

土建注浆施工与效果检测

程 骁 张凤祥 编著

同济大学出版社

土建注浆施工与效果检测

程 骁 张凤祥 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

本书共分 10 章,全面系统地介绍了土建注浆工法的原理、注入材料、注入工法、机械设备、注浆前的各种调查、注浆工程的设计方法和试验注入、现场施工管理、注后效果确认方法、注浆工法的工程应用实例、盾构工程中的背后注浆设计及施工、SMW 工法的设计方法、施工管理、防止事故的措施和工程实例等,并配有插图近 700 多幅。

本书取材来自作者近年来在重大建设工程中开展的研究成果和国外最新的技术开发的成果。书中给出的实例均为现场施工的成功经验总结,条理清楚,数据齐全,结果置信度高,对实际的工程设计、施工和检测都有较大的借鉴价值,有的实例完全可以套用。

本书可供土建基础工程、水利工程、隧道、地下铁道、矿井、铁路、高架道桥、地下建筑、填海造地等工程领域中的有关注浆加固的工程设计人员、施工技术人员、质量检测技术人员、科研人员及大专院校有关专业的师生参考。

责任编辑 李炳钊

封面设计 刘 燕

土建注浆施工与效果检测

程 骁 张凤祥 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号 邮编:200092)

新华书店上海发行所发行

上海中行印刷厂常熟分厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:49.25 字数:1260 千字

1998年1月第1版 1998年1月第1次印刷

印数:1—5000 定价:60.00元

ISBN7-5608-1763-7/TU·228

序

随着地下工程和地基基础工程技术日新月异的进展,越来越多的工程实践证明:注浆工法的应用,在工程地质和水文地质较复杂的地下工程和地基基础工程中,已成为保证工程质量和安全的经济而有效的新型技术。作为对地基加固的方法,注浆法具有设备和工艺简便灵活、施工占用空间小、施工对市政环境影响少、工期短、见效快以及适应范围广等特有的优点。由于这种技术目前我国尚处于新兴开拓阶段,各地对该项技术的应用推广的发展水平很不平衡,不少工程在应用注浆法处理工程问题中,因缺乏理论依据和工程经验,在对注浆加固方法的选择、注浆范围及注浆性能指标的确定、注浆设备和施工工艺参数的优选、注浆质量的施工操作控制以及注浆加固效果的检验等项工作中,往往带有盲目性和随意性,以致有些注浆加固工作花了较大的代价,但仍未达到预期效果,因而引发不同程序乃至灾害性的工程事故。因此,在当前我国注浆工程领域中,尽快克服盲目性,努力提高科学性,已是迫切需要解决的重要问题。为此,很需要一些关于注浆工程的理论联系实际的技术书籍尽早问世。《土建注浆施工与效果检测》一书的出版,无疑为适应普及和提高注浆技术之急需做了很有价值的贡献。该书主编程骁及总审冯善彪等注浆技术专家,从事注浆工作的研究、开发和推广应用工作近30年,并获得了杰出的研究成果,而得到市级和国家级科技进步奖,他们较全面而系统地汇集、研究了国内外注浆工法在材料、设备、工艺、应用范围、适用条件以及注浆效果检验等方面的技术理论和实施方法,特别是还总结出了我国的注浆工程实施经验,阐述于若干工程实例中,这更利于读者深入理解和参考借鉴。望该书的出版能得到多种行业的地下工程和地基基础方面的专家、学者和工程技术人员的关注,并望大家共同完善和提高该项新技术领域的技术理论和实施方法,以使之在各地下工程和地基基础工程中发挥更大作用。

刘建航

1997.11.15

刘建航:中国工程院院士、博士导师、教授,上海市地铁公司总工程师

目 录

序 前言

第一章 总论	(1)
1.1 注浆技术发展概况	(1)
1.2 注浆加固地层的效果	(16)
第二章 注浆材料	(22)
2.1 定义、用语	(22)
2.2 浆液及其固结体特性的试验测定	(28)
2.2.1 粘度特性及测定	(28)
2.2.2 凝胶时间的测定	(31)
2.2.3 比重的测定	(32)
2.2.4 pH值的测定	(33)
2.2.5 电导率的测定	(37)
2.2.6 化学耗氧量的测定	(38)
2.2.7 固砂体特性及试验测定	(39)
2.2.8 浆液毒性试验	(39)
2.2.9 浆液耐久性的测定	(40)
2.3 浆液的分类及其选择	(40)
2.3.1 浆液的分类概况	(40)
2.3.2 粒状浆材	(41)
2.3.3 悬浊型浆液	(46)
2.3.4 水玻璃浆液	(53)
2.3.5 高分子类浆液	(66)
2.3.6 有机高分子复合浆液	(73)
2.3.7 浆液的选定	(74)
2.4 注浆效果的耐久性	(77)
2.5 凝胶时间可以设定的水泥类注浆材料	(83)
2.6 常温水中固化沥青类新型复合注浆材料	(102)
2.7 隧道防渗背后注浆材料的实验	(115)
2.8 硅粉注浆材料	(117)
2.9 水玻璃类浆液的凝胶结构	(120)
2.10 超细颗粒注入材料的渗透极限	(132)

