

# 快速射电暴寄主星系色散量的估计\*

白东方<sup>†</sup>

(中国科学技术大学物理学院天文学系 合肥 230026)

**摘要** 定位快速射电暴(Fast Radio Burst, FRB)以及确认其寄主星系至今仍是一个具有挑战性的难题,截至2021年4月已确认13个快速射电暴的寄主星系,其中只有3个重复暴,其余都是非重复暴.快速射电暴的寄主星系对快速射电暴起源的探索起着非常重要的作用,约束着快速射电暴前身星模型.对这些已确认寄主星系的FRB进行研究,发现FRB寄主星系对色散量(Dispersion Measure, DM)的贡献在一定范围内波动( $0-240 \text{ pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),并且寄主星系对DM的贡献与寄主星系的性质(恒星形成率、金属丰度)也可能具有关联性.寄主星系恒星形成率、金属丰度与色散量的统计关系对FRB邻近环境的研究有着重要意义.

**关键词** 星系: 丰度, 星系: 星际介质, 暗能量, 方法: 数值计算

中图分类号: P162; 文献标识码: A

## 1 快速射电暴的简介

快速射电暴(Fast Radio Burst, FRB)是一种非常亮的、毫秒时标的瞬态射电发射现象. Lorimer等人在2007年首次发现FRB 010724,截至2021年4月已公布超过110个FRB<sup>[1]</sup>.从观测上来看,快速射电暴分为重复快速射电暴与非重复快速射电暴,截至2021年4月观测到的重复射电暴约为20个. FRB 121102是由Arecibo望远镜观测到的第1个重复暴,之后大部分重复暴通过CHIME (Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment)望远镜观测到.其余非重复暴的观测主要来自于GBT (Green Bank Telescope)、Parkes、UTMOST (An Upgrade of the Molonglo Observatory Synthesis Telescope)、ASKAP (Australian Square Kilometre Array Pathfinder)、CHIME、FAST (Five-hundred-meter Aper-

ture Spherical radio Telescope)等望远镜.快速射电暴首先在400 MHz–8 GHz频率范围内被观测到<sup>[2]</sup>,随后在FRB 180916. J0158+65的观测中,频率下降至300 MHz,意味着在300 MHz之下存在一个截止频率或反转,这或许可以用来约束FRB的辐射机制<sup>[3]</sup>.

快速射电暴的物理起源与辐射机制现在仍然不清楚,因此大量的前身星模型被提出用于解释快速射电暴的起源<sup>2</sup>.提出的快速射电暴前身星模型主要涉及致密天体,包括致密天体的合并(双中子星合并、中子星-白矮星合并、双白矮星合并等)、致密天体坍缩、中子星或磁星的巨脉冲或耀斑、活动星系核(Active Galactic Nucleus, AGN)等<sup>[4]</sup>.这些模型可以被分为两类:非重复暴的灾变模型与重复暴的非灾变模型<sup>[5]</sup>.所以一个关键问题是所观测到的所有快速射电暴是否都是重复的,这对FRB的起源问题有着重要意义.这个问题目前并

2021-04-12收到原稿, 2021-05-06收到修改稿

\*国家自然科学基金项目(11725312)以及SKA专项(2020SKA0120300)资助

<sup>†</sup> bdf95@mail.ustc.edu.cn

<sup>1</sup> <http://frbcat.org>

<sup>2</sup> <https://frbtheorycat.org>

不清楚, 只是在一些非重复暴的后续观测中探测到射电脉冲, 发现是重复暴. 近期, CHIME望远镜首次发现重复射电暴FRB 180916. J0158+65的到达时间具有16.35 d的周期, 周期性的发现为FRB的起源和发射机制提供了非常重要的线索<sup>[6]</sup>. 因此为解释此源的周期性而提出的模型有两种: 双星的轨道运动(中子星-OB型星、中子星-白矮星等)以及磁星的自由进动. 目前为止, 已确定具有周期性的快速射电暴是FRB 180916. J0158+65, 但是Lovell望远镜又发现重复暴FRB 121102存在157 d的准周期或暂定的试探性周期<sup>[7]</sup>.

