

超声波下酸化碘酸钾和亚硫酸钠反应的速率研究^{*}

Study on Reaction Rate in Chemical Reaction of Acidic KIO₃ and Na₂SO₃ under Ultrasonic Field

林曼斌 卢敏仪

Lin Manbin Lu Minyi

(韩山师范学院化学系, 广东潮州 521041)

(Chemistry Dept., Hanshan Teachers College, Chaozhou, Guangdong, 521041, China)

摘要 分别测定在有超声波作用和无超声波作用条件下, 酸化碘酸钾 (KIO₃) 和亚硫酸钠 (Na₂SO₃) 反应的反应速率方程式及活化能, 从而研究该反应的机理以及超声波在该反应中的作用, 并确定反应的最佳条件。实验得出, 超声波对该反应有一定的促进作用, 但是这种促进作用只提高反应的速率常数和降低反应的活化能, 并没有改变反应机理。在超声波功率为 300W 时, 反应的速率方程表示为: $v = k \cdot c^{1.09}(\text{KIO}_3) \cdot c^{1.00}(\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot c^{1.08}(\text{H}^+)$, 其中: $k = 950 (\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 活化能为 17.35 kJ·mol⁻¹。实验还得出, 在温度为 298K 时, 当 KIO₃ 与 Na₂SO₃ 的初始浓度比为 2:5, H⁺ 的初始浓度为 0.0428 mol·L⁻¹, 超声功率为 300W 时, 反应速率为最快, 即 $v = 4.31 \times 10^{-4} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

关键词 碘酸钾 亚硫酸钠 超声波 酸化 反应速率

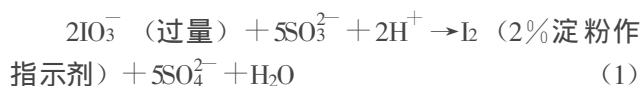
中图分类号 O644.3

Abstract We present the stimulative function of ultrasound in the reaction of acidification KIO₃ and Na₂SO₃. It is found that there are some stimulative functions to that reaction when using ultrasound, this function just improves the reaction rate constant and reduces the activation energy without changing the mechanism of reaction. When the ultrasonic power is 300W, the rate equation is: $v = k \cdot c^{1.09}(\text{KIO}_3) \cdot c^{1.00}(\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot c^{1.08}(\text{H}^+)$, $k = 950 (\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$, activation energy is 17.35 kJ·mol⁻¹. It's also found that the reaction rate is the fastest ($v = 4.31 \times 10^{-4} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) at 298 K when the proportion of KIO₃ and Na₂SO₃ on the conversion ratio is 2:5, H⁺ conversion ratio is 0.0428 mol·L⁻¹, and the ultrasonic power is 100% (300W in this experiment).

Key words KIO₃, Na₂SO₃, ultrasound, acidification, reaction rate

超声波由一系列疏密相间的纵波构成, 并通过液体介质向四周传播。在超声波作用下, 液体会发生空化, 每个空穴都是一个“热点”, 其寿命约为 0.1μs, 它在爆炸时可产生大约 4000kPa 和 100MPa 的局部高温高压环境, 从而产生出非同寻常的能量效应, 这种能量不仅能够激发或促进许多化学反应, 加快化学反应速率, 甚至还可以改变某些化学反应的方向, 产生一些令人意想不到的效果。

碘酸钾 (KIO₃) 与亚硫酸钠 (Na₂SO₃) 在酸性溶液中的反应速率实验, 是无机化学实验课中的一个重要实验, 该反应也被称为“碘钟”反应^[1], 总反应式为:



它是一个复杂的非基元反应。本文通过分别测定在有超声波作用和无超声波作用条件下, 该反应的反应速率方程式及活化能, 从而研究该反应的机理以及超声波在该反应中的作用, 并确定反应的最佳条件。

1 实验部分

1.1 仪器

KQ-300DE 型医用数控医用超声波清洗器 (0~300W, 40kHz, 昆明市超声仪器有限公司); 动力学反应器 (自制); 全玻璃注射器 (上海注射器厂); 501 型超级恒温器 (上海市实验仪器厂)。

