

北京天文台超新星巡天系统^{*}

——I. 巡天设备及软件

李卫东 赵昭旺 袁予雷 乔琪源 饶勇 胡景耀 李启斌

(中国科学院北京天文台, 北京 100080; 中国科学院光学天文联合实验室, 北京 100080)

摘要 概述了超新星的意义及国际现状, 并详细地叙述北京天文台的 60 cm 望远镜超新星巡天系统, 利用北京天文台兴隆站的 60 cm 望远镜及其安装在主焦点上的 CCD 相机, 组成了巡天的硬件设备. 一套自动安排观测、控制望远镜、圆顶和 CCD 相机的软件和图象处理系统使它成为完全自动化的超新星巡天系统.

关键词 恒星演化晚期 超新星

超新星是最激烈, 同时也是最重要的天体物理现象之一. 超新星的 I 型或 II 型分别涉及密近双星和大质量恒星演化晚期最关键的事件. II 型超新星在秒级的时间内释放出 10^{46} J 的能量, 对天体物理学家提出了严峻的挑战, 要求对它爆发的能源机制、物理过程作出相应的解释^[1]. 超新星还引发新恒星的诞生, 合成重元素, 并成为宇宙线的主要来源. 从 I 型超新星在最亮时刻的星等^[2], 或从 II 型超新星的膨胀光球参数^[3], 使我们有可能推出它的母星系的距离. 所以观测研究超新星不仅是研究超新星本身同时还是研究恒星演化、元素合成、高能天体物理现象、爆炸物理等重要天体物理和物理学研究热点, 而且还是观测宇宙学的重要研究工具.

超新星现象又是突发性的瞬变的事件, 所以要研究它就比较难, 必须系统地持之以恒地巡天, 才有可能发现它, 观测它并研究它. 目前国际上的超新星巡天工作分为两类, 一类为天文爱好者的工作. 他们用小型望远镜监视比较近、比较亮的星系, 在发现亮的超新星方面他们的贡献不可磨灭; 另一类为专业天文学家所作的巡天工作, 这一类的工作又分两类: 近年来有一些小组专门在高红移的星系团中搜索超新星, 其目的只是为了确定哈勃常数. 另一类为超新星专用巡天系统, 如美国加州大学 Berkeley 分校的 CCD 巡天和法国的 50 cm 施米特望远镜的底片巡天. 加州大学 Berkeley 分校用一台 76 cm 的望远镜在卡焦上用 CCD 作超新星巡天^[4], 但由于观测条件的限制(城市天光的影响及晴夜数太少), 每年发现的超新星不超过 5 颗, 法国的 50 cm 施米特底片超新星巡天由于底片的难处理及动态范围小的特性, 使他们发现的超新星一般也在光极大之后, 而且很难发现近核的超新星.

北京天文台于 1995 年决定将兴隆观测站的 60 cm 望远镜改造为一个超新星巡天专用望

远镜,发展这样一个系统是考虑到和加州大学 Berkeley 分校比较,我们的优势在于冬春季节晴天多,而冬春季节正是超新星巡天的黄金季节,因为正是室女星系团观测的季节,而且夜长,和法国比较,我们的优势除了晴夜多外,还在于我们用的是 CCD 巡天,可以发现更早和更接近星系核心的超新星,自我们的巡天系统于 1996 年 3 月底正式投入运作以来,在 1996 年已发现了 6 颗超新星(1997 年已发现了 10 颗),处于专用超新星巡天望远镜系统的前列,而且在 1996 年发现的 6 颗超新星中有 4 颗是发现于光极大之前,一颗在光极大时刻被发现,这为仔细研究超新星本身提供了极好的观测样本。

1 巡天设备及巡天的策略与方法

1.1 巡天设备

巡天所用的主要设备是 60 cm 望远镜,主焦点改正镜,主焦点上的 CCD 相机,以及控制和数据处理的计算机系统. 为了用于超新星巡天,我们对 60 cm 望远镜作了全面的技术改造,它们包括:

- (1) 在主焦点上加装 4 片型改正镜,使主焦有效视场达到了 $30'$;
- (2) 在主焦点上配置 TC215(Japan)CCD 相机;
- (3) 望远镜的赤经、赤纬轴都加装角编码器和数字显示设备,并用计算机控制望远镜的运行;
- (4) 实现对圆顶的随动,即圆顶同样由计算机控制,跟随望远镜运动;
- (5) 组成一个由控制望远镜的微机,用于数据采集的微机,用于数据处理的微机和工作站的计算机网络,负责控制整个望远镜的运行,巡天的具体实施,数据处理和超新星自动搜索.

