

太阳表面震波能量与磁场强度的关系*

温 骁^{1,2†} 刘 煜¹

(1 中国科学院云南天文台 昆明 650011)

(2 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 过去的一系列研究表明在太阳光球表面, 随着纵向磁场的增强, 对应区域所观测到的震波能量随之降低. 为了进一步研究震波和磁场的关系, 使用日震和磁成像仪 (Helioseismic and Magnetic Imager, HMI) 的数据, 通过对视向磁场进行势场外推得到磁场总强度, 与震波能量进行关联. 对一定总磁场区域的 p 模式震波能量拟合可以得到其随总磁场强度而变化的关系. 研究证实了震波能量与磁场总强度有更强关联. 不同活动区的结果表明 p 模式震波能量随着磁场总强度增加而下降的趋势在 500 Gs 以下非常接近, 在 500 Gs 至 1 000 Gs 范围内有略微差别. 并且 p 模式震波能量的对数与总磁场强度有较强的线性相关性. 对比迈克尔逊多普勒成像仪 (Michelson Doppler Imager, MDI) 和 HMI 得到的结果时发现, 虽然 MDI 观测的磁场结果整体会比 HMI 观测结果偏大, 但归一化 p 模式震波能量与磁场强度的关系分析对比结果相差不大.

关键词 太阳: 日震学, 太阳: 太阳黑子, 太阳: 表面磁学

中图分类号: P 182; **文献标识码:** A

1 引言

观测证实太阳光球表面磁场区域的震波能量低于宁静区能量^[1], 这一现象能用震波能量图 (震动速度平方在时间上平均的空间分布) 来表述^[2-4].

我们已经知道了 p 模式震波的振幅在黑子和强磁场区域受到抑制^[1,5-7], p 模式震波的振幅减小是由于磁场对震波能量的吸收^[8], 观测证实频率 5.2 mHz 以下的 p 模式震荡的振幅随着视向磁场的增强而减小^[3,9].

对于黑子中震波能量吸收机制的研究, 可以成为探测黑子磁场光球层以下结构的有力工具^[10]. 只有知道了日震波和太阳内部的各种结构是如何相互作用的, 才能利用日震波探测太阳的内部信息.

对于震波能量在黑子中受到吸收, 公认的解释认为导致能量减少的机制可以分为 3 类: 吸收作用、发射减小作用和局地抑制作用^[11-18]. 这 3 种机制直接反映在度量上表现为得到的震波能量的减少. 使用能量预算模型可以直接度量这 3 类作用对震波能量的影

2012-02-22 收到原稿, 2012-04-23 收到修改稿

* 国家自然科学基金项目 (11078004, 10933003, 11073050) 资助

† wxmerry@ynao.ac.cn

响程度^[19], 同样也发现这 3 类作用参数的较高值与高磁场值有非常强的相关, 说明磁场越强, 震波受磁场的削弱作用也就越强.

声晕是一种在磁场区域边缘观测到的高频震波信号能量增强现象. 这种增强现象被 Braun 等^[2]、Brown 等^[20]与 Toner 等^[21]独立发现. 已有研究证实了这种能量增强出现在被认为是截止频率的高频处, 对于 MDI 数据, 能量增强集中在 50~250 Gs 的中等强度磁场处, 但在 MDI 连续谱数据中却没有发现类似能量增强^[2-3,22].

Hindman 等^[3]使用 MDI 高分辨率模式观测的速度场以及视向磁场数据, 发现太阳表面上任一点的 p 模式震波能量与视向磁场强度有较强关联. 可以清楚地看到随着视向磁场强度的增加, p 模式震波能量有明显的下降. 而 Jain 等^[22]则对 MDI 的震波能量和视向磁场强度数据进行了点对点的对比. 发现: p 模式震波能量在磁场区域受到抑制, 且抑制效果随着视向磁场强度的增加而增加; 高频震波能量在磁场区域外围有所增强, 且仅出现在较弱和中等磁场 (51~300 Gs) 处; 高频震波能量在强磁场处也受到抑制.

在之前的研究中都使用视向磁场强度来区分不同的震波信号^[3,22], 通常认为更强的视向磁场, 就会导致对震波能量更强的吸收. 但是随着矢量磁场的观测, 可以得到磁场总强度. 人们开始认为是由总磁场强度影响震波信号, 也开始使用总磁场来定义宁静区和区分不同震波能量水平^[23]. Gosain 等^[10]则使用 Hinode 观测的矢量磁场数据结合 MDI 的速度场数据对黑子内部的本影、本影半影边界和半影进行了分析, 发现: 对于整个黑子, 震波能量随着磁场总强度增加而下降, 两者间的线性相关系数为 -65%.

本文使用视向磁场的势场外推方法得到总磁场, 发现了磁场总强度对震波能量的影响比视向磁场强度要大. 我们对同一空间和同一时间段的震波能量和磁场总强度进行了点对点的比较, 在同一总磁场强度处对 p 模式震波能量进行了拟合, 得到震波能量随着磁场总强度的变化曲线, 第 1 次发现了不同活动区在磁场小于 500 Gs 时有近乎相同的下降规律, 且该规律十分接近于指数下降. 文中同样对 MDI 和 HMI 两仪器的结果做了对比. 文中第 2 部分介绍了数据来源与预处理, 第 3 部分介绍了数据本身, 第 4 部分阐述了本文结论, 最后第 5 部分做了讨论和结论总结.

