

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.04.004

变化环境下我国西北内陆河区洪灾综合应对

冯 婧^{1,2}, 严登华², 秦天玲^{1,2}, 郑晓东^{2,3}, 耿思敏^{2,4}

(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 中国水利水电科学研究院水资源所, 北京 100044;
3. 河北工程大学, 河北 邯郸 056038; 4. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要 :在剖析西北内陆河区的洪水主要特征和成因基础之上,探讨变化环境下的综合应对措施及关键技术问题,制定洪水风险区划,建立“天地一体化”的监测评估体系,实施面向洪灾过程的水资源合理调配,并提高应急管理能力和综合各种措施应对洪水灾害。

关键词 :洪灾;特征因子;西北内陆河区;水资源管理;风险控制

中图分类号:TV125.P331.1 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2012)04-0017-07

Integrated coping strategies for floods in continental river regions in Northwest China in a changing environment

FENG Jing^{1,2}, YAN Deng-hua², QIN Tian-ling^{1,2}, ZHENG Xiao-dong^{2,3}, GENG Si-min^{2,4}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

3. Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;

4. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract :Based on analysis of the characteristics and causes of flood disasters in continental river regions in Northwest China, integrated coping strategies are put forward. They include flood risk zoning, establishing a monitoring and evaluation system from space to land, implementing reasonable allocation of water resources for the extreme process, and improving emergency management.

Key words : flood disaster; characteristic factor; continental river region in Northwest China; water resources management; risk control

我国西北内陆河区自西向东跨越新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏 5 省(自治区)。由于宁夏所占面积比例较小,对西北内陆河区整体洪灾形势影响较小,故研究中忽略不计。西北内陆河区属于干旱气候区,是生态环境和气候变化的极端脆弱区、敏感区和响应区,水资源状况是制约西部大开发战略实施的关键因素。20 世纪 80 年代之后,在以全球气候变化和人类高强度活动为主要特征的变化环境影响下,西北地区气候在整体上呈现由暖干向暖湿转型

的趋势^[1-2],洪灾呈现影响范围扩大、经济损失加重的趋势,且区域性特征明显,发生在干支流上的洪水均呈增多态势。在识别洪水灾害成因的基础上,采取综合应对措施,实现可持续管理是变化环境下水资源综合管理的需求。因此,在全球极端事件频发和局部区域人类活动继续加强的情况下,笔者探讨了变化环境下西北内陆河区洪灾的新特征,并对其成因进行剖析,提出综合应对措施以降低洪水灾害发生的风险。

1 西北内陆河区洪水灾害的主要特征

西北内陆河区洪灾的发生具有普遍性。发生频率、影响范围和程度以及经济损失都呈增加趋势,且具有区域性的典型特征,发生在干支流上的洪水呈“双上升”的趋势,洪水沿着独特的产汇流路径逐渐演进。

1.1 洪水灾害具有普发性,发生的频次和造成的损失逐渐加大

西北内陆河区历史上就是一个洪灾频发区。以新疆和青海为例,1950—1999年,新疆总共发生大小洪水灾害791次,发生频次为7.91次/a,且随着年代的增加呈增加趋势,每10a以3.77次的速度线性增加(图1)^[3];青海省平均每3~5a发生1次大洪水,10~15a发生1次特大洪水^[4]。

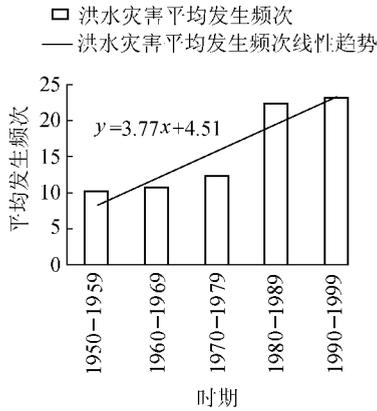


图1 新疆洪水灾害频次变化趋势

1950—2009年,在未考虑变价影响的情况下,统计西北地区因洪水灾害所造成的累计直接经济损失为186.24亿元,21世纪10年代的直接经济损失是20世纪50年代的36倍多(表1)^[5-11];考虑变价影响,以1978年新疆维吾尔自治区地区生产总值指数为基准,对1978—2008年西北内陆河区的洪水灾害所造成的直接经济损失进行分析,其具有0.5798亿元/a的增长趋势(图2)。据新疆维吾尔自治区防汛抗旱总指挥部办公室统计表明,2010年7月,新疆喀什地区发生不同程度的山洪和泥石流灾害,初步估算经济损失达3524万元。

