

# 能见度与空气质量的关系研究

杨 青, 杨莲梅, 张广兴, 李 霞, 李红军, 霍 文

(中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002)

**摘 要:** 利用 2004 年 1 月~5 月塔克拉玛干沙漠腹地塔中气象站的  $PM_{10}$  和能见度仪自动监测资料, 分析了  $PM_{10}$  的浓度与能见度的关系, 得出它们之间符合幂函数规律, 并研究了沙尘暴发生时  $PM_{10}$  的浓度分布特征, 对不同能见度条件下的  $PM_{10}$  的频率分别用正态、Weibull、Pearson III 型分布进行拟合, 经比较发现 Pearson III 型分布能够比较好的拟合  $PM_{10}$  的实测频率分布。从方差分布的角度, 定义置信区间并反推其出现的概率, 得出弱、中、强沙尘暴的出现频率分别为 60%、25% 和 15%, 从而给出强、中、弱沙尘暴等级的  $PM_{10}$  浓度界限标准。

**关键词:** 沙尘暴等级; 划分标准; 可吸入颗粒物

**中图分类号:** P445.4      **文献标识码:** A

## 1 研究背景及目的

有关沙尘暴强度等级的划分方法已有许多研究和阐述<sup>[1~6]</sup>, 并根据能见度和风速对沙尘暴进行分级, 一般分成弱、中、强的 3 级标准, 也有分成弱、中、强、特强 4 级的, 而中国气象局新的标准将沙尘暴分成沙尘暴和强沙尘暴 2 级, 其判定标准为强风将地面大量尘沙吹起, 使空气很混浊, 水平能见度小于 1 km 的天气现象; 强沙尘暴则是大风将地面尘沙吹起, 使空气非常混浊, 水平能见度小于 500 m 的天气现象。这些标准细化了沙尘暴强度的划分问题, 为客观描述和研究沙尘暴提供了统一的划分条件。

由于这些划分方法所利用的资料大部分是气象站的人工观测数据, 对沙尘暴发生时的空气含尘浓度缺乏一个定量的指标。随着现代自动观测仪器的逐步使用, 高密度、高精度的连续监测沙尘暴物理特征, 建立沙尘暴的沙尘物质含量的标准成为可能。国家环保总局根据沙尘暴出现时空气中沙尘颗粒物浓度的监测结果, 从沙尘浓度水平给出新的沙尘暴强、中、弱标准<sup>[3]</sup>; 在 2 h 采样时间下, 强沙尘暴的标准为大气中总悬浮颗粒物 (TSP) 的质量浓度  $\geq 9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ; 中等沙尘暴的标准为  $9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} > \text{TSP} \geq 6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ; 弱沙尘暴的标准为  $6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} > \text{TSP} \geq 3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。钱正安<sup>[1,7]</sup> 根据在腾格里沙漠边缘的观测结果给出了背景大气、浮尘、扬沙、弱沙尘暴天气时地面空气中 TSP 的平均浓度分别为

$0.083 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $0.356 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $1.206 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $3.955 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。任晰等分析了 2000—2002 年沙尘现象对北京大气中  $PM_{10}$  质量浓度的影响<sup>[8]</sup>。徐鸣等对一次特大沙尘暴对乌鲁木齐市环境空气质量的影响以及  $PM_{10}$  质量浓度进行了分析<sup>[9]</sup>。康晓风等根据对沙尘天气发生过程的可吸入颗粒物监测数据, 提出了沙尘影响指数的概念, 并对我国不同类型城市空气中的可吸入颗粒物来源和沙尘影响程度进行了分析<sup>[10]</sup>。王式功分析了甘肃河西沙尘暴发生时 TSP 和吸入性微粒的分布特征以及对兰州市空气污染的影响<sup>[11]</sup>。杨前进对最近 10 a 发生在我国不同源地、不同等级沙尘暴和浮尘天气的沉降物的粒度资料, 分析了沙尘沉积物粒度与风力、源区覆被状况、距源区距离等因素的关系<sup>[12]</sup>。樊恒文等也分析了沙坡头地区沉降物的粒径分布<sup>[13]</sup>。这些研究都为定量确定沙尘暴的含尘浓度标准打下了基础。但是, 应用可吸入颗粒物 ( $PM_{10}$ ) 浓度进行沙尘暴强度等级划分的研究目前讨论的还很少。

