

专论与综述

染料废水物理化学脱色技术的现状与进展*

余 刚 杨志华 祝万鹏 蒋展鹏

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

摘要 本文按吸附、混凝、化学氧化、离子交换、超滤膜等几个方面, 分别论述了染料废水物理化学脱色技术的现状与发展情况。

关键词 染料废水, 脱色技术, 物理化学方法。

随着染料工业的迅速发展, 我国的水环境受到十分严重的污染。每年大约有 1.6 亿 m^3 的染料废水排入各类水环境中^[1], 这些染料废水成分复杂、高浓度、高色度、难降解物质多, 且含有多种具有生物毒性或三致性能的有机物, 难以采用常规的处理方法进行治理。尤其是废水中残存的染料组分, 即使浓度甚低, 排入水体亦会造成水体透光率的降低, 而最终将导致水体生态系统的破坏。因此, 染料工业废水的综合治理问题, 已成为当今国内外环境科学界急需解决的一大难题。实践证明, 染料废水行之有效的治理途径是先通过物理、化学预脱色处理, 破坏其发色基团, 去除生物毒性, 提高废水的可生化性, 然后通过生物处理, 达到综合治理的目的。

国内外对染料废水的物理、化学预处理方法进行了多方面的研究。本文对此类研究的进展、取得的成果以及发展趋势加以综合评述, 为我国染料废水综合治理优化方案的选择提供参考。

1 吸附脱色

1.1 活性炭吸附剂

活性炭作为一种优良的吸附剂已经广泛地用于水处理中。有关采用活性炭对染料废水的处理研究, McKay 等^[2]研究发现活性炭对藏红 T 和一种碱性黄染料的单层吸附容量分别为 390 mg/g 、 1240 mg/g , 且染料的初始浓度、活性炭粒径和搅拌速度对吸附效率有重要影响。Saito 等^[3]用印度尼西亚稻草在 ZnCl_2 活化下制备活性炭, 再

经过化学或加热处理得到表面改性的活性炭 (SMAC), 室温下 SMAC 对染料工业废水中的染料具有较好的吸附性。

结合其它一些研究^[4-5]可以得到下述几点结论: ①颗粒活性炭只能吸附废水中的水溶性染料, 不能吸附悬浮固体和不溶性染料。②活性炭对不同种类染料的吸附性能大致顺序为: 碱性染料 > 直接染料 > 酸性染料和硫化染料。③尽管活性炭是一种优良的吸附剂, 但是由于生产原料所限, 以及再生费用昂贵, 使它的推广应用受到限制, 一般可应用于浓度较低的染料废水处理或深度处理。

1.2 矿物吸附剂

天然矿物资源丰富, 廉价易得, 许多学者研究探索了各种矿物在废水处理中的应用。

在用于染料废水的脱色方面, 日本的学者开展了一些研究。Imamura 等^[6]用富 Al_2O_3 的粘土, 富 CaCO_3 的岩石和以 SiO_2 为主成分的火成岩混合煅烧, 得到一种可用于废水、废气处理的脱色剂。例如, 将高岭土、大理石粉末、熔岩粉末按 $1:1:1$ 混合, 煅烧制得的脱色剂, 可以较好地处理染料工业废水, 混合沉降 1h 后, 废水的 BOD 从 1900 mg/L 降低到 357 mg/L , 透光率从 0 增大到 28。据 Okada 等^[7]的研究, 一种主成分为水铝英石 (allophane) 的胶态土可用于染料废水

* 国家“八五”科技攻关课题

1993 年 7 月 5 日收到修改稿

脱色,对直接染料、酸性染料和活性染料的处理效果较好,脱色率 $>90\%$,优于高岭土、硅胶、斜发沸石、硅藻土、矾土等吸附剂,但它对碱性染料的脱色效果不佳。

我国学者在此方面研究成功的例子亦有报道。刁文中^[8]研究发现,活性白土对苯系偶氮分散染料有很好的脱色效应。色度在 1600—2000 之间的分散红玉 2GFL、分散藏青 2GL 等 10 种染料生产废水,用 1%—2% 的活性白土处理,脱色率可达 98%。活性白土价格低廉,且吸附后的残渣可在两段焚烧炉内焚烧,不会产生污染。

