

模拟酸雨对混凝土影响的研究*

谢绍东** 周定 岳奇贤 刘惠玲

(哈尔滨工业大学应用化学系, 哈尔滨 150006)

摘要 采用周期浸泡和喷淋试验等 2 种加速腐蚀试验方法, 分别研究 pH 为 1.0、3.5、5.6 和 pH 为 1.0、 SO_4^{2-} 为 0、0.06、0.1 mol/L 等 6 种模拟酸雨对混凝土的影响。研究表明: 用矿渣水泥配制的混凝土较用普通硅酸盐水泥配制的混凝土耐酸雨能力强; 酸雨中 H^+ 和 SO_4^{2-} 的协同侵蚀导致混凝土强度的降低, 其下降的程度与材料中 CaO 的损失和 SO_3/CaO 的比值成二元线性相关; H^+ 的渗透速度随时间的变化遵循幂函数的关系; 混凝土受蚀后, $[\text{Ca Na}][\text{SiAl}]_4\text{O}_8$ 、 $[\text{Na K}]_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ 等将逐渐消失, 而生成体积较大的 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等物质, 材料中的 CaO、MgO、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 组分流失, 其中的 Fe_2O_3 仅受酸雨中的 H^+ 的侵蚀而不受 SO_4^{2-} 的影响, CaO 和 Al_2O_3 既受 H^+ 的侵蚀又受 SO_4^{2-} 的侵蚀影响。

关键词 酸雨, 混凝土, 腐蚀, 危害。

国内外实地调查和已有的研究表明, 酸雨能加速混凝土的腐蚀^[3-5]。然而, 有关腐蚀试验工作却很少有报道。由于混凝土相对金属材料腐蚀速度慢, 实地曝晒周期长, 不适于短期观察其腐蚀行为。因此, 如何在实验室建立加速腐蚀试验, 以观察材料受酸雨腐蚀的发展趋势, 为有效地保护材料提供防腐对策是十分有意义的。本文从腐蚀方式上模拟自然腐蚀和提高模拟酸雨中离子的浓度考虑, 建立了周期浸泡法和喷淋试验法 2 种加速腐蚀试验方法, 同时用此 2 种方法研究了模拟酸雨对混凝土的影响。

1 方法和材料

1.1 模拟酸雨的条件

我国酸雨属于硫酸型, 考虑到硫以各种形式(如细粒子)沉积到材料表面, 经催化氧化成硫酸, 在材料的局部表面酸性较强且 SO_4^{2-} 浓度高。因此控制 pH 为 1.0、 SO_4^{2-} 浓度为 0.0、0.06、0.1 mol/L 3 种条件下研究 SO_4^{2-} 对材料的影响, 其酸度用 HNO_3 调节; 控制 pH 为 1.0、3.5、5.6 三种条件下研究 H^+ 对材料的影响, 其酸度用 H_2SO_4 调节; 酸雨中其它离子的含量按贵阳市 1982—1988 年的平均含量加入。

1.2 试验方法

1.2.1 周期浸泡法

本试验是让试件浸泡 5 d, 自然干燥 1 d, 即试件受酸雨腐蚀的周期为 6 d, 以湿 5 d、干 1 d 的湿干交替进行循环腐蚀。周浸于 pH 为 5.6、3.5 中的试件, 腐蚀了 90 d; 而浸于 pH 为 1.0 中的试件, 腐蚀了 66 d。浸泡过程中温度、湿度以室内为准, 不加任何控制。为了在浸泡过程中保持模拟酸雨的 pH 值不变, 对 pH 值为 5.6、3.5 的试验槽里的酸雨, 每天用酸度计测 pH 值并用 6 mol/L HNO_3 调至原 pH 值; 而对于 pH 值为 1.0 的试验槽里的酸雨, 每浸 5 d 后测其 pH 值并用 HNO_3 调至原 pH 值 1.0。

1.2.2 喷淋试验法

将模拟酸雨喷淋于建筑材料表面上, 待其表面自然干燥后, 再喷淋模拟酸雨, 如此循环反复试验以腐蚀材料。该法与自然降雨方式类似, 较接近自然降雨。喷淋试验进行半年, 喷淋雨量 1012 mm, 大致相当贵阳市一年的自然降雨量(1198.9 mm)。试验过程中的温度、湿度以室内为准, 不加任何控制。喷淋试验未喷淋腐蚀 pH 为 3.5 的酸雨。

