公司雇佣当地人,让他们在非正式住区逐户上门提供价格实惠的产品。³⁰顾客可以选择5-8周的付款计划来购买太阳能灯。一些公司进一步与小额信贷机构建立业务关系,扩大面向收入最低的消费者的融资选择。³¹

在南非,即便在种族隔离时期后的电气化和住房计划推出之后,仍有近四分之一的人口生活在没有电

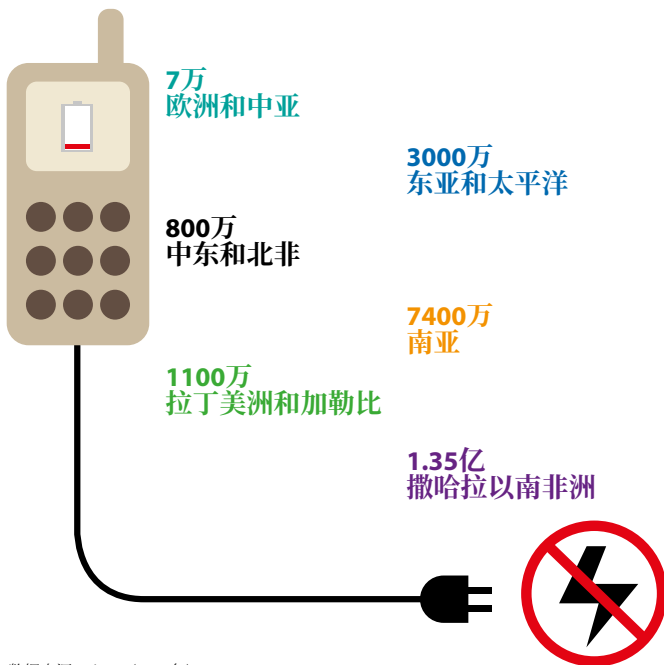
▶ 视频:太阳能在非洲普及如此迅速的原因



视频链接: <https://www.youtube.com/watch?v=tkvbZ0ADmz0>
图片来源: Gabriela Gemio Beltrán

© The Economist

离网住区的手机用户数估值



数据来源: Nique (2013年)²



力供给的非正式住区。³²一个由斯坦陵布什大学牵头的可持续发展项目旨在改善生活在西开普省恩卡尼尼(Enkanini)这个离网非正式住区的4500名居民的生活条件。³³⁻³⁵一些采用节能技术的干预措施还包括重新确定住宅朝向,以优化其被动利用太阳能的潜力,改善建筑物隔热和集水等。

该项目开展离网太阳能发电业务,为非正式住区服务,并希望将其扩大为可用于其他离网定居点的特许经营模式。在按服务收费的基础上向居民提供家庭太阳能系统,它包括一块太阳能电池板、两盏室内LED灯、一台电视机、一盏室外聚光灯和手机充电设施。消费者需支付14美元(200南非兰特)的安装费和11美元的月租金(150南非兰特)。³³

基于该项目成立的公司从当地雇佣员工,负责太阳能系统的安装和维护工作。这个商业模式目前已被一些市政当局采用,用于南非的其他非正式住区。³⁶⁻³⁸

▶ 视频:需求高:卢旺达的太阳能服务亭



视频链接:<https://www.youtube.com/watch?v=QpukLasOnSo>
非洲可再生能源经销商Henri Nyakarundi供图

© DW English

电网停电的频率和持续时间

(仅显示高于全球平均水平的地区)

每月停电
次数

全球平均值



撒哈拉以南非洲地区



中东和北非地区



南亚



每次停电
平均时间
(小时)



数据来源:世界银行企业调查, <http://www.enterprisesurveys.org>

弹出式太阳能服务亭是另一种独特的业务创新形式,它利用太阳能为家庭外的离网社区提供服务。小型移动太阳能服务亭配有几块太阳能电池板和一个锂离子电池装置,能同时为10-80部手机供电,有些服务亭甚至可提供Wi-Fi服务。^{39,40}更大的太阳能服务亭是固定的,并在屋顶安装太阳能电池板。⁴¹它像杂货店一样提供一系列商品,如太阳能产品、手机、消耗品、医药以及手机充电和互联网服务。各种太阳能服务亭正

