

中国堤防工程施工丛书

ZHONGGUO
DIFANG GONGCHENG
SHIGONG
CONGSU

15

振动沉模板法

任贤斌 骆诗栋 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

15

振动沉模板法

任贤斌 骆诗栋 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,主要介绍了振动沉模板法的定义、适用范围、工法原理、施工材料与设备、质量控制及检验,并通过典型案例来说明该工法的广泛应用。书中还介绍了一些新的工艺技术与今后发展趋势。

本书可为从事水资源堤防工程者直接应用,并为土木建筑、公路交通、机场建设、冶金矿山、铁道桥隧、地基处理和工民建筑等领域设计、科研、施工、监理、生产与管理方面的人员以及中职、中专和高等院校的师生提供有益借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

振动沉模板法 /任贤斌等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2006

(中国堤防工程施工丛书; 15)

ISBN 7-5084-4114-1

I. 振... II. 任... III. 堤防—防洪工程—振动压
实—模板法施工 IV. TV871.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 120451 号

书 名	中国堤防工程施工丛书·15 振动沉模板法
作 者	任贤斌 骆诗栋 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 5.875印张 158千字
版 次	2006年10月第1版 2006年10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

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

在地下连续墙与防渗墙的施工中，采用挤压注浆技术来建造薄型垂直墙已成为当代防渗工程发展的一种趋向。

挤压注浆薄型垂直墙，通常指的是利用振动力挤压土层以成槽并注浆形成连续墙，包括振动沉模板墙、振动沉模 H 形超薄板墙和振动沉模混凝土柱墙等。另外，板桩墙（含钢板桩、混凝土板桩、砂浆板桩及钢筋混凝土板桩等）。当其采用振动力沉拔板桩建槽并现场浇筑混凝土成墙时，也属于此类施工技术。

挤压注浆建槽成墙的特点：一是施工速度快；二是造价较低；三是建造的薄型墙体质量能满足防渗要求。个别情况下，当其用于支撑或承重结构时，经对墙体材料掺和加筋物，还可加固堤坝工程。为此，自 1998 年以来，国内对挤压注浆薄型垂直墙的研究与应用从未间断，而且设备日臻完善，施工工艺更为规范，应用范围广泛，并已在国内 10 余个省（自治区、直辖市）获得成效。

目前，根据振锤所能达到的最高频率，通常将振锤类型划分为：

- (1) 低频振锤 ($\leq 15\text{Hz}$)，诸如柴油锤。
- (2) 中频振锤 ($15\sim 25\text{Hz}$)，诸如电动振锤。
- (3) 高频振锤 ($25\sim 60\text{Hz}$)，诸如液压振锤及静压桩机等。
- (4) 超高频振锤 ($\geq 60\text{Hz}$) 诸如静压桩机。

振动沉模板法主要采用的是高频液压振锤。它具有低振感、低噪声、无水气污染、自重轻、机动性灵活和高效等特殊优势。在发达的国家和地区诸如德国、法国、意大利、美国、日本、荷

兰和中国台湾和香港地区应用十分广泛。

我国自 1998 年大洪水后，水资源堤防工程引进了德国宝峨公司的振动沉模 H 形超薄板墙造墙机——SW311，以及由中国华水水电开发总公司山东华水工程有限公司（以下简称为山东华水公司）自主研发的振动沉模板墙技术，以及由河海大学自主研发的振动沉模现浇混凝土大直径管桩（本书称其谓“柱墙”）技术及设备，采用的是中、高频振动锤。三者不同之处，在于 SW311 的激振力均高于国内上述两者设备 1 倍以上，故 SW311 可应用于砂砾石、卵石地层，而国内两设备仅局限用于粉质粘土、砂质粘土、粉、细砂地层。但是，后者设备造价远远低于 SW311 机。三项振动沉模板法各有千秋，适得其所。

