

# 长江堤防安全评价的理论 方法和实现策略

李青云<sup>1</sup>, 张建民<sup>2</sup>

(1. 水利部岩土力学与工程重点实验室, 长江科学院, 武汉 430010;

2. 清华大学土木水利学院, 北京 100084)

**[摘要]** 对长江堤防安全评价的理论与方法进行了较为系统的阐述。重点论述了长江中下游堤防的特点和破坏机理, 分析了与堤防安全有关的基本因素; 针对堤防安全评价的层次性和动态性等特点, 初步建立了长江中下游堤防安全评价的理论框架, 提出了堤防安全评价的流程与方法。

**[关键词]** 长江堤防; 安全评价; 指标体系; 层次分析

**[中图分类号]** TV87 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)06-0007-07

## 1 引言

长江是我国第一大河, 世界著名的第三大河, 干流全长6 300 km, 横贯我国西南、华中、华东三大经济区, 流域面积 $180 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域内气候适宜, 物产丰富, 经济发达, 居住着全国三分之一的人口, 工农业总产值约占全国40%。自古以来, 长江流域就是我国政治、经济、文化、军事的重要地区。同时, 长江流域又受洪水的严重威胁, 特别是经济发达的中下游平原区, 受洪水威胁更为严重<sup>[1]</sup>。

长江中下游堤防工程是长江防洪工程体系的重要组成部分, 是抵御洪水、保障两岸人民生命财产安全的基本设施和最后防线。堤防的总长30 000 km, 其中长江干堤长约3 600 km。由于历史原因, 长江堤防存在着许多安全隐患, 在汛期高洪水位下, 经常发生管涌、滑坡和漫溢等险情。例如, 在1998年大洪水中, 长江中下游干堤就出现险情6 100多处, 险情规模之大, 对大堤安全威胁程度之高都是空前的<sup>[2]</sup>。危急时刻, 曾出现百万军民上堤严防死守的局面。1998年大洪水使长江

堤防的隐患得以全面暴露, 同时也暴露出长江堤防工程防洪标准偏低、质量较差、相关的基础研究薄弱、防洪减灾方面的科技水平和管理手段落后等现状。今后, 随着我国经济建设的发展和长江中下游两岸的经济繁荣, 人们会对防洪安全提出越来越高的要求, 堤防在保护两岸地区免遭洪水侵害方面的作用将更加突出, 堤防工程的安全性也会备受关注。这就必须搞清楚下面两个最基本的问题: (1) 现今堤防工程的安全性如何? 如何动态评价堤防工程的安全性? (2) 堤防工程应该具有多大的安全性? 如何权衡堤防失事风险与加固代价?

1998年以来, 国家投入巨资对长江中下游重点干堤进行了全面加固, 长江干堤的可靠性大大增强。然而, 由于长江堤防战线长, 存在的安全隐患难以在短时间内完全消除, 还必须配合以严密的汛期检查, 一旦堤防出现险情, 要及时进行科学处理<sup>[3]</sup>。以往我国对于堤防安全中最基本的问题——堤防出险机理和防治措施缺乏系统而深入的研究, 尤其缺乏在复杂运行环境下堤防安全评价的理论、方法和实用模型, 这种现状使得我国的抗洪抢险决策往往处于被动局面<sup>[4]</sup>。因此, 开展长江堤

**[收稿日期]** 2004-07-16; **修回日期** 2005-03-04

**[基金项目]** 国家自然科学基金委员会和长江水利委员会联合资助项目(50099620)

**[作者简介]** 李青云(1963-), 男, 山西河曲县人, 工学博士, 长江科学院教授级高级工程师, 主要从事岩土工程、空间信息技术应用研究工作

防安全评价理论和方法研究,是保障我国经济发展迫切需要的一项工作。

## 2 国内外研究现状综述

堤防工程安全性是最近几年才被提出来的一个名词,与此相关的堤防工程安全评价的提法也较为笼统,无论是在国外还是在国内,目前还没有一个明确的定义。为了阐述清晰起见,下面对工程系统安全评价的概念、起源以及在水利界应用的演变情况进行简要综述。

