

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

Ecological Risk Assessment and
Early Warning of Heavy Metals in River

河流重金属生态风险 评估与预警

周 军 马 彪 高凤杰 等著



化学工业出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

Ecological Risk Assessment and
Early Warning of Heavy Metals in River

河流重金属生态风险 评估与预警

周 军 马 彪 高凤杰 等著

张宝杰 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书分析了河流水体、鱼体和表层沉积物重金属含量状况,应用多种模型方法实现了河流重金属生态风险评估,并构建了河流三相介质空间重金属综合生态风险评估模型,并将评价结果应用于松花江重金属优控污染物的筛选;集成 SQL Server 2008、Visual Studio. NET 2010 及 Arc Engine 10 开发了 C/S 模式下河流重金属污染预警信息系统,整合一维水质模型和二维水质模型,结合河流水文特征,设置红、橙、黄、蓝四级预警,实现了重金属突发事件污染扩散的可视化模拟与空间展布;从七大方面提出了河流重金属污染防治对策,并给出了 2020 年、2030 年河流重金属污染防治阶段性目标建议。

本书可供环保领域政府部门、科研院所、环境监测站等单位研究人员阅读参考,也可供高等学校环境保护相关专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

河流重金属生态风险评估与预警/周军等著. —北京: 化学工业出版社, 2016. 10
环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书
ISBN 978-7-122-27342-0

I. ①河… II. ①周… III. ①河流-重金属污染-环境生态
评价-风险评价②河流-重金属污染-污染防治 IV. ①X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 131981 号

责任编辑: 董琳 刘兴春
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 汲永臻
装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 10½ 彩插 1 字数 205 千字 2017 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》 编著委员会

顾 问：黄润秋

组 长：邹首民

副 组 长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

《河流重金属生态风险评估与预警》 著者名单

著者：周 军 马 彪 高凤杰 倪艳芳

邢 佳 任伊滨 滕志坤 张 力

张 颖 孟 超 邹海虹 梁 慧

主审：张宝杰

序 言

目前，全球性和区域性环境问题不断加剧，已经成为限制各国经济社会发展的主要因素，解决环境问题的需求十分迫切。环境问题也是我国经济社会发展面临的困难之一，特别是在我国快速工业化、城镇化进程中，这个问题变得更加突出。党中央、国务院高度重视环境保护工作，积极推动我国生态文明建设进程。党的十八大以来，按照“五位一体”总体布局、“四个全面”战略布局以及“五大发展”理念，党中央、国务院把生态文明建设和环境保护摆在更加重要的战略地位，先后出台了《环境保护法》、《关于加快推进生态文明建设的意见》、《生态文明体制改革总体方案》、《大气污染防治行动计划》、《水污染防治行动计划》、《土壤污染防治行动计划》等一批法律法规和政策文件，我国环境治理力度前所未有，环境保护工作和生态文明建设的进程明显加快，环境质量有所改善。

在党中央、国务院的坚强领导下，环境问题全社会共治的局面正在逐步形成，环境管理正在走向系统化、科学化、法治化、精细化和信息化。科技是解决环境问题的利器，科技创新和科技进步是提升环境管理系统化、科学化、法治化、精细化和信息化的基础，必须加快建立持续改善环境质量的科技支撑体系，加快建立科学有效防控人群健康和环境风险的科技基础体系，建立开拓进取、充满活力的环保科技创新体系。

“十一五”以来，中央财政加大对环保科技的投入，先后启动实施水体污染控制与治理科技重大专项、清洁空气研究计划、蓝天科技工程等专项，同时设立了环保公益性行业科研专项。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》、《国家创新驱动发展战略纲要》、《国家科技创新规划》和《国家环境保护科技发展规划》，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”以来，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 479 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、化学品、核与辐射等领域，

共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，已验收的项目中，共提交各类标准、技术规范 997 项，各类政策建议与咨询报告 535 项，授权专利 519 项，出版专著 300 余部；专项研究成果在各级环保部门中得到较好的应用，为解决我国环境问题和提升环境管理水平提供了重要的科技支撑。

