基于风险分析的防洪研究

朱元甡

(河海大学水文水资源及环境学院,江苏 南京 210098)

摘要:考虑到只要是以现今的资源去换取未来的期货,失败的风险总是不可避免的,而传统水库设计程序仅考虑抵御或防止相当设计标准的洪水,依据现代防洪的理念,基于风险分析的规划设计防洪减灾体系程序,全面考虑所有可能发生的事件引发的灾害后果,既包括低于设计标准的常遇事件,也包括超标准的稀遇事件.

关键词:风险分析;防洪风险分析;防洪减灾体系风险分析

中图分类号:TV87 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2001)04-0001-08

最近传媒的热点是北方水资源短缺和南水北调,此时研讨防洪风险,似乎有些不合时宜.其实,现在恰是最好的时机,因为虽'98,'99 洪水事过境迁,人们的心态已较为平静,但惊心动魄的防洪景象还记忆犹新,十分有利于从防洪科学的角度不受干扰地作一些分析研究.

1 传统的防洪理念受到挑战

长江干流在 1998 年洪水期间,中游的洪水最大 30 日水量只相当 30 年一遇,然而该河段(除武汉—黄石段外)的水位却要高于 1954 年,为近百年实测资料系列的最高值,不少堤段水位超过堤顶,依靠临时子堰挡水,防洪形势空前严峻,当时的防洪决策承担了空前巨大的风险,经过数百万军民的严防死守,取得抗洪斗争的全面胜利.然而 1999 年长江中游的洪峰水位,继 1998 年后又一次接近或超过历史记录.事实上,近年在世界各地都先后发生过多次重大洪水灾害,如 1993 年美国密西西比河特大洪水、1991 年中国长江下游太湖地区以及淮河洪水和 1998 年松花江的超标准特大洪水、1993 年和 1995 年西欧莱茵河和马斯河洪水.各地在洪水、洪灾中出现的一些新情况,对防洪提出的新问题,存在不少具有规律性的共同点,引起学术界普遍的关注,要求人们对传统防洪战略理念、规划、设计和管理的理论和方法作出全面的检讨[1~4].

长江如此严峻的防洪形势,其原因是多方面的.首先,'98,'99 水文气象因素具有相当大的作用,虽然降雨和洪水数量与历史记录相比并不突出,但雨区的位置及其时空分布对中游防洪十分不利,干支流洪峰遭遇组合,相互叠加,造成水位居高不下.其次是非自然因素的变化对洪水、洪灾和防洪的作用.突出表现在堤防安全抵御了历史最高洪水水位(干堤除了'98 九江出现一处溃口外),防洪规划中预先设置的分蓄洪区都未启用,致使上中游的洪水全部汇集到中游,超出干流河道和两湖的正常蓄泄能力,使水位抬升到前所未有的高度.最后,在沿江两岸的城市、厂矿等防洪重点地区,由于人口密度增长,土地开发和经济发展,使个体和社区对洪灾的敏感度有增无减,承担洪灾风险的能力明显下降.

我国在长期江河治理的实践中,形成的防洪理念之一,是'水来土掩",以控制洪水为核心,主要依靠的是水库、堤防等工程措施,较少考虑采取非工程措施,例如通过调节、控制和约束受洪水影响的人和物,最大限度地降低或避免洪灾的损失.防洪理念之二,流域或地区的防洪规划和设计,是依据当地洪水的记录,参照一次或几次洪水极值事件(如长江流域的 1954 年,黄河流域的 1958 年,海河流域的 1963 年等),经过必要的调整,拟定出一个'确定的"防洪目标,认为只要足以抵御或防止该次最不利事件,就认为基本满足了防洪安全的需求,在社会舆论上形成一种思维定式,有时会误导公众的侥幸心理或者麻痹思想.防洪理念之三,认为经

收稿日期:2001-03-20

作者简介:朱元甡(1934—),男,安徽旌德人,教授,博士生导师,主要从事水文水资源研究.

济和科技的发展,随着防洪投入的不断增加,防洪目标应逐年提升,而且洪涝灾害也应日渐减少,直至彻底消灭.这个理念体现了水利科技人员征服自然、控制洪水、造福人民的情结,但在今后可以预见的数十年期间,几乎是无法实现的.

