|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 天气气候水 | **世界气象组织****观测、基础设施和信息系统委员会****第二次届会**2022年10月24至28日，日内瓦 | **INFCOM-2/INF. 6.2（5）** |
| 提交者：SC-MINT主席2022.10.13 |

*[为向您提供便利，本文件采用机器翻译和翻译记忆技术进行了翻译。WMO已在合理范围内做了努力，以提高其生成的译文的质量，但WMO不对其准确性、可靠性或正确性作任何明示或隐含的保证。将原始文件的内容翻译为中文时可能出现的任何歧义或差异均不具约束力，也不具遵守、执行或任何其他目的法律效力。由于系统的技术限制，某些内容（如图像）可能无法翻译。若对译文中所含信息的准确性有任何疑问，请参考英文原件，这是该文件的正式版本。]*

## 辐射基准

## SC-MINT辐射基准专家组的报告

## 关于太阳辐射和地面辐射基准变化需要满足的条件的建议

### 摘要

对于太阳辐射和陆地（红外）辐射提出了新的主要基准。在这两种情况下，它们都会提高对SI的可溯源性，并可降低不确定性。然而，在两种情况下，它们都会造成关于当前基准不确定性大小的变化。太阳辐射的尺度变化相对较小，但对于陆地辐射，尺度变化的大小是相应的。

ET-RR的主要建议是为满足某些条件的太阳和地面辐射引入新的参考文献。对于太阳辐射，这些是（1）拟议的新一次太阳辐射基准应加以描述，其不确定性预算发表在经同行评审的出版物中：（2） 必须在NMI与NMI的另一个冰冻辐射表进行双边比对，以便对光谱敏感度进行CMC;（3） 作为主要传递标准，继续使用一组环境温度空腔辐射计：（4）可用于修正可溯源到当前基准的资料，以便与新的参考标准保持一致。对于陆地辐射，这些是（1）新基准必须具有对SI的可溯源性（例如CMC建立），且必须记录在具有不确定性预算的科学文献中：（2） 作为主要传递标准，一组基准地球辐射表继续运行：（3） 可用于修正可溯源到当前基准的测量数据，以便与新的参考标准保持一致：（4）BSRN台站的地球辐射表原始数据记录在主要的BSRN档案中。

### 太阳辐射

可能的新的太阳辐射基准

新提出的太阳辐射基准（CSAR/MITRA）旨在用对仪器物理学的认识计算与SI相关的辐照度。”目前定义世界辐射测量基准（WRR）的仪器采用同样的方法，但CSAR/MITRA包括重大技术改进和显著降低的不确定性。相对于构成世界标准组的环境温度暗箱辐射计，CSAR/MITRA的主要进展是实现可在实验室外使用的低温腔辐射计。低温腔辐射测量是一项成熟的技术，在实验室中提供SI相关基准，在CIPM Mise中被正式确定为辐射测量的首选标准（光度和辐射测量咨询委员会，2021年）。MITRA允许评估和确定与窗口传输有关的不确定性，这是低温操作所必需的。与当前的世界灾害测量基准（WRR）与CSAR之间的比较表明，世界灾害测量基准比SI尺度高出约0.3%。这与早期对低温辐射计和世界辐射测量基准之间辐射功率的比较一致，也与部署在空间的仪器最近的测量结果之间是一致的。

与可能的新太阳辐射基准相关的已知问题/局限性

只有一台仪器被推荐为太阳辐射的新基准，它存在内在风险。首先最好有第二台相同设计（CSAR）的仪器，以确保在发生故障时可提供主要基准。其次，由于是计量良好做法，具有一个（或更多）不同设计的仪器可用于确认CSAR/MITRA的测量，因为它是计量良好做法，以便有一个以上的独立实现基准。为了带来真正的益处，这种其它实现应该是真正独立的，并具有可比性的不确定性，并明确界定所测试的实现要素。目前，唯一的技术能够提供与CSAR/MITRA相当的不确定性的太阳辐射基准是低温腔辐射测量，对不确定性有有限的变化，并且对不确定性产生实际影响。预计主要资料为影响衍射和散射的窗口透射率和孔径区域。然而，此类发展意味着多年项目全面描述新的太阳辐射基准并建立其不确定性。鉴于已确定的对太阳辐射基准的更新需求，这种长时间延迟是不能接受的。鉴于在开发外场能力低温绝对暗箱辐射计的技术成熟，ET-RR认为在没有等待完成此类项目的情况下，继续承担太阳辐射基准变化的风险是可以接受的。此外，用作传输标准的环境温度空腔辐射计组将在主基准出现故障的情况下提供临时备份。

