DOI ：10. 13287zj. 1001 $32. 20(M. 0072

应用生态学报2004年2月 第15卷 第2期

CHINESE JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY, Feb. 2004,15(2) :316 〜320

污染土壤修复标准建立的方法体系研究

周启星

(中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态过程重点实验室，沈阳110016)

【摘要】 近年来，污染土壤修复技术发展很快，而污染土壤修复标准的建立则相对迟缓•在我国，直至目前 甚至还没有开展相应的研究.为了推进我国该领域的工作，对污染土壤修复标准建立的方法体系进行了阐 述，并提出了建立污染土壤修复标准应同时考虑技术清洁水平、环境背景水平和法规可调控清洁水平等3 个基本变量.而从技术清洁水平这一变量来讲，应该包括2个方面的内涵，一是污染土壤修复技术本身所 能达到的清洁目标，二是现有分析技术发展所能确认的污染物最低限量目标，即仪器可检出水平.

关键词污染土壤修复标准方法体系生态风险评价

文章编号1001 — 9332(2004)02—0316—05中图分类号 X171.5 文献标识码 A

**Methodology of enacting standards for remediation of contaminated soils.** ZHOU Qixing *(Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process^, Institute of Applied Ecology^ Chinese Academy of Sciences, Shenyang* 110016, *China). -Chin .J. Appl. Ecol.,* 2004,15 (2)： 316 ~320.

Remediation technology for contaminated soils is being developed rapidly in recent years. However, there is a hysteresis in enacting remediation standards for contaminated soils. In particular, no corresponding research has been done in China. Methodology of enacting standards for the remediation of contaminated soils is discussed in order to promote the work in this field. It is emphasized that technolosical cleanup levels includins limits of de­tection, environmental background levels and regulatory cleanup levels should be fully considered in the enact­ment of remediation standards.

**Key words** Contaminated soil, Remediation standard, Methodology, Ecological risk assessment.

**1**引 言

污染土壤修复标准是指被技术和法规所确立、确认的土 壤清洁水平,通过土壤修复或利用各种清洁技术手段，使土 壤环境中污染物的浓度降低到对人体健康和生态系统不构 成威胁的技术和法规可接受的水平.这些标准是衡量各污染 点或污染场地经过人为修复后清洁程度尺度的表征.由于 “清洁”的概念是相对的和主观的，对“清洁”进行测度需要考 虑实现的可能性、土壤的自身背景水平、生态系统安全与人 体健康影响、经济可承受能力和社会发展水平等多种因素. 因此，污染土壤修复标准的建立应该全面考虑、综合设计，特 别是要基于对土壤污染生态毒理学深入研究的各种成 果［8, 10, 15］

当前,污染土壤修复的研究已成为国际上污染生态学和 环境工程学的学科前沿和重要的研究内容，污染土壤修复技 术得到了迅速发展【° °⑺.与此同时，一些国家也相应加 大力度开展了污染土壤修复基准的研究，包括从污染生态毒 理学或保护人体健康的角度，提出了一系列土壤最大允许 浓度和最高限量.通过研究，从国家或区域水平上逐步确立 或建立污染土壤修复的标准.这一工作由于对农产品安全与 生态系统健康具有重要现实意义，受到欧美等发达国家的高 度重视.在我国，由于各种因素的影响，直至目前尚没有开展 这方面的研究工作.

**2**技术清洁水平

**2. 1**修复技术水平

一个国家即使经济实力很强，如果采用的污染土壤修复 技术不能达到指定的修复目标,那么这种污染土壤修复标准 就难以进行实际操作，在现实中不可行.这就是说，污染土壤 修复标准的建立,首先应该建立在污染土壤清洁技术发展的 现有水平的基础之上，需要根据技术水平的发展适时地进行 适当的目标调整与目标“提高”.当然，如果通过技术改进，发 现现有的修复标准很容易达到,那么说明技术问题就不是污 染土壤修复标准制定的一个瓶颈，污染土壤的修复标准则更 需要考虑其他因素.

当前，污染土壤修复技术的现有水平，尽管得到了较大 发展，但仍远远不能满足生态系统和人体健康对污染土壤修 复所提出的严格要求和面临的现实任务，是污染土壤修复标 准制定的主要瓶颈之一.污染土壤修复技术的有效性，在很 大程度上决定于污染物种类和污染介质的类型（表1）.可 见，发展、研制和改进污染土壤的修复技术，对污染土壤修复 标准的确立意义非常重大［⑺.

