

# 固体的表面能及其亲水/疏水性

王 晖 顾帼华

(中南大学化学化工学院 长沙 410083)

**摘 要** 固体表面的亲水/疏水性质与表面分子与水之间的固/液界面相互作用自由能以及水介质中表面分子与空气之间的固/(液)/气界面相互作用自由能密切相关。水介质中固体表面与水之间存在范德华引力或疏水引力,与气泡之间存在范德华斥力、疏水引力以及静电斥力。在 Lifshitz-范德华(LW)相互作用自由能、Lewis 酸-碱(AB)相互作用自由能以及静电(EL)相互作用自由能 3 者之中,AB 相互作用自由能比其它两者要大 2~3 个数量级以上。与固体表面能 Lewis 酸-碱分量相关的亲水指数  $\sqrt{s^+} + \sqrt{s^-}$  可以成为衡量固体表面亲水/疏水性质的判据,水介质中固体表面疏水的必要条件是  $\sqrt{s^+} + \sqrt{s^-} < 5\text{ mJ}^{1/2}/\text{m}$ ,指数大于或接近  $5\text{ mJ}^{1/2}/\text{m}$  的表面必然是亲水的。

**关键词** 表面能 界面相互作用 亲水/疏水性 亲水指数

## Surface Free Energy of Solid Matter and its Hydrophilic/Hydrophobic Nature

Wang Hui, Gu Guohua

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha 410083)

**Abstract** The hydrophilic/hydrophobic nature of solid surface is closely related to the interfacial interactions between surface molecules, water and air, which can be divided into two series including solid/liquid and solid/(liquid)/gas interfacial interactions. There exist the Van der Waals attractive force and hydrophobic attractive force between solid surface and water interface, and there exist Van der Waals exclusive force, hydrophobic attractive force and electrostatic exclusive force between solid surface and air interface. Comparing the interactive free energy of Lifshitz-van der Waals(LW), Lewis acid-base(AB) and electrostatic interactions, the strength of the hydrophobic attractive force or hydration exclusive force is stronger than the Van der Waals force or the electrostatic force by about 2~3 orders of magnitude. While  $s^+$  and  $s^-$  represent the Lewis acid component and Lewis base component of the surface free energy respectively, the hydrophile index is defined as  $\sqrt{s^+} + \sqrt{s^-}$ , which is very useful to judge the hydrophilic/hydrophobic nature of solid surface. The necessary condition of hydrophobic surface is  $\sqrt{s^+} + \sqrt{s^-} < 5\text{ mJ}^{1/2}/\text{m}$ . The solid have a hydrophilic surface if the hydrophile index is larger than or close to  $5\text{ mJ}^{1/2}/\text{m}$ .

**Keywords** Surface free energy, Interfacial interaction, Hydrophilic/hydrophobic nature, Hydrophile index

表面自由能是分子间力的一种直接证明,液体或固体表面的分子受到不平衡的分子间力的影响,与内部分子比较,它们具有附加的能量<sup>[1]</sup>。van Oss 等<sup>[2,3]</sup>认为,表面能 由其 Lifshitz-范德华分量  $L^W$  和 Lewis 酸-碱分量  $AB$  组成,其中  $AB$  又包含 Lewis 酸分量  $s^+$  和 Lewis 碱分量  $s^-$ 。按扩展的 DLVO 理论<sup>[4,5]</sup>,两物质(组分)之间相互作用总的自由能应包括静电相互作用自由能、Lifshitz-范德华相互作用自由能以及 Lewis 酸-碱相互作用自由能,涵盖静电力、范德华力、疏水引力及水化斥力。固体表面的亲水/疏水性质实质上与两类相互作用自由能密切相关,其一是表面分子与水之间的固/液界面相互作用自由能,其二是水介质中表面分子与空气之间的固/(液)/气界面相互作用自由能,物质的表面能参数可以成为衡量其表面亲水/疏水性质的判据。