2 数据与初始处理

本文使用了由太阳动力学天文台 (Solar Dynamic Observatory, SDO) 卫星上搭载的 HMI 仪器^[24]以及太阳与日球天文台 (Solar and Heliospheric Observatory, SOHO) 卫星上搭载的 MDI 仪器^[25]得到的观测数据. HMI 数据为每 45 s 获得的 4096×4096 像素全日面多普勒速度场和每 12 min 拍摄的视向磁场图. MDI 数据为每 60 s 获得的 1024×1024 像素全日面多普勒速度场和每 96 min 拍摄的视向磁场图.

对于速度场数据的初步处理过程与 Chou 等^[19]的方法相近. 简要介绍如下:

- (1) 对于每个空间点的信号减去其前后共 81 幅 (MDI 数据是 61 幅) 平均值;
- (2) 更正视向 (line of sight, LOS) 效应;
- (3) 在时间频率上滤波以去掉频率低于 1.5 mHz 的震荡信号;
- (4) 每幅全日面图像转换为经度和纬度坐标系;

(5) 移除太阳表面的较差自转效应;

(6) 选取以主要活动区为中心的一个区域, 每幅数据转换成以太阳黑子为中心的 (ϕ, θ) 坐标系统, ϕ 为东西方向, θ 为南北方向. HMI 选取的区域为 ϕ 、 θ 各 30° , 对应 1024×1024 像素, 或者对应于 MDI 选取的区域为 ϕ 、 θ 各 30° , 对应 256×256 像素.

对于该研究所需的磁场, 我们选取与速度场同时时间段的视向磁场数据, 只需进行上述步骤的 2、4、5 与 6 即可切割磁场, 选取为与速度场同样的区域.

3 数据介绍

震波信号中混合了 p 模式频段信号和截止频率以上的震荡信号, 之前的研究将这两种信号分开研究^[3,10,22,26]. 本文中也这两种震波信号区分开来, 在截止频率 5.4 mHz^[27]处截断, 对于每个活动区求得两个震波能量图: p 模式震波与高频震波.

对于总磁场的求取, 我们使用了标准势场外推方法对视向磁场进行外推, 构建矢量磁场, 并计算总磁场强度 $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$. 为尽量保证外推磁场的准确性, 我们选取的活动区满足如下条件: (1) 活动区靠近日面中心; (2) 活动区有中心主黑子; (3) 活动区演化较为缓慢. 但是总要记住外推磁场不是实际磁场的最佳表示^[28], 我们应避免使用较强的磁场, 这些数据通常被认为较为不准确^[23].

文中将活动区时间段内的所有视向磁场数据在时间上求平均得到平均视向磁场, 对所有视向磁场数据均做外推求得总磁场, 并对所有总磁场数据在时间上求平均为平均总磁场. 文中涉及到的 7 个样例活动区数据及参数见表 1, 选取的各活动区 p 模式震波能量图和平均视向磁场图见图 1 及图 2. 文中磁场图颜色棒单位为 Gs.

表 1 文中所用活动区的各个参数

Table 1 Parameters of each active regions used in this article

NOAA	Instrument	Longitude($^\circ$)	Latitude($^\circ$)	Velocity/Magnetic frames	Obs. time length(s)
11084	HMI	0	-19.15	2048/128	2048×45
11092	HMI	0	12.5	2048/128	2048×45
11093	HMI	0	10.5	2048/128	2048×45
11113	HMI	0	16.1	2048/128	2048×45
9056	MDI	0.08	-13.09	1024/11	1024×60
9057	MDI	4.72	13.88	1024/11	1024×60
9129	MDI	0	-5.2	1024/11	1024×60

4 结果

4.1 对活动区 11092 的分析

在活动区 11092 的时间段内, 有 2 048 幅速度场数据和 128 幅视向磁场数据, p 模式震波能量图是由时间频率在 1.5~5.4 mHz 内的震波信号相加而得, 高频震波能量图是由时间频率高于 5.4 mHz 的震波信号相加而得. 平均的视向磁场图是由 128 幅磁场数据在时间上平均而得, 平均总磁场图是由每幅视向磁场数据外推后得到的总磁场数据在时

间上平均而得. 活动区的高频震波能量图和平均总磁场强度图见图 3.

