

文章编号: 1000-694X(2007)04-0633-06

高空基本天气系统类别自动识别 与沙尘暴系统识别试验

胡文东¹, 赵光平^{1,2}, 陈晓光¹, 李艳春¹,
王承伟³, 邵 建⁴

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 3. 黑龙江省气象中心, 黑龙江 哈尔滨 150030; 4. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002)

摘要: 针对大气环流形势, 从天气系统的定义出发, 面向气象业务 MICAPS 格点文件数据格式, 在矢量旋转追踪法等值线分析的基础上, 有序提取等值线的控制点。经过滤波、查找各等值线特性点、剔除异常点等处理, 获取沙尘暴高空影响天气系统的基本节点。利用多种特征参量设计了方便可行的算法, 完成了槽脊系统的数据构建、分析并确定其地理位置。通过对数据场数值结构分析, 建立了确定闭合天气系统位置及其高、低性质的算法。使用 Visual Basic 语言, 开发了相应的沙尘暴高空基本影响天气系统类别自动分析软件, 为实现概念模型自动预报系统、提高沙尘暴业务预报现代化水平打下了基础。

关键词: 高空天气系统; 自动分析; 沙尘暴

中图分类号: P456

文献标识码: A

沙尘暴是中国北方春季多发的气象灾害, 不仅加重大气污染, 对公路、航空等许多部门带来直接经济损失, 而且加剧土壤沙漠化, 严重危害生态环境, 改变气溶胶的分布, 对全球气候产生不利影响。所以沙尘暴分析与预报研究具有非常重要的意义^[1], 近年来, 沙尘暴监测预报系统相继开发建立^[2-4]。

Bjerknes 创立的锋面气旋理论一直是天气预报的基石之一, 对天气类型的认识与理解在很大程度上决定了预报的成败。天气系统识别是天气预报概念模型的应用基础, 在预报业务上具有相当重要的意义。近年来沙尘暴影响天气系统研究取得了一系列成果^[5-14]。

由于技术进步, 预报产品呈几何级数增长。如果仅仅依靠人工方式识别天气系统, 则难以实现以数值预报产品为指导的天气预报, 尤其对沙尘暴等严重灾害性天气来说, 时间要求更为迫切^[2-4, 15-16], 自动分析的业务需求更加紧迫。

在计算机自动识别天气图方面, 已经进行了一些尝试^[17-22]。因天气系统识别受到天气学理论的严格约束, 具有较大难度。以往的很多此类工作需要高度场与风场结合, 而且大多以风场资料为主, 局限性较大。如果单独使用某一种气象场, 则应用独

立性更好, 但可用的判识特征量大为减少, 在资料更少的情况下算法更为复杂。

随着计算机及相应技术的发展, 中国气象局气象信息综合处理系统(MICAPS)的广泛业务应用, 气象业务资料格式规范化, 一方面为天气系统的自动识别提供了有利条件; 另一方面, 以 MICAPS 为基础的自动化天气识别系统必将获得良好的应用前景, 为提高业务自动化水平开拓空间。

传统方法逐点比较风场数据, 分析工作相当于图像处理, 相对繁琐, 效率难以保证。本文以 MICAPS 系统格点数据为标准, 以高度场为例, 在等值线分析的基础上, 将识别问题从逐点图像分析转化为矢量图形分析, 处理效率与识别准确率进一步提高。对高空基本天气系统提出有效的识别方法, 并通过软件实现了相应算法。

1 天气预报业务基本需求分析及业务常用数据格式

1.1 基本需求

在天气预报业务系统中, 通过影响天气系统的类型判识、位置判识、强度判识, 根据概念模型进行

收稿日期: 2006-02-10; 改回日期: 2006-04-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(40575048); 宁夏自然科学基金(NZ0646)共同资助

作者简介: 胡文东(1966—), 男, 北京人, 硕士, 高工, 从事天气气候分析、预报方法研究与业务系统开发。E-mail: hu.wendong@163.com

预报推理,是最为基本的预报方法之一。

沙尘暴的天气学根本原因在于强冷空气的活动,在 500 hPa 形势场上表现为特定的槽、脊配置。影响天气系统识别的基本业务需求为:确定槽、脊及其位置,闭合高、低系统中心位置与强度,对指定地点的相对距离与前后位置。

1.2 常用数据格式

目前 MICAPS 已经成为气象部门的业务标准。其中第 4 类为格点场数据,业务上高空、地面形势场,数值预报产品输出场往往采用这种格式,本文以此格式为对象进行处理。