塔克拉玛干沙漠是我国主要的沙尘源地之一, 是沙尘暴的高发区。利用 2004 年 1~5 月塔克拉玛干沙漠腹地塔中气象站的  $PM_{10}$ 、能见度仪自动监测资料, 研究了沙尘暴发生时  $PM_{10}$  的浓度分布特征, 并用理论概率分布函数进行拟合, 根据强、中、弱沙尘暴的出现概率, 尝试从沙尘暴发生时的沙尘浓度分布的角度给出强、中、弱沙尘暴等级的浓度界限标准。

2 资料处理

塔中气象站位于塔克拉玛干沙漠腹地，38°58′ N,83°39′ E 处,海拔1 090 m(图 1)。站内设有美国 TEOM-1400a 型 PM<sub>10</sub> 自动监测仪和芬兰 VAISALA FD12 型能见度仪。PM<sub>10</sub> 与能见度仪的同步观测时间间隔均为 5 min。计算前首先对 PM<sub>10</sub> 原始数据进行检查,并配合能见度仪资料,剔除明显有误的数据(如 PM<sub>10</sub> 的浓度为负值)、缺测以及缺乏代表性的数据后,最终得到 PM<sub>10</sub> 与能见度仪的资料样本数为 34 622 对。

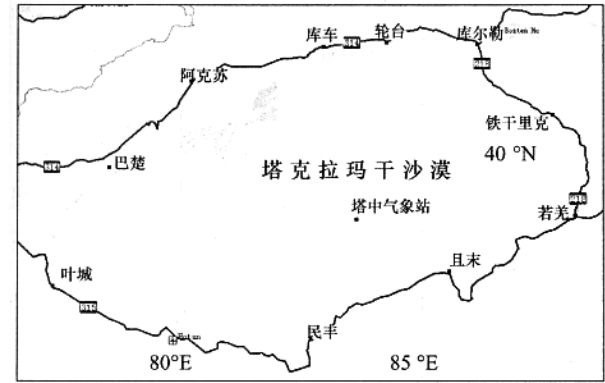


图 1 塔中气象站位置

根据现行沙尘暴观测规范标准,将人工观测与能见度仪的观测结果进行了比较,发现两者存在很大差距,原因是由多方面因素造成的,如能见度的观测方向、人工观测的主观性、仪器的观测误差、故障等都可能是一个重要原因。对能见度仪的资料进行

分析发现,观测中共有 9 次能见度≤500 m 的观测数据,都出现在 1 月,当时并没有雾,对应的 PM<sub>10</sub> 浓度却在 11.0~129.9 μg·m<sup>-3</sup> 之间,明显不合理,这组数据被剔除。除此之外不论 PM<sub>10</sub> 有多高的浓度,能见度仪的观测数据几乎再没有出现≤500 m 的值,这也是非常不合理的。根据在距塔中气象站约 40 km 的 70 号井进行的能见度对比观测表明,人工与仪器的观测结果相差较大,但能见度仪观测值都大于人工观测值,并且两者符合  $y=5.746x^{0.8523}$  的关系( $R^2=0.72$ ,  $y$  为能见度仪观测值,  $x$  为人工能见度观测值)。在能见度≤100 m 时,相差 5~10 倍;在 100~300 m 时,相差 3~6 倍;当能见度≥400 m,相差 1~4 倍。产生差别的原因可能是与人工观测相比仪器测量具有较高的精度。因此,为了与以往人工结果保持一致,把由能见度仪观测的结果放宽,即能见度≤1 500 m 作为发生沙尘暴的标准之一。同时为了进行对比,考虑到发生扬沙、浮尘天气时也可能形成较高的浓度,分别对能见度≤1 500 m、≤3 000 m、≤5 000 m、≤10 000 m 时的 PM<sub>10</sub> 值在 500~1 000、1 000~1 500、1 500~2 000、……、14 500~150 000 μg·m<sup>-3</sup> 不同浓度区间出现的频率进行统计。