快速射电暴被认为是起源于银河系之外, 射电脉冲从河外传播到地球在等离子体中的传播存在色散, 使不同频率信号的到达时间存在延迟<sup>[2]</sup>. 因此这种延迟与色散量(Dispersion Measure, DM)有关, DM定义为沿着给定视线方向上自由电子密度的积分:

$$DM = \int_0^d n_e dl, \quad (1)$$

单位:  $\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 在上述表达式中 $n_e$ 是自由电子密度,  $l$ 是给定视线方向上的路径长度,  $d$ 是快速射电暴距观测者的距离. 目前已公布的快速射电暴的色散量( $DM_{\text{obs}}$ )在100–2600  $\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ 范围之内, 银河系晕对色散量( $DM_{\text{halo}}$ )贡献范围是50–80  $\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ <sup>[8]</sup>, 或者30  $\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ <sup>[9]</sup>. FRB色散量( $DM_{\text{obs}}$ )远超相同视线方向银河系电子造成的色散量, 因此快速射电暴被认为是河外源. 但是使用CHIME望远镜、INTEGRAL (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory)卫星以及STARE2 (Survey for Transient Astronomical Radio Emission 2)探测到来自银河系内的磁星SGR1935+2154的毫秒时标射电脉冲, 并且Insight-HXMT (Hard X-ray Modulation Telescope)卫星几乎同时探测到X射线暴<sup>[10]</sup>. 首次多波段探测到的射电对应体发射的射电脉冲如果是快速射电暴, 不仅将快速射电暴延伸至河内, 同时也表明磁星至少是某些FRB的前身星.

FRB寄主星系的定位以及寄主星系的性质是探索FRB起源的重要线索. Heintz等人在2020年

<sup>3</sup><https://frbhosts.org>

已经公布13个已确定寄主星系的FRB<sup>[11]</sup><sup>3</sup>. 已确定的寄主星系其星系类型、性质等呈现多样性, 全部为河外星系, 而且FRB在寄主星系中的位置并不位于星系中心, 而是距星系中心有一段距离. 例如, FRB 121102的寄主星系是一个低质量( $\sim 10^8 M_{\odot}$ )、低金属丰度的产星矮星系<sup>[12]</sup>, 不同于其他FRB的大质量( $10^9$ – $10^{10} M_{\odot}$ )、高金属丰度的寄主星系(如FRB 190608, FRB 180924等). 在BPT (Baldwin-Phillips-Terlevich)图中, 这些大质量寄主星系大多数位于低电离星系核, 与FRB 121102位于恒星形成区明显不同<sup>[11]</sup>. 寄主星系的多样化意味着FRB的起源可能涉及不同种类的前身星. 研究分析FRB寄主星系的性质有助于约束FRB起源, 因此本篇文章主要计算了FRB寄主星系对色散量的贡献以及分析寄主星系的相关性质.

## 2 理论模型

快速射电暴的色散量包含以下部分<sup>[13]</sup>:

$$DM_{\text{obs}} = DM_{\text{ISM}} + DM_{\text{halo}} + DM_{\text{IGM}} + DM_{\text{host}}, \quad (2)$$

$DM_{\text{ISM}}$ 是银河系星际介质对色散量的贡献, 假定银晕对色散量的贡献为30  $\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ <sup>[9]</sup>.  $DM_{\text{IGM}}$ 是星系际介质对色散量的贡献,  $DM_{\text{host}}$ 是寄主星系对色散量的贡献(包含寄主星系的星际介质与FRB源附近的等离子体). 目前, 我们对FRB寄主星系的色散量的贡献 $DM_{\text{host}}$ 并不是十分清楚, 而 $DM_{\text{host}}$ 依赖于寄主星系的星系类型、FRB在寄主星系中的位置、星系盘的倾角以及FRB源附近的等离子体等诸多因素<sup>[14]</sup>. 因此利用寄主星系直接计算 $DM_{\text{host}}$ 是非常困难的, 我们可以先计算出 $DM_{\text{IGM}}$ , 再用(2)式间接去计算 $DM_{\text{host}}$ . 星系际介质(Intergalactic Medium, IGM)主要由氢(H)和氦(He)组成, 并且局部非均匀. 在不同视线方向上 $DM_{\text{IGM}}$ 会有所不同, 在平直宇宙中(空间曲率参数 $\Omega_k = 0$ ), IGM对色散量的平均贡献与红移的关系为<sup>[15–16]</sup>:

$$\langle DM_{\text{IGM}}(z) \rangle = K_{\text{IGM}}$$

$$\int_0^z \frac{\chi_e(z')(1+z')}{\sqrt{\Omega_M(1+z')^3 + \Omega_{DE}(1+z')^{3[1+\omega(z')]}}} dz', \quad (3)$$

$$K_{IGM} = \frac{3cH_0\Omega_b f_{IGM}}{8\pi Gm_p}. \quad (4)$$

$c$ 是光速,  $G$ 是万有引力常数,  $m_p$ 是质子质量.  $H_0$ 是哈勃常数,  $H_0 = 67.36 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ .  $\Omega_b$ 是目前宇宙中重子质量百分比,  $\Omega_b = 0.0493$ .  $f_{IGM}$ 是IGM中重子的质量百分比, 并且随着红移演化<sup>[17]</sup>, 在 $z \leq 0.7$ 时变化幅度不大, 将其视作常数 $f_{IGM} = 0.83$ . 根据(4)式我们计算得到 $K_{IGM} = 928.05 \text{ pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ . 宇宙学参数物质密度参数 $\Omega_M = 0.315$ , 暗能量密度参数 $\Omega_{DE} = 0.685$ <sup>[18]</sup>. 暗能量状态方程参量 $\omega(z)$  (下文中 $\omega(z)$ 简写为 $\omega$ )在不同的暗能量模型中取值不同, 例如在 $\Lambda$ CMD模型中 $\omega = -1$ , 在动力学暗能量模型中随红移演化<sup>[19]</sup>,  $\omega < -1$ .

$\chi_e$ 是氢和氦总的电离度, Hashimoto等人考虑了3个不同的宇宙再电离历史, 分别是Tanh再电离历史、非对称再电离历史以及双重再电离历史<sup>[20]</sup>. 在这3个电离历史中, 红移 $z < 6$ 时氢的电离度与红移 $z < 3$ 时氦的电离度随红移演化基本一致, 几乎完全电离. 这3个电离历史在这个红移范围内对 $DM_{IGM}$ 的影响可以忽略, 因此我们得到 $\chi_e(z) \simeq \frac{7}{8}$ . 但是当红移超过这个范围时, 氢与氦的电离度分别在3个电离历史情况下随红移的演化差异甚大.

我们采用(3)式计算IGM色散量, 但是也有人通过模拟去计算星系际介质或者寄主星系的色散量. 如Zhang等人用IllustrisTNG模拟去计算星系际介质的色散量, 并且与(3)式的计算结果进行了比较, 发现两者基本一致<sup>[21]</sup>. Zhu等人使用宇宙学流体动力学模拟去研究星系际介质及前景星系晕的色散量, 发现两者的色散量的中值是红移的函数, 并且前景星系晕的色散量中值大概是星系际介质色散量中值的 $\frac{1}{3}$ <sup>[22]</sup>. 星系际介质的色散量与红移的关系如图1所示, 黑色虚线代表的中值并没有考虑误差, 但是可以预见其与(3)式的结果有相互重叠的区域.

<sup>4</sup><http://frbcat.org>

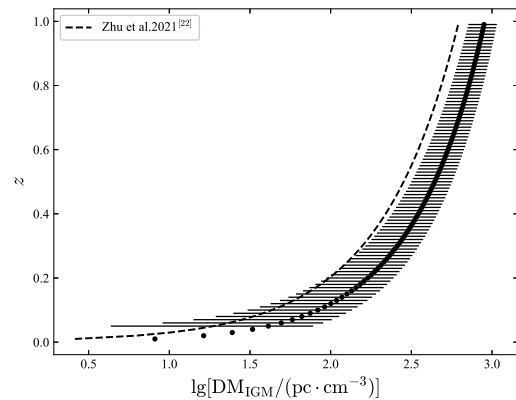


图1 星系际介质的色散量随红移的变化曲线. 黑色的点是(3)、(5)式的计算结果, 黑色水平短横线是误差棒. 黑色虚线来自Zhu等人的拟合函数<sup>[22]</sup>.

