

围垦堤防工程安全监控与风险评估

蔡新¹ 郭兴文¹ 江泉¹ 吴继敏²

(1. 河海大学力学与材料学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:与常规堤坝相比,新型围垦堤防工程的堤坝矮长,建筑物基础条件差,水深较大,水下地形复杂,潮汐、波浪等水动力条件更加恶劣,其设计、施工技术均具有特殊性,工程施工难度加大,施工及运行过程的失事风险也随之增大。针对围垦堤防工程上述特点,以江苏苏北沿海东台条子泥特大型围垦工程为依托,结合围垦堤防具体的工程地质条件、水文条件、地基处理方式、断面结构形式及采用的不同施工工艺,融汇理论分析、数值模拟、现场监测与检测等先进的手段和技术,研究新型围垦堤防施工与运行安全影响控制因素,提出经济合理的安全监测项目、预警标准与评估体系,适合沿海特殊环境条件下围垦堤防质量隐患检测的科学有效方法,以及围垦堤防安全风险评价指标体系、评估模型及其先进的风险评估理论和方法,从而为围垦堤防安全风险决策和管理提供科学方法、手段和依据。

关键词:围垦堤防;安全监控;质量检测;风险评估

中图分类号:TV213.1

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2012)03-0043-04

1 国内外研究现状

围垦堤防工程安全监测是监视、控制围垦堤防工程施工期、运行期安全,核算沉降量,检验与完善设计的重要手段。一旦发现不正常现象,可及时分析原因,采取防护措施,防止事故发生,保证工程安全运行。通过原型观测积累观测资料,检验设计的正确性和合理性,并为科学研究打下基础,以提高围垦堤防工程设计与管理水平。在工程实践过程中,国内外对围垦堤防工程安全监测都非常重视。随着充填管袋筑堤工艺的不断发展,国内外对相关工程施工安全的监测主要集中在施工前原始基础地质的监测和筑堤过程中堤防自身变形监测两方面:岩土地质监测主要是测量堤基泥面的标高,较常采用 GPS 配合探测仪进行,而筑堤过程中堤身变形监测主要围绕垂直沉降和水平位移测量进行,一般采用直接水准测量法与测斜法进行监测^[1-6]。经过几十年的工程实践与科学研究,我国在围垦堤防工程的规划、设计、施工等方面取得了一定的成果,2008 年颁布的 SL435—2008《围垦堤防工程设计规范》对围

垦堤防安全监测的监测项目、监测设施、监测内容提出了原则性的意见^[7]。但对低滩围垦堤防、潮沟区围垦堤防以及采用充填管袋施工堤防的安全监控、质量检测与安全评估的研究尚不充分,国内相应的标准和规范还没有建立,在不同地区的不同工程中对围垦堤防工程相关措施研究也不尽相同,仍处在探索阶段。由于围垦堤防工程具有与其他挡水建筑物不同的特点和复杂性,如堤线长、潮(洪)水位变化迅速,台汛期容易出现险情等,其监测设计在确定监测项目、量测仪器、代表性的监测断面选择、数据的整理与传输等方面还面临诸多需要进一步研究的问题^[8-9]。

围垦堤防工程安全监测与隐患探测相辅相成,不可偏废。安全监测能揭示堤坝的长期运行规律和结构性态,安全检测能在短期内对围垦堤防工程的缺陷、隐患或险情进行局部或全面的分析与评价。国外用于堤防工程安全检测的技术和方法较多,其中以无损检测技术最为突出。在一些发达国家,无损检测技术已经由无损检测、无损试验发展到了无损评估阶段,完成了由一般检测技术向高科技过渡的历程,并提出了在无损检测技术中增加定量无损

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAB03B02)