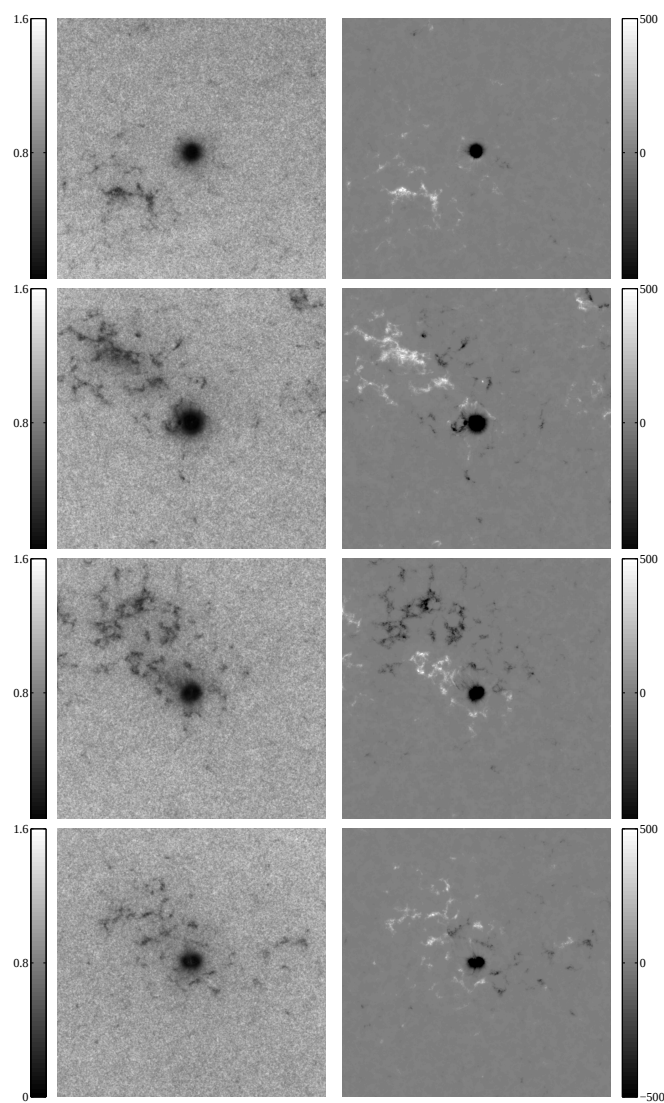


图 1 来自 HMI 的 4 个活动区 p 模式震波能量图 (左) 和视向磁场图 (右). 活动区序号从上到下依次为 NOAA: 11084, 11092, 11093, 11113.

Fig. 1 Power maps (left) and line-of-sight magnetic field (right) of the four active regions from HMI. From top to bottom are NOAA: 11084, 11092, 11093, 11113.

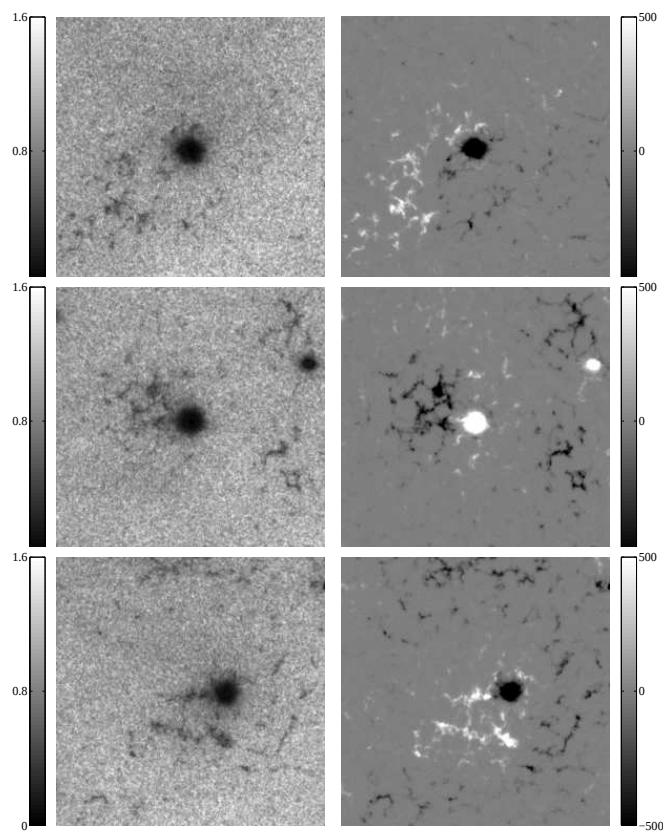


图 2 来自 MDI 的 3 个活动区的 p 模式震波能量图 (左) 和视向磁场图 (右). 活动区序号从上到下依次为 NOAA: 9056, 9057, 9129.

Fig. 2 Power maps (left) and line-of-sight magnetic field (right) of the three active regions from MDI.

From top to bottom are NOAA: 9056, 9057, 9129.

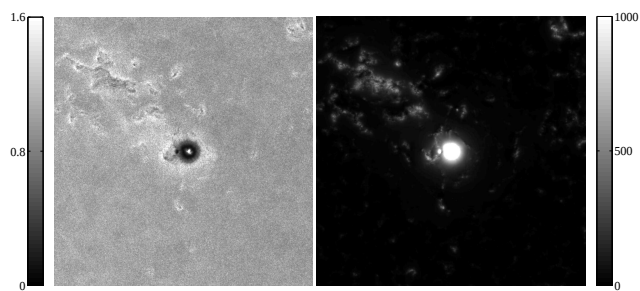


图 3 活动区 11092 的高频震波能量图 (左) 和平均总磁场图 (右)

Fig. 3 The high-frequency power map (left) and the average total magnetic field (right) of NOAA 11092

下面我们定义宁静区: 总磁场强度小于 20 Gs (对于 MDI 数据取 50 Gs) 的区域. 活动区 11092 的宁静区 p 模式震波能量的直方图见图 4(c), 对宁静区 p 模式震波能量的分

布做正态分布拟合可以发现决定系数为 0.998 5, 可见其非常接近于正态分布. 其它震波能量图均按照其对应的宁静区的震波能量进行了归一化.

