

文章编号: 1000-8349(2004)03-0209-10

HST WFPC2 天体测量和 测光方法最新进展

陈 鼎, 王家骥, 陈 力

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 对于哈勃空间望远镜 (HST) 来说, 其广角行星照相机 (WFPC2) 的 CCD 性能的数据处理校正对提高天体测量和测光结果的精度有着重要意义。最近几年由于 WFPC2 对精度要求越来越高, 其数据处理方法和校正方法包括点扩散函数、行误差和畸变修正等各个方面的研究都有了很大改进和进展。对近年来上述方面的最新进展作了介绍, 并评价了其优缺点, 提出了一些有待解决的问题。

关键词: 天体测量学; WFPC2; 综述; 测光; 点扩散函数; 行误差; 畸变

中图分类号: P129 **文献标识码:** A

1 引 言

哈勃空间望远镜 (HST) 的升空对天文学的研究和发展作出了巨大的贡献, 尤其是它装载的广角行星照相机 (WFPC2), 在外太空视宁度为零的绝佳环境下, 可以得到稳定、精细的星像, 因而相对于地面望远镜有着独特的优势, 具备进行精确天体测量和测光工作的能力。进行精确天体测量是当初 HST 建造计划的一个重要科学目标之一^[1,2], 但在 HST 升空后 10 多年中, 只有很少几篇利用其资料进行天体测量重要研究工作的论文。近几年, 随着 HST 对各类天体观测资料的日积月累、对相同天区多历元观测的增加以及大量资料的释放, 利用 HST 的 WFPC2 观测资料来进行深空星场, 尤其是密集星场天体测量和测光的研究工作有所增加, 而针对 WFPC2 观测资料进行数据处理的方法也有了許多最新的进展。本文将按照天体测量和测光一般数据处理的步骤来介绍上述方法的最新进展以及利用这些方法开展的一些最新工作。

2 WFPC2 简介

1993 年 12 月内置球差改正镜的 WFPC2 替换下了 HST 最初装载的 WFPC1。WFPC2

收稿日期: 2004-01-13; 修回日期: 2004-03-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10373020、10333050); 国家 973 资助项目 (G1999075406)

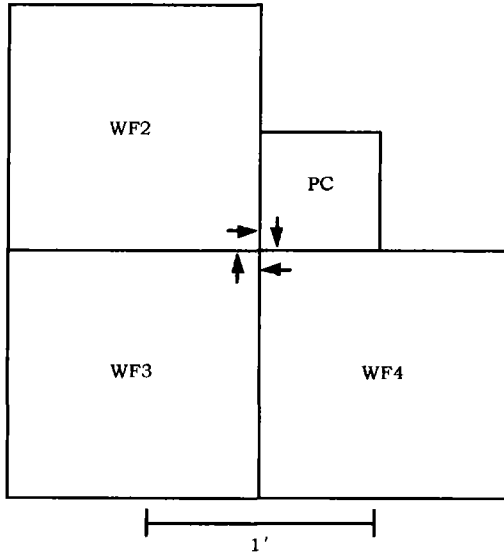


图 1 WFPC2 视场在天空中的投影^[14]

分别为 45 mas 和 100 mas，所以对于 WFPC2 的每一块 CCD，都会存在取样不足和取样偏差的问题。

传统处理方法，如 DAOPHOT (多米尼天文台开发的密集星场测光软件)^[4] 的具体步骤是，将 Gauss 函数 (后来也可用 Moffat 函数) 正确地放在一颗星像上，对这个函数在星像范围内每个像素所占的面积积分，取其积分结果和该像素观测流量值之差，以此达到最佳拟合，从而建立起所采用的点扩散函数。这种处理方法的缺点是需要用 Gauss 函数对每个像素积分，且存在相位误差，如图 2 所示。图 2 中的直方图表示一个取样不足的一维恒星轮廓最里面 3 个像素的流量值，实曲线和点线分别是两个不同宽度的 Gauss 模型，它们都能严格拟合到像素值，但其中心所对应的位置却相差 0.07 像素，大于测量结果的偶然误差 (0.02 像素)。显然，这个差值 (即像素相位误差) 与星像落在像素内的位置有关。

Schechter 等人^[5] 在开发测光软件 DoPHOT 时忽略了像素积分问题，而是直接在拟合过程中简单地在每个像素中心按照这个像素的流量值估算它的点扩散函数。然而，事实上，它的点扩散函数已经经过 CCD 本身对像素的积分，因此所产生的像素相位误差同样非常大。