中国堤防工程施工丛书·15《振动沉模板法》，正是上述三种施工设备及其技术的总结与理论的升华。

《振动沉模板法》一书采取集体讨论和分工合作的方式进行编著。由任贤斌撰写前言、术语、符号、绪论、工法原理、施工材料与设备及附录；由骆诗栋撰写施工工艺与流程、施工质量控制与验收标准，以及工程应用典型案例；董建军、陈彦生参加了部分章节的编撰工作。全书由董建军策划、陈彦生统稿。

鉴于编著者水平所限，书中难免有不当之处，敬希读者不吝斧正为谢。

编著者

2006 年 5 月

术语表

振动：指物体经过平衡位置而往复变化的过程。

机械振动：指物体（或其一部分）沿直线或曲线并经过其平衡位置所作的往复运动。

周期性振动：指振动体每经过一定时间后又回到原来状态。如钟摆等。

电振动：指交变的电场强度、磁场强度、交流电中的电流强度、电压等物理量随时间的变化过程。电振动又称“振荡”。

固有振动：指振动系统不受外界作用而阻尼又可忽略时自然进行的振动。固有振动又称“本征振动”。

阻尼振动：指受到阻尼作用而逐渐衰减以至消失的振动。

受迫振动：指在外界作用下克服阻尼而被迫进行的振动。

无规振动：指不受外界条件控制的非周期的振动。无规振动又称“随机振动”。

阻尼振动：指振动（荡）系统受到阻力作用，造成能量损失而使振动逐渐减小以至消失的振动（荡）。

阻尼因数：指阻尼振动中描述阻尼程度的物理量。阻尼振动的振幅（ A ）随时间（ t ）衰减的规律可用 $A = A_0 e^{\beta t}$ 表示。其中 A_0 为初始时刻的振幅； e 为自然对数的底； β 为阻尼因素。 β 越小，振幅衰减越慢。

模板：指用来造型的模具。俗称“型板”，又称“模型板”、“壳子板”。用作浇筑混凝土等的模子。形状与构件或墙体相适应。

振动模式：指振动系统的简正振动。亦称“简正模式”，简称“振动模”或“模”。

振锤：指借助机械或电磁等方法使一定质量的桩锤运动的一种工具设备。

偏心力：指非通过圆心作用的力。

激振力：指在振动沉模板法中的振动体系由电动机带动偏心块产生偏心力，当两轴相向同速运转横向偏心力消失时，竖向作往复高频振动的一种作用力。

混凝土防渗墙：指于地面上进行造孔施工，在地基中以泥浆固壁，开凿成槽孔或连锁桩柱孔，回填防渗材料，筑成具有防渗性能的地下连续墙。

松散透水地基：泛指覆盖层或由覆盖层和粉状或块状全风化基岩组成的地基。

导墙：指沿防渗墙轴线方向，在设计槽孔宽度以外一定深度内建造的平行防渗墙轴线的平整、垂直的挡土墙。

合拢段的槽孔：指全墙最后施工的一个槽孔。

副孔长度：指当槽孔分为主、副孔时，副孔长度为相邻的两主孔边之间的最小距离。

定向聚能爆破：指在造孔过程中，将具有定向聚能装置的爆破筒下至孤石表面进行爆破。

梅花孔：指冲击钻进时，由于各种原因致使孔形不圆整的孔。

小墙：指相邻单孔之间两侧孔壁及孔底未钻净的残留部位。

孔斜率：指某一孔深处的施工孔位中心相对于孔口处的施工孔位中心的偏差值与该处孔深的比值。

孔位允许偏差：指在孔口水平面上，单孔施工与设计中心位置在任意方向上的偏差值。

孔底淤积厚度：指清孔后 1h，泥浆中的钻渣淤积在孔底的厚度。

..... 符 号 表

- d : 管内径, mm;
 D : 管外径, mm;
 R : 激振力, kN;
 P : 摩阻力, kN;
 F : 摩擦力, kN;
 N : 法向力, kN;
 f : 振动速率, r/min;
 v : 拔模 (管) 提升速度, m/min;
 Q : 流量, L/min;
 ρ : 浆液重度, g/cm³;
 ω : 角速度, r/min;
 r : 偏心半径, cm;
 m_t : 总质量, kg;
 F_c : 总的离心力, kN。

