



黄金与气候变化： 引言



关于世界黄金协会

世界黄金协会是黄金行业的市场拓展机构。我们的目标是促进和维持黄金的需求，树立行业引领地位，成为全球黄金市场的权威机构。

当别人一成不变时，当变革势在必行时，当成果显著而且可以持续时，我们挺身而出。

我们理解市场，致力于培养、保护并提高市场的信任度和透明度。

我们推动对黄金有利的政策，保障建立一个公平和有效的市场，确保黄金的普及性，并确保这个市场充满活力，且影响力不断增长。

世界黄金协会总部位于英国，业务遍及印度、中国、新加坡和美国，是一个由世界领先的黄金矿业公司组成的协会。

目录

引言	01
执行摘要	03
前言	04
外部评论	06
方法	07
黄金的需求、供应和社会影响	09
黄金和温室气体(GHG)排放	10
在受到气候变化影响的世界中投资黄金的理由	13
黄金开采：采取行动减少GHG排放	18
黄金作为低碳技术关键组成部分的作用	26
结论和未来应用领域	30
附录——详细方法	31
词汇表	33

引言

气候变化是当今世界面临的**最大威胁之一**。强有力的科学证据表明，**人类活动造成了气候系统的变暖和其他气候变化的影响，包括海平面和海洋表面温度升高。**

意识到这种威胁以后，2015年12月，将近200个国家的政府起草了《巴黎协定》，承诺将全球平均气温升幅控制在“工业化前水平以上低于2°C之内”。¹履行《巴黎协定》要求全球经济各个部门努力减少温室气体排放。这可能会改变全球经济，有些人预计所需的投资水平每年超过1万亿美元²。

因此投资者自然会考虑这些变化对其投资组合的影响。在很多情况下，他们要考虑怎样做才能积极影响气候变化的进程，并注意到全球投资界会支持、或许推动这种潜在的社会变革。

黄金行业已经意识到气候变化的重要性，并致力于参与相关对话和向低碳经济的转变。

黄金日益成为一种主流资产，越来越多的投资者将黄金纳入投资组合。许多投资者渴望了解气候变化对其资产的潜在影响。随着黄金作为战略资产的作用日益增强，投资者明确期望进一步了解以下事项：

- 黄金行业的温室气体(GHG)排放情况——“黄金的碳足迹”——以及这种排放情况与其他部门和资产的比较
- 对担忧气候变化的当前和潜在黄金持有者的投资影响
- 正在实施的减排举措及其潜在影响
- 黄金本身可以如何提高能效，使可再生能源技术成为可能，从而帮助减少GHG排放。

“气候变化对企业和金融市场带来的风险是真实存在的……与气候有关的风险和预期的低碳经济转型会影响大部分经济部门和行业。”³

迈克尔·布隆伯格，气候相关财务信息披露工作组(TCFD)，2017年

1 欧洲委员会，国际气候变化行动，2015年 https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en

2 国际能源署估计，为了兑现《巴黎协定》中现有的在2015-2030年间减少能源系统碳排放的国家自主贡献(NDC)承诺，每年需要投资13.5万亿美元。此外，现有的NDC不足以完全兑现《巴黎协定》减少能源行业温室气体排放的承诺，这意味着必须加大投资。除此以外，还需要巨额投资来减少土地使用、土地使用变更和林业的温室气体排放。国际能源署，《能源和气候变化：COP21世界能源前景特别简报》，2015年。https://www.iea.org/media/news/WEO_INDC_Paper_Final_WEB.PDF

3 TCFD，《最终报告——气候相关财务信息披露工作组的建议》，2017年，<https://www.fsb-tcfid.org/publications/final-recommendations-report/>

本报告对黄金和气候变化的初步研究进行了阐述。在编写报告的过程中，我们遇到了不少挑战。相关的全球评估较少，黄金GHG足迹的一致数据也相对来说很少。此外，全球黄金供应链的复杂性，包括世界各地种类繁多的黄金开采业务，使我们在学术文献稀少的情况下相应地增加了排放估算值的类型。

我们与帝国理工学院的研究员合作，重点研究与原始矿物供应有关的GHG排放，因为从中可以获得大部分可靠数据。虽然数据量很少，黄金供应链行业似乎是黄金温室气体足迹的最大来源。

我们的初步发现表明，黄金的GHG排放总量远远低于来自采矿业的其他主要产品，例如钢铁、铝和煤炭。从每一美元价值的角度来看，黄金的排放强度也远低于其它大部分金属，虽然从质量角度来看，黄金的排放强度更高。关

键是，黄金行业已经采取措施来应对与气候变化有关的风险。此外，正如本报告的案例研究所示，黄金本身可以在科技行业发挥重要作用，帮助推动向低碳经济的转型。最后，新证据表明，除了促进财务多元化外，投资黄金还有助于减少投资组合的碳足迹，并降低投资者面临的气候变化风险。这一重大发现需要进行进一步研究。

有限的黄金全球碳足迹数据和研究成果，加上黄金供应链的复杂性和黄金的广泛用途，意味着我们的发现和由此得出的任何结论都有可能是暂时性和暗示性的。我们承认我们的分析工作还只是刚刚开始，其他工作有望由此展开。我们的分析还致力于鼓励与黄金行业的利益相关者、社区、投资者和政策制定者进一步对话和接触，以便帮助应对气候变化风险带来的挑战。



图片来自Goldcorp。

执行摘要

黄金很稀有；像其他贵金属一样，要开采和加工大量矿石才能获得少量纯金。因此，黄金生产要消耗大量能源。以单位数量来衡量的话，黄金的GHG强度较高。然而，我们的发现表明，新开采黄金的GHG排放总量远远低于其他主要采矿业产品，例如钢铁、铝和煤炭。

黄金价值很高。如果根据“每一美元价值”来算，黄金的排放强度在所有金属和矿产品中处于最低水平。

黄金和投资组合的碳足迹

很多类型的投资者如今都拥有黄金，越来越多的投资者希望了解这种现象对主流投资组合碳足迹的影响。

从最大层面来讲，对黄金开采行业的排放水平与该行业对全球GDP贡献的关系的分析⁴显示，该行业每一美元的碳足迹与整个全球经济的水平相似。

近年来对黄金和股市投资的研究工作⁵虽然处于初期阶段，但它表明在主流投资组合中加入黄金可以逐渐减少该组合的总体碳足迹。

黄金开采：采取行动减少GHG排放

负责任的黄金开采公司会认真对待其遵守国际标准的承诺，包括向碳信息披露项目(CDP)报告。重要的是，业内公司正在采取行动来应对与气候变化有关的诸多风险。世界黄金协会成员公司正在设法通过提高能效和尽量转用低碳能源来减少自己的碳足迹。

他们会采取类型和规模各异的举措，但是目标都相同。这些项目包括：布基纳法索的一个可以改善金矿能耗的太阳能发电厂，巴西和吉尔吉斯斯坦矿业公司计划使用水电的合资企业，南非采用的可提高能效的获奖空气控制自动化技术，加拿大获得类似奖项的优化型节能通风系统，以及全球首个纯电动地下金矿。

黄金和新低碳技术

除了减少GHG排放的行业举措以外，黄金本身可以在科技行业发挥重要作用，帮助推动向低碳经济的转型。

黄金在缓解气候变化的背景下具有特殊的重要性，而黄金纳米颗粒在一系列有助于减少GHG排放的应用中具有可观的潜力。值得关注的新技术包括：

- 有助于将二氧化碳转化成可用燃料的纳米金催化剂
- 整合黄金纳米颗粒来提高氢燃料电池的性能
- 加入黄金来提高太阳能发电性能，改善太阳能的收集与使用方式

总结和工作展望

我们认为必须进一步理解黄金对气候变化影响的规模和性质，我们对新开采黄金GHG排放的初步发现为未来工作打下了坚实的基础。

我们的初步发现证明，虽然黄金全球碳足迹的相关公开数据有限，但新开采黄金的GHG排放总量远远低于其他主要金属和矿产品。如果根据“每一美元价值”来分析，黄金的排放强度在所有金属和矿产品中处于最低水平。

另外，近期对黄金投资可能如何有助于减少投资组合碳足迹的研究也开启了一个值得密切关注、前景光明的研究新时代。

4 黄金每一美元GDP的排放与黄金开采活动对全球GDP的直接和间接经济贡献的总增加值(GVA)估算结果有关（使用2013年数据）。

5 Baur & Oll, 《黄金的角色和投资组合VIX指数——从金融和可持续性角度出发》（2017年）。

前言



Paul Fisher
伦敦金银市场协会(LBMA)主席

在不到3年时间里，气候变化已经从少数活动家关心和寻求解决的边缘性社会问题变成一个主流的政治和金融问题。气候变化已经成为G20及其金融稳定委员会定期会议议程的一部分，世界各地的政府、州、城市、企业和金融及其他监管机构都正在采取相应的行动。马克·卡尼(Mark Carney)2015年9月对劳合社(Lloyds of London)发表的“地平线悲剧”主题演讲，以及当年早些时候在巴黎举行的第21届联合国气候变化大会(COP21)都是著名的引爆点。

越来越多详实的记录证明了气候变化对黄金行业和金融部门带来的风险..... 黄金行业的转型风险和机遇并不广为人知。

随着气候变化“打破”政治领域的玻璃天花板，其他可持续性问题的紧随其后，从男女薪酬差距和性骚扰，到不可回收塑料的使用。

越来越多详实的记录证明了气候变化对黄金行业和金融部门带来的风险。最明显的是极端气候事件带来的物理风险：越来越多的洪灾、旱灾和风暴等。过去50年左右的数据显示，此类事件的发生频率呈上升趋势，全球气温和海平面也是如此；这些趋势在某些情况下会加速的发展。黄金行业和投资者刚刚开始了解这些风险的影响。房地产投资在很多领域显然也面

临风险。但出人意料的水资源短缺，会影响从农业到采矿业、制造业和旅游业在内的众多行业。欧洲许多最热门的度假海滩所在地区都可能出现严重的水资源短缺问题。

黄金行业的转型风险和机遇并不广为人知。随着我们弃用化石燃料和不环保的材料，经济将发生变化。例如，我们知道，巴黎和伦敦等城市已经公布未来彻底禁用汽油/柴油车的日期，因此汽油/柴油车的时代即将落幕。一些大规模可再生能源如今已经比化石燃料产生的能源便宜，相关成本也在大幅下降，电能存储技术也是如此。在消费者的关心和推动下，经济考量会促进大部分转型，转型速度可能快到政治因素跟不上。可能会出现新工业流程、新商品和新服务。循环经济（材料的持续重用）将变得强大。黄金行业的开采业务和目标市场都要随之改变。

我在这个领域的工作面临来自政策变化的第二阶段转型风险。在巴黎COP21大会上，来自世界各地的197个政府和监管机构承诺采取行动，将全球变暖限制在2°C以内（与大部分国家实现工业化之前的1850-1900年的平均气温相比）。气温的升幅已经达到1.2°C左右，2015-2017年是现代史上气温最高的3年。

直到现在开始公布政策，我们才知道各国政府具体计划采取哪些措施来兑现承诺。FSB在2017年发布了一份与私人部门领导的气候相关财务信息披露工作组(TCFD)有关的报告。这份报告获得了多个主要政府的背书，相关行动已经启动，以便纳入一些国家官方报告指南中的建议。2018年3月，经过高级别专家小组(HLEG)（我有幸成为其中一员）一年的努力，欧洲委员会公布了其可持续金融行动计划。