在非洲普及, 那里有1.35亿手机用户家里没有供电。⁴²

继续在可再生能源的道路上前进

微型太阳能光伏系统只是帮助家庭实现能源脱贫的第一步。不论是在农村、近郊还是城市地区供电, 开始时一个小系统或许就足够了, 但一旦人们的购买力增强, 加之产品价格继续下降, 他们就会需要更大的容量。这为继续朝太阳能方向发展提供了大量的机会, 而不是转向采用煤和石油的电网电力。2016年, 化石燃料发电量占非洲总发电量的约80%, 占南亚的60%。^{43,44}

为了继续走可持续发展的道路, 加强可再生能源解决方案, 应当考虑某些可能对太阳能市场扩张产生影响的因素。这些因素包括质量标准、消费者意识、资金援助、电子废弃物管理和政府政策的重新定位。^{17,25}

▶ 视频: 2030年的非洲太阳能

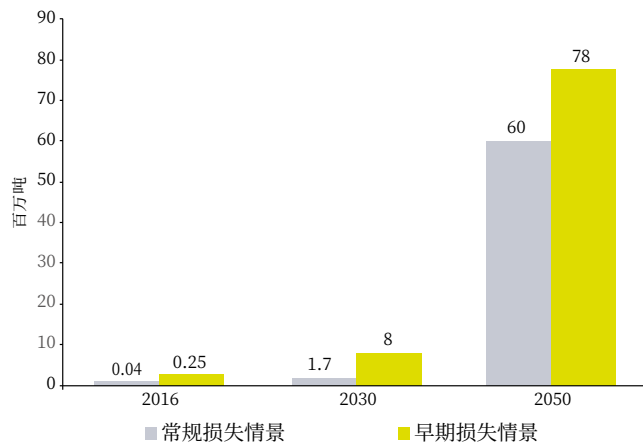


视频链接: <https://www.youtube.com/watch?v=Bb8Su6OeWYw>

© CGTN Africa

图片来源: MrNovel / Shutterstock.com

2016-2050年全球光伏板废弃物预测概述



资料来源: 根据IRINA和国际能源署光伏发电系统方案(2016年)改编⁷

在许多发展中国家, 太阳能产品在很多年前就已经出现。这些产品通常质量低劣或寿命很短。是否继续使用离网太阳能可能取决于人们今天对市场上可购买产品的印象。对不合格产品的负面印象可能会影响现有及潜在消费者对新产品的接受程度。有两条路径可同时进行, 帮助解决这一问题: 一是为产品本身设立更高的质量标准, 服务商给消费者提供产品回收和循环保障。二是增强消费者对于产品本身高质量的认可, 这种高质量现在已成为产品本身、产品配套服务以及产品扩展和扶持支付计划的标准。²⁵

公司缺乏营运资金, 特别是提供终端用户融资的资金, 可能会限制市场的发展。可以设计支持性方案来缓解这些挑战, 已经投入使用的创新业务模式可以作为很好的参考。^{5,16,17,25}未来对容量更大的太阳能家庭系统的需求也将有助于扩大现有市场, 进一步提高私人投资者、开发银行和捐赠者的商业利益和投资。2016年, 至少有6000万美元投入到非洲的两家公司中。与原来的即付即用运营商相比, 它们提供的太阳能家庭系统容量更大、价格更高。⁴⁵即付即用的太阳