国家自然科学基金项目(50574107)资助

2009-03-09 收稿,2009-06-29 接受

## 1 固体的表面能

按文献[6~8]介绍的方法测定了 30 种固体的表面能参数,结果列于表 1 中。这 30 种固体表面可以分为极性和非极性两大类,但只有聚丙烯(PP)和聚乙烯(PE)属于非极性树脂,其它物质表面均或多或少地表现出一定的两性性质,且 Lewis 碱性强于酸性。在各表面能参数中,Lifshitz-范德华分量 $\gamma^{\text{LW}}$ 的大小从 31.54mJ/m<sup>2</sup>到 49.85mJ/m<sup>2</sup>不等;Lewis 酸分量 $\gamma^{\text{+}}$ 一般小于 1 mJ/m<sup>2</sup>,较大的 $\gamma^{\text{+}}$ 出现在活性碳上,达到 12.32mJ/m<sup>2</sup>;各表面的显著差异表现在 Lewis 碱分量 $\gamma^{\text{-}}$ 上,其变化范围从 0 到 43.43mJ/m<sup>2</sup>。检测结果与文献[9~19]的报道结果具有良好的一致性。

表 1 固体的表面能参数/(mJ/m<sup>2</sup>)Tab. 1 Parameters of surface free energy of solids/(mJ/m<sup>2</sup>)

表面能	PP 树脂	PE 树脂	PS 树脂	ABS 树脂	PC 树脂	PET 树脂	PVC 树脂	洗发水瓶	塑料桶	塑料雨靴
$\gamma^{\text{LW}}$	32.19	33.71	36.58	43.12	44.02	46.81	43.41	34.33	32.15	36.33
$\gamma^{\text{+}}$	0.00	0.00	0.010	0.059	0.068	0.60	1.73	0.0029	0.0028	0.37
$\gamma^{\text{-}}$	0.00	0.00	5.07	4.76	4.85	4.38	3.50	0.013	0.14	6.01
表面能	塑料 软水管	塑料 包装片	塑料建 筑水管	塑料装 饰扣板	塑料 汽车灯罩	塑料化 妆品盒	塑料 饮料瓶	电视机 外壳	塑料空 调外壳	塑料旅 行水杯
$\gamma^{\text{LW}}$	38.39	43.94	46.46	47.65	46.56	44.03	36.71	46.35	46.69	47.02
$\gamma^{\text{+}}$	0.52	0.72	0.74	0.38	0.66	0.063	0.016	0.79	0.55	0.67
$\gamma^{\text{-}}$	6.26	7.94	11.44	24.85	13.47	5.26	4.81	9.66	17.08	3.81
表面能	CD 碟片	辉钼 矿粉	滑石粉	云母粉	石英粉	方解石粉	玻璃	高岭 石粉	活性 碳粉	玉米 淀粉
$\gamma^{\text{LW}}$	46.88	49.85	35.32	40.44	38.87	29.67	31.54	35.59	31.65	41.06
$\gamma^{\text{+}}$	0.64	0.001	0.13	0.97	0.63	0.65	0.58	0.47	12.32	0.47
$\gamma^{\text{-}}$	14.56	0.075	6.68	8.93	43.43	30.79	39.36	34.68	16.31	25.54

## 2 界面相互作用自由能

### 2.1 固/液界面相互作用

据扩展的 DLVO 理论<sup>[4,5,20]</sup>,固体表面与水之间的固液界面相互作用自由能 $G_{\text{SW}}$ 包括 Lifshitz-范德华(LW)相互作用自由能 $G_{\text{SW}}^{\text{LW}}$ 以及 Lewis 酸-碱(AB)相互作用自由能 $G_{\text{SW}}^{\text{AB}}$ 两项<sup>[21,22]</sup>。将固体看作半径为 $R$ 的球形颗粒,液体视为无限厚板,可以得出当两表面间接触距离为 $d$ 时相应的相互作用自由能与作用距离的关系 $G(d)$ 的表达式(式 1)<sup>[5,23,24]</sup>,其中 $d_0$ 为两表面间的最小平衡接触距离,通常为 $0.158 \pm 0.08\text{nm}$ <sup>[5]</sup>;  $h_0$ 为衰减长度,一般取 $10\text{nm}$ <sup>[5]</sup>;水的表面能参数<sup>[6~12]</sup>  $\gamma_{\text{w}}^{\text{LW}} = 21.8\text{mJ/m}^2$ 、 $\gamma_{\text{w}}^{\text{+}} = 25.5\text{mJ/m}^2$ 、 $\gamma_{\text{w}}^{\text{-}} = 25.5\text{mJ/m}^2$ 。