安全评价(safety assessment)是指对一个具有特定功能的工作系统中固有的或潜在的危險及其严重程度所进行的分析与评估,并以既定指数、等级或概率值做出定量的表示,最后根据定量值的大小决定采取预防或防护对策。根据文献[5],安全评价最先是由保险业发展起来的,时间可追溯到20世纪30年代。20世纪50年代末,美国空军在研究弹道导弹上遭受重大挫折之后,率先提出了系统安全(system safety)的思想,并逐步发展成一门独立的学科,即系统安全工程(system safety engineering)。20世纪60年代以来,随着航空、航天、核工业等高技术的发展,以概率风险评价(PRA)为代表的系统安全评价技术得到了迅速发展。近20年来,世界上出现了许多灾难性的工业事故,例如1984年印度博帕尔市发生的美国碳化物公司农药厂的毒物泄漏事故和1986年前苏联切尔诺贝利核电站爆炸事故,引起了各国环境、卫生、安全部门的高度重视,也促进了安全评价技术在世界范围内的发展。根据评价目的、要求和范围的不同,出现了许多评价方法,其中应用比较广泛的就有五种方法:(1)评分法;(2)检查表评价法;(3)危险指数评价法;(4)概率法;(5)综合法。但通常可以归纳为两类方法,即确定论方法和概率论方法。这两类方法论是从不同的角度回答“安全应达到什么水平才算安全”以及“系统现在的安全性如何”这两个基本问题。

鉴于安全评价对象的复杂性,目前还没有形成一种能够通用的评价方法。一般认为,对一个工程系统进行安全评价时,首先应通过对系统的安全分析,识别系统固有的或潜在的危險,然后根据安全标准进行危险分级,进而采取相应的措施,预防或消除危险。选择合适的评价方法,并按照一定的程序对某一工程系统进行安全评价,是保证获得准确

结果的基本条件。

在水利界,存在堤坝工程重大事故的危險,虽然这种事故的发生概率很小,但其后果却极为严重。经验证明,传统经验型的管理方法已经不适用,需要转换为预测型的实时风险管理体系,这方面的研究工作已经引起国际水利界的广泛关注。目前,国内外已在传统的大坝设计理念基础上,参考和借鉴相关领域内的研究成果和方法,来考虑水库大坝安全评价和保障问题<sup>[6]</sup>。例如,为了研究水库防洪安全设计,美国土木工程学会下属的地表水文委员会于1984年成立了专题委员会,目的是研究能够在全国范围内使用的、统一的水库安全评价程序。经过三年努力,反复修改六次,完成一份总报告(The task committee on spillway design flood selection, ASCE, Evaluation procedure for hydrologic safety, New York, 1988),该专题委员会在分析了水库防洪安全的各种程序后指出,应对所设计水库进行专门分析,分析垮坝的可能性及其后果,并估算出防御失事所耗费的资源,再通过权衡得失,确定适度的防洪安全标准,即安全适度的“度”。同时,对采用定量风险评估途径的必要性和可能性做了分析,并肯定了这一方向。西方发达国家,如英国、美国、意大利和澳大利亚等在大坝安全风险分析方面处于领先地位。有关的研究成果在2000年国际大坝会议论文集集中的专题76(风险分析在大坝安全决策和管理中的应用)有较详细的论述。

我国水利界从事水利工程安全评价的研究工作始于大坝安全性综合评价研究。20世纪70年代以来,结合数十座大坝的安全分析和监控等科研项目,在数学监控模型、参数和边界条件反分析、拟定变形监控指标和大坝安全综合评价专家系统等方面取得了一大批成果,建立了完整的大坝安全监控和评价的理论体系<sup>[7]</sup>。目前,鉴于大坝的工作条件十分复杂,对其安全分析和评价,已从单因素发展到多因素,从单项分析发展到多项综合分析和综合安全评价<sup>[8]</sup>。

与大坝安全评价相比,国内外对于堤防工程安全评价的研究尚处于起步阶段,目前还没有形成一个适用的理论和方法。在国外,有关国家已经开始利用先进的计算机信息技术,对堤防信息进行管理和集成,为防汛调度提供决策依据。有关资料表明,堤防工程的技术分析、风险评估和安全评价已成为今后堤防工程科学管理的发展方向<sup>[9]</sup>。例如,