表1 1950—2009年西北内陆河区洪水直接经济损失表(未考虑变价影响)

时期	1950—1959	1960—1969	1970—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2009
直接经济损失/亿元	4.20	2.21	4.25	17.58	6.78	153.42

1.2 洪水灾害的影响范围扩大,具有年际震荡周期

据新疆、青海、甘肃、内蒙古内陆河区水灾资料统计^[5-11],从1950—2009年,因洪灾总计农田受灾面

积402.61万hm²,成灾面积183.15万hm²,受灾人口2473.1923万人,死亡人口3954人;受灾面积呈上升态势,21世纪10年代为157.05万hm²,是20世纪50年代13.68万hm²的11倍多,受灾人口及死亡人口也呈增加趋势,21世纪10年代的受灾人口达到1636.82万人,是20世纪50年代受灾人口数4.99万人的300多倍,见图3(a)(b)。

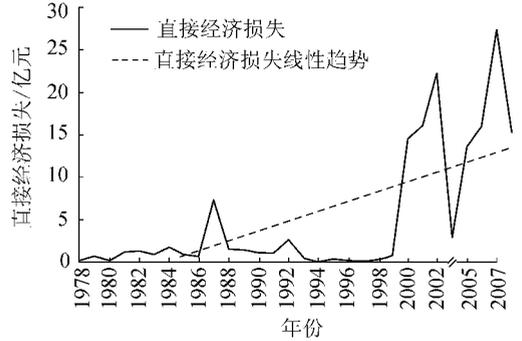


图2 1978—2008年西北内陆河区洪灾直接经济损失

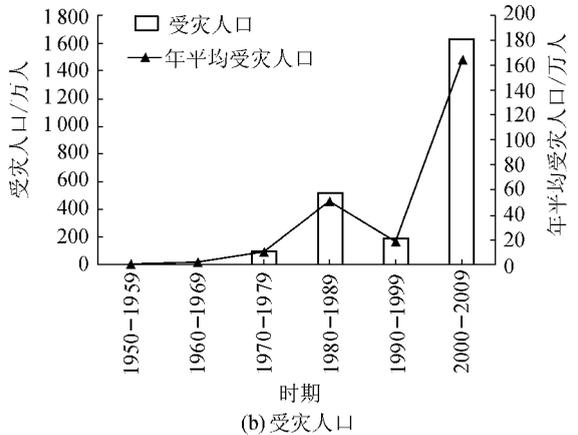
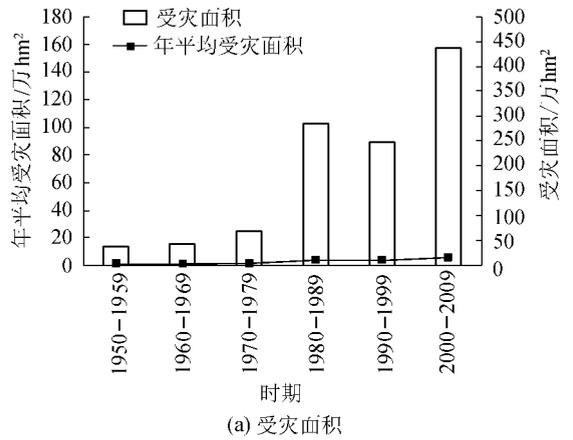
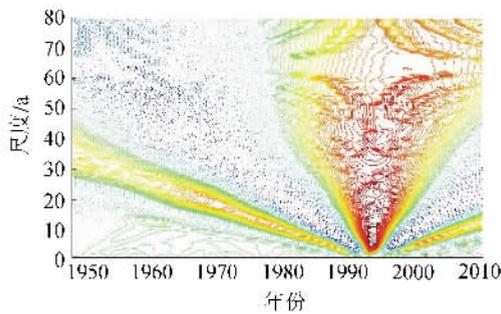
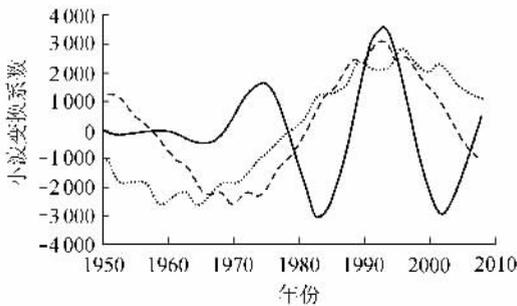


