

文章编号: 1000-8349(2004)04-0275-09

2MASS 的科学意义和成果概览

高建云, 陈力, 王家骥, 侯金良, 赵君亮

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 2MASS (Two Micron All Sky Survey) 以相当高的内部一致性和精确度在近红外波段对整个天空进行了巡天观测, 并通过数据处理把原始数据转变为对天文学有用的图像、星等和位置的列表。较详细介绍了 2MASS 的科学意义、巡天成果、数据特征以及利用 2MASS 观测数据所开展的部分工作。

关键词: 天体物理学; 2MASS; 综述; 近红外; 巡天; 银河系结构

中图分类号: P141.91 **文献标识码:** A

1 引 言

历史上, 天文学家总是通过巡天来为自己和周围的世界定位。在红外波段从 1969 年的第一次大面积巡天 TMSS (Two Micron Sky Survey) ^[1] 到现在已有 30 多年了。TMSS 覆盖了全天 70% 区域, 探测到约 5700 个红外辐射源, 空间分辨率为几角分, K 波段的极限星等只到 3 mag。1982 年, IRAS (InfraRed Astronomical Satellite) 上天, 它在 12、25、60、100 μm 这 4 个波段对大约 96% 的天空进行了扫描, 探测到约 35 万个红外源。这不仅为研究恒星和行星系统的形成作出了开创性贡献, 也为河外天文学提供了完备的近域宇宙 (Local Universe) 样本。然而, 在了解银河系相对于宇宙微波背景运动的确切原因、暗物质和重子物质空间分布的可能差异方面, IRAS 显得无能为力。1995 年发射升空的 ISO (Infrared Space Observatory) 被认为是 IRAS 的自然延续, 主要用于对选定的源作成像、光度、偏振和光谱观测 ^[2]。在早期 TMSS 对恒星的近红外观测和 IRAS 对河外星系的观测成果的基础上, 天文学家觉得有必要进行更深的红外巡天。从技术层面上来讲, 自 TMSS 时代以来红外探测技术取得了革命性的突破, 已研制出大容量、高灵敏度的阵列探测器, 可探测到亮度只是 TMSS 极限探测亮度 $1/10^8$ 的天体, 空间分辨率也提高了 100 多倍。开始于 1995 年底, 完成于 2001 年 9 月的 DENIS (Deep Near Infrared Survey) ^[3,4] 在一个光学波段 Gunn-I (0.82 μm) 和 2 个近红外波段 J (1.25 μm)、K_s (2.15 μm) 对南天进行了巡天观测。2MASS (Two Micron All Sky

收稿日期: 2004-03-26; 修回日期: 2004-05-07

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)

Survey) 则是覆盖全天的巡天计划, 它不仅提供了解释红外及其他波段观测结果的背景数据, 而且直接回答了关于银河系大尺度结构和近域宇宙的一些问题。

由于水蒸气及二氧化碳的吸收, 地球大气对大部分的红外光是不透明的, 只分别在近红外 1.25、1.65、2.20、3.45 μm 波段附近有 4 个“窗口”, 地面红外观测被限制在这几个窗口上。2MASS 作为地面红外观测设备, 在 J、H (1.65 μm)、K_s 波段同时对整个天空进行扫描, 像素大小为 2"。之所以选择这 3 个波段是考虑到波长大于 2 μm 时望远镜的热辐射严重影响对星系和恒星探测的灵敏度, 波长小于 1 μm 时星际红化和月光的影响严重。2MASS 在 3 个波段探测到的源都亮于 1 mJy, 信噪比大于 10, 灵敏度比 TMSS 提高了 80000 倍。1998 年 12 月, 2MASS 发布了北天一个样本天区的数据, 覆盖了 63 平方度。1999 年 5 月, 第一批追加发布的数据也是北天目标, 覆盖了 2483 平方度, 即 6% 的天区。2000 年 3 月, 第二批追加发布的数据包括了南、北两半球的天体目标, 覆盖了 19600 平方度, 即 47% 的天区。2003 年 3 月, 全天数据发布^[5]。

