

# 堤防工程安全综合评价方法

黄锦林<sup>1,2</sup>, 杨光华<sup>1,2</sup>, 王 盛<sup>3</sup>

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广州 510635; 2. 河口水利技术国家  
地方联合工程实验室, 广州 510635; 3. 广东省水利电力勘测设计研究院, 广州 510170)

**摘要:** 堤防工程安全评价是水利工程安全评价的重要内容之一, 针对目前水利行业缺乏相关技术标准的现状, 为了提高堤防工程安全评价工作的可操作性, 探讨了堤防工程安全评价的评价原则、评价内容、评价方法和评价结论等问题, 提出了基于工程质量评价、运行管理评价及工程安全复核基础上的堤防工程安全综合评价方法, 并给出了相应的综合评价分类原则, 可供堤防工程安全评价工作参考。

**关键词:** 堤防工程; 安全评价; 评价原则; 评价内容; 评价方法; 综合评价

**中图分类号:** TV 871    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1672 1683(2015) 05-1011-05

## Comprehensive evaluation method of levee engineering safety

HUANG Jir lin<sup>1,2</sup>, YANG Guang hua<sup>1,2</sup>, WANG Sheng<sup>3</sup>

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510635, China; 2. State and Local Joint Engineering Laboratory of Estuary Hydropower Technology, Guangzhou 510635, China; 3. Guangdong Hydropower Planning and Design Institute, Guangzhou 510170, China)

**Abstract:** The safety evaluation of levee engineering is one of the important contents of safety evaluation of water conservancy engineering. The water conservancy industry is lack of related technical standards. In order to improve the operability of safety evaluation of levee engineering, the evaluation principle, evaluation content, evaluation method, and evaluation conclusion of levee engineering safety were discussed. The comprehensive evaluation method of levee engineering safety was proposed based on the engineering quality evaluation, operation management evaluation, and engineering safety check. In addition, the corresponding classification principle of comprehensive evaluation was illustrated, which can be used as reference for the safety evaluation of levee engineering.

**Key words:** levee engineering; safety evaluation; evaluation principle; evaluation content; evaluation method; comprehensive evaluation

## 1 研究背景

水利工程安全评价是对水工建筑物的安全性进行评价, 对其中的潜在危险和严重程度进行分析和评估, 以确定工程的安全等级, 对存在问题的工程, 提出针对性的运行管理措施和除险加固建议。堤防工程安全评价是水利工程安全评价的一个重要组成部分, 是堤防工程加固设计的重要依据。我国堤防工程堤线长, 分布范围广, 且多是不同历史时期的产物, 堤防所在地区自然地理条件、社会经济状况等存在很大差异。此外, 堤防种类繁多, 按抵御水体类别分为江堤、河

堤、湖堤和海堤, 按筑堤材料分为土堤、砌石堤、土石混合堤、钢筋混凝土防洪墙等。由于类别多、情况复杂、影响因素广等原因, 要摸清整个堤防的安全状况, 对其进行安全评价有一定难度。

根据堤防工程安全评价目的、要求和范围的不同, 可以选择不同的评价方法, 其中应用较为广泛的有: (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; 等。这些方法可归纳为两大类——确定论方法和概率论方法, 这两大类方法是从不同角度回答“应达到什么水平才算安全”以及“系统目前的安全性如何”这两个基本问题<sup>[1]</sup>。

文献[2]至文献[9]采用层次分析法(AHP法)、模糊层次分析法(FAHP法)、概率分析法、灰色评价法或赋权法等方法对堤防工程的安全性进行评价,文中的方法基本属于概率论方法的范畴,由于缺乏系统、严格的评价指标体系,对同一堤防工程而言,由于经验和认识的不同,不同评价人员有时会得出完全不同的评价结论。此外,由于没有与现行标准建立严格的对应关系,在实际工作中,概率论方法的可操作性不强,目前尚处于一种理论研究和探索阶段,要开展堤防工程的安全评价,必须有可操作性强、与现行标准严格对应的确定论方法作指导。