$$\begin{cases} G_{\text{SW}}(d) = G_{\text{SW}}^{\text{LW}}(d) + G_{\text{SW}}^{\text{AB}}(d) \\ G_{\text{SW}}^{\text{LW}}(d) = -4R \sqrt{\gamma_{\text{s}}^{\text{LW}} \gamma_{\text{w}}^{\text{LW}}} \left( \frac{d_0^2}{d} \right) \quad (\text{mJ}) \\ G_{\text{SW}}^{\text{AB}}(d) = -4Rh_0 \left( \sqrt{\gamma_{\text{s}}^{\text{+}} \gamma_{\text{w}}^{\text{-}}} + \sqrt{\gamma_{\text{s}}^{\text{-}} \gamma_{\text{w}}^{\text{+}}} \right) \exp \left( \frac{d_0 - d}{h_0} \right) \quad (\text{mJ}) \end{cases} \quad (1)$$

从式(1)分析,不论何种固体表面(极性还是非极性),在水介质中与水之间的 LW 相互作用自由能和 AB 相互作用自由能只能小于零,意味着表面与水之间总是存在范德华引力或疏水引力,因此,对于任何固体表面,在水介质中均会形成水化层,即在没有气相存在情况下,任何固体表面均是亲水的。非极性表面亲水的原因是由于范德华引力在起作用,极性表面亲水的原因则是由于 Lifshitz-范德华力和 Lewis 酸-碱相互作用力的共同作用。由此推断,固体表面的亲水程度与固液界面相互作用自由能的大小密切相关。

### 2.2 固/(液)/气界面相互作用

水介质中固体表面与气相(气泡)之间的固/(液)/气界面相互作用自由能 $G_{\text{SWB}}$ 包括 Lifshitz-范德华

(LW) 相互作用自由能  $G_{\text{SWB}}^{\text{LW}}$ 、Lewis 酸-碱 (AB) 相互作用自由能  $G_{\text{SWB}}^{\text{AB}}$  以及静电 (EL) 相互作用自由能  $G_{\text{SWB}}^{\text{EL}}$  [5, 20~22]。将固体和气泡分别看作半径为  $R_1$  和  $R_2$  的球形颗粒, 同样可以得出当两表面间接触距离为  $d$  时相应的相互作用自由能与作用距离关系的表达式 (式 2) [5, 23, 24]。