Lauer^[6] 在 1999 年提出，使用傅里叶方法把多幅有微动 (图像位置微小不同以致星像位置落在同一像素不同区域)、取样不足的图像合并在一起以得到一幅取样良好的“超图像”。这种处理方法对于用解卷积来处理面源天体是非常合适的，可是对于点源却显得效果甚微，这是因为这种方法不能首先得到每幅图像的点源位置，所以没有办法进一步考察像素相位误差并进行畸变等系统差的改正。

Anderson 和 King^[3] 在 2000 年提出了一种采用有效点扩散函数的处理方法。如前所述，因为星像中的每个像素值是在一个中心位置对于仪器点扩散函数的中心有偏离的像素内积分的结果，所以仪器点扩散函数是无法直接观测到的。

如果有一个像素 (i, j) ，它的中心位于 $x = i$ ， $y = j$ 处，在这个像素周围有一个中心为

的 CCD 探测器分成两组：3 个称为广角照相机 (WF2、WF3、WF4)，工作焦比为 $f/12.9$ ，其 CCD 的每个像素对应于 $0''.0996$ ，视场为 $80'' \times 80''$ ；1 个称为行星照相机 (PC)，工作焦比为 $f/28.3$ ，每个像素对应于 $0''.0445$ ，视场为 $36'' \times 36''$ ，可容纳除木星之外的任何行星圆面 (图 1)。

3 点扩散函数的精确导出

点扩散函数是一个点源所产生的光的二维分布。每一幅天文图像中的恒星其实都是点扩散函数的一种表现。由 HST 镜头形成的点扩散函数的中心宽度约为 50 mas (具体大小取决于滤光片波长)^[3]。因为行星照相机 (PC) 和广角照相机 (WF) 的 CCD 的每个像素大小分

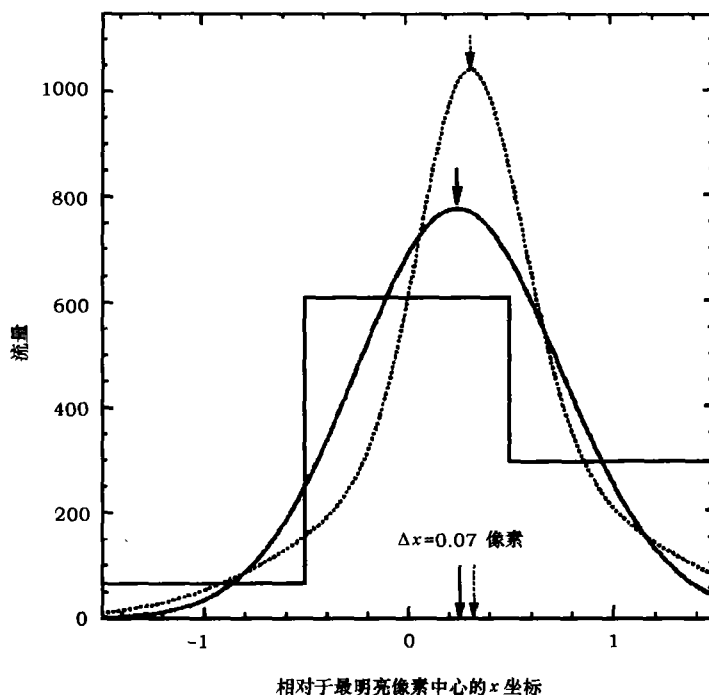


图 2 像素相位误差示意图 [3]

(x_*, y_*) 的点源, 那么这个像素中的流量应该是

$$P_{ij} = f_* \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{R}(x-i, y-j) \times \psi_I(x-x_*, y-y_*) dx dy + s_* , \quad (1)$$

其中 f_* 是流量因子, \mathcal{R} 是像素的二维灵敏度分布, $\psi_I(\Delta x, \Delta y)$ 为假设的仪器点扩散函数, s_* 为该像素位置上的背景值。这里 $\Delta x = i - x_*$, $\Delta y = j - y_*$ 。通过移动零点, 并定义

$$\psi_E(\Delta x, \Delta y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{R}'(x, y) \psi_I(\Delta x - x, \Delta y - y) dx dy ,$$

就有

$$P_{ij} = f_* \psi_E(i - x_*, j - y_*) + s_* , \quad (2)$$

其中 $\psi_E(\Delta x, \Delta y)$ 即为有效点扩散函数 (ePSF), 它直接给出了一个星像内相对于该星像中心位置偏离为 $(\Delta x, \Delta y)$ 的像素中恒星光强度 (流量) 所占的百分比。这样, 在归算 ψ_E 时就不必知道仪器点扩散函数 ψ_I 和像素的灵敏度分布 \mathcal{R} , 而可以直接处理有效点扩散函数。

这样处理的优点是:

(1) 处理过程简单。在把有效点扩散函数拟合到星像时不需要进行积分, 它是通过改变 x_* 、 y_* 和 f_* , 使残差平方和 $\sum_{ij} w_{ij} [(P_{ij} - s_*) - f_* \psi_E(i - x_*, j - y_*)]^2$ 为最小, 即在离散的数据点上作估算而免去了对像素的积分, 实质上这一过程就是把一个连续函数拟合到一组给定点的最佳参数的最小二乘解。

(2) 有效点扩散函数的求解远比仪器点扩散函数容易。从(2)式可以得到有效点扩散函数的估值: $\hat{\psi}_E(\Delta x, \Delta y) = \frac{P_{ij} - s_*}{f_*}$ 。因此, 如果知道了 x_* 、 y_* 和 f_* 的初值, 就可由上式得到偏离 $\Delta x = i - x_*$ 和 $\Delta y = j - y_*$ 以及在 (i, j) 处的像素如何对有效点扩散函数取样和标定。对于 N 颗恒星的 $\{x_*, y_*, f_*\}$, 取每颗星像周围 5×5 个像素 (这已经足以把 WFPC2 上的每一个星像包括在内), 那么就会有 $25 \times N$ 次取样, 如此多的数据点将非常有利于导出一个平滑的有效点扩散函数。

(3) 更精确、更有应用价值。不必考虑 ψ_I 和 \mathcal{R} 所起的作用, 也不必对一个像素内灵敏度分布作任何假定, 因为有效点扩散函数其实就是 CCD 灵敏度和仪器点扩散函数共同产生影响的结果。

有效点扩散函数作为一种追求星像内禀点扩散函数的方法, 目前已被大多数天体测量和测光工作所采纳, 尤其是一些高精度天体测量工作, 如 Anderson 和 King^[7] 在 2003 年对杜鹃 47 的自转研究工作和 Drukier 等人^[8] 在 2003 年对 NGC 6752 内部运动的研究工作等等, 都无一例外地采用了该方法。定位精度的提高 (约 0.02 像素) 使得利用 WFPC2 进行高精度天体测量工作得以顺利开展。

当然, 由于有效点扩散函数在归算时每期至少需要 4 幅图像, 且图像之间需要有合适的微动才能得到比较理想的有效点扩散函数, 因此, 在应用有效点扩散函数之前需要对样本进行预处理, 以判断其是否适合应用有效点扩散函数。

4 WFPC2 的行误差

Holtzman 等人^[9] 在 1995 年的论文中曾经提到, 他们在处理 WFPC2 平场时发现了一些周期性的条纹, 认为这应该是由 CCD 行灵敏度或者行宽度不同造成的。

Shaklan 等人^[10] 在 1995 年也仔细探讨了造成这一问题的原因, 并较为详细地研究了 WFPC2 的 CCD 刻线构造: 用 $0.5 \mu\text{m} \times 0.5 \mu\text{m}$ 的电子束沿 y 方向扫描, 每次扫描 $512 \mu\text{m}$, 再使电子束沿 x 方向平移 $0.5 \mu\text{m}$, 重复扫描, 直到整个 CCD 上 800 像素的宽度都留下刻线。然后电子束沿 y 方向平移 $512 \mu\text{m}$, 扫描下一个区域, 如此重复直到完成整个 CCD 的扫描。然而, y 方向每 $512 \mu\text{m}$ 的区域实际上占用了 $512.5 \mu\text{m}$, 但每个区域的起始扫描位置相隔仍为 $512 \mu\text{m}$, 结果每个扫描区域终点处靠边缘 $0.5 \mu\text{m}$ 的区域就被多重扫描了一次。也就是说, 电子束在 y 方向被放大了 0.1%, 而每个扫描区域边缘则相应产生了 $0.5 \mu\text{m}$ 的误差 (每个像素 $15 \mu\text{m}$)。这样, 由于 CCD 芯片制造上的问题, 每块芯片上约每隔 34 行就比其他各行窄了约 3%, 其准确周期是 $1024/30=34.1333$ 行。

Anderson 和 King^[11] 在 1999 年进行了对球状星团杜鹃 47 的 15 幅图像测量。基于 Shaklan 等人^[10] 的工作基础, 他们不仅测量了出现行误差的间隔, 而且具体研究了落在行误差像素上的恒星像流量变化特性。如图 3 所示, 上面的图是 15 幅相同天区图像中的恒星 y 位置残差统计图, 用来计算这一残差的平均值是取每颗恒星 15 个测量值中居中间的 8 个测量值的平均, 其误差小于偶然误差。中间的图是分区计算出的平均残差, 它清晰地呈现出周期性锯齿变化, 周期约为 34.1333 行, 振幅达到 0.03 像素, 已经大于单次正常恒星露光位置测量误差 (0.02

