

关于中国西北地区沙尘暴及其黄沙气溶胶高空传输路线的探讨

全 浩

(中日友好环境保护中心, 北京 100029)

摘要 本文扼要叙述了在中国西北和华北地区经常出现的沙尘暴及黄沙气溶胶(黄沙浮尘)的发生源地和移动路线, 并对 1993 年 5 月 5 日甘肃地区发生的沙尘暴及由此而产生的黄沙天气作了说明。

关键词 中国西北地区, 沙尘暴, 气溶胶, 传输路线。

1 前言

十几年来, 地球北半球 20°—40°N 附近沙漠的沙尘在风力和云系的作用下长距离移动越来越频繁, 已成为一种常见的天气现象。例如, 1987 年 12 月 17 日在意大利全境内降下一场沙雨, 当地人称之为黄泥雨或红雨(blood rain)。雨滴类似稀泥浆, 使建筑物、汽车外壳以及花草树木都被洒满了泥点。同样的现象相继出现在法国、德国、希腊和英国等。这一现象早已受到各国研究人员的注意, 通过气象卫星云图以及沙尘样品的分析也证明, 这是来自非洲大陆的热气团穿过撒哈拉沙漠上空时夹带的细沙粒, 经过欧洲大陆上空时, 与雨滴一起降落造成的。直径小于 50 μm 的沙尘在风力作用下上升到高空, 并在风和云系带动下长距离传输到欧洲大陆, 其数量相当惊人。据估计, 每年由撒哈拉沙漠输送到欧洲大陆的沙尘达 100 万 t。近年来, 地球卫星拍摄的资料证明, 撒哈拉沙漠的沙尘不仅被输送到欧洲, 还散落在大西洋彼岸的北美南部和南美的东北部。

我国沙漠及沙漠化土地面积约为 153.3 万 km^2 , 占国土面积的 15.9%, 而土地沙漠化每年以 1560 km^2 的速度扩大。与此同时, 近 10 年来, 我国西北、华北等地不断出现沙尘暴, 不仅加剧了土地的沙漠化, 而且在华中、华北等地不断出现黄沙天气和黄泥雨, 及黄沙长距离移动现象。

例如, 1990 年 4 月 25 日, 来自蒙古高原的黄沙袭击了京津唐, 晴朗的天空顿时变成昏黄的世界。事隔 10 天后, 长江下游的南京市、徐州市和新沂市等地又蒙受了由西北大沙漠送来的一场黄泥雨。卫星观测资料表明, 中国西北部沙漠的沙尘在西北风及偏西风的作用下, 横穿中国大陆, 飞越朝鲜半岛和日本, 长距离飞行可达 9600 km, 散落在北太平洋和夏威夷岛上。据估计^[1], 每年约有 6×10^6 — 12×10^6 t 沙尘被传输到北太平洋上空。这是由于环境沙漠化和自然趋势(第四纪陆源沉积)加和的结果。

通常人们把沙尘暴中的黄色浮尘叫做黄沙, 它具有颗粒小、比表面积大、运行距离远等特点, 因此, 关于沙尘暴及黄沙的发生源地及其移动路线的研究, 不仅对第四纪陆源沉积的研究, 而且对大气污染物的长距离传输研究也有一定意义。

2 沙尘暴和黄沙的发生源地

所谓沙尘暴, 是由于强大风力作用下将地面大量尘土沙粒吹起, 使空气很浑浊, 水平能见度很小的恶劣天气现象。而沙尘暴的形成必须具备 2 个条件, 即一是有足够强大而持续的风, 把大量沙尘、土粒吹入空中; 二是土质干燥松散、植被稀疏、地表裸露, 即风砂土地带最易形成沙尘暴。

