第 22 卷 第 1 期 天 文 学 进 展 Vol.22, No.1
2004 年 3 月 PROGRESS IN ASTRONOMY Mar., 2004

文章编号: 1000-8349(2004)01-0071-10

晚型星系金属丰度与自转速度的关系

罗智坚 [1,2]，傅莉萍 [3]，束成钢 [1,3]，赵君亮 [1]

(1. 中国科学院 上海天文台，上海 200030；2. 江西师范大学 物理系，南昌 330027；3. 上海师范大学 天体物理中心，上海 200234)

摘要: 星系物质化学组成的研究不仅对于理解有关星系形成和演化的各种物理过程具有重要意义，而且还可以对星系形成和演化的各种理论模型提供重要的约束。随着观测技术及理论工作水平的不断提高，利用星系的大量观测资料来系统地研究星系化学组成与星系宏观性质之间的关系将成为可能。星系金属丰度与光度之间的强相关性以及晚型星系金属丰度与自转速度的关系即是其中最有意义的内容之一。全面回顾了星系金属丰度与星系宏观观测性质间关系的研究历史，重点评述了晚型星系金属丰度与自转速度关系的最新研究进展，详细讨论了目前对此类关系的物理解释及其对星系形成和演化模型的影响。

关 键 词: 天体物理学；晚型星系；综述；星系；金属丰度；自转速度

中图分类号: P157 **文献标识码**: A

1 引 言

长期以来，人们对星系的化学组成作了大量的研究，星系的金属丰度与星系宏观性质之间的关系也一直是人们关注的热点。由于星系中恒星和气体的化学组成依赖于原初星系的化学组成、星系中恒星的形成历史、气体的内落和外流、恒星的金属产额及初始质量函数等，因而讨论不同因素对星系化学组成的影响十分困难。随着观测仪器精度的提高及观测方法的改进，人们获得了越来越多的星系样本，并通过分析得到了大量关于星系金属丰度与星系宏观性质，包括光度、自转速度 (质量) 、哈勃类型、表面亮度等之间关系的结果，这些关系为星系形成和演化理论模型的建立提供了很强的约束。另一方面，星系形成和演化模型的深入研究又提出了新的观测预言，从而进一步促使人们不断地改进观测方法和观测技术。本文将对星系的金属丰度与星系宏观观测特性，尤其是晚型星系 (包括旋涡星系和不规则星系) 金属丰度与自转速度之间关系的研究历史及其最新研究进展作系统的综述，并详细讨论目前对此类关系的物理解释及其对星系形成和演化模型的建立所造成的影响。

收稿日期: 2003-06-19； **修回日期**: 2003-07-17；特约稿

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10333020 、 10073016)；国家 973 资助项目 (G1999075406)；上海市科委资助项目 (03XD14014)

星系的金属丰度一般是指星系的平均金属丰度。不同类型的星系可以有不同的定义，即便是相同类型的星系，不同研究者的定义也会有不同的含义。由于椭圆星系缺乏气体，它们的平均金属丰度通常是指其恒星的平均金属丰度；对于矮不规则星系和旋涡星系，由于气体含量相对丰富，且气体中元素的发射线可以通过分光光度观测得到，因而它们的平均金属丰度是指星系 HII 区气体的平均金属丰度。其中矮不规则星系各 HII 区的金属丰度相差不大，金属丰度的径向梯度较小，因此可以把某一个 HII 区的金属丰度近似地作为其平均金属丰度。而旋涡星系，由于星系盘中金属丰度的径向梯度较为明显，因而一般用某个特征半径处 HII 区的金属丰度作为其平均金属丰度的代表。不同的研究者对这个特征半径的取法不同，或取半光度半径，或取等照度半径 (表面亮度为 25.0 $\mathrm{mag\cdot arcsec^{-2}}$ 处的半径) ，或取盘的标长等。由于观测到的 HII 区并不一定位于特征半径处，需要对观测资料进行内插或外推才能得到特征半径处的金属丰度。因此对旋涡星系的观测资料来说必须要包含 5 个以上的 HII 区，且覆盖较大的星系盘半径范围和有足够高的信噪比。另外，旋涡星系和不规则星系的金属元素中氧的含量最高，约占所有重元素质量的 45% 。由于观测上的方便以及为了能更好地把观测结果与理论研究模型进行比较，旋涡星系和不规则星系的金属丰度一般用氧的丰度作为代表。而氧的丰度则是根据观测星系中各个 HII 区的氧发射线流量比 ([OII]$\lambda\lambda$3726,3729+[OIII] $\lambda\lambda$4959,5007)/Hβ 并通过适当的定标来得到的。

