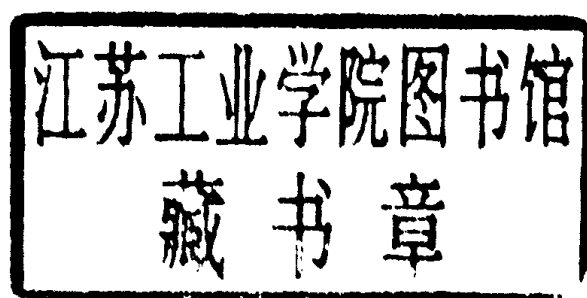


高等学校教学用书

地下工程特殊施工

东北大学 刘斌 主编



冶金工业出版社

高等学校教学用书

地下工程特殊施工

东北大学 刘斌 主编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

高等学校教学用书
地下工程特殊施工
东北大学 刘斌 主编

*

冶金工业出版社出版
(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)
新华书店总店科技发行所发行
怀柔县东茶坞印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 34印 13.5 插页 Ⅰ 字数 319 千字
1994 年 6 月第一版 1994 年 6 月第一次印刷
印数 00,001—1,050 册
ISBN 7-5024-1420-7
TU·101 (课) 定价 6.45 元

目 录

绪论..... 1

第一章 注浆法..... 3

 第一节 概述..... 3

 第二节 注浆材料及选择..... 5

 第三节 注浆参数 18

 第四节 注浆设备 22

 第五节 地面预注浆 30

 第六节 工作面预注浆 36

 第七节 后注浆 46

 第八节 注浆工程设计 49

 第九节 综合注浆法 50

 第十节 高压旋喷注浆法 53

第二章 冻结法 59

 第一节 概述 59

 第二节 压缩制冷原理及计算 61

 第三节 冻结法施工设计 68

 第四节 冻土物理力学性质 75

 第五节 冻结方案 85

 第六节 冻结设备 87

 第七节 冻结壁与井壁结构 90

 第八节 冻结法施工 96

第三章 钻井法..... 111

 第一节 概述..... 111

 第二节 竖井钻井设备..... 112

 第三节 井筒钻进..... 119

 第四节 洗井和净化..... 122

 第五节 钻井井壁施工..... 130

 第六节 钻井参数..... 137

 第七节 钻井法施工设计..... 141

 第八节 反井钻进..... 146

 第九节 联合掘进机..... 151

第四章 其他特殊施工方法..... 155

 第一节 沉井法..... 155

 第二节 人工降低水位法..... 168

第三节 混凝土帷幕法..... 181

第四节 盾构法..... 193

附表 1 氨饱和液体及饱和蒸气热力性质表 206

附表 2 高斯误差函数 $\text{erf}(u)$ 208

附图 氨的压—焓图($Lgp-i$ 图)(见插页) 206

参考文献 209

绪 论

地下工程特殊施工(也称井巷特殊施工),是相对普通施工而言的。它是在松散不稳定含水岩层或在涌水量很大的坚硬裂隙岩层中,利用堵水、围岩加固、超前支护或大型钻机建设地下工程的施工方法与技术。这些特殊的施工方法与技术包括:注浆法、冻结法、钻井法、沉井法、降低水位(疏干)法、混凝土帷幕法、盾构法、板桩法、压气沉箱法、电化学法等。

按地下工程特殊施工方法及技术与岩石的作用特点、时间以及所采用的设备类型不同,可分为以下四类方法:

(1)在地下工程开挖前,利用不改变岩石物理力学和化学性质的临时或永久超前支护的方法,隔绝或减少流砂和地下水的涌入,在超前支护保护下开挖岩石。属于此类的有:沉井法、混凝土帷幕法、板桩法及盾构法等。

(2)在地下工程开挖前,临时改变岩石物理、力学性质的方法。如冻结法、降低水位法以及压气沉箱法。当地下工程施工完毕后,岩石的物理力学性质将恢复其原来状态。

(3)地下工程开挖前,利用各种材料改变岩石的物理力学乃至化学性质的堵水加固方法,如注浆法。这种方法改变的岩石性质一直将保持很长时间,甚至到地下工程报废为止。

(4)采用特殊设备和物理过程应用于岩石的方法挖掘岩石。如钻井法。

做为具有现代含义的地下工程特殊施工,是从18世纪才开始的。它属于应用科学与技术的范畴。所以它的产生与发展离不开整个社会生产力的发展与科学技术的进步。

国防工业、能源、交通、建筑、钢铁工业的发展,要求在复杂的工程地质与水文地质条件下建设各种地下工程,这一要求促进了地下工程特殊施工方法与技术的发展。

莫斯科地下铁道要建设在含水表土层下的基岩中,因而把冻结法、沉井法、盾构法等引用到地下铁道建设中来,发展了斜井冻结技术。

日本要在本州和北海道之间建设青函隧道,全长53.85km,穿越海底23.3km,大量的注浆堵水工程推动了多种化学注浆材料的发展,从而使化学注浆法提高到了一个新阶段。

