

# 基于健康风险评价的再生水生物学标准制定方法

赵欣 胡洪营 谢兴 吴乾元 黄晶晶

(清华大学环境科学与工程系 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

**摘要** 污水再生利用是解决水资源短缺问题的重要措施, 制定科学合理的再生水生物学标准是保证其生物安全性的基本措施, 但目前我国已有的再生水利用水质标准生物学指标体系不够健全, 水质标准的科学依据也不十分明确, 有待进一步完善。基于再生水回用的微生物健康风险定量评价方法, 根据微生物的剂量-反应关系、暴露剂量计算方法和浓度分布等模型, 确定了再生水生物学标准制定方法。以再生水回用于城市绿地灌溉为例, 给出了再生水中典型病原微生物隐孢子虫和贾第鞭毛虫浓度限值的确定方法。

**关键词** 污水再生利用 生物学标准 水质标准 风险评价 隐孢子虫 贾第鞭毛虫

## Method of establishing biological standards for reclaimed water based on health risk assessment

Zhao Xin, Hu Hongying, Xie Xing, Wu Qianyuan, Huang Jingjing

(State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Wastewater reuse is a significant way to resolve the problem of water shortage. Establishing scientific biological standards for reclaimed water is the basic measure to ensure its biological safety. But current biological index system for reclaimed water in China is not yet integrated. The scientific basis of water quality standards is not very clear and needs more complements. Based on Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) method, this study set up a method for establishing biological standards for reclaimed water according to dose response relationship, calculation method of exposure dose and distribution model of microorganism concentration. Taking urban green land irrigation as cast study, this paper determined the concentration limits of *Cryptosporidium* and *Giardia* in reclaimed water.

**Keywords:** Wastewater reuse; Biological standard; Water quality standard; Risk assessment; *Cryptosporidium*; *Giardia*

### 0 前言

我国是一个水资源贫乏的国家, 城市缺水问题日益突出, 全国 660 多个城市中, 近 2/3 的城市常年供水不足, 更有 110 多个城市严重缺水。城市污水再生利用是缓解水资源危机的有效途径。然而, 城市污

水中存在较高浓度的病原微生物, 其种类多达 100 种以上<sup>[1]</sup>。污水经过再生处理, 各种病原微生物的含量均会有所下降, 但是在再生水中都仍有检出<sup>[2-8]</sup>。在再生水利用过程中, 水中的病原微生物会进入空气、地表水、地下水和土壤等环境介质, 进而可能与人体接触, 产生微生物健康风险。有研究者认为, 污水再生利用对人体的健康风险, 主要还是来自

国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA062502); 国家杰出青年科学基金(No. 50825801)。

表 1 国外再生水用于非限制性灌溉的水质标准

制定机构或地区	生物学指标要求	其他说明
美国环保局	粪大肠菌数 140 MPN/L	所有样品均要达标, 并且二级处理后应进行混凝、沉淀、过滤和消毒处理
加拿大	总大肠菌数 ≤ 10 000 MPN/L (几何平均数) 粪大肠菌数 ≤ 2 000 MPN/L 总大肠菌数 ≤ 24 000 MPN/L (灌溉蔬菜时)	要求大于 20% 的样品达标; 灌溉蔬菜时在任何一天均要达标
塞浦路斯	粪大肠菌数 ≤ 500 MPN/L 肠道线虫 ≤ 1 个/L	粪大肠菌数要求每月 80% 的样品要达标, 最大允许值 1 000 MPN/L; 三级处理后需消毒处理
以色列	总大肠菌数 ≤ 22 MPN/L (50% 的样品) 总大肠菌数 ≤ 120 MPN/L (80% 的样品)	二级处理或相当于二级处理(例如: 长期储存过程) 后需消毒处理
约旦	粪大肠菌数 ≤ 2 000 MPN/L	
科威特	总大肠菌数 ≤ 100 000 MPN/L	经过深度处理之后 BOD <sub>5</sub> 和 TSS 均低于 10 mg/L
澳大利亚	耐高温大肠菌数 ≤ 100 MPN/L (中间值)	最低处理要求二级处理和过滤, 出水浊度不超过 2 NTU
沙特阿拉伯	总大肠菌数 ≤ 22 MPN/L	BOD <sub>5</sub> 和 TSS 均低于 10 mg/L
世界卫生组织 (WHO)	粪大肠菌数 ≤ 2 000 MPN/L (灌溉用水) 肠道线虫 ≤ 1 个/L	要有一级、二级处理过程, 适当增加过滤和消毒过程

