

河流污染治理及修复 —— 技术与案例

何国富 徐慧敏 主编



上海科学普及出版社



河流污染治理及修复

—— 技术与案例

何国富 徐慧敏 主编

上海科学普及出版社

图书在版编目(CIP)数据

河流污染治理及修复——技术与案例/何国富,徐慧敏主编.--上海:上海科学普及出版社,2012.10

ISBN 978-7-5427-5642-8

I. ①河… II. ①何…②徐… III. ①河流污染-污染防治-研究-中国 IV. ①X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 297118 号

责任编辑 张 帆

河流污染治理及修复——技术与案例

何国富 徐慧敏 主编

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销 上海惠顿实业公司印刷部 印刷

开本 787×1092 1/16 印张 24 插页 8 字数 540 000

2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5427-5642-8 定价: 58.00 元

前言

河流为人类提供了重要的水资源和巨大的经济财富,在供水、排涝、运输、环境、生态和人文等方面具有重要的价值。在人类发展进程中,随着经济社会的高速推进,世界范围内,河流曾遭到严重的污染和破坏,导致河流生态系统受损甚至严重退化。自 20 世纪 70 年代起,在借鉴国外治理经验的基础上,我国开始实施大规模的河流污染治理研究和综合整治工程,40 年来形成了许多适合中国国情的河道治理技术,并积累了大量的经验。将这些工程实例和技术进行归纳总结,必将为相关专业的人员在今后的河道治理工作中提供启发和借鉴,推动我国河流污染综合治理工作阔步向前。

本书在国家“十一五”重大科技专项(NO. 2009ZX07210)的资助下,从我国河流污染治理与生态修复领域的迫切需求出发,从河流类型和生态环境功能、水体污染的来源和严峻现状、河流污染主要治理技术(包括物理、化学和生物生态技术)、国际河流污染治理典型案例和我国南北方河流污染治理技术及案例分析等方面系统地介绍了河流污染治理与修复的技术、方法和实践,此外还对当前的热点问题——外来物种入侵河道的生态修复技术进行了简要介绍,并以课题组的实践经验为切入点,详细阐述喜旱莲子草入侵北方河道的防控技术的研究进展。

全书共分九章,由何国富和徐慧敏主编及统筹,其中第一章由杜静丽、沈婷编写,第二章由吴俊、郭文编写,第三章由胡梦云、徐慧敏、容明知编写,第四章由陈银川、宋萌编写,第五章由念兴宇、容明知编写,第六章由何国富、郭文、叶敏、傅丽莉编写,第七章由何国富、贾丽、徐慧敏编写,第八章由何国富、涂俊编写,第九章由刘伟、施闽涛、徐慧敏编写,刘伟、沈婷、宋萌、张吉荣和顾佳艳、徐涛涛、朱颖冰等参与了审稿和校对工作。华东师范大学史家樑教授对本书的编写提出了宝贵的意见和建议。另外,水专项相关老师对本书的编写给予了关心与支持,长

江水资源保护局上海局的领导等对此书的编写给予了支持,容明知、郭文等直接参与了部分章节的编写,在此一并表示感谢!

由于河道治理与生态修复所涉及的专业面很广,限于编写人员的能力和水平,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2012年9月于上海

目 录

前言	1
第一章 河流概述	1
第一节 河流的分布	1
1.1.1 世界河流分布概况	1
1.1.2 我国河流分布概况	7
第二节 河流的分类	7
1.2.1 河流的称谓	7
1.2.2 按等级分类	8
1.2.3 按平面形态分类	9
1.2.4 按功能分类	10
第三节 河流的作用	12
1.3.1 河流与生物的密切关系	13
1.3.2 河流与人类的密切关系	13
1.3.3 河流与生态环境的密切关系	14
1.3.4 河流与社会的密切关系	14
第四节 水系	14
1.4.1 国外主要水系概况	15
1.4.2 我国主要水系概况	18
第二章 河流污染特征	33
第一节 河流有机污染及特征	34
2.1.1 河流中有机污染物的来源和概况	34
2.1.2 河流中主要有机污染物的种类	34
2.1.3 河流中有机污染物的迁移转化	38
2.1.4 河流中有机污染物的特点和危害	39
第二节 河流富营养化污染及特征分析	40
2.2.1 河流中营养物质的来源	41
2.2.2 河流富营养化的成因与机理	41
2.2.3 河流富营养化的危害	43
第三节 河流重金属污染及危害	44

