

黄河悬河稳定性评价专家系统的研制^{* *}

罗国煜 徐迎伍 李红兵 闫长虹
(南京大学地球科学系, 210093)

文 摘 从区域稳定性研究入手, 以地壳、堤坝与地基三系统控制论为理论基础, 系统总结了悬河研究领域中的最新成果和结论。提出了工程治理与环境治理, 环境治理与经济发展, 地质工程治理与水利工程治理相结合的治理策略, 并用先进的人工智能技术, 研制出黄河悬河稳定性评价专家系统, 为黄河下游悬河分析、评价与处理以及进一步研究提供有效手段。

关键词 黄河下游, 悬河, 优势断裂, 地壳、地基与堤坝, 专家系统

1 引 言

近几个世纪中, 黄河下游河床的迅速淤积使黄河成为地上悬河, 它所带来的隐患历来受到人们的高度重视。然而, 对于悬河稳定性的研究过去多从水利工程入手, 对地质因素的影响研究不多, 并且在治理过程中单纯依靠筑堤措施, 缺少地质工程的治理观点。有鉴于此, 本文从区域稳定性研究入手, 以地壳、堤坝与地基三系统控制论为理论依据, 系统总结各方面专家的最新研究成果, 对黄河下游悬河进行了较系统的研究, 并借助于先进的人工智能技术, 建立了黄河悬河稳定性评价专家系统, 本项研究可作为黄河下游河段的稳定性评价、治理和河道带国土开发利用的一个依据。

2 黄河悬河问题及其研究思路

由于历史和自然原因, 黄河流经的黄土高原存在着严重的水土流失现象, 黄河也因此成为举世闻名的多泥沙河流。黄河进入下游河道后便迅速淤积。现滩地一般高出背河地面 3~7m, 多的可达 10m, 黄河已成为典型的“地上悬河”, 为淮河、海河的分水岭, 也是黄淮海大平原的脊轴。

黄河历史上决口改道频繁。据统计, 大改道 7 次, 中小改道 26 次, 决口达 1600 余次。建国 40 多年来, 黄河治理取得了巨大成就, 改变了过去“三年两决口”的险恶局面。但是, 鉴于黄河的洪水和泥沙还没有得到有效控制, 沿用“河堤赛高”的治理方法, 使黄河悬河决口成灾的威胁有增无减。下游两侧的黄淮海平原, 土地面积 30 万平方公里, 耕地 3 亿亩, 人口 2 亿以上, 其中有我国重要的粮食、能源及工业基地, 而且黄河三角洲将成为重要开发区, 如遇特大洪水而决口成灾, 将对国民经济及人民的生命财产带来无法估量的巨大损失。因此, 黄河悬河安危, 是一个后果严重的潜在的区域性环境灾害问题, 应及早进行系统研究, 寻求最优解决方案。

黄河悬河稳定性分析不仅要从小水利入手, 考虑在水动力作用下河道的稳定性, 而且绝

^{*} 国家教委、地矿部和中科院工程地质力学开放研究室资助项目。

不能忽视地质因素的影响。大量证据表明黄河下游河道的形态及演变都与地质作用有着密不可分的联系,故从环境的高度立足于地质基础,地质与水利工程相结合,利用多学科联合攻关来解决黄河悬河问题是一条正确的出路。纵观河道走向与黄河决口历史,可以看出^[1]:黄河改道集中区位于 Q_3 华北山前最大冲积扇顶附近;决口位置多位于北岸,这是因为北岸沉降大;河流走向在下游基本上是EW向或NNE向,这明显与该区发育的区域性大断裂走向一致。郇公耀等^[2]也发现河型与地壳运动的某种对应关系:游荡型河道地壳下降,弯曲型河道地壳上升,过渡型河道地壳由下降向上升区过渡。所以,从地学出发开展对悬河的研究是悬河研究工作的一项重要基础性工作,会对悬河问题的解决做出积极的贡献。我们以区域稳定性优势面理论为基础^[3],提出了地壳、堤坝与地基三系统控制论的研究思路^[1]。该研究思路通过找寻评价地区的区域优势断裂来确定区域稳定性状态;在区域稳定性研究的基础上,通过场地优势断裂及水动力共同作用下的地基及堤坝系统的稳定性分析,最终得出待评价段悬河的稳定性;进而对悬河的演化趋势作出宏观的预测;在治理方面,提出以工程治理与环境治理相结合,环境治理与经济发展相结合,地质工程治理与水利工程治理相结合,寻求悬河的大系统综合治理对策。根据这一研究思路,南京大学与河南省地矿厅通力合作,历时4年,完成了室内外研究任务。在此基础,由南京大学地球科学系与计算机系研制出较好体现悬河总体研究思路的黄河悬河稳定性评价专家系统(SSRPP系统)。