能公司有可能力求创造一个面向收入更高的消费者的新市场, 这些消费者或许已经接入了不稳定的电网。

另一个挑战涉及不断增长的产品使用所产生的电子废弃物。虽然与铅酸电池相比, 锂离子电池一般被认为毒性较小, 但由于电池中含有各种化学物质, 它们仍然有可能污染环境。⁴⁶目前, 几乎没有制造商提供更换零部件或在电池寿命结束时回收旧电池。^{47,48}同样, 晶体硅面板也令人担心, 因为它们也含有镉和铅等有毒物质。如果顾客能通过收回计划升级消费品以获得更好的产品, 回收市场就可以发展, 污染的风险也会降低。还应指出的是, 在小型太阳能系统已经普及的许多国家, 可能没有专门处理太阳能电池板的电子废弃物法规。⁴⁷

涉及政府干预的一些挑战包括国家、地区和市级层面就离网电气化的未来战略及实施政策选择上存在的不确定性。此外, 许多国家长久以来一直补贴公民购买煤油, 以平息民众对未兑现的供电承诺的不满。虽然有一些人建议取消煤油补贴, 但另一条路径是鼓励离网用户将补贴用于购买太阳能发电系统。问题在于, 一旦完成购买, 是否仍然应该继续提供补贴。此外, 离网供电公司也建议取消对太阳能发电产品征收高进口关税和增值税等财政进口壁垒, 这些壁垒可能会大大抬升产品的价格。^{19,25}

最后, 除了在公众意识方面下功夫之外, 供给容量发展也面临着挑战。公司和社区需要合格熟练的劳动力来支持这个领域的发展。应该尤其为当地社区成员设置培训课程和学徒计划, 因为他们是当地市场的主力。^{3,25}在不久的将来, 离网系统将在整个价值链中提供成千上万个就业机会, 并为那些学习大型家用太阳能系统的安装和维护的人员提供了一条脱贫之路。^{25,49}联合国环境署在西非进行的一项研究估

计, 向高效的离网照明过渡创造的就业数量可能是燃料照明所能创造的30倍。⁵⁰

有了关于可再生能源的正确政策和法规以及对未来的明确愿景, 现在的分布式太阳能发电系统也许仍然是农村和城市离网社区的首选能源。这将是实现到2030年普及低价、可靠、现代化的能源服务, 并消除贫困的可持续发展目标的关键要素。

