科研报告

工业废水铁氧体净水技术的理论分析

许 孙 曲

一、铁氧体净化技术概述

铁氧体净化技术是七十年代发展起来的一种废水净化方法。 该项技术净化效果好,可同时除去多种污染物,适应范围广;固液分离容易,流程简单;二次污染小,废渣可再利用等许多优点^[1-2],是一种有前途的废水净化技术。目前,国内外正在对该法进行研究开发^[3].

铁氧体净化技术主要有两种方法^[11],即中和法和氧化法。中和法是将三价铁离子和含二价金属离子的废水用碱中和,在一定条件下,直接形成尖晶石型铁氧体。其反应式为 $2Fe^{3+}+M^{2+}+8OH^-=MFe_2O_4\downarrow+4H_2O$ 氧化法是将亚铁离子和含其它二价离子的废水加碱鼓风氧化,使其生成尖晶石型铁氧体。其反应式为·

$$(3-x)$$
Fe²⁺ + x M²⁺ + 6OH⁻ + $\frac{1}{2}$ O₂

 $= M_x \operatorname{Fe}_{(3-x)} O_4 \downarrow + 3H_2 O$

氧化法的原则流程如图 1 所示。

两法都以尖晶石型铁氧体为污染物载体

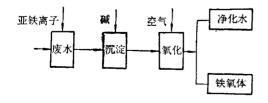


图 1 铁氧体净化技术(氧化法)原则流程

本文得到卢继美同志的帮助, 谨致谢意。

或称净化机构。它为 Fe₃O₄—MO·Fe₂O₃ 固溶体,是铁过剩的铁氧体。净化机构的主要作用是: 1.提供水中杂质金属离子参与结晶而除去的晶格位置; 2.提供水中其它不溶或可溶杂质被吸附而除去的表面位置。为满足净化水和废渣再利用的要求,必须探讨生成铁氧体的热力学可能性,和获得适当大小的晶粒的动力学条件。

本文从防治工业水污染的观点出发,针对目前的发展动向,对采用亚铁盐的铁氧体净化技术(氧化法)从理论上进行一些探讨。讨论时,为了便于理论推演,以 M=Fe 的体系即 Fe—H₂O 系废水为讨论对象。因而,下述 Fe₃O₄ 均表示广义的铁氧体。

二、热力学可能性的分析

Fe(II) 离子在水中除了以水化离子形态存在外,还可能以各种水解产物形态(如Fe(OH),等)出现,水解反应如下.

$$Fe^{2+} + H_2O \xrightarrow{K_1} Fe(OH)^+ + H^+$$

$$K_1 = \frac{[Fe(OH)^+][H^+]}{[Fe^{2+}]}$$
(1)

$$Fe^{2+} + H_2O \Longrightarrow Fe(OH)_2 + 2H^+$$

$$K_2 = \frac{[F_2(OH)_2][H^+]^2}{[Fe^{2+}]}$$
(2)

 K_1 , K_2 为累积水解常数^[4]。 水中含铁总浓度为:

$$[Fe]_T = [Fe^{2+}] + [Fe(OH)^+] + [Fe(OH)_2]$$

$$= [Fe^{2+}] + \frac{[Fe^{2+}]K_1}{[H^+]} + \frac{[Fe^{2+}]K_2}{[H^+]^2}$$

由此可得:

$$\frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}]_{\text{T}}} = \left(1 + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} + \frac{K_2}{[\text{H}^+]^2}\right)^{-1}$$
 (3)

此即为水中水化 Fe²⁺ 离子占总铁浓度的百分数,从公式(1)和(3)得:

$$\frac{[\text{Fe}(\text{OH})^{+}]}{[\text{Fe}]_{T}} = \frac{K_{1}}{[\text{H}^{+}]} \times \left(1 + \frac{K_{1}}{[\text{H}^{+}]^{2}} + \frac{K_{2}}{[\text{H}^{+}]^{2}}\right)^{-1}$$
(4)

同理,从公式(2)和(3)得:

$$\frac{[\text{Fe}(\text{OH})_{2}]}{[\text{Fe}]_{T}} = \frac{K_{2}}{[\text{H}^{+}]^{2}} \times \left(1 + \frac{K_{1}}{[\text{H}^{+}]^{2}} + \frac{K_{2}}{[\text{H}^{+}]^{2}}\right)^{-1} (5)$$

