

Ar 与 SO₂ 混合放电产生 SO(*c*¹Σ⁻) 电子态的光谱研究

王鸿梅, 李建权, 程平, 张为俊, 曹德兆, 储焰南*

中国科学院安徽光学精密机械研究所环境光谱学实验室, 安徽 合肥 230031

摘要 在流动余辉装置上, 利用 Ar 与 SO₂ 混合气体的空心阴极放电, 在放电区的下游观察到一系列光谱, 将 400~600 nm 波长范围内的发射谱带归属为 SO(*c*¹Σ⁻ → X³Σ⁻) 跃迁, 并得到该跃迁的 $\nu_{00} = 28\,500\text{ cm}^{-1}$ 。这是气相 SO 自由基 *c*¹Σ⁻ 电子态的首次直接的光谱观测。

主题词 SO 自由基; 流动余辉; 空心阴极放电; 发射光谱

中图分类号: O561.3; O613.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0593(2003)04-0630-04

前言

SO 是星际化学中的一种重要的自由基, 它存在于星际空间^[1]、太阳系的许多恒星及其卫星的大气中^[2,3], 而且还是地球大气含硫化合物氧化以及酸雨形成过程中的重要中间体, 所以, 近年来, 人们较为广泛地开展了对 SO 分子电子激发态的光谱研究。1978 年, Lee 等人在 OCS/O₂/Ar, OCS/NO₂/Ar 和 SO₂/Ar 体系的低温 Ar 固相基质的汞灯光解实验中^[4], 首次观察到了固相 SO(*c*¹Σ⁻ → a¹Δ) 跃迁的化学发光, 获得了 Ar 基质中固相 SO 分子基振动态之间跃迁的频率 $\nu_{00} = 21\,363\text{ cm}^{-1}$ 。同年, Tevault 等人采用相同的实验技术, 在 H₂S/O₃/Ar, OCS/O₃/Ar 和 H₂S/NO₂/Ar 体系的固相 Ar 基质实验中^[5], 也观察到了 SO(*c*¹Σ⁻ → a¹Δ) 跃迁的发射谱, 他们将 *c*¹Σ⁻ → a¹Δ 跃迁的 ν_{00} 值更正为 $22\,543\text{ cm}^{-1}$ 。随后, 1992 年 Zen 和 Lee 等人再次对 Ne 基质中的 Cl₂SO, SO₂ 和 OCS/NO₂ 进行了激光诱导光辐射研究^[6], 在实验中, 他们同样探测到了 *c*¹Σ⁻ → a¹Δ 跃迁的荧光光谱, 测得的该种跃迁的 ν_{00} 值为 $22\,564 \pm 5\text{ cm}^{-1}$ 。而在气相实验方面, 到目前为止, 仅有 Effenhauser 等人^[7]在激光双光子光解 SO₂ 的实验中, 通过光解产物 SO 碎片的平动能谱研究, 将 SO 的内能阈值 $28\,500\text{ cm}^{-1}$ 归纳为气相 SO 分子 *c*¹Σ⁻ 电子激发态的形成所引起的。理论计算方面, Swope 等人^[8]计算并与 O₂ 分子和 S₂ 分子所对应的类似电子激发态的能量比较后, 推出 SO 分子 *c*¹Σ⁻ 电子态的光谱项值 T_e 为 $(28\,100 \pm 300)\text{ cm}^{-1}$, 计算出的 *c*¹Σ⁻ 电子态的振动频率 ω_e 为 680 cm^{-1} 。最近, Borin 等人的更精确的量化计算^[9], 得出 *c*¹Σ⁻ 态的光谱项值 T_0 为 $27\,810\text{ cm}^{-1}$ 、振动频率 ω_e 为 690 cm^{-1} 。但由

于位置在 $28\,400\text{ cm}^{-1}$ 附近的电子激发态 *c*¹Σ⁻ 到较低电子态的跃迁是自旋、轨道或宇称对称性禁戒的, 因此, 在气相条件下, 对这一电子态的发射谱的实验观测就比较困难。而事实上, 人们还从未在实验中直接观测到气相 SO 分子 *c*¹Σ⁻ 电子态的光谱。

