

【Café速递】刘山洪：现代高精度行星历表中的关键问题

核心提示：现代高精度的行星历表和探测器星历构建与精密定轨相辅相成。未来深空探测规划对行星历表提出了更高精度的要求。首先介绍国际上现代历表构建的经验，分享历表解算的基本方法和流程。针对目前现代历表中小行星带建模不完全的问题，介绍最新自研模型。最后分享了在法联合培养的经历。

主持：梁天祺 摄影：冯玉康 文字：王浩成、刘山洪、梁天祺

>>>人物名片

刘山洪，测绘遥感信息工程国家重点实验室 2018 级博士生，师从鄢建国教授。主要研究兴趣是探测器精密定轨与定位、气态行星重力场特征、行星历表高精度建模。博士期间以第一作者/学生一作已发表 4 篇 SCI 论文（TOP 期刊 2 篇），2 篇 EI 论文。曾获得国家留学基金委奖学金，博士研究生国家奖学金，金通尹奖学金，优秀研究生，优秀学业一等奖学金等。曾担任英文咖啡主席。

>>>嘉宾小语

- ✧ 人类对位置的需求越来越精细，也越来越高大上。
- ✧ 行星历表作为太阳系实验室的躯壳，需要更加强健的“体魄”。
- ✧ 进入另一个团队，不免有“水土不服”的现象，坚持下去。。
- ✧ Nothing is impossible, why not?。

>>>报告现场

11 月 20 日晚上 7 点，武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室 2018 级博士生刘山洪做客 GeoScience Café 第 280 期报告活动。刘山洪对现代行星历表构建的流程与自研方法进行了介绍，同时分享了在法联合培养的经历，让观众受益匪浅（图 1）。

在讲座开始，刘山洪解释了“春夏秋冬”的成因，引出了人类了解自身位置的重要性。整体的报告分为 5 个部分，行星历表的背景介绍、精密定轨与行星历表之间的关系、小行星环动力学的建模、在该方面进行研究的总结、在法国的联合培养经历。



图 1 刘山洪作精彩报告

行星历表背景介绍

从人类的发展历史来看，人类的足迹是不断延伸的。随着人类的文明程度的不断提高，导致了人类探索范围从森林、海洋、近地空间、月球等更高的空间探索需求。在人类活动空间不断扩展的过程中，我们需要回答的第一个问题是：我们在哪。这也是测绘学科中一个很重要的问题。以司南、观星辨位为代表的方法是古代人类远行寻找方向的法宝，而现在告诉我们在哪里的有 GNSS 技术和室内导航技术，它们可以在地面、室内、甚至近地空间里提供位置测量信息。一旦我们要飞离地面，飞出地球，甚至飞出太阳系，我们要如何确定自己的位置呢？

在过去的六十多年来，人类发射了两百多个探测器。中国从 2007 年嫦娥一号的发射以来，每一次任务也都在不断的升级。这个月也正在实施月球探测任务的最后一步，采样返回任务。如何获得探测器的位置，并让探测器能够顺利到达我们设定的位置，以及从位置信息中感知目标天体的本体结构，这是很关键的技术和科学问题。在为探测器定位中，最关键的问题是研究清楚众多天体对探测器的动力学影响，从而确定探测器的位置。那么这就涉及如何计算各大天体的位置，如何精确计算其对探测器的影响等一系列问题。而今天所介绍的行星历表，则是解答太阳系内行星和众多天体位置问题的一个依据。

现代行星历表主要有三大功能：1.对探测器跟踪数据的处理；2.获取和改进宇宙物理常数，如 AU、GM、引力子等；3. 探测任务规划和仿真必不可缺，比如设计飞行器轨道、确定发射窗口。

现代历表的历史以上世纪六十年代为分界点，之前基于光学数据以美国为代表开发了解析历表。六十年代之后逐步建立起现代数值历表，目前“三分天下”的状况，以美国 JPL、法国 INPOP、俄罗斯 EPM 为代表的现代历表支撑了人类几乎所有深空探测任务。与此同时，人类多次的探测任务也为历表建立与完善提供了数据支撑。

精密定轨与行星历表解算的关系

刘山洪再介绍了精密定轨的过程：地面的跟踪站接收到探测器发射的射电信号，然后地面站获取数据。不同收发站的布局，又区分出不同的观测模式，得到不同类型的观测数据。在处理观测数据中，最为关键的是理论值的计算——需要建立动力学模型，利用探测器的初始轨道积分得到探测器在动力学模型中的运动过程，进一步计算与地球观测站相关的理论观测值。再计算观测值和理论值的残差。基于最小二乘理论可以对初轨进行纠正，常称为精密定轨或者轨道确定。其中最复杂的是动力学模型和时空模型的建立，模型越精确，跟踪测量的数据质量和分布越好，那么精密定轨精度越高，也越有可能得到一些科学成果。随后他还介绍了世界范围内研究精密定轨的主要机构与知名软件。

接下来他介绍了行星历表的解算过程，并且与精密定轨进行了横向对比，并给出了一些例子帮助说明。详细阐述了行星历表和月球历表建立中涉及的参数解算和数据源。最后结合行星历表的开发，阐述了探测器精密定轨与它的关系。同时刘山洪以行星历表中的一个小行星环带动力学建模为例，介绍目前行星历表中最具挑战性的研究难点。

小行星环动力学建模

小行星主带的扰动是实现更高精度行星星历的主要障碍，尤其是对火星影响最大。当考虑来自数十万颗小行星的扰动时，在行星历表中进行超大规模计算的条件不成熟。虽然小行星的发现最近取得了长足的进步，但仍存在大量尚未发现的小尺寸隐藏小行星。因此，小行星环动力学建模存在多个难点。刘山洪介绍了提出了初

