

黄河小北干流洪水倒灌渭河风险评估及其影响

李景宜^{1,2}

(1. 宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013;

2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 731000)

摘要:黄河洪水倒灌渭河的风险评估是渭河下游防洪工作的基础。通过历史资料对比和遥感影像分析,对渭河下游洪水倒灌风险度进行差值计算并划分风险等级,得出结论:①黄河洪水越大则倒灌并溯源淤积渭河的范围越大;②高风险区集中于大荔县东部和潼关、华阴、华县、渭南及临潼的渭河沿岸区域,较高风险区位于大荔县东北部和渭南、临潼交界处的渭河北岸区域;③河口西进与洪水倒灌互为因果,加剧“小流量、高水位、大灾情”;④降低倒灌风险必须实现全流域综合规划、协调降低潼关高程。

关键词:黄河;渭河;倒灌;溯源淤积;风险评估

中图分类号:TV147.5 文献标识码:A 文章编号:1000-0690(2011)08-0947-05

洪水灾害具有高维性、复杂性、不确定性、开放性、动态性和非线性等特点^[1],国内许多学者对洪水灾害及其影响进行较为深入的研究^[2-5]。黄崇福等对自然灾害风险的概念以及相关评估模型进行改进^[6],倪晋仁等开展了江河泥沙灾害形成机理及其防治等方面的研究^[7],刘希林提出了泥石流“危险度”并对其进行了量化计算和风险区划^[8],张继权等以辽河中下游为研究区域进行基于GIS技术的洪涝灾害风险评估与区划研究^[9]。

近年来,渭河下游泥沙淤积、河道变迁、潼关高程等问题已经成为学术界和流域管理部门的研究焦点。黄春长等对渭河流域土壤环境变化及其影响进行分析^[10],赵景波等对较长尺度的渭河洪水变化及其影响进行深入研究^[11],李同升等对渭河流域关中段的流域水资源与社会经济系统进行时空协同分析^[12],查小春等对泾河(渭河支流)流域不同时间尺度的洪水序列频率进行分析对比研究,并对秦岭南北河流的径流泥沙进行比较分析^[13,14],宋进喜等对渭河(陕西段)河道自净需水量进行计算^[15],李景宜等对渭河中下游洪水特性及其所引发的景观变化、土地风险、洪水资源化潜力等问题进行分析评估^[16-18]。20世纪90年代以来,由于河槽淤积加剧,渭河下游洪水随着时间推移呈现出历时变长、水位变高和峰现时间错后等特点

点^[19],“小洪水、高水位、大灾情”的洪灾特性日趋显著,直接威胁着民众安危并制约了区域经济的可持续发展。究其原因,除了汛期持续的高强度降水之外,特殊的河流地貌所引发的黄河小北干流倒灌渭河也是重要的因素之一,因此,洪水倒灌风险评估及其影响分析是进行渭河下游洪水管理的基础工作之一,目前,这方面的研究工作还不很深入,是渭河下游洪水风险研究的盲点。

1 黄河小北干流洪水倒灌渭河风险评估

研究区位于渭河下游河流沿线,自西而东,包括咸阳市区、西安市区、高陵县、临潼区、渭南市区、华县、华阴市、大荔县等9个县(区)(图1)。通常把北起蒙晋交界的河口镇到潼关段称为黄河北干流,而禹门口到潼关段称为黄河小北干流。潼关断面是三门峡库区由宽浅进入峡谷段的卡口,潼关高程对渭河下游起着局部侵蚀基准面的作用。

1.1 洪水倒灌特征

历史洪灾资料显示,对渭河下游河流沿线区域洪水影响较大的水系主要有两部分,一是渭河干流及其支流,二是黄河小北干流,后者的影响主要表现在对渭河洪水顶托与倒灌上。每当汛期,黄、渭同时出现洪水,或渭河小水、黄河大水,受潼关卡口

收稿日期:2010-08-19; 修订日期:2010-12-08

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-09-0874)、陕西省自然科学基金(2011JM5010)、陕西省教育厅自然科学基金(2010JS073,11JK0749)资助。