为广泛共享环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，是环境领域不可多得资料文献。该丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，不断提高环境治理现代化水平，为持续改善我国环境质量提供强有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长
黄润秋



近年来,随着经济的快速发展和人口的急剧增加,我国突发性水污染事故进入到了一个前所未有的密集高发期,已严重威胁到广大居民的生命健康、环境安全以及经济社会的可持续发展。目前,我国对突发性水污染事故风险分析与应急管理的研究相对薄弱,尤其在突发性水污染事故的预测预警方面,或缺少系统的、可操作性强的预测预警技术,或在真实事故场景的预测预警中难以达到必要的准确性和适用性,或缺乏预测突发性水污染事故影响可用的模型软件。

为了准确掌握河流重金属的生态风险水平、最大程度地降低突发性水污染事故造成的经济社会损失和生态环境危害,开展河流重金属生态风险评价并建立起一套较为实用和准确的突发性水污染事故影响的预测预警体系,具有重大的必要性和现实意义。为此,在国家环保公益性行业科研专项资金支持下,《松花江流域重金属污染源污染影响与风险评估技术及东北受污染黑土修复技术研究》(2010467038)开展了松花江重金属生态风险评价与预警系统开发工作并在环保系统进行了应用。

本书由黑龙江省环境科学研究院周军高工、马彪高工、东北农业大学高凤杰副教授等著。书中第一章第一节由倪艳芳撰写;第一章第二节、第三章第一节、第四章第三节、第六章第一节由周军撰写;第二章第一节、第六章第二节由马彪撰写;第二章第二节由邢佳撰写;第三章第二节、第三节,第四章第一节、第二节,第五章,第七章由高凤杰撰写。全书撰写过程中,任伊滨、滕志坤、张力、张颖、孟超、邹海虹、梁慧等对书籍内容提出了很多宝贵建议,在此表示感谢。全书由周军、马彪统稿,由肇庆学院张宝杰研究员级高工主审。

限于作者的知识范围和学术水平,本书中不当及疏漏之处敬请广大同行和读者给予批评指正。

著者

2016年8月



目录 CONTENTS

第一章 绪论

1

第一节 研究背景	1
一、水体重金属污染	1
二、我国水体重金属污染	9
三、松花江重金属污染	12
第二节 研究意义与内容	13
一、研究目的	13
二、研究意义	14
三、研究内容	15
本章小结	17
参考文献	18

第二章 松花江流域概况

21

第一节 流域自然环境概况	21
一、水资源特征	21
二、地形地貌	23
三、气象条件	24
四、水化学特征	24
五、土壤与植被	25
第二节 松花江流域重要河流水系介绍	25
一、第二松花江水系	25
二、嫩江水系	26
三、松花江干流水系	27
本章小结	28
参考文献	30