2.11 粘性土注浆加固的机理及其支配条件	(139)
第三章 注浆工法	(157)
3.1 注浆工法分类及其选择	(157)
3.2 SRF 工法	(166)
3.3 CO ₂ 气液反应浆液的复合注入工法	(181)
3.4 双重钻杆悬浊、溶液转换型复合注入工法	(183)
3.5 双重钻杆双液同步注入工法	(185)
3.6 压实注浆法	(192)
3.7 控制高压水的大深度、大规模地层注入	(200)
3.8 大深度砂地层中适用的新型塑料排水材料	(202)
3.9 环氧树脂注入工法	(204)
3.10 高压喷射搅拌工法	(206)
3.10.1 高压喷射搅拌工法的概况	(206)
3.10.2 高压射水(气)旋喷浆液工法的施工实例	(210)
3.10.3 SUPERJET 工法	(213)
3.10.4 X-Jet 工法	(216)
3.10.5 JACSMAN 工法	(222)
3.10.6 RJP 工法	(224)
3.11 MJS 工法	(231)
第四章 注浆机械设备	(234)
4.1 注浆机械现状	(234)
4.2 矩形断面深层搅拌地基加固机	(240)
4.3 超高压高速喷射工法的施工装置	(246)
第五章 注浆施工前的调查、试验和设计	(248)
5.1 注浆施工前的现场原位调查	(248)
5.2 现场原位注入试验	(253)
5.3 注浆的设计及施工的考虑	(258)
5.4 注浆对地下构造物的影响	(269)
5.5 地下埋设物体的无损探测	(279)
5.6 注浆加固范围的设计实例	(288)
5.7 注浆加固隧道断面的估算方法	(292)
第六章 注浆工程中的施工管理	(298)
6.1 注浆施工管理	(298)
6.2 注浆工程施工管理的具体办法	(300)
附录 6.1“有关建设工程中的化学注浆工法的施工暂行准则”	(309)

附录 6.2 注浆工程的施工管理	(316)
附录 6.3 注浆工程中各种条件的明示事项	(317)
第七章 注浆效果的确认方法	(319)
7.1 标准贯入试验	(319)
7.1.1 概述	(319)
7.1.2 N 值与土质参数的关系	(320)
7.1.3 确认注浆固结状况的标准贯入试验	(333)
7.2 静力触探	(341)
7.2.1 概述	(341)
7.2.2 静力触探试验	(342)
7.2.3 记忆式三功能静力触探仪	(345)
7.2.4 孔内静力触探贯入试验装置	(350)
7.2.5 触探结果的资料整理	(351)
7.2.6 成果应用	(354)
7.2.7 膨胀计	(360)
7.3 数字式钻孔参数记录仪	(362)
7.4 旋转触探法	(368)
7.4.1 概述	(368)
7.4.2 RPT 法的基本原理	(369)
7.4.3 三角钻 RPT 试验	(370)
7.4.4 刀形钻头的 RPT 试验	(373)
7.4.5 多刃钻头的 RPT 试验	(376)
7.4.6 RPT 实用机介绍	(379)
7.4.7 RPT 实用机的适用性试验	(383)
7.4.8 现场适用的举例	(386)
7.4.9 结束语	(389)
7.5 电探法	(389)
7.5.1 室内土槽电参数测定法	(389)
7.5.2 孔内电阻率法在注浆范围探查中的应用	(399)
7.5.3 电探层在注浆效果探查上的应用	(403)
7.5.4 电阻法在注浆效果探查中的应用	(407)
7.5.5 电探法的技术关键、适用说明及展望	(411)
7.6 评估注浆效果的测温法	(412)
7.7 弹性波探查法	(427)
7.8 化学分析法	(436)
7.9 注入范围和加固强度的综合探查法	(454)
7.10 渗透系数的测定	(462)
7.10.1 现场钻孔抽水试验	(462)

7.10.2 重锤法渗透系数的测定	(463)
7.10.3 由涌水量估算渗透系数的方法	(465)
7.10.4 用流速流向计测定渗透系数	(469)
7.11 顶管工程中注浆效果的确认	(471)
7.12 都市新奥法隧道中的注浆效果的确认	(479)

第八章 注浆加固工程实例	(493)
8.1 在基础工程中的注浆实例	(493)
8.2 地下立交工程中的注浆工程实例	(504)
8.3 公路箱涵洞道中的注浆工程实例	(515)
8.4 高速公路中的注浆工程实例	(530)
8.5 航道桥基工程中的注浆工程实例	(533)
8.6 隧道扩宽工程中的注浆工程实例	(537)
8.7 保护大口径盾构始发安全的注浆工程实例	(543)
8.8 高架桥下方下水道工程中的注浆工程实例	(550)
8.9 洞内注浆防止桥台沉降的掘进实例	(560)
8.10 盾构推进中保护供水管道的注浆工程实例	(571)
8.11 承受地层沉降的地中管道的设计公式及适用条件	(580)
8.12 防止大楼基底隆起的注浆工程实例	(598)
8.13 注浆抑制盾构工程中的甲烷气体泄漏的施工实例	(609)
8.14 越江隧道中的注浆工程实例	(638)
8.15 顶管工程中的 MJS 加固工法的工程实例	(643)
8.16 盾构推进中保护近傍构造物的 MJS 加固的工程实例	(651)