作者简介:李景宜(1970-),女,陕西宝鸡人,博士后,教授,主要从事环境风险评价及区域综合减灾研究。E-mail: lijingyi7096@163.com

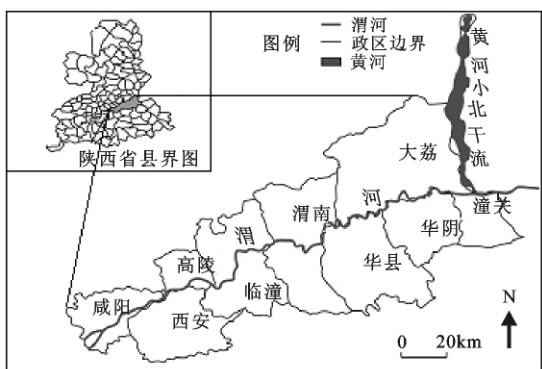


图1 研究区范围及渭河入黄口

Fig. 1 Sketch of study area and estuary of Weihe River to Huanghe (Yellow) River

表1 1960~2001 黄河洪水倒灌渭河场次统计

Table 1 Times of floods and backwards from Yellow River

时 段(年)	合计		$Q \geq 1000 \text{ m}^3/\text{s}$		$1000 \text{ m}^3/\text{s} > Q \geq 400 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q < 400 \text{ m}^3/\text{s}$	
	洪水	倒灌	洪水	倒灌	洪水	倒灌	洪水	倒灌
1960~1969	33	22	18	11	11	9	4	2
1970~1974	19	12	10	7	6	4	3	1
1975~1990	56	24	26	14	21	8	9	2
1991~2001	47	22	18	10	17	8	12	4
合 计	155	80	72	42	55	29	28	9

倒灌距离越小,淤积影响也越小(图2)。最为典型的是“1977-08”洪水,倒灌距离达77 km。

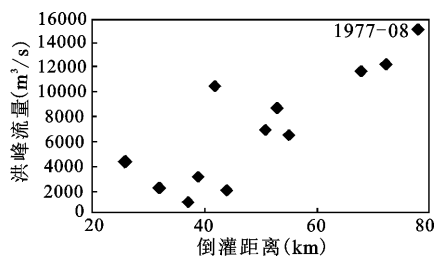


图2 潼关站洪峰流量与黄河倒灌渭河距离

Fig. 2 Flood peak discharge at Tongguan and backward distance to Weihe River

1.2 倒灌风险评估

黄河洪水倒灌渭河的风险,不仅与黄河洪水的洪峰流量有关,同时,与研究区的地貌地形高度相关。离河道越近的地方,越快也更容易受到洪水的袭击,而地面高程与洪水水位之差则可以反映受淹没的可能性及可能淹没的深度。本次研究根据研究区的地理位置及常受黄河洪水的顶托与倒灌等因素,选取与黄河小北干流主河道的距离和地面高程与洪水水位之差作为主要研究对象进行分析。分析过程为:首先利用 ArcGIS 的 Spatial Analyst

影响,黄河便对渭河产生顶托和倒灌。以华阴站出现负流量或吊桥水位显著变化判定倒灌淤积情况看,三门峡水库建库(20世纪60年代)以来,每当黄河发生洪水时,均倒灌渭河。黄河中型洪水($5000 \sim 8000 \text{ m}^3/\text{s}$)一般倒灌达陈村附近,小型洪水($5000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下)达华阴附近^[20]。1960~2001年间,渭河华县站洪峰超过 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上的155场洪水中,黄河洪水倒灌达80次,占51.6%(表1)。

统计倒灌明显的12次洪水过程,发现黄河洪峰(潼关站)与其倒灌距离之间具有明显的对应关系,即当黄河洪水越大时,其倒灌淤积的范围越大,渭河下游各站水位抬升值越大;反之,黄河洪水越小,其

Tools 计算研究区内各栅格与黄河在该段的距离,通过标准化赋值后就可以用来表征距离对研究区内洪水灾害危险性的影响程度;然后选择黄河在该段上的某一典型年或历史最高洪水水位、以及同时刻的研究区内各水位站的水位,通过内插,利用 DEM 图来计算各个栅格水位与高程值之差,并进行重分类赋值来确定某一典型年洪水对研究区洪灾危害的风险度;最后,综合各栅格与黄河小北干流主河道在该段的距离图层和各栅格高程值与洪水水位之差图层就得到了黄河洪水倒灌渭河下游洪泛区的危险性风险分级图。