2.3.1	河流重金属污染的现状	44
2.3.2	河流重金属污染的来源	45
2.3.3	重金属在河流中的存在形态及储存形式	47
2.3.4	河流中重金属的迁移转化形式	47
2.3.5	河流中重金属污染的特点	48
2.3.6	重金属污染的危害	49
第四节	河流生态受损、退化的原因及特征	51
2.4.1	河流生态系统的结构和功能	51
2.4.2	河流生态系统的受损因子	53
2.4.3	河流生态系统退化	54
2.4.4	河流生态恢复的迫切性	55
第五节	河流其他类型的污染	56
2.5.1	热污染	56
2.5.2	放射性污染	57
2.5.3	致病微生物及病毒污染	57
第三章	河流污染主要治理技术	59
第一节	河流总体治理思路	59
3.1.1	污染源控制	60
3.1.2	污染治理	60
3.1.3	河流管理	60
第二节	控源	61
3.2.1	河流外源污染及其控制	61
3.2.2	河流内源污染及其控制	63
3.2.3	河流污染源控制方案	68
第三节	截污	69
3.3.1	截污的分类	69
3.3.2	截污纳管体系	70
3.3.3	初期雨水污染截流	73
第四节	清淤	79
3.4.1	河道淤积的原因	79
3.4.2	河道清淤的必要性	80
3.4.3	底泥疏浚	81
3.4.4	清淤的现状和问题	83
3.4.5	清淤的方法与技术	85
3.4.6	淤泥的处置	87
第五节	活水	88
3.5.1	活水的原理	89

3.5.2 活水的应用实例	89
3.5.3 “截污—清淤—活水”三者之间的关系	95
第六节 水质净化	95
3.6.1 人工曝气增氧技术	96
3.6.2 投加化学药剂技术	99
3.6.3 微生物强化技术	101
3.6.4 各类水质净化技术优缺点比较	103
第七节 底质修复	103
3.7.1 底质修复概念	104
3.7.2 底质修复技术	104
3.7.3 各类底质修复技术优缺点对比	108
3.7.4 底质修复技术展望	108
第八节 生态修复	109
3.8.1 生态修复的概念及其研究进展	109
3.8.2 生态修复技术分类	112
3.8.3 各类技术优缺点对比	121
3.8.4 生态修复技术展望	121
第九节 生态护岸	121
3.9.1 生态护岸的概念	122
3.9.2 生态护岸技术的设计原则	123
3.9.3 生态型护岸类型	123
3.9.4 生态护岸的构建方法	124
3.9.5 生态护岸的生态环境功能	127
3.9.6 生态护岸应用案例	128
3.9.7 生态护岸研究发展趋势	128
第四章 国际上河流污染案例及治理范例	130
第一节 欧洲河流污染治理及修复	130
4.1.1 泰晤士河治理及修复案例分析	130
4.1.2 莱茵河治理及修复案例分析	135
第二节 美国河流污染治理及修复	141
4.2.1 凯霍加河治理及修复方案分析	141
4.2.2 密西西比河治理及修复方案分析	149
第三节 日本河流污染治理及修复	154
4.3.1 神通川概况	154
4.3.2 神通川的污染及治理	155
4.3.3 神通川治理的启示	155

第四节 其他河流污染治理及修复	156
4.4.1 清溪川治理及修复方案分析	156
4.4.2 新加坡河治理及修复方案分析	164
第五节 国外河流治理总结分析	169
4.5.1 国外河道修复与管理的教训	169
4.5.2 国外河道修复与管理的启示	170
第五章 我国南方河流污染治理主要技术	174
第一节 我国南方河流类型及特征分析	174
5.1.1 南方北方河流分界线	174
5.1.2 南方河流的特征	176
5.1.3 南方河流的分类	176
第二节 南方河流污染及治理现状	177
5.2.1 珠江三角洲地区	177
5.2.2 长江中下游地区	184
5.2.3 四川盆地	191
5.2.4 云贵高原	194
第三节 南方河流污染及治理小结	202
第六章 我国南方河流污染治理及修复案例分析	204
第一节 广州市河道治理修复案例	204
6.1.1 广州市司马河水质改善与生态修复工程案例	204
6.1.2 广州市南城河整治工程设计方案	208
第二节 武汉市河道治理案例	212
6.2.1 南湖水环境综合整治方案	212
6.2.2 武汉市巡司河生态整治规划	216
第三节 上海市河道治理案例	222
6.3.1 苏州河治理	222
6.3.2 白莲泾治理工程	229
6.3.3 丽娃河治理工程	234
6.3.4 滴水湖引水河水质净化工程简介	240
6.3.5 上海河流治理总结与展望	246
第四节 其他区域河道治理案例	246
6.4.1 外秦淮河河道综合治理工程	247
6.4.2 温州北山河——黑臭河道治理工程	249
6.4.3 佛山水道治理工程	251
第五节 南方河道治理小结和展望	253
6.5.1 南方河流特点总结	253