1.3 试验材料的制备

制备 2 种混凝土, 命名为混凝土 P 和混凝土

* 国家“七五”科技攻关课题

** 现在清华大学环境工程系

收稿日期: 1995-02-16

土 K。规格：100×100×100 mm。配比：混凝土 P：普通硅酸盐水泥：砂：石：水=1：1.992：3.250：0.5；混凝土 K：矿渣水泥：砂：石：水=1：1.992：3.250：0.5。制备成型后在标准养护室养护 28 d。用于测中性化深度的混凝土，切割成 25×25×100 mm 的小混凝土块，除保留一个或相对 2 个侧面外，其余表面均用加热的石蜡予以密封，并在侧面顺长度方向上用铅笔以 10 mm 间距画平行线，以预定中性化深度的测量点。

1.4 测试项目

应用上述 2 种试验方法，对于所有试验条件均用 3 块试件平行试验，本文给出结果即为 3 次测定值的平均值。

(1) 中性化深度 材料腐蚀一定时间后，取出测中性化深度的试件，用游标卡尺测量，其具体测量方法和步骤见文献[1]和[2]。

(2) 抗压强度 用 60 t 油压万能压力试验机测量在标准养护室养护 28 d 和受腐蚀后的抗压强度，分别用 $R_{初始}$ 和 R 表示。材料抗压强度的降低定义为：

$$R_{降}(\%) = \frac{R_{初始} - R}{R_{初始}} \times 100\%$$

(3) 材料表面粉末的化学分析 取材料表面的硬化水泥(不含粗骨料)，制备成通过 140 目筛的粉末后于烘箱里烘干 2 h，置于干燥器中干燥 4 h。用配位滴定法测定粉末中的 CaO、MgO、Fe₂O₃、Al₂O₃ 和用碘量法测定 SO₃(全硫

量)的含量，分析方法见文献[6]。

(4) X-射线衍射物相分析 用日本东京产 D/max-γB X-射线衍射仪对材料腐蚀后的表面粉末进行物相定性分析

2 试验结果与讨论

2.1 中性化深度

表 1 为混凝土 P、K 在不同腐蚀时期测得的中性化值。由表 1 可知，混凝土的中性化深度值随腐蚀时间的延续而增加；混凝土 K 的中性化深度值稍大于 P；用矿渣水泥配制的材料，酸雨中[SO₄²⁻]越大则中性化深度值越小。对于周浸于 pH 为 1.0 中的混凝土的中性化值与腐蚀时间的关系进行回归分析得知，除混凝土 P 周浸于 SO₄²⁻ 为 0 的酸雨的试件是逐渐升高，其它均是逐渐降低，这种先快后慢的发展规律符合幂函数的变化关系，即 $Y=at^b$ (Y：中性化深度值；t：腐蚀时间；b 为指数，当 $b<1$ 时中性化深度值随时间的进程是先快后慢)，其相关系数大多在 0.98 以上。

2.2 材料表面粉末的化学分析

无论是用周期浸泡法还是喷淋法，材料受各种酸雨腐蚀后表面粉末的化学成分的变化趋势十分类似，表 2 是部分分析结果。通过比较受蚀后与原始试件的化学成分可知，材料表面 Fe₂O₃、Al₂O₃、CaO 的含量都降低，特别是 CaO 的含量降低显著，尤其是受[SO₄²⁻]=0 的酸雨腐蚀的试件降低得更多。然而，表面 CaO 也有

表 1 混凝土在不同腐蚀期的中性化深度值(mm)

试验法	材料名称	腐蚀时期 (d)	pH 值			SO ₄ ²⁻ 浓度(mol/L)		
			1.6	3:5	1.0	0	0.06	0.1
周期浸泡法	混凝土 P	30	0.0	0.0	0.58	0.65	1.48	1.25
		74	0.0	0.0	1.63	1.92	2.15	2.00
		105	0.10	0.46	1.75	3.58	2.97	2.98
		135	0.21	0.61	2.39	4.68	3.35	3.44
周期浸泡法	混凝土 K	30	0.0	0.0	1.49	1.55	2.23	0.74
		74	0.0	0.0	1.68	3.11	2.66	2.16
		105	0.12	0.22	1.99	3.58	3.47	3.15
		135	0.34	0.67	2.78	4.98	3.89	3.23
喷淋法	混凝土 P	182	0.0	0.25	1.92	1.97	1.63	1.76
		182	0.0	0.25	1.90	2.05	1.86	2.01