我们在流动余辉装置上, 研究了气相 Ar 与 SO₂ 混合气体的空心阴极放电的发射光谱。分析表明, 400~600 nm 波长范围内的光谱序列属于 SO(*c*¹Σ⁻ → X³Σ⁻) 跃迁, 所得到的该跃迁的 ν_{00} ($28\,500\text{ cm}^{-1}$) 以及基电子态的 ω_e ($1\,155.5\text{ cm}^{-1}$) 和 $\omega_e''\chi_e''$ (6.6 cm^{-1}) 都与前人的结果符合得很好。

1 实验

实验装置在以前的文章中已有详细的描述^[10]。高纯 Ar (99.999%) 通过三级冷冻分子筛提纯, 与 SO₂ 充分混合后, 进入放电管。经空心阴极放电产生激发态碎片并发出荧光, 荧光信号通过位于第一窗口处的 0.75 m 的光栅单色仪 (闪耀波长: 300 nm) 分光后, 由制冷的光电倍增管 (RCA C31034) 接收, 经光子计数器 (EG&G 1109) 计算, 送入计算机进行数据处理。实验中放电区的典型压力约为 133 Pa。单色仪的波长由低压汞灯以及实验中观察到的不同波长范围内的 SO(A³Π → X³Σ⁻), OH(A²Σ⁺ → X²Π) 和 SO₂(a³B₁ → X¹A₁) 的谱峰来标定。单色仪的分辨率为 $\pm 0.2\text{ nm}$ 。

2 结果与讨论

Ar 与 SO₂ 气体混合放电后, 产生淡绿色的特征火焰。在下游第一个观察窗口处探测到的发射谱如图 1 所示。其

收稿日期: 2002-07-08, 修订日期: 2002-10-18

基金项目: 国家自然科学基金和中科院合肥物质科学研究院院长基金资助项目

作者简介: 王鸿梅, 女, 1976 年生, 中国科学院安徽光学精密机械研究所博士研究生 * 通讯联系人

中, 250 nm 附近的光谱为 $\text{SO}(A^3\Pi \rightarrow X^3\Sigma^-)$ 的跃迁发射谱^[11]; 310 nm 处的光谱是 $\text{OH}(A^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Pi)$ ^[12] 发射谱, 主要是由流动管中含有的少量水引起的; 380~460 nm 范围内的光谱属于 $\text{SO}_2(a^3B_1 \rightarrow X^1A_1)$ ^[13] 跃迁谱带。此外, 在 400~600 nm 波长范围内, 还有一个较强的新的光谱序列, 该序

列的光谱数据如表 1 中第二列所示。由于我们在 $\text{Ar}/\text{Cl}_2\text{SO}$ 放电实验中同样观察到了这一光谱序列, 所以, 我们推断这一较强的光谱序列是由 SO 的两个电子态之间跃迁产生的发射谱。考虑到观察窗口距离放电区较远, 该组谱峰应该是 SO 上电子态的 $\nu'=0$ 振动能级向下电子态跃迁产生的。

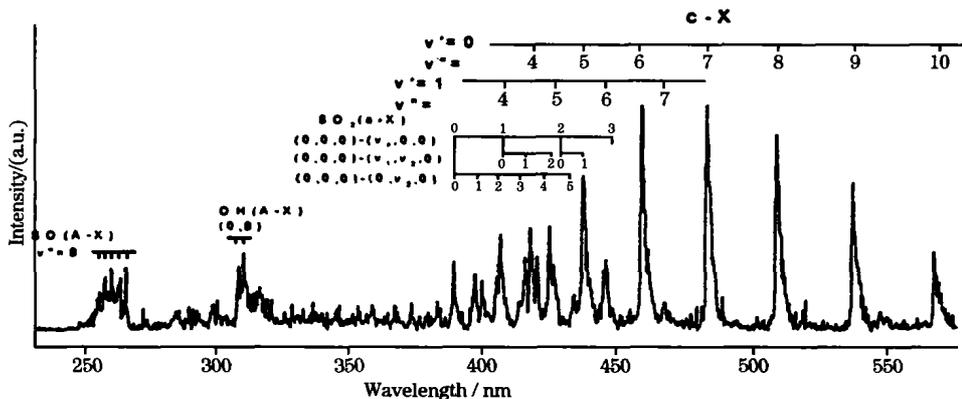


Fig. 1 Emission spectra of $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-)$ produced by the discharge of Ar and SO_2 mixture

Table 1. The spectra data of $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-)$ (cm^{-1})