星系的宏观性质包括光度、自转速度 (质量) 、哈勃类型、表面亮度等。星系的光度一般是指蓝波段光度；而自转速度取的是盘状星系的最大测量速度，或者说是星系自转曲线的平直部分。一般， B 波段星等并不是星系质量的理想表征者，因为星系内的星际介质对蓝光有强烈的消光作用，且近期恒星形成过程可能出现的某种变化，也会使恒星质量与蓝光光度之间的关系很不确定，尤其是正在发生星暴的矮星系。此外，星系质光比的确定有较大的误差，而且不同颜色及不同类型的星系其质光比可能相差较大。利用旋涡星系自转速度或椭圆星系恒星的速度弥散来推算星系的质量则是一条更好的途径。

2 星系金属丰度与星系宏观性质间的关系

1973 年 Faber [1] 通过 10 色中波带测光观测了 31 个椭圆星系，其中大部分星系是双重星系或小星系群中的成员。结果发现，椭圆星系的颜色和金属丰度与其伴星系的形态或所属星系群的性质无关，而只与星系的绝对星等 (即光度) 紧密相关：颜色随星系光度的减小而偏蓝，金属丰度则随光度的增加而增大。在当时的观测精度下， Faber 进一步证实了这种相关性并非起源于系统误差，而是星系的一种内禀属性。 1984 年， Mould [2] 对此作了具体的讨论，认为金属丰度与光度的这种关系对于矮椭圆星系和巨椭圆星系都成立。

1979 年， Lequeux 等人 [3] 通过分光光度观测研究了不规则星系 NGC 4449 、 NGC 6822 和 IC 10 及蓝致密星系 I Zw18 、 II Zw40 和 II Zw70 的 HII 区的金属丰度，结合已有的大、小麦哲伦云的观测资料，发现不规则星系的金属丰度与光度 (或星系总质量) 之间存在着相关性。因为这些星系有着相对较好的 21 cm 线及自转速度曲线的观测结果， Lequeux 等人进一步研究得到星系金属丰度 Z 与其总质量 M_{tot} 的关系为 $\lg M_{\mathrm{tot}} = (8.5 \pm 0.4) + (190 \pm 60)Z$ 。此外，他们还将 He/H 与 O/H 的关系进行外推，得出原初星系的氦丰度 $Y_{\mathrm{P}} = 0.228 \pm 0.014$ ，

与大爆炸理论预言值基本一致。

1989 年 Skillman 等人[4] 对 7 个邻近矮不规则星系 HII 区的光学分光光度观测进一步证实了这一现象，即不规则星系的氧丰度与其绝对星等之间有很强的相关性。利用这种相关性，甚至可以不观测 HII 区而只测定亮度和距离，就能估计出不规则星系的金属丰度，而且还可以作为已知金属丰度星系的标距关系。通过与椭圆星系金属丰度 - 光度关系的比较， Skillman 等人发现矮椭圆星系与矮不规则星系遵从类似的丰度光度关系。据此，有人认为矮椭圆星系可能是从矮不规则星系通过气体剥离演化而来的。值得注意的是，在 Skillman 等人的比较中，椭圆星系的平均金属丰度取的是恒星的平均金属丰度，而矮不规则星系的金属丰度取的是星际气体 HII 区的金属丰度。但他们指出，这种差异对于非极低光度的星系来说是可以忽略的。

对于旋涡星系金属丰度，很多邻近的亮旋涡星系包括 M101 [5]、M33 [6]、M83 [7]、M51 [8] 以及银河系 [9] 等都已作了详细的研究。早期的研究表明，星系的化学属性是星系形态类型的函数 [10,11] 。然而， 1987 年 Garnett 与 Shields [12] 对早型旋涡星系 M81 中 18 个 HII 区作了分光光度观测，研究了 M81 金属丰度的径向梯度，且将 M81 的平均金属丰度与其它星系包括旋涡星系和不规则星系进行了比较，其中旋涡星系的平均金属丰度定义为半光度半径 $R_{\rm e}$ 处的金属丰度。结果表明，星系的金属丰度与星系质量或光度的关系要优于与星系形态类型的关系；星系的平均金属丰度随星系质量或光度的增大而增大，其与星系类型之间的关系则可能是由于晚型星系趋于更小质量的原因，具体地说是由于在晚型星系中，矮星系的比例比较大，因而与星系类型的关系并不是基本关系。

