



Views & Comments

联合国可持续发展目标——技术不确定性背景下的长期项目

Fred Phillips

University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131, USA

1. 引言

由全球15 000名科学家发布的第二封《致人类警告信》(Warning to Humanity) [1]、“令人失望的”(disappointing) COP25会议(《联合国气候变化框架公约》第二十五次缔约方会议) [2]，以及“形势严峻的”(grim) 联合国报告 [3] 均表明，地球环境能够维持人类生存的时间将比物理学家Stephen Hawking所预言的200年要短得多。

本文旨在敦促工程师将项目管理经验以及技术能力投入到最能拯救人类的工作当中去。本文主要描述了联合国可持续发展目标(SDG)项目的独有特征，并将其与粒子物理学家在不确定性下开展的长期项目进行了比较，提出了一些值得工程学家与政策制定者关注的重点问题，同时还介绍了一个旨在攻克技术问题的开放科学程序。

2. 联合国可持续发展目标——好消息与坏消息

联合国制定了17个可持续发展目标，其中169个子目标被称为“targets”。与之前被普遍认为是由“自上而下”的权威机构所制定的千年发展目标(Millennium Development Goals)不同，可持续发展目标是从涉及多个地区的大范围的访谈中提炼而成。

人们就目标的内容以及2030年的目标完成期限已经达成了广泛共识。然而，关于如何实现可持续发展目标目前尚无定论。此外，人们普遍认同的是，使用当今的

技术也无法实现可持续发展目标。未来，在减少废物、净化排放、回收利用、地球工程、生态系统恢复、清洁技术和能源效率等方面的创新将对人类产生重大影响，并且对实现可持续发展目标至关重要。

一些工程项目耗时多年，有的甚至超过10年的时间。它们的成功完成取决于项目启动之日尚不存在的技术。如果实现该项目的主要设计所需的技术迟迟没有出现，那么管理此类项目的关键则在于灵活多变，即随时灵活调整项目计划或启动备用设计方案。而至于技术本身，项目负责人必须决定是被动地等待所需进展还是主动地支持、参与其发展。以可持续发展目标项目为例的技术在不确定性条件下开展的项目与在固定技术下进行的传统短期产品开发的项目有很大的不同。

实际上，距实现可持续发展目标仅剩10年，欧盟进一步承诺到2050年实现CO₂的“净零排放”。*The Economist* [4]指出，为实现后一个目标，人类将需要采用“创造性的新技术”对CO₂进行回收。

在通往2030年和2050年的道路上，绿色技术、生产成本和资金来源、生产者和消费者的接受程度以及许多其他社会、政治和人道主义因素，都存在着不确定性。

3. 技术不确定性下的长期项目——如何实现可持续发展目标，如建造下一代粒子加速器或探测器？

从事“原子粉碎”(atom smashing)和太空粒子探测工作的物理学家所面临的项目困难，与我们在实现可

持续发展目标时所面临的困难非常相似。本节列举了对上述项目具有指导意义的异同点。

首先，在构建下一代粒子加速器和实现可持续发展目标之间存在明显的相似之处。粒子物理设施的规划与建设需要花费很长时间。例如，欧洲核子研究组织（法语：Conseil Européenn pour la Recherche Nucléaire；英语：European Organization for Nuclear Research）所计划的未来环形对撞机（FCC）项目将至少需要30年的时间才能完成[5]。Lucibella [6]写道：“这样一个庞大的项目，面临着各种技术、经济和政治挑战，有些挑战相对容易克服，有些则较难。”我们可以将它同实现可持续发展目标所需的10年时间（乐观地讲）进行比较，后者也面临着类似的挑战。

与气候变化倡议相同，设计下一代粒子加速器或地下粒子探测器也是一项需跨国协作的工作。Gilchriese等[7]提到，在加拿大、中国、西班牙、美国、日本、法国、印度和意大利均建设有当代探测器开发项目的合作站点。

粒子物理开发项目以及可持续发展目标项目均涉及多个组成类别。对于可持续发展目标项目而言，它涉及受气候变化影响的所有人口、政府和企业。对于周长为100 km的未来环形对撞机而言，则需要考虑土地所有者、考古学家、建设公司、政府资助机构、仪器开发商和多个领域的物理学家的综合意见。文献[8]中提到：“由欧洲核子研究组织主持的未来环形对撞机研究是由135个研究机构和大学以及来自世界各地的25个行业合作伙伴共同参与的国际合作。”

