

# A Brief Review on the Environmental Impact of Solar Photovoltaic Power Station

Jiaran Han<sup>1</sup>, Yuanhao Wang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Tianjin No.43 High School, Tianjin

<sup>2</sup>The Xinjiang Technical Institute of Physics & Chemistry, CAS, Urumqi Xinjiang

Email: \*121478018@qq.com

Received: Dec. 15<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jan. 10<sup>th</sup>, 2018; published: Jan. 17<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Facing the worldwide power energy crisis, the application utilization of sustainable and renewable energy provides a possible solution. Recently significant progresses have been made regarding large-scale solar power plants, especially the photovoltaic power generation system. Sometimes, however, the construction of large scale PV power station has some adverse environmental implications during their implementation, operation and even in the end of their life. Those impacts have not been fully studied or understood in literature. Moreover, environmental impacts during photovoltaic modules' manufacturing cannot be ignored. To overview the details, this study has conducted a comprehensive review on summarizes the environmental impact of photovoltaic power generation system throughout its lifecycle, including the manufacture of a crystalline silicon photovoltaic modules, the construction of a solar power plants as well as the installation and the disposal. Furthermore, a feasibility study into of crystalline silicon photovoltaic modules recycling has been carried out.

## Keywords

Solar Photovoltaic Power Station, Environment Impacts, Evaluation Method, Life Cycle Assessment

---

# 浅析太阳能光伏电站对环境的影响

韩嘉然<sup>1</sup>, 汪远昊<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>天津市第四十三中学, 天津

<sup>2</sup>中国科学院新疆理化技术研究所, 新疆 乌鲁木齐

Email: \*121478018@qq.com

收稿日期: 2017年12月15日; 录用日期: 2018年1月10日; 发布日期: 2018年1月17日

---

\*通讯作者。

## 摘要

近年来,为解决能源短缺和许多与化石燃料相关的环境问题,国家在对煤电进行改造和减排的同时,鼓励和支持利用可再生能源发电,其中太阳能光伏发电技术发展十分迅速,近年来国内外兴建了众多的光伏电站,在实际投入生产中取得了显著的应用实效。然而,太阳能光伏电站建设与运营往往需要面对潜在的一些负面环境影响。对于建设一个大型光伏电站,限制其建设进度的往往是前期的评估许可阶段,而出现建设延后的原因常常是对光伏电站建设施工期以及运营期对环境的影响。同时,光伏组件从制造到生命周期结束整个过程中的对环境产生的影响也不容忽视。为了全面评估光伏电站在整个生命周期对环境的影响,本文概述了光伏电站对环境影响的评估方法,介绍了包括晶体硅电池的生产制造、光伏电站的建设运营及最后回收处理各个阶段对环境有可能产生的影响,希望能给相关工作提供些许参考。

## 关键词

光伏电站, 环境影响, 评价方法, 生命周期评估

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

现代工业的发展需要大量的能源作为支撑,而自从工业革命以后,大量化石燃料的燃烧带来了巨大的环境问题。同时,由于化石燃料的不可再生性,能源短缺又成为另一个人类使用化石能源所面临的问题。因此,随着科学技术的发展,人类寻求替代能源的脚步从未停止。太阳能每秒钟到达地面的能量高达 80 万 kWh,且其具有分布广泛、用之不竭、廉价的等特性。太阳能作为可再生能源之一,一直是作为人类可替代能源的理想选择。

而在清洁性方面,以 CO<sub>2</sub> 为例,每发出 1 kWh 的电能,用煤燃料产生的碳污染因子为 322.8 g/kWh,用油燃料产生的碳污染因子为 258.5 g/kWh。而使用太阳能发电,只有 5.3 g/kWh [1]。由此可见,太阳能是一种非常清洁的能源。光伏发电作为太阳能利用的一种非常重要的形式,其具备环保低碳等特点,它不会污染空气和水源,不会排放有毒或有害物质,对公众安全没有威胁,今年取得了飞速的发展。然而光伏电站包括光伏组件的制造、安装、运行及维护会对局部生态环境造成一定的影响,这方面却没有得到足够的重视。

## 2. 光伏组件制造过程对环境的影响

光伏组件的生命周期,从其制造到建设运营及最后回收,无不与环境息息相关。了解这些有助于更好地了解评价其对环境的影响。

太阳能电池已经实现了从第一代到第二代的转化。晶体硅、非晶硅、铜铟镓硒、砷化镓、碲化镉和染料敏化太阳能电池都已经比较常见。这些不同的太阳能电池的在生产过程中产生的污染物也不尽相同。本文仅以最常见的晶体硅太阳能电池为例综述其生产过程中对环境有可能产生的危害。

