

中国堤防工程施工丛书

ZHONGGUO
DIFANG GONGCHENG
SHIGONG
CONGSHU

10

高 喷 法

李 刚 廖勇龙 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

10

高 喷 法

李 刚 廖勇龙 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, 主要介绍了高喷法的定义、适用范围、工法原理、施工工艺流程、质量控制及检验, 并通过长江重要堤防隐蔽工程以及松花江、珠江、嫩江、海河等部分工程实例, 来说明高喷法的应用。书中还介绍了一些新的工艺技术以及我国目前高喷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, 并为土木建筑、冶金采矿、石油化工、公路交通、铁道桥隧、地基处理的设计、科研、施工、监理、生产与管理方面的人员和中职、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

高喷法/ 李刚等编著. —北京: 中国水利水电出版社,
2005

(中国堤防工程施工丛书; 10)

ISBN 7-5084-3215-0

I. 高... II. 李... III. 堤防—水泥浆加固(地基)
IV. TV871

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 098832 号

书 名	中国堤防工程施工丛书·10 高喷法
作 者	李刚 廖勇龙 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 4.875 印张 131 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	16.00 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。“防水的堤防”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

中国堤防，素有“水来土掩”的渊源。

鲧注于“堵”，禹倡于“疏”。两者均离不开土石堤坝。

北魏（386~534年）酈道元著《水经注》，记载中国大小水道“一千二百五十二”条，一一穷源竟委，详其迁流，是一部侧重于自然地理的经典水利史，但对堤防工程的记载甚微。

直到20世纪，炎胄子孙才认识到水头不高、水线很长的万里堤防，其险象发生，主要是渗透破坏为主，堤体强度破坏为辅的道理，这时，才将防洪抢险注意力集中到以延长渗径、降低浸润线高程以及确定合理渗透比降为中心的视野上来。

1998年洪水后，长江、黄河、淮河、海河、松花江辽河、珠江以及太湖流域各大水系的重点堤防，掀起了一个采用各种工法成槽造墙的应用高潮，其中1998年开始的国家重点工程长江重要堤防隐蔽工程，包括湖北、湖南、安徽的长江干流堤防及湖北汉江遥堤、江西赣抚大堤等重要堤防的堤身堤基防渗工程、穿堤建筑物除险加固工程和护岸工程、长江干流重要河段河势控制工程、荆江分洪区南闸加固工程等。其防渗处理堤防长度达457km，防渗墙面积达529万 m^2 ，是一项举世瞩目的防渗固堤工程。

在垂直防渗墙的施工中，高喷法是最重要的工法之一。它具有地层适应面广、造价低、工艺成熟等优点，在复杂地质条件及施工环境恶劣的堤段，具有广阔的应用前景。有很多标段最初设计的工法并不是高喷法，但由于高喷法独具的优点，以及现场条件的复杂，最后设计变更为高喷施工。高喷形成的墙体经过检

测，质量能够满足设计要求，并通过了 21 世纪初大洪水的检验，证明高喷应用于堤防的防渗，从技术经济上都是可行的。

为了及时总结高喷法在我国重要堤防工程中的有效应用经验，以及进一步深化、推广该工法在其他有关领域的拓展前景，在《中国堤防工程施工丛书》的统一架构布局下，采取集体讨论分工合作编著方式，由李刚主笔编著了《高喷法》一书；廖勇龙进行了主要章节的撰写工作；董建军、陈彦生参加了部分章节的编撰。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、黄河水利委员会、淮河水利委员会、海河水利委员会、松辽水利委员会、珠江水利委员会和太湖流域等文献资料，在此向以上部门一并表示感谢。

