

陆德福 主编

世界江河

防洪与
治理

(下册)

SHIJIE

JIANGHE

FANGHONG YU ZHILI



黄河水利出版社

世界江河防洪与治理

(下 册)

陆德福 主编

黄河水利出版社

目 录

下册

第三部分 世界江河防洪与治理实例

第十四章	尼罗河	(1)
第一节	河流概况	(1)
第二节	河流的洪水、洪水特征与防洪体系	(2)
第三节	河流的综合开发利用	(3)
第四节	河流洪水早期预警系统	(7)
第十五章	亚马孙河	(9)
第一节	河流概况	(9)
第二节	河流洪水	(9)
第三节	河流水资源开发利用简况	(12)
第十六章	长江	(13)
第一节	河流概况	(13)
第二节	洪水灾害及防治	(14)
第三节	21 世纪流域的治理与开发	(23)
第十七章	密西西比河	(29)
第一节	河流概况	(29)
第二节	河流洪水	(32)
第三节	近期洪水影响及未来洪水管理	(34)
第四节	流域防洪与治理	(38)
第五节	开发治理的基本经验及存在的主要问题	(53)
第六节	21 世纪洪泛区管理目标	(61)
第十八章	黄河	(67)
第一节	河流概况	(67)
第二节	黄河的洪水灾害及防治	(73)
第三节	21 世纪黄河的治理与开发	(101)

第十九章	巴拉那—拉普拉塔河	(110)
第一节	河流概况	(110)
第二节	河流洪水与防治	(111)
第三节	河流水资源综合开发利用	(116)
第二十章	澜沧江—湄公河	(118)
第一节	河流概况	(118)
第二节	河流洪水与防治	(120)
第三节	水资源综合开发利用情况	(123)
第二十一章	刚果河	(125)
第一节	河流概况	(125)
第二节	河流洪水	(125)
第三节	河流水资源及开发	(126)
第二十二章	伏尔加河	(128)
第一节	河流概况	(128)
第二节	河流洪水与防治	(129)
第三节	水资源综合开发利用	(129)
第四节	流域内水资源保护的现状与问题	(133)
第五节	开发治理经验及存在的主要问题	(134)
第六节	治理发展方向、发展规划及主要措施	(141)
第二十三章	叶尼塞河	(143)
第一节	河流概况	(143)
第二节	河流洪水与防治	(143)
第三节	水资源综合开发治理	(144)
第二十四章	雅鲁藏布江—布拉马普特拉河	(150)
第一节	河流概况	(150)
第二节	河流洪水与防治	(152)
第三节	河流水资源综合开发利用	(154)
第二十五章	多瑙河	(157)
第一节	河流概况	(157)
第二节	河流洪水与防治	(157)
第三节	水资源综合开发利用	(160)

第四节	流域水资源和生态环境的保护	(161)
第二十六章	恒河	(163)
第一节	河流概况	(163)
第二节	洪水灾害与防治	(163)
第三节	水资源综合开发治理	(168)
第二十七章	阿姆河	(170)
第一节	河流概况	(170)
第二节	河流洪水、防洪治理、水资源开发利用及生态环境问题	(172)
第三节	河流开发治理经验及对黄河治理开发的启迪	(177)
第四节	河流未来发展方向、发展规划及主要措施	(180)
第二十八章	科罗拉多河	(183)
第一节	河流概况	(183)
第二节	河流防洪与治理开发	(186)
第三节	河流未来发展方向和规划	(199)
第四节	科罗拉多河治理开发的启示与借鉴	(205)
第二十九章	田纳西河	(214)
第一节	河流概况	(214)
第二节	河流防洪与治理开发	(224)
第三节	流域开发治理的经验及教训	(238)
第四节	河流未来发展方向和规划	(242)
第五节	河流治理开发的启示与借鉴	(247)
第三十章	莱茵河	(253)
第一节	河流概况	(253)
第二节	河流洪水	(253)
第三节	河流防洪措施与管理	(254)
第四节	水电资源开发及水污染和防洪治理的国际合作	(261)
第三十一章	罗纳河	(263)
第一节	河流概况	(263)
第二节	河流洪水	(264)
第三节	河流综合治理开发特点及经验	(264)
参考文献	(270)

第三部分 世界江河防洪与治理实例

第十四章 尼罗河

第一节 河流概况

尼罗河位于非洲东北部,是一条国际河流,也是世界第一长河。它发源于赤道南部东非高原上的布隆迪高地,干流流经布隆迪、坦桑尼亚、卢旺达、乌干达、苏丹和埃及等国,最后注入地中海。支流流经肯尼亚、埃塞俄比亚和刚果民主共和国、厄立特里亚等国的部分地区。干流全长 6 670km,是世界流程最长的河流,流域面积约 287 万 km^2 ,占非洲大陆面积的 1/9 多。入海口处年平均径流量为 810 亿 m^3 。

苏丹的尼穆莱以上为上游河段,长 1 730 km。从尼穆莱至喀土穆为尼罗河中游河段,长 1 930km,称为白尼罗河,最大支流青尼罗河在喀土穆下游汇入。白尼罗河和青尼罗河汇合后称为尼罗河,属下游河段,长约 3 000km。尼罗河穿过撒哈拉沙漠,在开罗以北进入河口三角洲,在三角洲上分成东西两支注入地中海。

尼罗河自苏丹的喀土穆至埃及的阿斯旺河段为沉积岩区,河谷狭窄,有 6 处瀑布,蕴藏有丰富的水力资源。埃及 1902 年建成了老阿斯旺水库,1970 年在老阿斯旺水库上游 7km 处建成坝高 111m 的阿斯旺高坝,形成一个巨大的人工湖泊,命名为纳赛尔水库。阿斯旺以下,河谷展宽,至纳贾哈马迪一带河宽约 16km。尼罗河下游分成许多支流流入地中海,各支流形成的尼罗河三角洲平原面积为 2.5 万 km^2 ,地势平坦,河渠纵横。