据上各式,可从一定温度下的 pK_1 、 pK_2 计算出某 pH 值下各种存在形态的百分数。表 1 列出了 Fe(II) 在 $25 \,^{\circ}$ C 下 $pK_1 = 9.5$ 及 $pK_2 = 20.6^{[4]}$ 时,几种 pH 值下的各种存在形态的百分含量。可见,pH 升高时,Fe(II)的形态变化为

 $Fe^{2+} \longrightarrow Fe(OH)^{+} \longrightarrow Fe(OH)$ 从。 对于 Fe(III),当 pH 升高时,也可推得其形态变化为

$$Fe^{3+} \longrightarrow Fe(OH)^{2+} \longrightarrow Fe(OH)^{+}_{2}$$

 $\longrightarrow Fe(OH)_{3}$

表 1 Fe(II) 在水中的存在形态

Hq	Fe ²⁺ (%)	Fe(OH)+(%)	F2(OH) ₂ (%)
7	99.7	0.3	0
8	96.9	3.1	0
9	75 8	24 0	0.2
10	22.7	71.6	5.7
11	1.7	54.8	43.5
12	0	11.2	88.8
13	0	1.2	95.8
14	0	0,1	GG G

若仅考虑液相的 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 与固相的 $Fe(OH)_3$ 和 $Fe(OH)_3$ 之间的变化,那么,在 提高pH值的同时,向水体通入 O_2 气之后,则

水体中有可能发生如下反应:

$$2Fe^{2+} + \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ = 2Fe^{3+} + H_2O$$

$$Fe^{2+} + 2OH^- = Fe(OH)_2 \downarrow$$

$$Fe^{3+} + 3OH^- = Fe(OH)_3 \downarrow$$

$$Fe(OH)_2 + 2Fe(OH)_3$$

$$= Fe_3O_4 \downarrow + 4H_2O(Fe_3O_4 \cdot 4H_2O)$$

$$6Fe(OH)_2 + O_2$$

$$= 2Fe_3O_4 \downarrow + 6H_2O(2Fe_3O_4 \cdot 6H_2O)$$

$$2Fe(OH)_3$$

$$= Fe_3O_4 \downarrow + 3H_3O(Fe_3O_3 \cdot 3H_3O)$$

所以,可把 $Fe-H_2O$ 系的物质形态看作 $Fe-Fe^{2+}-Fe_3O_4-Fe_2O_5$ 体系,其平衡关系 如下(25°C):

(1)
$$Fe^{2+} + 2e = Fe$$

 $E_{\oplus} = -0.440 + 0.0296 \log a_{Fe^{2+}}$
 $E_{\oplus}^{\circ} = -0.440$ (伏)
(2) $Fe^{5+} + e = Fe^{2+}$

$$E_{\text{E}} = 0.771 + 0.0592 \log (a_{\text{Fe}^2} + /a_{\text{Fe}^2} +)$$

 $E_{\text{E}} = 0.771 \text{ (伏)}$

(3)
$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$$

 $\text{pH}_{30} = -0.24 - \frac{1}{3} \log a_{\text{Fe}^{3+}}.$
 $\text{pH}_{30}^0 = -0.24$

(4)
$$Fe_2O_3 + 6H^+ + 2e$$

 $= 2Fe^{2+} + 3H_2O$
 $E_{\odot} = 0.728 - 0.1771 pH$
 $- 0.0592 \log a_{Fe^{2+}}$
 $E_{\odot}^0 = 0.728$ (状)

(5)
$$\text{Fe}_{3}\text{O}_{4} + 8\text{H}^{+} + 2e = 3\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}_{2}\text{O}$$

 $E_{5} = 0.982 - 0.2364\text{pH} + 0.0888 \log a_{\text{Fe}^{2+}}$
 $E_{3}^{\circ} = 0.982 \text{ ($\%$)}$

(6)
$$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 8e = 3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O}$$

 $E_{30} = -0.085 - 0.0592\text{pH}$
 $E_{30}^0 = -0.085$ (伏)

(7)
$$3Fe_2O_3 + 2H^+ + 2e$$

= $2Fe_3O_4 + H_2O$

$$E_{\odot} = 0.221 - 0.0592$$
pH
 $E_{\odot}^{\circ} = 0.221$ (伏)

由上述各式可绘出 $Fe-Fe^{2+}-Fe^{3+}-Fe.O_4-Fe_2O_3$ 体系在 25%、a=1 时的电位-pH 图 (见图 2 中的实线).