**2.2**仪器可检出水平

制定的污染土壤修复标准是否可行，首先要从分析技术 \*国家杰出青年科学基金项目（20225722）和中国科学院知识创新重 要方向资助项目（KZCX2-SW-416）.

2003-08- 18 收稿，2003-11-30 接受.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 表**1**污染土壤修复技术与污染物、环境介质之间的相互关系  **Table 1 Remediation technology of contaminated soils, pollutants and environmental media** | | |
| 污染物类型  Pollutant | 环境介质  Medium | 修复技术  Remediation technology |
| 金属 Heavy metal | 土壤 Soil | 固化/稳定化修复技术 Solidification/Stabilization reme­diation |
| 有机污染物 Organic pollutant | 地下水 Groundwater | 碳吸附、氧化修复技术 Carbon adsorption, oxidation re­mediation |
|  | 土壤、地下水 Soil, groundwater | 生物修复、化学浸提、焚烧Bioremediation, chemical ex­traction, and incineration |
| 金属、有机复合污染Combined pollution of met­als and organic compounds | 土壤 Soil | 化学淋洗、玻璃化修复技术Chemical flushing, vitrifica­tion remediation |
|  | 土壤、地下水 Soil, groundwater | 物理修复、化学修复技术Physical remediation, chemical remediation |
| 挥发性有机污染物Volatile organic pollutant | 土壤 Soil | 土壤蒸发浸提、热解吸修复Vapour extraction, thermal­desorption remediation |
|  | 地下水 Groundwater | 气提修复技术 Gas extraction remediation |

上加以保证.这就是说，如果规定的土壤环境中典型污染物 及其浓度水平甚至没有什么实验仪器能够检出的话，那么任 何进一步的工作就无从谈起.因此，为了解决这一根本性的 问题，实现对土壤环境中污染物的准确识别和对低污染水平 的测定，就需要发展相应的分析技术、研制标准的分析方法.

表2、3分别列出了目前国际上比较典型的土壤和地下 水中一些重金属、无机污染物和有机污染物的仪器可检出水 平[6~8].其中的计量单位分别为吨也—1（土壤）和mg^L"1 （地下水）.这些数值可以作为我国污染土壤及地下水修复标 准制订时参考.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 表**2** —些典型重金属和无机污染物的检出极限  **Table 2 Representative limits of metal and organic pollutant detection** | | |
| 污染物  Pollutant | 土壤  Soil (mg °kg | 地下水  Groundwater  1）（哑「） |
| 汞 Mercury | 0.001 | 0.0002 |
| 铅 Lead | 0.50 | 0.002 |
| 不申 Arsenic | 0.10 | 0.004 |
| 镉 Cadmium | 0.3 | 0.0002 |
| 珞 Chromium | 0.5 | 0.01 |
| 铜 Copper | 0.5 | 0.01 |
| 硒 Selenium | 0.1 | 0.002 |
| < Nickel | 0.5 | 0.02 |
| 舖 Antimony | 0.15 | 0.00005 |
| 锁 Barium | 0.5 | 0.01 |
| 披 Beryllium | 0.3 | 0.005 |
| 硼(水溶性)Boron (water soluble) | 0.50 | 0.01 |
| 钠1 盐 Dalapon, sodium salt | 3.3 | 0.004 |
| 氟(可溶氟化物)Fluorine (soluble fluoride) | — | 0.05 |
| 猛 Manganese | 0.5 | 0.01 |
| 钳 Molybdenum | 10 | 0.01 |
| 银 Silver | 0.5 | 0.001 |
| 铠 Thallium | 0.5 | 0.001 |
| 机(烟或尘)Vanadium (fume or dust) | 0.50 | 0.01 |
| 锌(烟或尘)Zinc (fume or dust) | 0.025 | 0.0005 |
| 氤化物Cyanide | 0.5 | 0.01 |
| 硝酸盐（以N计）Nitrate （as N） | — | 0.06 |
| 亚硝酸盐（以N计）Nitrite （as N） | — | 0.06 |
| 硝酸盐/亚硝酸盐（合计）Nitrate-nitrite （total） | — | 0.06 |

当然，表2、3中所列出的这些检出水平的极限值，并不 是一成不变的，它将随着现代分析技术的研制和仪器设备的 改进以及研究方法的发展而不断得到改善.这就是说，改善 检测能力、降低检测极限值，是现代环境分析化学的主要任 务之一，而现代环境分析化学的发展和进步，是污染土壤修 复标准进一步修订的基础和依据之一.

