

管袋坝信息化施工设计与初步实践

刘欣欣^{1,2}, 束一鸣², 顾克³

(1. 北京矿冶研究总院矿山工程研究设计所, 北京 102628;
2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为提高我国管袋坝工程的施工技术水平,从信息采集、信息分析处理、信息反馈以及控制决策等流程方面,开始了管袋坝信息化施工的设计与初步实践。结合管袋坝自身特点和监测原则,选择波浪要素、潮位、基床面海流流速、风速、坝基变形和坝基渗流等作为施工监测指标,提出了与各项监测指标相对应的监测设备及其现场布设、安装方案;针对每项监测指标给出了相应的管袋坝施工安全性计算方案,并就管袋坝施工中的常见问题提出了对应的解决措施,以此构建专家知识系统。信息化施工技术可为管袋坝工程施工安全和质量控制提供技术支持。

关键词:管袋坝;信息化施工;信息技术;监测指标;专家系统

中图分类号:TV641.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2018)01-0044-06

Design for informatization construction technology in geotube embankment engineering and its preliminary practices//LIU Xinxin^{1,2}, SHU Yiming², GU Ke³(1. *Institute of Mining Engineering, Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 102628, China*; 2. *College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*; 3. *College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: To improve the construction technology of geotube engineering in China, design for informatization construction technology in geotube embankment engineering and its preliminary practices was strated from the aspect of information collection, information analysis and processing, information feedback, control and decision. According to the characteristics and monitoring principles of geotube embankment, wave parameters, tidal level, surface flow velocity, wind speed, foundation deformation and foundation seepage are selected as the monitoring indicators. The corresponding monitoring equipment, site deployment methods and installation schemes are proposed based on the selected monitoring indicators. The calculation programs of safety construction of geotube embankments are presented respectively for each monitoring indicator. In addition, the common problems and corresponding solutions in the construction of geotube projects are presented, which can be used to build an expert system. Information technology can provide technical support for the construction safety and quality control of geotube engineering.

Key words: geotube embankment; informatization construction; information technology; monitoring indicators; expert system

20 世纪 80 年代以来,管袋坝技术以其就地取材、工艺简单、成本低廉、施工快捷与安全可靠等优势,在我国水利水运、海岸工程等建设中发挥了重要作用^[1]。近年来在我国长江下游深水航道整治、东南沿海围垦以及南海海域人工岛礁等工程中,积累了大量的工程经验,同时也促进了施工技术的不断进步^[2-5]。然而,从信息化角度衡量,目前管袋坝施工尚处于目测或简单观测阶段,技术人员主要通过现象以经验判断施工过程的安全性,或者简单安置观测仪器,事后对测试结果进行分析^[6-9]。信息技术(information technology, IT)是一门发展极快的科学技术,它已经广泛应用于各个科技领域^[10-12]。2016 年 11 月北京召开的第一届全国水利水电工程信息化技术研究与应用研讨会指出“信息化的地位和作用空前突出,须加快水利工程信息化建设步伐”^[13],可见,信息化技术应用于管袋坝工程将渐成趋势,由此形成的技术可称之为管袋坝信息化施工技术。管袋坝信息化施工技术通过设置各种测量元件和仪器,实时采集管袋坝施工现场数据并加以分析,依据分析结果对原设计和施工方案进行合理调整,并反馈到下一阶段的施工,充分保证工程的安全性、高效性与经济性^[14]。

本文结合东海某围垦管袋坝工程,介绍管袋坝信息化施工的设计和初步实践工作,包括监测指标选取、监测仪器与现场布设、监测数据分析与处理以及反馈、控制与决策等,可为类似工程提供参考。

1 技术流程

管袋坝信息化施工技术流程如图 1 所示,主要分为 4 个环节:信息采集、信息分析处理、信息反馈以及控制决策。其中信息采集是基础,主要包括初始设计参数输入和安全监测数据获取两项工作,安全监测数据通过现场施工监测实时获取;信息分析处理是核心,通过对监测数据的分析处理,定量判定管袋坝施工期的安全性;信息反馈则依据数据处理结果,实时预警,并触发专家知识系统,分析出现的异常状况并给出处理建议,辅助技术人员决策^[15]。