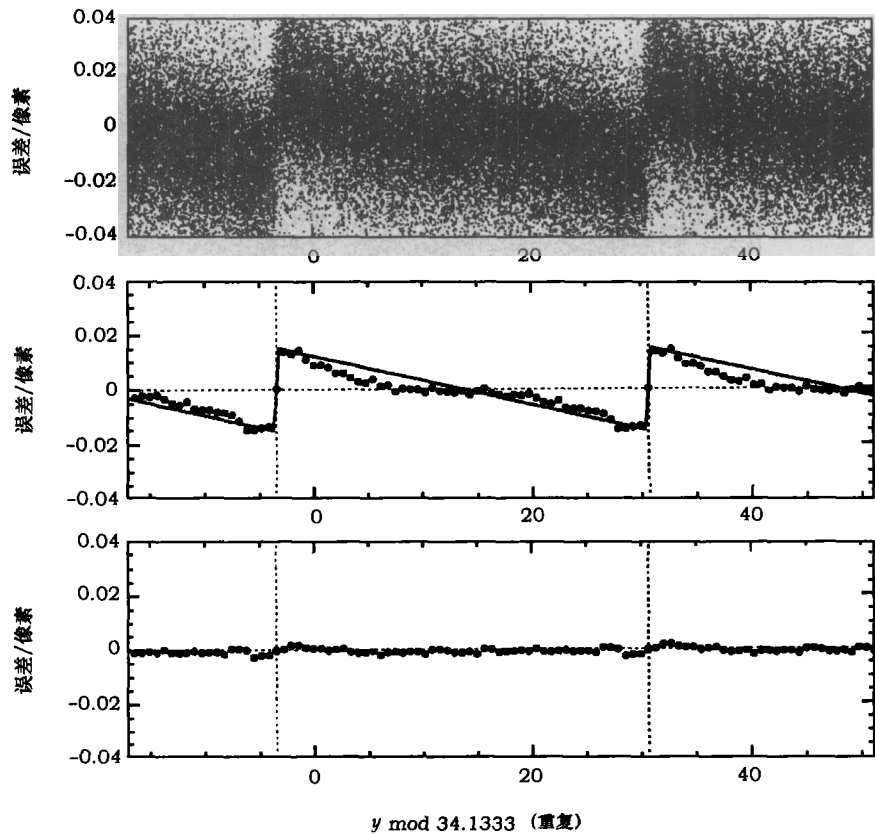


图 3 由行误差引起的 y 位置残差 (上图和中图) 及其改正后的情况 (下图) ^[11]

像素)。下面的图则是通过 Anderson 和 King ^[11] 给出的改正方法改正后的残差分布。

图 4 显示出星像落在某一窄行上时所造成的星等残差的异常现象。窄行的存在使部分光子分布到了更多的邻近像素中,从而在平场虚假提升了这颗恒星真实的流量,给恒星的测光结果带来了偏差。这些受影响的恒星数目约占视场内总星数的 6%。由于每隔约 34 行就有一行宽度变窄,则其后的其他各行都比平均的行宽度稍宽一些。Anderson 和 King ^[11] 分别给出了对位置 (天体测量) 和流量 (测光) 行误差的平均校正方法。这一校正随后所有用 WFPC2 进行的测光和天体测量工作中都是必做的一道“工序”。

Drukier 等人 ^[8] 在 2003 年对球状星团 NGC 6752 进行了研究,提出了对行误差更为严格的校正方法。他们认为 Anderson 和 King ^[11] 的方法把底片比例尺和 CCD 的物理缺陷混在了一起,其改正虽然平均来说是正确的,但并没有揭示物理本质。Drukier 等人认为,在具有行误差的两行 (窄行) 之间的间隔应该是像素的整数倍,而且具有行误差的行应该是可以识别的,所要作的改正应该可以针对某些具体的行来做,并不需要平均地去做。他们通过对 WFPC2 平场的检查发现,对于不同的具有行误差的窄行,其偏差有所区别,它的相对响应与波长有关。不过这些问题仅对测光工作有一点微小影响,而对于天体测量来说, Drukier 等人 ^[8] 的实际结果与 Anderson 和 King ^[11] 的结果相比,没有任何改变。