1991 年， Brodie 和 Huchra [13] 基于球状星团累积光谱中 6 个吸收线指数强度的测量，研究了旋涡星系及椭圆星系的光度与其所包含的球状星团系统的平均金属丰度之间的关系，指出球状星团系统的平均金属丰度与寄主星系的光度线性相关，且整个星系的金属丰度与光度也呈现类似的关系，两者的斜率非常相似，只是球状星团的金属含量更贫而已。这表明星系化学增丰的整体物理过程与球状星团增丰的物理过程是类似的； Brodie 和 Huchra 同时指出，星系的金属丰度与星系光度之间的关系存在较大的弥散度，并推测这种弥散度可能是由于不同星系处在不同的恒星形成阶段，或不同星系的恒星初始质量函数不同所造成的，不能完全归因于测量误差。星系气体的外流、因剥离引起的扰动及星系并合都能强烈影响星系在金属丰度 - 光度关系图中的位置。

1994 年 Zaritsky 等人[14] 观测了 14 个旋涡星系中 159 个 HII 区的金属丰度，结合以往观测过的 39 个旋涡星系样本，并保证每个星系至少观测了 5 个 HII 区的金属丰度，他们发现旋涡星系的金属丰度与其光度有很强的相关性。这种相关性几乎与不规则星系的金属丰度 - 光度关系一致，且非常类似于椭圆星系及矮椭球星系的同类关系。同时他们还指出旋涡星系的金属丰度与自转速度或哈勃类型之间也具有很强的相关性。然而，对于旋涡星系，由于光度、自转速度 (总质量) 、哈勃类型之间在某种程度上都是两两相关的 [15,16] ，因而不能确定哪一种是基本关系，也不能断定丰度与哈勃类型或质量之间的关系是否独立。但可以确定的是，某个与星系类型及质量紧密相关的参数必是金属丰度关系的主要驱动者，任何与类型相关的关系，若与质量不相关则都是派生的而非基本关系。

1997 年 Garnett 等人[17] 重新测量了 NGC 2403 中 12 个 HII 区的金属丰度，同时又利用以前大部分旋涡星系的观测结果，剔除了棒旋星系、少于 5 个 HII 区观测资料的星系及 HII

区覆盖半径小于 1/2 倍等照度半径的星系，并对其中某些星系的距离根据最新的观测资料作了修正。他们发现星系的金属丰度与光度之间有很好的关系，且这种关系可以平滑地外推到 $M_{\rm B} \approx -10$ mag 的不规则星系。

Garnett 和 Shields [12] 以及 Zaritsky 等人 [14] 注意到，尽管星系的金属丰度与星系光度之间有较强的相关性，但金属丰度与自转速度之间的关系并没有那么明显，至少对大质量的旋涡星系来说是如此。考虑到自转速度比光度能更好地表征星系的质量大小，因而有必要

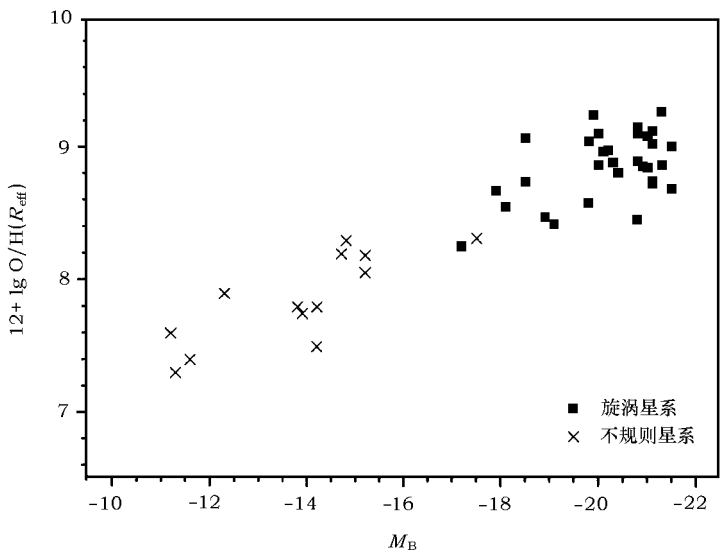

图 1 旋涡星系及不规则星系的 O/H 丰度与 $M_{\rm B}$ 之间的关系 [18]

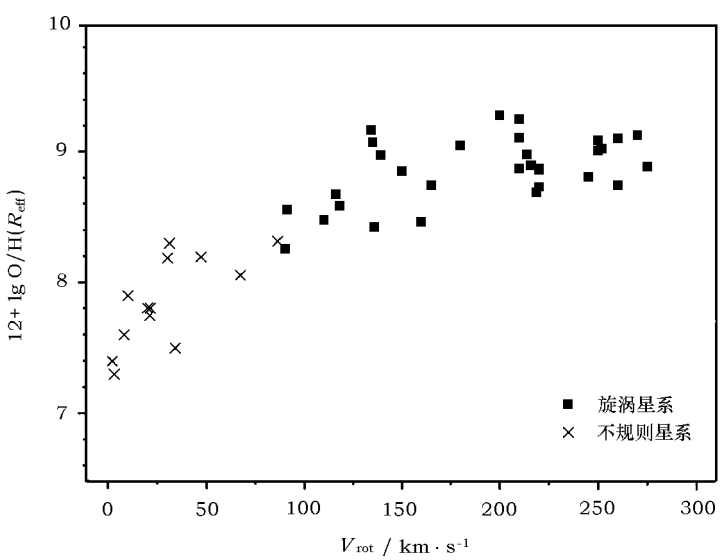

图 2 旋涡星系及不规则星系的 O/H 丰度与 $V_{\rm rot}$ 之间的关系 [18]

