

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2014.02.05

大小麦哲伦云的星际消光

薛梦瑶, 姜碧汾, 高 健

(北京师范大学 天文系, 北京 100875)

摘要: 综述了大小麦哲伦云在紫外、可见光和红外波段的消光规律及其 2D 消光图, 并讨论了其尘埃的性质。大麦哲伦云 (LMC) 可见光波段的平均色余 $E(B - V)$ 约为 0.13 mag, 其 R_V 一般取 2.6, A_V 约为 0.34 mag。小麦哲伦云 (SMC) 可见光波段的平均色余 $E(B - V)$ 约为 0.16 mag, 其 R_V 一般取 2.8, A_V 约为 0.45 mag。从紫外消光的区域性变化来看, LMC 的恒星形成区 30 Dor 和 LMC 2 超大气体壳层区属于比较致密的区域, 都缺乏 2175 Å 驼峰, 消光在紫外上升比较快; 但 LMC 中相对弥漫的区域却有比较明显的 2175 Å 消光驼峰。SMC 的 bar 区域几乎看不到 2175 Å 驼峰, 消光在紫外陡峭地上升; 而 wing 区域则有较强的 2175 Å 驼峰, 消光在紫外上升的趋势也较缓。在红外波段, LMC 的 $E(J - H)/E(H - K)$ 大致在 1.03 ~ 1.36 之间, 显著低于银河系的典型值 1.73, 说明 LMC 近红外消光律的幂律谱指数是明显小于银河系的; SMC 的红外消光很小, 测光和内禀色指数的微小误差都会带来较大不确定性, 目前还没有一致的结论。总之, LMC 和 SMC 的消光曲线不能简单地像银河系消光曲线那样, 用仅含单参量 R_V 的理论曲线来描述, 而是需要适合其自身的尘埃模型以描述其消光规律。

关 键 词: 星际消光; 星际介质; 麦哲伦云

中图分类号: P155.2 **文献标识码:** A

1 麦哲伦云

大小麦哲伦云 (Magellanic Clouds, MCs) 是距银河系较近的两个卫星星系, 大麦哲伦云 (Large Magellanic Cloud, LMC) 距银河系约 50 kpc^[1, 2], 小麦哲伦云 (Small Magellanic Cloud, SMC) 的距离约为 60 kpc^[3]。随着观测技术的提高, 对 MCs 中的恒星进行单独的观测已变得切实可行, 这也使得对 MCs 中恒星的观测进行正确的消光改正势在必行。

大小麦哲伦云都属于不规则星系, 相较于银河系要小许多, 但依然有各自的结构。LMC 一般分为 bar、30 Dor (30 Doradus, 即 NGC 2070) 和弥漫区域, 其中 30 Dor 是著名的恒星形成区^[4]。对于消光研究而言, 还有一个名为 LMC 2 的区域是经常提及的, 它是位于 30 Dor

收稿日期: 2013-12-16; 修回日期: 2014-01-16

资助项目: 973 项目 (2014CB845702); 国家自然科学基金 (11373015, 11173007)

通讯作者: 姜碧汾, bjiang@bnu.edu.cn

东南方大约 1° 的天区, 被认为是超新星爆发与星际介质相互作用产生的超大气体壳层^[5]。SMC 也有两个结构特征: bar 和 wing; 恒星 AzV 456 是研究 wing 消光的典型代表。所以, 大小麦哲伦云具有各种性质的星际环境, 其子结构的特征显示在图 1 中。

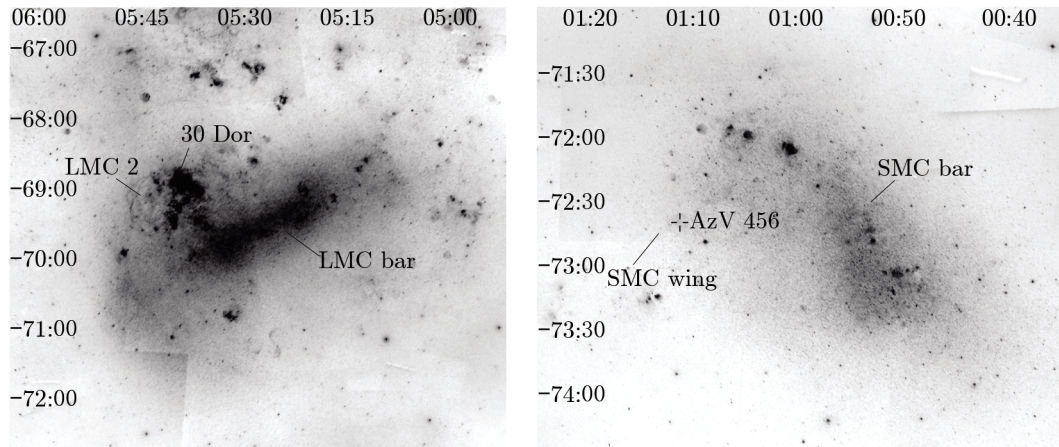


图 1 LMC 30 Dor、LMC2 和 bar 区域; SMC 的 wing 和 bar 区域

引自欧南台 DSS (Digitized Sky Surveys) 图像^[6], 位于图中上方和左侧的数字标明了赤经和赤纬。

虽然大小麦哲伦云与银河系距离非常近, 但它们却具有不一样的性质和特征。LMC 的金属丰度是银河系的 $1/4$ ^[7], SMC 的金属丰度则为银河系的 $1/10$ ^[8], LMC 和 SMC 的星际介质 (Interstellar Medium, ISM) 中的尘埃含量也远远少于银河系^[9, 10]。同时, LMC 的金属丰度与红移 $z \approx 1$ 的星系非常相似^[11], 而星暴星系的尘埃则与 SMC 中恒星形成区 bar 区域接近, 它们产生的消光都缺乏 2175 \AA 特征^[12]; 因此, 深入了解大小麦哲伦云的尘埃和消光特点有助于研究遥远的、更丰富的物理化学环境下的河外星系的特性。

早在 1960 年, Feast 等人在对大小麦哲伦云中的亮星进行测光研究时^[13], 就发现它们的平均色余 $\langle E(B - V) \rangle = 0.10 \text{ mag}$ ^①, 该色余不完全是银河系的前景消光所导致。他们指出, 其中必定有一部分是麦哲伦云本身造成的。

2 紫外/可见光波段的消光规律

在讨论 MCs 的消光之前, 我们先回顾一下银河系的情况。天文学家在银河系的消光方面已取得很多研究成果, 并且在一些方面已经达成了一致。在紫外和可见光波段, 银河系的消光主要有三个特征: (1) 在远紫外波段, 消光随波长倒数 λ^{-1} 急剧上升; (2) 从光学到近紫外波段, 连续谱消光基本上随 λ^{-1} 增长; (3) 在 2175 \AA 存在一个消光谱特征, 一般被称为驼峰^[14]。比较复杂的是, 银河系的紫外/可见光波段的消光规律并不是普适的, 而随着视

^① $E(B - V) \equiv (B - V)_{\text{obs}} - (B - V)_{\text{int}}$, 即实测色指数与内禀色指数之差。

线方向或者星际环境而改变。幸运的是, Cardelli, Clayton 和 Mathis 在 1989 年发现, 可以通过解析的形式拟合不同视线方向上的消光曲线 (简称 CCM 曲线)^[15], 解析式只含有参数 R_V ^①, R_V 值一般用作银河系消光规律的量度, 而且也是尘埃平均尺寸粗略的指示器, R_V 越大, 尘埃平均尺寸越大。如此, 把银河系的消光曲线参数化, 得到的 R_V 值在 2~6 的范围内, 而银河系典型弥漫星云环境的消光曲线的 R_V 值约为 3.1。因此, 基于对银河系消光规律的了解, 在研究河外星系的消光曲线时, 人们常常比较的就是 R_V 值的大小、紫外连续消光上升的陡峭程度以及 2175 Å 驼峰的轮廓 (峰值波长和强度)。图 2 显示了大小麦哲伦云和银河系平均消光曲线的比较。

