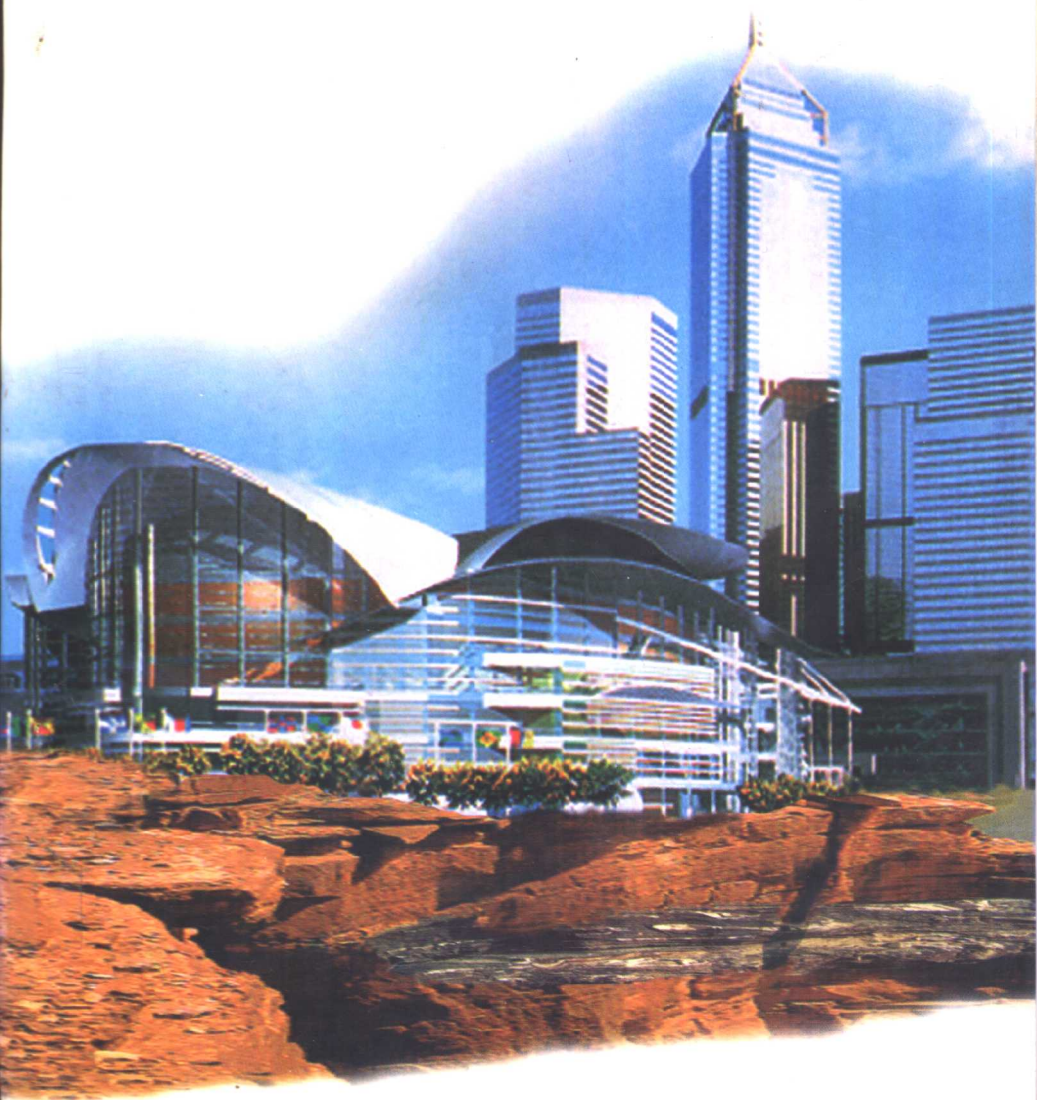


岩土工程设计计算与施工丛书 2

注浆工程 设计计算与施工

彭振斌 主编



中国地质大学出版社

TU4-51

P-972

2

岩土工程设计计算与施工丛书 2

注浆工程设计计算与施工

主编 彭振斌

编者 彭振斌 胡焕校 叶宏武



中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

注浆工程设计计算与施工/彭振斌主编. —武汉:中国地质大学出版社,1997.8

(岩土工程设计计算与施工丛书 2)