2 天气系统位置判识的基本思路

根据天气学原理,槽定义为低压中等压或等高线气旋性曲率最大,且具有最低气压或位势高度点的连线。脊是高压区等压或等高线上反气旋曲率最大点的连线。

在高空天气图上,槽、脊分别表现为等值线上的相对最高、最低点,横槽为相对最西点。等值线分析为天气系统判识的第一步,分别在各条等值线上确定相对最高、最低及相对最西点等特性点,再根据相邻各等值线槽、脊间的相互关系,可以初步分析槽、脊的位置。

根据天气学理论,按照一定的规则确定相应的算法,对可能的槽、脊点逐一进行逻辑判识,选取确定合理的槽、脊线,再由槽、脊的经向长度等确定其

强度。

对闭合系统,通过检索每条闭合等值线,确定等值线的嵌套关系,从而掌握每组嵌套等值线的向心增、减规律;由不同分布情况分别判定高、低中心。对最内层闭合等值线的端点位置进行几何平均,确定高、低值中心位置。

3 实现方法

高空基本天气系统判识的处理步骤为:①矢量旋转追踪法等值线分析;②控制点逐线连续记录;③由天气学原理进行天气系统特征点的提取;④滤波及奇异点处理;⑤开放与闭合系统的识别。

等值线分析是天气分析和预报的业务基础,一直受到高度关注,气象工作者提出了多种实现方式^[23~26],其中矢量旋转追踪法思路简洁。本文以 Dayhoff 算法为基础,使用文献[26]方式改进分析完成点的记录方式,从而完成等值线的追踪。

3.1 等值线分析

3.1.1 闭合与开放型等值线的判定处理

等值线有两种类型:达到数据场边界的称为开放型,在数据场内部闭合的为闭合型。前一种如图 1a 所示,有两个端点位于边界上。当跟踪一端到达边界后,回到初始入口位置,反方搜索直至再次到达边界。第二种等值线如图 1b,将入口点与跟踪点比较。如果两者相同则说明已经闭合,中断跟踪过程,分析下一组数据。

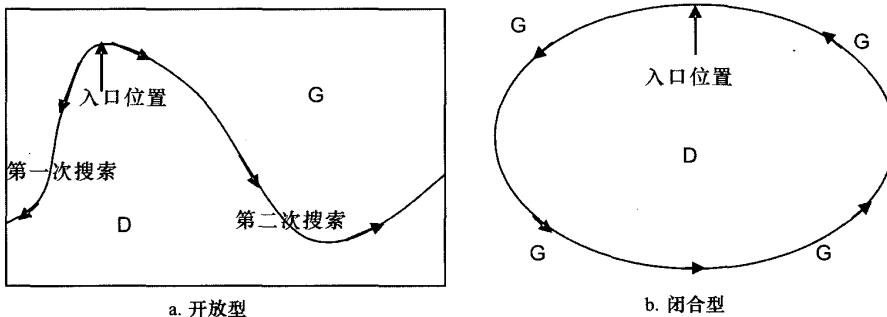


图 1 等值线的类型

Fig. 1 Two types of contour

这两种类型都要求保留等值线的入口状态。在分析过程中,将已分析过的数据点赋以某一特征值,凡遇到有此特征值的点不再分析处理,以提高分析效率。

3.1.2 数据初始化

若所分析等值线的值为 Z,在某区域内仅有一

点数值为 Z,其他各点均一致小于或大于 Z,那么无论屏幕分辨率与作图尺度如何,屏幕上只能出现孤立的一个点。而在实际业务分析过程中,总是分析为一条闭合等值线。在均值数据场中,未经处理则画出相互交叉的等值线,从定义来讲是原则性错误,

数据初始化就是要解决这些问题。

初始化时,查寻全部等于所分析等值线值 Z 的数据点,将其增加一个小小的偏差量,此偏差量若过于小则不足以校正分析结果,过大又会改变数据场的分布特征,所以须由屏幕分辨率、网格点距离等参数计算合适的偏差值。

该偏差值为正时,对高值(天气图中的高压或脊)分析有利,为负时对低值(槽线与低涡)分析有利。通过对每点邻域搜索比较,判定该点值与邻点的高低关系。对于相对高的点,赋以正偏差,否则赋以负偏差,从而突出特殊数据点的性质。