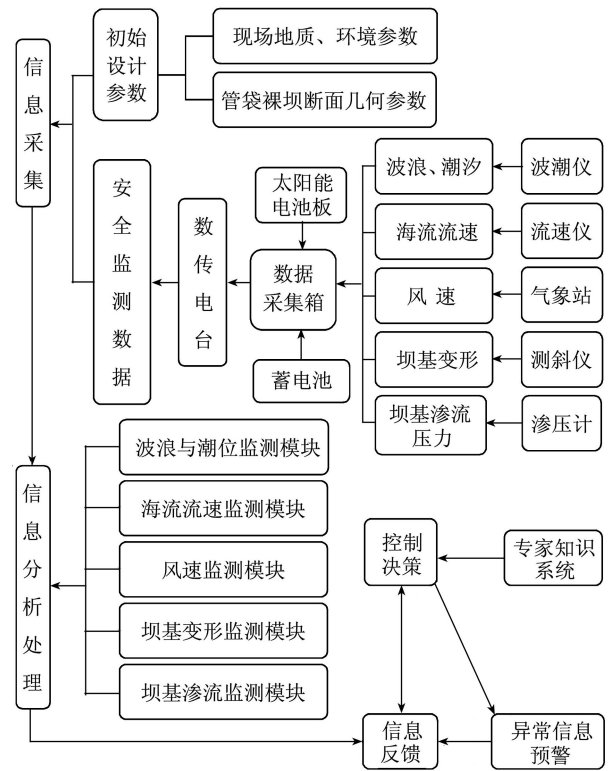


图 1 管袋坝信息化施工技术流程

2 监测指标选取

施工现场监测是信息化施工技术的基础。管袋坝工程实践表明,现有的计算理论、软件或计算方法往往与实际情况存在一定的差距,因此,科学施工需要一套合理的监测控制系统。通过监测工作,不仅可以及时发现不安全因素,还能够验证设计方案,指导施工。依据系统性、可靠性、与设计 and 施工相结合、关键部位优先且兼顾全局等基本原则,合理选择施工监测指标^[16]。所谓系统性,指的是在时间和空间维度上监测具有连续性,且监测项目相互之间有机结合;可靠性指的是监测点、监测仪器以及监测手段稳定、可靠;与设计、施工相结合,要求监测与设计 and 施工过程动态反馈;关键部位优先且兼顾全局则需要做到重点监测、测点布设均匀合理。遵循上述原则,管袋坝工程的施工监测指标筛选如表 1 所示。

3 监测仪器与现场布设

管袋坝现场监测方案如图 2 所示,该方案依托东海某管袋坝工程设计。针对某一监测断面,设计集成监测平台 1 处、渗流监测点 3 处和变形监测点 1 处。其中集成监测平台位于管袋坝近海一侧,平台集成雷达波潮仪、电磁流速仪和气象站 3 种设备,用于监测施工过程中的波浪要素、潮位、基床面海流流速以及风速等。3 处渗流监测点的位置分别为:

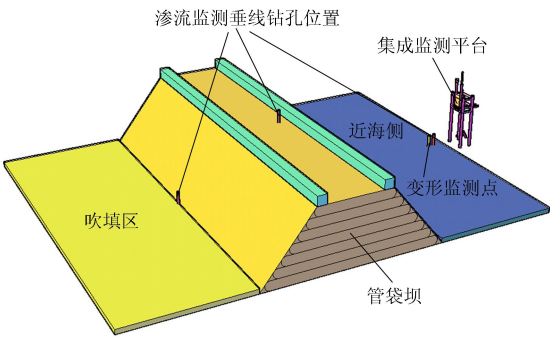


图 2 管袋坝现场监测方案

表 1 管袋坝工程施工监测指标筛选^[17]