于其中的病原微生物<sup>[9]</sup>, 因此制定科学合理的再生水水质生物学标准是保证再生水回用安全的必要措施。

### 1 现有标准及存在的问题

水质标准是评价水质安全与否的重要依据。我国在 2002~ 2007 年期间颁布了再生水用于市政杂用、景观环境、地下水回灌、工业用水和农业灌溉等一系列水质标准<sup>[10-14]</sup>。我国现行的再生水利用水质标准与目前世界上大多数再生水水质标准一样, 只是对常规指标和生物学指示指标如总大肠菌群数、粪大肠菌群数等作了规定, 还没有制定健康风险较大的致病菌、病毒、病原虫等生物学指标<sup>[15, 16]</sup>。表 1~ 表 3 中列举了国内外相关标准中与微生物有关的规定<sup>[16, 17]</sup>。可以看出, 目前污水再生利用的水质标准中, 生物学指标体系还不够健全, 大肠菌群和粪大肠菌的浓度水平以及在污水再生处理过程中的去除特性并不一定能很好地代表各种病原微生物<sup>[6, 18, 19]</sup>。此外, 各国的浓度限值之间也存在着较大的差异。从控制风险的角度看, 再生水中的微生物浓度应越低越好, 但同样必须考虑经济问题。而我国的再生水水质标准是在结合国外标准以及国内其他水质标准的基础上提出来的, 水质指标的科学依据并不明确, 已有指标可能存在浓度限值要求过严或过松的情况。因此, 如何根据我国的国情, 基于健康风险评价, 科学合理地制定适合于我国污水再生利用水质标准具有重要的意义。

表 2 美国再生水用于景观用水的水质标准

地区	病原微生物指标	
	总大肠菌群数/CFU/L	粪大肠菌群数/CFU/L
亚利桑那州	—	230(限制)
加州	230(限制)	—
夏威夷州	—	230(限制)
内华达州	—	230(不限制)、2 000(限制)
德克萨斯州	—	750(不限制)、8 000(限制)
华盛顿州	230(限制)	230(不限制)

注: “—”表示无相关数据; “限制”表示限制人体接触; “不限制”表示不限制人体接触。

表 3 我国目前颁布的再生水利用相关水质标准

标准名称	标准编号	病原微生物指标	
		总大肠菌群 / CFU/L	粪大肠菌群 / CFU/L
杂用水水质	GB/T 18920—2002	3	—
景观娱乐用水水质	GB/T 18921—2002	—	10 000 (观赏性河道、湖泊)、2 000 (观赏性水景)、500 (娱乐性河道、湖泊)、不得检出 (娱乐性水景)
农田灌溉用水水质	GB/T 20922—2007	—	40 000 (纤维旱地作物、水田谷物)、2 500 (加工、烹饪及去皮蔬菜)、120 (生食类蔬菜、瓜类及草本水果)
地下水回灌水质	GB/T 19772—2005	—	1 000 (地表回灌)、3 (井灌)
工业用水水质	GB/T 19923—2005	—	2 000

注: “—”表示无相关数据。

近年来,基于风险评价来制定再生水水质标准的方法日益得到重视<sup>[20,21]</sup>。早在1991年美国、以色列联合召开的污水回用会议上就提出了采用定量风险评价方法制定再生水水质标准的概念,在美国环保局(USEPA)再生利用指南和1993~1999年Florida州回用水标准制定的过程中,专家普遍认为风险评价方法是一种很有前途的制定水质标准的方法<sup>[22]</sup>。