中国试图减轻大城市的骇人污染，其政策变化很可能领先全球。多个全球和区域金融中心正在追求绿色金融，将其视为一个增长机会。在未来几年里，世界各地将出现很多政策变化。这些政策将对各行各业和特定公司产生正面和负面影响。

可持续性议程提供了重大商业机会，也带来了风险。全球经济时刻处于变化状态，从未静止。公司想要赚钱和存活，就要发现增长领域，避免依赖衰退行业。因此它们要做好应对可持续性挑战的准备。对于很多公司而言，至关重要的不仅仅是声誉——忽视可持续性问题的公司已经面临法律风险——研究结果一直显示，在ESG（环境、社会和治理）因素上获得高分的公司取得了更高收益。

所以黄金行业，尤其是黄金开采行业面临的两大挑战包括：

- i) 如何证明行业本身不存在可持续性问题的：例如，承诺减少自己应该减少的碳排放量，所使用的方法要符合《巴黎协定》将全球变暖幅度限制在2°C以内的目标，高效用水，保护/修复矿业公司的周边环境。
- ii) 如何参与解决方案：例如，研究贵金属在有助于转型的新技术中的用途。

要取得成功，就不单单要以企业社会责任的标准来对待这些问题。这些都是棘手的金融和商业问题，必须得到相应的重视。

LBMA正在尽力提供帮助，其方法是改进其针对精炼商、涉及所有贵金属的《负责任采购指南》，以及提醒其成员注意更广泛的风险和机遇。

世界黄金协会在帮助其成员方面可以发挥主要作用：例如，最好鼓励采纳TCFD的建议，包括为行业和各个公司设立符合2°C转型的可衡量目标。

贵金属行业——包括开采和精炼——虽然只是全球经济的一小部分，并且生产高价值产品，但无疑属于能源密集行业。这意味着转用更廉价、更清洁的能源和更高效的生产技术会带来巨大效益。盈利能力最强、最好的公司已经接受了这些变化。

好消息是，公司不必仅依赖内部专业知识。有很多了解技术和政策的组织在幕后默默帮助这些公司——一对一和集体的方式都有——取得进步，包括英国多所主要大学，如本报告所示。

外部评论

帝国理工学院Jeremy Woods博士、Nick Voulvoulis教授、Onesmus Mwabonje博士和Gino Baudry博士

本报告由帝国理工学院的Jeremy Woods博士、Nick Voulvoulis教授、Onesmus Mwabonje博士和Gino Baudry博士审核，并由该学院的咨询公司Imperial Consultants提供帮助。

我们是任职于环境政策中心(CEP)的环境科学家。CEP对气候变化、环境资源管理、能源和可持续转型进行具有国际相关性、跨学科、高影响力的科学、技术和政策研究。

我们意识到，由于尚未确立公认的方法，因此黄金行业的温室气体(GHG)排放的计算既复杂

又耗时。与其他主要金属相比，黄金行业使用多种提取和净化技术，从低纯度矿石中提取黄金。黄金也是一种寿命极长、价值极高的材料。因此，确定黄金的碳足迹依然具有挑战性，因为这关乎如何获取透明而可靠的数据、以及如何制定稳定的系统边界和标准化的报告方法。

本报告的内容提供了对黄金碳足迹的最佳估算范围，以公开数据和现有的GHG排放清单为基础，以便与全球范围内其他主要金属进行初步比较。更重要的是，黄金行业致力于增进对黄金的了解，为力图衡量和最终减少自身GHG排放和气候变化相关风险的黄金公司制定方案和指南，本报告标志着黄金行业向这个方向迈出了关键的一步。作为环境科学家，我们致力于帮助实现向低碳未来的行业转型。我们参与本报告的编写是为了支持对世界黄金协会的分析进行批判性审核，确保所提供的方法和估算结果在指引行业未来举措方面既务实又可行。

方法

考虑产品、组织或流程的GHG排放时，务必进行同类比较。

范围1——GHG直接排放	范围2——间接用电排放	范围3——其他间接排放
来自组织拥有或控制的来源的GHG排放，例如： <ul style="list-style-type: none">来自所拥有或控制的锅炉、熔炉或汽车的燃烧的排放来自所拥有或控制的化学工艺的排放来自组织拥有或控制的土地的排放。	为组织供电的发电厂的GHG排放。	组织活动产生的排放、来自组织拥有或控制的来源的排放，例如： <ul style="list-style-type: none">来自所购材料或制成品的第三方运输的排放来自所售产品的使用的排放。

来源：温室气体协议

碳足迹国际标准⁶根据严格确立、连贯和可比较的确定衡量标准的边界规定了相应的排放评估和比较方法。这些标准定义了不同的排放“范围”。

在本报告中，我们考虑了黄金作为制成品上市之前的生产流程的GHG排放。这包括范围1和范围2来自采矿、研磨、浓缩、熔炼和精炼流程的排放，如图1所示。与其他金属和矿产品的比较建立在同样的基础上。铁矿石开采导致的排放包括在钢铁生产GHG排放的估算结果中。

本报告提供了我们目前对与全球黄金生产的GHG排放有关的3种衡量标准的意见：

- 黄金生产的GHG排放总量（单位为吨二氧化碳当量或CO₂e）

- 单位质量GHG排放强度：为了生产给定质量的产品所排放的GHG质量（例如单位为每吨产品的CO₂e吨数）
- 单位价值GHG排放强度：为了生产给定价值的产品所排放的GHG质量（例如单位为每一美元产品价值的CO₂e吨数）

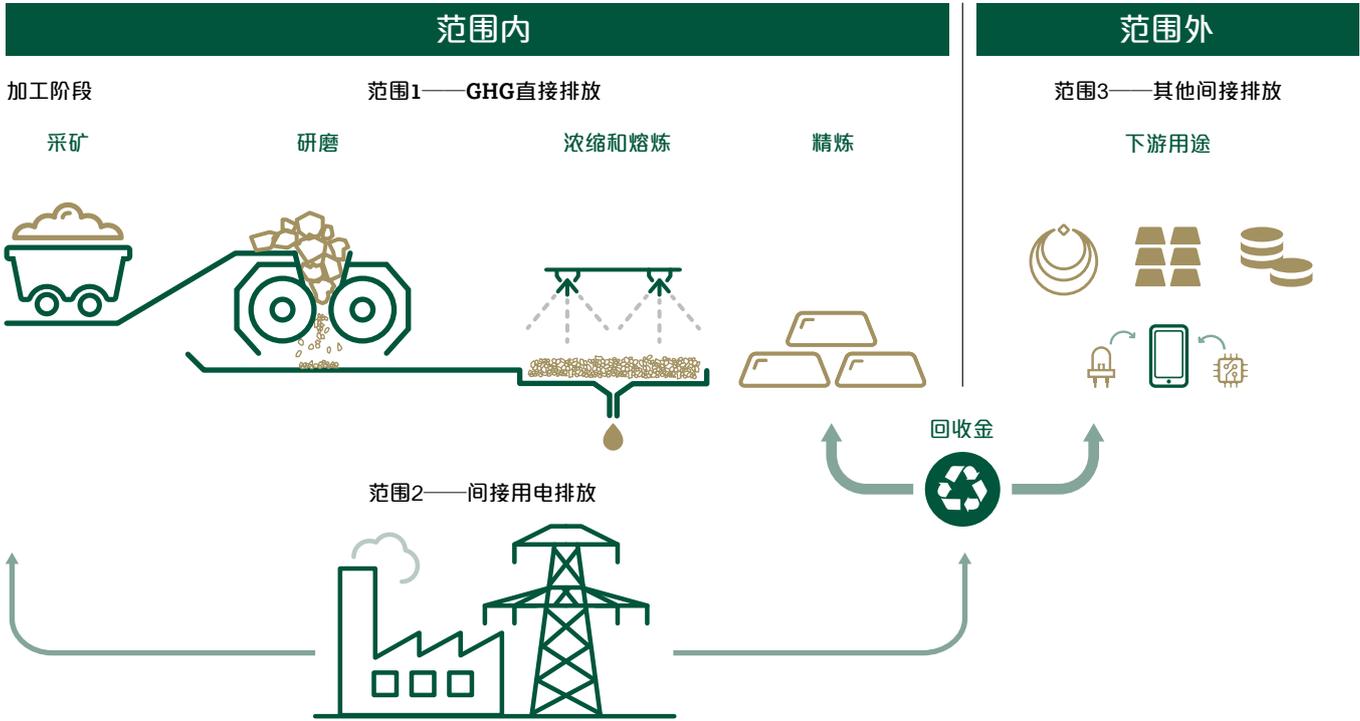
我们评估这些衡量方式、将它们与其他产品比较的方法都是基于对文献的透彻阅读，并与帝国理工学院的专家讨论过才制定的。虽然文献中存在一系列不同的GHG排放强度估算结果，但与某些行业相比，可用的原始数据很少。为了保证透明度，促进公平比较，我们还展示了一个区间，显示我们在文献中发现的最高和最低估算值。注意，最高估算值代表了一个特定国家中国⁷，而不是整个全球黄金市场的的排放强度。

与方法有关的更多细节可在附录1中找到。

6 世界可持续发展工商理事会(WBCSD)与世界资源研究所(WRI)。温室气体协议——企业会计和报告标准。2015年修订版。www.ghgprotocol.org

7 见“附录——详细方法”，了解与提供此估算值的研究（Chen等在2018年实施）有关的其他评价。

图1: 黄金供应链和报告的重点



下游排放和回收

鉴于目前的数据限制，我们选择专注于原始黄金供应的碳足迹。我们没有考虑黄金回收或黄金主要下游终端用量和应用——例如金饰、投资和科技行业的GHG排放和相关可持续性影响。

如上文所述，我们缺乏与回收金和终端用量的GHG排放有关的现有信息。但我们需要进一步验证的新兴观点是，这些排放值可能低于原始生产的排放值。有证据表明，黄金生产的精炼阶段占原始黄金生产全部碳足迹不到0.1%（见图表3）。⁸因此黄金回收活动——基本上是重新精炼的过程——的GHG排放可能比黄金开采低几个数量级。

回收金通常占全年世界黄金供应量的25-30%，这意味着按照相同比例来计算，黄金的总体GHG强度可能低于本报告中的估计值。

我们还认为，与开采、研磨、浓缩、熔炼和精炼流程的GHG排放相比，黄金行业的其他下游活动的排放规模可能非常小，相对而言并不重要。这需要进一步研究。我们注意到其他需要进一步加工的金属的排放情况并非如此，这些金属在被制作成原始产品组件的过程中会新增大量排放。化石燃料的排放情况也并非如此，包括煤炭、石油和天然气，所有化石燃料在使用过程中都会产生大量GHG排放。⁹

8 Norgate & Haque。《运用生命周期评估来评估黄金生产的某些环境影响》。《清洁生产》(Cleaner Production)期刊，2012年第29-30卷第53期。

9 同上。

黄金供应、需求和社会影响

黄金的全年需求量由新开采的黄金和回收的黄金来构成。回收金现在一般占全年供应量的25-30%。

金矿生产主要来自大型黄金开采公司，其中很多是上市公司。另一个黄金来源是小规模的人工开采公司，其业务以简单的勘探和开采为主。

如图表1所示，金矿生产和黄金回收提供的黄金形成了黄金行业独特的性质。原始生产通常给生产国创造出重大价值。¹⁰有力的证据证明了相关黄金开采活动的催化效应；黄金开采不仅增加了该国GDP，还促进了更大范围内的社会经济发展，尤其是在发展中国家。¹¹