ISBN 7-5625-1144-6

I. 注…

I. 彭…

Ⅰ. ①注浆工程-技术设计②注浆工程-施工监测

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 11718 号

IV. TU473

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 贾晓青 **责任校对** 杨 霖

印 刷 武汉测绘院印刷厂

经 销 湖北省新华书店

开本 850×1168 1/32 印张 9.125 字数 240 千字

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月第 1 次印刷 印数 1—5000 册

定价:13.50 元

岩土工程设计计算与施工丛书编写委员会

主 编：彭振斌

副主编：张可能 陈昌富

委 员：彭振斌 张可能 陈昌富 隆 威

王殿江 许宏武 胡焕校

ABE89/10 08

编 者 的 话

近几年来,随着国民经济的高速增长,建筑工程、铁路公路工程、水利水电工程、桥涵码头工程等建设项目如雨后春笋般蓬勃兴起,迅速发展。岩土工程作为各种建设工程的前期和基础性工作,经过广大科技工作者和工程人员进行理论上的探讨、设计方面的创新、先进技术的推广和应用、施工经验的总结等,从勘察、设计到施工、监理和监测技术均已达到一个新的水平,工程质量也不断提高。但由于我们国家地域辽阔,地质条件复杂,建设工程多、分布面积广,施工队伍的素质、技术参差不齐,以及岩土工程本身具有多样性的特点,在工程实践中,仍然存在不少技术和质量问题,有的甚至造成了重大事故。因此,如何更好地总结已有的科研成果、总结施工经验、推广先进技术、提高工程质量,仍是摆在岩土工程工作者面前的一项艰巨任务。为此我们组织编写了岩土工程设计计算与施工丛书。

该丛书主要读者对象是从事岩土工程勘察、设计、施工、监理和监测的工程技术人员,也可作为相近专业人员和有关院校师生的参考书。

岩土工程设计计算与施工丛书共分六册,包括《灌注桩工程设计计算与施工》、《托换工程设计计算与施工》、《锚固工程设计计算与施工》、《深基坑开挖与支护工程设计计算与施工》、《注浆工程设计计算与施工》、《地基处理工程设计计算与施工》。其中:《灌注桩工程设计计算与施工》和《托换工程设计计算与施工》由中南工业

大学资源环境与建筑工程学院彭振斌同志编写;《锚固工程设计计算与施工》一书由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所陈昌富同志编写;《深基坑开挖与支护工程设计计算与施工》一书由中南工业大学张可能同志(现为湖南大学土木工程系土木·水利学科博士后科研流动站博士后)编写;《注浆工程设计计算与施工》一书的第一章“绪论”、第四章“注浆设计计算”和第五章“注浆施工工艺”和第六章“质量检查”由彭振斌同志编写,第二章“注浆材料”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所胡煥校同志编写,第三章“注浆设备及器具”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所许宏武同志编写;《地基处理工程设计计算与施工》一书的第一章“绪论”和第四章“桩基处理”由彭振斌同志编写,第二章“换填法处理”、第三章“强夯法处理”和第六章“排水固结处理”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所王殿江同志编写,第五章“深层搅拌法”由许宏武同志编写,第七章“土的加筋技术——加筋土挡墙”由张可能同志编写,第八章“地下连续墙”由中南工业大学资源环境与建筑工程学院勘察与基础工程研究所隆威同志编写,该册由王殿江同志负责编审。该套丛书由彭振斌同志任主编。

该套丛书得到了全国各有关专家的大力支持,并提供了许多资料和宝贵的意见,特别是中国地质大学出版社、中南工业大学出版社均给予了很多帮助。在编写过程中也参阅了许多书刊杂志。编者借此向所有为本套丛书做出贡献的同志致以衷心的感谢。

由于各册书各章节是分头编写,为了适应工程上的需要,争取早日与读者见面,难勉有不足之处,诚恳希望读者提出宝贵意见,谢谢。

岩土工程设计计算与施工丛书编写委员会

1996. 9.

主编简介

彭振斌，男，1952年8月生。1981年毕业于中南矿冶学院（现为中南工业大学）探矿工程专业硕士研究生并留校任教，1991年破格晋升为教授，现为中南工业大学资源环境与建筑工程学院副院长，博士生导师。长期以来从事探矿工程、岩土工程方面的教学和科研，已发表论文58篇、教材两部，主持和参与科研34项，获得过9次省部级以上的奖励，1992年被评为湖南省优秀科技工作者，1993年获得国务院政府特殊津贴。