6.5.2 南方河流综合整治的主要内容与技术	254
6.5.3 南方河流治理展望	255
第七章 我国北方河流污染治理主要技术	256
第一节 北方河流类型及特征分析	256
7.1.1 北方河流分类	256
7.1.2 北方河流的特征	257
第二节 北方河流治理思路及技术	260
7.2.1 北方城市河流防洪建设	260
7.2.2 华北平原地区河流治理	264
7.2.3 东北平原地区河流治理	270
第三节 北方河流治理创新理论——“治用保”流域治污策略	277
7.3.1 “治用保”技术的形成	277
7.3.2 “治用保”技术内涵	277
7.3.3 “治用保”技术原理	279
7.3.4 “治用保”技术推进策略	280
7.3.5 “治用保”技术效果	282
第四节 小结	283
第八章 我国北方河流污染治理及修复案例分析	286
第一节 陕西渭河流域综合整治简介	286
8.1.1 流域概况	286
8.1.2 流域环境现状	287
8.1.3 工程规划方案	291
8.1.4 小结	297
第二节 山西汾河流域污染治理案例简介	298
8.2.1 汾河介绍	298
8.2.2 汾河流域现状	298
8.2.3 治理工程措施	300
8.2.4 小结	303
第三节 北京河流污染治理案例简介	303
8.3.1 北京河流简介	303
8.3.2 北京河流环境现状	304
8.3.3 工程应用	305
8.3.4 小结	307
第四节 浑河流域抚顺段污染治理案例简介	307
8.4.1 浑河流域介绍	308

8.4.2	浑河流域抚顺段环境现状	309
8.4.3	工程应用	311
8.4.4	小结	313
第五节	山东小清河综合整治简介	314
8.5.1	流域概况	314
8.5.2	流域环境现状	315
8.5.3	工程治理方案	318
8.5.4	小结	320
第六节	北方河道治理小结和展望	320
8.6.1	北方河流特点	320
8.6.2	河流污染原因分析	321
8.6.3	北方河流治理及展望	322
第九章	外来物种入侵及生态防治与修复	323
第一节	外来物种入侵概述	323
9.1.1	外来物种入侵基本概念	323
9.1.2	外来物种入侵过程及特征	324
9.1.3	外来物种入侵途径	325
9.1.4	我国外来物种入侵现状	325
9.1.5	外来物种入侵危害	326
9.1.6	外来物种入侵防治措施	327
第二节	外来物种入侵对河道生态系统的影响	328
9.2.1	对河道生态系统结构和功能的影响	329
9.2.2	对经济活动的影响	330
第三节	典型河道外来入侵植物特征及其入侵机制	331
9.3.1	喜旱莲子草	332
9.3.2	凤眼莲	338
9.3.3	水盾草	341
第四节	外来物种入侵防治——南四湖流域小沙河整治案例	344
9.4.1	南四湖流域喜旱莲子草入侵现状	344
9.4.2	小沙河基本概况简介	346
9.4.3	小沙河喜旱莲子草分布现状	346
9.4.4	小沙河喜旱莲子草的控制技术与工程实施	349
9.4.5	治理效果	353
9.4.6	展望	356
参考文献		358

第一章 河流概述

河流,通常是指陆地河流,即水流在重力作用下,集中于地表曲线形凹槽内作经常性或周期性的流动,这种流动的水体与容纳它的凹槽合称为河流(蔡守华,2010)。河流一般以高山地区为源头,然后沿地势顺流而下,直至流入湖泊或海洋。虽然全世界河流的总水量不及地球总水量的 $1/10\ 000$,但河流对人类的贡献却是海洋、湖沼、冰川等水体不能代替的。

