

Hydraulics 2000, China

中国水力学 2000

刘树坤 李嘉 黄真理 李克锋 主编



四川大学出版社

中国水力学 2000

Hydraulics 2000, China

刘树坤 李嘉 黄真理 李克锋 主编

四川大学出版社

2000 年

责任编辑:孙思涛 韩 果

责任校对:朱兰双

封面设计:罗 光

责任印制:石大明

图书在版编目(CIP)数据

中国水力学 2000/刘树坤等主编. —成都:四川大学出版社, 2000.9

ISBN 7-5614-1987-2

I. 中... II. 刘... III. 水力学-研究-中国
IV. TV13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 48520 号

书名 中国水力学 2000

作 者 刘树坤 李 嘉 黄真理 李克锋

出 版 四川大学出版社

地 址 成都一环路南一段 24 号(610065)

印 刷 郫县犀浦印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 34.5

字 数 780 千字

版 次 2000 年 9 月第 1 版

印 次 2000 年 9 月第 1 次印刷

印 数 1~300 册

定 价 120.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科
联系。电话:5412526/5414115/
5412212 邮编:610064

◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回印刷厂调换。

版权所有◆侵权必究

前 言

中国水利学会 2000 年水力学专业委员会年会的重要文献《中国水力学 2000》即将正式出版，它记录了中国水力学界在世纪之交为推动水力学的发展所做的贡献。

水力学作为研究工程流体运动特征的基础理论，对推动水利事业的发展发挥了重要作用。它包括明渠水流、泄水及输水建筑物水力学问题和波浪、异重流、渗流及动床水力学等实用性较强的研究内容，中国的许多水力学先驱在上述领域中取得了很多可喜的成就，已载入水力学史册。新中国成立后，随着我国大型水利工程建设，水力学在高速水流、消能防冲、长距离输水、水流激振、原型水力学观测等方面取得了许多重大成果，这些成果标志着我国水力学研究者的智慧和做出的新贡献。进入 80 年代，随着计算机技术的发展，流体数值模拟技术获得快速的发展。我国的水力学研究者抓住了这一机遇，迅速地扩大了研究领域，在水力学专业委员会之下先后设立了环境水力学学组、计算水力学学组、随机水力学学组、水工程学组、城市水利学组，应用传统的水力学试验技术、原型观测技术和新兴的计算机技术，使水力学研究内容变得十分丰富。

传统水力学只研究水体的物理和力学特征，如今的环境水力学则在原有水动力特征的基础上同时研究水体的化学特征，甚至是生态特征。研究对象的尺度也从原来的水流紊动、质点运动等微观尺度及建筑物周边流动等小尺度扩大到洪水泛滥、海洋风暴潮、水库涌浪、湖泊环流、海水预测等大尺度的水流现象研究，这样就可以使水力学研究成果直接为各种宏观决策服务。不管是传统水力学问题还是新兴水力学问题，都由于计算技术的进步而变得更加深入和生动。加上最近发展较快的可视化技术、GIS 及专家决策支持系统等新技术，皆赋予水力学研究更大的生命力。各种水力学模型与上述技术结合将成为流域防洪、供水、水质管理的有力手段，进一步推动着水利事业的发展，也给我们水力学研究者提供了广阔的活动舞台。

在收入本书的 70 余篇论文中，其作者多是 40 岁以下的青年专家。他们活跃在我国水力学研究第一线，正在攀登前人所未有到达的高峰，这是十分可喜可贺的。本书的出版不仅反映了我国水力学研究的新成就，也显示了我国水力学研究队伍的壮大。借本书出版之机，祝愿在新的世纪里，我国水力学研究能做出新贡献，涌现出更多的青年专家和学者。

刘树坤

2000 年 8 月

目 录

水力学

Hydraulics

我国西部大开发中的灾害与生态环境问题.....	刘树坤	3
对泄洪水流溅水雾化的几点认识.....	范宝山 巩宪春 吴柏春	9
水动力荷载与闸门振动问题.....	严根华	15
黄河流域水资源现状.....	李世明 王玲 董雪娜	23
微型冲击式水轮机组应用.....	陈惠玲 王河生	31
基于神经网络原理的城市用水量预测模型及其应用.....	张土乔 俞亭超 程朴	35
小湾电站水垫塘区边坡饱和与非饱和渗流分析.....	胡云进 速宝玉 詹美礼	44
雨水渗透技术与城市水环境状态改善.....	许士国	50
水文计算中降水资料代表性分析 ——以窟野河为例.....	董雪娜 李世明 李婷	57
滞洪区在济南城市防洪中的作用和问题.....	张志华 孟庆斌	64
日海地新关系与新世纪水利事业发展.....	刘清仁	68
黄河宁夏内蒙古河段及万家寨水库 1999 - 2000 年度凌情分析	可素娟 钱云平 杨向辉 兰华英	75
水土保持是吉林省农业可持续发展的根本措施.....	代全厚 年吉刚 房淑琴	79
白石水库水力学问题研究综述.....	闫铁奎 张勤 贺清禄 刘波	84
挖泥船与城市水利建设.....	王究	89
21 世纪水利发展刍议 ——以吉林省水利发展为例.....	许晓鸿 王跃邦 刘明义	97