目 录

第一章 绪论.....	(1)
第一节 定义及目的.....	(1)
一、静压注浆	(1)
二、高压喷射注浆	(2)
第二节 注浆对象及特点.....	(2)
一、静压注浆	(2)
二、高压喷射注浆	(3)
第三节 注浆工程分类.....	(5)
一、静压注浆	(5)
二、高压喷射注浆	(7)
第四节 注浆工程适用范围	(11)
一、静压注浆适用范围.....	(11)
二、高压喷射注浆法的适用范围.....	(11)
第二章 注浆材料	(16)
第一节 概况	(16)
一、注浆材料及其特点.....	(16)
二、注浆材料的分类.....	(18)
第二节 无机系列注浆材料	(19)
一、单液水泥类浆液.....	(19)
二、水泥粘土类浆液.....	(27)
三、可控域粘土固化浆液.....	(30)
四、水泥-水玻璃类浆液	(31)
五、水玻璃类浆液.....	(38)

第三节 有机系列注浆材料	(42)
一、丙烯酰胺类浆液	(42)
二、木质素类浆液	(48)
三、脲醛树脂类浆液	(51)
四、聚氨酯类浆液	(55)
五、其他有机类浆液	(59)
第四节 注浆材料的性能及其测试方法	(64)
一、密度与相对密度	(64)
二、粘度	(65)
三、pH 值	(67)
四、凝胶时间	(68)
五、结石率	(69)
六、抗压强度和抗折强度	(69)
七、渗透性	(70)
八、粘结强度	(72)
第三章 注浆设备及器具	(74)
第一节 概述	(74)
一、静压注浆设备及器具	(74)
二、高压旋喷注浆设备及器具	(76)
第二节 钻孔设备	(80)
一、钻机的选择	(80)
二、钻头	(84)
第三节 注浆泵	(99)
一、静压注浆用泵	(100)
二、高压旋喷注浆用泵	(121)
第四节 止浆塞	(123)
一、机械式止浆塞	(124)
二、水力膨胀式止浆塞	(128)

第五节 混合器	(134)
一、孔口球阀混合器	(134)
二、叶片式和半球式混合器	(134)
三、方盒式球阀混合器	(136)
四、混合器装置	(137)
第六节 其他注浆设备	(138)
一、搅拌机	(138)
二、注浆流量计	(141)
三、空压机	(142)
四、管路材料	(143)
第四章 注浆设计计算	(151)
第一节 静压注浆设计计算	(151)
一、注浆理论	(151)
二、灌浆设计计算	(158)
第二节 高压喷射注浆设计计算	(168)
一、高压水喷射流性质	(168)
二、加固地基的机理	(172)
三、加固土的基本性质	(175)
四、设计计算	(176)
第三节 劈裂灌浆设计计算	(182)
一、堤坝地基劈裂灌浆	(182)
二、土坝坝体劈裂灌浆	(196)
第五章 注浆施工工艺	(213)
第一节 概述	(213)
一、注浆施工方法的分类	(213)
二、注浆施工的机械设备的选择	(220)
三、灌浆	(220)
第二节 高压喷射注浆施工工艺	(224)

一、施工机具	(224)
二、施工顺序	(226)
第三节 劈裂灌浆施工	(229)
一、灌浆机械的选择	(229)
二、施工技术	(240)
三、灌浆期间出现问题的处理	(261)
四、施工记录与整理	(270)
第六章 质量检查	(278)
第一节 静压注浆质量检验	(278)
第二节 高压喷射注浆质量检验	(279)
一、检验内容	(279)
二、检验方法	(280)
第三节 劈裂灌浆质量检验	(281)
一、渗流检查	(281)
二、探井检查	(281)
主要参考文献	(282)

第一章 绪 论

第一节 定义及目的

一、静压注浆

静压注浆的实质是指利用液压、气压和电化学原理,通过注浆管把浆液均匀地注入地层中,浆液以填充、渗透和挤密等方式,赶走土颗粒间或岩石裂隙中的水分和空气后占据其位置,经人工控制一定时间后,浆液将原来松散的土粒或裂隙胶结成一个整体,形成一个结构新、强度大、防水性能高和化学稳定性良好的“结石体”。

静压注浆在我国煤炭、冶金、水电、建筑、交通和铁道等部门都得到了广泛使用,并取得了良好的效果。其加固目的有以下几个方面:

- (1)增加地基土的不透水性,防止流砂、钢板桩渗水、坝基漏水和隧道开挖时涌水,以及改善地下工程的开挖条件。
- (2)防止桥墩和边坡护岸的冲刷。
- (3)整治坍方滑坡,处理路基病害。
- (4)提高地基土的承载力,减少地基的沉降和不均匀沉降。
- (5)进行托换技术,加固各种地基。

