

DOI: 10.11779/CJGE2016S1036

冰上沉排的结构型式与施工

钟 华¹, 张 滨¹, 张守杰¹, 于 宁², 苏安双¹

(1. 黑龙江省水利科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江省水利水电勘测设计研究院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 冰上沉排是一种冬期冰上施工技术, 不同类型的沉排有不同的适用条件和特点。通过资料整理与分析, 从冰上沉排的结构型式及特点和施工技术方面对不同类型冰上沉排的应用进行了总结, 说明了各类沉排的特点及适用条件, 并指出了需要解决的问题, 为该技术更好的推广应用提供了参考。

关键词: 冰上沉排; 结构型式; 施工技术; 应用

中图分类号: TV52

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2016)S1-0189-06

作者简介: 钟 华(1982-), 女, 黑龙江海林人, 硕士, 高级工程师, 主要从事工程冻土与生态水利学研究。E-mail: zhonghua131@126.com。

Structure and construction of sunken fascine mattress on ice

ZHONG Hua¹, ZHANG Bin¹, ZHANG Shou-jie¹, YU Ning², SU An-shuang¹

(1. Heilongjiang Provincial Hydraulic Research Institute, Harbin 150080, China; 2. Heilongjiang Provincial Water Conservancy and Hydroelectric Power Investigation, Design & Research Institute, Harbin 150080, China)

Abstract: The ice surface sunken fascine mattress is a construction technique on ice. Different ice surface sunken fascine mattresses have different characteristics and applicable conditions. The applications of this technique are summarized from structure, characteristics and construction through the data analysis. The characteristics and applicable conditions of different structures are analyzed. The problems to be solved are also put forward. It may provide reference for its popularization and application.

Key words: ice surface sunken fascine mattress; structural type; construction technique; application

0 引 言

水利工程边坡经常受到水流的侵蚀, 对边坡进行防护, 是对边坡水土流失有效的遏制。边坡防护工程施工通常是在夏季或枯水期进行。深季节冻土区由于特殊的地域条件, 气候寒冷, 冰封期长, 施工期短, 施工条件差, 河流边坡防护问题突出, 尤其是界河边坡, 岸线长, 不仅受到水流的侵蚀, 还会受到冰凌的撞击, 岸坡破坏严重, 造成了大面积的国土流失。冰上沉排是一种冬期冰上施工技术, 具有良好的整体性和柔性, 且施工质量好、施工速度快、投资省、防护效果好, 可在冬季施工。冰上沉排技术在黑龙江、松花江、嫩江、额尔古纳河、辽河、黄河均得到了良好的应用, 有效地解决了边坡防护工程冬季施工的难题。

1 不同沉排型式特点分析

冰上沉排通常用作护脚, 也可以用作护坡和护岸。冰上沉排与传统护坡技术的主要区别在于施工条件和施工方法的不同, 其主要优点就是可以在冬季施工。

1.1 冰上沉排的结构类型及特点

冰上沉排按结构型式不同可分为石笼沉排、土工织物软体沉排、铰链式混凝土沉排、柴排和柳排等。在实际应用中, 可单独采用一种类型的沉排, 也可几种类型的沉排结合使用。

1.1.1 石笼沉排

石笼沉排通常采用“无纺布+石笼+块石”的结构型式, 结构厚度通常为 40~80 cm。石笼主要包括钢筋石笼和格宾石笼, 其他还有耐特笼石笼、铅丝石笼、土工格栅石笼等。黑龙江呼玛镇护岸工程采用“钢筋石笼+土工织物”的结构, 燃料公司段护岸工程采用“格宾石笼+土工织物”的结构, 石笼内填充块石压载^[1-3]; 黑龙江抚远三角洲国土防护应急工程采用“耐特笼石笼+土工织物”的结构; 呼伦贝尔市额尔古纳河护岸工程采用“铅丝笼+土工织物”的结构, 铅丝