$$\begin{cases} G_{\text{SWB}}(d) = G_{\text{SWB}}^{\text{LW}}(d) + G_{\text{SWB}}^{\text{AB}}(d) + G_{\text{SWB}}^{\text{EL}}(d) \\ G_{\text{SWB}}^{\text{LW}}(d) = \frac{4 R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left( \sqrt{\frac{\gamma_{\text{S}}^{\text{LW}} \gamma_{\text{W}}^{\text{LW}}}{s}} - \frac{\gamma_{\text{W}}^{\text{LW}}}{w} \right) \left( \frac{d_0^2}{d} \right) \quad (\text{mJ}) \\ G_{\text{SWB}}^{\text{AB}}(d) = \frac{4 R_1 R_2}{(R_1 + R_2)} h_0 \left( \sqrt{\frac{\gamma_{\text{S}}^+ \gamma_{\text{W}}^+}{s}} + \sqrt{\frac{\gamma_{\text{W}}^+ \gamma_{\text{B}}^+}{s}} - 2 \sqrt{\frac{\gamma_{\text{W}}^+ \gamma_{\text{W}}^+}{w}} \right) \exp \left( \frac{d_0 - d}{h_0} \right) \quad (\text{mJ}) \\ G_{\text{SWB}}^{\text{EL}}(d) = \frac{q R_1 R_2}{(R_1 + R_2)} \left( \frac{2}{\frac{2}{\gamma_{\text{S}}^+} + \frac{2}{\gamma_{\text{W}}^+}} \right) \left( \frac{2}{\frac{2}{\gamma_{\text{S}}^+} + \frac{2}{\gamma_{\text{W}}^+}} p + q \right) \quad (\text{mJ}) \\ p = \ln \left[ \frac{1 + \exp(-\frac{d}{d_0})}{1 - \exp(-\frac{d}{d_0})} \right] \\ q = \ln [1 - \exp(-\frac{2d}{d_0})] \end{cases} \quad (2)$$

式 (2) 中:  $\epsilon_0$  为分散介质的绝对介电常数, 真空中为  $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , 水中为  $6.95 \times 10^{-10} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ;  $\phi_0$  为颗粒表面电位 (mV 或 mJ/C), 可近似用动电位代替 [5];  $\lambda_D$  为德拜长度的倒数, 常温下取  $0.104 \text{ nm}^{-1}$  [5]。

分析式 (2), 由于  $\frac{\gamma_{\text{S}}^{\text{LW}}}{s}$  大于  $\frac{\gamma_{\text{W}}^{\text{LW}}}{w}$ , 故  $G_{\text{SWB}}^{\text{LW}}$  大于 0, 因此, 水介质中固体表面与气泡之间总是存在范德华斥力; 而由于  $\sqrt{\frac{\gamma_{\text{S}}^+ \gamma_{\text{W}}^+}{s}} + \sqrt{\frac{\gamma_{\text{W}}^+ \gamma_{\text{B}}^+}{s}}$  小于  $2 \sqrt{\frac{\gamma_{\text{W}}^+ \gamma_{\text{W}}^+}{w}}$ ,  $G_{\text{SWB}}^{\text{AB}}$  小于 0, 水介质中固体表面与气泡之间又存在大小不等的疏水引力; 至于静电相互作用, 则与固体表面的荷电情况有关, 在中性 pH 附近, 气泡的电位在 -20mV 左右 [25, 26], 此时如果固体表面荷正电, 则存在静电引力; 大多数情况下, 中性 pH 附近的固体表面往往荷负电, 因此表面与气泡之间将存在静电斥力。

### 2.3 示例

以聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 和石英为例。将固体颗粒和气泡均看作半径  $R = 1 \text{ mm}$  的球形粒子, 按式 (1) 和式 (2) 分别计算 PET 颗粒和石英颗粒的固/液和固/(液)/气界面相互作用自由能与作用距离的关系。取两表面间最小平衡接触距离  $d_0 = 0.158 \text{ nm}$ , 衰减长度  $h_0 = 10 \text{ nm}$ , 用动电位代替颗粒表面电位, 中性 pH 附近, PET 颗粒  $\phi_0 = -35 \text{ mV}$ , 石英颗粒  $\phi_0 = -70 \text{ mV}$ , 气泡  $\phi_0 = -20 \text{ mV}$  [25, 26]。图 1 和图 2 分别是 PET 颗粒、石英颗粒与水以及与气泡之间的界面相互作用势能曲线。

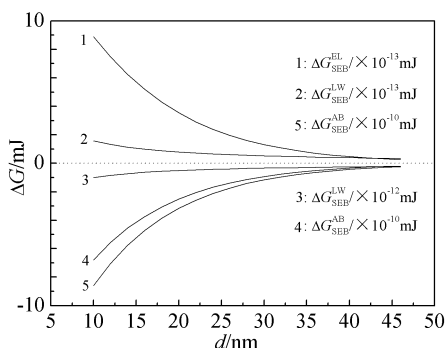


图 1 PET 颗粒与水以及与气泡之间的界面相互作用势能曲线

Fig. 1 Potential energy curves of the interaction between PET grains, water and gas bubbles