增加的,如混凝土 P 受 $[SO_4^{2-}] = 0.1 \text{ mol/L}$ 的酸雨腐蚀就是如此。这可能是因为试件受蚀后表面水合硅酸盐中的 Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 化合而生成 $CaSO_4$, 使其原硅酸盐的粘接性能失去, 从而失掉一部分砂和石子, 相应提高了试件表面中的 CaO 的含量, 这可从表面粉末中高 SO_3 得到证

实。材料表面粉末中 MgO 的含量有所升高(可能是其它物质含量降低而导致本身升高), 一般出现在受低酸度酸雨腐蚀后的试件。材料表面 SO_3 的含量受蚀后普遍增高, 随酸雨中 $[SO_4^{2-}]$ 的增大而增高。

表 2 还表明, 酸雨中的 H^+ 造成材料表面

表 2 混凝土经周期浸泡法腐蚀后表面粉末的化学成分的含量(%)

材料名称	试验项目	未腐蚀 (d)	pH 值			SO_4^{2-} 浓度(mol/L)		
			5.6	3.5	1.0	0	0.06	0.1
混凝土 P	Fe_2O_3	2.61	2.78	3.00	2.29	2.42	2.14	2.20
	Al_2O_3	2.08	2.30	2.50	1.84	1.49	1.58	1.93
	CaO	18.01	16.33	15.94	15.44	5.56	15.74	21.88
	MgO	0.60	0.92	0.64	0.52	0.56	0.44	0.78
	SO_3	1.43	2.16	2.65	9.07	0.67	16.85	20.29
混凝土 K	Fe_2O_3	3.10	3.02	2.97	2.08	2.09	1.80	1.68
	Al_2O_3	2.62	2.94	2.55	2.04	1.98	1.54	1.94
	CaO	18.18	15.80	15.33	14.19	4.86	10.99	16.02
	MgO	0.19	1.50	1.17	0.79	0.54	0.18	0.62
	SO_3	1.15	1.28	2.01	17.72	0.52	7.64	19.88

CaO 的流失, 而 SO_4^{2-} 的侵蚀却抑制 CaO 的损失; SO_3 的含量对各材料均是与侵蚀的 $[H^+]$ 和 $[SO_4^{2-}]$ 成正相关, 说明 SO_4^{2-} 在高酸度时越易侵蚀。因此可以认为, 材料表面的 Fe_2O_3 组分只受酸雨中 H^+ 的侵蚀, CaO 和 Al_2O_3 组分则受酸雨中 H^+ 和 SO_4^{2-} 的侵蚀; 表面 CaO 的损失主要是酸雨中 H^+ 的溶解; SO_3 含量的增高是酸雨中 H^+ 和 SO_4^{2-} 协同侵蚀作用的结果; 酸雨中 SO_4^{2-} 侵蚀各材料后主要与 CaO 、 $Ca(OH)_2$ 、 Al_2O_3 组分发生化学作用。

2.3 抗压强度

表 3 列出了混凝土受酸雨腐蚀后抗压强度的降低率 $R_{降}(\%)$, 除个别试件受低酸度腐蚀增高外, 其它均降低, 而且混凝土 K 的降低幅度较混凝土 P 小。混凝土 K 受蚀后其强度是先随 pH 的下降而增加, 当 pH 下降到一定值时, 又随 pH 的下降而迅速下降; 随 $[SO_4^{2-}]$ 的增加而迅速减小。P 却是随 pH 的下降而较为缓慢的下降; 随 $[SO_4^{2-}]$ 增加而缓慢地减小后, 当 $[SO_4^{2-}]$ 增加到一定值后便迅速减小。因此, 酸雨的侵蚀能使材料抗压强度降低, 但混凝土 K 的抗酸