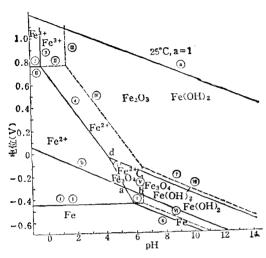


图 2 Fe-H₂O 系电位-pH 图

但是,在未通人 O_2 的含 Fe(II) 与 Fe(III) 的水体中,又可把 $Fe-H_2O$ 系看作 $Fe-Fe^{2+}-Fe^{3+}-Fe(OH)_2-Fe(OH)_3$ 体系,该体系在 25 \mathbb{C} 时的平衡关系是:

(1)
$$Fe^{2+} + 2e = Fe$$

 $E_1 = -0.440 + 0.0296 \log a_{Fe^{2+}}$
 $E_1^{\circ} = -0.440$ (状)

(2)
$$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$$
 $E_{II} = 0.771$
 $+ 0.0592 \log a_{Fe^{3+}} / a_{Fe^{2+}}$
 $E_{II}^{\circ} = 0.771$ (伏)

(3)
$$Fe(OH)_3 + 3H^+ = Fe^{3+} + 3H_2O$$

 $pH = 1.617 - \frac{1}{3} \log a_{Fe^{3+}}$
 $pH_{III}^0 = 1.617$ (伏)

(4)
$$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e$$

= $Fe^{2+} + 3H_2O$
 $E_{IV} = 1.057 - 0.0592 \log a_{Fe^{2+}}$
- $0.1771pH$

$$E_{iv}^{\circ} = 1.057$$
 (伏)

(5)
$$Fe(OH)_2 + 2H^+ = Fe^{2+} + 2H_2O$$

 $pH_V = 6.65 - \frac{1}{2} \log a_{Fe^{2+}}$
 $pH_V^0 = 6.65$

(6)
$$Fe(OH)_2 + 2H^+ + 2e$$

= $Fe + 2H_2O$
 $E_{VI} = -0.047 - 0.0592pH$
 $E_{VI}^0 = -0.047$ (伏)

(7)
$$Fe(OH)_{c} + H^{+} + e$$

$$= Fe(OH)_{2} + H_{2}O$$

$$E_{VII} = 0.271 - 0.0592pH$$

$$E_{VII}^{\circ} = 0.271 (伏)$$

由 (1)—(7) 式 可 绘 制 $Fe-Fe^{2+}-Fe^{3+}$ — $Fe(OH)_2-Fe(OH)$ 。体系在 25°C,a=1 时的 电位-pH 图(见图 2 中的虚线)。图 2 的 ②线 和 ⑤ 线 为 水 的 电位-pH 图 线,平衡关系为:

(a)
$$O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O(P_{02})$$

 $= 1_{atm}$)
 $E_{\odot} = 1.229 - 0.0592 pH$
 $E_{\odot}^{\circ} = 1.229$ (伏)
(b) $2H^+ + 2e = H_2$ ($P_{H_2} = I_{atm}$)
 $E_{\odot} = -0.0592 pH$
 $E_{\odot}^{\circ} = 0$ (伏)

由图 2 可知,在 25° C、 $\alpha_{Fe}^{2+} = \alpha_{Fe}^{2+} = 1$ 时,若电位和 pH 处于 abcd 区,则未通人 O_2 前, Fe^{2+} 可稳定存在;在通 O_2 后, Fe_3 O,就可生成并稳定地存在着。诚然,当温度和活度改变时,图 2 中的平衡线将发生移动,但仍然可以找到这样的稳定区。 从理论上来说,这个稳定区是可以预测的,即按上述方法,我们可预测生成 Fe_3 O,的条件,在一定温度下,向水体投加一定浓度(活度)的 Fe^{2+} ,同时调节 pH 值,并通人适量的 O_2 ,即可制得 Fe_3 O,(铁氧体)晶粒。但由于水体中的反应比较复杂,而且有些可变因素(如温度、活度等)不仅是热力学因素,也是动力学因素,所以生成Fe₃O,的具体最佳条件必须由实验确定。 但理论推得的条件可指导确定或改变实验方

案.