环境水力学

Environmental Hydraulics

水环境中绕流体尾流区流动与污染物混合输移特性研究.....	余常昭 李玉梁	103
博多湾水温和盐度的数值模拟.....	沈永明 郑永红 小松利光 邱大洪	113
非均匀网格上的高精度差分格式设计: 纯扩散方程.....	王烜 杨志峰	122
不规则及弯曲边界明渠水流及浓度场耦合三维代数应力通量模型	华祖林 王惠民	130
溶解氧对有机污染物降解影响的实验研究.....	蒲迅赤 李克锋 赵文谦 李嘉	141

曝气池中气泡上升速度的实验研究.....	程文 周孝德 郭瑾龙 李华	149
河流瞬时源垂向混合规律及其应用的研究.....	杜彦良 褚君达	154
天然河流中大尺度紊动结构的观测与分析.....	邓联木 叶闽	162
GIS 技术与水环境模型的集成.....	禹雪中	176
倾斜壁卷流的相似解.....	郭维东 槐文信 那宇彤	180
水库宽度平均的立面二维水温模型研究.....	邓云 李嘉 李克锋 罗麟	188
我国 21 世纪的防洪建设与水生态环境保护.....	廖文根 彭静 王立新	197
管理信息系统在水环境研究中的应用.....	王泽良 黄柱崇 淮斌	203
用 RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型模拟三维湍浮力射流流动.....	郝瑞霞	210
恒定条件下物质输移扩散方程的几种解析解.....	武周虎	217
利用紊动装置研究悬浮物与沉积物对核素的吸附作用	沈珍瑶 李伟娟 杨志峰 倪世伟 姚兰根 蔡匀	223
天然河流纵向分散系数的理论预测.....	邓志强 褚君达	228
海河流域生态环境用水初步分析.....	林超 郭勇	235
ADV 测速技术在紊动射流流场特性研究中的应用	华明 唐洪武 王惠民 王志良	243
基于 GIS 的城市工业水环境模拟系统.....	程红光 杨志峰	250
螺旋管流的阻力损失.....	彭龙生 张羽 卢准炜	259
东深供水源水生物处理工程中的水力学问题研究	黄本胜 赖冠文 黎子浩 邱静	271
水库库区粘性淤泥起动特性探讨.....	张兰丁	280
WQRRS 模型在水资源保护规划中的应用.....	郝芳华 杨志峰 李道峰	287
水电站下游河道水温预测.....	周新民 王滨蓉 邓云	293
平轴螺旋管流中的泥沙起动与起旋.....	张羽 彭龙生 张仙娥 马发勇	300
渔业与水质关系的典型资料剖析.....	吴生桂 胡传林 蔡少华	306
潮汐水域油污染计算初探.....	王艳红 王惠民	311
石油在水中悬浮物上的吸附研究.....	尹海龙 武周虎	321
以分子运动动能理论为基础的水质模型.....	邓家泉	328
深圳水库水文预报模型 Windows 版及 1999 年度运行情况分 析.....	周买春 王谦伟 董益林 陈斯俊 刘文珊	337
溪落渡水库重金属含量分析预测.....	李然 李嘉 李克锋 赵文谦	349
北京乡村水环境问题与对策研究 ——中英合作探索北方大城市周围农村水环境保护和污染治理途径.....	倪新铮	356
葛洲坝电站治漂效果及三峡电站治漂措施研究.....	杨文俊 孙尔雨	364
闹得海水库异重流排沙分析.....	闫铁奎 张勤 沈英浩 康君田	371

中国水源地保护的问题与对策 ——以太湖为例.....	成新 朱威	375
水系管理的生态环境基础.....	彭静 廖文根 孙平生	381

计算水力学

Computational Hydraulics

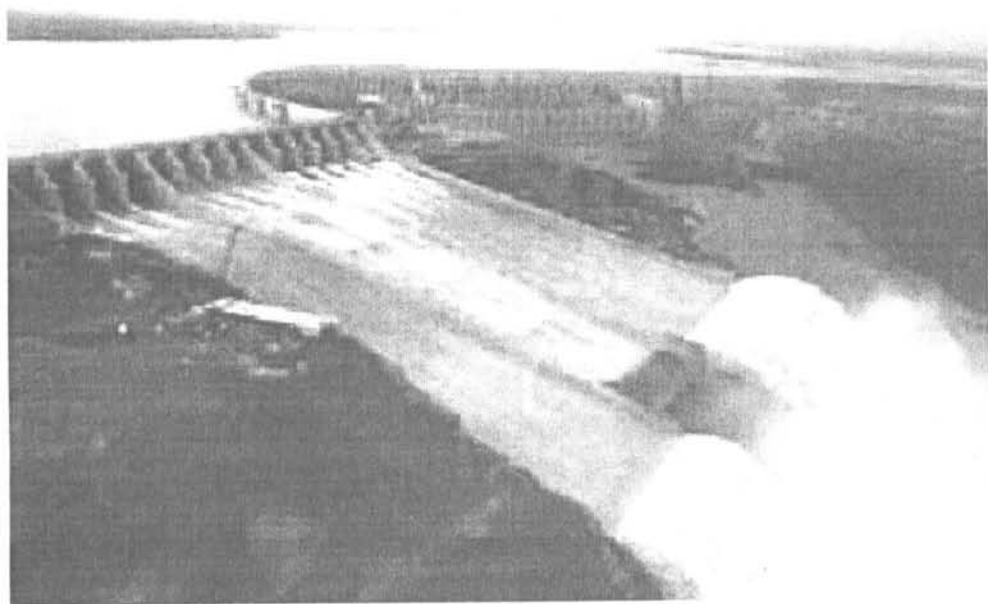
水流、泥沙问题的数值模拟与工程应用.....	倪汉根 金生	391
紊流数学模型在泄洪洞体型优选中的应用.....	许联锋 李建中 陈刚 谭立新	399
广义粘滞流模型及其在 N-S 方程求解中的应用.....	詹美礼 速宝玉 盛金昌	407
具有自由水面的二维密度流的数值模拟.....	江春波 邢秀英 梁东方	417
新津河口围海工程数学模型研究.....	江涌	426
丁坝近岸流动的三维仿真模拟.....	彭静 周胜	433
大涡模拟预报可靠性分析.....	何子干 夏庆福	441

