

黄河下游悬河决口灾害的风险评价

Risk Assessment on Breaches in the Lower Reaches of the Yellow River

陈新民

(南京建筑工程学院土木工程系, 博士、副教授 南京 210009)

罗国煜

(南京大学地球科学系, 教授 南京 210093)

一、问题的提出

黄河, 我们这条母亲河的下游今天却面临着决口、改道和断流 3 大问题。

郑州以下的黄河下游河道, 河床高于两岸地区达 10m 以上, 全靠两岸 1 400km 的堤坝围护行洪, 形成典型的“地上悬河”景观。现河床每年淤高仍达 10cm 左右, 解放后已 3 次加高围堤, 取得了防洪的胜利; 然而越堆越高的堤岸, 使历史上“三年两决口”的黄河下游受决口的环境灾害威胁日益加剧。特别是, 由于种种原因, 近年来黄河下游断流频率不断增加, 断流现象日趋严重; 而断流除对黄河下游工农业生产和人民生活造成直接影响外, 还使得

亿 m^3 雅江水的大西线南水北调的新方案。寄希望于用墨脱电力提雅江水替代西线调水。

六、中国总的水资源形势

陈传友、马明在《21 世纪中国缺水形势分析及根本对策——藏水北调》一文(《科技导报》1999 年 2 期 P7) 中, 对我国需水量及总水资源量作了很多统计分析工作, 笔者认为这应当是上述文章的极有价值的一方面。通过对上述文章的阅读和摘要统计, 是否可以概括归纳出以下两点论断: 第一, 现在(指 1993 年)中国总水资源量为 28 124 亿 m^3 , 而农业用水 3 906. 4 亿 m^3 、工业用水 925. 5 亿 m^3 、城乡生活用水 422. 9 亿 m^3 (参见前述引用文 P8 表 1)。这样, 理论上富裕水资源量 $28\ 124 - (3\ 906. 4 + 925. 5 + 422. 9) = 22\ 869. 2$ (亿 m^3); 第二, 按上述文章资料, 30 年后, 即 2030 年左右, 预测农业用水 4 146 亿 m^3 , 工业用水 2 500 亿 m^3 , 城乡生活用水 1 100 亿 m^3 , 这样一来, 再计算一下, 理论上中国水资源量仍有富裕, 即 $28\ 124 - (4\ 196 + 2\ 500 + 1\ 100) = 20\ 378$ (亿 m^3)。顺便再推荐《科技导报》1999 年 4 期 P19 图 4, 按此图(作者亦是历年统计计算出该图的, 应可信), 我国灌溉面积于 1989 年已基本上饱和于 7. 4

下游河床淤高加快、决口改道威胁加重。1998 年, 中国科学院和工程院的 40 余位两院院士和专家, 通过对黄河中下游 4 个省区 20 余个市、地、县的实地考察后指出, 黄河下游长期处于小流量状态, 使淤积在下游河道内的泥沙的主要位置由滩地转向主槽。如 50 年代 70% 泥沙淤积在滩地, 而今 90% 以上淤在主河槽, 致使主河槽高于滩地、滩地又高于堤外两侧地面, 使悬河、二级悬河形势加剧, 滩地横比降加大, 横河、斜河和顺堤行洪的威胁越来越严重。由此导致“小水致大灾”, “小流量, 高水位, 险情多, 灾害大”。1996 年 8 月河南花园口流量仅 7 680 m^3/s 的中常洪水就出现了比 1958 年 22 300 m^3/s 的洪水水位还高 0. 91m 的历史最高水位, 造成滩区空前水灾, 堤防、河道工程出现险情 5 400 次。1998 年花园口 1 号洪

亿亩左右, 而由同文 P18 图 2 可见, 我国粮食产量直线上升远未饱和, 这说明可能由于技术更新(包括用水), 粮食亩产在增加, 而不是靠扩大面积来增产, 前景令人乐观。这样看起来, 水形势并非严峻得不得了, 仅是地域性的局部缺水, 只要在调水前抓好节水, 并精心规划适当的必要的调水, 黄河的断流问题是可以解决好的。