日本、荷兰等发达国家的江河（海）堤防的管理决策系统就比较先进。但是，从现有资料看，不同国家针对自己的国情和堤防工程的特点，研究的侧重点也不同。例如，日本堤防的防洪标准不算高，但质量很高，能基本保证不出险情或者是在洪水漫顶情况下也不会溃堤，因而堤防工程失事风险考虑得不多，但围绕堤防破坏机理进行的科学试验较为深入，在堤防工程安全性调查方法、内容和渗透安全性评价等方面积累的经验也可供我们借鉴。荷兰的堤防大多数为海堤，堤防系统由封闭的堤防圈构成，同一堤防圈内设防标准相同，防洪水位一致，其特点是波浪对堤防的破坏作用较为突出。近年来，荷兰在堤防设计中采用了可靠性设计方法，设有相应的风险标准。荷兰在堤防工程可靠性设计和风险分析方面的经验和思路可供我国参考和借鉴。

长江中下游堤防经历了不断的加高、延长、决口、复堤的漫长历史过程，其基础条件和建筑过程往往不完全符合现代堤防的设计准则。长期以来，堤防的培修缺乏科学理论的指导和严格的设计标准，长江堤防遗留了众多的安全隐患，在相当长的时期内堤防出险还难以完全避免。因此，堤防工程的安全鉴定或安全评价工作对于堤防工程的加固和维护管理是具有重要意义的。目前，堤防工程安全评价的重要性已经引起国内有关方面的重视。例如，堤防的安全评价或鉴定成果已经作为堤防加固设计和立项审批的重要依据之一。《堤防工程设计规范》就明确规定，“堤防的安全鉴定是对所研究堤段的防洪能力综合检验和评价，是堤防加固设计前工作的重要组成部分”。但由于目前还缺乏科学的堤防工程安全性调查评价的指标体系、调查方法和技术标准，因而在堤防加固设计之前，都还没有进行过专门的安全评价工作，只是在加固设计的过程中进行堤防工程的安全论证和复核<sup>[10]</sup>。所谓的堤防工程安全论证和复核，一般是参照土坝的办法核算堤防断面是否满足设计要求（俗称形象达标），或者根据堤防的运行状况、险情、历代加高加固的历史过程等进行安全性分析论证，必要时再对堤身抗滑稳定性和堤基渗透稳定性进行复核，计算相应的安全系数。对于重要程度不同的堤段则采用不同的安全系数。

从有关资料可以看出，我国现阶段与堤防工程安全评价有关的研究有几个特点：（1）偏重于堤防工程的结构安全性，对堤防保护区的安全性及其标

准未见研究报道；（2）侧重典型剖面的力学和渗透稳定性的验算，对堤防工程安全性调查和综合评价仅处于定性阶段，量化不够；（3）侧重静态评价，忽视了动态性评价。总之，对于堤防工程这样庞大的动态工程系统，目前我国还没有较为完善的评价方法。尤其是结合长江中下游堤防工程特点的安全评价理论与方法研究还处于空白状态。

与发达国家相比，长江中下游堤防的特点在于：（1）堤防的时空跨度长，遗留隐患多，质量差；（2）堤防防洪标准低，大多为20年一遇洪水标准；（3）长江中下游堤防各堤段保护区的人口密度大，经济发达；（4）堤防工程的管理水平落后，洪灾预警系统不发达；（5）与堤防工程风险相关的法律，比如堤防的安全标准、风险水平以及分洪区的经济补偿等法律尚不完善。

由此可见，长江中下游堤防工程有其固有的特点。我国目前还是发展中国家，不宜直接套用西方发达国家的风险水平和安全标准，在堤防工程安全评价研究方面也不能直接套用国外的方法；有必要在借鉴国内外一些现行方法的基础上，根据长江中下游堤防工程的特点，探讨堤防工程安全评价的理论问题，建立适合我国国情的长江堤防安全评价指标体系，研究长江堤防安全评价方法和模型。