第九章 盾构工法中的背后注浆	(659)
9.1 概述	(659)
9.2 背后注浆工法的设计	(660)
9.2.1 背后注浆填充加固的机理	(660)
9.2.2 凝胶时间	(665)
9.2.3 注入压力	(666)
9.2.4 注入量的估算	(666)
9.2.5 固结强度	(669)
9.2.6 背后注浆的现状调查及分析	(670)
9.2.7 背后注入浆液的耐久性	(677)
9.2.8 注入浆液完全硬化止的物理性质	(681)
9.2.9 背后注入浆液的选定	(687)
9.3 背后注浆的施工	(687)
9.3.1 土质条件和背后注浆浆液的选择	(687)
9.3.2 注入时期和注入方法	(689)

9.3.3 注入量和注入压力	(692)
9.3.4 防止泄漏的措施	(693)
9.3.5 二次注入	(693)
9.3.6 背后注浆的设备	(694)
9.3.7 背后注浆的施工	(710)
9.3.8 背后注浆的施工管理	(716)
9.4 盾构跟踪注浆	(718)
第十章 SMW 工法	(726)
10.1 SMW 工法及其现状	(726)
10.2 SMW 挡土墙的施工管理	(732)
10.3 SMW 挡土墙施工中出现事故的原因及应急措施	(746)
10.4 SMW 挡土墙芯材的引拔方法	(754)
10.5 SMW 工法的用途	(757)
10.6 SMW 钻孔搅拌机的无线数据传送系统	(761)
10.7 大深度 SMW 防渗墙的施工实例	(764)
参考书目	(774)

第一章 总论

1.1 注浆技术发展概况

一、注浆工法

用压送的手段把具有一定凝胶时间的浆液(即主剂、溶剂和外加剂的液态混合物)注入到松散土层或含水岩层裂缝中,浆液凝结后固结土的颗粒或者充塞岩层裂缝,使土层(岩层)的力学性质得以改善。这种通过注浆来改变地层状况的方法称为注浆加固工法,也称为化学注浆或化学灌浆(简称化注或化灌)。浆液及浆液注入到地层中去的方式(注入方式)是该工法的关键。这种加固方法与其他加固方法相比具有以下优点:①施工设备简单;②规模小,耗资少;③占地面积小,对交通影响小;④工期短,见效快;⑤施工中产生的噪声和振动小,对环境的影响小;⑥狭窄的场地、矮小的空间均可施工;⑦加固深度可深可浅,易于控制。特别是在城市大深度地下工程(深度大于 50m)的基础加固中,这种工法更具得天独厚的优势。故它在土建、市政工程、水利电力、交通能源、隧道、地下铁道、矿井、地下建筑等许多领域中有着广泛的应用。目前注浆技术已发展成集高分子化学、岩土力学、机械、自动化技术、计算机技术等多学科为一体的新兴的交叉技术的应用学科。

二、注浆材料

1. 注浆材料的进展过程

据文献记载,最早的注浆是法国人查理士贝里尼(Charles Berigny)于 1802 年首次用冲击泵注入粘土和石灰加固港口砌筑墙,距今已有 193 年的历史了。1838 年英国汤姆逊隧道开始用水泥浆进行填充注入。后来人们在实践中发现普通水泥的粒径较大,当向较小间隙的土体注入时显得无能为力,因而不得不研究溶液态的化学浆液材料的注浆。1884 年,英国豪斯古德(Hosagood)在印度建桥时,首次采用化学药品固结砂获得成功,至今已有 113 年的历史。1887 年,德国切撒尔斯基利用一个钻孔注浓水玻璃,邻近孔注氯化钙,创造了原始的硅化法并获得专利。1909 年,比利时人勒马尔塔蒙特(Lemaire Dumont)在水玻璃中加入稀酸,发现了改变水玻璃 pH 值的凝固机理,并提出了双液单系统的一次压注法并获得专利。1914 年,比利时的阿尔伯特弗兰科伊斯(Albert Francois)用水玻璃和硫酸铝注浆。1920 年,荷兰采矿工程师尤斯登(E. J. Joosten)首次论证了化学注浆的可靠性,并提出了使用水玻璃、氯化钙的双液双系统的注入方式,于 1926 年获得专利。由于水玻璃浆液价格便宜、无毒,所以从那时起直至现在一直被广泛地用于基础、大坝、隧道等领域。

水玻璃类浆液虽然具有价格便宜、无毒性等优点,但是这种浆液的固结强度和耐久性均差,故对要求加固强度和耐久性高的工程而言,水玻璃浆液已不能满足工程的需要。随后,高分子型新的注浆材料相继问世。其中有代表性的高分子材料就是 50 年代美国人推出的粘度近于水,凝胶时间任意可调的丙烯酰胺浆液 AM-9,原苏联推出的 M ϕ -17 脲醛类浆液。