目前,水利部已先后颁布实施了《水闸安全鉴定规定》(SL 214-98)、《水库大坝安全评价导则》(SL 258-2000)和《泵站安全鉴定规程》(SL 316-2004),但作为重要水工建筑物的堤防工程尚缺乏安全评价标准。针对这一现状,本文对堤防工程安全评价中的一些技术问题探讨,希望能对该工作的开展有所帮助。

## 2 堤防工程安全评价原则

在进行堤防工程安全评价时,堤防安全可定义为:堤防现状能够满足现行标准的要求。要确定堤防现状是否能满足现行标准的要求,首先必须明确堤防工程级别,不同级别的堤防工程所对应的安全要求是不同的。堤防工程级别应根据保护对象的防洪标准,按表1确定<sup>[10][11]</sup>。由于堤防多是不同历史时期的产物,在运行一定时间后,防护区防护对象会发生改变,往往与建堤之初或除险加固时有一定差异,在安全评价时,堤防工程级别应根据防护对象现状或规划的防洪(潮)标准确定。

表 1 堤防工程级别

Tab. 1 Level of levee engineering

| 江、河、湖堤 | 防洪标准<br>[重现期(年)]    | $\geq 100$ | $< 100$ 且 $\geq 50$ | $< 50$ 且 $\geq 30$ | $< 30$ 且 $\geq 20$ | $< 20$ 且 $\geq 10$ |
|--------|---------------------|------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|        | 堤防工程级别              | 1          | 2                   | 3                  | 4                  | 5                  |
| 海堤     | 防潮(洪)标准<br>[重现期(年)] | $> 100$    | $\leq 100$ 且 $> 50$ | $\leq 50$ 且 $> 30$ | $\leq 30$ 且 $> 20$ | $\leq 20$          |
|        | 堤防工程级别              | 1          | 2                   | 3                  | 4                  | 5                  |

堤防安全评价周期应根据工程级别、类型、历史或保护区经济社会发展状况等来确定,一般每 5~15 a 进行一次,原则上新建堤防竣工验收后 5 a 内作首次安全评价,“老堤”原则上 6~15 a 一次;当出现较大洪水、发现严重隐患的堤防应及时进行安全评价。由于堤防工程与水库大坝不同,一般长度较长,不同堤段的运行条件和状况差别较大,在一些情况下,其安全评价是针对出险堤段或安全存在问题的堤段进行,因此,为便于实施和操作,安全评价对象可以是堤防整体,也可以是局部堤段。堤防安全评价应划分评价单元,宜以独立核算的水管单位管辖的全部堤防或局部堤段进行评价。评价范围应包括堤防本身、堤岸(坡)防护工程,有交叉建筑物(构筑物)的还应根据其堤防接合部的特点进行专项论证。此外,在进行安全评价时,应选择有代表性的典型断面进行分析。

## 3 堤防工程安全评价内容

《堤防工程设计规范》(GB 50286-2013)规定:“堤防安全评价应包括现状调查分析、现场检测和复核计算工作”。其中,对于复核计算工作内容,要求“复核堤顶高度、堤坡的抗滑稳定、堤身堤基渗透稳定、堤岸的稳定及穿堤建筑物安全等”<sup>[10]</sup>。因此,堤防工程安全评价内容应包括:工程质量评价、运行管理评价、防洪安全复核、渗流安全复核、结构安全复核、工程安全综合评价等。考虑到堤防工程一般都有交叉建筑物,交叉建筑物(尤其是穿堤建筑物)所处位置往往是其薄弱环节,运行中容易出现安全问题。在进行堤防工程安全评价时,不能只对堤本身的安全进行评价,而应将交叉建筑物的安全评价纳入其综合评价结论当中。就交叉建筑物而言,穿堤建筑物如水闸、泵站目前已有相应的安全评价标准,在安全评价时可直接采用进行安全评价;对于跨堤建筑物,一般可不进行工程安全复核,主要评价其对堤防工程防洪安全的影响。