晶体硅太阳能电池生产比较复杂,生产工艺的每个阶段都会对环境造成一定的影响。在工业硅的生产过程中,一般采用焦炭还原 SiO<sub>2</sub> 的方法生产。工业硅的产率为 80%~85%。在这个过程中,CO、SiC、

CO<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等气体会释放出来。通过鼓入氧气,每生产 1 kg 工业硅就会反应生成 6.0 kg CO<sub>2</sub>、1.6 kg H<sub>2</sub>O、0.008 kg SiO<sub>2</sub> 和 0.028 kg SO<sub>2</sub> [2]。为了达到太阳能电池的高纯度的需要,工业硅必须进一步提纯。改良西门子法是目前主流的生产方法,理论上能得到 60%的高纯硅,但一些关键技术我国还没有完全掌握,实际上只能得到 15%~30%的高纯硅,大部分的硅随着烟气排放出去[3] [4]。硅锭的铸造过程中多晶硅铸造过程中常用的方法是定向凝固法,单晶硅常用的是直拉法。在这些过程中,因为坩埚不能重复利用,因此带来了大量的废弃污染[4]。Vasilis 等[5]重新调查研究了单晶硅和多晶硅在生命周期内温室气体、SO<sub>2</sub> 以及 NO<sub>x</sub> 等污染物的排放量,卢兰兰等[4]据其结果将单晶硅以及多晶硅在生命周期内的污染物排放量列于表 1 和表 2 中。

此外,晶体硅太阳能电池的生产十分耗能。单晶硅太阳能电池的生产需要消耗大量的高纯硅材料,而制造这些材料工艺复杂,电耗很大。而拉制的单晶硅棒呈圆柱状,切片制作太阳能电池也是圆片,组成太阳能组件平面利用率低。相比较而言多晶硅太阳能电池材料制造简便,节约电耗。刁周玮[6]等人对我国生产的多晶硅光伏电池组件,分主流技术水平(采用国内两家中型企业的生产数据)和最优技术水平(数据参考了国内某大型光伏企业的生产数据),以宁夏地区安装为例,进行生命周期评价。发现最优生产技术和最优主流技术水平下能量回收期分别为 3.82 年和 7.44 年。

### 3. 光伏电站建设施工期的环境影响

#### 3.1. 施工期间对生态的影响

光伏电站的选址与其对生态的影响极为相关,按照安置地点生物群落和生物多样性的不同分类为森林、草地、沙漠、沙漠灌木林和农田。一般而言,生物多样性的不同是与本地的气候条件尤其是降雨量相关。一般光伏电站的最为理想的选址为沙漠地带,例如撒哈拉或阿拉伯等。这些地方日照充足,几乎全天云层遮挡。野生动物较少生物量很少,且不占用人类耕地,几乎不用考虑生态光伏电站建设对当地生态的影响[7]。草原或者灌木林生态区也是常见光伏电站的选址区,这些地方生态环境比较脆弱,光伏电站的建设要做更为充分的环境评估,防止对当地的生态环境造成过度的破坏。大型光伏电站在建设过程中,施工作业面一般较大,对土地扰动较大,将不可避免地对区域内社会和自然环境带来不同程度的影响。建设时施工道路修建、场地平整、材料堆放、基础开挖、电缆沟开挖等施工活动会造成地表扰动,植被破坏,导致水土流失产生。还可能将会引发区内原有生态系统的改变。例如[8],民勤红沙岗地区的

**Table 1.** The performance and emission of monocrystalline solar cell

**表 1.** 单晶硅电池的电池性能及污染物排放量

单晶硅电池性能			污染物排放量		
日照量	组件效率	寿命	CO <sub>2</sub> -eq	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
1700 kWh/m <sup>2</sup> a	14%	30 年	10.7 kg/m <sup>2</sup>	0.019 kg/m <sup>2</sup>	0.036 kg/m <sup>2</sup>
			45 g/kWh	80 mg/kWh	150 mg/kWh

**Table 2.** The performance and emission of polycrystalline solar cell

**表 2.** 多晶硅电池的电池性能及污染物排放量

多晶硅电池性能			污染物排放量		
日照量	组件效率	寿命	CO <sub>2</sub> -eq	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
1700 kWh/m <sup>2</sup> a	13%	30 年	9.6 kg/m <sup>2</sup>	0.018 kg/m <sup>2</sup>	0.032 kg/m <sup>2</sup>
			43 g/kWh	80 mg/kWh	142 mg/kWh

100 MW 光伏发电基地的发展, 该地属甘肃省沙漠重点治理地区, 该区属中温带大陆性干旱气候, 降雨量稀少, 蒸发量大, 气候干燥, 日照时间长, 太阳辐射强。是比较典型的, 生态环境脆弱区域, 光伏电站建设对该区域的表土进行扰动, 破坏多年形成的地表结皮, 势必造成水土流失和表土扬尘, 甚至引发沙尘暴。