对星系的金属丰度与自转速度之间的关系作更深入的研究。 2002 年， Garnett [18] 研究了 31 个旋涡星系及 13 个不规则星系，这些星系都具有比较好、覆盖大部分星系区域的 HII 区的光谱数据，并且有距离和自转速度的观测资料。图 1 即是 Garnett 得到的旋涡星系及不规则星系的 O/H 丰度与 $M_{\rm B}$ 之间的关系，其中旋涡星系 O/H 丰度是取盘的半光度半径处的值。从图中可以看出，星系的金属丰度与星系光度之间的确具有很强的相关性。在 B 波段上相差 11 mag 的星系，其平均 O/H 丰度变化约 100 倍，而且这种变化大体上是均匀的。图 2 为 Garnett 给出的星系 O/H 丰度与其自转速度 $V_{\rm rot}$ 之间的关系，其中自转速度取的是星系的最大测量速度。从图中可以看出 O/H 丰度与 $V_{\rm rot}$ 之间并不呈稳定增长关系，在自转速度约为 125 km/s 的地方有一个转折点。在这个值以上，大部分大质量旋涡星系的平均金属丰度基本上为一常数，而在这个值以下，星系金属丰度的变化才与质量有关。

3　晚型星系金属丰度与自转速度 (质量) 关系的物理解释

1975 年， Fisher 和 Tully [19] 通过对大量矮星系的观测，发现矮星系具有比巨星系更高的气体含量。因而， Lequeux 等人 [3] 认为，星系金属丰度与其自转速度 (质量) 的关系是由于小星系演化得相对比较慢，即每单位质量气体内恒星的形成率较小，它们相对于大星系来说只将较少部分气体转化为恒星，因而气体占总质量的百分比相对较高，其金属丰度也比大星系小。 Roberts 和 Waynes [15] 对本地星系 (红移 $Z < 0.1$) 的观测数据作了一项统计分析，结果证实了这一现象。目前星系的等级形成理论认为小星系比大星系早形成，大星系可能是通过小星系的并合与吸积形成的。由于恒星形成率与气体密度的约 1.5 次方成正比 [20] ，大星系的恒星形成 (化学增丰) 和气体消耗过程比矮星系快，而且并合也会加速恒星的形成，因此平均而言，目前矮星系包含更多的气体而大星系的气体却基本消耗完了。低质量不规则星系的颜色相对偏蓝也支持这种解释。特别地，对于低表面亮度 (LSB) 的星系，由于气体面密度低，恒星形成非常缓慢，现在的气体含量相对丰富，其金属丰度特别低 [21] 。

目前比较流行的观点是 [2,18,22,23] ：星系金属丰度与自转速度 (质量) 关系主要是由于星系中超新星爆发所导致的质量外流引起的。近年来，越来越多的观测证据表明矮星系确实存在大量气体外流的现象 [24~28] 。超星系风和物质外流是普遍现象，对于本地的星暴星系 [29,30] 以及高红移亮星系 [31~35] ，这种现象又特别剧烈。

1984 年， Mould [2] 首先提出利用质量外流的星系演化模型来解释椭圆星系的金属丰度与质量的关系。他对星系化学演化的简单闭合模型作了一定的修改，引入了气体内落和外流，并假定气体的内落率和外流率分别为恒星形成率的 α 和 λ 倍，结果发现椭圆星系中恒星的平均金属丰度只随 λ 的增加而减小，而 λ 又随星系质量的增加而减小。因此，椭圆星系的平均金属丰度随质量的增大而增大。 Mould 通过计算进一步指出，随着椭圆星系质量的增加，用曲线表示的这种金属丰度和质量的关系会逐渐趋于平坦。对于矮不规则星系和旋涡星系，由于星系外流气体中包含大部分的超新星爆发所抛射的金属元素，大量的外流会有效降低星系的金属丰度。对小质量星系，由于引力势阱较浅，在超新星爆发过程中，它们会比大星系损失更大比例的气体；较大的星系由于引力势阱较深，大多数的外流物质不能脱离星系晕的范围，只会通过星系喷泉等形式，将超新星爆发所产生的外流气体维持在星系内部。这样必然导致