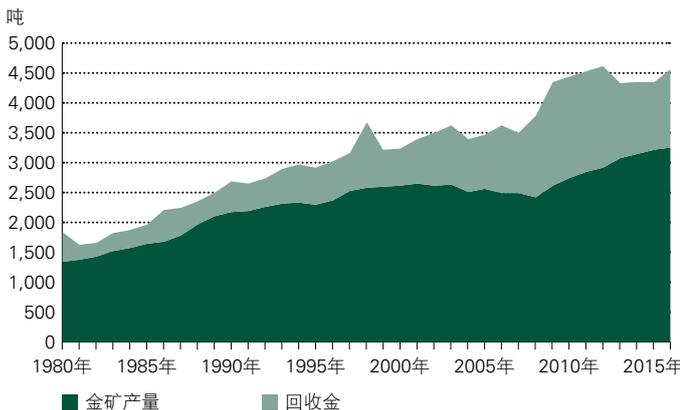
回收发挥着重大作用，满足了仅靠新开采黄金无法满足的需求，证明了黄金行业的循环性。与很多金属和自然资源不同的是，黄金不会腐烂或在使用过程中被摧毁；几乎所有开采出来的黄金都依然存在，具有重复使用的潜力。虽然新开采的黄金在过去10年里占黄金供应总量的70%左右，但金矿的年产量新开采黄金和进入供应链的回收

金的不同性质对黄金的总体碳足迹产生了有趣的潜在影响，我们开始在本报告中探索这一概念，但它值得进一步思考。

黄金的用途和需求来源的多样性也有别于大部分其他金属和矿产品。虽然本报告不考虑黄金的下游市场及其对气候变化的潜在影响，但必须注意到黄金的市场价值在我们的分析中是一种关键考量，黄金持久的价值由独特的市场结构和多种需求驱动因素提供支撑（见图表2）。¹²

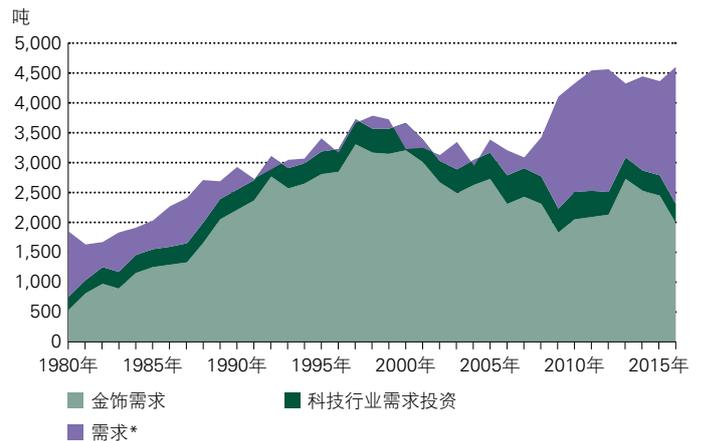
虽然新开采的黄金在过去10年里占黄金供应总量的70%左右，但金矿的年产量一直不到地上黄金总保有量的2%。

图表1：全球黄金供应



来源：汤森路透黄金矿业服务公司(GFMS)；Metals Focus；世界黄金协会

图表2：全球黄金需求



注：1995年之前的数据可能是指制造业需求。*投资需求包括央行的交易量、净ETF投资和场外交易市场投资流。

来源：汤森路透黄金矿业服务公司(GFMS)；Metals Focus；世界黄金协会

10 世界黄金协会。《负责任的黄金开采和价值分配》，2014年。<https://www.gold.org/research/gold-mining-economic-contribution-value-distribution>

11 Maxwell Stamp和世界黄金协会。《黄金开采的社会和经济影响》，2015年。<https://www.gold.org/research/social-economic-impact>

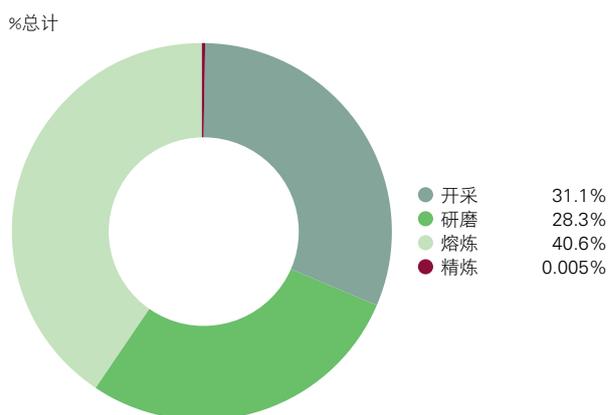
12 了解更多信息，请访问：<https://www.gold.org/about-gold/gold-demand>

黄金和温室气体(GHG)排放

黄金开采、研磨、浓缩、熔炼和精炼涉及的流程都有可能产生温室气体排放。

如图表3所示，黄金的GHG排放主要来自开采、研磨、浓缩和熔炼流程。缘于黄金的地质情况。黄金是一种极其稀缺的元素：矿石品位（从给定的岩石数量中可以开采出来的黄金数量）范围通常为每吨岩石1-6克黄金。相比之下，近期的一次评估表明，所开采的铜矿全球平均品位为0.62%的铜含量，即每吨矿石含有6千克以上的铜。¹³此外，最近几十年来的金矿品位一直在下降，能够支撑有利可图的开采活动的矿体发现越来越少。这种稀缺性意味着需要开采和加工（开采、研磨、浓缩、熔炼和精炼）大量岩石才能提取少量纯金，而对于很多“普通”或“块状”金属而言，大量矿石可以生产较多的金属。

图表3：不同生产阶段的黄金GHG碳足迹



来源：Nawshad and Haque 2012, 世界黄金协会

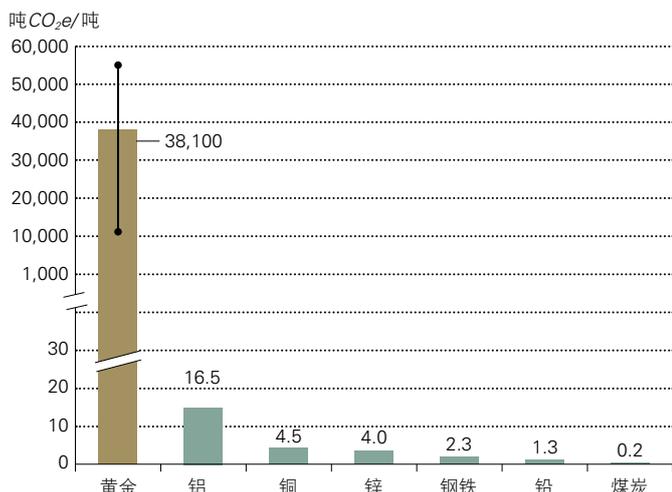


图片来自Agnico Eagle。

13 Calvo等，《全球金属开采行业不断下降的矿石品位：理论问题还是全球现实？》资源，5，4，36，2016。

黄金生产过程需要使用较多的能源来将制成的黄金推向市场。因此黄金每吨制成品的GHG排放强度远远高于其他块状金属（见**图表4**）。

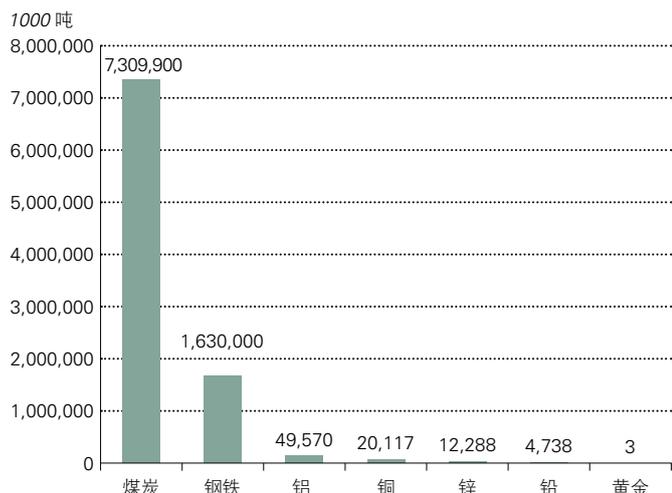
图表4：单位质量排放强度



注：黄金的数值范围是基于最高和最低GHG估算值
 来源：Metals Focus；标普全球市场情报；世界钢铁协会和经济学人智库(EIU)；世界黄金协会
 从一系列学术研究和行业协会报告中收集的排放数据

然而，黄金的稀缺性使它的产量远远低于其他矿产品（见**图表5**）。

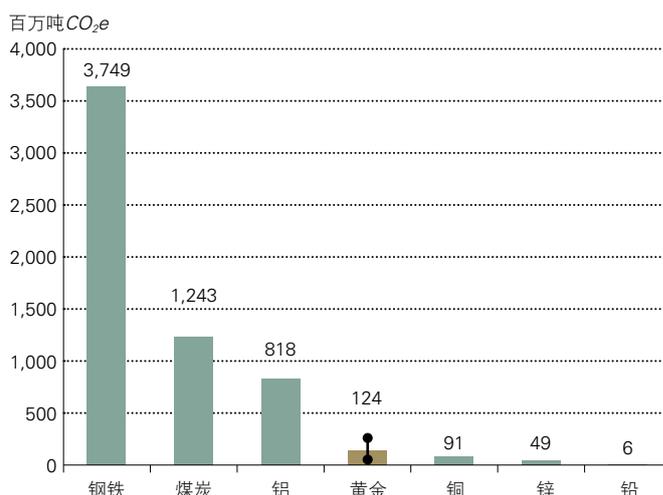
图表5：主要矿产品年产量



基于2016年数据
 来源：Metals Focus；标普全球市场情报；世界钢铁协会和EIU；世界黄金协会

因此，我们估计与全球黄金生产有关的GHG排放总量远远小于其他主要矿产品，尤其是钢铁、铝和煤炭，但接近铜和锌的GHG排放（见**图表6**）。

图表6：GHG排放总量



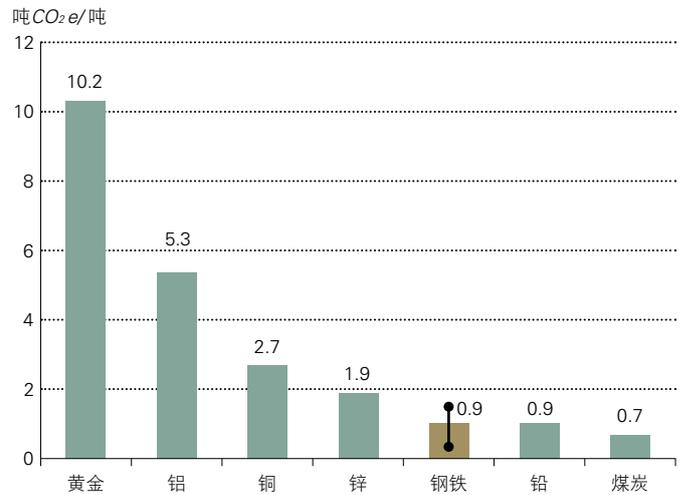
注：黄金的数值范围是基于学术文献记录的每吨黄金的最高和最低GHG排放强度估算值
 基于2016年数据的产量
 来源：Metals Focus；标普全球市场情报；世界钢铁协会和EIU；世界黄金协会
 从一系列学术研究和行业协会报告中收集的排放数据。