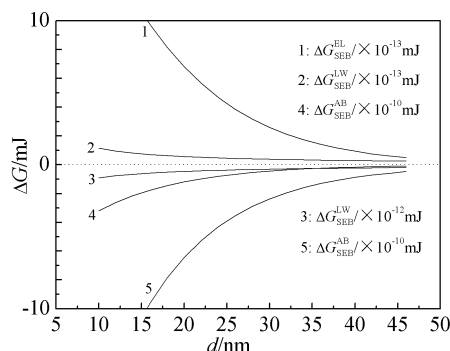


图 2 石英颗粒与水以及与气泡之间的界面相互作用势能曲线

Fig. 2 Potential energy curves of the interaction between quartz grains, water and gas bubbles

由图 1 和图 2 可见, 无论是固/液界面还是水介质中的固/气界面, 在 LW 相互作用自由能、AB 相互作用自由能以及 EL 相互作用自由能 3 者之中, AB 相互作用自由能比其它两者要大 2~3 个数量级以上 [5], 因此由 AB 相互作用而产生的疏水引力将是固体表面与水以及与气泡之间相互作用的决定性因素, 固体表面的亲水/疏水性直接与 AB 相互作用自由能的大小密切相关。用其它固体作为研究对象也能得出如是结论。

### 3 固体表面的亲水指数

如上所述,固体表面在水介质中受到的固/液界面以及固/气界面的主要作用力均是由 AB 相互作用而产生的疏水引力,若忽略体系中的范德华力与静电力,则只有当表面与气泡之间的 AB 相互作用自由能在数值上低于表面与水之间的 AB 相互作用自由能时,气泡才有可能向表面靠近并进一步挤压固体表面的水化层,导致表面疏水化。因此,水介质中固体表面疏水的必要条件是:

$$G_{\text{SWB}}^{\text{AB}} < G_{\text{SW}}^{\text{AB}} \quad (3)$$

当固/液和固/气界面间处于最小平衡接触距离  $d_0$  时,对式(1)和式(2)中的 AB 相互作用自由能进行数学处理,可以得到固液和固/气接触时单位固体表面上的自由能,见式(4)和式(5)。

$$G_{\text{SWB}}^{\text{AB}} = 2 \left( \sqrt{\gamma_{\text{w}}^+ \gamma_{\text{s}}^-} + \sqrt{\gamma_{\text{w}}^- \gamma_{\text{s}}^+} - 2 \sqrt{\gamma_{\text{w}}^+ \gamma_{\text{w}}^-} \right) \quad (\text{mJ}/\text{m}^2) \quad (4)$$

$$G_{\text{SW}}^{\text{AB}} = -2 \left( \sqrt{\gamma_{\text{s}}^+ \gamma_{\text{w}}^-} + \sqrt{\gamma_{\text{s}}^- \gamma_{\text{w}}^+} \right) \quad (\text{mJ}/\text{m}^2) \quad (5)$$

将式(4)、(5)代入式(3):

$$\sqrt{\gamma_{\text{s}}^+ \gamma_{\text{w}}^-} + \sqrt{\gamma_{\text{s}}^- \gamma_{\text{w}}^+} < \sqrt{\gamma_{\text{w}}^+ \gamma_{\text{w}}^-} \quad (6)$$

代入水的表面能数据,即得到水介质中固体表面疏水的必要条件:

$$\sqrt{\gamma_{\text{s}}^+} + \sqrt{\gamma_{\text{s}}^-} < 5 \quad \text{mJ}^{1/2} \cdot \text{m}^{-1} \quad (7)$$

笔者将  $\sqrt{\gamma_{\text{s}}^+} + \sqrt{\gamma_{\text{s}}^-}$  定义为固体表面的亲水指数,单位为  $\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$ ,只有亲水指数低于  $5\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$  的表面才有可能成为疏水表面,指数大于或接近  $5\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$  的表面是亲水的。