小星系的金属丰度较低。

1986 年， Dekel 和 Silk [22] 认为观测到的星系金属丰度与其宏观性质间的各种相关性应该有相对简单的解释，并指出一种被暗晕包围的星系气体质量损失的简单模型可以很好地解释这一切。第一代恒星星暴产生的超新星爆发就能吹走小星系中很大一部分气体，造成小星系金属丰度的降低。计算发现，星系气体损失的临界条件为星系的位力速度 (根据位力定理计算所得的速度) 小于约 100 km/s (对应的星系光度 $M_{\rm B} \approx -18$ mag) 。当星系的位力速度大于此值时，超新星爆发不能有效地驱逐气体，外流气体会返回到星系中；当星系位力速度小于此值时，超新星爆发会吹走星系的大部分气体，从而形成结构松散且金属丰度较低的矮星系。1999 年 Martin [23] 发现，为了得出观测到的星系光度函数以及星系质量与金属丰度的关系，不同星系应具有不同的超新星反馈性质。通过比较外流在矮星系和更大质量星系中的差异，他提出了一种简单的经验反馈模型。该模型将星际气体分为冷、温、热 3 种，指出冷气体不会形成外流；温电离气体的外流率达恒星形成率的若干倍，但即使在矮星系中，大部分的外流温气体都将返回星系中；而热气体的外流率也高达恒星形成率的若干倍，但只要星系的自转速度小于约 130 km/s，这种气体就能逃逸出星系。这一临界速度值与 Garnett [18] 发现的临界值非常类似。 2000 年 Efstathiou [36] 指出，对于矮星系，气体的有效外流并不需要发生强烈的星暴，较低的恒星形成率也能在长时标中引起星系大部分气体的逃逸。例如，对于自转速度约为 50 km/s 的星系，即使其恒星形成率小于 0.1 $M_{\odot} \cdot {\rm yr}^{-1}$ ，在大约 1 Gyr 的时间内也能因外流而失去 60%~80% 的气体；对于类似银河系的星系，在超新星爆发所导致的外流中，可能只有约 20% 或更少的气体质量逃逸，并主要发生在星系演化的早期。但另一方面，流体动力学模拟表明，星系核区星暴超风并不是气体外流的有效机制 [37,38] 。 2003 年 Shu 等人 [39] 对星系外流的解析模型作了进一步的改进，并讨论了外流气体的各种属性，认为星系外流气体的风速及外流率都依赖于星系的恒星形成率密度 (单位面积的恒星形成率) ，而并不明显依赖于星系势阱的主要提供者 —— 暗晕的性质，但暗晕的大小却决定了外流的气体究竟是逃逸出星系，还是通过星系喷泉等形式返回到星系盘中。这一工作在最近关于 SCUBA 星系 N2 850.4 的观测中得到了证实 [40] 。

人们对星系损失金属的问题非常感兴趣，这是因为对远距离类星体的 Lyα 线丛谱和星系团 X 射线的观测研究表明，星系团内介质 (ICM) 及星系际介质 (IGM) 中普遍都存在着金属元素。这些金属元素来源于星系物质外流、星系潮汐 (冲压) 剥离、星系前恒星星风及超新星爆发等综合物理过程。星系物质外流效应可以通过考察所谓有效产额的方法进行讨论。在有关星系化学演化的研究中，最常用的是简单闭合模型 [41] ，它假定既没有气体内落也没有气体外流，新合成的物质在短时间内完成循环，且气体能充分混合。根据这一假设，星系中气体金属丰度的演化可用气体占总质量 (恒星 + 气体) 的百分比 $f_{\rm gas}$ 及恒星金属元素的实际产额 y_z 来表示： $Z = y_z \ln(f_{\rm gas}^{-1})$ [42] 。对于某种元素，上式中的 Z 及 y_z 应取相应的值。 y_z 只取决于初始质量函数 (IMF) 和恒星核合成的细节，可认为是一个定值 [43,44] 。 1990 年 Edmunds [45] 在简单闭合模型的基础上，详细研究了气体流的存在对金属丰度演化的影响。他定义有效产额 $y_{\rm eff} = Z({\rm obs})/\ln(f_{\rm gas}^{-1})$ ，其中 $Z({\rm obs})$ 和 $f_{\rm gas}$ 分别为观测到的星系金属丰度及气体的相对含量。结果表明：一旦出现气体外流或内落，根据观测得到的 $y_{\rm eff}$ 要小于 y_z (见图 3) 。因而要判断星系金属丰度与自转速度 (质量) 的关系是否由星系中气体外流引起的，只要考察不同星