河流是人类生存和发展的基础,也是孕育和产生人类文化的摇篮。例如,古代中国文明发源于黄河流域,古埃及文明发源于尼罗河流域,古印度文明发源于恒河流域,古巴比伦文明发源于两河流域。河流除了是人类生存的基本条件外,同时也是社会生产必不可少的物质资源。面对有限的水资源,人类一定要按照水循环的规律合理地进行开发和利用,从而有效地保护和节约水资源。

本章主要介绍河流分布、类型及其功能,并详细地介绍了世界著名的河流和我国主要的水系,此外还阐述了河流环境存在的一些问题。

第一节 河流的分布

1.1.1 世界河流分布概况

1.1.1.1 淡水资源

水是生命之源,地球因为有水,万物才能蓬勃生长。水资源虽然丰富,但能为人类所用的甚少。地球表面 71% 为水所覆盖,全球水资源总量为 14.2 亿 km^3 ,而这些水资源中 98% 是海洋或内陆海,由于海水含盐度高,既不能作为饮用水,也不能用于耕作及大部分的工业生产。而在仅有的约 2.53% 淡水中,冰川或冰盖占了 77.2% ,地下水占了 22.4% 。因此,能够直接为人类所利用的淡水资源十分稀少。

淡水的主要来源是降雨。每年全球的降雨总量约 50 亿 m^3 ,仅有 20% (约 11 亿 m^3) 到达地面,另外有 65% 通过蒸发回到大气中,剩下的降水或储存在地表河流、湖泊、湿地、水库中,或储存在地下储水层中,或流入地下。

当今人类正面临着淡水资源的两大难题。第一,水量匮乏。2000 年联合国世界水资源开发报告指出,到 2020 年,水的用量将会提高 40% ,其中 17% 以上的水将要用于满足人口增长所引起的需水量增长。世界上 227 条河流中,已经有大约 60% 被堤坝、引流、运河等强烈地或者中等程度地切割,这也引起了淡水生态系统的不良反应。第二,水质下降。无论发展中国家还是发达国家都存在水污染问题,英国 $1/3$ 的生活用水来自受过污染的河流,在美国这一比例还要高一些;马来

西亚的 50 条主要河流中,有 42 条正面临着“生态灾害”;在菲律宾,家用污水量占马尼拉的帕西格河总水量的 60%~70%;中国的 44 个主要城市中,有 41 个城市使用“受到不同程度污染”的水源。

20 世纪以来,国际社会逐渐认识到淡水问题的严重性。1972 年联合国人类环境会议指出:“石油危机之后,下一个危机就是水危机。”1992 年《21 世纪议程》在其第 18 章“保护淡水资源的质量和供应,对水资源的开发、管理和利用采用综合性办法”中专门就水资源的综合开发与管理,水资源评价以及水资源、水质和水生生态系统的保护等做了详尽的建议和规定。1997 年《国际水道非航行利用法公约》是对国际河流生态系统最为有利的保护。2003 年在日本京都召开的第三届世界水论坛大会将国际水资源保护推向高潮,当年也被称为是“国际淡水年”。

1.1.1.2 世界河流的分布

下面简要介绍一下世界主要河流的分布位置以及其价值(见图 1-1):

