

# 工业发展的新模式——无废工艺

席 德 立

(清华大学环境工程系)

**摘要** 本文根据工业本身的功能从工业生产和环境关系的角度考察了自产业革命以来工业发展的三种模式。指出采用无废工艺乃是工业发展的最新模式,是谋求合理利用自然资源和有效保护环境的根本措施。介绍了无废工艺概念的形成和发展,举例论述了其实施的主要途径。

**关键词:** 工业;无废工艺;模式。

当代的环境问题主要来自工业生产的冲击,工业生产是使用机器的社会性商品生产。众所周知,商品具有两种属性:使用价值和价值,丧失任何一种属性即不成为商品。商品的这两种属性是由工业的两种功能赋予的,一是物质转化功能,二是经济增值功能。前一种功能使原料变成产品,赋予商品以使用价值。原料归根到底取自环境,生产过程中产出的废料以及报废后的产品最终也弃之于环境,因此从宏观上看,工业系统是一个能量和物质的转化器。由于能量和物质只能转化,不能创造也不能消灭,工业系统这架转换器竟是源源不断地把有效能转化为无效能,把原料转化为废料。物质转化过程使社会和自然联系起来,体现一种生态关系。后一种功能赋予商品以价值,使投资者在增值过程中获取利润,劳动者得到工资,体现了社会中的人际关系。由此可见,商品不但包含了生产力和生产关系的矛盾,同时也寄寓着社会和自然的对抗,经济和生态的冲突,具体表现在资源枯竭和工业污染加剧两个方面。探讨工业生产和环境的关系,有必要从根本上考察工业发展的模式。

## 一、工业发展的三种模式

### 1. 不顾环境的工业生产

这种工业发展模式从产业革命一直延续

到二十世纪中,其特征是将工业生产仅仅看作一种社会经济活动,从单纯的经济观点出发,以产品为中心,谋求工业系统内部的经济性。在物质转化过程中凡对制造该产品无用的原料组分以及无使用价值的伴生产物即视为废料,而废料除了剧毒的和能引起急性中毒的外,绝大部分不加处理地排入环境,由环境充当“无偿清洁夫”的功能。

对于这种工业发展模式,美国著名生态学家奥德姆评论道:“人犹如环境的寄生虫,索取他想要的一切,而很少考虑到它的寄主(即它的生命维持系统)的健康。”

在工业总的规模不大、密集程度不高、资源相对比较充足的情况下,这种工业发展模式依靠廉价原料和环境的稀释自净能力得以维持。但是工业的增长是按指数规律进行的,这意味着工业这架转换器吞食越来越多的原料,排出越来越多的废料。原料的加速开采,导致储量减少,品位降低,开采条件恶化,价格上涨;废料的增加则造成环境的污染,特别是化学工业的兴起,产出大量人工合成的产品和有毒有害废料,不能为自然所消化吸收,引起灾难性的后果。

2. 在卫生法规、排放标准允许范围内进行的工业生产

从70年代起,针对日趋严重的环境污染,各工业国家纷纷成立环保机构,颁发各种

保护环境的法规和法律,制订各项污染物的允许排放标准,超过标准的企业课以罚款或禁止生产。与此同时,经济学家们开始认识到工业生产存在外部不经济性,即工业活动对环境损害引起的经济损失,相当于社会对自然的债务,当代向后代的预支,拖欠时间愈长,偿还愈多。这样的认识把经济系统和生态系统统一在一个大系统之中,肯定了自然资源和环境容量这样一些“公共财富”也具有价值,同样需要作出适宜的经济评价,以便使企业在自己的经济活动中考虑并承担相应的生态后果。

