



荷兰境内的莱茵河

——一条被控制的河流

[荷] WILFRIED TEN BRINKE 著
江恩惠 李军华 马颖 万强 译
孙凤 孙扬波 郭光明 校



黄河水利出版社

黄河水利委员会治黄著作出版资金资助出版图书

The Dutch Rhine

荷兰境内的莱茵河

——一条被控制的河流

WILFRIED TEN BRINKE 著

江恩惠 李军华 马颖 万强 译

孙凤 孙扬波 郭光明 校

黄河水利出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

荷兰境内的莱茵河：一条被控制的河流 / (荷) 柏林克
(Brinke, W.T.) 著；江恩惠，李军华，马颖，万强译.
郑州：黄河水利出版社，2009.3

ISBN 978-7-80734-555-8

I. 荷… II. ①柏… ②江… ③李… ④马… ⑤万…
III. 莱茵河－概况－荷兰 IV. TV885.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 194942 号

出版社：黄河水利出版社

地址：河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码：450003

发行单位：黄河水利出版社

发行部电话：0371-66026940 传真：0371-66022620

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位：河南省瑞光印务股份有限公司

开本：787 mm × 1 092 mm 1/16

印张：14.5

字数：260 千字

印数：1—1 000

版次：2009 年 3 月第 1 版

印次：2009 年 3 月第 1 次印刷

定 价：120.00 元

译者序

黄河下游游荡性河道系统整治始于20世纪70年代,在历代治黄工作者不断探索与实践的过程中逐步形成了一套基本适合黄河下游游荡性河道来水来沙特性、河床演变特点的“微弯型”整治方案。“微弯型”整治方案采用“以坝(丁坝)护岸,以弯导流”的工程布局方式,初步达到了稳定河势、限制游荡范围的目的。20世纪90年代以后,受全球性气候变化和人类活动的强烈影响,黄河下游来水来沙条件发生了明显改变,进入了典型的枯水系列,游荡性河段的河势发生了相应的调整变化,上提下控现象频繁发生,加之大部分工程建设还不够完善(工程长度明显不足、个别工程方位布局不合理等),使得河道整治工程对河势的控导作用大为削弱;在工程布点未完成和工程配套性相对较差的河段,河势变化更大。特别是小浪底水库运用以后,极大地改变了进入下游的流量过程及水量分配,中小洪水持续的时间更长,现行河道整治工程对未来水沙条件是否适应、小浪底水库运用后游荡性河道进一步整治的工程布局方案要否调整,成为了人们关注的焦点,并由此引发了全国范围内的大讨论。由于问题的复杂性,黄河水利委员会(以下简称黄委)对此高度重视,成立了由黄委主任李国英为组长的黄河下游游荡性河段河道整治研究项目领导小组,由黄委规划计划局、黄河水利科学研究院、防汛办公室、总工程师办公室、国际合作与科技局、河南黄河河务局和黄河勘测规划设计有限公司等单位技术骨干组成的项目工作组,于2002年开始系统地研究了小浪底水库运用以后游荡性河道整治的方案及实施原则。

黄河水利科学研究院河道整治研究团队有幸直接参与此轮长达4年之久的大规模系统研究工作,从黄河游荡性河道河势演变规律与机理研究入手,进而探讨了“河性行曲”、“小水上提、大水下控”等自然现象的理论依据,通过“相位滞后”理论解释了人们自然不自然地利用并实施的现行河道整治工程平面布局方式,等等。世界上的河流千差万别,流域的人文、自然地理、气候特征不同,人们在长期治理的过程中逐步形成了一套适合其自身特点的河道整治方案。江思惠、刘燕等在《河道治理工程及其效用》一书中系统总结了世界上一些著名河流的水文泥沙特征、河道整治方案及布局、相关科学研究、工程实施效果等,发现河道整治采用的整体方案与工程布局、工程结构型式等与河流自身的水文特性、下垫面条件(来沙特性)、人文特点(人们对河流功能的要求等)有着显著的承辅关系。据我们了解,目前典型的河道整治方案有黄河的“微弯型河道整治”,长江及辽河的“就势布弯河(航)道整治”,密西西比河和密苏里河的“就势布弯辅助对口丁坝河(航)道整治”和德国易北河、中国的汉江、荷兰的莱茵河等清水(或含沙量极低的)河流对(错)口丁坝航道整治的典型案例。