风沙土在我国分布很广,东起黑龙江西至新疆 9 个省都有。其中包括干旱地区的沙漠和半干旱地区的沙地。此外在蒙古南部、内蒙北部至西部(蒙古语称之为“难生草木的土地”)的戈壁滩都具有形成沙尘暴的条件,只要遇到适宜的气象条件均可发生这种灾害。

张德二根据我国史料记载的 1156 条历史气候资料 and 现代气象记录,论述了西北内陆沙漠、戈壁地区和内蒙干燥沙漠地区是沙尘暴中心,并给出我国近 1700 年黄沙沉降频数曲线(图 1)^[2]和近 3000 年黄沙沉降地点分布图(图 2)^[3]

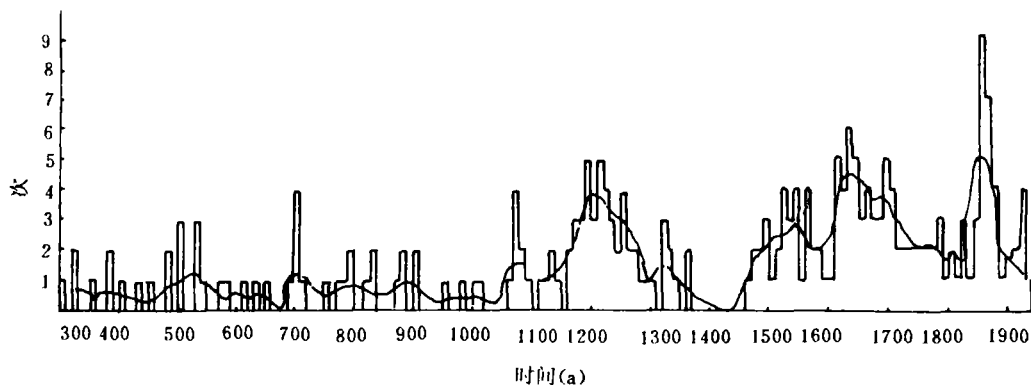


图 1 自公元 300 年以来中国雨上年频数曲线

(虚线为 50 年滑动均值)

雨上年:在历史上记有雨上记载的年份

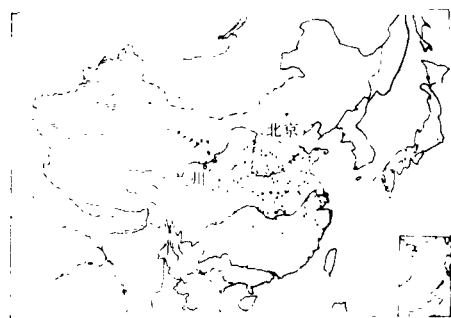


图 2 历史时期黄沙沉降地点(•)与黄沙分布区域(斜线)

表 1 中列举了近 30 年中若干次沙尘暴发生源地和黄沙移动路线。从图 2 和表 1 可以看出,西北沙漠戈壁地区和内蒙干燥沙漠地区是沙尘暴和黄沙的发生源地。笔者在今年 5 月 6 日和 5 月 19 日分别在西安、兰州目睹到黄沙天气,采集了黄沙样品,证实了 5 月 5 日沙尘暴造成 5 月 6 日西安和关中平原的 800 里秦川的黄沙天气。

黄沙现象一般是每年春季在上述沙尘暴发生地日照加强、地面温度升高、极端干旱的条件

下,冷锋通过并锋后风力继续加大,使沙尘卷向空中而形成的沙尘暴持续现象。当沙尘暴形成之后若仍有几股接踵而来的冷锋通过,则会已吹入空中的细微沙尘再次送上 1500m 以上的高空中,并形成黄沙云。然后在高空风系和云系带动下被传输到几十公里、几百公里甚至几千公里之外,最后降落在陆地或海洋。因而黄沙现象是沙尘暴过后的持续现象,而且与沙尘暴相比较,它具有①颗粒细小且均匀;②空中上升高度高;③空中停留时间长;④空中传输距离远;⑤主要以湿沉降形式为主,重力沉降为辅的方式沉降等特点。