尼罗河上游地处赤道附近,年降水量高达 1 500mm 左右,至苏丹北部和埃及境内,年降水量减至 250 ~ 50mm。尼罗河中下游左侧,邻接撒哈拉沙漠,降水稀少,空气干燥,蒸发强烈。河水流经此段损失很大,年平均入城海水量 810 亿 m^3 。

尼罗河的全部水量中,60% 来自青尼罗河,32% 来自白尼罗河,剩下 8% 来自阿特巴拉河。但洪水期和枯水期有很大变化。洪水期时,尼罗河水量中青尼罗河占 68%,白尼罗河占 10%,阿特巴拉河占 22%;枯水期时,尼罗河水量中青尼罗河下降为 17%,白尼罗河上升到 83%,而阿特巴拉河此时断流,无径流汇入。

尼罗河年输沙量约为 8 500 万 t,其中 5 800 万 t 输入大海,其余 2 700 万 t 经灌渠落淤田间。

尼罗河的主要支流有青尼罗河和阿特巴拉河。青尼罗河是尼罗河的最大支流,全长 1 700km 左右,流域面积为 32.5 万 km^2 ,其来水量约占尼罗河干流总补给量的 4/7,发源于海拔 2 000 ~ 3 000m 的埃塞俄比亚高原。青尼罗河在喀土穆多年平均径流量为 520 亿 m^3 ,每年 7 ~ 10 月为洪水期,洪峰出现于 8 月底,1 ~ 6 月为枯水期。洪水期流量为枯水期的 60 倍。据水文资料记载,该河历史上最大流量达 10 900 m^3/s ,最小流量仅 50 m^3/s 。

阿特巴拉河是尼罗河最后一条支流,它在喀土穆省北部 320km 处汇入尼罗河,其来水量

占尼罗河总水量的 1/7,同青尼罗河一样发源于埃塞俄比亚高原,并流经高原的西北部。河长 1 120km,年平均径流量为 120 亿 m^3 ,为季节性河流,每年 1~5 月河床干涸,汛期集中在 7~9 月,8 月流量最大,达 2 037 m^3/s 。河水暴涨暴落,流量季节变化比青尼罗河更大。

尼罗河流域地表径流年际变化很大,有丰水年和枯水年之分。据记载,1978 年曾达 1 510 亿 m^3 ,而 1913 年仅 420 亿 m^3 。就流量而言,1878 年 9 月最大洪水流量达 13 500 m^3/s ,1922 年 5 月最小枯水流量仅 275 m^3/s 。

尼罗河是一条多泥沙河流,泥沙主要来自青尼罗河。埃及阿斯旺的多年平均输沙量为 1.34 亿 t,平均含沙量约 1.6 kg/m^3 ,最大可达 5~6 kg/m^3 。

第二节 河流的洪水、洪水特征与防洪体系

一、洪水及洪水特征

在阿斯旺高坝建成之前,尼罗河的大洪水一直是沿河人民面对的破坏性灾害。尼罗河发大水时,水位一般都高出堤防后面的地面 1~3.5m,沿河人民生活 在堤防保护之下,常受洪水威胁,每年为维护堤防所需的费用和汛期防汛抢险的劳工,成为沿河人民的沉重负担,堤防一旦溃决,又会造成严重的生命和财产损失。在 1860~1880 年的 20 年中,就有 6 次大洪水造成三角洲支流堤防严重溃决,造成巨大生命和财产损失。20 世纪中尼罗河又发生 10 次以上大洪水,例如,1975 年 2 月,中东发生大洪水,埃及尼罗河上游暴雨成灾,15 人死亡,1.2 万人无家可归,暴雨洪水淹没了 405 hm^2 的土地,冲毁了尼罗河沿岸开罗和阿斯旺之间 20 多个村庄。

1988 年青尼罗河洪水造成 90 多人死亡,150 多万人无家可归。

1994 年 11 月 2~6 日,埃及南部持续 5 天的暴雨引发了尼罗河沿岸大范围的洪水。艾斯尤特省因洪水被迫宣布处于紧急状态,索哈杰省因洪水使 5 万多人撤离。在亚西乌特省的德伦卡,洪水毁坏了 200 多间房屋和 120 多所学校。据不完全统计,此次洪水造成 90 多人死亡,经济损失 5 亿多美元。同时,由于雷电交加,埃及南部的一个加油站被雷电击中,引起大火,造成 490 多人在火灾中丧生。

1996 年尼罗河发生了洪量达 1 300 亿 m^3 的特大洪水,由于阿斯旺大坝的拦蓄,才未造成大洪灾。

尼罗河洪水的特征主要是一年一度的洪水,洪水主要来自青尼罗河与阿特巴拉河。在一般汛期,2/3 洪水来自青尼罗河,1/3 来自阿特巴拉河。

另一特点表现在青尼罗河与白尼罗河之间的关系上,当青尼罗河迅速涨水时,往往顶托白尼罗河的洪水,只有当前者涨势减缓时,后者的流量才开始增加,青尼罗河洪峰逐渐消退,白尼罗河的流量就逐渐增加。青尼罗河的这种影响,使白尼罗河成了它的一个天然水库。

二、防洪体系

(一)两岸堤防

尼罗河两岸堤防是该河防洪体系的主要组成部分。自古以来,埃及人民就在尼罗河两

岸全线修起防洪大堤。从开罗到阿斯旺,尼罗河干流堤长 900 多公里,开罗以下顿希德和杜姆亚特两条河流上修堤 200 多公里。尼罗河干支流大堤长约 2 000km,保护范围约 182 万 hm^2 土地。

(二) 开罗市的防洪措施

(1) 阿斯旺高坝建成前,使用老阿斯旺坝控制下泄洪水。为此目的,在汛前需预留 30 亿 m^3 库容,以使在 1 个月内日滞蓄洪水 1 亿 m^3 ;动用上埃及分滞洪区。整个滞洪区大约有 28.34 万 hm^2 ,启用后,日滞洪水量约可达 2 亿 m^3 。

