

中国堤防工程施工丛书

ZHONGGUO
DIFANG GONGCHENG
SHIGONG
CONGSU

11

注浆法

蔡胜华 黄智勇 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

11

注 浆 法

蔡胜华 黄智勇 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，主要介绍了注浆法的定义、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，并通过典型案例加以说明。书中还介绍了一些新的工艺技术以及我国目前注浆法的研究现状及发展趋势。

本书可为从事水资源堤防工程者直接应用，并为从事土木建筑、交通港航、铁路桥隧、围海造陆、地基处理以及中职、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

注浆法 / 蔡胜华等编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2006

(中国堤防工程施工丛书; 11)

ISBN 7-5084-3816-7

I. 注... II. 蔡... III. 堤防—防洪工程

IV. TV871

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 052089 号

书 名	中国堤防工程施工丛书·11 注浆法
作 者	蔡胜华 黄智勇 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 7.5 印张 202 千字
版 次	2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	23.00 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。在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、施工质量控制与检收标准、工程应用典型案例。书前汇集了相应的术语与符号；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

在以帷幕防渗、堵漏止水、固结纠偏和裂缝修补为主要目的的注浆工程中，广泛使用普通注浆材料和化学灌浆材料，以气压、液压或电（动）化学原理，将浆液注入天然的和人为的裂隙或孔隙，用以改善被注载体诸如岩体、土壤、混凝土和钢筋混凝土的均匀性、连续性和完整性。注浆法成功地解决了堤防建设、水利水电工程、铁路隧道、建筑工程、公路工程、港航码头、桥梁基础、矿山建设、石油开采、地下工程、文物修缮、水下补强、软基处理和生态环境各领域的地质缺陷、施工缺陷、时效缺陷等一系列难题。

注浆法除了上述各工程领域的广泛涉及以外，该法另一个突出特点，就是几乎涵盖了地质体诸如岩石、土壤，人工结构体诸如混凝土、钢筋混凝土等，包括岩浆岩、沉积岩、变质岩三大类岩体中的断层、裂隙和破碎带、软弱夹层；混凝土与钢筋混凝土中的空洞与孔隙、非温度裂缝等；同样还适用于各种软基诸如软粘土、淤泥、湿陷性黄土，以及复杂地基的粉细砂、砂层和砂砾石层等。

注浆法应用如此之广，根源于注浆机理明晰和注浆工法原理清楚这两点。本书基于浆材的组构、成分、流态和在注浆载体中的运动规律，着重从充填、压密、渗透、劈裂和电（动）化学原理五个方面分别叙述，并用实例加以佐证。

本书是《中国堤防工程施工丛书》之一，采取的是集体讨论与分工合作的方式进行编著。由蔡胜华编撰前言、术语、符号、绪论、工法原理、施工材料与设备及附录 A~C；由黄智勇执笔