本文基于再生水回用的微生物健康风险定量评价,建立了再生水生物学指标的制定方法,为完善我国再生水利用水质标准提供参考。

## 2 再生水的微生物健康风险定量评价方法

目前常用的微生物健康风险定量评价方法,是在1983年美国科学院(NAS)提出的针对有毒有害化学物质的健康风险评价方法的基础上发展起来的,包括四个主要步骤:风险识别,暴露评价,剂量-反应关系和风险表征<sup>[23]</sup>。该方法亦可应用于再生水微生物健康风险的定量评价,具体方法如下:

### 2.1 风险识别

风险识别是健康风险评价的第一步,目的是确定影响人体健康的风险因子、评价对象及其对风险因子的暴露途径。典型的暴露途径包括经口摄入、呼吸吸入和皮肤接触渗入等。对于再生水,通过对水质测定,确定风险评价的目标病原微生物。在再生水利用过程中,不同的回用用途、敏感暴露人群及其暴露方式都会存在较大的差异。通过现场调查,根据风险最大的情况确定评价对象和暴露方式。在我国再生水的城市杂用过程中,呼吸吸入是人体对再生水中病原微生物暴露的重要途径<sup>[24]</sup>。

### 2.2 暴露评价

暴露评价是指结合具体事件和具体暴露人群的情况,调查研究暴露过程、暴露人群的特征,确定暴露环境介质中的有害因子的强度、暴露时间和频率,估算或预测对有害因子的暴露剂量。在再生水利用的健康风险评价中,病原微生物暴露剂量的确定是重点和难点。病原微生物的暴露剂量可以根据再生水中病原微生物的浓度和再生水的暴露量来确定,因此再生水暴露量的确定非常关键。根据确定的目标病原微生物、评价对象和暴露方式,选择合适的病原微生物暴露剂量计算方法,如由雾化导致的病原

微生物暴露剂量计算方法<sup>[25]</sup>,在现场调查和文献调研的基础上确定相关参数,对评价对象的病原微生物暴露剂量进行计算。

### 2.3 剂量-反应关系

剂量-反应关系是对风险因子暴露剂量与其导致暴露人群发生不良效应概率之间的关系进行定量计算。一般是通过大量的实际致病案例的病原微生物检验数据,或者在实际的人体或动物试验的基础上,建立暴露剂量与致病概率之间的定量关系。根据目标病原微生物,选择适用的剂量-反应关系模型和相关参数,结合确定的暴露剂量,计算目标病原微生物对评价对象的致病概率。常用的剂量-反应关系模型有以下两种<sup>[26]</sup>:

#### (1) 指数模型:

$$P_i = 1 - e^{-\frac{N}{\beta}} \quad (1)$$

式中  $P_i$  —— 单次暴露致病风险(无量纲);

$N$  —— 病原微生物单次暴露剂量, mass;

$\beta$  —— 剂量-反应关系因子,  $\text{mass}^{-1}$ 。

#### (2) Beta poisson 模型:

$$P_i = 1 - \left[ 1 + \frac{N}{N_{50}} \left( 2^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right) \right]^{-\alpha} \quad (2)$$

式中  $N_{50}$  —— 暴露人群 50% 被感染剂量, mass;