监测指标	功 能	筛选基本原则				处置情况	筛选结果
		系统性	可靠性	与设计 and 施工相结合	关键部位优先且兼顾全局		
堤坝结构形式	基本条件	不符合	不符合	符 合	不符合	信息可预先一次性输入	
地质、环境	基本条件	不符合	符 合	符 合	符 合	信息可预先一次性输入	
施工速率	涉及坝体及基础稳定	符 合	符 合	符 合	符 合	可通过位移指标反映	
内侧吹填土压力	涉及坝体及基础稳定	符 合	符 合	符 合	符 合	一般对管袋坝稳定有利	
充填土料脱水特性	涉及坝体及基础稳定	符 合	不符合	符 合	符 合	因成本高作为检查指标	
风速、波浪要素	涉及坝体稳定	符 合	符 合	符 合	符 合		选中
基床面流速	涉及坝脚基础淘刷	符 合	符 合	符 合	符 合		选中
坝体、坝基变形	涉及坝体力学稳定	符 合	符 合	符 合	符 合		选中
坝基渗流	涉及坝基渗透稳定	符 合	符 合	符 合	符 合		选中

①吹填区管袋坝坝脚基础;②坝轴线基础;③临海侧管袋坝戗台基础。设立渗流监测点的目的在于建立坝基渗流网,验证管袋坝基底渗流安全性。变形监测点位于临海侧管袋坝戗台的渗流监测点附近,用于监测管袋坝体与基础的沉降及水平位移变形。渗流与变形监测设备的数据采集箱安装于集成平台上。

3.1 集成监测平台

集成监测平台如图 3 所示,其主体为一座监测塔架。以塔架为平台,集成雷达波潮仪、电磁流速仪和气象站 3 种设备,其中雷达波潮仪可以用来采集波浪浪高、波陡、波速以及潮位等数据,传感器安装在平台悬臂架上,悬臂架距离水面高度不小于 1 m;气象站安装于塔架顶部,用来实时监测施工过程中的气象要素,如风速、温度、湿度、风寒温度等;为便于底部流速监测,电磁流速仪则通过独立支架锚置于塔架附近的海床表面。上述 3 种设备以及渗流、变形监测设备相应的数据采集箱全部安装于塔架平台上,数据采集箱通过天线向远程控制中心无线传输采集到的数据。

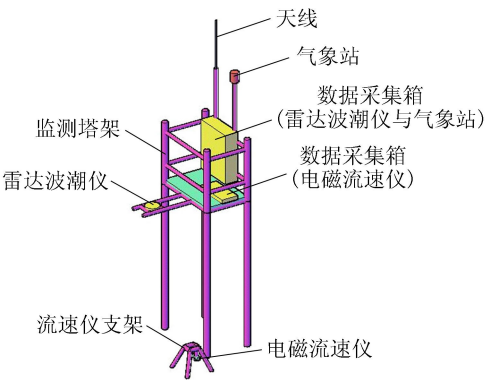


图 3 集成监测平台示意图

3.2 变形监测设备

对于坝基分层竖向、水平位移变形,可采用如图 4(a)所示变形监测设备定量监测。设备主要由测斜仪、测斜仪电缆和测斜管三部分构成,其中测斜管采用钻孔方式垂直安装于地基内部,测斜管的底部需埋设到受荷载影响较小、土质较硬的土层中。在测斜管应采用质地较软的材料,管内不同高程安装测斜仪,可获取坝基内部不同高程的竖向、水平位移数据。测斜仪电缆与放置于集成监测平台上的数据采集箱连接,可方便地实现远程遥测,并可准确而连续地监测坝基内部的变形情况,为坝基的稳定校核提供定量依据。

3.3 渗流监测设备

坝基渗流监测设备与安装如图 4(b)所示。渗流监测设备是渗压计,采用钻孔方式安装于坝基内部不同高程位置处。具体安装方式为:①钻孔完成

后,在孔内某一设计安装高程位置下部投入一定量膨润土球,形成渗压计下部膨润土隔离层;②再放入适量粗砂,之后放入包裹无纺布袋(反滤)的渗压计,最后用粗砂完全覆盖渗压计;③顶部同样采用投入膨润土球的方法形成上部隔离层。