3 SSRPP系统的知识库及其功能

SSRPP系统的知识库由区域稳定性评价,场区稳定性评价和演化趋势及治理对策三个部分组成。其知识库总体结构如图1所示。

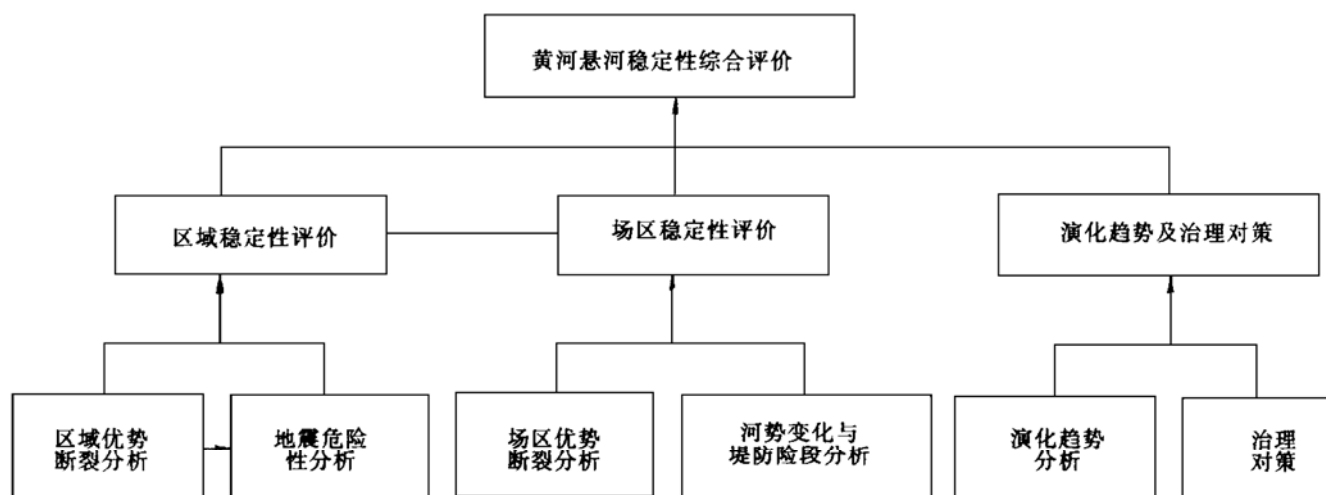


图1 SSRPP系统知识库总体结构

3.1 区域稳定性评价知识库及其功能

区域稳定性评价是悬河稳定性研究的基础。区域稳定性优势面理论的基本观点是^[3]:在影响某工程场地的活动性断裂中,具有控制作用的深大断裂称为区域优势断裂。而区域稳定性问题的评价方法为:①区域优势活动断裂的找寻和研究是区域稳定性评价的关键。它一般

分三个步骤: 分析断裂构造是否为活动性断裂; 分析其是否为区域优势活动性断裂; 区域优势活动性断裂的活动类型及组合模式分析。②采用地震工程与工程地质有机结合的方法使区域稳定性评价定量化。③在上述研究的基础上得出某待评价工程场地的区域稳定性结论。

系统中区域优势活动性断裂的确定主要是依据优势指标法。优势指标法是通过定义的一套反映活动断裂性质的指标来找寻优势活动性断裂的。如下式所示:

$$RZ(I) = T \cdot RT(I) + R \cdot RR(I) + L \cdot RL(I) + D \cdot RD(I) + Q \cdot RQ(I)$$