大约在2006年10月,也就是河道整治研究课题刚结束不久,偶然一次机会,我从时任黄委国科局局长刘晓燕教授那里看到了Wilfried ten Brinke所著的《The Dutch Rhine-A Restrained River》一书,随手一翻,感到该书的体例格式、编写风格颇为独特,再仔细看来,书中有几个地方与我们的研究内容和结论颇有相似之处,而且它的介绍深入浅出。拿回办公室翻读,我决定把它译成中文,共飨读者。

本书有两条主线,其中第一条主线系统介绍了莱茵河的人文、历史、地质地貌、水文泥沙、河道及河口

海岸河床演变、航道整治以及堰闸在荷兰莱茵河水系管理中的作用等；另一条主线通过自上而下一系列的图片和照片，宛如徐徐打开的一幅生动画卷，展现了一幕幕美丽的自然与人文景观。两条主线清晰明了，为人们多方位展现了一个美丽的低地国家——荷兰和流淌在广阔低地上的莱茵河水系。特别值得一提的是，书中在每一个关键的地方都以插叙的方式，深入浅出地介绍了一些诸如“河流为什么会弯曲”、“螺旋流”等与河流相关的概念解释和理论剖析。如，书中（P51）插叙4.2对“河流为什么会弯曲”的解释颇令人兴奋，这也正是我们为什么在《黄河下游游荡性河段河势演变规律及机理研究》一书中，研究“河性行曲”机理时，要从顺直河道开始讲起的重要原因。国内一些著作中对弯道的形成，都似乎有“因为弯而弯”之意，正像本书所述“这里却存在一个类似先有鸡还是先有蛋的争执问题”。本书的解释与我们的研究结果非常吻合，只是我们在《黄河下游游荡性河段河势演变规律及机理研究》中增加了对此问题的力学探讨。

“The many interventions performed are often made to measure”（P199）（译为：人们对河流采取的许多工程措施经常都是根据具体情况量身定做的）的理念，“dredging remains necessary for shipping, therefore, even for restrained rivers”（P199）（译为：即使对控制性河流来说，疏浚仍必不可少）和“The attention of river managers is not limited to the river between the summer dikes. The winter bed (floodplains) also demands adequate management.”（P199）（译为：河流管理者的职责不能仅限于夏堤之间的河流上，夏堤与冬堤之间的冬季河道（滩区）也需要恰当的管理）等多种措施并行、综合治理河流的思想，都是值得我们借鉴的。

需要说明的是，这本书的原著文本是荷兰语，经H.J.de Vriend教授译成了英文版，本次是以该英文版为基础翻译成中文版的，在语言转换过程中，不免出现力不从心的遗憾，有时互相之间很难找到一个非常贴切的词表述，就采用了意译的方式。翻译过程中，我们注意到以下几点：

（1）书中的地名和河流名称统一采用董哲仁主编的《莱茵河——治理保护与国际合作》一书的译法，以便于读者查阅。

（2）翻译中注重了灵活性。如，书名的副标题“A Restrained River”译为“一条被控制的河流”，第二章的题目“Discharge of rain water and melt water”译为“莱茵河径流情势（降雨和冰雪融水）”，第三章的题目“As sand and gravel bed”根据文中内容译为“河床地质构造”等。

（3）NAP在书中为荷兰国家标准基准面。

（4）“meandering”本书中翻译为“弯曲性河道”。

（5）本书所述堤内、堤外，与黄河正好相反。

（6）原书表2.1数据似有误，为尊重原著，翻译中未对数据改动。

本书的翻译、出版得到了荷兰交通、公共工程和水管理部的授权，已列入中荷政府合作项目，同时得到了黄委国际合作与科技局、黄河水利出版社的大力支持和黄河水利委员会治黄著作出版资金资助；除本书三位校核者外，刘晓燕、赵卫民、王万战、曹永涛、张清等都给予了很多帮助，在此一并致谢。