三峡水库水污染控制研究专题

Special Issue for Study on Water Pollution Control of the Three Gorges Reservoir

三峡水库水污染控制研究及其进展.....	黄真理	449
三峡库区长河段水文水质同步观测研究.....	黄真理 吕平毓 李锦秀	459
三峡库区典型污染带观测研究 (I) ——黄沙溪岸边污染带.....	李崇民 黄真理	467
三峡库区典型污染带观测研究 (II) ——嘉陵江与长江汇流口污染带.....	李崇民 黄真理	475
三峡库区典型污染带观测研究 (III) ——李渡镇岸边污染带.....	黄真理 吕平毓	483
三峡水库纵向离散系数变化趋势预测.....	李锦秀 黄真理 苏德慧 黄金池	490
三峡库区污染物沿程变化规律模拟研究	李锦秀 黄金池 廖文根 苏德慧 彭静 禹雪中	494
三峡库区岸边污染混合区数值模拟与分析.....	陈永灿 刘昭伟 李闯	501
重庆交汇江段污染混合特性的数值模拟.....	洪益平 周雪漪 陈永灿 余常昭	509
三峡库区涪陵江段水流及水污染预测.....	江春波 周雪漪 程志强 陈立秋	520
流场和浓度场三维计算的数学模型与验证.....	李嘉 李克锋 邓云 李然	527
三峡水库坝前 50km 流场三维计算.....	李嘉 李克锋 邓云 李然	535

水力学 Hydraulics



我国西部大开发中的灾害与生态环境问题

刘树坤¹

(1 水利规划与战略研究中心, 北京 100038)

摘要: 实现我国西部地区大开发, 缩小东西部差距, 是我国重大战略决策, 在政治、经济、生态环境建设等方面都具有重要意义。但是西部地区又是水旱灾害频发的地区, 长期以来经济发展滞后, 人口不断增长, 给生态环境造成了极大的压力。西北地区生态极其脆弱, 西南地区又是我国生物多样性最丰富的区域。因此, 在西部大开发过程中, 如何保护和改善生态环境, 减少水旱灾害损失将成为十分迫切而重要的课题。本文在分析我国西部地区水旱灾害及生态基本特征的基础上, 提出了西部大开发中必须遵循的保障可持续发展的具体原则。

关键词: 西部开发; 水旱灾害; 生态环境

1 我国西部地区水旱灾害严重

我国西部地区, 尽管北部干旱少雨, 南部雨量充沛, 但总体而言, 西部地区的水旱灾害都十分严重。

1.1 西北地区

西北地区降雨量较少, 新疆、青海、内蒙西部少雨地区降水量不足 100mm, 陕、甘、宁三省区的少雨地区年降雨量不足 300mm。与此相反, 由于西北省区位处高原, 风势强劲, 气候干旱, 蒸发量可达 1 000~4 000mm。因此, 十年九旱是我国西北地区的主要特征。如陕西省 1994 年至 1996 年连续大旱, 70%农田受灾, 工农业生产损失近百亿元。甘肃省虽有黄河灌溉之利, 但平均每年受旱灾影响的农田面积达 $50 \times 10^4 \text{ha}^2$, 占耕地面积 16%。宁夏回族自治区 1452 年至 1948 年间发生干旱 323 次, 连续三年以上的干旱有 48 次, 平均 12 年一次。1949 年以来绝收面积达 80%以上的大旱灾发生过三次。内蒙古自治区西部年降雨量仅 40~100mm, 经常有旱灾发生。青海省平均每年受旱农田面积 $20 \times 10^4 \text{ha}^2$ 以上, 受旱草地 $1\,000 \times 10^4 \text{ha}^2$ 。1998 年至 1999 年春, 半年无降水, 地下水位下降 2~4m, 70%的机井不出水, 造成 80 万人、520 余万口牲畜饮水困难。新疆维吾尔自治区的北疆蒸发量为降水量的 10~15 倍, 南疆则达 130~200 倍, 有限的绿洲农业全靠冰川融水维持。

尽管西北地区以干旱为主要灾害特征, 但受江河及局部暴雨诱发的山洪影响也常有较重的洪涝灾害发生。如陕西省从纪元初至 1949 年间, 有 633 年发生洪水, 其中 352 年发生灾害性洪水, 平均 5.5 年发生一次, 新中国成立后平均 2 年发生一次灾害性洪水。1983

年汉江洪水造成安康市全城覆没,死亡 1 063 人,直接经济损失 7.22 亿元。甘肃省从明代以来发生洪涝灾害 131 次,平均 4.4 年一次。新中国成立以来又发生溃坝事故 70 余次,遭遇较大洪水 6 次。宁夏回族自治区受黄河影响,发生灾害性洪水平均 10 年一次,地方局部洪水平均 4 年 3 次。内蒙古自治区东北部降雨量较大,常有洪水发生,1998 年洪水灾害损失达 164.5 亿元。青海省平均每 3~5 年发生一次大洪水,10~15 年发生一次特大洪水,1999 年由洪水及泥石流造成的经济损失达 5.8 亿元。新疆的山区暴雨也常对平原地区造成严重破坏,1999 年洪水冲毁了吐鲁番地区的大部分水利工程。

