日地拉格朗日点 L1 和偏离日地连线的指向地球的日冕物质抛射可见光成像：对不一致观测的分析

理查德·A.哈里森[1], 杰基·A. 戴维斯[1], 大卫·巴恩斯[1] 和克里斯蒂安·默斯特尔 [2]

[1]RAL Space，STFC Rutherford Appleton Laboratory，Harwell Campus，Didcot OX11 0QX，英国

[2]奥地利空间天气办公室，奥地利地球圈，奥地利格拉茨 8020

通讯作者：名和姓（richard.harrison@stfc.ac.uk）

[Orcid ID：R.A. Harrison 0000-0002-0843-8045；J.A. Davies 0000-0001-9865-9281；D. Barnes 0000-0003-1137-8220；C. Mostl 0000-0001-6868-4152]

要点：

- 对 2011 年来自日地拉格朗日点 L1 和日地连线外的观测进行比较，以识别指向地球的日冕物质抛射（CME）。
- 我们展示了若干被确定为朝向地球的日冕物质抛射，其原位行星际日冕物质抛射数据一致，但未能从日地拉格朗日点 L1 数据中识别出来。
- 鉴于 2011 年在日地拉格朗日点 L1 记录到的行星际日冕物质抛射数量，不一致事件的数量令人担忧。

摘要

本文通过比较欧洲航天局/美国国家航空航天局 SOHO 和美国国家航空航天局 STEREO 航天器在日地连线上及连线外的观测，探讨日冕物质抛射（CME）观测作为空间天气预报关键输入的有效性。本文比较了 2011 年基于 L1 日冕仪图像的 CME 目录，以及基于日地连线外日冕仪和日球层成像仪（HI）观测的目录。分析发现，若干可能朝向地球的日冕物质抛射在识别方面存在不一致。目录反映了我们识别和表征日冕物质抛射的能力，因此任何差异都可能影响我们对朝向地球的日冕物质抛射的预报。我们表明，STEREO 观测到的 15 个日冕物质抛射，其估计方向与朝向地球的事件相符，但在 L1 日冕仪 CME 目录中没有对应的晕状/部分晕状事件记录。原位数据证实，其中 9 个事件在 L1 处对应着一致的行星际日冕物质抛射（ICME）。与 2011 年在 L1 记录到的行星际日冕物质抛射数量相比，此类“差异”事件的数量相当可观，这凸显了改进空间天气监测能力的必要性，尤其是纳入日地连线外观测。尽管本研究提供的证据表明，某些晕状日冕物质抛射在近地球日冕仪图像中确实不可见，但也有证据显示，从 L1 观测到的某些晕状日冕物质抛射会受到前一个日冕物质抛射残余物或多个日冕物质抛射同时存在的干扰。这凸显了：（1）从多个观测视点观测日冕物质抛射的价值；以及（2）利用日地连线外平台进行日球层成像和日冕仪成像，有助于高效识别和追踪朝向地球的事件。

通俗摘要

日冕物质抛射（CMEs）会影响人类活动和技术资产，专门的空间天气运行中心持续对其进行监测。本研究指出，从近地观测视点和日地连线以外观测视点获取的观测中，对潜在指向地球的日冕物质抛射的识别存在不一致。2011 年的一份日地连线以外的日球层成像仪目录中，近三分之一的潜在指向地球的日冕物质抛射后来被近地原位数据证实为行星际日冕物质抛射（ICMEs），但在近地日冕仪图像中并未被编入晕状或部分晕状事件。鉴于这类不一致事件的数量相对于 2011 年近地记录的行星际日冕物质抛射总数而言并不少，因此有必要了解这些不一致之处，并确保未来的空间天气监测策略能够将其纳入考量。

1 引言

空间天气预报的核心，是在可见光图像中识别和追踪日冕物质抛射（CMEs）。本文旨在比较利用位于日地连线上及其以外的仪器所获取的此类图像，识别并描述对地球造成影响的日冕物质抛射的效果。具体而言，我们通过比较业已建立的日冕物质抛射目录开展分析，因此借助了那些定期编制目录者的丰富经验，而不是自行进行识别和描述。这一点很重要，因为现有目录展现了我们利用不同平台和观测位置准确识别和描述日冕物质抛射的能力。当然，我们也注意到，不同空间仪器的日冕物质抛射目录采用了各异的编制方法和分析技术。我们选择比较的可见光日冕物质抛射目录，均获得相关仪器团队认可，并在研究界广泛使用。这些目录记录了利用美国国家航空航天局 STEREO（太阳-地球关系观测台；Kaiser et al., 2008）航天器搭载的日球层成像仪（HI）仪器（Eyles et al., 2009）和外日冕仪（COR-2；Howard et al., 2008），以及利用大型角度

光谱日冕仪（LASCO；Brueckner et al., 1995）观测到的日冕物质抛射；该仪器搭载于欧空局/美国国家航空航天局 SOHO（太阳和日球层天文台；Domingo et al., 1995）航天器上。

STEREO任务于2006年10月发射，并于2007年4月开始科学观测，其首要目标是研究日冕物质抛射从发射到1天文单位及更远距离的演化，尤其是那些朝向地球的日冕物质抛射。因此，15年多来，我们一直在日球层内侧观测日冕物质抛射。两艘STEREO航天器被送入接近1天文单位的日心轨道，其中一艘航天器（STEREO-A）运行在地球前方，另一艘航天器（STEREO-B）运行在地球后方；两艘航天器相对于日地连线每年约移动22.5^{o}。因此，STEREO能够从日地连线以外的观测视点观测日冕物质抛射。2014年，与STEREO-B航天器失去了联系，但STEREO-A仍在全面运行。

每艘 STEREO航天器都搭载了一套 SECCHI（太阳—地球连接日冕与日球层探测；Howard 等，2008年）仪器系统，包括一台极紫外成像仪、一个内日冕仪和一个外日冕仪（分别为 COR-1 和 COR-2）以及一台日冕仪。本文重点关注日冕仪和 COR-2。每台 STEREO日球层成像仪均配备两台可见光相机，称为 HI-1 和 HI-2。我们使用 HI-1A、HI-1B、HI-2A 和 HI-2B，分别表示 STEREO-A 上的 HI-1、STEREO-B 上的 HI-1、STEREO-A 上的 HI-2 和 STEREO-B 上的 HI-2（Eyles 等人，2009；Harrison等人，2008）。我们还使用 HI-A 和 HI-B，分别表示 STEREO-A 和 STEREO-B 上的 HI 相机。在标称运行期间，HI-1 和 HI-2 相机的视场均以黄道面为中心，其光轴分别与太阳中心相距 14° 和 53.7^{o} 伸长角。HI-1 和 HI-2 相机的视场直径分别为 20° 和 70°，两者能够在黄道面附近对伸长角从 4° 到 88.7^{o} 的日冕物质抛射进行成像和跟踪。每艘 STEREO航天器上的 COR-2 仪器视场范围从距太阳中心 2.5 个太阳半径延伸至 15 个太阳半径，并覆盖太阳圆面周围完整的 360° 位置角（PA）。

SOHO 航天器于 1995 年发射，现处于日地拉格朗日点 L1 轨道上。SOHO 的 LASCO 仪器由一组日冕仪组成，称为 C1、C2 和 C3。自 1997 年以来，只有 C2 和 C3 可见光日冕仪在运行，其联合视场范围从太阳中心外 1.5 个太阳半径延伸至 30 个太阳半径（C2 为 2 至 6 个太阳半径，C3 为 3.7 至 30 个太阳半径，即延伸至 7.5^{o} 伸长角），且两者均具有近乎完整的360^{o} 位置角覆盖范围。

本研究最初的设想是比较 L1 日冕物质抛射图像与 STEREO 航天器接近拉格朗日 L4 和 L5 点时拍摄的图像（分别位于地球前方 60° 和后方 60° ）。尤其需要指出的是，L5 点被认为最适用于空间天气应用。例如，欧洲航天局的 Vigil（原名 Lagrange）空间天气任务（Gibney，2017年）若获批，将驻守在 L5 点。显然，这种偏离日地连线的位置为观测朝向地球的日冕物质抛射提供了绝佳的观测视点；从近地位置观测时，日冕物质抛射从仪器遮光盘后方扩展而出，在日冕仪图像中会呈现为晕状事件，因而日冕物质抛射角宽度与速度之间容易产生歧义（Millward 等，2013年）。因此，理想情况下，我们会考察 2008年末至 2010年初秋这段时期的 STEREO 数据，因为在此期间，STEREO 航天器在其轨道上分别位于地球后方 60° +/- 10° （STEREO-B）和前方（STEREO-A）。然而，这段时期恰逢 2008—2010年太阳活动极小期，使其完全不适合研究日冕物质抛射，更不用说研究日冕物质抛射抵达地球的情况。作为折衷方案，考虑到太阳活动增加，我们选取了 2011年进行研究。2011年1月至12月期间，STEREO-A 从日地连线以西 85.6^{o} 漂移至 107.1^{o}，而 STEREO-B 从日地连线以东 90.0^{o} 漂移至 110.9^{o} 。

线。这些位置从地球的角度看位于 L4和L5之外，但确实能够对朝向地球的日冕物质抛射进行充分的偏离日地连线观测。

从2019年末到2021年末，随着 STEREO-A 再次回到距 L5 20º 以内，我们又有机会重复当前研究。不过，这段时期同样处于太阳活动低谷，而且 STEREO-B 已不再运行。

2 目录

在 HELCATS（Heliospheric Cataloguing, Analysis and Techniques Service，日球层编目、分析与技术服务）项目（www.helcats-fp7.eu）的框架下，已对 STEREO/HI 成像观测到的日冕物质抛射进行编目。该项目旨在利用多种建模技术，构建并发布日冕物质抛射和 CIR/SIR（共转/流相互作用区）目录，并通过与地面实测数据进行比较来评估这些技术的有效性。HELCATS HICAT（HI 目录；Harrison等人，2018年）是一个根据 STEREO/HI 图像对目视识别的日冕物质抛射进行编目的目录。尽管 HELCATS 项目已于2017年正式结束，HICAT 仍作为 HELCATS 目录产品集的一部分持续维护（见 HELCATS 网站上的“products”选项卡）。HICAT 列出了日冕物质抛射的观测参数，包括日冕物质抛射首次出现在日冕仪 HI-1 视场中的日期和时间、其北侧和南侧位置角范围的估计值，以及日冕物质抛射观测质量的衡量指标。

正如 Rouillard等人（2008年）和 Sheeley等人（2008年）首次展示的那样，基于广角成像的几何学原理，可以分析由单个 STEREO日球层成像仪观测到的太阳风结构的时间—延伸角剖面，从而估算其径向速度、发射时间以及在由跟踪该结构时所处位置角定义的平面内的三维传播方向。他们最初针对共转相互作用区中被携带的团块开展了分析，但这一效应后来已多次用于日冕物质抛射的分析（例如 Harrison等人，2012年；Mishra等人，2015年；Möstl等人，2014年）。

基于这种简单的几何建模方法，研究人员编制了扩展版 HELCATS 目录 HIGeoCAT（Barnes等人，2019年），其中还包含 HICAT 中大多数日冕物质抛射的运动学参数，即日冕物质抛射顶点的径向速度、估算的日冕物质抛射发射时间，以及在日心地球黄道坐标系（HEE，Heliocentric Earth Equatorial）中估算的日冕物质抛射顶点传播方向（若假定从爆发开始传播方向保持不变，则这些参数对应于估算的源区经度和纬度）；这些参数通过应用多种单航天器几何建模技术获得。研究人员通过沿固定位置角对时间—延伸角剖面进行多变量拟合来生成这些参数，该固定位置角源自对日冕物质抛射的跟踪，跟踪数据则来自由 STEREO日球层成像仪-1和日冕层成像仪-2数据生成的时间—延伸角图（J 图）。这些技术基于以下假设：日冕物质抛射具有简单的几何形态，以恒定速度从太阳沿径向传播，并在传播过程中进行自相似膨胀。用于生成 HIGeoCAT 的几何模型包括：（1）固定 Phi 拟合（FPF）技术（Kahler 和 Webb，2007年），假设日冕物质抛射呈点状形态；（2）调和平均拟合（HMF）技术（Lugaz等人，2009年），将日冕物质抛射建模为一个锚定于太阳中心的膨胀圆；以及（3）自相似膨胀拟合（SSEF）技术（Davies等人，2012年），将日冕物质抛射建模为一个向外传播并进行自相似膨胀、半宽度可在 0º（对应 FPF）与 90º（对应 HMF）之间取任意固定值的圆；在 HELCATS 中使用 30º，该方法随后称为 SSEF30（Barnes等人，2019年）。

根据每个事件的观测清晰度，HICAT 日冕物质抛射被划分为“较差”“一般”或“良好”。显然，这种分类在一定程度上带有主观性，而且

HICAT 中约 20% 的日冕物质抛射被归类为较差。这些事件不纳入 HIGeoCAT。

HIGeoCAT目录中记录了2011年由 STEREO-A 和 STEREO-B 观测到的日冕物质抛射，分别为116个和122个（相比之下，该年HICAT中分别有159个和148个）。在此期间，两艘航天器之间的夹角（航天器-太阳-航天器夹角，大致以日地连线为中心）介于175^{o} 至218^{o} 之间，且大多数 STEREO-A 和 STEREO-B 条目中的图像均由两台日冕仪仪器拍摄。事实上，对HELCATS HIJoinCAT目录（Barnes 等，2020）中所报告的116个日冕物质抛射进行目视检查后发现，该目录列出了被认为是共同事件的HI-A和HI-B日冕物质抛射；检查结果表明，其中98个同时记录在HI-A和HI-B的HIGeoCAT条目中。

HIGeoCAT中日冕物质抛射的数量在已编目的HI-A和HI-B条目之间有所不同；我们看不出两台仪器之间存在一一对应关系。HICAT中的优、良、差分类带有一定主观性。因此，例如，我们在HI-A中归为良的某个事件，在HI-B中可能被归为差（反之亦然）；后者将不会纳入HIGeoCAT。这可能与观测几何和/或汤姆孙散射几何有关。

在 LASCO 数据中识别出的日冕物质抛射被列入 CDAW（协同数据分析研讨会）日冕物质抛射目录（Gopalswamy等人，2009；https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/）。同样，CDAW目录包含首次观测时间、中心位置角和位置角宽度等观测参数，也包含速度、加速度和质量等推导信息。日冕仪的视场在径向上受到限制（相较于日冕仪的视场），不利于按照上述方式从单一观测视点的观测中推导三维信息，因此速度剖面是在天空平面中推导的（而 HIGeoCAT 的速度是日冕物质抛射顶点的径向速度）。

CDAW目录未列出估算的日冕物质抛射起始时间，但可以利用天空平面中的信息，将其反向投影至太阳边缘来推导。作为本次分析的一部分，我们估算了2011年所研究日冕物质抛射的起始时间，详情见第3节。需要指出的是，从位于日地拉格朗日点 L1 的 LASCO 观测视点来看，朝向地球的日冕物质抛射呈现为晕状日冕物质抛射，如上所述，这使得速度、角宽度和拓扑结构的判定存在歧义。