### 3 堤防工程安全评价理论和方法<sup>[11]</sup>

目前国内堤防工程安全评价是参照土坝的方法进行的。事实上，堤防与土石坝既有相似之处，又有很大的不同：其一，堤防工程是历史产物，没有按照现代的科学观点进行设计和基础处理，遗留的安全隐患多；其次，堤防工程是一个线状工程，堤段长度往往数十或上百公里，不确定性因素也很多，结构可靠性问题突出；其三，堤防保护区内的人口高达数十万甚至数百万，堤防一旦失事，损失将是灾难性的，堤防工程失事的风险较大。最后，人类活动对堤防工程的安全运行有直接的影响，汛期必须进行严密的安全检查，必要时进行抢险加固，才能使堤防工程维持一定程度的安全性。这就决定了堤防工程安全评价具有其特殊性，因而应该具有自己的理论与方法。

首先，堤防工程安全性是相对的、有条件的。由于长江堤防工程战线长、隐患多，全面加高加固耗资巨大，且需要较长的时间，现有的经济条件和技术水平也决定了堤防工程不可能做到绝对安全。

因此,堤防工程安全性是一个相对的概念,而安全标准或等级既与堤防本身有关,又与堤防保护区的重要程度有关。由于历史原因,堤防遗留隐患较多,而且其土性参数具有不确定性,现有的确定性设计还不能充分考虑这些因素,需要结合长江堤防的特点进行风险分析,科学评价堤防工程的破坏风险以及允许风险,进而设置相应的风险标准并合理安排资金投入进行加固。在此基础上确定各单项结构的设计标准。目前,在堤防加固设计中,评价单项结构的安全性已有相应规范可供遵循。

其次,堤防工程的安全性是动态的,很多动态因素会对汛期堤防的实际安全性有重要的影响。例如,堤防工程的主要荷载——洪水位是动态的,边界条件(尤其是受人类活动影响大的渗流边界条件)也是动态的。此外,堤防工程的安全运行还与适时的维护和科学的管理有密切的关系,而这些又受到很多因素的影响和制约。可见,堤防工程安全评价是一个动态的过程。所有这些因素目前还难以在传统的计算分析中全部考虑,因此需要进行相应的安全性调查,通过调查还可以确定人类活动和其他安全隐患对汛期堤防工程安全性的影响。

### 3.1 堤防安全评价理论框架

堤防工程安全性这一术语是一个内涵较广泛的综合概念。它包括堤防结构稳定性,堤防系统失效标准、防洪标准以及安全性标准和堤防的等级划分等。笔者给出的堤防工程安全性的定义是“堤防工程通过常规的安全维护和管理,不发生漫溢和溃决等重大事故,从而保证保护区一定标准的安全性”。

据此,完整的堤防工程安全评价应当包括堤防工程的风险分析、单项安全评价和安全性综合评价等3个层次。

1) 堤防工程风险分析。将堤防工程视为一个有机的系统,考虑影响系统安全的基本变量的变异性或基本参数的随机变化特征,对主要破坏类型进行概率计算,求取堤防系统的破坏概率;对堤防工程失事的后果进行估算,结合保护区的重要程度,判断堤防工程是否满足风险标准。这一层次的安全评价以重点堤防为主(有明确的保护区,设防的标准相同,例如荆江大堤等),采用的方法是可靠度方法,其目的是判断堤防的防洪标准是否合理,或为确定新的防洪标准提供依据。

2) 单项安全评价。评价堤防工程中各单项工程(结构)在预定的条件下完成规定功能的能力。

预定的条件是指设计洪水位下的正常使用条件;规定的功能,是指单项工程具有的各种功能(几何形状、强度、变形、渗透稳定)。例如,堤防断面达标情况,渗透稳定性评价、堤坡稳定性评价、岸坡稳定性评价等。这一层次的安全评价对象是单元堤段(指长度为数十米或数百米的堤段,堤防断面基本相同,设计水位基本一致)。将设计洪水位作为计算依据,通过对典型剖面进行相关计算,求得相应的安全系数,最后按照相关规范判断是否达到要求。采用的分析方法主要是确定性方法。这一层次的安全性评价主要用于堤防工程加固设计和单项工程验收等,目前已有相应的规程和规范。

3) 堤防工程安全性综合评价。在堤防安全性调查的基础上,结合作用水头的动态变化,将所有与堤防工程安全性有关的因素按照适合的模型进行组合,进而评价堤防工程综合安全性。