应当指出,沙尘暴和黄沙的形成和移动主要取决于气象、地形和地面条件等,因而在我国境内发生的沙尘暴和黄沙并非每一次都来自同一个发源地;也并非每一次都按完全同样的路线移动,因而黄沙气溶胶成分也会有所差异。相反,黄沙气溶胶成分的差异应与发生源地和传输路线有关。黄沙不仅是一种好载体,而且是一个很好的示踪物。

3 黄沙气溶胶的移动路线

黄沙是在沙尘暴形成过程中以及在沙尘暴移动过程中,由地表面卷上空中的细微沙尘、土粒经多次被上升气流带上 1000m 以上的高空而形成的。由于它经常受到水平方向移动的风和垂直运动的湍流的风的混合作用而形成由均匀细颗粒(一般直径小于 $10\mu\text{m}$,而且粒径 $2\mu\text{m}$

者居多)组成的黄色气溶胶团,平常称之为黄沙云。所谓黄沙气溶胶的移动路线也就是黄沙云的高空移动路线。通常要准确测定黄沙云的高度和移动路线有一定困难。目前常用的方法有:①气象卫星观测;②激光雷达监测系统;③航空测定;④地面目测;⑤采集黄沙气溶胶样品之后对其组成成分进行对比分析等。

表 1 沙尘暴源地和黄沙浮尘移动路线

沙尘暴发生时间	沙尘暴源地	沙尘暴及黄沙浮尘移动路线	备注
1958 年 3 月 17 日	新疆南部—甘肃西部 (观测资料分析)	经内蒙、宁夏至北京及黄河中下游地区	张德三:中国科学(B 辑),第 3 期,278(1984.3)
1965 年 3 月中旬	蒙古高原—内蒙中部	内蒙中部—华北一带	(根据有关资料分析)
1979 年 4 月中旬	塔克拉玛干沙漠—戈壁滩—腾格里沙漠	经甘肃、内蒙、宁夏、华北到达日本近海	石坂隆:天气,28,651(1981) Iwasaka Y, Tenki, 29(1982)
1980 年 4 月 17 日	戈壁滩 (卫星观测资料分析) (空气团移动轨迹分析) 新疆塔克拉玛干沙漠东侧鄯善、哈密—河套西部 (气溶胶分析) (静止气象卫星云图及地面观测资料分析)	由西向东,席卷华北地区和黄河中下游,直至江淮地区。4月 20 日到达日本,最后到达美国夏威夷上空。 同上 由西向东,经内蒙、华北、后又转向东南方向移动,经北京上空出海	Hirose K, J. Meteorol. Soc. of Japan, 61(1983) Prospero J. M.: The Sea, 7 (1981), P801—874 Parrington J. R.: J. Geophys. Res., 1983 王明星:科学通报,27,419 (1982) 周明煜:环境科学学报,1,209 (1981) 曲绍厚:环境科学学报,4,1,81 (1984)
1983 年 4 月 27 日	内蒙古中西部—毛乌素沙漠	经呼和浩特市一带南下,经北京地区上空。	
1988 年 4 月 10 日	内蒙西部戈壁沙漠西侧 (气象观测资料分析)	由西向东,至山西、河北后转向东南方向,经北京山东后,到韩国及日本	李敏熙:“环日本海域酸雨雪”论文集, P, 19, 1990 年 10 月, 日本金泽
1990 年 4 月 25 日	蒙古高原—内蒙中部 (有关资料分析)	经二连浩特、坝上、浑善达利沙地南下并经过北京、天津出海	Quan Hao
1993 年 5 月 5 日	新疆东部—河西走廊 (气象及有关资料分析)	经甘肃中部、东部、青海西部、北部、腾格里沙漠宁夏、浮尘波及兰州、西安以及关中平原	全浩:调查资料(1993)

