



Columbia Center
on Sustainable Investment
A JOINT CENTER OF COLUMBIA LAW SCHOOL
AND THE EARTH INSTITUTE, COLUMBIA UNIVERSITY



Implemented by
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

ENERGYANDMINES

可再生能源发电在矿山的 利用

加快推进可再生能源应用

2018年12月编制



可再生能源发电在矿山的利用

2018年12月10日

项目由德国联邦经济合作与发展部 (BMZ) 和德国国际合作机构 (GIZ) 资助

发行合作伙伴: Energy and Mines

报告作者: Nicolas Maennling – 高级经济与政策研究员 (CCSI)

Perrine Toledano – 采掘业部门负责人 (CCSI)

致谢: 本报告的作者团队诚挚感谢 Sara Rosner、Hillary McMahon、Diego Adrian de Leon Segovia、Axel Berrebi 等给予的重要贡献与指正。

同时感谢以下人士能不吝赐教并审阅文稿: Aaron Steeghs (亚马纳黄金公司)、Adrienne Baker (Energy and Mines)、Alaistaire Dick (落基山研究所)、Andrew Slavin (Energy and Mines)、Anthony Moreau (Iamgold 黄金公司)、Arnaud Gouet (瓦锡兰集团)、Arnoldus van Den Hurk (可再生能源与矿业国际观察组织)、Axel Leveque (智利 Engie 能源)、Ben Chalmers (加拿大矿业协会)、Ben McLellan (昆士兰大学)、Bjorn Kjetil Mauritzen (Hydro)、Brendan Marshall (加拿大矿业协会)、Caspar Priesemann (GIZ)、Celiane Dorval (嘉能可 Raglan 矿业)、Christophe Fleurence (道达尔埃伦)、Claudia Becker (宝马)、Denis Hickie (ATA 集团)、Femi Fadugba (Crossboundary

Energy)、Holle Linnea (国际可再生能源机构)、Ian Brodie Brown (Aurcrest 黄金公司)、Ignacio Moreno Fernández (智利钴业公司)、Jacek Paraszczak (加拿大拉瓦尔大学)、Jean-François Verret (嘉能可 Raglan 矿业)、John Okoro (Vergnet)、Juan Camus (智利瓦尔哈拉能源)、Kirsten Hund (世界银行)、Mahlette Betre (Resolv)、Marco Lotz (南非莱利银行)、Maria Cruz de la Paz (德国复兴银行)、Markus Wagner (国际可再生能源机构)、Martijn Wilder (贝克麦坚时律所)、Matthew Cullinen (Pact)、Mauro Valdés (Alta Ley)、Nate Springer (商业社会责任组织) 以及 Nicola Borregaard。



哥伦比亚大学可持续投资中心

哥伦比亚大学可持续投资中心 (CCSI) 是由哥伦比亚大学法学院与地球研究所联合举办的研究中心, 是唯一一家由大学主办、专门从事国际可持续投资研究与实践的应用研究中心和论坛机制。中心的使命是面向政府、投资者、社会和其他利益相关方探索实用方案, 实现可持续发展国际投资的效益最大化。

网址: <http://ccsi.columbia.edu/>



德国联邦经济合作与发展部 (BMZ) 德国国际合作机构 (GIZ)

德国国际合作机构 (GIZ) 代表德国联邦经济合作与发展部 (BMZ), 与德国联邦地球科学与自然资源研究所 (BGR) 共同承担“采掘业促进发展”主题行业项目的实施。除了为部提供有关资源管理各类问题的参咨服务外, 该项目还积极推动行业内对话, 开展多利益相关方倡议行动, 并支持对于新问题的研究与试点工作。

目前, GIZ 还在与世界银行合作制订“气候智慧采矿” (CSM) 战略, 推动矿业领域利用可再生能源是该战略的重要方向之一。

网址: <http://www.bmz.de/rue/en/index.html>

ccsi.columbia.edu

Cover image Bauxite mining at Weipa in far north Queensland, Australia. © shutterstock. Design Onehemisphere.se



Solar farm in Atacama Desert, northern Chile.
© shutterstock.