此外,斜发沸石用酸、碱处理后再活化,可以有效地处理染料废水,脱色率达 99.7%^[9]。

值得注意的是,矿物的脱色机理除了吸附作用外,通常还具有絮凝和(或)离子交换的综合作用^[10]。

1.3 煤、炉渣吸附剂

由于活性炭价格昂贵,煤、炉渣等常用来作为替代品。Zenkov 等^[11]研究了 11 个煤矿、不同粒径的煤粉对染料生产废水的脱色能力。结果表明,具有最好脱色效果的是粒径小于 $80\mu\text{m}$ 的煤粉,对活性橙 2hT、活性黄 2kT、活性蓝 8-42、活性红棕 2kT 等 4 种染料生产废水,在棕煤粉投量 $\leq 50\text{kg}/\text{m}^3$ 时,脱色率达 80%—100%。在 pH4—8.5 的范围内,随 pH 值的增加,其脱色率增大。Mittal 等^[12]发现磺化煤对碱性紫 10 和酸性红 1 具有中等吸附能力。

据 Gupta 等^[13]的研究。用不同比例的煤与锅炉粉尘的混合物处理 Omega 铬红 ME 染料废水,发现在酸性条件下,小粒径、低水温有利于脱色。如在 30℃、pH2.0 时,用 1:1 煤、粉尘($53\mu\text{m}$)对 10mg/L 的 ME 去除率达 100%。

采用炉渣(以氧化铝、氧化硅为主体)为吸附剂处理直接黄、直接桃红、翠蓝、玫瑰红等 4 种染料废水的研究,也得到了好的脱色效果(99%)^[14]。

1.4 天然废料吸附剂

Meyer 等^[15]用几种廉价天然物质(如蛭石、锯末、木炭、玉米棒、稻壳和泥炭)进行染料废水脱色试验,发现除蛭石外,其它物质都具有 50%

以上的脱色能力,其中木炭和稻壳显示出最好的脱色性能。

McKay 等^[16]发现废水中的碱性蓝 69、碱性红 22、酸性蓝 25 和酸性红 114 四种染料可以较好地吸附到甘蔗渣上。一种廉价的橄榄油残渣对酸性染料具有中等吸附能力^[17],可用于酸性染料废水的脱色。

Dusart 等^[18]采用不同填充高度的吸附柱进行试验,研究了泥炭、木炭、锯屑等对废水中酸性染料和碱性染料的去除能力,结果发现泥炭对碱性红 22 和酸性蓝 25 的吸附能力分别为 128mg/g、6.3mg/g,而细松木炭的吸附效果较差,只有 11mg/g 和 9mg/g。

2 混凝脱色

利用混凝方法去除染料废水的色度,也是当前国内外重点研究的方向之一。混凝法中使用的脱色混凝剂可分为无机和有机 2 大类。

2.1 无机混凝剂

Livke 等^[19]在对苯胺染料生产废水进行生化处理前,用硫酸亚铁进行混凝预处理,在硫酸亚铁投量为 700—800mg/L 时,色度和 COD 的去除效果分别达 55%—60%和 40%—48%。Sato 等^[20]在处理含 20mg/L 的酸性染料废水时,投加 1%的 MgO,经混凝沉淀、过滤处理,脱色率达到 100%。Kashiwaya^[21]用硅藻土作为混凝剂处理染料废水时,投加量为 1.0g/L 时,COD 和色度的去除率分别为 52.0%—95.6%和 88.9%—100%,污泥经脱水后可以用来生产水泥制品。