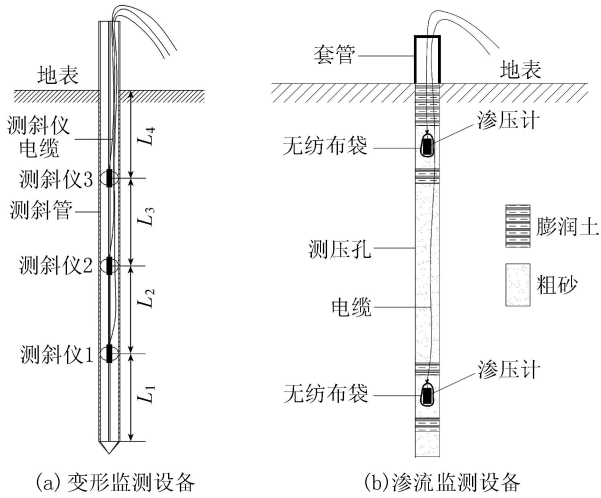


图 4 监测设备安装示意图

其他高程的渗压计安装方式与之类似。渗压计安装完成后,采用膨润土封孔,并树立套管标记孔位。渗压计通过电缆与数据采集箱连接,实现数据自动采集。

4 监测数据分析与处理

通过施工监测数据的分析与处理,可定量判定管袋坝的施工期安全性。基于选取的监测指标,相应的坝体稳定性判定指标共分为抗波浪稳定性、抗淘刷稳定性、抗风浪稳定性、坝基变形稳定性和坝基渗流稳定性 5 类。

4.1 抗波浪稳定性

在管袋坝施工过程中,若遭遇台风或风暴潮等极端气象情况,坝体顶层或顶部数层管袋极易被波浪掀翻,最终导致坝体局部或整体破坏^[18]。因此,管袋坝整体稳定性可以用坝体顶层管袋的稳定系数来表示:

$$F_w = \mu \frac{G' - U}{kP} \quad (1)$$

式中: F_w 为管袋坝抗波浪稳定指标; μ 为管袋间摩擦因数; k 为安全系数; G' 为充填管袋有效重力,当管袋位于水下时,管袋有效重力等于重力与浮力之差,当管袋部分位于水下时,管袋有效重力等于水面以上重力和水面以下有效重力之和; U 为顶层管袋所受上抬波浪力; P 为顶层管袋所受水平波浪力。研究表明,波浪力的大小主要受波浪的影响,而波浪力沿管袋坝迎浪坡面的分布则主要与潮位有关,因此,波浪和潮位共同对管袋坝的稳定性产生影响。上抬

波浪力 U 和水平波浪力 P 的计算方法见文献[19]。

4.2 抗淘刷稳定性

我国东南沿海江浙一带滩涂多为超软土地基,由松散的粉砂组成,抗淘刷稳定性较差。在该种类型地基上构筑管袋坝,则基床面海流极易对管袋坝坝脚部位地基形成淘刷,产生淘刷坑,如图 5 所示。淘刷现象在管袋坝拐弯和龙口部位更加严重。随着淘刷坑不断扩大,致使管袋坝整体发生下沉,甚至失稳,因此,需要对管袋坝的抗淘刷稳定性进行研究。地基淘刷最初都是从表层泥沙起动开始,故管袋坝抗淘刷稳定性可以表示为

$$F_c = \frac{u_{cr}}{ku} \tag{2}$$

式中: F_c 为管袋坝抗淘刷稳定指标; k 为安全系数; u 为基床面海流流速; u_{cr} 为床面泥沙临界起动流速,计算方法可参考文献[19]。

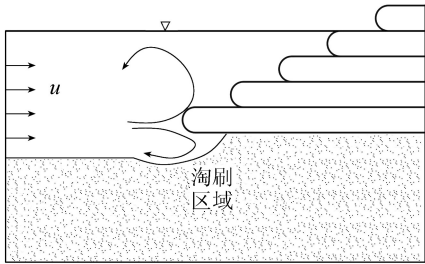


图 5 基床面海流在管袋坝坝脚处形成淘刷坑

4.3 抗风浪稳定性

风速指标对管袋坝稳定性的影响是通过波浪间接产生的。风作用于海面产生的波动称为风浪,风速的大小直接决定了波浪的成长与发展。在管袋坝施工过程中实时监测现场风速,基于风速指标计算出海浪波高、波长以及周期等要素(计算方法可参考文献[19]),再结合前述管袋坝抗波浪稳定性分析过程,即可计算出管袋坝抗风浪稳定指标,其大小与抗波浪稳定指标相同。由于风浪的成长需要一定的时间和过程,通过风速指标的监测可以预判管袋坝稳定性,为灾害防控工作提供依据。