利用 Spatial Analyst Tools 中的 Euclidean Distance 函数首先计算研究区内各栅格与黄河的距离,然后根据距离黄河越近,由黄河直接引起的洪水灾害危险性越大的原则,利用 Raster Calculator 通过公式(1)进行标准化处理^[21]并赋值得到的距离风险度分级(图3)。

$$N = [(I - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min})] / (0.9 - 0.1) + 0.1 \quad (1)$$

式中 I 是原始系列数据, $I_{\min}$ 和 $I_{\max}$ 分别为其中的最小值和最大值, N 是标准化后的值。经过标准化后的值在 $[0.1, 0.9]$ 之间。当处理后的数据分布不

均匀时,采用分级赋值法尽量使数据呈正态分布。

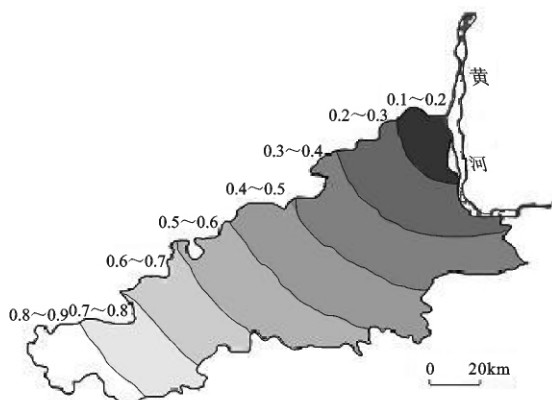


图3 距离风险度分级

Fig. 3 Risk classification by distance from Huanghe (Yellow) River

黄河洪水对渭河的顶托与倒灌,造成三门峡水库回水区水位抬高,黄河洪水越大,对渭河顶托将越久,抬高水位也越大,造成洪水灾害危险性越大。本研究以研究区内各栅格 DEM 与典型年洪水水位差近似表示洪水灾害危险性大小。

洪水表面可能是水平平面、倾斜平面或复杂曲面。一般情况下,洪水泛滥时,水库、蓄滞洪区和局部低洼地的水面可以近似看成水平平面,河滩地水面与河流水体连为一体,多为倾斜平面或复杂曲面,处理时可以将离散的水面高程信息采用空间插值技术,插值成连续的水面^[22]。

在 ArcGIS 9 的桌面软件 ArcMap 中采用以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均的反距离权重 (IDW, Inverse Distance Weighted) 插值法进行空间插值,采样得到分辨率为 90 m × 90 m 的面状栅格图。

典型年则选择三门峡水库控制运用以来,黄河洪水倒灌渭河距离最远的“1977-08”洪水。该次洪水工程中,黄河洪水潼关站洪峰流量 15 400 m³/s,华阴站倒灌流量达 810 m³/s,华县站倒灌流量 60 m³/s,倒灌距离 77 km,到达陈村以上的渭淤 10 ~ 渭淤 9 之间,同时吊桥、华阴、陈村各站水位分别抬升 4.3、4.2、3.3 m。

根据典型年(1977年)同时刻各相关站实测水位数据先进行内插(注:倒灌距离最远时的各站实测水位就是事件中各站最高水位),得到整个研究区洪水水面,然后用水位图在同一高程基面下与 DEM 做差值,所得图层为可能的淹没水深,利用 Reclassify 赋值功能得到典型年(1977年)黄河小

北干流洪水倒灌渭河时,研究区倒灌洪水风险度分级图(图4)。看出倒灌高风险区(风险度 0.9)主要集中于大荔县东部紧邻黄河小北干流区域;从渭河入黄口自东而西的潼关、华阴、华县、渭南和临潼的渭河沿岸区域;倒灌较高风险区(风险度 0.5)主要位于大荔县东北角和渭南、临潼交界处的渭河北岸区域;其余地区为倒灌低风险区(风险度 0.1)。由于黄河洪水的顶托和倒灌,使得渭河下游河流水位抬高,河流沿线区域均有被洪水淹没危险性。