上文已经简述了对于环境问题进行补救的至关重要的未来技术。对于粒子探测而言，“下一代暗物质和粒子衰变实验需要其探测器、靶材以及屏蔽材料均达到前所未有的放射纯度水平，部分灵敏度极高的实验需要在高纯锗（HPGe）探测器 γ 射线光谱仪中进行”[7]。对于加速器而言，“工程挑战包括为巨型粒子加速器的储存环设计足够强的磁铁、容纳由粒子束发射的同步加速器辐射，以及推断未来20年的计算机技术的发展”[6]（另见参考文献[9]）。如果这些技术未能在项目规划范围内实现，那么粒子检测设施的建造将毫无意义。

这两种项目的成本都极高，未来环形对撞机将最终耗资240亿欧元[5,10]，而这与可持续发展目标项目可能消耗的数万亿美元相比，只能算是“小巫见大巫”。

上述两种项目的资金不确定性也很高。物理学家担心，执政者对于项目无法保持30年的兴趣并持续进行投资，对他们而言，这很可能就是个无底洞。对项目成功

至关重要的专业人员可能会辞职、退休、死亡或投身到更能立即获得回报的项目当中去。从可持续发展目标项目来看，商业经济体的激励是不当的，其倾向于支持环境污染而不是对环境补救进行支出。

物理学家与环保主义者都在各自的项目要素之间进行权衡取舍与协同。Gilchriese等[7]指出，粒子探测器可能“与核不扩散运动具有协同作用”，并且“为中微子物理学所建设的大型地下探测器亦可被用于重子数反常（baryon number violation）的相关研究”。相较于其他设计，加速器或检测器的每种设计替代方案均有特定的优势以及相应的短板。一个关于项目要素“权衡”的具体实例是“下一代（吨级）无中微子双 β 衰变实验可能面临着G2/G3规模的暗物质对于空间的竞争”[7]。本文的下一节将重点关注可持续发展目标项目中与之类似的取舍和协同作用。

理想的组织结构对于可持续发展目标项目以及粒子物理学项目而言也同样是一个挑战。“将现有的地下设施全部部署在一个伞状组织当中，可以更好地提高美国的测定能力”[7]。实现可持续发展目标的重要组织（虽然目前还不能实现高效协作）包括地方政府、企业圆桌会议、世界经济论坛以及《巴黎协定》（Paris Accords）的签署国。可持续发展目标项目没有一个特定的项目经理，而是否应当设置该项目经理目前也尚无定论。

最后，可持续发展目标项目与加速器项目相似的是，它们甚至都可能使人类的生存出现问题。物理学家曾考虑过，用于寻找希格斯玻色子的大型强子对撞机是否带有产生一个吞噬地球的黑洞的风险[11]，但最终，学者们认为不会存在这一风险，事后看来，也确实是这样。

可持续发展目标项目与粒子研究计划之间的相似性令人惊讶。尽管如此，两者还是有着显著的区别。差异之一在于设计备用方案的思路。“未来环形对撞机的最终设计与设计紧凑型线性对撞机或CLIC的并行工作背道而驰。”Lucibella指出[6]，“一旦两个设计都完成，欧洲核子研究组织只会从中选择一个。”同样，如Gilchriese等[7]所言，“吨级 $0\nu\beta\beta$ 实验的地下深度要求取决于相应技术的选择，因此目前还不完全清楚。”

尽管人们会说我们只有一个星球，因此没有其他的设计方案可供选择，但我们的星球的确存在地理与文化的多样性。这使得这些实验成为可能。Phillips等[12]阐明了该类实验的哲学基础。本文稍后将探讨其实际含义。

与粒子物理相关的所需技术大部分均已得到充分定义，只需在工程水平与生产技术方面不断提升。而对于可持续发展目标项目而言，尽管我们可以提出问题，但我们并不知道将来有哪些特定的技术可以回答这些问题，我们希望实现根本性的科学突破。

加速器的设计将在明确的操作规范指导下开展，同时将具有明确的科学目标（在某种程度上还附加政治或国防利益）。然而对于可持续发展目标而言，尽管我们已经提出了一定的进度指标，但其定义仍然模糊不清。可持续发展目标项目涵盖了社会、经济、环境和政治目标的方方面面。