式中 $RZ(I)$ 为断裂 I 的综合指标; $RT(I)$, $RR(I)$, $RL(I)$, $RD(I)$, $RQ(I)$ 分别为时间优势指标、活动周期优势指标、规模优势指标、距离优势指标、性质优势指标; T, R, L, D, Q 是相应的优势指标对应的权值。当 $RZ(I) \geq \text{优势判据 } RZ^*$ 时, I 断裂即为区域活动性断裂。

系统中在区域优势活动性断裂评价的基础上, 通过地震危险性分析来实现工程地质与地震工程的有机结合。地震危险性分析的基础是潜在震源区的估计, 系统中主要运用三种方法确定潜在震源区: 优势面判定法, 地震活动性判定法和图象识别法。其中优势面判定法是通过区域优势断裂判定并分段研究和组合分析来确定潜在震源; 地震活动性判定法主要依据历史地震的原地复发性、地震填充性和迁移性三个方面; 图象识别法是通过可能与未来地震相关的各种标志的多因子综合分析确定潜在震源区。系统中还附设了地震危险性分析计算模块。

在以上工作的基础上, 系统给出区域稳定性分析的综合结论。

3.2 场区稳定性评价知识库及其功能

根据三系统控制论的研究思路, 在区域稳定性研究的基础和背景下, 要深入研究地基及堤坝系统结构。

地基系统是堤坝的载体, 地基结构模型、地基基质的物理力学性质参数、地震动参数频谱特征以及场地优势断裂的错动、蠕动作用等都对堤坝稳定性有直接控制作用; 堤坝本身的结构及堤坝与地基复合结构模型是堤坝失稳的内在控制因素; 而堤坝受洪水冲刷、渗透等自然地质作用、生物作用和人工作用下堤坝稳定性的破坏是河道决口的直接原因。

本系统基于以上思路, 试图找出在特定地质背景和在天然与人工双重机制作用下的堤坝破坏模式, 并采用模式识别的方法对场区稳定性作出评价。

3.3 演化趋势与治理对策研究知识库及其功能

鉴于控制悬河演化的因素众多, 且研究程度不高。本系统主要采用河道发展趋势预测、平面形态演变趋势预测及河型转化趋势预测等方法^[4]对悬河的演化作出宏观预测。

治理对策突出了针对性和综合性, 强调工程治理与环境治理、环境治理与经济发展、地质工程治理与水利工程治理相结合的思路。其中, 地质工程的治理是充分利用地质体, 利用地质作用, 因势利导, 寻求冲淤平衡, 延长河道寿命, 以实施河道的主动防护。

4 黄河悬河稳定性评价专家系统(SSRPP 系统) 设计

4.1 SSRPP 系统的总体设计思路

专家系统以其特有的实用性和明显的社会效益, 在许多领域中得到了应用。但目前大多数专家系统都存在着一些缺点: 如使用者界面不直观; 系统的修改非计算机专业人员难以掌握; 知识表示和推理机制比较单一; 计算能力及外设交互能力较弱等。SSRPP 系统的总体设计注意避免了上述缺点: ①利用 Windows 环境的优点, 将使用者界面“窗口化”, 操作方法简单

直观; ②附设“知识库获取工具”, 该工具简单易学, 可实现普通用户对专家系统的修改; ③提供多种知识表示方法及推理策略, 用户可根据需要进行选择; ④提供计算模块接口, 提高了系统的计算能力。

基于以上的设计思路, 我们在 Windows 环境下用 Borland C++ 4.0 实现了该系统。其系统结构如图 2 所示。它包括推理机、黑板、知识获取工具、知识源、人机接口等五个模块^[5]。

4.2 SSRPP 系统的知识表示方法^[5]

知识表示是 ES 研究的最基本问题, 其表示方法繁多。我们选取 SSRPP 系统所采用的知识表示方法时, 考虑到该系统的特殊性, 决定主要采用产生式表示法及框架表示法, 并将其单元化, 即把传统的一条产生式规则或一个框架当作一个独立的子问题来处理, 这样可提高知识表达能力和系统的推理及获取能力。

(1) 产生式规则的单元化表示

产生式规则的知识表示法, 可以描述许多不同类型的知识, 也符合人们的思维习惯; 有利于知识的清晰表达、有效获取、高效使用和明确解释。因此本系统将它作为一种主要的知识表示方法。