(2) 阿斯旺高坝建成后,尼罗河洪水控制才有了较可靠保障。

(三) 阿斯旺高坝

阿斯旺高坝是尼罗河防洪体系的重要组成部分。大坝于 1960 年 1 月 9 日开工,1967 年大坝基本建成,1970 年工程全部竣工。高坝建在老坝上游 7km 处的萨德埃阿利河谷,在开罗以南 800km,最大坝高 111m,水库总库容 1 689 亿 m^3 ,有效库容 900 亿 m^3 。水库回水长 500km,在埃及境内长约 300km,称为纳赛尔湖,在苏丹境内约 200km,称为努比亚湖。水库平均宽度 10km,水电站装机 12 台,总装机容量 210 万 kW,年发电量 100 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

高坝建成后可有效消除尼罗河水位的季节性涨落。除去 100 亿 m^3 平均蒸发、渗漏损失外,尼罗河每年可提供 740 亿 m^3 的稳定水量为埃及、苏丹所用,比建坝前增加 220 亿 m^3 。

阿斯旺高坝的综合经济效益表现为:①保证灌溉用水需要,可扩大耕地 55 万 hm^2 ,并使上埃及尚存的 38 万 hm^2 耕地由圩垸灌溉变成常年灌溉;②提高了耕地复种指数,使埃及农业增产 25%;③430 亿 m^3 的防洪库容可以控制洪水、消除水灾,大坝建成后,埃及已战胜了 1964、1967、1975、1996 年 4 次大洪水;④高坝建成大型水力发电站,为埃及提供了廉价的电力;⑤改善了航运条件,使尼罗河埃及段的货运量增至 1 000 万 t;⑥减少下游灌溉的清淤工作,节约疏浚费用(水库 300 亿 m^3 的淤沙库容,寿命可达数百年);⑦水库发展成为大型淡水渔场,渔获量逐年增加;⑧阿斯旺地区旅游业迅速发展,促进了城镇繁荣,增加了就业机会。

由于多种因素相结合,在阿斯旺高坝建成前,尼罗河洪水灾害就已大大减少。这些因素包括:两岸大堤不断加固和改善,工况比以前好得多;两岸许多旧涵洞现已全部拆除;以运河、铁路路基作为第二道防线,防止了洪水大面积泛滥;现代化的运输手段,可将大批人力和物力尽快送到抢险地点;石料、木料和工具沿堤岸分散储备,以应急需,每个堤段都由工程师负责,配有现代化车辆供其使用。在阿斯旺高坝建成后,尼罗河洪水为患的历史事实上已经结束,甚至在突发特大洪水而水库又蓄满的情况下,也会安然无恙。

第三节 河流的综合开发利用

尼罗河流经高原、沼泽、草原和沙漠地区,虽然上游有许多天然湖泊调节和补给径流,但沿途蒸发损失严重,径流变化很大。就全流域而言,尼罗河流域是水资源短缺的地区。限于流域内各国经济发展水平,目前水资源的利用仍以发展农业灌溉为主。除埃及以外,流域内各国水资源短缺问题尚不突出,但随着各国经济的发展,人民生活水平的提高,水源将严重不足,流域各国应加强合作,合理、充分、综合利用尼罗河水资源。尼罗河水资源的开发利用按时间顺序可分如下五个阶段。

一、公元前至 19 世纪 20 年代

公元前三四千年至 19 世纪 20 年代,尼罗河流域各国主要是发展引洪漫灌,开始修建水库,采用自流引水和提灌。尼罗河水资源的开发利用始于沙漠区。早在 5 000 多年前,埃及就开始了水文测量和河水开发利用。公元前 3400 年,埃及就掌握了尼罗河定期泛滥的规律,沿尼罗河谷地引洪漫灌,发展农业,并形成一种传统的圩坑灌溉方式。每年汛期通过水渠把洪水引入面积不等的圩坑,水深 1~2m,停留 40~60 天,淤积的泥沙成为一年一度的宝贵肥源。当河水位下降时,滞水回流尼罗河,再行种植小麦、豆类等作物。除引洪漫灌外,还通过修建水库和提灌来灌溉。除埃及外,尼罗河沿岸的苏丹等国也发展了类似的传统灌溉农业。

二、19 世纪 20 年代至 20 世纪初

这一时期的特点是,除继续引洪漫灌外,开始建闸壅水,引枯水灌溉,以提高农田复种指数。1826 年埃及进行了尼罗河河岸改善工程,并开挖深渠系统,扩大灌溉面积;1843 年决定在尼罗河上建闸,以控制、抬高枯水水位进行常年灌溉,并宣泄洪水;1861 年首先在开罗以北 23km 的罗塞塔和杜姆亚特支流上建成 2 座水闸,这是尼罗河上最早建成的大型壅水工程,标志着埃及的灌溉事业进入一个新时期。随后,又修建了一系列水闸。水闸的建成和使用,使埃及的灌溉面积从 1820 年的 126 万 hm^2 增至 1907 年的 227 万 hm^2 ,相应的复种指数也由 1 提高到 1.43。

三、20 世纪初至 20 世纪 60 年代

这一时期的特点是修建调节水库,提高年径流利用程度,并开始河流的综合利用。由于灌溉面积扩大,复种指数提高,作物需水量不断增加,自然径流难以满足,人们不得不进一步开发利用汛期洪水。为蓄洪济枯,1902 年埃及在尼罗河上建成第一座水坝——老阿斯旺坝,初期库容仅 10 亿 m^3 ,调节性能很低。经过 3 次加高,库容才达到 50 亿 m^3 。在 20 世纪 20~60 年代,其他国家也在上游支流上兴建了一些中小型水库。1952 年埃及与乌干达合作在上游维多利亚湖出口处修建了奥文瀑布坝,使该湖成为多年调节水库,增加了下游可利用的水量。经过上述开发阶段后,对尼罗河水资源的开发利用程度仍很低,一是未能解除下游洪水威胁;二是不能对径流进行多年调节,满足不了地区需水要求。上埃及仍有 26.67 万 hm^2 耕地靠引洪灌溉,还有大面积荒地由于缺水而不能耕种。