当采用亚铁盐(如 FeSO₄)作为制备 Fe₂O₄的原料时,其中的三价 Fe 自然是由二价 Fe 氧化而来的。 依分子式 Fe₂O₄,氧化程度应控制在 a_{Fe}^{3+} : a_{Fe}^{2+} = 2:1 为宜。 水体中时时保持此活度比时,Fe₃O₄的产量可能达到最大。为探索活度比的最佳条件,可绘制Fe³⁺-Fe²⁺-H₂O 系氧化还原对数浓度图¹⁵¹.为此,先作如下处理:

对于平衡
$$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$$

平衡常数 $K = a_{Fe}^{2+}/a_{Fe}^{3+} \cdot a_{e}$ (6)

浓度条件 $[Fe]_T = a_{Fe} + + a_{Te} + (7)$ 由公式(6)和(7)可得:

$$a_{\text{Fe}^{1+}} = \frac{[\text{Fe}]_{\text{T}} \cdot K^{-1}}{K^{-1} + a_{\text{c}}} \tag{8}$$

$$a_{\mathrm{Fc}^2} + = \frac{[\mathrm{Fe}]_{\mathrm{T}} \cdot a_{\mathrm{e}}}{K^{-1} + a_{\mathrm{e}}} \tag{9}$$

对于公式(8),当 $a_c \ll K^{-1}$ 时, a_{Fc} 3+ = [Fc]_T,即

$$\begin{array}{ccc} \log a_{\mathrm{Fe}^{3+}} = \log \left[\mathrm{Fe}\right]_{\mathrm{T}}, \\ \stackrel{\mathrm{M}}{=} & a_{e} \gg K^{-1} & \mathrm{H}^{\frac{1}{2}}, \\ & a_{\mathrm{Fe}^{3+}} = \left[\mathrm{Fe}\right]_{\mathrm{T}} \cdot K^{-1}/a_{e}, \end{array}$$

刚

 $\log a_{\mathrm{Fe}^{3+}} = \log [\mathrm{Fe}]_{\mathrm{T}} - \log K - \log a_{\epsilon}$ 对于公式(9),当 $a_{\epsilon} \gg K^{-1}$ 时, $a_{\mathrm{Fe}^{2+}} = [\mathrm{Fe}]_{\mathrm{T}}$,即

$$\log a_{\mathrm{Fe}^{2+}} = \log [\mathrm{Fe}]_{\mathrm{T}}$$

$$\stackrel{\text{def}}{=} a_{e} \ll K^{-1} \text{ foll,}$$

$$a_{\mathrm{Fe}^{2+}} = [\mathrm{Fe}]_{e} \cdot a_{e}/K^{-1}$$

刡

 $\log a_{Fc^{2+}} = \log [Fe]_T + \log a_e + \log K$ 定义

$$pe = -\log a_e$$
, $pe^0 = \log K$,

可得:

$$\log a_{\text{Fe}^{3+}} = \log [\text{Fe}]_{\text{T}}$$
$$\log a_{\text{Fe}^{3+}} = \log [\text{Fe}]_{\text{T}} - p s^{\gamma} + p s$$

$$\log a_{\text{Fe}^{2+}} = \log [\text{Fe}]_{\text{T}}$$
$$\log a_{\text{Fe}^{2+}} = \log [\text{Fe}]_{\text{T}} - p_{\theta} + p_{\theta}^{0}$$

当 Fe3+ 与 Fe2+ 同处于水中时,还有如下反

M.:

$$2H^{+} + 2e = H_{2}$$

O₂ + $4H^{+} + 4e = 2H_{2}O$

也可得:

$$\log p_{\text{H}_2} = -2\text{pH} - 2p\theta$$
$$\log p_{\text{O}_1} = -83.1 + 4\text{pH} + 4p\theta$$

$$pe^{0} = \log K = -\frac{\Delta G^{0}}{2.303RT} = \frac{FE^{0}}{2.303RT}$$
$$= \frac{23063 \times 0.771}{2.303 \times 1.987 \times 298.15} = 13.03$$

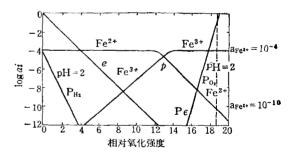


图 3 Fe3+-Fe2+-H2O 系氧化还原对数浓度图

 $p_{O_2} = 0.21$ atm 时, $p_B = 18.5$,即氧化性强。 $a_{F_c}^{3+} = 10^{-4}$ 比 $a_{F_c}^{1+} = 10^{-10}$ 大得多,意为过氧化。为了使活度比趋于2:1,可降低氧压 p_{O_2} (只需微氧化)或加碱增大 pH,使 p_{O_2} 线向 p 点方向移动,以降低 $a_{F_c}^{3+}/a_{F_c}^{2+}$ 值。可见,可由改变 O_2 的通人量和调节 pH 来控制氧化程度,从而控制铁氧体($F_{C_2}O_4$)的生成数量。