3.1.3 坐标系统的转换

本系统中,计算分析所使用的各等值线上的点均为平面坐标点,实际应用所需要的是经纬度坐标点,因此需将平面坐标转换为经纬度。

设矩形域内的一个图形点 $P(x, y)$,将其转换为经纬度后的图形点为 $P'(X', Y')$,则在本系统中使用的变换公式为:

$$X' = E_{\text{begin}} + x \cdot (E_{\text{end}} - E_{\text{begin}}) / W$$

$$Y' = N_{\text{begin}} - y \cdot (N_{\text{begin}} - N_{\text{end}}) / H$$

上式中变量 E_{begin} , E_{end} 和 N_{begin} , N_{end} 分别为文件中读取出的起始与终止经度,起始与终止纬度。 W 和 H 分别为显示控件的宽度和高度。

3.1.4 等值线的记录

开放型等值线第一次到达边界后,返回入口位置反向搜索继续查找。如不处理,会记为两条等值线,产生错误,影响天气系统的识别。为此在程序中设置数组,以储存各点坐标。等值线首次到达边界时,所得各点按分析的逆序保存。反向搜索时,各点按顺序保存,保证了开放型等值线记录的唯一性与连续性。

等值线分析得到的点即控制点。为了识别基本天气系统,记录了各条等值线的位势高度值,等值线的类型及该等值线上各控制点的坐标。

3.2 基本天气系统的分析

沙尘暴高空影响天气系统基本流程如图 2 所示。

3.2.1 等值线滤波

原始的等值线上存在许多小波动,如果直接选择其中的最高、最低点,则会出现很多高频系统,与实际天气情况不符。所以必须进行低通滤波处理,滤除高频波动。滤波后,曲线将逐段减小曲率,控制点向曲率中心方向移动(图 3)。对控制点数较少,

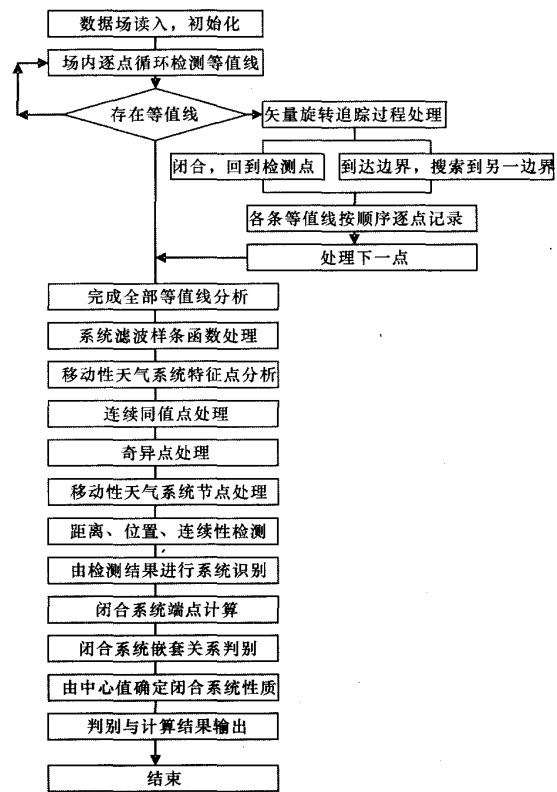


图 2 高空基本天气系统自动识别的流程示意图

Fig. 2 Flow chart for identifying basic systems aloft

即线段较少的闭合曲线来说,其范围将会明显缩小,此时滤波的意义不大。这种情况下,为了保证等值线的原有特征,通过样条函数进行处理,使其光滑性有了大幅度的提高,避免了不利影响。

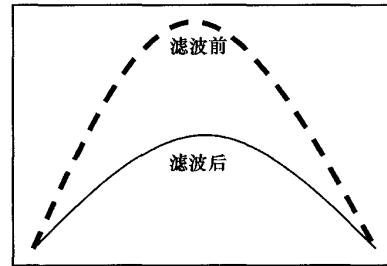


图 3 滤波对控制点较少曲线的影响

Fig. 3 Filtering effect on the curve with fewer control points

3.2.2 连续同值点处理

本系统选取槽脊节点的方法是,寻找等值线上的相对最高、最低和最西点。

滤波后曲线性质得到较大改善,但还存在一些连续的 x 或 y 值相同的点,若不处理则影响特征点的选取。以相对最低点为例,如果等值线的底端是

水平直线，则其 y 值相等，找不到相对最低点。所以我们先将同值的连续点处理为单一的数据点；不同值的坐标取其平均坐标值，以水平直线为例，取该直线的 x 平均值。

3.2.3 不合理槽脊节点的剔除

经过上述处理后可获得一系列的特征点，即槽（包括横槽，下同）和脊的节点。

同一条等值线上的一些槽脊节点可能相距很近，而这些点并无天气学意义，所以进行识别之前还必须剔除这些不合理的点。分别对每条等值线相邻的相对最高、最低、相对最西点进行距离判识，从槽脊节点的序列中去除过近的节点。