ν''	$\nu'=0$	$\Delta\nu$
4	24 004	—
5	22 915	1 089
6	21 848	1 067
7	20 781	1 067
8	19 728	1 053
9	18 688	1 040
10	17 665	1 023
ν_{00}	$28\,500 \pm 27.8$	
$\omega_e''\chi_e''$	6.6 ± 3.6	
ω_e''	$1\,155.5 \pm 4.6$	

根据光谱学知识, 从一个电子激发态的 $\nu'=0$ 能级向另一个电子态的 ν'' 能级跃迁的频率为

$$\nu = \left(\nu_{00} + \frac{1}{2} \omega_e'' - \frac{1}{4} \omega_e'' \chi_e'' \right) - \left(\nu'' + \frac{1}{2} \right) \omega_e'' + \left(\nu'' + \frac{1}{2} \right)^2 \omega_e'' \chi_e'' \quad (1)$$

根据表 1 中第二列的光谱数据, 由公式 (1) 拟合得到了跃迁的下电子态的光谱常数 $\omega_e'' = 1\,155.5 \text{ cm}^{-1}$ 和 $\omega_e'' \chi_e'' = 6.6 \text{ cm}^{-1}$, 它们正好与气相 SO 自由基基电子态的光谱常数 $\omega_e'' = 1\,150.8 \text{ cm}^{-1}$ ^[14] 和 $\omega_e'' \chi_e'' = 6.4 \text{ cm}^{-1}$ ^[15] 相一致, 这表明我们在实验中得到的光谱的确是来自 SO 分子的某一上电子激发态到基电子态的跃迁产生的。

另外, 我们利用表 1 中第二列的数据, 同样对公式 (1) 进行拟合, 得到了上电子态到基电子态跃迁的 $\nu_{00} = 28\,500 \text{ cm}^{-1}$ 。根据前人理论计算的结果, 能量在 $28\,500 \text{ cm}^{-1}$ 附近的 SO 分子有三个电子激发态, 它们分别为 $c^1\Sigma^-$ ($27\,810 \text{ cm}^{-1}$), $A^3\Delta$ ($29\,109 \text{ cm}^{-1}$) 和 $A^3\Sigma^+$ ($29\,803 \text{ cm}^{-1}$)^[9] 态; 另外, 考虑到 Zen^[6] 等人在激光光解 $\text{Ar}/\text{Cl}_2\text{SO}$ 的固相基质中得到了 $c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-$ 的 $\nu_{00} = 28\,473 \text{ cm}^{-1}$, 所以, 我们将实

验中得到的发射光谱的上激发态归属为 $c^1\Sigma^-$ 态。这一结果与 Effenhauser^[7] 等人在研究气相 SO_2 的双光子光解后的碎片的平动能谱时, 将得到的内能阈值为 $28\,500 \text{ cm}^{-1}$ 的 SO 的电子态归属为 $c^1\Sigma^-$ 态的结论也是一致的。同时, 拟合得到的基电子态的振动能级如表 1 中的第一列所示, 它们与前人在 Ar 固相基质实验中得到的 $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-)$ 的振动能级归属^[6] 也是相符合的。

在图 1 中的 400~480 nm 的光谱范围内, 还有一组强度较弱的光谱带。我们将其归属为 $\text{SO}(c^1\Sigma^-, \nu'=1 \rightarrow X^3\Sigma^-, \nu'')$ 的跃迁光谱^[6]。

在此必须提出的是, 表 1 中的第三列列出了 $\nu'=0$ 时 ν'' 列相邻谱带波数之差 $\Delta\nu$, 其中, 对应于 $\nu''=5, 6, 7$ 的 $\Delta\nu$ 的值是相等的, 这是因为: 在 420~450 nm 的波段内, $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-)$ 的发射谱线与 $\text{SO}_2(a^3B_1 \rightarrow X^1A_1)$ 光谱的部分谱线的重叠导致测量的谱峰波长存在着一定的误差。表 1 中也给出了 T_{00} ($28\,500 \text{ cm}^{-1}$), $\omega_e'' \chi_e''$ (6.6 cm^{-1}), ω_e'' ($1\,155.5 \text{ cm}^{-1}$) 的标准偏差, 它们分别为 $\pm 27.8 \text{ cm}^{-1}$, $\pm 3.6 \text{ cm}^{-1}$, $\pm 4.6 \text{ cm}^{-1}$ 。