为了在新的拟议太阳辐射基准和外场辐射计之间提供一组业务主要传输标准，需要继续使用一组环境腔辐射计（类似于当前的世界标准组辐射计）。然而，构成世界标准组的一些辐射计在过去几年经历了技术故障，这与多数仪器运行的几十年有关。如果仅考虑近年来探测到的问题/故障的WSG辐射计，则目前对构成世界标准组的辐射仪数量的需求将不再满足。除了目前已对构成世界标准组的辐射计的维护外，还应选择新的环境温度腔辐射计，以便引入世界标准组：选择此类仪器的稳定性和再现性，因为它们的溯源性将由新的太阳辐射基准得出。这样一组辐射计也应能够检测一级系统性能的任何不可预见异常，因此应是一个辅助备份，直到有与CSAR/MITRA类似的第二台仪器。

由于引入新的太阳辐射基准，预计会有0.3%的标度偏移会对气候研究产生不可忽略的影响，因为它应适用于所有的辐射测量。WMO/INFCOM应与BSRN团体合作，评估从对气候研究最为重要的数据库（BSRN、GEBA）协调历史太阳辐射时间序列的可行性。此类讨论应在2022年BSRN会议上进行。协调应将可溯源到当前世界标准组所提供基准的资料与新引入的参考标准相适应。评估后，应发布与这种协调有关的最终建议。

建议

辐射基准专家组（ET-RR）认识到：

* CSAR/MITRA辐射仪的发展已经成熟，已足够成熟，将其作为太阳辐射测量的新基准，可提供不确定性降低的太阳辐射测量对SI的可溯源性（从约0.3%到约0.01%，Walter等，2017年：Winkler，2013），提高了太阳辐射绝对值的测量精度，
* 了解开发CSAR/MITRA所需的技术足以复制具有类似性能的同一辐射计模式的其他仪器
* 低温腔辐射计（如CSAR/MITRA）操作的复杂性不允许其日常运行，因此，需要继续使用一组环境温度空腔辐射计（类似于当前的WSG）作为主要的传输标准
* 引入基于CSAR/MITRA的新太阳辐射基准以及潜在的其他低温暗箱辐射计都会带来大约0.3%的标度变化（比洋流低的新尺度）
* 由于WRR新记录了几年以来，由于WRR新记录了几年，因此引入CSAR/MITRA，可能会改进太阳辐射基准（Walter等，2017;Winkler，2013）
* 商业利益相关方在太阳辐射测量（特别是在太阳能部门）呼吁迅速引入此类新的太阳辐射基准

因此，ET-RR建议INFCOM基于由CSAR/MITRA构成的虚假虚假信号以及可能的其它低温腔辐射计，尽快引入新的太阳辐射基准，前提是满足以下四个条件：

1. 拟议的新基准仪器（CSAR/MITRA）必须加以描述并出版其不确定性预算，最好是在经同行评审的出版物中，以证明其业务性能。
2. 拟议的新太阳辐射基准仪器必须与国家计量研究院的另一台用于光谱灵敏度的CMC与另一台冰冻辐射表进行双边比对，并公布了比对结果。
3. 环境腔辐射计的标准组（类似于当前的世界标准组（WSG））必须继续作为主要的传递标准器运行。
4. 必须提供用于修正可溯源到当前世界RR的测量数据的程序，以便将[[1]](#footnote-2)历史数据序列与新的参考标准进行协调，特别是对于主要的气候时间序列。

如果没有排除太阳辐射基准的变化，ET-RR进一步建议WMO/INFCOM敦促NMI、辐射中心和研究界：

* 制定其它独立地实现太阳辐射基准，允许现场确定与CSAR/MITRA相当或更好的太阳辐射（见上文第“已知问题”一节中的第一段）
* 实现与CSAR/MITRA相同的模式设计中的第二台仪器，以减轻与仪器技术故障有关的风险（见上文第“已知问题”一节中的第一段）
* 继续研究CSAR/MITRA，进一步提高其准确性和可靠性，例如通过纳入自适应衍射校正、可交换的CSAR和MITRA窗口以及纳入暗流传感器