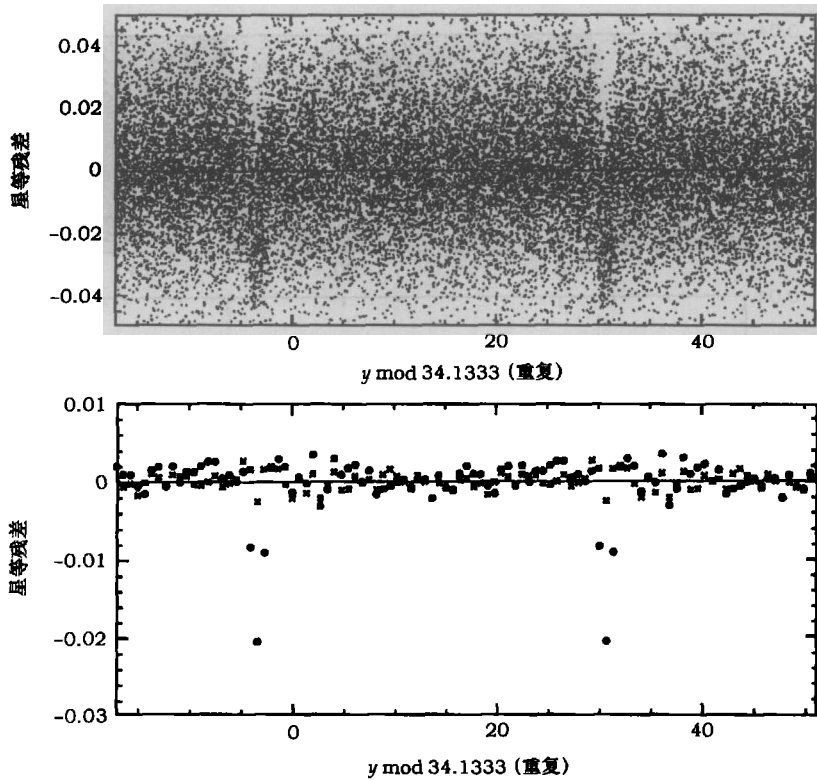


图 4 由行误差引起的星等残差 (上和下图中心点号) 及其改正后的情况 (下图中叉号)^[11]

5 WFPC2 的几何畸变改正

光学仪器不可避免会产生畸变。正如 Anderson 和 King^[12]指出, 天文仪器制造者在制造仪器时有一种强烈的倾向性, 即把精力仅仅集中在产生清晰的星像上, 而几乎或者根本不注意这些星像落在哪里。例如, 在 WFPC2 中, 4 块 CCD 的每一块都有畸变, 在视场边缘达到约 5 像素。其次, 如图 1 所示, WFPC2 的视场被分割成了 4 部分, 其中每一部分都映射到一个独立的 CCD 上, 这在光路上是通过一块四面锥形镜来实现的。由于视场的分割不是精确吻合的, 造成锥形镜边缘 $2''$ 的区域实际上会映射到至少 2 块不同的 CCD 上。另外, 每一面图像并没有完全充满每块 CCD, 因而每块 CCD 都有一个“黑暗”的边缘区域。鉴于以上这些原因, 图像像素与标准二维天空切平面投影之间的关系不是简单的坐标变换, 因此在把像素坐标变换到天空坐标或者其他统一坐标进行位置和运动分析的时候, 必须进行几何畸变的校正。

Holtzman 等人^[13]在 1995 年根据 WFPC2 对半人马 ω (NGC 5139) 的多历元观测, 选择 PC 中心作为参考架中心, 最终导出了使用 x 、 y 的完全 3 次多项式表达的 WFPC2 几何畸变解。这是运用最广泛的畸变解, 称为 Holtzman 解, 主要适用于 F555W 滤光片。

此后 Gilmozzi 等人^[14]在 1995 年基于 NGC 1850 的多次重叠观测结果, 运用 Legendre 多

项式, 得到了比 Holtzman 解更为精确的解。Trauger 等人^[15] 1995 年在 Holtzman 解的基础上考虑 MgF_2 平场透镜折射系数的影响, 大大消除了波长对几何畸变解所带来的影响。

Gilmozzi 解和 Holtzman 解主要是通过对 WFPC2 同一星场在不同偏置情况下的多次观测, 使得同一天区成像在 CCD 的不同位置上, 从而得到一个单一的畸变模型。他们的解能将视场内不同位置观测到的大量点源位置得以最佳拟合, 并且不需要对这些点源的位置预先有任何了解。Holtzman 解通过对不同望远镜指向之间运动状况的确定, 来解决照相机底片比例尺的不确定性, 这种指向变化的步长取为 $16''$, 因此, 所确定的底片比例尺的精度与 HST 的小角运动精度相对应。Trauger 解只限于 2 次项和更高次项, 其底片比例尺和取向则采用 Holtzman 解。

Holtzman 的观测样本相对来说是较为稀疏的星场, 因而在视场边角不能被很好地取样。Casertano 和 Wiggs^[16] 在 2001 年依靠哈勃观测计划 G6941 中更为密集的星场和相对来说更完备的取样对 Holtzman 解进行了改进, 通过追踪 Kelsall 点 (由位于 WFPC2 锥形镜前的一个指示灯产生的细微光线通过反射层较薄的镜面边缘在 CCD 上所成的像) 位置随时间的变化, 定量地给出了 4 块 CCD 相对位置随时间的变化, 但他们依然没有解决畸变解与波长和时间的关系。以上几种 WFPC2 畸变解, 对于行星照相机最高准确到 0.05 像素, 对于广角照相机最高准确到 0.02 像素。