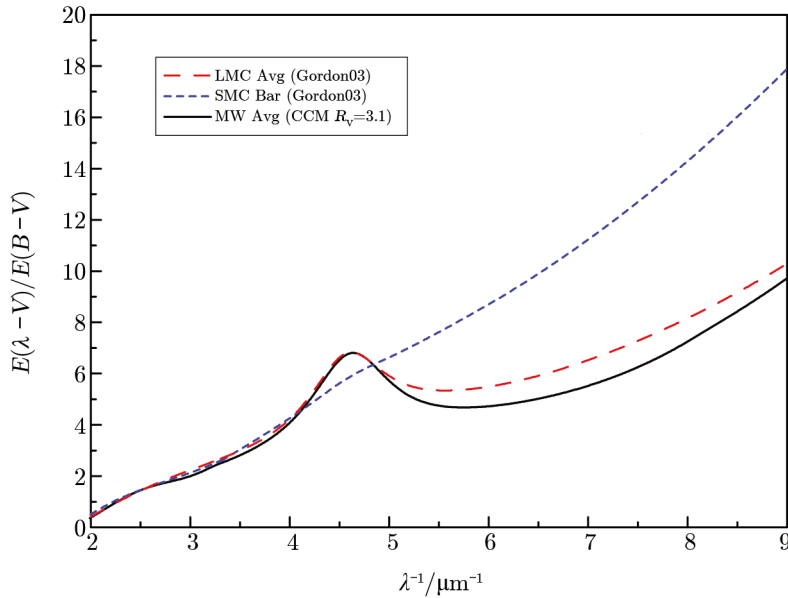


图 2 LMC average, SMC bar 以及银河系平均消光曲线对比^[15, 16]

1970 年, Bruck 等人根据 MCs 中超巨星在 $H\gamma$ 附近的光谱获得了 4000~5000 Å 波长范围的消光曲线^[17], 认为麦哲伦云中的消光规律与银河系反银心方向的类似^②。由于他们的结果仅仅基于每个云中的一颗恒星, 波长范围也较窄, 后来并不太被人关注。

2.1 大麦哲伦云

麦哲伦云本身的消光比较小, 因此, 尽管它们处在高银纬方向 (LMC 的银纬大约为 -33° , SMC 的银纬大约为 -44°), 也必须去除银河系的前景消光。天文学家一般取 LMC 的前景消光为常数。实际上, LMC 的天区大约有 64 平方度, 银河系在这个天区范围内的消光是有变化的。基于 Parkes 多波束的 HI 巡天结果, Staveley-Smith 等人于 2003 年获得的

^①定义为可见光波段消光值 A_V 与色余 $E(B - V)$ 之比, $R_V \equiv A_V/E(B - V)$ 。

^②Bruck 等人的结果表明, MCs 的消光规律与 Perseus 方向比较接近。鉴于当时对银河系的消光规律还没有清楚的认识, 只把其简单地分为 Cygnus 和 Perseus 区域, 分别代表内银盘方向和反银心方向。由于 Bruck 等人获得的 MCs 消光规律更接近 Perseus 而不是 Cygnus, 故当时认为它与银河系反银心方向类似。

LMC 前景消光平均值 $\langle E(B - V) \rangle = 0.06 \text{ mag}$, 变化范围在 $0.01 \sim 0.14 \text{ mag}$ 之间^[18]。

LMC 可见光波段的消光研究起步比较早, 这是因为地面存在可见光窗口, 人们得到的结果基本一致: LMC 的平均消光 $E(B - V) \approx 0.13 \text{ mag}$, 取 LMC 的 $R_V = 2.6$ ^[19], 则相应的 A_V 约为 0.34。最早研究 LMC 消光的当属 Feast 等人^[13]1960 年的工作, 他们得到 $E(B - V) = 0.1 \text{ mag}$; 不过, 他们没有扣除银河系的前景消光, 如果扣除前景消光, 他们的结果将偏小。

Isserstedt^[20] 得到的 $E(B - V) = 0.07 \text{ mag}$, 也没有进行银河系的前景消光改正, 这个结果比 Feast 等人的更小。20 世纪 90 年代, Hill 等人^[21]、Massey 等人^[22]、Harris 等人^[23] 和 Zaritsky^[24] 得到的结果基本上都在 $E(B - V) = 0.13 \text{ mag}$ 左右, 取 LMC 的 $R_V = 2.6$, 则对应的 A_V 约为 0.34。Imara 和 Blitz^[25] 得到的结果稍小, A_V 为 0.3 mag。实际上这种平均值大小会依赖于天区方向和大小的选取, 但依然取得如此相似的结果, 说明 LMC 本身大部分区域的消光都相差不大, 其消光值都比较小。

由于地球大气的吸收和散射, 紫外波段的消光研究必须等待空间天文的发展。1975 年, Borgman 等人^[26] 利用 ANS (Astronomical Netherlands Satellite, X 射线和紫外空间望远镜)^[27] 的观测, 首先提出 LMC 的紫外消光与银河系的消光相比是反常的, 他们发现 2175 \AA 附近的驼峰“看起来没有”。随后, 同样基于 ANS 的数据, Koornneef^[28] 确定, LMC 的 2175 \AA 的特征强度不及银河系平均消光曲线特征强度的 $1/3$ 。后来的研究表明, 虽然 LMC 的 2175 \AA 特征比银河系弱, 但并没有弱到仅为其 $1/3$ 的程度, Koornneef 低估了 LMC 中 2175 \AA 特征的强度。

随着 IUE (International Ultraviolet Explorer, 国际紫外探测器)^[29] 在 1978 年成功发射, 针对麦哲伦云紫外消光的研究大多基于 IUE 的光谱, 后来也有极少数的研究基于 HST (Hubble Space Telescope) 的光谱 (见参考文献 [16])。Nandy 和 Morgan^[30] 根据一颗高度红化的 B3I 型恒星的 IUE 光谱得出结论: LMC 的 2175 \AA 的特征与银河系的相似。接着, Nandy 等人^[31] 发现, 位于 30 Dor 区域附近的 7 颗超巨星的 IUE 消光曲线都有 2175 \AA 特征, 不过, 均比银河系的弱一点; 而在紫外波段的上升比银河系更陡峭; 从光学到 2600 \AA 之间的消光曲线与银河系类似。另一方面, 他们发现另外一颗处在 LMC bar 区域的恒星, 其消光曲线与位于 30 Dor 区域附近的 7 颗恒星的消光曲线不一样, 而与银河系的非常类似。据此, 他们首次指出 LMC 的消光规律可能存在区域性变化。随后, Koornneef 和 Code^[32] 的工作基本证实了 2175 \AA 特征的减弱和紫外消光的陡峭上升。

至此, 对 LMC 紫外波段的消光达成了一些共识, 即 2175 \AA 的驼峰比较弱, 强度介于银河系和 SMC 之间, 并且在紫外的上升比银河系更陡峭。

虽然 Nandy 等人^[31] 指出 LMC 的消光可能存在区域性变化, 但早期的研究 (Nandy 等人^[33], Koornneef 和 Code^[32]) 却都没有明确 LMC 消光的空间变化, 这主要是因为他们研究的恒星基本上都处在 30 Dor 附近的恒星形成区域。也就是说, 他们研究的区域有着相近的星际环境。Clayton 和 Martin^[34] 加入了一些非 30 Dor 区域的恒星, 初步认为 30 Dor 与 LMC 其他区域之间的消光是有区别的。Fitzpartrick^[35] 分析了 19 颗 (其中 7 颗在 30 Dor 之外) 恒星的紫外消光, 发现 30 Dor 区域与其他区域的消光有明显的区别, 30 Dor 区域的

