

• 研究简报 •

## 甲酰胺与肌醇在氯化钠水溶液中的焓相互作用

刘 敏<sup>a,b</sup> 孙德志<sup>b</sup> 林瑞森<sup>\*,a</sup> 曲秀葵<sup>b</sup> 王 旭<sup>a</sup>

(<sup>a</sup> 浙江大学化学系 杭州 310027)

(<sup>b</sup> 聊城大学化学化工学院 聊城 252059)

**摘要** 应用等温流动微量热法测定 298.15 K 时甲酰胺与肌醇分子在不同浓度氯化钠水溶液中的混合过程焓变及其稀释焓, 根据 McMillan-Mayer 理论关联得到各级异系焓相互作用系数( $h_{xy}$ ,  $h_{xxy}$  及  $h_{xyy}$ ). 结果表明, 甲酰胺与肌醇分子在氯化钠水溶液中的异系焓对相互作用系数  $h_{xy}$  均为负值, 并且随着氯化钠浓度的增加,  $h_{xy}$  的绝对值逐渐减小.

**关键词** 甲酰胺; 肌醇; 氯化钠; 异系焓相互作用系数

## Enthalpic Interactions of Formamide with *myo*-Inositol in Aqueous Sodium Chloride Solutions

LIU, Min<sup>a,b</sup> SUN, De-Zhi<sup>b</sup> LIN, Rui-Sen<sup>\*,a</sup> QU, Xiu-Kui<sup>b</sup> WANG, Xu<sup>a</sup>

(<sup>a</sup> Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(<sup>b</sup> College of Chemistry and Chemical Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252059)

**Abstract** The enthalpies of mixing of formamide with *myo*-inositol and those of their dilution in aqueous sodium chloride solution of different concentration were determined by using flow-mix-isothermal microcalorimetry at 298.15 K. These results were used to determine heterotactic enthalpic interaction coefficients ( $h_{xy}$ ,  $h_{xxy}$  and  $h_{xyy}$ ) according to the McMillan-Mayer theory. The results show that heterotactic enthalpic pairwise interaction coefficients  $h_{xy}$  were negative in aqueous sodium chloride solution and became less negative with increasing the concentration of sodium chloride.

**Keywords** formamide; *myo*-inositol; sodium chloride; heterotactic enthalpic interaction coefficient

蛋白质是生命活动的物质基础, 它在细胞膜的通透性、高等生物的记忆活动等方面都起着十分重要的作用<sup>[1]</sup>, 对蛋白质结构与功能的研究已成为现代生物化学领域最前沿的课题之一. 但由于蛋白质自身结构的复杂性, 直接测量其热力学性质受到了一定的限制. 因此以氨基酸、肽、酰胺及其衍生物作为蛋白质模型分子的热力学研究引起了广泛重视<sup>[2~5]</sup>. 甲酰胺分子是包含肽键的最简单分子, 所以常作为研究包含肽键物质的模型<sup>[6~8]</sup>.

生物体系极为复杂, 大多数蛋白质的天然环境并不是单纯的水溶液, 而是由许多有机或无机物质构成的复杂环境. 混合溶剂的组成对蛋白质及其模型化合物的性

质有很大影响<sup>[9]</sup>. 其中糖类和多羟基化合物对蛋白质的天然构象具有稳定作用<sup>[10]</sup>. 肌醇是环状糖类中具有光学及生物活性的化合物, 是生物体内不可缺少的成分. 在肌醇的 9 个同分异构体中, 最重要的是 *myo*-肌醇, 其作用类似于维生素 B1, 能够促进细胞新陈代谢, 改善细胞营养; 以及促进脂肪代谢, 降低血脂, 抑制胆固醇的生成及动脉硬化<sup>[11]</sup>. 但其对蛋白质的作用机理尚不清楚. 此外, 电解质对蛋白质结构和酶活性等均有显著影响. 有些电解质倾向于破坏蛋白质的结构<sup>[12]</sup>, 有些则起保护作用<sup>[13]</sup>. 氯化钠是生命体系中非常重要的电解质. 因此, 研究甲酰胺与肌醇在氯化钠水溶液中的热力学性

\* E-mail: liumin\_panpan@163.com

Received August 21, 2006; revised September 22, 2006; accepted November 13, 2006.

国家自然科学基金(No. 20273061)资助项目.