2MASS 计划由美国麻省大学等单位联合实施, 目的是对整个天空进行红外巡天观测。为此它安装了两台高度自动化的 1.3 m 望远镜, 一台位于美国西南部亚利桑那州 Hopkins 山, 一台位于智利 Tololo 山。每台望远镜均配有 3 通道照相机, 可在 J、H、K_s 波段同时观测, 每通道包含 256×256 像素的 CCD 阵列。北半球的观测于 1997 年 6 月开始, 南半球的观测于 1998 年 3 月开始, 2001 年 1 月 15 日两半球同时完成观测。观测期间, 2MASS 大约收集了 24.5 TB 的原始数据, 覆盖了 99.998% 的天空, 如此大覆盖面的巡天是少见的。对全天数据评估后得知, 2MASS 最终获得的数据远好于巡天计划所提出的一级科学要求^[5]。

2 2MASS 的科学意义

我们对遥远天体的了解绝大部分是通过电磁辐射获得的, 为了对个别天体及整个宇宙有完整的认识, 人们力图对整个天空进行全波段观测。众所周知, 尘埃层会阻碍可见光的通过, 而对红外光却是相对透明的, 因此对研究恒星形成区、宇宙中的亮星系来说, 红外波段的探测十分关键。在对银河系结构和形成研究中, 近红外波段的观测具有重要的意义, 例如红巨星辐射的大部分能量在红外, 使得 1~3 μm 成为探测星系中恒星质量的理想波长范围。不过, 红外探测又是比较困难的。20 世纪 60 年代开始有近红外地面观测, 它们在探测方法上与可见光相同, 但需要特殊的红外探测器; 中红外、远红外只能进行空间观测。2MASS 以高灵敏度、高分辨率、高均匀性在近红外波段对全天进行观测, 它的工作也为下一代中远红外空间探测计划, 如 Spitzer (Spitzer Space Telescope)、SOFIA (Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy)、NGST (Next Generation Space Telescope), 铺平了道路。

2.1 重大贡献

(1) 描述了银河系大尺度结构

2MASS 从不同于以往的角度观测银河系。由于受星际消光影响较小, 2MASS 揭示了发光物质的分布, 也在一定程度上揭示了银河系最大尺度的结构。也就是说, 2MASS 以高分辨率在近红外波段详细、完整地描述了银河系。

(2) 在 K_s 波段测光普查了亮于 13.5 mag 的星系

2MASS 最先在 K_s 波段对亮于 13.5 mag 的星系进行测光普查, 普查区域包括了隐带 (即 zone of avoidance)。星系分布的隐带是指由银河系尘埃造成的观测样本不完整, 在可见光蓝波段约占整个天空的 40%, 在 K_s 波段只占 2.8%)。最终获得的 1500000 个星系样本构成了具有统计意义的数据库, 其中有 3 个波段的测光结果。

(3) 提供了对天体物理学很重要的稀有天体的统计基础

这些稀有天体或者很冷因而极端偏红 (低光度星、褐矮星), 或者在可见光波段消光严重 (如尘埃消光严重的 AGNs、位于银盘附近的球状星团等)。利用 2MASS 数据已经找到存在非常冷的恒星的证据, 它们比以往所知的所有矮星的温度都低, 称之为 L 型矮星。同时, 通过对甲烷 (CH_4) 分子吸收线的观测, 也找到褐矮星存在的证据, 这些星被称作 T 型星。

2.2 进一步的延伸功能

随着全天数据成品的发布, 2MASS 开始进入下一个工作阶段。这一阶段不是获取新的数据, 而是对数据进行特殊处理和确认, 产生辅助数据产品, 并于 2004 年发布。具体内容如下:

(1) 巡天工作数据库, 它包括《全天星表》(《All-Sky Release Catalogs》) 中所没有的大量可靠的点源和展源; 对 30% 的天区进行两次或多次观测所获得的观测结果; 比《全天星表》中的源更暗的源。尽管这个数据库作为一个整体在可靠性上不如《全天星表》, 但它为许多研究提供了更为丰富的信息资源。

(2) 对某些特定天区所用的曝光时间是普通观测的 6 倍, 可观测到比普通巡天暗 1mag 多的天体, 这些天区覆盖了 580 平方度, 包括麦哲伦云、恒星形成区、星系团等重要天体目标。

(3) 对校准星场中的 35 颗场星分别进行了 600~3500 次不等的重复观测。尽管总共只涉及 5 平方度的天区, 但这些观测资料却是研究变星和自行极其重要的资源。这些重复观测的天区, 可通过图像叠加探测到比普通巡天暗 3.5~4.5 mag 的源。