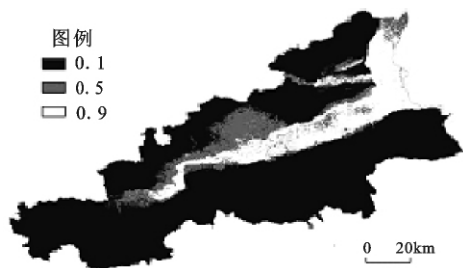


图4 典型年黄河小北干流洪水倒灌渭河风险度分级

Fig. 4 Risk classification of flowing backward in special year

2 黄河洪水倒灌渭河影响分析

2.1 渭河下游溯源淤积,河床萎缩,过洪能力锐减

近 50 a 来,渭河上游来水逐年减少,导致河道冲刷不足,黄河倒灌向渭河河道输送泥沙,且改变泥沙运移方向,造成渭河下游河道的溯源淤积,降低渭河下游河道过洪能力。1961 ~ 2000 年,渭河下游华县水文站河床主槽过洪能力从 4 000 m³/s 下降到 2 000 m³/s 以下(图5),行洪能力锐减,必然导致“小流量”条件下高水位现象,导致“大灾情”。实测资料显示,华县站 1995、1997 年汛后 250 m³/s 水位比 1992 年分别升高 2.5 和 1.7 m,平滩流量 1986 年为 4 000 m³/s,1995 年汛前降到 800 m³/s,不足三门峡建库前行洪能力的 20%。1996 年汛后虽有所增加,也不过 1 000 ~ 1 500 m³/s。渭河大堤防洪标准由原来 50 a 一遇降到现在 10 ~ 20 a 一遇^[23]。1960 ~ 1995 年,潼关以上库区淤积近 33 × 10⁸ m³,其中黄河小北干流 23 × 10⁸ m³,渭河下游 10 × 10⁸ m³,渭河演变为“地上悬河”,河道泄洪能力降低、洪水位抬高,虽然堤防几度加高,但因其防洪能力不断下降,常遇洪水也可能造成灾害^[24]。

2.2 渭河入黄口西进显著

黄河主流向西摆动,主要从 20 世纪 70 年代开

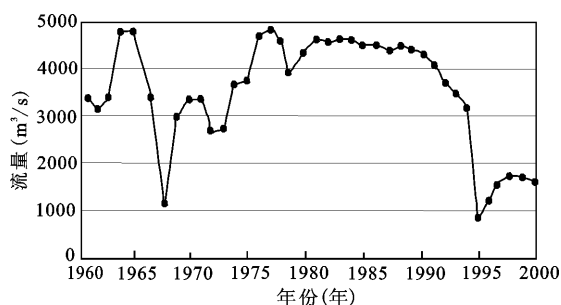
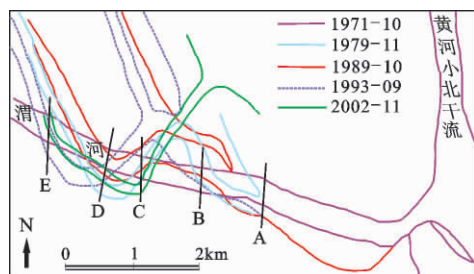


图5 渭河下游华县站主槽过洪能力变化(1961~2000)

Fig. 5 Flooding capacity of Weijiabao station and Huaxian station in 1961–2000

始,主流从东岸的黄淤45断面突然折向西南方向进入黄河、渭河、北洛河汇流区,主流大幅度向西摆动。随着黄河河道的不断变化,渭河口也从此开始逐年向西推进。

为对渭河入黄口河道演变及影响做较全面分析,本研究采用多源数据综合运用,包括1期卫星照片、4期ETM遥感数据、地形图(1:10 000)以及大量区域调查实测数据和历史资料。结果表明,1971年渭河入黄口位于渭河横断面A以东大约3 km处,1979年西移至渭河横断面A西侧约500 m处,此后继续向西迁移,到1989年河口推进到渭河横断面A与横断面B之间,1993年渭河口到达渭河横断面B与横断面C间,2000年6月渭河口仍旧位于D断面附近;值得注意的是,2002年8月,长期以来形成的渭河入黄口的泥沙淤积,在洪峰来临时造成排泄阻塞,渭河水流转向西北方向,沿原先黄河串沟注入黄河,2002年11月,渭河河口位于渭河横断面C西北方向大约1.8 km处(图6)。



