

江河堤防病险处理和水毁工程修

复与重建技术的开发及推广应用

基救灾-015-5 (2)



崩岸治理的国内外概况

中国水利水电科学研究院

二零零零年十一月二十日

编号：基救灾-015-5(2)

项目名称：江河堤防病险处理和水毁工程修复与重建
技术的开发及推广应用

子项目名称：江新洲洲头北侧崩岸治理试验工程
模袋混凝土的研究与应用

承担单位：中国水利水电科学研究院

协作单位：江西省水利厅科技处

子项目负责人：黄国兴

主要参加人员：陈改新 纪国晋

报告编写人： 纪国晋

报 告 审 查： 窦铁生

报 告 审 核： 鲁一晖

报 告 审 批： 孙玉生

目 录

一、 前言

二、 崩岸的形式及成因

三、 常见崩岸治理方法

四、 结束语

参考文献

崩岸治理的国内外概况

摘要：本文是对国内外崩岸治理的概况，内容包括崩岸的形式、崩岸产生的原因、国内外常见的崩岸治理方法等。

一、前言

崩岸是指河岸的大体积崩坍现象。河岸在任何时候都有可能发生崩坍，但绝大多数的崩坍发生在大雨或高水位期间及其后不久。发生崩岸的河岸常伴有强烈的地表冲刷或坡脚淘刷。崩岸的危害极大，崩坍使堤外滩地宽度变窄，反复崩塌将使大堤的基础直接遭受水流冲刷，导致堤岸的不稳。在堤外无滩的河段发生崩岸使沿岸大片土地、建筑物落入江河之中，经济损失严重。另外，崩岸有可能使下游河势朝着不利的方向发展。

我国河流两岸的滩地大都是天然泥沙经多年沉积而成，不耐冲刷，大部分堤防也是经历年不断培修加高而成，随着人类活动和自然界的破坏，这些滩地和堤防均存在各种险情和隐患，因此各流域每年都有崩岸险情发生。仅1998年大洪水期间，长江中下游共发生崩岸险情327处^[1]。近年来，长江干流两岸不断发生崩岸，崩岸次数和规模呈上升趋势。如江西省九江市彭泽县马湖段1973年、1988年两次崩岸使500米堤线内移数十米，到1996年1月3日和1月8日又连续发生两次崩岸，两次崩岸长约1200米^[2]。而长江干流在安徽省境内1995年至1996年期间共发生中等以上崩岸40余处，其中强崩岸有10多处^[3]。由以上数字我们可以看出，长江干流崩岸情况十分严重，治理工作形势严峻，刻不容缓。

崩岸治理的方法很多，我国劳动人民在同洪水作斗争的过程中积累了大量的经验，总结了许多行之有效的治理方法，如“护堤必护岸”、“护岸先护脚”等，采用抛石护脚、石笼、柴排、柴枕护脚等方法治理崩岸。近年来，随着现代施工技术和新材料在堤防防护工程中的应用，

崩岸治理的方法和形式更加多样化。本文仅对国内外崩岸治理方法作一概述，内容包括崩岸的形式、原因分析、治理方案介绍及施工等。

二、崩岸的形式及成因

（一）、崩岸的形式

崩岸是水流与河岸相互作用的结果，其形式随崩岸部位、滩槽高差、主流离岸远近和河岸土质组成等变化而不同，常见的崩岸形式有“窝崩”和“片崩”两种。也有学者将崩岸的形式细分为“弧形铄崩”、“条形倒崩”、“浪崩”、“地下水滑崩”等四类^[4]。

1、弧形铄崩

一般发生在沙层较低，粘土覆盖层较厚，水流冲刷严重的“常年贴流区”，这一区域内，崩岸强度最大。当岸脚受水流淘刷，沙层被淘空后，上面的覆盖层土体失去平衡，平面和横向呈弧形的阶梯式滑铄，先是堤坝顶部或边坡上出现弧形裂缝，然后整块土体分层向下滑铄，由小到大，最后形成巨大的窝崩。如图1所示。