江恩惠

2009年2月

——蜿蜒在广袤低地中的宽阔河流

一提到荷兰，就会想到荷兰诗人 Marsman 形象的比喻：宽阔的河流在广袤的低地中蜿蜒。事实上，他的诗篇常常被引用来描写这个国家的大河。显然，这些诗篇鲜明地表述了荷兰人对自己国家的看法。雨季时，滩区被淹没，河水在两岸大堤之间漫溢，整个乡野的确就像一条宽阔的河流；然而，在每年的大多数月份里，滩区是干枯的，又是另外一番景象。与世界上那些特大的冲积性河流相比，荷兰境内的莱茵河毕竟相对较窄，河水快速流过荷兰，很快就注入了海洋。

Marsman 的诗中，所描绘的是一次洪水的景象，发生在非常遥远的过去。那时候，河流还没有堤防的约束，可以在乡野里肆意变换流路。1 000 多年以前荷兰的莱茵河比现在更符合 Marsman 所描述的景象。那时，河水流动较慢，但是比我们现在看到的河水流动力大，携带的泥沙数量也多。数千年来，河流不断地把泥沙输送到以前的北海海口，逐渐在那里形成广袤的低洼地带。

荷兰人的祖先开始治理河流的历史可以追溯到中世纪。过去几个世纪对河流的治理，直到今天，形成了对河流非常严格的控制格局，以防止其桀骜不驯的特性带来的严重后果。当然，从另一方面来看，河流系统失去了河流形态和河道演变的自然属性。现在荷兰境内的莱茵河比没有堤防限制的天然状态窄了许多。和以前相比，多年来人们对河道干预的结果，使宽阔的河道逐渐变窄，水流流速逐步增加，河水更快

地流经这个国家，注入海洋。

河流和海洋带来的淤泥、细沙和砂砾，沉积而成的三角洲造就了荷兰，也就是说，荷兰就是这样被“造”出来的。从地表到地下淤积层的变化仍然可以辨别出过去的这种沉积过程，地质学揭示了过去相对活跃的动力过程。一旦堤防修建，河流和海水就被约束在堤防之内，与堤外乡村隔离开来，因此会或多或少地失去塑造（堤外）地貌的作用。而在河流地貌方面，虽然河流已经很大程度地受到约束，但并没完全受到控制。在河流特性显著的两岸堤防之间，细沙和砂砾石的运动仍然非常活跃。本书通过对比河道受限之前的低地变化情况，阐述了堤防内河流的动态演变过程。另外，由于地表以下古河道的历史在一定程度上决定了现代河流的演化进程，因此本书也包含了河流过去和现在有关地质学和河流学的内容。

莱茵河在荷兰境内不是一条单独的河流，而是呈扇形展开的一系列支流水系。河道的形态和地貌是这本书的重点，书中不仅描述了河流本身的地貌特征还描述了它的形成过程。因此，本书的主旨是针对水流运动、泥沙输移和河势演变的相互作用，尽量深入浅出地阐释这些非常复杂的过程，以便人们在关注荷兰河流的同时能够更好地了解这些河流的特性。在各章节中，插入了一系列莱茵河支流河势形态的照片，并特别关注了一些重要的演变过程。这些插入的图片和书后的索引使得这本书更适合作为一本参考书，以便