2175 Å 驼峰较弱, 但紫外上升更陡峭, Fitzpatrick^[36] 用更大的样本证实了这个结果。

不同于之前的 LMC 消光研究中将天区划分为 30 Dor 和非 30 Dor 区域, Misselt 等人^[37] 对 LMC 的消光区域进行了重新划分, 把它分为 LMC 2 及非 LMC 2 的区域。LMC 2 是 LMC 中超大气体壳层, 位于 30 Dor 的东南面, 半径为 475 pc, 被认为是超新星爆发时与星际介质相互作用的产物^[5, 38]。Misselt 等人发现, LMC 2 与非 LMC 2 区域紫外消光的 2175 Å 驼峰特征有明显的区别, LMC 2 几乎没有驼峰, 而非 LMC 2 区域的驼峰明显。但同时, Misselt 等人的计算结果 (见参考文献 [37] 中的图 5) 显示它们远紫外的上升部分基本上没有区别。此外, 对于 LMC 2 区域的消光曲线而言, 由于其 2175 Å 的驼峰太弱, 不能用银河系的 CCM 曲线来拟合; 非 LMC 2 区域的消光曲线以 CCM 曲线拟合也有一定的难度。

从 LMC 紫外消光的区域性变化来看, 恒星形成区 30 Dor 和 LMC 2 超大气体壳层区都属于比较致密的区域, 2175 Å 的驼峰都较弱, 在紫外波段上升比较快; 但相对弥漫的区域却有比较明显的 2175 Å 驼峰。总之, LMC 的消光曲线不能简单地用单 R_V 值的银河系消光曲线来描述。图 3 给出这些区域的消光曲线与银河系的比较。

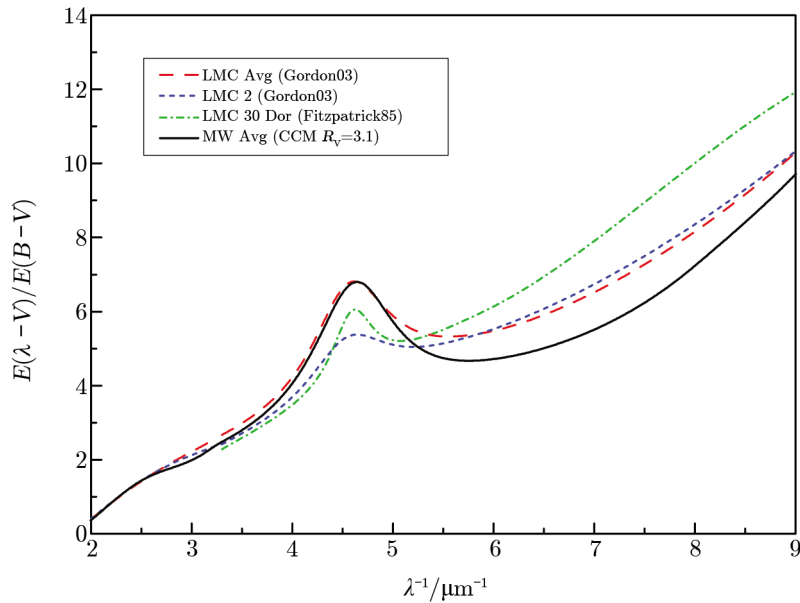


图 3 LMC 各区域 (30 Dor, LMC2, average) 与银河系平均消光曲线对比^[15, 16, 35]

2.2 小麦哲伦云

由于 SMC 的银纬更高, 银河系的前景消光也更弱。Lequeux 等人^[39] 估算得到 SMC 的银河系前景消光 $E(B - V) \approx 0.03 \text{ mag}$, 即 $A_V \approx 0.1 \text{ mag}$, 只略大于早期的测光精度。Schwering 给出这个色余的上限是 0.09 mag ^[40], McNarama 和 Feltz 给出的结果为 0.02 mag ^[41], Bessel 认为这个值在 $0.04 \sim 0.06 \text{ mag}$ 之间^[42], Schlegel 等人的结果为 0.037 mag ^[43]。这些结果都比较一致, 色余 $E(B - V)$ 在 0.05 mag 附近, 即银河系的前景消光 A_V 大约为 0.15 mag 。

与 LMC 相比, SMC 本身的消光也更弱, 例如, Rocca-Volmerange 等人^[44] 用来研究消光的 SMC 恒星的色余 $E(B - V) \approx 0.16 \text{ mag}$, 即 $A_V \approx 0.45 \text{ mag}$ (取 SMC 的 $R_V = 2.8^{[12]}$)。因此, 对 SMC 消光的研究比较难, 光谱型认证的微小偏离、测光的小误差都会带来消光曲线较大的不确定性。

Rocca-Volmerange 等人^[44] 基于 SMC 主体的两颗早型星的 IUE 低分辨率光谱, 首次获得了 SMC 的紫外消光曲线。他们发现 SMC 在远紫外波段的消光上升极快, 不仅比银河系的陡峭, 还比 LMC 的消光曲线陡峭。而对于 2175 Å 附近的消光, 由于 Fe III 线的混合, 他们持保守的观点, 没有做出结论。Lequeux 等人于 1984 年进一步拓展了 Rocca-Volmerange 等人的样本并提高了观测精度, 证实了远紫外快速上升的趋势, 确认 2175 Å 波峰的缺失; 同时也声称有 3 个源方向上的消光曲线“异常”, 即不同于 SMC 平均的消光曲线, 而与银河系的比较相似^[39]。

尽管 SMC 的大部分源都呈现出与银河系截然不同的消光曲线, 缺乏 2175 Å 的驼峰, 但 AzV 456 (又名 Sk 143) 的消光曲线却呈现明显的 2175 Å 驼峰, 远紫外的上升比较缓和, 类似银河系的消光曲线^[45]。Rodrigues 等人于 1997 年进行更细致的消光工作和偏振研究却得到, 虽然 AzV 456 比 SMC 其他源的消光曲线更类似于银河系的一般消光曲线, 但细节上还是存在明显的差别, 驼峰的峰值 ($4.66 \mu\text{m}^{-1}$) 比银河系的平均值 ($4.596 \mu\text{m}^{-1}$) 蓝移了^[46]; 而且, 其消光曲线也不能简单地以 R_V 的解析式进行拟合。这一点与 LMC 类似, 即紫外和可见光波段的消光曲线与银河系的消光曲线不完全一致。

意识到 SMC 不同的视线方向上可能存在消光曲线的变化, Gordon 和 Clayton^[12] 专门计算了两种消光曲线, 一种代表 bar 区域, 另一种代表 wing 区域 (参见图 4); 他们得到 bar 区域的 R_V 值在 2.40~3.30 之间, 而 wing 区域的 R_V 值为 2.05。Sofia 等人延续了这种分类方式, 以 AzV 18 和 AzV 456 分别代表两种环境, 进行了仔细的比较^[47], 获得的消光结果与 Gordon 和 Clayton^[12] 的一致。这也成为被广泛接受的结果, 即 SMC 的消光有 bar 区域和 wing 区域的区别 (见图 4)。

最近, Apellaniz 和 Rubio 指出以前这些结果的问题^[48], 即他们都是基于 IUE 观测的少数几颗恒星, 不能全面地代表 SMC, 并且所研究方向的总消光不够大, 例如 Gordon 等人于 2003 年给出 $E(B - V)$ 仅为 $0.15 \sim 0.26 \text{ mag}^{[16]}$ 。Rubio 等人于 2004 年^[49] 选择了一个没有恒星形成活动的宁静分子云 B1-1, 位于 SMC bar 的南端, 其中 4 颗恒星的消光都比较大, $E(B - V)$ 最大的达到 0.51 mag , 是之前的 2~3 倍。基于 HST 的观测, 他们发现其中 1 个源的 2175 Å 驼峰比较强, 而其他 2 个比较弱, 只有 1 个完全没有。也就是说, 即使在一个很小的范围内, SMC 的消光也是有变化的。而且, 在宁静区域探测到 2175 Å 特征, 但在恒星形成区域缺失, 这说明在恒星形成区域中 2175 Å 特征的载体被强烈的紫外光子照射破坏了^[47, 50]。实际上, 早在 2002 年, Li 和 Draine 通过对 SMC 的红外辐射进行尘埃模型拟合, 就已经准确地预言了 SMC 的 B1-1 区域会有 2175 Å 消光驼峰出现。根据他们的模型, 2175 Å 特征的载体可能部分地源于 PAH 分子, 也有部分可能源于石墨颗粒, 他们都会在强紫外光子的照射下受到破坏^[51]。