最后, 有必要强调, 水能资源是“不废江河万古流”的无污染、可再生的能源, 我国水能资源可开发量为 3. 78 亿 kw, 其中 80% 在中国西南部。目前, 我国水能资源的开发利用不到 8%, 而发达国家对水能资源的开发利用已达到 90% 以上。国家经济建设和人民生活日益提高的需要, 要求大力发展水电。当前, 在西南地区, 国家已将金沙江下游的溪落渡水电站的开发提到了议事日程。溪落渡水电站一旦建成, 将使金沙江下游的泥沙减少 90% 以上, 从而大大减少长江三峡库区泥沙淤积; 同时, 除本身巨大的发电效益外, 利用库区调节可大大增长长江下游各电站的出力, 并提高长江上游宜宾一段的防洪能力。希望国家在最终考虑决策南水北调方案时, 尽可能注意保护好我国西南这个水能资源的富矿区, 综合全面地解决好包括水电在内的全国一盘棋的大水利。

(责任编辑 王宏章)

峰4 700m³/s 的洪水位也比1958年22 300m³/s 的洪水水位高0. 56m。可见, 淤积使黄河中下游尤其是下游防汛日益困难, 洪灾威胁在逐年加剧。更令人担忧的是, 河道水量长期偏少、泥沙不断淤积, 已能使7 000m³/s 的一般洪水上漫高滩, 接近了 1855 年黄河改道时的情况。因此, 一旦遭遇特大洪水, 黄河决口改道的灾难将不是危言耸听。

正是基于以上事实, 国家正在进一步拟订全面治理黄河的计划。我们认为, 从现有的国力来看, 维持黄河下游的现有流路仍是目前唯一可取的办法。由于黄河下游两岸大堤长达1 000多公里, 各段堤坝的质量及其在防洪中的地位也都各不相同, 因此在治理的投入上也就应该有所区别。为此笔者运用风险分析理论和方法对黄河下游的一些河段进行了决口灾害的风险评价, 以期为黄河下游悬河治理的优化决策、重点治理河段的科学确定及治理措施的有效实施提供必要的依据和保证。

二、风险分析的概念及原理

简单地说, 风险就是系统失效的概率, 即工程达不到目标的概率^[1]。当提出“什么是风险”时, 实际上是提出了3个问题, 即“在这项工程中或在该系统运行中会出现什么事故”、“发生事故的可能性有多大”和“如果发生了, 其后果会怎样”。对于悬河决口而言, 这3个问题分别是悬河的决口事件、决口发生的可能性及决口的危害。

风险分析是灾害研究中一项迅速成长的事物, 包括风险辨识、风险估算和风险评价^[2], 它在滑坡灾害分析中已得到了较广泛的应用。

Varnes 较早注意到灾害(Hazard)、风险(Risk)和脆弱性(Vulnerability)等概念的不同含义, 给出了一组定义(表1A, 1984), 这些定义已被联合国教科文组织所采用^[3]。随后, Einstein 给出了一些略有不同的术语(表1B, 1988), 尽管他使用了与 Varnes 相类似的风险(Risk)概念, 但他还使用了危险(Danger)一词定义自然现象和它的空间关系^[4]。Fell 在进行滑坡灾害评价时, 基本采纳了 Varnes 的有关术语并作了扩充, 但对于灾害的定义和概率的使用则有所不同^[5]。

以上有关风险的概念虽然是在滑坡的风险分析中提出的, 但它们也同样适用于分析其他自然现象, 特别是它们使用发生概率作为定量评价基础的做法更是值得借鉴。

根据风险分析的有关概念和原理, 在对黄河下游堤坝决口灾害的风险评价中, 笔者提出了如下的公式^[6]。

$$H_i = P \times A \times K \times V \quad (1)$$

式中, H_i 是决口灾害的风险或灾害度; P 是某

表1 灾害和 risk 的概念
(据 Varnes, 1984 和 Einstein, 1988)

A. Varnes(1984)		B. Einstein (1988)	
自然灾害 (Natural Hazard, H)	在特定时间和区域内某种潜在破坏现象发生的可能性	危险(Danger)	影响一个特定地区的自然现象
脆弱性 (Vulnerability, V)	某个或某组给定单元因发生一定规模的事件而产生损失的程度 [0 (= 无损失) →1 (全部损失)]	灾害(Hazard)	给定时间内某个特定危险发生的概率
具体风险 (Specific Risk, Rs)	由特定自然现象所引起损失的预期大小 [Rs= H × V]	风险(Risk)	灾害与可能损失的乘积 (包括人员伤亡、资本损失和环境影响)
风险单元 (Elements at Risk, E)	特定区域内处于危险的人口、财产、经济活动等	风险= 事件概率与其结果的乘积 (如果事件发生)	
总风险 (Total Risk, Rt)	由特定自然现象所造成的人员伤亡、财产或经济损失的预期值		
Rt= (E) (Rs) = (E) (H × V)			