报告摘要

矿业是一个能源密集型行业，需要有稳定的电力供应保障。随着社会对矿产品需求的日益增加及矿石资源品位的下降，预计到 2035 年矿业的能源需求将比当前水平增加 36%。其中电力需求增长更快，因为随着矿山电气化、自动化的发展，矿业能耗将越来越多地从燃油转向电力。矿业企业目前所用的能源，不论是自产还是外购，多为化石能源。矿业行业要想

对世界经济的脱碳化做出应有的贡献，帮助各国实现《巴黎协定》共识中的控制全球气温上升不超过 1.5 至 2 摄氏度的目标，就必须改变当下的局面。与此同时，太阳能、风能、电池储能等技术都发生了前所未有的成本大幅下降，正在吸引越来越多的矿业公司探索引进利用这些新能源。

本报告概览了在矿业生产中应用可再生能源的历程和现状、存在的问题以及利用可再生能源向矿山供电的未来发展趋势。报告主要考查风能和太阳能的情况，因为近年来这两者正在快速普及，且预计成本还会进一步下降，形成更好的经济效益。与其他可再生能源相比，这些技术能适用的矿山范围也更广。

在报告编写中我们广泛查阅文献，也对不同利益相关方团体的 53 个受访对象进行了访谈，以掌握最新进展，了解文献报道尚不全面的有关问题。我们还完成了 38 个案例研究，以突出呈现实用案例情况与经验。

本报告的主要结论在下图中概括。通过使用可再生能源，不仅能降低生产运营成本，还有助于原本以化石燃料为主要能源的矿业公司对冲大宗商品价格波动、分散能源供给风险、

实现减排从而减小碳税风险、降低对所在地的噪音和空气污染从而赢得社区支持等。此外，这能帮助远离电网的偏远矿山获得能源，并可带动周边供电，帮助企业获得 ESG 型投资者的青睐，通过销售低碳优质产品在客户中打造竞争力。在矿山闭矿后，可以在复垦土地上建设可再生能源项目，从而实现土地租赁收益，并继续带动当地发展。

我们听取了在矿山推广可再生能源方面最重要的利益相关方的意见，并据此将各项建议进行了分类。这些利益相关方包括政府、矿业公司、外部发电企业、出资方等。

概要认识

矿业公司能以何种方式、在多大程度上将可再生能源用于生产经营，要取决于以下因素：

图 1. 可再生能源发电在矿山的利用



- 1. 可再生能源潜力：**包括矿山的地理位置、开采设计、可用的其他能源等。地理位置决定了当地或电网的气候条件、场地地貌以及是否具备建设风电和太阳能电站的条件。开采设计也会影响利用可再生能源的可行性，因为它决定了用电需求和采矿服务年限。最后一项则决定了运营可再生能源项目是否经济可行，是否能融得资金，是否适于承包给外部发电企业来做等等。
- 2. 电网输配与稳定情况：**如果矿山未连接至电网或无法完全依靠电网供电，则需要单独的发电站或备用发电机来保障供电。
- 3. 项目开发所处阶段：**矿山的大部分能耗发生在生产期，但不排除在探矿阶段和闭矿之后也有机会利用可再生能源。
- 4. 法律法规：**涉及可再生能源政策、税收及优惠激励机制等。
- 5. 受益对象：**可再生能源发电的使用者可能是矿山、电网和/或矿山周边的社区。