质有助于认识蛋白质在生命体液中的稳定机理, 对生命科学和溶液化学有着重要的意义. 但迄今为止, 关于这方面的研究尚未见报导. 本文采用等温流动微量热法分别测定了不同浓度氯化钠溶液中甲酰胺与肌醇的混合焓及其各自的稀释焓, 利用 McMillan-Mayer 理论方程关联得到各级交叉焓作用系数, 获得了溶质-溶质和溶质-溶剂相互作用的重要信息.

## 1 实验部分

### 1.1 试剂及仪器

混合过程焓变和稀释焓的测定采用瑞典产 Thermal Activity Monitor 2277 精密微热量计的流动混合单元完成. 工作原理和使用方法见文献[14], 热功率测量相对误差低于 1%, 基线波动在  $\pm 0.2 \mu\text{W}$  之内, 仪器的标定方法见文献[15].

甲酰胺和肌醇均为 Aldrich 公司(美国)产品, 纯度  $\geq 99\%$ . 氯化钠为分析纯试剂, 上海试剂公司产品, 在纯水中重结晶提纯后, 393 K 下真空干燥 72 h. 溶液采用称量法配制, 所用天平为 Hancpine FA1004 型 (SWITZERLAND), 精密密度为  $\pm 0.01 \text{ mg}$ . 实验用水为新蒸二次蒸馏水. 所有溶液在配制后的保存期不超过 12 h, 以防止细菌污染.

### 1.2 测量步骤

实验中, 以不同浓度的氯化钠水溶液为溶剂, 甲酰胺和肌醇为溶质. 当热量计恒温水浴和检测系统达到热平衡后, 用溶剂设定基线, 并用合适量程的功率进行电标定. 然后使用 VS2-10R-MIDI 型双管路蠕动泵将样品输入微热量计的混合池, 待系统达到热平衡后, 记录热功率数值. 蠕动泵流速用称量法测定. 测量过程及原理见文献[16,17].

## 2 结果与讨论

### 2.1 数据处理与结果

实验数据处理方法同文献[18,19], 即定义一个辅助函数  $\Delta H^*$ :

$$\Delta H^* = \Delta H_{\text{mix}} - \Delta H_{\text{dil}(x)} - \Delta H_{\text{dil}(y)} \quad (1)$$

式中,  $\Delta H_{\text{mix}} (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$  为含溶质  $x$  的溶液和含溶质  $y$  的溶液混合过程的焓变, 可按下式计算:

$$\Delta H_{\text{mix}} = P_{\text{mix}} / (f_x + f_y - m_{x,i} M_x f_x - m_{y,i} M_y f_y) \quad (2)$$

式中,  $P_{\text{mix}}$  为混合过程热功率 ( $\mu\text{W}$ ),  $f_x, f_y$  分别为溶液  $x$  和溶液  $y$  的流速 ( $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $m_{x,i}, m_{y,i}$  分别为这两种溶液以  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  (溶剂) 表示的混合前浓度,  $M_x, M_y$  分别为对应两

种溶质的摩尔质量 ( $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

$\Delta H_{\text{dil}(x)} (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$  为以每  $\text{kg}$  溶剂计算的溶质  $x$  稀释焓, 可直接由下式计算:

$$\Delta H_{\text{dil}(x)} = P_{\text{dil}(x)} / (f_x + f_B - m_{x,i} M_x f_x) \quad (3)$$

式中,  $P_{\text{dil}(x)}$  为溶质稀释热功率 ( $\mu\text{W}$ ),  $f_B$  为溶剂流速 ( $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ ). 计算溶质  $y$  的稀释焓  $\Delta H_{\text{dil}(y)}$  时, 只需将式(3)中相应的下标  $x$  换成  $y$  即可.

根据 McMillan-Mayer 过量焓理论<sup>[20-22]</sup>, 式(1)可以表示为:

$$\Delta H^* = 2h_{xy} m_x m_y + 3h_{xxy} m_x^2 m_y + 3h_{xyy} m_x m_y^2 + \dots \quad (4)$$

式中  $h_{xy}, h_{xxy}, h_{xyy}$  为各级异系焓相互作用系数,  $m_x, m_y$  分别为溶液  $x$  和  $y$  混合后的浓度, 其中  $m_x$  计算式为:

$$m_x = m_{x,i} f_x / [f_y (m_{x,i} M_x + 1) + f_x] \quad (5)$$

将式(5)中的下标  $x$  换成  $y$  即可求得  $m_y$ .