综合比较 LMC, SMC 以及银河系的消光特征, 结果示于表 1。LMC 的值主要来自

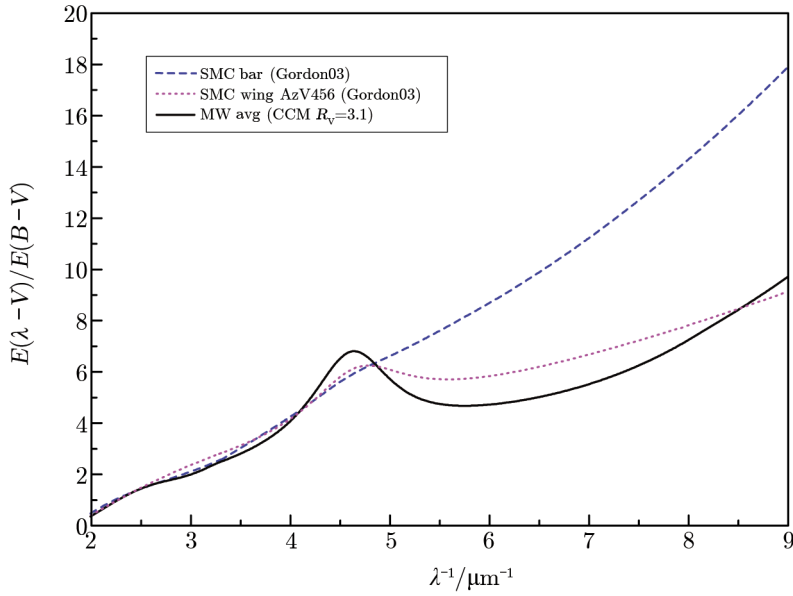


图 4 SMC 各区域 (wing(AzV 456), bar) 与银河系平均消光曲线对比^[15, 16]

表 1 LMC, SMC 和银河系消光特性的比较

星际环境	恒星	光谱型	$E(B - V)$ /mag	A_V /mag	R_V	$N(\text{HI})/E(B - V)$ /mag ⁻¹ ·cm ⁻²	2175 Å	FUV	参考文献
SMC Bar	AzV 18	B1Ia	0.17	0.49	2.90	5.6×10^{22}	无	陡	[47]
SMC Wing	AzV 456	O9.5V	0.26	0.57	2.19	1.2×10^{22}	较强	缓	[47]
LMC (Diffuse)					2.39	2.0×10^{22}	较强	缓	[37]
LMC2 (Super Shell)					2.67		弱	缓	[37]
银河系 (Diffuse)					3.1	5.8×10^{21}	强	缓	[52]

Misselt 等人 1999 年的工作^[37]：其中 R_V 的值是平均值，而且，对于 LMC 2 来说，CCM 曲线完全不能描述其消光规律；而 LMC 的 $N(\text{HI})/E(B - V)$ 的值来自 Koornneef 的工作^[9]。银河系的值来自 Bohlin 等人的工作^[52]。

3 红外波段的消光规律

对于红外波段消光的研究有助于了解尺寸较大的尘埃颗粒的性质。从银河系的消光规律来看，随着波长的增加，消光变小，近红外的消光远小于可见光波段，如 A_K 不过是 A_V 大小的 10%^[53]。对于可见光波段消光就很小的 MCs 而言，红外波段的消光研究就更为困难，也具有更大的不确定性。

3.1 大麦哲伦云

Koornneef^[9] 根据 10 个早型超巨星近红外的测光结果, 获得了 LMC 的近红外色余比: $E(V-J)/E(B-V) = 2.26$, $E(V-H)/E(B-V) = 2.59$, $E(V-K)/E(B-V) = 2.91$ 。相比较而言, 银河系的值分别为 2.26, 2.59 和 2.78 (也有其他结果, 如 Nandy 和 Morgan 给出的 3 个量取值分别为 2.38, 2.62 和 2.82^[54]), 据此他们认为 LMC 近红外波段的消光规律与银河系没有明显的差别。实际上, 如果不将消光归一化到可见光波段, 就会得到很不一样的结果, 因为他们得到的 LMC 的 $E(J-H)/E(H-K) = 1.03$, 而银河系此值为 1.73, 这表明 LMC 近红外消光律的幂律谱指数是明显小于银河系的。但是, 这一结果的差别几乎完全来源于 K 波段消光的不同, 而 K 波段的消光很小因而测量误差较大。类似的还有 Morgan 和 Nandy 的工作^[53], 他们使用的 J, H, K 波段红外数据是 1980 年利用赛丁泉天文台 (Siding Spring Observatory) 3.9 m 的英澳望远镜 AAT 获得的。他们观测了 16 颗光谱型从 O9.5 到 A0 型的超巨星作为比较星, 并用这 16 颗早型超巨星拟合出了不同光谱型的早型超巨星的内禀色指数序列。同时, 他们观测了另外 17 颗光谱型从 O9 到 B6 的被红化的早型超巨星, 与拟合得到的内禀色指数序列中相应光谱型的值进行对比, 发现它们的色余值不依赖于光谱型。取观测结果平均值后, 得到了 LMC 的色余之比为 $E(V-K)/E(B-V) = 2.92$, $E(J-K)/E(B-V) = 0.72$, $E(J-H)/E(H-K) = 1.36$ 。进而, 他们得到: $E(V-J)/E(B-V) = 2.20$ 。该工作结合了 Nandy 等人^[33] 以及 Mendoz^[55] 给出的 LMC 在 U, B, V, R, I 各个波段的消光值, 他们认为 LMC 的消光曲线符合 van de Hulst 理论消光曲线中的第 15 号 (类似于 $R_V = 3.2$ 的消光曲线)^①^[56], 并根据此理论曲线得到 $R_V = 1.10E(V-K)/E(B-V)$ 。

Imara 和 Blitz^[25] 使用 NICE (Near Infrared Color Excess) 方法^②, 以邻近的比较天区的源的平均色指数作为内禀色指数, 取 $(H-K)_{\text{intrinsic}} \equiv \langle (H-K) \rangle_{\text{control}} = 0.16$, $(J-H)_{\text{intrinsic}} \equiv \langle (J-H) \rangle_{\text{control}} = 0.74$ 。利用中性氢柱密度 $N(\text{HI})$ 作为一个中间参量, 计算出的 $A_V/E(J-H) = 17.30$, $A_V/E(H-K) = 20.83$, 得到 LMC 的近红外消光律为: $E(J-H)/E(H-K) = 1.20$ 。这个结果与早期 Koornneef^[9] 以及 Morgan 和 Nandy^[53] 的结果基本一致。

差别较大的是 Gordon 等人^[16] 得到的结果: 他们通过拟合包括紫外、可见光和近红外在内的消光曲线, 得到 LMC 平均的 $A_J/A_V = 0.257$, $A_H/A_V = 0.186$, $A_K/A_V = 0.030$, 即 LMC 平均的 $E(J-H)/E(H-K) = 0.455$; 而对于 LMC 2 的区域, $A_J/A_V = 0.299$, $A_H/A_V = 0.097$, $A_K/A_V = 0.101$, 即 LMC 2 的 $E(J-H)/E(H-K) = 2.845$ 。Gordon 等人在紫外和可见光的消光结果还是比较较好地反映了 LMC 消光曲线在不同星际环境区域的变化, 但近红