事实上,洪水和洪灾的形成和发展过程非常复杂,是由众多自然因素和非自然的人为因素共同作用的结果,每个因素又分别有各自的时空分布过程,其遭遇组合几乎可以有无限的可能性,使洪灾具有明显的不确定性,往往在某河流来了一次大水后,社会舆论和公众就关注防洪,但事实上此后几年却可能平安无事,甚至会出现连续干旱期 某年南方大水后注意力就都集中到了南方,但很可能第二年大水却降临到北方未被注意的省份.‘98,‘99 长江洪水的事实,再次说明洪涝成灾的风险总是存在的,人们在市场经济环境下,对概率和风险概念已有一定的认识,只是因为严重洪灾的概率很小或重现期很长,相对人的寿命而言,个人一生最多只能亲见或亲历过很少几次,不像股票市场那样频繁波动,往往误认为特大洪灾是一次性的,很少考虑自身遭遇灾害的风险.事实上,流域内修建一批水库等防洪工程控制了当地的多数洪水,却未必就能控制全流域的洪灾,河流堤防达到了防洪设计标准,也未必就可以保证其保护区不出现险情.

根据联合国的统计资料,世界各国逐年的洪灾损失都有持续增长的态势,无论是发展中国家,还是发达国家概莫能外.即使是在经济和科技高度发达的今日美国,对于洪灾只能做到控制其罹难人数,并未能有效地遏制洪灾经济损失直线上涨的趋势(图 1).表明设想只要在短期内投入若干个亿,就可以一劳永逸地消灭洪涝灾害是不现实的.拟定洪灾治理的战略目标,应致力于提升承担洪灾风险的能力,从防洪和减灾两方面建设安全保障体系.20 世纪末世界上几次特大洪水,促使各界志士仁人对防洪方略的反思,寻求人与自然和谐相处的防灾减灾途径,学会正确与洪灾风险相处,形成“宁与洪水为友,不与洪水为敌”(living with floods, rather than fighting them)的新理念.在防洪规划、设计和管理中,不再局限于具体建筑物、工程或项目达到‘安全与经济’的短期目标,还需考虑流域的和地区的,长时期的(包括灾前、临灾和灾后)综合效益达到最优.说到底,防洪建设的终极目标应当是全面妥善地解决与水有关的‘人保’与‘环保’问题,即保护人类社会免遭自然的危害(protection of man against nature)和保护自然界免遭人类社会的破坏(protection of nature against man),完善和支撑地球系统稳定持续发展的能力.

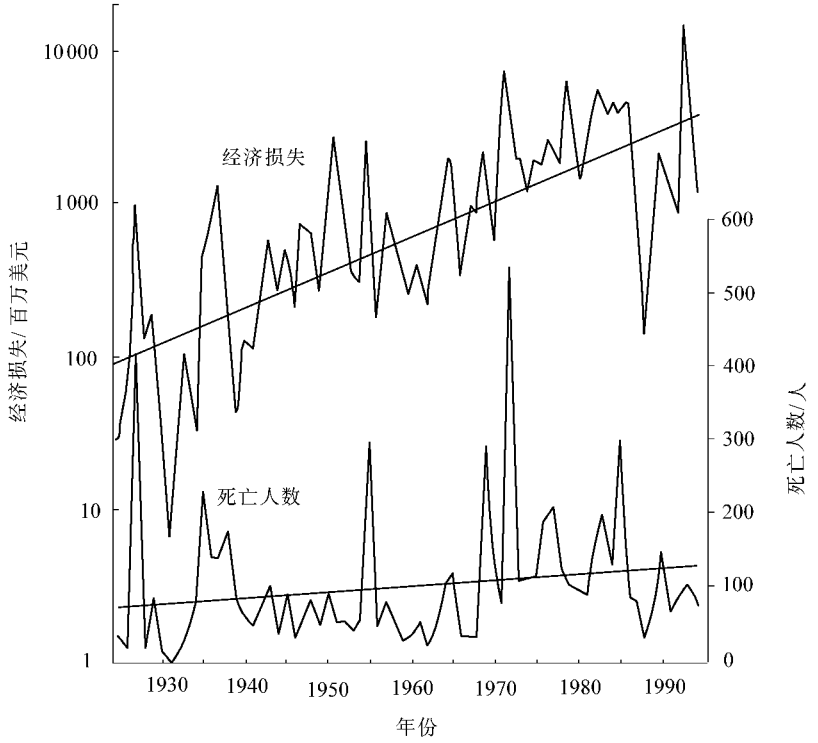

图 1 美国 1925~1994 年洪灾死亡人数及经济损失变化过程(经济损失按 1990 年价格计算)

Fig.1 Annual deaths and economic losses caused by flood in the United States 1925~1994 (Economic losses in US $ adjusted to 1990 value. Data source: US Department of Commerce)