为实现可持续发展的环境目标而采取的任何措施都将对一些根深蒂固的既得利益造成经济损害。对于未来环形对撞机研究计划的反对声音一方面来自科学家，因为它可能无法为物理学开拓足够的新视野，而另一方面则来自民众，因为他们认为应当在社会项目上进行更多的花费。表1对可持续发展目标项目和粒子项目进行了比较。

技术路线图是针对尚未出现的技术的常用项目规划工具[13]，但似乎并不适用于可持续发展目标的项目，因为该项目涉及多个地位相同但情况与开展计划各不相同的利益相关方，除此之外，还涉及许多尚未实现的技术。然而，我们制定了“未来高能物理项目的10年路线图”[6]。

4. 对可持续发展目标项目的建议

Gilchriese等[7]提出，识别粒子探测器的“夹点”

(pinch point, 其使用的术语)。这些都是“全球有限的测定基础设施，同时也是未来G3暗物质实验的空间，可以探测不可还原的中微子背景”。需要注意的是，这些“夹点”不是未来的技术，也不是可以快速获得的任何金额的资源。

可持续发展目标的要点包括改变政治家和商人的思想和心理，以及农业、消费和其他的人群习惯。然而，更适合工程解决方案的是在可持续发展目标的权衡中所表示出的“夹点”。

现在有大量文献详细叙述了可持续发展目标之间的协同效应和权衡，尽管文献对如何处理这些目标几乎没有提供多少建议。Lusseau和Mancini [14]的 +/- 交互的映射显示出令人高兴的结果，提示大多数对联交互具有积极性质，即当朝着目标x取得进展时也会推进目标y。然而，有相当一部分相互作用是负面的。在后一种折中方案中，有些是本地的——A地的工作越多意味着A的污染就越多——而另一些则是非本地的。例如，在位置A的学校（推进SDG 4，“素质教育”）使用的信息技术越多，就意味着地球另一端会有越多的童工（设置SDG 8，“体面工作”），因为众所周知，童工挖掘电子平板电脑中使用的金属[15]。

5. 地理和文化多样性

在消除饥饿（T2.1）和能源生产的目标之间可能会有一些取舍，特别是在依赖生物燃料扩大能源获取的国家（T7.1、T7.2）。创新和可持续的农业做法有助于提高农业生产力（T2.3），并产生可

表1 可持续发展目标项目与粒子项目的比较

Dimension	SDG project	Current collider/detector projects
Time span	Ten years SDG target; 30 years decarbonization target	30 years (estimated)
Cost	Trillions of USD	24 billion EUR
Geography of participants	Global	International
Constituents	Everyone	Varied professionals and institutions
Technology requirements	Not yet developed; mostly unspecified	Not yet developed; mostly specified
Funding prospects	Not known where the money will come from	Government-funded, but continuity of funding is uncertain
Subject to trade-offs and synergies among project elements	Yes	Yes
Organizational structure	Currently completely decentralized	Possibly trending toward centralization
Alternate designs?	No	Yes
Goals	Social, environmental; economic; Ill-defined, ambiguous; controversial	Technical, political, scientific, military; controversial

再生能源 (T7.2)。例如，在斯里兰卡，用椰子杂交的 *Gliricidia*（一种生长迅速的固氮豆类树）的做法正在大幅度提高农业产量，并提供可持续的生物能源原料。[16]

在上述摘录中，Mainali等[16]确定了斯里兰卡的可持续发展目标权衡方案（使用T7.1表示SDG 7下的第一个目标）。他们表明，通过改变农业生产方式有效减少了权衡。他们暗示，同样的解决方案可能对世界其他地区有帮助，因为那里的气候、土壤条件和饮食习惯都允许这样做。

围绕本地可持续发展目标的权衡，我们可能会问：在所有可持续发展目标的权衡中，本地人究竟占多大比例？一种特定的权衡实际上是多个本地人的权衡吗？也就是说，这种权衡在全世界大部分地区都适用吗？如果是的话，它是否在一些地方是不成立的，或权衡的幅度较小？如果发现这种权衡其实是异常情况（如上例中的斯里兰卡），那么为什么存在异常？是因为当地的地理条件，还是当地的人类活动？如果能够查明异常区域的因果关系或做法，这种关系或做法是否可以扩展到其他区域，以减缓全球气候变化？