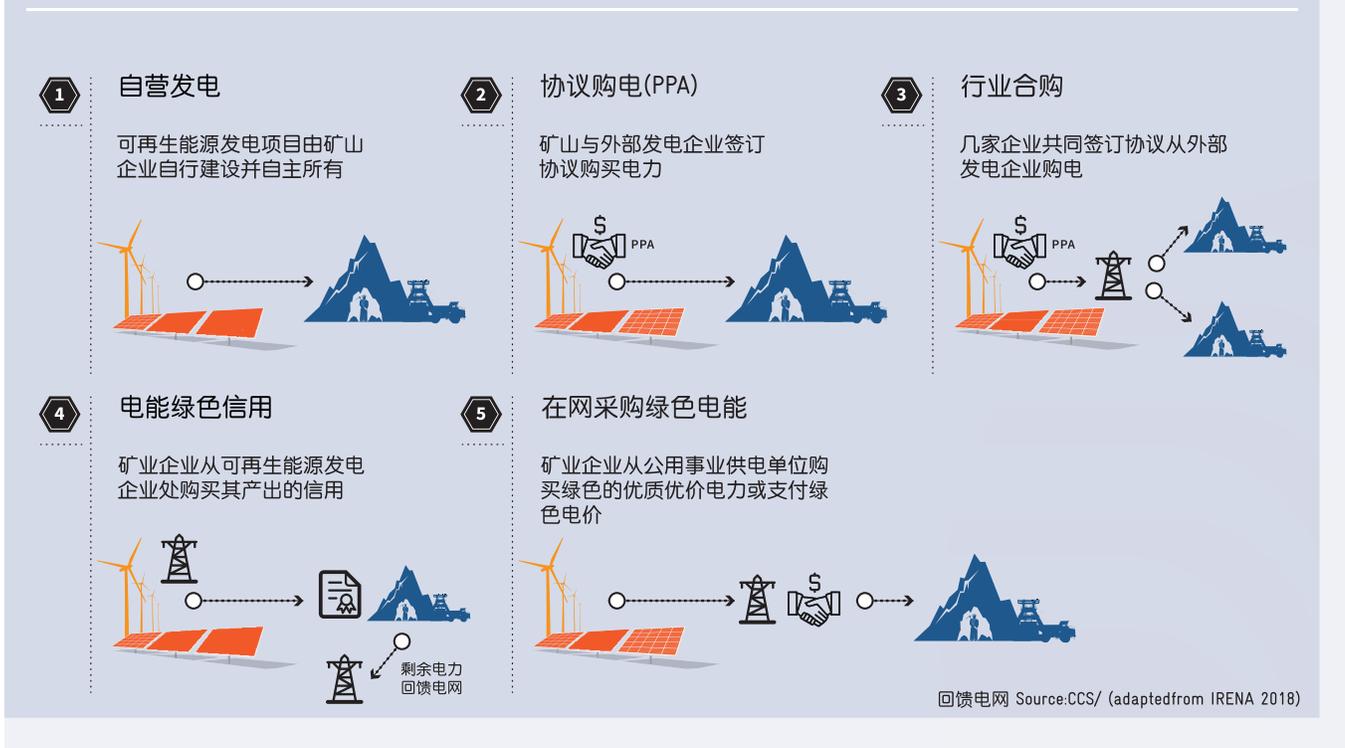
上述因素常常彼此关联。例如，是否会有其他方面受益，就跟项目能否使用网电、政策是否允许第三方转售电力等密

切相关。这些因素还将决定可再生能源的市场占有率能达到多高，例如在风能和太阳能的发电能力能够实现互补的地方，可再生能源的占有率会更高，如智利的 Zaldívar 铜矿（在网项目，见表 5）和澳大利亚的 Coober Pedy 混合供电系统（离网项目，见表 14）。在离网供电的地区，如果可再生能源占有率超过 20%，还需要结合储能和电能调控技术实时对功率平衡、电能质量和稳定性等进行监控。

矿山可以通过以下五种方式利用可再生能源发电（详见后图）：

- 1. 自营发电：**可再生能源发电项目由矿山企业自行建设并自主所有。
- 2. 协议购电（PPA）：**矿山与外部发电企业签订协议，做出按协议条款购电的承诺。
- 3. 行业合约：**几家企业共同承诺从外部发电企业购电，使可再生能源发电项目得以成立。
- 4. 电能绿色信用：**矿业企业从可再生能源发电企业处购买其产出的信用。
- 5. 在网采购绿色电能：**矿业企业从公用事业供电单位购买绿色的优质优价电力或支付绿色电价。

图2. 可再生能源供应组织



这其中，自营发电和协议购电是矿业行业最常用的两种方式。前者特别适用于在当地法规中没有允许第三方售电规定的地区。采用这种方式，矿山生产期的电力成本较低，但企业承担的前期投资和风险较大。如果法规允许协议购电，矿山企业则可以让外部发电企业来投资。近年来，企业（特别是矿业企业）根据自身具体情况和需求采用协议购电的情况越来越多。