A、B、C、D、E 为渭河河道横断面

图6 渭河入黄口河道变迁

Fig. 6 Riverway evolvement entrance of Weihe River to Huanghe(Yellow) River

渭河河口西进与洪水倒灌互为因果,形成恶性循环。黄河主流西到并未形成集中流势,而是水流

散乱,多股分流,流速减小导致输沙能力降低,河床普遍抬升;黄河比降大,渭河比降小,渭河河口上提(西进)后,改变黄渭交汇点位置,加上河口下游潼关卡口,每年汛期当黄河、渭河同时出现洪水,而黄河洪水大于渭河时,黄河水必将倒灌渭河。近30 a以来,黄河倒灌渭河次数达30次以上,平均每年有1次^[25],每当黄河发生洪水时均有倒灌渭河,较严重有1967、1971、1977、1979、1981年等。

3 结论与建议

黄河小北干流倒灌渭河下游导致渭河防汛形势日益严峻,洪水倒灌风险的评估成为渭河下游防洪工作的重要组成部分。通过历史实测资料对比和5期遥感影像,对渭河下游河流沿岸的洪水倒灌风险进行差值计算并划分风险等级,结论如下:

1) 黄河洪水越大时,其倒灌并溯源淤积渭河的范围越大,渭河下游各站水位抬升值相应越大。

2) 倒灌高风险区主要集中大荔县东部紧邻黄河小北干流区域,从渭河入黄口自东而西的潼关、华阴、华县、渭南和临潼的渭河沿岸区域;倒灌较高风险区主要位于大荔县东北角和渭南、临潼交界处的渭河北岸区域;其余地区为倒灌低风险区。

3) 渭河河口西进与洪水倒灌互为因果,加剧研究区洪水的“小流量、高水位、大灾情”。

4) 综上,必须打破行政区划和地方保护,建立渭河全流域综合规划的协调机制。渭河上、中游完善水土保持措施,减少来沙量;渭河下游采取包括河道整治与疏浚、加高加固堤防和跨流域调水等综合措施,增大河道泄洪排沙能力,减少河道淤积;黄渭汇流区理顺河水流路,合理布局水利工程,改造不利汇流区河道演变的水利工程甚至废弃,有效控制黄河摆动,防止黄河继续西倒,使渭河入黄口地貌趋于稳定,减少黄河倒灌渭河危害。

参考文献:

- [1] 魏一鸣,杨存建,金菊良,等.洪水灾害评估与分析的综合集成方法[J].水科学进展,1999,10(1):25~30.
- [2] 师长兴.黄河河口延伸与下游淤积关系研究中的问题分析[J].地理科学,2005,25(2):183~189.
- [3] 杨世伦,杜景龙,郝昂.近半个世纪长江口九段沙湿地的冲淤演变[J].地理科学,2006,26(3):335~339.
- [4] 左书华,李九发,时连强.基于GIS的长江河口没冒沙动态演变及稳定性分析[J].地理科学,2007,27(5):701~706.
- [5] 韩志远,田向平,欧素英.人类活动对磨刀门水道河床地形和