3 2MASS 巡天成果概览

2MASS 利用两台性能一致的自动化望远镜、探测器和统一的数据处理软件, 以高度的均匀性和准确性揭开了近红外天空神秘的面纱。点源计数表明恒星高度集中在银盘上, 展源数据库说明星系大致呈均匀分布。由于大气辉光 (airglow)、视宁度、望远镜本身辐射等因素的影响, 观测过程中灵敏度随时都可能变化。选取极限星等 $J = 16.0$ mag、 $H = 15.0$ mag、 $K_s = 14.5$ mag, 足以保证即使以最差的灵敏度对源进行观测也是完备的。一些大的邻接天区的完备极限星等比全天的完备极限星等暗 0.5 mag 或更多。而在银盘上尤其是靠近银心处, 巡天的灵敏度在几百平方度的区域中有所降低。

3.1 《点源星表》的特点

2MASS 《点源星表》(以下简称 PSC) 包括了 470992970 个源在 3 个波段的天体测量和测光数据。其中大部分是银河系内的恒星, 也包含在《展源星表》中按点源作测光处理的所有可分辨的源, 以及大量遥远的不可分辨的星系。每个源都有以下几方面描述: 位置、星等、天体测量和测光的不确定性、表征源探测质量的标识、与可见光星表 Tycho 2 或 USNO-A2.0 中的源以及与已知太阳系天体的证认。由于边缘效应和亮星光的影响, PSC 覆盖了 99.997% 的天空, 略低于 2MASS 巡天的全天覆盖率, 其中 90% 的源落在 $|b| < 30^\circ$ 的半个天空中。在

没有干扰的情况下, 其完备极限星等 $J \leq 15.8 \text{ mag}$ 、 $H \leq 15.1 \text{ mag}$ 、 $K_s \leq 14.3 \text{ mag}$ 。比此极限星等暗 $0.5 \sim 1.0 \text{ mag}$ 的源也包含在其中, 但完备性不是很好。在高纬度地区, 探测极限比标准值暗 $0.5 \sim 1.0 \text{ mag}$; 在高密度地区, 由于噪声影响, 探测极限比标准值亮 1 mag 。PSC 中测量结果的数量统计见表 1 和表 2。

表 1 PSC 中各波段上探测到的源数目^[5]

波段	整个 PSC	高信噪比源数
J	455371014	321117915
H	436797138	269533860
K_s	375248502	210729664

表 2 整个 PSC 中探测到的源的波段组合情况^[5]

波段组合	数量	占总数的比例 (%)
JHK _s	359919450	76.4
JH	64724153	13.7
HK _s	7603506	1.6
JK _s	4257125	0.9
J	26470286	5.6
H	4550029	1.0
K_s	3468421	0.7

3.2 《展源星表》的特点

2MASS 《展源星表》(以下简称 XSC) 中包含了 1647599 个源在 3 个波段的位置和测光信息。其中 97% 的展源是星系, 也包括银河系中一些可分辨的源, 比如行星状星云、初期恒星体、恒星形成区、H II 区、发射星云、反射星云、球状星团、疏散星团、太阳系内的彗星等。这些源除古德带 (Gould belt) 天体和麦哲伦云外, 大多在银道面附近 5° 范围内。每个展源都含有以下几方面信息: 位置、星等、测光不确定性、与其他河外星系表的比较、表征源探测质量的标识等。

展源的空间分辨率受前景星的影响, 除了不透明的银盘区域外, 探测到的展源遍及整个天空 (见表 3)。对 XSC 进行统计时的测光采用基准椭圆等照度 ($k_s = 20 \text{ mag} \cdot (")^{-2}$) 的累积流量, 这样得到的星等大致包含了待测星系总流量的 85%。银纬 $> 10^\circ$ 的 1 区和 2 区中的展源是对本星系群中星系数目的统计, 银纬 $< 10^\circ$ 的 3 区和 4 区中的展源既包含星系又有河内源。

表 3 XSC 中不同天区展源的密度^[5]

银纬最小绝对值	银纬最大绝对值	最小密度	最大密度	占 XSC 的比例 / (%)
$\approx 25^\circ$	90°	0.0	3.2	73.4
$\approx 10^\circ$	$\approx 25^\circ$	3.2	3.6	19.0
$\approx 5^\circ$	$\approx 10^\circ$	3.6	4.0	6.9
0°	$\approx 5^\circ$	4.0	4.5	0.7