同时我们还注意到, Zen 等人在 Ar 的固相基质实验中, 观察到了较强的 $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow a^1\Delta)$ 发射光谱和非常弱的 $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-)$ 的发射光谱; 恰恰相反, 我们在气相实验中仅仅观察到了 $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-)$ 光谱, 而没有观测到 $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow a^1\Delta)$ 跃迁发射。类似的这种现象, 在与 SO 有着相似电子组态的 O_2 的固相和气相光谱实验中, 同样也被人们注意到了。早在 1976 年, Richards 等人^[16] 在研究低温 Xe 基质中的 O_2 的发射光谱的实验中, 仅仅观察到了较强的 $\text{O}_2(c^1\Sigma_u^- \rightarrow a^1\Delta_g)$ 发射, 而没有记录到 $\text{O}_2(c^1\Sigma_u^- \rightarrow X^3\Sigma_g^-)$ 的光谱。但 Fateev 等人^[17] 在压力约为 133 Pa 的流动余辉装置上, 只观察到了 $\text{O}_2(c^1\Sigma_u^- \rightarrow X^3\Sigma_g^-)$ 的光谱, 却没有观察到明显的 $\text{O}_2(c^1\Sigma_u^- \rightarrow a^1\Delta_g)$ 发射。这说明, 与 O_2 一样, 在气相低

压 (~133 Pa) 条件下, SO($c^1\Sigma^-$) 态的向下跃迁主要是以 SO($c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-$) 为主, 而在固相基质条件下, 则以 ($c^1\Sigma^- \rightarrow a^1\Delta$) 发射为主。

此外, 从图 1 我们还可以看出, SO($A^3\Pi \rightarrow X^3\Sigma^-$) 发射谱 (250~270 nm) 的强度小于 SO($c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-$) 的光谱强度。这主要是因为, 激发态 SO($A^3\Pi$) 的辐射寿命约为 10~35 μs ^[18], 而 SO($c^1\Sigma^-$) 向基电子态的跃迁是自旋禁戒的, 因此, 它具有亚稳态性质。虽然目前还没有关于 SO($c^1\Sigma^-$) 的辐射寿命的报道, 但我们知道与 SO($c^1\Sigma^-$) 有着类似电子结构的 O₂($c^1\Sigma_g^-$) 电子态的辐射寿命, 约为 25~50 s^[19]。所以, 我们预期亚稳态 SO($c^1\Sigma^-$) 的辐射寿命应该比 SO($A^3\Pi$) 长得多。在我们的实验中, 气体从放电区流到信号探测窗口所需的时间在毫秒范围内, 因此, 具有较长寿命的 SO($c^1\Sigma^-$) 分子能够较多的到达探测窗口, 而 SO($A^3\Pi$) 的寿命较短, 所以大部分 SO($A^3\Pi$) 分子在到达探测窗口以前, 已经跃至较低电子态, 这样, 我们在探测窗口处观测到的 SO($A^3\Pi \rightarrow X^3\Sigma^-$) 跃迁光谱的强度就比 SO($c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-$) 的发射弱得多。

在前言中, 我们曾经提到过, SO($c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-$) 跃迁是

自旋禁戒的, 因而, 在实验中得到该跃迁产生的发射光谱就比较困难, 但为什么我们能在实验中观察到这种跃迁发射谱呢? Fateev^[17] 在研究 O₂($c^1\Sigma_g^- \rightarrow X^3\Sigma_g^-$) 时提出, 由于自旋-轨道相互作用的存在, O₂ 的 ($c^1\Sigma_g^- \rightarrow X^3\Sigma_g^-$) 禁戒能够被打破^[20], 即, 通过 $c^1\Sigma_g^- \rightarrow ^3\Pi_u$ 以及 $X^3\Sigma_g^- \rightarrow ^1\Pi_g$ 之间的 L-S 耦合作用, 经历 $c^1\Sigma_g^- \rightarrow ^1\Pi_g$ 或 $^3\Pi_u \rightarrow X^3\Sigma_g^-$ 电偶极矩跃迁过程, 就能够实现 O₂ ($c^1\Sigma_g^- \rightarrow X^3\Sigma_g^-$) 的跃迁发射。同样, 与 O₂ ($c^1\Sigma_g^-$) 具有相似电子组态 ($\sigma^2\pi^3\pi^*$) 的 SO($c^1\Sigma^-$), 也应存在这种现象。

