

照相星表的现状和发展趋势

鲁 春 林

(中国科学院紫金山天文台)

提 要

本文简要介绍了几个主要照相星表的情况以及正在进行中的新的星表计划,对近年来照相星表工作的新发展进行了评述。分析了照相星表工作的发展趋势。提出了几点关于我国在照相星表领域有可能开展的几项工作的建议。

自照相天图星表(AC)计划以来的100多年中,运用照相方法获得了大量恒星的位置和自行,编制了很多星表,为恒星方位天文学积累了极为珍贵的资料。

面对着空间和地面新观测技术的挑战,天体测量的不少领域产生了危机感。但是照相星表工作不仅没有危机感,而且随着量度技术和计算机技术的发展,正在获得新的生命力。

本文将对现有的照相星表及新的照相星表计划进行简要的介绍,并对照相星表工作的现状和发展趋势给以评述。

一、几个主要照相星表的状况

1. AC 星表

AC星表是历史上最早的照相星表。星表包含了全天所有亮于11mag的星,部分天区暗至13mag,平均每平方度40颗星,整个星表总共约150万颗星。大部分天区的观测在1900年前后完成,极少数天区延续到1950年。

由于当时条件的限制,没有足够数量的同一历元的高精度定标星,无法将所有星位归算到一个统一和确定的系统。因此,AC星表只发表了量度坐标,以及用AGK1等星表为参考星计算的初始底片常数。使用者可根据这些底片常数,将量度坐标换算为天球坐标。尽管量度坐标精度很高(一般在 $0''.17-0''.40$ 之间),由于参考星系统的误差,这样得到的天球坐标精度只有 $1''$ 到 $2''$ 的数量级^[1]。

AC星表由于其历元较早,而且具有较高的内部精度(据估计约为 $0''.2$ 左右)^[2],它对于自行测定具有特殊的价值。可是,要将AC用于自行测定还有大量的工作要做。首先,在AC计划中,除了对观测有严格的规定外,底片处理,坐标量度、归算及发表都由各天文台自行处理。因此,必须将各天文台的观测结果统一到一个均匀的系统。其次,要有足够数量的精确的参考星。Corbin利用AGK2/3, CPC, Yale等照相星表以及大量子午星表,为

重新归算 AC 编制了一本包括 32 万多颗星的参考星表 ACRS。它的实际系统精度目前还不得而知^[3]。第三，必须仔细分析和消除 AC 中与星等和颜色有关的系统误差。此外，将所有量度坐标变成机器可读形式，部分天区底片可能还要重新测量，这也是一项艰巨的任务。

AC 的重新归算已在计划之中，美国海军天文台、汉堡天文台和普尔科沃天文台都有类似的计划。重新归算后的 AC 将为自行测定提供一份极为重要的资料。

2. AGK2/3

AGK3 星表包含了从北天极至 $-2^{\circ}.5$ 的 18 万多颗星的位置和自行。

AGK2 的观测历元在 1930 年左右。赤纬 $-2^{\circ}.5$ 至 20° 由波恩天文台观测， 20° 至 90° 由汉堡天文台观测。汉堡的观测每张底片露光两次，一次 10min，一次 3min，波恩一般露光 10—20min，有时 30min。

为了测定 AGK2 星的自行，汉堡天文台于 1958—1961 年期间对 AGK2 星重新观测。为消除星等差，观测时加了一个 3.5mag 的光栅。对亮于 7.5mag 的星利用了衍射像。AGK2 波恩天区中的 FK3 星没有量度坐标，因而在 AGK3 底片上没有测量，所以这部分星没有包括在 AGK3 中。

为了测定自行，根据 AGK2 的量度坐标对 AGK2 重新进行了归算。由 AGK3 和 AGK2 星位的直接比较求得自行。在发表的 AGK3 星表中，给出了每颗星在 AGK3 观测历元的位置、自行以及 AGK2 与 AGK3 的历元差。由 AGK3 的位置、自行及历元差即可直接推算出 AGK2 的位置。因此，原来发表的 AGK2 星表就完全过时了。