在 STEREO COR-2数据中通过目视识别的日冕物质抛射，列于约翰·霍普金斯大学应用物理实验室（APL）的目录中，网址为 http://solar.jhuapl.edu/Data-Products/COR-CME-Catalog.php（Vourlidas等人，2017年）。除了航天器标识、事件编号以及首次观测的日期和时间外，每个日冕物质抛射还按照一套既定的事件类型进行形态分类，包括磁通绳、环、喷流等。目录中还包含中心位置角、角宽度和速度等参数；不过，与CDAW目录一样，许多事件较弱，因此目录中没有这些参数的条目。对于所研究的每个事件，都会将APL目录中的条目与HIGeoCAT和CDAW中的条目进行比较。

上述目录使得比较成为可能。它们要么提供估算的日冕物质抛射起始时间，要么在假设速度恒定的情况下，使起始时间得以估算。它们还使我们能够估算日冕物质抛射在1天文单位处的到达时间，同样假设速度恒定。尽管本研究采用了此类起始时间和1天文单位处到达时间，但我们注意到，日冕仪和日球层成像观测中都有大量证据表明日冕物质抛射存在加速度（例如，Barnes 等，2020；Ravishankar 等，2020）。虽然最剧烈的加速发生在日冕中，但也有证据表明日球层中存在加速和减速，这与

背景太阳风产生的阻力影响相符。快速或缓慢的日冕物质抛射尤其如此（例如，参见Harrison等人，2012；Lugaz和Kintner，2013；Vrsnak等人，2013）。本研究所用的技术未考虑加速或减速，因为本研究旨在识别可能的关联，而非尽可能准确地比较模型预测的行星际日冕物质抛射抵达时间与记录的抵达时间。

任何基于人工识别日冕物质抛射而编制的目录都不可避免地带有主观性，CDAW、HIGeoCAT 和 APL 目录也同样如此。事件由肉眼识别。不同的观测者可能识别出不同的事件；即使识别出同一事件，也可能对其进行不同的描述。即使面对完全相同的图像，这种情况也会发生，尤其是在亮度较弱的一端。事实上，这类目录都无法被认为是完全完整的，而本研究所进行的比较有助于我们从实际操作的角度理解这一点。不过，如上所述，HICAT 在 2011 年分别收录了 STEREO-A 的 159 个和 STEREO-B 的 148 个日冕物质抛射，其中随后有 116 个和 122 个经分析后纳入 HIGeoCAT。同一时期，CDAW 目录收录了 1947 个 LASCO 日冕物质抛射，而 APL 目录列出了 1599 个 COR-2 日冕物质抛射。这些数量差异显著。其中一个原因是，尽管两台日冕仪的视场覆盖完整的一周，可观测所有位置角，但 HI-1 图像以日地连线为中心，张角约为 70 度。因此，日球层成像观测无法成像地球背向的日冕物质抛射，也无法成像纬度较高的日冕物质抛射。此外，两个日冕仪目录往往会收录许多小而弱的向外传播现象，而 HICAT 目录则仅收录位置角宽度超过 20° 的事件（Harrison等人，2018），以避免纳入大量在日球层内侧移动的团块状结构；这些结构很可能对应于 CDAW 和 APL 目录中较小、较弱的事件。在这方面，例如，CDAW 目录包含大量事件，其中大多数被标注为“极差”或“较差”。CDAW 列表中的质量分类仅限于备注栏，且文字主观多变，因此很难挑选出一组完整的优质或一般事件，与 STEREO 数据进行比较。

对于较小的事件，哪些情况算作日冕物质抛射一直存在争议；但人们通常认为是经典日冕物质抛射的“典型”环状喷发，在这三个目录中往往都很清晰。HIGeoCAT中的日冕物质抛射是指清晰的环状喷发，评级为良好或一般，即我们确信任何观测者都会将其识别为日冕物质抛射的事件。

3 2011年日冕物质抛射分析：概述

长期研究STEREO观测到的朝向地球的日冕物质抛射的日冕仪和日球层成像，会因该任务的构型不断漂移而变得复杂。本文的分析基于STEREO-A的HIGeoCAT目录，以确定感兴趣的事件；随后，我们考察来自另一台STEREO航天器（具体而言是HI-B和COR）的观测，以及相关的SOHO数据。

对于2011年的116个HIGeoCAT HI-A日冕物质抛射，我们尝试找出与之对应的CDAW LASCO记录。我们通过比较日冕物质抛射的估计起始时间和位置来进行判断。虽然CDAW提供了日冕中日冕物质抛射的中心位置角，但源区可能位于日面上的任何位置（近侧或远侧），沿着投影轨迹线，从轨迹穿过日缘的位置（从SOHO观测的视角）一直到太阳中心。当然，这忽略了近太阳偏转。对于速度为350–400 km/s的日冕物质抛射，

这意味着，如果假设日冕物质抛射起始于日缘，那么其起始时间可能比实际起始时间晚~30 分钟，即使假设速度恒定（也就是说没有初始加速度）。类似地，CDAW目录中列出的晕状／部分晕状事件的日冕物质抛射速度，是天空平面上观测到的前沿速度，与日冕物质抛射顶点的速度几乎没有关系。

HIGeoCAT 日冕物质抛射的起始时间实际上是日冕物质抛射伸长角为零度（即太阳中心）时的时间，因为多变量拟合输出的就是这一时间。在本研究中，我们使用输出的径向速度修正 HIGeoCAT 起始时间，使其对应日冕物质抛射穿过一个太阳半径时的时间。修正起始时间无需假设日冕物质抛射在天空平面内传播。主要误差来自日冕物质抛射顶点追踪的不确定性（几何拟合正是应用于此），以及拟合中采用的错误假设（即速度和方向恒定，且形态自相似膨胀）。后两项假设在生成 CDAW 日冕物质抛射目录时也同样采用（日冕物质抛射被假定为点源，并在天空平面内传播）。

当然，假设日冕物质抛射在轨迹早期以恒定速度运动并不准确，但要识别加速度，乃至减速度，尤其是在日冕仪视场被遮挡的区域内，是很困难的。不过，这里的目的仅仅是识别日球层观测和日冕图像中可能相关联的事件。因此，尽管我们承认推导起始时间存在不确定性，也不指望同一事件的 LASCO 和日冕仪起始时间估计值能相差不到几分钟，但我们认为，通过设定适当的时间窗口，可以客观地关联 LASCO 和日冕仪事件。在本分析中，如果 CDAW 日冕物质抛射的起始时间与 SSEF30 模型给出的 HI-A 起始时间（已修正为 1 个太阳半径）相差在 +/- 2 小时以内，我们就将该日冕物质抛射视为 CDAW 与 HIGeoCAT 目录中的共同事件。我们认为这足以涵盖大多数不确定性，因此能够捕捉到同一日冕物质抛射的大多数相关观测。除非另有说明，本文其余部分所述的所有日冕仪起始时间和抵达地球时间，均为 SSEF30技术推导的结果。

4 候选朝向地球的日冕物质抛射的筛选

2011 年的 116 个 HIGeoCAT HI-A日冕物质抛射中，79%（92 个日冕物质抛射）在其起始时间前后 +/- 2 小时内，都有对应的 CDAW LASCO 日冕物质抛射。116 个日冕物质抛射中，约 30% （ 35 个）的 CDAW 晕状或部分晕状日冕物质抛射起始时间在前后 +/- 2 小时内。将时间窗口扩大到前后 +/- 3 小时后，这一比例升至 37%（43 个）。这表明，许多可能朝向地球的日冕物质抛射，都能通过日地连线上的图像和偏离日地连线的图像轻易识别。

HIGeoCAT 日冕物质抛射的源位置，是根据 SSEF30 推导出的日冕物质抛射顶点经度和纬度推断得出的，并假设日冕物质抛射从发射到到达日冕仪观测高度期间没有发生偏转。HELCATS 网站上的经度和纬度采用 HEEQ（日心地球赤道坐标系）坐标表示（Thompson，2006年）。要考虑可能朝向地球的日冕物质抛射，可以将太阳圆面上面向地球的区域定义为以太阳圆面中心为中心的区域。使用 HEE（日心地球黄道坐标系）坐标可以对该区域进行最佳定义（Thompson，2006年）。因此，在 HEE 坐标系中，我们将目标区定义为：沿黄道面，以黄道与太阳中央子午线交点为中心，向东、西各延伸 +/- 20° ；并以太阳圆面上正对地球的点为中心，向北、南各延伸 +/- 20° 。

如果我们认为，来自目标区内假定源区的日冕物质抛射很可能撞击地球，那么 116 次日冕物质抛射中有 28 次（24%）将是指向地球的。如此定义目标区在一定程度上带有任意性。来自源区、规模较大的日冕物质抛射

即使源区位于该区域之外，仍可能撞击地球；而来自该范围边缘附近源区的小型日冕物质抛射则仍可能与地球擦肩而过。此外，我们注意到，使用 SSEF30 方法估算日冕物质抛射源位置可能存在不确定性。不过，我们只是希望筛选出一组可能撞击地球的日冕物质抛射，并认为所定义的 +/- 20º 区域能够帮助我们找到这样一组日冕物质抛射。

在推断源区位于目标区内的28个HIGeoCAT HI-A日冕物质抛射中，只有一个没有对应的CDAW日冕物质抛射起始时间（最近的CDAW日冕物质抛射的投影起始时间比HIGeoCAT事件起始时间早约7.5小时）。对于28个HIGeoCAT日冕物质抛射中的13个，CDAW报告了起始时间位于+/- 2小时窗口内的部分晕或全晕日冕物质抛射。对于其余14个案例中的每一个，在HI-A校正后的起始时间前后+/- 2小时内都有一个CDAW日冕物质抛射起始时间，尽管这些日冕物质抛射均未被归类为部分晕或全晕日冕物质抛射。因此，总而言之，2011年目录收录的116个HIGeoCAT日冕物质抛射中，约有28个（24%）依据HIGeoCAT中所包含的日冕物质抛射方向，被判定为很可能是指向地球的日冕物质抛射；其中15个（占28个的54%）在其可能对地球产生影响这一点上，表现出CDAW与HIGeoCAT识别结果之间明显的不一致（其中一个在+/- 2小时内没有日冕物质抛射，另有14个在同一时间窗口内没有部分晕/晕）。这并不否定一个事实，即对于许多事件，在日冕和日球层中观测到的日冕物质抛射之间存在密切的观测关联；但这确实表明，我们应更加仔细地研究这些指向地球的事件，以理解这种明显的差异。

尽管本研究将「日冕物质抛射」一词用于指在日冕和日球层中均被成像的事件，但在原位数据中识别出的日冕物质抛射通常称为行星际日冕物质抛射（ICME）。据 Richardson 和 Cane 使用美国国家航空航天局 ACE 航天器的观测报告，2011 年在日地拉格朗日点 L1 探测到 32 个 ICME（参见 Cane 和 Richardson，2003；Richardson 和 Cane，2010；以及自 1996 年 1 月以来近地行星际日冕物质抛射目录：www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm；下文简称加州理工学院ACE目录）。同年，NASA Wind 航天器的 ICME 目录记录了在日地拉格朗日点 L1 观测到的 19 个 ICME（Nieves-Chinchilla 等，2018；参见 NASA Wind 目录，网址为

https://wind.nasa.gov/ICME_catalog/ICME_catalog_viewer.php；下文简称 NASA Wind 目录）。考虑到每年识别出的 ICME 数量如此之少，HIGeoCAT 与 CDAW 对 2011 年 15 个可能朝向地球的日冕物质抛射的观测结果缺乏一致性，这一点意义重大。

我们还注意到，在 ACE 和 Wind 目录中识别出的行星际日冕物质抛射数量存在差异。后文给出的图表说明了这一点：在详细研究的 15 个日冕物质抛射中，6 个没有记录到相关的行星际日冕物质抛射（依据 ACE 或 Wind 数据），4 个在加州理工学院ACE目录和 NASA Wind 目录中均记录了相关的行星际日冕物质抛射；另有 3 个事件仅在加州理工学院ACE目录中记录了相关的行星际日冕物质抛射，2 个事件则仅在 NASA Wind 目录中记录了相关的行星际日冕物质抛射。探讨利用 ACE 和 Wind 数据识别行星际日冕物质抛射时出现的差异，超出了本文的研究范围，尽管识别日冕物质抛射的原位特征确实困难重重。不过，就本研究而言，我们尝试将 ACE 或 Wind 记录的目录中的行星际日冕物质抛射，与根据日冕仪和日冕仪影像记录的日冕物质抛射相关联。具体做法是利用 HIGeoCAT 中由 SSEF30 得出的径向速度，估算其到达日地拉格朗日点 L1 的时间，并假设日冕物质抛射以该恒定速度一路传播至日地拉格朗日点 L1。需要指出的是，我们在估算抵达日地拉格朗日点 L1 的时间时，并未考虑假设的日冕物质抛射几何形状，即未采用 Möstl 和 Davies（2013）提出的修正方法。本文的目的同样是要

识别可能的关联，而非对日冕物质抛射的到达情况进行详细调查。因此，在以下分析中，我们采用一个扩展时间窗口 +/- 48 小时。指出这一点后，我们还要说明，以下得出的估计到达时间与 HELCATS ARRCAT 目录（ARRval CATalogue；https://www.helcats-fp7.eu/catalogues/wp4_arrcat.html）中列出的时间平均仅相差 112 分钟；该目录使用 Möstl 和 Davies（2013）的方法对日冕物质抛射的曲率进行了校正。因此，以下分析确实足以用于事件关联。

5 2011年2月14日的日冕物质抛射

在考察不一致事件之前，我们先展示一个典型的朝向地球的日冕物质抛射。该事件在STEREO和LASCO图像中清晰可见，并在地球附近的原位观测中留下了相应特征。尽管如此，这一事件仍与理想的单个朝向地球的日冕物质抛射相去甚远。我们选取CDAW列表中报告的2011年首个晕状日冕物质抛射，该事件于2月14日发射，且有对应的HIGeoCAT日冕物质抛射记录。

该日冕物质抛射于2月14日世界时22:49首次进入STEREO-A和STEREO-B的HI-1视场。HIGeoCAT中报告的STEREO-A HI数据的SSEF30分析得出，其径向速度为415 km/s，起始时间（校正至1个太阳半径处）为世界时19:05，并推断其源位置（假设它在穿越日冕期间未发生偏转）为18°经度和0° 纬度（HEEQ；相当于18° 和6° 日心地球黄道坐标系），位于指定的目标区内。次日世界时17:29的日冕物质抛射HI-1差分图像见图1。差分图像（即从当前图像中减去前一幅图像）突出显示相较于前一幅图像的亮度增强和减弱区域，分别以白色和黑色区域表示，因此基本消除了例如缓慢变化的F日冕和K日冕的影响。考虑到航天器的经度（STEREO-B为-94° ，STEREO-A为+87°），HI-1A和HI-1B图像中日冕物质抛射特征高度对称，表明该日冕物质抛射接近朝向地球。然而，根据HI-B数据得出的HIGeoCAT SSEF30条目表明，其径向速度为523 km/s，起始时间（在1个太阳半径处）为2月14日世界时21:09，源自经度-54° 、纬度21°。这一方向与HI-A数据得出的结果（以及图像的对称性）不一致。这清楚地表明，几何建模技术本身存在固有的不确定性。