3 结 论

我们的实验表明, Ar 与 SO₂ 混合气体的空心阴极放电能够有效地产生 SO($c^1\Sigma^-$) 激发态。实验中, 在 400~600 nm 波长范围内所观测到的一个较强的光谱序列是 SO($c^1\Sigma^-$, $\nu' = 0 \rightarrow X^3\Sigma^-$, $\nu'' = 4 \sim 10$) 跃迁所产生的。同时, 我们还获得了该跃迁的 ν_{00} 为 28 500 cm^{-1} 。

参 考 文 献

- [1] Turner B E. *Astrophys. J.*, 1995, 455: 556.
- [2] Moses J I, Allen M, Gladstone G R. *Geophys. Res. Lett.*, 1995, 22: 1597.
- [3] Lellouch E, Strobel D F, Belton M J S et al. *Astrophys J.*, 1996, L107: 459.
- [4] Lee Y P, Pimentel G C. *J. Chem. Phys.*, 1978, 69: 3063.
- [5] Tevault D E, Smardzewski R R. *J. Chem. Phys.*, 1978, 69: 3182.
- [6] Zen C, Tang F, Lee Y. *J. Chem. Phys.*, 1992, 96: 8054.
- [7] Effenhauser C S, Felder P, Huber J R. *Chem. Phys.*, 1990, 142: 311.
- [8] Swope W C, Lee Y P, Schaefer III H F. *J. Chem. Phys.*, 1979, 71: 3761.
- [9] Borin A C, Ornellas F R. *Chem. Phys.*, 1999, 247: 351.
- [10] NING Li-xin et al (宁利新等). *Acta Chimica Sinica (化学学报)*, 2001, 59: 643.
- [11] Cao D Z, Setser D W. *J. Phys. Chem.*, 1988, 92: 1169.
- [12] Pearlse R W B, Gaydon A G. *The Identification of Molecular Spectra*. 4th Edition. London: Chapman and Hall Ltd., 1976: 264.
- [13] Bae S C, Lee K, Kim G H et al. *J. Chem. Phys.*, 1995, 102: 1665.
- [14] Kanamori H, Butler J E, Kawaguchi K et al. *J. Mol. Spectrosc.*, 1985, 113: 262.
- [15] Wong M, Amano T, Bernath P. *J. Chem. Phys.*, 1978, 69: 1942.
- [16] Richards J L, Johnson P M. *J. Chem. Phys.*, 1976, 65: 3948.
- [17] Fateev A A, Ivanov V S, Pravilov A M et al. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 1996, 29: 1351.
- [18] Clyne M A A, Liddy J P. *J. Chem. Soc. Faraday II*, 1982, 78: 1127.
- [19] Slanger T G. *J. Chem. Phys.*, 1978, 69: 4779.
- [20] Klotz R, Peyerimhoff S D. *Molecular Physics*, 1986, 57: 573.

Spectroscopic Study of SO($c^1\Sigma^-$) Generated by the Discharge of Ar and SO₂ Mixture

WANG Hong-mei, LI Jian-quan, CHENG Ping, ZHANG Wei-jun, CAO De-zhao, CHU Yan-nan
Laboratory of Environmental Spectroscopy, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Hefei 230031, China

Abstract In a flowing afterglow apparatus, the luminescence was observed during the hollow-cathode discharge of Ar and SO₂ mix-

ture. Besides emissions from $\text{SO}(A^3\Pi \rightarrow X^3\Sigma^-)$ and $\text{SO}_2(a^3B_1 \rightarrow X^1A_1)$, a rather strong progression in the range of 400—600 nm is assigned to $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-)$ transition with $\nu_{00} = 28\,500\text{ cm}^{-1}$, $\omega_e'' = 1\,155.5\text{ cm}^{-1}$ and $\omega_e''\chi_e'' = 6.6\text{ cm}^{-1}$. Another weak progression that was observed in the range of 400—480 nm is ascribed to the emission from the $\nu' = 1$ level of $\text{SO}(c^1\Sigma^-)$ state. Its separation by 673 cm^{-1} from the main $c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-$ progression agrees with the previous Ar matrix experimental result. This is the first direct observation of the emission spectra of $\text{SO}(c^1\Sigma^- \rightarrow X^3\Sigma^-)$ in gas phase, and provides the first gaseous spectroscopic information about the $\text{SO}(c^1\Sigma^-)$ state.