2　洪水、洪灾和洪灾风险

洪水与洪灾是两个不同的概念，洪水是地球上水循环的自然过程，而洪灾是洪水对人类社会安全所造成的灾害性后果. 若以“灾烈度”(hazard)表征雨洪水量的时空分布特性，综合气象、水文、地理等自然因素的作用，以“灾敏度”(vulnerability)表征当地对灾害的承受能力和防灾减灾的水平，综合人口、经济、社会等非自然因素的作用. 洪涝灾害和其他自然灾害一样，也具有自然和社会双重的属性，当灾烈度超过了当地的灾敏度，表明洪灾将形成和发展. 相同的暴雨洪水，出现在不同的时间和地点就会形成完全不同的灾害，雨情未必能代表灾情，受灾也未必就会成灾，因此不难解释“雨情不同于水情，水情又不同于灾情”. 由于不同时间和不同地点的“灾烈度”和“灾敏度”是不同的，因此洪涝灾害的风险也是有时空差异的，可以采取各种工程和非工程的防灾减灾措施，削减灾害的发生频率和强度，和/或降低人们对灾害的敏感程度，从而可以降低洪涝灾害的风险，但无法完全排除灾害发生的可能.

无论是发达国家还是发展中国家，世界各地洪涝灾害的损失呈现非线性增长的趋势，我国的沿海或内地也都存在相似的状况[4]. 而从有关的暴雨洪水观测记录上，却未能证实持续增长趋势的存在. 以我国为例，根据 1951 ~ 1998 年汛期(6 ~ 8 月)的全国(336 站)和长江流域(86 站)的降水量记录，求得的面雨量序列基本保持平稳，从绘制的过程线(图 2，3)看不出任何增长或减少的趋势. 统计资料表明洪灾的灾烈度增长并不显著，灾敏度的变化可能是损失增长的主要原因. 仍以我国为例，随着国民经济的发展，人民生活水平、社会财富以及土地利用状况的变化，使洪灾损失的单位指标值出现持续增长，如我国 50 年代水灾综合损失指标为 2 190 元/hm^2，60 年代为 3 255 元/hm^2，70 年代为 5 880 元/hm^2，80 年代为 12 120 元/hm^2，表明逐年洪灾经济损失增长的增幅也在不断加大，是一个非线性的增长过程. 根据 20 世纪世界自然灾害的统计，按灾害损失排序为首的 10 次巨灾，其中有 8 次是发生在最后的 90 年代. 其中包括 1994 年美国加州北桥地震(损失 250 亿美元)、1997 年日本阪神大地震(损失 1 000 亿美元)、1999 年土耳其和台湾地震和 1993 年美国密西西比河特大洪水(损失 180 亿美元)等，虽然相近级别的地震、风暴潮、洪水等自然灾害，在灾区附近也曾有发生，但是近期灾害损失的金额却是空前的，表明随着人口和资产的迅猛增长和集聚，经济生产和社会生活方式的改变，导致人们对自然灾害的敏感程度显著增强.

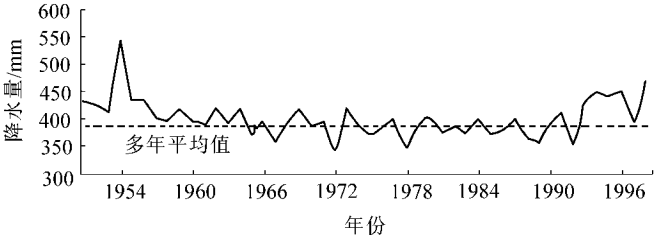

图 2　全国(336 站)6 ~ 8 月平均降水量变化趋势

Fig.2　Fluctuation of rainfall from June to August in the area of China (336 stations)

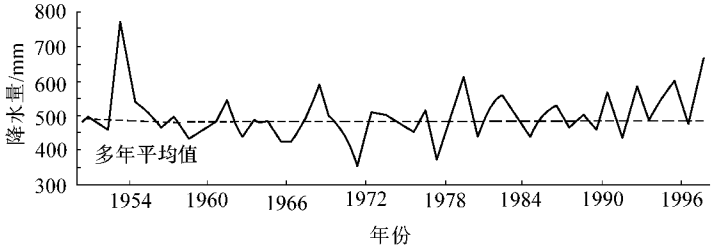

图 3　长江流域(86 站)6 ~ 8 月平均降水量变化趋势

Fig.3　Fluctuation of rainfall from June to August in the area of the Changjiang River (86 stations)

洪灾的灾烈度和灾敏度是由众多自然因素和非自然的人为因素决定的，而其中多数因素及其作用存在

明显的不确定性(既包括事物本身的随机性,也包括现有资料的不完备性和主观认识上的模糊性…),表现在洪灾的形成和发展过程并非是确定的,很难作出准确的预报,特别是长期预报.引入风险的概念,研究洪灾的不确定性是十分必要的,也是完全可行的.在市场经济发达的西方国家,决策人员考虑到不确定性因素的存在,为了掌握投资风险,避免或减少决策的失误,无一例外地都要进行风险分析.他们认为风险分析和管理是正确处理不确定性的思想方法,认为只要是以现今的资源去换取未来的期货,在任何条件下,失败的风险总是存在的,因此试图消灭风险是徒劳的,风险分析和风险管理的终极目的是提升系统承担风险的能力.