1.2 西南地区

西南地区多山多雨,因而伴随暴雨产生的山洪及泥石流等山地灾害成为主要灾害,对公路和铁路危害严重。

西藏地区水土流失严重,水量充沛而河道行洪能力差,山洪、泥石流、山体崩塌灾害多发,1998 年洪水造成较大灾害。云南省最大年降雨量 4000mm,最小降雨量 300mm,因而水旱灾害频繁发生。1950 年至 1998 年的 49 年内,有 24 年发生大旱,有 22 年发生大洪涝。1997 年旱涝灾害同时发生,受旱面积 $98.13 \times 10^4 \text{ha}^2$,洪涝灾害面积 $57.93 \times 10^4 \text{ha}^2$,洪旱灾害损失达 84.4 亿元。贵州省从 1368 年至 1985 年发生水灾 254 年,其中大水灾 90 年。1991 年大洪水,全省 71 县市受灾,受灾人口 1 711 万人,经济损失达 19.07 亿元。1995 年又有 83 县市受灾,损失达 58.35 亿元。四川省 1981 年因暴雨洪水使 53 县市受淹,受灾人口 1 256.5 万人,死亡 1 384 人,经济损失达 28.66 亿元。广西壮族自治区大洪灾平均 11 年一次。

西南地区地势较高,常有大风,且河流下切形成深谷,而耕地稀少,又多位于高处,引水条件较差,多数农业靠自然降水维持。在水土流失严重的地区以及喀斯特发育的地区土层较薄,蓄水困难,都会导致旱灾发生,因此在西南地区也常受旱灾困扰。如贵州省从 1949 年至 1985 年的 37 年间,有 31 年发生旱灾。1985 年受旱面积达 $93.33 \times 10^4 \text{ha}^2$,粮食减产 21%,全省 1 025 万人,675 万头牲畜饮水困难。四川省常发生春夏连旱,新中国成立以来除 1967 年外,几乎年年都有旱灾发生,年均损失粮食 $5 \times 10^8 \text{kg}$ 。广西壮族自治区在 1700 年至 1949 年间共发生旱灾 152 次,大旱 12 次。1963 年因旱受灾面积达 $155.2 \times 10^4 \text{ha}^2$,1988 年至 1990 年又发生连旱,经济损失达 9.3 亿元,粮食减产 $17.6 \times 10^8 \text{kg}$ 。

在西部开发中应当充分注意各地的水旱灾害特征,减少水旱灾害、冬季暴风雪灾害及泥石流等山地灾害对开发项目的破坏。

2 与水旱灾害相关的生态环境问题

由于水旱灾害常使水土失衡,由此诱发一系列生态环境问题。

2.1 西北地区

(1) 湖泊矿化度增高。由于西北地区蒸发量大,补给水源减少,湖泊水位急骤下降,水中矿化度增高,湖内生物群落发生明显变化。如青海湖水位每年下降 10~13cm;博斯腾湖蓄水量有 $100 \times 10^8 \text{m}^3$,1958 年湖水矿化度只有 0.37~0.38g/L,1978 年上升为 1.6g/L,变成微咸水湖。50 年代,新疆有 5km² 以上湖泊 52 个,总面积 9 700km²,到 70

年代末,湖泊面积减到 4 000km² 左右。玛纳斯湖、乌伦古湖、罗布泊湖等都已干涸,留下一片盐碱荒沙。

(2) 河道断流。黄河及北方缺水区域河道下游断流已引起人们广泛关注,而内陆河流下游断流似乎并未引起人们重视。如塔里木河是沿河绿洲及罗布泊湖的水源,由于沿河开荒面积达 $13 \times 10^4 \text{ha}^2$ 以上,再加上在下游干流修建了库容 $1.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大西海水库,使下游 340km 河道断流,罗布泊湖干涸。

(3) 绿洲萎缩。西北戈壁、沙漠中的绿洲全靠河流或冰雪融水维持。因此,如果河流水量大幅度减少或断流,则绿洲将萎缩或消失。如塔里木河下游断流则使两岸的胡杨林大面积干枯死亡,各种野生动物也随之消亡。

(4) 水土流失。位于黄河中游的黄土高原及沙漠,经风水侵蚀,成为黄河泥沙的重要来源,每年进入黄河的 $16 \times 10^8 \text{t}$ 泥沙大部分来自西北地区。青海省水土流失面积高达 46.32%。

(5) 土地沙化。由于西北地区大面积开荒,而水资源不足,开荒土地难以维持,较细颗粒的粘土被风蚀后,土壤沙化,不再适宜耕作。地下水位降低、草场退化也常促使土壤沙化。

(6) 土地盐碱化。在蒸发量较大的干旱地区,过量灌溉使地下水位抬高,经土壤蒸发后盐份大量留在土壤中引起盐碱化。如新疆大量引水灌溉,在灌溉农田中盐碱化土地已达 1/4。宁夏灌区大量引用黄河水,土地盐碱化十分严重。