此后,国际上相继推出了木素类(英国的 TDM 铬木素浆液;中国东北大学杜嘉鸿教授领导研制的微毒性铬木素浆液及无毒硫木素浆液)、丙烯酸盐类(日本商品“阿隆 A-40 系”丙烯酸盐浆液;美国的 AC-400 丙烯酸盐浆材)、聚氨酯类(日本的 TACSS;原苏联的 И ИТТ-13H、И ИТТ-304H)、环氧类等种类繁多的高分子类浆液。

1974 年 5 月,日本国福岡县发生了下水道工程注入丙烯酰胺污染附近井水的事故。同年 7 月日本总理府发布了“建设工程中的注浆施工的暂行准则”。准则中规定,以后的注浆材料只限于使用不含剧毒物质和氟化物的水玻璃类浆液。从此日本出现了开发水玻璃浆液的高潮。据文献报导,目前符合该准则要求的适应各种土质条件的水玻璃浆材已有 350 多种。这充分说明日本对注浆材料的开发研究工作极为重视。只准使用无毒水玻璃类浆液的规定,虽说是日本一国的规定,但是这个规定对国际注浆行业的影响极大。1978 年美国停止了 AM-9 的生产,也有一些国家参照日本的“暂行规定”规定禁止使用毒性浆液。尽管还有不少国家(如原苏联、波兰等东欧国家)仍在继续使用上述高分子类浆液,但是现时使用的高分子浆液是经过多次改进后的低毒性浆液,并要求在完善施工管理的条件下使用。

鉴于有机高分子材料被禁用,而水玻璃类浆液在固结强度和耐久性方面又不能满足某些工程的需要,所以人们必须寻求新的注入材料。众所周知,水泥浆材的强度和耐久性均优于水玻璃浆液。但是普通水泥的粒径较大,对渗透系数为 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ 的中砂、细砂土层而言,无法注入。为此,Shimoda 和 Clarke 分别于 1982 年和 1984 年提出用超细水泥浆液注入上述细砂土层,以实现防渗的目的。当时他们使用的超细水泥是日本奥罗达水泥联合公司和吉渥德岩土化学联合公司生产的 MC-500 号水泥(粒径为 $1 \sim 15 \mu\text{m}$ 、50% 重量的中间粒径为 $4 \mu\text{m}$)。MC 类水泥浆液注入实验的结果表明,该浆液可以注入到 $3.75 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 的细砂层,固结砂胶体的渗透系数提高到 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$,该固结砂试样的 3 天和 28 天的抗压强度分别为 25MPa 和 54MPa。我国浙江大学和浙江尖峰建材集团合作,于 1990 年开发的 CX 型超细水泥的性能已完全接近日本 MC-500 的性能,且价格便宜。

另一种细粒水泥是日本电力公司研制的湿磨水泥(WMC),这种湿磨水泥浆液极类似粘土浆液的性能,甚至胜过粘土浆。其特点是可以把普通水泥在注浆现场磨细到要求的细度,价格比工厂生产的同样细度的干水泥配制的浆液的价格要便宜得多。目前日本湿磨水泥注浆的进展较快。其水泥颗粒的比表面积已提高到 $12700 \text{cm}^2/\text{g}$,平均粒径为 $3 \mu\text{m}$,浆液的稳定性好,析水率低,流动性好,无毒不污染环境。这种湿磨水泥已在冲积地层的坝基的防渗加固中实用多次,收到较好的效果。此外,据 1988 年的文献报导,法国索莱坦斯公司把现场处理的湿磨水泥称为“微溶胶”,最大粒径 $10 \mu\text{m}$,粘度与水接近,结石强度为 $2.1 \sim 2.8 \text{MPa}$,现已成功地用于巴黎凯旋门基础的补强、维也纳地铁、马里大坝基础封堵裂隙等多项工程。此外,德国、美国、英国也已在工程中使用这种浆液。目前我国的国家建材研究院、水电部基础公司、新安江水电厂等单位开展了这项工作。他们取得的结果是水泥颗粒的平均粒径为 $6 \mu\text{m}$,可注入 0.1mm 的裂隙,28d 的抗压强度为 84.3MPa。

为了满足注浆的一些特殊要求,近年来有人采用水泥 + 硅粉 + 高效塑化剂制成的触变性浆液注浆。这种浆液的特点是利用粒径仅有 $0.1 \mu\text{m}$ 的硅粉的高活性,大幅度地提高了浆液固结体的抗压强度(长期强度),且固结体的孔隙大为减少,从而提高了固结体在腐蚀性环境中的抗化学侵蚀的能力。但是这种浆液也存在一些不足之处,如早期强度低等一些棘手的问题。我国北京水电科学院张作珏等人在三山岛金粉矿仓库地基加固中采用硅粉 + 水泥

浆液注浆获得成功。硅粉的平均粒径为 $0.6\mu\text{m}$ (唐山钢铁公司铁合金厂生产)。

1993 年,有人提出了硅粉注浆,即以硅粉(平均粒径 $1.5\mu\text{m}$)为主材添加氢氧化钙和氢氧化钠。具体配比如下:水/硅粉 = 2、水/氢氧化钙 = 3、氢氧化钠/硅粉 = 1% ~ 10%。这种浆液的流动性好,可注性强,抗渗性好,无析水现象,早期抗压强度好。