笼内填充块石压载^[4]；嫩江右岸省界堤防工程马蹄子险工护岸工程采用格栅石笼沉排进行险工治理。石笼沉排在上述工程中应用，取得了良好的防护效果（见图1）。



图1 石笼沉排照片

Fig. 1 Photo of gabion sunken fascine mattress

石笼沉排具有良好的整体性和柔性，施工质量好，施工速度快，还可在冬季施工。沉排的质量和使用寿命取决于构成沉排的石笼网的抗冲击和抗折断性能。在应用石笼沉排做护岸时，应严格控制石笼网的质量。尤其是在冰凌撞击严重的区域，不宜采用铅丝石笼沉排，必要时应采取相应的防护措施或改用其它结构型式。石笼沉排施工需要大量质量合格的石料，实际应用中宜结合当地实际情况和工程条件，综合考虑后确定沉排的结构型式。

1.1.2 土工织物软体沉排

土工织物软体沉排通常采用“土工织物+填充物/压载体”的结构型式，结构厚度通常为20~40 cm。土工织物可采用高强机织反滤布、无纺布、聚丙烯编织布、涤纶机织布等。土工织物软体沉排压载根据沉排结构的不同，压载方式较多，如黑龙江呼玛镇上下游护岸工程采用“高强机织反滤布”的结构，反滤布内填充砂进行压载^[5]；松花江干流右岸三家子、新开口、卡脖子护岸工程采用“单面编织布+加筋带+栅块石”的结构，砂袋压载^[6]；嫩江主流右岸白沙滩险工护岸工程采用“涤纶机织布+无纺布双层排布”的结构，砂土袋混合压载^[7]；辽河中游右岸辽河兰家险工护岸工程采用“编织布+聚乙烯绳”的结构，土枕压载^[8]。

土工织物软体沉排具有良好的整体性和柔性。采用土工织物软体沉排进行护岸护底，不仅可缩短工期，还可保证工程质量。软体沉排压载方式多样，不只局限于块石，砂、土袋、土枕等均可作为压载使用，这不仅对节约工程投资非常有利，还可解决由于块石材质差及缺少块石的困扰。相对于石笼沉排，土工织物

软体沉排可节约投资30%以上^[5]。

1.1.3 铰链式混凝土沉排

铰链式混凝土沉排采用“铰链式混凝土砌块+土工织物”的结构型式，结构厚度取决于所用砌块的尺寸。哈尔滨松花江堤防护岸工程采用了“铰链式混凝土砌块+土工织物”的结构，铰链式混凝土砌块压载，防护效果良好（见图2）。



图2 铰链式混凝土沉排照片

Fig. 2 Photo of concrete hinged sunken fascine mattress

铰链式混凝土沉排亦具有良好的整体性和柔性。且铰链式混凝土砌块为预制砼结构，施工时现场组装方便，施工方便快捷，在石料不充分的地区尤为适宜。

1.2 冰上沉排的结构设计

1.2.1 石笼沉排的结构设计

石笼沉排护坡、护脚厚度按《堤防设计规范》（GB50286—2013）中的附录D3公式进行计算。

(1) 沉排的长度

沉排长度是指自岸边排首至伸入河中排尾的长度。排体的长度由枯水位或施工水位以下伸入河中的长度和枯水位或施工水位以上与护坡连接的长度（包括排首锚固长度）两部分组成。水下部分的长度按以下情况计算^[9]：

a) 主流靠近岸边时，按深泓线以上的坡面长度计算，计算公式如下：

$$L = h\sqrt{1+m^2} \quad (1)$$

式中 L 为边坡长度， m ； h 为深泓线以上边坡高度， m ； m 为边坡坡比。

b) 主流距岸边较远时，沉排长度包括两部分，一部分为岸坡边坡长度，一部分为坡脚部分，计算公式如下：

$$L = h\sqrt{1+m^2} + 2.24\Delta h \quad (2)$$

式中 h 为边坡高度，自坡脚至边坡顶部的垂直高度， m ； Δh 为沉排前冲刷深度， m 。

c) 沉排底部设护脚时，沉排长度按护脚以上的坡面长度计算。

(2) 沉排的宽度

沉排宽度是指沿岸坡顺水流方向的宽度。沉排宽度应根据沉排规模、施工技术要求, 以及岸坡实际长度进行划分, 为保证沉排的整体性, 沉排宽度不宜小于 20 m。

(3) 沉排的厚度

沉排厚度应考虑 2 个因素: ①排体运行期受水流和风浪作用, 应满足稳定要求; ②压载体重量应满足排体沉放要求, 需根据冰厚确定排体合理厚度, 使之能够下沉到设计位置, 不发生随冰漂移, 又不至因排体太重、冰层承载力不足而导致施工安全事故。东北地区沉排厚度一般为 0.3~0.8 cm, 嫩江下游、第二松花江及其以南地区取小值, 黑龙江干流及嫩江上游、松花江下游取大值^[10]。