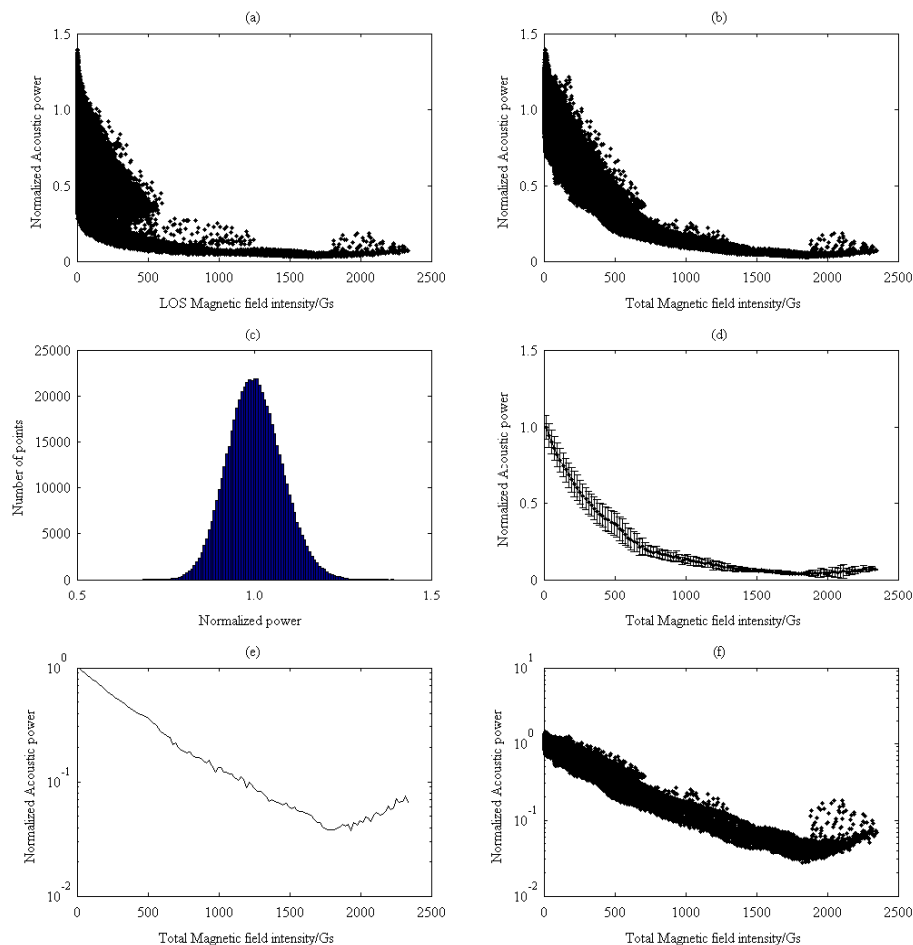


图 4 (a) 归一化的 p 模式震波能量与视向磁场的点对点关系图; (b) 归一化的 p 模式震波能量与总磁场的点对点关系图; (c) 宁静区 p 模式震波能量直方图; (d) 拟合得曲线及其误差; (e) 拟合 p 模式震波能量按对数作图; (f) p 模式能量按对数作图.

Fig. 4 (a) Point-to-point comparison between the normalized p-mode power and the absolute value of the line-of-sight magnetic field intensity; (b) Point-to-point comparison between the normalized p-mode power and the total magnetic field intensity; (c) Histogram of p-mode power in the quiet region; (d) Fitted line and error; (e) Logarithmic plot for the p-mode acoustic power of the fitted line; (f) Logarithmic plot for the p-mode power and the total magnetic field intensity.

从视向磁场数据和 p 模式震波能量图我们可以看出两者之间有这样的关系: 磁场强度越大, p 模式震波能量越低^[22]. 通过点对点的对比, 可以很直接地检查这种关系, 因

为对于太阳光球层表面上的一个点,在某一时刻有一个磁场测量值和 p 模式震波能量测量值.我们将视向磁场的绝对值和总磁场强度分别作为横坐标, p 模式震波能量作为纵坐标画在 2 维坐标系内(图 4(a)~(b)).对比图 4(a) 与图 4(b),可以发现图 4(a) 有一些点既有较低的视向磁场值,又有较低的 p 模式震波能量.对这些点的分析发现这些点的总磁场值是其视向磁场绝对值的 5~6 倍.图 4(a) 中的点在 500 Gs 附近可以明显看出其有两个分布趋势,上部分是来自黑子谱斑的点,下部分是来自黑子本身的点.两个不同趋势表明对于相同视向磁场强度处,磁场对 p 模式震波能量的减小程度不一样,且对于同样的总磁场强度,黑子处的横向磁场强于谱斑处的横向磁场.

通过上述分析可以认定震波能量受磁场总强度影响.为了仔细研究震波能量与磁场总强度的关系,我们用磁场对 p 模式震波能量进行分类,对于一定磁场范围内的 p 模式震波能量求取中值,该中值描述了此磁场范围内的 p 模式震波能量水平.因此用如下方法对数据进行分析:求取一定磁场总强度范围内(对于 HMI 数据选取 20 Gs,对于 MDI 数据选取 50 Gs)的震波能量,取其中值为该磁场总强度对应的震波能量,误差为方差.