除上述问题外,在西北地区水域污染、虫害、沙尘暴等水旱灾害相关的环境、生态问题也日趋严重。

2.2 西南地区

(1) 水土流失严重。西南地区降雨强度大是水土流失及造成大规模泥石流、滑坡、塌崖的动力条件,西南地区山多坡陡、坡面侵蚀力大也是造成水土流失的原因。如云南省山地面积约占总面积的 84%,而水土流失面积占国土面积的 38.2%,达 $14.6 \times 10^4 \text{km}^2$ 。其中,中度以上水土流失面积 $6 \times 10^4 \text{km}^2$ 。四川省水土流失面积达 $19.98 \times 10^4 \text{km}^2$, 占全省总面积的 41%,是全国水土流失最严重的地区之一。长江流域的水土流失总量已达 $24 \times 10^8 \text{t}$,大部分集中在云南、贵州、四川等省区。

(2) 土地荒漠化。西南地区的山地和丘陵主要由石灰岩、花岗岩、玄武岩及各种变质岩构成。石质坚硬,土层浅薄,一旦流失则岩石裸露,土地石化。贵州省石化面积以每年 5%~7% 的速度在增长。

3 西北地区的生态脆弱性

我国西北地区的生态系统极其脆弱,主要是因西北地区风大、气候干燥、水资源短缺,生态系统受水资源制约,呈现极不稳定的状态。

我国是世界上沙漠最多的国家,而我国的沙漠又主要集中在西北地区及东北地区,即北纬 35~50°、东经 75~125° 之间的温带地区。其中新疆有沙漠 $42 \times 10^4 \text{km}^2$, 戈壁 $29.3 \times 10^4 \text{km}^2$; 内蒙古有沙漠 $21.3 \times 10^4 \text{km}^2$, 戈壁 $18.8 \times 10^4 \text{km}^2$; 青海有沙漠

$3.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 戈壁 $3.7 \times 10^4 \text{ km}^2$; 甘肃有沙漠 $1.9 \times 10^4 \text{ km}^2$, 戈壁 $4.9 \times 10^4 \text{ km}^2$; 陕西省有沙漠 $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$; 宁夏有沙漠 $0.4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 戈壁 $0.25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

适应沙漠环境的野生植物主要是根系发育而耐旱的物种或根系短而生长期短的物种。如黄柳其根系发育可达 10 余米, 梭梭树无叶而红柳叶小都可以减少蒸发; 又如碱蓬、盐爪爪等植物可适应盐碱含量高的环境。我国沙漠地区有各种野生植物 1 000 余种, 可形成大面积的沙漠森林和草场, 其中有药用植物 300 余种。

我国沙漠中还保留有许多珍稀动物, 如野骆驼、野马、野驴、黄羊、鹅喉羚等大型有蹄类动物, 沙鸡、大鸨、地鸨、沙百灵等珍禽, 以及跳鼠、沙鼠、蜥蜴等小型动物。

沙漠中的生物物种虽然远少于其他地区, 但它也构成了独特的生态系统, 其中许多珍稀生物是需要重点保护的。它们不仅仅是重要的基因资源, 同时有些物种可以形成生物屏障, 保护生活在沙漠之中的其他物种, 并改善人类的生活条件。如甘肃省内沿河生长的胡杨林形成绿色的河西走廊, 与塔里木河的胡杨林曾构成有名的“丝绸之路”, 成为汉、唐时期对外沟通的主要陆上通道。

鉴于我国西北地区独特的气候、地理及生态特征, 尽管它拥有广阔的土地资源, 但是它的承载力很低, 不能承受太大的人口压力。这在历史上已有大量实证。

新疆的考古证明, 在一万年前的石器时代, 就有人类在塔什库尔干河岸边和吐鲁番交河故城西面的黄土台地上生活。在罗布泊周边还发现有 3 800 年前的干尸和古墓。在两汉时期, 西域进入了繁荣期, 天山南北的西域 36 国已纳入汉朝版图。在现塔克拉玛干大漠中已发现众多古城址, 如精绝国为西域 36 国之一, 有人口 3 360 人, 士兵 500 人。位于塔里木盆地南缘的古扞弥国曾有 20 040 人; 位于现和田地区的古于阗国在西汉时有 19 300 人, 至东汉时达 83 000 人。但是, 这些古国都没有发展为现代化的城市而变为废墟。它说明了两个问题, 一是在古代这里曾有适合人类生活的环境, 二是人类发展到超过环境承载力后便造成了极严重的生态后果, 其生态环境是极其脆弱的。

唐代末年开始, 国力衰落; 宋之后政权南移, 西部的重要地位不再有。但是历代政府为保持版图, 在西部屯兵屯田。在清康熙末年, 为平息准葛尔叛乱又向河西地区大量移民开荒, 又呈一时繁荣。以后孙中山先生提出发展西北地区农业、畜牧、采矿、交通和向西北地区移民的设想。

新中国成立以后, 我国在西部地区大搞水利建设, 发展灌溉农业。在新疆设立生产建设兵团, 屯田垦殖, 引水量达 $121.94 \times 10^8 \text{ m}^3$, 总灌溉面积达 $99.77 \times 10^4 \text{ ha}^2$ 。又先后开发克拉玛依油田和吐哈油田, 西部地区的人口对生态环境的压力急骤增加, 远非汉唐时期所能比拟。