由于各个不同学科分析的对象、目的、要求不同,风险的定义并不统一,然而大家对风险概念内涵的理解是一致的,即风险 R 是对可能发生的事故类型 I、事故损失及后果 X 以及发生事故的可能性 L 等三者的集合.

$$R = < I, L, X >$$

"风险分析"是指充分利用有关的资料信息,定量估算各种类型事故的损失及其概率,推求出事故类型、损失和可能性的全集 $< * >_c$.

$$R = < I \times L \times X >_c$$

国外学者在分析研究洪灾风险特性时,考虑到洪灾损失的特点,包括其后果的严重性和持续性,对于特定类型 i 的洪灾,其风险 R_i 定义为"概率 L_i 和损失 X_i 的 n 次方的乘积"[2],如下式:

$$R_i = L_i \times X_i^n$$

"洪灾风险分析"是指针对不同的雨情、水情、工情和灾情条件,充分利用有关的资料信息,定量估算各种类型洪灾和损失及其概率,推求出洪灾类型、灾害损失和可能性的全集 $< * >_c$.

$$R = < L \times X^n >_c$$

3 水库防洪安全设计标准的演变

传统的土木建筑结构物设计方法,为保证建筑物足够安全,通常附加一个大于 1.0 的安全系数 K,根据工程师的经验,通过调整系数的数值来解决经济与安全的矛盾.自从进入 70 年代,土木建筑设计引入可靠度(风险)概念,结构物设计理论和方法出现实质性变化,更好地解决了经济与安全的矛盾.

$$\text{可靠度} = P\{H < C\}$$

式中:P——概率;H——荷载;C——承载能力.

设计是以显式评价建筑物及其各部件的可靠度,可以根据失事后果的严重性,合理地确定各自的安全裕度,使总体和局部都达到经济和安全.还可以考虑施工质量、建筑材料等因素对安全的影响.

水库的垮坝事故不同于一般的安全事故,其后果特别严重,甚至会造成惨绝人寰的毁灭性灾难,要求水库的规划设计在保证防洪安全的前提下,达到经济合理的目标.水库工程和建筑物的荷载主要是水荷载,传统的水工设计程序已意识到水荷载的多变性,并将反映荷载强度的洪水作为随机变量处理.不过考虑的洪水愈大,则设计愈安全,必须解决"如何把握安全适度的'度'(How save is save enough?)"的问题.国内外通常是以规范的形式,统一制定出水库防洪安全的设计标准和校核标准,工程师可遵照执行.

世界坝工委员会(ICOLD)[3]于 1998 年总结了水库防洪安全设计的进展,将设计标准分成三个阶段,"第一代标准"主要是根据经验和水库的共性,粗略分级制定标准列表备查,并没有考虑到设计水库的个性,如水库重要性、坝体体量、坝型、库容和垮坝对下游的危害.大多数国家是采用洪水频率分析方法,重现期从 200 年到 10 000 年.有些国家使用水文气象方法来估计可能最大洪水(PMF).通过规范来统一规定水库防洪安全设计标准,其优点是在实用上简单、方便和一致,在科学上同类水库的安全性具有可比性,但也存在两个明显的弱点:一是设计标准的高低与安全事故风险的大小无关,不能反映各项工程的实际造价和效益的差别;另一是现行防洪安全设计程序缺少必要的灵活性,形成一个僵硬执行规范的封闭系统,限制和妨碍科技人员改进和完善设计的积极性,设计方案的安全性也缺乏说服力.

80 年代美国垦务局(USBR)为了检查 2 984 座建成水库的安全状况[5,6],制定了一套基于防洪风险分析的评价程序(SEED),在此基础上逐渐形成了基于风险分析的水库设计标准.USBR 通过情景模拟,分析在采取不同设计标准条件下出现垮坝的可能性,并估算出垮坝洪水的淹没面积和灾害后果.强调水库垮坝对下游可能的危害应作为选定设计标准的重要依据.在此基础上发展形成了 ICOLD 定义的"第二代"水库防洪安全设

计标准.