CDAW目录在2月14日至15日记录了两次晕状日冕物质抛射。第一次被列为较弱事件，2011年2月14日世界时18:24首次在LASCO C2中观测到，估计速度为326 km/s，反投影起始时间为世界时17:20。这个起始时间与HI-A HIGeoCAT通过SSEF30估算的世界时19:05起始时间较为一致，与HI-B给出的世界时21:09则不那么一致；需要注意的是，这些起始时间未考虑加速或减速。该事件可通过不同位置角范围内冕流结构中的微弱外流辨认。

第二个CDAW 日冕物质抛射于2月15日世界时02:24首次在LASCO图像中被观测到。这是一次明亮的事件，估计速度为669千米/秒。虽然估计这次日冕物质抛射的发射时间远晚于根据HI-A数据估算的起始时间，但当这两次CDAW 日冕物质抛射进入HI仪器的视场时，已难以将它们清晰区分。图1展示了这次日冕物质抛射的图像

这是由HI-A和HI-B仪器观测到的，而附带的CDAW图像展示的是第二个LASCO日冕物质抛射。

Temmer 等（2014）确定了与 CDAW 识别出的两个晕状日冕物质抛射相关的耀斑，分别是2月14日世界时17:20开始、位于 S20 W04 的 M2.2级耀斑，以及2月15日世界时01:44开始、位于 S20 W10 的 X2.2级耀斑。这些位置与上文给出的 SSEF30 对 HI-A日冕物质抛射源区的估计一致。Temmer 等（2014）认为，两个朝向地球的日冕物质抛射之间存在相互作用，并且还在 HI数据中识别出一些特征，认为它们分别与两个 CDAW 日冕物质抛射有关。然而，HIGeoCAT 仅识别出一个日冕物质抛射，它似乎是 LASCO 成像的两个事件相互作用后形成的合并结构。有关日冕物质抛射相互作用的更多详情，请参阅 Temmer 等（2014）。

假设日冕物质抛射在观测轨迹之外没有加速或减速，根据 HI-A数据得出的 SSEF30 速度为 415 km/s，预计其将在 2 月 18 日世界时 23:01 左右抵达地球附近。加州理工学院 ACE 目录报告称，日冕物质抛射于2月18日世界时19:00以 470 km/s 的速度就地抵达 ACE 航天器；与此相符，NASA Wind 目录列出的日冕物质抛射于2月18日世界时19:50抵达 Wind 航天器，速度为 462 km/s。因此，SSEF30 预测的日冕物质抛射抵达时间与 ACE 和 Wind 报告的行星际日冕物质抛射抵达时间相差不到 3 至 4 小时。

我们注意到，Mishra和 Srivastava（2014年）以及Maricic等人（2014年）都研究了同一系列事件，并且确实识别出第三次日冕物质抛射；他们认为，在抵达日地拉格朗日点L1 之前，该日冕物质抛射也曾与上文讨论的两次日冕物质抛射发生相互作用。他们证明，全部三个事件的特征都可以在 Wind 航天器上进行原位观测。

尽管 HI-B HIGeoCAT 中由 SSEF30 得出的日冕物质抛射特征并不一致，而且多个晕状 CDAW 事件的存在使情况更加复杂，但这一序列似乎显示，SOHO 在日地拉格朗日点 L1 的 LASCO 仪器成像到指向地球的晕状日冕物质抛射，而从偏离日地连线的视角来看，STEREO 的 HI-A 和 HI-B 仪器也对其进行了相应的良好成像。这还表明，对 HI-A 数据进行的 SSEF30分析似乎能够预测行星际日冕物质抛射抵达地球的时间，且该预测与 ACE 和 Wind 记录到的实际行星际日冕物质抛射到达时间一致。尽管如此，这番讨论也表明，目录难免无法捕捉通过深入研究单个事件所揭示的复杂情况。

在展示了一组与既有观点基本吻合、尽管存在一些复杂之处的事件序列证据后，我们现在考察另外15个日冕物质抛射事件：HIGeoCAT目录将其识别为可能朝向地球的日冕物质抛射，但找不到与之相符的CDAW日冕物质抛射。

6 不一致事件的分析与讨论

表1列出了根据HIGeoCAT目录中的HI-A SSEF30条目，采用第4节讨论的方法识别出的15个不一致的日冕物质抛射的主要参数。对于每个由HI-A观测到的日冕物质抛射，我们利用HELCATS HIJoinCAT目录，查找是否有对应的HI-B CME，即由另一台STEREO航天器观测到的同一事件。因此，在表1中，我们尽可能将HI-B条目列在对应的HI-A

条目旁边。对于某些事件，HIGeoCAT目录中没有记录对应的HI-B CME。

表1的第2至第9列列出了来自HIGeoCAT的若干HI 日冕物质抛射参数。HELCATS事件编号（第2列）是每个HICAT/HIGeoCAT日冕物质抛射的唯一标识符，由以下部分组成：（1）探测到该日冕物质抛射的STEREO航天器（即STEREO A或B）；（2）该日冕物质抛射进入HI-1A或B视场的日期；（3）一个附加索引，用于处理同一日期可能有多个日冕物质抛射进入同一HI-1视场的情况。第3列包含日冕物质抛射首次在HI-1A或B视场中被观测到的日期和时间。如上所述，SSEF30技术可估算太阳中心处的起始时间（第6列），据此我们推导出1个太阳半径处的校正起始时间（第7列）；日冕物质抛射源位置则根据日冕物质抛射顶点的纬度/经度（第4和第5列；HEEQ坐标）推断得出（假定不存在日冕偏转）。我们还列出了相应的HEE坐标（同样包含在第4和第5列中）。

该表还包括 SSEF30 对日冕物质抛射径向速度的估计值（第8列），以及（假设日冕物质抛射以该速度传播至 1天文单位而推导出的）在 1天文单位处计算的估计到达时间（第9列）。Barnes等人（2019）介绍了用于生成 HIGeoCAT 的几何分析技术。然而，在推导日冕物质抛射在 1天文单位处的估计到达时间时，有必要简要讨论 HIGeoCAT 速度估计值的不确定性。HIGeoCAT 列出了每个事件的速度不确定性，该不确定性基于在时间—延展图上拟合日冕物质抛射前沿轮廓时产生的误差。对于表1中的事件，这一误差约为百分之几。然而，更重要的是要考虑该技术所依据的基本假设（恒定速度和方向、日冕物质抛射形态）所产生的误差，或跟踪日冕物质抛射时产生的误差。这些误差在不同事件之间可能存在显著差异。不过，由于我们的目标是识别关联，而不是推导出最精确的到达时间，因此我们采用了一个宽裕的时间窗口，具体定义如下。

表1还列出了关键的CDAW信息，包括LASCOC2首次观测到日冕物质抛射的时间（第10列）、反投影日冕物质抛射起始时间（第11列）以及日冕物质抛射顶点速度（第12列），涵盖所有反投影起始时间与相关HIGeoCAT日冕仪HI-A日冕物质抛射起始时间（校正至1个太阳半径）相差+/- 2小时以内的日冕物质抛射。

最后，表1包括从加州理工学院ACE和NASA Wind目录中分别提取的、由ACE（第13–14列）和Wind（第15–16列）航天器原位记录的行星际日冕物质抛射抵达时间和速度。两个目录中的表格信息略有不同，这一点在此有所体现：ACE目录包含激波抵达时间，以及行星际日冕物质抛射抵达和结束时刻；Wind目录则包含行星际日冕物质抛射抵达时间，随后是“磁障碍”的起始和结束时刻。请注意，要将潜在相关的ACE和Wind行星际日冕物质抛射纳入表1，由日冕仪数据中的SSEF30结果推导出的投影日冕物质抛射1天文单位处到达时间必须在激波时刻（ACE）、行星际日冕物质抛射抵达时间（Wind）或行星际日冕物质抛射或磁云起始和结束时刻（ACE和Wind）的48小时以内。

在2011年记录的15个潜在指向地球的日冕物质抛射中（即源区位于所定义目标区内、由HI-A观测到的日冕物质抛射），如表1所列，其中没有一致的CDAW条目；我们选取了其中两个，其对应的行星际日冕物质抛射到达在地球处有记录，并对其进行了较为详细的描述。这两个日冕物质抛射分别发生于7月11日和5月25日（表1中的事件10和5）。我们还描述了1月24日的日冕物质抛射（事件1），这是一个例子：一个由HI-A观测到的潜在指向地球的日冕物质抛射被确定为

HIGeoCAT目录中没有一致的CDAW 日冕物质抛射、也没有相应近地行星际日冕物质抛射的事件。其余没有相应地球到达事件的事件将在后文中简要总结。

6.12011年7月11日的日冕物质抛射（日冕物质抛射编号10，见表1）

图2显示了2011年7月11日首次在HI-1A和HI-1B图像中识别出的日冕物质抛射。图2展示了一组经过挑选、时间近乎同步的HI-1A和HI-1B差分图像。

尽管看起来HI-1A 和HI-1B 正从不同的观测视点（在本例中相隔190^{o} ）对同一个日冕物质抛射进行成像，但值得注意的是，在表1中，估算得到的HIGeoCATSSEF30起始时间相差超过4小时。HI-1A 和HI-1B的差分图像都显示出一种轮廓不清晰的环状结构，其中明亮环结构前缘的无定形特征很可能导致难以在不同图像之间准确追踪同一特征，从而获得最具可比性的SSEF30 结果；这可能是由两艘航天器推导出的起始时间存在差异的一种解释。HI-A 和HI-B图像都显示，该日冕物质抛射的方向略偏向黄道面以南。此外，似乎还有证据表明，在该日冕物质抛射的北侧很远处，有一个先前产生的、较窄的（位置角范围较小）日冕物质抛射正在传播。SSEF30分析假定日冕物质抛射在 HI 视场以内未发生朝向太阳的偏转，据此确定由 HI-A数据和HI-B数据得到的日冕物质抛射源区在HEEQ 经度上仅相隔14^{o}，在 HEEQ 纬度上仅相隔1^{o}；HI-A 源区位于目标区内很远，而 HI-B 源区则刚好位于目标区之外。

有两个CDAW 日冕物质抛射（见表1），其反投影起始时间与根据HI-A数据估算的日冕物质抛射起始时间相差不到2小时。这两个日冕物质抛射都被标注为“极差”事件，均未归类为晕状事件或部分晕状事件。它们都由与冕流相关的外流组成，这些冕流被投影为位于太阳西侧日缘之外，因此似乎与HI数据中成像到的环状日冕物质抛射不符；后者起源于太阳朝向地球的半球。CDAW事件的速度也比HIGeoCAT记录的速度低约200 km/s。可能存在一个过于微弱、因而无法被识别为朝向地球的日冕物质抛射；冕流中的流动则可能是日冕物质抛射侧翼经过的迹象，其速度反映的是侧翼的膨胀，而非日冕物质抛射顶点的速度。无论情况是否如此，我们的结论都是：CDAW目录未能识别出HIGeoCAT中这个可能朝向地球的日冕物质抛射。

COR-2 APL 目录列出了一个日冕物质抛射：该事件于7月11日世界时11:24首次在COR-2A中观测到，并于世界时11:54在COR-2B中观测到，其传播路径位于太阳面向地球一侧、赤道略偏南的位置。该日冕物质抛射的时间和结构（包括传播方向）（图2），以及其在COR-2A和COR-2B中的速度（APL 目录给出的天球平面速度）分别为445km/s和449km/s，这些情况似乎证实了它就是在HI数据中识别出的、朝向近地空间的同一个日冕物质抛射。

因此，通过偏离日地连线的平台，我们识别出了一次可能指向地球的日冕物质抛射，而CDAW目录并未将其识别为此类事件。

加州理工学院ACE目录记录了一个行星际日冕物质抛射于7月14日抵达日地拉格朗日点 L1（表1）。NASAWind 目录中没有对应的事件。表1显示，HI日冕物质抛射的投影抵达时间与ACE处实际的行星际日冕物质抛射抵达时间具有良好的一致性，因为行星际日冕物质抛射激波以及行星际日冕物质抛射的开始和结束时间涵盖了

根据HI -A 和 HI-B 数据推算的日冕物质抛射到达时间，以及 410km/s 的原位速度，与分别根据 HI-A 和 HI-B 数据推导出的494 km/s和 361 km/s 的 SSEF30 日冕物质抛射速度并不矛盾。

在这一时间段内，HIGeoCAT目录中没有发现其他可能导致日冕物质抛射抵达地球附近的日冕物质抛射。因此，我们得出结论：来自日冕仪和COR-2的日地连线外观测似乎揭示了一次会撞击地球的日冕物质抛射，但CDAW目录未将其识别为此类事件，重新检查LASCO数据也未能识别出该事件。

6.22011年5月25日的日冕物质抛射（日冕物质抛射编号5，见表1）

图3以与图2相同的格式，展示了2011年5月25日在HI数据中首次观测到的日冕物质抛射的一组选定的HI-1A和HI-1B差分图像。可以清楚地看到该HI日冕物质抛射，其形态为具有凹形前沿的环状日冕物质抛射。如表1所述，该日冕物质抛射在HI-1A和HI-1B视场中首次被观测到的时间仅相差40分钟，并且根据HI-A和HI-B观测估计的源位置在HEEQ纬度和HEEQ 经度上彼此相差均不超过17^{o} 和3^{o} ，且都位于+/- 20° 目标区内。由HI-A和HI-B推导出的径向速度也彼此一致（相差47km/s）。估计的HI-A和HI-B日冕物质抛射起始时间（在1个太阳半径处）相差约2.5小时，这一差异大于预期（速度差异只能造成15分钟的偏差），但这是由于分析采用多变量拟合进行的结果。显然，这两台仪器观测到的是同一个日冕物质抛射。

图3还显示了一个后续日冕物质抛射事件：在序列开始时，一个刚进入HI-1A和HI-1B视场的明亮环状事件，并在伸长角方面超过了第一次日冕物质抛射的北部部分。第二个日冕物质抛射事件首次于14:49世界时（15:29 世界时）在HI-1A（HI-1B）视场中被观测到，其估计速度为1026km/s（1181km/s），估计起始时间为11:45 世界时（11:02 世界时），源位置位于-21° (41°)日冕物质抛射经度和 6° (11°)。HEEQ纬度。由于其估计源位置位于HI-A和HI-B SSEF30分析所规定的目标区之外，因此该第二个日冕物质抛射事件未列入表1。

唯一一个反投影起始时间位于HI-A日冕物质抛射1个太阳半径起始时间前后 2小时以内的CDAW日冕物质抛射，其起始时间比 HI-A 起始时间晚约53分钟。CDAW 和HIGeoCAT 的速度并不一致，后者约为所列 CDAW 日冕物质抛射速度的两倍，不过这很可能是由于前者位于天空平面而产生的投影效应。该CDAW日冕物质抛射（如图 4中的LASCO C2图像所示）被识别为沿着一条冕流的38^{o} 宽广物质流出，该冕流以太阳西北边缘为中心，位置角为328^{o} （从SOHO视角观察）。该CDAW 日冕物质抛射既未被归类为全晕，也未被归类为部分晕状日冕物质抛射，而是被记录为“极差事件”。