以上三个层次的安全性评价既有区别,又有密切的联系,由此构成堤防工程安全评价的有机整体。堤防安全评价的三个层次和特点汇总于表1。

### 3.2 堤防安全评价流程和方法

3.2.1 堤防安全评价流程 根据影响堤防安全性的内部和外部因素,结合堤防工程的实际特点,借助于技术评价的方法和手段,笔者提出的长江堤防工程安全评价的技术流程见图1。

3.2.2 堤防工程风险分析 堤防工程风险分析的目的之一是从社会经济观点判断堤防工程风险能否接受。由于目前我国尚未建立堤防工程的风险标准,笔者在文献[11]中对此问题进行了初步的探讨。主要思路是,把重点堤防看作是由单元堤段构成的串联系统,确定单元堤段可能的破坏形式及其与堤防失事的关系;利用概率计算法确定漫顶、管涌和堤身滑坡三种主要破坏形式的发生概率,结合堤防工程的特点,将各种破坏形式的概率组合在一起,推求堤防工程的失事概率;分析堤防工程失事可能带来的各种损失,建立损失评估的计算式,用以量化堤防工程失事所造成的后果。

3.2.3 堤防工程单项评价 单项评价指对堤身几何断面(断面和超高)评价、堤身稳定性评价、堤基渗透稳定性评价、穿堤建筑物稳定性评价、岸坡稳定性评价、抢险和防护条件评价。单项评价主要以现有的规范和条例进行。通过单项评价,可以分清堤防隐患的危险程度,在此基础上进行堤防工程安全性的综合评价,做出是否为险工险段的判断以

表 1 堤防安全评价的层次性和特点

Table 1 Characteristic of the three categories of safety assessment of the Yangtze dike

层次名称	堤防工程风险分析	单项评价	安全性综合评价
主要内容	堤防破坏形态和机理； 堤防破坏类型概率合成； 堤防失事后果分析； 堤防风险标准判断	堤防断面尺寸； 堤身抗滑稳定性； 堤身渗透稳定性； 堤基渗透稳定性； 岸坡稳定性	安全评价指标体系； 安全性综合评价模型
评价对象	重点堤段	单元堤段	具体堤段
分析方法	可靠度方法	确定性方法	确定性方法和非确定性方法
剖面	概化剖面	概化剖面	实际剖面
荷载特点	考虑洪水位的随机性	设计洪水位	考虑洪水动态变化
参数	统计参数	概化参数	指标体系
水力边界	考虑边界的随机性	典型条件	由安全性调查确定
机理和特点	各种破坏方式及其概率的累计效应； 考虑堤防的长度效应；	单一破坏方式	考虑结构参数的衰减； 考虑非工程措施的影响；
评价依据	防洪标准和风险标准	设计规范和标准	安全评价技术标准
用途	针对保护区重要程度，核对或确定防洪标准	加固设计及单项工程验收	管理、维护、加固和防汛的决策

及对加固处理先后次序的判定，从而做到有目的、有计划地清除隐患，保证堤防安全运行。

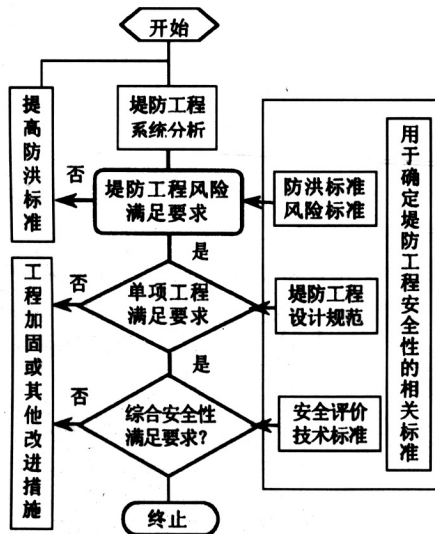


图 1 堤防工程安全评价流程图

Fig.1 Flow chart of safety assessment of the Yangtze dike

3.2.4 堤防工程安全性综合评价

1) 建立堤防工程安全评价指标体系。根据堤防工程安全评价的层次性和动态性特点，结合长江堤防的实际情况，笔者在堤防险情隐患分析和堤防破坏机理研究结果基础上，对长江堤防工程安全性的影响因素进行了全面系统的分析，提出了建立堤