系 $y_{\rm eff}$ 的变化。如果金属丰度与自转速度之间的关系，只是由不同质量的星系中气体所占比例的不同造成的，则其 $y_{\rm eff}$ 相对来说应该为一常值。反之，如果这种关系是气体内落或外流引起的，由于气体流依赖于星系势，$y_{\rm eff}$ 随星系的质量就会有相应的变化，因而是星系质量的函数。

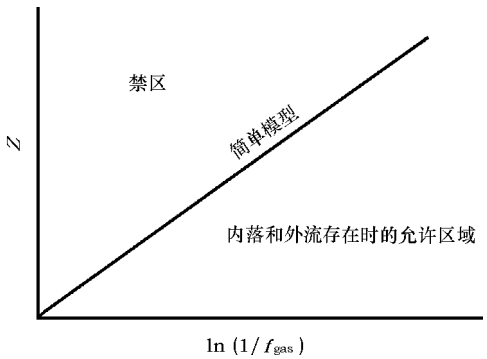

图 3　星系金属丰度 Z 与气体含量 $f_{\rm gas}$ 的关系示意图 [45]

Garnett [18] 对近 40 个旋涡星系和不规则星系的 $y_{\rm eff}$ 进行了详细研究，给出了星系自转速度的峰值 $V_{\rm rot}$ 与半光度半径处氧的 $y_{\rm eff}$ 之间的关系，结果如图 4 所示。Garnett 指出：当 $V_{\rm rot}$ 从几 km/s 增大到 300 km/s 时，$y_{\rm eff}$ 增加了约 10~20 倍，且 $\lg y_{\rm eff}$ 的变化并不只是简单地随 $V_{\rm rot}$ 增大而增大，大部分增长发生在 $V_{\rm rot}$ <100 km/s 处，而当 $V_{\rm rot} \geq 200$ km/s 时，$y_{\rm eff}$ 近似为一常数。至于其中的转折点，由于测量方面的误差还不能精确地确定，估计大致发生在 $V_{\rm rot} \approx 100$~150 km/s 范围内。从上面的讨论可知，外流和贫金属气体的内落都会使星系的 $y_{\rm eff}$ 减小 [45]，因而在图 4 中当 $V_{\rm rot} < 100$ km/s 时，$y_{\rm eff}$ 随 $V_{\rm rot}$ 的减小而减小就可简单地解释为超新星爆发导致的外流对矮星系演化的影响；当 $V_{\rm rot} \geq 100$~150 km/s 时，$y_{\rm eff}$ 则基本保持不变，这一事实可以认为是由于大质量的星系势阱深，基本上能维持住恒星所产生的全部金属，气体虽然会因超新星爆发被外流带入星系晕中，但最终还是会像喷泉一样返回到星系盘内。

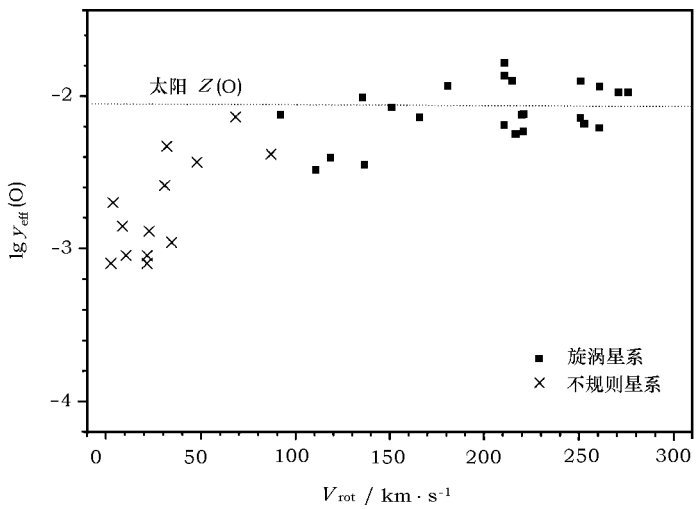

图 4　星系自转速度 $V_{\rm rot}$ 与有效产额 $y_{\rm eff}$ 之间的关系 [18]

严格地说，只根据图 4 中的数据并不能完全用外流与星系质量的函数关系来解释 $y_{\rm eff}$ 与 $V_{\rm rot}$ 的关系，还应考虑到没有增丰气体的内落也可能导致 $y_{\rm eff}$ 的下降。就像 Edmunds [45] 指出的那样，若矮星系在比较晚的时候吸积了比大质量星系更大比例的内落气体，则同样可以得到图 4 的结果。这在观测上也得到了支持。1995 年 Kobulnicky 和 Skillman [46] 在发现了 NGC