雨能力较强。

2.4 材料强度的降低与 CaO 的损失及 SO_3/CaO 的比值间的关系

CaO 的损失对强度的影响见表 3。由表 3 可知, 材料强度的降低主要是由于材料中 CaO 的损失和含有高的含硫量, 即 $CaO_{降}\%$ 和 SO_3/CaO 的比值决定了 $R_{降}\%$ 。用数理统计的方法, 得到表 4 所示的混凝土受蚀后 $R_{降}(\%)$ 与 SO_3/CaO 的比值、 $CaO_{降}\%$ 间的二元线性回归方程, 其中: Y 为 $R_{降}\%$, X_1 为 SO_3/CaO , X_2 为 $CaO_{降}\%$ 。表 5 中回归方程的系数大小可分别表示材料对介质侵蚀的缓冲能力, 对 SO_4^{2-} 侵蚀后和 CaO 损失后的敏感性。因此, 从统计学角度看, 用矿渣水泥配制的材料对酸雨腐蚀的缓冲能力强于用普通硅酸盐水泥配制的材料, 对 CaO 损失的敏感性前者大于后者, 而对 SO_4^{2-} 侵蚀于材料后的敏感性前者小于后者; 材料强度下降的根源就在于材料中 CaO 的损失和含硫量的增加, CaO 损失的同时试件 SO_3/CaO 的比值也就增高了。显然, 酸雨中 H^+ 的侵蚀使材料中 CaO 损失, H^+ 、 SO_4^{2-} 协同侵蚀的结果使材料中 $SO_3/$

表 3 材料强度的降低与 CaO 的损失及 SO₃/CaO 的比值

试验法	材料名	测试项目	pH 值			SO ₃ ²⁻ 浓度(mol/L)		
			5.6	3.5	1.0	0	0.06	0.1
周期浸泡法	混凝土 P	SO ₃ /CaO	0.13	0.17	0.58	0.12	1.07	0.93
		CaO _损 (%)	9.33	11.49	14.27	69.13	12.60	-21.49
		R _损 (%)	14.84	19.78	36.60	64.30	59.17	32.19
	混凝土 K	SO ₃ /CaO	0.08	0.13	1.25	0.11	0.70	1.24
		CaO _损 (%)	13.09	15.68	21.95	73.27	39.55	11.88
		R _损 (%)	2.24	-5.54	53.62	49.36	42.00	22.81
喷淋法	混凝土 P	SO ₃ /CaO	0.07		0.33	0.11	0.24	0.27
		CaO _损 (%)	3.87		1.17	5.55	18.66	-8.77
		R _损 (%)	-7.70		21.76	19.78	26.03	6.24
	混凝土 K	SO ₃ /CaO	0.08		0.44	0.10	0.25	0.39
		CaO _损 (%)	18.54		9.35	21.23	22.06	5.56
		R _损 (%)	-16.10		16.31	-7.25	1.64	-7.95

1) $\text{CaO}_{\text{损}}(\%) = \frac{\text{CaO}_{\text{未腐蚀}} - \text{CaO}_{\text{腐蚀}}}{\text{CaO}_{\text{未腐蚀}}} \times 100\%$

表 4 混凝土强度的降低与 CaO 的损失、SO₃/CaO 间的二元线性回归

试验法	二元线性回归方程	复相关系数 R	F(2,3)值
周 期	$Y_P = 3.14 + 44.82X_1 + 0.77X_2$	0.991	77.854
浸泡法	$Y_K = -18.93 + 33.74X_1 + 0.91X_2$	0.950	13.902
喷 淋	$Y_P = -6.92 + 81.64X_1 + 0.85X_2$	0.802	1.801
试验法	$Y_K = -52.02 + 107.69X_1 + 1.45X_2$	0.888	3.729

表 5 混凝土 P 受周期浸泡法腐蚀后表面粉末的 X-射线衍射分析结果¹⁾

物 相	未 腐 蚀	pH 值			SO ₃ ²⁻ 浓度(mol/L)		
		5.6	3.5	1.0	0	0.06	0.1
SiO ₂	A	A	A	A	A	A	A
[Ca Na][SiAl] ₄ O ₈	A	C	C	C	C	B	B
Ca _{1.5} SiO _{3.5} ·xH ₂ O	B	B	B	B	B	A	A
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	无	A	A	A	A	无	无
CaSO ₄ ·2H ₂ O	无	C	无	A	无	A	A
Mg ₃ O[CO ₃] ₂	无	无	无	无	无	B	无
Fe ₂ Al ₄ Si ₅ O ₁₈	无	无	无	无	无	无	B
[Na K]AlSi ₃ O ₈	A	A	A	C	A	C	C

