

黄河(山东段)悬河稳定性评价

郭秀岩¹, 韩祥银¹, 王心兵²

(1. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014)

摘要:通过黄河(山东段)悬河稳定性影响因素分析,各河段都有决口失稳的可能。该文从区域地壳稳定性、堤基稳定性、河道稳定性3个方面,采用模糊数学综合评判法进行悬河稳定性评价,对河段可能出现的失稳或决口险点及其可能造成的危害性进行分析和预测,初步确定了10处地质险段。

关键词:黄河;悬河;稳定性;模糊数学法;评判法;地质险段;山东省

中图分类号:TV143⁺.3 **文献标识码:**A

黄河自东明焦园王夹堤南西进入山东境内,流经菏泽、聊城、泰安、德州、济南、滨州、淄博、东营8市25县(市、区),至垦利县东部注入渤海,流经长度628 km。下游悬河在区域稳定性、河道地貌及堤基工程地质条件方面都存在着不稳定因素,各河段都有决口失稳的可能性。黄河下游悬河一旦决口,造成的社会、经济及环境后果都将是灾难性的。因此,对悬河稳定性进行评价分析,预测地质险段,对下游黄河防洪具有重要的现实意义^①。

1 黄河(山东段)悬河稳定性影响因素分析

1.1 地质构造对悬河稳定性影响

黄河(山东段)处于大地构造单元Ⅳ级菏泽—兖州隆起、泰山—沂山隆起、东营拗陷等单元。

1.1.1 构造单元对悬河稳定性影响

(1)东明凹陷沉降加剧了河道淤积而使悬河悬差更大。受区域构造运动的影响,东明凹陷长期处于沉降阶段。根据国家地震局1951—1982年地面形变资料分析,凹陷内沉降速率一般为 $-1 \sim -3$ mm/a,沉降中心可达 -5 mm/a。凹陷区持续沉降,加剧了该段河道淤积,加上人工堤防约束,使该段悬河悬差日益增大。

(2)菏泽凸起对河道输沙的阻滞作用。黄河由鄆城董口向东穿过聊考断裂,进入相对抬升的菏泽

凸起区。据黄委会大堤垂直形变速率测量资料,鄆城董口附近形变速率左岸(东明凹陷) -14 mm/a,右岸(菏泽凸起)最大达 $+16.7$ mm/a,两岸运动速率差达 30.7 mm/a,垂直差异升降强烈。差异升降运动造成河形变化。由于菏泽凸起的阻滞作用,河道输沙能力大为减弱,使粗泥沙大部分沉积于宽河段,增大了悬河悬差。

(3)鲁西台隆对河道稳定性影响。黄河自高村进入鲁西隆起济宁—成武凹断束后,开始收缩,至耿山口受泰沂穹断束隆起影响,由游荡性和过渡性的宽河道转为弯曲性窄河道,弯曲度增大,河道突然收缩,宽仅 $400 \sim 500$ m。因此,黄河在此泄流量锐减,排洪能力大为降低,成为黄河下游卡口河段。

1.1.2 新构造运动对悬河稳定性影响

(1)近代和现代沉降中心决定行河范围。华北拗陷是中生代以来形成的拗陷沉降盆地。黄河下游沿黄地带除鲁西台隆泰沂穹断束上升外,其他地段均为下降。新构造运动活动强烈的沉降带或发育的顺向活动断裂以及由此形成的拗陷带,决定了各历史时期的行河范围。黄河在史前期和史期多沿拗陷区行河,现河道除范县—济南段穿越鲁西台隆北边缘外,其他河段基本沿沉降速率较大的临清—东明拗陷和济阳拗陷行河。

(2)新构造掀斜运动与沉降中心迁移对悬河河

* 收稿日期:2009-02-20;修订日期:2009-03-26;编辑:陶卫卫

作者简介:郭秀岩(1964—),男,山东武城人,高级工程师,主要从事水工环地质环境工作。

①山东省地质调查院,王彦俊、郭秀岩、李壮等,黄河中下游(山东段)主要环境地质问题调查评价报告,2002年11月。

道走向影响。黄河进入下游后,淤积速率大于构造沉降速率,加上人工对河流施加的影响,使构造活动对河流的控制作用很难显现。但纵观整个下游区黄河沉积物的厚度就可看出,其凹陷区的厚度远大于凸起区,说明新构造运动对行河范围具有一定的控导作用。

黄河绝大部分时期行河范围是在济源-开封坳陷、临清-东明坳陷和济阳坳陷沉降带。可见新构造掀斜运动和沉降中心迁移是造成黄河河道迁徙的重要因素。

1.1.3 主要穿黄和临黄断裂对悬河稳定性影响

黄河下游均为隐伏断裂,NNE向断裂主要有聊考断裂、黄河断裂、曹县断裂、巨野断裂、嘉祥断裂等;近EW向断裂主要有菏泽断裂、郓城断裂等。尤其是穿黄、邻黄活动性断裂,自第四纪以来,一直处于活动状态。断裂的活动方式有突发式和渐变式2种,无论哪种方式均对悬河稳定性产生影响。

