

中国堤防工程施工丛书

ZHONGGUO
DIFANG GONGCHENG
SHIGONG
CONGSU

3

抛石法

陶亦寿 谭界雄 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

CONGSHU



抛石法

陶亦寿 谭界雄 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,主要介绍了抛石法的定义、适用范围、工法原理、施工工艺流程、质量控制及检验,并通过部分工程实例来说明抛石法的应用。书中还介绍了一些新的工艺技术和我国目前对抛石法的研究现状及发展趋势。

本书可供从事水资源堤防工程设计、施工技术人员直接应用,也可为土木建筑、冶金采矿、石油化工、公路交通、铁道桥涵、地基处理的设计、科研、施工、监理、生产与管理方面的技术人员和中职、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

抛石法/陶亦寿等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2005

(中国堤防工程施工丛书; 3)

ISBN 7-5084-2736-X

I. 抛... II. 陶... III. 堤防—防洪工程
IV. TV871

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 016751 号

书 名	中国堤防工程施工丛书·3 抛石法
作 者	陶亦寿 谭界雄 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 5.25 印张 142 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	19.00 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m³；蓄滞洪区近百处，总容积980亿m³。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

科技与设备、施工工艺及流程、施工质量控制与检收标准、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

人类在其生存、发展和享受这三个基本需求中，对水的本能的渴望，创造了“人类需要保护河道和其他水道岸坡”的早期文明。为了适应这些需求，千百年来，已开发了许多保护岸坡的材料与技术。以抛石来保护岸坡就是其中一种。

抛石保护堤防岸坡，具体作法就是采用天然石料进行合理级配，或伴以现代化的材料，诸如水泥、钢材、土工合成材料等组构为一种铺砌结构。

抛石的环境、工程特性主要包括以下几个方面。

(1) 抛投施工简单，利用其自重置于水下，可实施人工与机械并举。

(2) 具有可变形性，并且对保护的堤防岸坡有极大的相容性，即使因抛石作用发生岸坡的最终破坏也是缓慢渐进的，当一块石相对于另一块石移动时，抛石具有一定的自愈能力。

(3) 具有很高的水力糙率，可以减少波浪与水流的冲刷作用。为此，除重点用于堤防岸坡之外，对桥墩的保护同样具有等效功能。

(4) 通过合理级配，既在力学强度上起固基作用，又因其间孔隙密布在物理结构上具有保温作用。为此，在我国高寒冻土地段的青藏铁路采用抛石法，攻克了铁道路基因冻融失稳难题。

(5) 便于维修，且维修技术要求及其费用也较低廉。

(6) 具有耐久性，在同等经济指标下，石块远比水泥和土工合成物等现代化材料寿命长，即使是钢材强度虽高于石块，但在水下不作防锈保护，其耐久性也难与石块相比。

(7) 块石不存在环境污染，包括对水体、空气与被加固的介质结构的侵蚀、腐蚀和毒害等。这一特性是抛石法历久不衰沿用于水资源堤防工程和其他工程的关键所在。

古人曰：“退而守堤，不如进而守滩。”

抛石作为传统保护堤防滩涂岸坡方法与其说是科学技术，不如说是一种工艺艺术。使用天然石料诸如小石、角石、块石；坦石、面石、腹石；砾石、花岗石、卵石等，星星点点，密密集集，在堤身的“心部”为“堤心石抛石”；在堤坡的斜面为“垫层石抛石”；在堤身与堤基的结合部为“压脚抛石”。前两种构成了“培厚、抛石护岸固堤工程”，后一种就是通常所说的“抛石护堤工程”。

在抛石保护堤防岸坡中有两个因素非常重要：一是任何石质材料或任何结构型式，保护岸坡实际上构成了自然环境的一部分，必须按环境与工程观点就设计、施工的有效性作出判断；二是兴建或补强加固堤防时，人与水和谐相处的必须建立在现有岸坡稳定性的因素基础上，两者不可偏废。

以抛石法来保护堤防岸坡，不仅就地取材、价格低廉，而且施工抛投简捷、立竿见影。条件有限的可以人工实施；条件优越的可以船机自动抛掷。无论哪一种，只要按照规范具有一定粒径与质量的石材均匀抛投到设计指定的地点（范围）并形成一定厚度的连续铺砌体，就可免除或最大限度地降低水流的淘刷破坏，以达到稳定河势与保护堤防岸坡的目的。

《中国堤防工程施工丛书》·3：《抛石法》，概述了七大流域堤防工程抛石保护岸坡的基本形式与特征，并在《中国堤防工程施工丛书》统一规划的框架下，按定义、适用范围、发展简史与发展趋向，作用原理与工作原理，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以及工程应用典型案例均一一作了精练概述。力求通俗易懂，操作简便。本书列有“术语表”及“符号表”，规范统一了本书的有关基本概念与计算说明；书末附录有施工通用的记录、计算表格与检验验收项目及其标准，使该