3 计算

3.1 能见度与 PM<sub>10</sub> 的关系

对能见度与 PM<sub>10</sub> 的资料进行分析,发现两者存在较好的非线性关系(图 2),可以用下列幂函数表示:

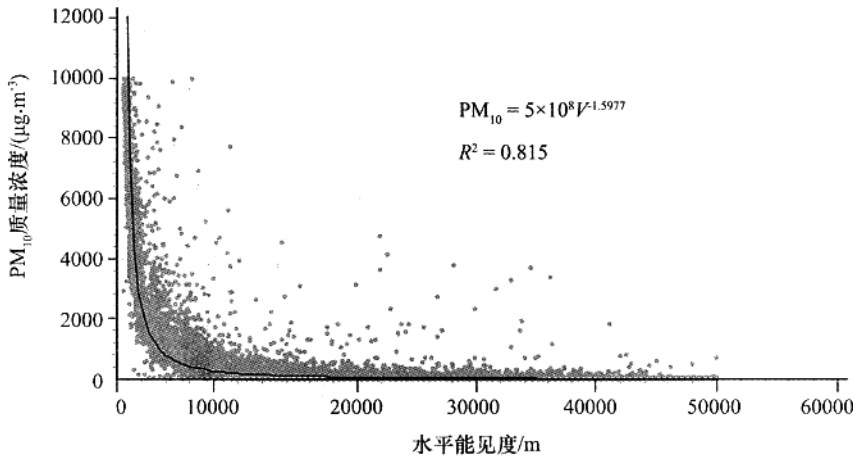


图 2 塔中能见度与 PM<sub>10</sub> 的散布关系

Fig. 2 Relation of visibility and PM<sub>10</sub> in Tazhong station area

$$PM_{10} = 5 \times 10^8 V^{-1.5977}$$

万方数据  $R^2 = 0.815$

(1)

式中: $V$  为能见度(m);PM<sub>10</sub> 的单位是 μg·m<sup>-3</sup>;  $R$  为相关比。可以看出两者的关系还是十分显著的。

由于塔中地区空气干燥,水汽含量很低,观测期间没有雾出现,也没有其他烟雾,影响能见度的因素只有沙尘。当能见度越大时,说明空气也越清洁,PM<sub>10</sub>值就越小;反之,当能见度越小时,说明空气也越浑浊,PM<sub>10</sub>值就越大。因此,根据能见度的大小来推断沙尘暴事件发生时的 PM<sub>10</sub> 浓度分布是完全可行的。

3.2 沙尘暴时 PM<sub>10</sub> 的概率分布函数

对不同能见度条件下的 PM<sub>10</sub> 的频率分别用正态、Weibull、PearsonⅢ型分布进行拟合,经比较发

现 PearsonⅢ型分布能够比较好的拟合 PM<sub>10</sub> 的实测频率分布。

PearsonⅢ型概率密度分布函数  $f(x)$  表示为:

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)}(x - \alpha_0)^{\alpha-1}e^{-\beta(x-\alpha_0)},$$
$$x \geq \alpha_0, \alpha > 0 \tag{2}$$