1.2 主要试剂

KIO₃ (A. R.): 用蒸馏水配制成 0.02003 mol·L⁻¹

2004-03-25 收稿。

^{*} 广东省教育厅项目 (Z03065) 和韩山师院重点项目。

L⁻¹贮备液;

Na₂SO₃ (A. R.): 用蒸馏水配制成贮备液, 标定^[2]后立即使用 (c=0.01994 mol·L⁻¹);

H₂SO₄ (A. R.): 用蒸馏水配制成 0.1069 mol·L⁻¹贮备液;

淀粉 (A. R.): 用蒸馏水配制成 2%淀粉溶液。

1.3 实验方法

在 298K 下, 按实验方法要求用移液管分别移取一定量 0.02003 mol·L⁻¹ KIO₃ 溶液、0.1069 mol·L⁻¹ H₂SO₄ 溶液、水和 2%淀粉溶液于反应器中混合均匀, 恒温, 然后迅速用全玻璃注射器向反应器内注射一定量且已经恒温的 0.01994 mol·L⁻¹ Na₂SO₃ 溶液 (控制总体积为 50ml), 同时启动秒表计时, 搅拌并使用超声作用, 当溶液变蓝时停止计时, 记录反应所需时间。

分别在超声功率为 0W、120W、150W、180W、210W、240W、270W、300W 下, 按上述步骤测出反应速率, 重复 3 次, 算出平均值。然后在反应速率最快的超声功率下测出各反应速率, 并求出该反应的反应级数和速率常数。重复 5 次, 算出平均值。

在 KIO₃、Na₂SO₃、H⁺ 3 种溶液的初始浓度分别为: 0.0016 mol·L⁻¹、0.0016 mol·L⁻¹、0.0086 mol·L⁻¹ 时, 在不同温度条件下实验, 求得不同温度时的速率常数 k, 并与无超声作用下的活化能作比较。

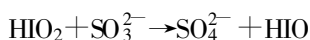
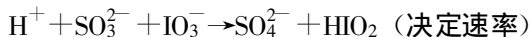
为了确定超声作用下本实验的最快反应速率, 结合单项探索性实验, 在 298K 时, 特固定 KIO₃ 的浓度为 0.0016 mol·L⁻¹, Na₂SO₃ 的浓度为 0.0038 mol·L⁻¹ ~ 0.0042 mol·L⁻¹, H⁺ 的浓度为 0.0342 mol·L⁻¹ ~ 0.0428 mol·L⁻¹, 超声的功率为 240 ~ 300W, 选 Na₂SO₃ 浓度、H⁺ 浓度、及超声功率这 3 个影响因素为研究对象, 取 3 个水平, 按 L₉ (3³) 进行正交实验^[5], 每次实验结果的评判标准为反应速率 v。

2 结果与分析

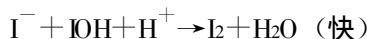
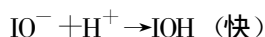
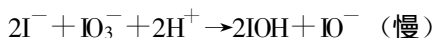
2.1 反应机理

KIO₃ 与 Na₂SO₃ 在酸性条件下的氧化还原反应分 3 个阶段进行^[1]。各阶段的反应机理可以认为:

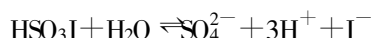
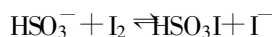
第一阶段的主要反应途径包括 3 个双电子转移过程, 即:



第二阶段的反应途径:



第三阶段的反应途径为:



只有当 SO₃²⁻ 全部消耗后, I₂ 与 SO₃²⁻ 的反应停止。IO₃⁻ 与 I⁻ 很快反应, 此时碘立即与淀粉作用, 溶液变为蓝色。

2.2 超声波作用功率与反应速率的关系

如图 1 所示, 酸性 KIO₃ 与 Na₂SO₃ 反应的反应速率随超声功率的增大而加快。当超声功率在 120W 以下时, 反应速率 v 增大较明显; 当超声功率在 120 ~ 300W 的超声功率范围内, v 增大较平缓。

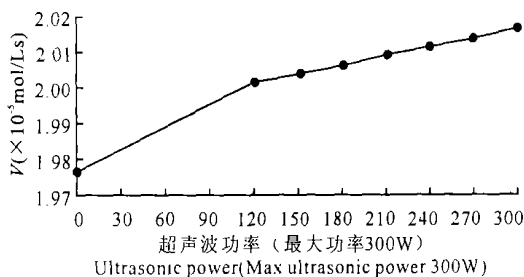
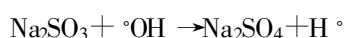
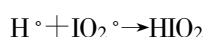