AGK3 在观测历元的位置精度约为 $0''.18-0''.20$ ，自行精度为 $0''.009/\text{yr}$ 。而 AGK2 的精度为 $0''.12-0''.15$ 。

AGK3 目前的位置精度约为 $0''.45$ 。随着时间的推移和新的更好的星表的出现，AGK3 作为暗星参考星表的作用将越来越小，但 AGK2/3 作为自行测定的历史资料的作用将越来越大。

3. 耶鲁分区星表

耶鲁分区星表的观测从 1913 年开始，一直延续到 60 年代。观测按赤纬分区，两次覆盖。除少数赤纬带以外，几乎覆盖了全天。星表包括了 22 万多颗星。

在整个星表的工作过程中，一旦出现更好的或更有效的技术就立即采用。从望远镜、测量和归算技术到参考星表都在不断变化。因此，耶鲁分区星表是一个非常不均匀的系统。这就大大限制了星表的实际应用。

耶鲁星表尽管系统不均匀，内部精度还是比较高的，多数天区好于 $0''.2$ 。考虑到它所处的历元（平均在 1930 年左右），它的资料对测定自行仍然具有重要的价值。利用现代星表分析技术，可以有效地消除各区之间的系统差。英国、丹麦和西班牙在 La Palma 的子午环观测星表 CAMC 的自行测定中，成功地使用了耶鲁分区星表，显示了耶鲁星表用于自行测定的价值^[4]。

4. CPC 星表

CPC 星表，即“1950.0 历元的好望角照相星表”，于 1968 年完成。星表覆盖了赤纬 -30° 以南天区，总星数 68 466 颗，平均每平方度 10 颗 7mag 至 10mag 之间的星。底片拍摄于

1930—1950年之间。发表的星表为FK3系统。内部均方误差为 $0''.15-0''.22$ 。系统差较大,较南的天区可达 $0''.3$ ^[1]。由于南天历史星表资料较少,CPC仍不失为重要的自行测定资料。

二、新的和计划中的照相星表

1. CPC2 星表

CPC2星表计划由R.H.Stoy于1955年提出。星表覆盖 $\delta = +23^\circ$ 以南的大半个天球。观测从1962年开始,至1972年结束,平均观测历元为1968年。底片的拍摄采用角心四重覆盖,每片两次露光。光谱带通在目视区($5300-6400\text{\AA}$),以便减少大气散射和光学系统的剩余颜色误差的影响。底片量度在格林尼治天文台的GALAXY量度仪上进行。整个星表将包括27万多颗星,极限星等 10.5mag 。归算参考SRS系统,用底片重迭法求解。归算工作即将完成。

CPC2星表不仅为南天提供了一份最完整的现代资料,与其他照相星表相比,在新技术的采用上也是开创性的。如细颗粒底片,目视光谱带通,现代化自动量度仪及严格的归算方法。正因为如此,CPC2的位置精度达到了照相星表前所未有的高度,预期星位精度为 $0''.06$ ^[5]。

2. Tarija-Pulkovo 南天照相星表

Tarija-Pulkovo南天照相星表计划由Polozhentsev于1977年提出,观测从1982年开始,利用位于玻利维亚Tarija附近的玻—苏天文台的天体照相机($D = 23\text{cm}$, $f = 230\text{cm}$)进行。采用四重覆盖方式,覆盖了赤纬 $+2^\circ$ 以南至南天极。全部观测于1987年初完成。整个星表包括大约21万颗星,归算用SRS为参考星。预期最后星表的精度为 $0''.14$ 。目前初步归算已经完成,并已用于PPM星表南天部分的编制^[6]。

3. 乌克兰天文台北天照相计划

乌克兰天文台的北天照相巡天计划FON,由Kolechinsky于1977年提出,用位于苏联各地六个天文台站的六架望远镜进行观测。观测于1982年开始,计划于1991年结束。预期的星表精度为 $0''.10-0''.15$ 。自行将利用AC星位作第一历元来计算,预期精度 $0''.007/\text{yr}$ ^[7]。

4. USNO 照相星表计划

美国海军天文台(USNO)正在进行一项庞大的全天星表计划。在这个计划中,将用子午环观测建立一个全天照相参考星表,用照相观测编制全天照相星表。

USNO的照相星表计划分为两个部分:

(1) 北天部分 用华盛顿的20cm双筒照相机于1979至1985年期间对赤纬 -27° 以北天区进行观测。这个计划是原来的黄道带星表计划的扩充。用Kodak 103aO和103aG底片在B和V带通拍摄,露光4min,两重覆盖。最终星表将包括所有7—11mag的AC星。底片拍摄已于1985年结束。

(2) 南天部分 原来在华盛顿的20cm双筒照相机于1985年底搬至新西兰的Black Birch天文台。用这架望远镜对赤纬 $+10^\circ$ 以南进行观测,4重覆盖,采用减弱4mag的光栅,目视带通,极限星等 $m_V = 13-14$ 。另一望远镜正在计划中。光学设计已完成,采用红带通。

观测同样采用 4 重覆盖。最后将两组观测一起用来编制南天照相星表。

星表的预期星位精度北天部分为 $0''.12$, 南天部分为 $0''.05^{[2]}$ 。

5. 汉堡北天计划: Hamb90

汉堡北天计划与海军天文台南天计划相对应。用汉堡的 23cm 天体照相机, 采用目视区窄带通, 对北天四重覆盖至赤纬 -10° 。极限星等 $m_V = 12-13$ 。预期星位精度 $0''.06^{[2]}$ 。

6. 新一代的照相星表: SKYMAP2000

为满足天文学和其他学科对新一代全天星表的要求, 汉堡天文台正着手准备一项照相星表计划。目标是极限星等 17—18mag, 包括约两亿颗恒星, 位置精度 $0''.01-0''.02$, 并直接参考河外参考架。

为实现这一宏伟目标, 汉堡天文台正在设计制造新的天体测量照相望远镜和底片量度仪。根据初步方案, 望远镜将采用改进的施密特-卡塞格林系统, 口径 1.5m, 焦比 $f/5$, 视场为 $2^\circ \times 2^\circ$, 比例尺 $30''/mm$, 光谱范围 $5000-7000 \text{ \AA}$ 。对 $2''$ 的视宁度, 10min 露光可测星像星等暗于 17mag。观测将采用二重覆盖模式, 用底片重迭法对全球或半球整体平差, 建立内部刚性的恒星网络, 然后直接校准到河外参考架^[8]。

这一计划如能实现, 无疑将是照相星表乃至天体测量星表的一个重要里程碑。

三、照相参考星表

参考星表是照相星表工作的重要基础, 直接影响照相星表的系统精度。

目前, IRS 星表的最后版本已经完成。这是一个直接联系基本参考系的参考星表, 也是现有的最主要的照相参考星表。但其星数(每平方度 1 颗), 星等(6—9mag)都不能满足照相星表向暗星延伸的要求。因此, 一些替代性的参考星表相继问世。如海德堡的 PPM 和海军天文台为重新归算 AC 而编制的 ACRS 等。但这些星表都不是理想的参考星表。

一些现代化子午环的观测, 将为编制新的照相参考星表提供基础, 如英国、丹麦和西班牙合作的 La Palma 子午环, 以每年一万多颗星的速度测定恒星位置, 星等达 12mag 甚至更暗。此外, 还有海军天文台的 Pole-to-Pole 计划也将提供大量的观测资料。利用这些观测, 有可能建立更好的系统均匀的照相参考星表。

四、照相星表工作的现代技术条件

1. 底片测量设备

经典的底片量度依靠人工目视对准星像来确定星像中心坐标, 最好的测量精度约 1.5μ 。测量效率很低, 限制了照相星表工作的发展。

由计算机控制的现代化自动量度仪主要有以下四种类型:

(1) 模拟定中心型

这类量度仪用硬件直接定出星像中心, 如旋转刀片等。测量速度可达每小时 1 000 星。精度为 $1.0-1.5\mu$ 。只能给出星像坐标, 没有星像结构方面的信息。这类仪器主要有格林尼治