在我国，实验设备条件还因不同部门、不同实验室和不 同地区有很大差异.因此，修复标准应该建立在多数实验室 能够从分析技术和手段上能够加以实施，而不是少部分具有 尖端实验能力的实验室为准.当然，这些尖端实验室有义务 和职责承担整个国家分析技术普及和人员的培训工作，促进 分析技术全面向前发展.

为了保证提出的污染土壤修复标准不至于宽到许多污 染物能够对人体和生态系统产生明显的危害或不良生态效 应®⑸，建立的标准还不能以那些实验条件差的实验室为 准,这些实验室面临着必须逐渐改善分析实验条件的艰巨任 务.否则，污染土壤修复标准就不具备一定的权威性,对生态 系统和人体健康就起不到应有的保护作用与防范功能，就会 失去应有的现实价值.

3环境背景水平

从广义上讲,环境背景水平主要是指元素在土壤及地下 水中固有的地球化学含量水平，一般是在成土过程中所形成 的自然浓度状态,基本未受或很少受人类各种生产和生活活 动的影响14].因此，人为合成有机污染物的环境背景水平 大体上可以确定为零.在当今全球环境污染的情况下，完全 纯自然的状态似乎已经不再存在.因此，环境背景水平只具 有相对意义.

上世纪70年代中期以来，我国开展了土壤元素环境背 景值的研究，特别是被国家列入“七五”和“八五”科技攻关课 题后，在全国范围内开展了系统研究，取得了一系列成 果$ 1习.在仪器和实验方法可检出水平基础上，这些成果可 以为污染土壤修复标准的制订，提供进一步的科学依据和 基础资料.

就污染土壤修复而言，环境背景水平是指在土壤或地下 水污染发生之前土壤或地下水的基本状态和元素的存在水 平.一般来说，把土壤中有毒元素或化合物的浓度控制在其 背景值范围内，或者通过修复手段把这些所谓的污染物浓度 降低到土壤环境背景水平以内，是最安全的，也最符合土壤

本身生态系统特点和功能的要求.例如，加拿大Ontario农业 平均含量,在数值上即等于我们通常所说的当地土壤环境背

食品部和环境部特设委员会规定的Cd、Ni和Mo的最大允 景值15].