图 1 超声波作用功率与反应速率的关系

Fig. 1 Relation of ultrasonic power and reaction rate

在超声作用下, 在第一阶段的决速反应中可能发生如下反应:



由于超声波的作用, 空化作用使反应体系中产生化学性质活泼的自由基, 从而使反应加快, 所以在超声功率为 120W 时该反应的反应速率与超声功率为 0 时的反应速率相比增大比较明显。但是, 在超声功率为 120 ~ 300W 的范围内反应速率的增大比较平缓, 这可能是由于随着功率的增大, 空化泡会形成屏蔽, 使系统可利用的声场能量减少, 从而使反应速率加快不明显。

此外, 超声波的次级效应, 如促进传质作用等, 对反应也有促进作用。

2.3 超声作用下总反应的速率表示式、速率常数、反应级数和活化能的确定

2.3.1 超声作用下总反应的速率表示式、速率常数、反应级数的确定

若反应式 (1) 是 KIO₃ 与 Na₂SO₃ 在超声波下的

总反应式, 设其速率表示为:

$$v = k \cdot c^m (\text{KIO}_3) \cdot c^n (\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot c^p (\text{H}^+)$$

两边取对数得: $\lg v = \lg k + m \lg c (\text{KIO}_3) + n \lg c (\text{Na}_2\text{SO}_3) + p \lg c (\text{H}^+)$

以 $\lg v$ 对 $\lg c (\text{KIO}_3)$ 作图, 得一直线, 其斜率为 m ; 同理, 以 $\lg v$ 对 $\lg c (\text{Na}_2\text{SO}_3)$ 作图, 可得斜率 n ; 以 $\lg v$ 对 $\lg c (\text{H}^+)$ 作图, 可得斜率 p 。

在反应时间 Δt 内, Na_2SO_3 已消耗完, 即 $c (\text{Na}_2\text{SO}_3) \rightarrow 0$, $\Delta c (\text{Na}_2\text{SO}_3) = -c (\text{Na}_2\text{SO}_3)$,

$$v = \bar{v} (\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{-\Delta c (\text{Na}_2\text{SO}_3)}{\Delta t} = \frac{c (\text{Na}_2\text{SO}_3)}{\Delta t}$$

采用改变物质数量比例的方法实验^[3], 当温度为 298K, 超声功率分别为 0W 和 300W 时, 反应物初始浓度与反应速率的关系如表 1 所示。从表 1 的数据可得出:

(I) 温度为 298K, 无超声作用下的速率方程为: $v = k \cdot c^{1.06} (\text{KIO}_3) \cdot c^{1.04} (\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot c^{1.08} (\text{H}^+)$, 其中, $k = 923 (\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 反应级数为 $1.06 + 1.04 + 1.08 = 3.18 \approx 3$, 即为三级反应, 本结论与文献 [1] 一致。