河段在一定条件下发生决口的可能性(概率); A 是决口的淹没面积; K 为决口淹没区内的人口、财产和经济活动情况; V 为淹没区内受灾对象的脆弱性或易损性。

概率 P 可以是一个单一的值, 也可以是各种产生决口原因的 probability 之和, 如对于堤防决口而言, 若 P_R 是与降水有关的 probability, P_S 是与地震活动性有关的 probability, P_H 是与人类活动有关的 probability, 则 $P = P_R + P_S + P_H$ 。脆弱性也可能由几部分组成, 这里可借用 Morgan 等在边坡稳定性评价中所采用的方法说明决口灾害评价中的脆弱性确定问题。

$$V = V_{(S)} \times V_{(T)} \times V_{(L)} \quad (2)$$

式中, $V_{(S)}$ 是空间影响的可能性, 即决口发生时, 某个单元受其影响的情况(如一所房子是否会因决口而被淹没); $V_{(T)}$ 是临时影响的可能性(如决口发生时, 房子是否有人居住); $V_{(L)}$ 是影响区内人员伤亡的可能性。

在进行简化分析时, 可只考虑决口发生的 probability 和决口淹没的范围, 即

$$H_i = P \times A \quad (3)$$

下面拟据这一方法和思路对黄河下游北岸的

决口灾害进行初步的风险评价。

三、黄河下游决口灾害风险评估

根据历史时期河道演变的规律和现行河道两侧的地貌特点分析,黄河下游河道在横向上将有可能趋向北流。而从黄河下游 1855~ 1934 年期间向北决口的分布情况看,起初决口的地点多集中在中、下段至河口地带,后期主要集中于中上段^[7]。因此,未来黄河下游河道遇到罕见洪水时,有可能在中上段决口北流。加之,黄河下游流经中上段的河南境内,还是地壳欠稳定地区。为此,本文将评价的重点放在河南境内的黄河北岸堤坝。

1. 决口淹没面积的确定

陆中臣等认为决口泛滥的洪水是不稳定流,流态随时间而变,可用圣维南方程对其加以描述;由于黄河下游临背河高差悬殊,一旦决口与溃坝情况相似,根据溃坝的原理,可用数学方法求解决口淹没面积。为此,他们用花园口 1958 年型特大洪水过程线(洪峰流量 55 300m³/s)、花园口 1956 年型特大洪水过程线(洪峰流量 49 000m³/s)和 1958 年洪水过程线(洪峰流量 22 300m³/s),对黄河在沁河口—原阳段和原阳—高村段决口泛滥情况进行了计算模拟,得出了洪水流路及淹没范围。根据黄河下游北岸的地貌特征和淹没面积的分布特点,针对上述 3 个洪水过程线,我们对河南境内其他河段的决口淹没面积进行了进一步的估算,其结果见表 2。

表 2 不同决口地段的灾害度分析

决口地段	洪峰流量 (m ³ /s)	淹没面积 (km ²)	决口概率	灾害度
沁河口— 郑铁桥	55 300	22 082	0. 645	14 243
	49 000	20 928		13 499
	22 300	15 316		9 955
郑铁桥—大宾	55 300	21 870	0. 496	10 848
	49 000	20 632		10 233
	22 300	15 108		7 491
大宾—鹅湾	55 300	21 131	0. 627	13 249
	49 000	20 382		12 780
	22 300	14 850		9 311
鹅湾—渠村	55 300	20 805	0. 722	15 021
	49 000	19 022		13 733
	22 300	14 573		15 522
渠村—彭楼集	55 300	20 150	0. 541	10 901
	49 000	18 637		10 083
	22 300	14 020		7 585
彭楼集—陶城铺	55 300	19 534	0. 521	10 177
	49 000	18 130		9 446
	22 300	13 826		7 203

2. 不同河段决口可能性分析

影响黄河决口的因素很多,如河型、河道整治程度、河漫滩横比降等。现根据其沿河的变化情况是否明显、对决口的作用机制是否明确和是否容易确定等原则,选择表 3 所列的 11 个因子作为评价决口的指标。根据这些因素对决口的影响大小和重要程度,将其在 0~ 1 之间进行取值,结果见表 3。因子