由于作者水平有限，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

单管法：利用单管喷射高压浆液直接切割土体的加固方法。

双管法：利用双通道的注浆管，同时喷射压缩空气和高压浆液，切割土体的加固方法。

三管法：使用水、气、浆三通道注浆管，同时喷射压缩空气、高压水射流和低压浆液切割土体的加固方法。

半置换法：利用充填材料与土体进行原地掺搅形成固结体的加固方法。

全置换法：一种用充填材料充填空间的加固方法，又称为多管法。

旋喷：即旋转喷射，一边旋转一边提升的高压喷射注浆方法。

定喷：即定向喷射，提升时喷嘴方向固定不变的高压喷射注浆方法。

摆喷：即摆动喷射，一边按一定角度摆动一边提升的高压喷射注浆方法。

柔性连接：高喷板墙自身和它与周边构筑物在三维空间的连接。

Super Jet 工法：一种大直径高压喷射注浆法。

RJP 工法：一种在三管法的基础上进行改进的二次切割喷射方法，又称二次切割法。

CCP—H 工法：日本在单管旋喷的基础上开发的、专用于水平钻孔的旋喷工法，利用扩径钻头以对土体进行破坏。

RJFP 工法：在隧道拱部外缘旋喷成的固结体中插入钢筋或铜管，使形成的固结体拱棚具有纵向抗弯能力的高喷工法。

MJS 工法：即全方位高压喷射技术，利用排泥机构排除泥浆，加强置换，减少污染。

水平旋喷拱：通过旋喷注浆，形成一个薄的拱壳衬砌，在膜保护下进行开挖的一种预衬砌方法。

空气抽吸工法：利用压缩气的“气泵”作用，排除泥浆，提高固结体含量的一种工法。

连续喷射流：压力和速度均不随时间变化，流量连续而均匀的喷射流。

连续脉冲喷射流：压力和流量按一定周期变化，具有脉冲波动幅度的

连续不均匀喷射流。

间隙喷射流：靠较长时间积累起来的能量突然释放，使低压水在极短的时间内变成高速液流从喷嘴中喷射出来，是一种不连续的脉冲喷射流。

脉冲振荡破土效应：射流受原动机及介质在管路中运动特性的影响，使喷射介质的流量流速或压力发生大小不同的振动现象。

水楔破碎效应：射流喷射到地层的间隙上，由于反作用力的影响，致使在垂直于喷射轴的方向上发生扩张土壁的现象。

气穴效应：水减压后，水就变成气体和液体的混合体的现象，又称空蚀现象。

冲切掺搅作用：射流作用于土体时，产生的冲切土层的作用。

升扬转换作用：在实行浆气、水气喷射时，压缩空气能量释放后产生的气泡，能将孔底冲切下来的土体细颗粒沿孔壁向上升扬流出孔口，同时置换浆液的作用。

充填挤压作用：射流束末端对周围土体产生侧向挤压力，产生类似静压注浆的作用。

渗透凝结作用：浆液向冲切范围以外产生浆液渗透的作用。

位移衬裹作用：大颗粒在射流冲击振动力作用下产生位移，被浆液衬裹的作用。

负压卷吸作用：高压射流的周侧属低压区，存在着较强的卷吸作用，从而使浆液被涡卷吸附进入地层。

切割式连接：先期形成的凝结体强度不高时，后期喷射流可以把它冲切割开，从而形成防渗墙的连接方式。

焊接式连接：先期形成的凝结体强度高时，喷射流难以将其切割，在喷射流作用下，将其表面冲刷剥离洁净，新的浆液再与之凝结的桩体连接方式。

冒浆：喷射注浆中，部分土颗粒随着一部分浆液沿着喷射管壁冒出地面的现象。

凹穴：喷射注浆后，浆液表面因析水沉淀而出现一定程度下陷的现象。

符 号 表

a, b : 折减系数	p : 功率, kW
A_0 : 射流轴向冲切土层面积, m^2	Q_i : 喷射流的流量, m^3/s
A_j : 喷射流截面面积, m^2	Q_a : 喷浆量, m^3
A : 喷嘴横断面积, m^2	Q_w : 喷射流中介质的流量, m^3/s
c_w : 水灰比 (水与水泥的重量比)	Q : 流量, m^3/s
d_0 : 喷嘴直径, m	r_0 : 钻孔半径, m
D_0 : 注浆管直径, m	R_{28} : 抗压强度, MPa