式中:  $\Gamma(\alpha)$  为  $\Gamma$  函数。

图 3 表示了用 PearsonⅢ型拟合不同能见度条件下的 PM<sub>10</sub> 值概率密度分布曲线,表 1 列出了其密度分布函数的各个参数。

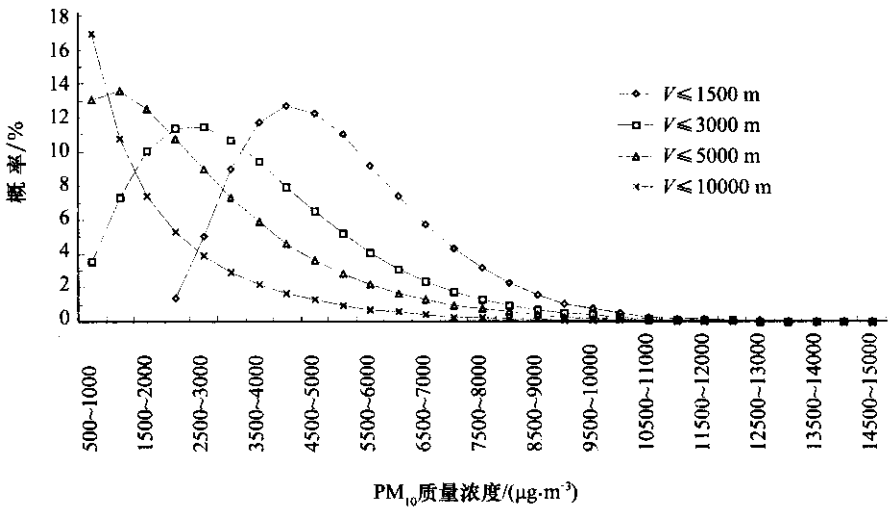


图 3 不同能见度条件下的 PM<sub>10</sub> 概率密度分布函数  
Fig. 3 Probability density distributing function of PM<sub>10</sub> in different visibility

表 1 不同能见度条件下的 PM<sub>10</sub> 概率密度分布函数参数

Tab. 1 Parameters of probability density distributing function of PM<sub>10</sub> in different visibility

能见度/m	样本数	平均值	均方差	变差系数	偏态系数	$\alpha$	$\beta$	$\alpha_0$
≤10 000	15 198	1 296.4	1 694.5	1.307	2.633	0.5769	0.0004	9.3
≤5 000	5 921	2 647.4	2 036.5	0.769	1.555	1.6549	0.0006	27.7
≤3 000	3 589	3 638.3	1 999.5	0.550	1.122	3.1762	0.0009	72.9
≤1 500	1 578	5 205.3	1 756.8	0.337	1.008	3.9403	0.0011	1 718.1

可以看出,塔中地区在发生沙尘天气时空气中 PM<sub>10</sub> 的浓度是非常高的。随着能见度条件的变小,PM<sub>10</sub> 的概率密度分布形态也发生了变化,概率峰值逐步右移,平均值逐步增加,偏态系数和变差系数逐步减小。在能见度≤10 000 m 条件下,PM<sub>10</sub> 概率最大值出现在 500~1 000 μg·m<sup>-3</sup> 的区间内,概率曲线呈现乙型分布;在能见度≤1 500 m 条件下(出现沙尘暴),PM<sub>10</sub> 的概率最大值出现在 4 000~4 500 μg·m<sup>-3</sup> 的区间内,概率曲线呈现铃型分布,为正偏态,已比较接近正态分布,图 4 表示了实际频率与理论频率的拟合情况,PM<sub>10</sub> 浓度在 3 000~6 000 万方数据

μg·m<sup>-3</sup> 区间的概率占到 62% 左右。

3.3 沙尘暴等级的 PM<sub>10</sub> 划分标准

按照一般对沙尘暴强度等级的划分,主要分为弱、中、强 3 级,如果我们知道了各自级别出现的概率,通过在能见度≤1 500 m 条件下得到的 PM<sub>10</sub> 的理论分布可以很容易的推算出各级别浓度的置信限和置信区间,从而确定弱、中、强沙尘暴的 PM<sub>10</sub> 浓度含量界限标准。从有关的研究可以看出,不论何种划分方法,弱→中→强沙尘暴发生的气象条件都是越来越严格,气象要素的界限标准也逐步趋于极端。