60 cm 望远镜的主要参数如下:

口径:	0.60 m
焦距(主焦点):	2.583 m
焦比(主焦点):	$f/4.23$
成象尺度(主焦点):	$1\text{ mm}=81.21''$

TC215(Japan)CCD 相机的主要参数:

型号:	TC215(Japan)
像素:	1024×1024
像素大小:	$12\text{ mm} \times 12\text{ mm}$
成象面积:	$12.3\text{ mm} \times 12.3\text{ mm}$
成象视场(主焦点):	$16.4' \times 16.4'$

1.2 巡天的策略

北京天文台兴隆观测站的良好观测季节是从当年的 10 月份至第 2 年的 5 月份,尤其是冬天,兴隆的天气比欧美等国的天文台要好,因而集中在这一阶段进行高密度的超新星巡天成为我们的巡天系统的出发点,我们的巡天的策略是从如下两个方面考虑的:

- (1) 我们主要的目的是研究超新星本身,所以搜索较近的星系($<20\text{ Mpc}$,如室女团)内的超新星,并在爆发的早期发现它. 这些超新星一般较亮,能够进行比较系统的测光和光谱研究;

(2) 尽可能多发现一些超新星, 这需要在远于 20 Mpc 的空间上搜索, 这类超新星相对较暗, 可以为统计工作和宇宙学研究提供资料。

围绕着这一巡天策略我们构造了自己的巡天星系样本, 我们较多地选择了超新星产生率较高的晚型星系, 但考虑到统计的需要保留了一部分早型星系和星系团, 我们的巡天星系样本的数据的主要来源是 RC3 星系表^[5], 并参考了 UGC^[6], REDSHIFT^[7] 等星系表。从这些星系表中我们查取了所有样本星系的位置坐标, 哈勃型, 视向速度, 视直径, 积分星等及色指数等参数, 初选的巡天星系样本中约包含 3 500 个天区, 经过一年巡天的观测细选之后目前的星系样本包含约 3 000 个天区, 其中包括的星系数约为 5 000 个。

1.3 巡天的方法

超新星爆发于星系之中, 因此为了寻找发现超新星, 必须对星系进行持之以恒的监视。发现超新星的第 1 步是得到每个样本星系天区在没有超新星时的形态及背景。这一工作从 1995 年年底到 1996 年初已基本完成, 这些原始的天区图象被用于构造每个天区的模板, 所谓模板, 就是每个星系天区在无超新星的原始图象, 以及该图象的一些特性文件, 如恒星及星系的位置, 强度转换区位置等等, 这些模板是自动寻找超新星软件的基础, 构造模板的软件原来为人机交互操作, 后来加入了很多模糊算法, 使它变成了全自动计算机操作, 节省了大量的人力及机时。

在得到每个天区的模板之后, 对每一星系进行一次新的观测, 就可以把观测图象与模板进行比对, 对星系附近的可疑目标进行证认, 从而发现超新星。目前我们的巡天系统观测的流程如图 1 (其中 SCHEDULE 程序, TCP 程序, SPAN 程序, SNFIND 程序将于下 1 节详细论述)。

2 超新星巡天的软件系统

一套完整的软件系统对任何巡天系统来说都是至关重要的, 尤其是对超新星巡天。这主要由于超新星有 90% 以上发生于星系的视直径之内, 且发生于星系核附近的几率很大, 而计算机显示的图象由于显示的动态范围小, 不能看到亮的星系核的附近区域, 因此肉眼难以判断发生在星系核附近的超新星。以前用照相底片作超新星巡天时近核的超新星发现率很低就是由于这个原因。在用软件对图象进行处理, 从新图中减去原始图作的模板之后, 星系的原有细节都被减得比较干净, 多出的目标如超新星就极易识别出来, 从而大大地减少了处理的时间以及处理的准确性, 这也是我们的软件系统中图象处理程序 SNFIND 的功能之一。