我们使用中值方法来求中间能量,这样在计算时可以消除错误的或是偏离太远的能量值对结果造成的影响.在文中所提到的拟合均指震波能量按上述步骤和在一定总磁场范围内取中值.拟合出来的曲线见图 4(d),误差为这些能量的方差.从图 4(e) 可以看出拟合出来的 p 模式震波能量的对数与总磁场强度非常接近于线性关系.我们计算了 p 模式震波能量以及其对数和总磁场的线性 Pearson 相关系数.线性 Pearson 相关系数用来度量两变量之间的线性相关性,给出一个在 -1 和 1 之间的值,其定义为

$$C = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(M_i - \bar{M})}{\sigma_P \sigma_M}, \quad (1)$$

其分子给出 p 模式震波能量 P 与磁场 M 的协方差,分母是 P 和 M 的标准差,分别记为 σ_P 和 σ_M . C 为 1 表示两变量完全线性正相关, C 为 -1 表示两变量完全线性负相关, C 为 0 表示两变量无任何线性相关.结果表明 p 模式震波能量与总磁场强度在 500 Gs 以下、1 000 Gs 以下、2 000 Gs 以下的线性相关系数分别为 -77.68%、-78.76%、-73.84%, p 模式震波能量的对数与总磁场强度在 500 Gs 以下、1 000 Gs 以下、2 000 Gs 以下的线性相关系数分别为 -83.93%、-88.12%、-92.32%.

做了高频震波能量与总磁场的相关后,发现在中间总磁场强度处高频震波能量也出现了增强(图 5).在黑子本影半影边界处也出现对高频震波能量的增强吸收(图 5(a)).

4.2 HMI 4 个活动区结果

我们用同样的方法处理了 HMI 另外 3 个活动区的数据,得到的拟合曲线与活动区 11092 一起显示于图 6.这一序列曲线在 500 Gs 以下几乎重合,在 1 000 Gs 以下也非常接近.各活动区的拟合曲线非常接近,这表明不同活动区的 p 模式震波能量与总磁场强度有相同的关系.

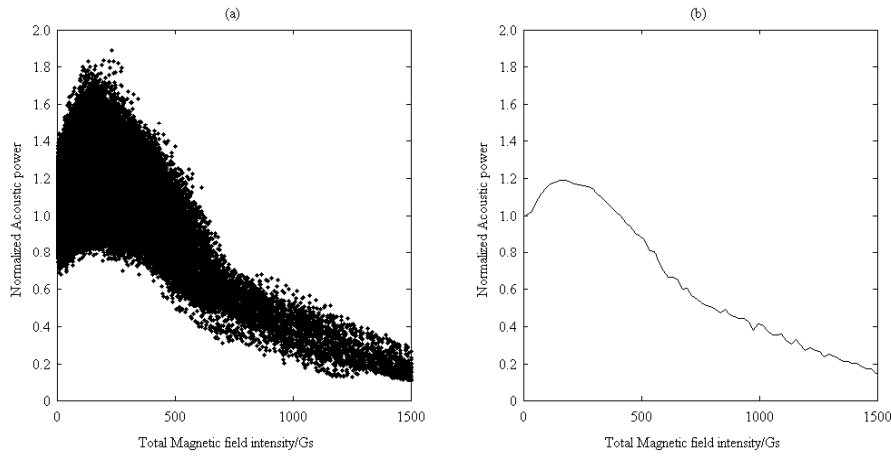


图 5 (a) 活动区 11092 高频震波能量与平均总磁场的点对点作图; (b) 拟合的曲线.

Fig. 5 (a) Point-to-point comparison between the high-frequency accoustic power and the total magnetic field intensity of NOAA 11092; (b) The corresponding fitted line.

为了进一步检查 4 条曲线的相近程度, 需要描述这几条曲线在 500 Gs 和 1 000 Gs 以内的差别, 为此我们计算了另外 3 个活动区结果曲线和活动区 11092 结果曲线的差别, 即定义:

$$R^2 \equiv 1 - \frac{\sum_i (y_i - f_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}, \quad (2)$$

在此情况中 y_i 为参考曲线即活动区 11092 的结果曲线, $\bar{y}$ 为 y_i 的平均值, f_i 为对比曲线, 分别为另外 3 活动区结果曲线, R^2 描述两曲线之间的差别程度, 值为 1 表示完全重合. 活动区 11084、11113、11093 在 500 Gs 以下与 11092 的结果曲线的 R^2 分别为 0.995 5、0.995 4、0.996 4, 在 1 000 Gs 以下结果分别为 0.996 3、0.995 1、0.997 7.