COR-2 APL 目录列出了一次日冕物质抛射，首次在世界时 04:39 的 COR-2A 图像和世界时 04:54 的 COR-2B 图像中被探测到。图3底部面板显示，这次 COR-2 日冕物质抛射是一个位于太阳东侧边缘（面向地球一侧）之外的环状事件，其位置、时间和形态均与 HI 日冕物质抛射一致。

与前一个事件一样，STEREO HI 仪器在日球层中拍摄到一次日冕物质抛射，该抛射被识别为可能朝向地球，且与

COR-2 的日冕图像相符，但 CDAW目录中没有记录相应的朝向地球的日冕物质抛射。

根据对 HI-A 和 HI-B 数据进行 SSEF30分析得出的估计速度，投影到 1天文单位处的日冕物质抛射到达时间与加州理工学院ACE 和 NASA Wind行星际日冕物质抛射目录中的记录一致。HI 日冕物质抛射速度也与目录中记录的 1天文单位处速度一致。这在一定程度上证实，偏离日地连线的观测清楚地显示了一次撞击地球的日冕物质抛射，而这次抛射并未通过 L1日冕仪数据识别出来。

To suppo 在这种情况下，要支持或反驳这一结论，我们需要考虑几个额外因素。

如上所述，我们识别出第二个明显速度更快的日冕物质抛射。行星际日冕物质抛射会不会是由第二个日冕物质抛射引起的，而不是表1中列出的第一个日冕物质抛射？第二个日冕物质抛射的估计起始时间比第一个晚约 8 到 10 小时，但它似乎追上了第一个日冕物质抛射。第二个日冕物质抛射可能从第一个前方或后方经过；即使二者只是部分相交，也可能发生相互作用。HIGeoCAT 中第二个日冕物质抛射的条目表明，其顶点的纬度大约比第一个高 20°，但 HI-A 和 HI-B 对 HIGeoCAT 顶点经度的估计差异显著，分别为 -21° 和 41°。这种差异至少部分可能是由于两个日冕物质抛射叠加，导致第二个日冕物质抛射的追踪不准确。为确定第二个日冕物质抛射可能的源区，我们注意到 CDAW目录列出了一次 LASCO 日冕物质抛射，起始时间为世界时 12:40，与第二个日冕物质抛射的起始时间吻合，天球平面速度为 561 km/s。这次 CDAW 日冕物质抛射被列为较差事件，并未归类为晕状或部分晕状日冕物质抛射，而是位于太阳西北部。在这次日冕物质抛射估计起始时间前后 5 小时内，没有显著的耀斑活动。该日冕物质抛射没有明显的太阳源，但在世界时 08:00 至 12:00 之间，从地球视角观测的 SDO图像显示，太阳东北象限高纬度处发生了一次暗条爆发。无论二者是否相关，这次暗条爆发和 CDAW 日冕物质抛射都表明，在第二个日冕物质抛射发生的时间范围内，日冕高纬度处存在喷发事件的证据，而且这些事件似乎分布在很宽的经度范围内。这可能是 HI-A 和 HI-B 源位置估计存在差异的原因之一。

因此，虽然我们无法确定第二个日冕物质抛射的经度，但有迹象表明，它不太可能是指向地球的，其传播方向的纬度较高。即便如此，我们也不能排除这两个日冕物质抛射之间发生相互作用的可能性。不过，无论如何，CDAW 条目都没有表明其中任何一个是朝向地球的日冕物质抛射。

如果第二个日冕物质抛射以恒定速度继续运动，根据日冕仪-A 和日冕仪-B 的速度估算，它分别会于 5 月 27 日世界时 04:22 和 5 月 26 日世界时 22:19 到达 1天文单位处。在目录所列的 5 月 28 日行星际日冕物质抛射到达之前的数周内，ACE 和 Wind 的原位测量均未报告行星际日冕物质抛射到达；如上所述，该次到达时间与首个由 STEREO 成像的日冕物质抛射的估计到达时间一致（该事件列于表1）。

我们的结论是，日冕仪和 COR-2 的观测表明，有证据显示一次指向地球的日冕物质抛射确实抵达了地球，这一点有原位测量结果为证，而计划群

CDAW目录报告没有证据表明存在相应的指向地球（晕/部分晕）日冕物质抛射。

6.3 其他疑似撞击地球、但没有对应 CDAW 事件的日冕物质抛射

表1列出了15次日冕物质抛射。其中9次（包括上文讨论的两次）属于以下情况：HIGeoCAT提供的证据表明，有日冕物质抛射撞击地球，但CDAW目录中没有对应的全晕或部分晕记录；不过，这些情况与ACE或Wind在1天文单位处探测到行星际日冕物质抛射到达相符。这里简要概述其余案例，图5展示了其中部分事件的图像。

日冕物质抛射8（2011年6月23日）：2011年6月23日的日冕物质抛射由一个明亮的多环事件构成，在HI-1A和HI-1B图像中呈现出对称性。使用SSEF30技术得出的估计源位置，对于HI-1A和HI-1B数据均位于目标区内。SSEF30估计的速度相差115 km/s，导致估计起始时间相差约4小时，但图像清楚地表明这些仪器拍摄的是同一次日冕物质抛射。在HI- 1A数据估计的起始时间前后+/- 2小时内，识别到一次LASCO日冕物质抛射。其中心位于太阳西北部的位置角341° 处，未被列为部分晕或晕状事件，而是一次与西北部明亮冕流相关的窄事件。虽然加州理工学院ACE目录中没有报告行星际日冕物质抛射，但NASA Wind目录中记录了一次行星际日冕物质抛射；假设速度恒定，其首次到达日地拉格朗日点 L1的时间，比根据SSEF30估计的HI-1A日冕物质抛射到达时间晚了近半天。因此，这次事件似乎是一次很可能朝向地球、但在CDAW目录中没有对应记录的日冕物质抛射，同时地球附近也记录到了一次与之相符的行星际日冕物质抛射到达。

日冕物质抛射9（2011年7月3日）：HI图像中的这次日冕物质抛射呈现多环状特征（图5，顶排），不过图像受到北侧先前一次日冕物质抛射残余结构的干扰。事实上，虽然HI-B图像显示了日冕物质抛射9以及与先前日冕物质抛射相关的特征，但HIGeoCAT中并未收录日冕物质抛射9。这很可能是因为它在HI-B图像中比在HI-A图像中暗淡。唯一在时间上可能与此次事件相关的CDAW所列日冕物质抛射，在速度和位置方面都不吻合（即使考虑到观测几何的差异也是如此）。它未被列为晕或部分晕，识别结果显示其中心位于太阳东南部，并被归类为极差事件。根据对HI-A图像进行的SSEF30分析估算，这次日冕物质抛射到达1天文单位处的时间，比加州理工学院ACE目录所列行星际日冕物质抛射到达地球的时间早约21小时。到达时间的这一差异可以用SSEF30速度（应用于HI-A时为713 km/s）与低得多的原位速度（360 km/s）之间的差异来解释；也就是说，这可能是日冕物质抛射在超出日冕仪轨迹范围后减速所致，对于如此高速的日冕物质抛射而言，这种情况并不意外。NASA Wind 目录记录到的一次行星际日冕物质抛射于7月3日到达航天器；考虑到它到达时距离根据HI-A数据估算的日冕物质抛射起始时间仅23小时，因此认为它发生得太早，不可能是此次事件的迹象。无论如何，对于上述两次行星际日冕物质抛射到达，都没有CDAW晕或部分晕候选事件。

CME 11（2011年10月5日）：在日冕仪图像中，这次日冕物质抛射也受到北侧较早一次日冕物质抛射残余部分的干扰。虽然HI-A的HICAT（因此也包括HIGeoCAT）收录了CME 11，但HI-B的HICAT/HIGeoCAT中同样没有对应条目。尽管如此，HI-1B图像似乎也显示了同一次日冕物质抛射，只是清晰度较低。COR-2图像中也能看到这次日冕物质抛射。CDAW列出的两次日冕物质抛射（表1），其反投影起始时间与HI-A日冕物质抛射的估计起始时间相差不到2小时，但它们在形态和位置上均与HIGeoCAT中的日冕物质抛射不符（即使考虑到观测几何的差异也是如此）。它们未被分类为晕状或

这两次部分晕状日冕物质抛射均被描述为较弱的事件，对应于狭窄的冕流外流。根据对 HI-A 图像进行的 SSEF30 分析，HIGeoCAT 日冕物质抛射预计在 1天文单位处到达的时间，与加州理工学院 ACE 行星际日冕物质抛射目录中 10 月 7 日的记录一致。

日冕物质抛射12（2011年10月26日）：该日冕物质抛射的日冕仪图像显示出一个复杂的环状事件（图5，中排）。尽管HI-ASSEF30分析表明这可能是一个朝向地球的日冕物质抛射，但类似的HI-B分析表明，相对于地球而言，其源区位于东侧日缘（见表1）。与同时获取的HI-1B图像相比，该日冕物质抛射在HI-1A图像中清晰得多，而COR-2A观测显示的日冕物质抛射与HI-1A中所见的一致。我们认为这是一个可能朝向地球的事件，同时注意到HI-1B SSEF30分析存在不一致。

CDAW 列表中有两次 LASCO 日冕物质抛射，其反投影起始时间与估算的 HI-1A 日冕物质抛射起始时间相差不到 2 小时。与第 6 节讨论的所有事件一样，这两次日冕物质抛射均未被分类为晕状事件或部分晕状事件，而且都被注明为质量较差。两次 CDAW 日冕物质抛射同样被描述为沿太阳东南日缘冕流方向传播的窄流出。假设 HI 日冕物质抛射从估算的源位置径向传播，这两次事件似乎都与其拓扑结构和估算方向不符。

在1天文单位处的投影日冕物质抛射到达时间，以及用于推导该到达时间的HI-A SSEF30日冕物质抛射径向速度，与加州理工学院ACE目录中10月30日该行星际日冕物质抛射条目的数值极为一致。因此，HI-A和COR-2数据似乎显示了一次指向地球的日冕物质抛射，并且该日冕物质抛射确实撞击了地球，但并不存在相应的晕状/部分晕状CDAW日冕物质抛射。我们注意到，这与HI-B事件存在一些不一致之处，这可能是由于图像不够清晰，导致跟踪不准确；或者，确实也可能是因为HI-B图像中观测到的是另一次日冕物质抛射。

日冕物质抛射13（2011年10月29日）：该事件的HI和COR-2图像呈现出与日冕物质抛射12非常相似的形态。在估计的HI-A日冕物质抛射起始时间前后两小时内反投影起始时间的两次CDAW目录中的LASCO日冕物质抛射，均被认定为较差事件，且都未被归类为晕状或部分晕状日冕物质抛射。同样，这些CDAW日冕物质抛射都是狭窄事件，其拓扑结构和表观运动方向似乎与HI日冕物质抛射的不一致。它们未被认定为指向地球的日冕物质抛射的特征。

HI-A和HI-B的SSEF30分析均给出了预计于11月1日到达1天文单位处的时间，这与加州理工学院ACE目录中11月1日记录的一次行星际日冕物质抛射相一致，也与NASAWind 目录中的一次记录相一致。加州理工学院ACE目录中10月30日列出的较早一次行星际日冕物质抛射理论上也可能与之有关，但它与日冕物质抛射12的相关性要高得多。此外，NASAWind目录中还有一次于11月2日晚些时候到达的行星际日冕物质抛射，同样理论上可能与日冕物质抛射13有关，但11月1日到达的时间最为吻合。无论如何，HI和COR-2很可能探测到了一个指向地球的日冕物质抛射，该日冕物质抛射确实到达了地球附近，但未能从CDAW列出的LASCO日冕物质抛射中识别出来。

日冕物质抛射 14（2011年11月1日）：在 HI-1A 和 HI-1B 图像中，这次日冕物质抛射均表现为从赤道纬度向外涌出的明亮环结构；不过，它在 HI-1B 中被归类为较弱的事件，因此未被纳入 HIGeoCAT。前一个日冕物质抛射表现为一个大型环状结构，如同

一个在日冕物质抛射 14 前方传播的结构。COR-2 图像似乎显示的是同一次日冕物质抛射。然而，它的传播方向似乎比 HI 图像所显示的略偏北，不过这可能是随后向赤道方向偏转的证据（例如参见 Kahler等人，2012年；Harrison等人，2012年）。

有一例CDAW目录中的LASCO日冕物质抛射，其反投影起始时间与11月1日HI-A日冕物质抛射起始时间相差不到2小时。该事件未归类为晕状事件或部分晕状事件，且被描述为质量较差。CDAW日冕物质抛射被列为一个极其暗弱的结构，从日地拉格朗日点 L1观测时，沿太阳东北边缘的冕流中或其附近流动。该日冕物质抛射的拓扑结构、表观运动方向和时间均未能使人确认它与日冕仪和COR-2数据中成像的日冕物质抛射相对应。

根据将SSEF30技术应用于HI-A图像所得的结果，并假设以恒定速度传播，推算出的日冕物质抛射在11月5日清晨到达投影1天文单位处的时间，仅比NASA Wind 目录记录的行星际日冕物质抛射到达时间晚六小时。加州理工学院ACE目录中没有记录相关事件。

CDAW目录确实收录了一个部分晕状事件，该事件于11月2日世界时20:00首次观测到，天球平面速度为384 km/s。其反投影起始时间比根据HI-A数据估算的起始时间晚了24小时以上，因此我们不认为该部分晕与日冕物质抛射 14 有关。不过，我们需要确认它与上一段提到的行星际日冕物质抛射到达无关。根据CDAW目录中的天球平面速度，该日冕物质抛射将在11月7日世界时08:50到达1天文单位处，比行星际日冕物质抛射到达日地拉格朗日点 L1晚2.5天以上，也比日地拉格朗日点 L1处该事件结束晚1.5天以上。因此，我们得出结论：STEREO观测到的日冕物质抛射是与11月4日1天文单位处到达最相符的日冕物质抛射，而这个指向地球的日冕物质抛射并未被收录在CDAW目录中。

日冕物质抛射15（2011年11月29日）：该事件的HI-1A图像显示出一个复杂的明亮环结构，其外侧更远处还可见前一个日冕物质抛射的残余物（图5，底行）。对HI-A明亮环结构进行的单航天器SSEF30分析表明，这可能是一次朝向地球的日冕物质抛射。HI-B图像似乎显示了同一个日冕物质抛射：在同一时间，它延伸到了大致相同的伸长角，这表明该事件可能朝向地球，尽管估计的起始时间相差4小时（相比之下，HI-1记录时间仅相差1小时）。然而，所讨论日冕物质抛射的结构复杂性，加上它紧随另一次日冕物质抛射之后发生，可能妨碍了对该日冕物质抛射的准确追踪。尽管对HI-A数据的分析表明，日冕物质抛射源位于目标区内较深处，但HI-B数据所对应的源似乎恰好位于目标区之外。COR-2图像显示了该日冕物质抛射在其发展较早阶段的情况。我们认为，已有足够证据表明，STEREO正在对一次朝向地球的日冕物质抛射进行成像。