堤防工程安全评价要收集工程设计、施工、管理以及与安全评价相关的社会经济、水文、气象、地形、地质等资料,其中工程现状材料参数取值对安全评价结论影响很大。由于堤防工程一般较长,要进行大范围的、全面的测量、勘察、试验或质量检测工作投入很大,为便于实施,在进行评价时,对出现过影响工程安全现象、质量存疑或资料不齐全的堤段,应进行补充测量、勘察、试验或质量检测等复查工作,复查时布置适量的地质钻孔,查明堤身、堤基情况。补充勘察、质量检测应遵循下列要求:(1)应与工程安全评价内容相协调;(2)宜在非汛期进行;(3)应选择能较好地反映工程实际安全状态的部位进行;(4)宜采用无损检测方法,如必须采用破损检测,应在检测结束后及时予以修复。

## 4 堤防工程质量评价

堤防工程质量评价主要是通过现场安全检查,辅以必要的手段,对现状工程质量与设计要求进行对比,评价现状工程质量。工程质量评价可采用下列方法。(1)现场巡视检查。通过直观检查或辅以简单测量、测试,复核堤防各部分的体形尺寸、外部质量以及运行情况等是否达到了现行标准的要求。(2)历史资料分析。对有资料的堤防通过工程施工期的质量控制、质量检测、监理、验收报告以及运行期管理记录(包括安全监测)等档案资料进行复查和统计分析;对缺乏资料的堤防,通过走访收集资料,并与有关标准相对照,评价工程的施工质量。(3)勘探、试验检查。根据需要对堤身或堤基进行补充勘探、试验或原位测试检查,取得参数,并据此进行评价。

堤防工程质量评价包括堤基处理质量评价、堤身工程质量评价、混凝土结构质量评价、砌石结构质量评价等内容。堤基质量评价应根据堤基特性和土层结构,复查堤基处理方法的可靠性和处理效果等,重点复查含有“老口门”、古河道、地震断裂带的堤基以及软弱堤基、透水堤基处理的工程质量是否达到有关标准要求。堤身工程质量评价的复查重点是填料压实度或相对密度合格率,填料的性质和强度、变形及防渗、排水性能是否满足规范要求,防渗体和反滤排水体是

否可靠,堤坡是否稳定。混凝土结构质量评价的重点是混凝土结构的整体性、耐久性以及基础处理的可靠性,对已发现的裂缝、剥蚀、漏水等问题需进行调查、检测,并分析其对堤防稳定性、耐久性以及整体安全的影响。砌石结构质量评价的重点是砌石结构的整体性以及基础处理的可靠性,对已发现的倾斜、裂缝、砂浆脱落、石块松散、浆砌石漏水等问题需进行调查、检测,并分析其对堤防稳定性、耐久性以及整体安全的影响。

综合堤基处理质量、堤身工程质量、混凝土结构质量、砌石结构质量等的评价结论,可将堤防工程质量分为三类<sup>[12]</sup>。(1)实际工程质量均达到现行标准和设计要求,且工程运行中未暴露出质量问题,工程质量评价为优良;(2)实际工程质量大部分达到现行标准和设计要求,或工程运行中已暴露出某些质量缺陷,但尚不影响工程安全,工程质量评价为合格;(3)实际工程质量大部分未达到现行标准和设计要求,或工程运行中已暴露出严重质量问题,影响工程安全,工程质量评价为不合格。

## 5 堤防工程运行管理评价

运行管理评价的目的是为安全评价提供堤防工程的运行、管理及性状等基础资料,作为堤防工程安全综合评价及分类的依据之一。运行管理评价重点是考评运行管理有关制度的制定、落实以及已发现问题的处理情况,评价应涵盖工程整个运行期,重点评价工程现状。堤防工程运行管理评价包括以下内容。(1)堤防工程是否明确管理体制、机构设置和人员编制,是否明确工程管理和保护范围,管理部门是否按要求进行管理。(2)工程是否按审定的防洪规程合理运用,各项设施和设备是否完备,是否制定了应急预案,各项规章制度、制度或计划(或文件)是否齐全并落实。(3)堤防工程是否得到完好的维护,并处于完整的可运行状态。(4)工程观测项目和设施是否合理,观测是否得到有效实施,观测资料是否整编分析。(5)白蚁(害堤动物)防治工作是否有效实施,工程是否达到无蚁害(无害堤动物)堤坝标准并通过达标验收。(6)管理单位是否收集并妥善保存堤防相关的工程资料和运行管理资料。