ET-RR建议WMO/INFCOM敦促世界辐射中心：

* 尽最大努力推动第二个CSAR/MITRA的发展，包括通过与其他机构的合作/技术转让
* 确保保持一组环境温度腔辐射计（类似于当前的WSG），使其能够继续作为业务主传输标准（达到上述主要条件2）
* 管理继续使用世界标准组（WSG）中纳入新的环境温度腔辐射计的过程（包括将新仪器纳入世界标准组的过程的定义以及对不确定性/稳定性要求的定义）

ET-RR最终建议INFCOM：

* 编写并出版一份简短的文件，解释太阳辐射基准变化的性质、相应的标度偏移及其后果，以及有关用仪器测量的、溯源到当前基准的现场资料纠正必要性和方法的指南，并倡导该文件的编写工作应附带可溯源到新基准的校准证书。

其他要求

根据太阳辐射基准的变化（基准更新），ET-RR建议在可溯源到新基准的标定证书中加以描述，包括关于可溯源到先前基准的证书如何与可溯源到新参考的证书进行比较（见上面“建议”一节的最后一点）。

### 陆地辐射

可能的新的陆地辐射基准

新建议的基准方法主要是开发一种方法，可以将新的红外辐射计（例如IRIS、ACP）与SI联系起来。这种新的红外辐射计主要旨在无窗设计，具有均匀的光谱响应，从而将与黑体源传输至大气长波谱测量相联系的光谱不匹配误差降至最低。这种辐射计通常以黑体为特征，辐射标定中心（PMOD/WRC，黑体BB2007）。BB2007年EMPIR METEOC 3和4个项目以及国家计量院（PTB）的黑体最近通过的双边比对，它与使用不同仪器（IRIS、地球辐射表和专用辐射温度计）与SI辐射温标相联系，为BB2007提供了一条独立的可溯源性路径，并验证了其可溯源性。

与可能的新陆地辐射基准相关的已知问题/局限性

如果在不认真地实施变化的情况下，预计在采用新的陆地辐照度基准的情况下，预计尺度变化会对陆地辐照度趋势分析产生潜在显著影响，更普遍的是气候研究[[2]](#footnote-3)。测量的确切影响尚未精确地确定，因为它取决于测量地点的气候学（主要是云气候学，见下一段）。尽管在泰丁顿会议（2017年11月15-17日）确定的陆地辐照度的不确定性范围内估计该变化值，但后果如下，建议应解决这一问题。这些建议应能够减轻规模转变产生的不利后果。它们应基于下列信息：

* 由PMOD/WRC牵头的Extrac项目的结果，旨在（i）更好地估算拟议的陆地辐射基准变化对大气辐射表测量结果的影响：（ii）制定统一历史陆地辐照度时间序列的方法
* 2022年BSRN会议的建议（参见下一段）

测量尺度偏移的后果取决于云的特征，主要是云量，以及潜在因素，例如大气综合水汽量。正因如此，很难确定标度变化对商业大气辐射表测量的地面辐照度数据产生多大的影响。同样，尚未完全确立将历史时间序列与新的参考尺度相协调的方法。关于陆地辐照度的气候研究主要是基于BSRN资料系列。因此，利用统一的再处理方法，BSRN档案进行中央再处理将是最为最佳的。2022年BSRN会议应讨论协调BSRN历史陆地辐射（到新的基准尺度）的可行性和最佳方法。此后，应详细阐述WMO/INFCOM关于协调BSRN数据库中历史陆地辐射资料的建议。