作者简介:蔡新(1964—)男,江苏启东人,教授,博士,主要从事水工结构现代设计理论与方法应用研究。

评估、评定材料缺陷危险性、预测剩余寿命等新设想与技术体系^[10]。鉴于目前单一无损检测技术尚无法保证能够识别所有的结构缺陷,在实际检测过程中,常常通过2种或2种以上的不同方法相互补充验证^[11]。多年来,国内许多单位在堤防隐患探测方面亦进行了大量研究,文献^[12]对国内该领域的研究做了详细的综述,取得的主要成果有:1985年山东省水利科学研究所研究出一种堤坝隐患探测仪器及5种探测方法,形成了一套综合探测堤坝隐患的技术系统;九江市水利科学研究所邓习等研制出TTY-1型便携式智能堤坝探测仪;徐广富提出利用自然电场法探测堤坝渗漏量的设想;王理芬等研究了荆江大堤堤基管涌破坏机理;刘康和应用K剖面法探测堤坝隐患;葛建国等采用浅层地震反射波法探测堤坝隐患;陈绍求提出用双频激电法探测堤坝隐患;吴相安等对利用地质雷达探测堤坝隐患的有效性进行了研究;底青云、王妙月等将高密度直流电阻率法用于珠海堤坝隐患探测;黄河水利委员会研制出ZDT-1型智能堤坝隐患探测仪,编制实行了国内堤防隐患探测方面最早的一份技术规定“黄河堤防工程隐患电法探测管理办法”;中国水利水电科学研究院研制出SDC-2堤坝渗漏探测仪;江苏省农科院完成的“坝基渗流场探测中多含水层稳定流混合并流理论与综合示踪法研究”项目,获国家科技进步二等奖;智能化单井地下水动态参数测试仪”获伦敦与日内瓦国际博览会金奖;中南大学完成水利科技创新项目“流场法堤坝渗漏管涌检测方法及其仪器研究”,成果属国际领先水平。目前常用的地球物理探测方法包括:电阻率法、瞬变电磁法、地质雷达探测技术、弹性波检测、核物理检测、流场法检测等。多年来,这些方法都得到了实际运用,取得了不少实践经验。

围垦堤防工程是个复杂的系统工程,其在设计、施工、运行和管理过程中存在众多的不确定性因素,同时由于人们认识水平的局限所引起的主观不确定性,使得堤防工程存在失事和破坏的风险。基于可靠性理论的风险分析方法将多种影响因素综合考虑,并可根据不同堤防结构重要性程度采取相应设计,具有先进性和科学性。基于此,将风险理论应用于堤防工程中,对堤防工程在复杂环境下进行风险分析研究,可以全面反映堤防系统的安全性,为存在诸多不确定性情况下的堤防安全决策提供科学方法、手段和依据,进而有针对性地采取相应技术措施,必然会带来巨大的社会效益和经济效益。堤防安全风险评估以堤防工程安全管理现状和现代化堤防管理要求为出发点,考虑堤防工程的安全影响因素、分析

流程、指标体系、量化处理、赋权方法以及分类标准等,涉及主要内容有:①分析工程存在的不安全因素;②分析各因素对工程安全的影响程度;③判定堤防的安全程度;④根据堤防安全程度采取相应的措施等。综合来看,国内外对于堤防工程的安全评判研究尚处于起步阶段,目前还没有形成一套成熟适用的理论和方法。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。堤防工程的技术分析、安全评判已成为今后堤防工程科学管理的发展方向。荷兰等发达国家在滩涂围垦、海堤风险评价方面的研究较为深入^[13-19],采用概率设计原理、熵理论以及数理统计模型等方法对海堤防洪系统进行了分析,并通过引入成本效益来反映堤防工程系统的容许风险水平和决策问题。在综合风险评价方面,考虑了失事概率和失事后果,研究了围垦工程洪水风险的定量分析技术。荷兰在分析实际工程基础上,建立了一套较为适合当地国情的堤防风险评价技术,并将堤防的安全等级划分为优、良、中、差4级。相对于国外发达国家,我国现阶段对堤防工程安全评价的研究还很少,针对传统围垦堤防工程,采用层次分解法、专家调查法和幕景分析法,对围垦堤防工程系统可能出现的失事形式、失事形式的影响因素以及系统失事可能造成的后果分析已取得一定的进展,采用模糊综合评判模型进行风险估计和风险决策虽然亦已有所应用,但尚不成熟^[20-24]。