黄金的每一美元GHG排放在主要矿产品中处于最低水平。

黄金很珍贵。像其他贵金属一样，每吨黄金的价值比其他矿产品高几个数量级；整体而言，全年价值和矿产品，仅小于煤炭和钢铁。根据“单位价值”来分析，我们估计黄金的每一美元GHG排在主要矿产品中处于最低水平，远远低于钢铁，（见**图表7**）。与花费在黄金上的每一美元有关的GHG排放均少于花费在大部分其他矿产品上的每一美元排放。

尽管单位价值的排放相对较低，但公认的是，按绝对值计算，现有黄金开采业务确实需要大量能源。该行业致力于降低能耗、管理自身能源，以减少GHG排放。本报告下文将提供采取行动的实例。需要实施进一步的研究才能确定符合《巴黎协定》将气温升高幅度限制在2°C以内的目标的方法。这是一项挑战，整个黄金开采行业正在思考最佳对策。

图表7：单位价值排放强度



注：黄金的数值范围是基于学术文献记录的每吨黄金的最高和最低GHG排放强度估算值

基于2016年数据的产量

来源：Metals Focus；标普全球市场情报；世界钢铁协会和EIU；世界黄金协会从一系列学术研究和行业协会报告中收集的排放数据



在受到气候变化影响的世界中投资黄金的理由

投资者、资产所有者和金融监管机构日益明白，气候变化和全世界对气候变化的应对会给业内公司和投资者带来了巨大风险和机遇。

这既包括直接的物理风险，也包括向低碳经济转型有关的变化带来的影响。¹⁴

物理风险：极端天气事件（例如洪灾和龙卷风）和天气与气候长期变化（例如降雨频率和海平面升高）的影响。

转型风险：向低碳经济结构转型带来的财务风险；在政策、技术和经济状况变化的推动下，可能导致多种资产价值重估。

越来越多的投资者通过“负责任投资原则”等计划要求公司对其面临的气候风险和相应的风险缓解措施提高透明度。为了实现这一目标，需要就气候变化带来的风险和机遇进行清晰、可比和一致的信息披露，G20发起成立的气候相关财务信息披露工作组制定了相关建议。此举使得投资者能够评估哪些公司面临的气候变化风险最大，哪些公司准备最充分，哪些公司正在采取行动。

世界黄金协会承认这些问题对于投资者的重要性，也知道投资者会询问气候变化给黄金投资带来的风险和机遇。为了促进对话，本报告的这个部分分享了我们以下问题的分析：

- 黄金的碳足迹与其他投资机会相比如何？
- 将黄金纳入投资组合的碳足迹有何潜在影响？
- 黄金会面临哪些气候变化风险，与其他资产类别相比如何？

“资产所有者将气候变化视为最重要的长期投资趋势之一……他们正在采取相应的行动。”¹⁵

“负责任投资原则”，“投资者气候变化行动”，2017年

14 示例请见：英格兰银行，《英格兰银行如何应对气候变化》2017年，<https://www.bankofengland.co.uk/quarterly-bulletin/2017/q2/the-banks-response-to-climate-change>，以及气候相关财务信息披露工作组，《气候相关财务信息披露工作组的建议——最终报告》，2017年，<https://www.fsb-tcfd.org/publications/final-recommendations-report>

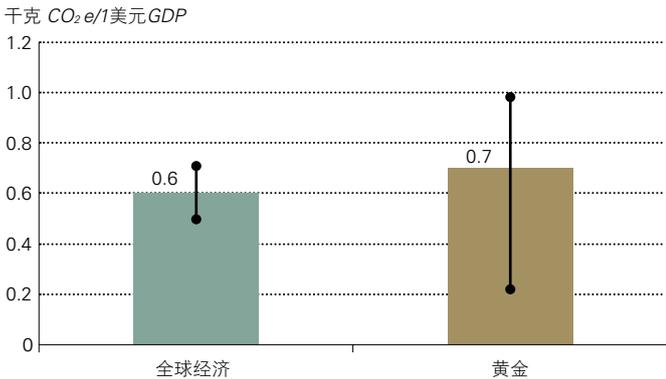
15 “负责任投资原则”，“投资者气候变化行动”，2017年“负责任投资原则”是一项全球投资者计划，签署者超过1,100名，所代表的资产管理规模超过70万亿美元。www.unpri.org/pri/about-the-pri

黄金的碳足迹与其他投资机会相比如何？

这项研究的主要目标之一是促进对上市黄金的碳足迹的了解，同时承认还需要完成大量工作才能更全面地了解黄金的影响。正如本报告的“黄金和温室气体(GHG)排放”部分所言，我们的研究表明，对于每一美元的价值，黄金的碳足迹低于所有其他主要金属和矿产品，包括钢铁、铝和煤炭。

然而，潜在的黄金投资者可能会考虑比矿产大宗商品广泛得多的机会。为了为他们提供更广阔的背景，我们审视了黄金的GHG排放强度，因为它与更广泛的全球经济有关；具体而言，我们比较了新开采黄金的碳足迹与该行业为全球GDP贡献的价值，以及相关数据与整个经济的平均数据。

图表8：世界经济排放强度与黄金开采的比较



注：全球经济排放强度的单位为美元GDP。黄金排放强度的单位为美元总增加值，后者由黄金开采活动的直接和间接经济贡献构成。全球经济的数值范围是基于国际GHG清单记录的最低和最高估算值。黄金的数值范围是基于学术文献记录的每吨黄金的最高和最低GHG排放强度估算值。我们使用了2013年的数据进行比较，因为这是可用的黄金经济贡献估算数据的最近年份。

来源：世界黄金协会基于世界银行、Maxwell Stamp、世界黄金协会(2015年)、荷兰环境评估署(2014年)和(2017年)、Haque & Norgate(2014年)、Norgate & Haque(2012年)的数据进行的分析

根据我们目前对黄金生产排放强度的估算，2013年的黄金生产总计排放了大约1.17亿吨CO₂e，为世界经济贡献了1,710亿美元——碳强度为0.7千克CO₂e/1美元总增加值。2013年，全球总计排放了480亿吨CO₂e来产生77万亿美元GDP——碳强度为0.6千克CO₂e/1美元GDP。¹⁶如图表8所示。

初步研究表明，黄金的GHG排放强度与整个全球经济类似。

黄金生产等特定经济部门和整个全球经济难以进行比较，尤其是因为难以确保经济和排放数据的可比性和一致性。这些各不相同的数据不确定性程度至少在一定程度上解释了我们对于黄金GHG排放强度的最高和最低估算值之间的差距比整个经济的要大的原因。

将黄金纳入投资组合的碳足迹有何潜在影响？

我们相信投资者最好能够评估一下黄金投资的GHG足迹与其他等价的主流资产类别投资（例如股票）的比较情况。虽然目前为止的研究有限，Baur & Oll近期的著作（2017年）¹⁷已经开始探讨这一主题。

采用标普道琼斯指数报告的数据，Baur & Oll估算了标普500指数投资和黄金投资的碳足迹。对于标普500指数，他们考虑了指数中的公司的全年排放，根据投资价值占指数总市值的比例来分配排放值。

16 黄金对GDP的贡献是指GVA（总增加值），包括黄金开采活动的直接和间接经济贡献。GHG数据来自荷兰环境评估署《全球CO₂和温室气体排放总量趋势》，2017年，<http://www.pbl.nl/en/publications/trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions>。黄金排放强度数据来自Haque & Norgate。《澳大利亚轴、黄金和铜原地浸析的温室气体足迹》《清洁生产》期刊，2014年第84卷第382页；Norgate & Haque。《运用生命周期评估来评估黄金生产的某些环境影响》，《清洁生产》期刊，2012年第29-30卷第53期。

17 Baur & Oll。《黄金的角色和投资组合VIX指数——金融和可持续性视角》（2017年）。https://papers.ssm.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3069283

为了对投资组合的资产进行公平比较，Baur & Oll评估了与100万美元的标普500指数和黄金投资有关的GHG全年排放。他们计算出与标普500指数有关的GHG全年排放为20.5亿吨，因此100万美元投资等于111吨排放。我们采用这种方法，并利用更详细的最新黄金数据修改了这一方法，获得了一组范围更大的估算值（如下文图表注解和“附录——更多方法”所述）。

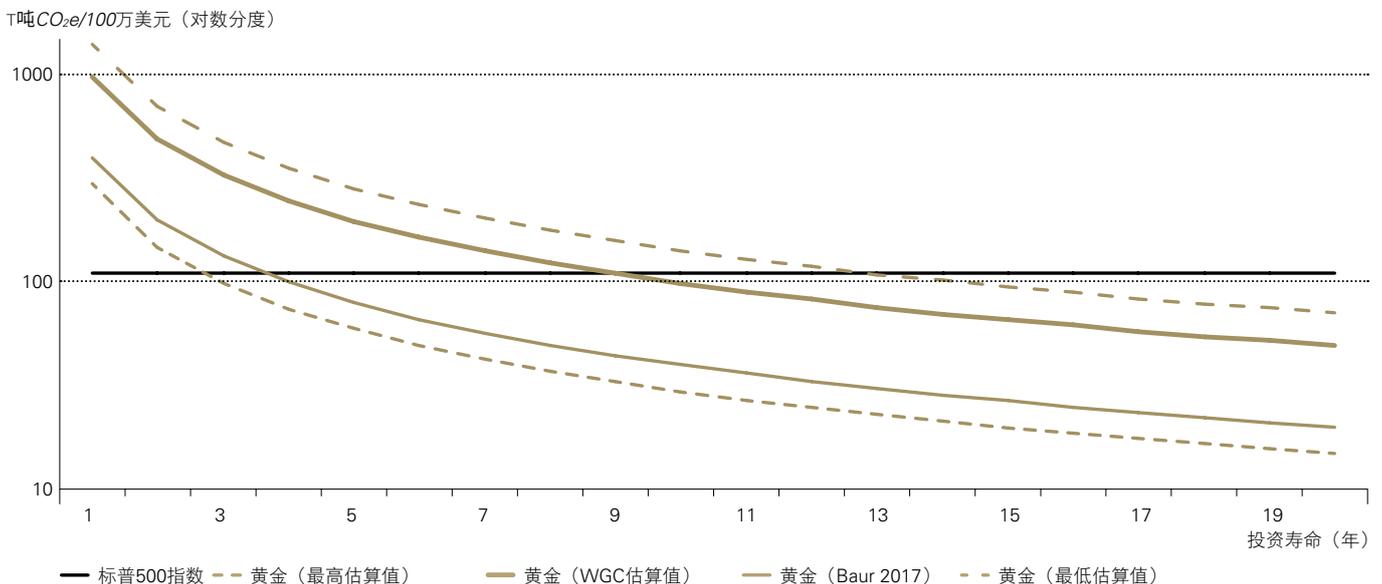
黄金的GHG全年排放在黄金寿命期内的差异非常大。开采、研磨、浓缩、熔炼和精炼的排放很高；但在接下来的环节，与作为投资标的的新开采黄金的运输和存储有关的排放在黄金的寿命期内很少。因此Baur & Oll认为黄金寿命期内的排放总量将大体等于开采、研磨、浓缩、熔炼和精炼的排放。为了计算特定时期内投资组合中的新开采黄金的年化排放，我们将排放总量除以投资寿命期——在清算之前持有投资的年数。

$$\text{黄金的年化GHG排放} = (\text{GHG排放总量} / \text{持有投资的年数})$$

这可能会高估黄金的年化GHG排放，因为它实际上将全部GHG排放分配给了初始投资者。它还假设所有黄金资产都以新开采黄金为依托，而实际上，鉴于地上黄金保有量、作为供应来源的回收金的重要意义，以及金条长达数十年甚至数百年的产品寿命，这几乎是不可能的。