$\alpha$  —— 剂量-反应关系因子(无量纲)。

已报道的病原微生物适用模型及其剂量-反应关系因子如表4所示<sup>[26]</sup>。

表4 病原微生物的剂量-反应关系因子

微生物名称	指数模型	Beta poisson 模型	
	$\beta/\text{mass}^{-1}$	$N_{50}/\text{mass}$	$\alpha$
脊髓灰质炎病毒	109.87		
轮状病毒		6.17	0.253 1
甲肝病毒	1.822 9		
腺病毒	2.397		
艾可病毒	78.3		
柯萨奇病毒	69.1		
沙门氏菌		23 600	0.312 6
沙门伤寒氏菌		$3.6 \times 10^6$	0.108 6
志贺氏菌		1 120	0.21
埃希氏大肠杆菌		$8.6 \times 10^7$	0.177 8
空肠弧菌		896	0.145
霍乱弧菌		243	0.25
内阿米巴属大肠杆菌		341	0.100 8
隐孢子虫	238		
贾第鞭毛虫	50.23		

## 2.4 风险表征

风险表征是在综合前三项内容的基础上, 计算暴露人群在不同接触条件下可能产生的某种健康危害效应的发生概率, 并对其可靠程度或不确定性加以分析。根据实际情况确定可以接受的年风险值, 或者参考 USEPA 提出的  $10^{-4}$  的年风险作为可以接受的年风险值。年风险值根据单次致病风险和暴露次数计算, 如式(3)所示。

$$P_a = 1 - (1 - P_i)^n \quad (3)$$

式中  $P_a$  ——年致病风险(无量纲);

$P_i$  ——单次致病风险(无量纲);

$n$  ——年暴露次数(无量纲)。

通过以上方法, 确定模型中的每个参数值就能得到年致病风险值。但是, 它只能反映在某一特定情况下的年致病风险。一般情况下, 在一年当中, 模型中有几个参数都是在一个范围内波动的, 如环境参数、再生水中微生物浓度等, 因此年致病风险值应该也在一个范围内变化。所以, 可以采用蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟的方法, 根据各参数特点以及分布情况, 对相互独立的几个参数利用计算机随机选取, 计算年致病风险值。当计算次数足够多时, 可以得到年致病风险值的分布情况、平均值和取值范围。将计算所得的年风险值与可接受年风险值进行比较, 对其能满足可接受年风险值的概率即安全性进行评价。

## 3 再生水生物学标准的确定方法

### 3.1 研究方法

基于健康风险评价的再生水水质标准的制定就是要从可接受的健康风险水平出发, 按照健康风险定量评价方法推算再生水中可接受的污染物浓度限值。再生水生物学指标的制定基本步骤如图 1 所示。

#### 3.1.1 单次暴露致病概率的计算

根据可接受的年风险值以及年暴露次数推算可接受的单次致病风险, 由式(3)可得:

$$P_i = 1 - (1 - P_a)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

#### 3.1.2 病原微生物单次暴露剂量的计算

相对应于不同的剂量-反应关系模型, 分别计算出不同风险值的病原微生物单次暴露剂量  $N$ 。对

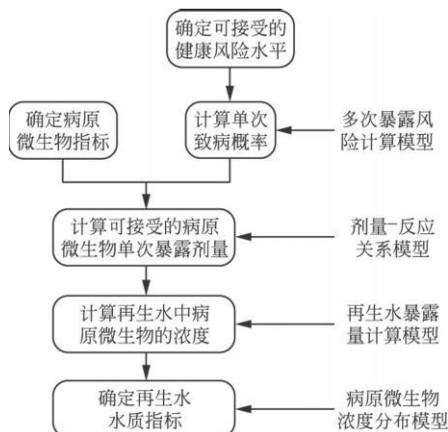


图 1 基于健康风险评价的再生水生物学标准确定步骤

于指数模型和 Beta poisson 模型, 由式(1)、式(2)分别可得:

$$N = -\beta \ln(1 - P_i) \quad (5)$$

$$N = \left[ (1 - P_i)^{-\frac{1}{\alpha}} - 1 \right] N_{50} \left( 2^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right)^{-1} \quad (6)$$

