

# 环渤海湾诸河口潜在生态风险评价

刘成<sup>1</sup>, 王兆印<sup>1,2</sup>, 何耘<sup>3</sup>, 吴永胜<sup>2</sup>

(1. 国际泥沙研究培训中心, 北京 100044; 2. 清华大学水利系, 北京 100084; 3. 中国水力水电科学研究所, 北京 100044)

**摘要:** 简要介绍了 Hakanson 的生态风险指数法, 并用该法对环渤海湾诸河口采集的 19 处底泥样品分析了汞、砷、铜、锌和铅对水域的污染程度及其对水域造成的潜在生态风险影响。结果表明, 除海河口污染程度和潜在生态风险略高外, 环渤海湾其他河口重金属及砷污染程度及其对水域造成的潜在生态风险较低。从环渤海湾诸河口总的污染程度看, 各污染物对生态风险影响程度从大到小的顺序为:  $Hg > As > Cu > Pb > Zn$ 。

**关键词:** 河口; 底泥; 污染物; 生态风险; 渤海湾

中图分类号: X820.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-6929(2002)05-0033-05

## Evaluation on the Potential Ecological Risk for the River Mouths around Bohai Bay

LIU Cheng<sup>1</sup>, WANG Zhao-yin<sup>1,2</sup>, HE Yun<sup>3</sup>, WU Yong-sheng<sup>2</sup>

(1. International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing 100044, China;

2. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. China Institute of Water Resources and Hydro-Power Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The Hakanson's Ecological Risk Index Method is briefly introduced and applied to assess the potential ecological risk of the river mouths around Bohai Bay. The concentrations of mercury, copper, zinc, lead and arsenic in 19 sediment samples collected from river mouths are analyzed. It is concluded that the degree of contamination and the potential ecological risk of the river mouths are low except that those of Haihe River mouth are moderate. The pollutants in the order of impacting extent of ecological risk are:  $Hg > As > Cu > Pb > Zn$ .

**Key words:** river mouth; sediment; pollutant; ecological risk; Bohai Bay

近些年来, 环渤海湾地区的水污染现象日趋严重, 生态环境急剧恶化, 渤海赤潮频频发生, 鱼类资源渐趋枯竭。为了了解和分析环渤海湾诸河口污染状况及其生态风险, 对环渤海湾诸河口的现场所取的水样、底泥样品进行了分析。通过对环渤海湾底泥中污染物含量的分析, 利用瑞典学者 Hakanson 提出的生态风险指数法 (Ecological Risk Index) 对该水域的生态风险进行研究。利用底泥样品中污染物含量分析生态风险与利用水样分析相比具有如下优点: ①底泥中的污染物含量代表着一定时间段的平均值, 较为稳定; 而水样中的污染物含量主要代表取样时的污染程度, 随取样时间不同而变。④现场采集底泥较为简单, 一般取表层底泥即可得出当前的

污染程度数据; 而取水样一般要取上、中和下层的水样才具有代表性。④一般而言, 分析泥样比分析水样中的污染物含量更简单、更可靠, 因为泥样中的污染物含量一般较高。

对底泥中重金属 (和砷) 污染的研究, 国内外均开展了大量工作, 研究的内容逐步深入, 尤其近年来, 德国、英国、美国和瑞典等国的研究者均从沉积学角度提出了重金属污染的评价方法<sup>[1]</sup>。在这些方法中, Hakanson 提出的生态风险指数法不仅反映了某一特定环境中的各种污染物的影响, 而且反映了多种污染物的综合影响, 并且用定量的方法划分出潜在生态风险程度<sup>[2]</sup>。从目前来看, 在研究底泥中污染物对环境的影响评价中, 生态风险指数法是众多污染指数中应用最广泛的一种, 在国际上影响较大。

### 1 生态风险指数法简介

生态风险指数法是划分底泥污染物污染程度及其水域潜在生态风险的一种相对快速、简便和标准

收稿日期: 2002-02-22

基金项目: 国家自然科学基金和香港研究资助局联合资助

(59890200); 国家自然科学基金资助项目 (50109006)