4.4 坝基变形稳定性

随着管袋坝坝体的不断加高,构筑于超软土地基上的管袋坝往往还面临着坝基变形失稳的问题。在沿海围垦工程中,潮间带地区一天两潮的状况决定了管袋坝施工需要满足一天一层的进度要求,快速堆载极易造成超软土地基产生过大的水平向变形,若不能及时采取措施,地基连同管袋坝结构整体都会发生失稳破坏。因此,需要在施工过程中实时监测坝基的水平向变形状态,以此作为管袋坝坝基变形稳定性的判定依据。管袋坝变形稳定性的计算方法为

$$F_{11} = \frac{L_{1cr}}{kL_{1s}} \tag{3}$$

$$F_{31} = \frac{L_{3cr}}{kL_{3s}} \tag{4}$$

$$F_v = \frac{v_{cr}}{kv_{max}} \tag{5}$$

式中: F_{11} 、 F_{31} 分别为连续 1 d、3 d 的管袋坝坝基变形稳定指标; F_v 为坝基变形速率稳定指标; k 为安全系数; L_{1cr} 、 L_{3cr} 分别为连续 1 d、3 d 的坝基水平向变形容许值; L_{1s} 、 L_{3s} 分别为连续 1 d、3 d 的坝基水平向变形值; v_{cr} 为坝基水平向变形速率容许值; v_{max} 为坝基最大水平向变形速率。 L_{1s} 、 L_{3s} 以及 v_{max} 的计算方法见文献[19]。

4.5 坝基渗流稳定性

潮间带区域的管袋坝施工也会遇到坝基渗流失稳问题。管袋坝尚未合龙期间,由于龙口部位过流能力有限,涨落潮时大量的潮水无法快速涌入或及时流出吹填区,在管袋坝两侧产生一定的水头差。若局部坝基地质条件较差,则很容易在该部位发生渗流破坏,导致局部坝体失稳。因此,管袋坝施工需做好坝基渗流监测工作。基于坝基渗流监测指标可以绘制坝基渗流网,如图 6 所示。结合渗流网即可判断管袋坝坝基的渗流稳定性:

$$F_s = \frac{J_{cri}}{kJ_i} \quad (i = 1, 2) \tag{6}$$

$$\text{其中 } J_1 = \frac{H}{(m-1)\Delta S_1} \quad J_2 = \frac{H}{(m-1)\Delta S_2} \\ H = H_1 - H_2$$

式中: F_s 为管袋坝坝基渗流稳定指标; k 为安全系数; J_{cr1} 、 J_{cr2} 分别为坝基内和渗流逸出处的临界渗流坡降; J_1 、 J_2 分别为坝基内某点和渗流逸出处对应网格的平均渗流坡降; H 为水头差; H_1 、 H_2 分别为坝基入渗侧和渗流逸出侧的水头; m 为等势线数; ΔS_1 、 ΔS_2 分别为坝基内某点以及渗流逸出处对应网格的流线平均长度。

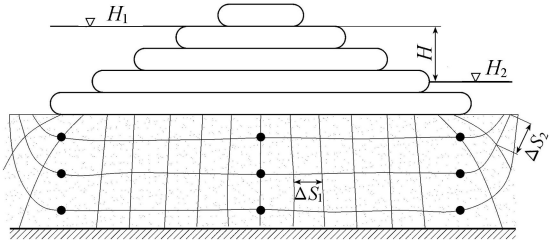


图 6 管袋坝坝基渗流网

5 反馈、控制与决策

当管袋坝安全性分析出现危险状况或人工现场巡检发现异常时,信息化施工技术中的控制与决策

模块不仅能够及时预警并发出指令建议暂停相关工序,还可分析出现的问题,并能够结合专家知识系统给出科学的处理措施,辅助施工技术人员决策^[20]。专家知识系统就是采用管袋坝建设领域的多个专家知识解决该领域中困难问题的计算机软件系统,它