实验得到的甲酰胺( $x$ )溶液与肌醇( $y$ )溶液在不同浓度氯化钠溶液中的稀释焓  $\Delta H_{\text{dil}(x)}, \Delta H_{\text{dil}(y)}$ , 它们混合过程的焓变  $\Delta H_{\text{mix}}$  及计算所得的  $\Delta H^*$  值同时列于表 1. 表中数据均为三次实验的平均值. 将表 1 数据按式(4)进行多元线性回归分析, 得到各级异系焓作用系数及相关系数  $R^2$  和标准偏差 S. D. 列于表 2.

### 2.2 讨论

焓相互作用系数是溶液中的溶质分子  $x$  和  $y$  靠近时相互作用热效应的量度. 作用过程伴随着溶质分子溶剂化共球的交盖、部分的溶剂结构重组、溶质-溶剂相互作用的变化以及溶质-溶质分子之间的直接相互作用等<sup>[23]</sup>. 由于三分子以上的相互作用比较复杂, 这里仅讨论两分子相互作用. 在甲酰胺-肌醇-氯化钠-水四元体系中甲酰胺与肌醇分子相互靠近过程主要存在以下作用: (1)甲酰胺分子的部分去溶剂化作用, 对  $h_{xy}$  有正贡献; (2)肌醇分子的部分去溶剂化作用, 对  $h_{xy}$  有正贡献; (3)甲酰胺与肌醇分子的直接相互作用, 一方面是肌醇分子的羟基与甲酰胺分子的偶极-偶极作用(对  $h_{xy}$  有负贡献)<sup>[24]</sup>; 另一方面是肌醇分子的环状结构间存在的空间位阻效应对上述偶极-偶极作用有一定程度的削弱. 甲酰胺与肌醇分子的焓对作用系数  $h_{xy}$  相对大小主要决定于上述作用的竞争平衡.

图 1 表示甲酰胺与肌醇分子的焓对作用系数  $h_{xy}$  随溶液中所含氯化钠浓度的不同而变化的趋势. 从图 1 可以看出, 无论是在纯水还是不同浓度的氯化钠溶液中, 甲酰胺与肌醇分子的焓对作用系数  $h_{xy}$  均为负值, 表明当甲酰胺与肌醇分子相互接近时会放出热量, 这主要是由

表 1 甲酰胺和肌醇在不同浓度氯化钠水溶液中的混合焓及各自的稀释焓(298.15 K)<sup>a</sup>

**Table 1** Enthalpies of mixing of formamide with *myo*-inositol and those of their dilution in aqueous sodium chloride solutions of different concentration at 298. 15 K<sup>a</sup>