1) 表中 A、B、C 表示 X-射线衍射峰的强弱, A: 强, B: 中强, C: 弱

CaO 的比值增加。故酸雨中 H⁺、SO₃²⁻ 的侵蚀作用是材料强度下降的重要因素。

2.5 材料表面粉末的 X-射线衍射分析

混凝土受周期浸泡法和喷淋试验法腐蚀后, 表面粉末的 X-射线衍射分析结果基本一致, 表 5 仅列出了部分结果。可见, 材料中的晶体结构发生了变化, 大多均是原材料中的 [Ca Na][SiAl]₄O₈、[Na K]AlSi₃O₈ 逐渐消失而产生了 CaAl₂Si₂O₈ 和 CaSO₄·2H₂O。比较表 3 和表 5 不难发现, 混凝土强度的降低是由于产生了 CaAl₂Si₂O₈ 和 CaSO₄·2H₂O。因此可以认为酸雨将破坏原 [Ca Na][SiAl]₄O₈ 的晶体结构

而生成 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 和体积较大的石膏,即 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 导致强度降低。

3 结论

(1) H^+ 侵蚀混凝土的速度随时间的变化规律遵循幂函数的关系,其进程是先快后慢。 H^+ 侵蚀作用的结果将使材料中的 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 组分流失。 SO_4^{2-} 的侵蚀速度与酸雨中的 $[\text{SO}_4^{2-}]$ 和 $[\text{H}^+]$ 成正相关,侵蚀的结果将抑制材料中 CaO 的流失。

(2) 各材料中的 Fe_2O_3 组分仅受酸雨中的 H^+ 的侵蚀而不受 SO_4^{2-} 的影响, CaO 和 Al_2O_3 组分既受 H^+ 的侵蚀,又受 SO_4^{2-} 的侵蚀。因此,酸雨中的 SO_4^{2-} 侵蚀于材料后主要与材料中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 Al_2O_3 组分发生作用。

(3) 混凝土受酸雨腐蚀后抗压强度降低,并与其 CaO 的损失量和 SO_3/CaO 的比值成二元线性关系。 CaO 的损失是酸雨中 H^+ 侵蚀引起的溶解腐蚀,而 SO_3/CaO 比值增高是 H^+ 和 SO_4^{2-} 共同作用的结果。混凝土强度的大幅度降低,是由于材料受蚀后晶体结构和化学成分发

生了变化。原试件中的 $[\text{Ca Na}][\text{SiAl}]_4\text{O}_8$ 、 $[\text{Na K}]\text{AlSi}_3\text{O}_8$ 、 KAlSi_3O_8 等物质将逐渐消失,而生成体积较大的 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等物质。

(4) 用矿渣水泥配制的混凝土较用普通硅酸盐水泥配制的混凝土耐酸雨能力强,因此若仅考虑酸雨对材料的危害时,在我国重酸雨地区宜用矿渣水泥制备非金属建筑材料。

(5) 周期浸泡法和喷淋试验法的结果有较好的一致性,说明 2 方法在技术上可行。

参 考 文 献

- 1 JIS 原案コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法(案)。ゴンクリートの工学。1985, 23(3): 59
- 2 JIS 原案セメントベットの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法(案)。ユンクリートの工学。1985, 23, (3): 63
- 3 EL-SAYED H A et al. Durability of Building Materials. 1987, 5(1): 13
- 4 Harter P. 酸雨及其影响学术研讨会集。四川环境。1987, 增刊: 223—244
- 5 蔡素德等。重庆环境保护。1987, (3): 5
- 6 国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院。混凝土水泥制品行业常用技术标准汇编(一)。北京: 中国建筑工业出版社, 1987: 196—199, 219—235

· 环境信息 ·

臭氧管在消毒杀菌中的应用

国营红光电子管厂 8 分厂(以下简称“红光厂”)利用多年生产电光源及其真空产品的技术,近年来致力于臭氧发生装置核心部件——臭氧管的研制。通过几年的努力,成功地开发生产出各种型号的臭氧管,及其臭氧发生器、臭氧消毒杀菌机等系列产品。

该厂生产的臭氧管,工作电压低,小于 5 kV; 臭氧产出量大,其臭氧产生率为 $0.1-0.2 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 消毒杀菌效果明显。对大肠杆菌,金色葡萄球菌等起到充分的杀灭效果。与以往常用的紫外灯消毒相比,具有:可达一级消毒标准,空气灭菌、无死角,易于控制,对人体无害,能除去空气中腥、臭、霉异味等优点。