天文台的 GALAXY 和海军天文台的 STARSCAN。

(2) 固定光栏测微密度计

应用最广的是 PDS。特点是重复精度高, 动态范围大, 几乎可抽取底片上全部天体测量和测光信息。PDS 原来的坐标系统精度不高, 但加装激光干涉系统后可达 0.5μ 以上^[9]。紫金山天文台的 PDS 采用固定零点加网格板测定和改正坐标系统差以后, 全量程位置测量精度好于 1μ 。PDS 的不足之处是速度慢, 每分钟只能测量 3—4 颗星。

(3) 飞点扫描型

飞点扫描型量度仪采用很小的激光光束连续扫描底片, 速度非常快。35cm×35cm 的施密特底片全扫描只要 1.5h 即可完成。与 PDS 相比, 飞点扫描型动态范围较小, 位置精度只有 1.5—2.0 μ 。英国剑桥大学天文研究所的 APM, 爱丁堡天文台的 COSMOS, 美国明尼苏达大学的 APS 都是这种类型。

(4) 固态器件型

用固态器件如光电二极管阵或 CCD 作为扫描探测器的量度仪。其速度与飞点扫描型相当。探测器有一维和二维的两种。一维的如欧南台的 Optronics(256 光电二极管阵)、巴黎天文台的 MAMA(1024 光电二极管阵)和爱丁堡天文台正在建造的 SuperCOSMOS(2048 像元 CCD)。二维的有荷兰莱登天文台的 ASTROSCAN(1024×1024 CCD), 美国海军天文台的 PMM(1320×1035 CCD)以及汉堡天文台为 SKYMAP2000 计划正在建造的 量度仪(1300×1000 CCD)。

现在, 量度仪测量平台坐标系统达到 0.5μ 的精度已经是很平常的事。如 Super COSMOS 测试结果表明, 它的位置重复精度 $\leq 0.1\mu$, 整个坐标系统精度 $\leq 0.3\mu$ ^[10]。加上固态器件探测器, 在精度和速度方面都能很好地满足照相星表工作的要求。

现代量度仪的发展不仅使底片量度误差几乎可以忽略不计, 它的高速度使得在编制星表时可以包括底片上所有合乎要求的星, 并可能对 AC 等老底片重新测量, 大大增加星表的星数和提高位置精度。

2. 计算机技术

计算机技术的发展在计算速度和信息存储量两个方面使照相星表工作受益匪浅。在早先的照相星表工作中, 由于计算技术的限制, 底片归算只能采用一些比较简单的模型, 星数也非常有限。现在随着计算机技术的发展, 不仅可以对一张底片应用复杂的底片模型模拟各种误差, 而且可以用底片重迭法对大片天区甚至整个天球进行整体平差, 从而可以大大削弱各种系统误差的影响, 得到更均匀的星表系统。包括的星数也不再有任何限制。

此外, 细颗粒底片的应用也为提高位置精度提供了有利的条件。

五、照相星表的新领域——施密特巡天底片的利用

三台大施密特望远镜: Palomar 1.2 米施密特镜, UK1.2 米施密特镜和 ESO1.2 米施密特镜进行了一系列的照相巡天观测, 积累了丰富的资料。其中一些主要的巡天计划的情况给出在表 1 中。

以前，由于技术条件的限制，这些重要的观测资料仅限于天体物理方面的应用。上一节所介绍的量度技术和计算机技术的发展，为利用施密特底片做星表工作提供了必要的条件，而哈勃空间望远镜导星星表打开了这一领域的大门。

空间望远镜的高分辨率光谱仪的视场只有 $2''$ ，要以 99% 的可靠性将目标置于视场中，需要一个高密度的导星星表(GSC)，要求位置精度 $0''.33$ ，测光精度 0.4mag 。根据这个要求，空间望远镜科学研究所对 POSS 和 UKST 巡天底片用两台 PDS 进行扫描，然后用软件进行目标搜寻和自动分类。在此基础上利用 AGK3 和 SAO (南天) 为参考星，编制了 GSC^[18,19,20]。GSC 总共包含了近二千万颗恒星的位置和星等，绝大部分天区的亮于 14.5mag 的星全部包括在内。相对位置精度约 $0''.3$ ，外部精度约 $1''-1''.5$ ^[11]。