上面提到的几种畸变解在求解过程中有一个共同的缺点, 即不同指向的步长是沿同一取向平行移动选取的, 这样就无法得到畸变解中隐藏的倾斜项。Anderson 和 King^[12] 在 2003 年的工作中使用了更为密集的半人马 ω 内区校准星场 (ICF) 资料来研究 WFPC2 畸变解的改进。他们选取了更为完备和大量不同取向的观测资料 (HST 不同于地面观测设备, 其取向可自由旋转调整)。与先前的一些研究相比他们的工作有很多优点: 第一, 所有星像的处理采用前面介绍的有效点扩散函数方法, 使得其位置测量结果更加精确; 第二, 同一天区内不仅恒星数目更多, 可供选择作为样本使用的曝光次数也多; 第三, 样本具有不同的观测取向, 有助于倾斜项的导出; 第四, 样本选取时剔除了靠近 CCD 边缘 ($x < 100$, $y < 100$) 的星像, 这样在求解时就避免了棱镜边缘附近畸变异常的影响 (当然, 最终的畸变解也不适用于这些星像的改正); 第五, 大量重叠的样本 (从 1997 年 6 月到 2002 年 3 月对 ICF 共 80 次 F555W 露光) 使得对 WFPC2 的 4 块 CCD 进行相互比较成为可能。

Anderson 和 King^[12] 认为, 对同一颗恒星的大量观测, 在采用 Casertano 和 Wiggs^[16] 的畸变解作了初步畸变改正以后, 每一个恒星坐标测量值除了测量误差之外, 即为真实恒星位置与残余畸变误差之和。因此, 对于目标图像中的每一颗恒星, 其测量坐标和另外许多由其他图像中该恒星的测量结果变换到同一参考架后得到的位置之差, 即为残差, 它们的平均值将很好地体现出 CCD 不同区域残留的畸变。

Anderson 和 King^[12] 的具体求解过程与先前工作最大的不同是, 在样本的选取上摒弃了 CCD 边缘的恒星, 参考中心也选取 CCD 的有效中心 (425, 425), 而不是标准中心 (400, 400)。他们在求解时分别对每块 CCD 求解, 而不是先将 4 块 CCD 统一到一个大参考架中。这是因为最新研究表明, WFPC2 的 CCD 相互之间随时间有位置漂移, 而且每一块进行单独畸变改正也可以避免不同 CCD 相互之间的畸变误差传递影响。

采用 Anderson 和 King^[12] 的畸变解进行改正之后, 如果不考虑 $x < 100$, $y < 100$ 的边

缘区域, 行星照相机和广角照相机的残差分别小于 0.02 像素和 0.01 像素, 远比 Holtzman 解和 Casertano 解的精度高。

另外, 在把每块 CCD 进行畸变校正后, 为了把其视场合并, 需要一个公共的参考架。下面是把每块芯片上改正畸变之后的测量结果变换到公共坐标架的表达式:

$$\begin{pmatrix} \chi \\ r \end{pmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{\text{corr}} & -425 \\ y_{\text{corr}} & -425 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \chi_0 \\ r_0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

其中 α 、 θ 、 χ_0 和 r_0 为常数。Anderson 和 King^[12] 给出了不同历元时以 WF3 为基准的参数值以及其他 CCD 变换到 WF3 所应采用的数值。

对于畸变可能存在的随时间的变化, Anderson 和 King^[12] 采用早期历元 (1997~1998 年) 和晚期历元 (2001~2003 年) 拍摄的图像, 分别检验了用他们的畸变解作过改正之后的残差, 结果没有发现任何明显的系统性长期变化, 因而认为 CCD 芯片整体的相对漂移不影响其本身的光学畸变。这与 Casertano 和 Wiggs^[16] 的结论相同。

Anderson 和 King^[12] 还认为, CCD 尺度变化和畸变之间应该存在相互作用, 而且其尺度变化与时间以及 HST 在轨道上的不同位置存在一种周期性的相关。另外通过对望远镜轨道运动的分析, 证明光行差也可以对尺度变化造成一定程度影响。然而, 由于缺乏每次观测的必要尺度信息, 目前还无法对其进行拟合, 以消除这些变化的影响。不过, 与上面所述的畸变改正相比, 这些影响都很小。