CDAW目录中完全没有投影起始时间与HI-A估算的日冕物质抛射起始时间相差不到2小时的LASCO日冕物质抛射。因此，日冕仪和COR-2数据揭示了一次可能指向地球、但未被CDAW目录识别的日冕物质抛射。

加州理工学院ACE目录包括一次与SSEF30-估计到达时间相对应的行星际日冕物质抛射到达；该行星际日冕物质抛射激波到达时间比日冕物质抛射估计到达时间早了略多于6小时。

我们注意到，CDAW列出了一个LASCO部分晕状日冕物质抛射，首次观测时间为11月29日世界时23:12。其反投影起始时间被认为不在关联时间窗口内

对于日冕物质抛射15而言，但鉴于其速度为768 km/s，在恒定速度条件下，其抵达1天文单位处的时间应为12月2日世界时04:40。这比行星际日冕物质抛射到达提前了12个多小时，但它可能是该行星际日冕物质抛射的候选事件，而不是日冕物质抛射15。然而，尽管其被归类为部分晕，LASCO图像显示出一个清晰的环状事件，该事件局限于太阳西南象限内，并且似乎与HIGeoCAT中的一个日冕物质抛射相吻合，其估计源区位于中央子午线以西60^{o}。鉴于此，我们认为，11月29日的日冕物质抛射很可能是这样一个例子：一个潜在的指向地球的日冕物质抛射在日冕仪和COR数据中被探测到，但未被纳入CDAW目录，而之后的L1原位观测表明，行星际日冕物质抛射抵达地球的情况与之相符。

7 讨论：撞击地球的事件

总计，我们描述了2011年的9次日冕物质抛射：STEREO搭载的日冕仪从偏离日地连线的视角观测到可能朝向地球的日冕物质抛射，这些抛射似乎与随后到达地球的行星际日冕物质抛射有关，但未被CDAW目录识别为朝向地球的日冕物质抛射（晕状/部分晕状）。

我们并未声称这些是2011年仅有的此类事件，因为我们的分析范围仅限于通过对指定目标区内HI-A数据进行SSEF30分析而确定表观源区的日冕物质抛射。来自该区域之外的事件也可能撞击地球，例如，前提是其宽度足够大。然而，SSEF30分析假定以圆形横截面几何结构拟合恒定的方向和速度；其效果很可能因各次日冕物质抛射对这些假设的符合程度，以及从中手动提取时间—延伸角剖面的时间—延伸角图中日冕物质抛射前沿的跟踪精度而异。由于日冕物质抛射活动相互叠加，识别并持续跟踪某一特定日冕物质抛射轨迹可能会遇到困难。不过，SSEF30技术旨在为事件分析提供一种简单的方法。尽管如此，SSEF30方法的稳健性此前已得到证明（例如，Mostl等人，2022），尽管存在预期的不确定性，我们仍认为上述分析所得的总体结论是有效的。因此，我们认为，已通过偏离日地连线的观测识别出朝向地球的日冕物质抛射，而这些抛射无法通过日地拉格朗日点 L1识别。

8 未撞击地球且没有相关CDAW事件的日冕物质抛射

表1的起点是从2011年的HIGeoCAT中识别出有合理可能指向地球的日冕物质抛射，其定义是由SSEF30推导的HI-A日冕物质抛射源区位于我们所称的目标区内。在符合这一标准的28个HIGeoCAT日冕物质抛射中，我们进一步确定了其中没有相关CDAW晕状或部分晕状日冕物质抛射的事件。由此，我们识别出15个所谓的不一致日冕物质抛射：根据HIGeoCAT HI-A目录，这些事件被确定为很可能指向地球，但在CDAW目录中没有发现与可能指向地球的日冕物质抛射相一致的报告。

如上文所述，在这15个不一致案例中，有9个似乎与加州理工学院ACE和NASA Wind行星际日冕物质抛射目录中记录的行星际日冕物质抛射抵达地球有关。因此，有6个案例仅在离日地线数据中识别出潜在的指向地球的日冕物质抛射，但正如行星际日冕物质抛射目录所记载的那样，这些事件似乎并未导致行星际日冕物质抛射抵达地球。

从预报的角度来看，我们需要关注所有可能指向地球的事件，也就是说，这15个事件都值得关注。下面，我们描述其中一系列事件，即24

日冕物质抛射发生于2011年1月（表1，日冕物质抛射1），以此说明一个似乎并未到达地球附近的事件。随后，我们将非常简要地评论其余5个事件。

8.1 2011年1月24日的日冕物质抛射（表1中的日冕物质抛射1）

图6展示了日冕仪和 COR-2 拍摄的2011年1月24日的日冕物质抛射（日冕物质抛射1）。在日冕仪图像中，这是一个发生在太阳面向地球一侧的大型事件，中心靠近黄道面。它具有复杂的环状结构，中心位置角位于黄道面，并有一些向北延伸的结构。HI-1A 和 HI-1B 似乎都拍摄到了同一次日冕物质抛射；两者略微不对称，表明该日冕物质抛射可能朝向中央子午线以西一定方向。SSEF30 估算的 1个太阳半径处起始时间相差109分钟，但径向速度相近（380 km/s 和 388 km/s；表1）。SSEF30 得出的传播方向几乎完全相同，HEEQ 纬度仅相差 3º （12º 和 15º），HEEQ 经度相差 5º （-6º 和 -1º），对应的日心地球黄道坐标系源位置为：HI-A（HI-B）的纬度分别为 +12º （+14º），经度分别为 0º （+5º）。这表明源区位于目标区内，处于太阳圆面的西北象限边缘，且可能指向地球。

APL COR-2目录列出了一次日冕物质抛射，首次观测时间为1月24日世界时02:39（COR-2A）和世界时03:54（COR-2B），天球平面速度分别为320和318千米/秒，表明其与HI 日冕物质抛射相符。图6所示的COR-2A图像显示，其日冕物质抛射结构与HI图像中观测到的相似。

只有一次 CDAW 日冕物质抛射的反推发射时间与推导出的 HI-A 日冕物质抛射起始时间相差不到 2 小时。其余最接近的 CDAW 日冕物质抛射的估计发射时间，均比估计的 HI-A 日冕物质抛射起始时间早 5 小时以上或晚 11 小时以上。图6还展示了这次日冕物质抛射的 LASCO C3 图像，它表现为一个环状事件，向太阳西南方向传播，中心位置角为 260º，宽度为 79º。显然，CDAW目录并未将其识别为晕状事件或部分晕状事件，因此不会将其视为可能指向地球的事件。

图6还展示了搭载于绕地球轨道运行的美国国家航空航天局太阳动力学观测台（SDO）上的大气成像组件（AIA；Lemen等人，2012）拍摄的图像。图像经过过度曝光处理，以显示世界时01:00在西南侧日缘喷发的日珥。南极冠日珥于1月24日早些时候开始活动，到世界时01:00时，喷发已清晰可见。日珥的东侧支脚已深入太阳圆面，结构则延伸至日缘之外，位置角约为230º。事实上，喷发后，明亮的日珥结构以非径向运动方式上升，到世界时约02:21时以230º 为中心。CDAW目录中的LASCO日冕物质抛射显示出与日珥物质一致的核心结构，持续的非径向（朝赤道方向）运动可能使该日珥与LASCO日冕物质抛射相对应。太阳西南象限中没有其他可能的日珥喷发。

虽然LASCO日冕物质抛射和太阳动力学观测台日珥似乎与朝向地球的日冕物质抛射没有明显关联，但LASCO、COR-2和日冕仪图像中的一些特征表明，这三者可能显示的是同一事件，或同一事件的不同部分。如果确实如此，那么至少有很大一部分喷发似乎来自太阳的西南象限。然而，HI-A和HI-B数据表明，喷发中至少有相当一部分朝向地球，而CDAW目录中并未记录这一点。在

简而言之，根据来自两艘航天器的日冕仪和COR-2数据，原本可以预报有一次朝向地球的日冕物质抛射。

尽管表1显示了日冕物质抛射到达地球的估计时间，但加州理工学院ACE和NASA Wind目录没有记录2011年1月24日至2月4日期间日地拉格朗日点 L1处有任何日冕物质抛射到达。因此，没有记录在日地拉格朗日点 L1处到达、且与相关日冕物质抛射事件相匹配的事件。当然，该日冕物质抛射可能从地球附近经过，但我们没有任何证据支持这一点。

8.2 其他未产生影响的事件

表1中列出的其余日冕物质抛射（上文未特别提及）也属于这样的情况：HIGeoCAT目录显示存在一个可能指向地球的日冕物质抛射，但没有明确对应的CDAW晕状/部分晕状日冕物质抛射；与此同时，在地球附近，加州理工学院ACE和NASA Wind目录中均未记录到相关的行星际日冕物质抛射到达。这包括2011年3月14日和3月20日（事件2和3）、5月3日（事件4）以及6月4日和6月6日（事件6和7）的事件。

9 讨论

在本研究中，我们旨在通过比较针对日地拉格朗日点 L1和偏离日地连线观测的现有目录，评估探测指向地球的日冕物质抛射的能力。我们特别关注SOHO LASCO CDAW目录与STEREO日球层成像仪 HIGeoCAT目录之间的比较。对于后者，我们可以选择使用三种不同的几何模型，如第2节所述，即调和平均（HMF）、固定相位（FPF）和自相似膨胀（SSEF；具体而言，是上文所述的SSEF30技术）拟合技术。在比较中，我们本可以选择使用其中任一种技术；事实上，它们通常会产生相当相似的结果，尤其是在某些几何构型下（包括从接近L5的位置观测指向地球的日冕物质抛射时的几何构型）。不过，FPF技术往往会给出比SSEF30技术更低的速度和更早的估计起始时间，而HMF技术往往会给出最高的速度和更晚的估计起始时间。然而，对于本研究所涉及的轨道几何构型而言，这些差异并没有大到足以否定所采用的关联时间窗口。例如，如果本研究旨在将日冕物质抛射的子结构与其原位对应结构进行比较，那么我们确实需要开展更详细的分析，并且可能需要使用更复杂的模型。

一个必须探讨的问题是：从观测角度来看，为什么我们可能无法从日地连线以外的观测视点识别指向地球的日冕物质抛射，而从日地拉格朗日点 L1 观测时却能看到它们。另一个与晕状日冕物质抛射的探测有关的问题，是所谓的汤姆孙面。由于汤姆孙散射过程，散射的光球辐射在入射辐射方向上与线成 90° 时达到最大值，因此形成一个以连接观测者与太阳的线段为直径的球面（例如，见 Vourlidas 和 Howard，2006年；Howard 和 DeForest，2012年）。人们据此认为，对于日冕仪观测，朝向地球、且远离汤姆孙面传播的日冕物质抛射，会比在天空平面内（靠近汤姆孙面）的类似日冕物质抛射暗。不过，研究表明，这种影响并不像早期作者认为的那么显著，因此后来使用了“汤姆孙平台”这一术语（见 Howard 和 DeForest，2012年及其中的参考文献）。从几何角度看，正面观测日冕物质抛射（呈现为晕或部分晕）时，还有其他因素会降低其可见度。日冕物质抛射在早期传播阶段，尤其是狭窄的指向地球的日冕物质抛射，会被日冕仪的遮光日面挡住，这意味着在它

本身就弱得多。此外，沿视线积分得到的日冕物质抛射强度，对于正面成像的事件通常很可能较弱，这仅仅是由于日冕物质抛射的几何形态和质量分布所致。

如上文讨论的若干事件所示，另一项似乎会妨碍识别晕状或部分晕状日冕物质抛射的问题，是事件发生前的物质、邻近日冕物质抛射的物质或多个日冕物质抛射事件相互叠加；在这种情况下，仅从日地拉格朗日点 L1 的单一观测方向，难以有效区分朝向地球的晕状日冕物质抛射。

本研究似乎揭示了一些此前未曾受到广泛关注的不一致现象。一项相关研究是 Möstl 等人（2014）开展的研究，他们分析了 2008年至2012年期间的 22 个指向航天器的日冕物质抛射。他们利用日冕仪成像的日冕物质抛射进行几何建模，预测其到达 1天文单位处的速度和到达时间；到达位置可以是 STEREO 航天器之一或 Wind 航天器，并将预测结果与这些航天器的原位等离子体观测进行比较。在这 22 个日冕物质抛射中，有 19 个在 Wind 航天器处被探测到，因此它们均朝向地球。作者并未声称编制了研究期间所有朝向地球的日冕物质抛射清单，但由于他们的研究涵盖了整个 2011 年，因此将其与当前工作进行比较具有参考意义。Möstl 等人（2014）根据以下条件筛选事件：在 1天文单位处（STEREO 或 Wind 航天器）具有明确的原位特征，且具有涵盖相关日冕物质抛射的清晰日冕仪时间—延伸角图。在本研究中，我们仅根据 HIGeoCAT 的 HI-A 条目识别所有可能朝向地球的日冕物质抛射，而不考虑是否存在原位行星际日冕物质抛射到达。因此，当前研究是对 Möstl 等人（2014）研究的补充，而非重复；我们不应预期两篇论文所列的事件完全一致。不过值得注意的是，在讨论的 15 个不一致事件中，没有一个被纳入 Möstl 等人（2014）的研究。

如上所述，其中一些事件存在观测上的复杂因素，例如前一个日冕物质抛射的残余。这些因素可能导致时间—伸长角特征不够清晰，从而很可能使这些事件未被纳入 Möstl 等人（2014年）的研究。此外，当前研究使用了 ACE Caltech 和 NASA Wind行星际日冕物质抛射目录，而 Möstl 等人（2014年）的研究仅使用了 Wind 行星际日冕物质抛射数据。

类似地，Braga 等人（2020）研究了利用日冕仪数据成像的日冕物质抛射在地球附近的到达时间。他们最初的日冕物质抛射清单包括 Sachdeva 等人（2017）研究的38个事件，其中包含2011年由日冕仪探测到的13次日冕物质抛射。我们注意到，上述表1仅列出了这13次日冕物质抛射中的两次。这两次中的第一次是2011年1月24日的日冕物质抛射（CME 1）。Sachdeva 等人（2017）的研究关注洛伦兹力和空气动力阻力对日冕物质抛射传播的相对贡献；他们没有预测其到达地球的时间。在 Braga 等人（2020）的表1中，他们指出有一次行星际日冕物质抛射与1月24日的日冕物质抛射相关联。然而，行星际日冕物质抛射在1天文单位处的到达时间记为1月24日06:43世界时，早于首次在日冕仪视场中观测到该日冕物质抛射的时间；Braga 等人（2020）也指出，从观测到日冕物质抛射到行星际日冕物质抛射到达到时间间隔过短。因此，本文没有将这次行星际日冕物质抛射视为可能由日冕仪观测到的日冕物质抛射撞击1天文单位处而产生的事件。同样，Braga 等人（2020）将10月26日的日冕物质抛射（CME 12）与11月1日的行星际日冕物质抛射对应起来，而我们认为后者更可能是由10月29日的日冕物质抛射导致的；我们认为，10月26日的日冕物质抛射更可能与

