

南天自行计划的进展和精度

马文章

(北京师范大学天文系 北京 100875)

W. F. van Altena

(Department of Astronomy, Yale University, U.S.A.)

摘 要

The Yale/San Juan 南天自行计划 (Southern Proper Motion Program) 简称 SPM。SPM 是美国里克 (Lick) 天文台北天自行计划 (NPM) 在南天的延伸。根据 SPM 计划, 最终在南天相对暗的星系测定出大约一百万颗天体的绝对自行、位置、星等和颜色。SPM 最初目的是研究银河系结构。现在 SPM 计划的目的已扩大了许多, 其中包括建立一个暗的二级恒星参考系 (secondary reference system of stars); 实现和 Hipparcos 自行系统以及河外参考架的连接。

本文根据 SPM 扩展了的研究目的, 着重介绍 SPM 计划研究的领域、进展和精度。

关键词 天体测量 — 参考系

1 概 况

南天自行计划 (SPM) 作为里克天文台北天自行计划 (NPM) 在南天的延伸, 1960年 Brouwer 和 Schilt 就提出来了。SPM 计划是在南天相对暗的河外星系测定出大约一百万颗天体的绝对自行、位置、星等和颜色。目的是跟北天自行计划 (NPM) 相结合, 研究银河系结构。后来, SPM 计划的目的扩大了, 现在包括建立一个暗的二级恒星参考坐标系; 实现和 Hipparcos 自行系统、河外参考架的连接。

依据 SPM 计划, 在赤纬 $\delta = -17^\circ$ 以南的南半天球, 划分为 623 个天区, 每个天区为: $6^\circ.3 \times 6^\circ.3$ 。后来, 考虑更好地实现和 NPM 计划的衔接, 在 $\delta = -17^\circ$ 向北又增加了 94 个区域。这样 SPM 计划共需观测 717 个区域。第一个历元的观测是在 1965—1974 年间完成了; 第二历元的观测是从 1987 年开始的, 目前已完成 717 个天区中的 200 个天区重复观测。

观测是在 Yale 南方天文台 (YSO)50cm 双筒天体照相机上进行的。采用照相方法取

得所需天体资料。Yale 南方天文台座落于阿根廷的 EI leoncito, 观测都是在这里进行的。SPM 每个天区都需要两个历元的重复观测, 每个历元采用蓝黄两张底片同时观测。因此, SPM 每个天区两个历元共有 4 张底片, 两蓝和两黄。蓝底片的有效波长: 4300\AA ; 黄底片的有效波长为: 5550\AA 。底片大小的尺寸为: 17×17 (英寸)², 相当于对应的天区为: $6^\circ.3 \times 6^\circ.3$ 。底片的比例尺为: $55''.036/\text{mm}$; $55''.136/\text{mm}$, 蓝底片的极限星等为 $B = 19\text{mag}$; 黄底片的极限星等为 $V = 18\text{mag}$ 。所使用的底片型号为: 103a—0; 103a—G+GG5B。

SPM 计划要求观测时每张底片有两个露光时间, 分别为 2h 和 2min, 即称作为长露光和短露光。观测时需加复合栅 (multiple grating), 复合栅的星等差为: 4mag。同时观测时要保证 SPM 相邻的两个天区在赤经和赤纬方向上要有 1° 的重叠区。

观测底片运往 Yale 大学天文系, 整个测量工作和资料分析工作都在 Yale 大学天文系进行。SPM 计划的主持者是国际著名的天体测量学家、Yale 大学天文系 W.F.van Altena 教授。他领导的一个天体测量组具体负责这一计划的实施。

2 SPM 研究的内容

依据 SPM 计划, 最终在南天相对暗的星系测定出大约一百万颗天体的绝对自行、位置、星等和颜色, 并且实现与北天自行计划 (NPM) 的连接。依据 SPM 扩大了研究目的, SPM 的研究内容归纳起来为以下几个方面:

第一: 研究银河系的结构: 包括测定银河系转动的奥尔特 (Oort's) 常数值; 研究恒星的空间分布 (包括恒星的光度函数、恒星空间分布状态); 研究恒星的运动学分布 (包括太阳的空间运动速度、恒星的速度椭圆、以及与恒星颜色的关系); 测定星团的绝对自行。

第二: 在基本天体测量方面: 将开展岁差常数 P 的测定工作; 建立暗的二级恒星参考坐标系。暗的二级恒星参考坐标系大约包括 300000 颗恒星, 其视星等 V 在 15—18mag 之间, 星表的密度为: 15—20 颗星 / 每平方度。