根据以上几方面的评价结论,可将堤防工程运行管理分为三类<sup>[12]</sup>:(1)堤防工程维护良好,运行管理正常,运行管理评价为好;(2)堤防工程维护尚可,运行管理基本正常,运行管理要求的大部分内容已按相关要求做到,运行管理评价为较好;(3)运行管理要求的大部分内容未按相关要求做到,或运行管理存在严重影响堤防安全的缺陷,运行管理评价为差。

## 6 堤防工程安全复核

堤防工程安全复核包括:防洪安全复核、渗流安全复核、结构安全复核、交叉建筑物安全影响复核,评价结果分为A、B、C三级,其中A级为安全可靠;B级为基本安全,但有缺陷;C级为不安全。

### 6.1 防洪安全复核

防洪安全复核应根据堤防工程原设计洪(潮)水位和堤防工程建成后的洪(潮)水情变化、堤防工程所在河段的河道

演变情况进行设计洪(潮)水面线复核,并考虑堤防工程保护范围内经济社会发展情况,评价堤防工程现状防洪能力是否满足现行有关标准要求。防洪安全复核应明确给出以下结论:(1)原堤防工程设计防洪标准和堤防级别是否需要修改;(2)堤防的实际防洪能力是否满足国家现行标准的要求。

堤防工程安全评价时,如论证得出堤防工程防洪标准和堤防级别与原设计不同,则需要按照修改后的现状防洪标准和级别来进行安全评价。通过计算复核,堤防防洪安全一般存在两种情况,一种是堤防实际防洪能力能够满足国家现行标准的要求,另一种是堤防的实际防洪能力不能够满足国家现行标准的要求。在进行堤防工程防洪安全复核时,我们可采用分级来界定不同情况下对应的堤防防洪安全状况,分级原则如下<sup>[12]</sup>:(1)堤顶高程均满足标准要求,防洪安全定为A级;(2)堤顶高程不满足标准要求,但欠高不大于0.3m,防洪安全定为B级;(3)不满足A级和B级条件的,防洪安全定为C级。

选择欠高在0.3m以内作为B级的设定标准,是基于堤防的安全加高值来考虑的。根据文献[10]的有关规定,堤顶高程应按设计洪水水位或设计潮水位加堤顶超高确定,堤顶超高由设计波浪爬高、设计风壅水面高度和安全加高值三部分组成,其中设计洪(潮)水位加设计波浪爬高和设计风壅水面高度是设计洪(潮)水实际到达的高度,安全加高值只是一种安全储备。由表2可知,当堤防按不允许越浪设计时,1级~5级堤防的最小安全加高值为0.5m;当堤防按允许越浪设计时,1级至5级堤防的最小安全加高值为0.3m。当局部堤段堤顶高程欠高在0.3m以内时,不论按允许越浪或不允许越浪设计,1级至5级堤防的堤顶(防浪墙顶)高程均高于设计洪(潮)水实际到达的高度,可认为是基本安全的,只是安全储备较小或没有安全储备。由于堤防工程不同于水库,其水头相对较低,失事影响相对更小,堤顶高程不满足标准要求时,补救及抢险也相对更加容易,因次,可考虑将堤顶高程不满足标准要求但欠高在0.3m以内的堤防工程防洪安全定为B级。

表2 堤防工程的安全加高值

Tab. 2 The safety height of levee engineering

| 堤防工程     | 堤防工程的级别 |     |     |     |     |
|----------|---------|-----|-----|-----|-----|
|          | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 不允许越浪的堤防 | 1.0     | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 |
| 允许越浪的堤防  | 0.5     | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |

### 6.2 渗流安全复核

渗流安全复核应分析堤防当前实际渗流状态和已有渗流控制设施能否满足现行有关标准安全要求。渗流安全复核包括以下内容:(1)复核工程的防渗透与反滤排水设施是否完善,设计、施工是否满足现行有关标准要求;(2)针对工程运行中发生过的异常渗流现象进行分析,判断是否影响工程安全;(3)分析工程现状条件下各防渗和反滤排水设施的工作状态,并预测在不利设计工况运行时的渗流安全性。