我国要开发华北、华东、长江中下游及黄河河套等地区煤田,就必须发展深井冻结技术与定向注浆钻孔技术。

地下核试验要求在坚硬岩石中钻井,于是出现了适应于坚硬岩石条件下的大型液压钻机及耐磨超硬质合金钻头。

金属矿山尾矿库改造工程要求建设大量辐射井,于是普通沉井法又重新被推广使用。

地下工程特殊施工还必须要有雄厚的物质基础,需要大量财力、物力以及人力的投入。一台大型钻机的加工制造需要1000t以上的钢材。1t聚氨酯注浆材料须2万元以上,用冻结法凿井1m成井造价须2万元以上。因此,它的发展与国力密切相关。

我国地下工程特殊施工方法与技术的发展过程也是我国国民经济、基本建设发展的过程。40年代,我国还没有采用特殊施工方法。新中国成立以来,尤其是改革开放十多年以来,由于我国综合国力的提高,具备了一定的物质基础,几种主要特殊施工方法相继采用。自1955年以来,采用冻结法冻结井筒300多个,累计深度超过50km,最大冻结深度达450m。

用化学注浆法过表土层开凿竖井在河南八台铁矿王道行出风井试验成功,为我国建井工程填补了空白,扩大了注浆法的应用范围。我国用于注浆法施工的井筒已超过 120 多个,注浆深度达 600m。我国自己设计、制造的钻机,最大钻井直径为 9.3m,其钻井总长度已达 8700m 以上。1981 年我国创造了淹水沉井井深为 192.7m 的记录。盾构法在上海黄浦江水底隧道和地铁建设中发挥了重要作用,延安东路越江隧道用盾构法穿越的水面超过 500m,用盾构施工的隧道长度达 1476m。

地下工程特殊施工方法与技术的发展,必然推动相关学科科学研究的发展,同时也会影响高等教育的教学内容和科研方向。20 世纪中期开始进行的对冻土应力场、温度场、井壁受力状态、冻结管断裂原因分析的现场实测及实验室研究,都使设计、施工更加科学化。前苏联专业注浆地质联合公司集生产施工、设计与科学研究为一体,研究综合注浆技术,培养注浆方面的人才。有限元,有限差分等数值计算方法结合计算机技术已经使地下结构的力场分析,冻土的力场、温度场分析等理论问题得到解决。美国生产的反井钻机已配有自动监视和检查技术;德国生产的大型钻井机引进了计算机辅助设计。我国已有专门研究特殊施工方法与技术的研究院所。愿本书《地下工程特殊施工》能在培养有关人才中发挥一定的作用。

第一章 注浆法

第一节 概述

注浆法是将具有充填、胶结性能的材料配制成浆液,用注浆设备注到地层的孔隙、裂隙或空洞之中凝结硬化后,达到封水或加固地层的目的,从而改善受注地层的水文地质或工程地质条件。注浆法工艺流程见图 1-1。

注浆法的分类方法很多,通常有下列几种:

- (1)按注浆材料种类分为水泥注浆、粘土注浆和化学注浆;
- (2)按注浆施工时间不同分为预注浆和后注浆;
- (3)按注浆对象不同分为岩层注浆和表土层注浆;
- (4)按注浆工艺流程分为单液注浆和双液注浆;
- (5)按注浆目的分为堵水注浆和加固注浆;
- (6)按作用机理分为充塞注浆、渗透注浆和挤压注浆。

与其它井巷特殊施工方法相比,注浆法的主要优点是:所需设备较少、工艺简单、方法可靠、效果好。

注浆技术应用的历史较长,早在 1802 年,法国人夏尔斯贝林尼用自己设计的冲击泵将石灰和粘土浆液压入地基;1876 年,美国利用浆液自然下流方式向水坝的岩石基础注入硅酸盐水泥;1886 年,英国研制成功了压缩空气注浆机。这个时期采用的注浆材料主要有石灰、粘土和水泥,由于它们都属于悬浮液,很难注入岩石的细小裂隙或砂土的孔隙中,因此,使用范围受到限制。1884 年,英国在印度建桥时,成功地使用了化学药品固砂;1887 年,德国利用一个钻孔注浓水玻璃、相邻钻孔注氯化钙,创造了硅化法;1920 年,荷兰采矿工程师尤斯登首次论证了化学注浆的可靠性,并创造了水玻璃—氯化钙双液双系统两次压注法,从此,欧美各国广泛地应用了水玻璃注浆法。随着有机高分子化学工业的发展,新的化学浆材不断出现,许多国家先后研制出木质素类、脲醛树脂类、酚醛树脂类、丙烯酰胺类、聚氨酯类等品种繁多、性能各异的注浆材料,从而使注浆法的应用范围不断扩大。

注浆技术在我国的应用历史较短,本世纪 50 年代初才填补了旧中国在注浆技术方面的空白。1965 年前,基本上是采用单液水泥浆注浆。1964 年我国研制成功 MG-646 新型化学浆液,1967 年研制成功水泥—水玻璃双液注浆法,70 年代又研制成功聚氨酯化学注浆材料,之后又研制出铬渣木素等化学浆材。同时,一些单位还把脲醛树脂、环氧树脂类作为注浆材料用于工程中。从 1953 年以来,注浆技术先后在我国土建、水电、煤炭、冶金、石化、铁道、人防、军工等系统得到了广泛的应用。为克服普通注浆法难以使浆液均匀扩散的弱点而发展起来的高压旋喷注浆法,在基础防渗和加固方面得到了越来越多的应用。现在,注浆法已成为我国矿山井巷硐室工程施工中堵水和加固的主要手段之一。

