

地下建筑注浆工程 简明手册

杜嘉鸿 张崇瑞 何修仁 熊厚金 编著



科学出版社

地下建筑注浆工程 简明手册

杜嘉鸿 张崇瑞 何修仁 熊厚金 编著



科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了当前用于地下建筑工程的注浆技术。书中重点介绍各种注浆材料的实用配方和室内试验方法,同时介绍一些注浆工艺和专用设备等实际应用知识,并以一定的篇幅从理论上探讨了注浆材料的化学反应机理和基本计算方法。这是一本了解和使用注浆技术的简明实用手册。

本书可供地下建筑、地基与基础、矿山建设等部门的注浆施工人员和高等院校有关专业师生参考。

地下建筑注浆工程简明手册

杜嘉鸿 张崇瑞 何修仁 熊厚金 编著

责任编辑 童安齐

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

北京昌平马池口印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年11月第一版 开本: 787 × 1092 1/32

1992年11月第一次印刷 印张: 11 1/8

印数: 1—2 500 字数: 251 000

ISBN 7-03-003206-3/TV·28

定价: 9.20元

前 言

在各种地下建筑工程施工中，地下水往往带来很大的危害，如影响工程进度和质量，恶化施工条件，危害工人身体健康，甚至淹没矿井和地下建筑物等。

注浆技术是与地下水害作斗争的一门关键技术，主要包括堵水和加固两个方面。早在50年代，我国就将注浆技术用于地下建筑工程施工中，并取得了良好的效果。近十几年来，为适应生产的需要，人们陆续研制出了新型的化学注浆材料，先进的注浆工艺和专用注浆设备，从而大大加速了注浆技术的发展，并使得这一技术成为当今战胜地下水害的有效方法之一，应用日益广泛。

本书根据作者多年积累的资料和所取得的科研成果编著而成。内容力求以实用为主，简明扼要，重点介绍各种注浆材料的实用配方和室内试验方法，并以一定篇幅论述目前极有发展前途的施工方法——高压喷射注浆法。此外，书中还相应介绍了注浆材料的化学反应机理和基本计算方法。

在本书编写过程中，张作瑁教授认真、仔细地审阅了全书，并提出许多宝贵意见，张学文、程骁、魏德华、许心华、周如银、陈兰云、邝健政、范海山等给予了热情帮助。编写时参考了有关单位的技术资料，并引用了其中部分试验数据。特在此一并致以谢意。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 注浆材料及特点	1
第二节 浆液配制及用料计算	4
第三节 注浆材料性能及其测试方法	12
第四节 工程调查与注浆试验	18
第五节 其他	23
第二章 无机系注浆材料	26
第一节 单液水泥类浆液	26
第二节 水泥粘土类浆液	34
第三节 水泥-水玻璃类浆液	38
第四节 水玻璃类浆液	47
第三章 有机系注浆材料	58
第一节 丙烯酰胺类浆液	58
第二节 木质素类浆液	64
第三节 脲醛树脂类浆液	71
第四节 聚氨酯类浆液	76
第五节 糠醛树脂类浆液和环氧树脂浆液	82
第六节 甲基丙烯酸甲酯类浆液和丙烯酸盐类浆液	85
第四章 防火注浆材料和常用糊缝粘结材料	89
第一节 防火注浆材料	89
第二节 常用糊缝粘结材料	91
第五章 注浆工艺	104
第一节 井壁注浆	104

第二节	地面预注浆	113
第三节	工作面预注浆	130
第四节	关于地面预注浆和工作面预注浆的选择	139
第六章	注浆设备	143
第一节	钻孔机械	143
第二节	注浆泵	147
第三节	其他设备	161
第七章	高压喷射注浆法	176
第一节	概述	176
第二节	高喷注浆加固地基的原理和成桩作用	178
第三节	施工机具与浆液材料	183
第四节	高喷注浆设计	194
第五节	高喷注浆施工	199
第六节	质量检验	200
第七节	使用范围和工程实例	201
第八章	注浆材料的化学反应机理及分析方法	247
第一节	几种浆液的化学反应机理	247
第二节	常见离子分析方法	254
第三节	水玻璃模数的分析和计算	265
第四节	毒性和腐蚀性	268
第五节	安全和保护	274
第六节	其他	287
第九章	各种注浆材料的选择、费用预算和技术经济 指标	292
第一节	各种注浆材料的选择	292
第二节	注浆费用的预算	296
第三节	注浆工程技术经济指标实例	301
附录		308
一、	地质年代表	308
二、	岩石透水分级表	310