经过一年的搜索和研制, 我们现在已形成了一整套完善的软件系统, 所有的软件按功能可分为五类, 即样本管理系统, CCD 控制程序 SPAN 及望远镜控制程序 TCP, 观测排班程序 SCHEDULE, 以及图象处理程序 SNFIND 和查看结果程序 VIEW, 现分别讨论如下:

2.1 样本管理程序

一个好的样本的选择是至关重要的, 它直接涉及到可能发现的超新星的多少, 同时, 一个样本的管理及维护系统也是十分重要的, 因为每个样本都要经历粗选, 细选, 增加样本, 减少样本, 修改样本等过程, 为此, 我们编制了一系列程序用于样本的管理, 可以随时给样本增加星系, 减少星系, 修改星系参数等等。

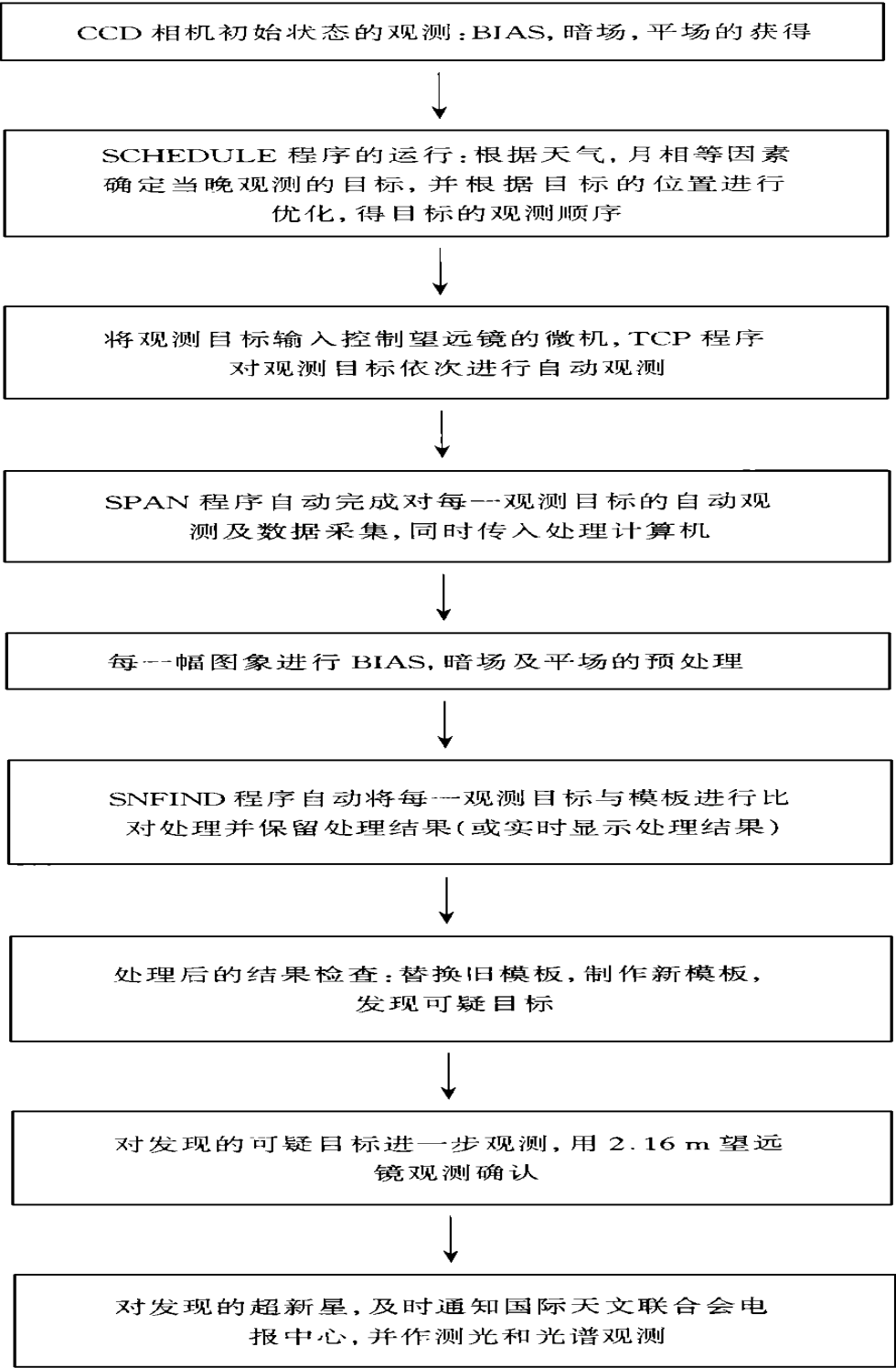


图 1 超新星巡天的工作流程图

2.2 望远镜控制程序 TCP 及 CCD 控制程序 SPAN

TCP 程序负责控制整个望远镜系统的运行, 它控制望远镜的指向, 跟踪和圆顶的随动等等, 实现了全自动观测, 即观测开始时输入当晚要观测的目标, TCP 即可控制望远镜从所输入的目标按望远镜运动最小的原则作一一顺序观测, 自动指向目标及转动圆顶, 不再需要人工介入. 全自动控制不仅节约了人力, 而且极大地提高了观测的效率并减小了出错的几率.

SPAN 程序负责控制 CCD 相机的操作, 包括快门的打开与关闭, CCD 积分开始与结束, CCD 的读出, 滤光片的转动等等, 它与 TCP 程序一起实行自动观测, 即每当 TCP 指向新目标时则通知 SPAN 程序进行积分, 需当 SPAN 开始 CCD 的读出时则通知 TCP 程序指向下一个目标, TCP 与 SPAN 程序的这种相互配合提高了观测效率.

2.3 观测排班程序 SCHEDULE