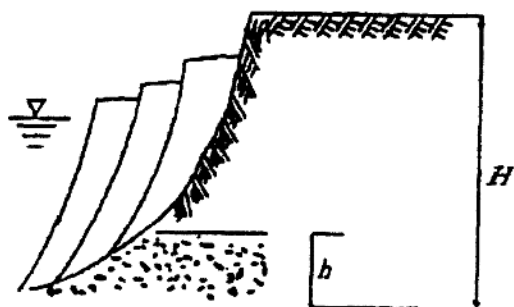


图1弧形铄崩

2、条形倒崩

多出现在沙层较高，粘土覆盖层较薄，土质松散，主流近岸的河段。当水流将沙层淘空

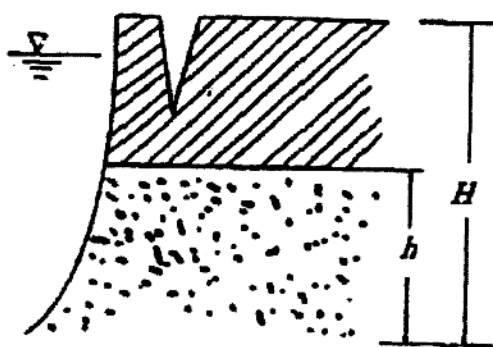


图2 条形倒崩

后，上层失去支撑绕某一点倒入水中或沿裂缝切面下坠入水。崩塌后，岸壁陡立，崩塌土体呈条形，如图 2所示。

3、风浪洗崩

当堤岸受风浪的冲击淘刷或受波谷负压抽吸作用，轻则把堤岸冲成陡坎，使堤岸发生浪崩险情，重则使堤岸遭到严重破坏，甚至溃口成灾。

4、地下水滑崩

汛期河水水位高于地下水，河水补给地下水，因而对崩岸起抑制作用。枯水期地下水回渗入河，或汛期水位陡涨急落以及水库大量泄水时，堤岸浸水饱和，抗剪强度降低而发生崩塌（俗称落水险）。

（二）、崩岸的原因分析

崩岸的成因比较复杂，但总体上讲，地质因素、河床边界条件及水流是造成崩岸的主要原因。对不同的河段，由于河床组成、河岸边界条件等的不同，各个河段崩岸的原因又有所区别，即在某一河段，水流因素是造成崩岸的主要原因，其他因素是次要的，而对另一河段，水流因素可能是次要的。因此，科学地分析崩岸产生的原因是崩岸治理工作的首要问题，它有利于设计者提出经济、合理和有效的治理方案。产生崩岸的原因主要有以下几点^{[2][3][5]}：

1、地质因素

不良的地质条件是造成崩岸的主要原因之一。河流发生崩岸地区地段的土质一般都是粘壤土和粉细沙为主的天然沉积物，这类土质的抗剪强度较低，不耐冲刷，在水流和水位突变的作用下常发生崩塌。1973年和1988年连续发生崩岸的江西省九江市彭泽县马湖段的地质结构为上部15-20米是黄褐色和深灰色的粉质粘土，下部为粉细沙，底部夹小砾石。长江安徽段安定街、江坝等崩岸段的地质钻探资料表明，崩岸区江岸土

质一般都是二元结构，上层是细颗粒的粘、壤土层，下层为较粗颗粒的细沙层。这种抗冲能力差的土质在水流的淘刷下，江岸不断后退，水下坡度愈来愈陡，最终导致失稳。长江多处崩岸实例表明，当抗冲刷能力差的松软亚粘土、粉细沙组成的岸坡水下坡度陡于1: 3时即可发生失稳。美国密西西比河流域具有相似地质结构的地区也经常发生崩岸和滑坡[6]。

2、水流因素

水流因素是造成崩岸的重要外在因素，水流对堤岸的作用主要有以下几个方面：

(1) 主流顶冲

主流顶冲常发生在河道分叉、弯曲道处。汛期水大流急，主流线趋直，对弯道顶点下游处和分叉洲头江岸顶冲严重。当江岸满足可冲刷条件时，就会发生淘刷，使岸坡变陡从而失稳发生崩岸。主流顶冲能力越大，主流线与江岸交角越大，则江岸崩塌越强烈。如江西省九江江新洲洲头北岸受主流顶冲和弯道环流的冲刷，每年都发生崩岸现象；安徽省安庆河段马窝、官州河段官洲尾下等在1995年和1996年连续大水期间，因主流顶冲原因共造成11处崩岸。

(2) 弯道环流

水流在弯道处流态复杂，以弯道环流最常见。弯道水流在惯性离心力的作用下，产生垂直于河流轴线的横比降，形成面流指向凹岸，底流指向凸岸的弯道环流。弯道环流运行的结果，使弯道平面上横向输沙能力加强，而泥沙梯度分布在垂直方向为“上稀下浓”，为满足水沙平衡需要，凹岸不断冲刷崩退，凸岸相应淤积。如长江安徽省段黑沙洲河段左汊河道因弯道环流日益弯曲而崩岸逐渐加剧。