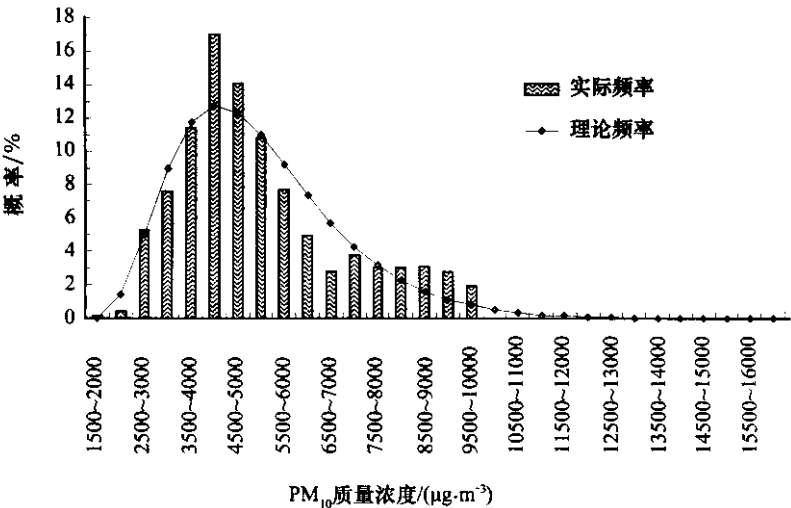


图 4 能见度≤1 500 m 时的 PM<sub>10</sub> 概率密度分布拟合情况

Fig. 4 Fit of probability density distributing of PM<sub>10</sub> when visibility ≤1 500 m

因此，弱、中、强沙尘暴天气发生的频率也应该是由高到低。

根据 Pearson III 型的分布函数概率  $P(x \geq x_p)$  与对应的界限值  $x_p$  的关系：

$$x_p = \bar{x}(\varphi_P C_v + 1) \tag{3}$$

式中： $\varphi_P$  为 Pearson III 型分布曲线离均系数，由偏态系数  $C_s$  和  $P$  确定，已有现成的表可查， $C_v$  为变差系数， $\sigma$  为标准差。由此可得出弱、中、强沙尘暴的出现频率和相应的 PM<sub>10</sub> 浓度界限标准：

弱沙尘暴出现频率  $P(\alpha_0 \leq x < \bar{x}) \approx 60\%$ ，PM<sub>10</sub> 浓度界限标准：1 700~5 200 ( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )；

中沙尘暴出现频率  $P(\bar{x} \leq x < \bar{x} + \sigma) \approx 25\%$ ，PM<sub>10</sub> 浓度界限标准：5 200~7 000 ( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )；

强沙尘暴出现频率  $P(\bar{x} + \sigma \leq x) \approx 15\%$ ，PM<sub>10</sub> 浓度界限标准： $\geq 7\ 000$  ( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )；

根据塔中区地沙尘暴发生的实际情况，这种概率分布的比例还是比较合理的。

4 结果与讨论

确定沙尘暴强度等级是一个值得研究的科学问题，随着越来越多的先进监测仪器投入使用，监测技术水平不断提高，仪器自动监测沙尘暴将逐步取代人工观测沙尘暴，这是科技发展的必然趋势，而 PM<sub>10</sub> 浓度自动监测仪就是监测沙尘暴的一种重要设备。因此，探讨沙尘暴时 PM<sub>10</sub> 浓度分布规律是非常必要和有意义的。虽然风速和能见度常被用来作为沙尘暴强度标准的主要因子，但沙尘暴引起的最直接后果是空气中总悬浮微粒 (TSP) 含量大幅增加，但塔中 TSP 的观测值只有日总量，不能反映出

短时沙尘暴的含尘量浓度的特征和变化，而这种短时沙尘暴对于在沙源地中心的塔中地区来讲是经常出现的。由于 PM<sub>10</sub> 浓度与 TSP 浓度存在正比关系，因此 PM<sub>10</sub> 浓度的分布从另一个方面反映出沙尘暴的某些特征。从 PM<sub>10</sub> 浓度概率分布的角度，给出了强、中、弱沙尘暴等级方法和相应的浓度界限标准，为客观定量描述沙尘暴强度等级提供了依据。由于受资料、地区的限制，该浓度界限标准有一定的局限性，还需要进一步试验分析，进行调整，使其具有更广泛的代表性。从目前来看，在实际过程中仅靠沙尘浓度含量一种方法确定沙尘暴等级还存在许多问题，还必须结合其他人工观测分析方法综合确定，才会更科学、更客观、更合理。

参考文献 (References)：

[1] 杨德保,尚可政,王式功. 沙尘暴[A]. 秦大河主编. 全球变化热门话题丛书[C]. 北京:气象出版社,2003.1-5.

[2] 周自江,章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件(1954—2002年)[J]. 科学通报,2003,48(11):1124-1228.

[3] 矫梅燕,周自江. 中国沙尘暴及其监测预警[J]. 中国工程科学,2003,5(9):1-6.

[4] 徐启运,胡敬松. 我国西北地区沙尘暴天气时空分布特征分析[A]. 方宗义等编. 中国沙尘暴研究[C]. 北京:气象出版社,1997.11-15.