注: XSC 密度以每平方度 $\lg N$ 为单位, 其中 N 为只包含 $K_s < 14 \text{ mag}$ 的源数。

把 XSC 的位置 (基于 J 波段的峰值) 与 VLA FIRST 射电源对照, 可找到 2MASS 的射电对应体, 因为这两者都有极好的天体测量精度。如果 XSC 与 VLA FIRST 的对应体在 $5''$ 范围内重合, 则可认为是同一个源。两者的比较见表 4。

表 4 23000 个 2MASS 展源与 FIRST 对应天体
在天体测量方面的比较^[5] (″)

	平均值	均方根值	中位值
ΔRA	0.02	0.85	0.04
ΔDec	0.03	0.87	0.03

注: Δ 表示 FIRST 对应值减 2MASS 对应值之差。

3.3 图像产品

2MASS 数据包括 3 个波段 4121439 个覆盖全天的 FITS (Flexible Image Transport System) 图像, 它们来自 59731 个 $8.5' \times 6^\circ$ 的巡天小区。各个小区的数据在每个波段被划分为 23 个星空图像, 其中 22 个为 512×1024 像素, 1 个为 512×698 像素, 全天总共有 3942246 个 512×1024 像素的图像和 179193 个 512×698 像素的图像。每个区域的 J、H、K_s 图像被重新归算到同一尺度和标准上。

现在, 有信息损耗的压缩星空图像即 Quicklook (压缩比例约为 20:1), 可通过 IRSA (Infrared Science Archive) 管理的 2MASS Quicklook Image Services 在网上获得, 网址为 <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/2MASS/QL/>。这些图像有对应的位置信息, 是近红外天空直观的图景, 但其测光定量结果在压缩过程中丢失。全天无损耗的压缩图像不久亦可在线获得。

同样, 包含每个展源周围小范围、未压缩的 J、H、K_s 图像也可在线获得, 网址为 <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/2MASS/GalPS/>。这些图像的尺寸从最暗星系的 $21'' \times 21''$ 到最大的 $301'' \times 301''$ 。2MASS 展源的图像是六维 FITS 图像, 前三维是 3 个波段的图像, 后三维是去除了前场星的 J、H、K_s 图像。近红外天空背景发射线在每个图像中都被扣除了, 且每个图像文件头上均包含位置和测光信息。

4 利用 2MASS 数据开展的部分研究工作

自 2MASS 数据陆续发布以来, 截止到 2004 年 3 月已有 650 余篇利用其数据开展工作的论文发表。随着全天数据的发布, 越来越多的工作将会利用到 2MASS 数据。这些工作主要集中在 4 个方面: 稀有天体的发现及其性质、银河系对矮星系的吸积、银河系结构、近域宇宙中星系的分布。

4.1 稀有天体的发现及其性质

碳星是指质量介于 $1 \sim 4 M_{\odot}$ 之间、在演化后期核心区产生的碳被搬运到表面因而在恒星光谱中可探测到碳的恒星。2002 年, Demers 和 Dallaire^[6] 发现, 当颜色宽度选为 $1.4 < J - K_s < 2.0$ 时, 碳星的光度在 I 波段和 K_s 波段的弥散很小, 半峰全宽 (FWHM) 仅为 0.33 mag, 因此是很好的标准烛光。不同星系间碳星的平均绝对星等的微小差异, 是由年龄和金属度不同引起的。Nikolaev 和 Weinberg^[7] 曾用碳星可作标准烛光这一特性来探测大麦云的三维结构。Skrutskie 等人^[8] 从 2MASS 的近 5 亿颗恒星中证认出 30000 颗碳星, 并利用它们做标准烛光, 给出了银盘和银棒的鸟瞰图。

1999 年 Kirkpatrick^[9] 发现, M 型恒星中很明显的 TiO 和 VO 吸收线在比它更冷的矮星

中消失,取而代之的是以金属氢化物和中性碱金属为主要特征的光谱。据此一个新的光谱型 L 被定义,其有效温度从 L0 的 2000 K 到 L8 的 1400 K。从 Li 的吸收线强度可推断大约 1/3 的 L 型矮星是亚矮星。还有一种以甲烷吸收线为光谱标志的矮星,被定义为 T 型星。

2MASS 为 AGNs 的统计观测提供了一个有力的工具,它发现了 210 个以前未知的红的 AGNs 和类星体。2MASS 选取的 AGNs 样本代表了一类在短波难以发现的且对 AGNs 演化历史有重要意义的天体^[10]。