(4) 沉排的稳定计算

排体稳定计算按《堤防设计规范》(GB50286—2013) 中的附录 D1 抗滑稳定计算中的有关规定进行计算。

1.2.2 土工织物软体沉排的结构设计

(1) 沉排的长度

a) 主流靠近岸边时, 按深泓线以上的坡面长度计算。

b) 河床不固定时, 按冲刷坑底以上的坡面长度计算, 同时, 应满足河床发生最大冲刷时, 排体下沉后仍保持 1:2.5 的坡度。计算公式^[9]如下:

$$L = L_1 + \alpha_1 \alpha_2 L_2 + L_3, \quad (3)$$

式中 L 为排体长度, m; L_1 为枯水位以上的连接长度和锚固长度之和, m; L_2 为枯水位以下的边坡长度, m; L_3 为考虑排前冲刷的安全长度, 可取 3 m; H 为枯水位时深泓线或冲刷坑底处的水深, m; α_1 为褶皱系数, 河床较平整时取 1.1, 河床不规则时取 1.2; α_2 为冲斜系数, 水深大于 2 m, 且流速大于 1 m/s 时, 取 1.3。

(2) 锚固力

在冰上施工的情况下, 排体下沉过程中排体悬浮于水中, 此时将出现下拉力, 在排体下沉接近坡面时拉力最大。在不计排下冰块局部浮托力的情况下, 排首锚固力应大于按下式算得的下滑力^[9]:

$$T > G \sin \alpha, \quad (4)$$

式中 T 为排体锚固力, kN; G 为排体重力, kN; α 为排体的坡角, 可取岸坡水平夹角, ($^\circ$)。

2 冰上沉排的材料

冰上沉排主要在寒冷地区应用, 由于特殊的环境条件, 不仅受到水流冲蚀影响, 还会受到冻融作用和冰凌撞击作用的影响。冰上沉排结构用到的材料主要

有土工织物、石笼(钢筋石笼、格宾石笼、铅丝石笼等)、铰链式混凝土块、填充石料等, 下面分别介绍它们的选用要求。

2.1 土工织物

沉排用反滤布和包裹物宜选用长丝针织无纺布, 规格选用 300 g/m² 以上。土工织物的选择应满足强度、反滤、透水等要求。

(1) 强度要求: 排体沉放过程中, 排体沉降速度不均匀会产生拉力, 且水下地形的起伏变化也会产生拉力。因此, 土工织物极限抗拉强度不宜小于 8 kN/m。

(2) 反滤要求: 排体运行过程中, 应具有反滤功能, 土工织物的规格应根据被保护土的粒径确定。

(3) 透水要求: 土工织物的渗透系数一般大于 1×10^{-2} cm/s。

2.2 石笼网格材料

钢筋石笼宜采用直径为 8 mm、12 mm 和 16 mm 的钢筋进行制作, 钢筋宜采用高强度的 HRB335。

格宾石笼、铅丝石笼网格宜采用 2.0~6.5 mm 优质低碳钢丝^[9-11], 钢丝抗拉强度不小于 38 kg/m²。钢丝宜进行热镀锌、涂层或包塑, 镀层重量不小于 245 g/m²。

2.3 铰链式混凝土沉排材料

铰链式混凝土连锁块主要有开孔式和闭孔式两种类型。该材料按照生态混凝土设计, 开孔式结构可使其在强度不变的情况下更有利于水生植物生长和水生动物繁衍, 生态性和景观性良好。砌块厚度一般为 10~50 cm^[12]。砌块的强度、重度、抗冻性等指标均应满足设计要求, 其抗冻指标应达到 F300 以上。