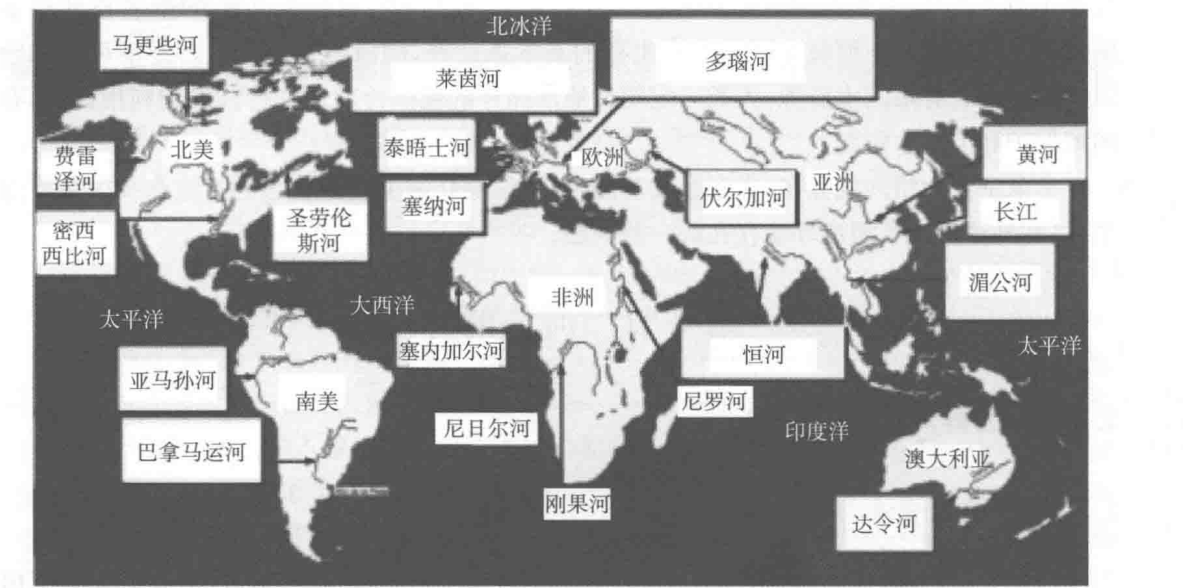


图 1-1 世界主要河流示意图

欧洲西部河网密集,其中著名的河流有莱茵河和多瑙河。莱茵河是西欧平原和中欧平原(波德平原)的界线,以莱茵河为主干形成的西欧航道网,通过运河与易北河、多瑙河相连流经瑞士、法国、德国,在荷兰的鹿特丹注入北海,其水量丰富,航运便利,是德国的“黄金水道”。多瑙河是流经国家最多的河流,具有重要的航运价值,最后在罗马尼亚东部的苏利纳注入黑海。

欧洲东部著名的伏尔加河,是欧洲最长的河流,自北向南流入里海。它是俄罗斯的母亲河,水能资源丰富,建有大型水电站,是俄罗斯主要的内河航道。乌拉尔河与乌拉尔山同为欧洲和亚洲的分界线,以东是西西伯利亚平原,以西是东欧平原,自北向南流入里海。额尔齐斯河,源自我国新疆,流经哈萨克斯坦、俄罗斯,注入北冰洋。西伯利亚地区的三条主要河流,自西向东分别是:鄂毕河、叶尼塞河、勒拿河。它们均是自南向北流动,注入北冰洋,且水量充沛,水能资源丰富,但封冻期较长,初冬或春季常会出现河水泛滥的现象,原因是河流

自低纬向高纬流动,初冬下游较早结冰或初春上游较早解冻都会导致河水泛滥。这一地区河流的中下游纬度较高,气温太低,不适合农业生产(见图 1-2、图 1-3)。



图 1-2 欧洲主要的河流分布示意图

东南亚地区的主要河流自西向东分别是:伊洛瓦底江、萨尔温江(在中国境内名怒江)、湄兰河、湄公河、红河。伊洛瓦底江、萨尔温江注入印度洋,其余注入南海。这些河流与中国西南部的山水相连,形成山河相间、纵列分布的形势。例如在我国西南形成三江并流的景观,即怒江、澜沧江和金沙江在横断山脉间并列流动。这些河流上游流经山区的河段,切割作用明显,形成 V 形河谷,具有丰富的水能资源;下游因泥沙沉积形成肥沃的冲积平原,从而成为人口稠密、农业发达的重要农业区。

南亚主要河流有印度河与恒河。印度河,源于我国的西藏,向西南流经南亚西部的干旱地区,注入阿拉伯海;河口在北回归线和东经 70°附近,形成印度河平原,是巴基斯坦重要的灌溉水源。恒河,源于喜马拉雅山南坡,向东南流经印度和孟加拉国,注入孟加拉湾;河口城市为孟加拉国的首都达卡(北回归线和东经 90°),形成恒河平原;其支流在我国为雅鲁藏布江(水能资源仅次于长江,全国第二,国界以外的称为布拉马普特拉河);流经区域为热带季风气候,汛期出现在夏季 7 月左右。

中亚,位于大陆内部,水气来源少,终年受大陆气团的控制形成温带大陆性气候,与之相对应的自然带为温带草原和温带荒漠。河流为中亚地区的工农业、畜牧业的发展提供了水源,它们多为内流河,而湖泊多为咸水湖。锡尔河和阿姆河是中亚的内流河,最终注入咸海,由于降水量减少、蒸发量加大以及灌溉等原因,使注入咸海的水量不断减少,导致咸海盐度升高,河面面积不断减小,丧失调节气候的功能,部分流域生态环境恶化。