防工程安全评价的指标体系<sup>[11]</sup>。该体系反映了堤防工程安全性主要影响因素及其组合关系，能够较为全面地反映堤防工程的安全状况。其特点是：针对长江堤防的特点和我国国情，将堤防工程运行和管理中的非工程措施的影响也予以考虑；指标体系中既有确定性指标，也有描述性指标；较全面地反映了堤防工程安全性的层次性和动态性的影响因素，将堤防工程安全性指标体系分为三个层次，既可以用指标体系对堤防工程安全性进行综合评价，又可以采用其中的单项指标进行分析和比较。

2) 堤防工程安全性调查方法。在国内外相关研究成果及现行有关规范基础上，结合目前长江堤防工程的特点以及现有的技术水平和国情，可将堤防工程安全性调查的方法分为普查和详查两种，文献 [11] 确定了堤防工程安全调查的范围和调查内容，讨论了单项工程评价的思路以及安全性调查结果的应用等。

3) 堤防工程安全性综合评价。由于堤防工程安全评价指标之间相互关联并具有层次隶属关系，因此，可以将其视为一个层次结构，采用层次-模糊综合评价法对堤防工程的安全性进行综合评价。层次分析方法与模糊数学方法相结合，既能解决定性指标的量化问题，又能解决定量指标的可综合性问题，在指标体系的赋权处理以及合成方法的选择等方面兼有常规方法与模糊数学的优点，符合长江

堤防工程安全评价的特点。

利用该方法既能对堤防工程的安全性进行综合评价,还能指出堤防工程的薄弱环节所在,以便进行相应的对策分析。在堤防工程安全性调查的基础上,由模糊数学中的集值统计法求取各定性指标的评价值,对定量指标进行无量纲化处理。在此基础上,利用层次分析法给各指标赋权,然后利用多种合成方法进行指标合成,最后得出堤防工程安全性的综合评价。对照堤防工程安全性等级标准,即可得出堤防工程安全等级,详细步骤见文献[11]。

#### 4 堤防工程安全性综合评价的实现

在上述研究基础上,文献[12]采用 Delphi 语言,引入了面向对象技术,开发了长江堤防工程安全性综合评价系统软件,初步实现了堤防工程安全评价的自动化和可视化,为堤防安全评价由理论走向实用提供了技术支持。

长江堤防工程安全性综合评价系统软件的原理是:将长江中下游堤防的安全评价作为一个实际决策问题,在上述长江堤防工程安全评价指标体系的基础上,利用多指标综合评价、层次分析法等方法,以人机结合、互动的方式对堤防进行安全评价。系统由长江流域堤防分布、堤防安全评价、堤段安全评价、权重确立、评价值确立和堤段安全状况改进等6个模块组成。系统主要功能是对某个指定的堤防进行安全评价,另外还具备数据查询和统计功能。其中,安全性评价包括确定堤段各项评价指标所占的权重、确定堤段Ⅲ级评价指标的评价值、确定堤段的安全评价结果和确定堤防的安全评价结果;数据查询、排序和统计功能如下:通过堤段名称可查询到该堤段的Ⅲ级评价指标的评价值以及安全评价最终结果;还可以通过堤段名称查询来了解该堤段的安全状况和所需采取的工程加固措施;对某个评价指标按不同堤段的评价值的高低进行排序;对最终评价结果按不同堤段或者堤防的评价值的高低进行排序等。

#### 5 结语

堤防工程安全评价是一个复杂的技术经济问题。笔者重点从技术角度探讨了长江堤防工程安全评价的理论和方法问题,提出了堤防安全性的层次性概念,并初步建立了堤防工程安全评价的理论和方法框架。提出的堤防工程安全性综合评价方法采

用了定性和定量相结合的办法,注重领域专家的经验并将其量化,符合堤防工程的特点和安全评价的实际。在此基础上,开发了长江堤防工程安全性综合评价系统软件,初步实现了堤防工程安全性综合评价的自动化和可视化<sup>[12]</sup>。