(1)断裂突发式活动对悬河稳定性影响。当深部构造活动引起的能量聚集达到最大限度时,则产生急剧破坏变形,以突然爆发释放能量引起地震灾变。黄河下游多数地震震中均位于断裂交汇部位或断裂带附近。据史料记载,仅明代迄今480年间共发生烈度7度以上强震20次,其中1855年以来,菏泽、渤海湾2个强震区共计发生6次,使沿黄两岸堤防均遭到了不同程度的破坏。

(2)断裂渐变活动对悬河稳定性影响。黄河下游穿黄、邻黄活动性大断裂多为张性或张剪性,始发于地壳深部,随着应力的释放渐渐延至地表,在松散土体中产生张性节理,若此时土体干燥失水,节理进一步开裂形成地裂缝,进而影响黄河大堤的稳定性。

有史料记载以来黄河下游河道走势和流向与新构造线基本一致,黄河河道多沿活动断裂线分布,并且河道的拐点多为2条断裂的交汇处。黄河现行流路受聊考断裂和黄河断裂控制,自兰考突然以40°角呈肘状由EW向折转为NE向,进入山东梁山戴庙后,受巨野断裂和嘉祥断裂的影响又由NE折向NNE—NE,而后又受局部次级断裂的影响多次发生流转。这一现象不是偶然巧合,恰恰反映了新构造运动是黄河下游频繁决口、改道的控制因素。

总之,黄河下游决口、改道以及改道后的流向,明显受地质构造控制。如黄河大堤上的决溢点,尤其是决溢点密集分布处多与穿黄活动性断裂有关。

桃花峪冲积扇、兰考次级扇的顶点都在活动性断裂带上也证明了这一点。黄河有记载以来的4次自然大改道处,均位于活动性大断裂与派生断裂的交汇部位或压剪性断裂带上,这说明断裂活动对古河道稳定性所造成的灾难性破坏和影响是毋庸置疑的。同样,黄河下游现行河道多处被活动性大断裂所切割,对悬河稳定性潜在威胁和影响也不容忽视。

1.2 地貌对悬河稳定性影响

黄河大堤对防洪减灾,延长河道寿命起到了决定性作用,同时又因为大堤不断加高而加剧了河道不稳定因素的发生和发展。河道微地貌主要有串沟、临河洼地、半自然堤、生产堤等,这些微地貌的存在,也是影响悬河稳定的主要因素,不但影响河流冲刷、淤积,还是形成滚河、横河、斜河、堤河的诱因,稍有不慎,就有可能造成薄弱堤段决口成灾,甚至会导致夺流改道。东坝头—高村段黄河为游荡性宽河段,河道宽、浅、散、乱,也是悬河悬差最大的河段,俗称“豆腐腰”。由于河床强烈淤积,出现了河床平均高度高于漫滩情况,形成了“槽高、滩低、堤根洼”的二级悬河。该地貌也是黄河下游河道地貌的一个特点。

1.3 堤基不良土体对悬河稳定性影响

(1)砂基。在河流侵蚀岸和斜河、横河、堤河发生的堤坝段,由于松散粉细砂和粉土的分布,使堤基抗冲刷能力变弱,洪水期间冲刷、淘蚀堤基,易造成大堤坍塌险情,严重时酿成冲决灾害。松散的粉细砂和粉土渗透性强,在大洪水期间,堤内外高水位差易产生堤身、堤角渗水,管涌、流土等不良地质现象,造成堤岸溃决。

(2)决溢口门人工填土。黄河现行河道历史决溢频繁,决口口门多数隐伏在现今大堤之下,是堤防工程极大的隐患。据资料统计,山东段沿黄两岸历史上的老口门约计150多处。口门处土体为深层流沙,含有大量石块、干料、柳枝等堵口料物,孔隙多、渗水性强,主要为结构疏松、含水饱和、易液化的粉砂、细砂和黏质砂土;因此,历史上的老口门堤段也是最容易出现决溢的危险地段。

(3)软基。黄河大堤堤基及附近分布有淤泥质黏土、淤泥、以及盐渍土等不良土体,因其埋藏浅、承载力低,抗震性差,极易发生不均匀沉降,从而对堤坝造成危害。

2 悬河稳定性评价方法

2.1 评价原则

(1) 分层次原则: 控制黄河演化变迁的地质因素有区域稳定性、堤基工程地质特征(软基、砂基等)、土体结构与河道地貌等。将其划归为: 构造、堤基、河道3类影响悬河稳定性因素。而每一个方面作为一个层次进行评价。