2.4 填充石料

(1) 填充石料必须是坚固密实、耐风化好的石料或预制混凝土块。石料宜采用石质坚硬的石灰岩、花岗岩等^[13]。

(2) 填充石料的粒径应符合设计要求。钢筋石笼填充石料粒径一般为 12~30 cm, 铅丝石笼和格宾石笼填充石料粒径为 7.5~15 cm, 镀锌铁线石笼填充石料粒径为 20~40 cm^[13]。格栅石笼填充石料宜选用级配良好的卵石或碎石, 不均匀系数应不小于 5, 石料粒径控制在 8~25 cm。

3 冰上沉排的施工技术

冰上沉排施工的主要程序为: 冰面处理—铺设土工布—排体制作—排体的连接与锚固—排体压载—沉排。冰上沉排施工时间不宜过长, 在石笼压载情况下, 施工时间宜控制在 10 d 以内, 以防止冰层在长期重载下突然开裂下沉, 发生危险^[14]。当石笼沉排厚度小于

40 cm, 冰层初期厚度不宜小于 60 cm, 施工期最高气温不高于 -5°C 。若石笼沉排厚度大于 50 cm, 冰层初期厚度不宜小于 70 cm^[10]。

3.1 冰面处理

沉排施工前, 首先要进行冰面处理。冰面处理既要清除冰层表面积雪、冰块和尖刺物等不利于施工的条件, 也要对冰层厚度和冰面状态进行全面检查, 以保证冬季江面机械运输材料和人员的安全。当冰层较薄, 不能满足施工条件时, 应采取相应措施增加冰层厚度, 提高承载力, 通常采用的方法是抽水增冰和冰面加筋。抽水增冰是通过抽水浇注冰面或分期洒水的方式增加冰层厚度, 使其满足承载力要求。抽水浇注冰面应均匀, 为保证浇筑后冰面结合紧密, 一次浇注厚度不易过大, 待浇注的冰层冻实后方可进行下一层浇注, 直到冰层厚度达到 80 cm 为止。冰面加筋则是通过在冰面上铺柳条或圆木等材料再洒水冻结, 以达到增加冰层厚度, 提高承载力的目的^[7,9]。

3.2 铺设土工布

铺设土工布前, 应清除地面一切可能损伤无纺布的带尖棱硬物, 填平坑凹, 平整地面。拟铺设的无纺布的质量应满足设计要求, 有扯裂、穿洞、老化等情况均不得使用^[4]。无纺布应按放样位置铺设, 铺设时, 宜自下游侧开始依次向上游侧进行。无纺布长边宜顺河铺设, 力求平顺, 松紧适度, 不得绷拉过紧, 排布松弛度不小于 10%, 避免折叠、打皱等情况发生^[4,7,8]。为使沉排与坡面接触良好, 应使土工布尽量平整, 特别是当存在陡坎或过大的坑洼时, 应采取抛填土枕(袋)或不带尖刺的碎石进行整平。土工织物铺设后应在上游侧设锚固桩绑紧, 以防沉排下沉时排体错动移位^[9]。

3.3 排体制作

(1) 钢筋石笼制作

钢筋石笼为长方体, 由底板、隔板、侧板和盖板组成。石笼单个外形尺寸宜控制在 $2\text{ m}\times 1\text{ m}$ (长 \times 宽) 以内, 钢筋网格的尺寸不宜大于 $12\text{ cm}\times 12\text{ cm}$ 的方形, 钢筋连接型式宜采用焊接。

(2) 铅丝石笼(格宾石笼)制作

格宾石笼为长方体, 由底板、隔板、侧板和盖板组成。单个外形尺寸宜控制在 $2\text{ m}\times 1\text{ m}$ 以内, 网格为双绞合六边形金属网, 网格尺寸可为 $6\text{ cm}\times 8\text{ cm}$ 或 $8\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ 。隔板与底板和侧板成 90° 相交后绑扎连接, 四边每间隔 25 cm 绑扎一道, 交角处各绑扎一道, 绑扎线必须是与网线同材质的钢丝, 每道绑扎必须是双股线并绞紧。相邻的格宾结构单元按单圈—双圈—单圈点扎绞合方式, 用绞合钢丝绞合连接在一起^[9,11]。