为充分开发利用尼罗河水资源,埃及和苏丹于 1959 年 11 月签订了新的尼罗河水协议:承认两国的既得利益;同意在埃及修建阿斯旺高坝,此外,两国还同意在苏丹修建沼泽分水工程,以增加尼罗河水量,费用和利益两国平分,并成立常设联合技术委员会监督执行。新的协议反映了尼罗河沿岸国家共同开发利用尼罗河水资源的意愿。

四、20 世纪 60 年代至 20 世纪 70 年代

这一时期的特点是,以修建阿斯旺高坝为标志,尼罗河水资源开始进入径流的多年调节,综合利用初具规模。

为了进一步开发利用尼罗河的水资源,尼罗河流域各国经过长期研究,曾提出以在上、

中游干支流分散建库蓄水为主的“世纪计划”，即一个要长期奋斗才能实现的计划。“世纪计划”要经过沿岸各国的长期协商。即使可能实现，也不一定符合埃及的要求。于是，埃及工程师们在 20 世纪 50 年代初就提出了在干流下游埃及境内修建有多年调节能力的阿斯旺高坝方案。阿斯旺高坝是一个具有灌溉、防洪、发电等多种效益的工程，可望在预计较短的时间内建成，对埃及的经济发展产生巨大的促进作用。

1953 年，纳赛尔在推翻埃及王朝的革命成功后，立即批准进行高坝方案的研究。1953~1955 年，西德和英国参与了可行性研究和技术咨询。1955 年 4 月，世界银行对工程进行评估，但 1956 年侵埃战争爆发，美、英两国撤销了对修建高坝的资助。以后苏联接受了工程的援建任务，工程于 1960 年 1 月 9 日开始施工，1967 年大坝基本建成，1970 年全部竣工。

施工时的背景很复杂，可以说埃及是顶着内外压力进行的。一方面是当时埃及的国力很弱，国民生产总值仅 36 亿美元，而高坝投资高达 10 亿美元；另一方面国内外对高坝的生态环境问题议论纷纷，有的甚至预言会产生很大的不利影响，反对兴建。

但高坝建成后有效地调节了尼罗河径流，每年可提供 740 亿 m^3 稳定的水量为埃及和苏丹所用，比建坝前增加了 220 亿 m^3 。

高坝于 1970 年全部建成后，给埃及带来了难以估量的效益。首先是保证了灌溉用水，扩大灌溉面积 100 多万公顷，并使埃及 40 多万公顷农田由一季灌溉改为常年灌溉，粮食由一年一熟，改为一年两熟，相当于可耕地面积翻 5 番。1984~1988 年非洲大陆连年大旱，赤地千里，但埃及农田仍保持稳产。其次是每年为埃及工农业建设提供 100 多亿 $kW\cdot h$ 电能，约占 70 年代埃及发电量的一半，促进了经济的发展。第三是控制了尼罗河的洪水，使下游地区免遭洪水损失。

阿斯旺高坝完全能控制住埃及境内的洪水，洪水年年为患的历史已经结束，如 1964、1975、1988 年为特大洪水年，据估计如果没有高坝，则下游水位将会超过堤防最高防护水位 1m 以上，许多城市、村庄和公用设施就会被淹，造成不可估量的损失，但当时还在建设中的和建成后的高坝控制住了这几次洪水，没有造成灾难。建高坝前，埃及平均每年防洪费用约 1 000 万埃镑；遇到特大洪水则远超过此数。

高坝对社会和生态环境也产生了一系列负面影响。如：从库区远迁并安置移民 13 万人，投资占工程总投资的 25%；泥沙淤积库内，不但使下游失去一年一度的天然肥源，同时还引起下游河床刷深；下泄淡水减少，导致三角洲地区水质变化；海水倒灌，尼罗河口处沙丁鱼严重减产；破坏了三三角洲北缘冲淤平衡，使三角洲的侵蚀后退；常年灌溉面积的扩大导致三角洲地区土壤次生盐碱化加剧、血吸虫发病率上升等。

纵观阿斯旺高坝的得失，利远大于弊。

苏丹在这一时期继续致力于尼罗河水资源的开发利用，发展灌溉和水电，修建了赖哈德和凯纳纳两个大型灌区。沿岸其他国家也都根据本国的情况，开发和利用尼罗河水资源。

目前，尼罗河流域已建大型水闸 7 座，大坝 10 座，水电装机容量 290.1 万 kW ，全流域灌溉面积达 454.8 万 hm^2 ，其中尼罗河水灌溉的耕地面积达 446.8 万 hm^2 。

五、20 世纪 80 年代至今后相当一段时间

随着尼罗河流域各国经济的发展，对尼罗河水的需求日益强烈，水资源不足的矛盾日趋严重。这一时期的特点是，继续修建多年调节水库，提高水资源利用率，全面进行河流的综

合开发利用。

尼罗河流域各国水资源供需矛盾日益加剧。随着沿岸各国经济的发展,人口的增加,需水量必然增加。综合开发利用尼罗河水资源已是大势所趋,人心所向。埃及地处沙漠失水区,尼罗河水是埃及的生命线。一个多世纪以来,耕地面积和种植面积的扩大赶不上人口的增长,粮食的缺乏是埃及亟待解决的头等大事。阿斯旺高坝为埃及提供的份额已不能满足其经济进一步发展的需要。苏丹自然条件优越,水土资源丰富。尼罗河流经苏丹约3 300km,差不多所有重要支流均在苏丹境内汇集,其土地辽阔,可耕地面积达8 400万 hm^2 ,已开垦的土地不足1 000万 hm^2 。苏丹以农业为基础,重点发展灌溉,灌溉用水急剧增加,水资源供需矛盾渐趋尖锐,扩大水源、增加尼罗河水资源份额亦大有必要。埃塞俄比亚位于季节丰水区上游,本身却季节性缺水,由于灌溉不发达,一年两熟甚至三熟的农业区极少复种。过去未参加签订尼罗河水协议的埃塞俄比亚迫切要求分享尼罗河水,更加剧了尼罗河水资源的紧张程度。此外,位于东非高原全年丰水区的一些国家,比如乌干达、肯尼亚、坦桑尼亚等国纷纷拟定了开垦沼泽、发展灌溉的计划。而且,当初签订尼罗河水协议时仅涉及埃及和苏丹两国之间的用水分配问题,现在尼罗河水资源不仅为多数流域国家所关注,甚至还为流域以外的国家所瞩目,已呈供不应求之势。