(3) 高低水位突变

在汛期，水位随洪峰的陡涨陡落变化较大，而江岸土体处于水饱和状态，抗剪强度低，无法适应高低水位突变，极易发生崩岸。在枯水期，水位降落迅速，岸坡内未消散的孔隙水压力形成触发滑坡的渗透力，而平衡岸坡饱和土体的侧向水压力随水位的降落迅速减小，江岸土体难以支撑自重和抗拒侧向土压力产生的剪应力，使岸坡土体发生剪切变形，从而形成崩塌。

3、土力学因素

土壤强度与孔隙水压力有关，当土壤孔隙中的孔隙水压力增加时，就会减小土壤颗粒与颗粒之间的接触应力（有效应力），从而降低了土壤的强度（通常指抗剪强度）。反之，若土壤部分干燥而降低了孔隙水压力，则会增大土壤颗粒间的接触应力，使其抗剪强度增加。在某些情况下，如暴雨或堤后地下水位较高时，土壤吸水饱和，在不断或瞬时渗流条件下，孔隙水压力增大，使有效应力减小到零，完全失去其抗剪强度，当承受瞬时冲击荷载时，土壤即发生液化^{[7][8]}。长江沿岸许多堤段的土体在汛期和暴雨之后处于饱和状态，在水位波动、船行波浪等引起的瞬时冲击荷载作用下很容易发生液化，当江岸土体液化达到一定程度时，江岸土体平衡状态破坏从而发生整体塌落。

4、人为因素

人为因素如堤后取土成塘、河道非法采沙、船行波浪等虽然不是造成崩岸的主要原因，但这些因素加剧了崩岸的强度和频率。

三、常见崩岸治理方法

由于崩岸的机理比较复杂，治理工程涉及很多因素，如水文、气象、地质、河势演变等，还要符合整个流域的总体防洪规划和治理工程规划，遵循水流演变规律，统筹兼顾上下游、左右岸的利益。所以，治理方案的设计原则应因地制宜，就地取材。对不同的河段，根据崩岸成因、现

场施工条件、堤防运行要求及综合经济效益等因素综合考虑以选用最优化、经济和合理的治理措施。目前，崩岸治理的方法和形式很多，如采用抛石防护、各种沉排护底等平顺式护岸措施或采用木桩、钢板桩等垂直护岸方法，在河床宽阔、水流较缓的地方还可以修建丁坝、顺坝等间断性护岸方法。近年来，随着土工合成材料在堤防除险加固工程中的应用，各种复合式护岸方法不断被采用和推广。本文是对目前常用的崩岸治理方法的一个综述，内容包括水下护脚工程 and 水上护坡工程两部分。

1、护脚工程

护脚工程也称护底工程，是崩岸治理工程的基础和重点。护脚工程常年位于水下，经常受水流的冲击和淘刷，需要适应水下岸坡和河床的变化，所以需采用具有柔性结构的防护型式，常采用的有抛石、石笼或石笼沉排、各种土工织物管袋、不同型式的沉排等^{[9][10][11][12][13][14][15]}。

(1) 抛石护脚

抛石护脚是平顺式护岸水下防护工程最主要的一种方法。抛石具有就地取材、施工简单、可以分期施工等优点，但也存在抛石方量大、抛投随机性高、施工质量难于控制等缺点。抛石的石质要求坚硬，以石灰岩、花岗岩为好，对石料中的细颗粒含量要严格控制。抛石是一种松散的护层，变形性较大，具有一定的自愈能力，破坏后维修容易，同时它也是一个不稳定的结构，当抛石内水流流速较大时，垫层和基土被冲刷将导致整个结构失稳。抛石防护方案的设计包括抛石稳定性分析、抛石防护范围的确定、抛石粒径和级配的选择、抛石厚度的选择、抛石反滤层的设计等。

抛石护脚部分的坡度一般应缓于1: 1.5以利于抛石体的稳定，防护范围在深泓逼岸处宜抛至深泓位置，并满足河床的最大冲刷深度要求。抛石粒径和级配的选择与水深、流速、风浪有关，即要石头足够大不致