在研究铁盐、镁盐等凝聚剂的同时,我国学者在开发高效复合混凝剂方面开展了许多研究工作。嵇雅颖^[22]自制了一种含镁复合脱色剂,对含水溶性染料活性艳红 X-3B(100mg/L)、弱酸艳红 3B(100mg/L)、和直接耐晒黑 G(400mg/L)的高色度混合废水,脱色率可达 99%,COD 去除率近 70%,BOD 去除率为 90%以上。研究者认为作用机理可能是含镁脱色剂与染料结构中的磺酸基团发生作用,生成不溶性的盐,经分离从溶液中除去。

高宝玉等^[23]研制了一种含金属离子的聚硅

酸脱色絮凝剂(PSMA),对染料废水具有良好的絮凝脱色效果。对于几种活性染料,当 PSMA 加量为 90mg/L 时,脱色率都达到 95%以上,而对分散染料和酸性染料,脱色效果更佳,在 PSMA 加量为 45mg/L 时,脱色率达 95%以上。

其他研究者也开展相关的研究工作^[24-26]。总之,利用无机混凝剂,如铁盐、铝盐、镁盐以及无机聚合絮凝剂等,可以较好地除去废水中大部分悬浮态染料、分散染料、氧化后的还原染料、硫化染料、偶合后的冰染染料及水溶性染料中的分子量较大的部分直接染料。而水溶性染料中分子量小、不容易形成胶体状的,如酸性染料、活性染料、金属络合染料废水及部分直接染料、阳离子染料废水则难以用无机混凝剂脱色。

2.2 有机絮凝剂

最近几年的研究表明,有机絮凝剂,特别是人工合成的高分子絮凝剂,对染料废水则显示出更好的脱色效果。

一种色度强度高达 50 万倍的含偶氮染料、酞菁染料等的废水,投加 5%的尿素和 4%的 HCHO 溶液,在 pH=2 和 50℃下混合 50min,色度去除 99%以上^[27]。

Mamontove 等^[28]用烷基酚和二亚乙基三胺制备了一种能有效去除废水中染料的有机高分子絮凝剂,投量为 100mg/L 时对各种染料的去除率均达 90%以上,当用量减少到 50mg/L 时,初始浓度为 50mg/L 的直接染料的脱色率降到 80%。

高华星等^[29]以聚丙烯腈为高分子主链,用双腈双胺与聚丙烯腈大分子上的腈基改性而制得含有多种活性基团的聚两性电解质,对分散染料废水的色度和 COD 具有较好的去除能力,与聚合铝相比,其用量少,效果显著,COD 去除率高。

欧阳咏昱等^[30]根据活性染料和直接染料的分子结构中大多含有强亲水性磺酸基和羧基,在水溶液中溶解后都呈阴离子的性质,研制了 W_x系列的高分子脱色絮凝剂,对该类染料废水有较好的脱色作用,去除率可达到 85%,但是若将 W_x系列脱色剂与聚合氯化铝 PAC 合用,其脱色

效果可显著提高(90%—99%)。Ostrovka^[31]针对苯胺染料生产废水在经过生物氧化处理后仍有颜色,用 FeSO₄ 聚丙烯酰胺组合混凝处理,可以较好地去除色度。

可见,有机高分子絮凝剂对于水溶性染料等废水具有很好的脱色性能,但我国目前在这方面的研究与美国、日本等国家相比仅处于起步状态。开发新型的高效广谱脱色絮凝剂对染料废水的脱色与处理具有重要意义。

此外,有关生物絮凝剂^[32]、电絮凝技术^[33]用于染料废水脱色的研究亦有报道。

3 化学氧化脱色

3.1 臭氧氧化

据 Sotelo 等人^[34]的研究,臭氧氧化对 3 种偶氮染料溶液(酸性黑 52、直接蓝 1 和直接黄 27)在 30min 内可达到较高的脱色率。色度高达 1000-5000 倍,COD 为 50—240mg/L 的 2 种含阳离子染料(半菁类的阳离子桃红 FG 和二半菁类的阳离子艳蓝)的废水,进行臭氧氧化,在选定的实验条件下,20min 内脱色率超过 99%^[35]。