[5] 钱正安,贺慧霞,瞿章,等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征[A]. 方宗义等编. 中国沙尘暴研究[C]. 北京:气象出版社,1997.1-10.

[6] 张广兴,李霞. 沙尘暴观测及分级标准研究现状[J]. 中国沙漠,2003,23(5):586-591.

[7] 钱正安,宋敏红,李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠,2002,22(2):106-111.

[8] 任晰,胡非,胡歆陵,等. 2000—2002 年沙尘现象对北京大气

- 中 PM10 质量浓度的影响评估[J]. 环境科学研究, 2004, 17 (1): 51—55.
- [9] 徐鸣, 王建国. 一次特大沙尘暴对乌鲁木齐市环境空气质量的影响分析[J]. 干旱环境监测, 2002, 16(2): 139—141.
- [10] 康晓风, 张建辉, 刘红辉. 沙尘天气对我国城市空气质量影响的范围与强度分析[J]. 资源科学, 2002, 24(4): 1—4.
- [11] 王式功, 杨民, 祁斌, 等. 甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 354—358.
- [12] 杨前进. 沙尘暴沉降物的粒度特征及其环境意义[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 47—50.
- [13] 樊恒文, 肖洪浪, 段争虎, 等. 中国沙漠地区降尘特征与影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(6): 559—565.

Research on Classification of Sandstorm Intensity Based on Probability Distribution of PM<sub>10</sub> Concentration

YANG Qing, YANG Lian-mei, ZHANG Guang-xin, LI Xia, LI Hong\|jun, HUO Wen

(Institute of Desert Meteorology, China Meteorology Administration, Urumqi 830002, China)

**Abstract:** In this article, the relation between concentration of PM<sub>10</sub> and visibility accorded with power function based on data of PM<sub>10</sub> concentration and visibility observed by visibility meter at Tazhong weather station in the middle of Taklimakan desert from January to May in 2004. At the same time, the distribution characteristic of PM<sub>10</sub> concentration was also analyzed when sandstorm occurred. By contrast with the other two distributions, the Pearson III distribution was able to simulate probability distribution of real concentration of PM<sub>10</sub> after analyzing three probability distribution including normal distribution, Weibull distribution and Pearson III distribution under different visibilities. According to the variance and defined confidence interval, the occurrence probability of light sandstorm, moderate sandstorm and heavy sandstorm were 60%, 25% and 15%, respectively. As a result, the concentration limits of PM<sub>10</sub> corresponding to light sandstorm, moderate sandstorm and heavy sandstorm were shown.

**Key words:** classification of sandstorm intensity; classification criteria; inspiratory particles



2004 年地球科学类期刊影响因子排序

学科内排名	期刊名称	影响因子	学科内排名	期刊名称	影响因子
1	中国沙漠	1. 837	19	中国地震	0. 500
2	地球化学	1. 635	20	地震工程与工程振动	0. 481
3	干旱区研究	1. 500	21	地震	0. 444
4	地球物理学报	1. 415	22	空间科学学报	0. 407
5	地球科学	1. 272	23	西北地震学报	0. 401
6	地球科学进展	1. 206	24	矿物岩石地球化学通报	0. 371
7	地学前缘	1. 098	25	微体古生物学报	0. 370
8	第四纪研究	1. 023	26	物探与化探	0. 357
8	天然气地球科学	1. 023	27	华北地震科学	0. 345
10	地震地质	0. 938	28	古生物学报	0. 339
11	地球学报	0. 883	29	内陆地震	0. 303
12	地震学报	0. 810	30	地震研究	0. 301
13	自然灾害学报	0. 644	31	灾害学	0. 298
14	四川大地构造与成矿学	0. 621	32	地球科学与环境学报	0. 277
15	地球信息科学	0. 582	33	世界地震工程	0. 249
16	地球物理学进展	0. 564	34	华南地震	0. 162
17	古脊椎动物学报	0. 547	35	地震地磁观测与研究	0. 128
18	吉林大学学报地球科学版	0. 531			

摘自“中国科学技术信息研究所”公布的 2005 年《中国科技期刊》引证报告。  
万方数据