被水流移动，又要使通过抛石内空隙流动的水流流速足够低，不致冲刷垫层和基土。抛石厚度应不小于抛石粒径的2倍，水深流急处宜为3-4倍。抛石区滤层的铺设可以保护抛石层及其下面的基土避免冲刷，但用天然石料做抛石反滤层施工难度大，易被水流带走。随着土工布的推广应用，用其做水下抛石反滤层不仅可以使抛石治理崩岸的效果大大提高，而且可减少许多维修费用。目前，水下铺设土工布反滤层的施工工艺和施工机械还不成熟，有待于进一步的研究。国外水下铺设土工布反滤层一般采用以下三种方法：一是沉入法，将土工布用船运至抛投点后在其上压载重物沉入水中；二是直接铺设法，将卷好的土工布在水下用船拉展，由潜水员在水下用石块或沙袋压在其上；三是直接用趸船将卷好的土工布在水下铺设，这种方法需相应的设备，适用于较大的工程及反滤要求较高的情况（见图3.1-3.3）。

抛石护岸工程有许多成功的工程实例和经验，设计和施工时可以按《堤防工程设计规范》的规定，参照已有的工程确定各个参数和施工工艺。

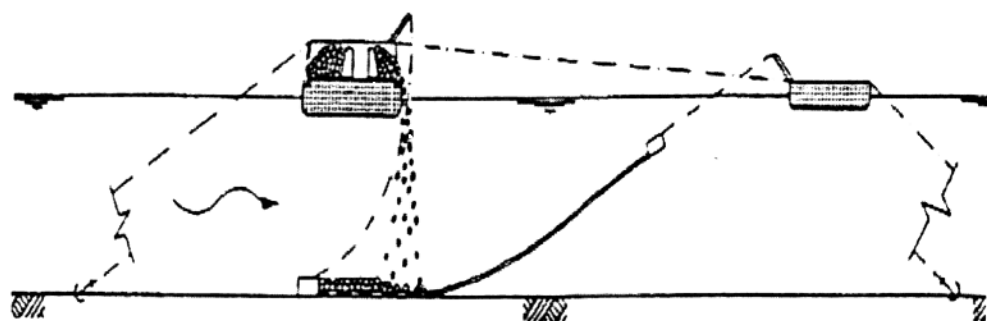
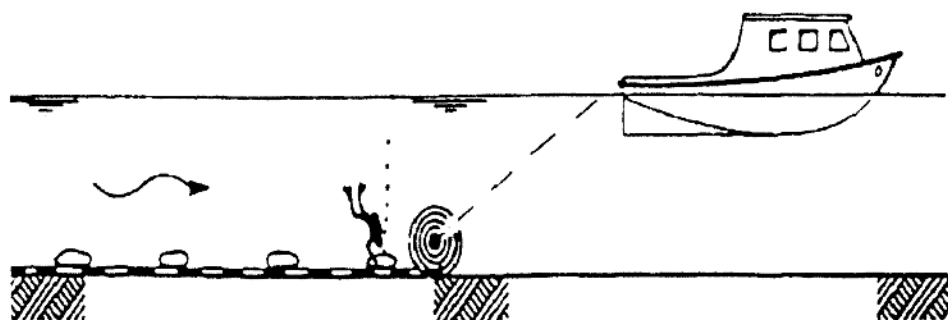


图3.1沉入法水下铺设土工布



3.2 潜水员水下直接铺设土工布

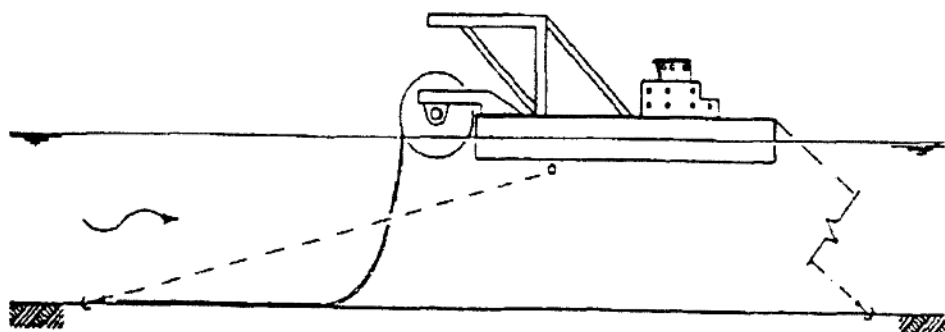


图3.3 直接用趸船水下铺设土工布

(2) 石笼护脚

石笼护脚也是水下防护工程常采用的一种结构型式，石笼的优点是抛投物的体积和重量大，可以避免抛石时粒径较小的石块被水流冲走，石笼的抗冲性强，柔韧性较好，能适应河床的变形要求，经常与抛石护脚结合使用。