O₃对各种有机染料的作用方式是有差别的,O₃的用量随染料的性质不同而异。在 Piancastelli 等^[36]用 O₃对染料废水的脱色试验中,对碱性染料经过 2min 处理,脱色率可达 90%;而对直接染料要达到同样的效果则需要 4.5—5min;分散染料与水不溶性染料一般需要更长时间,且难以得到较好的效果。Matsui 等人^[37,38]的研究表明偶氮染料更容易被臭氧氧化。

影响 O₃脱色的另一个重要因素是 pH。Green^[39]报道说,当染料废水的 pH 值降低时,O₃用量减少,因此,用 O₃脱色应在低 pH 下进行。在处理含分散染料、直接染料和酸红染料的废水时,如果不预先降低 pH,O₃氧化将难以达到脱色的效果。Matsui 等人^[37,38]对各种水溶性染料进行的臭氧氧化试验结果也证明,高 pH 不利于臭氧氧化。但也有人报道说^[40]。在 O₃氧化直接染料时,pH 虽有一定的影响,但并不明显。

适宜的催化剂可以提高 O₃氧化的脱色效率。Fazullina 等^[41]用填有不同催化剂的逆流式

柱研究 O_3 对染料工业废水的脱色效果,结果表明,最好的填充物是以活性炭为骨架的 MnO_2 催化剂,在耗量为 $0.5mgO_3/mg$ 染料时,脱色率可达 99%;而用单纯活性炭的为 97%,用惰性填料为 65%。Abdo 等人^[42]在研究催化臭氧化 2 种直接染料时发现 $ZnSO_4$ 可提高反应效率。

Matsui 等^[43]利用 4-苯基偶氮-1-萘酚类的羟基偶氮染料研究了 O_3 氧化脱色的机理,鉴定出反应产物为苯酚、1,4-萘醌。据此,笔者认为其机理最初是由 O_3 进攻羟基偶氮基,然后经过一些单烯中间体的历程。

从上述及其它一些研究结果可知^[44,45], O_3 氧化对除分散染料以外的所有染料废水都可以有效地脱色。同时由于 O_3 在溶液中的还原产物为 H_2O_2 和 O_2 ,过剩的 O_3 能迅速在溶液和空气中自发分解为 O_2 ,不会对环境造成二次污染。所以, O_3 脱色技术具有一定的应用前景。目前已经有以 O_3 发生器为主体的废水脱色装置问世^[46]。

臭氧氧化的缺点是对 COD 的去除效果不好。另外,如果废水中存在着杂质,不仅影响脱色效果,而且增加 O_3 的消耗量,相应地提高处理费用。

3.2 H_2O_2 和 Fenton 试剂法

Fenton 试剂氧化法是在 H_2O_2 氧化法的基础上由前苏联学者于 70 年代中期研究开发出的一种废水处理法。Fenton 试剂是由 H_2O_2 溶液和 $FeSO_4$ 按一定摩尔比混合得到的一种氧化性极强药剂。以后的研究表明,Fenton 试剂在处理废水的过程中除了具有氧化作用外,还兼有混凝作用。近年来,Fenton 试剂在染料废水的脱色处理中得到了较好的应用。

我国台湾学者 Kuo, W. G.^[47]为了全面了解 Fenton 试剂对染料废水的脱色能力,在偶氮、蒽醌、酞菁、次甲基等染料中,挑选出可以覆盖常用染料的 90% 的代表性化合物,用模拟料液进行试验。结果表明,最佳条件是 $pH < 3$,平均脱色率 $> 97\%$,平均 COD 去除率约 90%。并发现温度是影响脱色速度的主要因素,即温度越低,脱色所需时间越长。实际染料废水的处理结果与模拟料液相近。

Zenkov 等^[48]则对比了 H_2O_2 与 Fenton 试剂的氧化性能。在用 H_2O_2 处理含有活性染料、COD 高达 $1940mg/L$ 的废水时,其最优 H_2O_2 投量 $0.05m^3 H_2O_2/m^3$,反应时间为 3h 时,脱色率达 90%,COD 降低到 $2160mg/L$;而添加 $1.6kg/m^3$ 和 $0.8kg/m^3$ 的 $FeSO_4$ 和 $CuSO_4$ 时,氧化速度可加快 8—10 倍。