由知识库、推理机和用户界面三大部分组成,其中推理机和用户界面采用通用技术方案,因此,管袋坝专家知识系统的关键在于构建专家知识库。专家知识库主要汇总施工中管袋出现的各种不利现象的原因与处置措施,部分专家知识如表 2 所示^[21-26]。

表 2 施工中各种管袋问题的原因和处置措施

现 象	原 因	处置措施
管袋坝表面有明显突出,剩余部分没有土体沉降	由于充填的原因,泥浆没有在管袋内均匀分布,造成沉降的土体分布不均匀	土工织物袋基本固定后,沿土工织物袋多个袖口进行填充,使充填量均匀
管袋坝破裂	在水泵的和管袋内的泥浆相互作用下,管袋中的压力上升到管袋承压极限时,管袋开始破裂;或管袋局部存在缺陷,导致破裂	根据充填的饱满程度,土工织物袋内额压力控制在 20 ~ 30 kPa,达到 30kPa 时,停止填充,防止土工织物袋破损;发现管袋破裂时,暂停充填,检查破裂处,及时修补
在经过长时间的充填之后管袋中的水无法及时滤出	在长时间充填时,管袋坝表面排水能力开始下降,管袋中的水体积蓄	需多次充填时,每次充填前,先用清水冲洗土工织物袋(露出水面时),将土工织物袋空隙中的泥冲掉,以利于滤水,后续充填前可先通过袖口将上部积水放出
在充填完成 60% 时,管袋表面凹凸不平	在土体固结时,泥浆不均匀,土体固结时间不一致,从而导致管袋坝中土体高度不均匀	反复充填几次,待土工织物袋充填饱和度达到 60% ~ 80% 时或土工织物袋填充厚度达到 0.6 ~ 0.8 m 时停止填充,然后检查土工织物袋表面是否平整,如果出现较大凹陷,在该处再次局部充填补齐
在施工及运行期管袋出现破损	受潮位涨落、风浪及机械力作用,或较长时间受紫外线作用,导致管袋薄弱处损伤破损	较长期裸露部位需适当防护,施工中避免人为机械碰伤管袋材料,发现破损应及时修补
施工期管袋之间发生滑动	管袋坝充填时,由于各袖口充填不均匀,管袋重心发生变化,此外管袋内外侧存在水压力差,排水不畅使浮力增大	充填口不仅要布置均匀,也须充填均匀;应设置排水,及时排出管袋的脱水,以免造成积水
管袋坝达一定高度后出现不均匀沉降	未对地基进行处理或地基处理存在缺陷,在管袋坝重力作用下,地基固结排水的速度、幅度不一样,从而形成不均匀沉降	对沉降明显的软土地基进行注浆加强,控制其继续沉降

6 结 语

管袋坝信息化施工技术主要分为信息采集、信息分析处理、信息反馈以及控制与决策 4 个流程。依据管袋坝工程自身特点与监测原则,管袋坝施工监测的主要指标包括波浪要素、潮位、基床面海流流速、风速、坝基变形和坝基渗流等几项,波浪要素、潮位等指标通过雷达波潮仪监测,风速可通过气象站采集,基床面海流流速的监测则采用电磁流速仪,坝基变形和坝基渗流则分别通过测斜仪和渗压计监测。此外,为保证监测可靠性,需因地制宜,选择合适的监测设备现场布设安装方案。信息分析处理是管袋坝信息化施工技术的核心,对应每种监测指标,采用文中所列计算方法,定量计算出管袋坝安全性,以此作为系统预警、控制的依据。根据系统反馈和人工现场巡检发现的异常现象,采用专家系统分析问题,给出科学的处理措施,辅助施工技术人员决策。

参考文献:

[1] 束一鸣. 我国管袋坝工程技术进展[J]. 水利水电科技进展, 2018, 38 (1): 1-11. (SHU Yiming. Advances in technology of geotube dam engineering in China [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2018, 38 (1): 1-11. (in Chinese))
[2] 彭良泉, 李令长, 黄建和. 长江口袋装砂筑堤技术探讨