西亚主要有阿拉伯河、幼发拉底河和底格里斯河,冲积形成的美索不达米亚平原是西亚的绿洲农业区。这些河流均注入波斯湾,河口附近的城市为巴士拉(见图 1-3)。



图 1-3 亚洲主要的河流分布示意图

非洲主要的河流有尼罗河、赞比西河和刚果河。尼罗河全长 6 600 km 左右,是世界第一长河,发源于非洲东部高原,自南向北注入地中海,在下游形成尼罗河谷地和河口三角洲,河口城市为开罗。其支流为白尼罗河和青尼罗河,青尼罗河流经热带草原气候区,每年6~10 月定期泛滥,10 月洪水消退形成肥沃的土壤,人们栽种棉花、小麦、水稻、枣椰,形成“绿色走廊”。尼罗河三角洲有肥沃的土壤、便利的灌溉设施、充足的光热条件,尤其适合埃及著名的出口商品长绒棉的生长。由于建阿斯旺大坝,形成了巨大的水库——纳赛尔湖,从发电、防洪、灌溉、养鱼、航运、旅游等多方面获得巨大效益,但同时也使得入海泥沙大大减少,造成了尼罗河三角洲受到侵蚀及血吸虫病扩散等不良后果。赞比西河,位于南半球,流经区域是热带草原气候,每年在夏季泛滥(北半球的冬季)。刚果河,源于南半球,先向北流经赤道进入北半球,后折向西南回到南半球。流经地区是热带雨林气候,水量很大(见图 1-4)。

北美主要的河流为密西西比河。密西西比河是世界第四长河,位于北美的中央平原,下游形成冲积平原。流经地区的中下游为亚热带湿润性气候(亚热带季风气候),汛期出现在夏季,自北向南注入墨西哥湾,河口城市为新奥尔良。该地区利用密西西比河廉价而便利的水运条件发展钢铁、汽车、化学等产业,形成东北部工业区。该区域也是美国资本主义发展最早的地方,因而污染状况较为严重(见图 1-5)。

南美洲主要的河流有亚马孙河和巴拉那河。亚马孙河,发源于安第斯山脉,流经赤道地区,自西向东流入大西洋,冲积形成亚马孙平原——世界最大的平原。亚马孙河是世界水量最大、流域面积最广的大河,全长 6 400 多 km,仅次于尼罗河,是世界第二长河,而流量却是尼罗河的 50 倍以上。流域内是世界最大的热带雨林气候区,全年降水丰富,干流水量极大;流域内平原广阔,水流平缓,航运便利。但平原上密布着原始热带雨林,人烟稀少,所以航运