二、高压喷射注浆

高压喷射注浆,就是利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻进至土层的预定位置后,以高压设备使浆液或水成为 20MPa 左右的高压流从喷嘴中喷射出来,冲击破坏土体。当能量大、速度快和呈脉动状的喷射流的动压超过土体结构强度时,土粒便从土体剥落下来。一部分细小的土粒随着浆液冒出水面,其余土粒在喷射流的冲击力、离心力和重力等作用下,与浆液搅拌混合,并按一定的浆土比例和质量大小有规律地重新排列。浆液凝固后,便在土中形成一个固结体。固结体的形状和喷射流移动方向有关。该方法主要用于加固地基,提高地基的抗剪强度,改善土的变形性质,使其在上部荷载直接作用下,不产生破坏或过大的变形;也可以组成闭合的帷幕,用于截阻地下水流和治理流砂。定喷时,喷嘴一边喷射一边提升,喷射的方向固定不变,固结体形如壁状,通常用于基础防渗,改善地基土的水流性质和稳定边坡等工程。

作为地基加固,通常采用施喷注浆形式,使加固体在土中成为均匀的圆柱体或异形圆柱体。

第二节 注浆对象及特点

一、静压注浆

静压注浆的主要对象是砂及砂砾石、软粘土和湿陷性黄土。其突出特点:

(1)不仅水电建设中几乎每个坝址都要进行大规模防渗和加固灌浆,在其他土木工程建设中,如铁道、矿井、市政和地下工程等,静压注浆也占有十分重要的地位。它不仅在新建工程,而且在改建和扩建工程中都有其广泛的应用领域。实践证明:静压注浆确实是一门重

要且颇有发展潜力的地基加固技术。

(2)可用的浆材品种越来越多,尤其在我国的浆材性能和应用问题较系统和深入地研究后,有些浆材通过改性使其缺点消除,正向理想浆材的方向演变。

(3)为解决特殊工程问题,化学浆材的发展提供了更加有效的手段,使静压注浆的总体水平得到提高。然而由于造价、毒性和环境等原因,国内外各类注浆工程中仍是水泥系和水玻璃系浆材占主导地位,高阶的有机化学浆材一般仅在特别重要的工程中,以及上述两类浆材不能可靠地解决问题的特殊条件下才使用。

(4)劈裂灌浆在国外已有 30 多年的历史,我国自 70 年代末在乌江渡坝基采用这类注浆工艺建成有效的防渗帷幕后,也已取得明显的发展,尤其在软弱地基中,劈裂灌浆技术已越来越多用作提高地基承载力和消除(或减少)沉降的手段。

(5)在一些比较发达的国家中,已较普遍地在注浆施工中设立电子计算机监测系统,用来专门收集和处理诸如注浆压力、浆液稠度和进浆量等重要数据,这不仅可使工作效率大大提高,还能更好地控制注浆工序和了解注浆过程本身。在勘探和注浆施工中广泛地应用电子技术,正使静压注浆从一门“艺术”转变为一门科学。

(6)由于注浆施工属隐蔽性作业,复杂的地层构造和裂隙系统难于模拟,故开展理论研究实为不易。与浆材品种的研究相比,国内外在注浆理论方面都仍属比较薄弱的环节。

二、高压喷射注浆

以高压喷射流直接冲击破坏土体,浆液与土以半置换或全置换凝固为固结体的高压喷射注浆法,从施工方法、加固质量到适用范围,不但与静压注浆法有所不同,而且与其他地基处理方法相比,亦有独到之处。高压喷射注浆的主要特点如下:

1. 适应的范围较广

旋喷注浆法以高压喷射流直接破坏并加固土体,固结体的质量明显提高。它既可用于工程新建之前,也可用于工程修建之中,特别是用于工程落成之后,显示出不损坏建筑物的上部结构和不影响运营使用的长处。

2. 施工简便

施工时,只需在土层中钻一个孔径为 $50\sim 300\text{mm}$ 的小孔,便可在土中喷射成直径为 $0.4\sim 4\text{m}$ 的固结体,因而能贴近已有建筑物基础,建设新建筑物。此外能灵活地成型,它既可在钻孔的全长成柱型固结体,也可仅作其中一段,如在钻孔的中间任何部位。