^①van de Hulst 第 15 号消光曲线是为了解释 ζ Pers 的观测结果而提出的, 后来也屡次被提及, 因为 ζ Pers 方向的消光曲线与银河系的平均消光曲线非常接近。

^②NICE (Near Infrared Color Excess method), 即近红外色余方法。该方法是 Lada 等人 1994 年为了得到银河系中的一个暗分子云 IC5146 的可见光消光 A_V 分布图而提出的一种计算消光的统计方法。Lada 等人从对照天区中选出主序星, 计算出它们的平均的 $H-K$ 色指数, 来近似目标天区样本源的内禀色指数, 再用目标天区中的每个主序星样本源分别与近似得到的内禀色指数相减得到色余 $E(H-K)$ 。

外波段的结果却是值得怀疑的, 其在 LMC 2 区域的结果出现 $A_H/A_V < A_K/A_V$ 的反转, 而 LMC 平均的 $E(J-H)/E(H-K)$ 相比于其他工作也显得过于偏低。

随着波长的增加, 消光减小, 中红外的消光比本来就很弱的近红外消光更小, 也就没有引起足够的注意。借助 Spitzer/SAGE 的观测, Gao 等人^[57] 是目前为止唯一对 LMC 的中红外消光进行过研究的团组。该工作基于 Spitzer/SAGE 数据并结合 2MASS 数据对 LMC 在 $3.6 \mu\text{m}$, $4.5 \mu\text{m}$, $5.8 \mu\text{m}$, $8.0 \mu\text{m}$ 共 4 个中红外波段的消光进行了研究, 得到了 4 个中红外波段相对于 2MASS 的 K_S 波段的消光, 分别为 $A_{[3.6]}/A_{K_S} \approx 0.67$, $A_{[4.5]}/A_{K_S} \approx 0.93$, $A_{[5.8]}/A_{K_S} \approx 0.52$, $A_{[8.0]}/A_{K_S} \approx 0.56$, 见图 5。因此, LMC 的中红外消光在 $3.6 \mu\text{m}$, $5.8 \mu\text{m}$ 和 $8.0 \mu\text{m}$ 这 3 个波段的消光规律基本上与银河系没有明显差别, 呈现出平坦的趋势。在 $4.5 \mu\text{m}$ 波段, LMC 的消光则远远高于银河系的平均结果, 这种现象颇难解释。同时, 该工作还基于 2MASS 数据得到近红外色余比: $E(J-H)/E(H-K_S) \approx 1.29$, $E(J-K_S)/E(H-K_S) \approx 1.94$, 这个近红外消光结果与之前 Koornneef^[9], Morgan 与 Nandy^[53] 以及 Imara 与 Blitz^[25] 所得到的结果都比较相似, 进一步质疑了 Gordon 等人 2003 年计算出的 LMC 近红外消光结果。

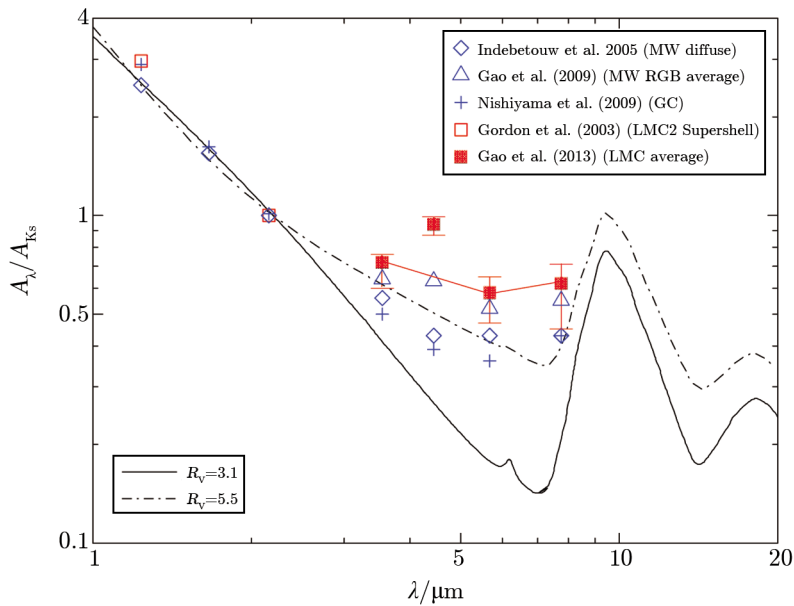


图 5 LMC 红外波段的消光曲线及其与银河系的比较^[57]

3.2 小麦哲伦云

Nandy 等人^[54] 利用对早型 (OB 型, 主要是 B 型) 超巨星的测光观测结果, 获得了 SMC 在 J, H, K 共 3 个典型的近红外波段的相对消光, 分别为 $E(V-J)/E(B-V) = 2.58$, $E(V-H)/E(B-V) = 2.94$, $E(V-K)/E(B-V) = 2.79$ 。他们认为, 尽管 SMC 的紫外消光规律非常不同, 但其红外波段的消光规律与 LMC 和银河系是一样的。不过, 只要

稍微计算一下, 就可以发现他们得到的这组数据存在问题。因为 K 波段的消光反而高于 H 波段的消光, 直接后果是导致 $E(J - H)/E(H - K) = -2.4 < 0$, 显然违反了消光规律的一般趋势。如前述, 这很可能是由于红外消光很小而结果的误差很大造成。

1985 年, 基于 23 个 O-B3 超巨星的观测, Bouchet 等人得到了稍有差别的结果^[10]: $E(V - J)/E(B - V) = 2.02$, $E(V - H)/E(B - V) = 2.36$, $E(V - K)/E(B - V) = 2.47$ 。他们的结果比 Nandy 等人^[54]的结果系统地偏小, 推算出来的 $E(J - H)/E(H - K) = 3.1$ 。这个值显然比 Nandy 等人得到的负值^[54]看起来合理。不过, 从另一方面看来, 这个值比银河系的一般取值(约 2.0)大了很多。

实际上, 若以超巨星作为消光示踪体, 一个比较大的问题是它们的内禀色指数很难准确获得。对于 SMC 这种红外消光本来就很小的区域来说, 测光和内禀色指数的微小误差都会带来较大的不确定性。另一方面, 超巨星因其高光度而比较容易在远距离河外星系中分辨和观测, 这是其在 MCs 的消光研究中受到青睐的原因。

Dobashi 等人 2009 年对 SMC 中的暗云进行了研究^[58], 获得的近红外色余 $E(J - H)$ 大致在 0.1~0.3 mag 之间。而由于 $E(H - K)$ 的值更小, 他们没有给出其值, 这使得近红外消光规律无法被了解。Apellaniz 和 Rubio^[48]通过对 SMC B1-1 分子云的研究, 认为至少在 B1-1 区域内, SMC 的近红外消光律是不变的, 这一结论与紫外波段截然不同。

总体来看, 人们对 SMC 的红外消光了解得还很少, 有待今后进一步的研究。

4 二维 (2D) 消光图

Imara 和 Blitz^[25]用 NICER 方法^①获得了分辨率为 4' 的 LMC 可见光波段的消光图, 得到的平均值为 $A_V = 0.38$ mag, 标准差为 0.57 mag。最突出的特征就是 30 Dor 区域, 另外一些纤维状结构也可见, 而 Bar 区域却不明显。

Dobashi 等人^[11]使用一种新的百分比方法, 基于近红外测光数据计算出 LMC 可见光波段的消光图(见图 6), 角分辨率为 2.6', 可以清晰地分辨出 30 Dor 区域, 以及强 CO 区域: LMC-114 和 LMC-154^[61]。其中有几个极小天区的消光达到了 4 mag 以上。同时, 他们的消光图与 HI 和 CO 分布的比较表明, 消光与气体的分布是相关的。

Dobashi 等人^[58]采用同样的方法也得到了 SMC 的 2D 消光图(见图 7)。鉴于 SMC 的消光曲线与银河系的 CCM 曲线偏差太大, 他们只给出了 $E(J - H)$ 的分布图; 另外, 他们