SCHEDULE 程序负责安排每天晚上的观测目标, 由于每夜可观测的星系数远大于实际观测能力, 因此必须利用 SCHEDULE 程序来根据一定的法则选取当晚的观测目标, SCHEDULE 程序要求输入的参数包括当天的天气状况, 观测的起始及终止时间, 月亮的位置及月相等. 天气的状况按透明度和视宁度的好坏分为 A, B, C 三类, 由天气的状况来确定要观测的源的亮度及大小, 以及积分的时间, 利用观测的始终时间可确定可观测的星系范围, 对处于这一范围的星系计算出每个星系的优先级, 优先级的定义为:

优先级 = 该星系最后一次观测日到当天的天数 ÷ 该星系的控制时间 × 10.0,

其中星系的控制时间与星系的距离远近有关系, 越近的星系其控制时间越长, 在得到星系的优先级之后, 即可按优先级从大到小的顺序选出我们应观测的目标. 对这些选出的目标, SCHEDULE 程序还进行一系列的优化及排序, 使望远镜从一目标指向另一目标时花费的时间最少, 从而能观测到更多的目标.

2.4 图象处理程序 SNFIND 及查看结果程序 VIEW

图象处理程序 SNFIND 为整个巡天软件的核心, 其功能是实现当晚的观测与模板的对比, 由于当晚的观测与模板观测时的各种因素的不同, 使两幅图象(新观测与模板)直接对比存在着困难, 这些新观测与模板的不同主要体现在:

(1) 由于望远镜的指向不可能完全相同, 因此新图象与模板存在着一个几何上的移位, 需要首先将两幅图象对齐.

(2) 由于新图象与模板两晚的视宁度的不同, 使两图中的星象及星系象的大小特征不一样, 即点扩展函数(PSF)不同, 这需要根据两幅图象中的星象大小及特征来使它们转换到同一水平, 一般是 PSF 好的一幅图象转换到 PSF 较差的一幅.