### 3.2. 施工期废弃物排放对环境的影响

光伏电站在施工期间会产生一些废弃物和垃圾, 这些废弃物也将对环境造成污染和破坏, 具体影响总结如下:

1) 施工废弃物: 由于在施工期进行土建工作, 运输车辆、施工机具的使用, 必然会带来一些包括废水及固体废弃物的排放。主要包括可能有为运输车辆、施工机具冲洗废水。此外还有由于还可能有施工生活垃圾、弃土及废润滑油、废柴油等油类。施工人员按 200 人考虑, 生活垃圾产生量约为 36 t [9]。这些废弃物的排放只要在施工期合理规划, 不随意排放液体废弃物, 固体垃圾经垃圾桶收集后运至附近垃圾中转站集中处置, 就不会对环境造成很大的影响。

2) 施工扬尘: 进行土建公作时, 不仅会损坏到施工现场的植被以及地表, 表层的土壤暴露会出现扬尘。另外, 在容易产生扬尘的建筑材料在运送的过程中, 要是没有运用合理的遮盖手段, 扬尘也容易出现。清除施工垃圾的时候, 扬尘也会出现。可以发现, 进行的施工活动会导致一些区域在其相应的环境空间中, 可能会存在着一定浓度的颗粒物, 如果空气过于干燥, 当风力较大时, 施工现场表层的浮土可能扬起, 经类比调查, 其影响范围可超过施工现场边缘以外 50 m 远[10]。因此, 施工场地可以进行合理的规划控制。另外, 在根据实践可知, 施工过程中为了避免起尘, 采用洒水的方法不失为一种较好的方法, 可以将其对环境的影响降到最低。

3) 施工噪声: 在施工过程中, 运输车辆与施工机械会产生噪声。带来噪声的主要施工机械有如包括推土机、搅拌机、起重机以及挖掘机等。不过这些噪声污染都是只暂时存在于施工期。施工场地如果位于住宅区较近, 则可能需要严格控制施工噪声, 避免夜间施工。

## 4. 光伏电站运营期的环境影响分析

除了建设施工期间会对环境造成污染, 太阳能光伏电站在运营期间也会对环境造成破坏。经过分析和总结, 运营期间的环境影响主要包括:

1) 常规和意外污染物质: 在光伏发电系统的正常运行期不排放气体或者液态污染物, 没有放射性物质。光伏电池板故障率约为万分之一, 光伏组件的寿命一般为 25 年。逆变器整机的设计寿命也为 25 年, 内部元件主要是电容等一般使用寿命为 15 年, 在逆变器整机设计寿命内需更换一次。电气元件及变压器的设计寿命均大于 25 年[11], 基本不产生固废。但是在大规模中心电池板中, 一些意外事故如火灾等, 可能使一些有毒物质释放, 这有可能对公众和运营人员健康造成小风险。

2) 土地占用: 由于电厂中间纵横的通道和电气设备以及间隔交错面板阵列, 造成电厂占地面积比面板直接覆盖的区域大 2.5 倍。通常空间商业太阳能发电设备的密度 35~50 MW<sub>p</sub> 每平方公里, 即每 MW<sub>p</sub> 5~8 英亩[12]。自然生态系统土地使用的影晌取决于特定因素, 例如风景的地貌, 光伏发电系统覆盖的土地地区, 土地类型, 自然景区或者与敏感生态系统的距离, 以及生物多样性。合理的规划、布置可以降低对影响。

3) 视觉影响: 太阳能电池面板为多晶硅电池组件, 表面为钢化玻璃结构, 太阳光照射后将会产生反射光。但是, 如前所述, 太阳能电池之制造的最后步骤中需要涂覆减反射源, 一来防止大量光子反射提高能量利用率。二来也可以控制由于反射引起的光污染。此外, 光伏融合到建筑其他安装也是一种非常

好的方式。光伏组件具有多种有用性的发展优势,例如表现建筑的美学和实用性功能如遮阴和热去除[13]。

4) 运营期噪声及工频电磁场: 主要来源于变压器产生的电磁噪声,源于变压器硅钢片的磁致伸缩引起的铁心振动,以及冷却风扇和变压器油泵在运行时产生的振动[14]。但光伏站场内的电气设备一般较小,不会产生太严重的噪声污染。对于离市区较近的电站,可以采用如变压器内加缓冲装置、周围加隔音层等措施降低噪声[15]。工频电磁场是由各种电压等级的输电线及各种用电器所产生的一种低频电磁场,工频电磁场被国际癌症机构已将定为可疑致癌物[16]。尽管目前光伏电站的电气设备及线路电压等级产生的电磁环境影响小,基本不需要考虑,但是未来超大型的光伏电站的建设仍需要考虑工频电磁场可能的影响。