书具有全面统一的新意。

《抛石法》采取集体讨论与分工合作方式编著。由陶亦寿主笔撰写前言、绪论、工法原理及部分工程应用案例与附录计6万余字；由谭界雄执笔撰写施工材料与设备、施工工艺及流程、施工质量控制及验收标准及部分工程应用案例与附录计6万余字；董建军和陈彦生参加了部分章节编写工作；全书由董建军策划、陈彦生统稿。

在编著中，引用了水利部长江水利委员会、长江科学院以及黄河、淮河、海河、松花江、辽河和珠江诸流域堤防工程方面的信息；水利部国际合作与科技司、中国水利水电科学研究院、南京水利科学研究院也提供了有关资料，在此一并表示谢意。

鉴于笔者水平有限，书中难免有不足之处，祈盼不吝指正。

编著者

2005年10月

术语表

河流：指沿地表线型凹槽集中的经常性或周期性大型水流，亦称“江”或“川”。

江（河流）分为江（河）源、上游、中游、下游和河口五个部分。

河势：指河道水流动力轴线的位置、走向以及岸线、洲滩分布的态势。

河型：河流类型的简称。指河流在一定来水、来沙及边界组成条件下，通过长期自动调整形成的典型河床形态与演变模式。一般分顺直型、弯曲型、分叉型和游荡型四类。

河床：指河谷中被水流淹没的部分，是河流输水输沙的槽状凹地，亦称“河槽”。分洪水河床、枯水河床和中水河床三种。

河床演变：指河床在自然情况下或人工作用后所发生的冲淤变化。

河漫滩：指河床与谷坡之间由泥沙淤积的平坦低地。

河道整治：指防洪、航运和取水等目的对河流进行的治理与控制。包括治导、疏浚和护岸三类。

河工：指修治河道堤防的工程。

窝崩：指在冲积平原性河流中，二元结构地层受洪水期水流严重冲刷时，发生在河岸上层较厚粘性土壤内，一个以圆为中心，半径数十米至数百米的崩塌现象。

条崩：指在冲积平原性河流中，二元结构地层受洪水期水流冲刷时，发生在河岸上层较薄粘性土或较松散土体在平面上呈条（片）状崩塌现象，亦称“片崩”。

洗崩：指在江河（堤防）岸边土质为均匀且较松散时，洪水汛期水流冲刷岸脚或在土体内排渗不畅，汛后河水退落较快发生的滑坡崩岸现象，亦称淘崩、滑崩或滑坡崩岸。

溜崩：指在高水位状态下水位快速下降发生的滑坡崩岸现象。

波浪：指江、河、湖、海以及水库中的水体，在外力作用下，水质点离开平衡位置而往复运动，并向一定方向传播的轨迹。

波浪要素：指波浪外形的几何特征与运动特征的量，包括波峰、波谷、

波高、振幅、波长、波陡、波周期、波速、波向线和波峰线等。

波浪区划：

(1) 按成因区划：

- 1) 由风作用产生的，称为“风浪”或称“风成波”。
- 2) 由地震产生的，称为“海啸”。
- 3) 由气压突变产生的，称为“气压波”。
- 4) 作用力停止后，或传播至作用力范围外的波浪，称为“涌浪”，亦称“余波”。

(2) 按波长与水深的关系区划：

- 1) 当波长大于 25 倍水深时称为“长波”。
- 2) 水深大于半波长的波浪称为“深水波”。
- 3) 水深小于半波长的波浪称为“浅水波”。

波级：一般指海面波动程度的分级。如下表：

波级	波高范围 (m)	波级名称
0	—	无 浪
1	$H_s < 0.1$	微 浪
2	$0.1 \leq H_s < 0.5$	小 浪
3	$0.5 \leq H_s < 1.25$	轻 浪
4	$1.25 \leq H_s < 2.5$	中 浪
5	$2.5 \leq H_s < 4$	大 浪
6	$4 \leq H_s < 6$	巨 浪
7	$6 \leq H_s < 9$	狂 浪
8	$9 \leq H_s < 14$	狂 涛
9	$H_s \geq 14$	怒 涛