的值越大,表明该河段越不稳定。

应该说明的是,受诸多因素影响的堤坝系统事实上是一个内部信息部分已知、部分未知的灰色系统;而影响堤坝决口各因子值也都是些灰数。因此,我们可以借助灰色系统理论对堤坝决口的可能性进行分析和评价。为此,取 11 个因子的最不利组合(即每一因子的最大值所构成的集合)作为参考对象,各河段影响因子值的实际组合作为被比较对象,求取每一河段与最不利组合的参考对象的接近程度,以确定各河段发生决口的可能性(即概率)。具体结果见表 3。

表 3 堤坝冲决可能性评价指标及评价结果

因子名称	沁河口— 郑铁桥	左 岸				
		郑铁桥— 大宾	大宾— 大湾	大湾— 渠村	渠村— 彭楼集	彭楼集— 陶城铺
床滩比高	0	0	0	1	0	0
串沟相对长	0	0. 17	0. 56	1	0. 83	0
漫滩横比降	0. 34	0. 29	0. 44	0. 97	1	1
河槽整治与控制程度	1	1	1	0. 5	0	0
历史险情与事故严重程度	1	0	1	0	0	0. 5
靠河堤段相对长	0	0	0. 23	0	0. 16	0. 23
河型	1	1	1	1	0. 5	0. 5
主流线演变趋势	0	0. 5	1	1	0. 5	0. 5
科氏力影响级别	0	0	0	0	0	0
堤线形状	1	0. 5	0. 5	0. 5	0. 5	0. 5
漫滩地貌结构	1	0	0	1	1	1
决口发生的可能性(概率)	0. 645	0. 496	0. 627	0. 722	0. 541	0. 521

于是,据前述简化风险评价公式(3),可求得各河段在不同洪水过程情况下发生决口的风险或灾害度(表 2)。可以看出,尽管鹅湾—渠村段决口的淹没面积不是最大,但其决口的风险却最高。由此说明,由于考虑了决口发生的概率因素,悬河决口灾害的风险分析比单纯用淹没面积大小评价决口灾害要更准确和科学。

四、结语

通过上述分析,可以得出如下结论和认识。

- 1. 根据黄河下游悬河的演化特点,悬河在未来若发生决口,则北决的可能性最大。不仅如此,决口的地点将主要集中在下游中上段的河南境内。
- 2. 稳定性受众多因素影响的堤坝系统是一个内部信息部分已知、部分未知的灰色系统,可用灰色系统分析的方法描述决口发生的可能性(即概率)。
- 3. 通过风险分析发现,虽然在鹅湾—渠村河段发生决口的淹没面积不是最大,但因其发生决口的可能性(概率)最高,因此其决口灾害的风险最大或灾害度最高,故应对其加以重点治理。

参 考 文 献

(下转第 50 页)

不少公司转产。目前以日本为主生产和研发,市场以日本和北美为主。富士通公司坚持开发 3.5 英寸磁光盘机,价格下降,市场发展还不错。1997 年全球销售磁光盘机 120 万台,1998 年预计约 200~ 250 万台,其中 3.5 英寸磁光盘机占 70% (主要为 640MB)。1998 年以后,3.5 英寸磁光盘将以 1.3GB 为主。

磁光存储与磁存储相似,写入与擦除是使磁畴的方向颠倒,是物理过程,响应时间是快的(纳秒量级)。因此在可擦重写光盘存储中有其优越性。近几年来解决了直接重写技术和磁超分辨率检测技术,在可擦重写高密度光盘存储中仍有其优越性,表 9 列举了磁光存储技术的发展进程。可以预测,在 21 世纪初高密度磁光盘与 DVD- ROM(RAM) 产品将会同时进入市场。超高密度光盘存储技术可能用磁光存储方式更为现实。

表 9 磁光存储技术的发展进程

时间	产品	存储容量	数据传输率(MB/ S)	价格(美元)	产量(万台)	
1998年	富士通 3.5"	640MB	2.2	500	100	780nm激光
	索尼 5.25"	2.6GB	4	2 000	0.3	存取时间< 25ms
	三菱化学 5.25"	4.6GB		1 300		780nm激光
2001年	5.25"	14GB				LG记录MAM MOS630nm激光,摆动槽
2003年	5.25"	36GB				430nm激光, SIL