^①NICER(Near Infrared Color Excess Method Revisited) 方法是 Lombardi 和 Alves^[59]在计算猎户分子云复合体的可见光消光 A_V 分布图时所采用的一种基于 NICE 方法而发展出的方法。这种方法除了使用 $H - K$ 的色余外, 同时还使用了 $J - H$ 的色余。根据 RL85^[60]的近红外消光规律, $A_V = 15.87E(H - K)$, 或 $A_V = 9.35E(J - H)$ 。根据这两种不同的色余分别算出的可见光消光 A_V 的值是有所不同的, 并且不确定度也是不同的。Lombardi 等人认为, 影响 A_V 计算结果不确定度的因素包括三点: 1) 目标恒星内禀色指数的弥散度不同。一般而言, 主序星的内禀色指数 $J - H$ 的弥散大于 $H - K$ 的弥散。2) 不同波段测光误差的不同。J 波段的测光误差一般要小于 K 波段(除了在致密暗云的视线方向上, 由于消光而导致 J 波段暗于 K 波段)。3) 由色余计算可见光消光 A_V 时的系数不同, 分别为 15.87 和 9.35。因此, NICER 方法根据两个不同色余计算 A_V 时的协方差矩阵, 选出两者适宜的权重因子, 最终计算出 A_V 。但 NICER 方法同样需要用加权平均的方法对结果进行平滑。

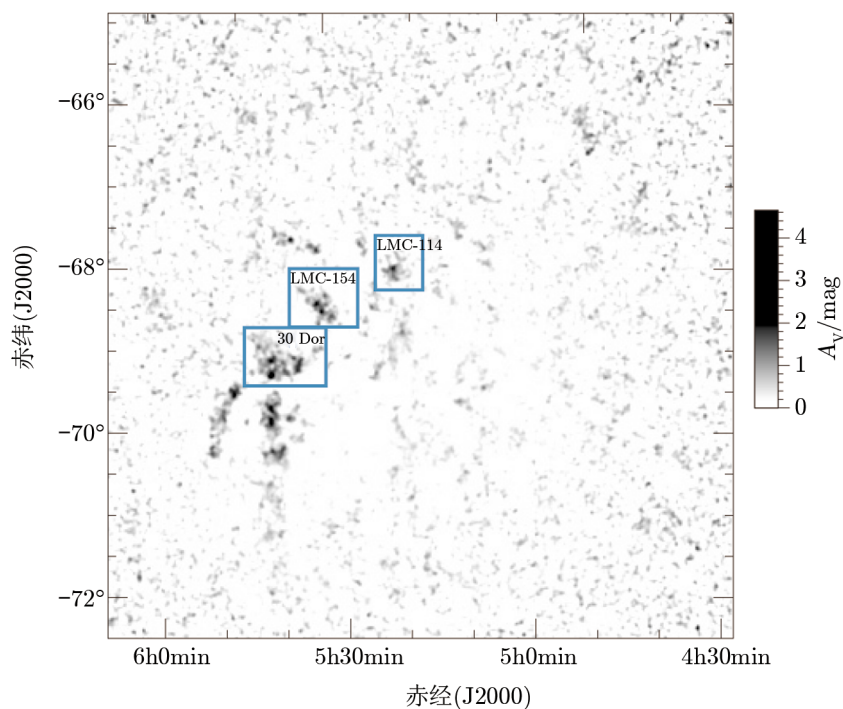


图 6 LMC 的 2D 消光图

其中灰度表示 A_V 的大小^[11], 强 CO 区域 LMC-114 和 LMC-154 的命名见参考文献 [61]。

对几个 CO 分子云区域^[62] 的分析显示, 绝大部分分子云的色余 $E(J-H)$ 都小于 0.2 mag ^①, 只有两个分子云的 $E(J-H)$ 大于 0.2 mag , 这是 SMC 中消光最严重的区域。

5 尘埃

星际消光源于星际尘埃对星光的吸收和散射。通过对星际消光的研究, 能够了解星际尘埃的物理性质和化学组成, 而尘埃的尺寸分布是影响消光规律的一个重要因素。

5.1 小麦哲伦云

由于 SMC 消光规律与银河系有较大的差别, 人们认为其尘埃性质也应该有明显不同。LMC 的消光规律大致介于银河系和 SMC 之间, 其尘埃性质被认为居中。

针对 SMC 消光曲线中 2175 \AA 驼峰的缺失、紫外的陡峭上升, 天文学家探索了其中尘埃的特点。Rocca-Volmerange 等人^[44] 认为 SMC 远紫外消光曲线的陡峭上升是由于尺寸小的尘埃占比很多, 因为小尺寸的尘埃被认为是产生远紫外消光的主要因素, 而 SMC 中有大量小尺寸的尘埃可能源于 SMC 较低的重元素丰度。Lequeux 等人^[39] 认为, 2175 \AA 驼峰的缺失

^①按照 $R_V=3.1$ 的 CCM 曲线计算, $A_V \approx 10E(J-H)$

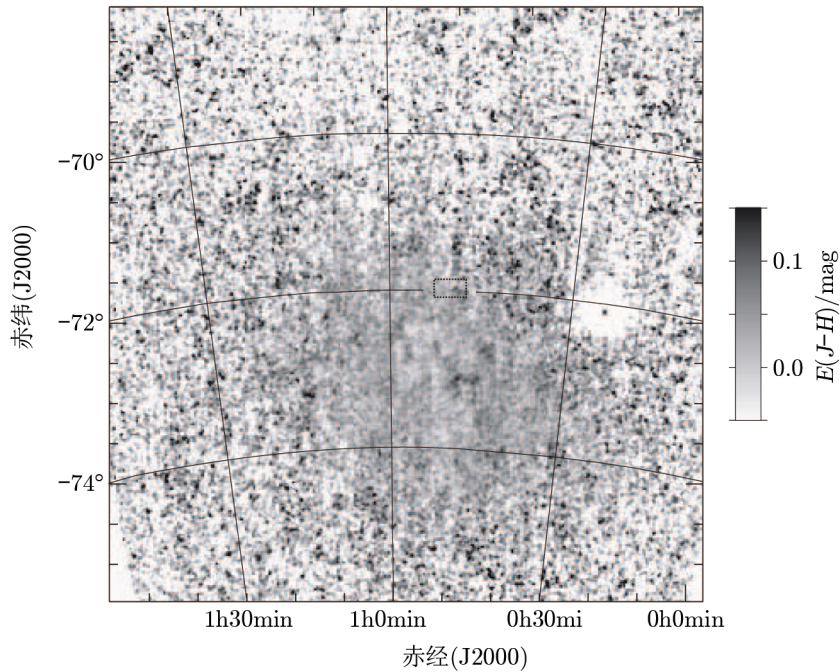


图 7 SMC 的 2D 消光图, 其中灰度表示 $E(J-H)$ 的大小^[58]

使得 SMC 的消光曲线单纯用硅酸盐尘埃颗粒模型就可以解释了, 需要的尘埃中 Si/H 的丰度大约为太阳的 1/10, 而石墨的缺失可能源于 SMC 的碳丰度过低。不过, 并没有证据表明 SMC 的 ISM 中存在碳缺失。演化晚期碳星与氧星的比例在 SMC 中明显高于银河系^[63], 相应地, 碳星产生的含碳尘埃与氧星产生的硅酸盐尘埃之比也应该高于银河系。事实上, SMC 中 C/Si 的丰度与银河系的值相当^[64]。当然, 一种可能性是碳元素形成的尘埃是无定形碳 (Amorphous Carbon), 不是石墨, 也就不产生 2175 Å 特征。SMC 中远紫外辐射场较强, 尘埃含量较少, 导致分子的解离比较有效, 这亦会影响 SMC 中尘埃的性质^[65]。Li 等人对此进行了详细的讨论^[51], 他们认为, 2175 Å 的载体是 PAHs, 紫外光子破坏 PAH 分子, 因此没有 PAH 发射特征的区域就没有 2175 Å 消光特征; 但 SMC 的 wing 区域, 特别是 SMC B1-1 区域, 具有 PAH 在 6.2~11.3 μm 之间的发射特征, 也就有 2175 Å 驼峰结构。该解释与观测结果非常一致。