4 离子交换法脱色技术

近年来,针对水溶性离子型染料废水脱色困难这一问题,进行了各种研究。其中利用改性纤维素制备成各种离子交换脱色纤维素的研究取得了较大进展。

Watties 等^[49]发现一种羟基丙基纤维素比纤维素本身对活性染料、直接染料、铬合还原染料具有更大的亲合力,对除碱性染料外的其它染料废水的脱色效果优于活性炭。而丙烯酸纤维素的接枝共聚物,对碱性染料则显示出更大的亲合力。

宋光薄等人^[50]以棉纤维为原料,利用尿素和磷酸等化学试剂使其改性,制成磷酸酯 H 型阳离子型交换纤维,对阳离子染料进行了脱色的初步探索,发现其吸附脱色性能远优于一般的活性炭。

宫田^[51]等人用改性纤维素制成的纤维素类吸附剂、古田^[52]利用棉纱和丙烯酰胺的接枝共聚制成的弱碱性阴离子交换棉纱,对离子型染料的吸附、交换十分有效,性能优于活性炭,且易于解附、再生。

离子交换法也可以用来回收废水中的染料,据认为并不经济。

5 超滤膜脱色技术

Majewska-Nowak 等^[53]制备了一种聚砜类膜,据研究,在 $1.5MPa$ 压力下,对 5 种有机染料(分子量在 327—1248 之间)的溶液具有较好的脱色性,特别是对分子量 ≥ 700 的染料的脱色率达 90%—100%。膜的体积通量为 $0.08—0.18 m^3/(m^2 \cdot d)$ 。此外,他们又在聚砜类膜的制膜技术方面进行研究^[54],得到一种对有机染料具有

更佳分离性能的聚砜类条束式膜。使膜的体积通量提高到 $2.4\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 压力降到 0.15MPa , 对分子量大于 600 的有机染料的截留率可达 96%—99%。并且发现条束式 PVC 膜和聚丙烯腈膜与聚砜类膜一样, 对染料溶液具有较好的分离性能。

我国的郭维华等^[55]用管式超滤器处理和回收士林、分散等染料废水, 在压力为 0.25MPa 、通量为 $336\text{—}672\text{L/h}$ 时, 脱色率达 98.65%。