在产生式的规则集中, 某一规则的前提往往是另一规则的结论, 它们构成了规则树。SSRPP 系统对规则树约定为: 如果非叶节点 H 是其子节点 E_i 的合取或析取, 则用 and/or 连接各子节点, 作为规则的前提条件, 其中每个子节点 E_i 后面附上支持其父节点 H 的可信度 CF_i , 同时将非叶节点 H 作为规则的结论, 构成一条关于非叶节点的 and/or 规则(如图 3 所示)。

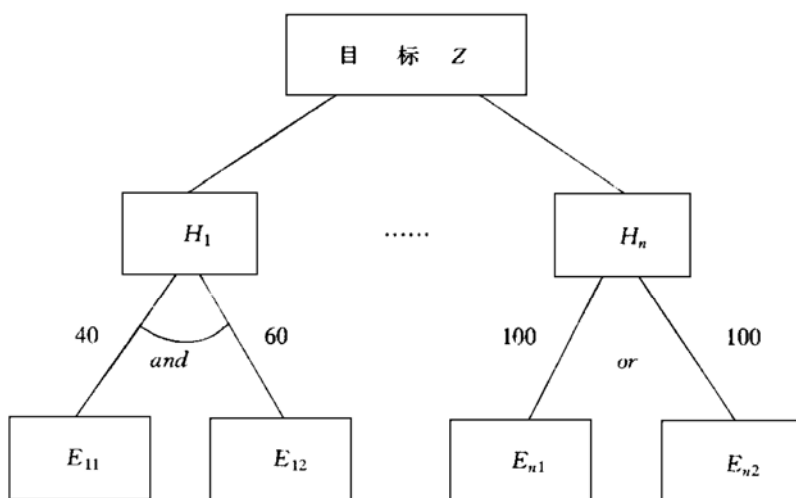


图3 and/or 规则子树示例

(2) 框架表示

框架表示是 Minsky 于 1974 年作为人类记忆和认识过程的模型提出的, 是关于一个或一

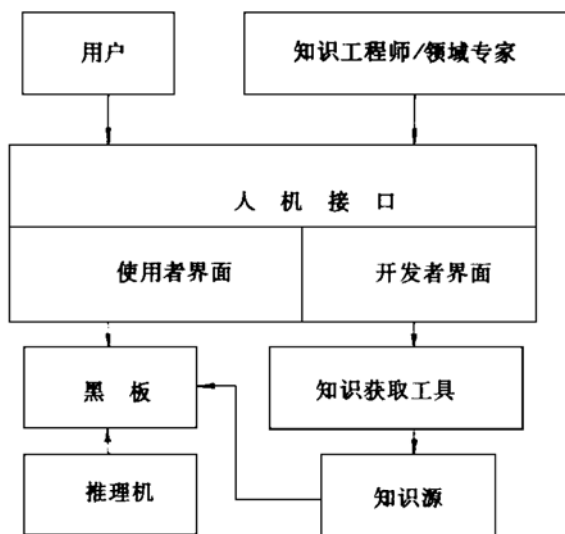


图2 SSRPP 系统结构

类对象的结构化表示。其特点是:具有良好的结构性、层次性和继承性。框架表示法特别适于表达地学专家的有关知识,故本系统也将它作为一种主要的知识表示方法。下面为系统中某项用框架表示的专家知识。