解答读者意欲了解的有关问题。

本书给出的关于莱茵河河势形态的信息由荷兰交通、公共工程和水管理部 (Rijkswaterstaat) 提供，分别从荷兰内陆水管理和污水处理研究所 (RIZA, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment) 及南荷兰省、林堡 (Limburg) 省和荷兰东部地区的公共工程和水管理部水管理司获得。这本书由内陆水管理和污水处理研究所根据多年研究成果编辑而成，这些研究成果主要是荷兰交通、公共工程和水管理部与荷兰的大学和研究机构合作或委托他们完成，包括代尔夫特 (Delft) 理工大学、屯特 (Twente) 大学和乌得勒支 (Utrecht) 大学，以及代尔夫特水力学研究所 (WL | Delft hydraulics)、荷兰应用地质科学院—国家地质勘测协会 (the Netherlands Institute of Applied Geoscience-National Geological Survey and Alterra)。我们要特别感谢 H.J. de Vriend 教授（代尔夫特理工大学）和 H. Middelkoop 博士（乌得勒支大学）对全文的认真校对和对内容的注释与介绍，感谢 J.L. Best 教授（英国利兹大学）和 P.Y. Julien 教授（美国科罗拉多州立大学）对本书从荷兰文翻译到英文的校对。作者对许多同事提出的宝贵意见深表谢意。

鸟瞰略图

荷兰境内莱茵河各支流的演变过程均体现了河流形态是自然过程和人类活动影响相结合的产物。从航空照片可以很清楚地看出：河流自然演变过程和人类影响的作用给这些河流打上了独特的烙印。因此了解荷兰境内莱茵河最好的方法是通过鸟瞰图纵览从德荷边界到自北海至艾塞尔湖(IJsselmeer)的整个河口地区。

鸟瞰图还包括99张系列照片，它构成了本书12个章节以外的另一条故事主线。在这条主线中我们沿河行走，从靠近德荷边界的Lobith开始，依次经过博文莱茵河(Bovenrijn)、瓦耳河(Waal)、潘纳登运河(Pannerdensch)、下莱茵河—莱克河(Nederrijn-Lek)和艾塞尔河(Ijssel)。地图上的数字编号代表书中照片的顺序。这些照片拍摄的情况各不相同，大部分是1993年、1995年洪水期间和2003年夏季枯水期拍摄的。