3.2.4 距离、位置、连续性检测法进行槽脊的判识

将每个槽脊节点按其所在的等值线顺序，由西向东记录，同时记录其所在等值线的值、等值线类型、槽脊节点所在等值线的序号，用于系统判识。

判识的方法为：将数据场内同一类天气系统（槽、横槽或脊）的全部点进行比较，如果某两个同类天气系统节点所在的等值线值相邻，且两者相距在指定阈值范围内，则认为此两点间存在天气系统，进行记录。否则两点间不构成天气系统，对下一点进行判识。

构建天气系统数据时，对全部节点进行检测，将满足条件的节点记入天气系统中，从而使天气系统不断延展，直到条件无法满足而终止。具体算法为：

1) 设置未被分析的标志，以避免某一节点被记入多个天气系统中，消除多条槽脊线交叉的情况。

2) 进行逐节点循环检测，将已经找到的系统最后节点清零，设置待查的下一节点所在的等值线的值。

3) 如果所查寻的节点未被分析，且当前节点与待查节点所在的等值线值相符，且上次得到最后节点与当前待查节点的距离在设定的阈值之内，则将待查节点并入当前构建的天气系统之中，并将新节

点赋值为此天气系统的最后节点。

4) 更新下一个待查节点应在的等值线值。累加此天气系统的构成节点数。设置天气系统最后节点的分析标志。

5) 如果不符合步骤 3) 的判识条件，则当前天气系统构建完成。进入步骤 1) 分析构建下一个天气系统，直到全部完成。

在上述算法中，一个闭合系统可以同时分析出槽节点和脊节点，如果简单地连接起来，则会产生低值中心出现脊、高值中心出现槽的错误。所以分别根据槽和脊的定义，对待查节点进行顺序关系与相对位置的判识条件检测，避免以上错误。

3.2.5 嵌套关系与中心值分析进行闭合系统识别

如果闭合系统内部任意一点的值大于闭合等值线的值，则此闭合系统为高值系统，反之为低值系统。所以闭合系统识别的关键是确定其内部的点。通过寻找闭合系统的东、西、南、北 4 个端点，可以求得其几何中心，几何中心点即可作为其内部的代表点。

对存在嵌套关系的闭合系统，以各闭合系统 4 个端点围成的面积判识。如果某闭合系统 4 个端点完全覆盖当前被检测的闭合系统，则分析范围较小的闭合系统。应当注意的是，高值与低值闭合系统的嵌套顺序不同，必须由每个闭合系统的高、低性质，等值线值，中心点的值，4 个端点的位置等因素共同组织判识算法，从而可以按照天气学规范，正确地识别出闭合天气系统。

4 识别效果分析

针对 2000—2005 年宁夏、黑龙江典型沙尘天气 40 次过程，利用过程发生前 12~24 h 和 0~12 h 的 500 hPa 亚欧范围位势高度场，对关键冷空气及阻挡高脊进行识别试验，结果如表 1 所示。

表 1 2000—2005 年宁夏、黑龙江典型沙尘天气过程高空影响天气系统识别试验结果

Tab. 1 Identification test of 500 hPa systems of sand-dust events during 2000—2005

系统	闭合高压	闭合低压	槽	脊	横槽
总数	823	1 470	1 669	998	343
准确数	793	1 376	1 513	906	312
正确率/%	96.4	93.6	90.7	90.8	91.0

使用 P4 微机的试验表明，利用本算法相应软件，针对高空位势场，可即时进行槽、横槽、脊、高值与低值中心的识别，取得了良好的效果。对于区域内的任意指定点，可以立即计算输出影响系统，为沙

尘暴业务天气分析、预报提供识别产品。

如果不进行平滑处理，则天气系统的光滑性较差。将识别得到的天气系统进行滑动平均处理后，显示槽、脊点与平常的分析习惯存在一定偏差，这一

不足还需进一步改进。

5 小结

针对 MICAPS 格点数据, 以高空位势高度场为例, 完成了以下算法分析、软件开发工作:

1) 通过矢量旋转追踪算法进行等值线分析, 获取等值线的控制点序列。经过滤波处理消除高频扰动, 通过逐点分析逐条考察各等值线相对最高、最低和最西点等特征点, 剔除过于靠近、没有天气学意义的异常点, 得到了沙尘暴影响天气系统的节点。