Frame name(框架名):性质优势指标

Slot 1(槽 1):断层面胶结差

Facet 1(侧面 1):没有胶结

Facet 2(侧面 2):泥质胶结

Facet 3(侧面 3):铁锰质胶结

•
•
•

Slot 3(槽 3):破碎带软弱

Facet 1(侧面 1):破碎带有一定宽度

Facet 2(侧面 2):符合软弱破碎带其他特征

4.3 SSRPP 系统的推理机制^[6]

本系统主要采用反向链推理技术及非精确推理策略。其中非精确推理模型主要采用多条规则的 MYCIN 方法与自带计算模型。

(1) 反向链推理技术

系统从目标 Z (树的根节点)入手,确定 Z 是否成立。标准是当数据库中存在 $\text{Value}(Z, V)$ 时,而可信度 $V \geq 60\%$ (阈值),被测试目标 Z 成立,得推理结果。若不存在 $\text{Value}(Z, V)$,可运用模式匹配技术,在数据库找出以 Z 为结论的规则,通过菜单方式向用户收集与规则前提有关的证据及其可信度,代入非精确推理算式,算出目标 Z 成立的可信度 Value ,判别其是否达到 60% ,即不断收集证据 E_i 之可信度 $\text{CF}(E_i)$ 新值存入数据库,求出根节点或非叶节点处的可信度 $\text{CF}(Z)$ 或 $\text{CF}(H)$,结束或完成咨询过程。反向推理算法流程图如图 4 所示。

(2) 多条规则的 MYCIN 方法

在专家系统中,往往推导某一结论的规则可能不止一个,怎样有机地统一这几条规则并给出一个比较确切的答案呢?我们发现 MYCIN 方法对于多条规则的处理有其独到之处。

设 $\text{CF}[H, E_1]$, $\text{CF}[H, E_2]$ 为两条规则分别推导出来的值,则这两条规则推导出结论 H 的表示方法为

$$\text{CF}[H, E_1 \wedge E_2] = \begin{cases} 1 & \text{若 } \text{CF}[H, E_1] = 1 \text{ 或 } \text{CF}[H, E_2] = 1 \\ -1 & \text{若 } \text{CF}[H, E_1] = -1 \text{ 或 } \text{CF}[H, E_2] = -1 \\ \text{CF}[H, E_1] + \text{CF}[H, E_2] - \text{CF}[H, E_1] \text{CF}[H, E_2] & \text{若 } \text{CF}[H, E_1] > 0, \text{CF}[H, E_2] > 0 \\ \text{CF}[H, E_1] + \text{CF}[H, E_2] + \text{CF}[H, E_1] \text{CF}[H, E_2] & \text{若 } \text{CF}[H, E_1] < 0, \text{CF}[H, E_2] < 0 \\ \text{CF}[H, E_1] + \text{CF}[H, E_2] & \text{若 } \text{CF}[H, E_1] \cdot \text{CF}[H, E_2] < 0 \end{cases}$$