5253 中 HI 的本动速度场 (大量的中性原子气体绕星系的光学长轴旋转) 后指出， NGC 5253 这种独特的气体动力学行为以及其目前剧烈的星暴行为，可能是由于约 10^9 yr 前与邻近旋涡星系 M83 相互作用的结果，也可能是由于吸积了大量的气体物质。 1997 年 Turner 等人 [47] 进一步指出， NGC 5253 中特别弱的 CO 发射线，加上观测到的 CO 气体分布的形态以及其奇特的气体动力学特性，表明它近期正在吸积极贫金属的气体。 1998 年， Wilcots 和 Miller [48] 同样发现 IC 10 中由于气体内落而引起的气体延展分布。 1999 年 Köppen 和 Edmunds [49] 利用图解法，研究了按任意方式随时间变化的贫金属气体的吸积对星系化学演化的影响，以及在吸积存在的情况下星系化学演化方程的解的一般形式。他们同时指出，星系的化学演化取决于吸积率与恒星形成率之比随时间的变化。若最初星系的吸积率小于恒星形成率，要得到在没有外流只有吸积情况下星系气体的低 $y_{\rm eff}$ 及低金属丰度，则星系的吸积率必须随时间快速增加到大于恒星形成率；而对于吸积缓慢的情况， $y_{\rm eff}$ 接近 y_z 。由此可见要通过吸积来解释矮星系的低 $y_{\rm eff}$ 及低金属丰度，必须要求大部分气体是演化后阶段因吸积作用获得的，且没有大量的恒星形成和持续的金属增丰。因此，仅靠没有增丰气体的内落并不能很好地解释 $y_{\rm eff}$ 的降低，必须要有外流。

此外，星系中气体因潮汐作用而被剥离以及碰撞损失也能导致 $y_{\rm eff}$ 的降低，特别对于大星系的小质量卫星系来说，这种情况更为重要。由于矮星系气体比大质量星系更容易剥离，就有可能出现小质量星系 $y_{\rm eff}$ 低的现象。从本星系群中的大、小麦哲伦云即可看到潮汐剥离的作用。 1993 年 Mulchaey 等人 [50] 首次在包含 NGC 2300 的小星系群中发现了弥散分布的热的群内介质，尽管这种介质的密度比其它星系团中的介质密度低，但也能明显影响到群内位于边界附近的星系。例如，其中的旋涡星系 NGC 2276 在光学和射电波段的不对称形态表明，它正受到星系群内介质的碰撞。 2002 年， Bureau 和 Carignan [51] 用 Holmberg II 作为矮星系气体剥离的例子，指出即使位于 M81 所在星系群的边界，气体剥离作用同样存在。另外， IC 10 也可能有这种情况。但是，星系气体的剥离都发生在星系团 (群) 中，这是一种环境因素。需要指出的是， Garnett [18] 讨论的矮星系相对来说是孤立的，因而可以不考虑气体剥离所导致的 $y_{\rm eff}$ 下降。

4 结 语

分析晚型星系 (包括旋涡星系和不规则星系) 金属丰度与自转速度 (总质量) 间的关系，对理解星系形成与演化具有重要的意义。 Dekel 和 Silk [22] 就是通过对这种关系的解释成功地预测了暗物质及星系形成的一些属性。我们对星系金属丰度与星系宏观性质 (包括自转速度) 之间的关系作了系统的介绍，并详细讨论了目前对此类关系的各种可能的物理解释，指出星系气体外流可能是导致这种关系的主要因素。但由于观测上的限制，有关星系金属丰度与自转速度 (总质量) 间关系的分析存在较大的弥散。例如，在测定氧丰度时，并没有考虑混入金属氧化物及硅酸盐颗粒中的氧；在确定分子气体含量时，用 CO 分子来追踪 H_2 分子含量以及星系中恒星成分质光比的不确定性等，都增加了研究结果的不确定性。随着观测技术的提高以及样本的增加，星系金属丰度与星系宏观性质间的关系将会更清楚，相应的物理模型也会在今后的研究工作中得到进一步完善。