这种工业发展模式立足于控制企业排污口,着眼于将污染物治理到达标排放,而并没有消除造成污染的根本原因,对于遏制污染增长的势头,在局部地区或一段时间内可以发挥一定作用,但这只是一种权宜之计,不可能解决全球性污染问题,也难以维持很长时间。这是因为:(1)随着对污染问题认识的深化,规定的污染物项目将越来越多、越来越严,从而使治理要求越来越高,治不胜治。如美国1986年规定的饮用水标准中,列为污染物的有83种,到1991年将增加到107种。又如为了保障生物圈内低等动植物的生存,苏联正在制订更加苛刻的最高生态允许标准。(2)三废治理实际上很难达到彻底,如城市污水即使经过二级处理后排放,也不能完全避免水体的富营养化,污染治理有些因方法不当还可能造成二次污染。有些治理技术往往使废气产生废水,废水产生废渣,废渣存放堆埋,只是实现了污染物的转移,并没有彻底解决污染问题。(3)三废治理使产品能耗、物耗增加,成本提高,经济效益下降,使企业和社会不堪负担。由此可见,当今人类的物质生产已面临转折关头,目前的工业发展模式难以为继,需要探索新的模式。

3. 采用无废工艺的工业生产,即组织无废生产

在生产过程中正是因为部分原料变成了

废料,造成资源浪费和环境污染。据苏联统计,全部原料转化成产品的部分20—25年前仅占1—2%,10—15年前达到5—10%,1984年也仅上升为28.6%,亦即大部分原料转化成了废料。因此无废工艺首先从物质转化角度看待废料,废料是原料的一部分。俄国化学家门捷列夫早就指出:“对化学来说,无废物可言,有的只是未经利用的原料。”由此可见,对废料的正确定义应该是:“由于种种原因而未加利用或未尽利用的部分原料”。事实上,废料不是不可避免的,废料的存在及数量在很大程度上反映了工艺的发展水平。历史上煤焦油曾经是煤气生产和炼焦时产生的令人讨厌的废料,汽油在80年前是从石油中提炼煤油和矿物油的废弃物,50年前人们在采矿提取镭时将铀矿石废弃于尾矿中。事实说明只有消除废料才是合理利用资源、有效保护环境的根本途径。

其次,无废工艺力求将传统工业发展模式物质转化过程的单向消耗开环型闭合起来,形成自然界生态系统中物质转化的再循环型,从而与周转循环的增值过程互相协调。工业生产只有按照生态学原则建立在再循环的基础上,才能保障社会经济的持续发展,维持人类的生存基础。因此,我们可以把这种新的工业发展模式看作是宏观仿生的产物。

## 二、无废工艺概念的形成和发展

无废工艺的概念是十多年前由苏联学者提出的,随即受到普遍的重视和赞同,不少国家的政府把创建无废工业生产作为经济发展的一项战略目标,有的甚至定为国策。近十年来已召开过多次国际会议,探讨无废工艺的理论和方法,交流应用无废工艺的实际成果。

1979年11月在日内瓦召开了“环境保护领域内进行国际合作的全欧高级会议”,会上通过“关于少废无废工艺和废料利用宣言”,指出无废工艺是使“社会和自然取得和谐关

系的战略方向和重要手段”。通过这次国际会议基本上把西方国家所称的“清洁工艺”、“少污染无污染工艺”、“无公害工艺”等统一为“少废无废工艺”。

1984年联合国欧洲经济委员会在苏联塔什干主持召开的国际会议上对无废工艺作了进一步的定义：“无废工艺乃是这样一种生产产品的方法(流程、企业、地区、生产综合体),借助这种方法,所有的原料和能量在原料资源-生产-消费-二次原料资源的循环中得到最合理和综合的利用,同时对环境的任何作用都不致破坏它的正常功能。”