渗流安全复核方法主要有:现场检查法、监测资料分析法、计算分析法等。现场检查法对工程现场进行检查,当发

生以下现象时可认为堤防的渗流状态不安全或存在严重渗流隐患:(1)堤身、堤基及穿堤建筑物周边的渗流量在相同条件下不断增大、渗漏水出现浑浊或可疑物质、出水位置升高或移动等;(2)堤身临背水坡湿软、塌陷、出水,堤脚严重冒水翻砂、松软隆起或塌陷,外江出现漏水漩涡、铺盖产生严重塌坑或裂缝等;(3)堤身与穿堤建筑物结合部严重漏水,渗漏水浑浊等。监测资料分析法是根据渗透压力、渗流量及其变化规律,判断堤防渗流的安危程度。计算分析法则根据工程现状的具体情况、地质条件和渗透参数等,按现行有关标准进行复核计算,当有监测资料时,应与监测资料比较分析,判断堤防渗流的安全状况。

渗流安全复核的分级原则如下<sup>[12]</sup>:(1)渗透坡降和覆盖层盖重满足相关标准的要求,且运行中无渗流异常现象的,其渗流安全定为 A 级;(2)渗透坡降和覆盖层盖重满足相关标准的要求,运行中存在局部渗流异常现象但不影响堤防安全的,其渗流安全定为 B 级;(3)渗透坡降和覆盖层盖重不满足相关标准的要求,或工程已出现严重渗流异常现象的,其渗流安全定为 C 级。

### 6.3 结构安全复核

结构安全复核应分析现状堤防能否满足现行有关标准的结构安全性要求,复核重点应为运行中曾出现或可能出现结构失稳的险工、险段。结构安全评价应得出如下明确结论:(1)堤防的结构安全是否满足标准要求;(2)堤防是否存在危及安全的变形和隐患。结构安全复核应选取典型断面进行,复核计算与现场检查、补充勘察、试验检测和监测资料分析相结合,其中计算参数按堤防现状选定。

土堤结构安全复核主要包括:(1)堤顶宽度和堤身坡度;(2)临背水堤坡稳定性;(3)堤坡、堤脚的抗冲稳定性。防洪墙结构安全复核主要包括:(1)墙体强度;(2)墙体变形和稳定性。堤岸防护工程结构安全复核主要包括:(1)防护体强度;(2)防护体抗冲稳定性。

结构安全评价分级原则如下<sup>[12]</sup>:(1)结构安全均满足标准要求,且未发现危及安全的变形和隐患的,其结构安全定为 A 级;(2)结构安全不满足标准要求,但抗滑、抗倾覆稳定安全系数能满足工程级别降低一级的相应要求,同时未发现危及安全的变形和隐患,其结构安全定为 B 级;(3)不满足 A 级和 B 级条件的,其结构安全定为 C 级。

### 6.4 交叉建筑物安全影响复核

交叉建筑物安全影响复核目的是评价交叉建筑物(构筑物)对堤防安全的影响,作为堤防安全综合评价及分类的依据之一。交叉建筑物分为穿堤建筑物和跨堤建筑物,穿堤建筑物包括涵、闸、泵站、管道等,跨堤建筑物包括桥梁、渡槽、管道、线缆等。对穿堤的各类建筑物应按现状进行验算和复核,确保满足下列要求:(1)满足防洪要求;(2)运用状况良好;(3)结构强度满足要求;(4)周边填土的厚度和密度满足设计要求;(5)分段的接头和止水良好;(6)外周与土堤接触部能满足渗透稳定要求。

交叉建筑物安全影响评价分级原则如下<sup>[12]</sup>:(1)交叉建筑物安全性满足相关标准要求,未发现异常现象,其安全影响评定为 A 级;(2)交叉建筑物安全性满足相关标准要求,与

堤身结合部存在局部缺陷,但不影响堤防安全,交叉建筑物安全影响评定为 B 级;(3)交叉建筑物安全性不满足相关标准要求,或与堤身结合部存在安全隐患,影响堤防安全,交叉建筑物安全影响评定为 C 级。