表 2 中给出了部分固体表面的亲水指数。

表 2 固体表面的亲水指数  $\sqrt{\gamma_{\text{s}}^+} + \sqrt{\gamma_{\text{s}}^-}$  ( $\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$ )

Tab. 2 The hydrophile index of solid surface  $\sqrt{\gamma_{\text{s}}^+} + \sqrt{\gamma_{\text{s}}^-}$  ( $\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$ )

PP 树脂	PE 树脂	洗发水瓶	辉钼矿粉	塑料桶	塑料 饮料瓶	PS 树脂	ABS 树脂	PC 树脂	塑料化 妆品盒
0.00	0.00	0.17	0.31	0.43	2.32	2.35	2.42	2.46	2.54
塑料旅 行水杯	PET 树脂	滑石粉	塑料雨靴	PVC 树脂	塑料 软水管	塑料 包装片	云母粉	电视机 外壳	塑料建 筑水管
2.77	2.87	2.95	3.06	3.19	3.22	3.67	3.97	4.00	4.24
塑料汽车 灯罩	CD 碟片	塑料空 调外壳	塑料装 饰扣板	玉米淀粉	方解石粉	高岭石粉	玻璃	石英粉	活性碳粉
4.48	4.62	4.87	5.60	5.74	6.36	6.57	7.04	7.38	7.55

### 4 固体表面的亲水/疏水性实验

对于表 1 中所列的 30 种实验样品,在确保相应纯度的情况下,用微型植物粉碎机或矿用制样机粉碎至粒径小于  $0.074\text{mm}$ ,先用 5 % 盐酸(方解石粉、高岭石粉、滑石粉及云母粉用 5 % 氢氧化钠)溶液浸泡 20min,然后用自来水反复冲洗 5 次,最后用蒸馏水反复冲洗 5 次,室温下晾干,装瓶备用。

考察固体表面亲水/疏水性实验在自制的玻璃气浮柱中进行,气浮柱主要由柱体、充气管、砂芯(平均孔径  $10\mu\text{m}$ )等组成,有效容积  $120\text{mL}$ ,具体配置见图 3。实验过程中,每次称取样品  $15\text{g}$ ,与  $60\text{mL}$  蒸馏水一起加入气浮柱中,搅拌( $150\text{r}/\text{min}$ ),用洗瓶慢慢加入蒸馏水至上浮物出口附近,开启充气泵,用湿式气体流量计控制充气量  $6\text{mL}/\text{min}$ ,此时表面疏水物料将随气泡一起上浮,而表面亲水物料仍将残留于气浮柱底部。用与上浮物出口同宽度的排笔刮取上浮产物,上浮时间  $6\text{min}$ 。试验结束后,根据在温度低于  $60^\circ\text{C}$  下烘干后上浮产物的重量计算上浮率。每组试验至少重复 2 次,取平均值。实验结果见图 4。

实验表明,气浮过程中,亲水指数小于  $4\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$  的物料,表面的强疏水性导致颗粒上浮率维持在 100 %;随着亲水指数的增大,颗粒上浮率急剧下降,当亲水指数接近或大于  $5\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$  后,表面的强亲水性导致颗粒的上浮率几乎为 0。由此表明,亲水指数可以成为衡量固体表面亲水/疏水性质的判据,

水介质中固体表面疏水的必要条件是  $\sqrt{\gamma_s^+} + \sqrt{\gamma_s^-} < 5\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$ , 指数大于或接近  $5\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$  的表面必然是亲水的。