根据上述定义,无废工艺首先是在认识上使征服自然、主宰自然的思想让位于谋求社会和自然的协调、人类作为生物圈的一个组分与其它组分和谐共存的思想,把利用自然和保护自然统一起来。其次是根据工业系统的经济属性和生态属性将其扩展成一个生态经济大系统,工业活动的目标不是单纯的内部经济性,而是大系统的整体经济性,并据此制定相应的经济政策。第三,从物质转化的角度出发,以原料的综合利用为中心,考察原料开发-产品设计-生产-消费-回收二次资源的全过程,实现物料在各个可能层次上的闭合循环。工业本身在能量推动下所进行的物料循环中不断发展和进化,向生产的广度和深度进军。第四,根据生态学原理,规划、组织和管理区域的生态、生产和生活,从当地的生态负荷出发确定生产的规模,同时根据当时的生产水平有计划地调节人口数量和消费水平。

在无废工艺的概念中包括无害、节能、省料、省地、复用、闭路等含义。当然,所谓“无废”只是一种相对的概念,一种理想的模式,作为过渡形式可采用少废工艺。

由上可见,无废工艺从狭义讲,是一种具体的技术;从广义讲,则是包括哲学、经济学、工艺学和工程学以及规划、管理体制、立法等多方面的综合体系,所以我们把它看作工业

发展模式。

在实施无废工艺的实践中,两方国家侧重于具体技术的开发,而东欧国家则着重于宏观的体系改造。如保加利亚计划1990年在主要的工业部门中实现无废生产,到本世纪末,整个生产、消费部门要转向无废工艺。苏联在不久前颁布的社会主义企业法中明确规定以实现无废生产作为企业的基本方向,在到2005年的全苏生态计划中专列了少废无废工艺一章,订出了具体的指标,以产品的产值计,用少废无废工艺生产的产品产值1990年应占整个工业产品总产值的35%,1995年为55%,2000年为65%,2005年达到75%。

对于判别少废无废工艺,目前各行各业还难于制定完全统一的标准。原则上应该按照物质转化原理确定产品总重量在原料总重量中所占的比例,即物料利用率。苏联化工部制订的企业分级方法规定,一级企业为无废企业,物料利用率为0.90—0.98(与生产规模有关),二级企业为少废企业,物料利用率为0.8—0.9;三级企业为普通企业。所有企业都应达到排放要求,企业的级别与投资、工资总额和奖金等经济利益挂钩。

我国在物质转化方面的基本国情可以归结为两条,一是人均资源拥有量大大低于世界平均水平,主要由人口数量造成,非短时间内所能改变;二是主要工业产品的单位能耗、物耗、水耗大大高于世界先进水平,原因在于工艺落后,设备陈旧,管理不善,布局不合理。物料利用率低下造成双重的消极后果,不但浪费了宝贵的资源,而且造成严重的环境污染。这种局面的改变,显然不能靠头痛医头、脚痛医脚的单纯治理“三废”的方法,而必须改变观念,转向新的工业发展模式。

### 三、实现无废生产的主要途径

#### 1. 原料综合利用

工业原料如煤、石油、金属矿石、木材、

农产品等大多具有多种成分，以往以产品为中心，仅利用其中的“有用组分”，其余的“无用组分”即作为废料。如燃煤发电，只利用了部分化学能，煤中所含的碳、硫化物、氮化物、无机物在燃烧时转化为二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、粉尘、煤渣废弃于环境之中，排出的废热也在水体中造成热污染。无废工艺则要求以原料为中心，围绕原料的综合利用，开发各种加工流程，建立企业群落，组织产品生产，对物料中的各个化学元素进行物料衡算。如围绕煤的利用，建立煤化工厂以提取煤中的有机成分，发电厂生产电力，水处理厂组织闭水循环，建材厂将煤灰制成混凝土砌块以及利用废热的渔业和蔬菜基地，甚至建立水法冶金厂提取煤灰中的铝和稀散金属。国外正在研究将烟道气中的二氧化硫和氮氧化物加工成化肥，将二氧化碳制成聚合物，这样使原料中的各个组分都转化成产品而无一废弃于环境。

苏联希平矿区的开发提供了综合利用原料的成功范例。希平矿区位于北极圈冻土带内的科拉半岛上，蕴藏着世界上最大的磷灰石-霞石矿，矿石中除含有磷灰石、霞石外，还含有钛磁铁矿、霓石和楣石。长期以来，希平矿只作为磷矿开采加工，其余组分均作为尾