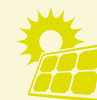


经过赤脚学院(Barefoot College)培训的一名妇女在自己印度拉贾斯坦邦的家安装、修理和维护太阳能系统

图片来源: Knut-Erik Helle, 根据CC BY-NC-ND 2.0授权

参考文献

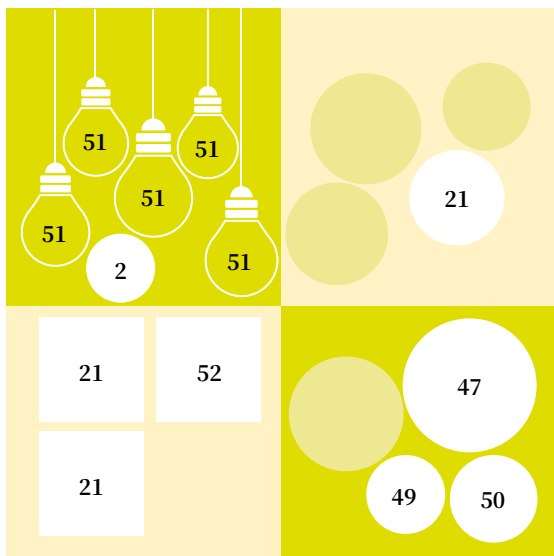
1. GEA (2012). *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, and the International Institute for Applied Systems Analysis, Luxembourg, Austria. http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/Global_Energy_Assessment_FullReport.pdf
2. International Energy Agency and the World Bank (2015). *Sustainable energy for all 2015—Progress toward sustainable energy*. The World Bank, Washington DC. <http://www.se4all.org/sites/default/files/GTF-2105-Full-Report.pdf>
3. UNEP (2015). *Developing effective off-grid lighting policy: Guidance note for governments in Africa*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://www.enlighten-initiative.org/portals/0/documents/Resources/publications/OFG-publication-may-BDef.pdf>
4. UNDESA (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, New York. <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.Pdf>
5. Gaunt, T., Salida, M., Macfarlane, R., Maboda, S., Reddy, Y. and Borchers, M. (2012). *Informal Electrification in South Africa: Experience, Opportunities and Challenges*. Sustainable Energy Africa, Cape Town. http://www.cityenergy.org.za/uploads/resource_116.pdf
6. Reddy, Y. and Wolpe, P. (2015). *Tackling urban energy poverty in South Africa*. Sustainable Energy Africa, Cape Town. <http://www.sustainable.org.za/uploads/files/file72.pdf>
7. Kazerooni, Y., Gyedu, A., Burnham, G., Nwomeh, B., Charles, A., Mishra, B., Kuah, S.S., Kushner, A.L., Stewart, B.T. (2015). Fires in refugee and displaced persons settlements: The current situation and opportunities to improve fire prevention and control. *Burns*, 42, 1036-1046. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305417915003861>
8. Kimemeia, D.K., Vermaak, C., Pachauri, S. and Rhodes, B. (2014). Burns, scalds and poisonings from household energy use in South Africa: Are the energy poor at greater risk? *Energy for Sustainable Development*, 18, 1-8. https://www.researchgate.net/publication/259519739_Burns_scalds_and_poisonings_from_household_energy_use_in_South_Africa_Are_the_energy_poor_at_greater_risk
9. Jacobson, A., Bond, T.C., Lam, N.L. and Hultman, N. (2013). *Black carbon and kerosene lighting: An opportunity for rapid action on climate change and clean energy for development*. Global Economy and Development Policy Paper 2013-03. The Brookings Institution, Washington DC https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/04_climate_change_clean_energy_development_hultman.pdf
10. Lam, N.L., Smith, K.R., Gauthier, A. and Bates, M.N. (2012). Kerosene: A review of household uses and their hazards in low-and middle income countries. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, Critical Reviews*, 15(6), 396–432. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3664014/pdf/nihms447641.pdf>