统一历史资料可能是一项耗时的任务，只有在地球辐射基准变化完成之后才能开始。这项工作的过程必须尽快确定。

建议

辐射基准专家组认识到：

* 由PMOD/WRC开发的IRIS红外辐射计测量长波辐照度，扩展的不确定度约为±2 Wm−2（Gröbner，2012）。它们利用世界辐射中心红外辐射测量室的主要黑体和PTB半球黑体与SI相关联，后者允许直接连接到PTB的辐射温标。该方法已经足够成熟，可以将其引入成为陆地辐射的新基准。
* NREL开发的绝对空腔大气辐射表（ACP）可以确定大气长波辐照度，其不确定性约为±4 Wm-2（U95），可溯源到SI（Reda等，2012）。Reda等（2012）指出，ACP为地球辐射表标定提供了绝对参考，而无需在黑体中标定ACP特征，为SI的可溯源性提供了一个独立的方法。
* 新的光谱均匀红外辐射计（IRIS和ACP）需要特定的条件并在操作期间仔细监测，因为它们无窗口。因此，需要继续使用一组基准大气辐射表（类似于当前的世界红外标准组），作为业务校准的主要传递标准。
* 根据上述方法引入新的陆地辐射基准将引入大约+5 Wm-2的标度偏移（在晴空条件下，新的2 Wm-2尺度扩展的不确定性）（高于洋流的新辐照度等级），在阴天条件下降低到零WM-2（参见上述“已知问题”章节）。

因此，ET-RR建议INFCOM根据IRIS（通过黑体特征描述与SI相联系）和ACP尽快引入新的陆地辐射基准，前提是满足以下四个条件：

1. 新的基准必须具有对SI的可溯源性，例如由批准的校准和测量能力（CMC）建立，并且必须在科学文献中记录，其性能以不确定性预算为特征。如果一个以上的新基准有资格，则新基准必须在其规定的国际比对不确定性范围内达成一致。
2. 参照大气辐射表的标准组（与当前的世界红外标准组（WISG）类似）必须继续作为主要传递标准，按照最先进的计量方法，根据最新参考标准对新基准进行更新校准。
3. 必须有用于修正可溯源到当前WISG的测量数据的程序，以便与新的参考标准保持一致，特别是对于主要的气候时间序列。
4. BSRN应使用新定义的逻辑记录LR4000对地球辐射表的原始数据（净IR信号和温度）进行强制性记录，BSRN应调查有多少台站能够为历史数据提供这一记录。

如果没有排除陆地辐射基准的变化，ET-RR进一步建议WMO/INFCOM敦促NMI、辐射中心和研究界：

* 进一步改进并描述对陆地基准提出的两种实现的认识。自IRIS和ACP制作以来十年中取得的知识必须发表在同行评审的期刊上，最好在计量领域，尤其是关于改进对这些仪器的精度及其对SI的可溯源性的认识。虽然IRIS和ACP在规定的不确定性范围内是一致的，但业界应开展进一步的研究，以减少这些不确定性，并更好地描述基准之间的差异。
* 开展更多研究，以了解在非常干燥的大气条件下（约10毫米以下的水汽）在不同大气条件下观测到的不同大气辐射表仪器（甚至相同类型）之间的差异。

ET-RR建议INFCOM敦促世界辐射中心：

* 确保保持当前的WISG，使其能够继续作为业务主要传输标准（满足上述条件1）。
* 管理将额外地球辐射表纳入WISG的过程，以确保其始终包括足够数量的地球辐射表，即使老的WISG地球辐射表出现故障。除了那些已在WISG中的模式外，应考虑将其纳入WISG。

ET-RR最终建议INFCOM：

* 与BSRN合作促进BSRN牵头的地球辐射记录的协调工作，特别是确保*有足够的资源用于*BSRN世界辐射监测中心（WRMC）和其他国际数据库中心的工作
* 编写并出版一份简短的文件，解释地球辐射基准变化的性质、相应的尺度偏移及其后果，以及有关用可溯源到当前基准的仪器测量外场资料的必要性和方法指南，并倡导该文件附带可溯源至新基准的校准证书

其他要求

根据地面辐射基准的变化（参考标准更新），ET-RR建议在可溯源到新参考的标定证书中加以描述，包括关于如何将可溯源到先前基准的证书与可溯源到新参考的证书进行比较（见上面“建议”一节的最后一点）。

引用

光度测量和辐射测量咨询委员会（2021年）。附件2：Mise en pratique对坎德拉的定义和相关反演单位，用于SI（p.5）中的光度和辐射测量量。Le Système国际单位制/国际单位制（“SI手册”）。法国，塞夫雷斯，帕维洛恩德布雷图尔尔：国际皮特斯局等 mesures。可在 <https://www.bipm.org/documents/20126/41489685/SI-App2-candela.pdf> 获取（获取日期25.02.2022）。

Gröbner，J.（2012）。用于大气长波辐照度测量的传输标准辐射计。 *麦德洛尼亚* **49**：2， S105-S111， doi：[10.1088/0026-1394/49/2/s105](https://dx.doi.org/10.1088/0026-1394/49/2/s105).