- 潮汐动力的影响[J]. 地理科学 2010 30(4): 582~587.
- [6] 黄崇福. 自然灾害风险评价(理论与实践)[M]. 北京: 科学出版社 2005.
- [7] 倪晋仁. 江河泥沙灾害形成机理及其防治[M]. 北京: 科学出版社 2008.
- [8] 刘希林. 我国泥石流危险度评价研究: 回顾与展望[J]. 自然灾害学报 2002 11(4): 6~8.
- [9] 张继权, 李 宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [10] 黄春长. 渭河流域 3 100 年前资源退化与人地关系演变[J]. 地理科学 2001 21(1): 30~35.
- [11] 赵景波, 蔡晓薇, 王长燕. 西安高陵渭河近 120 年来的洪水演变[J]. 地理科学 2007 27(2): 225~230.
- [12] 李同升, 徐冬平. 基于 SD 模型下的流域水资源-社会经济系统时空协同分析——以渭河流域关中段为例[J]. 地理科学, 2006 26(5): 551~556.
- [13] 查小春, 黄春长, 庞奖励. 泾河流域不同时间尺度洪水序列频率分析对比研究[J]. 地理科学 2009 29(6): 858~863.
- [14] 查小春, 延军平. 全球变化下秦岭南北河流径流泥沙比较分析[J]. 地理科学 2002 22(4): 403~407.
- [15] 宋进喜, 曹明明, 李怀恩. 渭河(陕西段)河道自净需水量研究[J]. 地理科学 2005 25(3): 310~316.
- [16] 李景宜, 石长伟, 傅志军, 等. 渭河关中段洪水资源化潜力评估[J]. 地理研究 2008 27(5): 1203~1211.
- [17] 李景宜. 陕西渭河下游湿地环境风险因素浅析[J]. 地理科学 2007 27(3): 371~375.
- [18] LI Jingyi. Mechanism and Effect of Channel Evolution at Estuary of Weihe River to Huanghe River[J]. Chinese Geographical Science 2006 16(2): 122~126.
- [19] 屠新武, 王 烨, 丁宪宝, 等. 渭河下游冲淤与洪水变化分析[J]. 人民黄河 2006 28(1): 26~28.
- [20] 杨平东, 田建文. 黄渭洛汇流区河势演变及其影响分析[J]. 陕西水利 2003 3: 34~35.
- [21] 赵鹏大. 定量地学方法及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 1~464.
- [22] 张念强. 基于 GIS 的鄱阳湖地区洪水灾害风险评价[D]. 南昌: 南昌大学 2006.
- [23] 王敏捷, 杨武学. 渭河下游近期泥沙淤积带来的防洪问题[J]. 1999 21(10): 4~9.
- [24] 张玉芳, 邢大韦, 栗晓玲. 黄河北干流与渭河相遇洪水分析[J]. 灾害学 1995 10(1): 57~62.
- [25] 栗晓玲, 邢大韦, 张玉芳. 渭河下游三门峡库区洪水趋势及防洪形势分析[J]. 西北水资源与水工程 1996 7(3): 80~83.

Risk Evaluation and Influence Analysis of Flowing Backward From Main Stream in Xiaobei of Huanghe(Yellow) River to Lower Reacher of Weihe River

LI Jing-yi^{1 2}

(1. Key Laboratory of Disaster Survey & Mechanism Simulation of Shaanxi Province , Baoji University of Arts and Sciences , Baoji , Shaanxi 721007 , China; 2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems of Ministry of Education , Lanzhou University , Lanzhou , Gangsu 730000 , China)

Abstract: Risk evaluation of flowing backward from the main stream in Xiaobei of the Huanghe (Yellow) River to the lower reacher of the Weihe River has become the significant work of flood prevention because of the dangerous situation of the flowing backwark. Based on the contrast of historical observed data and remote sensing images ,using the inserting value calculation method ,risk degree of flowing backward was evaluated and zoned. The results are as follows: 1) It is obvious that the larger the flood of the Huanghe River ,the larger the area of inversely flow deposition , and the more the water level in the reaches of the Weihe River ,vice versa. 2) The highest risk regions usually located in the eastness of Dali near by the main stream in Xiaobei of the Huang River and the riverside regions of Tongguan , Huayin , Huaxian , Weinan and Lintong. The higher risk regions are located in the northeastern part of Dali and the common boundary of Weinan and Lintong on the southness shore of mainstream watershed of the Weihe River. Then , the remainder is lower risk regions. 3) Westward moving of the estuary of the Weihe River to the Huang River and flowing backward are the cause-and-effect ,which not only resultd in shrinking of the riverbed at the lower reaches of the Weihe River ,but also reducing the ability of flood transflux. So there is a complexion of small flux ,high water level and big disaster. 4) In order to reduce the risk degree of flowing backward ,as the given result ,the district regionalism and local protection must be broken to implement the integrated program of the watershed and to decline the Tongguan stage to stabilize the physiognomy at the estuary of the Weihe River to the Huang River.

Key words: Yellow River; Weihe River; flow backwark; retrogressive deposition; risk evaluation