11. Mills, E. (2016). Identifying and reducing the health and safety impacts of fuel-based lighting. *Energy for Sustainable Development*, 30, 30-59. https://www.researchgate.net/publication/290975529_Identifying_and_reducing_the_health_and_safety_impacts_of_fuel-based_lighting
12. Mukwaya, P.I. (2016). Urban Adaptation to Energy Insecurity in Uganda. *Current Urban Studies*, 4, 69-84. https://file.scirp.org/pdf/CUS_2016032414011321.pdf
13. Ghanem, D.A., Mander, S. and Gough, C., 2016. "I think we need to get a better generator": Household resilience to disruption to power supply during storm events. *Energy Policy*, 92, pp.171-180.
14. Frame, D., Tembo, K., Dolan, M.J., Strachan, S.M. and Ault, G.W. (2011). A community based approach for sustainable off-grid PV systems in developing countries. In The Electrification of Transportation and the Grid of the Future, the report of the 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, MI, United States, 24-28 July 2011. https://www.strath.ac.uk/media/departments/eee/cred/Conference_Paper.pdf
15. UNDP (2004). *Solar Photovoltaics in Africa: Experiences with financing and delivery models-Lesson for the future*. Monitoring and evaluation report series, Issue 2. United Nations Development Programme, New York and Global Environment Facility, Washington DC. http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/sustainable_energy/solar_photovoltaicsinfricaexperienceswithfinancinganddeliverymo.html
16. Nygaard, I., Hansen, U.E. and Larsen, T.H. (2016). The emerging market for pico-scale solar PV systems in Sub-Saharan Africa: From donor-supported niches toward market-based rural electrification. UNEP DTU Partnership, Copenhagen.
17. REN21 (2016). *Renewables 2016 Global Status Report*. REN21 Secretariat, Paris. <http://www.ren21.net/GSR-2016-Report-Full-report-EN>
18. UN-HABITAT (2016). *Urbanization and Development: Emerging Futures*. World Cities Report 2016. United Nations Human Settlements Programme, Nairobi. <https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2014/03/WCR-%20Full-Report-2016.pdf>
19. Lysen, E.H. (2013). Pico Solar PV Systems for Remote Homes: A new generation of small PV systems for lighting and communication. Report IEA-PVPS T9-12: 2012. International Energy Agency, Paris. http://iea-pvps.org/index.php?id=299&elD=dam_frontend_push&docID=1433
20. SolarAid (2013). Facts about kerosene, solar and SolarAid. SolarAid factsheet. <https://www.solar-aid.org/assets/Uploads/Publications/Facts-about-kerosene-solar-and-SolarAid.pdf>
21. BNEF and Lighting Global (2016). *Off-grid solar market trends report 2016*. Bloomberg New Energy Finance, New York and Lighting Global, Washington DC. https://data.bloombergglp.com/bnef/sites/4/2016/03/20160303_BNEF_WorldBankIFC_Off-GridSolarReport_.pdf
22. UN-HABITAT (2009). *Promoting Energy Access for the urban poor in Africa: Approaches and Challenges in Slum Electrification*. United