作者简介: 刘成 (1964-), 男, 安徽涡阳人, 副教授, 博士后。

的方法,通过测定底泥样品中有限数量的污染物含量进行计算。生态风险指数以4项条件为基础:<sup>1</sup>含量条件:生态风险指数(RI)随底泥污染程度的加重而增加。底泥污染程度可通过表层底泥中污染物含量的实测数据与其工业化前自然背景值进行比较。④数量条件:受多种污染物污染的底泥的RI值高于受少数几种污染物污染的RI值。实际工作中,对底泥样品一般仅测定一定数量的污染物,必须选择合理的污染物用于计算“总含量”,这些污染物(如PCB, Hg, Cd, As, Cu, Pb, Cr和Zn)含量的总和代表“标准污染程度”。(四)毒性条件:毒性高的污染物应比毒性低的污染物对RI值有较大的贡献。由于污染物的毒性与稀有性之间存在一种比例关系,而且对固体物质的亲和度不同,因此可根据“丰度原则”及其沉积作用来区分各种污染物。通过规范化处理以后,可得出Zn, Cr, Cu, Pb, As, Cd, Hg, PCB的“沉积学毒性参数”分别为:1, 2, 5, 5, 10, 30, 40, 40。 $\frac{1}{4}$ 敏感条件:表明不同的水域对不同的有毒污染物具有不同的敏感性。

### 1.1 底泥污染程度的计算

单个污染物污染参数的计算公式为:

$$C_r^i = C^i / C_n^i \quad (1)$$

式中,  $C_r^i$  为某一污染物的污染参数;  $C^i$  为底泥中污染物的实测浓度;  $C_n^i$  为全球工业化前沉积物中污染物含量, Hakanson 根据大量数据分析, 提出 PCB, Hg, Cd, As, Cu, Pb, Cr 和 Zn 含量分别取 0.01, 0.25, 1.0, 15, 50, 70, 90 和 175 mg/kg。

单个污染物污染参数  $C_r^i$  能够说明单个污染物的污染情况。如果  $C_r^i \geq C_n^i$ , 可以定义为底泥受到污染或富集; 如果  $C_r^i < C_n^i$ , 认为底泥未受到污染。因此在风险指数分析方法中, 可用  $C_r^i$  值确定底泥中受到单个污染物污染情况:  $C_r^i < 1$ , 低污染参数;  $1 \leq C_r^i < 3$ , 中污染参数;  $3 \leq C_r^i < 6$ , 较高污染参数;  $C_r^i \geq 6$ , 很高污染参数。

底泥污染物污染程度  $C_d$  是多种污染物的污染参数之和, 以前述选择 8 种污染物考虑, 其计算公式为:

$$C_d = \sum_{i=1}^8 C_r^i \quad (2)$$

下述  $C_d$  值范围分别描述底泥总污染情况:  $C_d < 8$ , 低污染;  $8 \leq C_d < 16$ , 中污染;  $16 \leq C_d < 32$ , 较高污染;  $C_d \geq 32$ , 很高污染。

### 1.2 水域潜在生态风险的计算

为了定量表达水域中单个污染物的潜在生态风险, 可以定义潜在风险参数为:

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_r^i \quad (3)$$

式中,  $E_r^i$  为潜在生态风险参数;  $T_r^i$  为单个污染物的毒性响应参数。PCB, Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr 和 Zn 的毒性响应参数分别为 40, 40, 30, 10, 5, 5, 2 和 1。

不同的  $E_r^i$  值范围相应的潜在生态风险如下:  $E_r^i < 40$ , 低潜在生态风险;  $40 \leq E_r^i < 80$ , 中潜在生态风险;  $80 \leq E_r^i < 160$ , 较高潜在生态风险;  $160 \leq E_r^i < 320$ , 高潜在生态风险;  $E_r^i \geq 320$ , 很高潜在生态风险。

定义总的风险参数之和为潜在生态风险指数 RI:

$$RI = \sum_{i=1}^8 E_r^i = \sum_{i=1}^8 T_r^i \cdot C_r^i \quad (4)$$

不同的 RI 值范围相应的潜在生态风险如下:  $RI < 150$ , 水域具有低潜在生态风险;  $150 \leq RI < 300$ , 水域具有中潜在生态风险;  $300 \leq RI < 600$ , 水域具有较高潜在生态风险;  $RI \geq 600$ , 水域具有很高潜在生态风险。