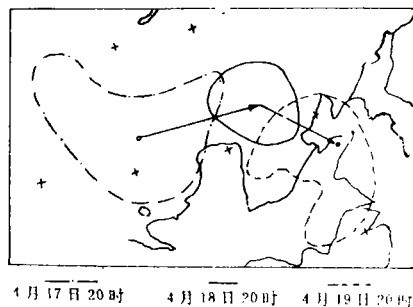


图 3 1980 年 4 月 17 日 20 时至 19 日 20 时的沙尘暴移动路线

从图 2 和表 1 可知,黄沙的移动路线主要有两条。一是 1980 年 4 月 17 日由新疆东部(哈密)开始形成之后由西往东,经河西走廊、内蒙西部(腾格里沙漠)的 2000 多 km,到内蒙中部和华北北部一带转向东南方向继续南下。当沙尘暴中心移至黄河中下游后由山东一带出海(图 3、4)此时,随着沙尘暴中心南下的黄沙云继续越过黄河,扩展到长江中下游。其中一部分随偏西风气流向东输送并由长江下游地区进入海域。其形状类似英文字母“Z”形,因而叫做 Z 路线。二是

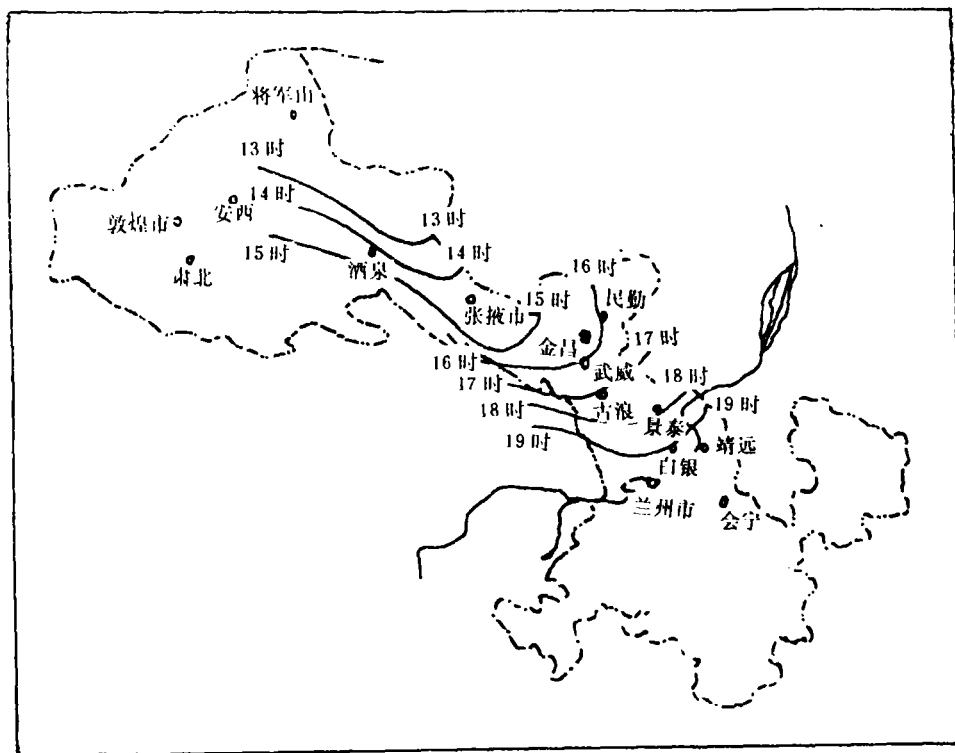


图 4 1993 年 5 月 5 日沙尘暴移动等时线图