与矿业项目相关的可再生能源销售协议共有三类，如下图所示：

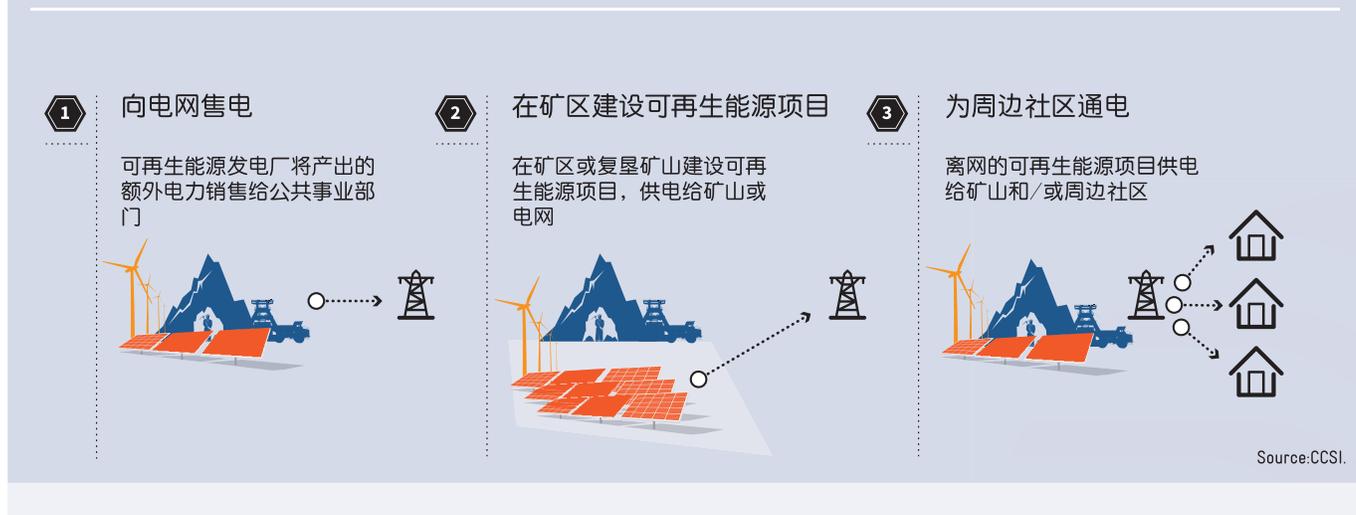
- 1. 向电网售电：**可再生能源发电厂将产出的额外电力销售给公共事业电力部门。
- 2. 在矿区建设可再生能源项目：**矿业企业向外部发电企业提供或出租土地，但不一定采购其产出的电力用于本矿山生产。
- 3. 为周边社区通电：**在无电网覆盖的地区，可再生能源项目既可以保障矿山生产，也可以向周边社区送电。

其中第一种售电协议在矿业行业相对少见，而第二种和第三种则不乏实例。例如，美国亚利桑那州的 Asarco 矿业公司（见表 12）与一家发电企业签订了长期租赁协议，允许后者在其矿权区内建设并运营可再生能源发电项目。这种方式

尤其适合在闭矿后的矿山，因为矿区停采后构成企业的一种负担。另一方面，拿到合适的土地又是可再生能源项目推进的最大障碍之一。复垦的矿山有现成的基础设施配套，能降低可再生能源发电项目的投资，为矿山工业场地的再利用探索新的路径，还能成为矿业企业新的收入来源。此外，矿山尾矿库的地形平坦，无需进行场平即可布置太阳能发电设备。德国已经有几处在复垦煤矿运行的可再生能源项目，而必和必拓（见表 13）也正在评估将老矿山进行再利用，建设可再生能源发电或储电项目的前景。

在偏远地区，矿业企业的惯例是为周边因矿而兴的城镇建设基础设施、提供公共服务，以满足矿山职工的生活和居住需求，其中也包括供电。矿业企业可以通过增建相关基础设施，覆盖周边社区，扩大供电服务范围。在有 6 亿人仍面临能源短缺的非洲，此举尤其能带来巨大的发展机遇。这方面的成功案例有澳大利亚的 Weipa 铝土矿（见表 15）和巴布亚新几内亚的 Lihir 金矿（见表 16），通过利用太阳能和地热能发电项目，一方面满足矿山生产需求，另一方面向服务周边社区的微电网送电。这样的送电安排虽然稍为复杂，但彰显了矿业所推崇的“价值分享理念”，有助于减少来自社区的阻力，而且可再生能源发电项目的服务年限一般比矿山更久，这也有利于矿山停采后当地社区的持续发展。

图3. 可再生能源发电在矿山的利用



现存障碍

推动利用可再生能源发电的障碍可以归为五大类：技术瓶颈、经验不足、资金筹集、法规限制以及缺少利益驱动。

技术瓶颈

技术瓶颈是指可再生能源发电的能量源间歇不稳定、变化浮动大。矿业项目都是全年无休、全天候运转的，因此需要稳定不间断的电力供应。而太阳能和风能只有在晴天和有风天气才能发电。因此，特别是在电网没有覆盖的矿山，必须要有随时能启用的备用电源（大部分情况下是柴油机）。这种混合电源的设计不仅要考虑一天 24 小时的周期，还要考虑季节性和多年的周期规律如厄尔尼诺现象等，从而保证在最不利的情况下也不会中断供电。建设备用电源的投资也要纳入规划，这就使推广可再生能源发电的经济账不甚乐观。另一个技术瓶颈是项目所在位置和安装条件，有些区域的气象条件并不适合太阳能和风能的利用。另外，矿山所在地的地形也可能不利于建设太阳能或风能发电站，前者的占地需求是柴油机发电站的 25 倍，后者是其 2.5 倍。