俄国军官普尔热瓦斯基在 1877 年考察罗布泊时, 记述塔里木的老虎像伏尔加河的狼群一样多。1895 年瑞典人斯文·赫定在对塔克拉玛干考察时, 是乘船由叶尔羌河、塔里木河漂流驶入大罗布泊湖, 湖中鱼群潜游, 湖上水鸟飞翔, 湖畔遭遇野骆驼、马鹿、野猪、黄羊、塔里木虎。直至 1958 年中国科学院综合考察队还看到塔里木河汇入罗布泊的河口地区有成群的巨鱼。而这充满生机的大湖, 在 70 年代就彻底消失了, 其原因就是汇入大湖的河水被一座座拦河坝截断, 又被 200 余处分水口将水引入农田。塔里木河下游的 340km 长期断流, 使两岸的胡杨林及相应的生态系统陷入绝境。

曾经是沙漠中绿色通道的河西走廊也由于天山北侧森林大量砍伐,维持河西走廊的三条大河即疏勒河、黑河、石羊河来水量日减,而沿河大量筑坝引水,两岸毁林造田,结果失去绿色屏障,巴丹吉林沙漠每年向东挺进 20m,河西走廊的沙尘灾害日益严重。同时,三条河下游断流,原有的湖泊、湿地干涸,草场沙化,风沙直逼北京。

有塞上江南之称的银川平原,自秦以来就兴建灌渠引黄灌溉,并不断移民垦殖。解放后自流灌溉面积由 1949 年的 $12.8 \times 10^4 \text{ha}^2$ 增加到 1990 年的 $36.7 \times 10^4 \text{ha}^2$,并新增扬水灌区 10^5ha^2 。大水漫灌的耕作方式使旱田耗水量高达 $15\,000 \text{m}^3/\text{ha}^2$ 以上。大量消耗黄河水不仅促成了黄河下游断流,而且给本地区也造成了极大的灾难。由于地下水位抬高,地表大量蒸发,土地盐碱化已成为可持续发展的潜在威胁。

西北地区的生态系统是脆弱的,在数千年来不断增加的压力下生态系统不断恶化,濒于崩溃,这将是西北地区大开发所面临的主要问题。

4 西南地区的生物多样性

我国西南地区雨量充沛,大江湍流,蕴藏着丰富的水利资源,西部大开发中建设水电,实现西电东送已成为议论的话题。但关于如何保护我国西南地区的生物多样性尚未引起人们足够的注意。我国西南地区有许多深山秘境,受人类破坏较少,成为我国重要的生物多样性宝库。

云南省是我国生物多样性最丰富的地区,其森林覆盖率为 24.2%,仅高等植物就有 18 000 种,占全国种类的 60%,目前许多享誉国际的名贵花卉是起源于云南的。在北回归线上的西双版纳还保留有热带雨林,内有 4 000 多种高等植物,其中优良用材树种 180 余种,经济植物 1 500 余种,药用植物近 800 种,并有大量可作为物种资源的野生花卉。雨林内尚有哺乳动物 102 种,占全国的 1/4;各种鸟类有 420 余种。

贵州省西北部的草海已被列入国际重要湿地保护名册。它是鸟类的乐园,在此越冬的候鸟有 110 种,达 10 万只,国家一级珍禽黑颈鹤多达 300 只以上。

青藏高原也是生物多样性丰富的地区。仅青海省就有兽类 103 种,鸟类 292 种,高等植物 3 000 余种。羌塘地区是地球上最大的野生动物家园,1990 年调查,发现藏野驴 69 群,藏羚羊、雪豹、盘羊、棕熊等,总数达 4 万只左右。

我国西南地区内还保留有多种珍稀物种,如大熊猫、朱鹮、孟加拉虎、金丝猴、雪豹等。

保护生物多样性才能维持生态系统的稳定,一种生物消失可能会造成相关的数十种生物的生存危机。同时随着生命科学的不断发展,每一物种所特有的遗传基因都可能成为巨大的资源。而且人类保护生物多样性正是为了保护生态系统的稳定,最终是为了保护人类自己。因为人类的进化过程并未停止,人类的进化还需要生物多样性的支持。1992 年联合国环境与发展大会签署了《保护生物多样性公约》,把保护生物多样性作为全球目标。

同时西南地区具有丰富的旅游资源。随着西部大开发,进入西南地区的常住人口和游客会大量增加,如何保护生态环境及保护生物多样性应列入重要议题。

5 以可持续发展的理论指导西部大开发

西部大开发不是权宜之计,而是要为子孙后代谋福利。面对西部水旱灾害严重,生态环境脆弱,生物多样性丰富的实际状况,必须高瞻远瞩、慎重行事,以可持续发展理论作为西部大开发的指导思想。

5.1 加强以流域为单位的国土综合整治,制止不合理的人类活动

以流域为单位的国土综合整治的核心是作好水土平衡,综合考虑流域的人口、经济、资源、环境、生态的协调发展。分阶段提高流域内的安全度、舒适度和富裕度,不仅为人类,也为其他生物创造良好的生存环境。对于已经对环境和生态系统构成严重威胁的人类活动,如盲目垦植、水资源浪费、污染排放、森林砍伐、猎杀珍稀动物等,应当有计划地加以引导和制止。

5.2 调整产业结构,减少经济活动对生态环境的压力

西部地区生态环境的日益恶化是由于农业过度开发,水土失衡所造成的。在水资源十分紧缺的地区,将水大量用于农业造成了十分严重的问题。而我国西部地区具有独特的地理、地貌,具有多样而奇特的景观,具有丰富的生物多样性,具有多民族的人文景观,具有十分丰富的旅游资源和物种资源。因此应当充分发展旅游业,发展交通、服务等行业。