d_{15} : 灌注材料中 15% 的颗粒小于该粒径	d_{85} : 灌注材料中 85% 的颗粒小于该粒径
D_e : 旋喷直径, m	R_a : 影响半径, 以一半墙厚考虑
D : 墙厚, m	R_t : 土的抗压强度, MPa
E : 喷射流所做的功, J	S_0 : 钻孔内水位至地下水距离, m
e : 旋喷桩的交圈厚度, m	S : 喷射提升速度, m/s
F_t : 作用在土体中喷射时的破坏力	T_t : 土体抗拉强度, MPa
F_w : 水体冲击力, MPa	v_0 : 初期流速, m/s
G_t : 粘土的重量, kg	v_0 : 射流速度, m/s
G_w : 水的重量, kg	v_1 : 在静止液内土粒沉降速度, m/s
g : 重力加速度, $9.81m/s^2$	v_2 : 喷射液从冲切面返回时带出土粒的速度, m/s
Φ : 喷嘴流速系数	v_d : 提升速度, m/s
h_c : 极限深度, m	v_j : 喷射流的平均速度, m/s
h_w : 水头, m	v_w : 喷射流中水速度, m/s
h : 土体上覆厚度, m	x_1 : 初期区域长度, m
H : 钻孔内水位至孔底的距离, m	x : 喷射流中心轴与喷嘴距离, m
J : 墙体的允许比降	γ_c : 水泥相对密度
K : 渗透系数, cm/s	γ_m : 射流液容重, kN/m^3
L_j : 喷射长度, m	γ_n : 岩土颗粒容重, kN/m^3
L : 旋喷桩孔位中心间距, m	γ_n : 岩土颗粒容重, kN/m^3
M : 注入比	γ : 土体密度, kg/m^3
m : 混合液截面上流速不均匀系数	ΔA : 喷头与孔壁环隙面积, cm^2
N : 标准贯入锤击数	δ : 岩土颗粒直径, m
P_a : 喷射流破坏力	μ_0 : 流量系数
P_i, P_o : 喷嘴入口及出口压力, MPa	ρ_i : 泥浆的密度, kg/m^3
ρ_w : 喷射流中介质密度, kg/m^3	

【 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	6
1.3 发展简史	8
1.4 发展趋势	9
2 工法原理	15
2.1 作用机理	15
2.2 工作原理	33
3 施工材料与设备	36
3.1 施工材料	36
3.2 施工设备	49
4 施工工艺及流程	60
4.1 施工准备	60
4.2 施工工艺参数	62
4.3 施工工艺流程	72
5 施工质量控制及验收标准	78
5.1 施工质量控制	78
5.2 验收标准	85
5.3 质量效果评价	89
6 工程应用典型案例	91
6.1 工程应用实例	91

6.2 应用效果评价	116
附录	118
附录 A 高喷法施工常用表格	118
附录 B 堤防工程高喷法施工单元工程质量评定表	126
附录 C 常用高喷设备技术指标	127
附录 D 国内主要旋喷钻机参数表	128
附录 E 高压旋喷注浆施工工艺标准	131
参考文献	138

绪 论

1.1 定 义

高喷法全称为高压喷射注浆法，是一种最早由日本发明、利用高压水力喷射切割机理，将土、化学药品或水泥浆液搅拌一起以加固地基的方法。具体讲，高喷法是利用钻机钻孔至设计要求深度作为导孔，将下端带有特殊喷嘴的喷杆插入施工设计的某一深度，利用高压泵喷射硬化剂以射流切割地盘（含堤防工程的堤身、堤基、建筑物地基或地层），并通过所定速度旋转提升钻杆，来改良之土体并形成固结体，达到防渗透加固的目的。

1.1.1 根据喷射介质分类

高压喷射注浆按喷射介质的不同，可以分为单管法、双管法、三管法和多管法等。

(1) 单管法。单管法利用钻机等设备，把安装在注浆管底部侧面的特殊喷嘴置入土层预定深度后，用高压泥浆泵等装置，以20MPa左右的压力，把浆液从喷嘴中喷射出去冲击破坏土体，同时借助注浆管的旋转和提升运动，使浆液与土体混合，经过一定时间，形成水泥土固结体（图1.1）。