Fig. 1 The DM contributions from the intergalactic medium varies with the redshift. The black dots represent the results from Eqs. (3) and (5), the black horizontal short line is the error bar. The black dotted line is the results from Zhu et al.<sup>[22]</sup>

### 3 样本选择与结果

我们选择的FRB寄主星系的数据样本来自Heintz等人2020年公布的13个FRB寄主星系数据<sup>[11]</sup>. 由于FRB 190614的寄主星系的数据并不确定, 所以将之排除在外. 本篇论文选择除去FRB 190614的12个样本. 12个FRB及寄主星系的各种性质包括红移( $z_{FRB}$ )、色散量( $DM_{obs}$ ,  $DM_{ISM}$ )、恒星形成率(Star Formation Rate, SFR)、金属丰度( $Z$ )等都归纳在表1中.  $DM_{obs}$ 和 $DM_{ISM}$ 主要来自于FRB目录网站<sup>[14]</sup>, 其中 $DM_{ISM}$ 是由NE2001模型计算的<sup>[23-24]</sup>.

由(3)式计算得到IGM对色散量的平均贡献( $\langle DM_{IGM}(z) \rangle$ ), 之后根据(2)式间接计算FRB寄主星系对色散量的贡献 $DM_{obs}$ . 由于IGM的不均匀性, 在不同视线方向上, 色散量的真实值会有所不同. 因此平均贡献( $\langle DM_{IGM}(z) \rangle$ )偏离其真实值. 假设星系际介质不均匀性导致 $DM_{IGM}$ 的误差与红移有关, 星系际介质的色散量的标准差( $\sigma(DM)_{IGM}$ )关系为

如下形式<sup>[25]</sup>:

$$\frac{\sigma(\text{DM})_{\text{IGM}}}{\text{DM}_{\text{IGM}}} = \frac{20\%}{\sqrt{z}}. \quad (5)$$

由误差传递公式可知, (2)式中的 $\text{DM}_{\text{IGM}}$ 、 $\text{DM}_{\text{obs}}$ 、 $\text{DM}_{\text{ISM}}$ 以及 $\text{DM}_{\text{halo}}$ 各自取值的误差对 $\text{DM}_{\text{host}}$ 的误差均有贡献. 对于已观测到的FRB,  $\text{DM}_{\text{obs}}$ 误差平均小于 $1 \text{ pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 远小于 $\sigma(\text{DM})_{\text{IGM}}$ , 因此 $\text{DM}_{\text{obs}}$ 对 $\text{DM}_{\text{host}}$ 的误差贡献可忽略不计.  $\text{DM}_{\text{ISM}}$ 以及 $\text{DM}_{\text{halo}}$ 的误差未知, 我们暂时不予考虑.

根据(2)、(3)、(5)式计算得到的 $\text{DM}_{\text{host}}$ 见表2, 因为计算得到的FRB 190611的寄主星系的色散量异常(小于零), 我们剔除了FRB 190611. 在表2中, 可以看到我们计算得到的色散量与其他作者得到的结果在误差范围内有重叠的区域.

接下来研究FRB寄主星系的 $\text{DM}_{\text{obs}}$ 随红移 $z$ 的变化规律. 我们采用多项式拟合的方法, 发现 $\text{DM}_{\text{host}}$ 随着红移 $z$ 的增加在 $0-240 \text{ pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ 范围内波动, 类似于正弦曲线的形式, 拟合结果如图2所示; 而暗能量状态方程参量 $\omega$ 取不同值时即使改变色散量的值, 也并不影响 $\text{DM}_{\text{host}}$ 随红移的演化规律. 相同红移下 $\omega$ 越小 $\text{DM}_{\text{host}}$ 的值也就越小, 只不过 $\text{DM}_{\text{host}}$ 的这种变化在红移 $z > 0.2$ 时才较为明显, 红移较小( $z < 0.2$ )时,  $\omega$ 对寄主星系的色散量的影响可以忽略不计. 图3为暗能量状态方程参量取不同值时FRB寄主星系对色散量的贡献随红移的变化.