许浓度，分别恰好等于Ontario非污染土壤中Cd、Ni和Mo的

表3 土壤及地下修复过程中需要优先考虑的一些有机污染物的典型检出极限

Table 3 Representative limits of organic pollutant detection

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 有机污染物 | 土壤 | 地下水 | 有机污染物 | 土壤 | 地下水 |
| Organic | Soil | Groundwater | Organic | Soil | Groundwater |
| pollutant | (mg°kg 1) | （my「） | pollutant | (mg°kg 1) | (mg^L'1) |
| 危 Acenaphthylene | 0.2 |  | 七氯 Heptachlor | 0.05 | 0.00005 |
| 丙酮 Acetone | 0.1 | 0.01 | 环氧七氯 Heptachlor epoxide | 0.005 | 0.00005 |
| 丙烯醛Acrolein | — | 0.005 | 六氯-1,3-丁二烯 Hexachloro-1,3-butadiene | 0.17 | 0.01 |
| 丙烯月青 Acrylonitrile | — | 0.005 | 六氯代苯 Hexachlorobenzene | 0.17 | 0.005 |
| 艾氏剂Aldrin | 0.005 | 0.00005 | P-666 | 0.05 | 0.0005 |
| 蔥 Anthracene | 0.17 | 0.005 | 六氯代环戊二烯 Hexachlorocyclopentadiene | 0.17 | 0.01 |
| 苯 Benzene | 0.01 | 0.0002 | 六氯乙烷 Hexachloroethane | 0.17 | 0.01 |
| 联苯胺Benzidine | 0.17 | 0.02 | 苗并(2,3-cd)tE Indeno(2,3-cd)pyrene | 0.17 | 0.00003 |
| 苯并［a］*蔥* Benzo (a )anthracene | 0.17 | 0.00001 | 异佛尔酮Isophorone | 0.17 | 0.01 |
| 苯并［a］陀 Benzo (a )pyrene | 0.17 | 0.00001 | 高丙体 666 Lindane | 0.005 | 0.00005 |
| 苯并［b］荧蔥 Benzo (b )fluoranthene | 0.17 | 0.00001 | 马拉硫磷Malathion | 0.1 | 0.0005 |
| 苯并［k］荧蔥 Benzo (k)fluoranthene | 0.17 | 0.00001 | 甲基乙基酮 Methyl ethyl ketone | 0.1 | 0.01 |
| 苯甲醇 Benzyl alcohol | 0.07 | 0.002 | 甲基对硫磷Methyl parathion | 0.003 | 0.0005 |
| 三漠甲烷 Bromoform | 0.01 | 0.0002 | 甲基叔丁基酥 Methyl tert-butyl ether | 0.25 | 0.0025 |
| 漠代甲烷Bromomethane | 0.01 | 0.0002 | 正己烷n-Hexane | 0.05 | 0.005 |
| 二硫化碳 Carbon disulfide | 0.05 | 0.01 | N-亚硝基二甲基苯胺 N-Nitrosodimethylamine | 0.17 | 0.005 |
| 四氯化碳 Carbon tetrachloride | 0.01 | 0.0002 | N-亚硝基毗咯烷 N-Nitrosopyrrolidine | 0.17 | 0.01 |
| 按基化物Carboxin | 1.0 | 0.01 | 并四苯 Naphthalene | 0.2 | 0.0003 |
| 氯丹 Chlordane | 0.05 | 0.0005 | 硝基苯 Nitrobenzene | 0.17 | 0.0005 |
| 氯苯 Chlorobenzene | 0.01 | 0.0002 | o-氯甲苯 o-Chlorotoluene | 0.05 | 0.0005 |
| 氯仿 Chloroform | 0.01 | 0.0002 | 草胺酰 Oxamyl (vydate) | 0.83 | 0.001 |
| 氯代甲烷 Chloromethane | 0.01 | 0.0002 | 对硫磷Parathion | 0.03 | 0.0005 |
| 2-氯酚 2-Chloropheol | 0.3 | 0.005 | 五氯酚 Pentachlorophenol | 2.0 | 0.01 |
| 二并苯［*a,* h］蔥 dibenzo (a, h )anthracene | 0.2 | 0.0001 | 酚 Phenol | 0.3 | 0.005 |