石笼常用铅丝、铁丝、竹蔑、荆条、土工网、土工格栅等做成网状物，内装块石、卵石、砾石构成石笼，网格大小以不漏石为度。石笼大小可根据水深、流速、施工条件确定，还可以将多个石笼连在一起形成石笼沉排（见图4）。石笼的抛投防护范围与抛石护脚相同，使用时将石笼依次从河底紧密排至最低枯水位以下处。

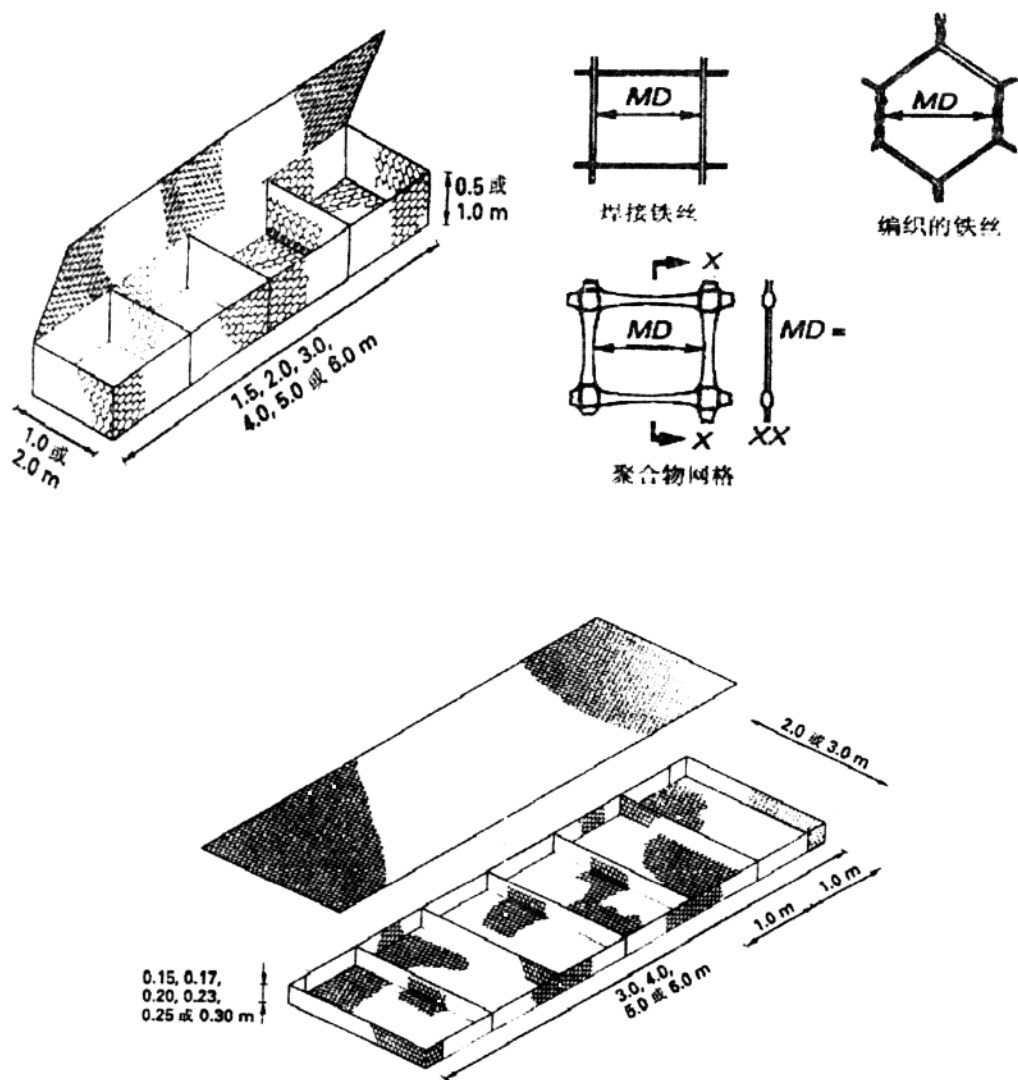


图4 典型的石笼和石笼沉排及常用的网格型式

(3) 沉枕护脚

早期的沉枕是用柳枝、竹枝等扎成，内有块石，每隔一段距离用铅丝或麻绳等捆扎在一起。现代的沉枕为土工织物枕，内充砂子或泥土。沉枕具有体积大、重量大、稳定性好，有一定的柔韧性，能适应河床和