参考文献：

[1] Faber S M. ApJ, 1973, 179: 731
[2] Mould J R. PASP, 1984, 96: 773
[3] Lequeux J, Peimbert M, Rayo J F *et al.* A&A, 1979, 80: 155
[4] Skillman E D, Kennicutt R C, Hodge P W. ApJ, 1989, 347: 875
[5] Searle L. ApJ, 1971, 168: 327
[6] Kwitter K B, Aller L H. MNRAS, 1981, 195: 939
[7] Dufour R J, Talbot R J Jr, Jensen E B *et al.* ApJ, 1980, 236: 119
[8] Smith H E. ApJ, 1975, 199: 591
[9] Shaver P A, McGee R X, Newton L M *et al.* MNRAS, 1983, 204: 53
[10] Blair W P, Kirshner R P, Chevalier R A. ApJ, 1982, 254: 50
[11] Hawley S A, Phillips M M. ApJ, 1980, 235: 783
[12] Garnett D R, Shields G A. ApJ, 1987, 317: 82
[13] Brodie J P, Huchra J P. ApJ, 1991, 379: 157
[14] Zaritsky D, Kennicutt R C Jr, Huchra J P. ApJ, 1994, 420: 87
[15] Roberts M S, Waynes M P. ARA&A, 1994, 32: 115
[16] de Jong R S, Lacey C. ApJ, 2000, 545: 781
[17] Garnett D R, Shields G A, Skillman E D *et al.* ApJ, 1997, 489: 63
[18] Garnett D R. ApJ, 2002, 581: 1019
[19] Fisher J R, Tully R B. A&A, 1975, 44: 151
[20] Kennicutt R C Jr. ApJ, 1998, 498: 541
[21] McGaugh S S, de Blok W J G. ApJ, 1997, 481: 689
[22] Dekel A, Silk J. ApJ, 1986, 303: 39
[23] Martin C L. ApJ, 1999, 513: 156
[24] Heckman T M, Armus L, Miley G K. ApJS, 1990, 74: 833
[25] Meurer G R, Freeman K C, Dopita M A *et al.* AJ, 1992, 103: 60
[26] Matin C L. ApJ, 1996, 465: 680
[27] Della Ceca R, Griffiths R E, Heckman T M *et al.* ApJ, 1996, 469: 662
[28] Bomans D J, Chu Y H, Hopp U. AJ, 1997, 113: 1678
[29] Forbes D A, Polehampton E, Stevens I R *et al.* MNRAS, 2000, 312: 689
[30] Heckman T M, Lehnert M D, Strickland D K *et al.* ApJS, 2000, 129: 493
[31] Pettini M, Samantha A R, Steidel C C *et al.* ApJ, 2002, 569: 742
[32] Pettini M, Shapley A E, Steidel C C *et al.* ApJ, 2001, 554: 981
[33] Pettini M, Steidel C C, Adelberger K L *et al.* ApJ, 2000, 528: 96
[34] Adelberger K L, Steidel C C, Shapley A E *et al.* ApJ, 2003, 584: 45
[35] Dawson S, Spinrad H, Stern D *et al.* ApJ, 2002, 570: 9
[36] Efstathiou G. MNRAS, 2000, 317: 697
[37] MacLow M M, Ferrara A. ApJ, 1999, 513: 142
[38] Strickland D K, Stevens I R. MNRAS, 2000, 314: 511
[39] Shu C G, Mo H J, Mao S. 2003, preprint(astro-ph/0301035)
[40] Smail I, Chapman S C, Ivison R J *et al.* 2003, preprint(astro-ph/0303128)
[41] Schmidt M. ApJ, 1963, 137: 758
[42] Searle L, Sargent W L W. ApJ, 1972, 173: 25
[43] Maeder A. A&A, 1992, 264: 105
[44] Woosley S E, Weaver T A. ApJS, 1995, 101: 181
[45] Edmunds M G. MNRAS, 1990, 246: 678
[46] Kobulnicky H A, Skillman E D. ApJ, 1995, 454: L121

[47] Turner J L, Beck S C, Hurt R L. ApJ, 1997, 474: L11
[48] Wilcots E D, Miller B W. AJ, 1998, 116: 2363
[49] Köppen J, Edmunds M G. MNRAS, 1999, 306: 317
[50] Mulchaey J S, Davis D A, Mushotzky R F *et al.* ApJ, 1993, 404: L9
[51] Bureau M, Carignan C. AJ, 2002, 123: 1316

Metallicity vs Rotation Velocity in Late-Type Galaxies

LUO Zhi-jian[1,2], FU Li-ping[3], SHU Cheng-gang[1,3], ZHAO Jun-liang[1]

(*1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China; 2. Physics Department, Jiangxi Normal University, Nanchang 330027, China; 3. Shanghai United Center for Astrophysics, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China*)

Abstract: The studies on the chemical abundances in galaxies are very important to understand the physical processes in galaxy formation and evolution, and to provide strong constraints on its framework. With the advantage of observation techniques and theoretical researches, systematic investigations on the relationships between metallicity and macroscopic properties in galaxies are possible, among which the strong correlation between metallicity and galaxy luminosity of galaxies is one of the most significant phenomena. However, recent researches have shown that the correlation of metallicity vs rotation velocity for spiral and irregular galaxies has no such noticeable phenomena. There seems to be a critical value in rotation velocity, below which the metallicity increases with rotation velocity, and above which the metallicity is almost constant. In the present paper, we summarize in detail the observed correlation between metallicity and rotation velocity for spiral and irregular galaxies, and the physical mechanisms are also discussed.

Key words: astrophysics; late-type galaxy; review; galaxy; metallicity; rotation velocity