矿废弃于附近的湖中。在无废工艺思想的指导下，开展了跨部门、跨行业的科技攻关，开发了整套的加工工艺，实现了矿石的综合利用(图1)。整个化工企业的生产过程采用闭路用水循环，无废水排放。

物料的综合利用要求综合的加工手段，需要将不同性质的工艺过程结合在一起，目前已出现了动力-工艺一体化的加工过程，充分利用系统中的反应热量、高压能、高温位热量和低温位热量。

综合利用的概念还在扩大，利用对象除了物料和能量外，还有某些客观条件，如地下空间、气候条件等。

### 2. 改革原有工艺, 开发全新流程

现有不少工艺是沿袭历史的产物，有必要充分利用现代科学技术的成就，遵循无废工艺的原则，在原料路线、工艺过程、设备和操作控制等方面加以改革，创造出崭新的工艺来。在生产过程中消除产生污染的原因，而不是在生产过程之外消除污染产生的后果。这样的新工艺在各行各业中都可以找到成功的实例。例如面粉厂将麦粒的水洗改为干洗，可节省95%以上的用水，基本上不再有废水排放。炼焦生产中用干式熄焦代替湿式熄焦，大大减少了水耗和废水的排放，还可

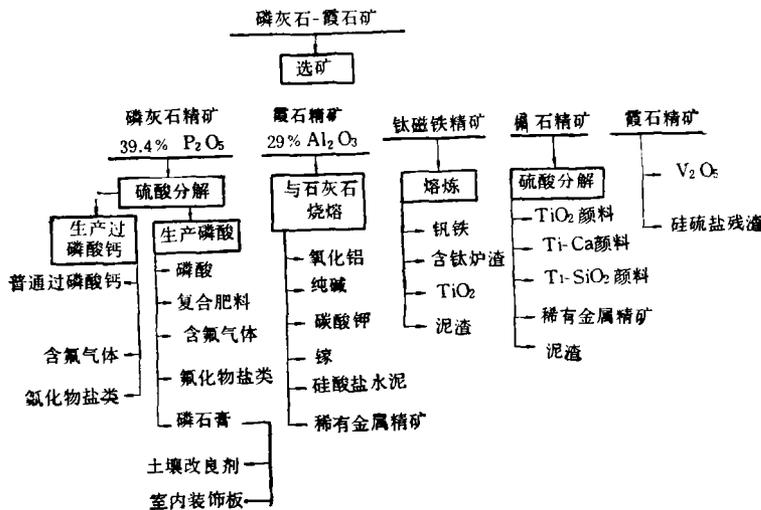


图1 磷灰石-霞石矿的综合利用

以利用红焦的热量,提高焦炭的质量。钢铁工业中传统的生铁生产工艺包括矿粉烧结、炼焦、高炉熔炼三个主要部分,流量复杂,废料量大,现在开发了无焦炼铁工艺(图2),整个过程工序少,基本无废。生产硝酸的传统工艺是在铂网上催化氧化氨,生成二氧化氮,此时仅利用了氨中的氮,原料组成中的氢却转化成水,即浪费了。合成氨时制取氢的宝贵原料——天然气、重油或固体燃料,利用等离子体化学过程可以直接利用空气中的氮和氧制取硝酸(基本流程见图3)。

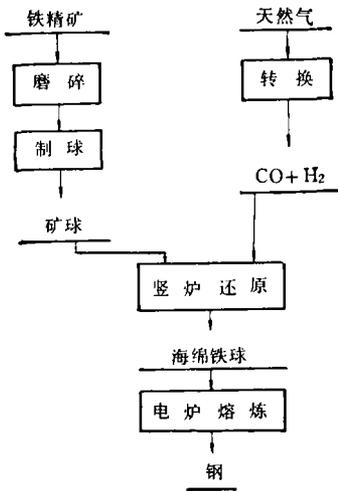


图2 无焦炼铁工艺示意图

现代科学技术开创了新的物理化学过程,它们有可能成为新工艺的主体,如电学有机合成、等离子体化学过程、膜分离过程、光化学过程、新型的催化过程以及生物化学过程等等。先进的科学技术是创建无废工艺的基础。