三、动力学条件的分析

把粗颗粒分散于水中,使之具有摩尔表面积 \tilde{s} 的球形颗粒,可证明 $^{[\mathfrak{s}]}$ 其自由能变化为 $\Delta G = \frac{2}{3} \sigma \tilde{s}$ 。 其中 σ 为固液界面张力。故可推得 $^{[\mathfrak{s}]}$:

$$\log K_s^* = \log K_s^{*0} + \frac{2}{3.2} \frac{\sigma}{303RT} \tilde{S}$$
 (10)

式中, K_s^* 和 K_s^* 分别为粗颗粒和细颗粒的 水解常数。对于反应

$$\frac{1}{3}$$
 Fe₃O₄ + $\frac{8}{3}$ H⁺ + $\frac{2}{3}$ e = Fe²⁺ + $\frac{4}{3}$ H₂O 可得:

$$K_{s^0}^* = \frac{[Fe^{2+}]_0}{[H^+]^{8/3}}$$
 (11)

$$K_s^* = \frac{[Fe^{2+}]}{[H^+]^{8/3}}$$
 (12)

因为

$$\tilde{S} = N_0 S = 4\pi r^2 N_0 = 3N_0 V/r$$
 (13) 这里, r 为单晶半径, S 为单晶表面积, V 为单晶体积, N_0 为阿伏伽德罗常数。 由公式 (10)—(13) 可得:

$$\ln \frac{[\mathrm{Fe}^{2+}]}{[\mathrm{Fe}^{2+}]_0} = \frac{2V\sigma}{kTr} \tag{14}$$

k为玻尔兹曼常数, [Fe²⁺]/[Fe²⁺]。为过饱和度.

若晶核是由 *i* 个单晶组成的圆球,则晶 核的生成自由能为:

$$\Delta G_i = \Delta G_0 + \Delta G_S$$

= $-jkT \ln [Fe^{2+}]/[Fe^{2+}]_0 + 4\pi r_i^2\sigma(15)$ 式中 ΔG_0 与 ΔG_i 分别为体积自由能与表面 自由能, r_i 为晶核半径.

因为

$$j = \frac{4}{3} \pi r_i^3 / V \tag{16}$$

所以,公式(15)可改写为:

$$\Delta G_{i} = -\frac{4\pi r_{i}^{3}}{3V} kT \ln \frac{[Fe^{2+}]}{[Fe^{2+}]_{0}} + 4\pi r_{i}^{2} \sigma \quad (17)$$

令

$$\frac{d\Delta G_i}{dr_i} = -\frac{4\pi \cdot 3r_i^2 \cdot kT}{3V} \ln \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}^{2+}]_0} + 4\pi \cdot 2r_i \sigma = 0$$
 (极大)

得

$$r_i = \frac{2\sigma V}{kT \ln \left[\text{Fe}^{2+} \right] / \left[\text{Fe}^{2+} \right]_0}$$
 (18)

代人公式(17)得:

$$\Delta G_{\text{max}} = \frac{16\pi\sigma^3 V^2}{3\{kT \ln{\{\text{Fe}^{2+}\}}/{\{\text{Fe}^{2+}\}_0\}^2}} \quad (19)$$

 ΔG_{max} 即为由 Fe^{2+} 生成晶核的活化能.

同理可推得由 Fe³⁺ 生成晶核的活化能为:

$$\Delta G_{\text{max}} = \frac{16\pi\sigma^3 V^2}{3\{kT \ln [\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{4+}]_0\}^2} \quad (20)$$

公式 (19) 和 (20) 说明,过饱和度越大,活化能越小。 Fe_3O_4 是 Fe_2O_5 和 FeO 的复合晶体,其生成晶核的活化能取决于式 (19) 和 (20)中活化能最大的一步.

根据阿累尼乌斯公式, 晶核生成速度为

$$J = A \exp \frac{-\Delta G_a}{kT} \tag{21}$$

J为晶核生成速度,A为碰撞频率。可见,活化能小的晶核生成得快。另外,升高温度,加大碰撞频率也能加快晶核的生成。晶核生成快,晶粒就更细。为此,必须控制足够大的过饱和度,充气和搅拌强度以及适当高的温度。而这些条件,可由动力学理论加以预测,再通过有目的的条件试验来确定。

若为制备细晶粒,以便具有较大的表面 积,提高净化效果.不仅需要足够大的晶核 生成速度,而且要求晶体生长速度不要太大.