3. 可控制固结体形状

为满足工程的需要,在旋喷过程中,可调整旋喷速度和提升速度,增减喷射压力或更换喷嘴孔径改变流量,使固结体成为设计所需要的形状。

4. 可垂直、倾斜和水平喷射

一般情况下,采用在地面进行垂直喷射注浆,但在隧道、矿山井巷工程、地下铁道等建设中,亦可采用倾斜和水平喷射注浆。

5. 耐久性较好

在一般的软弱地基中加固,能预期得到稳定的加固效果,并有较好的耐久性能,可用于永久性工程。

6. 浆材来源广阔,价格低廉

高压喷射注浆的浆液是以水泥为主,化学材料为辅。除了在要求速凝超早强时使用化学材料以外,一般的地基工程均使用材料广阔价格低廉的 425 号普通硅酸盐水泥。若处于地下水流速快或含有腐蚀性元素、土的含水率或固结强度要求高的场合下,则可根据工程需要,在水泥中掺入适量的外加剂,以达到速凝、高强、抗冻、耐蚀和浆液不沉淀等效果。此外,还可以在水泥中加入一定数量的粉煤灰,这不但利用了废材,又降低了注浆材料的成本。

7. 设备简单,管理方便

高压喷射注浆全套设备结构紧凑,体积小,机动性强,占地少,能在狭窄和低矮的现场施工。

施工管理简便,在单管、二重管、三重管喷射过程中,通过对喷射的压力、吸浆量和冒浆情况的量测,即可间接地了解旋喷的效果和存在的问题,以便及时调整旋喷参数或改变工艺,保证固结质量。在多重管喷射时,更可以从屏幕上了解空间形状和尺寸后再以浆材填充之,施工管理十分有效。

8. 浆液集中,流失较少

喷浆时,除一小部分浆液由于采用的喷射参数不合适等原因,沿着管壁冒出地面外,大部分浆液均聚集在喷射流的破坏范围内,很少出现在土中流窜到很远地方的现象。

9. 施工时无公害,比较安全

施工时机具的振动小,噪音也较低,不会对周围建筑物带来振动的影响和产生噪音、公害,更不存在污染水域、毒化饮用水源的问题。尽管是高压设备,在这些高压设备上有安全阀门或自动停机装置,当压力超过规定时,阀门便自动开启泄浆降压或自动停机,不会因堵孔升压造成爆破事故。此外,高压胶管($\phi 19\text{mm}$ 的三层钢丝缠绕高压胶管安全使用压力达 46MPa ,爆破压力为 120MPa)是不易损坏的,只要按规定进行维护管理,可以说是安全的。

第三节 注浆工程分类

目前按常规的分类可以分为两大类,即静压注浆(或称为灌浆法)和高压喷射注浆。

一、静压注浆

1. 按浆液分类

静压注浆工程中按浆液可分为粒状浆液和化学浆液两大类。每

类浆液按各自的特点与灌注对象不同还可分为若干种。

粒状浆液又可分为不稳定粒状浆液[包括水泥浆液和水泥砂浆等。水泥浆液是最常用的一种浆液,由于它具有结石强度高、材料来源广、价格低、灌浆工艺比较简单的特点,除广泛用于渗透系数大于 $(5\sim6)\times 10^{-2}\text{cm/s}$ 的砂砾层灌浆(如防渗墙工程)外,在水工建筑物的接缝灌浆、混凝土补强灌浆、隧洞、回填灌浆,以及在用浆量大的地段等方面也大量被采用]和稳定粒状浆液(包括粘土浆液和水泥粘土浆液)。

化学浆液又可分为无机浆液(主要指硅酸盐类)和有机浆液(包括环氧树脂类、甲基丙烯酸酯类、聚氨酯类、丙烯酰胺类、木质素类以及其他有机物类)。化学灌浆是由化学材料配成的溶液作灌浆材料。特点是可灌性好,胶凝时间可按工程需要进行调节,对某些细微裂隙的处理和有一定流速的漏水地段的处理有其特殊的灌浆效果。

2. 按静压注浆施工分类

静压注浆施工按其作用不同分为固结灌浆、帷幕灌浆和接触灌浆3种。

固结灌浆是在岩土表层中钻孔,加固浅层地基常见的灌浆方法。如锚固灌浆就属此类,作用是增强地基的承载能力,提高地基的抗滑稳定性能和防渗能力。特点是钻孔浅、孔多,灌浆孔在地基内呈面状分布。当岩石裂隙中充填有粘土等杂质时,常常将锚固孔划分成组,使用风或水进行群孔冲洗,而后再进行群孔灌浆。

帷幕灌浆是为增强各种基础抗渗能力而被广泛采用的一种处理方法。如在坝基内,平行于坝轴线布置钻孔,在钻孔中灌浆,使浆液压入岩石裂隙或砂砾石层的空隙中去,形成一道类似帷幕的混凝土防渗墙,以此截断基础渗流和防止集中渗流,达到坝体设计的水头高度和避免基础被冲刷等目的。其特点是一般钻孔较深,呈多排线形组合,灌浆压力也较大。

接触灌浆通常是指在岩石基础上修建重力坝时,在坝体混凝土