第③章 松花江重金属含量状况分析

31

第一节 松花江重金属污染历史与成因 31

 一、松花江重金属污染历史 31

 二、松花江重金属污染特点 32

 三、松花江重金属污染主要成因 33

第二节 松花江重金属含量状况 34

 一、样品采集与处理 34

 二、重金属含量状况 38

第三节 重金属来源解析 65

 一、来源解析方法概述 65

 二、不同来源解析方法优缺点 68

 三、松花江表层沉积物重金属来源解析 68

本章小结 72

参考文献 73

第④章 松花江重金属生态风险评估

75

第一节 松花江水体重金属健康风险评价 75

 一、健康风险评价模型 76

 二、评价参数选择 77

 三、水体健康风险评价 77

第二节 松花江表层沉积物重金属生态风险评估 78

 一、风险评价方法选取 78

 二、风险评价结果分析 82

第三节 河流三相介质空间重金属污染综合风险评估 88

 一、河流三相介质空间重金属迁移转化 88

 二、河流三相介质空间重金属污染评价模型构建 89

 三、模型应用与验证 92

本章小结 97

参考文献 98

第⑤章 松花江重金属污染预警信息系统构建

102

第一节 松花江重金属污染预警系统构建背景 102

 一、国内外研究现状 102

二、构建背景	103
第二节 系统分析与设计	104
一、系统逻辑架构	104
二、用户需求分析	106
三、系统功能设计	107
四、数据库设计	109
五、开发环境与运行平台	114
第三节 污染动态模拟模型与预警	115
一、水质模型综述	115
二、一维水质模型及其求解	117
三、二维水质模型及其求解	120
四、水质模型的参数估算	122
第四节 模拟可视化	125
一、河流中心线的提取	125
二、河流中心线拓扑关系	126
三、河网生成	127
四、可视化表达	127
第五节 预警信息系统	128
一、系统登录设置	128
二、系统菜单设置	128
三、空间数据库管理	130
四、数据查询	133
五、污染模拟与可视化表达	133
六、用户权限设置与管理	137
本章小结	140
参考文献	141

第⑥章 松花江重金属污染防治对策及建议

142

第一节 松花江重金属污染防治对策	142
一、强化政府主导作用	142
二、推进重点任务有序开展	143
三、提升环境监管水平	144
四、完善政策保障措施	146
五、提高重金属污染治理水平	148
六、建立风险评估体系	149
七、加强污染预警体系建设	150

第二节 松花江重金属污染防治的阶段性目标建议 150

 一、 2020 年阶段性目标建议 151

 二、 2030 年阶段性目标建议 151

本章小结 153

第⑦章 结论与展望

第一节 结论 154

第二节 展望 155

第一章

绪论

第一节 研究背景

一、水体重金属污染

1. 重金属概念

自然界中共存在着 100 多种元素，其中金属元素约占 80 多种。目前为止对重金属污染物并无明确的定义，有的把密度大于 $4.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的约 60 种金属称为重金属^[1]，有的把密度大于 $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的 45 种金属称为重金属^[2]，还有的把相对原子质量比铁大的金属称为重金属^[3]。常见重金属有铜、铅、锌、钴、镍、汞、镉、铁、金、钨、锡、铬、硒、钒、钼、锰等，像砷、硒等一些元素是处于金属与非金属之间的具有过渡性质的元素，它们兼有金属和非金属的某些性质，一般被称为类金属；根据其环境效应和对生命体的毒性作用，在环境科学研究中，也被称为重金属元素^[4]。重金属污染是指由重金属及其化合物引起的环境污染。重金属污染物在环境中难以降解，能在动物和植物体内积累，通过食物链逐步富集，浓度能成千成万甚至成百万倍地增加，最后进入人体造成危害，是危害人类最大的污染物之一。重金属污染对人群健康的危害是多方面、多层次的，其毒理作用表现为：造成生殖障碍，影响胎儿正常发育，威胁儿童和成人身体健康等，最终降低人口身体素质，阻碍人口的可持续发展^[5]。几种主要重金属对人体的危害见表 1-1。

表 1-1 主要重金属对人体的危害

Tab. 1-1 The harm of main heavy metals to human body

重金属	对人体的危害
铅(Pb)	通过皮肤、消化道、呼吸道进入体内与多种器官亲和，主要毒性效应是贫血症、神经机能失调和肾损伤；中毒后往往表现为智力低下、反应迟钝、贫血等慢性中毒症状

续表

重金属	对人体的危害
镉(Cd)	进入人体后主要积蓄于肾脏和肝脏中,镉中毒主要损害肾功能、骨骼和消化系统;急性镉中毒可引起呕吐、腹泻、头晕、多涎、意识丧失等,镉及其化合物具有一定的致畸和致癌作用
汞(Hg)	剧毒物质,以有机汞中毒为主,表现为手指、口唇和舌头麻木、说话不清、视野缩小、运动失调以及神经系统损害,严重者发生瘫痪、肢体变形、吞咽困难、死亡
砷(As)	干扰人体酶的活性和细胞的呼吸、分裂和繁殖而引起代谢障碍;急性砷中毒表现为神经衰弱症候群、皮肤色素沉着、过度角质化、末梢神经炎等;砷及其化合物被确认为致癌物
铬(Cr)	若误食,表现为腹部不适和腹泻、过敏性皮炎、湿疹;若通过呼吸进入,对呼吸道有刺激和腐蚀作用,引起咽炎、支气管炎等;六价铬为二类致癌物质
铜(Cu)	急性铜中毒,表现为肝豆状核变性、儿童肝内胆汁淤积等病症
锑(Sb)	刺激眼、鼻、喉及皮肤,持续接触可损坏心脏和肝脏功能,吸入高含量锑导致锑中毒,症状表现为呕吐、头痛、呼吸困难甚至死亡
铊(Tl)	剧毒高危害重金属,表现为恶心、呕吐、腹部绞痛、腹泻等,严重者有肠道出血,继而出现四肢感觉过敏、针刺感,下肢无力,脚跟疼痛,甚至瘫痪

