

围垦堤防施工技术研究

束一鸣, 吴海民

(河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要:在大量工程实地调查、文献资料分析的基础上,运用现场试验、室内试验和理论计算分析相结合的方法,对围垦堤防施工技术进行研究:①复杂波浪水流环境下围垦堤防管袋裸坝施工程序优化;②围垦堤防管袋裸坝快速施工技术,包括充填沙土管袋脱水固结技术;③波浪作用下围垦堤防扁平管袋裸坝施工期水动力稳定性;④复杂条件下围垦堤防管袋裸坝信息化施工技术;⑤围垦堤坝龙口合龙的各项水力要素及安全措施。研究将提出一整套围垦堤防高效快速施工技术,为沿海地区围垦工程建设提供科学依据和基础。

关键词:围垦堤防;管袋坝;施工程序;水动力稳定性;信息化施工

中图分类号:TV52 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-9511(2012)03-0031-04

1 国内外研究现状

1.1 研究意义

围垦工程中的管袋筑坝技术始于20世纪50~60年代,著名的荷兰三角洲工程(Delta Project)创造性地大量应用土工管袋、软体排等技术,建设历时30多年,使流经荷兰的欧洲三大河流入海口地区从此避免遭受严重风暴潮袭击^[1]。美国跨越阿肯色州、密西西比州和路易斯安那州长达488 km的密西西比河防洪堤加高加固工程采用充泥管袋技术,大大降低了工程造价^[2]。在我国,从香港国际机场、浦东国际机场、长江口航道整治至江苏、上海、浙江、福建等省市的沿海围垦造陆工程、渤海湾的天津滨海新区开发、河北曹妃甸工业园区开发等大量河口海岸工程都采用了充填管袋技术,节省了大量建设资金,也大大缩短了建设工期。

充填管袋筑坝一般先在水下充填两侧的大型土工管袋形成围堰,待围堰高程达到水面以上后,在两侧围堰中间吹填砂质土形成挡水堤坝。较之传统河、海围堤的筑堤技术,充填管袋筑坝技术具有就地取材、施工速度快、对软基的适应能力较好、施工工艺简单、造价低、施工基本不受潮位和降雨影响等优点。

充泥管袋筑坝施工最大的优点是可以缩短工期、节省造价、提高施工效率。在一定的施工设备(泥浆泵、高压水枪等)条件下,管袋施工效率与当地泥沙颗粒级配、泥浆浓度、充灌口压力、管袋等效孔径、管袋强度、管袋三维尺寸、充灌口布置、不同施工环境下采用不同的施工工艺及流程有关,针对这些因素开展研究,优选参数和优化工艺对提高管袋围堤建设施工效率、实现快速施工、缩短工期和节省成本至关重要。

围垦工程不仅工程量巨大、工期长,而且地形、波流等施工条件复杂,施工期建筑物安全问题较为突出。管袋裸坝是尚未设置外部防护的管袋堆体,与已经设置外部防护的管袋坝体相比,管袋裸坝在风浪水流作用下最易失稳。国际上采用的圆形管袋裸坝已有基于物理模型试验分析研究基础上的波流作用下稳定校核方法;我国的充填管袋为扁平矩形管袋,其形状与国外的管袋截然不同,虽然应用广泛,但其设计主要凭经验,管袋裸坝在风浪水流作用下的稳定缺乏有效的校核方法与公式。例如河北黄骅神华港一期工程中的横堤工程^[3],设计6层管袋裸坝,在施工已完成5层时,遭遇风浪袭击后,第3~5层几乎全部被冲毁,不仅增加了造价,也延长了工期。所以,通过波流作用下扁平型管袋裸坝稳定

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAB03B02)