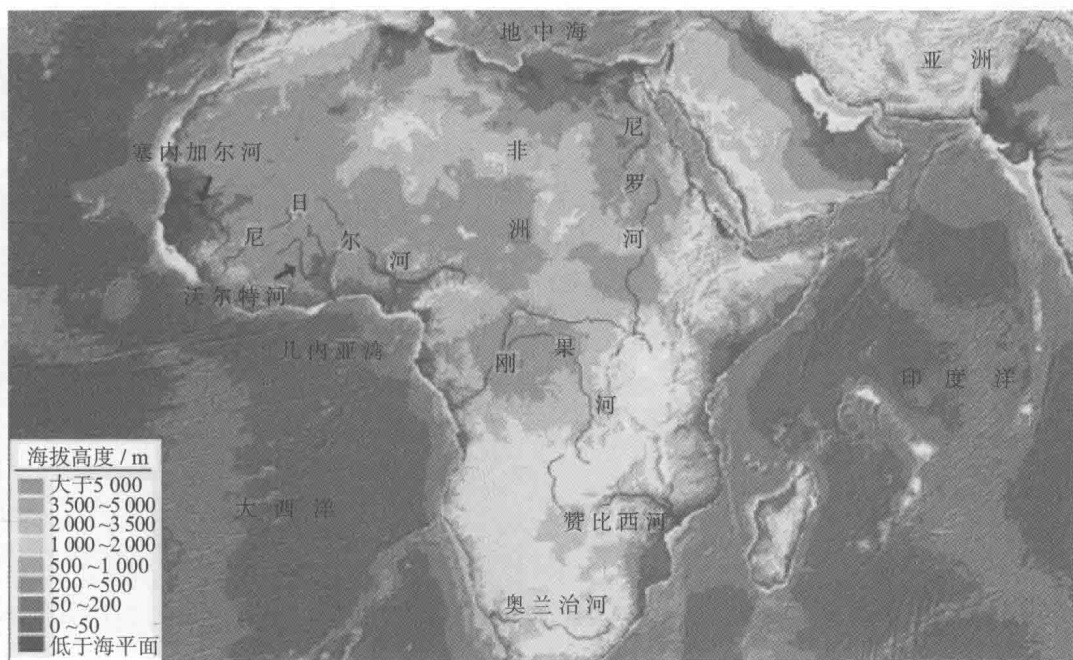


图 1-4 非洲主要的河流分布示意图

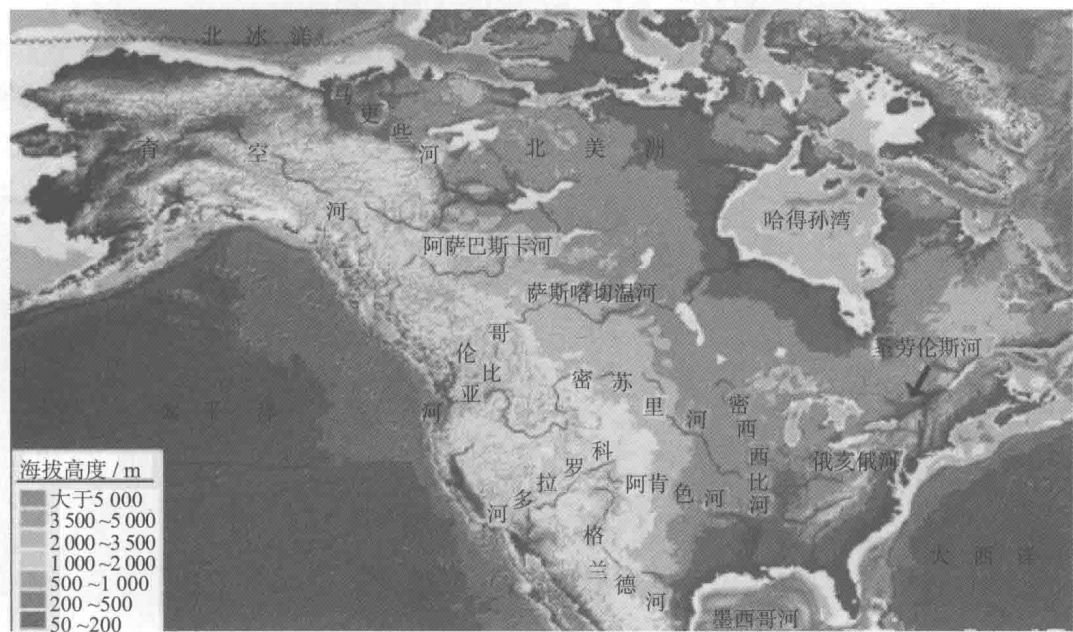


图 1-5 北美洲主要的河流分布示意图

条件好,而航运价值低;水量丰富而水能资源不丰富。巴拉那河,发源于巴西高原,向南流经巴拉圭、阿根廷,在阿根廷的首都布宜诺斯艾利斯附近注入大西洋。巴拉那河下游河段又称拉普拉塔河,形成拉普拉塔平原。河流从巴西高原流至拉普拉塔平原,水能资源丰富,巴西和巴拉圭共同建设了目前世界上第二大水电站——伊泰普水电站。巴西高原的河流水能资源丰富,因而巴西 90% 的电力都是靠水力发电的(见图 1-6)。