2) 从天气学理论出发, 针对天气系统的节点, 经过多种逻辑分析与判识, 设计了方便可行的算法, 完成了槽、脊系统的分析并确定了其位置。

3) 通过对位势高度场数据数值结构、嵌套关系的综合分析, 确定了闭合天气系统性质及其中心位置。

4) 使用 Visual Basic 语言, 在业务工作平台上开发了相应的沙尘暴高空基本影响天气系统自动分析应用软件。

5) 对 2000—2005 年宁夏、黑龙江典型沙尘过程 40 次进行了 500 hPa 位势高度场影响天气系统识别试验, 取得了理想的效果。

本方法从天气系统的定义出发, 概念清晰, 算法明确。根据业务天气图的特征, 使用位势高度场, 直接完成沙尘暴基本影响天气系统的自动化分析, 具有独立性好, 使用简单方便的特点。该方法无需改动可直接应用于温度场, 通过多种要素场综合分析, 可以完成平流分析等更为复杂的系统识别任务。

本算法与软件系统针对 MICAPS 数据文件, 可为沙尘暴天气预报自动化概念模型的建立提供有力的技术支持, 有利于进一步提高沙尘暴预报自动化水平, 并具有良好的应用前景。

参考文献(References):

- [1] 胡文东, 纪晓玲, 李艳春, 等. “20010408”宁夏强沙尘暴天气中尺度系统分析[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(6): 791—799.
- [2] 赵光平, 王连喜, 杨淑萍. 宁夏区域性强沙尘暴短期预报系统[J]. 中国沙漠, 2001, 21(6): 175—181.
- [3] 赵光平, 杨有林, 陈楠. 宁夏区域性强沙尘暴卫星遥感监测系统[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 711—714.
- [4] 徐启运, 张强, 郭慧, 等. 干旱与沙尘暴预警系统研究[J]. 中国减灾, 2005(5): 35—36.
- [5] 赵光平, 陈楠, 杨建玲, 等. 环流及冷空气类型与宁夏沙尘暴落区的对应关系[J]. 中国沙漠, 2003, 23(6): 642—645.
- [6] 赵光平, 郑广芬, 王卫东. 宁夏特强沙尘暴气候背景及其成灾规律研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 420—427.
- [7] 雷向杰, 李亚丽, 王小宁, 等. 陕西强沙尘暴、特强沙尘暴天气气候特征分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 118—122.
- [8] 李岩瑛, 李耀辉, 罗晓玲, 等. 河西走廊东部沙尘暴预报方法研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 607—610.
- [9] 赵光平, 陈楠, 杨建玲, 等. 环流及冷空气类型与宁夏沙尘暴落区的对应关系[J]. 中国沙漠, 2003, 23(6): 642—645.
- [10] 王遂缠, 王锡稳, 李栋梁, 等. 相似离度在甘肃省冬春季强沙尘暴天气人型判别和预报中的应用研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 724—728.
- [11] 郑新江, 徐建芬, 罗敬宁. 利用风云 1 气象卫星监测南疆沙尘暴研究[J]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 286—287.
- [12] 胡文东, 高晓清. 2001.4.6 宁夏沙尘暴过程卫星图像分析[J]. 高原气象, 2003, 22(6): 590—596.
- [13] 郭慧, 王式功, 李栋梁, 等. 甘肃春季沙尘暴环流特征及其时间尺度诊断分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 593—598.
- [14] 陈晓光, 赵光平, 郑广芬, 等. 宁夏春季典型沙尘暴年环流特征量分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 570—575.
- [15] 胡文东, 赵光平, 丁建军. 省级气象预报业务系统软件工程开发原则与技术[J]. 气象科学, 2006, 30(1): 81—89.
- [16] 胡文东, 赵光平, 丁建军. 宁夏短时天气预报业务工作平台系统开发策略与技术措施[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 114—117.
- [17] 张丰启. 东北冷涡特征及其关键区的计算机识别[J]. 气象, 2001, 27(9): 46—49.
- [18] 陈静. 图形模式识别方法及其在中期雪灾天气预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2002, 13(1): 109—116.
- [19] 袁美英, 徐南平, 于振东. 低压中心、槽线识别的初步试验[J]. 气象, 1994, 20(6): 15—19.
- [20] 李振海. 计算机天气图图形识别[J]. 气象, 1994, 20(6): 20—23.
- [21] 张延亭, 林敏德. 低槽(含切变线)的计算机识别[J]. 江西气象科技, 1995(3): 21—23.
- [22] 林振敏, 杨宇红. 低涡、急流、切变线的微机自动识别[J]. 广西气象, 1997, 18(1): 47—48.
- [23] 胡文东. 宁夏气象台-长期预报图形分析系统[J]. 宁夏气象, 1991(1): 46—50.
- [24] 王新芝, 陈必云. 高空天气图自动分析系统[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(4): 477—481.
- [25] 余卫东, 李湘阁, 王婧. 气象场等值线自动绘制[J]. 气象科技, 2002, 30(4): 222—225.
- [26] 侯革, 丁建军, 邵建. 等值线自动分析方法与软件实现[J]. 宁夏工程技术, 2005, 4(1): 36—38.