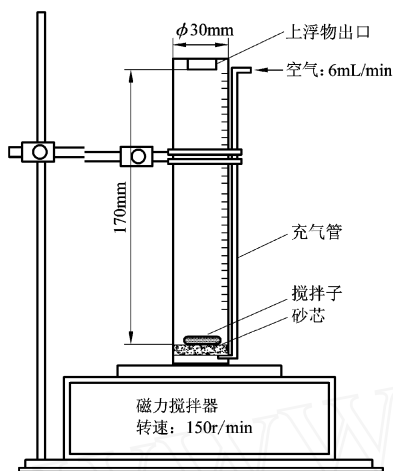


图3 考察固体表面亲水/疏水性气浮装置

Fig. 3 Experimental setup for investigating hydrophilic/hydrophobic properties of solid surface

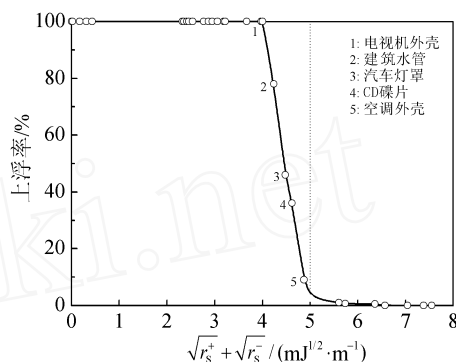


图4 固体表面亲水/疏水性实验结果

Fig. 4 Experimental results of hydrophilic/hydrophobic properties of solid surface

## 5 结论

水介质中固体表面与水之间总是存在范德华引力或疏水引力,在没有气相存在情况下,任何固体表面均是亲水的,固体表面的亲水程度与固液界面相互作用自由能的大小密切相关。水介质中固体表面与气泡之间总是存在范德华斥力,但同时又存在大小不等的疏水引力,中性 pH 附近固体表面与气泡之间存在静电斥力。

无论是固/液界面还是水介质中的固/气界面,在 Lifshitz 范德华 (LW) 相互作用自由能、Lewis 酸-碱 (AB) 相互作用自由能以及静电 (EL) 相互作用自由能 3 者之中,AB 相互作用自由能比其它两者要大 2 ~ 3 个数量级以上,由此产生的疏水引力将是固体表面与水以及与气泡之间相互作用的决定性因素。

亲水指数  $\sqrt{\gamma_s^+} + \sqrt{\gamma_s^-}$  可以成为衡量固体表面亲水/疏水性质的判据,水介质中固体表面疏水的必要条件是  $\sqrt{\gamma_s^+} + \sqrt{\gamma_s^-} < 5\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$ ,指数大于或接近  $5\text{mJ}^{1/2}/\text{m}$  的表面必然是亲水的,固体表面亲水/疏水性实验证明了上述结论。

## 参 考 文 献

- [1] D W 范克雷维伦著,许元泽,赵得禄,吴大诚译. 聚合物的性质 - 性质的估算及其与化学结构的关系. 北京: 科学出版社, 1981: 121 ~ 129.
- [2] C J Van Oss, M K Chaudhury, R J Good. Sep. Sci. Tech., 1987, 22(6): 1515 ~ 1526.
- [3] C J Van Oss, R J Good, M K Chaudhury. J. Dispers. Sci. Tech., 1990, 11(1): 75 ~ 81.
- [4] P K Sharma, R K Hanumantha. Colloid. Surf. B: Biointerf., 2003, 29(1): 21 ~ 38.
- [5] 邱冠周, 胡岳华, 王淀佐. 颗粒间相互作用与细粒浮选. 长沙: 中南工业大学出版社, 1993: 123 ~ 184.
- [6] 王晖, 顾帼华, 邱冠周. 中南大学学报, 2006, 37(5): 942 ~ 947.
- [7] H Wang, G H Gu, J G Fu et al. J. China Univ. Min. Tech., 2008, 18(1): 82 ~ 87.
- [8] A Hölländer. J. Colloid Interf. Sci., 1995, 169(2): 493 ~ 496.
- [9] S Shalel-Levanon, A Marmur. J. Colloid Interf. Sci., 2003, 262(2): 489 ~ 499.
- [10] B Janczuk, T Bialopiotrowicz, A Zdziennicka. J. Colloid Interf. Sci., 1999, 211(1): 96 ~ 103.
- [11] T Bialopiotrowicz. Food Hydrocolloids, 2003, 17(2): 141 ~ 147.
- [12] M C Michalski, J Hardy, B J V Saramago. J. Colloid Interf. Sci., 1998, 208(1): 319 ~ 328.
- [13] S J Park, J S Kim. J. Colloid Interf. Sci., 2001, 244(2): 336 ~ 341.
- [14] M H V C Adão, B J V Saramago, A C Fernandes. J. Colloid Interf. Sci., 1999, 217(1): 94 ~ 106.
- [15] T Bialopiotrowicz, B Janczuk. Euro. Polym. J., 2001, 37(5): 1047 ~ 1051.
- [16] O N Tretinnikov. J. Colloid Interf. Sci., 2000, 229(2): 644 ~ 647.
- [17] M Morra. J. Colloid Interf. Sci., 1996, 182(1): 312 ~ 314.