#### 3.1.3 再生水中可接受的病原微生物浓度的计算

根据适合的病原微生物暴露剂量或再生水暴露量计算方法, 可以确定再生水中可接受的病原微生物浓度  $C_{water}$ 。

#### 3.1.4 再生水生物学标准的确定

在实际情况中, 再生水中的病原微生物浓度是随时间不断波动变化的, 研究发现对数正态分布能较好地描述再生水中病原微生物的浓度变化分布情况<sup>[22]</sup>。于是再生水中病原微生物浓度小于某值的概率可以表示为:

$$P(c \leq C_{water}) = \Phi \left( \frac{\lg C_{water} - \mu}{\sigma} \right) \quad (7)$$

式中  $\Phi$  ——标准正态函数;

$\mu$  ——病原微生物浓度所服从的对数正态分布的期望值;

$\sigma^2$  ——该对数正态分布的方差;

$P$  ——病原微生物浓度不大于  $C_{water}$  的概率。

通过前三步计算, 已知由某一年风险值反推得到的再生水中病原微生物浓度限值为  $C_{water}$ , 若使病原微生物产生的健康风险低于该年风险值的概率到达  $P$ , 则根据式(7)可得:

$$\mu = \lg C_{water} - \sigma \Phi^{-1}(P) \quad (8)$$

$$c_0 = 10^{\mu} \quad (9)$$

式中  $c_0$  ——与病原微生物浓度对数正态分布期望值对应的浓度值, 即控制病原微生物产生的健康风险低于某一年风险值的概率到达  $P$  时所需的指标限值。

再生水回用的用途不同, 健康风险评价工作中所使用的暴露人群的暴露时间、再生水的使用强度和环 境气象等相关参数值也会存在较大的差异。因此, 再生水水质标准要根据不同的回用用途分别制定。在某一特定再生水回用用途下, 不同的暴露人群, 如职业人群和非职业人群, 其年龄结构、行为方式和对污染物的敏感性等均有所不同。在制定再生水水质标准时, 需要根据最敏感原则, 选择其中最严格的浓度限值作为指标建议值。

### 3.2 用于绿地灌溉的再生水生物学标准的确定

以再生水用作城市公园绿地灌溉用水为例, 以隐孢子虫和贾第鞭毛虫作为指标, 分别基于再生水对公园内的工作人员和经常到公园的游人所产生的健康风险来制定再生水中隐孢子虫和贾第鞭毛虫的指标限值。

假设风险评价中使用的各参数相互独立, 暴露剂量根据文献方法计算<sup>[25]</sup>。背景空气中病原微生物浓度按 0 计算, 隐孢子虫和贾第鞭毛虫在空气中的衰减系数  $R$  按 1 计算。隐孢子虫和贾第鞭毛虫的剂量-反应关系一般采用指数模型表征, 剂量-反应关系因子分别为 238(1/个)和 50.23(1/个)。风险评价中涉及的环境气象和评价对象的相关参数分别如表 5 和表 6 所示。

表 5 环境气象相关参数

参数	取值	分布情况
温度 $T/^\circ\text{C}$	25±5	正态
空气饱和水气量 $w/\text{mL}/\text{m}^3$	24±6	正态
背景相对湿度 $\varphi_0/\%$	25	定值
相对湿度 $\varphi/\%$	50	定值

表 6 评价对象相关参数

参数	评价对象	
	工作人员	游人
呼吸速率 $v/\text{m}^3/\text{h}$	0.5	1.0
单次暴露时间 $t/\text{h}$	2.5	0.5
年暴露频次 $n$	250	100