我国部分金属矿山注浆技术的应用情况见表 1-1。

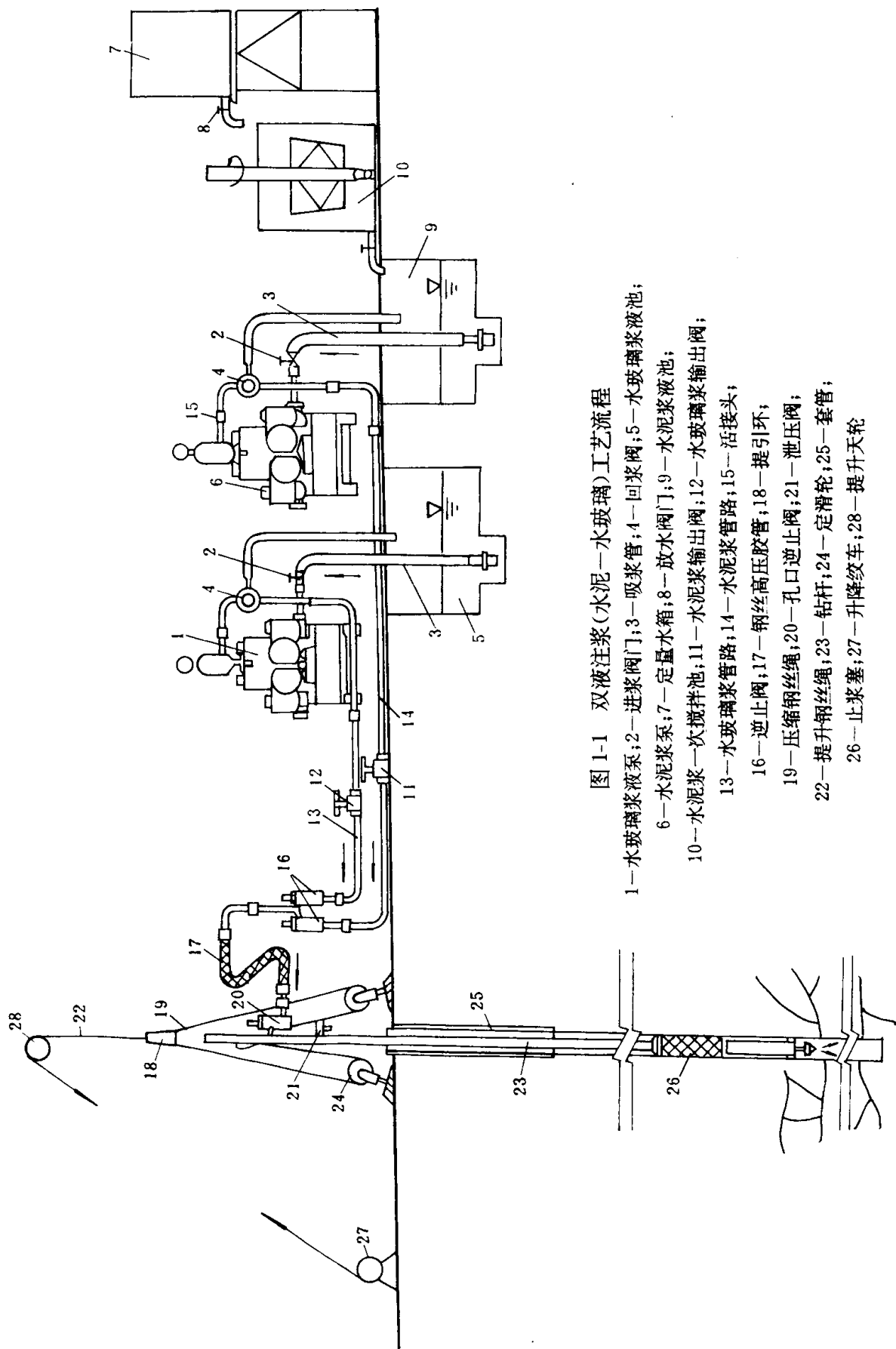


图 1-1 双液注浆(水泥-水玻璃)工艺流程

1—水玻璃浆液池;2—进浆阀门;3—吸浆管;4—回浆阀;5—水玻璃浆液池;

6—水泥浆池;7—定量水箱;8—放水阀门;9—水泥浆液池;

10—水泥浆一次搅拌池;11—水泥浆输出阀;12—水玻璃浆输出阀;

13—水玻璃浆管路;14—水泥浆管路;15—活接头;

16—逆止阀;17—钢丝高压胶管;18—提引环;

19—压缩钢丝绳;20—孔口逆止阀;21—泄压阀;

22—提升钢丝绳;23—钻杆;24—定滑轮;25—套管;