$\text{DM}_{\text{host}}$ 不仅随着红移变化, SFR和 $Z$ 对寄主星系的色散量可能也对其有重要影响. 虽然不同的 $\omega$ 值使得 $\text{DM}_{\text{host}}$ 出现扰动, 但 $\omega$ 在 $-1$ 到 $-3$ 范围内并不影响色散量分别随恒星形成率和金属丰度的大致演化趋势, 因此我们只考虑 $\omega = -1$ . 图4是FRB寄主星系色散量与星系性质的关系, 大部分FRB的寄主星系集中于 $\lg \text{SFR} < 0$ 区域, 在此区域中 $\text{DM}_{\text{host}}$ 随恒星形成率先是缓慢上升然后快速下降. 与之不同的是, 少部分FRB (如FRB 191001)的寄主星系恒星形成率非常大, 其中图4 (a)是寄主星系恒星形成率与色散量的关系; 相比于图4 (a), 在图4 (b)中非重复暴寄主星系的 $\text{DM}_{\text{host}}$ 随着 $Z$ 的变化呈现可能的线性相关关系, 相关系数 $\text{Corr}(\text{DM}_{\text{host}}, Z) \approx 0.62$ . 最小二乘法线性拟合

得到金属丰度每增加0.1, 非重复暴的 $\text{DM}_{\text{host}}$ 就增加 $(54.9 \pm 39.8) \text{ pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 置信水平为68.3%. 由于重复暴的样本只有一个, 目前无法得知重复暴寄主星系的色散量随金属丰度的演化规律.

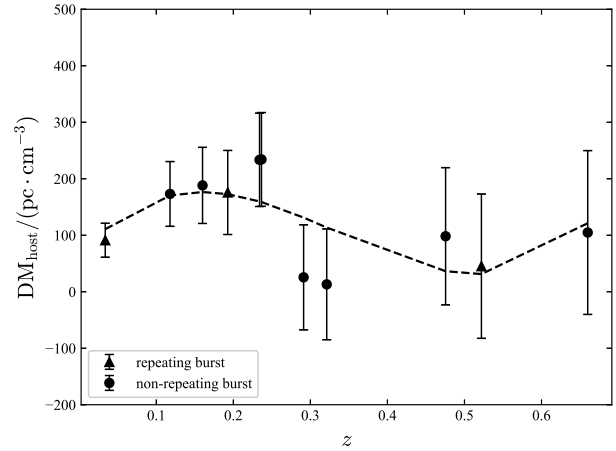


图2  $\omega = -1.0$ 时, FRB寄主星系对色散量的贡献随红移的变化, 黑色三角形分别代表重复暴(FRB 121102、FRB 180916、FRB 190711), 黑色的点代表非重复暴, 黑色虚线是最佳多项式拟合曲线. 拟合曲线大致在 $0-240 \text{ pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ 范围内波动.

Fig. 2 The DM contribution from host galaxy varies with redshift as  $\omega = -1.0$ , and the black triangles represent repeating bursts (FRB 121102, FRB 180916, FRB 190711) and black dots represent non-repeating bursts. The dotted line represents the best fitting curve and fluctuates within certain ranges of  $0-240 \text{ pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

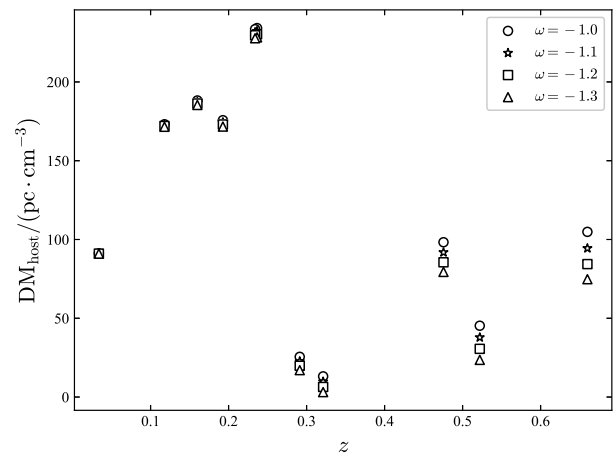


图3  $\omega = -1.0, -1.1, -1.2, -1.3$ 时, FRB寄主星系对色散量的贡献随红移的变化.

Fig. 3 The DM contribution from host galaxy varies with redshift as  $\omega = -1.0, -1.1, -1.2, -1.3$ , respectively.