三、土的颗粒分类表	310
四、各种软土的物理力学性质指标统计表	311
五、不同钻杆容积表	311
六、不同直径钻孔容积表	312
七、不同岩芯管容积表	312
八、钻头直径与成孔直径对照表	313
九、铅丝与镀锌铁丝规格表	313
十、有缝钢管规格表	314
十一、无缝钢管规格表	314
十二、编织麻线胶管规格表	314
十三、钢丝编织的高压胶管	315
十四、高压胶管的主要性能	315
十五、常用普通品种水泥的标号、特性及应用	316
十六、常用普通品种水泥的物理力学性质	318
十七、常用特殊品种水泥的标号、特性及应用	319
十八、常用特殊品种水泥的主要成分和性能指标	323
十九、常用水泥速凝剂性能	327
二十、常用复合早强剂的组成、特性及使用	329
二十一、水玻璃速凝早强剂的组成、特性及使用	331
二十二、氯化铁防渗剂的组成、性能及应用	332
二十三、国外化学注浆材料一览表	333
二十四、注浆工程有关业务单位简介	343
参考文献	345

第一章 概论

第一节 注浆材料及特点

一、注浆材料

凡能做注浆用的材料都可称为注浆材料，其由原材料变为结石体的过程见图1-1。

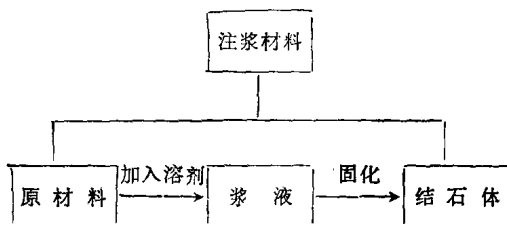


图 1-1

(1) 原材料。作注浆用的原材料有水泥、水玻璃、纸浆废液等，其不仅要在性能上满足注浆材料的要求，而且要成本低。为了便于生产单位统一产品质量标准，现将注浆原材料的规格要求列于表1-1中。

(2) 浆液。浆液是由原材料、水和溶剂经混合后所配成的液体，分为真溶液、悬浊液和乳化液。按浆液工艺性质的不同，又分为单液浆液和双液浆液（即甲液、乙液）。每一种浆液都可以有一个或几个组分。溶剂则包括主剂和助剂，对于某种注浆材料来讲，主剂可能是一种、两种或几种，而助剂可能没有，也可能有一种、两种或几种。助剂又可以根据它在浆液中所起的作用，分为固化剂、催化剂、速

表 1-1 对原材料的规格要求

原 材 料	规 格 要 求
水玻璃	模数:2.4—3.4,浓度(以波美度表示) $>50^{\circ}\text{Be}$
水 泥	新鲜325 [*] 或425 [*] 普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥
纸浆废液	酸性木浆废液(浓度 $>40\%$)或干粉

凝剂、缓凝剂、悬浮剂等。

(3) 结石体。结石体是浆液经过一定的化学或物理变化之后所形成的固体,用于充填、堵塞地层中的裂隙或孔隙,达到堵水和加固的目的。

二、浆液名称及分类

浆液以主剂为准,分为无机系和有机系两大系列。每一系列中根据主剂的不同分为不同类浆液,以化学名称命名;每一类浆液又根据助剂不同再分为不同种浆液,每一种中以主剂和助剂命名,见表1-2。

三、对理想浆液的要求

对理想浆液的要求是:

(1) 浆液是真溶液,也可以是悬浊液。浆液粘度低,流动性好,能进入细小裂隙和粉细砂层。

(2) 凝胶时间可以在几秒至几小时范围内随意调节,并能准确地控制。

(3) 稳定性好,在常温、常压下较长时间存放不改变其基本性质,不发生强烈的化学反应。

(4) 无毒、无臭,不污染环境,对人体无害,属非易燃、易爆物品。

表 1-2 浆液的分类

浆液	无机系	单液水泥类;水泥-氯化钙浆液;水泥-三乙醇胺-氯化钠浆液;… 水泥-水玻璃类;水泥-水玻璃双浆液粘土类 水玻璃类;水玻璃-氯化钙浆液;水玻璃-铝酸钠浆液;… 水泥粘土类 其他类
	有机系	丙烯酰胺类 丙烯酸盐类 木质素类;纸浆废液-重铬酸钠(铬木素)浆液;纸浆废液-过硫酸铵(硫木素)浆液;… 脲醛树脂类;脲醛树脂-硫酸浆液;尿素-甲醛三氯化铁浆液; 尿素-甲醛-纸浆废液-硝酸胺(木铵)浆液;… 聚氨酯类;水溶性聚氨酯浆液;油溶性聚氨酯浆液;弹性聚氨酯浆液 糠醛树脂类;糠醛-尿素浆液;糠醛-丙酮浆液;… 环氧树脂类 甲基丙烯酸甲酯类 其他类

注:本表未能将全部浆液列入,只作分类法说明。

(5) 对注浆设备、管道、混凝土结构物及橡胶制品等无腐蚀性,并容易清洗。

(6) 固化时无收缩现象,固化后与岩石、混凝土、砂子等有一定粘结性。

(7) 结石体有一定抗压、抗拉强度,不龟裂,抗渗性能、防冲刷性及耐老化性能好,能长期耐酸、碱、盐、生物细菌等腐蚀,并且不受温度、湿度变化的影响。

(8) 来源丰富,价格便宜。

(9) 配制方便,操作简便。

当然,目前现有的浆液不可能同时满足上述要求,一种浆液只要符合其中几项要求即可。因此,在施工中要根据具

体情况选用某种较为适宜的浆液。

第二节 浆液配制及用料计算

一、溶液型浆液

1. 一般浆液

(1) 当溶质为固体时,一般用水(溶剂)溶解配成一定浓度的溶液,其浓度表示为

$$\frac{\text{溶质重量 (g或kg)}}{\text{溶质体积 + 溶剂体积 (mL或L)}} \times 100\%$$

或

$$\frac{\text{溶质重量 (g或kg)}}{\text{溶液体积 (mL或L)}} \times 100\%$$

其浓度变换可参见(3)中的第1)条所述的×字法。

(2) 当溶质为液体(如糠醛树脂)时,可以直接使用,也可以配成溶液使用。如需配成溶液,其浓度表示为

$$\frac{\text{溶质体积 (mL或L)}}{\text{溶质体积 + 溶剂体积 (mL或L)}} \times 100\%$$

或

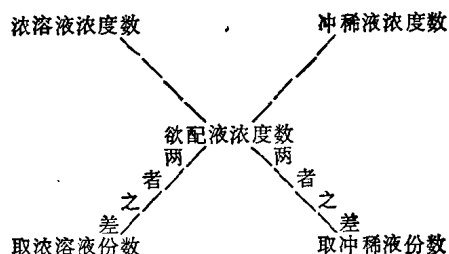
$$\frac{\text{溶质体积 (mL或L)}}{\text{溶液体积 (mL或L)}} \times 100\%$$

其浓度变换参见(3)中的第1)条所述的×字法。

(3) 当溶质为溶液,如含60%浓度的脲醛树脂溶液,含50%浓度的纸浆废液,含98%浓度的浓硫酸溶液,含30%浓度的硅氟酸溶液,含50%浓度的乙二醛溶液,含36%浓度的甲醛溶液等,这些溶液配浆按下述两种情况处理。

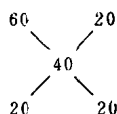
1) 凡主剂为溶液,如脲醛树脂类浆液中的脲醛树脂溶液、木质素类浆液中的纸浆废液,根据出厂标定浓度,可采