26—止浆塞;27—升降绞车;28—提升天轮

表 1-1 我国金属矿山注浆技术应用实例

工程名称	地质条件	注浆类型	注浆材料	注浆参数	涌水量(m ³ /h)		堵水效果(%)	施工时间
					注浆前	注浆后		
英德马口硫铁矿竖井	大理岩	工作面预注浆	水泥浆	孔数7个,孔深28m,注浆压力1.2MPa	117	0	100	1964年~1965年1月
金岭铁矿北金召北矿主井	灰岩、亚粘土、亚砂土	地面预注浆	水泥浆	孔数8个,压力0.5~1.5MPa	780	2	99.7	1966年11月~1967年7月
济南铁矿主竖井	表土层、闪长岩、灰岩	地面预注浆	水泥浆	孔数9个,孔深135m	881	7.37	99.2	1967年8月~1968年7月
梅山铁矿副井	凝灰角砾岩与石英粗面岩接触带	工作面突水点埋注浆管	水泥—水玻璃	压力0.5~2.5MPa	54	5	90.7	1968年4月
舞阳八台铁矿王道行出风井	表土层、砾层	地面预注浆	水玻璃—铝酸钠	孔数36个(两圈),孔深30m;压力0.3~1.5MPa	169	0.6	99.6	1973年5月~12月
复州湾粘土矿—68m平巷	灰岩、岩溶发育	工作面堵水注浆	水泥—水玻璃	注浆终压是静水压力2~3倍	264	0	100	1983年6月~9月
三山岛金矿南风井	回填土、亚粘土、砾砂、风化花岗岩	旋喷注浆	水泥浆	浆液喷射压力13~20MPa	25.3	0.57	97.7	1984年5月~1985年4月
新疆某铜镍矿新建风井	混凝土井壁漏水严重	壁后注浆	水泥—水玻璃	注浆终压0.5~1.4MPa	20	2.43	88	1986年

第二节 注浆材料及选择

注浆材料是注浆堵水与加固的关键,它直接关系到注浆成本、注浆效果、注浆工艺等一系列问题,因此,在采用注浆法进行堵水或加固时,首先应正确选择注浆材料及其配方。

一、注浆材料的一般情况

(一)对理想注浆材料的要求

注浆材料的种类很多,但理想的注浆材料应满足以下要求:

- (1)粘度低,流动性和可注性好,能进入细小裂隙或粉细砂层内;
- (2)浆液凝固时间可调并能准确控制,凝胶固化过程在瞬间完成;
- (3)浆液固化时不收缩,结石率高,结石体抗渗性能好,拉压、抗拉强度高,与砂石间粘结力大;
- (4)浆液稳定性好,便于保存运输;
- (5)浆液无毒、无臭,对环境不污染,对人体无害,不易燃易爆,对设备、管路无腐蚀性;
- (6)结石体抗地下水侵蚀的能力强,能长期耐酸、碱、盐、生物细菌等侵蚀,耐老化性能好;

(7)材料来源广泛,价格便宜,注浆工艺简单,浆液配制方便。

应该指出,目前世界各国所用的注浆材料中,还找不出一种材料能同时满足上述要求。但满足不同要求的材料却不断被发现。由于注浆目的和被注对象不同,对浆液性能要求亦不同,因此,我们应首先熟悉各种浆材的不同特性,然后根据注浆的目的要求来合理选择注浆材料。

(二)注浆材料的主要性能

注浆材料的品种繁多,其性能的变化也很大,不同的浆材有不同的性能,同种浆材也可以根据需要而改变其性能。

注浆材料的主要性能有:粘度,凝胶时间,渗透能力,渗透系数和抗压强度。

1. 粘度

粘度是表示浆液流动时,因分子间相互作用而产生的阻碍运动的内摩擦力。通常所说的浆液粘度系指浆材所有组分混合后的初始粘度。粘度的大小影响着浆液的可注性及扩散距离。

粘度的单位用帕秒(Pa·s)表示。现场有时用简单粘度计测定浆液的粘度,用秒(s)作单位。

浆液在固化过程中,其粘度随时间而变化,粘度的变化规律有渐变型和突变型两种类型。见图 1-2。

曲线 1 表示浆液的粘度随时间的延长而增加,无明显突变过程。例如:单液水泥浆、环氧树脂、铬木素等。这一过程阻碍了浆液的扩散,对注浆不利。

曲线 2 表示浆液粘度随时间有突变过程。例如:丙烯酰胺类、水泥-水玻璃类浆液。在凝胶前,浆液的各组分虽然已开始反应,但浆液的粘度不变;到凝胶发生时,粘度突变,瞬间形成固体。这一过程对注浆有利。

2. 凝胶时间

凝胶时间是指从浆液各组合成分混合时起,直至浆液凝胶不再流动的时间间隔。

凝胶时间对注浆作业、浆液扩散半径、浆液注入量等都有明显的影响。能否正确确定和准确控制浆液的凝胶时间,是注浆成败的关键之一。因此,要求浆液的凝胶时间能随意调节、准确控制,以满足不同的需要。

凝胶时间的确定,水泥浆可用试锥稠度仪,其它浆液可用 ZNC-1 型凝胶时间测定仪。在没有测定仪器的情况下,通常用手持玻璃棒搅拌浆液,以手感觉不再流动或拉不出丝为止。