第三: 实现 SPM 计划与 Hipparcos 自行系统的连接。实现与河外参考架的连接。

SPM 扩展了的研究内容和目的, 已涉及到天体物理学某些领域。SPM 计划不仅为研究银河系结构提供高精度绝对自行、位置、星等和颜色等资料, 而且由此导出的恒星其他运动学资料, 以及天体物理学方面有关数据, 将扩大我们对星系 (包括银河系) 的认识, 其结果很可能对天文学的某些领域引起变革。

3 SPM 计划的进展情况

SPM 计划目前已完成了底片测量方法和资料分析方案的整个准备工作。其中包括建立一个在测量中所使用的输入星表; 资料处理中的理论模型和相关的软件。

测量是从南银极区开始, 围绕南银极 (SGP) 选择了 SPM 计划中 40 个天区进行了

底片测量和数据分析工作。1993 年已有第一批成果发表，详见参考文献 [4]。

底片测量中最核心的一个问题，就是测量的输入星表是如何产生的。所谓测量的输入星表，就是每个天区的底片上有哪些星被选定为测量星，哪些星不需测量。每一张底片上有很多星像，哪些星必须测量、选星的原则是什么？在开始测量底片前必须解决这个问题。因为 SPM 的底片测量工作是在 Yale 大学天文系的 2020G PDS(photometric data system) 上进行的。SPM 的输入星表(input catalog) 通常就称为 PDS 的输入星表。PDS 输入星表是怎样产生的呢？目前的 PDS 输入星表是根据扩大了的研究目的而制定的。首先应满足研究银河系结构的目的需要。银河系有圆盘、厚盘和核球等部分，要求被测的恒星在统计意义下能更好地体现构成银河系的各组成部分。SPM 计划是借助一个称为三组分星系模型(three-component galaxy model) 预测在每个星等下选择多少颗恒星，才能确保三组分星系结构模型中三组分之间具有统计学意义的区别。这里所说的三组分星系模型实际上依据代表银河系结构的一些参数，并且加进了 SPM 计划已知的天体测量精度，在此基础上建立起来的模型用来预测不同天区所需测的恒星数目。例如：在南银极区依据这种理论模型预测，围绕南银极区跨越 SPM40 个区域内共有 31000 颗 7.5—18.5mag 之间不具名的暗恒星必须要测量。这样才能清晰描绘出星系的三组分结构：即星系的圆盘结构、厚的圆盘，以及星系的球状体部分。这些被选入的大量不具名的暗恒星，也是建立暗的二级恒星参考系所必需的。被选入 PDS 输入星表的还有起连接作用的“桥”星，它们连接长、短露光系统。大量的“桥”星具有很精确的位置和自行。它们分别选自 IRS(international reference star)、ACRS(astrographic catalog reference star)、PPM(position and proper motion) 等星表。被列入 PDS 输入星表的恒星还有：天体测量参考星；测光标准星；星系和可能是星系的一些天体；还有一定数量的特殊星：如变星、可疑变星，已知大自行的一些恒星等。特别是在南银极附近，几乎大部分或者全部包括进来了。作为一个尝试，在 SPM 计划中，每个天区底片凡是 SIMBAD 星表中包含的恒星几乎全被选用。PDS 输入星表还包含有大量不具名的暗恒星。选择这些暗星的目的：(1) 测量星系给出绝对自行的修正(零点改正)；(2) 测定底片常数实现底片间转换；(3) 建立二级恒星参考坐标系；(4) 研究银河系结构。为了保证测量合理及研究目的需要，每张底片被测的天体(包括河外星系)应不少于 1000 颗。我们已测量的底片表明，每个天区被测天体均在 3000—4000 个左右。

PDS 输入星表是在两个大的星表帮助下实现的。一个是 COSMOS/UKST 南天天体星表(SPM 计划主要参照爱丁堡天文台天体历表，Royal Observatory Edinburg 简写：ROE)，另一个是哈勃空间望远镜(HST)的导星星表(GSC)。ROE 和 GSC 两个历表最大的优点是都包含有恒星和星系两种类型的天体。这两份星表通过它们共有的恒星，实现 ROE 和 GSC 两个系统间的转换。南天天体星表是一份暗星星表，其星等可达 21mag。在星表中给出了天体类型、星等、恒星位置。GSC 是哈勃空间望远镜的导星星表，它的极限星等为 15.6mag，但在南银极区则信息并不太多。

SPM 计划底片测量是从南银极区开始的。被测的天区两个观测历元时间间隔为 20 年左右；目前已完成 40 个区域的底片量度工作。整个测量工作都是在 Yale 大学天文系完成的。

资料分析工作是在借鉴里克天文台北天自行计划资料分析经验基础上,形成了 SPM 计划的资料分析方案,并且已完成程序设计。资料分析大体为以下几个步骤:

(1) 将 PDS 测量出来的长露光、短露光、复合栅产生的星像,经过高斯分布模型转换,求出所测星像的中心位置坐标 (XY)。

(2) 对星像中心坐标 (XY) 进行大气折射改正。

(3) 对复合栅产生的每一对星像求平均位置,等价于将栅产生的星像坐标换算到中心系统。

(4) 使用“桥星”将短露光系统转换到长露光系统。

(5) 通过暗的恒星将第一历元恒星位置转换到第二历元的位置上来。根据转换后同一历元的位置差异,进一步求出恒星的相对自行。

(6) 计算河外星系的相对平均自行,定出绝对自行的零点改正,进一步求出恒星的绝对自行。

(7) 其他几个重要参量的测定:

(i) 由 PDS 得到的光度转换到照相天体测量的光度标准,给出 B 和 V 星等及其误差。

(ii) 从恒星的平均位置转换成恒星的赤道坐标 (α, δ), 并且给出恒星位置坐标的误差。

资料分析也是从南银极区开始的。选择南银极附近几个区域,对影响位置的系统误差来源进行了探讨和分析。对星等可能的影响也进行了认真的分析。看来星等的影响在资料分析中不能忽视,应在资料分析中加以改正。

目前,SPM 已有了第一批结果。现在正在进行 SPM 的结果与 PPM、Hipparcos 资料进行比对。特别是与 Hipparcos 自行系统的比对和分析。初步结果已显示 SPM 的精度已达到了理论的预测值。

4 SPM 计划的初步结果及分析

围绕南银极 (SGP) 选择 SPM40 个天区首先进行了底片量度和资料分析。目前已完成了 40 个天区的大部分天区的分析工作。根据已完成的天区之研究可以给出如下的结果:

(1) 照相天体测量的光度精度: 内部误差为: 对于 $V < 16\text{mag}$ 的天体 $\sim 0.15\text{mag}$ 。

(2) 恒星位置精度: 内部误差为: $0.06\text{--}0.10\text{arcsec}$ 。这是对每个 SPM 天区的 4 张底片求平均值的结果。

(3) 恒星自行的精度: 内部误差: $\sim 4\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ 。绝对自行的零点误差为: $0.5\text{--}1.0\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ 。目前还没有得到外部误差,正在与 Hipparcos 自行系统进行比较分析。

目前对系统误差的修正是采取两种方法: 对于系统内部是使用长、短露光的复合栅的星像来实现的,对于同一历元的底片上所有的星像,都要转换到长露光的零序列星像系统上。在这些转换过程中,将提供影响星像位置坐标的一系列重要修正。如: 恒星的光度对坐标的影响,原设计方案中是消除了恒星光度高阶项对结果的影响。但目前资料分

析表明可能需要进一步考虑。对于外部修正, 目前的计划是将 SPM 的第二历元底片上恒星位置和 Hipparcos 的恒星位置进行比较。SPM 课题组享有优先得到 Hipparcos 资料的权力。目前 Hipparcos 资料正在与 SPM 系统一块进行分析, 可望近期会有研究成果发表。

参 考 文 献

- [1] van Altena W F *et al.* Southern proper motion program: progress, scope and accuracy, presented at the workshop on galactic and solar system optical astrometry: observation and application, Cambridge, U. K., 21—24 June, 1993
- [2] Platais I *et al.* The Southern proper motion program: input catalog preparation, presented at the workshop on databases for galactic structure, Swarthmore, U. S. A., 17—19 May, 1993
- [3] Medez Rene' A. Progress towards a new galactic structure and kinematics model code, presented at the workshop on galactic and solar system optical astrometry: observation and application, Cambridge, U. K., 21—24 June, 1993
- [4] Wenzhang Ma *et al.* The southern proper motion program: first results at the SGP, presented at the 183rd meeting of the A. A. S., Washington, D. C., 11—15 January, 1994

(责任编辑 刘金铭)

Southern Proper Motion Program: Progress and Accuracy

Ma Wenzhang

(Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100875)

W. F. van Altena

(Department of Astronomy, Yale University, U. S. A.)

Abstract

The Yale/San Juan southern proper motion program (SPM) is the extension of the Lick Observatory northern proper motion program to the southern hemisphere. With respect to faint galaxies, the SPM will produce positions, absolute proper motion, magnitudes and colours for some one million stars in the southern sky. Originally, the purpose of the SPM was only to study the formation of a secondary reference system of faint stars. Plans of the SPM are also to link the SPM and NPM data with the Hipparcos reference frame.

According to the purpose of the SPM, the scope, progress and accuracy of the SPM are emphatically presented in the paper.

Key words astrometry—reference systems