图3 受灾面积及受灾人口的年际变化(10a期)

对1950—2009年期间的洪水受灾面积进行morlet小波分析(图4),受灾面积存在15a、36a、55a的年变化周期,小周期的正负交替变化嵌套在大周期的正负结构中,较低周期对应的正负变化更为频繁。以15a为典型周期,洪灾受灾面积在20世纪80年代之后呈增加趋势,即进入洪灾频发期。



(a) 受灾面积距平序列的小波变换实部的时频分布



(b) 受灾面积过程线变化

图4 洪水受灾面积的周期变化

1.3 洪水灾害类型多样,以暴雨型和融雪型洪水为主

各种类型的洪水灾害(融雪洪水、冰川洪水、冰凌洪水、暴雨洪水以及叠加型洪水)在西北内陆河区都有发生,但以暴雨型和融雪型洪水为主,大面积、大范围的洪水灾害在西北内陆河区较少发生。暴雨型洪水多由山洪引起,发生的局部性、历时的短暂时性、降水的高强度性、灾害的难预见性、水沙的高含量性是其主要特点,中小河流和溪沟近年发生洪水的频次增加,且会产生较高的洪峰是其与其他区域洪水不同的显著特点,从流域上游冲刷下来的水沙、水盐对中下游区域的水生态和社会经济系统造成的灾害损失大且难以预测和评价,融雪洪水的发生强度和范围取决于冬季的积雪深度、范围以及春季气温的升温幅度和持续时间,其主要特点是历时长、涨落缓慢。以北疆为例,发生面积广、影响大的融雪洪水主要有1966年、1971年、1977年、1985年、1988年、2005年^[12]。融雪洪水若与强烈的暴雨天气遭遇,二者叠加,会形成特大洪水,产生更强的洪峰,且近几年发生叠加型洪水灾害的频次增大。1999年新疆所发生的大范围洪水是在持续高温下高山冰雪融水叠加暴雨形成的峰高量大的洪水^[13]。

1.4 独特的产汇流途径导致洪灾范围和程度的变化,且干支流洪水呈双上升趋势

从地理条件分析,西北内陆河区流域有一个共同特点:径流形成区位于河流出口口以上,径流耗散区为中游的湖泊或盆地,径流最后消失在荒漠和尾

间湖泊中。其独特的产汇流机制决定了洪水灾害发生的最基本特征:山区为暴雨形成区,平原区为洪水高发区,尾间湖泊区为洪水消失区,即沿着流域产汇流路径,洪水逐渐演进,且洪水多在人类活动最强烈的区域(中游)具有最大洪峰,损失惨重。在积雪和气温等气候条件相似的区域,易发生时间相近和洪水类型相似的洪灾。如1985年、1988年、2005年分别在伊犁地区、天山北坡地区和塔城北部地区出现3次大范围洪水,其发生时间大致相近,融雪水在山前顺势漫流,并呈片状发生^[12]。从受灾地区的空间分布看,新疆是受灾最严重的地区,其约占西北内陆河区洪水灾害受灾面积的一半,其受灾面积和死亡人口所占比例最大。

另一方面,发生在干支流上的洪水呈双上升趋势,发生在中小河流、溪沟的洪水增多(表2)。其原因是①近十几年来低山区、前山带暴雨增多,量级增大,②小河流域上的突发性暴雨山洪,洪水来去快,加上缺少骨干工程的拦蓄作用,难以预防,容易成灾^[9]。以2010年的洪水灾害为例,据新疆维吾尔自治区防汛抗旱总指挥部办公室的统计,2010年6月19日,受伊犁河谷持续高温天气和山区局部强降雨影响,伊犁河流域各山沟水系来水量猛增,霍城县果子沟、切特克苏沟、切特萨尔布拉克、格干沟相继暴发洪水。

表2 近60年来西北内陆河区典型洪水^[12-18]

