

中国堤防工程施工丛书

ZHONGGUO
DIFANG GONGCHENG
SHIGONG
CONGSU

4

沉排法

米持平 钟作武 董建军 陈彦生 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

中国堤防工程施工丛书

ZHONGGUO

DIFANG GONGCHENG

SHIGONG

CONGSU

4

沉 排 法

米持平 钟作武 董建军 陈彦生 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系《中国堤防工程施工丛书》之一,主要介绍了沉排法的定义、适用范围、工法原理、施工材料与设备、施工工艺及流程、施工质量控制及验收标准,并通过长江、黄河、松花江、辽河与嫩江等堤防护岸工程实例加以说明。书中还介绍了一些新的工艺技术以及我国目前沉排法施工的研究现状及发展趋势。本书可为从事水资源堤防工程工作者直接应用,并为土木建筑、交通港航、铁路桥隧中的地基处理设计、科研、施工、监理、生产与管理等方面的人员和中职、中专及高等院校的师生提供有益的借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

沉排法 / 米持平编著. —北京:中国水利水电出版社, 2005

(中国堤防工程施工丛书; 4)

ISBN 7-5084-3329-7

I. 沉... II. 米... III. 堤防—沉排 IV. TV871

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 119330 号

书 名	中国堤防工程施工丛书. 4 沉排法
作 者	米持平 钟作武 董建军 陈彦生 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 6 印张 162 千字
版 次	2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	20.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

编 著 者 的 话

沿江、河、湖、海的岸边修建的挡水建筑物称为堤；构建在河谷或河流中拦截水流的水工建筑物称为坝。“防水的堤坝”合称为“堤防”（《辞海》1999年版缩印本第668页）。

目前，中国堤防总长近30万km，其中江、河、湖堤长达27万余km，海堤1万余km；大、中、小型库坝8.5万座，总库容5184亿 m^3 ；蓄滞洪区近百处，总容积980亿 m^3 。这些数量均名列世界前茅。

1998年大水以后，在中央积极财政政策的支持下，堤防建设进度加快，长江、黄河、淮河、海河、松花江、辽河和珠江等七大流域以堤防为重点的防洪体系进一步完善，堤防建设标准普遍提高，抗御大洪水的能力增强。到2000年，新建与加固堤防已长达7400km，流域干、支流Ⅰ、Ⅱ级重要堤防达标1.02万km；海堤达标6000km；全国有236座城市达到国家防洪标准。所有这些成果的取得，离不开采用“新材料、新技术和新工艺”的历史性突破。《中国堤防工程施工丛书》正是“三新”应用的总结与理论的升华。

丛书分四篇十八册，即总论篇的《堤防工程施工工法概论》、《堤防工程探测、监测与检测》；护岸工程篇的

《抛石法》、《沉排法》、《柴枕法》、《板桩法》、《模袋法》和《吹填法》；防渗工程篇的《深搅法》、《高喷法》、《注浆法》、《射水法》、《抓斗法》、《切槽法》、《振动沉模板法》和《土工合成材料法》；补强篇的《化灌法》、《抗碳化法》。

各册分别介绍了各工法的定义、适用范围、工法原理、施工材料与设备、施工工艺及流程、施工质量控制与检查验收标准、工程应用典型案例。书前汇集了相应术语与符号；书末附有相关的施工用表、规范与设备细目。丛书内容简明扼要，通俗易懂，集知识性、实用性和可操作性于一体，实为当代水资源堤防工程施工工法大全。

“科学有无止境的前沿”，“技术有不停滞的进步”。我们深信，编撰并出版《中国堤防工程施工丛书》，无疑有着十分重要的意义。分册的陆续问世，将有助于相关学科领域和企业单位获得更高、更深与更多的创新与发展。