单管法的特点是以单独喷射高压水泥浆液作为喷射流。

(2) 双管法。双管法按照喷管的结构可以分为二重管式、二列管式和二套管式。

二重管高喷法使用的是双通道的注浆管，内管的连接为插

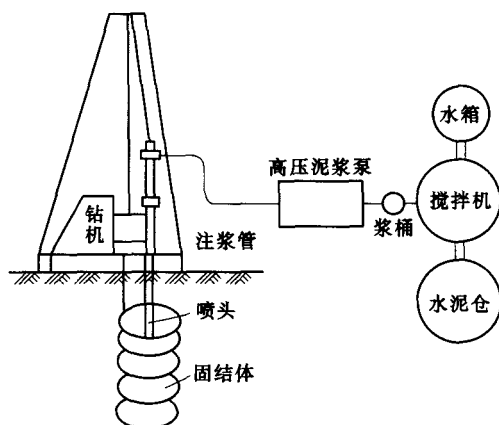


图 1.1 单管法的结构示意图

接，外管的连接为螺纹连接。当双通道注浆管钻进土层的预定深度后，通过在管底部侧面的一个同轴双重喷嘴，从外喷嘴射出 0.7MPa 左右的压缩空气，同时从内喷嘴喷射出 20MPa 左右的高压浆液。在高压浆液流和其他外圈的环境空气流的共同作用下，土体被破坏，随着喷嘴的旋转和提升，浆液与土体混合，经过一定时间形成水泥土固结体，见图 1.2。

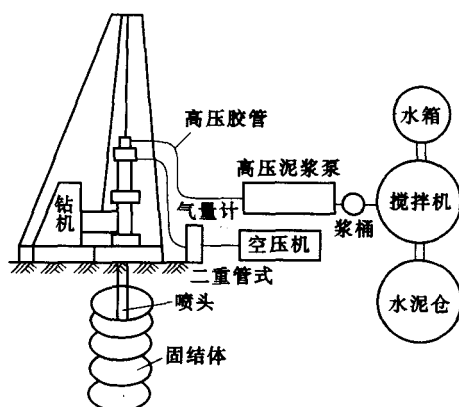


图 1.2 双管法的结构示意图

二列管及二套管式高喷法原理与二重管相同，但喷管的结构不同。二列管式的浆管和气管分别装在一根外管内。二套管式的注浆管放在一根外管内，气从浆管外的环隙通过。

双管法的特点是以同轴复合喷射高压水泥浆液和压缩空气两种介质。

(3) 三管法。三管法使用分别输送水、气、浆 3 种介质的三通道注浆管，通过高压泵等高压发生装置，产生 40MPa 左右的高压水喷射流，周围环绕一股 0.7MPa 左右的圆筒状气流，利用高压水射流和气流同轴喷射冲切土体，以形成较大的孔隙，另外再由泥浆泵注入压力为 0.5~1MPa 的浆液填充，当喷嘴旋转和提升时，浆液和土体混合，经过一定时间，形成水泥石固结体（图 1.3）。

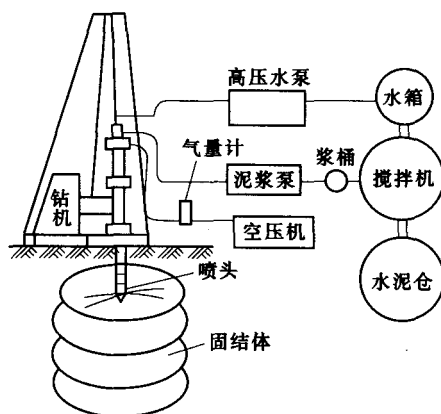


图 1.3 三管法的结构示意图

三管法按照喷管的结构可以分为三重管式及三列管式。三重管的旋喷导流器精度要求十分严格，制作工艺较高，容易出现串流和渗漏；而三列管将其改为 3 根并列的管，分别输送水、浆、气，制作工艺简单，故障少。为满足建设工程的需要，在设备改造技术升级的基础上，又出现了分别输送高压水、高压气、高压浆的新三管法。

三管法的特点是以同轴复合喷射高压水流与压缩空气，并注

入水泥浆液。

(4) 多管法。上述三种方法都是利用充填材料与土体进行原地掺搅形成固结体，是一种半置换法。近来又发展了一种用充填材料充填整个空间的全置换法，称为多管法（日本称为 SSS—MAN 法）。其工法是，先在地面上钻一导孔，然后置入多重管，用逐渐向下运动旋转的超高压射流，切削破坏四周的土体，经高压水冲切下来的土和石，随着泥浆用真空泵从多重管中抽出，如此便在地层中形成一个较大的空间；装在喷嘴附近的超声波传感器可及时测出空间的直径和形状，然后根据需要选用浆液、砂浆、砾石等材料填充，在地层中形成一个大直径地柱状固结体，见图 1.4。该法可在砂性土中形成最大直径达 4m 的桩体。