下方的图表9采用Baur & Oll提供的黄金GHG强度和标普500指数排放强度的估算范围，展示了分析结果。利用我们最接近的估算值，结果表明，如果投资者持有一笔新开采黄金投资9年或以上，这笔投资的年化GHG足迹将少于一笔等值标普500指数投资的年化GHG足迹。利用最低估算值，这一点在仅仅3年后是成立的，即使利用最高估算值，我们在文献中发现黄金的足迹在13年或以上的投资期限内也依然少于标普500指数。

图表9：黄金投资和标普500指数投资在不同投资期限内的年化GHG足迹估算值



注：图表并未提供黄金生产或标普500指数未来排放的估算值，而是展示了100万美元标普500指数投资的年化GHG足迹，并将其与100万美元黄金投资的GHG足迹进行比较，后者在年化基础上对不同投资寿命期进行了量化，并拥有针对黄金的排放强度范围。黄金的数值范围是基于学术文献记录的每吨黄金的最高和最低GHG排放强度估算值。

来源：基于Baur & Oll（2017年）的WGC分析

这表明，当寿命期内的黄金GHG排放被分配到中期到长期投资期限内的每一年时，投资黄金可能会减少包括标普500指数在内的投资组合的总体GHG足迹。

因此我们同意Baur & Oll的结论，“在标普500投资组合中加入黄金可以提高该组合的可持续性。”

这是一个值得进一步研究的领域，对希望降低投资组合的总体GHG足迹的投资者具有重要意义。

“在标普500投资组合中加入黄金可以提高该组合的可持续性。”
Baur & Oll, 2017年。

黄金会面临哪些气候变化风险，与其他行业和资产类别相比如何？

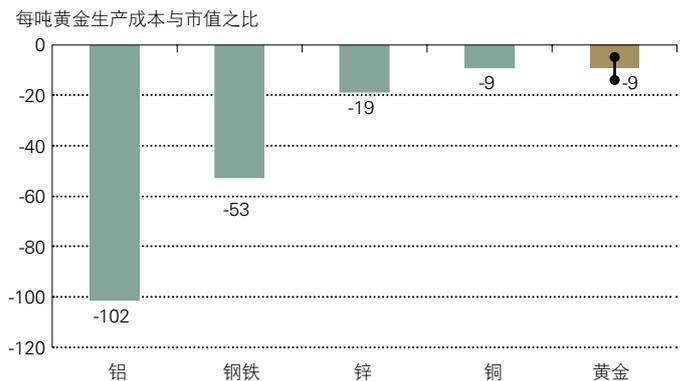
展望未来，有几个原因令人相信黄金比其他投资类别更能抵御气候变化带来的物理和转型风险。

首先，我们相信作为制成品的黄金面临的气候变化影响带来的风险相对有限。黄金纯度高，惰性强，稳定性高黄金几乎不可摧毁，不会逐渐受损或在使用过程中被摧毁。因此，开采出来的几乎所有黄金都还存在，理论上具备重复使用的潜力。即使遇到自然灾害，黄金的物理特性和价值也使其具备强大的可恢复性。相对充裕的地上黄金保有量意味着供应黄金抵御气候变化物理影响带来的冲击和干扰的能力比其他矿产品高得多。

有很好的理由相信黄金比其他潜在投资更能抵御气候变化带来的物理和转型风险。

黄金面临的转型风险可能低于很多其他潜在投资。对投资者有重大影响的一种转型风险是，碳定价¹⁸可能会对生产经济性、进而对经济部门的潜在收益产生负面影响。我们采用本报告“黄金和温室气体排放”部分的GHG强度估算值和市值分析，假设对最终成品黄金收取的碳价为100美元/吨CO₂e，估算了每吨黄金的生产成本。如**图表10**所示，由于每吨黄金价值很高，因此每一美元价值的碳足迹很少，黄金受到的碳定价潜在负面影响比其他金属小得多。

图表10：100美元/tCO₂e碳价成本与市值之比



注：黄金的数值范围是基于学术文献记录的每吨黄金的最高和最低GHG排放强度估算值
来源：Metals Focus；标普全球市场情报；世界钢铁协会和EIU；世界黄金协会从一系列学术研究和行业协会报告中收集的排放数据

18 碳定价是指生产者为了获得将1吨CO₂排放到大气中必须以税或许可费形式支付的金额。

担忧气候变化影响的投资者必须了解除金属和采矿业以外的其它行业如何去减少GHG排放。我们相信成品黄金生产过程的脱碳可能比其他经济部门更容易、更具性价比。研究表明，大约50-60%的黄金碳足迹来自开采、研磨、浓缩和熔炼过程中的用电。¹⁹如今由于可再生能源及其存储的技术、经济性和可靠性迅速提高，电的脱碳性价比越来越高。展望未来，预计这些成本将以两位数的速度继续降低，增强可再生能源对化石燃料的优势：²⁰

- 预计到2040年，太阳能、风能和电池储电的成本将下降50-70%
- 在世界上的某些地区，太阳能和风能的成本已经低于新化石燃料的生产成本，预计从2030年开始将全面低于新的天然气和煤炭成本。

黄金行业的脱碳速度可能快于很多其他经济部门。

正如我们在本报告其他部分所述，²¹主要的负责任黄金开采公司正在积极采取措施来提高能效，转用可再生能源——有望大幅减少黄金的碳排放。发挥这种潜力需要黄金行业坚持大力投入和行动。鉴于当前的活动规模，黄金行业的脱碳速度可能快于其他经济部门，包括农业、航空业、化工业、工业生产和供暖。因此相比之下，投资者可能会更看好黄金。同时，黄金行业在其业务所在国家和社区中继续为社会和经济的可持续发展发挥重要的支持作用。

最后，无论低碳经济转型结果如何，在未来几十年内，随着气候变化的影响和社会的应对方式的显现，投资者应该为风险和波动性的上升做好准备。黄金缓解市场风险、改善投资组合整体风险-收益状况的能力是有据可查的。²²我们相信黄金也能够缓解气候风险。我们预计气候变化将加剧金融行业的波动性，黄金将继续发挥避险作用。

总而言之，虽然我们承认本报告只是一次初步分析，但我们的发现表明，担忧气候变化的投资者可能有充分的理由将黄金视为一种战略资产，我们的关键发现包括：

- 我们的研究表明，黄金的碳足迹低于其他矿产品，与整个全球经济相似。
- 加入黄金和股票（标普500指数成分股），中长期而言可以减少投资组合的碳足迹。
- 黄金面临的与气候变化有关的物理和转型风险可能低于其他行业。
- 黄金可以有效对冲适应气候变化可能对投资市场带来的干扰和波动。

金融行业的波动性可能会因气候变化而加剧，我们预计黄金将继续在该行业发挥避险资产的作用。

¹⁹ Norgate & Haque。《运用生命周期评估来评估黄金生产的某些环境影响》。《清洁生产》(Cleaner Production)期刊，2012年第29-30卷第53期。

²⁰ 彭博新能源金融(Bloomberg New Energy Finance)，《新能源前景2017》，2017年，<https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>

²¹ 见“黄金开采：采取行动减少GHG排放”部分。

²² Michaud, Michaud & Pulvermacher。《作为战略资产的黄金》，2006年；Michaud & Michaud。《作为欧洲投资者战略资产的黄金》，2011年；Mercer。《作为机构投资者战略资产的黄金》，2014年；Artigas等，《作为战略资产的黄金的重要性》，2018年。

黄金开采： 采取行动减少GHG排放

负责任的黄金开采为可持续发展提供重要的支持作用。

实施负责任的黄金开采要尊重环境和相关的人权（含雇员、承包商和与开采活动有关的社区成员）。与良好治理相结合，负责任的黄金开采可以为业务所在国和本地社区带来好处。负责任的黄金开采可以促进经济繁荣、提供就业机会、培养员工技能，通过与政府和其他参与者合作，还可以促进基础设施和公共服务投资，从而为经济发展做出贡献。

虽然面临的地理、业务和监管挑战各不相同，但世界黄金协会的成员公司正在致力于减少各自的温室气体排放。

负责任的黄金开采公司会严肃对待其遵守国际标准的承诺，包括向碳信息披露项目(CDP)报告。

本部分描述了多项致力于在未来数年内减少GHG排放的计划。世界黄金协会的会员公司力图通过提高能效和尽量转用低碳能源来减少自己的碳足迹，这里报告的项目代表了这些公司当前所采取或规划的一小部分措施。这些举措的类型和规模各异，但都有一个共同目标：减少CO₂e排放，指明行业发展方向。

值得注意的是，这里详述的很多项目可以产生额外的正面商业影响，大幅降低成本，以及减少排放。



图片来自Agnico Eagle。

伯顿(Borden): “未来的金矿”

Goldcorp的伯顿金矿即将成为全球首个全电气化地下金矿。该金矿将以蓄电池电动汽车(BEV)代替目前的柴油驱动移动设备。

伯顿的电动设备投资将改善安全表现，将GHG年排放减少70% (6,600吨CO₂e)。电力发动机的效率比柴油发动机高三倍，并且由于大幅降低了通风需求，每年可以节省33,000兆瓦时(MWh)的电量。

这意味着10年可以减少70,000吨CO₂e，节省330,000兆瓦时的电量。

排放的减少使地下通风需求降低，让伯顿的通风需求比标准柴油驱动型地下金矿降低50%。

伯顿地下金矿将全年持续（24小时）运行，全年日均开采速度为大约4,000吨矿石。



伯顿地下采矿车。图片来自Goldcorp。

太阳能彻底改变了布基纳法索的Esskane金矿

IAMGOLD子公司IAMGOLD Essakane SA与Total Eren、AREN ENERGY (PTY) Ltd和Essakane Solar SAS合作，为该公司的布基纳法索Esskane金矿采购一座太阳能发电厂的15MWp（兆瓦峰值输出）电力。该协议适用于最长15年的初期阶段，将帮助该公司减少环境足迹和用电成本。

该项目将实现一座太阳能发电厂与该金矿现有的57MW HFO（重油）发电厂的整合，使其完工后成为全球最大的HFO-太阳能混合发电厂。合同期间，Essakane Solar将成为这座太阳能发电厂的所有者，IAMGOLD Essakane SA将通过购买所有发出的电能成为唯一购买方。这座太阳能发电厂的第一个三分之一部分已在2018年3月16日建成。

此发电厂在矿山上占地22公顷。此发电厂安装了大约130,000个光伏模块。每年可以节省大约600万升燃油，意味着减少大约18,500吨CO₂排放。该项目的资金成本为2,500万美元。