利用现代高科技手段,发展生物产业,培育名贵花卉、宠物及有特色的高效生态农业和养殖业。

5.3 在西北地区要对人口及耗水量实行总量控制

人口膨胀及水资源利用的无政府状态是造成生态环境恶化的根本原因。在西部大开发过程中,要控制各地区的人口总量,同时对水资源的开发利用实行严格的取水许可证制度。

5.4 对向西北地区的跨流域调水持慎重态度

针对西北地区地多水少的现实,有专家提出再造中国论,即由西南地区大量向西北调水,对此应十分慎重。理由是:西北地区蒸发量极大,西北地区又属内陆,调入水在大量使用并被污染后无法排出,蒸发后大量污染物和盐分将留在土壤中并污染地下水。长期累计将使西北地区的生态环境遭到彻底破坏。在西北地区根本出路是形成节水社会,在水利用过程中尽量减少土壤蒸发,倡导封闭式循环用水。

5.5 西南的水电开发应当优先于西北石油开发

西南地区水电蕴藏量极大,其中四川省可开发 $10346 \times 10^4 \text{ kW}$, 云南可开发 $8916 \times 10^4 \text{ kW}$, 广西省可开发 $1751.83 \times 10^4 \text{ kW}$, 贵州省可开发 $1683 \times 10^4 \text{ kW}$, 构成了我国西南部水电基础。水电不仅可以东送,以减少东部火力发电造成的污染和水资源的浪费,也可以北送和就地使用,以减少西北对石油、煤炭、木材能源的需求。西北地区虽然有石油资源,但石油开发需消耗大量水资源,而且开采过程中易造成地下水污染,在生态脆弱区可暂缓开采。

朱镕基总理所提出的西部大开发的重点是加强基础设施建设,加强生态环境保护和建设,积极调整产业结构,发展科技和教育,加快人才培养,加大改革开发力度等方针都体现了可持续发展的原则。总结经验,着眼未来,不急功近利,才有可能使西部大开发在可持续发展理论指导下稳步推进。

对泄洪水流溅水雾化的几点认识

范宝山¹ 巩宪春¹ 吴柏春¹

(1 水利部松辽水利委员会水利科学研究院)

摘要: 本文系作者根据 1986 年至 1987 年白山水电站泄洪雾化溅水范围定性试验(比例尺 1:100)观测和 1991 年白山电站汛期泄洪原型观测所做的现场笔记、记录、照片等,经分析与推敲,将所得到的认识,整理成文以便与同行商榷。

关键词: 泄洪水流; 溅水雾化; 认识

1 前言

泄洪水流的溅水雾化是一个比较复杂的物理现象,影响因素较多,国外尚未见到系统的资料,国内研究也刚刚起步。我国是世界上水能资源最丰富的国家,兴建的高坝具有水头高、流量大、位于高山峡谷等特点,消能型式采用鼻坎挑流者居多。同时,我国又结合高坝的特点,首创了一批新型消能工,如各种异形鼻坎、高大差动挑坎、窄缝挑坎、宽尾墩、掺气分流墩及对冲碰撞挑坎等,达到较好消能效果,但却派生了严重的溅水雾化,给工程构成了另一性质的威胁。因此,近年来,溅水雾化日益引起各方面的注意。1987 年,当时的水利部科技司支持了溅水雾化的研究工作,后来,溅水雾化被列为国家科研重点发展规划中工程水力学的七大问题之一,也被列为国家“七五”科技攻关项目 17-2-5(8)子题。

泄洪水流的溅水雾化,在水利水电工程界常称“雾化”,这容易与气象学和化工行业的“雾化”定义相混。为了与化工的“雾化”有所区别,武汉水利电力大学的梁在潮教授将“雾化水流”译成英文为“Atomization Water Flow”。东北勘测设计研究院的蔡为武教授认为,单独使用“雾化”一词来表达泄洪水流的溅水雾化不够确切,容易使人忽略这一问题的主要方面,把水力学现象上更严重的暴雨、溅水、飞石诸方面及其衍生产后果——电气网络击穿、被砸、山体滑坡、厂房进水等不予重视。建议今后不再使用“雾化”一词。所以,我们在这里使用“溅水雾化”来代替“雾化”。

近年来,随着国内已建高坝水库的投入运行,许多文献中出现了有关泄洪水流溅水雾化给下游生活、生产造成影响的报告,现举几例如下:

(1) 1986 年和 1995 年,白山电站开闸泄洪,形成强烈的狂风、暴雨和飞石,使厂

房进水,下游河岸出现回流淘刷,两侧建筑物受到暴雨和飞石的袭击,造成一定的损失。

(2) 新安江水电站,曾由于溅水雾化导致 220KVA 变压器站 7 跨中有 2 跨跳闸,使 1[#]、2[#]、5[#]及 6[#]机组被迫停机,造成一定经济损失。

(3) 黄龙滩水电站,采用差动式鼻坎挑流,入水点在厂房附近,密集的溅水水雾笼罩着厂区,转而形成倾盆大雨,厂内发电机层水深 3.9m,高压短路,被迫停电 49 天,仅发电损失一项即达 1000 万元以上。

(4) 风滩水电站,尽管河面较宽,但溅水所形成的气水混合流仍袭击公路,风速大,大雨如注,交通中断。

(5) 法国的圣爱天康塔莱(St-Etienne Cantatone)坝泄量仅有 1000m³/s,就出现气水混合流顺峡谷爬行,引起降水,水漫公路,厂房也已近淹没。