年份	洪灾地区
1961	塔里木河支流叶尔羌河发生洪水
1966	石羊河支流洪水
1971	塔里木河支流叶尔羌河发生融雪洪水
1972	黑河支流发生暴雨型洪水
1977	石羊河支流古浪河融雪洪水
1979	疏勒河支流党河暴雨型洪水
1981	新疆小区域暴雨洪水
1985	伊利地区、天山北坡、塔城北部地区,出现大范围融雪洪水
1987	石羊河水系暴雨所致洪水,新疆发生暴雨和融雪型洪水
1988	伊利地区、天山北坡、塔城北部地区,出现大范围融雪洪水,西北内陆河新疆区普泽洪水
1989	柴达木河支流格尔木河洪水(洪峰发生2次,第1次是融雪型洪水,第2次是暴雨型洪水)
1994	塔里木河上游段洪水
1996	新疆玛纳斯河流域特大融雪冰与降水叠加型洪水,黑河发生暴雨洪水
1999	塔里木河支流渭干河发生融冰雪与暴雨混合型洪水,伊犁河流域发生特大暴雨融雪叠加型洪水,塔里木支流尼雅河发生特大暴雨融雪叠加型洪水
2002	塔里木河支流渭干河流域特大暴雨和融雪叠加型洪水
2005	伊利地区、天山北坡、塔城北部地区,出现大范围融雪洪水,塔里木河洪水
2010	黑河、渭干河支流洪水

2 洪灾成因

2.1 独特的自然条件

西北内陆河区深处欧亚大陆腹部,远离海洋,高山、高原、盆地交错封闭分布,境内降水量稀少且时空分布不均。众多冰川和积雪发育在高山处,且由于高大山系拦截和抬升水汽的作用,山区可截获较多水汽,从而降水比较丰富,植被发育较好;河流径流沿程注入中游平原区,在山前平原形成大片绿洲,但此区降水稀少;最后径流消失在沙漠或戈壁的尾间湖泊区。

但近年来西北气候可能存在由暖干向暖湿转变的趋势,整体上呈气温升高和降雨增加的态势。施雅风等^[12]提出了西北气候可能由暖干向暖湿转型的科学推断。急剧升温是诱发融雪的动力条件,降水增大加大了融雪洪水和暴雨洪水遭遇的机会。

2.2 人类活动不当,蓄滞洪区被侵占

西北内陆河区独特的气候地理条件决定了区域洪灾产生的大背景,其脆弱的生态环境是长期作用的结果,但人类过度开发利用绿洲加剧了生态系统的非常规扰动,改变了天然水循环过程,洪水的演进路径受到人为干扰,洪峰更高、损失更大。从内陆河区“自然-社会”二元水循环的角度出发,以绿洲为主的上中游地区,灌溉业发达,往往用水量过大、无效蒸发和损失大、用水效率低,上中游挤占下游的生活、生产、生态用水,致使下游河流出现季节性断流,尾间湖泊发生萎缩,天然生态系统退化,对洪水的调蓄能力下降,同时中游区域过度的土地开发利用加剧了水土流失、水污染和沙化的速率,洪水过程携带更多的水沙、水盐、水杂质。

近年来,西北内陆河区土地开发利用强度增大,洪泛区、蓄滞洪区等天然绿洲逐渐减少。人类对洪泛区的过度开发利用是西北洪水损失加重的重要原因之一,而这是由于缺乏合理的洪水风险区划造成的。当区域经济结构布局未考虑洪水因素的影响,对包括生态系统在内的防洪缺乏正确认识,同时洪水易发区又是人类活动最强烈的区域,易造成较大的洪灾损失。

2.3 水利工程布局不合理,综合调节性能差

1996年发生洪水的范围主要出现在新疆重要的经济带和交通干线的中小河流或洪沟上,而1999年出现的洪水涉及范围更广,大多为大河或较大河流,流程长,相对容易防范,洪灾损失比1996年小,但局部性洪灾仍比较严重^[13]。这充分说明了西北内陆河区在中小河流的防洪基础设施建设不足。西北内陆河区一方面重视工程措施的重要性,另一方

面防洪基础设施仍旧不足,水利工程整体布局不合理,老化失修严重,抗御洪水灾害的标准偏低,联合调配能力差。在上游,出山口缺乏调节性的水利工程;在中游平原区域,建设面广水浅的平原水库,其蒸发强烈、无效损失大,经济生态环境的综合效益不高,不利于下游尾间湖泊区的生态环境安全,不能起到有效实施洪水综合管理和资源化的作用;在下游尾间湖泊区,恢复生态系统的重大工程有所开展,植被和生态系统得到一定的改善,但强度和范围仍需加强。