综上所述, 已知底泥中 PCB, Hg, Cd, As, Cu, Pb, Cr 和 Zn 含量时, 可以通过计算  $C_r^i$  和  $E_r^i$  的值分析水域中单个污染物的污染参数和生态风险参数; 通过  $C_d$  和 RI 的值分析水域中总污染物造成的污染程度和潜在生态风险程度。在同一风险指数 (RI) 值内, 会存在以不同的污染物为主的污染特点。例如有些水域可能是由于 Pb 含量不断提高而使该水域具有高的潜在生态风险; 但具有同样高风险指数等级里, 其他水域可能 Hg 污染是主要的。根据 RI 值大小能够立即判断某一环境下全部污染物的影响, 而实际应用中更为重要的是, 能够进而通过风险参数确定必须对哪些污染物特别关注。这里应当注意的是,  $C_d$  和 RI 值的范围是利用底泥中上述 8 种污染物含量进行分析的, 如果所分析的污染物种类及数量与此不同, 应对上述  $C_d$  和 RI 值的范围相应进行调整。

生态风险指数法在我国的应用已较为广泛, 不少文献介绍了利用该法进行水域生态风险性分析和评价<sup>[3-11]</sup>, 为我国对水域的生态风险性进行定量分析作出了有益的尝试。但我国的底泥污染物测试一般没包含 PCB, 测试的重金属(和砷)种类可能也与 Hakanson 提出的 8 种污染物不一致。笔者在同 Hakanson 多次探讨后认为, 如果所测沉积物中的污染物少于 Hakanson 提出的 8 种时, 应根据所测污染

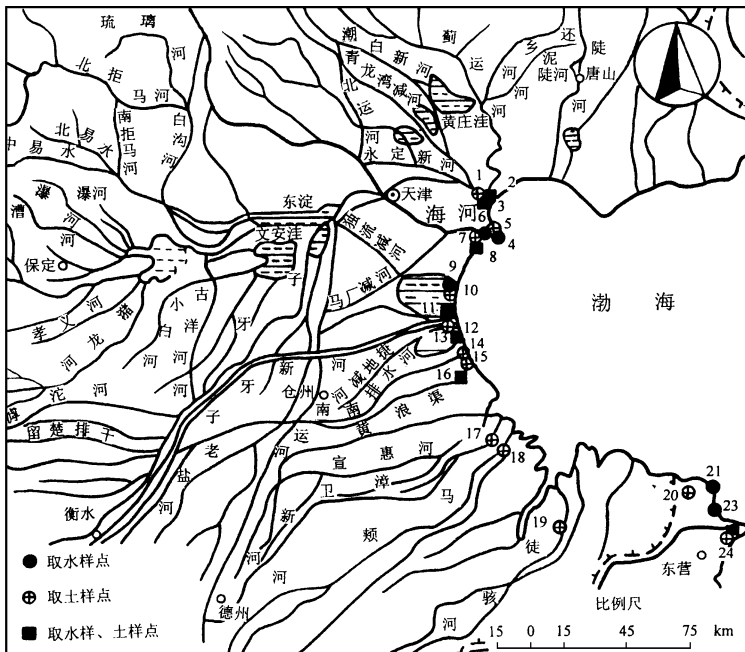
物的种类及其数量确定相应的  $C_d$  和  $RI$  值范围进行分析。

## 2 环渤海湾诸河口潜在生态风险分析

### 2.1 样品采集及测试

2001-06-06-10, 对渤海湾沿岸各河口进行实地考察、采样, 共采集了 12 个水样、19 处 24 个泥样(指底泥, 下同)。泥样采样地点分别为蓟运河河口、永定新河河滩、海河口南疆 1# 排泥场、海河口闸、大沽排污河河口、独流减河河口、青静黄排水渠、子牙新河、歧口渔码头、南排河、黄骅港码头、大口河

河口、漳卫新河口、马颊河、徒骇河、刁口河河口西、黄河清水沟岔河河口、黄河 1996 年前清水沟河口(如图 1 所示)。其中, 刁口河河口为 1976 年黄河改道清水沟前的入海河口, 因此, 其底层土样的污染程度可代表 1976 年前黄河河口的底质情况; 黄河 1996 年前清水沟河口是 1996 年前黄河的入海通道, 其土样可以代表黄河口 1996 年前的底质; 黄河清水沟岔河河口为 1996 年由清水沟改道后的新入海河口, 其泥样污染程度代表 2001 年河口的底质情况。