此外,在一些领域中出现了另一些新的注入材料,如:1983 年,加拿大人在 Stewartville 大坝的两个坝段的坝基的防渗堵漏中,注入热沥青浆液进行堵漏收到了满意的效果。1991 年,有人试验成功了一种常温下水中固化型沥青类新型复合注浆材料,这种浆液由沥青乳剂 + 水泥 + 吸水性聚合物组成,具有极佳的防渗性和柔性,极适于作为抗震性的防渗填充材料使用。有人预言,这种材料今后必定占领各种地下工程中的防渗、堵漏等领域,其中以隧道工程中的背后填充注浆为最。

2. 浆材分类

目前虽然注浆材料的种类繁多,但归纳起来大致可用表 1.1.1 概括。总起来说,目前存在以下几个特点:

(1) 目前可以说水玻璃浆材(特别是酸性和中水玻璃类、复合型水玻璃类、气液反应型水玻璃类及水玻璃 + 水泥类)的使用率极高,居第一位。其中以日本及东南亚各国及台湾、香港等地区为最。

(2) 水泥类浆材(普通水泥、超细水泥、湿磨水泥、硅粉)的使用,在国际上也较为普遍。

(3) 高分子类浆材在日本等一些国家除特殊情况外一般不太使用。而以俄罗斯为首的一些东欧国家则不然,高分子类材料仍在使用。

(4) 以法国为代表的一些欧洲却习惯于先注水泥、膨润土,其目的是填充大的空隙,使地层匀质,以防止地下水造成的化学浆液的局部流失和稀释,然后注入凝胶时间长且渗透速度慢的水玻璃浆液,构成颗粒间隙的渗透,使强度有一定的提高。必要时最后再注入凝胶时间长且可调的高分子浆材,使固结强度进一步提高(例如:固结砂强度达 $1 \sim 3\text{MPa}$)。

3. 浆材的选定

土质条件是选定浆材的关键,其次是环境条件,注入目的及预期的效果等因素。

选择的浆液必须与砂土层为渗透注入,粘土层为脉状劈裂注入的机理相吻合。渗透注入的机理是溶液型浆液取代土颗粒间隙中的水;而劈裂注入的机理是浆液在土层中形成纯浆液的固结脉(脉起框架作用),同时一些脉压密周围土层。为了提高脉体的固结强度,故应选择悬浊型浆液。浆液与土质条件的对应关系,请详见本书第 2.2.7 节。

当注浆施工是在靠近公共水域的地方进行时,应选用中性或酸性水玻璃浆液,选择这种浆液的目的是,即使发生浆液串入公共水域,也不会使公共水域的水质受到污染。

有些应用场合,例如:大型盾构通过重要构造物正下方的情形,要求浆液的固结强度要特别高,即水玻璃和水泥等浆液无法达到的情形下,应选用高分子类材料。

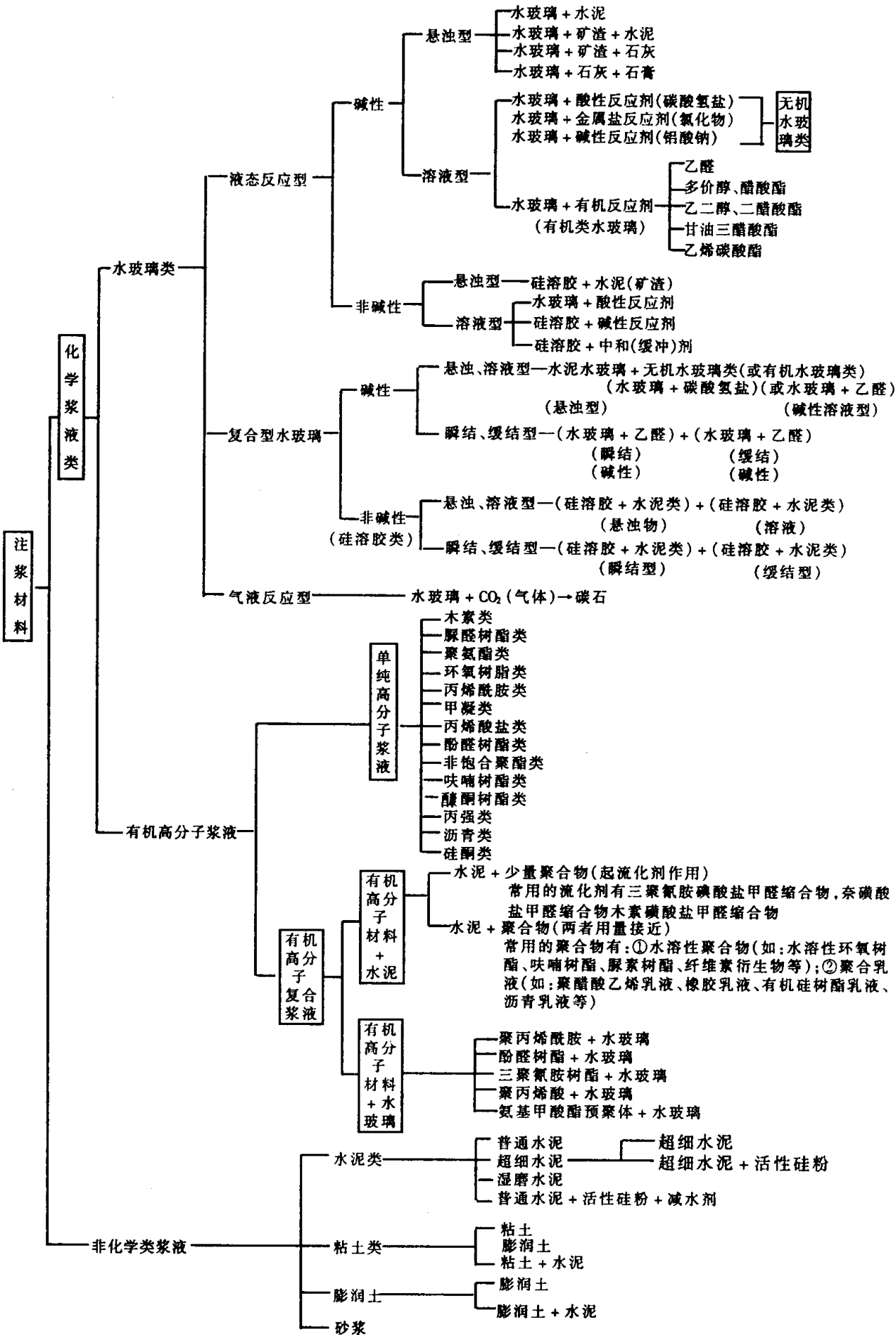
当工程对浆液固结体的长期耐久性有特殊要求时,应按下述原则选择浆液,即选择凝胶时间长的、渗透性好的、无硅石淋溶的、凝胶收缩率小的和匀凝强度高的浆液。