除了减轻金矿的环境影响和用电成本以外，这座太阳能发电厂还带来了一个关键好处：促进地方就业。此发电厂在项目建设阶段雇佣了大约100名本地工人，在整个运营阶段将再雇佣40名工人。Essakane Solar SAS将把1%的营收投入到金矿周边的社区项目中。该公司将与地方监管机构共同确定和执行这些项目。



Essakane的太阳能电池板装置。图片来自IAMGOLD。

运用科学的目标、碳定价和燃料转换来降低排放

纽蒙特(Newmont)与国际采矿与金属协会(ICMM)合作，正在设法为行业确定有意义的科学减排目标，并确定实现目标必须采取的行动。

纽蒙特正在评估各种目标，例如通过自行发电或购电协议、转用电动和/或混合电动车来增加能源供应。

目前为止的一项重要成就是扩大了高燃料效率技术的使用，例如纽蒙特在其Boddington矿山采用的Blutip解决方案，该方案每年节省了5.2%的柴油燃料使用量，减少了10,000吨的GHG排放。

此外，换用排放较低的燃料来源也是纽蒙特2020年减排目标的一个关键部分，这方面的一个重要例子是纽蒙特的塔纳米(Tanami)发电项目。

2017年初，澳大利亚塔纳米沙漠的极端天气引发了大范围的持久洪灾。在两个月时间里，作为该金矿主要燃料的柴油无法运进矿

山。结果2月份的生产完全关闭。该金矿的产量为平均每周8,000盎司黄金。

为了提高能源安全性，缓解气候变化风险，纽蒙特对各种选项进行了一次评估，包括分析碳成本，让公司更了解每个选项的内在碳风险，以及未来碳定价方案带来的影响。

据分析，碳价为每吨二氧化碳当量(CO₂e)25美元和50美元。这些价格点是基于采矿和能源公司当时使用的碳定价。

评估结果是，纽蒙特批准了塔纳米发电项目，包括建设一条长达280英里(450公里)的天然气管道，通过提供可靠的天然气发电来提供一个综合型能源解决方案。放弃柴油燃料，转用天然气，预计从2019年开始每年可以减少大约20%的能源成本和碳排放。

此外，纽蒙特还在2017年设立了一个目标：以2013年为基准年，到2020年将GHG排放强度降低16.5%。迄今为止，纽蒙特实现了15.6%的减排，到2020年有望进一步减排1%。



塔纳米金矿。图片来自纽蒙特矿业公司。

经过优化的地下通风系统减轻了能耗和排放

巴里克黄金公司(Barrick)的目标是以2016年为基准年，到2030年将温室气体排放减少30%。目前，巴里克36%的电力来自可再生能源。该公司正在部署多个方案来降低总体GHG水平，包括评估以下可能性：让该公司位于多米尼加共和国的一座发电厂转用低排放燃料，将电动和自动化设备纳入未来金矿的设计。

能源需求、消费和GHG排放降低对巴里克的加拿大Hemlo金矿产生的商业影响是显而易见的。Hemlo制定了一项全场地通风管理计划来促进持续改进技术、人事和系统方面的持续改善和创新。结果，Hemlo通过优化地下通风系统减轻了能耗和GHG排放。该金矿在目标区域实行按需通风(VOD)，不具备VOD功能的排气扇由受过训练的人员专门负责管理。

Hemlo还通过利用该金矿的天然地热特性来降低了供暖成本。该金矿可以从旧开采区的采矿场抽取新鲜空气，形成了冬天无需供暖的空气供应，而在夏天，冰凉的采矿场会把空气冷却。按照每吨矿石需要的通风量衡量的能耗从2013年的96.7千瓦时/吨(kWh/t)降至2015年的86.1kWh/t；两年间GHG排放减少24%，能耗降低10%。

2016年，为了表彰这种创新的节能方法，加拿大自然资源部授予Hemlo“流程和技术改进奖”。

从2016年起，Hemlo的开采业务不断扩大，但该金矿一直能够维持相同的能耗强度水平，展现了这些创新解决方案的持续作用。



Hemlo金矿。图片来自巴里克。

通过水力发电降低GHG，优化运输条件

金罗斯公司(Kinross)正在不断检查自己的能源供应矩阵，以找到降低成本和排放的机会。该公司最近在巴西收购了两座水力发电厂（155MW装机容量），用于保证其Paracatu金矿的可再生能源供应的可持续性。

开采业务所用燃料是最大的直接排放类别。公司非常重视优化运输条件和驾驶员培训，因为可以节省燃料、降低成本和排放。从2017年1月起，内华达州Bald Mountain金矿的路线优化工作已经节省了超过15,000小时的运输时间，而在阿拉斯加州的Fort Knox

矿山，自卸车往返一次堆浸坪可以节省超过10%的时间。自卸车操作员受过模拟器训练，以培养节省燃油消耗的最佳驾驶技能。

金罗斯目前也在实施多个资本项目，从一开始就将高能效融入其业务设计中。这些能源管理项目将继续帮助减少GHG排放。



驾驶模拟器帮助优化燃油使用。图片来自金罗斯。

水电促成了该金矿的低GHG足迹

Centerra Gold的Kumtor金矿是一座位于吉尔吉斯共和国的大规模金矿，使用大量燃料和电力。在该金矿的商品和服务购买总额中，燃料占了20%以上。Kumtor的研磨厂耗能最高，占了该金矿用电量的75%左右。

吉尔吉斯共和国拥有多山地形和丰富的水资源，是中亚地区领先的水电能源生产国和出口国。该国70%以上的电力来自水力发电。

Kumtor电力供应的主要来源是纳伦河(Naryn River)上的托克托古尔水库(Toktogul Reservoir)。这意味着该金矿的具体GHG用电排放足迹相当少。Centerra Gold计划通过降低能耗、提高能效来进一步降低GHG强度。

该公司正在尽量弃用柴油发电机，转用电网供电，以便从其减排计划中获取最大价值。这些举措节省了金矿成本，减少了GHG足迹。



Kumtor金矿。图片来自Centerra Gold.

自动化压缩空气控制降低能耗

2016年，AngloGold Ashanti的瓦尔河(Vaal River)金矿凭借其瓦尔河压缩机实时动态控制系统(REMS-DCS)获得了南非能效协会(South African Association for Energy Efficiency)的“年度项目”奖。

为了供应压缩空气，这套瓦尔和采矿设施每天耗电250兆瓦时(MWh)。这个复杂的网络由沿着一个27公里长的地表管道网络安装的37MW压缩机组成，地表和地下都有多名用户。为了降低能耗，从而每年减少4,400吨CO₂的碳足迹，AngloGold Ashanti安装了一套实时动态控制系统(REMS-DCS)来优化和自动管理空气压缩机控制装置。

该项目实现了夜间用电高峰期节能1.65MW，全年节省大约140,000美元，但多个压缩空气效率并行项目节省的资金总额几乎是该数字的一倍。

采矿行业此前从未实现过这个量级的全自动化压缩空气控制。



Moab Khotsong金矿的自动化空气压缩机。图片来自AngloGold Ashanti。

黄金作为低碳技术关键组成部分的作用

黄金是一种用途广泛的重要工业金属。在2017年，技术应用领域的黄金使用量为333吨，同比增长3%。

虽然电子行业是主要的需求来源，但近年来的技术进步已经开始推高黄金需求。

黄金在缓解气候变化的背景下具有特殊的重要性，而黄金纳米颗粒在一系列有助于减少GHG排放的应用中具有可观的潜力。

助力清洁未来

对“绿色化学”——减少或消除使用危险物质的必要性或影响的化学产品和工艺——而言，催化至关重要。在催化剂的使用方面，最激动人心的新兴技术之一与碳的收集和转化有关。

催化虽然具有重要作用，但并非为人熟知的科技分支。几乎所有工业化学品的生产都依赖催化剂。贵金属常用于化学催化。贵金属是优良的催化剂，因为它们具有化学“柔韧性”，即它

们在化学反应中与原始材料和溶剂发生反应，同时对高温和高压保持相对稳定。这使得金属经久耐用，这是高效催化剂的一个基本特点。

贵金属已经广泛用于汽车的催化转化器，清除柴油和汽油发动机产生的大量污染物。这些转化器可以在汽车排气系统的严酷环境中高效运行多年。40年的研发过程证明，只有贵金属能够长期实现这些目标。

在一个名为碳收集和使用(CCU)的新兴科技领域，高效催化剂的可用性正变得日益重要。根据麦肯锡近期的一项研究，如果可以在短时间内成功研发出一小部分关键技术，CCU在2030年就可以每年减少多达10亿吨的GHG排放。²³



合成黄金纳米颗粒

“收集到的二氧化碳在技术上可以转化成几乎任何类型的、本来通过石油转化而成的燃料或化学品。问题在于如何以经济方式实现转化，让所获得的燃料和化学品的成本竞争力高于使用石油转化而成的燃料和化学品。”

McKinsey & Company, 2018年

²³ Biniak等，《为什么商业用途可以成为碳收集的出路？》McKinsey & Company, 2018年

将二氧化碳成功转化为可用燃料的前景高度依赖电化学二氧化碳还原反应(CO₂RR)。近年来,有大量研究致力于开发可以稳定工作数百小时的新催化剂,以便可以有选择、高效地将CO₂转化成燃料。其中最前景的催化剂之一基于黄金。多伦多大学研究员近期发现的纳米金催化剂²⁴代表了该领域的一个重大进展,为有选择、高效地将CO₂还原成一氧化碳(CO)打下了基础。一氧化碳是用于生产合成燃料的前身。

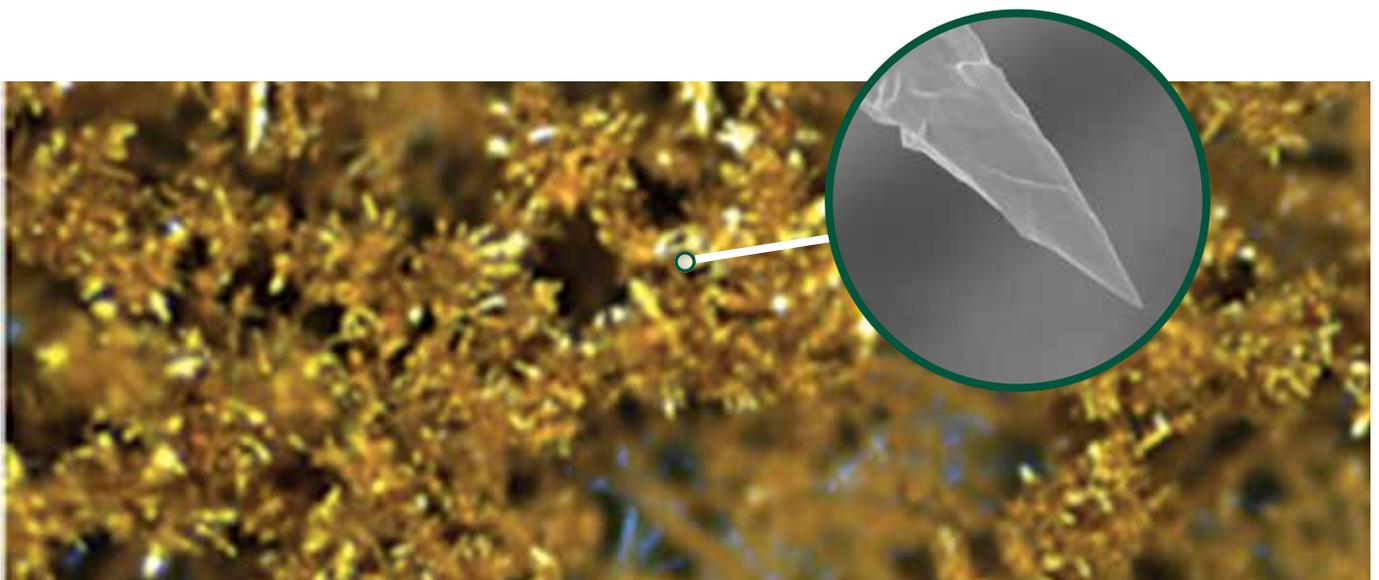
纳米金催化剂呈针状,厚度只有几微米。获得电势后,黄金纳米针催化剂将CO₂转化为CO,整个过程具有高度活跃性和选择性。一氧化碳生成后,可以与氢气结合,形成混合气,这是用于制造汽油等很多燃料的前身。