| 二漠氯甲烷 Dibromochloromethane | 0.01 | 0.0002 | N-氨基甲酸异丙酯Propham | 0.33 | — |
| 1,2-二漠甲烷 1,2-Dibromomethane | 0.002 | 0.000005 | 陀 Pyrene | 0.17 | 0.00004 |
| 邻苯二甲酸二丁酯 Dibutylphthalate | 0.3 | 0.005 | 西 玛三嗪 Simazine | 2.0 | 0.01 |
| ］,2-二氯苯 1,2-Dichlorobenzene | 0.025 | 0.0005 | 苯乙烯Styrene | 0.05 | 0.0005 |
| ］,3-二氯苯 1, 3-Dichlorobenzene | 0.02 | 0.0005 | 1,2,4, 5-四氯苯 1,2,4, 5-Tetrachlorobenzene | — | 0.01 |
| 1,4-二氯苯 1,4-Dichlorobenzene | 0.025 | 0.0005 | 1,1,1,2-四氯乙烷 1, h 1,2-Tetrachloroethane | 0.05 | 0.0005 |
| 3,3-二氯联苯胺 3,3-Dichlorobenzidine | 0.34 | 0.02 | 1,1,2,2-四氯乙烷 1,1,2,2-Tetrachloroethane | 0.05 | 0.0002 |
| 二氯漠甲烷 Dichlorobromomethane | 0.01 | 0.002 | 四氯乙烯 Tetrachloroethylene | 0.01 | 0.0002 |
| 二氯二氟甲烷 Dichlorodifluoromethane | 0.01 | 0.002 | 四乙基铅 Tetraethyl laed | 1.0 | 0.05 |
| 1,2-二氯乙烷 1,2-Dichloroethane | 0.01 | 0.002 | 甲苯 Toluene | 0.01 | 0.0002 |
| 二氯甲烷 Dichloromethane | 0.05 | 0.0005 | 毒杀酚Toxaphene | 0.05 | 0.0005 |
| 2,4-二氯酚 2,4-Dichlorophenol | 0.03 | 0.005 | 1,2,4-三氯苯 1,2,4-trichlorobenzene | 0.17 | 0.001 |
| 1,2-二氯丙烷 1,2-Dichloropropane | 0.01 | 0.0002 | 1,1,卜三氯乙烷 l,h 1-trichloroethane | 0.01 | 0.0002 |
| 1,3-二氯丙烯 1, 3-Dichloropropylene | 0.01 | 0.0002 | 1,1,2-三氯 乙烷 1,1,2-trichloroethane | 0.01 | 0.0002 |
| 狄氏剂Dieldrin | 0.01 | 0.0001 | 三氯乙烯 Trichloroethylene | 0.01 | 0.0002 |
| 二乙基邻苯二甲酸酯Diethylphthalate | 0.3 | 0.01 | 三氯氟甲烷 Trichlorofluoromethane | 0.025 | 0.0005 |
| 2,4-二硝基酚 2,4-Dinitrophenol | 1.67 | 0.01 | 2,4, 5-三氯酚 2,4, 5-trichlorophenol | 0.2 | 0.005 |
| 2,4-二硝基苯 2,4-Dinitrotoluene | 0.17 | 0.005 | 2,4, 9-三氯酚 2,4, 9-trichlorophenol | 0.17 | 0.005 |
| 2-（1呷基-正丙基）4,9-二硝基苯酚Dinoseb | 0.05 | 0.0002 | 1,2, 3-三氯丙烷 1,*2,* 3-trichloropropane | 0.05 | 0.0005 |
| 联苯甲酰胺酸Diphenamid | 1.0 | 0.01 | 三氯三氟乙烷 Trichlorotrifluoroethane | 0.25 | 0.0005 |
| 1,2-二苯月井 1,2-Diphenylhydrazine | 0.17 | 0.005 | 三卤甲烷(总和)Trihalomethanes (total) | — | 0.004 |
| 二磺内酯 Disulfoton | 0.1 | 0.0005 | 春霉素Vemam | 2.0 | 0.002 |
| 乙苯 Ethylbenzene | 0.025 | 0.0005 | 氯乙烯 Vinyl chloride | 0.05 | 0.0005 |
| 1,2-亚乙基二醇 Ethylene glycol | 0.1 | 0.01 | 1,1-二氯乙烯 Vinylidene chloride | 0.01 | 0.0002 |
| 荧蔥 Fluoranthene | 0.17 | 0.00003 | 二甲基（混合异构体）Xylenes （mixed isomers） | 0.01 | 0.0002 |
| 茹 Fluorene | 0.17 | 0.00004 |  |  |  |