5) 废污水和固体废弃物: 包括运行人员生活污水及电池面板清洗水。与光伏电站建设时期废弃物的排放相似。这些排放物只要进行合理的管理和集中处理,就不会对环境造成大的影响。

6) 事故油: 为了防止变压器内各部件与空气接触受潮而引起绝缘降低。往往需要在变压器内充满绝缘强度比空气大变压器油[17]。而一旦发生事故,变压器油可能泄露,造成对环境的污染或者发生诸如火灾这样的事时可能加剧事故的严重性。所以合理的事事故油池设计也是十分必要的。

## 5. 结语

光伏发电技术是一种太阳能利用的有效方式。在整个光伏发电技术的生命周期,从太阳能电池的制造到光伏电站的选址建设以及最后的回收处理,每一个阶段都与环境互相影响。尽管相较于传统的发电技术光伏发电技术要清洁的多,但是技术利用过程中的不良的控制有可能在任何一个阶段产生比较大的环境污染。太阳能电池制造过程中有害化学物质的使用,其一旦释放到会对环境有很大的危害,另外,制造过程中的仍然存在着高能耗的问题。光伏电站的选址建设不仅要考虑太阳能的有效利用,还应当地生态环境、施工方式方法做好评估规划,将不良影响降至最低。如今大量光伏电站投入建设使用,待其生命周期结束,回收处理显得尤为重要,尽管现在对于光伏组件,尤其是晶体硅光伏组件的回收处理方式还有待完善,其回收的价值仍有待进一步提高。但是对极大体量的晶体硅光伏组件的回收处理是必要的,也是我们必须予以解决的问题。很好地减少现有资源的开发,解决光伏电站对环境的不良影响,一定会极大地促进光伏产业的发展,进而推动解决人类能源问题和环境问题。

## 参考文献 (References)

- [1] Hamakawa, Y. and Solar, P. (2001) Energy Conversion and 21st Century's Civilization. *12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference*, Jeju.
- [2] Philipsen, G.J.M. and Alsema, E.A. (1995) Environmental Life-Cycle Assessment of Multicrystalline Silicon Solar Cell Modules. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University.
- [3] Dahl, M., et al. (2009) Microstructure and Grain Growth of Polycrystalline Silicon Grown in Fluidized Bed Reactors. *Journal of Crystal Growth*, **311**, 1496-1500. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2009.01.114>
- [4] Lu, L., et al. (2013) Pollution Problems in the Production Process of Solar Cells. *Scientia Sinica Chimica*, **43**, 687. <https://doi.org/10.1360/032013-79>
- [5] Fthenakis, V.M., Kim, H.C. and Alsema, E. (2008) Emissions from Photovoltaic Life Cycles. *Environmental Science & Technology*, **42**, 2168-2174. <https://doi.org/10.1021/es071763q>
- [6] 刁周玮, 石磊. 中国光伏电池组件的生命周期评价[J]. 环境科学研究, 2011, 24(5): 571-579.
- [7] Turney, D. and Fthenakis, V. (2011) Environmental Impacts from the Installation and Operation of Large-Scale Solar Power Plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 3261-3270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023>
- [8] 武广萍, 李兴德, 何巍, 张鹏. 光伏电站对生态敏感地区的环境影响分析及防治[J]. 甘肃科技, 2014, 30(22): 78-80.
- [9] 何清怀. 山区光伏电站环境影响分析与防治[J]. 低碳世界, 2016(28): 6-7.
- [10] 张雪萍, 等. 有关光伏电站对环境产生的影响探讨[J]. 资源节约与环保, 2015(7): 190-191.

- 
- [11] 李丽珍, 等. 浅析光伏电站对环境的影响[J]. 科技信息, 2012(12): 91.
- [12] Denholm, P. and Margolis, R.M. (2008) Impacts of Array Configuration on Land-Use Requirements for Large-Scale Photovoltaic Deployment in the United States: Preprint. *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, Golden.
- [13] Hestnes, A.G. (1999) Building Integration of Solar Energy Systems. *Solar Energy*, **67**, 181-187.  
[https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00065-7)
- [14] 余尤好, 陈宝志. 大型电力变压器的噪声分析与控制[J]. 变压器, 2007, 44(6): 23-26.
- [15] 谭闻, 张小武. 电力变压器噪声研究与控制[J]. 高压电器, 2009, **45**(2): 70-72.
- [16] 曾群力. 工频电磁场[J]. 中华预防医学杂志, 2004, 38(1): 32.
- [17] 刘兵. 浅析变电站主变事故油池的设计[J]. 湖南水利水电, 2007(5): 12-13.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7540, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [sd@hanspub.org](mailto:sd@hanspub.org)