银河系中估计有近 200 个球状星团,现在已知的只有 150 个,因此应该有一定数量位于银盘上的球状星团由于尘埃消光而难以被发现。2MASS 同样为寻找这些球状星团提供了有效的途径。Dutra 等人^[11~13]利用 2MASS 的 PSC 在银河系内发现了新的星团候选体,并对其性质进行了讨论。

4.2 银河系对矮星系的吸积

银河系对半人马矮椭圆星系吸积是很典型的大星系吸积矮星系的例子。银河系形成过程的 N 体模拟表明,伴星系的并合是银河系形成的主要驱动力^[14,15]。Bellazzini 和 Ferraro^[16]通过比较银河系外晕的球状星团与半人马座矮椭圆星系在由位置、视向速度组成的相空间内的分布,发现半人马座矮椭圆星系不仅是银晕场星的重要来源,而且对银晕球状星团的形成也有一定贡献。Bellazzini 等人^[17]在银河系外晕的几个球状星团 ($10 \text{ kpc} \leq R_{\text{GC}} \leq 40 \text{ kpc}$) 周围寻找属于半人马座矮椭圆星系潮汐流的恒星。他们对 Pal 12 和 NGC 4147 的研究表明,这两个球状星团和半人马流有很强的联系,估计它们曾是半人马座矮椭圆星系的成员。

大犬座矮椭圆星系是离银河系中心最近的星系。Martin 等人^[18]在 2004 年 4 月通过对大犬座矮星系的研究,发现银河系的厚盘一直在增长,而轨道平面与银面相近的矮星系不断被吸积是其增长的原料,大犬座矮星系便是其中一例。

4.3 银河系结构

银河系中心部分尘埃消光十分严重,多年来未能对该部分的结构和恒星形成进行系统的研究,2MASS 数据的发布为此开辟了一条道路。Dutra 和 Bica^[19]在 2000 年利用 2MASS 数据找到了 58 个红外星团候选体,并对它们的分布和恒星形成进行了初步分析,进一步的研究还需要更高角分辨率和灵敏度的观测。Clenet 等人^[20]用 L' 波段 ($\lambda = 3.80 \mu\text{m}$) 进行研究,揭示了离中央黑洞最近的恒星 S2 的红外色余,这也许是中央黑洞在红外辐射的第一个信号。另外,他们对目前有关北臂 (Northern Arm) 结构的解释提出质疑。银河系中心部分除了已知的年轻星团 Arches、Quintuplet、Nuclear Young Cluster 外,是否还有其他的年轻星团呢? Dutra 等人^[21]于 2003 年就此进行了讨论。

2001 年 Alard^[22]利用 2MASS 数据对银河系核球部分的老年恒星成分的密度分布进行了重新估计,发现中心区除了主棒外,还存在一个较小的棒。主棒形成于靠近中心区的银盘的动力学不稳定性,而较小的棒可能是核球所固有的恒星成分。

1986 年,银河系气体盘的翘曲结构被证实。2000 年 Alard^[23]通过恒星计数研究了银盘的外围结构,他发现恒星盘随距离的增加而变厚,且在银纬 $l = 240^\circ$ 附近存在与银河系翘曲有关的不对称性,这与气体盘的翘曲和盘缘增厚 (flaring, 标高随距离的增加而增大) 结构很相似。也就是说,盘缘增厚和翘曲不只存在于气体盘中,恒星盘中也有此类结构。

反银心方向的恒星环状结构 (后来被称作 Mon structure) 最初是 Newberg 等人^[24]在 2002

年通过 SDSS 数据发现的, 而后又有 4 篇文章^[25~28] 分别利用不同的数据和方法对其进行了研究, 但此环状结构的性质仍不清楚。Crane 等人^[29] 在 2MASS 点源中选取适当的 M 型巨星作为研究对象, 通过对其径向速度、速度弥散度、金属度以及与其相关的球状星团的分析, 指出此结构可能和半人马座矮椭球星系一样, 是一个正在被银河系潮汐力撕碎的伴星系。

有关描述银河系结构, 诸如恒星盘的截止半径、盘缘增厚、翘曲等方面参数的确切数值, 至今仍存在很多争议。Lopez-Corredoira 等人^[30] 利用 2MASS 数据, 使用两种方法对银盘附近的老年恒星进行了研究。他们得出了描述银河系结构的一系列参数以及盘缘增厚、翘曲的函数式, 并且指出, 如果承认存在盘缘增厚就没必要引入截断点。