3 洪灾的综合应对措施及关键技术问题探讨

西北内陆河区是我国极端水问题突出的地区,洪水的高风险区是西北干旱区适宜人居的唯一环境,这决定了实施基于风险的洪水管理模式的基本背景和必要性。随着洪水灾害的加剧,需“趋利避害,统筹兼顾”,健全洪水管理体制,制定和完善洪水风险区划,实施“天地一体化”监测网络,运用气陆耦合模式进行洪水的实时预警预报,综合管理洪水资源,并在洪水发生之后评估经济、社会、环境以及管理风险,修正评估结果,达到社会满意的结果(图5),逐步在西北内陆河区形成地方法规体系、工程保障体系、组织管理体系、资金保障体系、社会化服务体系等防洪一体化系统。

3.1 提高水利工程的调蓄能力

针对西北地区历年重视抗旱而防洪不足的现象,需在适度提高防洪标准的基础上,适时维修、调整、重建防洪工程,重点支持水库的建设和联合调度,水库在调蓄洪水,减少下游防洪压力、洪水资源化方面的作用在以干旱为主要特征的西北内陆河区效益尤其显著,但需规避其不同利益相关方之间争夺资源的风险。首先,对现存安全隐患或功能布局不合理的水库进行维修和改造,对存在安全问题的水库要加快实施常态管理下的除险加固、排漏检查,使防洪工程逐步达到设计防御洪水标准,建设防洪安全保障体系,同时利用水库解决河流季节性断流问题,完善水资源供需保障体系,对调控效益不高或综合效益不显著的水库重新进行水资源功能的调节或水库的报废重建,进行防洪开发利用规划,重新在水深、水表面积小的出山口区域选址建立骨干性调节枢纽,综合发挥防洪、旅游、供水、发电等综合效益,最终形成以防洪基础设施建设为重点,以地方中型工程为主,以少数典型大型工程为辅的水利工程体系和防洪安全保障体系;在上游区域,进行洪水的“源头减排”,建设骨干性水利枢纽工程;在中游区域,减缓城市化速率,增加城市的防洪排涝基础设施