不过,要识别、确定土壤的环境背景水平通常是比较困 难的，因为污染的发生往往是潜意识的、非故意的以及具有 随机性，并随时间发生不断变化.一般的做法是：土壤的环境 背景水平是以周围地区或未污染区土壤环境中元素的含量 水平为参照体系，有时采用下层土壤中元素的含量水平为参 照体系•地下水的环境背景可以定义为以污染点的上坡向的 地下水中的元素浓度水平为准.

值得注意的是，土壤类型不同，由于涉及到各种复杂的 成土因素（包括母质因素、生物因素、气候因素、地形因素和 时间因素等），土壤元素的环境背景值有很大差异 W 例如， 在富铜的山区或铜矿开采区，由于母质因素的影响，土壤元 素Cu的环境背景水平比一般土壤要高，有时甚至高于人体 健康风险评价水平•在这种情况下，如此高的背景水平，对污 染土壤的修复似乎失去参考价值.这就是说，土壤高背景值 一般不宜作为通常大多土壤污染修复的参照标准.

在美国、英国和其他国家，也曾经开展过土壤元素环境 背景值的调查和研究.由于这些国家与我国的地域差异和生 态环境条件不同，工农业活动强度、类型与历史不一致，显然 与我国土壤元素环境背景值有很大不同.在这种意义上，必 须承认，不同的国家必然有不同的污染土壤修复的标准.那 种照抄照搬的做法，肯定是不现实的，也肯定会导致巨大的 经济损失和不可弥补的生态悲剧.

**4**法规可调控清洁水平

**4.1**国内现有环境法规

从1972年到现在，我国一直对环境立法给予极大的关 注和重视.在建立的各种法规体系中，以环境立法进展最快. 可以认为,经过近30年各方面的艰苦努力，一个符合中国基 本国情的环境法规体系已经形成.截止2001年4月，我国共 制定环境保护标准439项，其中国家标准365项，行业标准 74项⑼.尤其是,1998年修订的《中华人民共和国土地管理 法》和《中华人民共和国土地管理法实施条例》为土地资源的 保护和土壤污染防治提供了法律基础;2000年3月20日颁 布的《中华人民共和国水污染防治法实施细则》则为水污染 防治提供了法规依据，它们是建立污染土壤修复标准的法律 基础.

值得一提的是，我国为贯彻《中华人民共和国环境保护 法》，防止土壤污染，保护生态环境，保障农林生产，维护人体 健康，还于1995年制定了土壤环境质量标准（GB15618- 1995）凹.该标准按土壤应用功能、保护目标和土壤主要性 质，把土壤环境质量划分为3类：I类主要适用于国家规定 的自然保护区（原有背景重金属含量高的除外）、集中式生活 饮用水源地、茶园、牧场和其他保护地区的土壤，土壤质量基 本保持在自然背景水平；II类主要适用于一般农田、蔬菜地、 茶园、果园、牧场等土壤，土壤质量基本上对植物和环境不造 成危害和污染；II偻主要适用于林地土壤及污染物容量较大 的高背景值土壤和矿产附近等地的农田土壤（蔬菜地除外）， 土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染；与此同 时,规定了土壤环境中污染物的最高允许浓度指标值及相应 的监测方法.应该说，该标准在一定程度上可以间接作为我 国农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场、林地和自然保护区等污染 土壤的修复标准；或者说，土壤环境中污染物的最高允许浓 度指标值可以作为我国污染土壤修复的参照标准，尽管该土 壤环境质量标准还存在以下2个方面的不足：1）只对土壤 pH 值.Cd>Hg>As>Cu>Pb>Cr>Zn>Ni./\六六和 DDT 作了最 大允许浓度的限制，许多更为重要的土壤污染物并没有相应 的限制值,有些标准值并没有得到相应的土壤-植物系统验 证，还需要进行进一步研究确认或校正；2）只考虑单因子土 壤污染，而没有涉及复合污染效应⑹.

当然,污染土壤修复标准与土壤环境质量标准两者并非 一码事小刀，他们之间存在着许多实质性的差异，前者目标 是使土壤环境中的污染物降低到不足以导致较大的或人们 不可接受的生态损害和健康危害两方面的风险，而后者的目 标是为了保护土壤资源、避免土壤污染的发生.

众所周知，当进入到土壤环境中的污染物达到一定数量 时,首先会通过各种迁移、淋溶过程污染地下水，甚至迁移 进入作为饮用水的地表水中.为了防止污染土壤对地下水特 别是对饮用水的污染，必须采取必要的修复手段和技术措 施,对污染土壤进行修复，使污染的土壤至少不致于产生对 地下水和饮用水的污染【° 11].我国为保护和合理开发地下 水资源，防止和控制地下水污染，保障人民身体健康，促进经 济建设，已制定了地下水质量标准（GB/T14848-93）.该标准 于1993年12月30日由国家技术监督局批准，1994年10月 1日正式实施.在该标准中，依据我国地下水水质现状、人体 健康基准值及地下水质量保护目标，参照了生活饮用水、工 业和农业用水水质最高要求，将地下水质量划分为5类：I 类，主要反映地下水化学组分的天然低背景含量，适用于各 种用途；II类,主要反映地下水化学组分的天然背景含量，适 用于各种用途；II偻，以人体健康基准值为依据，主要适用于 集中式生活饮用水水源及工、农业用水；IV类，以农业和工业 用水要求为依据，除适用于农业和部分工业用水外，适当处 理后可作生活饮用水；V类，不宜饮用，其他用水可根据使用 目的选用.该标准中关于我国地下水质量分类指标的具体数 值和限量,可以作为我国污染土壤及地下水修复标准制定时 参考.