Bromage 和 Nandy^[66] 通过拟合 SMC 紫外和可见光波段的消光曲线, 认为 SMC 中石墨的含量远远低于银河系尘埃模型所估算的值 (Cartledge 等人利用尘埃模型获得的硅酸盐与含碳颗粒的质量比达到 12^[67]), 同时, 硅酸盐尘埃颗粒尺寸的上限从银河系的 0.25 μm 上升至 0.35 μm (尘埃尺寸分布的幂律谱指数仍为 3.5)。Bouchet 等人^[10] 获得 SMC 的 R_V 值为 2.7, 略小于银河系的平均值 3.1。他们的模型计算结果显示: 石墨在可见光/红外波段消光起的作用很小, 而硅酸盐的尺寸分布必须向较大的方向移动。

实际上, 给定消光曲线后, 合适的尘埃模型 (尘埃尺寸分布、丰度比) 并不是唯一的, 而

偏振观测可以进一步限制尘埃模型,尤其是尘埃的尺寸。Rodrigues 等人^[46]通过对 SMC 中红化源在可见光范围内 5 个波段的偏振观测,发现 SMC 的最大偏振波长 λ_{\max} (大部分都在 0.3~0.5 μm 之间) 普遍小于银河系的值 (约 0.55 μm), 这意味着 SMC 中的尘埃尺寸整体小于银河系的尘埃尺寸。这个结论不同于 Bromage 和 Nandy^[66] 及 Bouchet 等人^[10] 的结论。虽然偏振峰值波长也可能依赖于尘埃排列随尺寸的变化,但主要是由尺寸分布决定的。而对于 AzV 456 这个特殊的源,偏振峰值与银河系的相当,这也表明该视线方向的尘埃大小与银河系的平均值 (0.1 μm) 相当。另外,由无定形碳和硅酸盐组成的尘埃模型可以解释实测 SMC 的一般消光曲线和偏振曲线,即使对于 AzV 456 这个源,也只需要少量的石墨。

Bouchet 等人^[10]对 SMC 的气尘比进行测定,如果以 $N_{\text{H}}/E(B-V)$ 的形式表示,为 $(3.7 \sim 5.2) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$,是银河系的 8 倍。星际气体中金属元素的减损一般被认为固化在尘埃中,银河系重元素的减损是非常明显的,尤其是 Si、Mg、Fe 这些组成硅酸盐尘埃颗粒的元素^[68],MCs 中的尘埃组分也可以从元素减损中窥见端倪。Welty 等人发现 SMC 的某些视线方向上的 Si 和 Mg 没有减损的迹象,这是很令人困惑的;因为 2175 Å 特征的缺失,人们认为 SMC 中缺少石墨,如果 Si 和 Mg 不在尘埃中,意味着硅酸盐也很缺乏;那么,SMC 中的尘埃成分就与银河系的明显不同,同时也很难解释消光曲线,因为几乎所有的星际尘埃模型都以硅酸盐尘埃颗粒为最主要的成分之一,另一个是石墨或者无定形碳^[69]。Li 等人^[51]从 Kramers-Kronig 关系出发,证明了 SMC 中的尘埃必须含有硅酸盐成分才能解释实测的消光曲线,Welty 等人提出的金属颗粒或 Fe 的氧化物都没有足够的丰度来解释 SMC 的消光曲线。Sofia 等人^[47]认为,Welty 等人假设 SMC 的金属丰度模式与太阳成比例是不对的;Sofia 等人重新分析了 SMC 的几个视线方向上的 ISM 丰度,发现 Si 元素有减损,推测应存在硅酸盐尘埃,并且指出,绝大部分硅酸盐以硅酸镁的形式存在;他们认为,AzV 18 和 AzV 456 两个方向消光曲线的差别源于气尘比的差别 (见表 1)。

5.2 大麦哲伦云

由于 LMC 的消光曲线基本介于银河系和 SMC 之间,如其 2175 Å 驼峰强度比银河系弱而比 SMC 强,紫外消光上升的速度快于银河系而慢于 SMC,因此其尘埃被认为是介于银河系和 SMC 之间的。

Clayton 和 Martin^[34]通过测量 LMC 中恒星的偏振,得到其尘埃颗粒尺寸上限的最小值为 0.52 μm ,中值为 0.58 μm ,这一结果与银河系的典型值 0.55 μm 相当。Misselt 等人^[37]发现 LMC 的消光曲线并不能仅仅以单一的 R_V 确定的银河系 CCM 曲线来拟合;他们分析认为,由于辐射场很强,而 LMC 的金属丰度较低,尘埃长时间暴露在紫外辐射较强的环境下,尘埃处在低温、致密条件下的时间较短,导致消光曲线对环境的依赖不同于银河系。

Koornne^[9]根据中性氢的 Ly α 吸收线计算了 LMC 的气尘比 $N(\text{HI})/E(B-V) = 2.2 \times 10^{22} \text{ mag}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$,是银河系的 4 倍。类似地,Fitzpatrick^[35]给出 $N(\text{HI})/E(B-V) = 2.4 \times 10^{22} \text{ mag}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。而 Gordon 等人^[16]根据射电观测,得到气尘比 $N(\text{HI})/A_V = 3.25 \times 10^{21} \text{ mag}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$,明显低于前两者的值,值得商榷。

6 结 论

作为银河系较近的两大卫星星系, 大小麦哲伦云以其异于银河系的星际环境、气尘比、较低金属丰度等等因素, 成为我们研究更宽物理化学范围内河外星系尘埃特性的良好实验室。对于大小麦哲伦云的星际消光, 在紫外、可见光和近红外波段已经有不少的工作, 但由于观测的限制, 对于很多问题, 人们还没有完全达成共识, 这些问题包括:

(1) 尽管 Dobashi 等人已得到大小麦哲伦云可见光 A_V 的消光分布图, 但消光在紫外和红外的区域性变化目前还没有更高精度的研究;

(2) 目前虽然已有一些关于大小麦哲伦红外消光的工作 (如 Koornneef^[9], Morgan 和 Nandy^[53] 以及 Gao 等人^[57] 等), 但对于 MCs 的红外尤其是中红外波段消光还需要更多的研究;

(3) 造成大小麦哲伦云消光异于银河系的原因, 包括尘埃颗粒的尺寸分布、化学组成、形态结构等, 仍然不是很清楚。

随着越来越多的针对大小麦哲伦云的巡天数据 (包括 Spitzer/SAGE, Herschel/HERITAGE, 以及 VISTA/VMC 等) 的释放, 相信对于大小麦哲伦云星际消光研究的众多问题都将会被逐一解决。

致谢

特别感谢李爱根教授和审稿人对本文中错漏之处的指正。

参考文献:

- [1] Macri L M, Stanek K Z, Bersier D, et al. *ApJ*, 2006, 652: 1133
- [2] Alves D R. *New Astron Rev*, 2004, 48: 659
- [3] Hilditch R W, Howarth I D, Harries T J. *MNRAS*, 2005, 357: 304
- [4] De Marchi G, Paresce F, Panagia N, et al. *ApJ*, 2011, 739: 27
- [5] Meaburn J. *MNRAS*, 1980, 192: 365
- [6] Weir N, Djorgovski S, Fayyad U M, et al. *ESOC*, 1992, 43: 513
- [7] Russell S C, Dopita M A. *ApJ*, 1992, 384: 508
- [8] Wheeler J C, Sneden C, Truran J. *ARA&A*, 1989, 27: 279
- [9] Koornneef J. *A&A*, 1982, 107: 247
- [10] Bouchet P, Lequeux J, Maurice E, et al. *A&A*, 1985, 149: 330
- [11] Dobashi K, Ito K, Iwasaki K. *A&A*, 2008, 484: 205
- [12] Gordon K D, Clayton G C. *ApJ*, 1998, 500: 816
- [13] Feast M W, Thackeray A D, Wesselink A J. *MNRAS*, 1960, 121: 337
- [14] Stecher T P, Donn B. *ApJ*, 1965, 142: 1681
- [15] Cardelli J A, Clayton G C, Mathis J S. *ApJ*, 1989, 345: 245
- [16] Gordon K D, Clayton Geoffrey C, Misselt K A, et al. *ApJ*, 2003, 594: 279
- [17] Bruck M T, Lawrence L C, Nandy K N. *Nature*, 1970, 225: 531
- [18] Staveley-Smith L, Kim S, Calabretta M R, et al. *MNRAS*, 2003, 339: 87