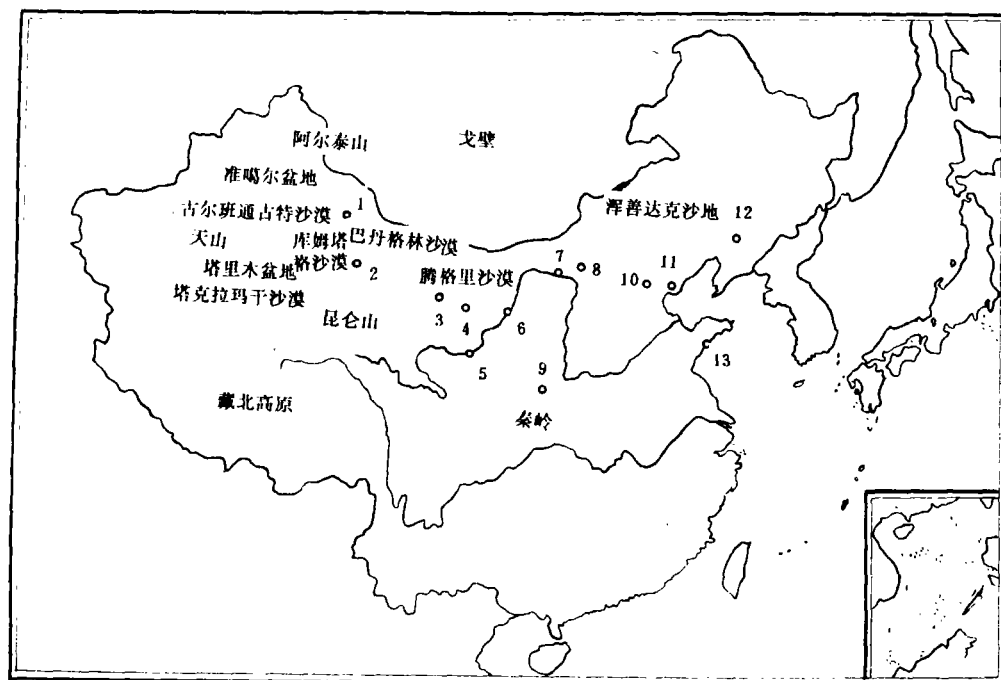


图 5 沙土或黄沙气溶胶采样点分布

1. 哈密 2. 敦煌 3. 金昌 4. 民勤 5. 兰州 6. 银川 7. 包头 8. 呼和浩特
9. 西安 10. 北京 11. 唐山 12. 沈阳 13. 青岛

1990年4月25日来自蒙古高原的冷空气直入内蒙中部,经二连浩特、浑善达科沙地和张家口等地南下,然后随西北风经北京、天津出海。其形状类似英文字母“L”形,因而叫做L形路线。无论是Z形还是L形路线,最终都将大量的黄沙撒在华北和华中地区,而且把其中的一部分送入我国东部海域。

4 5月5日特大沙尘暴及其黄沙浮尘的移动

1990年5月5日下午开始一场特大沙尘暴袭击了新疆东部、青海西部、北部和东部、甘肃、宁夏和内蒙西部后,5月6日凌晨才平息下来。这是近40年来甘肃发生的第5次特大沙尘暴,给当地人民群众的生命财产、工农畜牧业带来了严重损失,环境也遭到破坏。