### 3. 实现物料闭路循环

生产过程中比较容易实现的物料闭路循环是组织闭路用水循环,最终达到无废水排放的目标。根据无废工艺的概念,合理的工业用水原则应该是:供水、用水、净水一体化;利用经过适当处理的生产废水、生活污水和厂区地表水作为生产用水的水源;减少生产用水,尽量采用干法过程,一水多用、分质

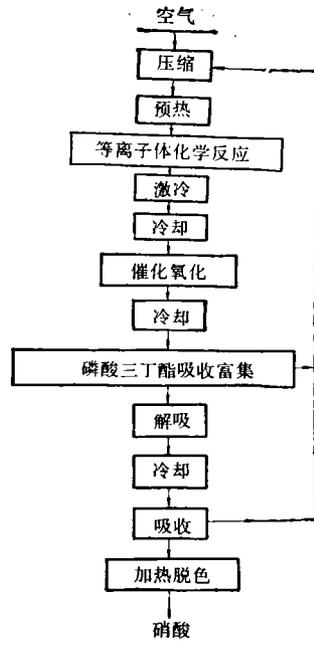


图3 等离子体化学过程制取硝酸

串用;净水的目的不为排而用;净水同时提取有用组分,制成产品或转化为二次资源。建立闭路用水循环应该从生产过程的具体特点出发,保证回用水质不影响产品的质量,不损害设备和管道,也不致危及操作人员的身体健康。

可以认为,在当今水资源紧张、水费上涨、达标排放的治理费用日趋昂贵的情况下,工厂企业乃至整个城市实现闭路用水循环是一种必然的趋势。1970—1980年间美国的工业循环用水率为67%,1985年上升到87%,预期到2000年达到96%。苏联目前全国的平均循环用水率为83%,正向着据认为经济上最合宜的指标——94%而努力。截止1984年的统计,苏联已有100多家大厂实现了闭水循环,这些工厂分属于钢铁、煤炭、电力、化工、造纸、石油加工、食品、汽车制造、建材、轻工等行业。

### 4. 将工业废料转化成二次资源

就目前的科技发展水平,工业原料经过加工后全部变成产品而不出废料,这种工艺

还不普遍,更为常见的是随着成品的生产产生一定种类和数量的废料,而这些废料往往不宜于在本厂处理。因此,实现无废生产的目标除了尽量减少每一工序、每一流程中产生的废料量外,还需要组织跨行业的协作,使某一企业的废料成为另一企业的原料,亦即使工业废料资源化,将其转变成二次资源。

工业废料资源化,相当于废料以副产品的形式出厂,而作为其它工厂的原料,它应该符合一定的要求,首先其组成、形态不能波动很大,产出的数量也应基本保持均衡,这样才有利于建立企业间比较稳定的供求关系;其次它们在出厂时须要进行必要的处理,如脱水、干燥、破碎、粒化、包装等,以便于运输和进一步加工成产品。为了满足这些要求,需要统筹规划,组织企业间的横向联合,尤其重要的是要组织跨部门的科研协作,切实解决装备问题。

在大吨位工业固体废物中,高炉炉渣利用较好。如苏联至少有 15 家大水泥厂建在冶金厂附近,还开发了从液态炉渣直接制成高级建材人造大理石的流水线。东欧国家有些钢铁厂不仅全部利用了当年产出的炉渣,而且还处理废渣场中往年堆积的炉渣。火电站的粉煤灰、化肥厂磷石膏、硫酸厂的硫酸铁矿烧渣,目前的利用率还比较低。除了工艺还不够完善外,主要障碍在于部门和行业间的壁垒以及缺少大型设备,经济政策方面的推动力也还不够。