表 1 反应物浓度与反应速率的关系

Table 1 Relation of reactant concentration and reaction rate

编号 Number	反应物初始浓度 The original concentration of reaction substance ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)			Δt (s)		v ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) ($n=5$) $\times 10^{-5}$		m	n	p	k ($\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$		k ($\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$				
	KIO_3	Na_2SO_3	H^+	无超声作用	超声功率为 300W	无超声作用	超声功率为 300W	无超声作用	超声功率为 300W	无超声作用	超声功率为 300W	无超声作用	超声功率为 300W	无超声作用	超声功率为 300W		
				With-out ultrasonic action	Ultra-sonic power 300W	With-out ultrasonic action	Ultra-sonic power 300W	With-out ultrasonic action	Ultra-sonic power 300W	With-out ultrasonic action	Ultra-sonic power 300W	With-out ultrasonic action	Ultra-sonic power 300W	With-out ultrasonic action	Ultra-sonic power 300W		
1	0.0010	0.0016	0.0086	133.0	129.5	1.20	1.23	1.06	1.09	1.04	1.00	1.08	1.08	878	902	923	950
2	0.0020	0.0016	0.0086	65.8	59.4	2.42	2.69							887	983		
3	0.0030	0.0016	0.0086	40.9	39.0	3.90	4.09							952	998		
4	0.0040	0.0016	0.0086	30.7	28.8	5.20	5.54							951	1014		
5	0.0050	0.0016	0.0086	24.4	22.5	6.54	7.09							957	1038		
6	0.0060	0.0016	0.0086	19.7	18.3	8.10	8.72							988	1063		
7	0.0070	0.0016	0.0086	17.2	15.8	9.27	10.10							970	1056		
8	0.0080	0.0016	0.0086	14.8	13.7	10.80	11.60							986	1067		
9	0.0016	0.0008	0.0086	99.0	84.3	0.81	0.95							737	866		
10	0.0016	0.0016	0.0086	80.7	80.2	1.98	1.99							904	910		
11	0.0016	0.0024	0.0086	78.8	79.3	3.04	3.02							926	920		
12	0.0016	0.0032	0.0086	83.8	79.5	3.81	4.01							871	918		
13	0.0016	0.0040	0.0086	83.4	87.5	4.78	4.56							875	834		
14	0.0016	0.0048	0.0086	93.1	121.6	5.15	3.94							785	600		
15	0.0016	0.0016	0.0043	169.0	162.3	0.94	0.98							737	899		
16	0.0016	0.0016	0.0128	49.9	49.3	3.20	3.24							862	922		
17	0.0016	0.0016	0.0171	37.0	35.1	4.31	4.54							904	987		
18	0.0016	0.0016	0.0214	28.6	28.7	5.58	5.56							975	1039		
19	0.0016	0.0016	0.0257	24.5	24.0	6.51	6.65							986	1017		
20	0.0016	0.0016	0.0299	21.3	20.3	7.94	7.86							1021	1013		

综上所述, 在相同温度下, 实施超声波作用只

(II) 温度为 298K, 超声功率为 300W 时的速率方程: $v = k \cdot c^{1.09} (\text{KIO}_3) \cdot c^{1.00} (\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot c^{1.08} (\text{H}^+)$, 其中, $k = 950 (\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 反应级数: $1.09 + 1.00 + 1.08 = 3.17 \approx 3$, 也为三级反应。

比较以上两种情况下酸性 KIO_3 与 Na_2SO_3 反应的速率方程可以看出, 在相同温度下, 无超声作用时的反应级数为 3.18; 在超声功率为 300W 时的反应级数为 3.17, 两者 (3.18 和 3.17) 在误差范围内可以认为是相等的。这说明在相同温度下, 超声波作用没有改变该反应的机理, 反应中无论是否实施超声波作用, 反应都为三级反应, 其结论与前面 2.1 中所列的机理一致, 而文献 [4] 所得的速率方程忽视了氢离子的影响。

比较以上两种情况下酸性 KIO_3 与 Na_2SO_3 反应的速率方程还可以看出, 在相同温度下, 无超声作用下反应的速率常数 $k = 923 (\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 超声作用功率为 300W 时反应速率常数 $k = 950 (\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 说明超声波作用提高了该反应的反应速率常数 k 。

加速了该反应的反应速率, 提高了反应速率常数,

并没有改变该反应的反应机理。

各温度下的 k 值如表 2 所示。

2.3.2 超声作用下总反应活化能的确定

表 2 活化能的确定

Table 2 Determination of activation energy

编号 Number	温度 Temperature (K)	Δt (s)		$(\text{mol}^{-1} \cdot \text{L})^2 \cdot \text{s}^{-1}$		lgk		1/T	
		无超声作用 Without ultrasonic action	超声功率为 300W Ultrasonic power 300W	无超声作用 Without ultrasonic action	超声功率为 300W Ultrasonic power 300W	无超声作用 Without ultrasonic action	超声功率为 300W Ultrasonic power 300W	无超声作用 Without ultrasonic action	超声功率为 300W Ultrasonic power 300W
1	298	80.7	79.1	899	917	2.95	2.96	0.00336	0.00336
2	303	74.3	70.3	976	1031	2.99	3.01	0.00330	0.00330
3	308	65.3	63.0	1110	1151	3.05	3.06	0.00325	0.00325
4	313	57.2	56.6	1268	1281	3.10	3.11	0.00319	0.00319
5	318	51.3	50.8	1413	1427	3.15	3.15	0.00314	0.00314
6	323	45.0	46.0	1611	1576	3.21	3.20	0.00310	0.00310