4.1 沙尘暴天气过程形势的演变

5月5日沙尘暴是一次强冷锋过后的大风造成的。5日08时的高空天气形势图上,乌拉尔山脉地区有一高压脊,脊前在蒙古西部至新疆北部有一低压槽。新疆北部的冷高压中心达 $1034 \times 10^2 \text{Pa}$,河西地区气压很低,其间气压差为 $300 \times 10^2 \text{Pa}$,气压梯度加强。5日08时的高空和地面天气图表明,地面冷锋已东移至酒泉西部敦煌一带,锋后哈密附近和马鬃山一带出现 20m/s 大风天气。同时,冷空气前锋到达河西走廊中部时,正是日最高气温出现时刻,14时位于锋前的张掖地面温度为 25°C ,位于锋后的鼎新地面温度为 7°C ,冷锋前后1个经度的温差达 18°C 。14时29分大风已侵袭高台县,最大风速 25m/s ,已形成黄风。15时42分形成高达 400m 的特大沙尘暴壁并席卷金昌市(图4),最大风速 34m/s ,风力达12级,最少能见度为零,此时,距风暴壁 1km 处可听到闷沉的轰鸣声,伴随着雷电现象。19时26分,沙尘暴到达宁夏中卫县,并袭击宁夏的中宁、青铜峡、吴忠、惠农以及内蒙古自治区的阿拉善盟等地。沙尘暴到来的同时,伴有大幅度降温,使青海西宁等平均气温下降 $6-8^\circ\text{C}$ ^[2],河西走廊下降 $5-8^\circ\text{C}$,而且河西走廊和白银市等地出现霜冻。由此看来,由强冷空气形成的、明显的气压、变压和温度梯度、动量下传等

是形成这次沙尘暴的重要原因。

4.2 黄沙浮尘的形成与传输

如上所述,当强大冷空气进入河西走廊时,由于气压梯度、变压梯度和温度梯度以及动量下传等作用下,不断推动着锋前暖区的上升运动,锋后的下沉气流和这两者之间形成的强大环流图。其结果,不仅在近地面上形成深度约 $10-50 \text{cm}$,平均风蚀量近 $1500 \text{m}^3/\text{hm}^2$ 的风蚀,从而把大量的沙尘、土粒带入空中。同时把大量的较大颗粒的沙搬运到平地上,造成厚度约 $20-150 \text{cm}$ 、平均堆积量 $1995 \text{m}^3/\text{hm}^2$ 的沙堆。而且形成高达 400m 的沙尘暴壁之后继续把细沙尘吹上高空而形成黄沙浮尘。黄沙浮尘跟随沙尘暴中心穿过河西走廊之后,在高空偏东南风的推动下,顺着青藏高原的东北边缘以及永登、兰州、陇西方向南下,后被横跨在南部的、海拔 $2000-3000 \text{m}$ 的秦岭阻挡后滞留在西安和关中平原。这就是形成5月5日兰州市“大风降尘”和5月6-7日笼罩着西安和关中平原的黄沙天气^[3]的原因所在。

应当指出,虽然在前面对沙尘暴和黄沙浮尘的若干问题作了些叙述,但很多问题尚未弄清楚。为了研究黄沙浮尘的形成和空中传输过程以及环境污染物质在长距离传输过程中的作用等问题,我们建立了如图5所示的黄沙浮尘采样监测网。以便进一步探究上述问题。

致谢 笔者在沙尘暴和黄沙浮尘的现场调查中曾得到甘肃省环保所魏群、乔世俊同志,唐山市环保局潘贵仁、曹全民同志的热情支持,在此一并表示衷心谢意。

参 考 文 献

- 1 陈立奇. 海洋学报, 1985, 7(5): 551
- 2 张德二. 我国历史时期以来降生的天气气候学初步分析, 中国科学(B辑). 1984: 278-287
- 3 张德二. 科学通报. 1982, 27(5): 291
- 4 周明煜等. 环境科学学报 1981, 1(3): 207
- 5 我省出现近年少见的大风降温天气, 青海日报, 1993年5月7日第一版
- 6 魏崇良. 对绿的呼唤, 陕西日报, 1993年5月7日第一版

Chin. J. Environ. Sci., **14**(5), 1993, pp. 60—64

The environmental deterioration caused by human activities and overlapped by the natural changes has become one of the major problems for current environmental protection cause. The desertification of large lands and the sand-dust storms occurred in the deserts and the desertified regions are such typical problems. This paper describes the major sources of the sand-dust storms in China and the transportation path of the Kosa aerosol. A brief description of the transportation path of the sand-dust storm generated around the region of Jinchang City, Gansu Province on May 5, 1993 is also given.