【 目 录 】

编著者的话

前 言

术语表

符号表

1 绪论	1
1.1 工法定义	1
1.2 应用范围	4
1.3 发展简史	9
1.4 发展趋向	10
2 工法原理	12
2.1 作用机理	12
2.2 工作原理	34
2.3 刚性柱墙复合地基设计计算	41
3 施工材料与设备	44
3.1 施工材料	44
3.2 施工设备	48
4 施工工艺与流程	62
4.1 KDS—90/120 型单模板振动沉模板墙机施工工艺与流程	63
4.2 山东华水公司双模板振动沉模板墙机施工工艺与流程	65
4.3 SW311 振动沉模 H 形超薄板墙机施工工艺与流程	68
4.4 振动沉模现浇混凝土柱墙施工工艺与流程	71
5 施工质量控制及验收标准	76
5.1 施工质量控制	76
5.2 振动沉模板法防渗墙质量检测与标准	78

5.3	振动沉模现浇混凝土用材质量检验与评定标准	81
5.4	振动沉模板(柱)墙质量检验	87
6	工程应用典型案例	89
6.1	振动沉模板法堤防防渗加固应用	89
6.2	振动沉模板法水库防渗止水应用	106
6.3	振动沉模板法港闸防渗加固应用	125
6.4	振动沉模 H 形超薄板墙防渗试验及应用	134
6.5	振动沉模现浇混凝土柱墙软基加固典型案例	138
	附录	143
	附录 A 各类桩机主要检测项目与内容	143
	附录 B SL174—96《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》	145
	附录 C 与振动沉模板法有关的英语专业词汇	169
	参考文献	171

绪 论

以振动沉模建槽成墙的技术，统称为振动沉模板法。它包括振动沉模板墙法（含单板与双板）、振动沉模 H 形超薄板墙法和振动沉模现浇混凝土柱墙法三类。

1.1 工 法 定 义

1.1.1 振动沉模板墙法

振动沉模板墙法，指采用机械振动方式，将双模板互为导板交替沉入地层，达到设计深度后拔模建槽，并注混凝土浆成墙的一种施工方法。

目前国内，通常将中国华水水电开发总公司山东华水工程有限公司自主研发的振动沉模防渗板墙新技术(New technique of vibrosinking mold anti-seepage boardwall)，作为振动沉模板墙法(Method of vibrotory model sinking sheet wall) 的同义语披露于世。该项新技术的主要特征是，建槽成墙的板墙连续、平整、无接缝、无缩板、无断板，也没有纵向、横向开叉等缺陷。当前该技术施工设备最大成墙深度可达到 20m、成墙厚度 15~30cm。施工设备具有结构简单、机械化程度高、振动沉模垂直精度控制方式简便等。试验与应用表明，墙体垂直度平均为 7.5‰；墙面平整度平均为 6.4mm；墙体渗透系数平均为 $0.59 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ；渗透临界比降 $J > 100$ ；墙体抗压强度平均 7.23MPa；墙体弹性模量平均为 1834MPa。振动沉模板墙的机械设备总价 180 万元、

相应台班费为 2880 元/台班。设备成本约 30.3 元/m²，人工费 3.7 元/m²，墙体材料成本 34.3 元/m²。

1.1.2 振动沉模 H 形超薄板墙法

振动沉模 H 形超薄板墙法，指采用液压振动方式，将 H 形单模板沉入地层，达到设计深度后拔模建槽，并注入石粉水泥二次膨化浆成超薄墙的一种施工方法。

目前在我国，通常以德国宝峨 (BAUER) 公司生产的 SW311 成墙机为代表，连同该机及其施工工艺作为振动沉模 H 形超薄板墙法的典型[●]，流传于水资源堤坝工程界。