作者简介:束一鸣(1952—),男,江苏无锡人,教授,博士生导师,从事土石坝与堤防工程、河口海岸软基筑坝技术及工艺研究。

的模型试验及分析研究,提出多种波流条件及工况下管袋裸坝的稳定校核方法,意义重大。

围垦工程中的堵口合龙是施工的关键环节。合龙口的溃败导致水流对坝口基础产生严重冲刷,可深至数米以上,还将导致龙口两侧围堤的失稳破坏,合龙失败不仅龙口修复困难,还将错过合龙的最佳时机,使工期延长、造价增加。以东台市条子泥滩涂为例,条子泥是近岸沙洲,涂面面积 2.67 万 hm^2 ,围区龙口工程是典型的深槽合龙工程,库区库容吞吐水量大,龙口水力条件复杂,合龙难度非常大。合龙成败取决于水力条件、地基条件、合龙施工顺序、施工组织和施工质量,所以研究龙口合龙关键技术十分重要。

1.2 研究现状

针对河口海岸工程应用充填管袋技术过程中出现的问题,国内外学者进行了一系列研究和探索。

大量的试验研究表明土工管袋对含水量高的沉积物具有很好的脱水效果^[4-5];Chew 等^[6]开发了新的双向循环水流试验仪器,研究了不同土工管袋材料破损条件下正面水力冲刷,试验表明破损尺寸只要保持在一定的范围,一旦土拱效应形成,滤层仍能保持稳定;Muthukumaran 等^[7]针对河口和海岸地区高含水量的淤泥质沉积土选择多种孔径的土工织物,就土体含水量、颗粒级配和织物等效孔径等因素对管袋脱水效果的影响进行了系统的研究。

Leschinsky 等^[8-9]对充填管袋的尺寸、泵送压力、泥浆浓度和拉应力之间的关系进行了大量试验研究,并提出了椭圆形土工管袋张力计算模型和管袋材料设计方法;闫嫵等^[10]对现有的管袋设计方法进行了扩展和改进,编制了新的设计计算程序,用以计算扁平充填管袋的形状、尺寸、泵送压力、泥浆浓度和拉应力的关系。这些研究成果对设计过程中选择合理的管袋材料、几何形状和尺寸具有指导意义。

Shin 等^[11-13]就某围垦工程对细砂和淤泥质黏土两种充填材料下管袋体的沉降变形进行了现场模型试验研究,在对施工过程中管袋坝体的脱水效果、沉降、变形的变量进行监测的基础上,对管袋充填的施工程序进行了优化;针对不同细颗粒充填物对管袋体的沉降和变形进行了室内试验研究,提出了计算管袋体沉降和变形的经验公式,并用现场模型试验对经验公式进行了验证。Yan 等^[14]针对天津港围垦工程中管袋坝体的稳定性和沉降变形分别进行了室内离心模型和现场试验,为工程设计和施工提供了参考。

冯利海等^[15]结合某河道治理工程,对管袋的充

填方法由以前的多次充填法改为集土充填法,收到了良好的效果;陆晓升等^[16]提出了一种子母式管袋施工工艺,用于克服管袋在遇到深水急流的情况下,普通管袋无法吹填下沉,容易被水冲走且容易被水中的棘石磨破等困难。

笔者对充填管袋中土料选择、管袋脱水固结以及施工工艺等进行了一系列的研究。2004 年在长江口开展现场试验,取不同砂料、砂质土料、黏土料、黏土块料分别作为充填扁平型管袋充填土料,分别充填数米尺度、十数米尺度扁平型管袋,观测脱水固结效果,得到满足不同施工速度要求的充填土料类型;2002 年对织物-粉土系统的极易淤堵现象进行研究,并结合 10 多年的工程应用观测分析,得出合适的织物等效孔径可避免该系统淤堵的结论;通过主持长江口蓄淡水水库(管袋堤坝为水库的挡水建筑物)设计为充填管袋坝填筑原理分析、管袋裸坝的科学合理的施工布置及工艺积累了丰富的实践经验^[17-20]。