尼罗河流域各国开源节流的主要措施逐步实施。为了开源节流,减少河水的蒸发损失,比较可行的是减少沼泽的蒸发损耗,尤其是减少苏丹境内大面积沼泽的蒸发损失,埃及和苏丹两国旨在减少杰贝勒河在苏德沼泽失水的琼莱运河计划几经修改后已开始付诸实施。运河全长350km,底宽46~52m,深4.5m,边坡1:2,总共挖掘土方8 700万 m^3 ,引水能力230 m^3/s ,相当于杰贝勒河在蒙加拉平均流量的1/4。运河于1978年6月动工。还在运河的首尾分别建节制闸以控制进出水量。运河竣工后由于沼泽地区蒸发损失减少,尼罗河在马拉卡勒的年径流量增加47亿 m^3 ,相当于在阿斯旺每年净增水38亿 m^3 ,由埃及和苏丹平分。琼莱运河工程经济效益十分明显,净增水量可扩大埃及和苏丹的耕地30万 hm^2 ,并可增加下游水电站的发电量;运河和泽拉夫河之间地区可免遭洪水泛滥淹没;提供永久性水源,扩大放牧面积;开辟新的内河航线,缩短朱巴至马拉卡勒的航程300km。

除琼莱第一期工程外,已拟定的沼泽引水计划还有琼莱二期工程、加扎勒沼泽引水工程和马查沼泽引水工程,三个引水工程一旦实现,每年总共可增加水量200亿 m^3 。

上述沼泽引水工程的实现,实际是让位于阿斯旺高坝工程的“世纪蓄水计划”的启动,可以说,这也是进一步充分开发利用尼罗河水资源的重大举措。“世纪蓄水计划”因能控制东非高原丰水区全年水量并进行多年调节,竣工后将为尼罗河下游提供稳定可靠的自然径流。另外,尼罗河沿岸水库、湖泊的年蒸发损耗水量也非常大,一旦沼泽地区潜力开发完毕,可以预见,要增加尼罗河水量,下一个目标必定是设法减少沿岸水库、湖泊的蒸发损耗。

提高灌溉技术,节约用水,增加水的重复利用率,也是尼罗河沿岸各国开源节流的措施之一。比如埃及,作为本国生命线的尼罗河水资源潜力几乎开发殆尽,人口增长的巨大压力迫使他们继续扩大耕地,增产粮食,以满足需要。为解决国内的水问题,已迫使他们采取了如下措施:积极开发利用尼罗河以外的水资源;提高灌溉技术,节约用水,加强水资源的管理、利用和保护。已采取的具体措施包括:改善排水系统;提高尼罗河水利用率;发展节水灌溉,实施提水灌溉、喷灌和滴灌。

尼罗河流域各国日益重视生态环境问题。随着尼罗河水资源开发利用程度的提高,人

类活动对流域地理环境的影响和冲击越来越大,造成一系列生态环境问题,这一点在埃及表现最为突出:一个多世纪以来,国内灌溉面积不断扩大,灌渠长期输水,地下水位上升,导致三角洲地区土壤沼泽化和次生盐碱化,肥力下降,产量降低。为了遏制因开发利用尼罗河水资源导致的农业生态环境退化,埃及采用了一系列整治措施:重视农田基本建设,加强田间管理,推广提水灌溉、喷灌和滴灌,控制农业用水。另外,正如前文所述,阿斯旺高坝的建成和运用对埃及的社会、环境也产生了一系列不利影响,这里不再赘述。苏丹、埃塞俄比亚等国在开发利用尼罗河水资源时也产生了类似问题,这一切都说明,河流的开发、利用和整治、管理不可偏废。

尼罗河沿岸国家将进一步强化河流的综合开发与治理。由于尼罗河沿岸国家均属于发展中国家,并且是农业国,投入资金有限,河流的开发利用程度仍然处于较低的水平,已开发的多为灌溉工程,仅有部分工程有一定的发电效益。因此,尼罗河发电、航运、旅游等方面的开发潜力很大。目前,流域各国都在计划修建水电站。比如埃及计划修建纳贾哈马迪拦河坝以代替老坝,新坝位于老坝下游 3.2km 处,由船闸、泄水道和厂房三部分组成,目的是确保长期、持续地将尼罗河水引入两条灌渠,以灌溉 31.5 万 hm^2 农田;稳定河流水位以确保该河段全年通航;安装 4 台单机容量 16 万 kW 的灯泡式机组,确保年发电量 4.6 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。苏丹计划在 2010 年前修建 5 座水电站,装机容量 71 万 kW。乌干达境内的维多利亚尼罗河有巨大的落差,从维多利亚湖到基奥加湖落差 103m,从基奥加湖到蒙博托湖落差为 413m,上游有维多利亚湖的调节,径流均匀,开发条件优越;在其下游规划建设 6 级电站,总装机容量 200 万 kW。埃塞俄比亚查勘了 184 处坝址,将其中 18 处列为 2020 年前的开发计划,年发电量将达 439 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

尼罗河是一条国际性河流,随着流域各国用水量的增加,水资源的分配已逐渐成为一个国际政治问题。加强国际合作,统一规划,共同开发,合理分配水资源,将使尼罗河水资源发挥更大作用。