经验不足

矿业企业探索利用可再生能源支持生产是近些年才有的趋势，相比于柴油发电机等矿业公司技术人员已能熟悉运营和维护的传统发电技术而言，目前对风电、太阳能以及混合发电系统的实际经验和掌握的知识都很有有限，不可同日而语。为克服这一劣势，矿业企业可以将可再生能源发电或混合电站项目承包给外部发电企业来做，而购电机制也需要据此进行调整，满足发电企业和出资方的需求。另外，如果混合发电项目的不同组成部分之间的整合协调不够充分，还可能造成经营组织和责任分野上的问题。

资金筹集

筹资方面的劣势要归结到可再生能源发电的成本结构。柴油发电厂进入运营阶段后成本较高，而可再生能源项目在前期的投资很高，并且在可预期的未来不会改变。如果做自营发电，可能存在现金流安排上的困难，因为投资者都希望尽快收回前期投资。如前所述，可以将项目承包给外部发电企业来解决这一问题，但后续支付的电价也会更贵，因为发电企业需要盈利，且建设融资成本可能高于大型矿业公司。另外，如果矿业企业是发电企业的主要或唯一送电对象，发电企业会要求其做出足够长期的购电承诺，以保证回收投资。购电承诺的期限取决于矿山服务年限，也即由经济可采的矿产储量决定。如果矿山的的服务年限与太阳能或风能发电站相

匹配，一般为 20-25 年，则可再生能源项目相比于前期投资少的柴油发电等项目，有望带来较显著的成本节约。而矿业企业则需要在矿山项目具备融资条件前，即确定足够多的储量能吸引到资金以前，尽量控制前期的勘探投入，待生产开始后再继续投入勘探。虽然这样矿山总的服务年限会比初始设计有所延长，但初期预计的购电承诺期也会相应较短，外部发电企业和投资方可能不愿意承担相应风险。如果矿山服务年限太短，可再生能源项目的吸引力就会下降。

即便已形成可观的储量能支撑相当长的开采年限，矿业企业也往往不愿意签订长期购电协议或提供母公司担保。因为这样一来，如果市场出现严重低迷，矿业公司难于自主决定临时停产。长期购电协议还会锁定矿业企业的购电价格，即便发电企业的售电价格快速下跌也仍然如此。此外，太阳能和风能发电行业此前经历了市场的整合，近年来很多发电企业被并购或破产。最典型的例子是曾经作为世界最大可再生能源企业的太阳爱迪生于 2016 年宣布破产。这些状况都增加了与外部发电企业签订长期协议的风险。

资金问题同样可能阻碍向周边社区通电的协议落地。因为能释放周边社区的发展潜力，这种模式更受出资人的青睐。不过，各大发展资金提供机构（DFI）更关注大规模的可再生能源公共事业项目，而不是在离网矿山及周边地区建设小型的混合发电系统。这类小型发电系统的管理成本更高，且现状下离网混合电站都仍然要有一部分化石能源成分，大多数发展资金提供机构不会支持涉及化石能源的项目。另外，在快速发展中的可再生能源市场，融资审批的漫长程序也构成一大障碍。

法规限制

对化石能源的补贴降低了矿山利用可再生能源的积极性。全球范围内，2015 年支付的化石能源补贴额大约是可再生能源补贴的二倍。另外，矿业企业用于偏远地区生产和发电的燃油常常可以免于缴税，在矿业发达的国家如澳大利亚和南非，矿业是从燃油信用和退费中受益最大的行业之一。这些补贴和优惠削弱了可再生能源的吸引力。同时，很多矿产丰富的国家缺少针对性的可再生能源法规。在发展中国家的离网矿山，发电企业和矿业企业之间签订的购电协议成了项目的根本参照，弥补了法规的缺位。但如果涉及可再生能源项目接入电网或向矿山周边社区等第三方供电，就必须要有针对可再生能源发电的相关法规监管。虽然有些矿山做出了为周边社区通电的承诺，但推动落实的动力、自我约束和法规要求都还尚嫌不足。