通常,有机高分子类浆液的耐久性最好,超细硅粉的耐久性次之,硅溶胶差些,无机水玻璃类浆液的耐久性最差。

此外,由于某种原因,例如人为因素,致使地下水 pH 值呈酸性和碱性的场合下,会使注入的浆液的凝胶受到影响,所以现场施工之前,必须进行原位酸碱性确认。然后,按酸碱中

表 1.1.1

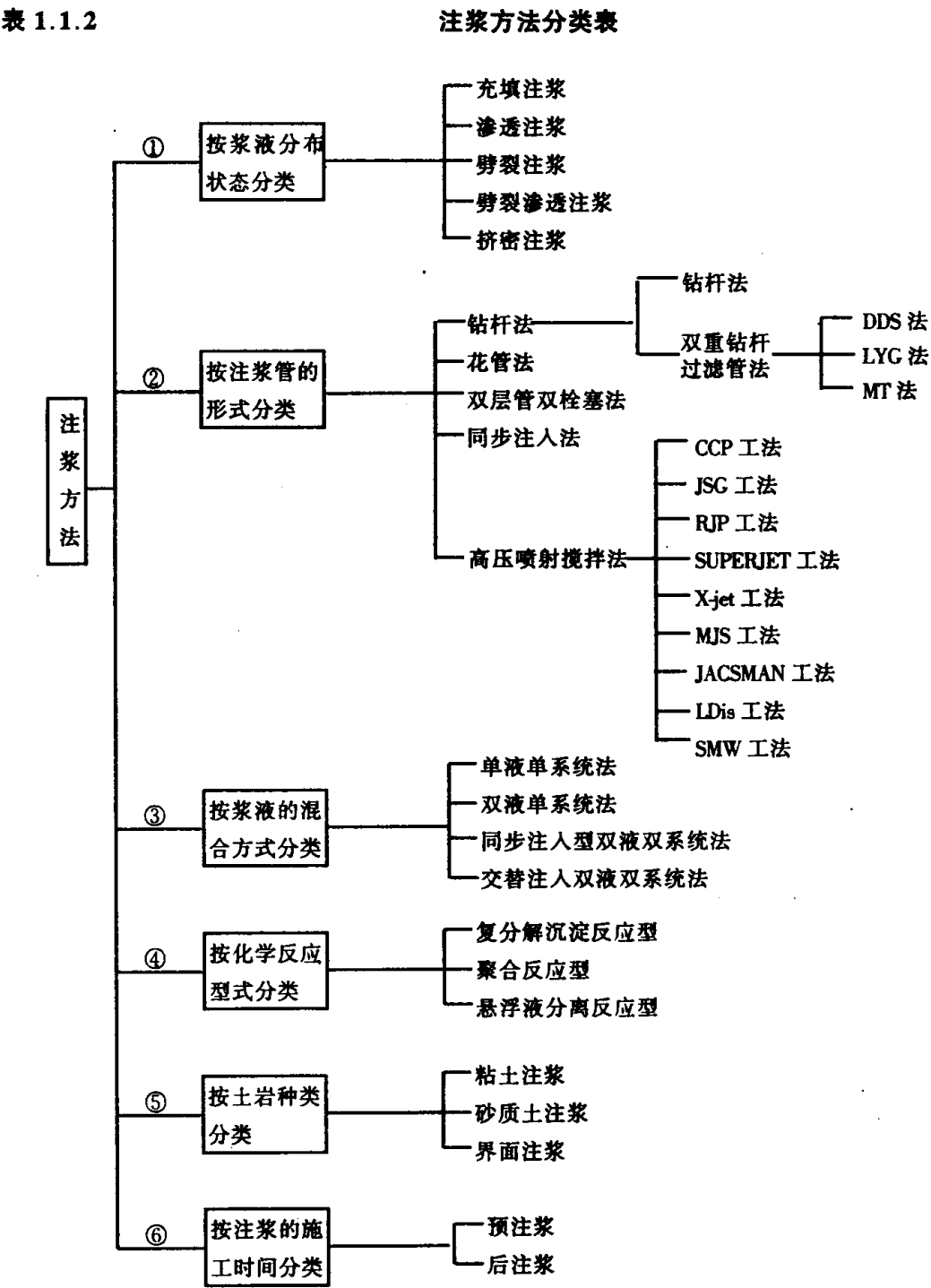
注浆材料的分类



和的原则选择,并注入酸性或碱性浆液。
有时地下水是高温水,此时也应充分考虑高温因素对浆液凝胶的影响。

三、注浆方法

总的来说,目前的注浆方法大致有表 1.1.2 中示出的几大类。



其中,按第 1,2 两类分法较为普遍。有关的详细叙述见第三章。
就注浆方法而言,当初多采用操作简便、经济的单钻杆注浆法,近年来这种方法已遭淘汰。目前多采用双重钻杆过滤管法、双层管双栓塞工法和旋喷法,且在国际上得以普及。

日本使用双重钻杆过滤管法较多,特别是 DDS 法极为普及,仅日本国内就有 30 多家。此外,1992 年,岛田等人开发了双重管瞬结缓结同步注入工法。1975 年以来,日本开发成功 CCP 工法、JSG 工法、SSS-MAN 工法等多种旋喷方法。法国是双层管双栓塞工法的创始国。所以双层管双栓塞工法较普及。美国是挤密工法的提出国,故挤密注浆在美国有极大的市场。意大利是超高压喷射工法(RJP 工法)的诞生国。有关详细情况请见第三章。

四、施工参数的选取及施工设备

(一) 施工参数的选择

施工参数通常指注入量、注入率、注入压力、注入速度、孔距、节长等参数。

1. 注入量

注入量(即注入对象土层的浆液的量) Q 可由下式计算

$$Q = \lambda \cdot V \tag{1.1.1}$$

$$\lambda = n \cdot \alpha (1 + \beta) \tag{1.1.2}$$

式中, Q 为注入量量纲为 l ; λ 为注入率无量纲; V 为加固对象土的体积量纲为 l ; α 为填充率无量纲; β 为损失系数。通常 $\alpha (1 + \beta) = 0.8 \sim 0.95$, β 因土质条件不同差异极大,取值为 $0.1 \sim 1$ 。