(3) 土工格栅石笼制作

土工格栅石笼为长方体或正方体, 单个框格外形

尺寸为 $2\text{ m}\times 1\text{ m}$ 或 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$, 格栅搭接长度应不小于 50 cm, 格栅绑扎采用高密度聚丙烯绳。

(4) 软体沉排的制作

排布可在工厂或现场制作, 应采用尼龙线缝合方法连接, 现场缝合宜用手提式缝合机, 缝合强度不宜低于母体强度 80%。布排时, 接缝应在受力小的方向, 并按要求间距布设纵横网绳, 再铺上事先制好的排片, 或就地缝排布, 并在结点处用尼龙绳将绳网与排布缠绕在一起。

3.4 排体的连接与锚固

3.4.1 沉排的连接

石笼沉排下的土工布之间的连接宜采用搭接或缝接。若采用搭接连接时, 搭接宽度应不小于 50 cm; 若采用缝连接, 宜用合股的聚乙烯撕裂膜^[15]或尼龙线^[9]缝合, 缝接重叠宽度不小于 15 cm。相邻石笼之间的连接宜采用 8 号铁线或与构成石笼网线相同材质的材料, 每间隔 15 cm 以单圈—双圈—单圈的绞合方式进行连接^[11]。排体之间搭接设计应以上游排覆盖下游排, 搭接长度不宜小于 1.5 m。

软体沉排排体采用尼龙绳连接。铺排前, 可先在排布下放置尼龙绳网, 再用尼龙绳或聚乙烯绳将排布与底层尼龙绳网连接在一起。排布间采用缝接连接, 在垂直水流方向可每隔 2 m 缝一道线, 排头缝 $\Phi 5\text{ cm}$ 圆套筒, 纵向每隔 1 m 缝一道线, 缝合处重叠 10 cm^[5]。

3.4.2 沉排的锚固

排体沉放前, 排首应牢固地固定在岸坡上, 以防排体沉放时沿冰层滑入水中, 改变排体位置, 与设计不符, 达不到预期效果。排体锚固可采用锚固槽法或打桩锚固。采用锚固槽法时, 锚固槽可设在枯水位处、排首端或排尾与护坡结合处。锚固槽内一般为石笼或砌石, 锚固槽底可根据工程条件考虑是否设置锚固筋^[8,16]。锚固槽深度一般不小于 50 cm。采用打桩锚固时, 应在排首端间隔 2 m 打锚固桩, 桩长 3 m, 用锚固绳或 8 号铁线将排体与锚固桩连接牢固, 防止沉放时排体下移或在冰块撞击下发生排体散花, 影响沉排质量。

软体排锚固时, 锚固桩设在护底与上部护坡的分界线处, 将用作上部护坡垫层的土工织物下端锚入锚固槽中, 锚入深度不应小于 30 cm, 也可采取垫层土工织物与排布搭接方式, 搭接宽度不宜小于 50 cm, 二者应贴合紧密, 最好加以缝合。上部护坡面层与软体排压载体之间应连接平顺, 不得凹凸不平^[9]。

3.5 排体的压载

石笼沉排压载通常在石笼内装填块石。装填时, 从坡底往坡顶方向逐层逐格均匀地装填, 严禁单个网格填充。控制每层投料厚度在 30 cm 以下, 避免由于没装填满露出隔板而造成隔板弯曲以及边板弯曲变

形。装填的块石应大小掺和均匀使用, 填塞好缝隙。小粒径块石不易放置在石笼边缘位置, 且填充石料顶面宜略高出石笼网格, 通常超高为 2.5 cm。

土工织物软体沉排压载根据沉排结构的不同, 压载方式较多, 主要有砂、混凝土、土枕、土袋、块石、石笼及混合压载等。为防止沉排过程中发生翻排或卷排事故, 排首和两侧应适当加大压载^[14]。压载时, 应根据施工区水深和冰厚及承载力情况, 确定是否进行分期压载。对于浅水区水深不大于冰厚的 1.5 倍时, 可采用一次压载, 在深水区水深较大时, 可采用分期压载, 一期压载重量可取设计重量的 50%^[7]。