缺少利益驱动

从技术角度看，鼓励可再生能源项目并不需要太复杂的法规变革，但在实际中将能源改革的落到实处很难，因为政策改革必然导致公有和私营部门一些强势既得利益者的损失。例如，旨在放宽能源行业管制、允许第三方发电企业与公用事业部门在发电和输配电领域开展竞争的改革往往因为后者不愿失去垄断地位而遭到抵制。化石能源领域也有强大的既得利益方，推广可再生能源发电必然导致他们的利益受损，例如有些政客需要争取化石燃料产业链受益者的选票，有些私营利益集团会向政府展开游说，或出资支持散布歪曲错误的信息。另外，发展中国家的柴油进口和销售常常由势力强大、关系广泛的商界精英所掌控。

在行业和企业层面上也存在不同利益彼此竞争的情况。相比于率先采用新能源的信息、科技、媒体等行业，矿业行业相对缺少创新思维，不愿主动求变。“先等别人吃螃蟹”的行业思维导致大家都等新的技术在其他地方证明成功之后再考虑引进，这就妨碍了可再生能源的新进展在矿山进行试用和推广。在企业层面，虽然矿业公司的管理层和可持续发展部门会有意愿采用可再生能源发电以提升企业形象，但矿山的经营负责人要凭借生产指标的完成情况领薪酬，对此的积极性就不高。另外，供电单位也会采取保守设计，配置较低的可再生能源发电比例，以保证供电要求稳定达成。

未来趋势和动力

对于未来的趋势和动力，我们也按上述五个方面做了总结。

技术

当前，矿产需求日益扩大，而矿石品位却不断降低，每产出一吨矿产品将消耗更多的能源。随着越来越多的矿山转向电力驱动，电力占矿业能源需求的比例会越来越高。原加拿大黄金公司的 Chapleau 金矿（见表 26）的案例就充分展现了这一趋势。另一方面，太阳能和风能发电成本有望在未来几年进一步下降，即便按无补贴的平准电价计算，也将成为成本最低的发电方式。如今，风电和大规模太阳能发电等可再生能源已经无需补贴即具有成本竞争力。南非的 Thabazimbi 矿（见表 27）的情况表明，早在 2013 年利用太阳能发电就已经实现成本节约，投用 3.6 年即达到收益与投资平衡。而自那以后，太阳能发电的平准成本又进一步下降了 44%。

另据预计，2017 年至 2025 年间电池生产成本将降低一半，价格也会快速下降。这将使电池储能技术更有吸引力，有助于解决太阳能和风电的间歇性发电问题，从而推动离网用户更多地使用可再生能源。西澳地区的 Degussa 铜金矿（见表 28）就是将电池储能与混合式发电系统结合起来的一个很好的范例。

其他有助于解决可再生能源发电的间歇性问题且具备在矿业领域应用前景的储能手段包括太阳能热电、泵送储能以及氢能源等技术。智利的 Gabriela Mistral 矿（见表 29）运营的一个太阳能热电厂为智利国家铜业公司提供 80% 的电解用电能。智利还在建设几处聚光太阳能热电站（CSP）以满足北部 Cerro Dominador（见表 30）等矿山的电力需求。在废弃矿山还可以建设泵送储能系统，这种利用两个露天采坑实现的泵送储能项目中最先进的一处是在澳大利亚的 Kidston（见表 31）。此外，氢能对于矿业行业也非常有吸引力，因为它不仅是一种可再生能源发电的储能解决方案，还可能代替液态燃料用于驱动矿业生产机械，加拿大的 Raglan 矿（见表 32）就在试点这样的项目。

要解决前文所述的矿山无法或不愿与发电企业签订长期购电协议的问题，一个办法是采取可再生能源模块化建设的技术，一来可以缩短购电协议的承诺期，二来将来不再续约时发电系统还可以迁建别处。使用这种方式，矿山可以在勘探阶段即开始利用可再生能源。在澳大利亚昆士兰省的 Century 矿和 Cannington 矿（见表 33）都采取了这种模块化的太阳能技术。