参考文献

- 1 周学双. 化工环保. 1992, (6): 333
- 2 McKay G et al. . Colourage. 1988, 35(10): 24
- 3 Saito T et al. . Mizu Shori Gijutsu. 1988, 29(2): 95
- 4 许景文. 水处理技术. 1986, 12(1): 1
- 5 顾鼎言等. 印染废水处理. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985: 275
- 6 Imamura S. Jap. Pat. No. 77, 27, 077
- 7 Okada Y et al. . Mizu Shori Gijutsu. 1979, 20(3): 223
- 8 刁文中. 染料工业, 1984, (4): 30
- 9 Ryu Jingyong et al. . Chosen Minjujuui Inmin Konghwaguk Kwahagwon Tongbo. . 1983, (5): 48
- 10 戴友芝, 唐受印. 西南给排水. 1988, (6): 8
- 11 Zenkov V V et al. . Tr. -Mosk. Khim. -Tekhnol. Inst. im. D. I. Mendeleeva. 1981, 119: 78
- 12 Mittal A K et al. . India J. Environ. Health. 1989, 31(2): 105
- 13 Gupta G S et al. . Wat. Res. . 1990, 24(1): 45
- 14 高春满等. 工业水处理. 1988, 8(2): 31
- 15 Meyer V et al. . Wat. Sci. Tech. . 1992, 28(5/6): 1205
- 16 McKay G et al. . J. Appl. Polym. Sci. . 1988, 36(1): 43
- 17 Haimour N M. Dirasat. -Univ. of Jordan. 1990, 17B(1): 7
- 18 Dusart O et al. . Trib. Eau. 1991, 44(544): 15
- 19 Livke V A et al. . Химия Технологія воды. 1989, 11(2): 185
- 20 Sato Hiroshi et al. . Jap. Pat. No. 77, 115, 562
- 21 Kashiwaya, M. Pro. - U. S. / Jpn. Conf. Sewage Treat. Technol. . 4th, 1976: 478
- 22 嵇雅颖. 上海环境科学, 1990, 19(8): 8
- 23 高宝玉等. 环境科学, 1992, 13(1): 54
- 24 Mamontova A A. Химия Технологія воды. 1990, 12(8): 738
- 25 Kozhanov V A et al. . Химия Технологія воды. 1991, 13(6): 534
- 26 Lu M et al. . Water Treat. (G. B.). 1989, 4: 361
- 27 Nogi A et al. . Jap. Pat. No. 79, 118, 654
- 28 Mamontova A A et al. . Химия Технологія воды. 1988, 10(2): 177
- 29 高华星. 化学世界. 1992, (3): 119
- 30 欧阳咏昱. 环境保护. 1991, (8): 6
- 31 Ostrovka V I et al. . Химия Технологія воды. 1981, 3(3): 260
- 32 Kuranl R et al. . Jap. Pat. No. 88, 126, 597
- 33 Ogutveren U B et al. . J. Environ. Sci. Health. 1992, A27(5): 1237
- 34 Sotelo J L et al. . An. Quim. 1990, 88(4): 374
- 35 刘三学等. 环境化学. 1988, 7(4): 30
- 36 Piancastelli M. AES. 1988, 10(6): 58
- 37 Matsui M et al. . J. Soc. Dyes Color. . 1984, 100(4): 125
- 38 Matsui M et al. . Am. Dyest. Rep. . 1983, (2): 35
- 39 Green J M. Am. Dyest. Rep. . 1985, 74(4): 5
- 40 欧阳铭等. 水处理技术. 1989, 15(6): 345
- 41 Fazullina E P et al. . Tr. -Mosk. Khim. -Tekhnol. Inst. im. D. I. Mendeleeva. 1979, 109: 82
- 42 Abdo et al. . J. Environ. Sci. Health. 1988, A23: 697
- 43 Matsui M et al. . J. Soc. Dyes Color. . 1981, 97(5): 210
- 44 Yokobi V A et al. . Химия Технологія воды. 1991, 13(8): 749
- 45 Hafez A et al. Waste Manage. 1989, 9: 41
- 46 Tsuji H. Jap. Pat. No. 87, 79, 893
- 47 Kuo W G. Wat. Res. 1992, 26(7): 881
- 48 Zenkov V V et al. . Tr. -Mosk. Khim. -Tekhnol. Inst. im. D. I. Mendeleeva. 1979, 109: 78
- 49 Wattiez D et al. . Polym. Amines Ammonium Salts, Invited Lect. Contrib. Pap. Int. Symp. . 1980: 357
- 50 宋光博. 水处理技术. 1989, 15(4): 243
- 51 宫田奈美子. 纤维学会 . 1986, 42(8)
- 52 古田博一. 纤维学会 . 1987, 43(9)
- 53 Majewska-Nowak K et al. . Desalination. 1986, 60(1): 59
- 54 Majewska-Nowak K et al. . Environ. Sci. Res. . 1991, 42: 653
- 55 郭维华等. 工业水处理. 1986, 8(3): 19

欢迎订阅《环境工程》双月刊

《环境工程》杂志 1982 年创刊, 中国环境科学学会环境工程分会、冶金部建筑研究总院主办, 是面向全国各行业的综合性环保技术刊物。它重点报道工业污染防治的实用技术和厂矿污染防治经验。主要内容有: 水、气、噪声、固体废物污染防治技术, 环境评价、监测分析、环保

科技信息等。主要读者为环保工作者和大专院校师生。逢双月 20 日出版。本刊同时经营广告业务。

订阅: 全国各地邮局。定价: 2.60 元 编辑部地址: 北京市海淀区西土城路 33 号 邮政编码: 100088 电话: (01) 2015599—3285

Key words: miniaturized watercolumn barometer, mercury pollution, saturated water vapor pressure, ambient temperature.