用×字法变换其浓度，即



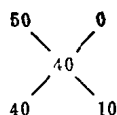
若冲稀液为水，则水浓度为零。

又如60%浓度的脲醛树脂溶液，欲用20%浓度的脲醛树脂溶液冲稀至40%浓度的脲醛树脂溶液，则



即取20份60%浓度的脲醛树脂溶液和20份20%浓度的脲醛树脂溶液进行混合，则配成40%浓度的脲醛树脂溶液。

又如将50%浓度的纸浆废液，用水冲稀至40%浓度的纸浆废液，则



因为水的浓度为零，故取40份浓度为50%的纸浆废液，加入10份水，即配成浓度为40%的纸浆废液。

2) 凡助剂或附加剂为溶液时，为便于施工和计算，常将出厂溶液，如硫酸、硅氟酸、乙二醛等的浓度视为100%，然后按溶质为液体处理。

2. 特殊浆液

(1) 水玻璃浆液。水玻璃浓度以波美度($^{\circ}\text{Be}'$)表示。波美度与密度 ρ 的关系为

$$^{\circ}\text{Be}' = 145 - \frac{145}{\rho} \quad (1-1)$$

或

$$\rho = \frac{145}{145 - ^{\circ}\text{Be}'} \quad (1-2)$$

水玻璃出厂浓度一般为 $50-56^{\circ}\text{Be}'$ ，而注浆使用的范围为 $30-45^{\circ}\text{Be}'$ ，其浓度变换可按式计算：

$$\begin{aligned} V_{\text{原}}\rho_{\text{原}} + V_{\text{水}}\rho_{\text{水}} &= V_{\text{配}}\rho_{\text{配}} \\ V_{\text{原}} + V_{\text{水}} &= V_{\text{配}} \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中： $V_{\text{原}}$ ——原来的水玻璃体积 (L)；

$\rho_{\text{原}}$ ——原来的水玻璃密度(kg/L)；

$V_{\text{水}}$ ——加入水的体积 (L)；

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度(kg/L)；

$V_{\text{配}}$ ——欲配水玻璃体积 (L)；

$\rho_{\text{配}}$ ——欲配水玻璃密度(kg/L)。

为计算方便，(1-3)式可简化为

$$V_{\text{水}} = \frac{V_{\text{原}}(\rho_{\text{原}} - \rho_{\text{配}})}{\rho_{\text{配}} - \rho_{\text{水}}} \quad (1-4)$$

(2) 固体的水玻璃、脲醛树脂和纸浆废液。固体的水玻璃需加水煮沸，待全部溶解后，用波美度表示浓度。但需说明，固体水玻璃很难溶解。

固体脲醛树脂和纸浆废液干粉，均按溶质为固体处理。

纸浆废液浓度与波美度有一定关系，配浆时可参考下

式:

$$Y = 2.18^\circ \text{Be}' \quad (1-5)$$

式中: Y ——固体含量。

(3) 凡标明按重量比或体积比配浆的浆液, 可直接按
要求配制。

二、悬浊液型浆液

1. 水泥浆

水泥浆的浓度用水灰比 ρ^* 表示, 即

$$\rho^* = \frac{W_w}{W_c} \quad (1-6)$$

式中: W_w ——水的重量 (kg);

W_c ——水泥的重量 (kg)。

注浆所用水灰比的变化范围为 0.6—2.0。

水泥浆的体积 V_a 应为水泥的体积和水的体积之和, 即

$$V_a = V_c + V_w \quad (1-7)$$

式中: V_c ——水泥的体积 (L);

V_w ——水的体积 (L)。

水泥体积为

$$V_c = \frac{W_c}{\rho_c} \quad (1-8)$$

式中: ρ_c ——水泥的密度, 通常为 3kg/L。

水的体积为

$$V_w = \frac{W_w}{\rho_w} \quad (1-9)$$

式中: ρ_w ——水的密度, 通常为 1kg/L。

附加剂一般先配成溶液, 其体积从加水的体积中去除。

所以，配制水泥浆时可不考虑附加剂体积的影响。

如将 (1-8), (1-9) 式代入 (1-7) 式，就可以得到在任意水灰比条件下配制一定体积水泥浆所需水泥和水的量，即

$$W_c = \frac{\rho_c V_q}{1 + \rho_c \rho^*} \quad (1-10)$$

$$W_w = \rho^* W_c$$

水泥浆的浓度变换分为两种情况：

1) 浆液由稀变浓，需要计算加入水泥的量 ΔW_c 为

$$\Delta W_c = \frac{\rho_1^* - \rho_2^*}{\rho_2^*} \times W_c \quad (1-11)$$

或

$$\Delta W_c = \frac{\rho_c V_q (\rho_1^* - \rho_2^*)}{\rho_2^* (1 + \rho_c \rho_1^*)} \quad (1-12)$$