ICOLD 总结的“第二代”标准,是按水库潜在的危害性区别对待,强调高风险水库选用更高的标准.提出应依据水库本身的特征和潜在的垮坝危害,客观评价设计水库的风险性,水库特征给出包括坝体的体量特性、水库综合特性(坝高×库容)、电站容量特性、调节流量特性等一系列定量指标;在大多数情况下,水库垮坝对下游潜在的危害,对水库的风险评价是至关重要的.要求通过情景模拟,分析水库采用不同设计标准,发生各种量级的洪水及垮坝洪水的淹没范围和损失,并分别估算出发生的可能性.在垮坝不会造成人员严重伤亡的前提下,建议通过风险—费用—效益的综合分析,选定合适的防洪安全设计标准.

ICOLD 推荐的是以风险评价为基础的“第三代”设计标准,替代过去两代标准.第三代新标准的突出特点是:要求具体分析设计水库的风险特性,估算提高安全标准所需的费用,综合考虑垮坝事故的风险,包括概率和可能造成的危害,还要根据当地社会允许承受的风险水平,通过“风险—效益—工程费用”的关系,逐个水库分别确定各自的防洪安全设计标准.

4　基于风险分析的防洪减灾体系研究

防洪减灾体系是一类复杂的自然系统与人工系统复合的系统.其中,自然系统涉及洪水、天然河道、洪泛区地理等;人工系统包括水库系统、堤防系统、分蓄洪区等工程系统和非工程措施、社会系统、经济系统等.长江中游地区的防洪系统是防洪减灾体系的一个典型.

现行的防洪减灾体系的规划设计是参照水库规划设计程序进行的,持有相同传统防洪理念,根据一定重现期的水位(或流量)值,和/或根据一次或几次极值雨洪事件的最高记录值(如长江流域的 1954 年,黄河流域的 1958 年,海河流域的 1963 年等),经过必要的调整,拟定出一个确定的洪水时空分布过程,并赋予该设计洪水过程一定的重现期或概率,认为只要规划设计的防洪体系足以抵御或防止该次“设计洪水时空分布过程”,就可以认为防洪减灾体系基本满足了防洪安全的需求.实践证明按统一设计标准建成的堤防或圩垸,在不同的雨情、水情和工情条件下,在不同的时间和地点,所承担的风险并不相同,而且与设计要求的重现期有相当大的差距,‘98,‘99 长江的雨情、水情、灾情就是生动的实例.

大江大河的防洪减灾体系是一个“巨系统”,其洪水和洪灾的过程包含众多因素的动态变化,表现为雨情、水情、沙情、工情、灾情等内在联系和规律,江与湖、蓄与泄、冲与淤、上下游、左右岸的相互影响,存在‘互动’和‘反馈’效应,牵一发则动全身.在任何一地采取任何一项防洪措施,势必会对全系统产生或大或小的影响.对一时一地防洪显著有利的措施,对它时它地的有利程度就未必相同,甚至会出现方向相反的负面作用.几乎不可能有一项防洪措施是对所有地区和所有时段都是有利的.因此,不能再沿用单一水库的设计程序,依据某个或某几个断面的洪峰流量、时段洪量、洪峰水位的重现期,或某个地区、某个时段雨量的重现期,来定义一次特大雨洪事件的重现期.大江大河防洪减灾体系,涉及的地区和时间范围较广,各次雨洪事件的雨量、洪水、洪灾和防洪形势具有各自的特性,往往缺少可比性,无法用个别地区和个别时段的个别水文气象要素的重现期来表征.

以 1991 年太湖流域的特大暴雨为例,当时有新闻传媒报道该场雨洪为数百年不遇.太湖流域管理局和河海大学曾对‘91 暴雨作过统计分析,研究是根据全流域 304 个雨量站的观测资料,将面积为 36900 km^2 的全流域划分为大小不同的 14 个分区,对每个分区的 9 种历时(1,3,7,15,30,45,60,75,90 d),共计 126 个年最大面平均雨量系列,分别进行雨量频率分析.由得出的 126 条频率分布曲线,可以测定 1991 年相应地区相应时段雨量的重现期.当年浙西区和南片区的雨量很小,其重现期也是全流域最低,不同面积和不同历时雨量的重现期仅为 1.5～5.0 年一遇,湖西区长历时雨量的重现期最大,30 日为 416.7 年,45 日为 294.1 年,60 日为 200.0 年,但当地的短历时雨量重现期并不高,如最大 1 日雨量的重现期仅为 6.0 年.全流域的 9 种历时面雨量的重现期分别为:4.3,9.1,35.7,47,8,86.9,61.5,47.6,43.5,35.7 年.虽然列举的只是 1991 年一次雨洪事件的雨量数据,但足以说明自然现象的复杂性.一场特大雨洪事件其重现期可以有如此大的变幅,简单地抓住一点不计其余,贴上若干年重现期的标签,显然非常不利于分析问题.