水环境主要包括河流、湖泊、水库、海洋以及经人类加工的工业用水、排放水和生活饮用水等水体环境。水环境重金属污染,是指排入水体的重金属物质超过了水的自净能力,使水的组成及其性质发生变化,从而使水环境中生物生长条件恶化,并使人类生活和健康受到不良影响的行为。近年来,随着工农业以及经济的迅猛发展,各类水环境中重金属污染日趋加剧已成为不争的事实。水体中的金属元素按其对人体健康的影响可分为三类:一是人体健康必需的常量元素钠、钾、钙、镁和微量元素铁、锰、铜、锌、镍、钴、硒、钒、钼、硅、锡,它们的缺乏或过量都不利于人体健康;二是对人体健康有害的金属元素铅、镉、汞、砷、铬、铍、铊、钡等;三是在人体中确有存在,但生理功能尚不明的元素锂、硼、铝、钛、锆等^[6]。

水体中金属元素有利或有害,不仅取决于金属的种类、理化性质,而且还取决于金属的浓度及存在的价态和形态。重金属元素作为一类重要的污染物,它们在水体中的浓度水平、空间分布、迁移和转化以及最终的归宿一直是水环境科学研究中的一个重要领域,并受到世界各国政府的环境保护、水利、农业以及其他相关部门的广泛重视^[7]。与有机化合物相比,重金属及其化合物在水环境的迁移转化过程中存在较大差异,有机化合物在环境中会发生化学分解、光降解以及生物降解,复杂的有机化合物最终可能分解为简单化合物,有毒物质也可能转变为无毒物质;但重金属及其化合物只会发生形态转化或分散和富集,不可能消失,属于累积性毒物。

美国国家环境保护局（United States Environmental Protection Agency, EPA）公布的水环境中 10 大类 129 种优先控制污染物中，金属和无机化合物总数为 15 种，现在证实其中有 12 种金属及其化合物（砷、铬、镍、硒、银、铜、铅、汞、铍、镉、铊和锌）可以积累在底泥和生物群中。为了更好地控制有毒污染物的排放，近年来我国也开展了水中优先污染物的筛选工作，提出初筛名单 249 种，通过多次专家研讨会，初步确定我国水环境中优先控制污染物黑名单，共 14 类 68 种，其中重金属及其化合物包括砷、铍、镉、铬、汞、镍、铊、铜、铅，共计 9 种。环境科学中所研究的重金属主要是指汞、铜、镉、铅、锌、铬等元素，还有银、锡、钴、镍等。“十二五”重金属污染防治规划中把铅、汞、镉、铬和砷五种重金属（称为一线重金属或重点重金属污染物）作为污染防治的重点。

2. 重金属来源

重金属污染源可分为天然和人为两种。前者包括岩石风化、土壤侵蚀和火山活动等；后者包括采矿、冶炼、汽车尾气、金属制品的制造与使用、污水灌溉等人为因素。大多数情况下，水体中重金属的天然背景值一般都较小，不会对人体造成危害。自然水环境中的重金属主要来源于以下几个方面：径流输入、大气沉降和污染物直接排入。其中，径流输入的重金属元素包括自然来源和人类活动两部分，在富含重金属的地层中，自然地质风化作用能够引起周围水体中重金属浓度的升高；矿山开采排放的废水中重金属污染物浓度一般较高，对周围河流的水质和当地的生物群落影响极大；金属冶炼、电镀和化工等行业排放的工业废水中含有多种重金属离子成分，这是造成水体重金属污染的主要原因之一；填埋和堆放的垃圾遇水浸沥，浸出的有害物质中可能含有部分重金属物质。大气沉降与河流输入不同，输送距离远，无边界，受工业污染比较严重的近海区域，大气沉降往往超过河流输入的量。而目前引起全球范围内河流重金属污染的主要来源，是人类活动产生的工业废水和生活污水的排放。各种与人类工业活动有关的重金属排放源见表 1-2^[8]。