[J]. 人民长江, 2015 (22): 70-74. (PENG Liangquan, LI Lingchang, HUANG Jianhe. Study on dike construction technology by bagged-sand in Yangtze River estuary [J]. Yangtze River, 2015 (22): 70-74. (in Chinese))
[3] 赵国权, 丁付革. 深水域抛填袋装砂筑堤工艺探索[J]. 中国水运 (下半月), 2013 (9): 214-217. (ZHAO Guoquan, DING Fuge. Explore on geotube embankment construction technology in deep water [J]. China Water Transport, 2013, (9): 214-217. (in Chinese))
[4] 李凯双, 胡殿才, 李顺利, 等. 袋装砂筑堤技术在滩海、浅海工程中的应用[J]. 石油工程建设, 2011 (1): 20-25. (LI Kaishuang, HU Diancai, LI Shunli, et al. Application of diking technique with sandbag in beach and shallow water engineering [J]. Petroleum Engineering Construction, 2011 (1): 20-25. (in Chinese))
[5] 刘汉龙, 赵明华. 地基处理研究进展[J]. 土木工程学报, 2016, 46 (1): 96-115. (LIU Hanlong, ZHAO Minghua. Review of ground improvement technical and its application in China [J]. China Civil Engineering Journal, 2016, 46 (1): 96-115. (in Chinese))
[6] 陈向东, 杨茂忠. 信息化施工及其应用[J]. 北京工业大学学报, 2001, 27 (1): 57-60. (CHEN Xiangdong, YANG Maozhong. Information construction and its application [J]. Journal of Beijing Polytechnic University, 2001, 27 (1): 57-60. (in Chinese))
[7] 范期锦, 高敏. 长江口深水航道治理工程的设计与施工[J]. 人民长江, 2009 (8): 25-30. (FAN Qijin, Gao Min. Improvement project of deep-draft channel of Yangtze