事实上,拟定出一个确定的设计洪水时空分布过程,并赋予该过程一定的重现期或概率,是水文分析与计算的常规方法,而且用于单一水库的防洪安全设计是相当合理和有效的.不过当用于水库群时,已暴露出问题.在用于大江大河的防洪减灾体系时,问题就更加突出和难于解决.长期以来,我们防洪的思维定式是把

“达标”(达到防洪设计标准)作为目的,而不是去努力提升承担防洪风险的能力,认为只要‘达标’就万事大吉了.就如同以往我们国家制定的五年计划,常常错位‘以物为本’地把经济增长当作目的,而不是努力让老百姓得到实惠,刻意地去追求生产多少钢、多少粮食.“十五”计划就不再把手段作为目的了,明确以提高人民生活质量为目的,体现了‘以人为本’的精神.

防洪减灾体系的设计标准是一个非常复杂的问题,原则上只能以该防洪体系失效、在不同地区造成洪灾的风险来度量,各个堤段或圩垸成灾的‘灾烈度’和‘灾敏度’都是有差异的,设计标准也应有所不同.荷兰国家防洪技术咨询委员会(TAW Technical Advisory-Committee on Water Defences)针对全国圩垸等防洪体系,认为直接采用‘第一代’水库防洪安全设计标准,全国规定统一的相应指定频率的洪水(或可能最大洪水)作为确定性的标准[1,2],并不能正确反映各圩垸对安全程度的不同要求.于 1997 年针对全国滨海沿河的 53 个圩垸防洪体系,制定了一项长期研究计划[1],提出采取风险分析途径,考虑各个堤垸的差异,分别计算各自失事的风险,出现各种洪灾及损失的概率,计算防洪所需的投入和可以获得的效益,在此基础上逐一确定各圩垸及其涵闸泵站设施的防洪安全度,并拟定出合理的设计标准.结果使不同圩垸的标准拉开了差距,沿海城市地区圩垸的防洪标准高达万年以上,内河沿岸农田圩垸的标准为千年左右.这是由于荷兰 60% 面积的地面高程不超过 1.0 m,38% 的土地低于海平面,海堤一旦溃决,淹没水深、历时和水质所带来的后果,都要比内河堤防失事严重得多;此外,城市所在的圩垸人口资产高度集中,对洪灾的灾敏度要比农村大得多.

我们在上海黄浦江防洪风险分析研究中,除了不同地区、圩垸或河段应采用不同的安全标准外,还必须强调全面分析发生安全事故的风险.这意味着在规划设计中,不仅要考虑低于‘设计标准’的常遇的非极值事件,还必须考虑超标准的更不利的稀遇事件,可能引发的灾害及其后果.如果同一圩垸的涵闸和圩堤承担的保护区是相同的,采用的设计标准理应是相同的,而涵闸和圩堤承担风险的能力有很大差别,圩堤承担风险的能力较低,无论是在低于标准还是超过标准的潮位条件下,只要在任何堤段出现漫溢、管涌、滑坡等事故,都可能造成全圩垸毁灭性的灾难;而涵闸建筑物则不然,即使发生超标准特大潮位,建筑物未必就会损毁,建筑物损毁也未必会造成灾难,两者实际的失事风险会有很大的差距.

为完善上海黄浦江防洪减灾体系,虽然吴淞建闸方案与防洪墙方案都是可行的,但从防洪风险分析和风险管理角度观察,通过灾害形成和发展过程情景模拟分析,建闸方案应付超标准的特大洪、涝、潮灾害方面,具有两项突出的优点:一是建闸可以拒潮流于吴淞口之外,据测算进入河道的水量将减少 80% ~ 90% 以上,可以从根本上改变沿江的抗洪抢险的被动局面.另一可能是更重要的优点,即一旦发生比防洪远景设计标准更加恶劣的潮、洪、雨组合事件,建闸方案的灾害后果,充其量是出现闸顶溢流和海塘溃决,局部地区受灾,市区并不会发生严重的洪涝灾害;而防洪墙方案则将会出现完全不同的灾害过程,市区防洪墙墙体发生全面漫溢垮塌,大面积的淹水和进水,交通、通讯、供电、供水系统瘫痪,将引发全市毁灭性的灾难.