Kato， S.， F. G. Rose， D. Rutan， T. J. Thorsen， N. G. Loeb， D. Doelling， X. Huang， W. L. Smith， W. Su， and S.-H.Ham， 2018： Surface辐照度 第4.0版和地球辐射能量系统（CERES） 能量平衡和充满（EBAF）数据产品， *J. Climate*， **31**， 4501-4527 doi：[10.1175/JCLI-D-17-0523.1](https://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0523.1)。

Reda， I.， J. Jinan， Z. Scheuch， L. Hanssen， B. Wilthan， D. Myers and T. Stoffel （2012年）。测量绝对室外长波辐照度的绝对空腔辐射，可溯源到国际单位制SI。 *J. Atmos. Solar Terr. Phys.* **77**， 132-143， doi：[10.1016/j.jastp.2011.12.011](https://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2011.12.011).

Walter， B.， Winkler， R.， Graber， F.， Finsterle， W.， Fox， N.， Li， V.， and Schmutz， W. （2017）.用低温太阳绝对辐射计进行的直接太阳辐照度测量，AIP会议文集1810，080007，doi：[10.1063/1.4975538](https://dx.doi.org/10.1063/1.4975538)。

Wild，M.，2020：CMIP6气候模式中反映的全球能量平衡。 *Clim. Dyn.*， **55**，553–577，doi：[10.1007/s00382-020-05282-7](https://dx.doi.org/10.1007/s00382-020-05282-7)。

Winkler，R.（2013）。低温太阳绝对辐射计是太阳辐照度的潜在SI标准。英国伦敦大学学院博士论文。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. 统一方法代替同质化来区分对历史资料进行修正的过程，以补偿补偿尺度的变化，而通过不同的方法从呈现资料序列的同质化过程（例如统计同质化） [↑](#footnote-ref-2)
2. Wild（2020）回顾了用于IPCC AR6报告的最新的气候模式生成（CMIP6）中能量平衡的表示。在CMIP6生成中，多模式全球平均向下长波辐射与（BSRN）观测基准的最佳估算相一致。对于全天空状况，CMIP6多模式平均值现为2 Wm-2，高于根据BSRN资料推导的最佳估算值，在晴空条件下为4 Wm-2（图5和13，Wild，2020）。CMIP6多模式平均值也更高，并且与之前的一代CMIP5多模式平均值（对于全天空为4 Wm-2，晴空为3 Wm-2，模拟界对照地表观测验证气候模式，用于晴空和全天空通量）更好。长波基准变化的假设将导致整个天空约2 Wm-2的BSRN估算值出现偏移，而晴空约5 Wm-2，CMIP6多模式均值与观测基准的一致性几乎完美无缺，而CMIP5多模式平均值则来自该基准。目前还不清楚是否是显著的，还是由于个别模式在全天空和晴空向下长波辐射中都显示出不令人满意的巨大扩散情况，即使在全球平均基础上超过20 Wm-2（图5，Wild，2020）。CMIP6多模式标准偏差约为5 Wm-2。此外，长波基准变化的影响也可能很大，因为地表辐照度观测被用于卫星数据产品验证。例如，Kato等（2018）表明，卫星数据产品中月平均向下长波辐照度的平均偏差是海洋上空+1.0 Wm-2，陆地上为0.0 Wm-2。研究中使用的陆地观测主要来自BSRN站点。观测到的向下长波辐照度将受到长波参考变化的影响的程度取决于每个地点的天空状况（例如云分数或可降水水），以及每个地球辐射表是如何校准的。因此，如果没有更多信息，就难以评估这种影响。然而，高达5 Wm-2的偏差明显大于卫星产品中月平均向下长波辐照度的平均偏差。 [↑](#footnote-ref-3)