3. 渗透能力

渗透能力亦称渗透性、可注性,指浆液注入地层的难易程度。它包括两种含意,其一是指浆液能否注入地层,主要取决于被注介质的最小裂隙开度或颗粒粒径大小;其二表示浆液在地层中的扩散距离。影响浆液渗透能力的因素很多,主要有浆液的粘度、稳定性、凝胶时间及被注地层裂隙最小开度或颗粒粒径大小。

4. 渗透系数

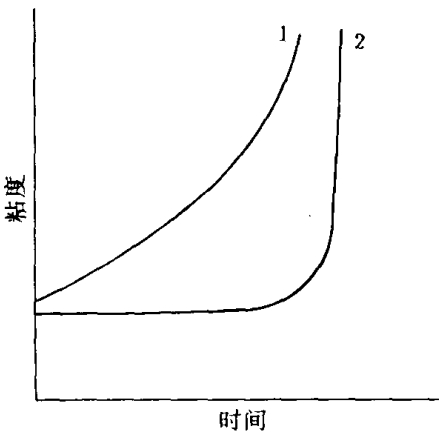


图 1 2 浆液粘度随时间变化曲线

渗透系数是指浆液固化后结石体透水性的高低或抗渗性强弱,通常用“m/d”或“cm/s”表示。渗透系数可用土工渗透仪或砂浆渗透仪测定。

5. 抗压强度

抗压强度指的是注浆材料自身的抗压强度和浆液结石体的抗压强度。当以加固为注浆主要目的时,就应选择高结石体强度的浆材;以堵水为注浆主要目的时,浆材结石体的强度可低些。抗压强度的测定方法应参照有关规范进行。

几种浆材的主要性能指标见表 1-2。

表 1-2 几种浆材的主要性能指标

性 能 浆 材 名 称	粘度(10 ⁻³ Pa·s)	可能注入砂层的 最小粒径(mm)	凝胶时间	渗透系数 (cm/s)	结石体抗压 强度(MPa)
单液水泥浆	15~140s	1.0	6~15h	10 ⁻¹ ~10 ⁻³	5.0~25.0
水泥—水玻璃	15~140s	1.0	十几秒~几十分	10 ⁻² ~10 ⁻³	5.0~20.0
水玻璃类	3~4	0.1	瞬间~几十分	10 ⁻²	<3.0
铬木素类	3~4	0.03	十几秒~几十分	10 ⁻³ ~10 ⁻⁵	0.4~2.0
脲醛树脂类	5~6	0.06	十几秒~几十分	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴	2.0~8.0
丙烯酰胺类	1.2	0.01	十几秒~几十分	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁶	0.4~0.6
聚氨酯类	十几~几百	0.03	十几秒~几十分	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁶	6.0~10.0
糠醛树脂类	<2	0.01	十几秒~几十分	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	1.0~6.0

二、几种常用的注浆材料

注浆材料的种类繁多,按其主剂可分为有机系和无机系两大类。无机系主要包括:单液水泥浆、水泥—水玻璃、水玻璃类等;有机系主要包括:丙烯酰胺类、铬木素类、脲醛树脂类、聚氨酯类等。常用的注浆材料主要有以下几种。

(一)单液水泥类浆液

以水泥为主剂加一定量的外加剂,用水调成浆液,采取单液方法注入,这样的浆液称为单液水泥类浆液。注浆用的水泥品种有普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥。

单液水泥类浆液的基本性能见表 1-3。

表 1-3 单液水泥类浆液基本性能

水灰比	外加剂		凝胶时间		抗压强度(MPa)			
	名称	用量(%)	初凝(h·min)	终凝(h·min)	1d	3d	7d	28d
1:1			14-56	24-27	0.8	2.0	5.9	8.9
1:1	水玻璃	3	7-20	14-30	1.0	1.8	5.5	
1:1	氯化钙	2	7-10	15-04	1.0	1.9	6.1	9.5
1:1	氯化钙	3	6-50	13-08	1.1	2.0	6.5	9.8
1:1	三乙醇胺	0.05	6-45	12-35	2.4	3.9	7.2	14.3
	氯化钠	0.5						
1:1	三乙醇胺	0.1	7-23	12-58	2.3	4.6	9.8	15.2
	氯化钠	1.0						
1:1	三异丙醇胺	0.05	11-03	18-22	1.4	2.7	7.4	12.0
	氯化钠	0.5						
1:1	三异丙醇胺	0.1	9-36	14-12	1.8	3.5	8.2	13.1
	氯化钠	1.0						