(3) 自带计算模型

对于某些计算型的问题,我们提供了它与计算模型的接口,并提供形式化的语言描述或是

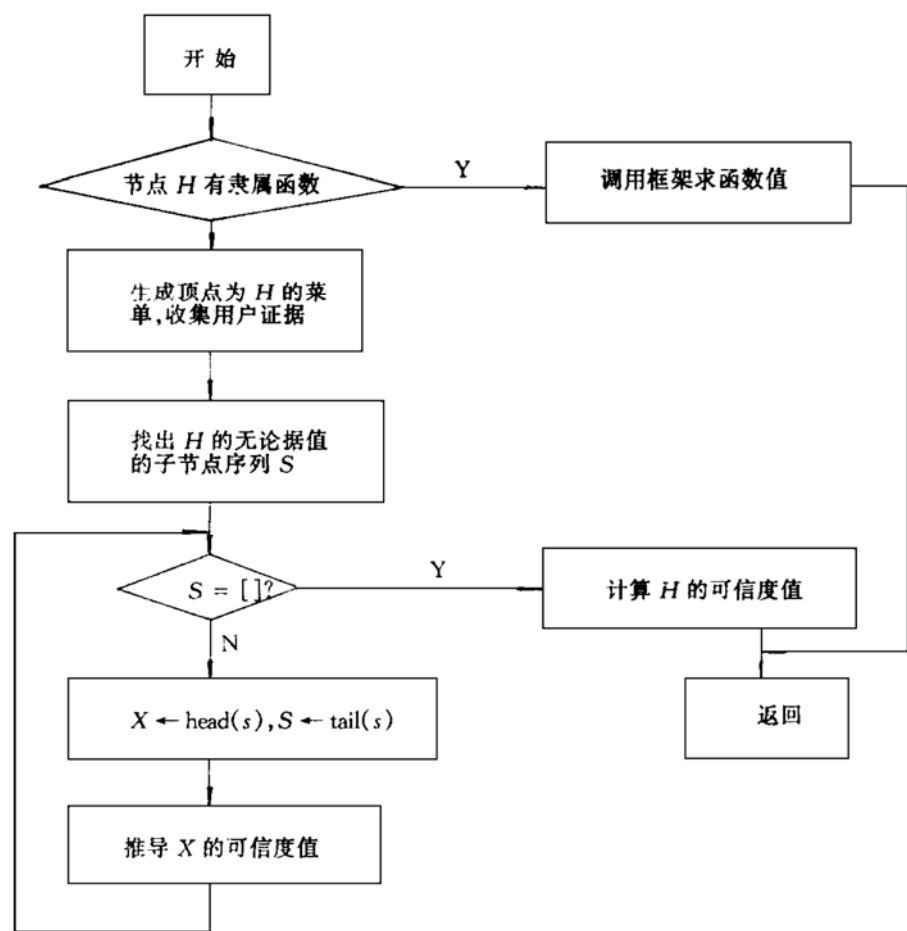


图 4 SSRPP 系统的反向推理算法流程图

增加一条规则来将计算的结果用于推理, 从而实现了定性推理与定量计算的结合。

5 SSRPP 系统测试实例

我们系统收集了黄河下游河南段的断裂分布、地震活动、水动力条件、钻孔资料、物探成果及地面测绘资料等信息, 运用 SSRPP 系统进行了多次测试, 测试结果显示符合实际效果良好。表 1 为测试结果的一览表。

表 1 测试结果与实际情况一览表

堤 段	实际情况		SSRPP 系统 测试结果
	冲决事故	险工出险	
郑铁~ 辛寨	1	7	不稳定
东坝头~ 四明堂	无	无	较稳定
大宾~ 鹅湾	1	2	不稳定
渠村~ 彭楼集	无	无	稳定
彭楼集~ 陶城铺	无	无	稳定

6 结 论

- (1) 本文提出了悬河稳定性取决于地壳、地基和堤坝三系统;
- (2) 确定了悬河险段判定的地质和量化标志;
- (3) 提出了工程治理与环境治理、环境治理与经济发展、地质工程治理与水利工程治理相结合的综合治理新模式;
- (4) SSRPP 专家系统初步实现了上述基本要求。

应该指出,黄河悬河环境问题是个体大系统的复杂课题,本项研究的进展是进一步多学科联合攻关的一个基,我们将把研究工作深入下去。

参加本项工作的还有南京大学的陈兆乾、陈世福,河南省地矿厅的张连胜、刘怀璞、刘建方等同志,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 罗国煜等. 黄河下游悬河稳定性及其环境问题. 见:《环境地质》编委. 环境地质. 北京:地质出版社, 1996. 100~ 110; 第一届两岸资源与环境地球化学研讨会(论文摘要), 台湾中央大学, 1994. 51
- 2 邵公耀. 黄河下游河道形态与地质构造关系. 黄河规划设计, 1992(4): 1~ 4.
- 3 罗国煜等. 区域稳定性优势面分析理论与方法. 岩土工程学报, 1992, 14(6): 10~ 18.
- 4 叶青超等. 黄河下游地貌. 北京:科学出版社, 1989. 110~ 145.
- 5 Nii H P. Blackboard Systems: The Blackboard Model of Problem Solving and the Evolution of Blackboard Architecture. The AI Magazine, 1986, 23(6): 431~ 437.
- 6 陈兆乾, 李红兵. BBEST 中推理机的设计与实现. 微型计算机, 1994, 14(1): 1~ 4.

Expert System on the Stability of Suspended River

Luo Guoyu Xu Yingwu Li Hongbing Yan Changhong

(Nanjing University, 210093)

Abstract Based on the controlling theory of three systems, the expert system of suspended river stability is established by means of advanced artificial intelligence technology. The expert system includes the latest results in the field of suspended river. And also a new regulating idea is suggested in the paper, which is the connections of engineering regulation and environmental regulation, environmental regulation and economic development, geoenvironmental regulation and water conservancy regulation. This expert system can help to analyse the stability of suspended river and carry out further research.

Key words lower reaches of the Yellow River, suspended river, preferred fault, earth crust, foundation and embankment, expert system.