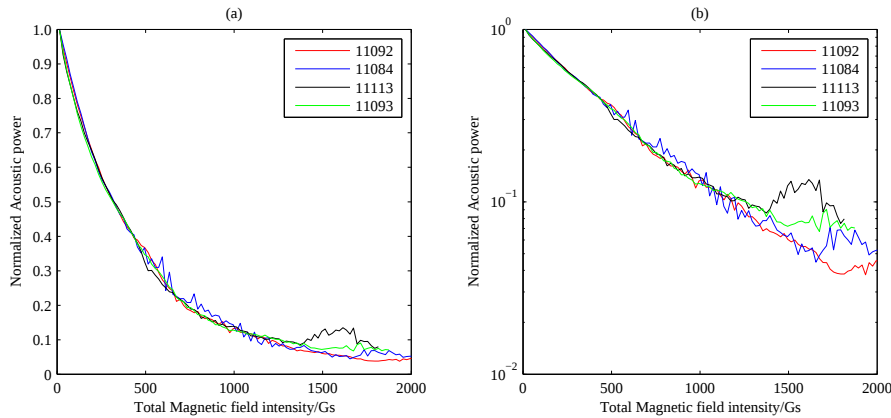


图 6 HMI 4 个活动区拟合的曲线 (a) 及 p 模式震波能量按对数作图 (b)

Fig. 6 (a) The fitted lines of the four HMI active regions; (b) Logarithmic plot for the p-mode acoustic power of the fitted lines.

4.3 HMI 与 MDI 结果对比

我们对 MDI 的 3 个活动区按照上述方法进行了拟合, 并将得到的 p 模式震波能量与磁场总强度的曲线与 HMI 的结果画在一起, 见图 7.

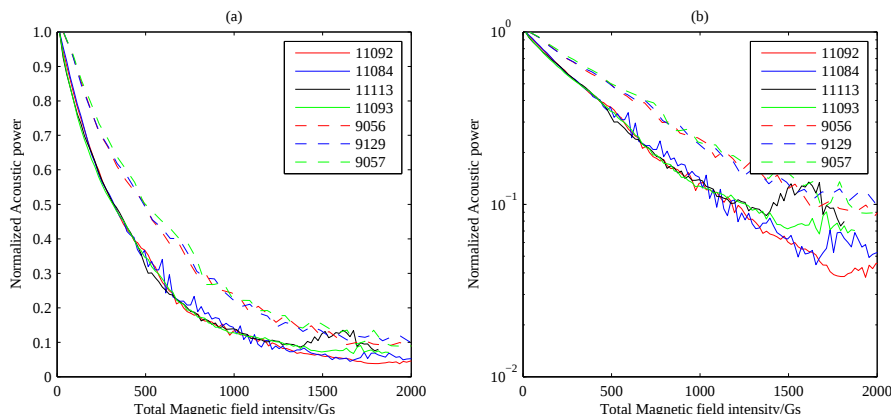


图 7 (a) HMI 4 个活动区和 MDI 3 个活动区拟合的曲线; (b) p 模式震波能量按对数作图.

Fig. 7 (a) The fitted lines of the HMI and MDI active regions; (b) Logarithmic plot for the p-mode acoustic power of the fitted lines.

从图 7 中我们可以看出两点:

(1) 对于 MDI 仪器得到的不同活动区的 p 模式震波能量随磁场总强度变化的曲线也是一致的, 在 500 Gs 以下非常接近, 在 500 Gs 至 1 000 Gs 范围内较为接近. 以活动区 9057 的曲线为基准, 按上述公式计算活动区 9056 和 9129 在 500 Gs 以内的 R^2 分别为 0.984 6 和 0.987 9; 在 1 000 Gs 以内的 R^2 分别为 0.986 9 和 0.991 9.

(2) MDI 的曲线在 HMI 的曲线上方, 这说明 HMI 测量的 p 模式震波能量随磁场总强度下降得较 MDI 的要快, 直接原因是两仪器有不同的测量结果.

为了较为准确地对比两仪器的差别, 我们找到了两仪器都有观测的活动区 11072 的数据. 按照之前数据初始处理时设置相同的中心、大小和输出像素, 分别切割了两仪器的同时时间同区域的视向磁场数据各 9 张, 均为 $30^\circ \times 30^\circ$, 256 像素 $\times$ 256 像素. 由于切割出来的同一活动区的数据在空间上有略微的平移差别, 我们选取其上的一部分, 做了空间上的相关和平移修正, 以确保用于分析的数据对应着太阳表面相同的空间区域. 对两个仪器的视向磁场观测结果进行了点对点的对比, 将 9 张数据的结果叠加在一起, 见图 8(a). 从图中可以看出 MDI 的数据在整体上会比 HMI 的数据数值要大, 很显然更大的视向磁场值, 外推后的总磁场值也会更大. 即在太阳表面同一片区域, MDI 测量的磁场值较高, 说明对于在前面拟合的曲线上, MDI 的曲线会在磁场轴即横轴上向磁场较强方向伸长, 这一点可以解释之前得到的 MDI 的震波能量随磁场总强度变化的曲线在 HMI 的曲线之上.

我们按照与磁场相同的参数, 也截取了两仪器同一时间的速度场数据, 得到 p 模式震波能量图. 将两个 p 模式震波能量图做了和视向磁场一样的相关平移修正, 按照截取的 HMI 同时期视向磁场外推得的平均总磁场进行归一化, 并做和前面一样的拟合, 得到

两仪器 p 模式震波能量图随 HMI 外推总磁场强度的变化曲线, 见图 8(b), 可以看出 MDI 的曲线与 HMI 的曲线接近. 这说明对于同一区域, MDI 观测的经归一化的 p 模式震波能量与 HMI 的观测结果相近.