在我国广大乡村地区，尤其是在农村，地下水常常作为 生活饮用水使用.一二十年前，甚至在北京也开采地下水作 为生活饮用水.为了保证广大农村地区污染土壤修复后不影 响地下水的饮用，生活饮用水卫生标准应该作为地下水是否 污染的衡量标准和法规依据.也就是说，当农村地区污染土 壤经过修复后，地下水水质达到了生活饮用水卫生标准，可 以认为，污染土壤修复达到了法规可调控的清洁水平.也就 是说，我国生活饮用水卫生标准中有关生活饮用水水质常规 检验项目及限值、非常规检验项目及限值和饮用水源水中有 害物质的限值，对于特定条件下污染土壤及地下水修复标准 的确立，具有重要的实际意义.

**4. 2**国外和一些与国际组织有关的环境法规

作为世界上经济实力最强的美国，依据国家法规与指导 准则确立的清洁水平，已经对土壤和地下水中污染物的可 接受水平进行了规定.这些国家法规与指导准则包括《安全 饮用水法》和《有毒物质控制法》小].正如1986年美国在修 订《安全饮用水法》时，公众要求环保局对人体健康有不良影 响并在公共供水系统中有可能出现的污染物，确立最大污 染水平目标（MCLGs）Z 5 .尽管*MCLGs*是不可强制执行的 目标，但能够表征人们非期望的对人体健康有不良效应的污 染水平•其中，对于那些非致癌性污染物，可根据饮用水等价 水平（D愆厶）对其*MCLG*值进行确定*.DWEL*是在假设成 人体重70越、每日暴露于污染物（假设只来自饮用水暴露） 的基础上，通过乘以参照剂量*JRfD* ）、除以每天耗水量（21） 计算而得.通常，饮用水暴露占总暴露的20%,即所谓的污染 源相对暴露贡献（ASC）.在这种情况下，*MCLG*则应该由 *DWEL*乘以ASC这个系数计算而得：

MCLG = DWEL X RSC （1）

对于那些具有致癌效应的污染物,美国环保局把它分成3大 类型，其中把第*I*大类污染物的*MCLG*值设为0.

在美国，《安全饮用水法》还促使其环保局制定了《国家 主要饮用水管理规定》⑴.在该管理规定中所包含的各种标 准,是根据污染物最大浓度水平（MCL）或特定的处理技术 确立的.MCL值的确定，应该尽量与*MCLG*相一致.为了保 证饮用水的供给遵循*MCLs,*《国家主要饮用水管理规定》包 括监测、分析和质量保证等条例.每一污染物*MCL*值的确 立，必须建立在去除污染的各种技术性能、实验室现有的分 析方法对污染物能够准确而快速地实施测定的能力，以及利 用这些技术的耗费进行全面评估的基础之上.对于非致癌污 染物的*MCLs,*通常是根据*MCLGs*确立的；而对于具有致癌 效应污染物的*MCLs,*由于受到分析检出水平的限制，在数 值上则往往大于其相应的*MCLGs.总之,MCLs*的确立，应 该充分体现对人体健康的保护.美国环保局制定的饮用水标 准,则采用*MCLs*和*MCLGs*对地下水中无机污染物和有机 污染物进行了规定，其目的是为了防止污染土壤修复后不构 成对地下水的污染.

世界卫生组织（WHO）制定的《饮用水水质标准》，则极 为详尽、具体，其内容包括饮用水中的细菌质量、饮用水中对 健康有影响的化学物质、饮用水中常见的对健康影响不大的 化学物质的浓度、饮用水中放射性组分和饮用水中含有的能 引起用户不满的物质及其参数，对这些项目均作了有关规 定和严格限制.欧共体理事会制定的生活饮用水水质的条例 （98/83/EEC）则由微生物学参数、化学物质参数、指示参数 和放射性参数等4个部分组成.这些法定的限制值，对于我 国污染土壤及其地下水修复是否达到了法规可调控的清洁 水平，特别是对防止污染土壤修复后再构成对地下水的污 染，具有指导意义2 4】.