笔者未能进行的研究以及下一步的研究内容包括:(1)穿堤建筑物的安全评价,对于全面系统的堤防工程安全评价也很重要,有待重点研究;(2)堤防工程基础资料的收集和整理是一个极为重要的环节,也是一项长期的任务。因此,建立基于GIS的堤防工程动态信息系统,对与堤防工程安全性有关的重要资料进行及时补充、修改和完善是十分必要的,开展这一项工作对于堤防工程维护和管理也同样具有重要意义;(3)适合堤防工程特征的科学、合理、经济、实用的安全评价标准是进行堤防安全评价的基础,编制一套行之有效的堤防安全评价标准十分迫切,同时难度也较大,应组织各方面力量逐步完成。

**致谢:** 在研究过程中,得到长江重要堤防隐蔽工程建设管理局总工程师李思慎教授的热情指导,特致谢忱。

#### 参考文献

- [1] 水利部长江水利委员会编. 长江流域综合利用规划简要报告(1990年修订)[R]. 武汉:长江水利委员会, 1990
- [2] 洪庆余. 98洪水和长江防洪[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1998
- [3] 黎安田. 防洪是长江治理开发的首要任务[J]. 人民长江, 1996, 27(4): 1~3
- [4] 李青云, 张建民. 长江堤防工程风险分析和安全评价初论[J]. 中国软科学, 2001, (4): 112~115
- [5] 德克斯坦·勃兰特编. 水资源工程可靠性与风险[M]. 吴媚玲译. 北京:水利电力出版社, 1993. 68~78
- [6] 朱元姓, 王道席. 水库安全设计与垮坝风险[J]. 水利水电科技进展, 1995, 15(1): 17~24
- [7] 吴中如, 顾冲时, 沈振中, 等. 大坝安全综合分析和评价的理论、方法及其应用[J]. 水利水电科技进展, 1998, 18(3): 2~6
- [8] 覃友中. 大坝安全评价的现状及其发展要求[J]. 四川水力发电, 1996, 15(4): 14~20
- [9] 张建民. 日本河川堤防渗透安全性调查评价方法及其启示[A]. 湖北省水利学会编. 堤防沙基基础处理研讨会论文集[C]. 武汉: 1998, 45~52

- [10] 张家发, 曹星, 李思慎. 堤防加固设计中的若干技术问题 [J]. 人民长江, 2000, 31 (1): 9~11
- [11] 李青云. 长江堤防工程安全评价的理论和方法研究 [D]. 北京: 清华大学, 2002
- [12] 胡韬, 李青云, 介玉新, 等. 长江堤防工程安全性综合评价系统开发 [J]. 长江科学院院报, 2004 (3)

## On the Theory, Methodology and the Realization Strategy of Safety Assessment of the Yangtze Dikes

Li Qingyun<sup>1</sup>, Zhang Jianmin<sup>2</sup>

- (1. *Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of the Ministry of Water Resources, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;*  
2. *School of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

**[Abstract]** This paper presents a study on the theory and methodology of safety assessment of Yangtze dike. The main topics discussed and the conclusions of the study are as follows: (1) The function and makeup of Yangtze dike are summarized systemically and status and incipient fault of the dikes are discussed. (2) The frame of safety assessment of Yangtze dike is proposed, consisting of three categories of safety assessment (namely, risk analysis, conventional mechanical evaluation, and comprehensive evaluation). (3) The main factors affecting safety of Yangtze dike are discussed systematically. Index system and assessment methods are proposed. On the basis of AHP (The Analytic Hierarchy Process) with fuzzy theory, a new method for comprehensive assessment of Yangtze dike is put forward. (4) A software with programming language Delphi for the safety assessment of Yangtze dike is developed and automation and visualization for the assessment of dikes can be realized.

**[Key words]** Yangtze dikes; safety assessment; index system; analytical hierarchy process

(cont. from p. 6)

## Waves of Probability and the Problems of Torsion for Quantum Effect

OuYang Shoucheng, Li Zhilan, Yuan Dongsheng

(*Chengdu University of Information and Technology, Chengdu 610041, China*)

**[Abstract]** In this paper, the numerical experiment is conducted for Schrödinger's equivalent equation with third order derivative for nonlinear variable. The results show that the probability of probability waves is the quasi-regular flow under given condition, and it's a result of comprehensive interactions among intensity of potential field and particle density and torsion (spin) field with the quantum effect. The pure quantum effect is represented only by irregular flow.

**[Key words]** torsion (spin); probability; quantum effect; nonlinear instability; curvature space