随着围垦堤防工程结构型式的改进,建筑新材料的研发以及施工工艺的不断改造与创新,围垦堤防工程施工中的安全影响因素也随之发生变化,施工安全监控、质量检测及风险评估模式与常规海堤亦有所不同。现有基于高滩围垦堤防的安全监控、质量检测及风险评估体系,已不能满足新时期低滩围垦、潮沟区围垦以及深水区堵口安全评估要求。针对新时期围垦堤防工程的特殊性,研究围垦堤防施工与运行安全监测项目、预警标准与保障运行体系是保证围垦工程顺利实施的必要条件,快速、高效的围垦堤防质量检测技术与隐患识别方法已成为确保围垦安全的必要手段;基于新时期围垦堤防工程的安全监控及施工期质量隐患检测,构建堤防安全评价指标体系及安全风险评估模型,进而采用先进的风险分析理论对其进行安全评估,也是确保围垦堤防工程安全的重要技术手段。

2 研究目标

新型围垦堤防工程堤坝具有矮长,建筑物基础条件差,水深较大,水下地形复杂,潮汐、波浪等水动

力条件更加恶劣的特点,与常规堤坝相比,围垦堤防的设计、施工技术均具有其特殊性,常规堤防施工技术在新围垦堤防施工中的应用尚不成熟,工程施工难度加大,施工及运行过程的失事风险也随之增大。

针对围垦堤防工程上述特殊性,以江苏苏北沿海东台条子泥特大型围垦工程为依托,结合围垦堤防具体的工程地质条件、水文条件、地基处理方式、断面结构形式及采用的不同施工工艺,研究高低滩、深水、潮沟、龙口等施工与运行安全影响控制因素,提出经济合理的安全监测项目的设置、预警标准与评估体系,提出适合沿海特殊环境条件下围垦堤防质量隐患检测的科学有效的方法,提出围垦堤防安全风险评估指标体系,建立围垦堤防安全风险评估模型,采用先进的风险评估理论和方法,从而为围垦堤防安全风险评估和管理提供科学方法、手段和依据。

3 研究内容

3.1 围垦堤防施工安全监控关键技术

- a. 依据海堤工程的级别、水文气象条件、地形地质条件、堤型特点及工程运用要求,研究围垦堤防施工安全的主要影响因素,进行现场监测与数值分析,研究设置经济合理的监测项目、相应的监测方法、监测资料的整理分析技术以及预警标准。
- b. 针对沿海特定环境,研究提出抗腐蚀性、实用方便、技术先进的监测仪器、设备的技术标准。
- c. 研究提出新型围垦堤防施工安全监测保障运行技术体系。

3.2 围垦堤防工程隐患识别方法及检测技术

- a. 通过现场实测、对比分析目前常用的探测方法(人工或机械锥探、地质雷达探测法、弹性波法、高密度电法等)对于围垦堤防质量检测的有效性,从而达到评价围垦堤防工程质量的目的。
- b. 提出适合沿海特殊环境条件下围垦堤防高效质量检测方法与配套仪器。
- c. 研究提出高效的围垦堤防隐患识别理论与方法,并应用于实际工程。