注 H_s 为有效波高，m。

防浪墙：指防波堤、海堤或大坝顶上在迎水侧为防止波浪越顶而修筑的矮墙。

防浪墙的设置可适当降低堤顶设计高程，减少一定的工程量。

防波堤：指防御波浪、浪沙、冰凌入侵，形成掩蔽水域所建造的设施。常由一二道与岸连接的实堤或不连续的岛堤组成，或由突堤与岛堤共同组

成。分斜坡堤、直墙堤、混成堤三种结构型式。对于防御波能集中的还有透空堤、浮堤、喷气堤与射水堤等轻型防波堤。

护岸：在江河、湖、海和水库等沿岸，防止天然边坡发生崩塌的工程设施。常用的有斜坡式护岸与陡墙式岸壁两种。前者以砌石或混凝土板护坡，有时用人工块体护面，坡面下设反滤层或垫层，防止沙、土被吸出；后者用砌石或混凝土重力墙、钢筋混凝土扶壁式挡土墙或板桩岸壁等，墙壁后设排水滤层、回填土尽可能取水性好的沙质土。护坡和岸壁上均需设排水孔以及采取护脚、护坦措施。

护岸工程：指保护岸坡，防止水流冲刷的工程。

护岸方法：借助材料或构筑物来直接保护或改变水流方向，借以减免水流对岸坡与岸脚冲击作用的措施手段。护岸工事可分两类：①防御性护岸工事：用抗冲材料直接在坡面和坡脚做覆盖层，以抵御水流冲击。在枯水位以下，常采用抛石、沉排或抛石笼和柳石枕等；在枯水位至洪水位之间，可用抛石或砌石、植柳、铺盖草皮等护坡；在洪水位以上，为防止地表水侵蚀，要平整岸坡、植树、铺盖草皮等；②进攻性护岸工事：修建丁坝、顺坝或导流装置，把主流挑离岸或导引底流至岸边，以防止河岸冲刷崩退。两类工事常结合使用。

护坡：指防护河沟、堤坝等的边坡面层免受风浪、雨水和水流所破坏的工事。常用草皮、片石、块石等铺砌成。

————— 符 号 表 —————

C : 石块运动稳定系数; 水平底坡 $C = 0.9$, 倾斜底坡 $C = 1.2$

d : 抛石球体等容直径, 或称“按球折算直径”, m

g : 重力加速度, $g = 9.8 m/s^2$

h : 抛石处水深, m

L : 抛石落距, m

C_D 、 K_1 、 K_2 、 K_3 : 阻力系数

γ : 水的质量密度, $\gamma = 1 kN/m^3$

γ_s : 石块的质量密度, 一般取 $\gamma_s = 2.65$, kN/m^3

S : 石块体积, m^3

s : 石块比重

V : 水面流速, m/s

v : 垂线平均流速, m/s

θ : 边坡坡角, ($^\circ$)

q : 单宽流量, m^3/s

ω : 沉速, m/s

W : 抛石重量, kgf

R_c : 抗压强度, MPa

【 目 录 】

编著者的话

前 言

术语表

符号表

1 绪论	1
1.1 定义	2
1.2 适用范围	3
1.3 发展简史	4
1.4 发展趋向	6
2 工法原理	10
2.1 作用原理	10
2.2 工作原理	16
3 施工材料与设备	29
3.1 材料	29
3.2 设备	31
4 施工工艺及流程	60
4.1 施工准备	60
4.2 施工技术工艺	64
4.3 施工流程	76
5 施工质量控制及验收标准	77
5.1 施工质量控制	77
5.2 验收标准	82
5.3 质量效果评价	84
6 工程应用典型案例	85
6.1 抛石护岸	85

6.2 崩岸抛石抢险	90
6.3 抛石工程的其他应用	96
附录	99
附录 A 抛石护岸施工常用表格	99
附录 B 工程项目划分及编码系统实施细则	116
附录 C 水下抛石护岸工程监理实施细则	118
附录 D 长江重要堤防隐蔽工程抛石护岸工程招标技术规范 ...	127
附录 E 江苏省长江水下平顺抛石护岸工程质量验收办法(试行) ...	136
附录 F 国产 SC 9098 型升降式料斗抛石船	140
附录 G 美国用于公路建设抛石材质规范要求	142
附录 H 用于抛石法的三类全站仪系列、性能与 国内报价(人民币:元)	144
参考文献	152

绪 论

我国的江、河、湖、海堤防，绝大多数为土堤，并且多为历史形成时未进行堤基处理、堤身结构也少有科学计算、堤岸防护以及穿堤建筑物的交叉、连接又缺乏严格规范实施，故每临汛期洪水高涨，堤防险象环生。“自古以来就是中华民族的心腹之患（王守强《中国江河防洪丛书》序，1992）”。

堤防的堤基、堤身、堤坡、堤脚、滩岸及其防护工程是密不可分的，“保堤必须保护岸坡”是一条普遍经验。由于堤脚和岸滩在受水流、风浪、潮汐等的侵袭、冲刷情况下经常造成破坏，对这类堤岸需进行重点防护，以控制、调整水流，稳定岸线，保护堤的安全。