ACE Caltech目录中的10月30日行星际日冕物质抛射相关（尽管Wind清单中未记录这一事件），原因如上所述。

10 总结

本研究的重点更多在于日冕物质抛射的识别方式，而非其详细物理特性。HIGeoCAT 是由日冕仪首席研究员团队编制的 STEREO 日冕仪日冕物质抛射目录，采用了成熟但较为简单的几何建模技术。CDAW目录则是由 LASCO 团队编制、沿用已久的 LASCO日冕物质抛射目录。日冕物质抛射的识别与特征描述是空间天气预报的核心；对比这两份日冕物质抛射列表，有助于深入了解：（1）我们准确探测并追踪潜在朝向地球的日冕物质抛射的能力；（2）比较在偏离日地连线的位置与近地位置所作的观测；以及（3）我们从日冕到日球层识别和追踪日冕物质抛射的能力。

由于需要选取一段既有偏离日地连线的 STEREO航天器观测、又处于太阳活动相对活跃时期的时间，因此选择了2011年这一日历年。在2011年识别出的116个 HIGeoCAT HI-A日冕物质抛射中，有35个似乎与CDAW目录所列的晕状或部分晕状日冕物质抛射相关。这表明，从日地连线两侧不同观测视点探测到的朝向地球的日冕物质抛射具有相当的一致性，值得在后续研究中进一步探讨。第5节介绍了一个此类事件，即2011年2月14日发生的事件。

本研究的主要发现如下：

- 根据SSEF分析估计的传播方向，确定了HIGeoCAT HI-A日冕物质抛射中一个被认为很可能会撞击地球的重要子集。在符合这一情况的28个HIGeoCAT HI-A日冕物质抛射中，确定有15个可能朝向地球，但在LASCO数据中未发现相应的晕状日冕物质抛射或部分晕状日冕物质抛射。本文的核心正是对这些事件的分析。

- 在某一年中，加州理工学院ACE和NASAWind目录分别报告了仅32次和19次在日地拉格朗日点L1的行星际日冕物质抛射到达；在观测结果对于位于太阳-地球线上和偏离太阳-地球线存在歧义的情况下，如此大量的潜在指向地球的不一致的日冕物质抛射令人担忧。

- 我们发现，在这15个异常的朝向地球的日冕物质抛射中，有9个与行星际日冕物质抛射抵达地球相一致，尽管缺乏一致的CDAW晕/部分晕状日冕物质抛射记录。能够成功识别出这些朝向地球的日冕物质抛射，得益于采用偏离日地连线的观测视点，并结合对日冕仪数据的分析推导其传播方向。

- 对于这9个事件，使用应用于HI-A数据的SSEF30技术估算的1天文单位处到达时间与实际到达时间之间的时间差（实际到达时间定义为时间上最接近的行星际日冕物质抛射的首次记录冲击波或行星际日冕物质抛射起始时间，如表1所定义）范围为2小时7分钟至35小时37分钟。平均绝对差为11.4小时。然而，时间差数值主要受到事件9和事件11这两个离群差值的影响。对于其余事件，估算的1天文单位处到达时间与实际行星际日冕物质抛射起始时间之间的平均绝对差为5.2小时。在其中三个事件中，

SSEF30估计的到达时间早于实际的行星际日冕物质抛射到达；对于其余6个，实际的行星际日冕物质抛射到达早于SSEF30估计的到达时间。

• 对于其余 15 个观测不一致的日冕物质抛射中的 6 个，HIGeoCAT HI-A目录提供了可能存在指向地球的日冕物质抛射的证据，但没有记录到行星际日冕物质抛射到达。每种情况下，都没有对应的 CDAW 晕状/部分日冕物质抛射。这些可能是擦肩而过的事件，从预报的角度来看值得关注。然而，在没有日冕物质抛射撞击地球的证据时，我们应认识到，在某些情况下，可能是日冕物质抛射前沿的持续追踪出现了错误，或者 SEFF30 的假设并不适用于该日冕物质抛射。

• 在 9 个于 1天文单位处具有一致的行星际日冕物质抛射到达观测结果的 HIGeoCAT HI-A日冕物质抛射中，4 个显示出前一个日冕物质抛射残余物的迹象，1 个显示出相邻的日冕物质抛射结构，另有 1 个后面跟随了另一个日冕物质抛射。由于日冕物质抛射结构相互叠加，再加上晕状日冕物质抛射本身较为暗淡，这类事件可能会妨碍从日地拉格朗日点 L1 识别正面日冕物质抛射。这些观测凸显了结合来自日地连线之外的日冕和日球层观测与来自日地拉格朗日点 L1 的日冕仪观测的价值。

这项工作表明，为了可信地预测空间天气影响，太阳—地球线上的观测和偏离太阳—地球线的观测（包括日球层成像）对于成熟的空间天气监测能力都至关重要。

数据可用性声明

本研究使用了来自三个来源的目录，作者感谢这些目录提供方的支持。其中包括 HELCATS 目录（https://www.helcats-fp7.eu/），特别是 STEREO日球层成像仪的日冕物质抛射目录 HICAT（https://www.helcats-fp7.eu/catalogues/wp2_cat.html）、HIGeoCAT（https://www.helcats-fp7.eu/catalogues/wp3_cat.html）和 HIJoinCAT（https://www.helcats-fp7.eu/catalogues/wp2_joincat.html）。HICAT 和 HIGeoCAT 目录由 STFC 卢瑟福·阿普尔顿实验室的 STEREO日球层成像仪团队生成和维护。本研究还使用了 CDAW SOHO LASCO 仪器的日冕物质抛射目录（https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/）。该目录由美国国家航空航天局和美国天主教大学与海军研究实验室合作，在 CDAW 数据中心生成和维护。我们还感谢 STEREO COR-2 目录（http://solar.jhuapl.edu/Data-Products/COR-CME-Catalog.php）。该目录由约翰·霍普金斯大学应用物理实验室与海军研究实验室和美国国家航空航天局戈达德太空飞行中心合作生成和维护，并由美国国家航空航天局提供支持。

Acknowledgments

STEREO上的日冕仪仪器由一个联盟研制，该联盟包括伯明翰大学（英国）、卢瑟福·

该项目由欧盟 FP7–SPACE–2013–1 计划（项目编号 #606692）资助。我们也感谢由

参考文献

Barnes, D., Davies, J. A., Harrison, R. A., Byrne, J., Perry, C. H., Bothmer, V., Eastwood, J., Gallagher, P., Kilpua, E., Möstl, C., Rodriguez,L.,Rouillard,A.,Odstrcil,D.（2019年）。日球层中的日冕物质抛射：II.对通过应用于由STEREO/日冕仪在2007年至2017年间日球层中探测到的日冕物质抛射的单航天器几何建模技术推导出的运动学性质进行的统计分析，《太阳物理学》 294, 57。 https://doi.org/10.1007/s11207-019-1444-4Barnes, D., Davies, J. A., Harrison, R. A., Byrne, J., Perry, C. H., Bothmer, V., Eastwood, J.,Gallagher, P., Kilpua, E., Möstl, C., Rodriguez,L.,Rouillard,A.,Odstrcil,D.（2020年）。日球层中的日冕物质抛射：III：对通过应用于由STEREO/日冕仪-1在2008年至 2014年间日球层中探测到的日冕物质抛射的立体几何建模技术推导出的运动学性质进行的统计分析，《太阳物理学》 295, 150。 https://doi.org/10.1007/s11207-020-01717-w。Braga,C. R., Vourlidas, A., Stenbourg, G., Dal Lago, A., RodriguesSouza de Mendoca, R.,Echer,E.（2020年）。根据日球层成像观测预测日冕物质抛射抵达地球的时间，《地球物理研究杂志：空间物理学》 125, e2020JA027885。 https://doi.org/10.1029/2020JA027885。Brueckner,G.E., Howard, R. A., Koomen,M.J, Korendyke,C. M., Michels, D. J., Moses, J. D.,Socker, D. G., Dee, K. P.,Lamy, P. L., Llebaria, A., Bout, M. V., Schwenn, R., Simnett,G.M., Bedford,D.K., Eyles, C. J.（1995年）。大视场光谱日冕仪（LASCO），《太阳物理学》 162, 357。 https://doi.org/10.1007/BF00733434。Cane, H., Richardson,I. （2003年）。1996—2002 年地球附近太阳风中的行星际日冕物质抛射。《地球物理研究杂志：空间物理学》 108, 1156。 https://doi.org/10.1029/2002JA009817。Davies, J. A., Harrison, R. A., Perry, C. H., Möstl, C., Lugaz, N., Rollett, T., Davis, C. J., Crothers, S. R., Temmer,M.,Eyles, C. J.,Savani,N. P.（2012年）。用于太阳瞬变传播研究的自相似膨胀模型，《天体物理学杂志》 750, 23。 https://doi.org/10.1088/0004-637X/750/1/23。Domingo, V., Fleck, B.,Poland, A. I.（1995年）。SOHO：太阳与日球层观测台，《空间科学评论》 72, 81。 https://doi.org/10.1007/BF00768758。Eyles, C. J., Harrison,R. A., Davis, C.J., Waltham, N. R., Shaughnessy, B. M., Mapson-Menard,H.C. A., Bewsher, D., Crothers, S. R., Davies, J. A., Simnett, G. M., Howard,R. A., Moses, J. D., Newmark, J. S., Socker, D. G., Halain, J.-P.,Defise,J.-M., Mazy, E., Rochus,P.（2009年）。搭载于 STEREO 任务上的日球层成像仪，《太阳物理学》 254, 387。 https://doi.org/10.1007/s11207-008-9299-0。

Gibney, E.（2017）。随着欧洲卫星的投入，空间天气预报将得到改善，《自然》541，271。https://doi.org/10.1038/541271a。Gopalswamy, N., Yashiro, S., Michalek, G., Stenborg, G., Vourlidas, A., Freeland, S., Howard, R.（2009）。SOHO/LASCO日冕物质抛射目录，《地球、月球与行星》295，313。https://doi.org/10.1007/s11038-008-9282-7。Harrison, R. A.（1995）。与日冕物质抛射相关的太阳耀斑的性质，《天文学与天体物理学》304，585。Harrison, R. A.（1996）。日冕磁暴：关于耀斑及"太阳耀斑神话"争论的新视角，《太阳物理学》166，441。https://doi.org/10.1007/BF00149411。Harrison, R. A., Davis, C. J., Eyles, C. J., Bewsher, D., Crothers, S., Davies, J. A., Howard, R. A., Moses, D. J., Socker, D. G., Halain, J.-P., Defise, J.-M., Mazy, E., Rochus, P., Webb, D. F., Simnett, G. M.（2008）。首次成像从太阳—地球连线之外观测到的日球层日冕物质抛射，《太阳物理学》247，171。https://doi.org/10.1007/s11207-007-9083-6。Harrison, R. A., Davies, J. A., Möstl, C., Liu, Y., Temmer, M., Bisi, M. M., Eastwood, J. P., deKoning, C. A., Nitta, N., Rollett, T., Farrugia, C. J., Forsyth, R. J., Jackson, B. V., Jensen, E. A., Kilpua, E. K. J., Odstrcil, D., Webb, D. F.（2012）。分析2010年8月1日多次日冕物质抛射的初始和传播过程，《天体物理学杂志》750，45。https://doi.org/10.1088/0004-637X/750/1/45。Harrison, R. A., Davies, J. A., Barnes, D., Byrne, J., Perry, C. J., Bothmer, V., Eastwood, J., Gallagher, P., Kilpua, E., Möstl, C., Rodriguez, L., Rouillard, A., Odstrcil, D.（2018）。日球层中的日冕物质抛射：I. 对2007年至2017年间由STEREO/HI-1在日球层中探测到的日冕物质抛射观测特性的统计分析，《太阳物理学》293，77。https://doi.org/10.1007/s11207-018-1297-2。Howard,R. A., Moses, J. D., Vourlidas, A., Newmark, J. S., Socker, D. G., Plunkett, S. P., Korendyke, C. M., Cook, J. W., Hurley, A., Davila, J. M., Thompson, W. T., St Cyr, O. C., Mentzell, E., Mehalick, K., Lemen, J. R., Wuelser, J. P., Duncan, D. W., Tarbell, T. D., Wolfson, C. J., Moore, A., Harrison, R. A., Waltham, N. R., Lang, J., Davis, C. J., Eyles, C. J., Mapson-Menard, H., Simnett, G. M., Halain, J.- P., Defise, J.-M., Mazy, E., Rochus, P., Mercier, R., Ravet, M. F., Delmotte, F., Auchere, F., Delaboudiniere, J. P., Bothmer, V., Deutsch, W., Wang, D., Rich, N., Cooper, S., Stephens, V., Maahs, G., Baugh, R., Mcmullin, D.（2008）。太阳—地球连接日冕与日球层探测（SECCHI），《空间科学评论》136，67-115。https://doi.org/10.1007/s11214-008-9341-4。Howard, T. A., DeForest, C. E.（2012）。汤姆孙面：I. 真实与神话，《天体物理学杂志》752，130。https://doi.org/10.1088/0004-637X/752/2/130。Howard, T. A., Harrison, R. A.（2013）。隐匿型日冕物质抛射：一种观点，《太阳物理学》285，269。https://doi.org/10.1007/s11207-012-0217-0。Kahler, S. W. and Webb, D. F.（2007）。利用太阳质量抛射成像仪观测到的V形弧状行星际日冕物质抛射，《地球物理研究杂志》112，A9。https://doi.org/10.1029/2007JA012358。Kahler, S. W., Akiyama, S., Gopalswamy, N.（2012）。快速日冕物质抛射的偏转及相关太阳高能粒子事件的特性，《天体物理学杂志》754，100，doi：https://doi.org/10.1088/0004-637X/754/2/100。Kaiser, M. L., Kucera, T. A., Davila, J. M., St Cyr, O. C., Guhathakurta, M., Christian, E.（2008）。STEREO任务：简介，《空间科学评论》136，5，https://doi.org/10.1007/s11214-007-9277- 0。Lemen, J. R., Title, A. M., Akin, C., Drake, J. F., Duncan, D. W. Edwards, F. M., Heyman, G. F., Hurlburt, N. L., Kushner, G. D., Levay, M., Lindgren, D. P., McFeaters, E. L., Mitchell, R. A.,