2. 注入率

注入率即注入量与注入对象土的体积的比。通常,实际施工中的注入率要大于理论设计时的注入率。注入率因土质条件、注入工法的不同而不同,不同注入工法的标准注入率如表 1.1.3 所示。

表 1.1.3 不同注入工法的标准注入率

注 入 工 法	土 质	
	砂 土	粘 土
双重钻杆过滤管法	40%	30%
双层管双栓塞法	40% ~ 50%	30% ~ 50%

3. 注入速度

注入速度(q)即单位时间内的注入量。量纲为 L/min 。注入速度可由 $p-q$ 曲线,即压力-速度曲线确定。先根据注浆前的注水试验测出 $p-q$ 曲线(一般形式见图 1.2.1)。通常 $p-q$ 曲线的规律是 q 增大, p 上升; q 升到一定数值后, p 开始下降;随后,若 q 继续增大的, p 趋于平稳。曲线中的 p 的最大值 p_{max} 对应的 q 记作 q_{CR} 。实践发现, $q < q_{CR}$ 呈渗透固结,固结形状为球形; $q_{CR} < q \leq 5q_{CR}$,呈渗透脉状注入固结,固结形状为偏平球形; $q > 5q_{CR}$ 呈劈裂注入固结,固结形状为平板状(详见 1.2 节)。最后据设计的注入形态的要求选定合适的注入速度。

此外,也可根据经验把注入速度确定为 $5 \sim 20L/min$ 。

4. 注入压力

注入压力是注浆施工效果好坏的关键因素之一。决定注浆压力的因素较多,且非常复

杂,故目前还无法用定量的公式表示,只能根据注浆前的注水试验的数据和以往的施工经验确定。以往,人们在注浆过程中喜欢把注入压力固定在某一数值上,而忽略了注入压力 p 的相对变化,实际上这种作法是不正确的。事实上 $p-q, p-t, q-t$ 特性曲线中含有很多的效果信息,特别是浆液的注入形态、故障的原因等信息。这里给出几种由注入压力变化状态,用以判断注入效果的经验。详细叙述分析见本章 1.2 节。