$m(\text{NaCl})/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$m_{x,i}/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$m_{y,i}/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$m_x/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$m_y/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$\Delta H_{\text{dil}(x)}/$ (J·kg <sup>-1</sup> )	$\Delta H_{\text{dil}(y)}/$ (J·kg <sup>-1</sup> )	$\Delta H_{\text{mix}}/$ (J·kg <sup>-1</sup> )	$\Delta H^{\circ}/$ (J·kg <sup>-1</sup> )
0.0000	0.1000	0.1000	0.0571	0.0501	3.81	1.87	6.64	0.96
	0.1500	0.1500	0.0859	0.0752	4.23	4.20	8.63	0.20
	0.1800	0.1800	0.1028	0.0902	4.56	5.90	10.18	-0.27
	0.2000	0.2000	0.1141	0.0999	4.80	7.13	11.34	-0.59
	0.2200	0.2200	0.1245	0.1099	5.07	8.51	12.60	-0.98
	0.2500	0.2500	0.1419	0.1237	5.52	10.76	14.74	-1.55
	0.2800	0.2800	0.1593	0.1391	6.05	13.32	17.27	-2.10
	0.3000	0.3000	0.1722	0.1490	6.46	15.22	19.20	-2.48
	0.3200	0.3200	0.1827	0.1580	6.83	17.00	20.96	-2.87
	0.3500	0.3500	0.1976	0.1729	7.35	20.04	23.88	-3.50
	0.3800	0.3800	0.2161	0.1874	8.19	23.30	27.37	-4.12
	0.4000	0.4000	0.2270	0.1978	8.70	25.58	29.79	-4.48
0.1000	0.1000	0.1000	0.0566	0.0499	3.83	3.44	7.19	-0.08
	0.1500	0.1500	0.0852	0.0744	4.25	6.03	9.51	-0.76
	0.1800	0.1800	0.1020	0.0890	4.57	7.88	11.11	-1.35
	0.2000	0.2000	0.1132	0.0990	4.82	9.52	12.56	-1.78
	0.2200	0.2200	0.1235	0.1087	5.13	11.43	14.26	-2.30
	0.2500	0.2500	0.1407	0.1235	5.56	13.76	16.29	-3.03
	0.2800	0.2800	0.1580	0.1381	6.07	16.48	18.63	-3.92
	0.3000	0.3000	0.1709	0.1480	6.43	18.72	20.51	-4.64
	0.3200	0.3200	0.1811	0.1570	6.84	21.40	23.01	-5.23
	0.3500	0.3500	0.1959	0.1710	7.49	24.74	25.66	-6.57
	0.3800	0.3800	0.2142	0.1856	8.19	28.14	28.87	-7.46
	0.4000	0.4000	0.2252	0.1945	8.66	30.77	31.00	-8.42
0.2000	0.1000	0.1000	0.0556	0.0498	3.85	1.63	7.50	2.03
	0.1500	0.1500	0.0833	0.0742	4.23	3.63	9.46	1.60
	0.1800	0.1800	0.0999	0.0888	4.54	5.15	10.63	0.94
	0.2000	0.2000	0.1110	0.0987	4.78	6.24	11.52	0.50
	0.2200	0.2200	0.1224	0.1085	5.04	7.38	12.59	0.17
	0.2500	0.2500	0.1390	0.1225	5.47	9.39	14.23	-0.63
	0.2800	0.2800	0.1549	0.1377	5.97	11.51	16.05	-1.43
	0.3000	0.3000	0.1665	0.1477	6.34	12.98	17.28	-2.03
	0.3200	0.3200	0.1773	0.1567	6.70	14.63	18.71	-2.63
	0.3500	0.3500	0.1939	0.1706	7.30	17.30	20.99	-3.61
	0.3800	0.3800	0.2104	0.1851	7.97	20.21	23.44	-4.74
	0.4000	0.4000	0.2213	0.1940	8.43	22.02	25.01	-5.45
0.3000	0.1000	0.1000	0.0540	0.0493	3.92	2.13	8.00	1.95
	0.1500	0.1500	0.0804	0.0741	4.28	3.79	9.38	1.32
	0.1800	0.1800	0.0961	0.0889	4.56	5.26	10.68	0.86
	0.2000	0.2000	0.1072	0.0981	4.77	6.62	11.96	0.56
	0.2200	0.2200	0.1175	0.1085	5.01	8.04	13.25	0.20
	0.2500	0.2500	0.1332	0.1224	5.40	10.09	15.10	-0.39
	0.2800	0.2800	0.1483	0.1392	5.87	12.01	16.85	-1.03
	0.3000	0.3000	0.1619	0.1474	6.22	14.23	18.88	-1.57