第四节 河流洪水早期预警系统

1988 年 8 月,苏丹尼罗河及其他河流沿岸洪水泛滥,给苏丹喀土穆和北部地区农业、经济及基础设施带来巨大损失。洪水过后不久,苏丹制定了防洪工程重建计划,其中之一是由喀土穆水资源、灌溉部负责开发和实施尼罗河洪水早期预警系统(FEWS),以便通过现代化的预防技术及先进的手段,使尼罗河未来的洪水得到较早的警报。

洪水早期预警系统由如下三部分组成:

(1)原始数据用户站系统。该系统具有相应软件接收、处理气象卫星的 TIR 云图(半小时)。根据埃塞俄比亚和苏丹境内青尼罗河及阿特巴拉河流域上空的冷云温度估算日降雨量。

(2)数据实时传递通信系统。该系统将苏丹青尼罗河、阿特巴拉河及尼罗河干流的实时观测水位传递到喀土穆洪水警报中心。

(3)计算机洪水预报系统。该系统由降雨-径流和洪水演算模型组成,具有友好的人机界面,使数据处理与预报平稳快速。

FEWS 系统的预报周期为 10 天,这个时间相当于自埃塞俄比亚的降雨开始,至苏丹北部尼罗河干流东哥拉水位起涨的洪水预见期。喀土穆洪水预见期约 6 天,由青尼罗河及阿特

巴拉河上游区间的径流预报可获得约 3 天的预见期。

径流预报:已建立了一套降雨-径流数学模型,用于实时预报自埃塞俄比亚各子流域流入苏丹境内青尼罗河及阿特巴拉河的入流。这些模型以荷兰 DELFT 水力学实验室的 SAMFIL 实时流域模型为基础,后者系著名的萨克拉门托流域模型与卡尔曼滤波模型的结合,用于实时降雨-径流模拟时现场数据的同化。这样可对径流模型不断进行校正,使其与由观测水位推导的实际流量保持一致。观测的 CCD 数据及降雨实况输入降雨-径流模型。

河流洪水预报:假定边界站有径流预报,洪水演算数学模型就可实时预报苏丹境内青尼罗河、阿特巴拉河及尼罗河干流的水位和流量。DELFT 水力学实验室的 NETFIL 程序将不稳定流模型与卡尔曼滤波模型结合同化实时数据。传递来的水位观测值不断修正模型参数和变量,使模型与水流实际情况相符。

输入洪水演算模型的实时数据有河流水位、实际水库泄量以及由 SAMFIL 模型得出的径流预报结果。

洪水调度:为有效地调度洪水,规定应根据修正的水库运行方案,另作补充预防。

洪水预报系统:是模型计算机系统加(临时)数据库,通过人机界面运行。系统在 PC486 微机上实现,每天全部备份在另一台备份机上。以 DELFT 水力学实验室水文数据库及 HY-MOS 数据处理系统为基础,有关观测数据及计算结果每星期一次存入永久数据库中。

尼罗河 FEWS 系统的运行:1992 年 8 月以来,喀土穆水资源、灌溉部的尼罗河 FEWS 系统一直运行正常。业已证明,在青尼罗河流域采用卫星数据与降雨-径流和洪水演算数学模型相结合的 FEWS 系统是一种极好的方法,它大大增加了洪水预见期,为采取各种预防措施争取了更多时间。有些防洪措施,如水库泄流,可由系统进行模拟,并对效果进行估算,使选择最佳洪水调度方案成为可能。同时,由于有专用的人机界面,复杂的系统操作变得简单易行,又大大提高了预报中心工作人员采用该系统的积极性。

第十五章 亚马孙河

第一节 河流概况

亚马孙河位于南美洲北部,是世界上流域面积和水量最大的河流,其源头为乌卡亚利河和马拉尼翁河。这两条河流发源于秘鲁境内安第斯山脉科迪勒拉山系的东坡,穿越崇山峻岭之后于秘鲁的瑙塔附近汇合,始称亚马孙河。向东流横穿巴西的北部,于马拉若岛附近注入大西洋。亚马孙河干支流蜿蜒流经南美 7 个国家,流域面积达 691.5 万 km^2 ,约占整个南美洲面积的 39%,其中干流穿越的亚马孙平原面积达 560 万 km^2 ,是世界上最大的平原。亚马孙河若以马拉尼翁河为源,全长 6 299km;若以乌卡亚利河为源,全长 6 436km,仅次于尼罗河,居世界第二位。河口多年平均流量 17.5 万 m^3/s ,年均径流量 69 300 亿 m^3 ,年平均径流深度 1 200mm,悬移质含沙量为 $0.22\text{kg}/\text{m}^3$,输沙量为 9 亿 t。丰水年时,中游玛瑙斯附近河宽 5km,下游宽 20km,河口段宽 80km,河口呈喇叭形海湾,宽 240km。下游河槽平均深为 20~50m,最大水深 100m,水位年变幅为 9m。

亚马孙河自西向东流,沿途接纳了源自安第斯山脉东坡、圭亚那高原南坡、巴西高原西部与北部的河流 1 000 多条,形成庞大的亚马孙河水系,其中长度超过 1 500km 的支流有 17 条,如左岸的普图马约河、雅普拉河、内格罗河;右岸的茹鲁阿河、普鲁斯河、马代拉河、塔帕若斯河、欣古河等。这些支流伸入到玻利维亚、哥伦比亚、厄瓜多尔、委内瑞拉、圭亚那等国。

亚马孙河流域西高东低,南高北低。上游源头为安第斯山脉及太平洋沿海冲积系统,海拔在 3 000m 以上;干流两岸多为 200m 以下的安第斯山冲积层和内陆冲积层。往北为圭亚那高原(海拔 300~400m),往南则为巴西高原(海拔 300~1 500m)。

亚马孙河流域均处在赤道附近,气候炎热潮湿,雨量充沛,年平均气温 25~27 $^{\circ}\text{C}$,年均降水量在 1 500~2 500mm。流域降水季节分布比较均匀,干流水量在不同时期均得到补偿,终年水量丰沛,季节变化较小。每年注入大西洋的水量达 69 300 亿 m^3 ,为全世界注入海洋总水量的 1/11。河口平均流量为 17.5 万 m^3/s ,洪水期最大流量在 22 万 m^3/s 以上,枯水期最小流量也大于 2 万 m^3/s 。河道最低水位与最高水位之间的水位变幅超过 20m。