- [19] Weingartner J C, Draine B T. *ApJ*, 2001, 563: 842
- [20] Isserstedt J. *A&A*, 1975, 41: 175
- [21] Hill R J, Madore B F, Freedman W L. *ApJ*, 1994, 429: 192
- [22] Massey P, Lang C C, Degioia-Eastwood K, et al. *ApJ*, 1995, 438: 188
- [23] Harris J, Zaritsky D, Thompson I. *AJ*, 1997, 114: 1933
- [24] Zaritsky D. *AJ*, 1999, 118: 2824
- [25] Imara N, Blitz L. *ApJ*, 2007, 662: 969
- [26] Borgman J, van Duinen R J, Koornneef J. *A&A*, 1975, 40: 461
- [27] Bloemendal W, Kramer C. *Philips Techn Rev*, 1973, 33: 117
- [28] Koornneef J. *A&A*, 1978, 64: 179
- [29] Boggess A, Bohlin R C, Evans D C, et al. *Nature*, 1978, 275: 372
- [30] Nandy K, Morgan D H. *Nature*, 1978, 276: 478
- [31] Nandy K, Morgan D H, Willis A J, et al. *Nature*, 1980, 283: 725
- [32] Koornneef J, Code A D. *ApJ*, 1981, 247: 860
- [33] Nandy K, Morgan D H, Willis A J, et al. *MNRAS*, 1981, 196: 955
- [34] Clayton G C, Martin P G. *ApJ*, 1985, 288: 558
- [35] Fitzpatrick E L. *ApJ*, 1985, 299: 219
- [36] Fitzpatrick E L, Edward L. *AJ*, 1986, 92: 1068
- [37] Misselt K A, Clayton G C, Gordon K D. *ApJ*, 1999, 515: 128
- [38] Caulet A, Newell R. *ApJ*, 1996, 465: 205
- [39] Lequeux J, Maurice E, Prevot L, et al. *IAUS*, 1984, 108: 405
- [40] Schwering P. PhD Thesis, Leiden, The Netherlands, 1988: 254S
- [41] McNarama D H, Feltz K A Jr. *PASP*, 1980, 92: 587
- [42] Bessel M S. *A&A*, 1999, 242: 17
- [43] Schlegel D J, Finkbeiner D P, Davis M. *ApJ*, 1998, 500: 525
- [44] Rocca-Volmerange B, Prevot L, Prevot-Burnichon M L, et al. *A&A*, 1981, 99: 5
- [45] Lequeux J, Maurice E, Prevot-Burnichon M L, et al. *A&A*, 1982, 113: 15
- [46] Rodrigues C V, Magalhaes A M, Coyne G V, et al. *ApJ*, 1997, 485: 618
- [47] Sofia U J, Gordon K D, Clayton G C, et al. *ApJ*, 2006, 636: 753
- [48] Maíz Apellániz J, Rubio M. *A&A*, 2012, 541: 54
- [49] Rubio M, Boulanger F, Rantakyro F, et al. *A&A*, 2004, 425: 1
- [50] Clayton G C, Gordon K D, Salama F, et al. *ApJ*, 2003, 592: 947
- [51] Li A, Misselt K, Wang Y, et al. *ApJ*, 2006, 640: 151
- [52] Bohlin R C, Savage B D, Drake J F. *ApJ*, 1978, 224: 132
- [53] Morgan D H, Nandy K. *MNRAS*, 1982, 199: 979
- [54] Nandy K, Morgan D H, Houziaux L. *MNRAS*, 1984, 211: 895
- [55] Mendoza E E. *BOTT*, 1970, 5: 269
- [56] van de Hulst H C. *Rech Astr Obs Utrecht*, 1946, 11: 2
- [57] Gao J, Jiang B W, Li A, et al. *ApJ*, 2013, 776: 7
- [58] Dobashi K, Bernard J, Kawamura A, et al. *AJ*, 2009, 137: 5099
- [59] Lombardi M, Alves J. *A&A*, 2001, 377: 1023
- [60] Rieke G H, Lebofsky M J. *ApJ*, 1985, 288: 618
- [61] Fukui Y, Kawamura A, Minamidani T, et al. *ApJS*, 2008, 178: 56
- [62] Mizuno N, Rubio M, Mizuno A, et al. *PASJ*, 2001, 53: 45
- [63] Lequeux J. *Trans Int Astron Union (Reports on Astronomy)*, 1988, 20: 423
- [64] Dufton P L, Fitzsimmons A, Howarth I D. *ApJ*, 1990, 362: 59
- [65] Lequeux J, Le Bourlot J, Pineau des Forets G, et al. *A&A*, 1994, 292: 371
- [66] Bromage G E, Nandy K. *MNRAS*, 1983, 204: 29
- [67] Cartledge S, Clayton G, Gordon K, et al. *ApJ*, 2005, 630: 355

[68] Jenkins E. ApJ, 2009, 700: 1299

[69] Draine B T. ARA&A, 2003, 41: 241

Interstellar Extinction in the Magellanic Clouds

XUE Meng-yao, JIANG Bi-wei, GAO Jian

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

Abstract: We review the extinction laws of the Magellanic Clouds (MCs) from the ultraviolet (UV), optical to infrared and the 2D extinction maps of the MCs. The dust properties of the MCs are also discussed. The color excess $E(B - V)$ of the Large Magellanic Cloud (LMC) is about 0.13 mag. If $R_V = 2.6$ is adopted, the A_V value is about 0.34 mag. The color excess $E(B - V)$ of the Small Magellanic Cloud (SMC) is about 0.16 mag, which corresponds to an A_V of about 0.45 mag (for $R_V = 2.8$). The star formation regions LMC 30 Dor and Super Shell LMC 2 could be considered as relatively dense regions. They both lack the 2175 Å extinction bump feature and their extinction rises steeply in the UV range, while in the diffuse regions of LMC, the 2175 Å bump is relatively strong. As for the SMC, the 2175 Å bump is absent in the SMC bar region, and the extinction rises even more steeply in the UV band, while in the SMC wing region, the 2175 Å bump feature is present. In the infrared band, the ratio of the color excess $E(J - H)/E(H - K)$ is roughly between 1.03 and 1.36 for LMC, clearly lower than the ratio of the Milky Way that is about 1.73. In SMC, the infrared extinction is fairly small, and as a tiny error of photometry or intrinsic color will bring large uncertainty, there is no consistent conclusion yet. The extinction curves of the LMC and SMC can not be described by the simple CCM parameterization containing a single parameter R_V which is valid for the Milky Way. By fitting the extinction curve as well as the infrared radiation of the Magellanic Clouds, it is found that the carbonaceous dust grains, compared to the silicate dust, are less abundant than those in the Milky Way. In particular, the lack of small carbonaceous dust grains is suggested to explain the weakness of the 2175 Å bump in the star-forming regions where the UV photons may destroy the very small carrier like graphite or PAH molecules. The dust-to-gas ratio in the MCs is significantly lower than that in the Milky Way very possibly due to the lower metallicity.

Key words: interstellar extinction; Magellanic clouds; ISM