目 录

前 言

鸟瞰略图

第一章 堤防和丁坝的控制 1

莱茵河现状 1

莱茵河的历史变迁 2

2000 年的莱茵河:仍被约束? 10

第二章 莱茵河径流情势(降雨和冰雪融水) 14

莱茵河流域概况 15

年内流量变化 15

年际流量变化 15

流量调节 20

第三章 河床地质构造(砂砾石河床) 26

更新世时期的荷兰莱茵河河床 27

全新世时期的荷兰莱茵河河床 29

第四章 低地国家的莱茵河河道 38

鸟瞰:河流形态 39

河床演变 41

长期河流形态调整与平衡 50

河道演变:两岸堤防之间的自由运动 56

第五章 输水输沙特性及河床演变 60

泥沙 61

泥沙输移理论 64

河流监测 68

含沙水流:莱茵河悬移质泥沙输移 73

河床变动:莱茵河推移质泥沙输移 78

细泥沙运动:夏季河床上的沙波运动 80

年输沙量 84

数学模型的应用 89

第六章 河床侵蚀趋势与原因 98

存在的问题 99

20 世纪 30 年代以来的重建工程 99

原因：自然因素和人类活动 107

趋势：过去与未来 112

泥沙来源组成 115

第七章 洪水：水流作用力与河流反作用 118

洪水预报 119

水流作用力 119

洪水对粗沙和砂砾的输移作用 119

洪水对粉沙的输移作用 121

床面沙波 121

河流形态变化 131

滩面的粗沙和粉沙 132

第八章 丁坝塑造的两岸沙滩 136

莱茵河支流上的丁坝：以瓦耳河为例 137

涡流，坝后冲刷坑图谱与小型涡街 138

沙滩形态与水流动力特性 139

行船引起的船行波和船行水流 141

行船引起的冲刷过程 142

冲刷对船只通过的影响 149

洪水对沙滩泥沙的补给 154

航运影响与洪水补给之间沙滩沙量的平衡 159

第九章 自然堤的形成与泥沙搬运 162

洪水期自然堤的形成 163

风对丁坝坝档间泥沙颗粒的搬运作用 164

第十章 河流分汊 170

全新世时期河流分汊的自然过程 171

中世纪以来的河流分汊 172

现实状况：控制流量分配 175

分汊点的河流形态演变过程 176

河床底部土层的三维图像 182

第十一章 砂砾、粗沙和粉沙

从德国到北海的输移 184

莱茵河水系的输沙平衡：

支流的输沙总量 185

莱茵河和默兹河下游河道的泥沙淤积 187

莱茵河和默兹河河口的挖沙疏浚 192

第十二章 管理和控制限制性河流 198

河流管理者的职责 199

疏浚：泥沙持续循环 204

河道扩宽：防御特大洪水 207

滩区管理：自然景观和防洪安全的和谐 216

莱茵河现状

荷兰的四条大河: 爱姆斯河 (Ems)、斯凯尔特河 (Scheldt)、默兹河 (Meuse) 和莱茵河 (Rhine), 都分别有自己的河口。爱姆斯河和斯凯尔特河不流经荷兰国内, 但流入国境边界的潮汐盆地 (见图 1.1)。默兹河和莱茵河流经荷兰, 荷兰正是这两条河流所形成的三角洲。莱茵河是两条河流中较大的一条, 最大洪峰流量约是默兹河的 5 倍, 年均流量约是默兹河的 10 倍。

莱茵河发源于瑞士, 全长 1 320 km, 在瑞士境内属于峡谷性河道, 水流湍急, 其水量主要依靠阿尔卑斯山脉的冰川补给。依靠雨水和冰雪融水补给莱茵河, 最终汇入北海, 流域面积为 18.5 万 km², 其中在荷兰境内的流域面积为 2.5 万 km²。莱茵河在 Lobith 流入荷兰, 该站多年平均流量为 2 300 m³/s。

莱茵河在德国—荷兰边界以上是一条单股河道的河流, 其水量主要依靠支流补给, 莱茵河流入荷兰后发育成一系列支流水系, 呈扇形展开。从国境线向下游

10 km 是第一个分汊点 (Pannerdensch kop), 分流为潘纳登运河和瓦耳河 (wall)。第二个分汊点 (IJssel kop) 在第一个分汊点下游 10 km 处, 在此分流为下莱茵河 (Nederrijn) 的潘纳登运河和艾塞尔河 (IJssel)。向下游更远处, 下莱茵河 (Nederrijn) 更名为莱克河 (Lek)。再往下游, 莱克河和瓦耳河在鹿特丹附近汇合, 形成多条水道入海之势, 这就是人们所熟知的莱茵河—默兹河的北部河口。艾塞尔河流入与艾塞尔湖相连的凯特尔湖 (Ketelmeer)。

瓦耳河是莱茵河的最大支流, 河宽一般为 260~350 m, 河水为自然流动状态 (无拦河堰), 其流量大约占荷兰莱茵河流量的 65%。瓦耳河是荷兰内陆航运最重要的通道, 也是连接荷兰港口和德国内陆的纽带。与瓦耳河相比, 下莱茵河—莱克河和艾塞尔河要

图 1.1
荷兰的莱茵河和默兹河支流系统, 以及爱姆斯河和斯凯尔特河的河口



窄许多，河宽分别为 100~220 m 和 80~170 m，过流流量也相对较小。在下莱茵河—莱克河有三个拦河堰，它们只有在莱茵河发生大洪水时才全部开启。在莱茵河来水较小时，它们部分或全部关闭，河水流经艾塞尔河，以保证航运有足够的水深并且给艾塞尔湖补给充足的淡水。瓦耳河、下莱茵河—莱克河和艾塞尔河的流量比一般为 6:2:1。

总之，莱茵河在荷兰有很多条支流，它不是单独的一条河流，而是一个河网水系。

莱茵河的历史变迁

像世界许多大河一样，经过长时间的演变，莱茵河已受到人类的严重影响。表 1.1 按年代顺序排列了人们对莱茵河在荷兰境内各支流所采取的主要治理措施。早在中世纪，低洼地区的居民就积极地采取措施来控制河流，当时的措施主