式中： ρ_1^* ——原来水泥浆的水灰比；

ρ_2^* ——欲配制水泥浆的水灰比；

其他符号同前。

2) 浆液由浓变稀，需计算加入水的量 ΔW_w 为

$$\Delta W_w = \frac{\rho_2^* - \rho_1^*}{\rho_1^*} \times W_w \quad (1-13)$$

或

$$\Delta W_w = \frac{\rho_c V_q (\rho_2^* - \rho_1^*)}{1 + \rho_c \rho_1^*} \quad (1-14)$$

2. 水泥粘土浆

水泥粘土浆的浆液浓度一般按水泥、粘土、水的用量比来表示，即

$$W_c : W_{cl} : W_w = \alpha : \beta : \gamma \quad (1-15)$$

式中： W_c ——浆液中水泥的重量 (kg)；

W_{cl} ——浆液中粘土的重量 (kg)；

W_w ——浆液中水的重量 (kg);

α ——浆液中水泥所占重量份数;

β ——浆液中粘土所占重量份数;

γ ——浆液中水所占重量份数。

水泥粘土浆中各物料用量计算公式为

$$W_c = \alpha \frac{V_q}{\frac{\alpha}{\rho_c} + \frac{\beta}{\rho_c} + \frac{\gamma}{\rho_w}}$$

$$W_c = \beta \frac{V_q}{\frac{\alpha}{\rho_c} + \frac{\beta}{\rho_c} + \frac{\gamma}{\rho_w}} \quad (1-16)$$

$$W_w = \gamma \frac{V_q}{\frac{\alpha}{\rho_c} + \frac{\beta}{\rho_c} + \frac{\gamma}{\rho_w}}$$

式中: ρ_c ——粘土的密度, 通常为2.75kg/L;
其他符号同前。

3. 其他浆液

从(1-16)式可推导出含有更多组分浆液(如水泥粘土浆)的用料计算公式, 也可推导出较少组分浆液的用料计算方式。如当 $W_c=0$, $\beta=0$, 则得到水泥浆的用料计算公式为

$$W_c = \alpha \frac{V_q}{\frac{\alpha}{\rho_c} + \frac{\gamma}{\rho_w}}$$

$$W_w = \gamma \frac{V_q}{\frac{\alpha}{\rho_c} + \frac{\gamma}{\rho_w}} \quad (1-17)$$

此式与(1-10)式一致。

当 $W_c=0$, $a=0$ 时, 则得到粘土浆的用料计算公式

$$W_c = \beta \frac{V_a}{\frac{\beta}{\rho_c} + \frac{\gamma}{\rho_w}}$$

$$W_w = \gamma \frac{V_a}{\frac{\beta}{\rho_c} + \frac{\gamma}{\rho_w}}$$
(1-18)

综上所述, 可将各类浆液浓度表示法列于表1-3中。

表 1-3 各类浆液浓度表示法

浓度表示法及计算	溶 液 型		
	溶质为固体	溶质为液体	溶质为溶液
	重量 $\times 100\%$ 体积 (丙烯酸酯类、纸浆废液干粉、固体脲醛按此公式配浆)	1. 双液注浆(糠醛树脂类)用体积比配浆 2. 单液注浆(聚氨酯类、环氧树脂类)用重量比配浆	1. 主剂(液体脲醛、纸浆废液)为溶液, 可直接或稀释后使用 2. 助剂(硫酸、盐酸、乙二醛等)为溶液则按体积比配浆

浓度表示法及计算	悬 浊 液 型		
	水玻璃	水泥浆	水泥粘土浆
	$\cdot Be' = 145 - \frac{145}{\rho}$ 式中: $\cdot Be'$ —— 波美度; ρ —— 密度 (固体水玻璃待煮沸溶解后按此式配浆)	$\rho^* = \frac{W_w}{W_c}$ 式中: ρ^* —— 水灰比; W_w —— 水的重量; W_c —— 水泥的重量 (加入附加剂按占水泥重量百分数计算)	$W_c : W_w : W_a$ W_c —— 水泥重量; W_w —— 粘土重量; W_a —— 水的重量 (加入附加剂按占水泥重量百分数计算)

三、计算注浆量的数据

计算注浆量的数据分别见表1-4—1-6。