Key words: Sand-dust storms, Northwest Region, China, high-altitude transportation.

New Type Nonpollution Antifouling Coating for Marine Application. Tian Jun et al. (Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000); *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(5), 1993, pp. 65—68

This paper deals with the major affecting factors of the fouling living things, the present development situation of antifouling coating for marine application and the important role of initial mucosa in the adherent mechanism. The antifouling mechanism and application of the new type nonpollution antifouling coating have been emphatically discussed, based on the material of low surface free energy, hydrophilic material, biochemical material, and low toxic material. It is suggested that the low toxic material is the recent goal to solve the marine organotin pollution, but nontoxic antifouling coating of the new generation, particularly the material of low surface free energy, is at the initial stage of development. The application of this material is almost impossible in the near future.

Key words: marine nonpollution antifouling coating, antifouling mechanism, marine environment.

Effects of Cobalt (II) and Nickel (II) on *Catharanthus roseus* Cell Suspension Cultures. Zhu Lizhong (Department of Chemistry, Hangzhou University, Hangzhou 310028); *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(5), 1993, pp. 69—71

The effects of cobalt(II) and nickel(II) on the growth of *catharanthus roseus* (*C. roseus*) cell suspension cultures at pH 5.5 were investigated. Cell growth and cobalt or nickel uptake were monitored. When the concentrations

of Co(II) and Ni(II) were more than 4.0 $\mu\text{g/ml}$ and 2.0 $\mu\text{g/ml}$ respectively, the growth of *C. roseus* was inhibited. Minimum lethal concentrations of Co(II) and Ni(II) were 50.0 $\mu\text{g/ml}$ and 10.0 $\mu\text{g/ml}$ respectively. Cobalt (II) was more easily to be uptaken and enriched by *C. roseus* cells than nickel(II).

Key words: *Catharanthus roseus*, cell culture, cobalt, nickel, toxicity test.

Study on the Some Environmentally Chemical Natures of Ether Amines $\text{R-O-(CH}_2)_3\text{NH}_2$ in Mineral Separation Wastewater. Tao Yinhe et al. (General Prospecting and Research Institute, Ministry of Metallurgical Industry, Baodin 071069); *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(5), 1993, pp. 72—75

Some tests have been made on soil-column leach, degradation and adsorption to study some environmentally chemical natures of the ether amines $\text{R-O-(CH}_2)_3\text{NH}_2$ in mineral separation wastewater. The results indicated that: ① in water, the $\text{R-O-(CH}_2)_3\text{NH}_2$ was degraded by following an equation of first-order biochemical reaction, $c=c_0\exp(-kt)$, where the temperature and pH value are two major factors affecting the degradation coefficient; ② the soil adsorbed the ether amines $\text{R-O-(CH}_2)_3\text{NH}_2$ at a rate of over 92% and the adsorption equilibrium equation was $q=5.335+63.29C$; and ③ in soil, the ether amines $\text{R-O-(CH}_2)_3\text{NH}_2$ moved in the vertical direction by following the $c=a\exp(-b/t)$. These results provided a scientific basis for water quality calculation and environmental protection designing.

Key words: ether amines, $\text{R-O-(CH}_2)_3\text{NH}_2$, degradation law, degradation coefficient, soil adsorption ratio, distribution coefficient, vertical direction movement.

Collection with a Graphite Probe Filter/Determination of Trace Copper in Atmospheric Particulate Matter by Graphite Probe furnace Atomic Absorption Spectrometry. Zhang Bicheng (Department of Chemistry, Hubei University, Wuhan 430062); *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(5), 1993, pp. 76—78

Direct determination of trace copper in atmospheric particulate matter was done by graphite probe furnace atomic absorption spectrometry after collection with a graphite probe filter. The new method was simple and rapid. The concentration of copper and absorbance (peak-area mode) showed excellent linear relation in the range of 0—550