鸟瞰图 1

博文莱茵河

荷兰小学生都知道莱茵河在 Lobith 流入他们国家，但这并不确切。在该照片上可以看到，堤防后面的 Spijk 村庄才是莱茵河进入荷兰的起点



表 1.1
按时间顺序排列的自中世纪
以来荷兰在莱茵河各支流采
取的主要工程措施

年份	主要工程措施
1150~1350	筑堤
1570~1600	开挖默兹河-瓦耳河的第二连接水道 (Voornsche 水道)
1599	开挖 kanaal van St.Andries
1595~1680	在莱茵河分汊点建造丁坝
1639	在 Hurwenen 对瓦耳河裁弯取直
1649	在巴瑟斯特对瓦耳河裁弯取直
1655	在 Waardenburg/Zaltbomme 对瓦耳河裁弯取直
1700	莱茵河-瓦耳河和莱茵河-艾塞尔河支流工程
1707	打开潘纳登运河
1727~1734	Heerewarden 和 Voorn 的默兹河-瓦耳河的连接工程截流
1775~1776	在 Bijlandsche Waard 对瓦耳河裁弯取直
1775	潘纳登运河通水流入下莱茵河和艾塞尔河的新支流
1782	改善 Pannerdensch kop 的分汊点
1850~1870	开挖新默而维德河
1850~1888	博文莱茵河、瓦耳河、潘纳登运河、下莱茵河-莱克河进行第一次河道整治
1850~1885	博文莱茵河与艾塞尔河进行河道整治
1856	建造 kanaal van St.Andries 水道堰闸
1868	打开 新瓦特维格河 (鹿特丹)
1869~1885	整治艾塞尔河河口
1874	下莱茵河 Wijk bij Duurstede 裁弯取直
1885~1904	在 Heerewarden 分离默兹河和瓦耳河
1888-1890	博文莱茵河、瓦耳河、潘纳登运河、下莱茵河-莱克河进行第二次河道整治
1905~1906	在阿纳姆对 Nederrijn 河的河湾进行调整
1912~1916	瓦耳河进行第三次河道整治
1914~1932	整治艾塞尔河河口
1928	瓦耳河第三次河道整治完工
1929~1934	潘纳登运河、下莱茵河-莱克河进行第三次河道整治
1952	建修与莱克河相连的阿姆斯特丹-莱茵河运河
1953	修整潘纳登运河
1954	在 Doesburg 对艾塞尔河裁弯取直
1954~1967	在下莱茵河-莱克河建造三座拦河堰
1968	艾塞尔河 Rheden 裁弯取直
1969	艾塞尔河 De Steeg 裁弯取直
1970	Haringvliet 堰截流
1997	新瓦特维格河防浪堤完工

要是加高加固堤防，其目标很明确：不让洪水漫过堤防淹没村庄。到了16世纪末，河道已适应了支流和渠道的河流边界条件，此时采取措施主要是为了增大流量以满足航运条件。例如1599年开挖 Kanaal van St.Andries（St.Andries 渠道）作为连接默兹河和瓦耳河的通道，潘纳登运河也已经有300年历史了，由此可见人为控制河流由来已久。

早在1000年以前，荷兰境内的莱茵河是可以自由流动的。高水位时，携带泥沙和淤泥的水流冲破堤坝，淹没周围地区。河水漫滩以后流速迅速减小，于是粗颗粒泥沙便沉积在距离主槽不远的滩地上，而使得滩唇随着时间推移逐渐抬高，于是形成了一道沙埂（自然堤），直到今天，其中的许多沙埂仍能辨认出来。沙埂后面的地势较低，较粗的沙粒在沙埂上沉积落淤之后，水流携带着悬沙进入这些低洼地区，并在此停滞沉积，形成河流低洼地区的黏性土层。

鸟瞰图2

博文莱茵河

在过去的几个世纪里，博文莱茵河 Lobith 站的水位每天都有记录。河边竖立的标记牌，记录了这期间的最高和最低水位。1926年持续高水位造成洪灾，淹没了堤防后边的地区。莱茵河最早的水位信息可以追溯到1772年（在德国科隆）