Auto-diagnosis on Primary Weather Systems Aloft and Test on Sandstorm

HU Wen-dong¹, ZHAO Guang-ping^{1,2}, CHEN Xiao-guang¹, LI Yan-chun¹,
WANG Cheng-wei³, SHAO Jian⁴

¹*Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia, Yinchuan 750002, China;*

²*Lanzhou Arid Meteorology Research Institute, Lanzhou 730020, China; 3. Heilongjiang Meteorological Center, Harbin 1500304, China; 4. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China)*

Abstract: Against the air circumstance status and based on the conception of weather system, this paper aimed to obtain the control point of contour with MICAPS grid format data and using contour pursuing method. A test was conducted on sandstorm weather system with curve filtering, checking singular points, eliminating abnormal points, etc. The trough and ridge system was developed by using a convenient and feasible algorithm with multi parameters. The location of closed system center was found by data structure analysis, and the high or low features of the system can be distinguished. An auto-analyzing software was setup in Visual Basic language to analysis the up air basic weather system for sandstorm. These should provide a basis for developing automatic forecast system of conceptual model, and consequently to improve the forecasting service for sandstorm.

Keywords: weather system aloft; automatic analysis; sandstorm



2005年地球科学类期刊总被引频次和影响因子排序

学科内排名	期刊名称	总被引频次	学科内排名	期刊名称	影响因子
1	中国沙漠	1997	1	中国沙漠	1.870
2	地球物理学报	1972	2	地球化学	1.807
3	地学前缘	1741	3	天然气地球科学	1.537
4	地球科学进展	1585	4	第四纪研究	1.368
5	地球化学	1399	5	地学前缘	1.347
6	地球科学	1390	6	地球物理学报	1.253
7	第四纪研究	1233	7	地球科学进展	1.245
8	地球学报	868	8	干旱区研究	1.079
9	地震工程与工程振动	839	9	大地构造与成矿学	1.065
10	地震学报	783	10	地球科学	0.991
11	地球物理学进展	720	11	灾害学	0.907
12	天然气地球科学	713	12	地球物理学进展	0.904
13	自然灾害学报	697	13	地球学报	0.808
14	干旱区研究	667	14	地震地质	0.782
15	古生物学报	632	15	地震学报	0.727
16	地震地质	610	16	矿物岩石地球化学通报	0.662
17	吉林大学学报地球科学版	562	17	吉林大学学报地球科学版	0.644
18	灾害学	454	18	自然灾害学报	0.610
19	大地构造与成矿学	420	19	地球科学与环境学报	0.584
20	物探与化探	403	20	中国地震	0.485
21	矿物岩石地球化学通报	381	21	地震工程与工程振动	0.476
22	古脊椎动物学报	330	22	地震	0.471
23	中国地震	321	23	古脊椎动物学报	0.467
24	微体古生物学报	313	24	微体古生物学报	0.425
25	地震	312	25	物探与化探	0.425
26	世界地震工程	268	26	地球信息科学	0.420
27	地球科学与环境学报	249	27	西北地震学报	0.310
28	西北地震学报	243	28	空间科学学报	0.294
29	地震信息科学	174	29	古生物学报	0.282
30	地震研究	167	30	世界地震工程	0.272
31	空间科学学报	160	31	地震研究	0.252
32	地震地磁观测与研究	138	32	华南地震	0.168
33	华南地震	103	33	华北地震科学	0.154
34	华北地震科学	79	34	地震地磁观测与研究	0.146
35	内陆地震	75	35	内陆地震	0.143
36	地球与环境	26	36	地球与环境	0.121

摘自“中国科学技术信息研究所”公布的2006年《中国科技期刊》引证报告(核心版)。