- 采样点
- 1—永定新河河滩;
  - 2—蓟运河闸下游;
  - 3—永定新河码头;
  - 4—海河口防波堤;
  - 5—海河口南疆 1# 排泥场;
  - 6—海河口货运码头;
  - 7—海河口闸;
  - 8—大沽排污河;
  - 9—独流减河下游;
  - 10—独流减河 2# 排泥场;
  - 11—青静黄排水渠挡潮闸下;
  - 12—子牙新河下;
  - 13—歧口渔码头;
  - 14—南排河;
  - 15—黄骅港码头入口;
  - 16—大口河河口(黄骅港);
  - 17—漳卫新河口;
  - 18—马颊河南陈桥下;
  - 19—徒骇河流钟大桥下;
  - 20—刁口河河口西;
  - 21—东营码头;
  - 22—孤东堤;
  - 23—黄河清水沟岔河河口;
  - 24—黄河 1996 年前清水沟河口。

图 1 环渤海湾水样、泥样采样点示意图

Fig. 1 Sampling sites around Bohai Bay

试样采集后, 送至水利部水质监督检验测试中心进行分析测试。对采集泥样测试了污染物 Cu, Zn, As, Hg, Pb, 以及有机质、总氮、总磷的含量。

### 2.2 环渤海湾诸河口污染程度及潜在生态风险分析

利用现场实测的表层底泥中的 Cu, Zn, As, Hg 和 Pb 含量, 应用潜在生态风险方法对各河口的污染程度及潜在生态风险进行分析。根据 Hakanson 的方法, 针对该研究采用的底泥中的污染物数量和种类, 可分析出污染参数  $C_i^f$ 、污染程度  $C_d$ 、潜在生态风险参数  $E_i^f$  及潜在生态风险指数  $RI$  值相对应的污染程度和生态风险程度, 见表 1。

将现场实测的表层底泥中的 Cu, Zn, As, Hg 和 Pb 含量分别代入式(1)、(2), 可计算出各采样点处

单个污染物的污染参数  $C_i^f$  及水域的污染程度  $C_d$ , 分别代表各河口的单个污染物污染程度及总的污染程度。从水域总污染程度看, 海河口处的污染程度数值大于 5, 说明污染程度为“中”, 其他各河口的污染程度均为“低”。具体到各个污染物来看, 蓟运河的 As, 海河口南疆 1# 排泥场的 Zn 和 As, 海河口闸的 Cu, Zn, As 和 Hg, 大沽排污河的 Hg, 青静黄排水渠的 Zn 和 As, 子牙新河的 As, 南排河的 Cu, 以及马颊河的 As 单个污染物污染程度为“中”, 其他各种污染物的污染程度均为“低”。

将现场实测数据分别代入式(3)、(4), 可计算出潜在生态风险参数  $E_i^f$  和潜在生态风险指数  $RI$ , 分别代表各河口的单个污染物的潜在生态风险程度和

总的生态风险程度, 详见表 2。从总的潜在生态风险看, 海河口闸处的  $RI$  为 71, 生态风险程度达“中”, 其他河口的潜在生态风险程度均为“低”。具体到单个污染物来看, 海河口闸及大沽排污河处  $Hg$  的潜在生态风险参数大于 40, 生态风险程度达

“中”, 其他各种污染物的生态风险程度均为“低”。从环渤海湾诸河口的总体污染程度看, 各污染物对生态风险影响程度从大到小的顺序为:  $Hg > As > Cu > Pb > Zn$ 。

表 1  $C_i^t, C_d, E_r^i$  和  $RI$  值相对应的污染程度及潜在生态风险程度

Table 1 Degrees of contamination and potential ecological risk corresponding to the values of  $C_i^t, C_d, E_r^i$  and  $RI$