续表

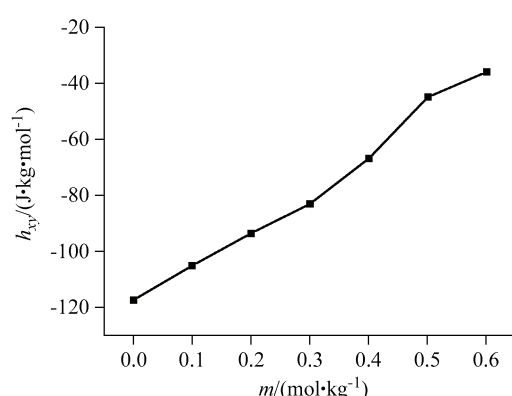
$m(\text{NaCl})/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$m_{x,i}/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$m_{y,i}/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$m_x/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$m_y/$ (mol·kg <sup>-1</sup> )	$\Delta H_{\text{dil}(x)}/$ (J·kg <sup>-1</sup> )	$\Delta H_{\text{dil}(y)}/$ (J·kg <sup>-1</sup> )	$\Delta H_{\text{mix}}/$ (J·kg <sup>-1</sup> )	$\Delta H^{\circ}/$ (J·kg <sup>-1</sup> )
0.4000	0.3200	0.3200	0.1716	0.1566	6.55	16.45	20.91	-2.08
	0.3500	0.3500	0.1868	0.1707	7.09	19.19	23.45	-2.83
	0.3800	0.3800	0.2043	0.1855	7.74	22.12	25.90	-3.96
	0.4000	0.4000	0.2124	0.1940	8.10	24.66	28.29	-4.47
	0.1000	0.1000	0.0541	0.0521	4.15	2.37	8.64	2.12
	0.1500	0.1500	0.0814	0.0776	4.96	4.08	10.75	1.71
	0.1800	0.1800	0.0972	0.0929	5.58	5.43	12.32	1.30
	0.2000	0.2000	0.1079	0.1033	6.00	6.64	13.66	1.01
	0.2200	0.2200	0.1189	0.1134	6.39	7.99	15.08	0.70
	0.2500	0.2500	0.1350	0.1285	7.05	9.74	16.96	0.17
	0.2800	0.2800	0.1510	0.1443	7.80	11.65	19.07	-0.38
	0.3000	0.3000	0.1634	0.1542	8.21	13.43	20.74	-0.90
	0.3200	0.3200	0.1728	0.1647	8.84	15.15	22.65	-1.34
	0.3500	0.3500	0.1858	0.1795	9.91	17.55	25.45	-2.01
	0.3800	0.3800	0.2017	0.1947	10.88	19.93	28.05	-2.76
	0.4000	0.4000	0.2152	0.2051	11.38	21.98	29.88	-3.47
0.5000	0.1000	0.1000	0.0543	0.0517	4.10	1.63	9.28	3.56
	0.1500	0.1500	0.0818	0.0773	4.55	3.46	11.25	3.24
	0.1800	0.1800	0.0976	0.0917	4.92	4.76	12.63	2.95
	0.2000	0.2000	0.1084	0.1025	5.20	5.63	13.64	2.81
	0.2200	0.2200	0.1193	0.1121	5.46	6.58	14.64	2.60
	0.2500	0.2500	0.1353	0.1277	5.85	8.27	16.37	2.24
	0.2800	0.2800	0.1521	0.1427	6.35	10.07	18.27	1.85
	0.3000	0.3000	0.1621	0.1530	6.78	11.27	19.65	1.60
	0.3200	0.3200	0.1735	0.1634	7.10	12.59	20.95	1.25
	0.3500	0.3500	0.1889	0.1781	7.75	14.70	23.22	0.77
	0.3800	0.3800	0.2047	0.1924	8.40	16.86	25.52	0.26
	0.4000	0.4000	0.2156	0.2029	8.79	18.31	26.96	-0.14
	0.1000	0.1000	0.0559	0.0516	3.62	2.55	9.75	3.59
	0.1500	0.1500	0.0833	0.0771	4.02	4.24	11.60	3.33
	0.1800	0.1800	0.0999	0.0915	4.24	5.55	12.87	3.08
	0.2000	0.2000	0.1114	0.1023	4.33	6.64	13.90	2.92
0.6000	0.2200	0.2200	0.1222	0.1118	4.64	7.79	15.23	2.79
	0.2500	0.2500	0.1391	0.1274	4.97	9.46	16.93	2.50
	0.2800	0.2800	0.1553	0.1423	5.38	11.23	18.80	2.19
	0.3000	0.3000	0.1664	0.1526	5.67	12.76	20.38	1.96
	0.3200	0.3200	0.1772	0.1630	6.02	14.19	21.92	1.71
	0.3500	0.3500	0.1937	0.1777	6.57	16.23	24.15	1.35
	0.3800	0.3800	0.2108	0.1919	7.04	18.60	26.51	0.88
	0.4000	0.4000	0.2211	0.2024	7.49	20.44	28.46	0.53

<sup>a</sup> Data are the experimental mean ( $N=3$ ).

表 2 甲酰胺与肌醇分子在不同浓度氯化钠水溶液中的各级焓作用系数(298.15 K)

Table 2 Enthalpic interaction coefficients of formamide with *myo*-inositol in aqueous sodium chloride solutions of different concentration at 298.15 K