注:(1)水泥为 425[#] 普通硅酸盐水泥;
(2)外加剂用量是占水泥重量的百分数;
(3)氯化钙用量一般占水泥重量 5%以下,水玻璃占 3%以下。

水泥浆液是基岩裂隙注浆中应用最广泛的浆材。其主要优点是：货广价廉，结石体强度高，抗渗性能好，注浆工艺简单，易于操作，无污染。其缺点是：水泥颗粒较粗，可注性差，在细裂隙及粗砂以下地层中很难注入，通常只能注入裂隙宽度大于 $0.15\sim 0.3\text{mm}$ 的岩层或粒径大于 1.1mm 的砂砾层；凝胶时间长且难以准确控制，初期强度低，浆液易沉淀析水，易被水稀释，稳定性差，地下水流速度要小于 $80\sim 200\text{m/d}$ 。因此，纯水泥浆在注浆工程中的应用受到了一定的限制。当采取一些措施改善水泥性能后，就扩大了它的使用范围，提高其堵水注浆效果。这些措施主要有以下几项。

1. 改善可注性

(1) 磨细水泥。通过对普通水泥的筛分和磨细，使水泥颗粒减小，比表面积从 $3000\sim 3500\text{cm}^2/\text{g}$ 提高到 $5000\text{cm}^2/\text{g}$ 以上，提高水泥的可注性：

(2) 水泥中掺加塑化剂。塑化剂可使水泥颗粒间产生水动力润滑，降低浆液的粘度。常用的塑化剂有：亚硫酸纸浆废液（占水泥重量的 $0.2\sim 0.6\%$ ），三聚磷酸钠（占 $5\sim 7\%$ ），食糖（占 $0.03\sim 0.05\%$ ），泥灰（占 $0.2\sim 0.3\%$ ）等；

(3) 水泥中掺加减阻剂。减阻剂的种类很多，例如：高分子聚合物中的聚丙烯酰胺、聚异乙烯、聚异丁烯等，天然高分子物质中的皂角龙胶粉、槐树豆粉、瓜胶等。粘土、木炭粉、煤粉、白土等都可作为减阻剂。水泥中掺加减阻剂后，可以减少浆液在裂隙中运动的摩擦阻力。最好的减阻剂是聚氧化乙烯，在水中加入二万分之一，水的摩擦阻力就可下降 80% ；

(4) 对被注地层进行预处理。在注水泥浆之前用某种化学材料对地层进行预先处理，减少裂隙对水泥浆的阻力，从而提高水泥浆的可注性。常用的材料有：水玻璃—硫酸铝溶液、铬木素浆液、苛性钠、 $15\sim 20\%$ 的盐酸溶液等。

2. 增加水泥浆的稳定性

(1) 高速搅拌细水泥。搅拌可增加浆液中颗粒的分散性，提高浆液的稳定性。

(2) 掺加分散剂。加入分散剂可以阻止水泥颗粒的凝聚，减缓水泥颗粒的沉降速度。可以做为分散剂的材料有：亚硫酸纸浆废液、硫酸亚铁、磷酸铵、氢氧化铝等。

(3) 掺加悬浮剂。加入悬浮剂能增大浆液的粘度，从而降低颗粒的沉降速度。膨润土是一种很好的悬浮剂。但是，要严格控制悬浮剂的加入量，加入量在 4% 以上时浆材强度降低较明显，凝胶时间加长；加入量在 7% 以上时粘度显著增加，从而影响浆液的可注性，故浓浆中不宜加入。一般加入量应控制在 $1\sim 5\%$ 。

3. 控制水泥浆凝结时间和提高早期强度

(1) 添加速凝早强剂。速凝剂有：氯化钙、水玻璃、苏打、石膏、红星一号、711 型速凝剂等。711 型速凝剂能在几分钟内使水泥初凝。三乙醇胺、三异丙醇胺对水泥浆结石体的早、晚期强度都有增加作用。

(2) 同化学浆液并用。可以利用化学浆液凝胶时间短且易于控制以及水泥浆与某些化学浆液起反应的特点，达到速凝、早强之目的。例如：水泥-丙凝混合浆、水泥-水玻璃双液浆，后者在国内外得到广泛的应用。

(3) 混合水泥浆。在普通水泥中加入少量的矾土水泥（两者重量比以 $9:1$ 为好）和磷酸钠（占水泥总重的 $1\sim 3\%$ ），配制成水灰比为 $0.6\sim 2$ 的浆液，其初凝时间可以从数分钟至数十分钟任意调节，早期及 28d 抗压强度比相同水灰比的普通水泥高。

(二) 水泥—水玻璃浆液

水泥—水玻璃浆液又称C—S浆液。当水玻璃掺量增加到一定比例时,水泥浆的性能就发生了质的变化,这种浆液兼有水泥浆和化学浆的一些优点:凝胶时间可以从几秒至数十分钟任意调节,结石率可达100%,早期强度比水泥浆有较大的提高,可注性好,材料来源丰富,价格低廉。这种浆液已在地面预注浆、工作面预注浆、处理淹井事故等方面得到了广泛的应用,效果较好,是目前应用最多的浆材之一。其注浆作业需采用双液注浆系统。

1. C—S浆液的组成及配方

C—S浆液的组成及配方参见表1-4。它主要是由水泥和水玻璃组成。为了适应不同地质条件的注浆需要,可适当增添速凝剂或缓凝剂。

表 1-4 C—S浆液组成及配方

原 料	要 求	作用	用量	主要性能
水泥	325 [#] 或425 [#] 普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥	主剂	1	凝胶时间可在几秒至几十分钟内任意调节;抗压强度为5.0~20.0MPa
水玻璃	模数2.6~3.0 浓度30~40Be'	主剂	0.5~1	
氢氧化钙	工业品	速凝剂	0.05~0.2	
磷酸氢二钠	工业品	缓凝剂	0.01~0.03	