经验

越来越多的矿业企业已经开始在生产中利用可再生能源，随之不断积累知识经验。发电企业也在不断学习了解矿业的特殊要求，将之纳入可再生能源发电的商业化布局的考量。此外，与矿山利用可再生能源相关的政府机构和非政府组织，例如澳大利亚政府的 ARENA（见表 34）和落基山研究所的“矿山阳光”项目等，也都在推广自己的实际经验。出资人方面同样积累了一定认识，帮助政府设计制订相关政策及采购可再生能源。通过借鉴其他行业的经验，还有助于解决前述购电机制中的一些问题。例如，参照 GIZ 的“锚点商业社群”项目（见表 35），可以帮助利益相关方落实向社区送电的计划。这些经验，特别是对于矿业企业如何从中获得实在效益的认识，将进一步推动可再生能源的推广。

资金

融资难仍然是可再生能源发电企业最大的掣肘，特别是在发展中国家，法律法规还没有面向可再生能源进行调整，直观风险较高。不过企业外购电总容量从2012年的2GW攀升至2018年的29GW，日益发展的趋势还是显示出了积极信号。为了适应不同项目的具体需求和风险情况，已经开发出广泛多样的外购电合同安排以及金融和保险工具。受益与此，澳大利亚各在网可再生能源项目的资金成本率从过去的10-15%降到了现在5-10%的水平，离网矿山项目中也有同样的趋势。

发展资金提供机构同样可以起到重要作用，控制可再生能源项目融资风险。智利的Amanecer太阳能CAP项目（见表37）就体现了这一点。另外，如养老基金、主权财富基金、国际私营财富管理机构等机构投资者正在从化石能源领域撤资，腾出长期资金，未来会更多地投入可再生能源领域。

法规

世界各地的政府正出台越来越多的金融和财政鼓励政策以提升可再生能源的吸引力，并制订法规支持可再生能源的推广使用。2007年，只有50个国家制订了可再生能源发电相关的法规和鼓励政策，到2017年这一数字上升至128个国家。另有超过150个国家确定了国家层面的可再生能源发展目标，推出碳定价机制的国家和地区也在快速增多，截至2017年已有40个国家和25个地区。过去十年间，受碳定价机制约束的排放总量翻了两番。这些新举措将化石能源的碳排放成本纳入总成本考量，从而凸显可再生能源的经济性。随着各国为完成巴黎气候协定中的国家自主贡献目标做出进一步努力，这种趋势还将继续下去。

利益驱动

企业股东和机构投资者现在越来越关注资产组合中的应对气候变化风险。在美国，近年来气候变化已成为股东会决议中最重要的事项，投资者要求企业实施相应管理机制，减少碳排放风险，并确定能源效率和利用可再生能源方面的目标。在矿业上市企业集中的其他国家和地区也有类似趋势，例如“气候相关财务披露工作组”（Task Force on Climate-related Financial Disclosures）、“可持续会计准则委员会”（Sustainability Accounting Standards Board）等组织推出了新的气候相关披露要求标准，“科学减碳倡议组织”（Science Based Targets）则帮助企业 and 投资者评估制订何种目标方能符合《巴黎气候协定》的要求。

同样，消费者也在越来越多地给供应商施加压力，要求看到负责任的价值链，近年来一个直接关系矿业领域的案例是刚果（金）的负责任钴采购。苹果公司等大企业已经开始对外报告全价值链上的碳排放情况，这就给其供应商带来了减排的压力。对于最终消费品来说，矿业是其价值链上碳排放最大的环节，因此必然受到这个新趋势的影响。汽车制造业是一个典型例子，从内燃发动机驱动到电力驱动的转型实现后，汽车全生命周期内的总碳排放量中有三分之二将从由驾驶而产生转为由造车而产生。另一个可能推动低碳原材料需求上升的因素是政府采购，欧盟和经合组织国家都已出台相关政策，鼓励项目建设和交通运输等领域的供应链绿色化。

而在受矿业生产影响的社区，碳排放问题关注的重点，他们更关注采矿导致的局地大气污染和噪音污染，利用可再生能源恰可以缓解这些问题。近年来，采矿业在很多地方面临着难以获得社区支持的窘境，随着矿山自动化的进步，能给所在地提供的就业岗位和采购机会越来越少，获取社区支持的压力会更大。在电网覆盖不到的矿山，为了给周边社区带来惠益，矿方可以考虑为当地通电，重新突出“价值共享”的理念。