表 1-2 几种主要重金属排放源^[8]

Tab. 1-2 Several kinds of sources of main heavy metals

排放源	排放重金属种类
冶金业	全部
颜料生产	Cd、Pb
电镀工艺	Cd、Cu、Zn、Cr、Ni

续表

排放源	排放重金属种类
电池生产	Cd、Pb、Hg
铅烷基生产	Pb
机动车尾气	Pb
氯碱生产	Hg
汞的使用(补牙,印染等)	Hg
制革工艺	Cr
防腐工艺处理	As
纺织品生产	Cr
轮胎磨损	Zn
照相工艺	Cd、Cr
钢铁生产	全部
铸铁浇铸	全部
矿物燃料燃烧(发电厂、工业及民用锅炉)	全部
磷肥生产	Cd、Pb、Hg
水泥生产	Cd、Hg、Cu、Zn
农业生产(施磷肥和含汞农药等)	全部
垃圾处理(填埋处理和焚烧)	全部
沿海水域土壤的挖掘疏浚	全部
煤矿废物、飞灰和废水	全部
污水和污泥处理	全部
家用卫生设备	Zn、Pb、Cu
轻工产品	Zn
仪表生产	Hg
农药	Hg
塑料生产(塑料助剂)	Pb、Cd、Cu

3. 重金属污染危害

重金属进入水生生态系统后,分布于水生生态系统的各个组分中,对生态系统各组分产生影响(即生态效应)。当生物体内重金属积累到一定

数量后，就会出现受害症状，生理受阻，发育停滞，甚至死亡，并使整个水生生态系统结构和功能受损、崩溃^[9]。水体中的重金属污染物首先对水生动植物形成危害^[10]，并通过饮用水、水产品、被污水灌溉过的蔬菜粮食等途径在人体内蓄积，对人们的健康构成危害。重金属水污染进入人体途径如图 1-1 所示。