我目前正领导着一个美国-欧洲-中国研究联盟，希望能回答这些问题。该联盟目前由中国科学院、新墨西哥大学和欧洲的OKRE天文台组成。概念验证阶段将使用文本挖掘和机器学习工具来识别和尝试解释上面所定义的“异常”。我们希望通过一个更全面的项目来进一步开发人工智能工具，并辅之以全球人类信息网络——由参加可持续发展目标研究的学生以及土著居民组成——利用异常情况尽量减少可持续发展目标的权衡。

6. 技术预测

假设一个矩阵，利用其中的条目表示当前测量的可持续发展目标之间的相互作用的幅度（正、负、零或未知震级）。同时考虑logistic（或类似sigmoidal）曲线，该曲线代表了与特定可持续发展目标权衡对相关的技术领域中专利（或其他进步指标）的增长。曲线的参数可能表示技术进步的快或慢，但在任何情况下，都会在每个后续时间段内改变交互矩阵。

在S曲线参数的定位范围内，我们可以从理论的角度提出问题：迭代是否会收敛到没有负项的矩阵？可持续发展目标是否会及时实现？如果不是，矩阵结构的哪

些方面阻碍了及时收敛？

在回答了这些问题之后，我们可以着手实际的实施、监测和有选择地鼓励“减少消极的可持续发展目标之间的相互作用的技术”（TRNI）。

7. 工程和政策影响

本文通过将可持续发展目标的工作与粒子物理设施规划进行比较，强调了实现可持续发展目标的“项目”的特点，这些特点突出表现在成本高、时间跨度长和技术不确定性上。可持续发展目标的研究人员和决策者最好与“以前做过这种事”的物理学家进行交谈。

本文接着提出了一个实施可持续发展目标项目的高杠杆策略，即关注可持续发展目标之间的权衡。资源无法同时被用于所有可持续发展目标，但必须从某处开始实现这些目标。由于可持续发展目标是通过与多个组成群体的对话制定的，并且每个可持续发展目标对其中至少一些群体是至关重要的，因此可持续发展目标的任何任意优先级工作都会遇到组成者的抵制。首先关注最严重的权衡是有科学依据的，因此可能更容易为所有利益攸关方所接受。

“可持续发展目标3和12被确定为121个国家中的最佳的权衡对”[17]。由于世界上大约有200个国家，这一声明意味着，在其中约80个国家中，可持续发展目标3和12的权衡较少。这意味着正如我所定义的，异常现象确实存在。发现和解释这些异常现象对于工程、人工智能、农学、人类学和其他学科的研究至关重要。

当可持续发展目标 x 显示出与可持续发展目标 y 的负交互作用时，通过专利的增长来预测 x - y 的TRNI似乎是明智的，这些关键字与这两种可持续发展目标相关。这是一个信号，表明围绕此类专利的工程工作会对可持续发展目标的实现产生实际的影响。

从政策角度来看，本文的逻辑意味着一个国家或一个省不应将单一的可持续发展目标作为一项关键战略，或过于专注于其在减少碳排放上“国家制定的目标”[18]，因为这样做会忽略对其他目标可能产生的负面影响。相反，至少应该在政策上同样强调减少可持续发展目标的取舍（当然，还要加强可持续发展目标的协同作用）。

紧急TRNI应享有政策优先权，每个负责任的政府都首选它们并提供补贴或奖励。

拯救地球应该比优先发布专利更重要。因此，我们欢迎以开放科学的形式分享思想、数据、部分结果和协作。出于这个目的，不久一个网站将会上线。同时，有兴趣的合作者可以通过邮箱 phillipsf@unm.edu 与我联系。

Acknowledgements

This work was supported by grants from Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research (IG-SNRR; Chinese Academy of Sciences), OKRE Observatory, and the Anderson School of Management at the University of New Mexico. The author thanks Pablo Garcia Tello of CERN for bringing to his attention the analogy to planning next-generation accelerators.