GSC 所包括的星数超过了以往所有星表的总和。Monet 指出，GSC 是迄今所编制的星表中最重要星表之一，它以其星数使所有星表相形见绌。他把 GSC 称为光学天体测量的一个里程碑^[12]。

空间望远镜研究所正致力于 GSC 的进一步改进。Taff 等提出了一系列的新方法，如在一张底片内分块重迭求解^[13]，星表系统差分析^[14]等，准备对 GSC 重新归算，以求得到 $0''.2$ 的位置精度。此外，还准备扫描 POSS-II 和 UKST-II 底片，以测定自行^[15]。

除空间望远镜导星星表以外，还有一些类似的计划正在进行，如美国明尼苏达大学从 1987 年开始用 APS 扫描 POSS-I 底片，并准备扫描 POSS-II 底片。目标是编制所有亮于 19mag 的恒星星表和亮于 18mag 的星系表。以 PPM 星表为参考星，最终星表将包括约 10 亿颗恒星的位置^[16]。

最引人注目的是美国海军天文台和加州理工学院的联合计划。这项计划将利用 Palomar 施密特巡天底片编制一本包括全部 $13-19\text{mag}$ 星的高精度位置和自行的星表。

根据这项计划，他们制造了一台精密量度显微密度仪(PMM)，能以非常快的速度扫描施密特底片，位置精度局部为 0.1μ ，整体为 0.5μ 。

除了利用 POSS-I 和 POSS-II 底片外，为了联系基本参考系，他们将在 POSS-II 拍摄的同时，专门拍摄一组短露光蓝片(2min 露光，底片不烘烤)。预期星表的相对位置精度为 $0''.1$ ，绝对精度 $0''.2-0''.3$ ，将来有了更好的参考星表以后，绝对精度还可能改进。将相对类星体绝对测定自行，估计每张底片平均有 300 个亮于 19mag 的类星体。预期自行精度为 $0''.003/\text{yr}$ ^[17]。

六、照相星表的未来发展

从前面介绍的情况可以看到，照相星表工作正处于前所未有的繁荣状态。在同一时期，有如此之多照相星表计划在付诸实施。照相星表工作的这种发展趋势还将持续相当长的时期，这是因为短期内还不会有新的技术能在星表领域中取代照相。另一方面，照相方法本身也在不断发展，测量技术和归算方法的改进以及新的量子效益高、性能好的乳胶都将给照相星表工作带来新的生命力。

照相星表的发展将主要体现在两个方面：

(1) 向暗星扩展。精密照相星表的极限星等达到 17—18mag, 以满足空间导航、地面大光学望远镜定向以及光学与河外射电参考系连接等方面的要求。

(2) 高精度。新一代的照相星表将要求 0'.01—0'.05 的位置精度。

没有这两个条件的照相星表将不会产生太大的影响。

施密特型照相星表的发展将取决于归算方法的改进。近期将集中在用不同方法处理现有底片, 力争得到较高精度的星表。如果加州理工学院和美国海军天文台的联合计划能得到理想的结果, 有可能会考虑到照相星表的特殊要求, 组织专门的观测, 以便编制更好的星表。

对我国天文界来说, 近期内要组织大型的照相星表观测是不现实的。但是在施密特底片的利用方面也许有可能做一些工作。自 1989 年起, 爱丁堡天文台、明尼苏达大学等有大型高速量度仪的单位组织了一个不定期的专题讨论会: “数字化光学巡天”。准备利用各自的量度仪系统地扫描所有的施密特巡天底片。所得到的数字化图像资料将以光盘的形式对外提供。我国有可能引进这些资料, 如果我们在星像检测、分类和定位, 特别是位置归算方面能提出有独创性的技术和方法, 就可利用这些资料编制出有特色的大型星表来。