步的方法，并且从方法推导、算法测试、环带建立、模型验证等方面对新方法进行了阐述。

研究内容总结与讨论

他指出未来行星历表解算的主要难点之一还在于动力学模型的建立，而动力学模型的建立的难点集中于高精度行星带动力学模型的建立，因为它还是存在很大的模糊性。与此同时，我国还未有自己的高精度现代数值积分历表。

由于激光测月的帮助，虽然月球历表到了分米甚至厘米级别，但是他指出限制月球历表的进一步提高在于理清月球内部核幔层边界。对于其他行星来说，他认为主要还是人类实测任务的数据远远不够。以气态行星为例，随着最新 Cassini 和 Juno 任务的实施，这两大行星的历表精度就得到质的提高。

在法国联合培养

报告的最后，刘山洪分享了自己在法国联合培养的相关情况。

前期准备方面，刘山洪提供了一些建议。如申请 CSC，应确定自己的研究兴趣，结合课题组的合作进行早期的联系；语言准备中，托福、雅思是非常重要的，也可以报考 WSK，如准备不足，可联系导师的团队并得到相应的语言面试证明；资料准备可以借鉴成功申请 CSC 同学的资料；在研究方案的选择上，刘山洪认为最好结合自己的研究背景和学科优势，找到一个突破课题，可以双方导师共同讨论。如未能申请 CSC，也不要灰心，还有其他奖学金可供选择。

科研方面，应积极参加课题组的讨论，努力跟上，多参会，多交流。进入另一个团队，不免有“水土不服”的现象，坚持下去，多和导师以及同门交流。

生活方面，积极交朋友很重要。初入异国，文化差异巨大，适当结识当地朋友，可以获得一些指引，拥有更丰富的业余生活；此外饮食差异较大，做好不同尝试的心理准备；通过实验室被盗的经历，提醒大家只身在外应增强安全意识。

末尾，刘山洪还在一些方面提供了法国有关个性化的小贴士，如医疗保险，交通，礼仪等。

图2 观众提问



提问人一： 我们国家为什么这么多年还没有研究出自己的行星历表？

刘山洪： 有多方面的原因。完全基于我们国家自主探测任务数据的行星历表目前还没有，但是从历史渊源看，紫金山天文台在 2003 年发布了一个半自主的行星历表，当时主要由于实测数据的缺失。从经验积累上，美国与俄罗斯的行星历表都已经经历了半个世纪的发展，归功于他们多年来的深空任务，为行星历表构建提供了大量的数据和处理经验。虽然目前很多数据已经公开，但也有很多一手数据我们是拿不到的，值得高兴的是我国目前已经飞向火星，也有很多新的任务规划。从成本看，目前这三大历表免费开放，DE 行星历表可以去境外下载并且使用，INPOP 和 EPM 可以直接下载调用，而开发我国独立自主的行星历表的成本较大。从人才储备看，首行星科学是近几年才刚刚提出来，然后行星历表研究虽然是一个十分古老的话题，但一直是坐在冷板凳上的，前期缺数据，后期缺乏具有规模的人才团队和项目支撑。

提问人二： 不同的 DE 历表之间的区别是什么，我们在定轨时要如何进行选择？

刘山洪： DE102,DE405,DE421,DE435 等历表是随着观测数据的逐渐丰富而提出的，这些数据为历表提供了更好的约束。在处理实测数据中，就 DE421 之后，

它们历表之间的精度提升，对于目前探测器射电跟踪数据的处理而言变化不大，因为都是近几十年的任务。但对未来的任务进行规划时，还是建议使用最新版本的行星历表。

提问人三：请问在解算行星历表时，其中需要解算一些物理参数，有没有可能使用一个经验加速度或者可以不可以使用神经网络来拟合？

刘山洪：经验加速度是拟合未知扰动也是一个数据处理中常见的做法。至于神经网络方面，目前在学术研究中将神经网络用于定轨有，比如新泽西州立罗格斯大学的 Bai Xiaoli 团队，侧重于轨道预报。但是在做行星星历研究方面还是不合适。神经网络做图像分割、语义分割、甚至经过训练做简单的轨道预报和重建可能是比较好的。在我个人看来，整个太阳系是根据动力学模型积分的过程，而且就时空框架这一块涉及的狭义、广义相对论等，我觉得还是需要详细完全描述整个太阳系的物理场，而且目前使用神经网络进行相关解算的研究暂时也还没有看到。不过等我再多学习一些神经网络的知识之后，这个问题我们可以再进行探讨可能比较合适，Nothing is impossible, why not?



图3 观众认真听报告



图4 刘山洪（左五）与部分听众、GeoScience Café团队成员合影留念

GeoScience Café以“谈笑间成就梦想”为目标，于每周五晚 7:00 在实验室四楼休闲厅，邀请 1-4 位嘉宾，为大家带来学术报告或经验分享。报告内容包括摄影测量与遥感、地理信息系统、导航与定位服务等研究方向，听众可在报告结束后向嘉宾提问、与嘉宾交流探讨，同时每学期还会举办 2 期人文类讲座和 2 场导师信息分享会。每期报告会根据嘉宾意愿在 B 站开设直播，使不能来到现场的听众同步参与。报告 PPT 和视频会在征得嘉宾同意的情况下在 qq 群和 B 站上发布。

更多精彩内容（讲座预告、讲座回顾、报告 PPT、报告视频）敬请通过以下方式获取：



QQ群



微信公众号



B站直播