表 1 FRB 寄主星系的性质  
**Table 1 The properties of the FRB host galaxies**

FRB	$z_{\text{FRB}}$	$\text{DM}_{\text{obs}}/(\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3})$	$\text{DM}_{\text{ISM}}/(\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3})$	$\text{SFR}/(M_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1})$	$Z$
121102	0.1927	$557 \pm 2$	188	$0.15 \pm 0.04$	$< 8.08$
180916	0.0337	$348.76 \pm 0.1$	200	$0.06 \pm 0.02$	–
180924	0.3212	$361.42 \pm 0.06$	40.5	$0.88 \pm 0.26$	$8.93^{+0.02}_{-0.02}$
181112	0.4755	$589.27 \pm 0.03$	42.4 <sup>a</sup>	$0.37 \pm 0.11$	$8.86^{+0.25}_{-0.65}$
190102	0.2912	$363.6 \pm 0.3$	57.3	$0.86 \pm 0.26$	$8.70^{+0.07}_{-0.08}$
190523	0.6600	$760.8 \pm 0.6$	37	$< 0.09$	–
190608	0.1178	$338.7 \pm 0.5$	37.2	$0.69 \pm 0.21$	$8.85^{+0.02}_{-0.02}$
190611	0.3778	$321.4 \pm 0.2$	57.83	$0.27 \pm 0.08$	$8.71^{+0.17}_{-0.28}$
190711	0.5220	$593.1 \pm 0.4$	56.4	$0.42 \pm 0.12$	–
190714	0.2365	504.1 <sup>b</sup>	37.98 <sup>a</sup>	$0.65 \pm 0.20$	$9.03^{+0.04}_{-0.04}$
191001	0.2340	507.9 <sup>b</sup>	44.7 <sup>a</sup>	$8.06 \pm 2.42$	$8.94^{+0.05}_{-0.05}$
200430	0.1600	380.0 <sup>b</sup>	27.02 <sup>a</sup>	$\sim 0.2$	–

<sup>a</sup> DM of FRB 181112 contributed by ISM in the Milky Way from FRB catalogue website (<http://frbcatalog.org>) differs from the values which we calculated using NE2001 model. And  $\text{DM}_{\text{ISM}}$  of FRB 190714, FRB 191001, FRB 200430 cannot be found in the FRB catalogue website, and we calculate the values by NE2001 model (<https://github.com/FRBs/FRB>);

<sup>b</sup>  $\text{DM}_{\text{obs}}$  of FRB 190714, FRB 191001, FRB 200430 are taken from FRB host database (<http://frbhosts.org>).

表 2 FRB 寄主星系的色散量  
**Table 2 DM contributions from the host galaxies of FRBs**

FRB	$\text{DM}_{\text{host}}/(\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3})^{\text{c}}$	$\text{DM}_{\text{host}}/(\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3})$	
		Value	Reference
121102	$175.71 \pm 74.40$	55–225	Tendulkar et al. <sup>[26]</sup>
180916	$91.16 \pm 30.07$	$< 70$	Marcote et al. <sup>[27]</sup>
180924	$13.12 \pm 98.03$	30–81	Bannister et al. <sup>[28]</sup>
181112	$98.26 \pm 121.41$	–	–
190102	$25.52 \pm 92.95$	–	–
190523	$104.84 \pm 145.00$	$< 150$	Ravi et al. <sup>[29]</sup>
190608	$173.13 \pm 57.32$	$137 \pm 43$	Chittidi et al. <sup>[30]</sup>
190711	$45.26 \pm 127.74$	–	–
190714	$234.18 \pm 83.05$	–	–
191001	$233.48 \pm 82.58$	–	–
200430	$188.23 \pm 67.38$	–	–

<sup>c</sup> The values that we calculated in this paper.