- [18] A Bismarck, M E Kumru, J Springer. J. Colloid Interf. Sci., 1999, 217(2):377~387.  
[19] W Wu, R F Gese Jr., C J van OSS. Powder Tech., 1996, 89(2):129~132.  
[20] W Wu, R F Gese Jr., C J van OSS. Colloid. Surf. B: Biointerf., 1999, 14(1-4):47~55.  
[21] M Espinosarjiménez, A Ontiveros-Ortega, E Giménez-martín. J. Colloid Interf. Sci., 1997, 194(2):419~426.  
[22] M Espinosarjiménez, E Giménez-martín, A Ontiveros-Ortega. J. Colloid Interf. Sci., 1998, 207(1):170~179.  
[23] B Janczuk, J M Bruque, M L González-martín et al. Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects, 1995, 100(July 25):93~103.  
[24] B Janczuk, M L González-martín, J M Bruque et al. J. Colloid Interf. Sci., 1995, 176(2):352~357.  
[25] J S Laskowski, Z Xu, R H Yoon. Proc. XVII International Mineral Processing Congress, Dresden, Germany, September, 1991:237~249.  
[26] P Saulnier, J Lachaise, G Mbrel et al. J. Colloid Interf. Sci., 1996, 182(2):395~399.

**王 晖**

1968 年 2 月生于安徽太湖

1990 年毕业于江西理工大学本科

现系中南大学化学化工学院副教授

从事矿物加工及表面化学研究

Email: huiwang1968@163.com

## 中国化学会第 27 届学术年会

主题:创新型社会与化学的责任

2010 年 6 月 20-23 日

福建省厦门市·厦门大学

主办单位:中国化学会 承办单位:厦门大学

协办单位:中国科学院福建物质结构研究所

会议负责人

主席:白春礼

执行主席:朱崇实

执行副主席:孙世刚

秘书长:姚建年、黄培强、杨振忠

### 会议设置及交流内容

分会:

1 分会:绿色化学

2 分会:环境化学

3 分会:化学生物学

4 分会:纳米化学

5 分会:应用化学

6 分会:有机化学

7 分会:聚合物科学中的理论、模拟和计算研究

8 分会:现代无机化学的现状和发展趋势

9 分会:分析化学

10 分会:电化学与能源化学

11 分会:催化化学

12 分会:光化学

13 分会:胶体与界面化学

14 分会:理论化学方法和应用

15 分会:化学信息学与化学计量学

16 分会:超分子组装与软物质

17 分会:化学教育

18 分会:化学研究中的新仪器、新方法

论坛:1. 化学的创新与发展论坛; 2. 海峡两岸化学论坛; 3. 中日青年化学家论坛

展览:新技术、新产品与新仪器成果展

会议第一轮通知详见:<http://www.ccs.ac.cn>

中国化学会联系人:唐 惠

通讯地址:北京 2709 信箱转中国化学会; 邮编:100190;

电话:010-62625584; 传真:010-62568157; 电子信箱:maria@iccas.ac.cn