国外学者对圆形管袋裸坝应用于海岸工程作了大量的研究,包括波流作用下稳定的室内试验和现场试验,提出了稳定校核的计算方法。Recio 等^[21-22]运用室内模型试验与数值模拟相结合的方法对波浪作用下椭圆形管袋结构在管袋波浪作用力、管袋内沙粒的运动以及管袋水力作用下的基本变形、失稳过程及其影响因素进行了系统研究。Van 等^[23]通过大型模型实验揭示了在波浪作用下充填饱和度对管袋稳定性的影响规律。我国对扁平型管袋裸坝的稳定性研究相对较少。笔者从 2004 年开始针对我国广泛使用的扁平矩形管袋裸坝在各种复杂波浪、水流作用下的稳定性及其充填土料渗透及固结特性进行了一系列模型试验、现场试验和理论研究,获得了波浪、水流、坝体结构等因素对扁平矩形管袋裸坝稳定性的影响规律,并建立了相关的经验公式及管袋沙土渗压、总压时程线^[24-26]。

国外对围垦充填管袋坝坝技术研究比较深入,充填管袋采用高强度(高成本)的圆形袋体;国内充填管袋采用低强度(低成本)的扁平形袋体,其充填材料与稳定机理均与国外圆形管袋相差较大,且国内相关研究既欠系统又欠深入。本课题组在西方国家椭圆形管袋坝研究基础上,开展了具有中国特色的扁平型充填管袋的坝体结构稳定性试验研究。对管袋裸坝在波流作用下的稳定原理、管袋裸坝结构在波浪作用下稳定性的模拟试验方法与稳定性的评判方法等开展了一系列研究工作,积累了研究的理论与实践基础,掌握了相关的试验研究技术,取得了

管袋裸坝在波流作用下稳定分析的初步成果。

2 研究目标

针对围垦工程海岸地区复杂恶劣施工环境和条件,本研究将通过大量的试验和计算,对围垦堤防高效施工中一些关键问题进行系统研究。研究目标如下:①提出复杂条件下围堤堤防高效快速最优施工程序;②提出施工期波流作用下管袋裸坝稳定性计算分析方法;③提出复杂条件下围垦堤防管袋裸坝信息化施工技术;④提出围垦堤坝龙口合龙的各项水力要素及安全措施。最终目标旨在提出一整套围垦堤防高效快速施工技术,为沿海地区围垦工程建设提供科学依据和基础。

3 研究内容

a. 复杂波浪水流环境下管袋裸坝施工程序优化。根据围垦堤坝施工现场水文、地质、气象等条件,结合管袋充填所需适宜料场的分布和土料的特性,进行各种工况下的围堤快速施工的组织优化设计,包括浅水区、深水区软基加筋、加固、深水区管袋固定、深水区管袋充填、裸坝防护、吹填与排水固结等工序的优化研究。

b. 管袋坝快速充填脱水固结施工技术。针对不同粘粒含量充填沙土管袋脱水固结试验研究,针对构成管袋裸坝快速充填施工的各项要素及其指标分别进行室内试验和现场试验研究。包括满足快速充填与就近原则的适宜料场的选择指标确定,基于选定料场的充填管袋型式、规格的确定,各项充填指标的确定,充填工艺和加速脱水固结技术的研究。

c. 波浪作用下扁平管袋裸坝施工期动力稳定性。通过施工期管袋裸坝的波浪模型试验,观察、测试管袋坝的受力和变形规律,分析管袋裸坝分层失

稳的现象与机理;根据试验结果和理论分析研究施工期管袋裸坝在不同波浪作用下的稳定性分析方法;分析波浪、管袋坝体结构等方面各因素对施工期管袋坝稳定性影响规律,提出施工期管袋裸坝稳定控制的工程措施。

d. 复杂条件下管袋裸坝信息化施工技术。包括关键施工阶段、关键施工工序的监测、反馈及分析技术研究;施工期管袋坝结构与地基安全反馈及分析技术研究;施工期管袋坝结构与地基安全控制指标研究。

e. 围垦堤防龙口合龙的各项水力要素及安全措施。包括围垦堤防龙口水力要素研究;围垦堤防龙口最佳位置、合龙潮型与合龙最佳时间研究;围垦堤防龙口合龙的方法、顺序及安全措施研究。