第二节 河流洪水

亚马孙河的干流和右岸支流均位于赤道以南,因而河水流量的变化主要取决于右岸支流,赤道以北的左岸支流只对干流洪水期的形成起促进作用,对枯水期的水量起补偿作用。再由于赤道南北雨季不同,所以亚马孙河流域每年有两次大洪水,高洪期发生于 3~6 月,最高水位发生在 6 月,其洪峰流量占全年总流量的 40%;次洪期出现于 10~11 月;而 7~9 月为枯水期,枯水期流量占全年总流量的 14%。

亚马孙河流域地势低平,河流比降较小(约为 $1\text{cm}/\text{km}$),流速较慢,一到洪水季节,洪水宣泄不畅,水位可高出平均水位 10~15m,大洪水可淹没中下游洪泛区(面积约 5 万 km^2)两

岸 80~250km 宽的平地,时间长达数月之久,呈现一片汪洋。平水时,中游马瑙斯附近的河宽也在 5km 以上,下游河宽 20km,河口段宽 80km。因此,亚马孙河素有“河海”之称。

亚马孙河河口地区,由于近期下沉作用的影响,河水带入海洋的泥沙被沿岸海浪冲走,所以未出现三角洲,河口呈喇叭形海湾,宽达 320km,为海潮上溯提供了有利条件,每当大西洋海潮入侵时,海水逆流而上,堵截了顺流而下的河水,形成 1.5~3m(有时高达 5m)的潮头,潮水之大有时还能深入内陆 960 多公里。大潮时,常形成 5m 高的水墙逆流而上,其声音可传至数公里以外,气势磅礴,景色壮观,当地人称之为“亚马奴”。

亚马孙河每年挟带入海的泥沙量约 3.62 亿 t,在远离河口 300km 的大西洋上,仍可以看到黄浊的水流。

亚马孙河流域年降水总量为 149 000 亿 m^3 ,其中 111 500 亿 m^3 为来自流域外部(主要来自大西洋一侧)的水汽;来自流域内的水蒸气(即局部水循环)占 23%(3 400 亿 m^3)。降水量中大约一半(73 300 亿 m^3 ,占 49.2%)通过蒸发又回到大气之中,约 69 300 亿 m^3 (占 46.5%)的径流入大西洋,其余的 6 400 亿 m^3 (占 4.3%)则包括渗漏损失(地下水补给)以及决定水量平衡诸要素的误差。

亚马孙河流域各国时常发生洪水,造成严重人员伤亡和财产损失。下面仅列举 1970 年以来的几次洪水为例:

1970 年 7 月 23 日,在巴西东北部的伯南布哥州亚马孙河支流上由于暴雨引起洪水泛滥,造成至少 47 人死亡和 3 万多人无家可归。8 月 11 日,由于 13 个小时的连续暴雨,巴西东北部的的主要海港城市累西腓洪水泛滥,造成至少 30 人丧生,4 000 多人无家可归。

1971 年 2 月一场严重的洪水袭击了里约热内卢,有 130 人丧生,成千上万人无家可归,水深达 1.8m,切断了许多通往该城的道路,铁路交通也中断数日。4 月 26~28 日,由于连续降雨 4 昼夜,降雨量达 330mm,造成河水泛滥,使得萨尔瓦多这座近 90 万人口的城市好几个区被洪水吞没,死亡近 200 人,2 万人无家可归。

1971 年 11 月,哥伦比亚境内亚马孙河支流流域,由于 40 年来最严重的暴雨引起的洪水,使得 6 万人无家可归,死亡 500 多人,另有 1 000 多人失踪。由于水位高,直升飞机和轻型飞机无法援助成千上万避难于树顶和山上的人群,洪水淹没范围达 130 多平方公里。

1972 年 3 月 23 日,洪水和山崩横扫了秘鲁太平洋沿岸地区,估计 30 人死亡,15 万人受灾。这次洪水始于 3 月 12 日及后来安第斯山区的暴雨。受灾最严重的是北方乌皮拉省与厄瓜多尔交界地区,可怕的灾情是因亚马孙河的支流赤拉河和比拉河泛滥造成的。秘鲁最大的鱼港赤博塔受到拉克拉曼加河泛滥的影响,造成 4 万人受灾,另外一些城市如加内特、加塔考斯和帕尔帕也受到洪水侵袭。

1976 年 5~8 月,哥伦比亚接连发生洪水,造成重大生命和财产损失,5 月间,卡利骤降暴雨,造成财产损失 3 万多美元;东部地区河流泛滥,滔滔洪水倾泻而出,受灾范围达数百平方公里,造成 100 多万美元损失。7、8 月份,暴雨使奥里诺科河、梅塔河和比恰达河泛滥,滚滚河水涌出河岸,造成重大经济损失和人员伤亡。

1979 年 2 月,连续一个多月的降雨使巴西中部严重遭灾,亚马孙河流域河水泛滥,使 204 人死亡,20 万人无家可归,洪水首先冲击了马那斯吉来斯州,然后迅速扩展到其他两个州,造成严重损失。

1980 年 2~3 月,巴西有 8 个州因持续连降大到暴雨造成亚马孙河流域洪水泛滥。这次

洪水是30年来最严重的一次。8个州有25万人因洪水而流离失所,上百人死亡。政府救灾人员协同民防和部队将成吨的食品和医药品送到洪灾区178个城镇。

1982年1~4月,位于南美洲西部、西北部和中部的秘鲁、哥伦比亚和玻利维亚暴雨成灾,损失严重。1~3月,秘鲁降水量异常偏多,中北部暴雨使得亚马孙河源头诸河泛滥,洪水不仅使农作物受损,许多设施遭受破坏,而且也造成大量人员伤亡,仅1月25日利马东北的瓦杨卡河谷就有123人在暴雨引发的洪水中死亡,209人失踪,2万多人被迫疏散。在哥伦比亚西南部,1月初也发生严重的洪水,灾害中至少90人死亡。4月中旬,该国东南部和东北部地区,由于雨水偏多,导致亚马孙河支流河流水位陡涨,引起河水决堤及泥石流灾害,致使21人死亡,数千人受伤。在该国东北部,3月份连续几周大雨使中部出现大范围的洪水,洪水使170多万公顷土地被淹,10万头牲畜死亡,5000人遭灾,至少7人丧生,估计经济损失达4亿美元。