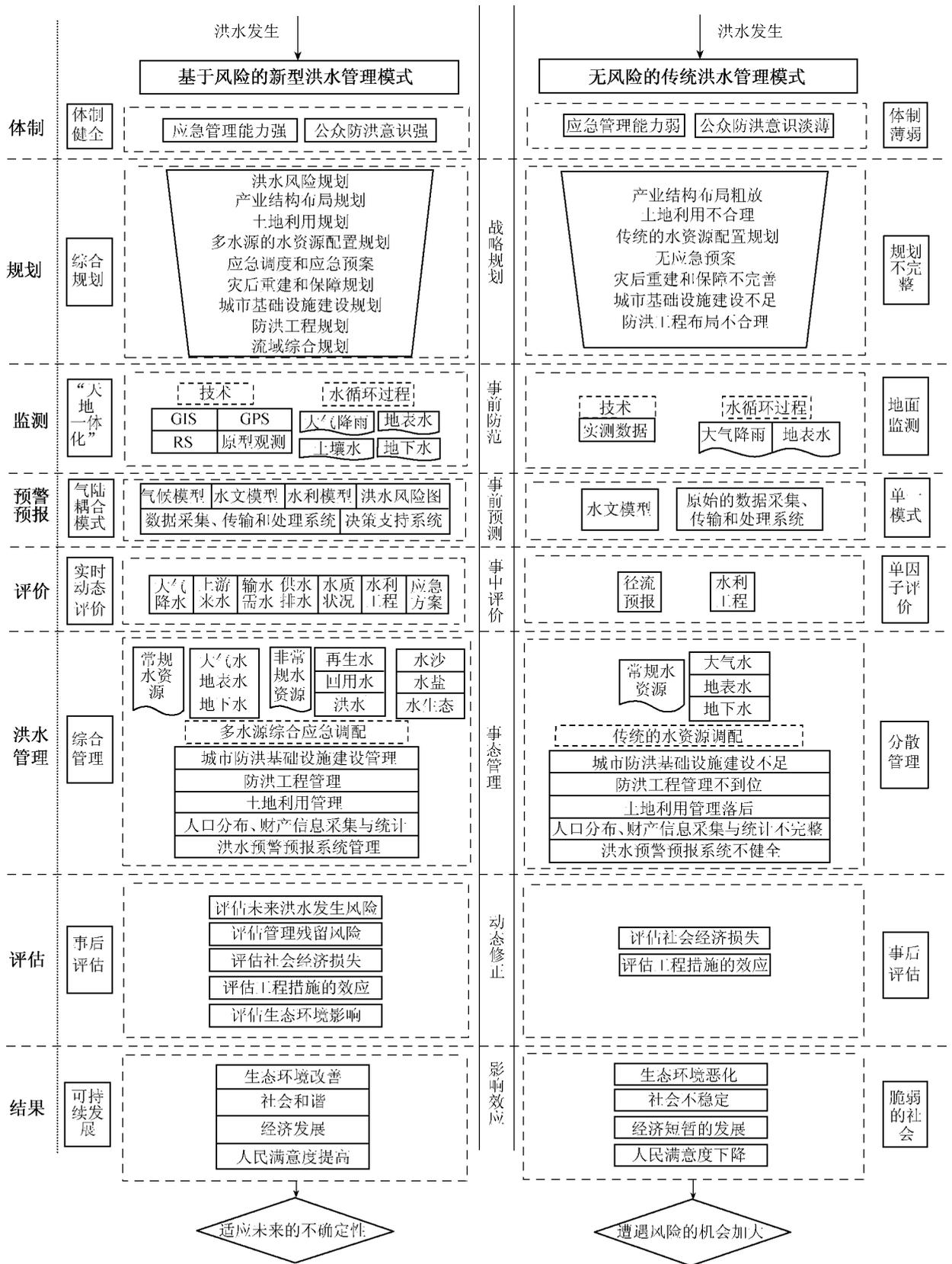


图5 西北内陆河区洪水管理对策

建设,合理进行土地利用规划,进行“洪水过程调配”和“洪水资源化”,在下游区域,保护和重建湿地和湖泊等水域生态系统,进行“末端控制”。在可持续发展原则之上,形成预防、开发、利用、保护水资源的体系,建立全流域的防洪工程保障系统。

3.2 制定和完善流域洪水风险区划

西北内陆河区的流域洪水风险区划是对洪水的分布(即洪水的发生和程度)进行时空尺度上的分区,以保护天然绿洲、保障人类安全、减轻洪灾损失为基本准则,强化流域为基本管理单元,将风险管理

理论融入流域防洪规划与管理中,制定适应新形势的流域管水方案。首先,需识别长时序的流域洪水成因(以典型洪水特点与规律为研究重点),划分洪水类型;其次,在系统识别变化环境下流域供水-输水-需水-排水的动态变化特征基础上,综合考虑不同承载体、孕灾环境、致灾因子的特性,结合洪水的发生频率、水文水力特征、经济社会发展情况、防洪标准等指标,对洪水灾害的危险性、社会经济的易损性和成灾因子的风险性进行全口径评价,然后绘制并实时修订洪水风险图,从而识别洪水的可能发生区,有利于开展抢险救灾工作^[20]。Boardman 等^[21]认为,如果不以洪水风险图为基础,改变洪水易发区的土地利用类型,减少洪水的径流,未来的气候变化会大大加大洪水风险和财产损失。因此需对不同频率下的洪水空间分布进行风险区划,将流域划分为不同风险等级的洪水影响区。

3.3 加强“天地一体化”的监测-预警-响应-评估综合体系建设

西北内陆河区洪涝灾害的发生具有局部的典型特征,而对于小区域短历时洪水的预报难度较大,但可从洪灾所呈现的“面”的特征来识别流域洪水灾害的演变规律及其洪水成因,孕其于“天地一体化”防洪网络建设之中,加强大面积长历时多水源的洪水预警预报研究,提高基于遥感和气陆耦合模式的洪水预警预报(灾害性水文气象形势监测、预报)能力,尽量不在洪灾发生概率高的区域进行经济用地的开发,规避洪水风险。在洪水风险区划的基础上,以统一的物理模式,将3R技术、气候预报、水文预测等技术与社会经济发展评估相融合,对水循环的大气过程、地表过程、土壤过程和地下过程以及水资源的开发利用状况进行综合监测,将雨情、水情、灾情的预警预报与实时决策、动态评估相耦合,对洪灾所造成的自然、社会、经济、生态、环境影响分别进行事前预测评估、事中影响评估、事后整体评估,相应的实施整体应对机制,即分别启动事前应急预案、实时修正应对方案以及灾后整体评估工作。其中,事后整体评估为后期恢复重建工作、洪水风险区划的滚动修正及防洪管理工作的调整提供依据,从而对常规水资源与中水、再生水等非常规水资源及应急水源进行综合调度。