(2) 分主次原则: 在每层次评价过程中, 不同性质、不同部位的河段, 其评价因子的主次不同, 根据其影响程度可分为主次因子。

(3) 体现地质因素与人类工程治理现状相结合的原则。

2.2 评价方法

采用模糊数学综合评判法进行悬河稳定性评价。首先选择评价因子, 确定各因子评价标准, 并进行单项评价; 然后, 分别对因子取权, 最终应用模糊矩阵复合运算方法进行悬河稳定性综合评价。

(1) 模糊层次模型。在评价指标确定基础上, 采用模糊层次分析法确定各个评价因子权重。为此需要建立模糊层次模型^[1](图1)。

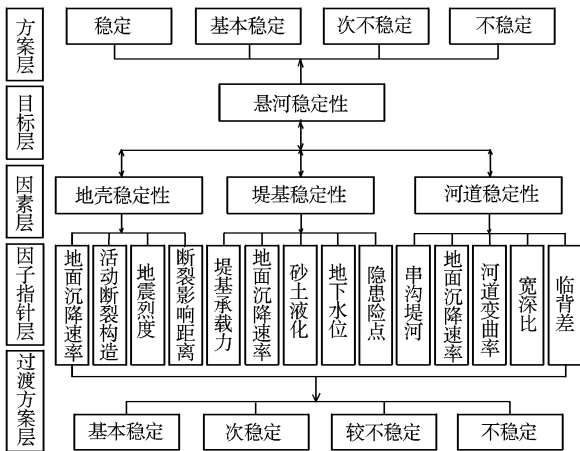


图1 悬河稳定性模糊层次模型

(2) 模糊层次综合评判数学模型。根据模糊集原理, 建立悬河稳定性综合评判数学模型^[2]:

$$B = A \cdot R = [a_1 a_2 \dots a_n] \begin{matrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nm} \end{matrix} = [b_1 b_2 \dots b_m]$$

式中: B 为综合评判矩阵(综合评判结果); A 为因素

集权重矩阵; a_i 为第 i 个评价指针在总目标中获得的权重值($\sum_{i=1}^n a_i = 1$); R 为由 n 个评价指针构成的总评判矩阵; u_{ij} 为第 j 个方案第 i 个因素指针的隶属度; b_j 为第 j 个方案的综合评价指标。

2.3 评价因子的选定

评价涉及区域地壳稳定性、堤基稳定性、河道稳定性因子3大类, 共14个因子。

(1) 区域稳定性评价因子选定

大地形变速率 U_1 以参数值划分; 活动断裂构造 U_2 以断裂发育情况及活动性, 采用打分法确定; 地震烈度 U_3 以地震烈度分区为依据确定; 断裂影响距离 U_4 以断裂影响范围为依据, 以距断裂轴线的距离大小来反映, 在断裂交汇部位, 同时考虑2条断裂之间共同影响(表1)。

表1 活动断裂构造分值标准

发育情况	无	不发育	较发育	发育
分值	2	5	7	10

(2) 堤基稳定性评价因子选定

堤基承载力 U_1 以土体承载力指标参数反映; 软土埋深 U_2 以软土发育埋藏深度指标参数反映; 液化砂土 U_3 以堤基土体液化砂土的液化指数大小来反映; 地下水位 U_4 以地下水位埋深值大小反映; 隐患险点 U_5 以堤身、堤基隐患、险点的分布及发育情况反映(表2)。

表2 堤身隐患险点分值标准

分布及发育	无	少	多、分散	多、集中
分值	2	5	7	10

(3) 河道稳定性评价因子

串沟堤河 U_1 以串沟、堤河的发育情况来反映; 横比降 U_2 以河道的横比降反映; 河道弯曲率 U_3 以河道弯曲率反映; 宽深比 U_4 以河道的宽深比反映; 临背差 U_5 以统计的临背差反映(表3)。

表3 串沟、堤河分值标准

分布及发育	无	较发育	发育
分值	1	3	5

2.4 因子权重确定

根据参与评价因子在悬河稳定性中的贡献和重要程度, 采用专家(正定水文所、山西、陕西、河南、

山东)评判给定的权重,经算术平均值计算确定(表4)。

表4 评价因子权重

因子 权重/%	地壳稳定性 35	堤基稳定性 35	河道稳定性 30
子因子 权重/%	$U_1 U_2 U_3 U_4$ 15 35 30 20	$U_1 U_2 U_3 U_4 U_5$ 10 20 35 15 20	$U_1 U_2 U_3 U_4 U_5$ 20 25 15 10 30

2.5 评价标准

根据区内工程地质条件,将悬河稳定性评价方案确定为4级:基本稳定、次稳定、较不稳定、不稳定,相应地得到评价集为: $V = \{V_1(\text{基本稳定}), V_2(\text{次稳定}), V_3(\text{较不稳定}), V_4(\text{不稳定})\}$ 。评价标准见表5。