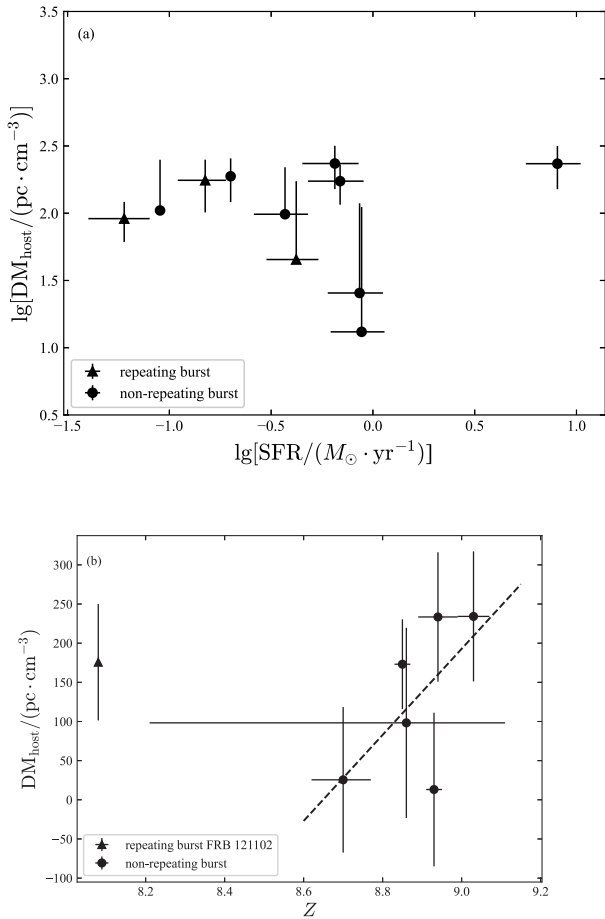


图 4  $\omega = -1$  时,  $DM_{\text{host}}$  与 FRB 寄主星系性质的联系. (a)  $DM_{\text{host}}$  随恒星形成率在  $\lg DM_{\text{host}} - \lg \text{SFR}$  图上的变化, 黑色三角形分别代表重复暴 (FRB 121102, FRB 180916, FRB 190711), 黑色的点代表非重复暴; (b)  $DM_{\text{host}}$  随金属丰度的变化, 黑色三角形代表重复暴 FRB 121102, 黑色的点代表非重复暴.

Fig. 4 The  $DM_{\text{host}}$  varies with properties of host galaxy as  $\omega = -1$ . (a) the  $DM_{\text{host}}$  varies with SFR in the  $\lg DM_{\text{host}} - \lg \text{SFR}$  relation, the black triangles represent repeating bursts (FRB 121102, FRB 180916, FRB 190711) and black dots represent non-repeating bursts; (b) the  $DM_{\text{host}}$  varies with metallicity, the black triangle represents repeating burst FRB 121102, and black dots represent non-repeating bursts.

## 4 总结讨论

在上面的计算中,  $DM_{\text{host}}$  在我们考虑到的误差范围内随  $z$  的变化并不是线性关系, 而是在一定范围内波动. 由于目前已确认寄主星系的 FRB 太

少, 我们无法得知这种波动是否随红移的增加而持续下去. 寄主星系色散量不仅与红移有关, 也依赖于寄主星系本身的性质, 如 SFR 和  $Z$ . FRB 寄主星系在  $\lg DM_{\text{host}} - \lg \text{SFR}$  图内大部分聚集于  $\lg \text{SFR} < 0$  的区域, 在这个区域中色散量先缓慢增加再快速下降, 小部分 (如 FRB 191001) 寄主星系在该区域之外. 由于重复暴样本太小, 因此在  $\lg DM_{\text{host}} - \lg \text{SFR}$  图内没有发现重复暴与非重复暴明显的差异性; 非重复暴  $DM_{\text{host}}$  与金属丰度之间呈现可能的线性相关性. 同样由于样本太小, 我们无法确定这种可能的线性相关是否存在. 虽然重复暴 FRB 121102 在图 4 (b) 中位于拟合曲线之外, 但同样由于重复暴样本太小, 非重复暴与重复暴可能具有差异性, 但并不是十分确定.

Jaroszyński 采用更为复杂的 IllustrisTNG 模拟研究寄主星系的  $DM_{\text{host}}$ , 并且得到  $DM_{\text{host}}$  随红移演化而增加<sup>[31]</sup>. 结果与本篇论文不同. 我们采用更加简单直接的一种模型, 根据 (3) 式计算得到的 ( $DM_{\text{IGM}}$ ) 是各个方向上的平均值, 由于星系际介质在不同方向上的不均匀性, 平均值 ( $DM_{\text{IGM}}$ ) 与各个方向上的实际  $DM_{\text{IGM}}$  值有所偏差<sup>[15-16]</sup>. 但是因目前已确认寄主星系的重复暴与非重复暴太少, FRB 的红移范围太窄, 无法得知不同的电离历史在更大的红移范围内对色散量有怎样影响, 并且样本太小不足以完全反映  $DM_{\text{host}}$  随红移  $z$  的演化规律.  $DM_{\text{host}}$  分别随恒星形成率与金属丰度的变化同样受限于样本大小. 在未来几年中, 随着更多的 FRB 寄主星系被观测确认,  $DM_{\text{host}}$  随红移的演化及与寄主星系本身性质之间的联系将得到进一步检验.