过去几年，矿业行业为回应来自股东的关切和压力而出台了若干标准，推动矿企采取进一步措施应对气候变化，国际和国家层面的行业组织也在不同程度上采纳了气候变化相关标准。一些认证机制如“铝业管理倡议”（Aluminum Stewardship）和“负责任矿业保障倡议”（Responsible Mining Assurance）等也要求企业和矿山确立更加严格的温室气体排放目标。为了达成上述这些标准和目标，矿业企业需要更多更广泛地利用可再生能源。

结论与建议

当前的态势和长期趋势均表明，可再生能源在矿业领域大有可为。随着气候变化的影响日益凸现，气候适应的成本不断上升，可再生能源发电和储能技术的成本继续下降，来自各利益相关方的压力持续增加，这种态势只会不断加强。有先见之明的矿业公司可以抓住机会，积累经验，加快可再生能源利用。不断取得的新进展将推动利用外部投资提高农村离网地区的供电覆盖率，以及利用停采矿山的土地建设可再生能源项目等。

政府、矿业企业、发电企业、出资方等都可以尽己所能，推动矿业领域主动利用可再生能源。

政府 可以通过鼓励发电企业进入市场来吸引可再生能源投资，通过公共事业公司向社会提供企业采购方案，还可以规定在新建项目的可研中纳入可再生能源的评估，在条件具备的地区还要与业主单位协商向社区供电的要求。同时要修订法律法规，允许矿山闭矿后继续运行可再生能源项目，另外可以考虑对本国碳排放总量中占比较大的行业设定排放指标。为进一步鼓励可再生能源利用，政府可以推出碳定价机制，取消对化石能源的补贴，并跟踪记录可再生能源利用情况，对可再生能源领域的研发工作和先行先试者进行奖补。在需求端，政府可通过推动绿色政府采购来鼓励项目建设和交通运输等领域的脱碳化。

矿业企业 应与行业组织一道争取在利用可再生能源方面的行业领先地位，确定更加积极的目标，开发低碳排的优质产品，向消费者展现先进性，这有助于企业在未来竞争中占据先机。企业应对员工开展培训，使其了解可再生能源将带来的机遇，实行配套的激励机制，在公司内部形成在此方面争取领先的共识。鉴于可再生能源技术还在快速发展，成本价格还在快速下跌，企业应结合矿业生产流程，定期考查可资利用的可再生能源手段。另外要关注采购组织的优化，将可再生能源利用纳入更充分的考虑。在电网未覆盖的矿山，企业在设计能源供应时应统筹考虑自身定位，通过提高供电覆盖率推动农村地区经济发展。

发电企业 可开发适用于不同条件的混合供电方案以更好地满足矿业公司的需求，应遵从严格的环境、社会、治理（ESG）标准，从而保证可再生能源发电项目获得长期运行所需的社区支持。随着越来越多的可再生能源项目投产，如果不能坚持采用最佳实践，可能会面临受影响社区的抵制情绪上升。从发展资金提供机构处获得融资，有助于发电企业做好这些工作。

出资方 应着力提高气候融资，扭转发达国家的实际气候表现落后于先前承诺的局面。目前，适用于矿山的中型可再生能源项目融资尚有缺口，尤其值得关注。为简化流程，发挥支持作用，应设计面向企业或矿山一站式的综合可再生能源利用项目。出资方能起到重要作用的方面还有：开发和落实离网社区供电项目，统筹汇集用电需求上，将从立项到完成整个项目周期进行简化，让项目跟得上瞬息万变的可再生能源行业发展等等。出资机构内部的矿业部门和可再生能源部门之间、技术咨询部门和金融部门之间加强密切合作，有助于及时发现机遇并落实兑现。另外，出资方还应做一些政治斡旋，推动能源改革，支持自然资源丰富的发展中国家积极利用可再生能源。

我们希望这份报告能给读者带来对矿业利用可再生能源的更深入的认识。在为起草报告而进行的调研和交流中，我们又产生了一些新的有益的想法，值得进一步关注跟进：(1) 调研其他可再生能源技术，评估其中哪些对矿业价值链尤其有应用价值。(2) 评估水力资源丰富的发展中矿业国家能在多大程度上推动太阳能和风能利用，并从中获益。(3) 探索以可再生能源的发电能力特征为基础来设计矿业生产，将其与传统设计的情形即根据给定的矿山产能组织能源供应的情形相比，比较预期经济效益的优劣。(4) 深入分析离网地区矿山周边社区供电的方案并开展试点项目。(5) 出台指导原则，编写培训材料，推动可再生能源发电普及。(6) 评估在民间手工采矿和小规模采矿作业中利用可再生能源的前景。