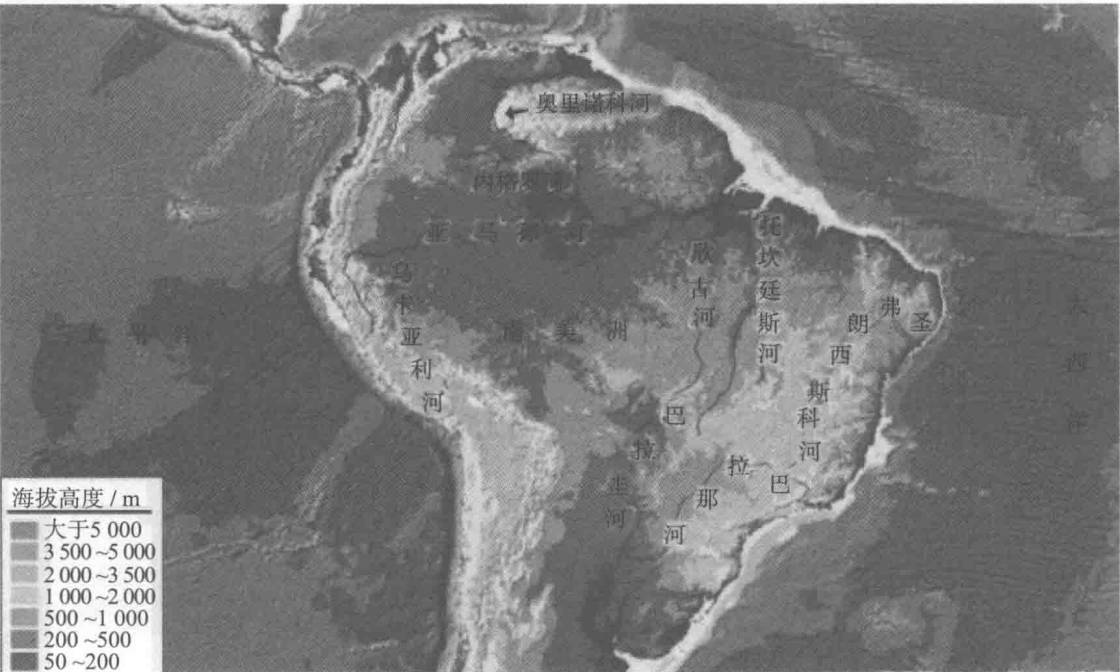


图 1-6 南美洲主要的河流分布示意图

澳大利亚主要的河流为墨累河,从大分水岭西侧发源,向东南注入印度洋,河口城市为阿德莱德,北部支流为达令河。墨累—达令河盆地是澳大利亚的混合农业区,汛期出现在夏季(北半球的冬季)(见图 1-7)。

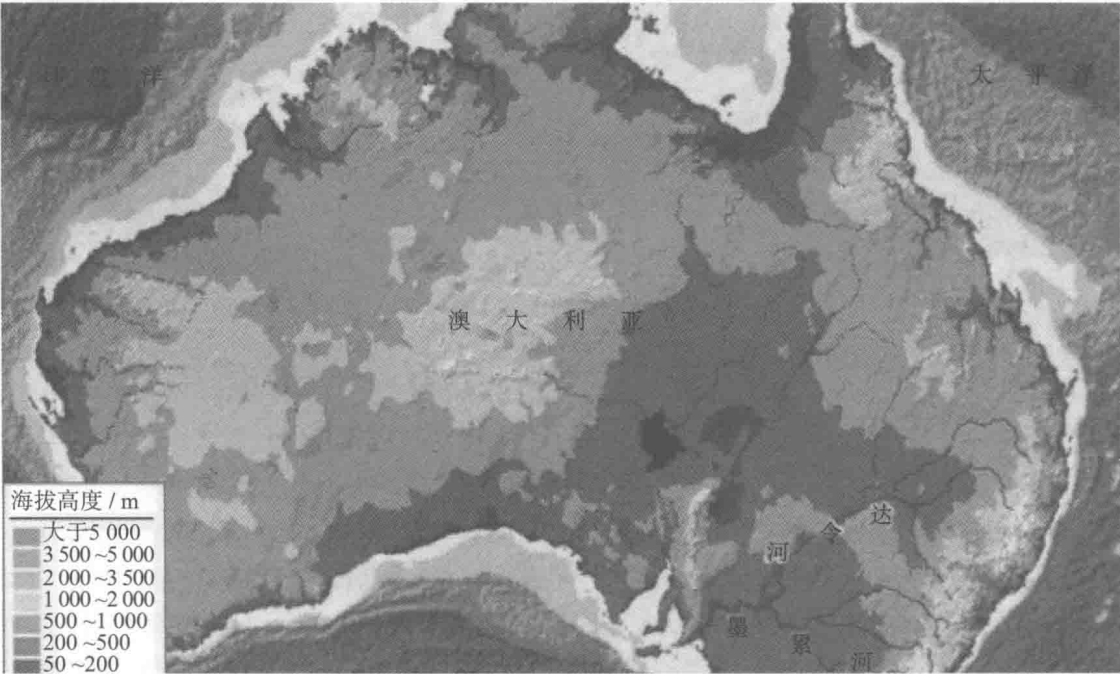


图 1-7 澳大利亚主要的河流分布示意图