## 7 堤防工程安全综合评价结论

堤防工程安全综合评价是依据工程质量、运行管理、防洪安全、结构安全、渗流安全、交叉建筑物安全影响评价结果进行综合分析,评定堤防工程安全类别。堤防工程安全综合评价可对堤防工程总体评价分类,也可分堤段或分桩号进行。堤防工程安全综合评价结果分为三类:一类堤防安全可靠,能按设计正常运行;二类堤防基本安全,应在加强监控下运行,并及时对局部缺陷进行处理;三类堤防不安全,属病险堤防,应尽早除险加固。对评定为二、三类的堤防,应提出加固处理建议,其中三类堤防在未除险加固前,必须采取相应的应急措施,确保工程安全运用。

堤防工程安全综合评价分类原则如下<sup>[12]</sup>:(1)防洪安全、结构安全、渗流安全、交叉建筑物安全影响评价均达到 A 级的,为一类堤防;(2)防洪安全、结构安全、渗流安全、交叉建筑物安全影响评价均达到 A 级和 B 级的,为二类堤防;(3)防洪安全、结构安全、渗流安全、交叉建筑物安全影响评价中有一项以上(含一项)是 C 级的,为三类堤防;(4)防洪安全、结构安全、渗流安全、交叉建筑物安全影响评价中有一至二项是 B 级(不含防洪安全),其余均达到 A 级,同时堤防工程质量优良且运行管理好的,可升为一类堤防,但要限期将 B 级升级。

对于其中的第(4)点,主要是考虑堤防工程线路长,要完全避免缺陷是很难做到的,对一些质量优良且运行管理好的堤防工程(如 1 级、2 级堤防),如仅因存在部分不影响工程安全的局部缺陷就将其列为二类堤防,则堤防管理单位将难以接受,因此可考虑将其升为一类堤防,但要求管理单位限期解决存在的问题。

## 8 结语

堤防作为重要的水利设施,定期开展安全评价是十分必要的。随着全球气候变暖、气象灾害事件频仍以及我国经济社会的快速发展,堤防工程的安全管理工作将越来越得到各级政府部门的重视,可以预见,今后堤防工程安全评价将越来越普遍。本文对堤防工程安全综合评价方法进行研究,提出的评价方法能与国家现行堤防标准相对应,具有更强的可操作性。由于堤防工程安全评价工作在国内才刚刚起步,对很多问题的认识还不一致,存在一定争议,今后需进一步加大研究力度。

### 参考文献(References):

- [1] 李青云,张建民.长江堤防安全评价的理论、方法和实现策略[J].中国工程科学,2005,7(6):7-13. (LI Qingyun, ZHANG Jianmin. On the theory, methodology and the realization strategy of safety assessment of the Yangtze dikes[J]. Engineering Science, 2005, 7(6): 7-13. (in Chinese))
- [2] 介玉新,胡韬,李青云,等.层次分析法在长江堤防安全评价系