4 研究技术路线

研究技术路线如图1所示,在收集和整理国内外相关文献资料,总结围垦堤防施工经验和技术的的基础上,开展室内物理模型试验、理论分析、设计计算以及依托工程的现场试验研究工作。

a. 调研、收集国内外有关围垦堤防施工技术方面的文献资料,尤其江苏沿海围垦区域施工的文献资料,经过梳理,形成可供本专题研究参考的报告。

b. 收集江苏沿海围垦区域的现场的土料分布、潮位、风流、地形等工程资料,并针对现场具有代表性区域土料的物理、力学以及水力学等工程特性展开室内试验研究。

c. 在分析施工现场区域的充填土料、潮位、风浪、地形等资料的基础上,展开围垦堤防施工施工组织设计以及关键施工工序的优化研究。

d. 通过室内试验与现场试验相结合,开展管袋裸坝快速充填工艺及加速脱水固结技术研究。

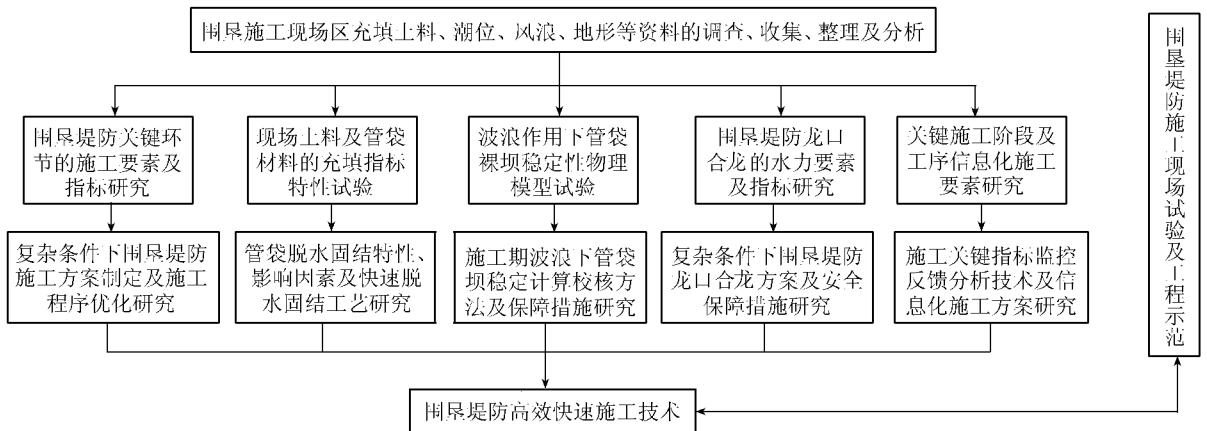


图1 围垦堤防施工关键技术研究技术路线

e. 根据现场地质地形以及潮位和波浪要素特征,通过实验室物理模型试验展开施工期管袋裸坝的波浪模型试验研究,分析管袋裸坝分层失稳的现象与机理并提出不同波浪作用下的管袋裸坝稳定性分析方法及各因素的影响规律。

f. 根据围垦施工现场地质地形和水位、气象条件,研究围垦堤防龙口水力要素,针对围垦堤防龙口最佳位置、合龙潮型与合龙最佳时间、龙口合龙的方法、顺序及安全措施展开研究。

g. 根据管袋裸坝施工程序以及施工期稳定性安全控制影响因素,展开关键施工阶段、关键施工工序的监测、反馈及分析技术研究,研究制定可能突发情况下施工安全控制以及应急预案,提出信息化施工方案,并结合现场试验进行实施和完善。

5 预期成果及效益

5.1 预期成果

通过本课题的研究,拟确定近海岸浅滩区、深水围垦堤防管袋裸坝、基础、防护、吹填区等主要分部工程的高效、快速及信息化施工的工艺流程及相关技术指标,通过一系列物理模型试验,提出波浪作用下扁平型管袋裸坝稳定分析的校核计算方法。通过龙口合龙模型试验,掌握龙口水力要素的变化规律,提出合龙设计方案,包括龙口位置与合龙时间选择、施工顺序等,确保合龙成功。