我们现在已经拥有较好的计算机条件, 可以开展星表系统差的研究工作。通过对现有星表的位置和自行系统差的分析研究, 可以改进星表的系统精度。

另一方面, 开展照相星表理论和方法研究, 跟踪国际照相星表技术的发展也是必不可少的一项工作。

表 1 几个主要的施密特巡天计划

Survey	Color	Dec. of center	N	Emul	Filter	$\Delta \lambda$ nm	mag	Date
POSS-I	Blue	$> -30^\circ$	935	103a-0	—	350—500	21	1949—1955
	red	$> -30^\circ$	935	103a-E	pg	620—670	20	1950—1958
Palomar V	visual	$> 6^\circ$	583	IIa-D	GG495	495—620	19	1983—1983
ESO-B	blue	$< -20^\circ$	606	IIa-O	GG385	385—500	21	1973—1978
ESO/SERC	blue	$< -20^\circ$	606	IIIa-J	GG395	395—540	23	1974—1987
	red	$< -20^\circ$	606	IIIa-F	RG630	630—690	22	1978—
SERC-I	IR	$< 0^\circ$	731	IV-N	RG-715	715—900	19	1980—
POSS-II	blue	$> 0^\circ$	894	IIIa-J	GG385	385—540	23	1987—
	red	$> 0^\circ$	894	IIIa-F	RG610	610—690	22	1987—
	IR	$> 0^\circ$	894	IV-N	RG9	730—900		1987—

N: 底片数

Emul: 底片乳胶类型

Filter: 滤光片

$\Delta \lambda$: 带通

Dec of Center: 底片中心赤纬

mag: 极限星等

date: 日期

参 考 文 献

- [1] H. 艾科恩, 恒星方位天文学, 任江平等译, p. 184, 测绘出版社(1981).
 [2] de Vegt, C., in IAU Symp. No. 133, Mapping the Sky, p. 211, ed. by S. Debarbat et al, (1987).
 [3] Corbin, T. E., in IAU Symp. No. 133, Mapping the Sky, p. 287, (1987).
 [4] Carlsberg Meridian Catalog La Palma, No. 1, Copenhagen University Observatory, Royal Greenwich Ob-

- servatory and Real Instituto y Observatorio de La Armada, San Fernando, (1985).
- [5] de Veigt, C., in *Star Catalogs: A Centennial Tribute to A. N. Vyssotsky*, ed. by D. Philip and R. Upgren, p. 45, (1989).
- [6] Bystrov, N. F. et al, in *IAU Symp. No. 133, Mapping the Sky*, p. 285, (1987).
- [7] Kislyuk, V. S., in *IAU Symp. No. 141, Inertial Coordinate System*, p. 493, (1989).
- [8] de Veigt, C., in *Star Catalogs: A Centennial Tribute to A. N. Vyssotsky*, ed. by D. Philip and R. Upgren, p. 51, (1989).
- [9] Lee J-F. et al, in *IAU Symp. No. 109, Astrometric Techniques*, p. 237, (1984).
- [10] Miller, L., *Digitised Optical Sky Survey Newsletter*, No. 2, (1991), p. 23.
- [11] Taff, L. G. et al, *Ap. J. Lett.*, 353 (1990), 145.
- [12] Monet, D., *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 26 (1988), 413.
- [13] Taff, L. G., *A. J.*, 98 (1989), 1912.
- [14] Taff, L. G., *Ap. J.*, 361 (1990), 667.
- [15] Lasker, B. M. et al, *Bull. Inf. CDS*, No. 37, (1989), p. 15.
- [16] Humphrey, R., *Digitised Optical Sky Survey Newsletter*, No. 2, (1991), p. 27.
- [17] Monet, D., in *IAU Symp. No. 141, Inertial Coordinate System*, p. 491, (1989).
- [18] Lasker, B. M. et al., *A. J.*, 99 (1990), 2019.
- [19] Russell, J. L. et al., *A. J.*, 99 (1990), 2059.
- [20] Jenkner, H. et al., *A. J.*, 99 (1990), 2082.

(责任编辑 刘金铭)

Present Status and Tendency of Development on Photographic Catalogs

Lu Chunlin

(Purple Mountain Observatory, Academia Sinica)

Abstract

In this paper, the status of some important photographic catalogs and new projects on photographic catalogs are briefly described. The development of photographic catalog research during recent years is reviewed. The trends of development of photographic catalogs are discussed. Some research topics on the photographic catalog that can be carried out in China are suggested.