这几年磁光盘存储在消费领域中最瞩目的发展为 MD(minidisk) 光盘,它是 2.5英寸(64mm) 的磁光盘应用在音频存储上,一个存储面可以播放 74分钟数字立体声音乐。虽然它于 1992 年由 Sony 公司开发出来,但由于播放机的价格较贵(400~ 500美元),没有很快推广。1999 年以来由于价格下降了 1 倍多,因此在日本已经向市场推开,1999 年销售 500 万台光盘机,超过 1 亿 MD 光盘片。今后看好 MD 市场,MD 可以代替手提式(如 walkman) 磁带录音机,也可以用在数字相机上,高密度的 MD 将有广阔的应用前景。

4 HD- DVD光盘

超高密度光盘(HD- DVD) 存储技术的目标是存储密度达到 10~ 20Gb/ in²,最小记录点尺寸小于

200nm,接近或小于光衍射极限。可采取的措施有:缩短记录激光波长(GaN 激光器);增大物镜的数值孔径;超分辨率检测技术,如光学超分辨率技术、磁致超分辨率技术、热虹食技术;缩短道间距;改进存储格式(ZCLV、ZCAV、SS)、编码方式(标记边缘记录)和记录/读出方式(槽脊和槽沟同时记录)。HD- DVD 光盘的主要性能指标见表 10。

表 10 HD- DVD 光盘(120mm) 的主要性能指标

容量	20Gb(15GB)
激光波长	410nm
物镜的数值孔径(NA)	0.85
存储密度	12.6Gb/ in ² (10.5Gb/ in ²)
可擦写次数	10 ⁵ (抖动 jitter< 10%)
数据传输率	50Mb/ s
最小记录点长度	< 200nm(250nm)
道间距	< 400nm(450nm)

要实现超高密度存储,获得符合要求的材料是关键之一。超高密度光盘的材料有这样一些要求:其光学常数适用于蓝绿光范围存储,有清晰和稳定的亚微米范围的记录点,能建立适用于光学超分辨率技术记录和读出的多层膜结构,能快速响应,记录/擦除时间小于 200 纳秒,长寿命,记录信息的保存时间可大于 10 年。

综上所述,当我们进入 21 世纪时,在信息存储领域中 3 种主要的存储手段,即半导体存储芯片、磁盘和光盘,将分别在随机内存、联机(in- line) 外存和脱机(off- line) 外存上发挥其各自的作用;几种主要存储方式在存储密度上的发展进程,基本上是相匹配的;几种主要的磁盘驱动器、光盘驱动器和几种光盘均将呈现出足够快的增长趋向。

参 考 文 献

[1] 干福熹. 光盘存储技术,产品和市场的发展. 曲阜师范大学学报,1996(1),1996(2)
[2] 干福熹. 发展高密度光存储技术. 世界科技研究和发展,1996(1)
[3] 干福熹. 高密度多用光盘(DVD) 的发展. 世界科技研究和发展,1997(1)
[4] 干福熹. 新型光存储材料、器件和技术. 科学前沿和未来,张焘主编. 1996,科学出版社,125~ 158
[5] 干福熹等编著. 数字光盘存储技术. 1998,科学出版社,277~ 316

(责任编辑 王宏章)

(上接第 34 页)

[1] 束龙仓. 城市地下水开采可持续性的风险分析. 河海大学博士后研究报告,1998
[2] W. J. Petak, A. A. Atkisson, 向立云,程晓陶等译. 金泰来校. 自然灾害网险评价与减灾政策,地震出版社,1993
[3] D. J. Varnes. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris, 1984, 63
[4] H. H. Einstein, Special lecture: Landslide risk assessment procedure. Pro. Fifth Int. Symo on Landslides, Lausann,

Switzerland, 1988: 1075~ 1090

[5] R. Fell, Landslide risk assessment and acceptable risk, Canadian Geotechnical Journal, 1994, 31(2): 261~ 272
[6] 陈新民. 黄河下游悬河稳定性的环境岩土工程分析与评价. 南京大学博士学位论文,1998
[7] 陆中臣,贾亚非,曹银真等. 试论黄河下游北岸可能决口地段及其最大淹没范围. 地理研究,1987, 6(4): 15~ 25

(责任编辑 王宏章)