污染参数 $C_i^t$ 范围	单个污染物 污染程度	污染程度 $C_d$ 范围	总的污染程度	潜在生态风险 参数 $E_r^i$ 范围	单个污染物 生态风险程度	潜在生态风险 指数 $RI$ 范围	总的潜在生态 风险程度
$C_i^t < 1$	低	$C_d < 5$	低	$E_r^i < 40$	低	$RI < 65$	低
$1 \leq C_i^t < 3$	中	$5 \leq C_d < 10$	中	$40 \leq E_r^i < 80$	中	$65 \leq RI < 130$	中
$3 \leq C_i^t < 6$	较高	$10 \leq C_d < 20$	较高	$80 \leq E_r^i < 160$	较高	$130 \leq RI < 260$	较高
$C_i^t \geq 6$	很高	$C_d \geq 20$	很高	$160 \leq E_r^i < 320$ $E_r^i \geq 320$	高 很高	$RI \geq 260$	很高

表 2 环渤海湾诸河口潜在生态风险参数和潜在生态风险指数

Table 2 Potential ecological risk factor and the potential ecological risk index in the river mouths around Bohai Bay

采样点	$E_r^i$					$RI$
	Cu	Zn	As	Hg	Pb	
永定新河河滩	3.36	0.55	7.78	7.68	2.15	21.52
蓟运河闸下	4.37	0.76	9.96	20.80	2.79	38.68
永定新河码头	4.56	0.66	8.57	10.56	2.67	27.02
海河口南疆 1# 排泥场	3.76	1.06	10.47	14.08	2.40	31.77
海河口闸	5.10	1.23	12.27	<b>49.12</b>	3.21	<b>70.93</b>
大沽排污河	3.20	0.67	6.93	<b>41.44</b>	4.38	56.62
独流减河闸下游	3.24	0.61	9.80	15.84	2.26	31.75
青静黄排水渠挡潮闸闸下	4.10	1.01	10.95	11.68	2.65	30.39
子牙新河闸下	3.56	0.61	10.14	13.76	2.37	30.45
歧口渔码头	3.39	0.80	8.01	19.52	2.24	33.97
南排河	6.39	0.60	9.71	5.12	2.14	23.97
黄骅港万吨码头入海口	3.39	0.82	9.48	7.68	2.13	23.51
大口河河口(黄骅港)	2.21	0.64	6.58	8.00	1.97	19.40
漳卫新河口	2.02	0.61	6.25	5.76	2.05	16.69
马颊河南陈桥下	3.75	0.54	10.16	27.20	2.62	44.27
徒骇河流钟大桥下	2.72	0.51	9.38	9.76	2.33	24.70
刁口河河口西	1.48	0.35	4.72	2.40	1.52	10.46
黄河清水沟岔河口	3.80	0.71	8.55	13.28	2.54	28.16
黄河 1996 年前清水沟河口	1.43	0.57	4.43	6.40	1.25	14.08

海河口附近河口的污染程度和潜在生态风险高, 其以南和以北诸河口的污染程度和潜在生态风险均呈沿程下降的趋势; 1976 和 1996 年的黄河河口、大口河河口和漳卫新河口污染程度和潜在生态风险较低。这种趋势与天津市及其上游汇水区冶金、化学和采矿等工业企业多、污水排放量是相一致的。

### 3 结语

利用 Hakanson 提出的生态风险指数法对环渤海湾诸河口底泥中 Cu, Zn, As, Hg 和 Pb 含量进行分

析, 得出诸河口的污染程度和潜在生态风险程度, 结论如下:

- 环渤海湾诸河口的重金属及砷污染程度较低, 仅海河口污染程度略高;
- 从重金属及砷污染对水域的潜在生态风险影响来看, 除海河口潜在生态风险略高外, 其他河口潜在生态风险均较低;
- 从环渤海湾诸河口的总体污染程度看, 各污染物对生态风险影响程度从大到小的顺序为:  $Hg > As > Cu > Pb > Zn$ 。