2005年5月

前 言

江、河、湖、海堤岸崩塌最为普遍的原因之一，是水下岸（坡）底（脚）处的水流冲击。为了制止这种冲击，古代的治河先人和现代的水利工程师们，均采用沉排护底（脚）的措施。

以沉排抗冲刷，一般应满足下列诸特性：

（1）连续性即沉排应当从堤岸水边延伸到水下岸（坡）底（脚）。

（2）坚固性即沉排应有足够的强度以抵抗水流的冲击。

（3）变形相容即沉排应有足够的柔性以适应水下岸（坡）底（脚）变化的地形，并在水流冲深时始终保持着与河道床面相接触。

（4）不透水性即单元沉排，应对其砂子和粗骨料运动不可能渗透，但对水体则不然，也就是说，整体沉排为了阻止水静压力的过渡发展，某些水体运动是必要的。

具备上述四种特性的沉排，传统有“埽工”、“柴枕”、“抛石”、“铅石笼”等，现代有“耐特笼”、“铰链混凝土”、“土工网石笼”和各式各样的软体沉排等。

传统与现代化沉排的共同点是：均能起到抗冲护底（脚）作用；不同之点是，传统沉排耐久性较差，常要不

断维修。其最大弱点是，传统沉排放在被保护土面上，不具有反滤功能，随着时间的推移，传统沉排长久地受水流冲击和潮汐浪淘刷抽吸后，被保护土颗粒容易被水流带走，最终导致剥蚀和坍塌。

现代沉排除具有反滤功能外，还兼备耐腐蚀、有柔性、价廉、施工方便和整体性强诸优点，尤其是利用 Tensar 拉伸网，其强度比一般土工网的高聚合物高 20 倍左右，并接近钢材强度，而质量仅为钢材的 $1/8$ ，在现代沉排结构中，特别适用于承受拉力较大的加筋土工工程。更可贵之处，这类 Tensar 网的耐久性高达 120 年，这是其他沉排结构难以达到的使用年限。

我国幅员辽阔，长江、黄河、淮河、海河、松花江、辽河、珠江和太湖诸流域堤岸线长达 27 万多 km，已护和需要防护的岸底面积数千万平方公里，故合理选择沉排结构往往成为设计工程师的一项重任。

回顾沉排的历史，就抗冲机理而言，有一个从实体诸如抛石，铅丝石笼及异性块体等抗冲，到减速缓冲诸如杓杈、挂柳、土工网格软体及四面六边体混凝土透水框架结构互为转化及互补过程；在材质上，有一个从木材到石料，从石料到钢材，从钢材到土工合成材料的演变进程；在结构型式上，有一个从人工抛石、柴枕到编制铅丝与土工网石笼、方箱进行机械沉排，从刚性结构到柔性结构的转化过程，或者刚、柔兼备，依据现实护底而同时采用，以达稳定、抢险和长治久安之目的。

按照《中国堤防工程施工丛书》的统一架构，除专列《抛石法》、《柴枕法》、《模袋法》和《土工合成材料法》外，本书则重点对以石笼、耐特笼、铰链混凝土沉排、四面六边体混凝土透水框架结构以及具有代表性的

软体排进行论述。

本书采取集体讨论和分工合作的方式进行编著，由米持平主笔编撰绪论、工法原理、施工材料与设备、施工质量控制及验收标准和附录 B~E；由钟作武执笔编撰施工工艺及流程、工程应用典型案例和附录 A；董建军和陈彦生进行了部分章节的编写。全书由董建军策划，陈彦生统稿。

鉴于编著者的水平有限，书中不当之处，敬希读者不吝斧正。

编著者

2005 年 10 月

术语表

流体：指液体与气体的合称。

液体：指具有一定体积而形状随容器改变的物质。在外力作用下不易改变其体积但易发生流动。液体在任何温度下都能蒸发，并在加热至沸点时能迅速变为气体；若将液体冷却，则冷至凝固点时会逐渐失去流动性变为非（结）晶体或凝结为固体（晶体）。

气体：指没有固定的形状和体积、能自发充满任何容器的物质。在温度作用下，温度越高，其气体分子运动越剧烈，压强就越大；当降低温度或在临界温度以下对其作体积压缩时，则气体可变为液体。