#### 5. 改进产品设计,加强废品回收利用

在传统工业中,产品的设计原则往往从经济利益考虑,产品出厂后企业一般不再顾及它们随后的命运。现在人们认识到,工业污染不但发生在产品的生产过程中,也可能发生在产品的使用、消费过程中,亦即工业产品本身也可能是重要的污染源,如低效率的工业锅炉,破坏臭氧层的氟里昂,强致癌的多氯联苯,危害生态平衡的化学农药等等。因此,产品的设计,不但应该遵循经济原则,还

要顾及生态效益;不但应考虑它在消费中的使用性能,还要关心产品报废变成废品后的去向。也就是说需要把产品的生产过程和消费过程看作一个整体,力求把原料-工业生产-产品使用-废品-弃入环境这一传统的开环模式变成原料-工业生产-产品使用-废品-二次原料资源这样的闭环系统,使原料,特别是不可再生的原料资源进入社会后,能在生产消费过程中实现多次循环,同时在循环中不致对环境造成污染。

目前,一些传统产品被淘汰往往不是由于经济原因而是出于生态原因,如 DDT、666 已被禁止生产,含铅汽油在有些国家也已停产,开发了一系列比较符合生态要求的新产品,如光解塑料、水溶性涂料等。

不少国家已经认识到利用二次资源的紧迫性,将此列为国家优先考虑的经济战略之一。如英国设置了专司此职的内阁大臣,民主德国在 1981—1983 年间,二次资源的利用量占最重要工业原料的 11.5%。一些工业部门的原料需求正依靠二次资源得以满足,例如钢铁生产 70—75% 的原料来自废钢铁;有色冶金中依靠废品的比例铅为 45%、锌为 41%、铝为 63%、铜为 48%;几乎一半的纸张是用废纸生产的;饮料、水果和蔬菜的罐头瓶 70% 靠回收复用。

废品的回收利用需要建立完善的收购系统,开辟利用途径,开发回收处理工艺,研制高效设备,同时还要有适当的经济政策。

随着城市人口的增长和居民生活水平的提高,城市垃圾的处理已成为异常尖锐的问题,目前人均垃圾产出量以每年 3—10% 的速度增加,垃圾收集和处理应成为城市的一个新兴工业部门,即所谓的“第二矿业”,而其中技术上的复杂性并不亚于矿产工业。

#### 6. 创建无废工业区

一般说来,在流程和企业的层次上做到物流的完全闭合目前还不多见,但在工业区

(下转第74页)

#### (四) 数据库的实现

在 dBASE-III 中,关系数据模型是通过表格文件存贮的,因此,上述 108 个关系数据模型被编制成 108 个数据表格,将这 108 个数据表格按一定的次序存入机器,就实现了数据库的结构设计。

在建立表格文件时应包括如下内容:文件编号和文件名;字段描述(字段名、类型、长度、小数位长度等)和字段名的意义。

在研究 REMIS 的模块分解和数据库结构过程中,应密切结合地方环境管理部门的职能体系。为了便于地方环保局下属的各个职能部门能够使用 REMIS 的各个子系统,REMIS 的模块化程度很高。既可以将整个系统安装在一台计算机上,以获得完全的服务;也可以将 REMIS 的一部分安装在一台机器上,实现系统部分功能。

与系统模块化设计相适应,数据库设计的模块化程度也很高。为了实现系统的部分

(上接第80页)

范围内依靠科学的规划、合理的布局、适宜的产业结构、有效的管理实现该区域内资源的充分利用而无废料废弃,则是完全可能的。自然界生态系统的功能原则为我们树立了榜样。为此,围绕当地的优势资源,将各个专业化生产有机地联合成一综合生产体系,组织物料的纵向和横向联系,形成生产链和生产网络,保证原料的综合利用并消化各种废料和废品,在总体上实现物料的再循环,推进该区域生态、生产和生活的最优化。