3.4 实施面向洪灾过程的多水源综合应急调配策略

在水利工程硬件能力的支持下,为了保障下游绿洲用水的基本需求以及协调不同区域的需求,必须实现流域水资源的科学合理配置,统一管理,统筹协调,发展面向洪灾过程的水资源联合调配技术,即

实施基于8大总量控制的水资源综合调控,把洪水从应急管理层面纳入到区域水资源综合调配规划中,进行未来可能极端洪水情境下水资源的供给与需求态势分析,充分考虑变化环境下的承载能力,按照“生活、生态、生产”的先后顺序进行极值条件下的水资源调配,完善常规的仅仅考虑常态水资源调配情景的思路。其中,流域水沙资源的调配在西北内陆河区极端条件下水资源的调配过程中尤其重要,洪水资源化是调配过程中的重要环节,其需要土地类型的合理区划和管理。Sun 等^[22]研究发现,通过实施一系列调水措施,塔里木河下游的生态系统完整性提高,地下水得到控制,需继续采取调水措施恢复干旱半干旱区的河滨植被系统。所以需加大恢复天然生态系统力度,合理进行水资源的综合调配,减小洪水风险。

3.5 基于不同风险等级的洪水应急管理能力建设

在洪水风险区划的基础上,科学核算区域水资源和水环境承载能力,结合承载能力,将防洪规划纳入到区域整体发展规划及水资源综合规划中,据此优化产业结构布局,制定不同风险等级下的应急管理和联合调度预案,实施最严格最有效的水资源管理。应急调度管理能力的提高以变化环境下工程措施和调度技术的提高为技术保障,以产业与水利工程布局的合理改善为政治基础,以各行各业不同利益相关方防洪意识的提高为社会保障,以多水头的联合应急调配为应急保障,制定防洪应急管理预案。将防洪减灾纳入日常水资源综合管理中,形成风险管理与常态管理相结合的模式:即从“短时应急管理”向“长-中-短时相结合管理”转变,从“有限目标下的管理”向“变化环境下全过程多源头的综合管理和控制”转变,实施“源头风险规避-过程灾害削减-末端规划修订”相结合的洪水控制模式,从而规避洪水风险,提高洪水风险管理能力。

4 结 语

在以人类活动和气候变化加强为主要特征的变化环境下,西北内陆河区的气候正在经历由暖干向暖湿变化的过程,气温和降雨整体上均呈增加趋势。西北内陆河区的洪水灾害具有普遍性的特征,洪水沿着独特的产汇流路径逐渐演进,其发生频率、影响范围和影响程度以及经济损失都呈增加的趋势,且在不同区域具有不同的典型特征,发生在干支流上的洪水呈“双上升”的趋势,即洪水具有向中小河流、干支流转变的趋势。

西北内陆河区洪水灾害的形成有其独特的成因,在独特的自然条件背景下,人类活动不当是洪水

(灾害)加剧的主要因素,水利工程布局不合理是洪水损失无法得到有效控制的原因,且人类活动对洪水的影响是可调可控的。在制定洪水风险区划和建立“天地一体化”监测评估体系的基础上,实施面向洪灾过程的水资源综合调配措施,并适时建设骨干水利工程,提高水利工程的联合调蓄能力,并建设基于不同风险等级的应急管理能力和综合措施应对洪水灾害。其中,分析气候变化敏感区洪灾的长时间尺度特征,发展面向洪灾过程的水资源调配以及应对措施是未来的研究方向之一。

参考文献:

[1] SHI Ya-feng, SHEN Yong-ping, HU Ru-ji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in northwest China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2002 24(3) 219-226.

[2] SHI Ya-feng, SHEN Yong-ping, LI Dong-liang, et al. Discussion on the present climatic change from warm-dry to warm-wet in northwest China[J]. Quaternary Sciences 2003, 23(2):152-164.

[3] 吴素芬, 张国威. 新疆河流洪水与洪灾的变化趋势[J]. 冰川冻土 2003 25(2):199-203.

[4] 闫臣, 唐红彬. 西北地区洪水资源化途径探讨[J]. 资源与环境 2008(1) 52-53.