References

- [1] Ripple WJ, Wolf C, Newsome TM, Barnard P, Moomaw WR, Alonso JLB. World scientists' warning of a climate emergency. *Bioscience* 2020;70(1):8–12.
- [2] Gaulkin T. COP25 climate change meeting gets global thumbs down [Internet]. Chicago: Bulletin of the Atomic Scientists 2019 Dec 16 [cited 2019 Dec 22]. Available from: <https://thebulletin.org/2019/12/cop25-climate-changemeeting-gets-global-thumbs-down/>.
- [3] Dennis B. In bleak report, U.N. says drastic action is only way to avoid worst effects of climate change [Internet]. Washington, DC: Washington Post; 2019 Nov 26 [cited 2019 Dec 23]. Available from: <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2019/11/26/bleak-report-un-saysdrastic-action-is-only-way-avoid-worst-impacts-climate-change/>.
- [4] The Economist. Climate change: reverse gear. London: The Economist; 2019.
- [5] McRae M. CERN just revealed plans for a new particle accelerator, and it's monstrously huge [Internet]. ScienceAlert; 2019 Jan 16 [cited 2019 Dec 22]. Available from: <https://www.sciencealert.com/cern-has-just-described-next-gen-particle-smasher-and-it-s-a-monster>.
- [6] Lucibella M. Particle physicists gather to plan next accelerator [Internet]. College Park: APS News; 2015 Apr 1 [cited 2019 Dec 22]. Available from: <https://www.aps.org/publications/apsnews/updates/accelerator.cfm>.
- [7] Gilchriese MG, Cushman P, Heeger KM, Klein J, Scholberg K, Sobel HW, et al. Underground laboratory capabilities. In: Bernstein RH, Graf N, McBride P, Peskin ME, Rosner JL, Varelas N, et al, editors. Planning the future of U.S. particle physics (Snowmass 2013). 2014. arXiv:1401.6115.
- [8] Benedikt M, Zimmermann F. The future circular collider study [Internet]. Bristol: CERN Courier; 2014 Mar 28 [cited 2019 Dec 22]. Available from: <https://cerncourier.com/a/the-future-circular-collider-study/>.
- [9] Barletta W, Battaglia M, Klute M, Mangano M, Prestemon S, Rossi L, et al. Future hadron colliders: from physics perspectives to technology R&D. *Nucl Instrum Methods Phys Res Sect A* 2014;764:352–68.
- [10] Castelvecchi D. Next-generation LHC: CERN lays out plans for €21-billion supercollider. *Nature* 2019;565:410.
- [11] Siegel E. Could the large hadron collider make an Earth-killing black hole? [Internet]. Jersey City: Forbes; 2016 Mar 11 [cited 2019 Dec 22]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2016/03/11/could-the-lhc-make-an-earth-killing-black-hole/#4f68cfd2ed5>.
- [12] Phillips F, Lin H, Schifter T, Folse N. Augmented popperian experiments: a framework for sustainability knowledge development across contexts. *Eur J Int. Forthcoming* 2020.
- [13] Daim TU, Oliver T. Implementing technology roadmap process in the energy services sector: a case study of a government agency. *Technol Forecasting Soc Change* 2008;75(5):687–720.
- [14] Lusseau D, Mancini F. Income-based variation in Sustainable Development Goal interaction networks. *Nat Sustainability* 2019;2(3):242–7.
- [15] Amnesty International. Exposed: child labour behind smart phone and electric car batteries [Internet]. London: Amnesty International; 2016 Jan 19 [cited 2019 Dec 22]. Available from: <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2016/01/child-labour-behind-smart-phone-and-electric-car-batteries/>.
- [16] Mainali B, Luukkanen J, Silveira SDC, Kaivo-Oja JRL. Evaluating synergies and trade-offs among Sustainable Development Goals (SDGs): explorative analyses of development paths in South Asia and Sub-Saharan Africa. *Sustainability* 2018;10(3):815.
- [17] Pradhan P, Costa L, Rybski D, LuchtW, Kropp JP. A systematic study of Sustainable Development Goal (SDG) interactions. *Earth's Future* 2017;5(11):1169–79.
- [18] Yeo S. Explainer: what are 'intended nationally determined contributions'? [Internet]. London: Carbon Brief; 2015 Mar 31 [cited 2019 Dec 22]. Available from: <https://www.carbonbrief.org/explainer-what-are-intended-nationally-determined-contributions>.