**5**小 结

污染土壤修复标准的制定，不是一个简单的概念和行 动，而是在污染物的生态毒理学临界水平的系统研究基础 上，综合考虑污染土壤修复技术发展水平、仪器检出水平和 当地土壤的背景含量水平等各种因素，还必须结合现有的各 种环境保护法规水平，这具体体现一个国家的经济实力、政 府对土壤环境保护工作的力度和全体公民对土壤环境保护 的认识水平与自觉程度.

参考文献

1. Agency for Toxic Substances and Disease. 1993. Developing Cleanup Standards for Contaminated Soil, Sediment and Groundwater： How Clean is Clean ? Water Environment Federation.
2. Bullard RD. 2000. Dumping in Dixie： Race, Class, and Environmen­tal Quality. 3rd edition. New York： West view Press. 234
3. Environmental Monitoring Station of China （中国环境监测总站）. 1990. Background Values of Elements in Soils of China. Beijing： China Environmental Science Press, （in Chinese）
4. Gary M, Pierzynski GM, Vance GF, *et* a/. 2003. Soils and Environ­mental Quality. 2nd Edition. London： CRC Press. 480
5. Guo G L （郭观林）,Zhou Q-X （周启星）.2003. Advances of re­search on combined pollution in soil-plant systems. *Chin J Appl Ecol* （应用生态学报），14（5）：823 〜828 （in Chinese）
6. Hickey RF, Smith G. 1996. Biotechnology in Industrial Waste Treatment and Bioremediation. London： CRC Press.
7. McConnell RL, Abel DC. 2002. Environmental Issues： Measuring, Analyzing, Evaluating. 2nd Edition. New York： Prentice Hall.
8. Moriarty F. 1999. Ecotoxicology： The Study of Pollutants in E- cosystems. London： Academic Press.
9. National Environmental Protection Agency of China （国家环境保 护总局）.2003. Environmental Standards of People5 s Republic of China. In： http： //www. zhb. gov. cn/650208295713243136/in- dex. shtml 或 http： //www. xyg-hb. com/ biaozhun/
10. Sun T-H （孙铁Mi）, Zhou Q-X （周启星），Li P-J （李培军）.2001. Pollution Ecology. Beijing： Science Press, （in Chinese）
11. U. S. Environmental Protection Agency. 2003. http: //www. amazon, com/exec/ obidos/ tg/ detail/-/ B00006KD81 / qid = 1059618859/ sr = 84/ref= sr £ 4/104-4296885-5295110 ? v= glance & s = magazines

& n= 507846

1. Wang X（王 新）,Zhou Q-X（周启星）.2002. Soil mercury pollu­tion and remediation technique. *Chin J Ecol* （生态学杂志），**21** （3 ）： 43 ~46（in Chinese ）
2. Wang Y（王 云）,Wei F-S （魏复盛）.1995. Elemental Chemistry in Soil Environmental. Beijing： China Environmental Science Press, （in Chinese ）
3. Wu Y-Y（吴燕玉），Zhou Q-X （周启 星）.1991. Discussion on en­actment of soil-environment al quality guidelines for Hg, Cd, Pb and As. *Chin J Appl Ecol* （应用生态学报），**2** （4 ）： 344 〜349 （in Chi­nese）
4. Zhou Q. 1996. Soil-quality guidelines related to combined pollution of chromium and phenol in agricultural environments. *Hum Ecol Risk Assess,* **2** （3）： 591 ~607
5. Zhou Q-X （周 启 星）.1997. Environmental background values of mercury in soils of the Danzhai mercury-mining *area. J Zhejiang U- niv* （Natural Science）（浙江大学学报）（自然科学版），**31：** 223 ~ 227 （in Chinese）
6. Zhou Q-X （周启星）.2002. Technological reforger and prospect of contaminated soil remediation. *Techn Equip Environ Poll Control* （环境污染治理技术与设备**）,3**（8）：36~40（in Chinese）

作者简介 周启星，男，1963年生，博士，研究员，博士生导 师，主要从事污染生态过程学、分子生态毒理化学和污染控 制生态学系统领域的研究，发表论文200多篇.E-mail： Zhouqx @ae.ac.cn.