美国政府的国家能源技术实验室(NETL)也深度参与了先进清洁技术催化剂的研发。研究员已经研发出一种由25个黄金原子构成的特殊设计形态纳米颗粒催化剂,这种催化剂在二氧化碳还原反应中展现了相当可观的使用潜力。²⁵事实上,研究员相信风能和太阳能等可再生能源在未来可以为大规模CO₂转化工厂提供动力,实际上为碳-负能量循环提供了一条潜在路径。

许多初创公司都专注于这些技术的商业化。它们与西门子和赢创等老牌化学公司合作。赢创最近展示了持久、大规模的CO₂到酒精的转化。²⁶众多学术组织和初创公司也参与了NRG COSIA Carbon XPrize,这是一项提供2,000万美元大奖的挑战赛,致力于寻找可以收集CO₂并将其转化成有价值产品的技术。由多伦多大学Sargent Lab开创的这种纳米结构催化剂入选了这项大奖挑战赛的决赛,届时它们将被拓展,从实验室级别(每小时转化出几毫克)升级成一套微试点装置,该装置每天可以生产数百千克一氧化碳。

虽然考虑了多种催化剂,但目前的证据表明,对于具有高度活跃性和选择性的CO₂到CO还原过程,黄金是最佳催化剂。

多伦多大学研究员近期发现的纳米金催化剂代表了该领域的一个重大进展,为有选择、高效地将CO₂还原成一氧化碳(CO)打下了基础。一氧化碳是用于生产合成燃料的前身。



黄金纳米针图片和放大后的黄金纳米针纳米结构表面电子显微照片。图像由多伦多大学Phil De Luna & The Sargent Lab提供。

24 Liu等,《通过场诱导试剂浓缩改善电催化CO₂还原》。《自然》,2016年第537卷第7620期第382页。

25 Kauffmann等,《可再生能源实现的高效电化学CO₂转化》。《ACS applied materials & interfaces》2015年第7卷第28期第15626页。

26 Haas等,《涉及CO₂电解和发酵的技术光合作用》。《Nature Catalysis》,2018年第1卷第32期。

创造下一代燃料电池

燃料电池无需燃烧，通过化学反应产生电能。电能是通过氢和氧的结合产生的；关键是，这种反应唯一的其他生成物是水。像二氧化碳还原反应一样，需要高效的催化材料来降低合成水的能耗。水是一种相对稳定的化学实体。燃料电池中的催化剂通常含有铂，但近年来的研究表明，加入黄金纳米材料可以大大提高催化剂的性能。燃料电池需要纯净的氢气流才能高效工作，这就要求催化剂可以在低温下高效工作。近期发表在领先期刊《科学》的一项研究强调了黄金纳米簇可以如何用于高效清除氢气流中的少量一氧化碳(CO)。这一点很重要，因为CO会成为抑制剂，降低燃料电池的反应效率。这项研究表明，这种特殊的黄金纳米颗粒催化剂是可以满足这种需求的首批材料之一，在多种具有重要工业意义的应用方面前景光明。²⁷

近期的另一项研究将黄金与其他金属相结合，创造出一种效率比单一的铂高7倍的催化剂。²⁸这是为几乎任何具有重要工业意义的流程制造和发现新颗粒型催化剂之路上迈出的重要一步。

“我们结合了理论和一种强大的新工具来合成纳米颗粒和不止一种金属元素——这里是指一种由铂、铜和黄金构成的合金——来创造一种活跃性比顶级的商用铂高7倍的催化剂。”

西北大学温伯格文理学院(Weinberg College of Arts and Sciences)George B. Rathmann化学系教授兼国际纳米技术学院院长Chad A. Mirkin



图片 ©Rob Crandall/Shutterstock.com

27 Yao等，《 α -MoC上作为低温水气变换反应催化剂的原子分层黄金簇》。科学，DOI: 10.1126/science.aah4321，2017年。

28 Huang等，《通过扫描探针嵌段共聚物光刻实现的催化剂设计》。Huang等，《美国科学院院报》(PNAS) <https://doi.org/10.1073/pnas.1800884115>。

提高光伏性能

除了作为催化剂的可观潜力以外，黄金纳米颗粒作为一种改善太阳能收集和使用方式的潜在材料也日益引起科学家的关注。黄金的上釉用途历史悠久，经常被用来给玻璃添加一层薄薄的涂层，以提高建筑物的能效。黄金优良的红外线屏蔽性能有助于大幅减少大面积上釉吸收的热量，从而降低建筑物本身的能源成本。现代技术使这种方法逐渐得到改进，黄金纳米颗粒日益被用于促成进步。最近，帝国理工学院的科学家开发出一种材料，这种材料可以让透明物体表面通电后变成反光表面。²⁹

这种材料提供了将“智能窗户”整合到新型建筑物中的机会，建筑物中的自动遮荫系统也许可以主动管理温度，限制传统低效供热和制冷方式产生的GHG排放。

黄金还可用于各种试验性太阳能电池装置。目前正在设法将这些装置直接安装在建筑物中，使智能窗户概念更上一层楼。钙钛矿电池被广泛视为最有前途的新型太阳能电池技术之一，可以在自身模块中使用黄金电极。科学家目前正在试图整合电池中的纳米材料，以进一步提高发电效率。³⁰

黄金纳米颗粒作为一种改善太阳能收集和使用方式的潜在材料日益引起科学家的关注。



图片 ©Thongsuk Atiwannakul/Shutterstock.com

29 Montelongo等，《电场可调的纳米等离子体激元液态镜》《Nature Catalysis》，2017年第16卷第1127期。

30 Zhang等，《综合使用黄金纳米颗粒和绝缘性金属氧化物制造而成的高效钙钛矿电池》。《Nanoscale》，2017年第9期第2852页。

结论和未来应用领域

本报告代表了世界黄金协会对黄金和气候变化的初步研究，陈述了我们基于当前可用数据和保守假设，对黄金GHG足迹的估算。

我们的初步发现证明，虽然黄金全球碳足迹的相关公开数据有限，但新开采黄金的GHG排放总量远远低于其他主要金属和矿产品。如果根据“每一美元价值”来分析，黄金的排放强度在所有金属和矿产品中处于最低水平。

我们还探讨了这些发现对那些渴望进一步了解其投资组合持仓面临的气候变化风险和机遇的投资者的某些影响。

此外，我们还指出，主要的黄金开采公司正在采取行动来减少GHG排放。我们思考了黄金可以如何在有助于应对气候变化的新技术中发挥作用。

但我们知道，要更清晰、更一致、更全面地看待气候变化对黄金行业带来的影响，还有很多工作要做。本报告强调了可用数据之间的重要差异，解决这些问题可以为所有利益相关者带来巨大利好。像所有经济部门一样，黄金行业面临以下挑战：确立一条可以实现温室气体减排、符合《巴黎协定》目标、同时兼顾更广泛的社会、环境和经济发展目标的路径。

以下是一些潜在的未来工作领域，我们认为这些领域会有助于为本次对话提供更多信息，帮助将黄金视为应对气候变化的资产类别的投资者做出知情决定。

领域	潜在未来工作
继续完善黄金GHG足迹相关数据	<ul style="list-style-type: none">• 收集更完善、更全面的成品黄金范围1和范围2的GHG排放估算值，例如：<ul style="list-style-type: none">- 包含更大比例全球黄金产量和更大范围不同开采和生产地点及方法的估算值- 纵向数据集- 详细量化黄金回收对成品黄金GHG足迹的影响。• 形成对范围3排放的估算值，重视下游用途的排放。
对投资者的影响和适用工具	<ul style="list-style-type: none">• 制定工具来为投资界提供支持，投资界将黄金视为气候变化背景下的一种资产类别，包括：<ul style="list-style-type: none">- 将寿命期内的GHG足迹与更广泛的可比数据集（例如其他股指和资产类别）进行比较- 纵向数据集和敏感性分析- 深度分析与黄金投资有关的物理和转型风险，将这些风险与其他部门和资产类别进行比较。
探索符合《巴黎协定》目标的减排路径	<ul style="list-style-type: none">• 形成对某个行业/类别的潜在减排路径的看法。这可能包括：<ul style="list-style-type: none">- 场景：制定潜在减排路径，了解这些路径如何符合更广泛的可持续性目标，包括联合国可持续发展目标- 为行业定义总体科学目标，实现符合《巴黎协定》目标的减排- 针对减排范围机会的边际减排成本曲线。

附录——详细方法

在本报告中，我们评估了采用原始矿物供应的成品黄金生产的GHG排放强度。为了估算GHG排放总量，我们使用了我们的排放强度估算值，以及与采用原始矿物供应的成品黄金的全球生产有关的数据。

我们对GHG排放强度的估算值来自对现有文献的透彻阅读。这包括来自6项同行审核学术研究的数据，³¹⁻³⁶以及我们自己对矿业公司公开报告的GHG排放的分析。我们并没有委托实施新的初步分析。

在边界方面，我们的分析与学术研究和矿业公司的报告相符。我们纳入了范围1和范围2的排放数据，此类排放来自生产成品黄金的开采、研磨、浓缩、熔炼和精炼流程。在同样的基础上，再次基于现有的公开文献和来源，与其他金属和矿产品进行了比较。我们并未考虑范围3的排放，尤其是没有考虑黄金成品终端用途的排放。我们也没有考虑现有黄金产品（或含有黄金的废弃物）回收活动产生的排放。

黄金成品的GHG排放强度因具体生产环境而异。导致排放强度发生变化的主要因素包括：

- 矿石类型和品位
- 加工技术
- 金矿类型——地下金矿或露天金矿
- 地理位置。

两项学术研究³⁷⁻³⁸提供了对黄金GHG排放强度的不同估算值，取决于生产是否基于难熔或非难熔矿石。我们基于两项研究提供的33%难熔和67%非难熔矿石的估算比例，为每一项研究计算了加权平均排放强度。³⁹⁻⁴⁰

图表 11展示了我们的评估结果。该图表展示了来自同行审核研究的GHG排放强度估算值。

31 Norgate & Haque. 《运用生命周期评估来评估黄金生产的某些环境影响》。《清洁生产》期刊，2012年第29-30卷第53期。

32 Mudd. 全球黄金开采趋势：倾向于量化环境和资源可持续性。《Resources Policy》，2007年第32卷第1-2期第42页。33 Hageluku & Meskers. 《特殊贵金属的复杂生命周期》第10章《可持续性的联系》。由Thomas E. Graedel和Ester van der Voet编辑。2010年。