现代防洪理念是基于洪灾的风险分析,由于洪灾的形成和发展存在着众多的不确定性和大量的致灾因子,未来的洪水状况(包括其水量、流量、水位、泥沙、流速、水质等各种指标)是无法确知的,一方面无论是采取多么高的设计标准,也不能排除发生超标准洪水引发灾害的可能;另一方面致灾因子有多种多样的组合,即使是在低于‘最不利事件’的常遇的洪水条件下,仍然存在安全事故和成灾的风险.因此,按现行设计标准规划设计的工程项目,其防洪的风险未必与原期望一致,有必要也有可能通过风险分析和管理,全面分析论证和提升项目承担各种风险的能力.正确解决和处理防灾减灾风险与经济的矛盾,原则上可以采用风险分析和风险管理途径,通过‘风险—效益—工程费用’的关系,寻求适当的设计标准.

在防洪减灾体系中,众多风险因子如水文因子、水流因子、工程因子、社会经济因子、人为因子相互作用,影响和决定系统的综合风险.因此,综合风险的评估较单一因子的风险评估难度更大.首先必须列出所有可能的成灾或破坏方式的清单,以上海黄浦江风险分析成果为例,绘制防洪安全事故树图(图 4).这是分析的最重要的一环,因为遗漏某种主要的洪(潮)灾破坏方式,都可能严重影响分析成果.下一步是灾害后果的定量评价.有必要分析所有各部件各种可能破坏方式的后果.有时系统中各个单元的灾害后果并不相同.事故概率和后果概率两者构成了风险率(防洪安全事故的概率),只有当确定风险率后,才能对设计做出评价.评价应以人们能够承受的风险为标准,包括重大伤亡和经济损失在内的事故总损失的概率(图 5).

风险分析技术的特点和航天技术相仿,经过分解后都是一些实用的常规技术,其中真正的纯风险分析技术为数并不多,研究的核心是如何在现有的常规技术中,筛选、提炼和集成一完整的系统,关键是能胜任对防

洪减灾体系的复杂特性给出全面的描述[7~9].

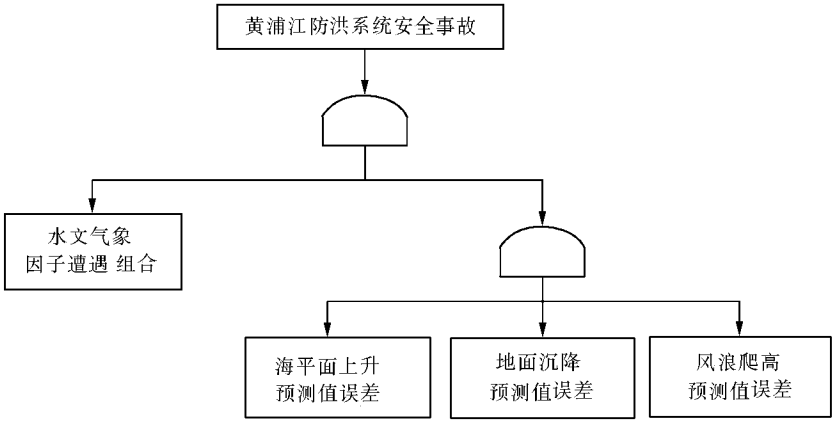

图 4　黄浦江防洪(潮)系统安全事故树示意图

Fig.4　Upside down tree for flood (tidal current) defense system of the Huangpujiang River