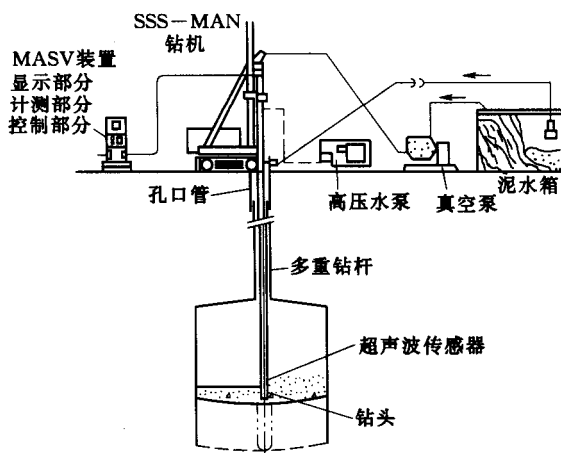


图 1.4 多管法的结构示意图

多重管法的特点是，拓展了三管法的适用介质范围和成桩直径尺寸。

1.1.2 根据喷射形式分类

按照水泥固结体形状与喷射流的运动轨迹，高压喷射注浆可分为旋转喷射（简称旋喷）、定向喷射（简称定喷）和摆动喷射（简称摆喷）。

旋喷喷射时，喷嘴一面提升一面旋转，形成柱状凝结体；摆喷喷射时，喷嘴一面提升一面摆动，形成哑铃状凝结体；定喷喷射时，喷嘴一面提升一面喷射，喷射方向始终固定不变，形成板状凝结体。高喷注浆的三种喷射形式见图 1.5，喷射轨迹见图 1.6。

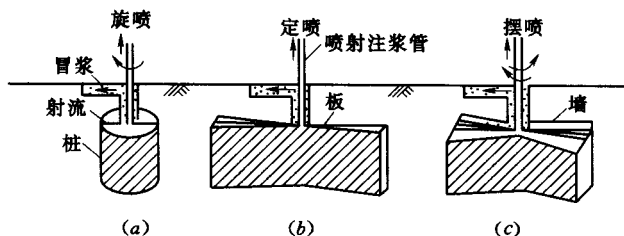


图 1.5 高喷注浆三种不同的喷射形式

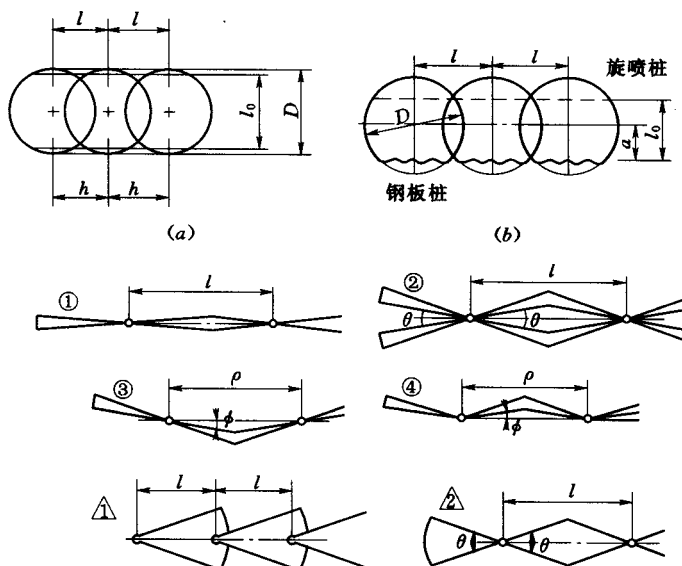


图 1.6 高喷注浆三种不同的喷射轨迹

(a) 施喷注浆成墙；(b) 旋喷注浆与钢板桩联合成墙

①—一字形定喷注浆；②—菱形定喷注浆；③—折线定喷注浆；④—V形定喷注浆

①—单扇摆喷注浆；②—双扇摆喷注浆