(3) 由于观测与模板两晚的大气透明度不一样, 即使积分时间相同, 在两幅图象上同一颗星的强度也不一样, 因此必须把它们的强度转换到同一水平上.

SNFIND 的功能就是去掉观测与模板的这些不同, 它首先根据两幅图象上星的位置使两幅图象对齐, 再根据模板上选取的三颗星(PSF 星)对两幅图象实现 PSF 的匹配使星象大小一样, 然后根据模板上选取的强度转换区, 使两幅图象的强度完全一致, 经过这一系列的处理后, 两幅图象就完全处于同一基础上, 这样从新观测图象减去模板图, 多出的点状象就是超新星候选体. 在处理后的相减图上, 恒星背景和星系背景都扣除得十分干净, 因此查看结果变得十分容易而且也提高了准确性.

为了查看资料处理的结果的需要, 我们编制了程序 VIEW, 其功能是显示每一个星系的资料处理的结果, 并当新观测明显好于模板时以新观测图象替代旧的模板, VIEW 程序也是巡天软件中最常用的程序之一.

2.5 自动作模板程序 AUTOMKTEM

构造一个星系的模板主要包括以下几点: 寻找星在图象上的位置以利于将来对齐图象; 选取三颗图象上最好的星(亮而且疏散)作为将来使观测与模板进行 PSF 匹配的星; 选取一个强度转换区以用于将来对观测与模板进行强度上的匹配.

3 超新星巡天成果和结论

自北京天文台超新星巡天于 1996 年 3 月正式投入工作以来, 到 1996 年底已经成功地发现了 6 颗超新星. 第 1 颗超新星 SN1996W 于 1996 年 4 月 10 日发现之后, 6~9 月份为兴隆观测站雨季, 几乎没有多少巡天观测, 从 10 月份到 12 月份的 3 个月之中发现了 5 颗超新星, 限于篇幅的原因, 关于这 6 颗超新星的详细的观测和理论分析(表 1)将于文(II)中给出.

表 1 6 颗超新星的观测和理论分析值

超新星编号	母星系	发现日期	位置(星座)	类型	亮度(星等)
SN1996W	NGC4027	1996-04-10	乌鸦	II	15.0
SN1996bo	NGC673	1996-10-18	双鱼	Ia	16.5
SN1996bv	NGC3432	1996-11-03	鹿豹	Ia	15.5
SN1996bw	NGC664	1996-11-30	双鱼	II	17.2
SN1996by	NGC3379	1996-12-14	鹿豹	Ia	16.0
SN1996cb	NGC3150	1996-12-18	狮子	IIb	15.0

综上所述, 通过对原 60 cm 望远镜的技术改造, 并配备一台 CCD 相机, 使我们具有了巡天的硬件设备, 我们为了进行超新星巡天编制了一整套完整的软件系统, 实现了巡天的观测全自动及资料处理全自动, 并且有大批的支持程序来完成巡天的各种服务. 在我们的超新星巡天投入运作以后, 在 1996 年中成功地发现了 6 颗超新星, 证明我们的超新星巡天系统从软件系统到硬件系统的设计是成功的.

参 考 文 献

1 Woosley S E, Weaver T A. The physics of supernova explosion. Annual Review A Ap, 1986, 24: 205

2 Branch D, Tammann G A. Type Ia supernova as standard candles. Annual Review A Ap 1992, 30: 359

3 Schmidt B P, Kirshner R P, Eastman R G. Expanding photospheres of typeII supernova. ApJ, 1992, 395: 366

4 Kare J F, Pennypacker C R, Muller R A, et al. Supernova. Dordrecht: D Reidel Publ Co. 1982. 283

5 de Vaucouleurs G, de Vaucouleurs A, Corwin H G. Third Reference Catalogue of Bright Galaxies. New York: Springer-Verlag, 1991

6 Warren W H. Uppsala Catalogue of Galaxies. Washington D C, NASA (in electronic version), 1993

7 Huchra J P. Redshift Catalogue. Washington D C, NASA (in electronic version), 1993