3.6 排体的沉放

冰上沉排的沉放方式主要有两种, 即自然沉排和强迫沉排。自然沉排主要在春融期江河解冻时进行, 排体随冰层融化逐步下沉。该方法对气候要求较严格, 在形成冰排时需对排体沉放进行调整, 且此法宜在流速不大于 0.6 m/s, 水深在 3 m 以内的情况下采用。当水深大于 3 m, 排体面积很大时, 宜采用强迫沉排法。强迫沉排法是在冬季排体制好后, 在其上下游两侧开冰槽, 排尾前端约 0.5 m 处沿宽度方向每隔 2 m 开冰眼进行沉排。冰槽和冰眼均不得打穿, 根据事先测得的当地冰层厚度, 留 10~15 cm。待所有冰槽和冰眼开好后, 同时打穿。此时, 河水随之溢出, 由于水的浮托力迅速减小, 加之水温的作用, 冰层在排体压重作用下很快断裂, 排体能基本均匀地迅速下沉^[9, 13]。冰上沉排在深水位置, 特别是在深水中单块排体面积很大的情况下, 宜采取强迫沉排法, 以便控制排体均匀下沉, 加快沉排速度^[10]。

4 结 语

本文通过资料整理与分析, 从结构型式和施工技术方面对不同类型冰上沉排的应用进行总结, 得出了以下结论和建议:

(1) 冰上沉排施工是一种冬期冰上施工技术。冰上沉排具有良好的整体性和柔性, 且施工质量好、施工速度快、投资省、防护效果好, 可在冬季施工。

(2) 石笼沉排适宜在石料丰富的地区使用, 而在石料缺乏的地区则宜选用土工织物软体沉排或铰链式混凝土沉排。在冰凌撞击严重的区域, 不宜采用铅丝石笼沉排。在实际应用中应结合当地条件和工程实际情况综合考虑后确定。

(3) 沉排施工时, 应严格控制冰面质量, 并在保证施工质量的前提下, 严格控制施工进度, 确保施工安全。

(4) 冰上沉排已应用了很多年, 取得了良好的防

护效果, 积累了丰富的施工经验, 但在冰上沉排的设计、施工、施工过程监测、施工质量验收与评价等方面尚缺乏明确有效的标准要求和依据, 这些问题可作为今后研究的重点。

参考文献:

- [1] 王新宇, 张海洁. 浅议三种沉排在护岸工程中的应用[J]. 水利科技与经济, 2003, 9(2): 126 - 127. (WANG Xin-yu, ZHANG Hai-jie. Brief discussion on the application of three kinds of sinking grafts in protection dike engineering[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2003, 9(2): 126 - 127. (in Chinese))
- [2] 卢延武. 基于格宾石笼沉排的冬季施工[J]. 黑龙江水利科技, 2012, 40(12): 187 - 188. (LU Yan-wu. Based on gabion sinking mattress construction in winter[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2012, 40(12): 187 - 188. (in Chinese))
- [3] 齐海林, 张晓鲁, 郭友文. 呼玛燃料公司护岸水毁修复工程沉排及护坡施工方法[J]. 黑龙江水利科技, 2013, 41(8): 281 - 282. (QI Hai-lin, ZHANG Xiao-lu, GUO You-wen. The sinking mattress and revetment construction method of water damage restoration project of Huma fuel company[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2013, 41(8): 281 - 282. (in Chinese))
- [4] 布林巴雅尔. 铅丝石笼沉排在额尔古纳河护岸工程中的应用[J]. 内蒙古水利, 2008(5): 27 - 28. (BRIN baryal. Lead wire gabion sinking mattress in the application of the Erguna river revetment engineering[J]. Inner Mongolia Water Resources, 2008(5): 27 - 28. (in Chinese))
- [5] 马兴涛, 王蔚斌, 赵庆吉. 关于软体沉排在国际河流护岸工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2000, 28(4): 9 - 10. (MA Xing-tao, WANG Wei-bin, ZHAO Qing-ji. The soft sinking mattress in the application of international river revetment engineering[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2000, 28(4): 9 - 10. (in Chinese))
- [6] 权伍明, 陈 实, 张景峰, 等. 浅谈冰上软体沉排的设计与施工[C]// 新世纪 新机遇 新挑战——知识创新和高新技术产业发展(下册)(中国科协 2001 年学术年会). 2001: 872 - 873. (QUAN Wu-ming, CHEN Shi, ZHANG Jing-feng, et al. Discussion on design and construction of soft mattress on the ice[C]// New Opportunities and New Challenges in the New Century—Knowledge, Innovation and High-tech Industry Development (ii) (China Association for Science