致谢:在本文成稿过程中,瑞典 Uppsala 大学的 Lars Hakanson 教授在潜在生态风险的理论及应用上给予了指导与帮助,在此表示衷心感谢。

## 参考文献:

- [1] Forstner U. Contaminated sediment[A]. Bhattacharj S, Friedman G M, Neugebauer H J, et al. Lecture notes in earth sciences[C]. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 105 - 125.
- [2] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. Water Res, 1980, 14(8): 975 - 1001.
- [3] 贾振邦, 梁涛, 林健枝, 等. 香港河流重金属污染及潜在生态危害研究[J]. 北京大学学报, 1997, 33(4): 485 - 492.
- [4] 贾振邦, 梁涛, 林健枝, 等. 香港河流重金属污染及潜在生态危害研究[J]. 辽宁城乡环境科技, 1997, 17(2): 1 - 7.
- [5] 张海清, 余海珊, 崔杰锋, 等. 龙湾涌沉积物重金属污染现状评价[J]. 中国环境管理, 2001, (2): 29 - 31.
- [6] 任丽茜, 徐秀坤. 二道坊河河道沉积物重金属污染特征及评价[J]. 辽宁城乡环境科技, 1999, 19(3): 44 - 47.
- [7] 丘耀文, 王肇鼎. 大亚湾海域潜在生态危害评价[J]. 热带海洋, 1997, 16(4): 49 - 53.
- [8] 何孟常, 王子健, 汤鸿霄. 乐安江沉积物重金属污染及生态风险性评价[J]. 环境科学, 1999, 20(1): 8 - 10.
- [9] 刘文新, 栾兆坤, 汤鸿霄. 乐安江沉积物中重金属污染的潜在生态风险评价[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 206 - 211.
- [10] 石浚哲, 刘光玉. 太湖沉积物重金属污染及生态风险性评价[J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(3): 24 - 26.
- [11] 胡晴晖. 枫亭湾滩涂底质、蛭的重金属污染与评价[J]. 福建环境, 2001, 18(3): 20 - 22.

## 《环境科学研究》2001 年度优秀论文第一作者简介

李康,男,1931年生,教授。现兼任中国环境科学研究院环境管理科学学术顾问、首都规划建设委员会咨询专家、国家科技风险开发事业中心顾问。先后兼任北京市人民政府专家顾问组组长、中国发展战略研究会副理事长、北京市城市科学研究会理事和欧美同学会乌克兰校友会副会长等职。长期从事城市规划教学、科学研究和环境管理科学研究、指导研究生等工作。先后参与若干大中城市的总体规划、国家“七五”和“八五”环境保护规划和科技发展规划,主笔《中国技术政策》之八——“环境保护技术政策”并荣获国家科技进步一等奖,主持并直接参与国家“九五”攻关课题“面向 21 世纪的环境保护技术政策”等多项科研课题。发表论文数 10 篇,撰写出版《环境政策学》等学术专著。

黄业茹,女,1963年生,研究员,博士(博士后)。1983年毕业于兰州大学化学系分析化学专业,获得理学学士学位;1986年毕业于中国科学院兰州化学物理研究所分析化学专业,获得理学硕士学位;1990年获得理学博士学位。1991—1995年作为原日本科技厅博士后工作于国立环境研究所。1995年9月至今,工作于中日友好环境保护中心。现为中国质谱学会理事,中日友好环境保护中心学术委员会委员,国家自然科学基金委员会同行评议专家,承担有联合国大学课题“水环境中的 POPs 污染研究”、中日第 3 期合作项目“中国

环境中的内分泌扰乱化学物质污染研究”和“中国室内空气污染研究”以及国家科技部“难降解有机污染物监测方法研究”等课题。

郑裕东,女,1966年生,副研究员,博士。

王玮,男,1962年生,副研究员,博士(博士后)。1984年进入中国环境科学研究院大气所工作,主要从事大气化学的研究,特别是长期进行酸雨化学、气溶胶化学和机动车污染化学的基础研究和应用研究。现为大气所空气质量和气溶胶室室主任,同时担任国家环境保护总局机动车排污监控中心副主任、中日友好环境保护中心公害部燃烧技术实验室主任,并担任中国大气环境学会副秘书长和常务委员等多种社会职务。18年来,完成了国家攻关课题等课题报告书 70 余部,计 3 000 余万字。在日本和美国公开发行的学报级刊物、大型国际会议和国内公开发行的学报级刊物上发表学术论文近 50 篇,在其他公开发行刊物和学术会议上发表学术论文 90 余篇,合计近 140 篇,撰写和参加编写专著 9 本。2001 和 2002 年分别在最高级别的中国工程院工程论坛和中国科学院香山科学会议上发表专题报告。目前,主持或承担国家“863”课题、国家重点课题、国家环境保护总局科学研究课题、国际合作课题等共 10 余项。