SW311 成墙机是单模 (H 形钢梁) 建槽成墙，其定位主要靠机械调整，为满足墙体的连续性和完整性，采取搭接和在模板端头设置翼墙的措施。其搭接宽度为 8~11cm，翼墙的宽度为 40cm。

SW311 成墙机在我国长江干堤等处试验与应用结果表明，成墙墙体连续、完整，墙面平滑无缺陷，上下墙厚无明显差异，墙体无开裂、无透水，围井开挖封闭良好；墙体垂直度平均为 3.6‰；墙面平整度平均为 4.2mm；墙体渗透系数平均为 0.53×10^{-8} cm/s，渗透临界比降 $J > 100$ ；墙体弹性模量平均为 270MPa。成墙深度 20m；墙厚 7~15cm。

SW311 成墙机总价约 1400 万元，相应设备台班费约 16800 元/台班。设备成本约 60.4 元/m²，人工费为 1.2 元/m²，墙体材料成本为 33.8 元/m²。

需要提及的是，SW311 成墙机引进后，在湖北省监利长江干堤施工试验与应用中，对其注浆的拌和站系统及二次搅拌系统，引进了国产配套设备的替代改造，在确保施工质量的前提下，降低了进口设备总成本。其搅拌供料系统见图 1.1。

1.1.3 振动沉模现浇混凝土柱墙法

振动沉模现浇混凝土柱墙法，又称大直径现浇混凝土薄壁管

● 与 H 形相似的还有法国威宝公司的 I 形模板 (成墙厚 8~15cm)。

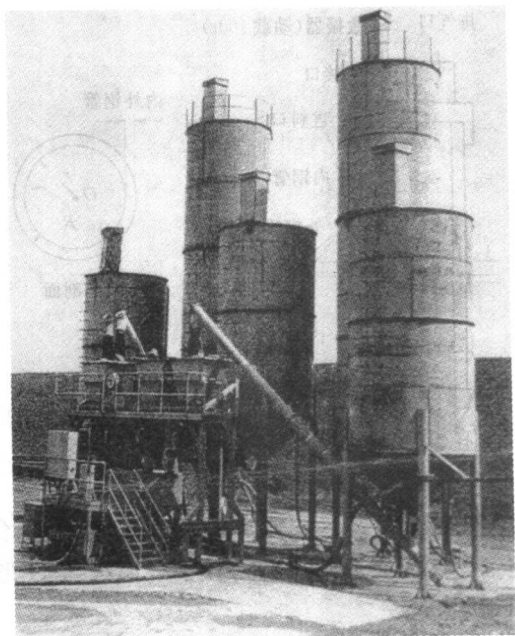


图 1.1 SW311 成墙搅拌供料系统

桩法。

所谓大直径现浇混凝土薄壁管桩是指外径在 1.5m 左右，并向更大的方向发展。利用内外两层间距为 150~200mm 的钢管（见图 1.2）其底部装有的活瓣桩靴用于保护套管的环形腔体，在顶部通过激振器的高频振动作用，将套管一起插入地基土内至设计标高并把多余的地基土排出，灌入混凝土，边振捣边拔管，促使混凝土振捣密实，形成一个直径较大、有一定壁厚、中心充满地基土的筒形桩体，称之为大直径现浇混凝土薄壁管桩。由于用振动拔桩同时浇混凝土，当其一字形以 3~5 倍桩径排列时，形如柱墙，故正名为振动沉模现浇混凝土柱墙法。