Schrijver, C. J., Springer, R. A., Tarbell,T. D., Wuelser, C. J., Yanari,C., Bookbinder, P. N.,Caldwell,D., Deluca, R., Golub, L., Park, S., Podgorski, R. I., Scherrer, P. H., Gu mmin,P., Auker,G., Jerram, P., Pool, R., Windt, D. L., Beardsley,S., Clapp, M. J., Waltham,N. R.(2012年),太阳动力学观测台（SDO）上的大气成像组件（AIA）,《太阳物理学》275, 17, https://doi.org/10.1007/s11207-011-9776-8.Lugaz, N.,Kintner,P. (2013年).太阳风阻力对利用日球层图像确定日冕物质抛射性质的影响,《太阳物理学》285, 281, https://doi.org/10.1007/s11207-012-9948-1. Lugaz, N., Vourlidas,A.,Roussev,I.I.(2009年).根据日球层中的伸长角测量推导宽日冕物质抛射的径向距离——日冕物质抛射相互作用的应用,《地球物理学年报》27, 3479, https://doi.org/10.5194/angeo-27-3479-2009. Maričić, D., Vršnak,B., Dumbović, M., Žic,T., Roša, D., Hržina, D., Lulić, S.,Roštakn, I., Bušić, I., Salamon, K., Temmer, M., Rollett, T., veronig, A., Bostanjyan, N., Chilingarian, A.,Mailyan,B., Arakelyan, K., Hovhannisyan,A.,Mujić, N. (2014年).相互作用的行星际日冕物质抛射的运动学及相关的Forbush下降：案例研究,《太阳物理学》289, 351, https://doi.org/10.1007/s11207-013-0314-8. Millward, G., Biesecker, D., Pizzo,V.,deKoning,C.A.(2013年). 用于分析日冕仪图像的业务软件工具：确定日冕物质抛射参数并输入WSA-Enlil日球层模型,《空间天气》11,57, https://doi.org/10.1002/swe.20024.Mishra,W., Srivsatava,N.(2014年), 2011年2月13—15日三次相互作用日冕物质抛射的形态学与运动学演化,《天体物理学杂志》794,64, https://doi.org/10.1088/0004- 637X/794/1/64. Mishra, W.,Srivastava, N., Singh,T.(2015年). 2012年9月25日和28日相互作用日冕物质抛射的运动学,《地球物理学研究杂志：空间物理学》120, 10221, https://doi.org/10.1002/2015JA021415. Möstl,C.,Davies, J. A. (2013年), 由自相似膨胀圆形前沿近似得到的太阳瞬变事件速度和到达时间,《太阳物理学》285, 411, https://doi.org/10.1007/s11207-012-9978-8. Möstl, C., Amla, K., Hall, J. R., Liewer, P. C., De Jong, E. M., Colaninno, R. C., Veronig, A. M., Rollett, T., Temmer, M., Peinhart, V., Davies, J. A., Lugaz, N., Lius,Y.D., Farrugia, C. J., Luhmann, J. G., Vršnak, B., Harrison, R.A.,Galvin,A.B.(2014年). 将22次日冕物质抛射从太阳到1天文单位的速度、方向和到达时间联系起来,《天体物理学杂志》787, 119, https://doi.org/10.1088/0004-637X/787/2/119. Möstl, C., Weiss, A. J., Reiss, M. A., Amerstorfer,T., Bailey, R. L., Hinterreiter, J., Bauer, M., Barnes, D., Davies, J. A., Harrison,R. A., Freiherr von Forstner, J. L., Davies, E. E., Heyner, D., Horbury,T., Bale, S.D. (2022年). 使用太阳轨道器、BepiColombo、帕克太阳探测器、Wind和STEREO-A观测到的多点行星际日冕物质抛射,《天体物理学杂志》924,L6, https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac42d0. Nieves-Chinchilla, T., Vourlidas, A., Raymond,J. C., Linton,M. G., Al-haddad, N., Savani,N. P.,Szabo, A., Hidalgo,M.A.(2018年).利用超过20年的Wind观测了解行星际日冕物质抛射的内部磁场构型,《太阳物理学》293, 25,https://doi.org/10.1007/s11207- 018-1247-z. Ravishankar, A.,Michalek,G.,Yashiro, S. (2020年). LASCO视场中的日冕物质抛射运动学,《天文学与天体物理学》639, A68. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202037834. Richardson,I.,Cane,H.(2010年).太阳活动周23期间（1996—2009年）地球附近的行星际日冕物质抛射：目录及性质概要,《太阳物理学》264, 189, https://doi.org/10.1007/s11207-010-9568-6。

Rouillard, A. P., Davies, J. A., Forsyth, R. J., Rees, A., Davis, C. J., Harrison, R. A., Lockwood, M., Bewsher, D., Crothers, S., Eyles, C. J., Hapgood, M. A., Perry, C. H.（2008年）。首次使用STEREO航天器对共转相互作用区成像，《地球物理研究快报》 35, L10110，https://doi.org/10.1029/2008GL033767。Sachdeva, N., Subramanian, P., Vourlidas, A., Bothmer, V.（2017年）。利用STEREO和LASCO观测研究日冕物质抛射动力学：洛伦兹力和太阳风阻力的相对重要性，《太阳物理学》 292, 118，https://doi.org/10.1007/s11207-017-1137-9。Sheeley, N. R., Herbst, A. D., Palatchi, C. A., Wang, Y. -M., Howard, R. A., Moses, J. D., Vourlidas, A., Newmark, J. S., Socker, D. G., Plunkett, S. P., Korendyke, C. M., Burlaga, L. F., Davila, J. M., Thompson, W. T., St Cyr, O. C., Harrison, R. A., Davis, C. J., Eyles, C. J., Halain, J. P., Wang, D., Rich, N. B., Battams, K., Esfandiari, E., Stenborg, G.（2008年）。地球处太阳风的日球层图像，《天体物理学杂志》 675, 853。Temmer, M., Veronig, A. M., Peinhart, V., Vršnak, B.（2014年）。2011年2月14日至15日事件中日冕物质抛射相互作用过程的对称性，《天体物理学杂志》 785, 85，https://doi.org/10.1088/0004-637X/785/2/85。Thompson, W. T.（2006年），太阳图像数据的坐标系，《天文学与天体物理学》449, 791，https://doi.org/10.1051/0004-6361:20054262。Vourlidas, A., Howard, R. A.（2006年），日冕物质抛射亮度的恰当处理：一种新方法及其对观测的影响，《天体物理学杂志》642, 1216，https://doi.org/10.1086/501122。Vourlidas, A., Balmaceda, L. A., Stenborg, G., Dal Lago, A.（2017年）。基于STEREO COR-2观测的多视角日冕物质抛射目录，《天体物理学杂志》 838, 141，https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa67f0。Vrsnak, B., Zic, T., Vrbanec, D., Temmer, M., Rollett, T., Mostl, C., Veronig, A., Calogovic, J., Dumbovic, M., Lulic, S., Moon, Y. -J., Shanmugaraju, A.（2013年）。行星际日冕物质抛射的传播：基于阻力的模型，《太阳物理学》 285, 295，https://doi.org/10.1007/s11207-012-0035-4。

表1。HIGeoCAT（SSEF30）和CDAW列出的日冕物质抛射的关键参数：这些事件的投影HI-A日冕物质抛射源区位于以从地球观测到的太阳圆面中心为中心的+/-20° 目标区内，且没有相关的CDAW部分晕或晕状日冕物质抛射。相应的HI-B日冕物质抛射使用HIJoinCAT进行识别。列出了其报告的投影起始时刻位于HI-A推导的日冕物质抛射起始时间（位于1个太阳半径处）前后+/-2小时内的CDAW事件。每个HI日冕物质抛射的投影1天文单位处到达时间均假定HIGeoCAT恒定速度持续至地球。若SSEF30投影的日冕物质抛射1天文单位处到达时间（根据HI-A数据估算）与行星际日冕物质抛射激波，或起始和结束时刻相差不超过48小时，则注明ACE和Wind在日地拉格朗日点L1处的行星际日冕物质抛射到达。

	HELCATS 事件编号	HIGeoCAT（STEREO日球层成像仪）日冕物质抛射							CDAW（LASCO）日冕物质抛射			ACE 行星际日冕物质抛射		Wind 行星际日冕物质抛射	
		Time of first observation in HI-1 field of view (UT)	SSEF30: Source longitude HEEQ (HEE) (degrees)	SSEF30: Source latitude HEEQ (HEE) (degrees)	SSEF30: CME onset (Sun Centre) (UT)	SSEF30: Projected onset at 1Rs (UT)	SSEF30 model: CME radial speed (km/s)	SSEF30 model: Arrival at 1 AU (UT)	Time of first observation in LASCO field of view	Back-projected CME onset (at limb, plane of sky)	CME speed (km/s)	Time of shock (onset and end times of ICME)	ICME speed at 1 AU	Time of ICME onset (magnetic obstacle onset and end time of ICME)	ICME Speed at 1 AU
1.	HCME_A__2011 0124_01	1月24日10:09	12 (12)	-6 (0)	1月24日 03:35	4:06	380	1月28日 17:14	1月24日 02:00	2:15	258	无事件 报告日期：1月24日 至2月4日	n/a	无事件 报告日期：1月24日 至2月18日	n/a
	HCME_B__2011 0124_01	1月24日 12:09	15 (14)	-1 (5)	1月24日 01:47	2:17	388	1月28日 13:13							
2.	HCME_A__2011 0314_01	3月14日 08:49	7 (7)	0 (7)	3月14日 02:44	3:04	577	3月17日 02:57	3月14日 04:24	3:48	415	无事件 报告：6至 3月29日	n/a	无事件 reported: 2月18日 至3月29日	n/a
	无 HIJoinCAT HI-B CME 已列出	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a							
3.	HCME A 2011_ __ 0320_01	3月20日 02:09	-7 (-7)	-20 (-13)	3月19日 17:24	18:03	299	3月25日 12:45	3月19日 16:48	16:50	602	无事件 报告：6至 3月29日	n/a	无事件 报道：2月18日 到3月29日	n/a
	HCME_B__2011 0320_01	3月20日 02:09	-14 (-14)	-29 (-23)	3月19日 19:43	20:03	594	3月22日 17:52							
4.	HCME_A__2011 0503_01	5月3日 22:09	-4 (-3)	9 (14)	5月3日 17:29	17:47	648	5月6日 09:47	5月3日 16:51 5月3日 17:43	16:00 16:45	658 346	无事件 报告：29 3月至5月28日	n/a	无事件 报告：29 Apr 至 5 月 28 日	
	HCME_B__2011 0503_02	5月3日 21:29	-16 (-14)	18 (24)	5月3日 16:02	16:26	495	5月7日 04:13							
5.	HCME_A__2011 0525_01	5月25日 08:09	-17 (-18)	-11 (-8)	5月25日 03:15	3:37	545	5月28日 07:42	5月25日 05:24	4:30	276		510		519

	HCME_B__2011 0525_01	5月25日 08:49	0 (-1)	-14 (-13)	5月25日 00:53	1:16	498	28 五月 12:33				五月28日 01:00 (5月28日 05:00 至 21:00)		28 五月 00:14 (28 五月 05:31 到 22:47)	
6.	HCME_A__2011 0604_01	6月4日 02:09	2 (0)	-20 (-20)	6月3日 20:17	20:46	412	8 6月 01:25	6月3日 21:24 6月3日 22:00	19:45 20:40	303 239	无事件报告：4至 6月17日	n/a	无事件报告：4至17 Jun	n/a
	HCME_B__2011 0604_01	6月4日 03:29	-1 (-3)	-19 (-19)	6月3日 21:02	21:28	448	6月7日 18:02							
7.	HCME_A__2011 0606_01	06 6月 14:09	7 (8)	10 (9)	6月6日 08:47	9:17	382	6月10日 21:52	6月6日 07:30 6月6日 10:27	7:45 9:06	582 249	无事件报告：4至 6月17日	n/a	无事件报告：4至17 Jun	n/a
	无 HIJoinCAT 列出的 HI-B CME	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a							
8.	HCME_A__2011 0623_01	6月23日 20:09	-10 (-8)	17 (17)	6月23日 13:24	14:08	266	30 6月 02:02	23 6月 13:25	12:08	347	无事件报道：17 6月到7月6日	n/a	6月30日13:26（30 6月18:43–7月1日 05:16）	329
	HCME_B__2011 0623_01	6月23日 19:29	-21 (-21)	-2 (-2)	6月23日 09:51	10:22	381	6月27日 23:13							
9.	HCME_A__2011 0703_01	7月3日 02:49	-5 (-6)	-11 (-14)	02 7月 19:50	20:07	713	7月5日 06:16	7月2日 20:36	19:30	310	7月6日 02:58（7月6日 7月7日17:00 12:00)	360	7月3日 19:12（7月3日 19:12 至 7 月 4 日 19:12)	392
	无 HIJoinCAT 所列出的 HI-B CME	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a							
10.	HCME_A__2011 0711_01	7月11日 16:49	-8 (-9)	-1 (-5)	7月11日 08:47	9:11	494	7月14日 21:07	7月11日 10:00 7月11日 12:00	8:45 10:50	268 7 266	7月 04:00 至 16 7月 15:00)	410	无事件报告时间：7月3日 至 9月17日	n/a
	HCME_B__2011 0711_01	7月11日 17:29	-22 (-23)	-2 (-4)	7月11日 04:25	4:57	361	7月15日 23:50							
11.	HCME_A__2011 1005_01	10月5日 01:29	13 (13)	0 (-5)	10月4日 19:25	19:50	458	10月8日 14:24	10月4日 19:48 10月4日 21:24	19:10 20:20	416 501	10月6日 12:00（6 10月12:00至 23:00）和7 10月7日 02:47（7 Oct 02:00 至 17:00)	370 and 380	10月5日 06:46 (10月5日 9月7日09:56 02:06)	399
	无 HIJoinCAT HI-B 事件列出	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a							
12.	HCME_A__2011 1026_01	10月26日 16:49	-4 (-4)	6 (2)	10月26日 11:06	11:32	449	10月30日 07:54	10月26日 11:48 10月26日 13:25	11:00 11:50	324 262	10月30日 10:01 (10月31日 01:00 至 15:00)	449 and 380	无事件报道：10月24日 至11月1日	n/a
	HCME_B__2011 1026_01	10月26日 20:09	-87 (-87)	6 (1)	10月25日23:44	00:10	451	10月29日 20:33							
13.	HCME_A__2011 1029_01	10月29日 02:49	10 (8)	15 (12)	10月28日 17:31	17:57	447	11月1日 14:44	10月28日 19:00	17:36	225	10月30日 10:01 (10月31日 01:00 至 15:00) 或 11月1日 09:07 (2) 11月01:00至3 11月04:00)	449 and 380	11月1日 08:09 (1 11月08:09 至 22:04) 或 11月2日 00:21（11月2日 03:35 至 11月3日 04:33)	412 and 371
	HCME_B__2011 1029_01	10月29日 02:10	13 (10)	21 (18)	10月28日 16:58	17:20	526	11月1日 00:10							
14.	HCME_A__2011 1101_01	11月1日 12:09	-9 (-10)	20 (16)	11月1日 05:59	6:25	450	11月5日 02:35	11月1日 08:46	08:00	400		n/a		303