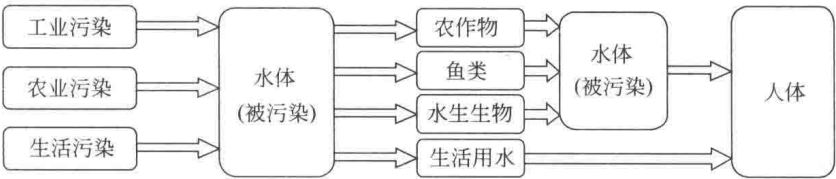


图 1-1 重金属水污染进入人体途径

Fig. 1-1 Water pollution of heavy metals into the human body

资料来源：《2013 年重金属污染防治行业分析报告》

重金属通过各种途径进入水体后，一旦被藻类吸收，将引起藻类生长代谢与生理功能紊乱，抑制光合作用，减少细胞色素，导致细胞畸变、组织坏死，甚至使藻类中毒死亡，改变天然环境中藻类的种类组成^[11]。重金属进入水体后，可能会对水生动物的生长发育、生理代谢等过程产生一系列的影响。海水重金属离子（ Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{6+} ）含量超过一定浓度会引起文昌鱼中毒，使其身体渐成弯曲状而死亡^[12]。重金属进入人体后，不易排泄，逐渐蓄积，对人体健康的危害是多方面、多层次的，其毒理作用主要表现在影响胎儿正常发育、造成生殖障碍、降低人体素质等。重金属（例如 Pb、Se、Mn 等）通过水体直接或间接进入食物链后，能严重地耗尽体内储存的 Fe、维生素 C 和其他必需的营养物质，导致免疫系统防御能力的下降，子宫内的胚胎生长停滞和其他一些残疾^[13]。铬在糖和胆固醇代谢中具有不可替代的作用，缺乏铬将导致糖、脂肪或蛋白质代谢系统的紊乱，而过量的铬则会对人体产生致癌作用，实验还证明铬化合物具有细胞遗传毒性和致突变作用^[14]。毒性较强的 Hg、Cd 产生毒害的浓度仅为 $0.01\sim0.001\text{mg/L}$ ^[15]，过量的汞会损害生物的神经系统，在微生物的作用下还可被转化为甲基汞或二甲基汞，毒性更强。通过食物、水、空气等进入人体内的过量的镉也会蓄积在肝、肾中，影响其正常生理功能，并且还会导致骨质疏松、骨骼变形，日本著名的公害病——疼痛病就是由于镉中毒引起的^[16]。水体中的重金属污染物还会沉降在河底沉积物中，对沉积物原有的生态环境产生破坏。同时，沉积物中的重金属通过解析作用重新回到水体中，再次影响水体安全，所以沉积物是潜在的污染源。

4. 世界河流重金属污染状况

地表水环境具有高流动性,能通过稀释、扩散、氧化、降解和吸收等方式同化污染物质进入底泥中,然而,这种自我调节能力是有限的,污染物质的浓度超过水体的自净能力时就会威胁到人类和水生生物的生存,而Cd、Hg、Cr和Pb等重金属即使是在较低水平下也能对水生生物产生毒害作用。根据联合国国际粮农组织规定的重金属浓度标准,As、Cu、Cr、Hg、Cd、Pb的浓度分别为0.20mg/L、0.50mg/L、1.00mg/L、0.01mg/L、0.05mg/L和0.01mg/L,西班牙、德国、智利和美国等国家的河流As、Cu、Hg、Cd、Pb含量均超标,污染最严重的智利Elqui河,As、Cu、Hg、Cd浓度远远超过欧洲、亚洲和北美河流,其中As浓度是印度河的28倍,是英国泰晤士河的588倍^[17](表1-3)。

表 1-3 世界部分河流重金属浓度^[17]

Tab. 1-3 Heavy metal concentrations of some rivers in the world

河流(国家)	单位: mg/L						
	As	Cu	Cr	Hg	Cd	Mo	Pb
Oitavén(西班牙)	—	0.12	—	—	—	—	0.21~0.52
Ulla(西班牙)	—	2.50	—	—	—	—	0.25~4.14
Mero(西班牙)	—	0.41	—	—	—	—	0.19~1.03
Anllóns(西班牙)	—	0.13~1.02	—	—	0.13	—	0.35~0.68
密西西比河(美国)	3.00	2.00	0.50	0.10	0.10	—	0.20
莱茵河(英国)	13.00	34.00	33.00	0.65	5.50	—	57.00
马恩河(德国)	0.22~1.06	0.75~3.55	—	—	0.01~1.02	0.06~1.31	0.01~2.26
塞纳河(法国)	0.36~1.28	0.49~3.47	—	—	0.01~2.44	0.05~2.15	0.07~1.02
Odiel(西班牙)	2.90~9.30	34.50~57.20	—	—	1.30~8.90	—	3.70~17.80
Tinto(西班牙)	3.00~7.50	37.10~72.40	—	—	1.30~6.80	—	3.50~7.40
圣父运河(西班牙)	2.60~6.20	20.90~57.70	—	—	0.70~1.70	—	2.60~6.20
Nakka Vagu stream (印度)	5.50~116.50	—	4.60~46.80	—	—	—	0.20~13.80
尼罗河(苏丹-埃及)	—	—	—	—	—	0.34~1.74	—
伏尔加河(俄罗斯)	—	—	—	—	—	0.64	—
亚马逊河(巴西)	—	—	—	—	—	0.42	—
戴河(英国)	1.40	2.40	0.30	—	—	10.30	—
泰晤士河(英国)	2.90	4.30	0.40	—	—	3.20	—