编撰施工工艺及流程、施工质量控制与验收标准、工程应用典型案例及附录 D~F；董建军与陈彦生参加了部分章节的编写工作。全书由董建军策划，陈彦生统稿。

鉴于编著者的水平所限，书中难免有欠妥之处，敬希读者斧正为谢。

编著者

2006年1月

术语表

钻孔：指为勘探或注浆在岩土中成孔的工序。

钻机：指装有调节旋转速度，钻头上的压力的机械离合器和卷扬机在岩石或土壤中钻孔的机械设备。

钻杆：指由3~10m长的连接段组成的钢管，用钻机转动，并在其末端带有或不带切取岩心的钻头。

乳剂：指不混合在一起的两种液体的分散体。

冲洗：指在钻进时，用泵增压的水，通过钻杆冲洗钻孔，或钻孔后用水冲洗。

胶凝体：指由胶质液体的凝聚而形成的胶状物。

胶凝时间：指用作注浆的胶质液体或树脂，在胶凝前保持液态的时间。

注浆廊道：指在基础面、坝基下面，或坝墩中为进行钻孔和注浆之用，开挖或修建的混凝土廊道。

无效钻孔：指在注浆帷幕面以上地基中的钻孔孔段。

灌注：指用泵增压以迫使浆液或液体进入地基的裂隙或空隙。

吕荣单位：指由钻孔孔段内的压水试验测定的渗透性。

砂浆：指水泥、砂和外加剂，用水拌和成塑性稠度的拌和物。

注浆塞：指固定在注浆段末端，以防浆液在钻孔中冒出的专用设备又称阻塞设备。

冲击回转钻：指钻杆末端无取岩心钻头的钻机，利用液压或气压锤，间歇性的冲击切取岩石。

测压管：指装有套管的钻孔，其下部有透水段，管底封闭。用细的竖管引到地面，或由压力传感器记录地下水位。

回转钻：指钻杆末端装有旋转式取岩心或无取岩心钻头的钻机。

孔段：指单独进行注浆的孔的一段长度。

浆液：指由细的固体颗粒分散在液体中所组成的二相体。

触变性：指浆液等电荷颗粒，促进弱的相互粘结的一种性质，其结果使静止时成为可逆性胶凝，振动时变成液体。

翼状帷幕：指延伸到坝墩的注浆帷幕。

吸收作用：指浆液渗入地基的裂隙或空隙。

外加剂：指加入浆液拌和物中的少量物质，用以改善其性质。

吸附作用：指水分子或离子粘附在土粒的表面的功能。

配料：指称重和配比浆液拌和物的成分。

环路注浆：指用回路把多余的浆液送回注浆站的搅拌机灌注孔段。

劈裂：指用高的注浆压力把地基中的裂隙张开。

粘土混凝土：指用粘土代替混凝土中的部分砾石、砂和水泥。

凝聚作用：指形成带有不同电荷的颗粒的团粒悬浮在表面的功能。

岩芯：指用钻探在地基中取出的岩样。

岩芯筒：指钻杆最下端带有取岩芯钻头的短管，用它来获取岩芯。

截水墙：指在液体压力保护下，深入土壤的连续墙，按需要用混凝土、钢筋混凝土、塑性混凝土或水泥土等填筑。

普通水泥浆液：指普通硅酸盐水泥浆液或硅酸盐大坝水泥浆液。

细水泥浆液：指干磨水泥浆液、湿磨水泥浆液和超细水泥浆液。

硅粉水泥浆液：指硅粉掺量 8.6%、UNF—5 掺量 2%、水灰比 0.5 的水泥浆液。

高水速凝浆液：指由硫铝酸盐水泥熟料、柠檬酸与水组成的甲料，和由石膏、生石灰、膨润土、碳酸钠与水组成的乙料共同在高水条件下混合并迅速凝固的浆液，凝固后凝固体中体积含水量超过 80%。又称高水注浆浆液。