水下坡面的变化，防冲效果较好。1983-1984年，湖北省和湖南省分别进行了塑料袋土枕机织物枕垫护岸，取得了较好的效果。所用枕垫宽8-15m、长80-120m，压载土枕大小为 $10\text{m} \times 0.7\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。施工在船上进行，可边沉垫边压枕或先沉垫后压枕，前一种方法适用于水流流速低、水深较浅的河段。

(4) 铰链混凝土板沉排

铰链混凝土板沉排是美国密西西比河上广泛使用的一种护岸结构型式。这种沉排是由20块 $122\text{cm} \times 36\text{cm} \times 7.6\text{cm}$ 的加筋混凝土板条，组成 $7.62\text{m} \times 1.22\text{m}$ 的单元，在现场以若干单元连接起来，形成所需尺寸（见图5）。20块混凝土板条用三根纵向钢丝绳贯穿整个单元，两边打成扣环，用于纵向与相邻单元连接之用。横向加筋是长方形框，两端有钢筋伸出混凝土板条之外，与横向相邻单元相接，这种沉排板条之间有间隙，并用钢丝绳连接起来，在各个方向均有一定的柔性，能适应河床和河岸的起伏。

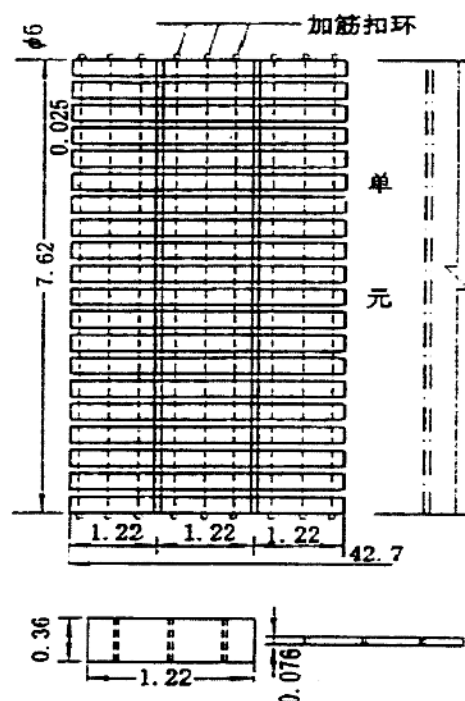


图5 铰链混凝土沉排（单位：cm）

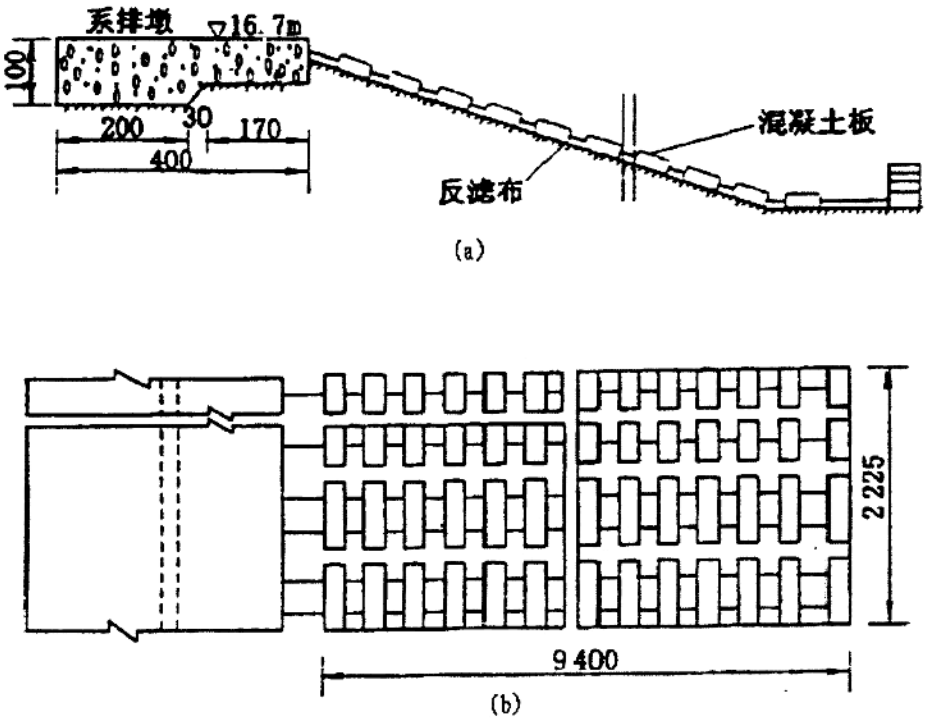
密西西比河水下护岸部分是将上述单元连成 $42.7\text{m} \times 7.62\text{m}$ 的大块沉排，在专门的驳船上进行组装，自岸上铺碇桩伸出的钢丝绳系住沉排纵向加筋扣环，然后将作业船慢慢外移，把第一块沉排滑下去。沉排末端仍留在作业驳船上，以便与第二块沉排扣接。这样直至完成设计长度