Advances in Physical and Chemical Technologies for Decolorization of Dye Wastewater. Yu Gang, Yang Zhihua et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(4), 1994, pp. 75—79

A review was made on the current status and development of physical and chemical technologies for decolorization of dye wastewater, including adsorption, coagulation and flocculation, chemical oxidation, ion exchange, ultrafiltration, and others.

Key words: dye wastewater, technology for decolorization, physical and chemical processes.

Applications of Polymerase Chain Reaction to Environmental Microbiology. Hu Wenqi and Zhang Zhiguang (Department of Biology, Hunan Normal University, Changsha 410006); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(4), 1994, pp. 80—83

Because of its high sensitivity, high specificity and simplicity, Polymerase Chain Reaction (PCR) has been widely used to detect pathogenic bacteria,

indicator bacteria and viruses in environmental samples since its creation in 1985. A review was made on the fundamental principles, methodology and current status of the applications of PCR to environmental microbiology.

Key words: polymerase chain reaction, environmental microbiology, detection application.

Role of Microbial Co-metabolism in the Biodegradation of Chlorinated Organic Compounds.

Shen Dongsheng et al. (Dept. of Environ. Sci., Zhejiang University of Agriculture, Hangzhou 310029); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(4), 1994, pp. 84—87

Biochemical mechanism of microbial co-metabolism, progress in its research, and its role in the biodegradation of chlorinated organic compounds were dealt with in this article. The prospect of microbial co-metabolism, a biological process which has not yet been fully understood, to be applied in the treatment of refractory compounds such as chlorinated organic compounds was also suggested.

Key words: co-metabolism, chlorinated organic compounds, biodegradation.

SPACEMAN 特别推荐

全中文高档微机地理信息系统 SPACEMAN4.0

SPACEMAN 是一套专为地学及环境专家设计的 GIS 软件工具,国内用户已近 200 家,遍及著名的高等院校及科研院所,该系统以其功能齐全、操作方便、价格适宜及全中文面向用户的开放式设计,赢得了广泛好评。部分成果已打入国际市场,并在国际上获奖。

SPACEMAN4.0 主要特点:

中文管理、操作便捷、一看就懂、一用就会
面向用户设计,无需编程,可实现二次开发
空间模型自动生成,地学专家好帮手
立体地形任意角度生成,替代地图及沙盘
千种图案,矢量汉字,任意缩放,旋转注记
栅格矢量共存、相互转换、应用面广
精美彩色制图,进入二维/三维制图新天地
图表文及排版一体化管理、实现信息现代化
工作站的效率,微机的价格

可选软件配置: SPACEMAN-scanner; GIS 扫描输入系统,

SPACEMAN-mapper; 遥感地图制做系统, SPACEMAN-ptofessor; GIS 教学演示系统。

SPACEMAN 提供下列服务:提供各类 GIS 硬件及负责软硬件接口,常年举办 GIS 专业培训班,承接专题图件录入、专题及遥感制图及 GIS 项目设计、软件开发等业务,欢迎垂询!

国内首家 GIS 专业企业

北京天维资源环境新技术研究所

地址:北京市北京大学畅春园一号二楼 邮编:100080 寻呼热线:2048888—22342
电话:2559461—2168(或 2163) 2571135 2594114—6318(晚) 6895629—419(晚)

基本软件配置:

图形图像采集编辑模块、图形图像分析管理模块
属性数据库管理模块、图形图像彩色打印制图模块
图形彩色绘图制图模块
数字地形(DTM)制作模块、统计制图制表模块
空间模型自动生成运行模块
应用界面辅助生成模块
图表文及排版综合管理模块

硬件配置:数字化仪、绘图仪、彩色打印机、喷墨绘图仪、喷墨打印机及各类微型机。