堤岸防护包括堤脚和近堤岸滩两类情况：一类是堤外无滩或滩极窄，要依附堤身和堤基修建护坡及护脚的防护工程，包括修建平顺护岸及坝、矶头护岸，一般称其为险工；另一类是堤前有滩，滩地受水流淘刷也危及堤的安全，因而修建依附滩岸的防护工程。前者为护岸工程，后者为护滩工程。以上两类工程都是直接为了保护堤的安全而修建，因而统称为堤岸防护工程。

堤岸防护工程有坡式护岸、坝式护岸、墙式护岸、生物护岸以及组合各种方式的护岸等多种型式，其中坡式护岸也称平顺护岸或平顺坡式护岸，是一种常见的护岸型式。

平顺护岸工程以设计枯水位为界，上部为护坡工程，下部为护脚工程。护坡工程是对原始岸坡进行修整处理后再敷设护坡反滤层及面层，以防止水流冲刷、波浪冲击、水位变化和地下水外渗侵蚀等对岸坡表面的破坏；护脚工程则采用抗冲材料抛投于坡

脚附近水下河床，形成保护层，防止水流淘刷，达到保护堤岸根基的目的。

水下护脚工程按结构及材料不同又可分为抛石、沉枕、沉笼和沉排以及模袋混凝土（砂）等多种工法类型。块石是最常用的堤、坝护脚加固材料。抛石护脚是平顺护岸工程下部固基的主要方法，在古今中外堤岸防护和治理中被广泛采用，是一种易于操作且行之有效的护岸工程措施。

1.1 定 义

广义的抛石法是指通过机械或人工抛投块石、卵石等人工或天然石料，在指定区域堆砌形成符合设计要求的结构（铺砌）体，并使之具备某种特定功能的一种施工方法。

抛石法最为普遍的形式是各类堤岸的基脚防护，即抛石保护堤脚。该施工方法系将具有一定粒径和质量要求的块石按照设计要求均匀抛投至堤岸坡脚附近一定范围，在坡脚至水下延伸部分形成一定厚度的连续覆盖层，以保护堤岸坡脚免受水流淘刷破坏、达到稳定河势和保护堤岸的目的。

若以石料集合划分，抛石分“散抛”与“集（链）抛”两种，后者在于增加重量以增强水力糙率。

若以抛投方式划分，抛石又分“压荐抛”与“定位定量抛”两种（见表 1.1）。

表 1.1 压荐抛与定位定量抛比较

抛 石 方 法		主 要 优 缺 点		适 用 范 围
		优点	缺点	
压荐抛	人力 { 民船 方驳	1. 抛填位置较准确； 2. 抛填灵活，量易控制； 3. 不易漏抛，顶面平整度较好； 4. 方驳驻位较稳	1. 抛填效率低； 2. 劳力用量大； 3. 劳动强度大	1. 风浪较小时的抛填； 2. 基床顶部的细抛； 3. 人工费用较低的地区

续表

抛石方法		主要优缺点		适用范围
		优点	缺点	
压茬抛	推土机 装载机 } 方驳	1. 抛填效率较高; 2. 劳力用量少; 3. 方驳驻位较稳	1. 抛填量不易控制; 2. 顶面平整度较差; 3. 需用推土机或装载机	1. 风浪较大时, 基床顶部细抛, 其余部位粗抛填; 2. 人工费用较高的地区
定位定量抛	人力 { 民船 方驳	1. 抛填位置较准确; 2. 抛填效率较高; 3. 抛填控制较为简单	1. 定位标志设置量大; 2. 顶面平整度较差; 3. 劳力用量大; 4. 劳动强度大	1. 风浪较大时, 基床顶部细抛, 其余部位粗抛填; 2. 人工费用较低的地区
	侧倾式 底开式 } 抛石船	1. 定位较准确; 2. 抛填效率高	1. 定位标志设置量大; 2. 顶面平整度较差; 3. 劳力用量大	风浪较大时, 基床顶部细抛, 其余部位粗抛填

1.2 适用范围

(1) 抛石保护堤脚。抛石保护堤脚亦称水下抛石护岸或抛石护岸, 采用抛石法对岸坡水下部分进行防护, 增强基脚的抗冲刷能力, 达到护岸的效果。抛石保护堤脚是平顺坡式护岸下部固基的主要方法, 也是处理崩岸险工的一种常见的、应予优先选用的措施。抛石保护堤脚具有就地取材、施工简单、可以分期实施的特点。平顺坡式护岸方式较均匀地增加了河岸对水流的抗冲能力, 对河床边界条件改变较小。所以, 在水深流速较大以及迎流顶冲部位的护岸, 通常采用这一形式。

在河流深泓逼岸段, 抛石护堤脚的外边线应延伸到深泓线, 从岸坡的抗滑稳定性要求出发, 应使水流冲刷坑底与岸坡的连线