$m(\text{NaCl})/(\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1})$	$h_{xy}/(\text{J}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-2})$	$h_{xxy}/(\text{J}\cdot\text{kg}^2\cdot\text{mol}^{-3})$	$h_{xyy}/(\text{J}\cdot\text{kg}^3\cdot\text{mol}^{-4})$	$R^2$	S.D.
0.0000	-117.38	406.66	-296.21	0.9996	0.0399
0.1000	-105.06	272.18	-301.91	0.9994	0.0825
0.2000	-93.50	300.03	-344.50	0.9995	0.0645
0.3000	-82.98	434.21	-187.87	0.9994	0.0699
0.4000	-66.69	-67.28	66.92	0.9998	0.0265
0.5000	-44.83	-197.00	208.97	0.9998	0.0282
0.6000	-35.79	-65.36	71.44	0.9994	0.0292

图 1 298.15 K 时甲酰胺与肌醇分子的焓对相互作用系数  $h_{xy}$  随氯化钠质量摩尔浓度的变化Figure 1 Variations in enthalpic pairwise interaction coefficients ( $h_{xy}$ ) of formamide with *myo*-inositol versus the molality ( $m$ ) of sodium chloride in aqueous sodium chloride solutions at 298.15 K

于肌醇分子的羟基与甲酰胺分子的偶极-偶极作用形成的。肌醇是环状六元醇, 分子中的六个羟基均有机会与甲酰胺分子发生偶极-偶极作用, 因此放热效应较明显, 超过了由于两种溶质分子的去溶剂化而导致的吸热效应以及肌醇分子的空间位阻效应的影响, 使得甲酰胺与肌醇分子的焓对作用系数  $h_{xy}$  为负值。这与一元醇(如甲醇、乙醇、正丙醇等)形成对比, 一元醇分子中只有一个羟基, 其与甲酰胺分子的偶极-偶极作用较弱, 整个作用过程中溶质分子的去溶剂化占优势, 所以焓对作用系数  $h_{xy}$  为正值[甲醇:  $(317.3 \pm 3) \text{ J}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-2}$ ; 乙醇:  $(517.6 \pm 4) \text{ J}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-2}$ ; 正丙醇:  $(670.8 \pm 6) \text{ J}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-2}$ ]<sup>[24]</sup>。

由图 1 还可以看出, 甲酰胺与肌醇分子的焓对作用系数  $h_{xy}$  的绝对值随着氯化钠溶液浓度的增大而逐渐减小。这反映了溶液中氯化钠浓度的变化对甲酰胺和肌醇分子的焓对相互作用有显著影响。在这种甲酰胺-肌醇-氯化钠-水四元体系中, 已溶解的溶质分子或离子周围都已形成水化层。当溶质分子相互靠近时, 这些分子或盐

离子之间的相互作用会引起各自溶剂共球的扰动, 导致各水化层中水分子向本体相溶剂水的释放<sup>[25]</sup>, 水分子克服束缚力需要能量, 是吸热过程, 因此溶质分子的部分去溶剂化作用对焓对作用系数产生正的贡献。随着氯化钠浓度的增大, 对水化结构的破坏效应增强, 即对焓作用系数的正贡献加大, 但仍以甲酰胺与肌醇分子间的偶极-偶极作用为主。所以, 在本实验的浓度范围内, 随着氯化钠浓度的增大, 焓对作用系数  $h_{xy}$  在氯化钠水溶液里只是负值减小。

### 3 结论

利用流动式等微量热技术在 298.15 K 下分别测定了甲酰胺与肌醇在纯水及不同浓度氯化钠水溶液中的混合过程焓变及这两种溶质的稀释焓, 根据 McMillan-Mayer 理论对所测数据进行关联, 得到了各级异系焓相互作用系数  $h_{xy}$ ,  $h_{xxy}$ ,  $h_{xyy}$ , 并重点对  $h_{xy}$  进行了讨论。结果表明: (1)无论在纯水还是不同浓度的氯化钠水溶液中, 甲酰胺与肌醇分子的异系焓对相互作用系数  $h_{xy}$  均为负值, 表明在所研究体系中,  $h_{xy}$  的大小主要决定于这两种溶质分子之间的偶极-偶极作用。(2)在甲酰胺与肌醇的氯化钠水溶液中, 随着盐浓度的增大, 焓对作用系数  $h_{xy}$  的绝对值逐渐减小, 这主要是由于氯化钠浓度的增大导致对水化结构的破坏效应增强所致。本文所得结论有助于进一步理解蛋白质在生命体液中的稳定机理。

### References

- 1 Barone, G.; Cacace, C. G.; Elia, V. *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1* **1981**, 77, 1569.
- 2 Hackel, M.; Hinz, H. J.; Hedwig, G. R. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2000**, 2, 4843.
- 3 Hackel, M.; Hinz, H. J.; Hedwig, G. R. *Thermochim. Acta* **1998**, 308, 23.