34 Haque & Norgate. 《澳大利亚轴、黄金和铜原地浸析的温室气体足迹》。《清洁生产》期刊，2014年第84卷第382页。

35 Nuss P, Eckelman MJ. 《金属寿命周期评估：科学合成法》。《PLoS ONE》，2014年，doi: 10.1371/journal.pone.0101298。36 Chen等，《中国黄金生产生命周期评估》。《清洁生产》期刊，2018年第179卷第143页。

37 Norgate & Haque. 《运用生命周期评估来评估黄金生产的某些环境影响》。《清洁生产》(Cleaner Production)期刊，2012年第29-30卷第53期。

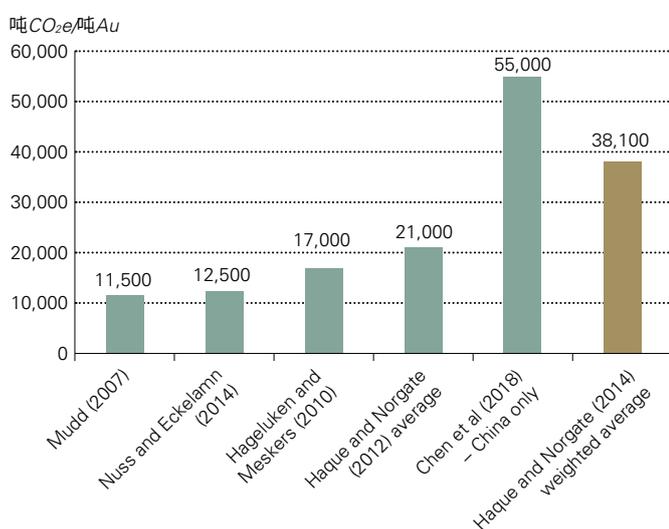
38 Hageluku & Meskers. 《特殊贵金属的复杂生命周期》第10章《可持续性的联系》。由Graedel和Ester van der Voet编辑。2010年。

39 Yang等，《从难熔金矿中提取铋的选择过程》。《湿法冶金术》(Hydrometallurgy)2017年第169卷第571页

40 Li等《通过单独预处理粗矿和细矿来改善难熔黄金浓缩煅烧物的黄金浸析》。《Minerals》，2017年第7卷第80页。

基于这些数据，以及与帝国理工学院专业研究人员的讨论，我们估计成品黄金生产的排放强度为38,137t CO₂e/tAu（本报告取整为38,100t CO₂e/tAu）。这是基于Haque & Norgate的最新研究，⁴¹他们是澳大利亚著名研究机构联邦科学与工业研究协会(CSIRO)的成员。⁴²这项研究考虑了品位为2克/吨的难熔和非难熔矿石。我们相信这代表了同行审核研究中可以获得的最佳黄金排放强度可用估算数值。此估算值处于从全球角度考虑黄金的学术研究的最高区间。

图表11：黄金排放强度估算值



应该指出的是，由于这篇论文仅使用公开来源，并未进行初步研究，因此计算黄金GHG排放强度时使用了保守的平均矿石品位。目前来自露天和地下金矿的矿石品位数据表明，更高的全球平均矿石品位可能是合适的，这表明还存在进一步研究的空间。

但我们承认文献中有多种不同的GHG排放强度估算值。这既反映了与其它某些行业相比黄金行业可用数据的稀缺性，也反映了研究的具体情况和考量，例如：

- 近期一篇关于中国黄金产量的论文（Chen等，2018年）提出了55,000t CO₂e/tAu的平均排放强度估算值。这是我们在文献中见过的最高估算值，我们知道主要原因是中国大量使用燃煤发电。⁴³这篇论文并未声称该数字可以代表全球黄金生产行业的估算值。
- 较早的一项研究（Mudd，2007年）提出了11,500t CO₂e/tAu的排放强度估算值。这个数字被专家认为不大可能充分代表目前典型的黄金排放强度，尤其是这项研究是基于较高的金矿品位。如上文所述，矿石品位对排放计算结果的影响是一个值得进一步研究的领域。

鉴于学术文献中的估算值范围广泛，我们认为我们的分析应该参考这些估算值。因此我们提供了所有排放强度和相关计算结果，全部围绕GHG排放强度的“核心”估算值(38,100t CO₂e/tAu)，以及代表文献中最高和最低数字（分别为55,000t CO₂e/tAu和11,500t CO₂e/tAu）的respectively)上限和下限。

41 Hageluken & Meskers。《特殊贵金属的复杂生命周期》第10章《可持续性的联系》。由Graedel和Ester van der Voet编辑。2010年。

42 澳大利亚联邦政府的独立机构联邦科学与工业研究协会(CSIRO)负责澳大利亚的科学研究，<http://www.csiro.au/>

43 由于中国近年出台的环境法规——即2015年的《中华人民共和国环境保护法》和2016年的《黄金行业清洁生产评价指标体系》——已经对黄金生产产生了重大影响，因此巨大的中国排放强度数字值得进一步分析。

词汇表

普通金属： 这些金属广义上被定义为接触空气和水分时比较容易氧化、失去光泽或腐烂的金属。这些金属在自然界中通常含量丰富，有时候很容易开采。它们还通常广泛用于商业和工业用途，例如建筑和制造业。普通金属包括铝、铜、铅、镍、锡和锌，经常被描述为“不含铁”，意思是它们不含有铁。一般而言，它们的价格远远低于黄金、白银、铂等贵金属。贵金属比普通金属稀缺得多，可能需要大量的开采资源才能采到合理的数量。

块状金属： 相当常见、用途广泛的金属。在本报告中，我们使用这个词语泛指铁和不含铁的“普通”金属。

碳的收集和使用(CCU)： 一个新兴科技分支，专注于收集CO₂，并将其转化为可以商用的产品，例如生物油、化学品、化肥和燃料。

碳足迹： “碳足迹”一词是指某个企业机构、产品或流程在一定时期内引起的温室气体排放总量。碳足迹考虑了《京都议定书》指定的所有7种温室气体：二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、一氧化二氮(N₂O)、六氟化硫(SF₆)、三氟化氮(NF₃)、氢氟碳化物(HFC)和全氟碳化物(PFC)。

CO₂e： “CO₂e”或“二氧化碳当量”是一种温室气体衡量单位，让不同的气体能够相对于1单位CO₂的基础上进行同等比较。对于给定质量的某种温室气体，CO₂e代表在一定年限内（最常用的是100年）产生同样全球变暖影响的CO₂的质量。CO₂e的计算方式是，每一种非CO₂温室气体的质量乘以其100年全球变暖潜力值。例如，甲烷(CH₄)的100年全球变暖潜力值为28。⁴⁴ 因此1吨甲烷等于28吨CO₂e。

全球变暖潜力值： 一种指数，用于衡量在一定时期内积累的单位质量的某种温室气体排放后，相对于参考气体二氧化碳(CO₂)的全球变暖影响力。全球变暖潜力值代表这些气体驻留在大气中不同时期的综合影响，以及这些气体引发全球变暖的效力。

温室气体： 《京都议定书》包括导致人为气候变化的人类活动排放的7种主要温室气体，包括二氧化碳、甲烷、一氧化二氮和氟化气体。

重燃料油(HFO)： 重燃料油或“残余燃料油”是一种高粘度的焦油状物质，是原油蒸馏后的残留物，通常用于船用柴油发动机和熔炉、锅炉及提灯的燃烧。

千瓦(kW)： 千瓦：一种电能度量单位，等于1,000瓦。

千瓦时(kWh)： 千瓦时：一种能量度量单位，等于功率为1kW的电器工作1小时所消耗的电能。

低碳经济： 一种基于低碳能源、因此对生物圈的GHG排放极低的经济，但碳具体是指CO₂。

兆瓦(MW)： 兆瓦：一种电能度量单位，等于100千瓦。1MW大约等于10个汽车发动机产生的能量。

兆瓦时(MWh)： 兆瓦时：一种能量度量单位，等于功率为100千瓦的电器工作1小时所消耗的电能。

兆瓦峰值输出(MWp)： 兆瓦峰值输出：一种针对光伏发电装置或设施的最大输出的度量标准。

44 联合国政府间气候变化专门委员会，第五次评估报告(AR5)，http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

原始黄金供应：指来自开采过程的黄金供应。就本报告而言，原始黄金开采过程被分为四大活动：

- 开采：使用爆炸物和重型机械，将含有黄金的矿石从地下挖掘出来的过程
- 研磨：将矿石研磨成小颗粒，以提高萃取速度。
- 浓缩和熔炼：通过化学浸析将黄金与压碎的矿石分离，再使用高温提纯成冶炼金条（含金量为60-90%）
- 精炼：提纯成24克拉黄金的最后一步。

纳米技术：对包含微粒的材料的研究和应用。微粒处于游离或聚合状态或呈团块状，50%或以上的微粒的粒径分布均匀，1个或多个外部尺寸处于1-100nm（纳米）之间。

回收：通过重新精炼来回收黄金的过程。回收金主要来自金饰行业，满足了25-30%的黄金需求。

可再生能源：人类有生之年可以持续不断地可以从自然过程中获取到的能量来源。此类可再生资源包括阳光、风、雨、潮汐、波浪和地热。

联合国可持续发展目标：联合国可持续发展目标（SDG），又称“全球目标”，是一种普世性的终结贫困、保护地球、确保全人类享受和平与繁荣的行动呼吁。

版权和其他权利

© 2018 世界黄金协会保留所有权利。世界黄金协会和环形是世界黄金协会及其附属机构的商标。

对伦敦金银市场协会黄金价格(LBMA Gold Price)的引用已获得洲际交易所基准管理机构的许可，仅供参考之用。洲际交易所基准管理机构不对这些价格的准确性，或者这些价格所对应的产品负有任何责任。其他第三方内容是各个第三方的知识财产，由各个第三方保留所有权利。

未经世界黄金协会或相关版权所有者的事先书面同意，严禁复制或再分发任何内容，但符合下述规定的除外。

允许根据公平行业实践，将本文的统计数据用于评论目的（包括媒体评论），但必须符合以下两个前提条件：(i) 仅允许使用有限的的数据或分析摘录；(ii) 使用这些统计数据必须注明来自世界黄金协会，并在必要时注明来自汤森路透或其他明确的第三方来源。

世界黄金协会不保证任何信息的准确性和完整性。对于使用本文件而造成的直接或间接损失或损害，世界黄金协会不承担任何责任。

本文所含信息不构成且不可解释为构成购买或销售黄金、任何黄金相关产品或服务或任何其他产品、服务、证券或金融工具（统称“服务”）的建议或要约。在做出任何与服务或投资有关的决定前，投资者应与合适的投资专业人士讨论自身情况。

本文件包含前瞻性陈述，例如使用“认为”、“预计”、“可能”、“暗示”或类似词语的陈述。这些前瞻性陈述是基于当前预期，可能会作修改。前瞻性陈述包括一系列风险和不确定性。无法保证任何前瞻性陈述会成为现实。我们不承担更新任何前瞻性陈述的责任。



用于生产这种纸的纸浆不含元素氯 (ECF)。

造纸厂和印刷厂均通过 ISO14001 环保标准认证。

世界黄金协会
10 Old Bailey, London EC4M 7NG
United Kingdom

电话: +44 20 7826 4700

传真: +44 20 7826 4799

网站: www.gold.org