基于以上的情景设置和参数设定, 可以得到再生水中隐孢子虫和贾第鞭毛虫在不同可接受年风险值的情况下的指标限值, 如图 2 所示(要求隐孢子虫

和贾第鞭毛虫产生的健康风险低于可接受年风险值的概率达到 95%)。

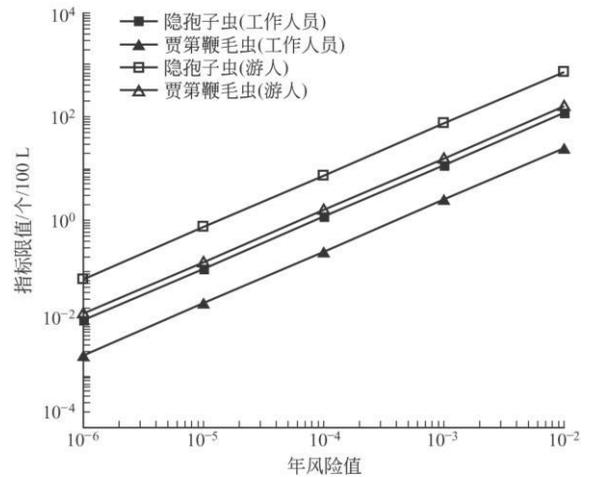


图 2 再生水用于绿地灌溉时再生水中生物学指标限值与年风险值的关系

由图 2 可以看出, 随着可接受的年风险值的增大, 再生水中病原微生物的指标限值也增大。如果参考 USEPA 提出的  $10^{-4}$  的年风险作为可以接受的年风险值, 再生水用于公园绿地灌溉时分别基于公园工作人员和游人的隐孢子虫和贾第鞭毛虫指标限值列于表 7。

表 7 年风险值小于  $10^{-4}$  的概率为 95% 时的隐孢子虫和贾第鞭毛虫指标限值

指标	工作人员		游人	
	隐孢子虫	贾第鞭毛虫	隐孢子虫	贾第鞭毛虫
再生水中浓度限值/个/100 L	1.2	0.3	7.4	1.6

由图 2 和表 7 可以看出, 在同一可接受健康风险水平下, 相对于游人来说, 针对于公园工作人员的再生水中隐孢子虫和贾第鞭毛虫浓度的控制要求更严格, 二者的指标参考值分别为 1.2 个/100 L 和 0.3 个/100 L, 说明再生水利用过程中健康风险的敏感人群是职业人群。参考我国某市污水处理厂二级出水中隐孢子虫和贾第鞭毛虫的浓度分别为 1~46 个/L 和 6~153 个/L<sup>[2]</sup>, 如果该二级出水用于城市绿化灌溉, 在本文设定的情景和参数条件下, 由隐孢子虫和贾第鞭毛虫产生的健康风险将分别达到  $1.6 \times 10^{-3} \sim 7.3 \times 10^{-2}$  和  $4.5 \times 10^{-2} \sim 7.0 \times 10^{-1}$ , 大大超

过  $10^{-4}$  的年风险值, 存在较大的生物安全性隐患。

#### 4 结语

再生水回用过程中对人体健康的风险在我国还没有得到系统的研究, 尚处于起步阶段, 国外的研究也还未达到成熟阶段。在再生水回用的健康风险评估工作中, 风险因子的暴露剂量确定方法是目前研究的难点, 而风险识别、剂量-反应关系的确定同样非常重要。今后, 涉及人体健康的环境标准的制定都应建立在风险评估的基础上, 因此有必要对基于风险评估的再生水水质标准制定方法进行研究和探讨。此外, 本文所建立的再生水生物学指标限值的制定方法和思路同样也可类似地推广到化学污染物指标限值的制定。