表5 悬河稳定性评价因子分级标准

层次	评价因子	代号	基本稳定	次稳定	较不稳定	不稳定
			I (V_1)	II (V_2)	III (V_3)	IV (V_4)
地壳稳定性	地面沉降速率/(mm/a)	U_1	1	2	4	5
	活动断裂构造	U_2	0	2	4	6
	地震烈度/度	U_3	5	6	7	8
	断裂影响距离/m	U_4	10000	5000	2500	1000
堤基稳定性	堤基承载力/kPa	U_1	300	200	150	100
	软土埋深/m	U_2	20	15	10	5
	沙土液化指数	U_3	0	5	10	15
	水位埋深/m	U_4	5	3	2	1
	隐患、险点	U_5	1	3	5	7
河道稳定性	串沟、堤河	U_1	0	2	4	6
	横比降/ 10^{-3}	U_2	0	-0.5	-1.0	-1.5
	河道弯曲率	U_3	1	1.2	1.3	1.4
	宽深比/m	U_4	5	10	15	20
	临背差/m	U_5	0	2	3	5

2.6 隶属度确定

根据评价因子数据分布特征,可以得到各因子隶属于各级分区标准值的隶属函数:①当评价因子数据趋小时,采用降半梯形分布的隶属函数曲线;②当评价因子数据趋大时,采用升半梯形分布的隶属函数曲线。

3 综合评价结果

在全区范围内选取了106个模糊计算评价点进行计算评价,根据计算评价结果进行悬河稳定性评价分区(图2)。

4 结语

黄河(山东段)悬河上、下两头稳定性差,中间稳定性较好。泰山山前黄河南侧和高青—利津河段为基本稳定段,黄河北侧东阿—大李—济阳大年陈和黄河南侧济南—高青魏桥河段为次稳定段,郓城张鲁—梁山银山和利津—黄河入海口为较不稳定段,河南东坝头—郓城张鲁和阳谷阿城—东阿—大李为不稳定段。通过对河段可能出现的失稳或决口险点及其可能造成的危害性分析和预测,初步确定了10处地质险段:①东明程庄—高村;②东明李村—鄄城董口;③鄄城葛庄—旧城;④梁山仲固堆—高堂;⑤梁山郓陈—戴庙;⑥东阿位山—黄屯;⑦齐河赵官—胡官;⑧齐河祝阿—大桥镇;⑨济阳回河—稍门;⑩利津王家庄—北岭。

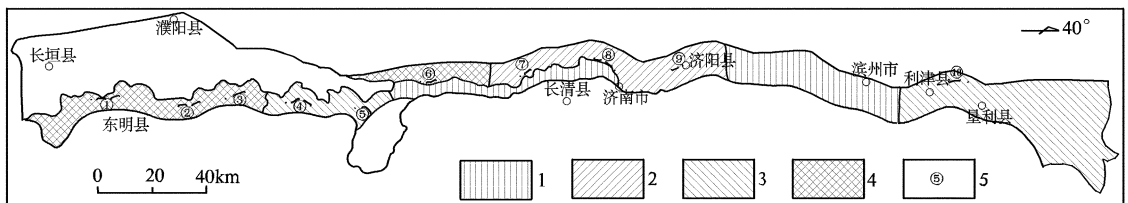


图2 黄河(山东段)悬河失稳预警图

1—基本稳定段;2—次稳定段;3—较不稳定段;4—不稳定段;5—地质预警险段;①程庄—高村;②李村镇—董口;③葛庄—旧城镇;④仲固堆—高堂;⑤郓陈—戴庙;⑥位山—黄屯;⑦赵官—胡官屯;⑧祝阿—大桥镇;⑨回河—稍门乡;⑩王家庄—北岭

参考文献:

[1] 刘增良. 模糊技术与应用选编(1) [M]. 北京: 航空航天大学出版社, 1997.

[2] 曲治华, 王朝清. 环境质量模糊综合评价法及其应用[J]. 四川环境, 1996, 15(3): 49-52.

Evaluation on Stability of the Hanging Yellow River in Shandong Province (Shandong Section)

GUO Xiu - yan¹, HAN Xiang - yin¹, WANG Xin - bin²

(1. Shangdong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: Through analysis on influenc factors of the hanging yellow river stability, and evaluating respectively on three aspects as stability of regional crust, the bank stability and the riverway stability, and by using fuzzy mathematical judgement method, hanging river stability, possible unstability, burst dange spots and possible damages are analyzed and predicated in this paperl, and 10 dangerous sections are primarily determined as well.

Key words: The Yellow river; hanging river; stability; fuzzy mathmatical method; evaluation method; geological dangerous sections; Shandong province