岸：指滨临江、河、湖、海、水库等水域边缘的陆地。在内河中，一般以寻常水位时陆地和水的分界线为准；在河口或海滨潮区中，以寻常高水位时的陆地和水的分界线为准。在河弯段，向内凹进的称凹岸；向外凸出的称凸岸。决定河流的左、右岸时，以面向下游为准，于左边的为左岸；在右边的为右岸。

崩岸：主要指岸线发生急剧变化，或者指原有岸体倒塌。依据崩岸的形态及规模，崩岸一般为条崩、窝崩和滑崩等。

坡：广义指山的倾斜面。在本书指堤防工程的堤身倾斜面或堤岸倾斜面或滩地倾斜面等。

滑坡：指不稳定边坡的岩/土体在重力作用下沿一定滑动面/带整体向下滑动的自然现象。

冲刷：一般指水流、波浪等外力作用引起的河渠、海岸、湖岸、库岸等处土壤被剥蚀的现象。对于黄河等挟沙水流运动中，当水流挟泥量大于实际来沙量时，河槽泥沙被水流冲起和输移的现象也称冲刷。

防冲护底：通常指岸坡在水流、波浪的作用下，采用沉排等措施来防止冲刷与保护岸坡底脚稳定的过程及结构。

风成浪：指风在水面上吹过生成的表面波浪。

船成浪：指由船舶通航引起的水的流动产生的波浪（包括初生波与次生波）。

平顺护岸：指用抗冲材料（主要为抛石或铰链混凝土排等），按一定设

计标准直接覆盖在河床岸坡上，以抵抗水流冲刷的一种护岸形式。它是目前广泛采用的护岸形式。该形式对水流没有大的干扰，弯道段的水流结构及河床演变与护岸前基本上没有变化。主要的区别表现在护岸以后，横向冲刷受到限制，水流为了满足环流挟沙的要求，只有冲刷河床来取得泥沙补给，因而凹岸深槽会较自然状态下为深。与此相反，深槽上的单宽流量和平均流速也随之增大，所以平顺护岸的前缘（坡脚至深槽）为适应水流冲深抑制冲刷发展，需经计算后加大防护材料工程量。

横向环流：指天然河道中，当主流弯曲时，产生了离心力。这种离心力与纵向流速的平方成正比，因此这种离心力在水面上的作用最大，并迅速向河底递减。在离心力的影响下，水质点趋向凹岸，并使凹岸水位抬高，因而产生了水流的横向比降，这种横向比降就在各层水流中产生一种来自凹岸的横向力（顺着横向比降的方向）。这种横向力从水面到河底都是一样的，但通常小于水流表层的惯性离心力。用几何法把这两个力系图相加之后，就得出水流上、下各层不同方向的横向流速的向导，这种流速向导，引起了横向环流。

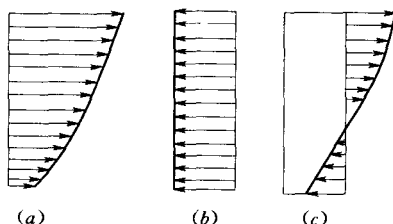


图 1 水流力系图

(a) 惯性引起的横向力分布；

(b) 水面横向比降引起横向力分布；(c) = (a) + (b)

环流是作为一种横向流叠加在主流上的。当水流中有环流存在时，表面流束离开水流的一般方向斜向一岸，河底流束斜向另一岸；而另一方面，含沙量沿水深分布也是不均匀的，水面含沙量小，河底含沙量大，表面流束所挟带的沙量小于河底流束所挟带的沙量。因此产生横向输沙不平衡现象。其结果将使一岸冲刷，而另一岸淤积，造成河床平面摆动。

这就是弯曲河道凹岸产生崩岸的原因，也称“坐弯顶冲”。

迎流顶冲：指主流从一岸过渡到另一岸所形成的顶冲（若不治理，将可能形成一个弯道）。上游来水主流线不是与岸线平行，而是与岸线有一定的交角，就有一个与河岸垂直的分力。例：当水流冲击桥墩时，水流的动