4.4 近域宇宙结构及宇宙的红外背景辐射

2dF (Two degree Field) 红移巡天在 B 波段发现可能存在本地空洞^[31], 而 2MASS 在演化效应较小的 K_s 波段进一步证实了它的存在^[32]。Maller 等人^[33] 用 2MASS 的 K_s 波段追踪恒星总质量来探测近域宇宙的大尺度结构, 结果发现, 近域宇宙大尺度分布的不均匀性引起的本星系群的加速运动表现在 CMB (Cosmic Microwave Background) 的偶极性上。

在星系形成方面, Bell 等人^[34] 在 2003 年利用 2MASS 和 SDSS 数据, 对近域宇宙中星系的重子 (恒星 + 冷气体) 质量函数进行了估计, 得出星系的重子物质只占大爆炸核合成理论所预言的 8%, 说明星系形成的效率总体来说是最低的。

宇宙红外背景辐射 (CIB) 是红外波段观测得到的总光度扣除星际介质、前景星、尘埃影响后的剩余信号, 这种信号是各向同性的^[35~37]。1998 年, Hauser 等人^[38] 分析 DIRBE (Diffuse Infrared Background Experiment) 数据时在 $140 \mu\text{m}$ 和 $240 \mu\text{m}$ 处发现了 CIB。由于前景星辐射太强或模型的不确定性太大, 他们在更短波段上只给出上限值。2000 年 Wright 和 Rease^[39] 开始利用 2MASS 数据来确定近红外波段的 CIB。他们选取 DIRBE 的暗区以减少黄道光的影响, 然后扣除 75% 的黄道光、15% 的前景星光, 剩余的 10% 信号来自河外背景。起初人们认为河外星系是 CIB 的发光源, 但 2001 年 Cambresy 等人^[35] 指出, 在 J 和 K 波段 CIB 的强度比星系计数得出的累积光度高很多。对此, 有以下两种解释: 一是星系光度函数在暗于 30 mag 的地方更陡; 二是可能存在另外的源, 比如在原初星系或星族 III 中大量的爆发恒星、大质量黑洞的吸积、大爆炸遗留的大质量粒子衰变等。Spitzer 巡天有望会对 CIB 源给出某些限制。

5 总结和展望

本文简要介绍了 2MASS 的科学意义、星表特点及通过其数据所开展的工作, 期望能有助于今后充分利用这些数据进行相关研究。2MASS 巡天观测不仅为研究银河系的结构、形成、演化提供了丰富的资源, 而且也作为近域宇宙的研究提供了统计意义上的星系样本, 它丰富的观测数据还为天文学其他许多方面的研究提供了便利。同时, 围绕 2MASS 所做的工作也将为充分利用以后的 Spitzer、SOFIA、NGST 等中远红外数据打下基础。

值得一提的是, Spitzer 作为 NASA 一系列大型空间观测站的最后一个 (前 3 个分别是光学波段的 HST、X 射线波段的 Chandra、 γ 射线波段的 Compton), 已于 2003 年 8 月 25 日发射上天。它的工作波段也在红外, 预计寿命 5yr, 灵敏度比 IRAS 高 100 多倍, 角分辨率

高 20 多倍。有机分子会是它的一个重要观测目标, 因此有机分子化学将会有一个新的发展空间。ULIRGs (Ultraluminous Infrared Galaxies) 是宇宙中最强的发射源, 它被认为是尘埃覆盖着的正在爆发式地大量形成恒星的星系。Spitzer 有可能利用 ULIRGs 观测到远达 1.4×10^{10} ly 的地方, 从而为了解这些在宇宙早期形成的特殊星系提供宝贵线索^[40]。

参考文献:

- [1] Neugebauer G, Leighton R B. NASA SP, 1969: 3047
- [2] 胡景耀, 钱忠钰. 见: 李启斌, 李宗伟, 汲培文编. 90 年代天体物理学, 北京: 高等教育出版社, 1996: 420
- [3] Epchein N. In: Garzon F, Epchtein N, Omont A *et al.* eds. *The Impact of Large Scale Near-IR Sky Surveys*, Dordrecht: Kluwer, 1997, 210: 15
- [4] Fouque P, Chevallier L, Cohen M. *A&AS* 2000, 141: 313
- [5] <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/>
- [6] Demers S, Dallaire M. *AJ*, 2002, 123: 3428
- [7] Nikolaev S, Weinberg M D. *ApJ*, 2000, 542: 804
- [8] Skrutskie M F, Reber T J, Murphy N W *et al.* *Am. Astron. Soc.*, 2001, 33: 1437
- [9] Kirkpatrick J D. *ApJ*, 1999, 519: 802
- [10] Cutri R M, Nelson B O, Kirkpatrick J D *et al.* *Am. Astron. Soc.*, 2001, 33: 829
- [11] Ivanov V D, Borissova J, Pessev P *et al.* *A&A*, 2002, 394: L1
- [12] Dutra C M, Bica E. *A&A*, 2001, 376: 434
- [13] Bica E, Dutra C M, Soares J *et al.* *A&A*, 2003, 404: 223
- [14] Moore B, Ghigna S, Governato F *et al.* *ApJ*, 1999, 524: L19
- [15] Klypin A, Kravtsov A V, Valenzuela O *et al.* *ApJ*, 1999, 522: 82
- [16] Bellazzini M, Ferraro F R. *AJ*, 2003, 125: 188
- [17] Bellazzini M, Ibata R, Ferraro F R *et al.* *A&A*, 2003, 405: 577
- [18] Martin N F, Ibata R A, Bellazzini M *et al.* *MNRAS*, 2004, 348: 12
- [19] Dutra C M, Bica E. *A&A*, 2000, 359: L9
- [20] Clenet Y, Rouan D, Gendron E. *A&A*, 2003, 417: 15
- [21] Dutra C M, Ortolani S, Bica E *et al.* *A&A*, 2003, 408: 127
- [22] Alard C. *A&A*, 2001, 379: L44
- [23] Alard C. 2000, preprint (astro-ph/0007013)
- [24] Newberg H J, Yanny B, Rockosi C M *et al.* *ApJ*, 2002, 569: 245
- [25] Rocha-Pinto H J, Majewski S R, Skrutskie M F *et al.* *ApJ*, 2003, 594: L115
- [26] Ibata R A, Irwin M J, Lewis G F *et al.* *MNRAS*, 2003, 340: L21
- [27] Yanny B, Newberg H J, Grebel E K *et al.* *ApJ*, 2003, 588: 824
- [28] Majewski S R, Skrutskie M F, Weinberg M D *et al.* *ApJ*, 2003, 599: 1082
- [29] Crane J D, Majewski S R, Rocha-Pinto H J *et al.* *ApJ*, 2003, 594: 119
- [30] Lopez-Corrodoira M, Cabrera-Lavers A, Garzon F *et al.* *A&A*, 2002, 394: 883
- [31] Colless M, Dalton G, Maddox S *et al.* *MNRAS*, 2001, 328: 1039
- [32] Frith W J, Buswell G S, Fong R *et al.* *MNRAS*, 2003, 345: 1049
- [33] Maller A H, McIntosh D H, Katz N *et al.* *ApJ*, 2003, 598: L1
- [34] Bell E F, McIntosh D H, Katz N *et al.* *ApJ*, 2003, 585: L117
- [35] Cambresy L, Reach W T, Beichman C A *et al.* *ApJ*, 2001, 555: 563
- [36] Schlegel D J, Finkbeiner D P, Davis M. *ApJ*, 1998, 500: 525
- [37] Puget J L, Abergel A, Bernard J P *et al.* *A&A*, 1996, 308: L5
- [38] Hauser M G, Arendt R G, Kelsall T *et al.* *ApJ*, 1998, 508: 25
- [39] Wright E L, Reese E D. *ApJ*, 2000, 545: 43

[40] Waller W H. *Sky Telesc.*, 2003, 105: 42

A Brief Introduction on the Significance and Achievements of 2MASS

GAO Jian-yun, CHEN Li, WANG Jia-ji, HOU Jin-liang, ZHAO Jun-liang

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

Abstract: 2MASS has revealed the all near-IR sky with remarkable uniformity and accuracy. Through data processing vast amount of raw data were transformed into astronomically useful images and lists of the infrared brightness and positions. This article briefly introduced scientific significance and data feature of the 2MASS project as well as some main research fields using information of 2MASS.

Key words: astrophysics; 2MASS; review; near-IR; survey; structure of MW