纳米水泥浆液：指粒径 1~10nm 的水泥浆液。

稳定浆液：指掺有少量稳定剂，析水率不大于 5% 的水泥浆液。或者塑性屈服强度等于或大于 10Pa 的浆液。

混合浆液：指掺有掺和料的水泥浆液。

膏状浆液：指塑性屈服强度大于 20Pa 的混合浆液。但塑性屈服强度达到 35Pa 时的膏状浆液难于泵送。

真溶液浆液：主要指由化学高分子聚合物配制的有机浆液。

悬浊液浆液：指固相颗粒（线性大小在 0.1 μm 以上）悬浮于液相中的一种多相分散系统的浆液。又称悬浮液浆液。

乳化液浆液：指由两种互不相溶的液体所组成的分散系统、液滴尺度为 1~50 μm 的浆液。又称乳状液浆液。

裂隙：指岩石受地质作用影响而出现的裂缝。由地壳运动引起的裂隙称构造裂隙；由风化作用引起的裂隙称为风化裂隙；在岩浆岩冷凝及沉积固化的过程中产生的裂隙称原生裂隙。

孔隙：指土或岩石介质中的细微空间。

空洞：指土或岩石介质中的短小空间。

超前注浆：指在地下洞室开挖中对可能遇到的不良地质地段，预先灌注水泥或化学浆液，以减少涌水、固结围岩的施工措施。又称超前灌浆。

充填注浆：主要指用注浆来填充混凝土衬砌与围岩之间或钢板衬砌与混凝土衬砌间的空隙，以改善传力条件与减少渗漏的工程措施。又称回填灌浆。

静压注浆：指利用液压、气压和电化学原理，通过注浆管把浆液顺利地注入被注载体中并以填充、渗透和挤密等方式，赶走岩石裂隙中或土颗粒间的水分与空气后占据其空间，经人工或自动控制一定时间后，浆液与原本非连续的裂隙或松散的土粒胶结成一个整体，形成一个新结构、抗水和化学稳定性好的结石体。又称静压灌浆。

固结注浆：指为提高天然岩基或地下洞室、围岩的整体性和固结度所采取的注浆加固措施。又称固结灌浆。

帷幕注浆：指为坝基防渗而在上游坝踵岩基内进行的深层注浆。又称帷幕灌浆。

接触注浆：指两种不同介质或同一介质两个界面，以提高其接触面上的物理力学性能的填充注浆。又称接触灌浆。

渗透注浆：指通过注浆压力，使浆液克服阻力渗入到孔隙（土体）或裂隙（岩体、混凝土或钢筋混凝土体），就地凝固而达到加固或减少渗漏的注浆。又称渗透灌浆。

压密注浆：指采用严密施工控制的方法，将很稠的浆液（其坍落度小于25mm），通过钻孔向被注载体并在注浆处形成主要是球形的浆泡（结石体）及其周围被置移和压密载体的注浆。又称压密灌浆。

劈裂注浆：指通过注浆孔内施加压力于具备可注性的注浆载体中，当液压超过渗透注浆与压密注浆的极限力（两者合称为劈裂压力）时使被注载体发生水力劈裂并产生新的裂缝，或者使原有裂缝沿最小阻力抗线方向继续扩展、张开，然后让浆液扩散于其间并加固的一种注浆。又称劈裂灌浆。

粘土固化注浆：指借助于压力（液压或气压）或电化学的原理将高固

化的粘土固化浆液，通过一定的管路注入注浆载体（岩土介质或混凝土钢筋混凝土等）中的裂隙、孔隙与空洞，并将其中的水分与空气赶走，将破碎的岩体或松散的土体胶结起来，以达到改善岩土介质的连续性、完整性和物理力学性的一种降低岩土渗透性、减少岩土变形及提高其承载力的施工技术。又称粘土固化灌浆。

接缝注浆：指为分块浇筑的混凝土连成整体，对相邻块间的缝面进行注浆的工程措施。又称接缝灌浆。

可灌注性：指灌注时地基或建筑物接受浆液的有效注浆能力。

冒浆：指灌注时浆液沿着裂缝渗出的现象。

串浆：指灌注时浆液在注浆孔之间串通的现象。

注浆封孔：指注浆结束停歇一定时间后，用填充物填实孔口的流程。

注浆试验：指在进行灌注处理前为了解地基可灌性及选定注浆参数与工艺而在现场进行的试验。又称灌浆试验。

硅酸盐水泥：指在硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料加入适量的石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。

普通硅酸盐水泥：指以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料，掺少量混合材料与适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。又称普通水泥。

矿渣硅酸盐水泥：指由硅酸盐水泥熟料和粒化高炉矿渣材料，加适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。又称矿渣水泥。

火山灰质硅酸盐水泥：指由硅酸盐水泥熟料、火山灰质混合材料加适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。又称火山灰水泥。