5.2 社会经济效益

本课题研究成果近期直接应用到条子泥 2.67 万 hm^2 围垦工程建设,中期将应用到辐射沙脊群 18 万 hm^2 围垦工程,远期将应用于江苏沿海滩涂 46.67 万 hm^2 围垦工程建设。通过围垦堤防施工关键研究成果的推广可应用到国内其他沿海省市及其他发展中国家的沿海围垦工程建设。

此外,围垦堤防中管袋裸坝高效施工关键技术不仅涉及沿海滩涂围垦工程,还涉及海岸堤防、海岸机场、港口码头、沿海电厂灰库仓储、河口蓄淡水库、河口航道整治等工程,属于海岸、河口各项工程带有共性的工程技术。

综上所述,围垦堤防施工关键技术研究对解决我国沿海滩涂围垦堤防建设中的关键问题,提升我国在大规模围垦工程领域内的技术能力具有重要的工程应用价值和学术价值。此外,围垦堤防高效施工关键技术可直接应用于围垦工程实际,可节省工期,降低工程造价,该技术还可应用于海堤、海岸港口码头、航道整治、河口水库等工程,其经济与社会效益非常可观。

参考文献:

- [1] PERRIER H. Use of soil-filled synthetic pillows for erosion protection[C]//Proceedings of 3rd International Conference on Geotextiles. Vienna [s. n.],1986 :1115-1119.
- [2] FOWLER J. Geotextile tubes and flood control[J]. Geotechnical Fabrics Report ,1997 ,15(5) :28-37.
- [3] 张俊平.土工织物充填袋在黄骅神华港一期工程中的应[J].中国港湾建设 ,2002(2) :46-48.
- [4] MOO- YOUNG H K ,DOUGLAS A G ,MO X H. Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tube[J]. Geotextiles and Geomembranes 2002 ,20(5) :289-303.
- [5] KOERNER G R ,KOERNER R M. Geotextile tube assessment using a hanging bag test[J]. Geotextiles and Geomembranes 2006 ,24(2) :129-137.
- [6] CHEW S H ,TIAN H ,TAN S A ,et al. Erosion stability of punctured geotextile filters subjected to cyclic wave loadings-a laboratory study[J]. Geotextiles and Geomembranes 2003 ,21(3) :221-239.
- [7] MUTHUKUMARAN A E ,ILAMPARUTHI K. Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering[J]. Geotextiles and Geomembranes 2006 ,24(2) :210-219.
- [8] LESCHINSKY D ,LESCHINSKY O ,LING H I ,et al. Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry :some design aspects[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division ,American Society of Civil Engineers ,1996 ,122(8) :682-690.
- [9] CANTRE S. Geotextile tubes-analytical design aspects[J]. Geotextiles and Geomembranes 2002 ,20(3) :305-319.
- [10] 闫蠡,闫澍旺,邱长林,等.土工织物充灌袋的设计计算方法研究[J].岩土力学 ,2010 ,31(1) :327-330.
- [11] SHIN E C ,OH Y I. Analysis of geotextile tube behaviour by large-scale field model tests[J]. Geosynthetics International ,2003 ,10(4) :134-141.
- [12] OH Y I ,SHIN E C. Application of submerged geotextile tubes for erosion prevention in east coast of Korea[J]. Millpress Rotterdam 2006 ,1 :757-760.
- [13] SHIN E C ,OH Y I. Coastal erosion prevention by geotextile tube technology[J]. Geotextiles and Geomembranes 2007 ,25(4-5) :264-277.
- [14] YAN S W ,CHU J. Construction of an offshore dike using slurry filled geotextile mats[J]. Geotextiles and Geomembranes ,2010 ,28(5) :422-432.
- [15] 冯利海,白周利.充沙长管袋褥垫进占施工技术探讨[J].人民黄河 2001 ,23(3) :58-60.
- [16] 陆晓升,陆灵灵.子母式管袋及其施工工艺[P].中国专利 :CN1488816 2004-04-14. (下转第 50 页)