(6) 柘溪水电站,泄洪时溅水水雾弥漫全河槽,在射流入水点后形成长约 200~300m,升腾高度 150m 浓密的气水混合区,左岸山头的工程局办公大楼及部分生活区,正处于溅水雾化区内,狂风暴雨,穿堂入室,无法工作,被迫将办公大楼迁往右岸下游。

(7) 刘家峡水电站,常因溅水雾化气水混合而结冰,被迫停止发电,为此建造了一条远离溅水雾化区的备用线路,耗资数十万元。当左泄水道运行时,右岸为强降水区,进厂的主要通道受阻,为此专建一条 200m 长的防护廊道,即使如此,泄洪时也要穿雨衣通过廊道。

(8) 龙羊峡水电站,1989 年泄洪时,溅水雾化导致坝下游山体发生滑坡。

(9) 青铜峡水电站,泄洪时下游产生泥、水、气三者混合雾流。

可见,对于泄水建筑物来说,溅水雾化问题是普遍存在的,对于某些特定的消能方式,溅水雾化问题会变得很严重。所以正确认识和理解溅水雾化现象,深入研究和解决好溅水雾化问题,是当前拟建和已建的水利枢纽迫切需要解决的问题。

2 过坝气流与水舌风

早期的溅水雾化研究工作,大多系在二维水槽中开展实验观测和研究的。当坝下溅水雾化区域形成气流吹向下游时,在水槽中同时也观测到了坝上游存在气流,该气流过坝沿水舌的运动方向至溅水雾化区,成为溅水雾化气流的一部分,这样就很自然地提出了“过坝气流”这一名词,指的是越过坝顶至水舌起挑段的运动气流。在二维水槽中,还发现从水舌起挑点至水舌在下游河道落水点这一段,水舌上面的气流运动逐渐加强,于是又引出了“水舌风”的概念,即由于挑流水舌在空中的运动,带动了周围空气的流动,这种流动与过坝气流叠加,所形成的更强的气流运动,称为水舌风。

1986—1987 年,笔者在刘仁山先生的指导和带领下,参加了白山水电站泄洪雾化溅水范围定性试验,模型为 1:100 的正态整体模型,坝下游的模拟长度近 1.0km,坝上游和坝下游的两岸山体均模拟至与大坝同高。在试验过程中,笔者从坝顶至下游大桥,布设了多个观测风力大小的测点,虽然多次重复观测,但从坝顶至挑流水舌的最高点处均未发现有“过坝气流”的存在。而在一些断面水槽的挑流消能试验中,观测到了微弱的

“过坝气流”。

1991 年，白山水电站分别于 7 月末和 8 月中旬两次开闸泄洪。特别是在 8 月 13 日的第二次泄洪，历时约 60 小时，笔者曾站在坝顶的闸门边，对过坝水流的流态进行记录和描述，见图，并未感觉和观测到过坝气流的存在。

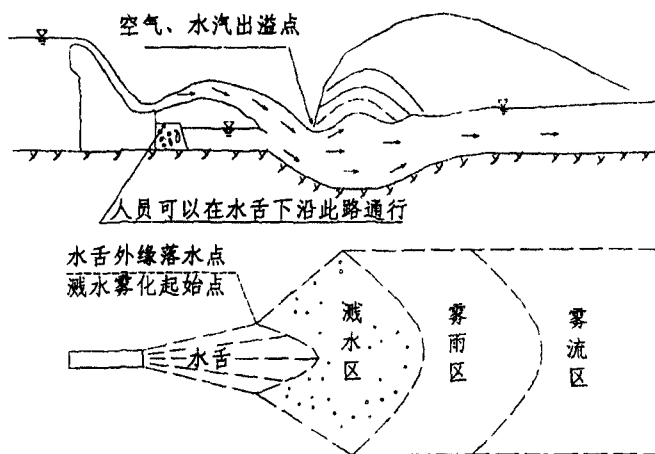


图 溅水雾化示意图

综合上述现象，笔者认为具有三维空间的实际泄水建筑物在泄水时，不存在过坝气流。只有在具有二维空间特点的水槽实验中，才有可能观测到过坝气流现象。这是由于当坝下游形成溅水雾化气流运动后，因气流被限制在水槽中运动，出现上游气体对下游气流的“补气”现象所致，这符合流体运动的连续律要求。

对于水舌风，笔者在模型中也未明显的观测到，只是在水舌达到最高点以后的下落运动过程中，在距水舌表面 1.0m（模型为 1.0cm）的范围内，测到了沿水舌表面方面极不固定的空气流动。

在 1991 年 8 月中旬白山电站的泄洪雾化的观测中，笔者曾从挑流鼻坎下边的便路从右侧走在左侧，当身处于挑流鼻坎的中线位置时，水舌从头顶上方轰隆掠过，除了从水舌上掉下的断断续续的个别水滴外，还有横贯水舌、左右不定的阵阵微风，水舌的底缘没有水舌风存在。从挑流鼻坎的左侧返回右侧后，当正为无法观测挑流水舌上缘是否存在水舌风而感到遗憾时，正巧来了一群白山特有的黑蝴蝶，蝴蝶在水舌上方翩翩起舞，但在很长一段时间内，没有蝴蝶敢接近距水舌表面 1.5m 以内的范围，最终还是有一只“冒险者”，飞到了接近水舌最高点处，并在距水舌表面 0.7~1.5m 的位置，被水舌吸入而消失。

综合上述观测，笔者认为水舌风是不存在的，但紧靠水舌的表面，的确有一层运动的气流。这是因运动的水舌带动周围空气而形成的气流边界层，这一层气流边界层的厚度完全可根据边界层理论求得。