3.3 围垦堤防工程安全评价指标体系及安全风险评估评价技术

- a. 通过分析围垦堤防工程的水文条件、地质条件、监测、检查及隐患探测结果,堤防建设和出险情况等因素,确定围垦堤防安全的主要影响因素。
- b. 在研究围垦堤防安全风险评估主要影响因素的基础上,从围垦堤防工程安全风险评估的特点出发,分析堤防工程安全风险评估体系建立的基本原则,构建围垦堤防安全风险评估体系。

c. 根据围垦堤防工程的具体条件、运行环境,在围垦堤防安全风险评估体系的基础上,应用数学理论和方法,建立围垦堤防工程安全风险评估数学模型。

d. 通过分析围垦堤防安全主要影响因素的特殊性,借鉴已有堤防安全风险分析成果,以围垦堤防安全风险评估模型为基础,研究适用于围垦堤防安全风险评估的计算方法,并对计算结果进行验证,从而为围垦堤防安全风险评估和管理提供科学方法、手段和依据。

4 技术路线

专题采用理论分析、现场监测与检测、数值计算相结合的技术路线进行研究,总体技术路线如图1所示。

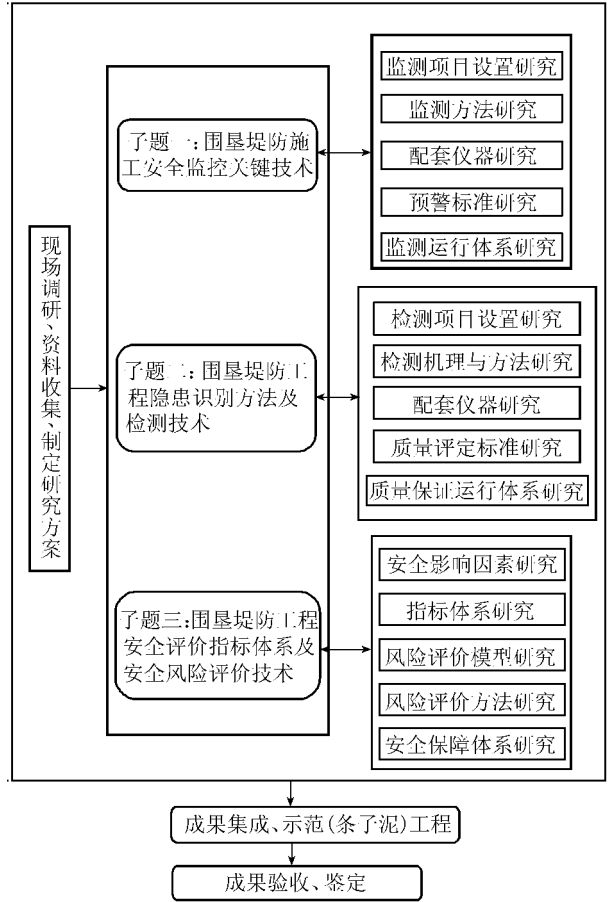


图1 技术路线

a. 针对存在问题,进行广泛调研和勘察,充分收集资料,制定研究方案。

b. 依据设计资料,建立围垦堤防结构有限元模型,仿真模拟堤防充填管袋施工过程,计算预测围垦堤防堤基及堤身结构的变形发展过程及相关量值,为现场监测方案的设计提供初步的参考依据,同时

也为围垦堤防风险分析评估提供定量分析资料。

c. 依据数值仿真分析结果,参照传统围垦堤防工程安全监测项目,结合围垦堤防场地条件,选择代表性断面布设深层沉降位移、深层水平位移等观测设备,监测充填管袋施工过程中堤基及堤防结构的一系列变形,通过分析监测数据,研究确定影响围垦堤防施工安全的主要因素、控制指标以及控制措施。

d. 初步的研究表明,充填管袋层间滑移是新时期充填管袋施工围垦堤防工程失事的主要原因之一,因此针对该新工艺,需要研发可以监测充填管袋层间滑移量的监测设备,并研究其量值与管袋稳定性的关系,从而可以通过该指标的监控达到保障围垦堤防施工安全的目的。

e. 结合堤防结构数值仿真模拟结果、典型断面的现场监测结果,通过分析可以选择出保障新型围垦堤防施工安全必须且经济合理的安全监测项目、配套仪器、不同阶段的监测频率及不同监测项目的预警指标。