- 统中的应用[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(12): 1634-1637. (JIE Yurxin, HU Tao, LI Qingyun, et al. Application of an analytical hierarchy process in the comprehensive safety assessment system of Yangtze River levee[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2004, 44(12): 1634-1637. (in Chinese))
- [3] 雷鹏, 肖峰, 张贵金. 基于 AHP 的堤防安全评价系统研究[J]. 人民黄河, 2013, 35(2): 108-110, 113. (LEI Peng, XIAO Feng, ZHANG Guojin. Study of levee safety assessment system based on AHP[J]. Yellow River, 2013, 35(2): 108-110, 113. (in Chinese))
- [4] 田林钢, 靳聪聪, 巴超. 改进的模糊层次分析法在海堤工程安全评价中的应用[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2013, 46(3): 317-320, 327. (TIAN Lirgang, JIN Congcong, BA Chao. Application of improved fuzzy AHP to safety evaluation of seawall engineering[J]. Journal of Wuhan University: Engineering Edition, 2013, 46(3): 317-320, 327. (in Chinese))
- [5] 殷丹, 石凤君, 赵淑杰. 河道堤防工程安全综合性评估[J]. 水利科技与经济, 2013, 19(1): 1-3. (YIN Dan, SHI Fengjun, ZHAO Shujie. Safety comprehensive assessment of river levee engineering[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2013, 19(1): 1-3. (in Chinese))
- [6] 刘纯义, 陈诚, 孙小艺. 黄河下游堤防安全评价指标的系统研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(8): 11-12. (LIU Chunyi, CHEN Cheng, SUN Xiaoyi. System research on the safety evaluation index of the Lower Yellow River levee[J]. Yellow River, 2006, 28(8): 11-12. (in Chinese))
- [7] 蔡新, 严伟, 李益, 等. 灰色理论在堤防安全评价中的应用[J]. 水力发电学报, 2012, 31(1): 62-66. (CAI Xin, YAN Wei, LI Yi, et al. Grey theory in comprehensive evaluation of dyke safety risk[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(1): 62-66. (in Chinese))
- [8] 顾冲时, 汪自力, 刘成栋. 堤防工程安全评估专家赋权模型[J]. 岩土力学, 2006, 27(12): 2099-2104. (GU Chongshi, WANG Zili, LIU Chengdong. Experts' weight model assessing embankment safety[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(12): 2099-2104. (in Chinese))
- [9] 连惠萍, 吴伟. 堤防工程安全评估研究分析[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2007, 19(4): 30-32. (LIAN Huiping, WU Wei. Research and analysis of dyke engineering safety evaluation[J]. Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute, 2007, 19(4): 30-32. (in Chinese))
- [10] GB 50286-2013, 堤防工程设计规范[S]. (GB 50286-2013, Code for design of levee project[S]. (in Chinese))
- [11] SL 435-2008, 海堤工程设计规范[S]. (SL 435-2008, Code for design of sea dike project[S]. (in Chinese))
- [12] DB44/T 1095-2012, 堤防工程安全评价导则[S]. (DB44/T 1095-2012, Guidelines on levee safety evaluation[S]. (in Chinese))

(上接第 1010 页)

- [11] Ichisa Nezu, Michio Sanjou. PIV and PTV Measurements in Hydro Sciences with Focus on Turbulent Open channel Flows [J]. Journal of Hydro environment Research, 2011, 5(4): 215-230.
- [12] 肖洋, 黄振萍, 唐立模, 等. 恒定流中泥沙运动速度实验[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 113-115. (XIAO Yang, HUANG Zhengping, TANG Limu, et al. Experiments on velocity of sediment movement in steady flow [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 113-115. (in Chinese))
- [13] 戎贵文, 魏文礼, 刘玉玲, 等. 涌潮作用下丁坝附近水流运动特性的数值模拟研究[J]. 水利学报, 2012, 43(3): 296-301. (RONG Guiwen, WEI Wenli, LIU Yuling, et al. Study on flow characteristics near spur dikes under tidal bore [J]. Shuili Xuebao, 2012, 43(3): 296-301. (in Chinese))
- [14] Li Yiping, Wang Ying, Animb Desmond Ofofu, etc. Flow Characteristics in Different Densities of Submerged Flexible Vegetation From an Open channel Flume Study of Artificial Plants [J]. Geomorphology, 2014, 204: 314-324.
- [15] CHEN Shichin, KUO Yiming, YEN Hsiachia. Effects of Submerged Flexible Vegetation and Solid Structure Bars on Channel Bed Scour [J]. International Journal of Sediment Research, 2012, 27(3): 323-336.
- [16] 秦翠翠, 杨敏, 董天松. 跌坎消力池水力特性试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 119-122. (QIN Cuicui, YANG Min, DONG Tiansong. Hydraulic characteristics of the stilling basin with drop sill [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 119-122. (in Chinese))
- [17] 陈启刚, 钟强, 李丹勋, 等. 明渠弯道水流平均运动规律试验研究[J]. 水科学研究进展, 2012, 23(3): 369-375. (CHEN Qigang, ZHONG Qiang, LI Danxun, etc. Experimental study of open channel flow in a bend [J]. Advances in Water Science, 2012, 23(3): 369-375. (in Chinese))