	无 HIJoinCAT HI-B 事件 已列出	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a				无事件 报告：1 至 7 Nov.		11月4日 20:27（4 11月21:17至5 11月20:09)	
15.	HCME_A__2011 1129_01	11月29日 03:29	1 (0)	11 (11)	11月29日 00:05	0:32	437	12月2日 23:21	无事件	n/a	n/a	12月2日 17:17 (2 12月18:00 to 3 Dec 07:00)	400	无事件 reported: 11月28日 至 1月21日	n/a
	HCME_B__2011 1129_01	11月29日 04:50	-11 (-14)	24 (22)	11月28日 20:16	20:47	377	12月3日 10:47							

图1。2011年2月14日日冕物质抛射的 HI-1A（左）和 HI-1B（中）差分图像，均摄于2011年

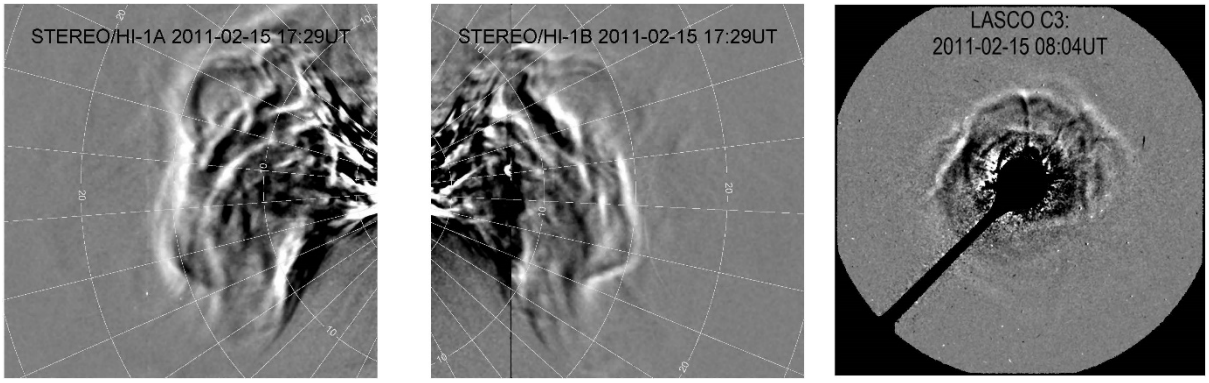

图2。2011年7月11日 HI 日冕物质抛射（表1中的 CME 10）在 HI-1A（上）和 HI-1B

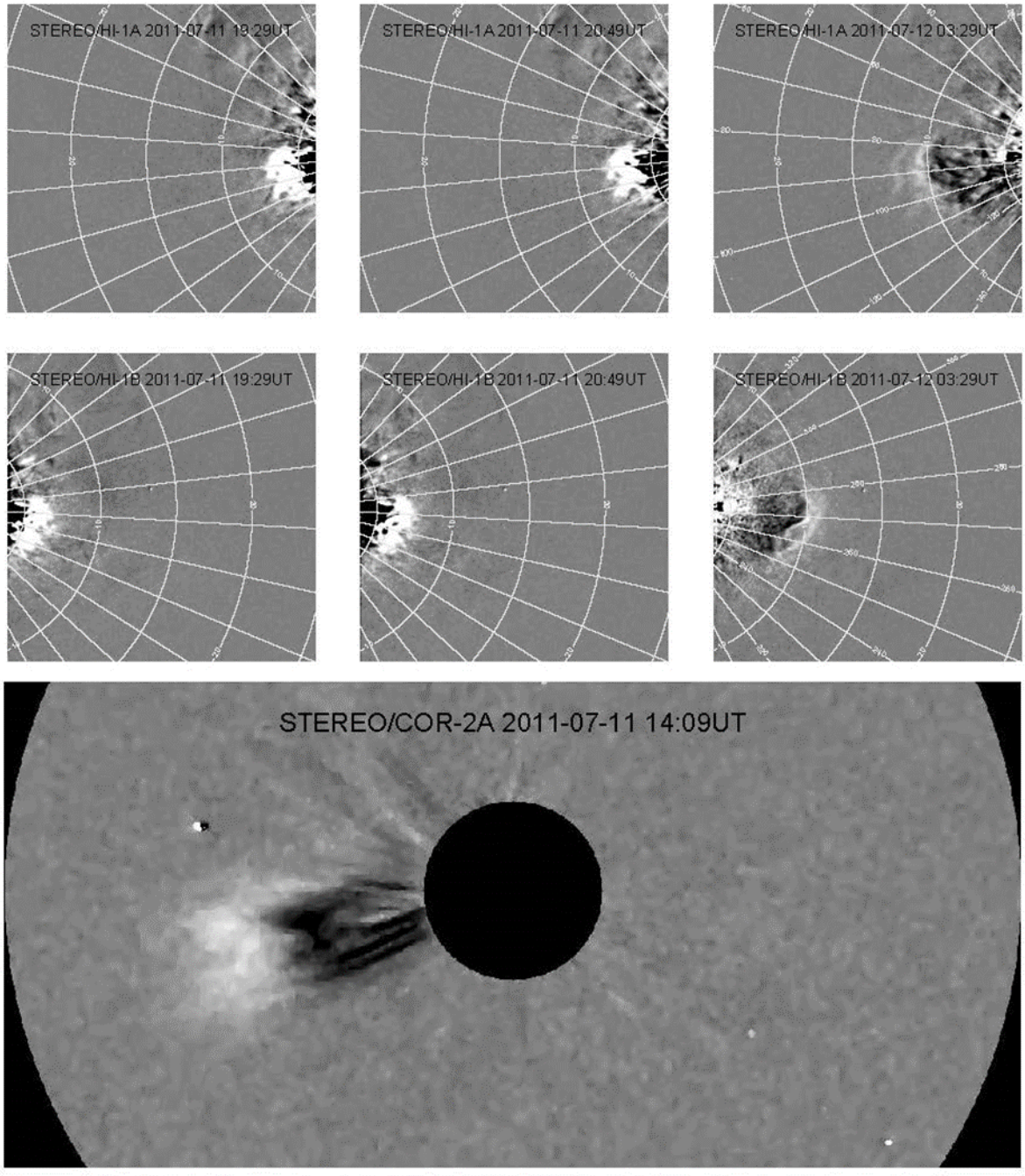

图3。以与图1相同的格式，从HI-1A（顶部）和HI-1B（中部）获取的5月25日日冕仪日冕物质抛射（日冕

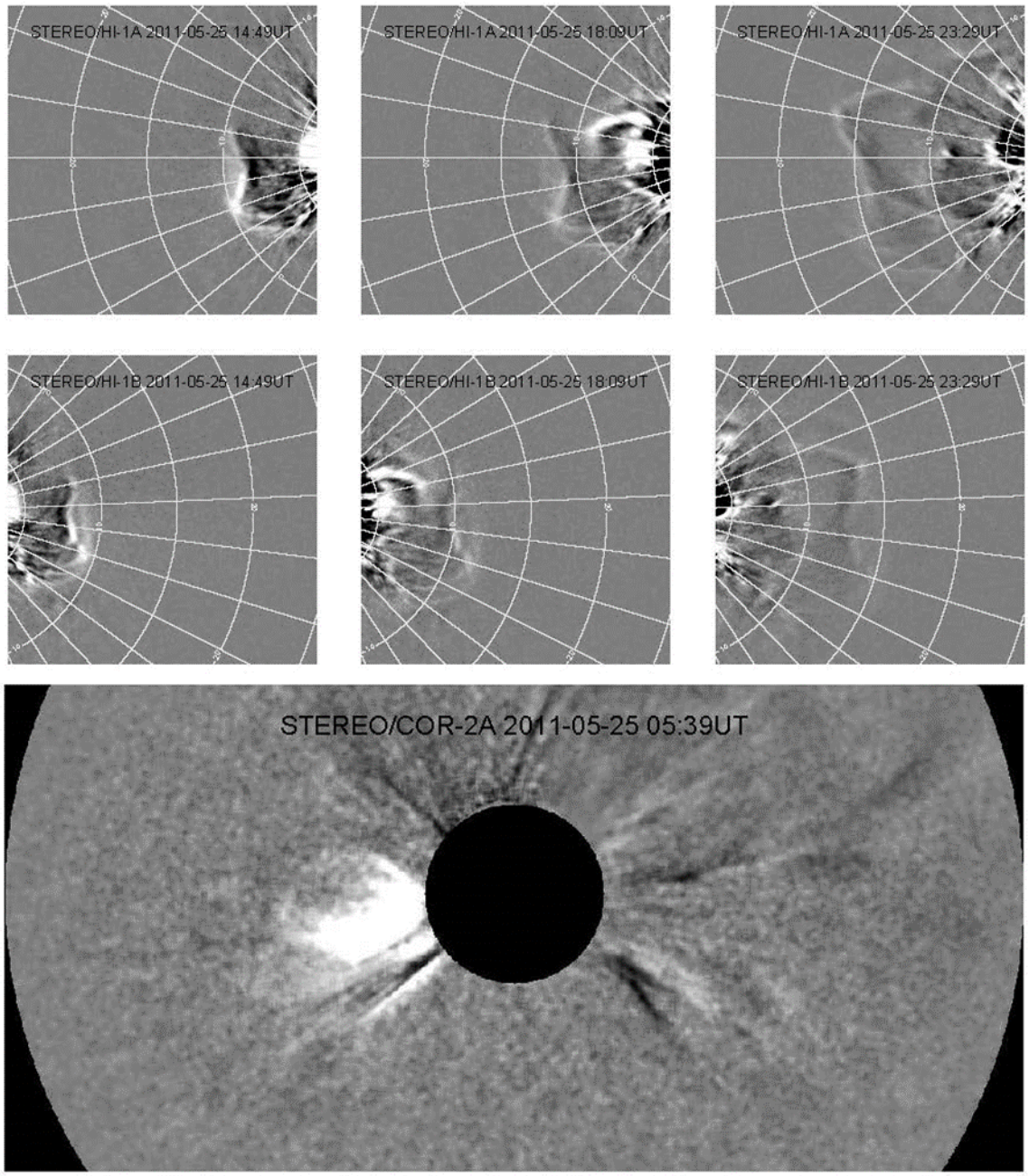

图 4. LASCO C2 差分图像，显示日冕物质抛射位于西北日缘外，投影起始时间为五月 25 日 04:30 世界时。

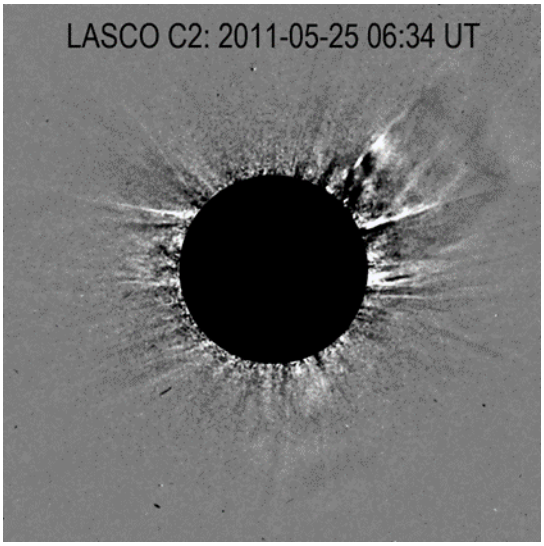

图5. 2011年7月3日（CME 9；上）、10月26日（CME 12；中）和11月29日（CME 13；下）首次

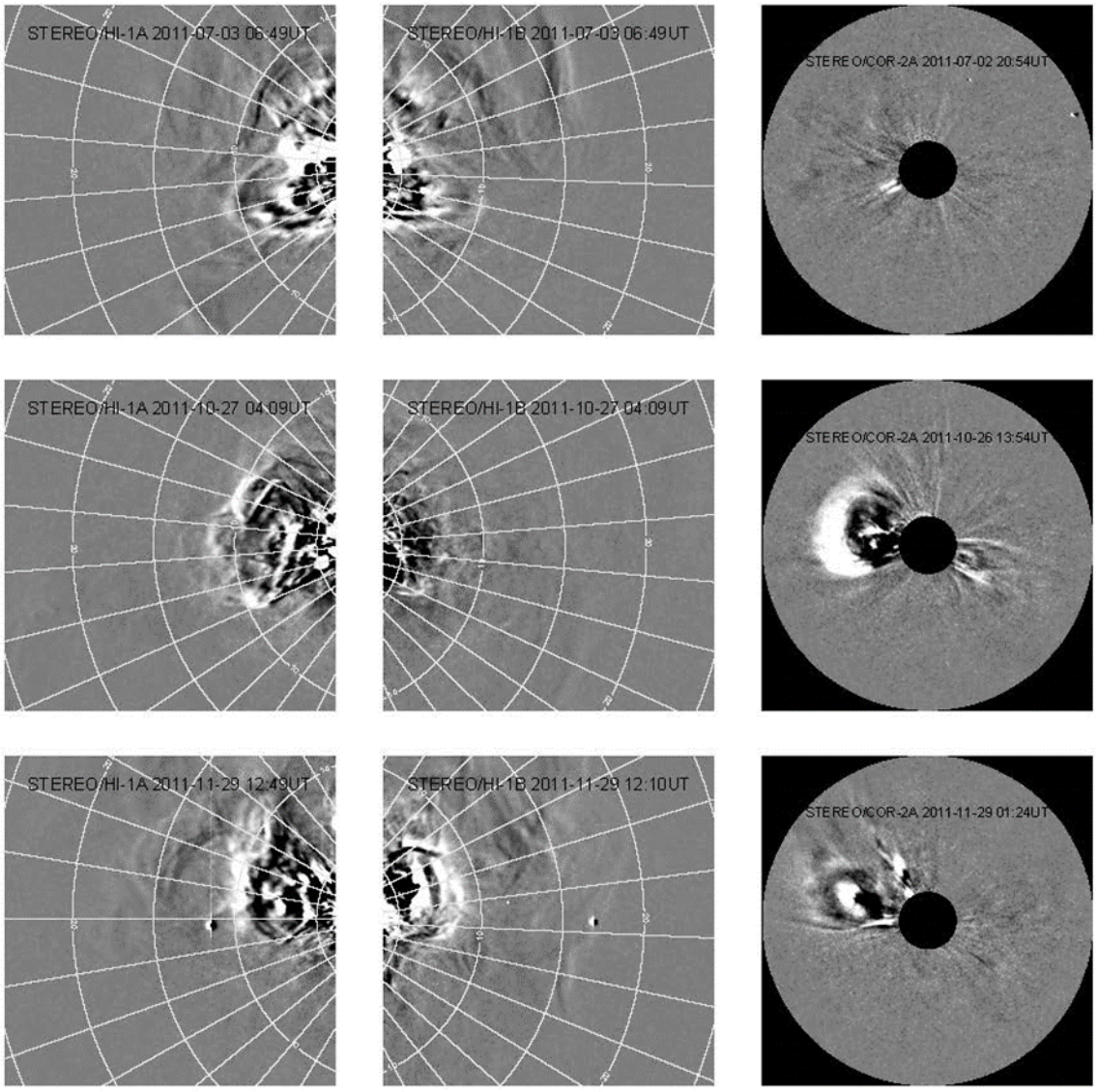

图6。1月24日日冕物质抛射（CME 1）的 HI-1A（左上）和 HI-1B（右上）差分图像。图中还包括一幅