综上所述,无废工艺学正在成为一门独

功能,只需装入有关的数据库文件。

### 四、结 论

1. 模块化设计是实现 REMIS 设计目标的有效方法,本研究设计的 REMIS 系统的模块化结构保证了系统的稳定性和灵活性,是系统实施的基础和依据。

2. 数据库是 REMIS 的核心,数据库的设计既要考虑系统的全体功能模块,又应以查询和统计功能为主要服务对象,以便使系统的总体效率最高。

### 参 考 文 献

- [1] 程声通等,环境科学,10(2),57(1989).
- [2] 程声通等,环境科学,10(4),52(1989).
- [3] 司徒卫等,环境科学,11(1),70(1990).
- [4] 冯玉才,数据库系统基础,第 243—288 页,华中工学院出版社,1984 年。

(收稿日期: 1990年 2 月 5 日)

立的学科,它以生态学和工业生态学为理论基础,以在工业生产中组织再循环为目标,研究无废生产的组织原则、实施途径、评价方法等问题,同时涉及心理、社会、政治、国际合作等多个领域。它的基本思想符合我国国情,对于解决我国面临的资源紧张而又浪费严重、工业污染加剧、环保投资效益不佳等迫切问题,将发挥有益的作用。

致谢 本文承井文涌教授审阅并提出宝贵意见,特此感谢。

(收稿日期: 1989年 9 月25日)

ity, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(4), 1990, pp.70—74

Module design is a basic method for REMIS designing, and data base is the core of the REMIS. This article presents the method and results of the module and the data base design. The scheme of the module analysis and the data base construction would guarantee the stability, the adaptability and better operational efficiency for the REMIS.

**Key Words:** design, module, data base, environmental management, information system.

### **Non-Waste Technology—A New Pattern of Industry Development.**

Xi Deli (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(4), 1990, pp. 75—80

The environmental problems mankind faces today is coming from the shock of industrial production. For the purpose of exploring the interaction between industrial production and the environment, three patterns of industrial development after the Industrial Revolution has been discussed in this paper on the basis of the function of industry itself. It has been pointed out that the non-waste technology is the newest pattern which could be considered as the basic approach to rationally utilize natural resources and to protect the environment. The formation of the concept "non-waste technology" and its development are introduced and some examples presented here illustrate its main realizable ways.

**Key Words:** non-waste technology, industrial development.

### **Distribution of Uranium Contents in Tap Water and Natural Water in Shanghai.**

Wu pinhai, Li Jinqun, Wang Li (Shanghai Municipal Institute of Radiative Medicine): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(4), 1990, pp.84—86

Introduced in this paper is the distribution of uranium contents in drinking water of Shanghai residents and in natural water sampled from the Yangtze River, the Huanpujiang River, rain and snow. The authors have engaged in monitoring continually for three years, and compared uranium contents from different sources and with those of other provinces and cities. The results show that uranium contents in Shanghai drinking water are lower in the natural water. They are all at background level.

**Key Words:** distribution, uranium content, tap water, Shanghai.

### **Determination of Nitrate and Nitrite in Water by Reversed Phase High Performance Liquid Chromatography.**

Wang Yuwen, Sun Yuhua (Institute of Geography, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(4), 1990, pp.87—88

A new and rapid method is described for the determination of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NO}_2^-$  in water by RPHPLC in this paper. With the detection in UV 210nm and phosphate acid as the eluant, the minimum detection limit ( $S/N=2$ ) is 0.08ng for  $\text{NO}_3^-$  and 0.6ng for  $\text{NO}_2^-$ . How to optimize pH and concentration of the eluant on separation has been discussed as well. Moreover, samples of tap water and wastewater in a city were determined within 3 min for each by using RPHPLC.

**Key Words:** determination, nitrate, nitrite, water RPHPLC.