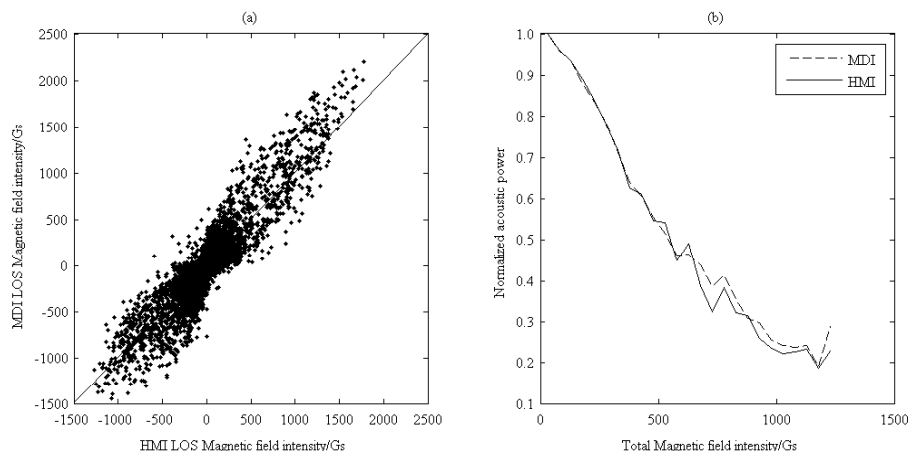


图 8 (a) HMI 和 MDI 视向磁场的点对点作图. 横坐标和纵坐标分别为 HMI 和 MDI 数据, 中间实线表示 $y=x$; (b) 两仪器观测的 p 模式震波能量的拟合曲线.

Fig. 8 (a) Point-to-point comparison between the HMI and MDI line-of-sight magnetic field intensity. The abscissa and ordinate represent the HMI and MDI data, respectively. The solid line represents $y=x$; (b) The fitted lines of the p-mode power observed from the two instruments.

5 结论与讨论

我们使用了 HMI 和 MDI 的同一时间观测的速度场和磁场, 包括 4 个 HMI 活动区和 3 个 MDI 活动区, 旨在得到磁场与震波能量的关系. 我们选取的同一活动区的磁场和速度场数据来自同一个仪器, 避免了不同仪器观测谱线不同带来的差别. 并且同一仪器观测结果在空间点对点对比时更为准确.

震波信号中混合了低频信号、p 模式震波信号和高频信号. 时间频率低于 1.5 mHz 的信号主要是日面流动信息, 我们使用一个在 1.5 mHz 至 2.0 mHz 的 Hann 窗口函数将其滤掉. 剩下的信号在截止频率 5.4 mHz 处被分成两部分, 分别生成两个震波能量图: p 模式震波和高频震波能量图.

总磁场强度由视向磁场外推计算而得. 在强磁场处磁场和速度场的观测都会较不准确, 我们避免将强磁场处的结果纳入我们的结论中来.

通过视向磁场强度和磁场总强度与震波能量的点对点分析, 发现震波能量可以根据磁场总强度进行分类, 即不同总磁场强度对应着不同震波能量水平. 这样引出与视向磁场强度相关的两点结论: 对于视向磁场强度低且 p 模式震波能量低的点, 这些点的横场较强, 不能忽视; 在整个活动区中, 并不是视向磁场越强, p 模式震波能量就越低, 该差别显现在谱斑和黑子之间. 这两点结论较之前的研究结果不同.

我们仔细检查了 p 模式震波能量与总磁场强度的关系. 通过对一定总磁场强度范围

内的 p 模式震波能量取中值, 得到了 p 模式震波能量随着总磁场强度变化的曲线. HMI 4 个活动区的曲线在 500 Gs 以下非常接近, 在 500 Gs 至 1 000 Gs 内曲线之间差别很小. 这样的结果表明同样的总磁场强度对 p 模式震波能量的影响是一样的, 与磁场结构无关. 一旦知道了总磁场强度, 即可知道磁场对 p 模式震波的吸收水平. 不过值得注意的是这些结果只在总磁场强度 500 Gs 以下才足够精确.

对 p 模式震波能量取对数后发现其与总磁场强度的点对点分布较接近线性, 通过计算 p 模式震波能量与总磁场的线性相关性得知在 HMI 活动区 11092, 震波能量与总磁场在 2 000 Gs 以内的线性相关系数为 -73.84%, 这和 Gosain 等^[10]中的 -65% 的结果相比较为接近, 但由于我们使用的活动区范围大, 计算相关时使用的数据量大, 使得我们的结果 -73.84% 较 -65% 略为偏大. 而将震波能量取对数后该线性相关系数变为 -92.32%, 有明显增加, 并且 -92.32% 的线性相关已经非常接近于线性关系了. 对于另外 3 个 HMI 的活动区 11084、11093、11113, 线性相关系数分别为 -84.35%、-89.18%、-83.96%.