膨胀水泥：指由硅酸盐水泥熟料与膨胀剂和石膏按一定比例磨细制成的在水化过程中，体积略有增大的水硬性胶凝材料。

粘土：本书主要指粘粒粒径小于0.005mm、塑性指数（ I_p ）不小于14的含量在25%、含砂率不大于5%、有机质不大于3%的土壤。

粉煤灰：本书主要指不粗于同时使用的水泥粒度，且烧失量小于8%， SO_3 含量小于3%的一种掺和料，或专指上述规定指标的火电厂粉煤炉中排出的粉灰。

初凝：指水泥浆的塑性开始失去时的状态。

终凝：指水泥浆的塑性完全丧失，自身形状开始固定不变的状态。

水灰比：指单位体积浆液或混凝土内的用水量与水泥用量的重量比值。

稠度：指水泥浆或水泥砂浆的流动性、柔软性或湿度的指标。

坍落度：指按规范方法以装入标准圆锥筒内的混凝土拌和物，在提起

筒后所坍落的厘米数来表示的混凝土拌和物流动性大小的指标。

掺和料：指为改善混凝土性能、减少水泥用量及降低水化热而掺入混凝土中的活性或惰性材料。

外加剂：主要指速凝剂、减水剂、稳定剂等添加剂。

速凝剂：本书主要指为加速水泥浆液凝结，并提高早期强度而加入的一些可溶性的外加剂诸如水玻璃、氯化钙、三乙醇胺等。

减水剂：指阴离子的表面活性剂诸如萘素、木质素磺酸盐类等，它（们）加入水泥浆中能对水泥颗粒起扩散作用使其充分水化，以减少水泥浆的需水量的一种外加剂。

稳定剂：本书主要指高塑性粘土与膨润土。

电渗：电动现象的一种。指很多凝胶、离子交换膜、多孔吸附剂和玻璃毛细管等，在充满液体（介质）时，于外加电场的影响下，由于凝胶、吸附剂和毛细管位置已固定，介质和胶粒的相对运动就表现为液体（介质）的移动。在电化学上称此移动为电渗。

电泳：电动现象的另一种。指在分散体系中带电的分子或颗粒在外加电场的影响下，向电极移动的现象。

（电）离子交换：在这里主要指土壤胶体所吸附的离子和土壤溶液中的离子相互交换的作用，主要是阳离子相互交换。

离子交换与电渗、电泳是构成电（动）化学注浆法的三个主要作用机理。

浆液饱和度：指注浆载体中的原有裂隙或孔隙被浆液填满的程度。

符 号 表

- A : 面积, m^2
 C : 凝聚力, kN/m
 C_f : 剪切强度参数, kN/m
 C_p : 粘滞性单位, $10^{-3} Pa \cdot s$
 E : 弹性模量, kPa 或 MPa
 E_d : 动弹性模量, kPa 或 MPa
 h : 静水头差, m 或 cm
 i : 水压力坡降
 PI : 塑性指数, %
 K : 土压力系数
 k : 渗透系数, cm/s
 L, l : 长度, m 或 cm
 Lu : 岩石渗透性的吕荣单位, $lit/(m \cdot min \cdot 10bar)$ 或 $0.01L/(min \cdot m \cdot m)$
 N : 吕荣单位数, $lit/(m \cdot min \cdot 10bar)$ 或 $0.01L/(min \cdot m \cdot m)$
 P : 压力, kPa 或 bar
 Q : 流动体积, m^3 或 cm^3
 q : 流量, m^3/s 或 cm^3/s
 V : 体积, m^3 或 cm^3
 W : 质量, g ; kg 或 t
 W : 力, kN
 w : 土壤含水量, 干重的 %
 w_l : 液限, %
 w_p : 塑限, %
 γ : 单位重量, kN/m^3
 θ : 单位体积应变, %
 ν : 粘滞性系数, $kN \cdot s/m$
 λ : 线性收缩, %
 η : 动粘滞性, m/s

ρ : 单位质量, g/cm^3

σ : 正向应力, kPa 或 MPa

τ : 抗剪强度, kPa 或 MPa

τ_0 : 临界剪切抗力, kPa 或 MPa

ϕ : 抗剪强度角度

Φ : 势函数

ψ : 渗透函数

(代号)