早期的研究工作, 甚至 HST 专用处理软件 (STSDAS) 在处理畸变时都使用了 Holtzman 解的形式, 但随着 Anderson 解的推出, 最近与 WFPC2 相关的研究工作, 例如 Drukier 等人^[8] 2003 年测定 NGC 6752 中心的自行运动、Bassa 等人^[17] 2003 年对 NGC 6752 中一颗脉冲星的白矮星伴星的定位、Bedin 等人^[18] 2003 年对 M4 的天体测量和银河系基本参数研究工作, 都采用 Anderson 的畸变解, 大大提高了定位测量精度 (约 0.02 像素)。

6 WFPC2 的测光校准

WFPC2 的测光零点校准工作一般可以采用两种方法^[19]。第一种方法是由经典 4 种测光方法^[9,20~23] 所确定的零点改正, 校准后不同研究工作之间的平均弥散分别为 0.043 mag (F336W)、0.034 mag (F439W)、0.016 mag (F555W)、0.018 mag (F814W)。另一种方法是参照对 NGC 2419 的 WFPC2 测光与地面测光工作^[24] 的比较结果来进行校准。

WFPC2 在 1994 年被装载之后, 其每块 CCD 顶部有 10%~15% 的电子传输损失, 即所谓的电子传输效率 (CTE) 问题。同时, HST 的标准滤光片 (如 F555W 和 F814W) 中心波长与地面标准测光系统 (如 Johnson-Cousins 系统的 V 和 I) 中心波长略有出入, 而其他非标准滤光片 (如 F336W 和 F606W) 则相差更大。Holtzman 等人^[9] 通过对球状星团半人马 ω 和 NGC 6752 的 WFPC2 观测和地面望远镜观测, 导出了 WFPC2 空中测光系统和地面标准测光系统的转换以及零点校准, 但对于 CTE 问题他们只是进行了初步预测, 认为与背景信噪比有关。Whitmore^[25] 在 1998 年、Whitmore 等人^[26] 在 1999 年利用更多的观测结果研究了 CTE 损失及其随时间变化趋势。这一结果与 Stetson^[27] 在 1998 年用 DAOPHOT 处理半人马

ω 和 NGC 2419 的结果接近, 但 Stetson 发现 CTE 损失随时间变化较小 (0.0012 mag/yr)。然而, Saha 等人^[28] 在 2000 年利用 DoPHOT 对 NGC 2419 进行研究时发现, 并不存在 CTE 损失, 这或许是 DAOPHOT 和 DoPHOT 处理软件对 CTE 的敏感程度不同。

另外, 曝光时间的长短不同也会造成测光误差, Casertano 和 Mutchler^[29] 在 1998 年指出, 这是由于光子计数偏差造成的, 并给出了相应的改正公式。

Dolphin^[22,23,30] 使用他开发的 HSTphot 测光软件包对 843 幅半人马 ω 和 NGC 2419 的观测资料进行了处理分析。以同一天区的地面测光观测作为对照, 相对于 Holtzman 等人^[9] 的测光校正, 除了给出一些更为精确的参数值外, Dolphin 最为显著的不同是考虑了 CTE 损失情况, 从而大大提高了测光精度 (星等弥散小于 0.1 mag)。

最新的一些工作, 如 Albrow 等人^[31] 在 2002 年对 M22 光度函数的研究、Mackey 和 Gilmore^[32] 在 2003 年对矮椭圆星系中球状星团径向面亮度轮廓的测光研究等, 都使用了 Dolphin 的校正定标方法。

7 总结和展望

正如 Anderson 和 King^[3] 所说, HST WFPC2 的天体测量工作相对于其他领域的工作虽然刚刚起步, 但是其天体测量和测光方法正越来越受到人们的关注。由于自身的仪器特性, WFPC2 对于点源星像是取样不足和存在偏差的, 传统的点扩散函数难以准确地拟合星像位置, 因此怎样更精确、更简便地得到恒星内禀点扩散函数是人们关注的焦点。就目前来说, 有效点扩散函数更能反映 CCD 不同区域的内禀点扩散函数的形式, 是一种理想的方法, 但它尚存在不方便的地方, 譬如需要有足够的样本数量和合适的微动等。同时在 CCD 中划分区域进行线性插值也不免偏离其内禀特性的本意。

Anderson 和 King^[11] 虽然对行误差进行了有效的改正, 但它并没有针对每一行的实际偏差情况; Drukier 等人^[8] 的改正方法也许更接近行误差产生的本质, 可是它显得更为繁琐, 并且改善程度甚微。