Hoogte van deze dijk

NAP + 19.10 m

Hoogst bekende waterstand (1926) NAP + 16.93 m

Laagst bekende waterstand (1991) NAP + 7.23 m

Aangeboden aan de gemeente Rijnwaarden door de
Rijkswaterstaat 1992

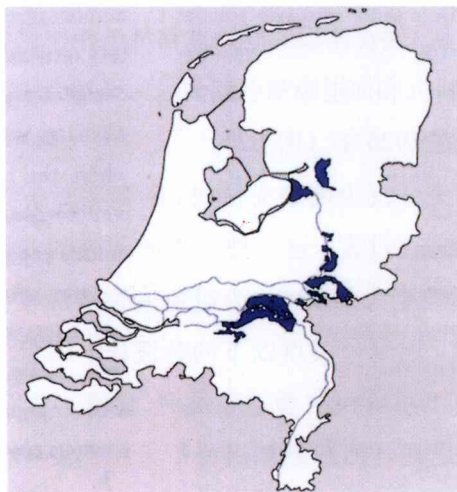


图 1.2
1926年荷兰境内主要河流发
生洪水淹没的地区

沙埂地势相对较高,以至于高水位时也上不了水,洪水自然地流到地势较低的地区。因此,这些高高的沙岗曾经是人们宅居的最佳场所,这就是几乎所有古城镇和村庄的中心都建在这些高地上的原因。

公元前800年,堤防开始建造前,现在荷兰所在的地区大约有100 000居民。到了中世纪,随着农业的集约化发展,森林被大量砍伐,人口快速增长,人们开始逐步建造堤防来保护居民区和农田。高水位时,堤防阻挡河水逼其流到其他地方,以至于在堤防相对薄弱的地方极易形成高水位,由于开挖沟渠排水,使得河流流经的低洼地带甚至变得更低。像风车和提灌站这些新技术的引入使得这种排水系统不断改善。另外,上游农业灌溉水迅速地排入河流也增加了河流不稳定的因素。这一系列的效应,使得人们不可避免地需要不断地修建堤防。很多地区在采取了这些最初的措施以后却导致了其他地区洪灾危险的增加,这样就需要更大范围地约束河流来加强对它的控制。14世纪过后,堤防几乎遍及了整个河流区域。随后这些堤防被加固加高,相互连接形成了完整的受堤防控制的河流。这些控制不仅仅是堤防,还有丁坝、弯道裁弯取直、开挖运河和扩大河道断面。

过去河流中出现流冰时,流冰在浅水区停留,形成所谓的冰坝,坝后水流壅塞而经常导致堤防决口。尽管冰坝是中世纪后期决堤的主要原因,但由于几十年

以来水温的升高,现在冰坝的危险性和从前相比已大大降低。当然,水温的升高也与冷却水的排入和河道束窄引起的水深增加有关。荷兰最近一次因堤防溃决造成的洪灾发生在1926年(图1.2)。

当一条河流分汊为两条支流时,流量在两条支流之间的分配并不是恒定不变的。特别是在过去,这往往会引起河流的安全问题,因为支流必须应对比堤防设计标准更大的洪水。为避免这种情况发生,应采取相应的工程措施使其稳定泄流,控制分汊点以下的分流比。18世纪,修建了连接博文莱茵河和艾塞尔河—下莱茵河的潘纳登运河,建造了很多附属工程使得流量分配得以稳定。特别是瓦耳河和默兹河交汇处也需要控制下游流量,这些河网水系

鸟瞰图3

博文莱茵河

在2003年干旱的夏季,Lobith的博文莱茵河水位比20世纪的最低水位还要低。因此新的最低水位代替了从前的记录。事实上,2003年的流量并不是20世纪最小的,因为过去一百年间河床在不断下切(见第六章),现在比20世纪更容易出现低水位,甚至较大流量时,水位也会较低