振动沉模现浇混凝土柱墙法的突出优点是，既具有刚性柱桩的质量效果，又具有柔性桩的防渗加固作用。采用振动沉模自动

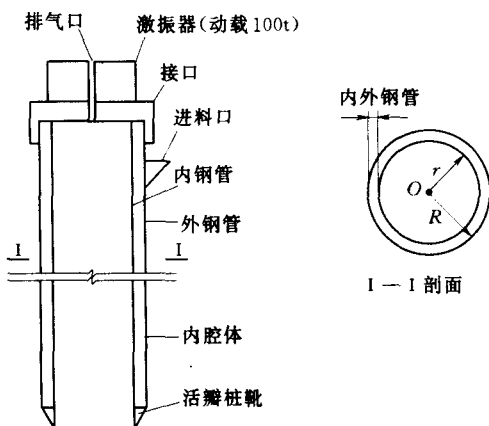


图 1.2 管模结构示意图

排土现浇混凝土而成柱墙，并使防渗加固地基变为复合基础，工艺简单，施工操作便捷，其振动力介于板墙法与 H 形超薄板墙法之间为 1000kN。

1.2 应用范围

由于振动沉模板法一个突出的特点是以振动沉模建槽，及以振动拔模并同时现浇水泥混凝土或石粉水泥浆料成墙，而且勿需采用泥浆护壁的工序，故具有方法简单、操作容易、工效高、成本相对较低、防渗墙成墙质量优良诸优点。在水资源堤防工程、工业民用建筑地基工程、公路交通、市政建设、港口船坞、环保领域的基础工程均可适用。

由于振动沉模板法目前我国主要采用专用设备施工，近来也有采用液压振锤、机架和单、双与多个模板的组合设备，故具体适用范围，因其设备特点和技术特征各异而相应不同。

1.2.1 振动沉模板墙法技术特征与适用范围

(1) 技术特征。

1) 技术先进、质量可靠。建造的墙体垂直连续, 墙面平整, 厚度均匀, 无接缝、缩板、断板和纵横向开叉缺陷, 完整性良好, 板墙的物理力学性质均能满足抗渗稳定要求。

2) 工效高。每台套设备平均每日可造墙 300m^2 以上。

3) 造价便宜。每平方米造价一般为 150 元左右。

4) 工艺简单, 易于操作。利用空腹钢模板造槽、导向、护槽、灌注、振捣等项功能连续成墙, 工艺简单, 易于质量控制。

5) 设备性能稳定, 机械化程度高, 便于操作, 且价格便宜, 仅为国外设备费的 $1/8$ 左右。

6) 科学的施工规程。根据试验资料和施工经验, 编制了科学的施工规程及工艺细则等, 满足设计与施工要求。

(2) 适用范围。

1) 适用地层。适宜于砂、砂性土、粘性土、淤泥质土及极个别砂砾石地层施工, 目前造墙深度可达 20m , 墙厚 $10\sim 20\text{cm}$ 。

2) 适用工程。该法已在国内 10 余个省市自治区的水资源堤坝、闸室、水库、泵站、供水等防渗工程中应用 (见表 6.29)。

1.2.2 振动沉模 H 形超薄板墙法技术特征与适用范围

(1) 技术特征。

1) 墙体浆液所用材料和配比与国内不同。超薄防渗墙体为浆液, 所用材料为水泥、石粉、膨胀土, 其中主要成分石粉代替了国内惯用的砂、石子。此浆液质量稳定, 流动性好, 可确保墙体连续性。

2) 自动化程度高, 质量控制措施多, 工程质量容易得到保证。浆液拌制采用全自动控制系统, 只需按设计配合比的各材料用量在键盘上设定即可; 主机控制垂直度的手段多, 而且操作灵活, 有利于确保墙体连续封闭不开叉。

3) 工艺流程合理, H 钢梁有效的翼缘可确保前提连续不开叉。与国内造孔设备不同, 在 H 梁和底靴两侧有 400mm 宽的翼缘, 在造孔过程中如果发生中心偏差和垂直度过大造成防渗墙底部开叉, 由于翼缘存在, 大大增加了搭接宽度, 因此防渗墙还是