1983年上半年,南美洲大陆多数国家暴雨频繁,洪水为害。在太平洋沿岸各国,源自热带太平洋“厄尔尼诺”现象影响的频繁暴雨从1982年11月开始持续了8个月,厄瓜多尔的瓜亚基尔1982年11月至1983年6月总降水量达4145mm,相当于常年同期降水量的4.95倍。其中,3月份雨量为830mm,创历史月雨量的极大值;6月份雨量达580mm,相当于常年同期的40倍。秘鲁的通贝斯和皮乌拉也出现历史同期的最大降水,3月份两地的雨量皆在400mm以上,4月份,通贝斯的雨量则多达1242mm。暴雨使厄瓜多尔和秘鲁北部沿海地区1983年1~6月发生了史无前例的洪水和泥石流,农业和渔业遭受到沉重打击。厄瓜多尔的农作物和其他财产损失达2000万美元;秘鲁农业损失5000万美元。洪水和泥石流还使上述地区300多人丧生。在阿根廷、巴西南部 and 巴拉圭,1983年是连续第三年发生本世纪罕见的洪水。大洪水使阿根廷20万人被洪水围困,数十万公顷作物被淹,数百公里公路遭破坏。在玻利维亚,1983年3月暴雨在东部地区引发洪水,淹没了250万hm²的农作物,迫使2万多人逃离家园,至少有60人死于与洪水有关事故中。在巴西南部各州,暴雨发生在5月和7月。大洪水使近百个城市成为洪灾区,工厂停工,水厂停工,农田被淹,造成20多万人无家可归,120人死亡,作物、牲畜等损失价值1亿多美元。

1985年11月到1986年2月上旬,亚马孙河源头的秘鲁东部连遭大雨,洪灾不断,切断了连接各村镇的道路。洪水冲毁村庄,洪水带来的泥石流覆盖了果园和咖啡园,的的喀喀湖周围地区数万居民无家可归,死亡数十人。与秘鲁毗邻的玻利维亚,1985年11月以来也一直遭受洪水灾害。大雨和洪水波及玻利维亚5/9的土地,直接经济损失达4100万美元,洪水期间近30人丧生。

1992年3月中旬,玻利维亚贝尼的亚马孙丛林区因连降暴雨一周导致亚马孙河3条支流水位暴涨,河水溢出堤坝造成严重洪水灾害。该地区6个省8000多户家庭被洪水围困,食物、药品短缺。洪水还造成约20万头牲畜死亡。

1993年4月下旬,哥伦比亚西北山区持续3天降暴雨,导致山洪暴发,引发了泥石流。暴雨使亚马孙河的支流河水泛滥,在距波哥大200km的安第斯附近一个方圆20km的地区,房屋、庄稼和居民都被汹涌的洪水席卷而去,留下的是断残的树桩、树干以及从高处滚下来的巨石。由于道路被阻塞,救援工作困难重重。同时,在哥伦比亚亚马孙省和东部平原,异常的暴雨也导致了洪水泛滥,致使1.6万人受到不同程度的影响。

1994年第一季度,秘鲁遭受严重水灾,有71人死亡,1327幢房屋倒塌,1.4万多座房屋

受到严重损坏,9 470 多公顷可耕地被淹没,灾民人数超过 8.3 万人。秘鲁每年进入夏季后,雨水偏多,常造成水灾和泥石流灾害。1994 年 2 月份,由于连降暴雨,亚马孙河源头的普卡尔帕的乌卡亚利河泛滥,近 5.8 万人受灾。此外,水灾还破坏了公路和通讯设施,估计损失超过 5 000 万美元。

第三节 河流水资源开发利用简况

一、优越的航运条件

亚马孙河具有非常优越的航运条件:水量丰沛,河宽水深,比降平缓,终年无冰,主要河段无险滩瀑布,干流和各大支流之间可以直接通航,形成了庞大而便利的水上航运网。载重 3 000t 的海轮沿干流可上溯至 3 680km 远的伊基托斯,万吨巨轮可直达中游的马瑙斯。各大支流的通航条件也相当优越,通航里程超过 1 000km,比如普鲁斯河通航里程达 2 853km,马代拉河通航里程达 1 090km。亚马孙河整个水系可供通航的河道总长在 2.5 万 km 以上。

二、丰富的水力资源

亚马孙河就其水量与流域面积而言,堪称世界级最大河流,但河道宽阔,水面平缓,两岸冲积平原宽数十公里,洪水期泛滥面积很广,该地区大部分为森林覆盖,尚未开发,被称为神秘地带。在亚马孙河干流上修建水电站比较困难,至今尚无开发干流计划。其可能开发利用的水能资源主要集中在各大支流上。这些支流从山地或高原进入平原,形成一系列急流或瀑布,水能资源十分丰富,总蕴藏量约为 2.79 亿 kW,仅次于刚果河,位居世界第二位。

亚马孙河全流域按支流情况共划分为 13 个小流域,其中水能资源超过 1 000 万 kW 的流域有 3 个。据巴西北方电力公司调查统计,欣古河、塔帕若斯河及马代拉河的水能资源分别为 2 100 万 kW、1 920 万 kW 和 1 635 万 kW。

亚马孙河支流地区人烟稀少,经济不发达,开发进程缓慢。在巴西,自 1973 年北方电力公司成立后,先后在亚马孙河支流上建起了几座中型电站。目前,亚马孙河流域的水力资源开发主要集中在埃内河、瓦亚加河、欣古河和科廷果河上。