#### 参考文献

- 1 Ottoson J, Hansen A, Westrell T, et al. Removal of Norovirus and Enteroviruses, Giardia cysts, Cryptosporidium oocysts, and fecal indicators at four secondary wastewater treatment plants in Sweden. *Water Environment Research*, 2006, 78(8): 828~ 834
- 2 宗祖胜, 胡洪营, 卢益新, 等. 某市贾第鞭毛虫和隐孢子虫污染现状. *中国给水排水*, 2005, 21(5): 44~ 46
- 3 张彤. 污水再生处理过程中病原性原虫的去除特性研究: [学位论文]. 北京: 清华大学, 2006
- 4 李梅, 胡洪营, 张薛, 等. 城市污水处理工艺对噬菌体的去除效果. *环境科学*, 2006, 27(1): 80~ 84
- 5 Pundsack J, Axler R, Hicks R, et al. Seasonal pathogen removal by alternative on site wastewater treatment systems. *Water Environment Research*, 2001, 73(2): 204~ 212
- 6 Harwood V J, Levine A D, Scott T M, et al. Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. *Appl Environ Microbiol*, 2005, 71(6): 3163~ 3170
- 7 Rose J B, Dickson L J, Farrar S R, et al. Removal of pathogenic and indicator microorganisms by a fullscale water reclamation facility. *Water Research*, 1996, 30(11): 2785~ 2797
- 8 Ou W S, Lin Y F, Jing S R, et al. Performance of a constructed wetland pond system for treatment and reuse of wastewater from campus buildings. *Water Environment Research*, 2006, 78(12): 2369~ 2376
- 9 Toze S. Water reuse and health risks real vs. perceived. *Desalination*, 2006, 187: 41~ 51
- 10 GB/T 18920—2002 城市污水再生利用 城市杂用水水质
- 11 GB/T 18921—2002 城市污水再生利用 景观环境用水水质
- 12 GB/T 20922—2007 城市污水再生利用 农田灌溉用水水质
- 13 GB/T 19772—2005 城市污水再生利用 地下水回灌水质

- 14 GB/T 19923—2005 城市污水再生利用 工业用水水质
- 15 Bonomo L, Nurizzo C, Rolle E. Advanced wastewater treatment and reuse: Related problems and perspectives in Italy. *Water Sci Technol*, 1999, 40(4~ 5): 21~ 28
- 16 何星海, 马世豪. 再生水的卫生安全问题探讨. *给水排水*, 2004, 30(3): 1~ 5
- 17 美国环保局编. 污水再生利用指南. 胡洪营, 魏东斌, 王丽莎, 等译. 北京: 化学工业出版社, 2008
- 18 Jin G, Englande A J, Bradford H, et al. Comparison of E. coli, enterococci, and fecal coliform as indicators for brackish water quality assessment. *Water Environment Research*, 2004, 76(3): 245~ 255
- 19 Elmund G K, Allen M J, Rice E W, et al. Comparison of *Escherichia coli*, total coliform, and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environment Research*, 1999, 71(3): 332~ 339
- 20 Shuval H, Lampert Y, Fattal B. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. *Water Science Technol*, 1997, 35(11-12): 15~ 20
- 21 David W Y, Lauren W C. Pathogen standards for reclaimed water. *Water Environment Research*, 2000, 12(1): 58~ 61
- 22 仇付国. 城市污水再生利用健康风险评估理论与方法研究: [学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2004
- 23 Metcalf & Eddy. *Water reuse Issues, technologies, and applications*. New York, McGraw-Hill Publisher, 2007
- 24 谢兴. 再生水城市杂用的微生物健康风险研究: [学位论文]. 北京: 清华大学, 2008
- 25 谢兴, 胡洪营, 郭美婷, 等. 再生水雾化导致的病原微生物暴露剂量计算方法研究. *环境科学*, 2009, 30(1): 65~ 69
- 26 WHO. *Water quality guidelines, standards and health: Assessment of risk and risk management for water related infectious disease*, 2001

& E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2009-10-12

### 西宁开展湟水河流域(西宁段)水污染综合整治工作

湟水河流域西宁段两侧大量生活污水和生产废水未经处理直接排入水体, 是造成湟水河污染的主要原因。2009年, 在湟水河西宁段两岸排查出各类排污口614个, 其中市区内非雨水排污口409个。

湟水河流域(西宁段)水污染综合整治将重点整治西宁市区307个生活、生产及混合排放口, 使湟水河出境断面水环境质量消除劣V类水质, 通过产业结构调整、加强城市排水管网基础设施建设、提高污水处理和综合利用率、深入开展河道及农村面源整治等工作, 使湟水河出境水环境质量达到IV类水体标准。排污口整治工程将于2011年6月30日前完成。