[5] 《西北内陆河区水旱灾害》编辑委员会. 西北内陆河区水旱灾害:中国水旱灾害系列[M]. 郑州:黄河水利出版社, 1999.

[6] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 2000—2009年全国洪涝灾情[J]. 防汛抗旱 2000—2009.

[7] 青海省水利厅网络宣传信息中心. 青海水利大事记:1986—2005[M]. 西宁:青海人民出版社, 2007.

[8] 姜逢清. 20世纪下半叶新疆洪水灾害的新趋向[J]. 灾害学 2004, 19(2) 29-35.

[9] 史玉光. 中国气象灾害大典:新疆卷[M]. 北京:气象出版社, 2006.

[10] 沈建国. 中国气象灾害大典:内蒙古卷[M]. 北京:气象出版社, 2008.

[11] 董安祥. 中国气象灾害大典:甘肃卷[M]. 北京:气象出版社, 2005.

[12] 吴素芬, 刘志辉, 邱建华. 北疆地区融雪洪水及其前期气候积雪特征分析[J]. 水文 2006 28(6) 84-87.

[13] WU Su-fen. Analysis on flood characteristics of Xinjiang Autonomous Region in 1999[J]. Hydrology 2002 22(2) 58-60.

[14] 商思臣, 黄玉英, 何慧. 新疆渭干河流域特大洪水分析[J]. 新疆气象 2003 26(6) 8-9.

[15] 田晓明, 陈洪伟, 董克鹏, 等. 新疆尼雅河一场罕见的特大洪水成因分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2006 24(3) 350-352.

[16] 江有成. 新疆玛纳斯河“96.7”特大洪水分析[J]. 水文, 1999(6) 57-58.

[17] 成正才. 塔里木河 1994 年大洪水及其相关问题分析[J]. 干旱区地理, 1995, 18(2) 8-16.

[18] 徐喜林, 杨晓东. 新疆塔河油田的洪水成因与防洪形势[J]. 水利水电科技进展 2011(S1) 35-37.

[19] 张贵世, 山发寿, 高东林. 1989 年格尔木河特大洪水对察尔汗盐湖的影响[J]. 青海科技 2006(3) 36-38.

[20] COOK A, MERWADE V. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping[J]. Journal of Hydrology 2009, 377(1/2):131-142.

[21] BOARDMAN J, EVANS R, FORD J. Muddy floods on the south downs, southern england: problem and responses[J]. Environmental Science & Policy 2003 8(1) 69-83.

[22] SUN Zhan-dong, CHANG Ni-Bin, OPP C, et al. Evaluation of ecological restoration through vegetation patterns in the lower Tarim River, China with MODIS NDVI Data[J]. Ecological Informatics 2011 8(2):156-163.

(收稿日期 2011-05-12 编辑:高渭文)

(上接第 5 页)

[2] 李英能. 关于我国节水农业技术研究的探讨[J]. 灌溉排水学报 2003(2):11-14.

[3] 阎玮, 江建华, 缪海洋. 低压管道输水与田间优化灌溉技术[J]. 节水灌溉 2005(4) 43-46.

[4] 吴玉芹, 李远华, 刘丽艳. 提高灌溉水利用率的途径研究[J]. 中国水利 2001(11) 71-72.

[5] 周春生, 史海滨. 节水灌溉技术研究综述[J]. 内蒙古农业大学学报 2009(12) 316-317.

[6] 贾大林, 姜文来. 试论提高农业用水效率[J]. 节水灌溉, 2000(5):19-21.

[7] 丁加丽, 彭世彰, 徐俊增, 等. 控制灌溉条件下水稻蒸发蒸腾量及作物系数试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版 2006 34(3) 239-242.

[8] 姜文来, 贾大林. 农业水资源增殖研究[J]. 中国农业资源与区划 2001(6) 37-40.

[9] 唐浩. 农业面源污染控制最佳管理措施体系研究[J]. 人民长江 2010 41(17) 54-57.

[10] 刘蕾, 姜灵彦, 牛俊玲. 农业面源污染及环境生物防治技术研究[J]. 安徽农业科学 2009 37(20) 9608-9610.

[11] 曹昀, 王国祥, 黄齐. 人工湿地改善长江水体透明度的示范研究[J]. 人民长江 2009 40(20) 85-87.

(收稿日期 2011-04-28 编辑:高渭文)