根据阿伦尼乌斯公式 $k = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$, 两边

取对数得: $\lg k = \frac{-E_a}{2.303RT} + \lg A$, 以 $\lg k$ 对 $1/T$ 作图, 可得一直线, 如图 2 所示。

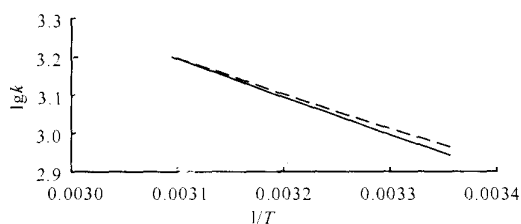


图 2 活化能的确定 (超声最大功率为 300W)

Fig. 2 Determination of activation energy (Max ultrasonic power 300 W)

---: 无超声作用下; —: 超声功率为 100% 下

---: Without ultrasonic action; —: Ultrasonic power lower 100%

在超声作用下, 此直线斜率为 $\frac{-E_a}{2.303R}$ 。用计算机作图 2 中的实线部分。实线的直线方程: $y = 6.0032 - 906.1x$, 此直线斜率是 -906.1 , 即 $\frac{-E_a}{2.303R} = -906.1$, 得出 $E_a = 17.35 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。同理在无超声作用下, 用计算机作图 2 中的虚线部分。虚线的直线方程: $y = 6.2772 - 993.6x$, 此直线斜率是 -993.6 , 即 $\frac{-E_a}{2.303R} = -993.6$, 得出 $E_a = 19.01 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。在超声波作用下, 反应的活化能从 $19.01 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 降到 $17.35 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 这说明在超声波作用能降低该反应的活化能, 提高反应速率。而且从表 2 中各温度下的 k 值可看出, 无论是否加入超声波作用, 温度升高时, 速率常数 k 增大, 即反应速率增大, 这符合阿伦尼乌斯公式。

2.4 超声作用下实验的最快反应速率

$L_9(3^3)$ 正交试验的因素水平见表 3, 所得结果见表 4。

表 3 正交实验因素水平

Table 3 Level of reciprocal cross experimental factor

水平 Level	因素 Factors		
	Na ₂ SO ₃ 浓度 Concentration of Na ₂ SO ₃ (mol·L ⁻¹)	H ⁺ 浓度 Concentration of H ⁺ (mol·L ⁻¹)	超声功率 Ultrasonic power (W)
1	0.0038	0.0342	240
2	0.0040	0.0385	270
3	0.0042	0.0428	300

表 4 正交实验

Table 4 Reciprocal cross experimental

	反应物的初始浓度 The original concentration of reaction substance (mol·L ⁻¹)			超声波 功率 Ultrasonic power (W)	Δt (s)	v (mol·L ⁻¹ ·s ⁻¹)
	KIO ₃	Na ₂ SO ₃	H ⁺			
0.0016	0.0038	0.0342	240	13.5	0.000282	
	0.0038	0.0385	270	11.0	0.000346	
	0.0038	0.0428	300	9.9	0.000383	
	0.0040	0.0342	270	13.4	0.000299	
	0.0040	0.0385	300	10.8	0.000371	
	0.0040	0.0428	240	9.9	0.000403	
	0.0042	0.0342	300	13.6	0.000309	
	0.0042	0.0385	240	12.0	0.000351	
	0.0042	0.0428	270	10.2	0.000412	
K ₁ '	0.001011	0.000890	0.001035			
K ₂ '	0.001029	0.001067	0.001057			
K ₃ '	0.001053	0.001198	0.001063			
K ₁	0.000337	0.000297	0.000345			
K ₂	0.000358	0.000356	0.000352			
K ₃	0.000357	0.000399	0.000354			
R	0.000021	0.000102	0.000009			