CCD 尺度的“胀缩”变化对畸变存在影响, 而尺度随时间的变化规律在样本不足的情况下很难进行研究, 这也许应该是今后畸变改正研究工作的一个新方向。

所有这些改正必将促使一个新的 WFPC2 数据处理平台的诞生。HST 现在已经安装了与 WFPC2 不能互相代替的更大视场的高级巡天照相机 (ACS)。随着 HST 大量观测资料的累积和资料的释放, 即使在下一代太空望远镜 (NGST) 升空后退役, 其宝贵的全天区、多历元天体测量和测光资料仍会凸现其科学研究价值。利用 WFPC2 进行的天体测量和测光工作将会进一步开展。

参考文献:

- [1] Jefferys W H, Benedict G F, Hemenway P D et al. *Celest. Mech.*, 1985, 37: 299
- [2] King I R, Anderson J, Cool A M et al. *ApJ*, 1998, 492: L37
- [3] Anderson J, King I R. *PASP*, 2000, 112: 1360
- [4] Stetson P. *PASP*, 1987, 99: 191

- [5] Schechter P L, Mateo M, Saha A. *PASP*, 1993, 105: 1342
- [6] Lauer T R. *PASP*, 1999, 111: 1434
- [7] Anderson J, King I R. *AJ*, 2003, 126: 772
- [8] Drukier G A, Bailyn C D, van Altena W F *et al.* *AJ*, 2003, 125: 2559
- [9] Holtzman J A, Burrows C J, Casertano S *et al.* *PASP*, 1995, 107: 1065
- [10] Shaklan S, Sharman M C, Pravdo S H. *Appl. Opt.*, 1995, 34: 6672
- [11] Anderson J, King I R. *PASP*, 1999, 111: 1095
- [12] Anderson J, King I R. *PASP*, 2003, 115: 113
- [13] Holtzman J A, Hester J J, Casertano S *et al.* *PASP*, 1995, 107: 156
- [14] Gilmozzi R, Ewald S, Kinney E. *WFPC2 Instrument Science Report*, 1995-02, Baltimore, MD: STScI, 1995: 1
- [15] Trauger J T, Vaughan A H, Evans R W *et al.* In: Koratkar A, Leitherer C eds. *Calibrating Hubble Space Telescope: Post Servicing Mission*, Baltimore, MD: STScI, 1995: 379
- [16] Casertano S, Wiggs M S. *WFPC2 Instrument Science Report*, 2001-10, Baltimore, MD: STScI, 2001: 1
- [17] Bassa C G, Verbunt F, van Kerkwijk M H *et al.* *A&A*, 2003, 409: L31
- [18] Bedin L R, Piotto G, King I R *et al.* *AJ*, 2003, 126: 247
- [19] Heyer I, Richardson M, Whitmore B *et al.* In: Arribas S, Koekemoer A, Whitmore B eds. *Hubble After the Installation of the ACS and the NICMOS Cooling System*, Baltimore, MD: STScI, 2002: 335
- [20] Leitherer C ed. *HST Data Handbook*, Version 2.0, Baltimore, MD: STScI, 1995: 1
- [21] Baggett S ed. *HST Data Handbook (WFPC2)*, Version 4.0, Baltimore, MD: STScI, 2002: 1
- [22] Dolphin A E. *PASP*, 2000, 112: 1397
- [23] Dolphin A E. http://www.noao.edu/staff/dolphin/wfpc2_calib/, 2002
- [24] Stetson P. <http://cadwww.dao.nrc.ca/cadcbn/wdb/astrocat/stetson/query/>, 2002
- [25] Whitmore B. *WFPC2 TIR*, 1998-01, Baltimore, MD: STScI, 1998: 1
- [26] Whitmore B, Heyer I, Casertano S. *PASP*, 1999, 111: 1559
- [27] Stetson P. *PASP*, 1998, 110: 1448
- [28] Saha A, Labhardt L, Prosser C. *PASP*, 2000, 112: 163
- [29] Casertano S, Mutchler M. *WFPC2 Instrument Science Report*, 1998-02, Baltimore, MD: STScI, 1998: 1
- [30] Dolphin A E. *PASP*, 2000, 112: 1383
- [31] Albrow M D, de Marchi G, Sahu K C. *ApJ*, 2002, 579: 660
- [32] Mackey A D, Gilmore G F. *MNRAS*, 2003, 340: 175

Recent Progress on Astrometry and Photometry With HST WFPC2

CHEN Ding, WANG Jia-ji, CHEN Li

(*Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China*)

Abstract: The calibrations of the CCD on HST WFPC2 are very important to improve the precision of astrometry and photometry. Many efforts have been devoted to the PSF (point spread function), row error of CCD and the correction of optical distortion. In recent years, higher precision is needed in some astrometry and photometry research, many further improvement of the method of reduction and calibration are carried out. These developments are briefly reviewed. Finally, some comments and prospective studies on these methods are presented.

Key words: astrometry; WFPC2; review; photometry; PSF; row error; distortion