f. 在上述工作基础上,提出新型围垦堤防安全监控运行体系。

g. 对比分析地质雷达探测法、弹性波法、高密度电法等对于围垦堤防质量检测的有效性,结合现场试验对比,优选出新型围垦堤防工程质量检测的有效方法以及适合沿海环境的配套仪器。

h. 对影响工程安全因素进行归纳总结,结合安全监测、质量检测,筛选、确定围垦堤防安全的主要影响因素,以此构建围垦堤防安全风险评估模型,以围垦堤防安全风险为总目标,提出适合围垦堤防实际情况的安全风险计算方法。

i. 集成上述成果,在条子泥围垦工程中示范应用。

5 预期成果

a. 结合围垦堤防具体的工程地质条件、水文条件、地基处理方式、断面结构形式及采用的不同施工工艺,提出经济合理的安全监测项目的设置、预警标准与评估体系。

b. 提出适合沿海特殊环境条件下围垦堤防质量隐患检测的科学有效的方法。

c. 提出围垦堤防安全风险评价指标体系,建立围垦堤防安全风险评估模型,提出先进的风险评估方法。

上述成果的取得和应用,可降低围垦工程施工期建筑物安全风险,缩短施工工期,大幅降低工程造

价,减少围垦工程对生态环境的影响,将为近期江苏条子泥垦区 2.667 万 hm^2 围垦、中期江苏沿海滩涂 18 万 hm^2 围垦以及远期江苏沿海滩涂 46.667 万 hm^2 围垦的实现提供重要的技术支撑和示范,取得巨大的经济效益和社会效益,并推进新型围垦工程技术的进步与创新。

参考文献:

- [1] 孙丽,吴晶.滩涂圈围工程充泥管袋筑堤监测及变形分析[J].上海水务,2006,22(4):40-42.
- [2] SHIN E C, AHN K S, OH Y I. Construction and monitoring of geotubes[C]//The International Society of Offshore and Polar Engineers. Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference. Kitakyushu: [s.n.], 2002:469-473.
- [3] 李忠林,徐进刚.填海工程中施工监测的实施与作用[J].浙江水利科技,2006(5):52-53.
- [4] 冒爱泉.海堤工程施工监测技术与应用[D].南京:海海大学,2007.
- [5] 刘建立,仲德林.海堤淘空监测的重要性及其监测方法[J].海岸工程,2005,24(3):26-29.
- [6] 葛捷.分布式布里渊光纤传感技术在海堤沉降监测中的应用[J].岩土力学,2009,30(6):1856-1860.
- [7] 中华人民共和国水利部.海堤工程设计规范(SL435—2008)[S].北京:中国水利水电出版社,2008.
- [8] 方卫华.堤防多尺度监测与分析评价[J].水电能源科学,2008,26(6):89-92.
- [9] 周小文,包伟力,吴昌瑜,等.现代化堤防安全监测与预警系统模式研究[J].水利学报,2006(6):113-117.
- [10] 赵秋艳.国外先进无损检测技术的发展及应用[J].宇航材料工艺,1998(4):48-52.
- [11] ACHENBACH J D. Tribological materials and NDE[M]. California: American Society of Mechanical Engineers, 1993:153-165.
- [12] 冷元宝,任建东,王锐,等.堤防隐患探测与监测技术展望[J].工程地球物理学报,2004,1(1):74-77.
- [13] JAFFE D A, SANDERS B F. Engineered Levee breaches for flood mitigation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, 127(6):471-479.
- [14] PILARCZYK K W. Dikes and revetments: design, maintenance and safety assessment[M]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1998.
- [15] OLSEN J R. Risk modeling for a system of levees under non-stationary condition[D]. Virginia: University of Virginia, 1999.
- [16] VRIJLING J K. Probabilistic design of water defense systems in The Netherlands[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2001, 74(3):337-344.

(下转第 50 页)