能转化为势能，使桥墩前缘的水位抬高。在水流压力局部增大的作用下，产生指向河底的流束，使河底发生冲刷。但桥墩冲不动，且与水流方向成 90° 交角，而河岸与水流交角一般不大于 45° ，有边坡且土质差，易受冲刷而坍塌。

铰链混凝土沉排：主要指用钢铰链将混凝土预制块相互连接构成的既可抗冲又可适应不同表面形态的柔性排体。

模袋沉排：又叫土工模袋混凝土/水泥砂浆沉排。主要是指由上下两层土工织物制成的大面积连续袋块材料—模袋，其袋内充填混凝土或水泥砂浆，充填料凝固后即形成岸/坡防护体。

软体沉排：指用土工织物缝成大尺寸反滤排布，排布上加压重以形成抗冲防护结构。它包括压载软体沉排和充砂管袋软体沉排。或者指以尼龙绳网加筋结合石笼框格与砂土袋混合压载形成的整体结构，是在冰面上进行沉排施工的治河新技术。

充砂管袋软体沉排：指以土工织物为基材来制成管袋排体，管袋内充填砂土或水泥土以形成的大片抗冲排体。

四面六边体混凝土透水框架护岸结构：主要指由钢筋混凝土杆（个别由木/竹竿）1m长作框架（四面六边），一次3~4个投放水下以缓流落淤、消能防冲的护岸固底物。

压载软体沉排：通常指土工织物上以石块或预制混凝土块为其上覆压重的结构。其特点是既具有良好的柔性，能紧贴附于水下河床表面，又具有良好的连续性和整体性，还具有较大的抗拉强度。

沉排船：指用于沉排施工的平板驳。要求该驳仓面尺寸均应比排体（单）尺寸大。

排首系接：指每个排体的排首与排首钢梁连接。所谓排首，是指每块排每一单元排体。亦指施工中单元排拼好岸侧与排首钢梁连接，江（河）侧与拉排梁连接。

卡排梁：指与拉排梁平行布置用于沉排施工中固定排体的横钢梁。

拉排梁：指直接与卷扬机连接用于拉排的横钢梁。

散排：通常指沉排过程中出现的排体连接失效或铰链失控现象。

卷排：一般指在沉排过程中排体不能顺排长与排宽方向舒展的卷曲现象。

滑排：主要指因排首端锚固失稳出现的顺排长方向滑动位移。

排布：主要指 $\phi 6\text{mm}$ 聚乙烯绳网加强的单层织造的土工织物。

排长：指排体与水流正交方向的长度。

排宽：指顺水流方向一次沉放的单块排体的宽度。

沉排拉力安全系数：主要指在深水大面积沉排中，排体下沉时顺排长与排宽方向上抗压强度的安全裕度指标，即 $K_B \geq 5.0$ (K_B 为顺排长与排宽的拉力安全系数)。

排体抗滑稳定安全系数：主要指排体沿不同坡降（一般不陡于 1:2）沉放后，该边坡抗滑稳定的安全裕度指标，即 $K_h \geq 1.2$ (K_h 为具有沉排的边坡滑稳定安全系数)。

..... 符 号 表

A : 面积, m^2

B : 宽度, m

C : 粘聚力, Pa

D : 特性粘径, mm

d : 深度, m

F_s : 安全系数

g : 重力加速度, 9.8m/s^2

H : 波高, m

H_s : 有效波高, m

L : 波长, m

n : 糙率 (曼宁) 系数, s/m^3

Q : 流量, m^3/s

R : 水力半径, m

V_m : 平均流速, m/s

J : 水力坡度

【 目 录 】

编著者的话

前 言

术语表

符号表

1 绪论	1
1.1 定义	1
1.2 适用范围	3
1.3 发展简史	6
1.4 发展趋向	11
2 工法原理	14
2.1 基本知识	14
2.2 沉排护底(脚)机理	26
2.3 沉排法原理(以模袋混凝土软体排为例)	34
3 施工材料与设备	38
3.1 材料	38
3.2 设备	57
4 施工工艺及流程	63
4.1 概述	63
4.2 石笼沉排施工工艺	64
4.3 耐特笼沉排施工工艺	67
4.4 土工布软体排施工工艺	69
4.5 铰链式混凝土板/模袋沉排施工工艺	71
4.6 四面六边体混凝土透水框架施工工艺	76
4.7 沉排法施工流程	77