范围的沉排沉放后，切断缆索，将驳船向上游移动40米，再开始相邻一块的铺设，并使上游沉排搭接在下游沉排之上。

(5) 铰链混凝土板-聚酯纤维布沉排

这是在长江武汉河段天兴洲护岸工程中采用的一种沉排型式，于1984年3月进行沉放试验，取得成功。沉排由铰链连接的混凝土块和聚酯纤维布组成，混凝土板起压重和护面作用，聚酯纤维布起反滤防冲作用（见图6）。混凝土板为矩形，尺寸为100cm×40cm×10cm，相互间隔纵横约为25cm，平均压重1334N/m²。混凝土板的运行荷载很小，其强度由施工荷载（包括运输、拼接、沉放）控制，采用C15混凝土，不需加筋即可满足应力要求。每块混凝土板有两根伸出的钢筋环用于板与板之间相连接。钢筋环采用Φ10mm的钢筋，拼接采用预先加工好的螺栓。

作为反滤防冲的纤维布，主要由以下四个因素决定：反滤性能、耐



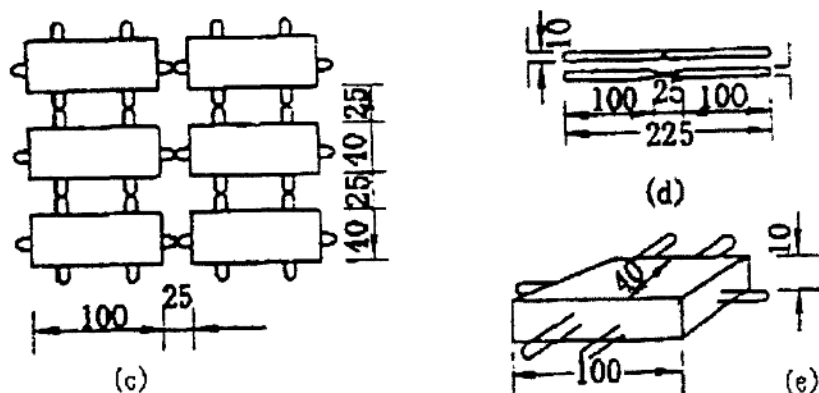


图6 铰链混凝土板-聚酯纤维布沉排 (单位: cm)

(a) 剖面图; (b) 平面图; (c) (d) 排体搭接口; (e) 混凝土板

磨性和抗冲性、湿强度以及耐光性。经过比较后选择了聚酯纤维布（俗称涤纶布）作为沉排中的反滤抗冲材料。纤维布与混凝土的连接是在每一块排体的上下游两侧和排尾末端外侧分布一些连接点，每个节点上用宽5cm的涤纶布条带将其连接。排首高程的确定即要护脚防崩，又要考虑纤维布的耐久性，高程为13.0m，系排墩高程为16.7m，排首用钢链条系挂在墩上。对露出水面的排体，混凝土板间用水泥土覆盖，以保护纤维布。排体长度以河段最大可能冲深（-20m）为依据，水下边坡按1: 2.25设计，并留有富余，最后采用94m。搭接宽度为2.25m，每块排体防护净宽度为20m。沉放时先下游后上游，相邻排体的搭接为上游排压在下游排之上，为适应河床变形，排尾加重混凝土板4块。铰链混凝土板单元的拼接与预先缝合好的涤纶布的连接在两艘4000吨方驳拼改而成的沉放作业驳上进行，沉放由一艘起吊船完成。该项工程建成后，经过10年的运行证明这是一种新型的护脚工程，能较好地适应河床在顶冲水流下出现的变形调整，确保了坡脚的稳定。