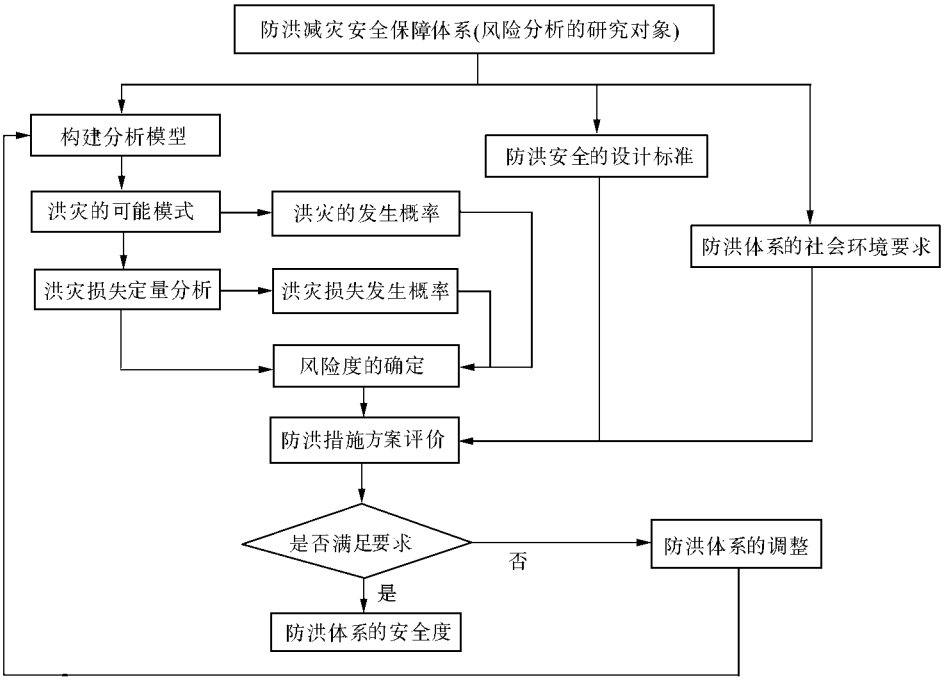

图 5　防洪减灾体系风险分析程序框图

Fig.5　Procedure of risk analysis of the flood defense system

对防洪减灾体系综合(系统)风险的评估,在风险分析和风险管理的理论和方法上,前人研究很少,基本是空白,属于当前本学科尚未突破的几个难点和关键问题,问题远比单一工程建筑物风险评估复杂得多,存在很多需要探索研究的领域.我国的国情与发达国家有较大差别,不仅在自然条件上,还包括人口、经济和社会各个方面都有显著不同.套用西方国家的防洪理念和经验往往是行不通的,必须密切联系我国的具体实际,对防洪建设正反两方面的经验作系统深入的集总研究,研建适合我国条件的防洪风险分析和管理的方法,在理论上和实际应用上都需要有所突破.为建设具有中国特色的防洪减灾安全保障体系提供定量的科学依据.有待研究解决的课题如下:

a. 防洪体系的综合(系统)风险分析理论与方法研究.研究区域性防洪体系(由堤防、水库等组成)的总风险(安全度)、风险空间分布转换,工程投入、风险损失与可承受风险水平的关系.

b. 防洪体系的洪灾风险分析模型研究. 对于由工程措施和非工程措施组成的区域防洪减灾体系,一个突出的特点是各种因素间的关系难于用解析式表达,因此随机模拟技术成为解决这类非结构化问题的一种有效途径. 防洪减灾安全保障体系的情景模拟模型的建立,结合雨情、水情、沙情的模拟生成,构成防洪体系的洪灾风险分析模型.

c. 区域防洪减灾体系综合(系统)风险评估理论研究. 通过探讨防洪减灾系统的各个元件间的耦联关系,和各子系统的静态或动态行为、个人和群体的行为规则(决策规则),建立描述系统总体行为和性能的系统模型,通过洪灾风险分析模型的模拟运行,揭示系统综合(系统)风险的大小、反应机制、行为规律和调控途径. 还有社会允许承受风险水平,及其与社会经济发展的关系问题,防洪体系建设实施中的社会和环境问题等.

d. 基于风险分析的防洪减灾风险决策支持系统研究.

参考文献:

[1] Technical Advisory Committee on Water Defences. Safety of flood defences — A new perspective from the TAW Masroute research programme[M]. Delft: Directorate-General for Public Work, 1997. 1 ~ 16.

[2] Pilarczyk K W. Dikes and revetments-dsign, maintenance and safety assessment[M]. Rotterdam: Balkema A A, 1998. 1 ~ 562, 443 ~ 462.

[3] Berga L. Dam safety[M]. Rotterdam: Balkema A A, 1998. 1 ~ 1588, 1099 ~ 1106.

[4] 国家防汛抗旱办公室,南京水文水资源研究所. 中国水旱灾害[M]. 北京: 水利水电出版社, 1997. 1 ~ 569, 3 ~ 54.

[5] 朱元甡. 水库防洪安全的水文评价程序[M]. 南京: 河海大学出版社, 1992. 1 ~ 123.

[6] 朱元甡,王道席. 水库安全设计与垮坝风险[J]. 水利水电科技进展, 1995, 6(1): 17 ~ 24.

[7] 许红波,高波. 长江防洪系统实时调度研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 1 ~ 430, 352 ~ 361.

[8] 朱元甡,沈福新,黄振平,等. 长江防洪决策支持系统 —— 防洪决策风险分析[J]. 水科学进展, 1996, 7(4): 295 ~ 304.

Flood Defense Based on Risk Analysis

ZHU Yuan-sheng

(*College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing* 210098, *China*)

Abstract: Risk is unavoidable in the exchange of present resources for future expectations. Based on the modern concept of flood defense system, in the safety design of a reservoir, the water level or discharge of floods should be taken into account not only at the predetermined frequency but also beyond the given frequency.

Key words: risk analysis; risk analysis for flood defense; risk analysis for flood defense system