Keywords SO radical; Flowing afterglow; Hollow-cathode discharge; Emission spectra

(Received July 8, 2002; accepted Oct. 18, 2002)

2001~2002 年美国 ISI 收录我国科技期刊的影响因子与被引频次 (以英文刊名字母顺序为序)

期刊名	影响因子		被引频次		期刊名	影响因子		被引频次	
	2001	2002	2001	2002		2001	2002	2001	2002
1 Acta Bioch Bioph Sin	0.399	0.596	217	377	33 Chinese J Org Chem	0.294	0.377	271	338
2 Acta Bot Sin	0.284	0.376	516	1 336	34 Chinese J Polym Sci				
3 Acta Chim Sinica	0.530	0.536	990	1 298	35 Chinese J Struct Chem	0.184	0.324	168	260
4 Acta Geol Sin-Engl	0.271	0.531	234	316	36 Chinese Med J-Peking	0.108	0.182	807	909
5 Acta Math Sci		0.104		108	37 Chinese Phys	0.828	1.185	200	542
6 Acta Math Sin	0.324		275		38 Chinese Phys Lett	0.813	1.036	1 215	1 644
7 Acta Mech Sinica	0.734	0.726	242	265	39 Chinese Sci Bull	0.511	0.570	1 628	2 030
8 Acta Mech Solida Sin	0.191	0.226	70	78	40 Commun Theor Phys	0.397	0.453	479	577
9 Acta Petrol Sinica		0.534		289	41 High Energ Phys Nuc	0.324	0.248	271	248
10 Acta Pharmacol Sin	0.631	0.688	958	1 575	42 J Asian Nat Prod Res	0.508		54	
11 Acta Phys Sin-Ch ed	0.657	1.182	1 227	2 277	43 J Cent South Univ T		0.052		6
12 Acta Phys Sin-Ov ed	0.369		176		44 J Comput Math	0.168	0.135	155	173
13 Acta Phys-Chim Sin	0.269	0.361	283	350	45 J Comput Sci Technol		0.154		53
14 Acta Polym Sin	0.377	0.288	314	358	46 J Infrared Millim W	0.198	0.121	68	85
15 Adv Atmos Sci	0.327	0.288	146	172	47 J Inorg Mater	0.131	0.222	77	260
16 Algebr Colloq	0.188	0.150	84	94	48 J Iron Steel Res Int	0.171	0.083	21	31
17 Appl Math Mech-Engl	0.155	0.199	267	354	49 J Mater Sci Technol	0.269	0.239	220	271
18 Asian J Androl		0.827		99	50 J Rare Earth	0.236	0.287	117	147
19 Biomed Environ Sci	0.437	0.500	332	390	51 J Univ Sci Technol B	0.099	0.397	37	100
20 Cell Res	2.102	1.958	244	308	52 J Wuhan Univ Technol	0.140	0.376	56	119
21 Chem J Chinese U	0.904	0.830	1 959	2 189	53 Prog Biochem Biophys	0.112	0.160	109	140
22 Chem Res Chinese U	0.223	0.229	106	131	54 Prog Nat Sci	0.288	0.264	279	309
23 China Ocean Eng	0.206	0.196	46	41	55 Rare Metal Mat Eng	0.319	0.225	151	223
24 Chinese Ann Math B		0.296		146	56 Rare Metals	0.142	0.284	60	69
25 Chinese Astron Astr	0.144	0.181	47	60	57 Sci China Ser A	0.340	0.295	627	682
26 Chinese Chem Lett	0.289	0.347	603	733	58 Sci China Ser B	0.840	0.702	925	895
27 Chinese J Anal Chem	0.288	0.240	992	949	59 Sci China Ser C	0.396	0.358	171	180
28 Chinese J Astron Ast		0.879	1	65	60 Sci China Ser D	0.610	0.688	369	580
29 Chinese J Chem	0.663	0.558	369	413	61 Sci China Ser E	0.376	0.412	140	197
30 Chinese J Chem Eng	0.223	0.222	101	117	62 Spectrosc Spect Anal	0.250	0.293	280	377
31 Chinese J Geophys-Ch	0.155	0.122	34	45	63 T Nonferr Metal Soc	0.340	0.293	306	374
32 Chinese J Inorg Chem	0.301	0.494	141	280	64 World J Gastroentero	1.445	2.532	722	1 535