- and Technology Academic Conference in 2001). 2001: 872 - 873. (in Chinese))
- [7] 于生清, 彭立前, 张淑清. 白沙滩冰上软体沉排整体沉放施工技术[J]. 东北水利水电, 2006, **24**(8): 10 - 11. (YU Sheng-qing, PENG Li-qian, ZHANG Shu-qing. Construction of whole soft sunken fascine mattress falling on ice in Baishatan[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2006, **24**(8): 10 - 11. (in Chinese))
- [8] 王殿武. 土工织物在辽河护岸工程中的应用[J]. 水利水电科技进展, 1999, **19**(6): 34 - 36. (WANG Dian-wu. Application of geotexture technique to bank protection project on Liaohe river[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 1999, **19**(6): 34 - 36. (in Chinese))
- [9] 黑龙江省水利勘测设计研究院. 边坡防护结构冰上施工技术与施工技术指南(征求意见稿)[R]. 2015. (Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute of Heilongjiang Province. Technical guide for design and construction of slope protection construction on the ice (exposure draft) [R]. 2015. (in Chinese))
- [10] 郭海. 冰上石笼沉排施工在工程中的应用[J]. 东北水利水电, 2015, **33**(7): 11 - 14. (GUO Hai. Application of gabion sinking mattress technique to project on the ice[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2015, **33**(7): 11 - 14. (in Chinese))
- [11] 黑龙江省质量技术监督局. DB23/T 1501—2013 水利堤(岸)坡防护工程格宾与雷诺护垫施工技术规范[S]. 黑龙江省科学技术出版社, 2013. (Quality and Technology Supervision Bureau of Heilongjiang Province. DB23/T 1501—2013 The gabion and renault pad construction technological specification of bank and slope protection engineering[S]. Heilongjiang Science & Technology Press, 2013. (in Chinese))
- [12] 张玉清, 宓永宁, 徐峰, 等. 铰链式混凝土砌块在北方地区的应用[J]. 人民黄河, 2008, **30**(8): 88 - 89. (ZHANG Yu-qing, MI Yong-ning, XU Feng, et al. Application of hinge concrete block revetment in the northern region[J]. Yellow River, 2008, **30**(8): 88 - 89. (in Chinese))
- [13] 邹红辉, 姜景峰, 杨巨州. 冰上石笼沉排在苏家护岸上的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2000, **28**(2): 59 - 60. (ZOU Hong-ye, JIANG Jing-feng, YANG Ju-zhou. Application of gabion sinking mattress technique to Sujia revetment project on the ice[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2000, **28**(2): 59 - 60. (in Chinese))
- [14] 张洪涛. 三江平原地区沉排式护岸的应用及施工方法[J]. 黑龙江水利科技, 2005, **33**(5): 54 - 54. (ZHANG Hong-tao. Application of sinking mattress and construction method of revetment in Sanjiang plain area[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2005, **33**(5): 54 - 54. (in Chinese))
- [15] 纪显庆. 软体排冰面沉排施工[J]. 东北水利水电, 2002, **20**(210): 21 - 21. (JI Xian-qing. Construction of sunken fascine on ice surface[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2002, **20**(1): 21 - 21. (in Chinese))
- [16] 朱菊明. 土工织物软体沉排护脚工程的设计与施工[J]. 东北水利水电, 1992, **10**(12): 10 - 13. (ZHU Ju-ming. Design and construction for geotechnical fabric soft sinking mattress to banket engineering[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 1992, **10**(12): 10 - 13. (in Chinese))

(本文责编 明经平)