注:1. 水玻璃用量为与水泥浆的体积比数;

2. 速凝剂与缓凝剂的用量为占水泥重量的比数。

水玻璃又称泡花碱($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$)。模数和浓度是水玻璃的两个重要参数。其模数M用下式表示:

$$M = \frac{\text{SiO}_2 \text{克分子数}}{\text{Na}_2\text{O 克分子数}} \quad (1-1)$$

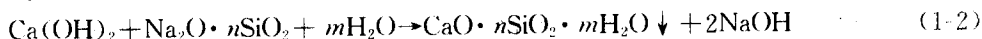
模数越小, SiO_2 含量越低,浆液的凝胶时间越长,结石体强度低;模数大,则结石体强度高,但粘度大且难以溶解。注浆时水玻璃的模数一般为2.6~3.0。

水玻璃浓度通常用波美度(Be')表示,注浆用的水玻璃浓度以30~40Be'为宜。浓度太小,结石体强度低;过浓,则粘度大,影响浆液的流动性和可注性。

C—S浆液中使用的水泥以325[#]或425[#]普通硅酸盐水泥为好,水泥浆的水灰比一般在0.5~2之间,常用水灰比是0.5~1。

2. C—S浆液反应机理

C—S浆液的凝胶和硬化,是因为水玻璃能同水泥浆中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 迅速反应,生成水化硅酸钙凝胶:



随着水泥浆水化过程中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 不断产生, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与水玻璃的反应连续进行,胶质体越来越多,强度也随之增高。因此,C—S浆液的早期强度是水玻璃与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应起主要作用,后期强度是水泥的凝结硬化起主要作用。

3. C—S浆液的基本性能

C—S浆液的基本性能包括凝胶时间和抗压强度。

(1)凝胶时间及其影响因素 凝胶时间是指水泥浆与水玻璃相混合时起至浆液不能流动为止的时间间隔。C—S浆液的凝胶时间可根据需要从几十秒调至几十分钟。影响C—S浆液凝胶时间的因素主要有:

①水泥品种、水灰比的影响。见图1-3。随着水灰比的增加(浓度减小),凝胶时间延长;在其它条件相同的情况下,普通硅酸盐水泥比矿渣硅酸盐水泥的凝胶时间短。

②水玻璃浓度的影响。当水玻璃浓度在30~50Be'之间时,水玻璃的浓度越低,则凝胶时间越短。

③水泥浆与水玻璃体积比的影响。当其它条件相同时,水泥浆与水玻璃的体积比在1:0.3~1:1范围内,水玻璃用量愈少则凝胶时间愈短。因此,在注浆过程中,可通过调整双液泵量的方法调整凝胶时间。

④温度的影响。温度愈高则凝胶时间愈短
⑤外加剂的影响。在C-S浆液中加入CaO、CaCl₂等速凝剂可加速浆液的凝胶,加入Na₂HPO₄等缓凝剂可延长凝胶时间。

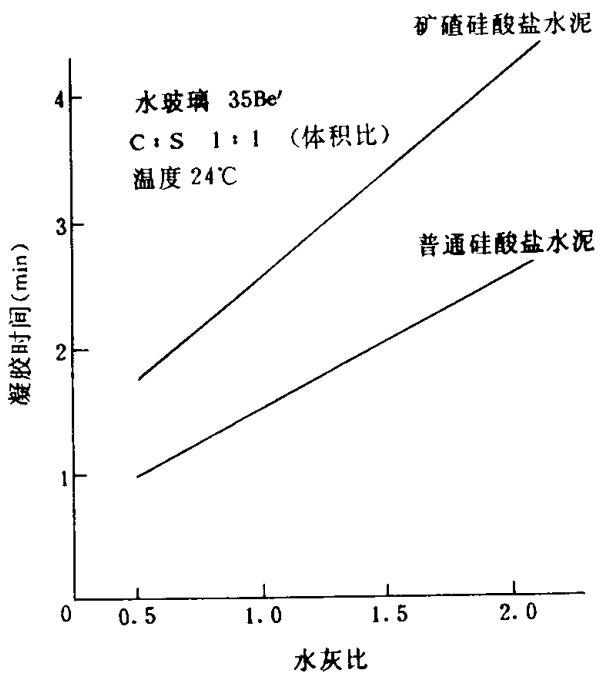


图1-3 水泥品种、水灰比对凝胶时间的影响

(2)结石体抗压强度及其影响因素 C-S浆液结石体强度高,尤其是早期强度较单液水泥浆高且增长迅速。影响其结石体强度的主要因素有:

①水泥品种和水灰比。水泥标号愈高,结石体强度愈高;水灰比愈大,结石体强度愈低。

②水玻璃模数和浓度。水玻璃的模数愈高则结石体强度愈高;对于水灰比小于1的浓水泥浆,水玻璃的浓度愈大则结石体强度愈高;随着水灰比的增加,水泥浆中的水泥含量减少,水泥与水玻璃化学反应后仍存留过量的水玻璃,从而对抗压强度产生不利的影响,这时,低浓度的水玻璃反而会得到较高的强度。最佳的水玻璃浓度应通过试验确定。