该厂生产的臭氧、消毒杀菌器,采用高浓度臭氧管。可用于手术室,无菌室等大面积场所进行消毒杀菌,也可用于影剧院,幼儿园,病房等公共场所进行消

毒杀菌除臭。甚至还可用于厕所、卫生间的除臭消毒。

臭氧管与电子技术相结合。可以广泛运用于各种餐(厨)具的消毒杀菌,该厂生产的臭氧发生器与冰箱、冷柜、电子消毒柜等配套使用,效果十分理想。

近来,红光厂又积极组织力量。研制更为高效低耗的臭氧管及臭氧发生装置。使之与水厂、污水处理厂(站)等相配套。

红光厂技术力量雄厚、信誉高、售后服务好,该厂欢迎有意之士及有兴趣的厂家、企事业单位。随时联系。

单位: 红光电子管厂 8 分厂, 通讯: 四川新都 201 信箱, 地址: 四川新都电子路 160 号, 邮编: 610500, 电话: 08232-372867 转 2466(办)2636(宅)

四川新都 201 信箱谢森林供稿

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Study on the Subjective Assessment on a Noise Comprising Different Direction Components. Fu Lixin (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084), Qin Youguo and Ce Shiguang (Dept. of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, 16(5), 1995, pp. 1—5

It was found that in a sound field different people would have different subjective sensation levels, although a same level of real sound pressure was exerted on them. Psychological experiments were carried out on the loudness and noisiness of a noise in a free sound field, a reverberant sound field and an intermediate sound field between them, and a noise comprising different direction components in a free sound field, to give the degree of difference in subjective sensation levels in these cases and the corresponding difference in sound pressure levels. The results show that both loudness and noisiness were higher in a reverberant sound field than in a free sound field, with a distinct degree of about 0.3, corresponding to a sound level divergence of 1—2 dB. There was a positive correlativity of about 0.4 between loudness and noisiness. In a horizontal plane, the distinct divergence of sensation occurred at a noise in a wide range of frequency over 2 kHz. Subjective loudness and noisiness were smaller in a rear semi-plane than in a front one, with a distinct degree of about 0.6 and 2 dB, respectively. The results would be useful in noise reduction and the environmental impact assessment of indoor noise.

Key words: reverberant sound field, direction composition, noise reduction, subjective assessment.

Electrode Behavior in the Process of Magneto-Electrolysis for Industrial Wastewater Treatment. Zhu Youchun et al. (Dept. of Environ. and Resources Eng., Guangdong Univ. of Technology, Guangzhou 510090); *Chin. J. Environ. Sci.*, 16(5), 1995, pp. 6—9

For the sake of raising the electrolytic efficiency, reducing the energy consumption, and improving the characteristics of recovered deposit, the influences of applied magnetic field on the electrode process were studied by means of magneto-electrolytic tests and polarization curve determination for industrial wastewater containing copper. The

results indicate that during the magneto-electrolytic treatment of industrial wastewater the allowable current density was increased by over 100%, and the overpotential under the condition of tested current density was decreased by over 50%. Thus the cell voltage and the energy cost were decreased, and the metal deposit with excellent characteristics was obtained.

Key words: industrial wastewater, magneto-electrolysis, electrode behavior.

Production Process of Ferric Solution Based on the Catalytical Oxidation by Pyrolusite Tailings. Tian Baozhen and Tang Hongxiao (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, 16(5), 1995, pp. 10—13

Pyrolusite tailings containing more than 32% of β - MnO_2 were found to be a catalytical oxidizer for the oxidation of Fe(II) to produce ferric solution. The kinetic characteristics and mechanism of Fe(II) oxidation reaction catalyzed by pyrolusite tailings were studied. It was found that the Fe(II) oxidation reaction proceeded at an extremely fast rate of 309 g/(L · h) and more than 80% of Fe(II) were removed within the first 15 minutes of the Fe(II) oxidation reaction. There was a saturated oxidation value of up to 0.49—0.73 g of Fe(II) per gram of pyrolusite tailings, depending on the content of MnO_2 in the pyrolusite tailings. The pyrolusite tailings and the resulting ferric solution were analyzed with the X-ray diffraction X-ray fluorescent spectrometry method and ICP, respectively. The results show that after the Fe(II) oxidation the pyrolusite tailings were corroded so that most of manganese species were reduced and entered into the liquid phase, and the remaining manganese and other elements entered into the sediment.

Key words: ferrous oxidation, oxidizer, catalytical oxidation rate, pyrolusite tailing.

The Output of Carbon by Plants and the Storage of Carbon in Soils of the Haihe River Basin in North China. Huang Yinxiao et al. (Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044); *Chin. J. Environ. Sci.*, 16(5), 1995, pp. 14—17

The results show that the output of carbon significantly varied with different crops and so did the