①压力逐渐上升,但达不到要求的压力,这说明存在如下几种可能。即浆液在粘土中形成脉状劈裂渗透,或浆液浓度低、凝胶时间长或部分浆液逸出。②注浆开始后压力不上升,甚至离开初始压力值呈下降趋势,这表明浆液外逸。③压力上升后突然下降,表示浆液可能从注浆管(或杆)的周围溢走,或注速 q 过大,扰动土层,或遇到空隙薄弱部位。④压力反复升降,总的趋势呈逐渐上升,凝胶时间短的浆液常出现这种现象。⑤压力上升很快,而速度上不去,表明土层密实或凝胶时间过短。⑥压力有规律上升,即使达到容许压力时注浆速度 q 也正常(变化不大),这表明注浆是成功的。⑦压力上升后又下降,然而后来又再度上升,并达到预定的要求值,这可认为是第③种情况的空隙部位已被浆液填满,这种情况也是注入成功的例子。

5. 注入孔的间隔

注入孔的间隔可按表 1.1.4 和表 1.1.5 选取。

表 1.1.4

目的	孔间隔(d)
防渗	0.8~1.2m
强化地层	1~1.5m

表 1.1.5

浆液的种类	孔间隔(d)
悬浊型	1.0~2.0m
溶液型	0.8~1.2m

6. 节长

节长 L : 20~50cm。

(二) 注入设备

这里提及的注浆设备包括钻孔机、注浆泵、拌浆装置、输浆管、止浆塞、流量计、注入喷枪等。

1. 钻孔机

注浆工程中的钻孔机有两种,即一般地质勘探上用的钻机和注浆工程专用钻机两种。目前国产的钻机种类较多,如:东勘 300 型、东风 300 型、JZHP-200 型、XJ-100 型、DPP-100 汽车钻、WT-2 物探钻等。

目前钻机的主要发展方向是省力和自动化,其原因是注浆行业是户外作业。工作环境极为恶劣、劳动强度大,所以很难保证操作队伍人员的长期稳定性。现实的问题是操作人员年纪偏大或技术不熟练等问题。为了确保工程的施工质量,当前的首要问题是必须尽快地开发自动化的钻机。就这个问题而言,日本已先行一步,开发出了自动化钻机(D₂-JSLH 型)。该钻机的特点是在钻机上立一个辅助架,利用电动卷扬机进行吊挂操作,一个人进行钻杆的装卸。此外,钻孔、钻杆的接长、提升、注浆等功能均由电钮自动操纵控制。2~3 名作业员即可操作监视 4~5 台以上的钻机工作。为了保证安全,机上装有传感器,当作业人员接近钻机时,钻机的旋转、推进等动作均自动停止。

2. 注浆泵

注浆泵多以电动式泥浆泵代替,用于地面注浆的有,2DN-25/80, TBW-250/40, YSB250/120 等型号。此外,国内不少厂家生产有专用于注浆的注浆泵。如电力部 12 局科研所生产的 HGB 计量泵;1991 年投产的锦西注浆泵厂的双液调速高压注浆泵;徐州矿务局液压支架厂生产的仿德 YZB 型液压压浆泵等均可满足要求。国外产品也较多,详见第四章。

3. 注入喷枪

注入喷枪是双重钻杆过滤管法的最关键的部件。有单液和双液之分,结构较为复杂,加工制作较难。具体结构请详见第四章。

4. 流量计

注浆施工中使用的流量计,通常多为双笔自动记录式电磁流量计。一支笔记录瞬时流量,另一支笔记录稳态注入压力。注入量可以预置,当注入量达到预置数值时,可自动显示出累积流量,并用蜂鸣器报警。

此外,分层注浆工法中常用到止浆塞。止浆塞的种类颇多,有橡皮止浆塞、气袋止浆塞、水力止浆塞、自动膨胀止浆塞、磁性止浆塞等。

五、注浆的应用领域

注浆的应用面极广,而且其应用范围还在不断扩大。下面给出一些主要的应用领域:

(1) 建筑物的基础加固和沉降的防止。

①建造城市高大建筑物的地基加固(提高承载力)。

②深基坑开挖的基底回弹的防止;挡土墙外侧的防渗加固;邻近构造物的沉降防止。

③建筑物的倾斜纠偏。

(2) 在矿井、油井开凿中用于止水和加固。

(3) 大坝、防堤的防渗帷幕的形成和基础加固。

(4) 地下工程(地下停车场、商业街、居民区、贮油罐、地下核爆井等)的防渗和加固。

(5) 各种塔基础的加固(水塔、输电线塔基)。

(6) 桥基的防冲刷加固。

(7) 基础托换工程中的应用。

(8) 边坡稳定加固。

(9) 锚杆抗拔力的加大。

(10) 混凝土构造物裂隙和文物古迹裂隙的补强加固。

(11) 软弱破碎岩体的补强。

(12) 注浆在农田水利中的应用。

(13) 注浆处理灌注桩虚土、桩的承载力提高 50%。

(14) 高速公路路基和铁路路基中的注浆加固。

(15) 机场机坪和飞机跑道的加固。

(16) 地下连续墙接头的防渗止水。

(17) 开挖工程中的各种邻近地下管道的加固保护。

(18) 垃圾处理场场地基底的隔离防渗加固。

(19) 隧道工程中的应用:

①盾构隧道中的应用;