C: 水泥; SH: 石灰; A: 外加剂

CL: 粘土; SG: 石膏; FA: 粉煤灰

B: 膨润土; JF: 激发剂; S: 砂

W: 水; PU: 泡沫; G: 石子

XP: 水玻璃; LSN: 铝酸钠

【 目 录 】

编著者的话

前 言

术语表

符号表

1 绪论	1
1.1 注浆法定义	1
1.2 应用范围	8
1.3 发展简史	10
1.4 发展趋向	13
2 工法原理	15
2.1 注浆材料的流变特性	15
2.2 充填注浆法作用机理	17
2.3 压密注浆法原理	19
2.4 渗透注浆法原理	20
2.5 劈裂注浆法作用机理	26
2.6 电(动)化学注浆法原理	29
3 施工材料与设备	35
3.1 施工材料	35
3.2 施工设备	51
4 施工工艺与流程	61
4.1 注浆法施工程序与技术要点	61
4.2 充填注浆法施工工艺与流程	63
4.3 压密注浆法施工工艺与流程	70
4.4 渗透注浆法施工工艺与流程	73
4.5 劈裂注浆法施工工艺与流程	74

4.6	电(动)化学注浆法施工工艺与流程	77
4.7	袖阀管注浆法施工工艺流程	80
5	施工质量控制及验收标准	83
5.1	充填注浆质量控制——以锥探灌浆为例	84
5.2	压密注浆质量控制与评定	86
5.3	渗透注浆质量检验与控制标准	87
5.4	劈裂注浆质量控制与验收标准	88
5.5	电(动)化学注浆法电渗质量控制与验收	89
5.6	袖阀管法注浆质量控制	90
6	工程应用典型案例	93
6.1	充填注浆典型案例	93
6.2	压密注浆典型案例	99
6.3	渗透注浆典型案例	111
6.4	劈裂注浆典型案例	117
6.5	电(动)化学注浆典型案例——海南龙珠大厦 电渗排水固结	128
7	注浆法适用的标准规范	132
7.1	中华人民共和国国家及行业标准	132
7.2	中国台湾标准	133
7.3	美国材料试验协会(ASTM)标准	133
7.4	美国道路及运输者协会(AASHTO)标准	134
7.5	企业标准——中国铁路工程总公司1999~2003年间编制	134
附录	136
附录A	注浆法试验/施工常用表格图例	136
附录B	注浆法常用设备性能参数	163
附录C	锥探灌浆施工规定	179
附录D	锥探灌浆工程监理实施细则	192
附录E	注浆工程质量验收	203
附录F	注浆法有关英语专业词汇	212
参考文献	218

绪 论

1.1 注浆法定义

注浆法，指用气压、液压、电化理论或其他方式把浆液注入各种介质中以形成一定范围的注浆载体的一种施工技术。

由上述定义可知，注浆法涵盖了两方面的内容：

(1) 主体方面。

1) 浆液：注浆法必备的材料。

2) 注入方式：气压、液压、电化理论等，注浆法实施的过程及其注浆设备配置。

(2) 客体方面。

1) 介质：土壤、岩体、混凝土或钢筋混凝土等。

2) 一定范围：利用钻孔注浆获得的 n 倍以上半径的有界性^[69]空间。

3) 注浆载体^[70]：由多个钻孔组成的复连通区域连同钻孔周围的裂缝、裂隙、孔隙、空隙等，经注浆以充填、压密、渗透、劈裂进行“占位”后的结石体（或固结体）。

注浆载体除工程名称外，按其固体及其内部赋存的裂缝、裂隙、孔隙、空隙等，则可划分为多孔（介质）注浆载体、裂隙（介质）注浆载体、孔隙和裂隙双重（介质）注浆载体，以及拟连续（介质）注浆载体等。

所谓有界性就是指采用浆液灌注时形成的结石体具有明确的