表 4 表示, 在温度为 298K 时, 在反应物 KIO_3 浓度一定的情况下反应物 Na_2SO_3 、 H^+ 的初始浓度和超声波功率对该反应的反应速率都有影响, 其中 H^+ 的浓度即酸度对该反应的反应速率的影响最大 (因为 R 最大), Na_2SO_3 的浓度次之, 超声波功率对反应速率的影响最小。 H^+ 和 Na_2SO_3 的初始浓度对反应速率的影响规律与超声条件下反应速率方程中两者的浓度指数分别为 1.08 和 1.00 的结论相一致。超声波功率对该反应的影响比较小可能是由于超声波的功率比较小, 产生的空化作用不很强烈的缘故, 其能降低反应的活化能、提高反应速率是其弱的空化作用和促进传质作用共同产生的结果。

表 4 中各影响因素的 K 值最大所对应的反应条件为最优条件, 即该条件下反应速率最快。比较表 4 可以得出, 在温度为 298K 时, KIO_3 与 Na_2SO_3 的初始浓度比为 2:5 ($0.0016 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} : 0.0040 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), H^+ 的初始浓度为 $0.0428 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 超声功率为 300W 时, 反应速率应为最快, 即 $v = 4.31 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3 结论

(I) 超声波对酸性 KIO_3 与 Na_2SO_3 的反应有一定的促进作用。促进作用随着超声波作用的功率增大而有稍微的加快。

(II) 在本实验条件下超声波对碘酸钾和亚硫酸钠反应的加速作用, 只是提高反应的速率常数 k 和降低了活化能, 并没有改变反应的机理。

(III) 无论是否有超声波作用, 碘酸钾和亚硫酸钠反应都为三级反应, 这与文献 [4] 的结论不同。这在无机化学理论教学和超声波的研究工作中具有一定意义。

(IV) 在温度一定的情况下, 酸度对该反应的影响最大。本实验测得出, 在温度为 298K 时, KIO_3 与 Na_2SO_3 的初始浓度比为 2:5, H^+ 的初始浓度为 $0.0428 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 超声功率为 300W 时, 反应速率最快 $v = 4.31 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

参考文献

- 1 李和平, 王中杰. 碘酸钾与亚硫酸钠反应的动力学机理研究. 重庆建筑大学学报, 1997, 19(4): 111~114.
- 2 孔福生, 刘宁锴, 唐松林. 亚硫酸标准溶液的快速标定. 环保检测管理与技术, 1998, 10(4): 36~37.
- 3 傅献彩, 沈文霞, 姚天扬. 物理化学. 北京: 高等教育出版社, 2001. 729.
- 4 大连理工大学无机化学教研室. 无机化学实验. 北京: 高等教育出版社, 1990. 18~21.
- 5 常柏林, 卢静芳, 李效. 概率与数理统计. 北京: 高等教育出版社, 1999. 212~222.

(责任编辑: 邓大玉)

我国高等学校仍是撰写科技论文的主力军

中国科学技术信息研究所公布的“2003 年度中国科技论文统计结果”显示, 2003 年《科学引文索引》(SCI) 收录论文数最多的前 20 所高等学校分别是清华大学、浙江大学、北京大学、南京大学、中国科技大学、上海交通大学、复旦大学、山东大学、吉林大学、华中科技大学、南开大学、中山大学、武汉大学、四川大学、哈尔滨工业大学、天津大学、西安交通大学、大连理工大学、中南大学、兰州大学。《SCI》共收录这 20 所高校论文 16436 篇。

清华大学、上海交通大学和浙江大学分别列于《工程索引》(EI) 收录论文数最多的 20 所高等学校的前 3 名, 其中清华大学被《EI》收录论文 2584 篇。在有关高等学校 2003 年国际科技会议论文数的统计分析中, 清华大学、浙江大学、哈尔滨工业大学分别列于《科学技术会议索引》(ISTP) 收录论文数最多的 20 所高等学校的前 3 名, 其中清华大学被《ISTP》收录论文 1303 篇。

在有关国内论文数的统计中, 浙江大学、华中科技大学和清华大学列于国内论文数最多的前 20 所高校的前 3 名, 浙江大学等国内论文数最多的前 20 所高校 2003 年共发表论文 63848 篇。清华大学、北京大学、南京大学成为 2003 年我国高校国际论文被引用数最多的前 20 所高校的前 3 名; 北京大学、浙江大学和清华大学则是 2003 年我国高等院校国内论文被引用次数最多的前 3 所高校。

据《科学时报》