- Estuary [J]. Yangtze River, 2009 (8): 25-30. (in Chinese))
- [8] 刘宏伟,张剑. 袋装砂堤龙口合龙技术在围海造陆工程中的应用[J]. 交通科技,2011(增刊1):76-77. (LIU Hongwei, ZHANG Jian. Application of dike closure technology adopts geotubes in reclamation engineering [J]. Transportation Science and Technology, 2011 (Sup1):76-77. (in Chinese))
- [9] 林鸣,徐伟,杨玉泉,等. 深基坑工程信息化施工技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006: 13-17.
- [10] 王浩,覃卫民,汤华. 关于深基坑施工期监测现状的一些探讨[J]. 岩土工程学报,2006,28(增刊1):1789-1793. (WANG Hao, TAN Weimin, TANG Hua. Discussion on status of monitoring for deep pit excavation [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(Sup1):1789-1793. (in Chinese))
- [11] 齐传生. 隧道及地下工程超前地质预报技术[J]. 隧道建设,2005(3):9-11. (QI Chuansheng. Advance geology prediction technology of tunnel and underground engineering [J]. Tunnel Construction, 2005 (3):9-11. (in Chinese))
- [12] 杨敏,肖珂. 试论土木工程信息技术的发展趋势[J]. 同济大学学报(自然科学版),2001,29(11):1346-1351. (YANG Min, XIAO Ke. Development trend of civil engineering information technology [J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2001,29(11):1346-1351. (in Chinese))
- [13] 中国水利水电科学研究院. 第一届全国水利水电工程信息化技术研究与应用研讨会召开[EB/OL]. (2016-12-01) [2017-09-15]. <http://www.iwhr.com/zgskyww/IWHENEWS/webinfo/2016/11/1468229390962923.htm>.
- [14] 孟陆波,李天斌,李永林,等. 公路隧道信息化施工与计算机辅助决策系统研究[J]. 地球与环境,2005,33(增刊1):79-83. (MENG Lubo, LI Tianbin, LI Yonglin, et al. On the highway tunnel information construction and computer assistant decision-making system [J]. Earth and Environment, 2005, 33 (Sup1): 79-83. (in Chinese))
- [15] 曹国金,姜弘道. 信息化施工技术在地下工程中的应用[J]. 岩土力学,2002,23(6):795-799. (CAO Guojin, JIANG Hongdao. Application of information technique to construction of underground engineering [J]. Rock and Soil Mechanics, 2002,23(6):795-799. (in Chinese))
- [16] 滕志红. 深基坑变形监控与信息化施工研究[J]. 四川建材,2014(4):87-88. (TENG Zhihong. Research on monitoring and information construction of deep foundation pit deformation [J]. Sichuan Building Materials, 2014 (4):87-88. (in Chinese))
- [17] 刘欣欣,束一鸣,吴兴元,等. 河口海岸管袋裸坝信息化施工技术研究[J]. 岩土工程学报,2016,38(增刊1): 181-188. (LIU Xinxin, SHU Yiming, WU Xingyuan, et al. Information construction technology for flat geotube embankments in estuarial and coastal areas [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38 (Sup1): 181-188. (in Chinese))
- [18] 林刚,束一鸣,毛文龙. 扁平管袋裸坝基于波浪作用的稳定性公式推求[J]. 水利水电科技进步,2018,38(1):12-18. (LIN Gang, SHU Yiming, MAO Wenlong. Derivation of structural stability formulae for unshield flat geotubes under wave action [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2018,38(1):12-18. (in Chinese))
- [19] 刘欣欣,束一鸣,尹家春,等. 河口海岸扁平管袋裸坝稳定性计算方法研究[J]. 人民黄河,2016(7):114-118. (LIU Xinxin, SHU Yiming, YIN Jiachun, et al. Research on stability calculation method of flat geotube embankment [J]. Yellow River, 2016(7):114-118. (in Chinese))
- [20] 苏键,谭平,周福霖. 土木工程专家系统的应用和发展趋势[J]. 建筑科学与工程学报,2006,23(4):6-14. (SU Jian, TAN Ping, ZHOU Fulin. Application and development tendency of expert system in civil engineering [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006,23(4):6-14. (in Chinese))
- [21] 张钟洲,余之林. 大型土工织物袋围海造地设计实例[J]. 水运工程,2005(6):119-121. (ZHANG Zhongzhou, YU Zhilin. An example of reclamation by large-scale geotextile bags [J]. Port & Waterway Engineering, 2005(6):119-121. (in Chinese))
- [22] 蔡云鹤,范期锦. 长江口深水航道治理一、二期工程的设计与施工[J]. 水运工程,2009(1):117-127. (CAI Yunhe, FAN Qijin. Design and construction of the 1st and 2nd phase regulation projects of Yangtze Estuary deepwater channel [J]. Port & Waterway Engineering, 2009(1):117-127. (in Chinese))
- [23] 胡殿才,盛懿洁,邓丰昌,等. 粉土筑堤试验研究及工程应用[J]. 水运工程,2017(6):197-202. (HU Diancai, SHENG Yijie, DENG Fengchang, et al. Experimental study and engineering practice on using silt to build embankment [J]. Port & Waterway Engineering, 2017 (6):197-202. (in Chinese))
- [24] 朱远胜,靳向煜,方汉明. 充泥管袋技术的应用探讨[J]. 产业用纺织品,2000(6):36-38. (ZHU Yuansheng, JIN Xiangyu, FANG Hanming. Study of the application of geotextiles tube [J]. Technical Textiles, 2000(6):36-38. (in Chinese))
- [25] 刘斯宏,汪易森. 土工袋技术及其应用前景[J]. 水利学报,2007,38(增刊1):644-648. (LIU Sihong, WANG Yisen. Reinforcement mechanism of soilbags and its application [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(Sup1):644-648. (in Chinese))
- [26] 张文斌,谭家华. 土工布充砂袋的应用及其研究进展[J]. 海洋工程,2004(2):98-104. (ZHANG Wenbin, TAN Jiahua. Application of sand-filled geotextile tubes and the state of the art of their researches [J]. The Ocean Engineering, 2004(2):98-104. (in Chinese))

(收稿日期:2017-10-15 编辑:熊水斌)