**致谢** 非常感谢袁业飞导师对工作的指导, 感谢审稿人对本工作提出修改意见.

## 参考文献

- [1] Lorimer D R, Bailes M, McLaughlin M A, et al. Science, 2007, 318: 777
- [2] Petroff E, Hessels J W T, Lorimer D R. A&ARv, 2019, 27: 4
- [3] Chawla P, Andersen B C, Bhardwaj M, et al. ApJ, 2020, 896: L41

- [4] Platts E, Weltman A, Walters A, et al. PhR, 2019, 821: 1
- [5] Li B, Li L B, Zhang Z B, et al. International Journal of Cosmology, Astronomy and Astrophysics, 2019, 1: 22
- [6] The CHIME/FRB Collaboration. Nature, 2020, 582: 351
- [7] Rajwade K M, Mickaliger M B, Stappers B W, et al. MNRAS, 2020, 495: 3551
- [8] Prochaska J X, Zheng Y. MNRAS, 2019, 485: 648
- [9] Dolag K, Gaensler B M, Beck A M, et al. MNRAS, 2015, 451: 4277
- [10] Li C K, Lin L, Xiong S L, et al. NatAs, 2021, 5: 378
- [11] Heintz K E, Prochaska J X. ApJ, 2020, 903: 152
- [12] Bassa C G, Tendulkar S P, Adams E A K, et al. ApJ, 2017, 843: L8
- [13] Deng W, Zhang B. ApJ, 2014, 783: L35
- [14] Yang Y P, Zhang B. ApJ, 2016, 830: L31
- [15] Zhou B, Li X, Wang T, et al. PhRvD, 2014, 89, 107303
- [16] Gao H, Li Z, Zhang B. ApJ, 2014, 788: 189
- [17] Qiang D C, Wei H. JCAP, 2020, 2020: 023
- [18] Aghanim N, Akrami Y, Ashdown A, et al. A&A, 2020, 641: A6
- [19] Zhao G B, Raveri M, Pogosian L, et al. NatAs, 2017, 1: 627
- [20] Hashimoto T, Goto T, Lu T Y, et al. MNRAS, 2021, 502: 2346
- [21] Zhang Z J, Yan K, Li C M, et al. ApJ, 2021, 906: 49
- [22] Zhu W S, Feng L L. ApJ, 2021, 906: 95
- [23] Cordes J M, Lazio T J W. arXiv:astro-ph/0207156
- [24] Cordes J M, Lazio T J W. arXiv:astro-ph/0301598
- [25] Linder E V. PhRvD, 2020, 101: 103019
- [26] Tendulkar S P, Bassa C G, Cordes J M, et al. ApJ, 2017, 834: L7
- [27] Marcote B, Nimmo K, Hessels J W T, et al. Nature, 2020, 577: 190
- [28] Bannister K W, Deller A T, Phillips C, et al. Science, 2019, 365: 565
- [29] Ravi V, Catha M, D'Áddario L, et al. Nature, 2019, 572: 352
- [30] Chittidi J S, Simha S, Mannings A, et al. arXiv: 2005.13158
- [31] Jaroszyński M. AcA, 2020, 70: 87

## Estimates of the Dispersion Measures Contribution from Fast Host Galaxies of Radio Bursts

BAI Dong-fang

(Department of Astronomy, School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

**ABSTRACT** Thirteen FRBs (Fast Radio Bursts) with identified host galaxies have been published so far, among them three are repeating and the rest are non-repeating. And the localization of FRBs and identification of the host galaxies still remain a challenging job today. The host galaxy of FRBs plays a very important role in the exploration of the origin of FRBs, and constraining the model of the progenitor. This paper studies the 13 localized FRBs. We find that the DM (Dispersion Measure) contributions from host galaxy fluctuates within certain range ( $0\text{--}240\text{ pc}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). In addition, the DM contributions from host galaxy are likely correlated with properties of host galaxy (e.g. SFR (Star Formation Rate), metallicity). The statistical association between SFR (metallicity) and DM contributions from host galaxy is of important significance for study of FRBs adjacent environment.

**Key words** galaxies: abundances, galaxies: ISM, dark energy, methods: numerical