(6) 铰链式模袋混凝土沉排

模袋混凝土是在机织化纤布制成的模袋内充入流动性混凝土，模袋起混凝土的模板作用。模袋可以做成不同的形状，铰链式模袋充填后形成一个个相互关联的小块体，块与块之间由模袋内高强绳索相连，类似铰链。铰链式模袋混凝土沉排也是一种柔性结构，可以适应河床的变化。1994年6月黄河水利委员会在河南郑州马渡险工26号和27号坝之间首次利用铰链式模袋混凝土沉排修筑护岸工程下部，共800m²。模袋单个块体尺寸为91cm×46cm，块间距为10cm，充填后混凝土块体平均厚度为25cm。为保证质量，模袋由工厂制作，现场逐个拼接，然后充填。施工时，应先铺设反滤布，并按先旱地后水下的原则铺设。布的上部由锚钩固定，用船缓缓驶离岸边将布自然展开，加重物后均匀下沉。模袋充灌用混凝土输送泵将水泥砂浆和细骨料混凝土充入铺设好的模袋内。工程经过1994年和1995年两个汛期的运行观测，效果良好。

(7) 各种土工织物软体沉排

我国劳动人民利用软体沉排进行江河的河道治理由来已久，当时是用草把、柳条等扎制而成，称为“柴排”。这种排容易腐烂，使用寿命短，到现代已较少采用，现代的软体沉排一般是用土工合成材料制作。1974-1976年，江苏省江都县用聚乙烯编织布、聚氯乙烯塑料绳和混凝土块组成软体沉排在长江下游嘶马段进行了水下护岸施工。软体沉排中，编织布是沉排的主体，覆盖在河床上，聚氯乙烯网绳分上下两层将编织布夹在中间结扎。网绳排列密度由混凝土压载重力决定，四周密，中间疏。网格尺寸为20cm×20cm左右，网绳直径为4mm，混凝土压块用尼龙绳固定在网上。混凝土压块有两种，一种为长1m、质量100kg的流线型长条，压在排体两端，另一种为长1m，质量为40kg的马蹄型长条，压在排体中间，间隔2.5m压一条。流速较大时，迎流面块体下部每块加犁锚两只固定。实践证明这种沉排在压载达到980N/m²时，能抵抗流速为3m/s的水流，

并有良好的防渗作用，水下抗拉和耐腐蚀性良好。在此后，我国其它地区陆续采用这种型式的沉排进行河道护岸，虽然沉排所用的材料和压载方式、压载材料等有所不同，但形式是相同的。

近几年，随着土工合成材料在江河治理工程中的应用，各种不同形式的软体沉排不断被用于护岸工程，其中应用较多的是框格式软体沉排。这种沉排由厂家直接将土工织物枕和土工织物垫层织在一起，织物枕内充填沙子或泥浆后形成一个个框格。沉排的长度可随意调整，满足不同河段河床的最大冲刷深度要求。这种沉排的沉放需大吨位驳船、泥浆泵或充砂泵等，施工设备较多，施工技术要求较高，施工时可在驳船上边充填边沉放。沉排施工的作业面较大，适合大面积河岸的防护工程。

2、护坡工程

护坡工程是堤防或河岸坡面的防护工程，它与护脚工程是一个完整的防护体系。护坡工程的型式很多，主要有块石护坡、混凝土护坡、模袋混凝土护坡、水泥土护坡、天然植被护坡等几类^{[7][15][16]}。

(1) 块石护坡

块石护坡是最常见的一种护坡型式，可分为抛石和砌石两大类。所用块石必须坚硬、密实，能长期耐风化，在自然条件下有好的耐久性。抛石护坡与抛石护脚常常是一起施工，统称为抛石护岸。抛石护坡具有一定的柔性，可适应地形的变化，可以机械施工，是常采用的一种方法，但所需石料较多。砌石护坡有干砌石和浆砌石两种，护坡所用块石粒径较抛石小，重量轻，护岸外型也较抛石美观。但砌石的柔性较抛石小，坡面的局部损坏常导致大面积的破坏，所以施工质量要求比较严格。砌石主要靠人工铺砌，需要有技术熟练的施工队伍完成，劳动强度大，工程进度慢。块石护坡的层面块石大小、护面层厚度、反滤层的设计可根据规范，结合现有工程实例确定。用土工布代替砂石料做反滤层时，要