- 4 Ma, L.; Lin, R.-S.; Lin, G.-M.; Xu, N. *Acta Chim. Sinica* **2005**, *63*, 179 (in Chinese).  
(马林, 林瑞森, 林贵梅, 徐南, 化学学报, **2005**, *63*, 179.)
- 5 Ma, L.; Liu, C.-L.; Xu, L.; Lin, R.-S. *Acta Chim. Sinica* **2006**, *64*, 824 (in Chinese).  
(马林, 刘春丽, 许莉, 林瑞森, 化学学报, **2006**, *64*, 824.)
- 6 Cheek, P. J.; Lilley, T. H. *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1* **1988**, *84*, 1927.
- 7 Lu, Y.; Wang, X. F.; Su, G. J.; Lu, J. S. *Thermochim. Acta* **2003**, *406*, 233.
- 8 Tang, Q.-H.; Lu, Y.; Bai, T.-C.; Lu, J.-S. *Chem. J. Chin. Univ.* **1999**, *20*, 933 (in Chinese).  
(汤清虎, 卢雁, 白同春, 卢锦梭, 高等学校化学学报, **1999**, *20*, 933.)
- 9 Wang, X.; Xu, L.; Lin, R.-S.; Sun, D.-Z. *Acta Chim. Sinica* **2004**, *62*, 1405 (in Chinese).  
(王旭, 许莉, 林瑞森, 孙德志, 化学学报, **2004**, *62*, 1405.)
- 10 Yancey, P. H.; Clark, M. E.; Hand, S. C.; Bowlus, R. D.; Somero, G. N. *Science* **1982**, *217*, 1214.
- 11 Plattner, R.; Irvin, B. J.; Guo, S.; Blackburn, K.; Kazlauskas, A.; Abraham, R. T.; York, J. D.; Pendergast, A. M. *Nat. Cell Biol.* **2003**, *5*, 309.
- 12 Liang, Y.; Du, F.; Sanglier, S.; Zhou, B. R.; Xia, Y.; Van Dorsselaer, A.; Maechling, C.; Kilhoffer, M. C.; Haiech, J. *J. Biol. Chem.* **2003**, *278*, 30098.
- 13 Lu, Y.; Xie, W.; Lu, Z.; Lu, J. S.; Wang, H. H. *Thermochim. Acta* **1995**, *256*, 261.
- 14 Wadso, I. *Chem. Soc. Rev.* **1997**, *26*, 79.
- 15 Sun, D.-Z.; Song, M.-Z.; Li, D.-C.; Wang, Y.-L. *Acta Chim. Sinica* **2005**, *63*, 538 (in Chinese).  
(孙德志, 宋明芝, 李大成, 王一蕾, 化学学报, **2005**, *63*, 538.)
- 16 Shao, S.; Hu, X.-G.; Lin, R.-S. *Acta Chim. Sinica* **2000**, *58*, 1240 (in Chinese).  
(邵爽, 胡新根, 林瑞森, 化学学报, **2000**, *58*, 1240.)
- 17 Yu, L.; Lin, R. S.; Hu, X. G.; Xu, G. Y. *J. Solution Chem.* **2003**, *32*, 273.
- 18 Liu, H. G.; Lin, R. S.; Zhang, H. L. *J. Solution Chem.* **2003**, *32*, 977.
- 19 Liu, H. G.; Lin, R. S.; Zhang, H. L. *Thermochim. Acta* **2004**, *412*, 7.
- 20 Mcmillan, W. G.; Mayer, J. E. *J. Chem. Phys.* **1945**, *13*, 276.
- 21 Lilley, T. H. *Faraday Soc.* **1968**, *64*, 2947.
- 22 Franks, F.; Pedley, M.; Reid, D. S. *J. Chem. Soc., Faraday Trans.* **1976**, *72*, 359.
- 23 Piekarski, H.; Waliszewski, D. *Thermochim. Acta* **1995**, *258*, 67.
- 24 Lu, Y.; Wang, X. F.; Su, G. J.; Lu, J. S. *Thermochim. Acta* **2003**, *406*, 233.
- 25 Palecz, B.; Piekarski, H. *Fluid Phase Equilib.* **1999**, *164*, 257.

(A0608222 DING, W. F.; ZHENG, G. C.)