水体中晶体生长速度通常为扩散步骤控制,根据菲克扩散定律:

$$V_{\pm \pm} = DAdc/dx = \frac{RT}{N_0} \cdot \frac{1}{3\pi\eta d} \cdot A \frac{dc}{dx}$$

$$= \frac{RT}{N_0} \cdot \frac{1}{3\pi\eta d} \cdot 4\pi r_1^2 \frac{(c - c_s)}{\delta}$$

$$= \frac{4kTr_1^2c}{3\eta d\delta} \qquad (c_s \to 0) \qquad (22)$$

式中 η 和c为废水粘度和铁离子浓度,d为

Fe²⁺ 及 Fe³⁺ 或 Fe₂O₃ 及 FeO 的直径,δ 为 晶核与水介面的扩散层厚度。为了使晶体生 长速度尽量小,则必须使温度、浓度适当低,使粘度适当大,同时要使浓度梯度尽量小,因 而需要有较大的搅拌速度,但搅拌速度也不能太大,以免 δ 变小,反而起反作用。

晶核生成速度与晶体生长速度的影响因 素有的是一致的,有的是矛盾的.因此,必须 依据理论预测和条件试验来确定最佳条件.

四、结束语

我们从化学热力学和化学动力学的角度,以 M==Fe 的体系为对象,分析了铁氧体净化技术(氧化法)的热力学可能性和动力学条件。当M为其它金属时,上述理论分析也

是适用的,因为尖晶石铁氧体是铁过剩的铁 氧体;而M视废水中含杂质量和种类而定,当 废水中含金属离子很少时,其极限就是本文 所讨论的体系。

本文的分析结果说明,铁氧体净化技术 不仅已有许多实验结果,而且有其理论依据。 当用本法处理工业废水时,其最佳工艺条件, 不仅可由实验确定,而且也可从理论上预测。

参考文献

- [1] 曾桓兴,环境科学, 4(4), 66(1983).
- [2] 许孙曲等,环境科学, 2(2), 46(1981).
- [3] 高田利夫,公害と対策,(1),37-41(1977)。
- [4] 周天泽,环境科学,1(5),31(1980).
- [5] Stumm, W. and J. J. Morgan, Aquatic Chemistry. John Wiley & Sons Inc., p. 213, p. 300, (1970).

果蝇伴性隐性致死(SLRL)试验在二 溴氯丙烷致变方面的研究*

叶恩赐 艾裕和

(上海铁道医学院)

黑腹果蝇 (Drosophila melanogaster) 测试系统在国外被认为是筛选化学致变、致癌物最灵敏、简便、可靠和最有前途的测试系统。我们引进果蝇原种进行初步实验^[1,2],进一步证实果蝇 SLRL 试验在筛选致变、致癌物方面的应用价值。本文报告并讨论农药杀线虫剂 1-2-二溴-3-氯丙烷 (DBCP) 在喂饲黑腹果蝇诱发 SLRL 突变的结果。

一、材料和方法

试验用黑腹果蝇为 Oregon K 野生型及 "Basc" (棒眼、显性,并载倒位防止子一代父 系和母系 X 染色体互换) 两个品系. 果蝇原种用玉米粉培养基 18℃ 培养,试验时为了加速繁殖在 25℃ 下培养.

DBCP (CH₂Br·CHBr·CH₂Cl) 为山东 省农药研究所提供的纯品 (纯度 98.75%) 及 工业品(纯度 88%)两种,分 50、100、200、500 ppm 四个浓度,用 2% 蔗糖溶液配成喂 饲溶液进行试验。

染毒方法以90×30mm 玻管,下端自里至外覆盖尼龙网一层、纱布两层、并连接纱条伸入试液,使试液吸至纱布层。杂毒时用1一2 天龄野生型雄蝇装进玻管、上端用泡沫海绵塞塞牢、防止果蝇逸出,见图1。果蝇在染毒前饥饿4小时再喂试液以保证吃食。喂饲染毒连续三天,每天更换新鲜试液。

试验原理及方法依据"Basc"或称 Muller-

^{*} 中国科学院基金资助的课题