③水泥浆与水玻璃体积比的影响。当两者比例适宜时,化学反应完全,抗压强度高。当水灰比大于1时,两者最佳的体积比为1:0.4~1:0.6;当水灰比小于1时,两者最佳的体积比为1:0.6~1:0.7。在此范围内,不但强度增加,凝胶时间缩短,而且可以节约水玻璃,降低浆液成本。

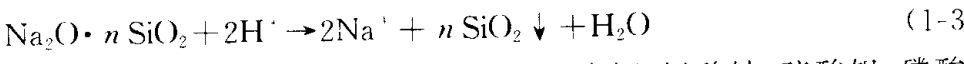
④养护时间的影响。通常,养护时间愈长,抗压强度愈高。

(三)水玻璃类浆液

水玻璃是化学注浆中最早使用的一种材料,其性能良好,来源丰富,价格低廉,对环境无污染,可注性好。固砂强度一般为0.2~3.0MPa,适用于松软地层加固或细裂隙岩层堵水,发展前途广泛。

1. 反应机理

水玻璃是水溶性碱金属硅酸盐,在酸性固化剂的作用下产生凝胶。其反应机理可归纳如下:



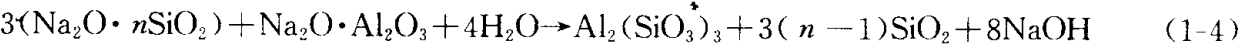
许多无机和有机化合物都可以作为水玻璃的固化剂,如氯化钙、铝酸钠、硫酸铝、磷酸、乙二醛、氟硅酸、重铬酸钠、二氧化碳等,因此,水玻璃类浆液品种繁多。本书只介绍几种较有

实际价值、效果较好的浆液。

2. 几种水玻璃类浆液

(1)水玻璃—铝酸钠浆液 这种浆液是水玻璃类浆液中应用较多的一种,其材料来源较丰富,价格便宜,固砂体的稳定性和耐久性均较好。冶金部六冶与东北大学在河南舞阳八台矿出风井用这种浆材成功地加固了含水砂砾层和亚粘土层,封住了井筒的涌水返砂,堵水率达99.6%。

水玻璃同铝酸钠反应生成硅胶和硅酸铝盐,能粘结砂土颗粒,起到加固和堵水作用。其反应为:



水玻璃—铝酸钠浆液的组成、性能及适用条件见表1-5。

表1-5 水玻璃—铝酸钠浆液组成、性能、适用条件

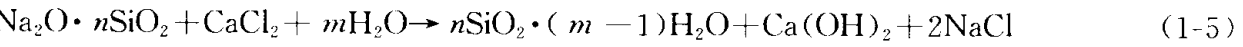
主要成分				主要性能			适用条件	注浆方式
甲液	用量	乙液	用量	粘度 (10 ⁻³ Pa·s)	凝胶时间	固砂强度 (MPa)		
水玻璃 40Be' M = 2.3 ~3.4	体积1份	铝酸钠含 铝量为160 ~190g/l	体积1份	5~10	几十秒~ 几十分	<3	堵水或加固 粒径>0.1~ 0.25mm 砂层	双液注浆

铝酸钠常用炼铝的中间产品——铝酸钠液体,其含铝量的多少直接影响固砂体的强度。试验表明,含铝量在140~200g/l时,固砂体的强度随含铝量的增加而增大;含铝量超过200g/l时,固砂体强度反而降低。

对浆液凝胶时间的影响因素很多,以温度的影响最为显著,温度越高则凝胶时间越短。此外,铝酸钠溶液中含铝量增多、水玻璃的浓度降低或模数加大、体积比中水玻璃量减少,凝胶时间都可缩短。

(2)水玻璃—氯化钙浆液 这是一种早期应用的化学浆液,自1887年德国的切撒尔斯基利用水玻璃和氯化钙创造了原始硅化法以来,已有100多年的历史。这种浆材主要用于建筑、铁道、交通等部门的地基加固工程。我国自50年代以来用这种浆液加固地基,已有数十项工程,效果较好。

水玻璃与氯化钙两种浆液在地下土壤中相遇后,立即发生化学反应,生成二氧化硅胶体,包裹土体颗粒形成具有一定强度的固结体,不但起到了防渗作用,而且主要起到了加固作用。其作用机理如下:



水玻璃—氯化钙浆液的组成及性能见表1-6。

表1-6 水玻璃—氯化钙浆液的组成、性能及适用条件

主要成分				主要性能		适用条件	注浆方式
甲液	用量	乙液	用量	凝胶时间	固砂体强度 (MPa)		
水玻璃, 模数2.5~3.0 浓度43~45Be'	占总体 积的 45%	氯化钙, 比重1.26~1.28 浓度30~32Be'	占总体 积的 55%	瞬间	<3.0	加固 地基	单管交替注入, 双管分别注入, 电动硅化法