5 施工质量控制及验收标准	89
5.1 石笼沉排质量控制	89
5.2 耐特笼沉排的质量控制	92
5.3 土工布软体排质量控制	93
5.4 铰链式混凝土沉排质量控制	94
5.5 四面六边体混凝土透水框架群施工质量	96
5.6 施工质量验收标准	97
6 工程应用典型案例	102
6.1 石笼护底(脚)典型案例	102
6.2 耐特笼护岸典型案例	109
6.3 土工布软体排护岸典型案例	117
6.4 铰链式模袋混凝土沉排典型案例	124
附录	136
附录 A 沉排施工主要表格	136
附录 B 合金钢丝网石笼护岸工程施工规定	141
附录 C 长江重要堤防模袋砂软体排护岸工程施工规定	147
附录 D 铰链混凝土沉排护岸工程施工规定	154
附录 E 混凝土铰链沉排护岸工程监理实施细则	163
参考文献	172

绪 论

1.1 定 义

沉排法，指预先编扎或制作好的大片抗冲护底建筑物施工方法。

由此可见，沉排法定义包括：

- (1) 预制即工艺程序上的要求。
- (2) 大片即方法措施上的要求。
- (3) 抗冲即排体结构上的要求。

这三个要求构成了沉排法的施工目的——护底，或叫护脚。

所谓“预制”，区别于“现作”。诸如预先编扎软体沉排，预先制作混凝土铰链沉排，或预先编制铅丝笼、土工网石块沉排等。

所谓“大片”，区别于“单块”。诸如数十平方米、数百平方米乃至数千平方米沉排等。

所谓“抗冲”，区别于“防渗”。诸如抵抗水流外力作用引起的堤岸土壤被剥蚀、抵抗波浪外力作用引起的堤岸、堤坡土体被剥蚀等。

基于上述三点，沉排划分为两大类：即按刚度区分的柔性沉排（Soft Sinking Mattress，简称 SSM）和刚性沉排（Rigid Structure Mattress，简称 RSM）。

柔性沉排在我国常用的包括：

- (1) 铅丝石笼排。
- (2) 土工织物长管袋褥垫排。
- (3) 塑料编织袋护底排。
- (4) 铰链模袋混凝土排。
- (5) 耐特笼塑料土工网排等。

刚性沉排在我国常用的包括：

- (1) 钢筋混凝土桩排。
- (2) 混凝土/砖铺砌板（排）。
- (3) 四面六边体混凝土透水框架（排）等。

如果按陆上水下划分，则分为旱地沉排与水下沉排（含冰上沉排）两类。

旱地沉排在我国主要是：

- (1) 铅丝石笼排。
- (2) 混凝土/砖铺砌板（排）等。

水下沉排在我国则包括了柔性性与刚性沉排中除去旱地沉排所有的排（见表 1.1）。

表 1.1 各种沉排适用性与优缺点

类型	排体名称	优 点	缺 点	适用范围
柔 性 排	铅 丝 石 笼 排	1. 施工工艺简单； 2. 筑堤/坝（含抢险） 费用与抛石法接近	铅丝在水位 变化区耐水 性差	适于旱地施工
	土工织物 长 管 袋 褥 垫 排	1. 整体性强； 2. 护底作用好； 3. 施工工艺简单； 4. 造价低	排体出露水 面后易老化	1. 适于旱地施工； 2. 适于水中进占
	塑料编织 袋护底排	1. 料源充足； 2. 易运输、存放、施工； 3. 造价低（仅为石料的 1/2）； 4. 防冲护根效果好	1. 排体出露水 面后易老化； 2. 易刺破	1. 适于旱地施工； 2. 适用水中进占； 3. 适于高温深水 护底