对于 MDI 的活动区结果我们同样看到了与 HMI 相近的结果, 只是 MDI 的曲线在 HMI 的曲线上方, 这说明了 HMI 观测的震波能量随磁场总强度下降得要比 MDI 的结果快. 在对 MDI 和 HMI 同一时间、同一空间的视向磁场和速度场的观测结果对比后发现, MDI 观测的磁场要比 HMI 观测的磁场强, 震波能量图和 HMI 的磁场进行对比时, MDI 的 p 模式震波能量与 HMI 的 p 模式震波能量相近. 通过磁场和 p 模式震波能量的比较, 可以解释 MDI 的 p 模式震波能量随磁场总强度变化曲线在 HMI 的曲线之上. 我们认为两仪器的观测结果差别是由于不同的分辨率和不同的定标造成的, 至于其中物理细节则不在本文讨论范围内.

下面总结本文的主要结论:

- (1) p 模式震波能量随着总磁场强度而变化: 总磁场强度越高, 对应 p 模式震波能量越低;
- (2) 对于同一仪器测量的不同活动区的归一化震波能量随磁场总强度变化在 500 Gs 以内近乎一致, 在 500 Gs 至 1 000 Gs 范围内较为一致;
- (3) p 模式震波能量的对数与总磁场强度有很强的线性相关性.

致谢 SOHO/MDI 是一个由 ESA 和 NASA 合建的国际项目. SDO/HMI 数据由斯坦福大学的 HMI 团队提供. 同时衷心感谢台湾国立清华大学周定一教授对本文的建议和一年多以来对温骁同学的悉心指导, 同样也感谢中国科学院太阳活动重点实验室的赵辉副研究员和李静同学参与本文的讨论, 为本文提出诸多意见.

参 考 文 献

- [1] Lites B W, White O R, Packman D. ApJ, 1982, 253: 386
- [2] Braun D C, Lindsey C, Fan Y, et al. ApJ, 1992, 392: 739
- [3] Hindman B W, Brown T M. ApJ, 1998, 504: 1029
- [4] Ladenkov O V, Hill F, Egamberdiev S A, et al. ApJ, 2002, 28: L411
- [5] Leighton R B, Noyes R W, Simon G W. ApJ, 1962, 135: 474
- [6] Tarbell T D, Peri M, Frank Z, et al. ESASP, 1988, 286: 315
- [7] Title A, Topka K P, Tarbell T D. ApJ, 1992, 393: 782
- [8] Cally P S. ApJ, 1995, 451: 721

- [9] Venkatakrisnan P, Kumar B, Tripathy S C. SoPh, 2002, 211: 77
- [10] Gosain S, Mathew S M, Venkatakrisnan P. SoPh, 2011, 268: 335
- [11] Hollweg J V. ApJ, 1988, 335: 1005
- [12] Cally P S, Bogdan T J. ApJ, 1993, 402: 739
- [13] Hindman B W, Jain R, Zweibel E G. ApJ, 1997, 476: 392
- [14] Crouch A D, Cally P S. SoPh, 2005, 227: 1
- [15] Wachter R, Schou J, Sankarasubramanian K. ApJ, 2006, 648: 1256
- [16] Gordovskyy M, Jain R. ApJ, 2008, 681: 664
- [17] Chou D Y, Liang Z C, Yang M H, et al. ApJ, 2009, 695: L106
- [18] Chou D Y, Liang Z C, Yang M H, et al. ApJ, 2009, 255: 39
- [19] Chou D Y, Liang Z C, Yang M H, et al. ApJ, 2009, 690: L23
- [20] Brown T M, Bogdan T J, Thomas J H. ApJ, 1992, 294: L65
- [21] Toner C G, Labonte B J. ApJ, 1993, 415: 847
- [22] Jain R, Haber D. A&A, 2002, 387: 1092
- [23] Schunker H, Braun D C. SoPh, 2010, 268: 349
- [24] Schou J, Scherrer P H, Bush R I, et al. SoPh, 2012, 275: 229
- [25] Scherrer P H, Bogdan R S, Hoesema T, et al. SoPh, 1995, 162: 129
- [26] Nicholas C J, Thompson M J, Rajaguru S P. ESASP, 2004, 559: 590
- [27] Jimenez A, Garcia R A, Palte P L. ApJ, 2011, 743: 99
- [28] Wiegelmann T, Lagg A, Solarnki S K, et al. A&A, 2005, 433: 701

Relation of the Solar Surface Acoustic Power and Magnetic Field Intensity

WEN Xiao^{1,2} LIU Yu¹

(1 *Yunnan Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011*)

(2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*)

ABSTRACT A series of researches have shown that with the increase of the line-of-sight (LOS) magnetic field intensity, the solar surface acoustic power decreases. We use the observed HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) LOS magnetic field intensity and the method of the potential field extrapolation to calculate the total magnetic field intensity, and relate it to the acoustic p-mode power. Using our fitting method, we could get the relationship between the surface acoustic p-mode power and the total magnetic field intensity. It is found from our research that the acoustic p-mode power is strongly related to the total magnetic field intensity. The results of different active regions have shown that the relationship of the normalized p-mode power and the total magnetic field intensity is the same under 500 Gs, and is quite close within the range from 500 Gs to 1000 Gs. Also the logarithm of the p-mode power and the total magnetic field intensity has a very strong linear correlation. We compared the results between the HMI and MDI (Michelson Doppler Imager) instruments. It is found that although the magnetic field measurement of MDI is much higher than that of HMI, the comparison of the relationship between the normalized p-mode power and magnetic field intensity shows a little difference between the HMI and MDI instruments.

Key words sun: helioseismology, sun: sunspots, sun: surface magnetism