- Nations Human Settlements Programme, Nairobi. http://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/8292_16690_GENUS%20AFRICA.EGM%20Final%20Report.pdf
23. UN-HABITAT (2012). Enhanced Energy Access for Urban Poor Practice Casebook. United Nations Human Settlements Programme, Nairobi. http://www.avsi-usa.org/uploads/6/7/4/2/67429199/avsi___coelba3.pdf
 24. Phadke, A.A., Jacobson, A., Park, W.Y., Lee, G.R., Alstone, P. and Khare, A. (2015). Powering a Home with Just 25 Watts of Solar PV. Super-Efficient Appliances Can Enable Expanded Off-Grid Energy Service Using Small Solar Power Systems. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
 25. Diecker, J., Wheeldon, S., and Scott, A. (2016) Accelerating access to electricity in Africa with off-grid solar: Policies to expand the market for solar household solutions. Overseas Development Institute, London UK.
 26. McKibben, B. (2017) The Race to Solar Power Africa. *The New Yorker*, 26 June 2017. <http://www.newyorker.com/magazine/2017/06/26/the-race-to-solar-power-africa>
 27. IEA and World Bank (2015). Sustainable Energy for All 2015 – Progress Toward Sustainable Energy. World Bank, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22148>
 28. Corrigan, G. and Di Battista, A. (2015). 19 charts that explain India's economic challenge. World Economic Forum website. <https://www.weforum.org/agenda/2015/11/19-charts-that-explain-indias-economic-challenge/>
 29. PRIA (2014). Government led exclusion of the urban poor: A greater contribution though a lesser recipient. Delhi Study Report 2014. The Society for Participatory Research in Asia, Delhi. https://terraurban.files.wordpress.com/2014/01/delhi-study_april-2014.pdf
 30. Pollinate Energy (2017). Pollinate Energy website. <https://pollinateenergy.org/>
 31. Davidsen, A., Pallassana, K., Singh, J., Shiv, J., Walker, P., Parrish, S. and Sitsabeshan, S. (2015). The business case for off-grid energy in India. The Climate Group. <https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/The-business-case-for-offgrid-energy-in-India.pdf>
 32. Department of Energy (2012). A survey of energy-related behaviour and perceptions in South Africa: The residential sector. Department of Energy, Government of the Republic of South Africa. <http://www.energy.gov.za/files/media/Pub/Survey%20of%20Energy%20related%20behaviour%20and%20perception%20in%20SA%20-%20Residential%20Sector%20-%202012.pdf>
 33. Lemaire, X. and Kerr, D. (2014). The iShack Project in Enkanini, Stellenbosch, South Africa. Supporting Africa Municipalities in Sustainable Energy Transitions (SAMSET) website. <https://samsetproject.wordpress.com/2014/12/20/the-ishack-project-in-enkanini-stellenbosch-south-africa/>
 34. SM and CORC (2012). Enkanini (Kayamandi) household enumeration report. Stellenbosch Municipality and Community Organisation Resource Centre. <http://sasdialliance.org.za/wp-content/uploads/docs/reports/Enumerations/Enkanini%20Final%20Report.pdf>
 35. Wilde, S. (2015). iShack delivers power (and television) to the people. Mail & Guardian, 13 March 2015. <https://mg.co.za/article/2015-03-13-ishack-delivers-power-and-television-to-the-people>
 36. Kovacic, Z., Smit, S., Musango, J.K., Brent, A.C. and Giampietro, M. (2016). Probing uncertainty levels of electrification in informal urban settlements: A case from South Africa. *Habitat International*, 56, 212-221. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397515302356>
 37. Lemaire, X. and Kerr, D. (2016). Informal Settlements – Electrification and Urban Services. SAMSET Policy Brief. UCL Energy Institute, London.
 38. Murugan, S. (2013). Solar energy lights up Ekurhuleni's informal settlements. Vuk'uzenzele, June 2013. <http://www.vukuzenzele.gov.za/solar-energy-lights-ekurhuleni-s-informal-settlements>
 39. ARED (2017). Our solutions. African Renewable Energy Distributor. <http://www.a-r-e-d.com/>
 40. Juabar (2017). Our design process. Juabar Design. <http://juabar.com/>
 41. SOLARKIOSK (2017). One Solution—Various Purposes. SOLARKIOSK. <http://solarkiosk.eu/product/>
 42. Nique, M. (2013). Sizing the opportunity of mobile to support energy and water access. GSMA, London. https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2013/12/Sizing-the-Opportunity-of-Mobile_Nov-2013.pdf
 43. UNEP (2017). Atlas of Africa Energy Resources. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/20476>
 44. Shukla, A.K., Sudhakar, K. and Baredar, P. (2016). Renewable energy resources in South Asian countries: Challenges, policy and recommendations. *Resource-Efficient Technologies*, 1-5. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405653716302299>
 45. Bloomberg New Energy Finance (2017). 1Q 2017 Off-grid and mini-grid market outlook. *Climatescope 2016* website. <http://global-climatescope.org/en/off-grid-quarterly/q1-2017/>
 46. Wang, X. (2014). Managing end-of-life lithium-ion batteries: An environmental and economic assessment. Thesis, Rochester Institute of Technology, New York. <http://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=9337&context=theses>
 47. IRENA and IEA-PVPS (2016), "End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels," International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf

48. Industry Opinion on Lifecycle and Recycling (2014). The Global Off-Grid Lighting Association, Utrecht, https://www.gogla.org/sites/default/files/recource_docs/gogla-industry-opinion-on-lifecycle-and-recycling1.pdf
49. Mills, E., 2016. Job creation and energy savings through a transition to modern off-grid lighting. *Energy for Sustainable Development*, 33, pp.155-166.
50. UNEP (2014). Light and livelihood: A bright outlook for employment in the transition from fuel-based lighting to electrical alternatives. United Nations Environment Programme, Nairobi. http://www.ecreee.org/sites/default/files/light_and_livelihood_-_a_bright_outlook_for_employment.pdf

图片参考文献



51. World Bank (2017). World Development Indicators. The World Bank, Washington DC. <http://databank.worldbank.org/data/>
52. GOGLA (2017). *Global off-grid solar market report July-December 2016: Semi-annual sales and impact data*. Global Off-Grid Lighting Association, Utrecht. https://www.gogla.org/sites/default/files/recource_docs/final_sales-and-impact-report_h22016_full_public.pdf

