

化学灌浆技术

UAXUEGUANJIANGJISHU

电力工业部华东勘测设计院科学研究所
长江流域规划办公室长江水利水电科学研究所
中国科学院广州化学研究所

水利电力出版社

化学灌浆技术

电力工业部华东勘测设计院科学研究,,
长江流域规划办公室长江水利水电科学研究院
中国科学院广州化学研究所

水利电力出版社

216/16

内 容 提 要

本书由三篇共20章组成,系统地总结和搜集了当前国内外化学灌浆方面的经验。主要介绍了各种化学灌浆材料的组成、机理、性能和应用范围;常用灌浆施工工艺和灌浆设备;防渗、堵漏、固结和补强灌浆的施工实例。并附有化学灌浆材料的性能测试方法,应用化学灌浆处理的工程简况和化学灌浆原材料的参考价格及供应厂商等。

本书可供水利、水电工程有关设计、施工、科研技术人员阅读,亦可供煤炭、冶金、交通、海港、建筑工程等科技人员以及大专院校有关专业的师生参考。

化 学 灌 浆 技 术

电力工业部华东勘测设计院科学研究所

长江流域规划办公室长江水利水电科学研究院

中国科学院广州化学研究所

(根据水利出版社纸型重印)

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.375印张 251千字

1980年8月第一版

1984年9月新一版 1984年9月北京第一次印刷

印数 0001—8260册 定价 1.30元

书号 15143·5500

前 言

化学灌浆是一门新的科学技术，由于它具有独特的优越性能，近十多年来已在我国许多工程上得到了广泛的应用。

水利水电工程及其他一些工程中，普遍存在一些需要处理的问题，如细微裂隙岩石基础的帷幕防渗，坝基断层破碎带的防渗加固，细砂土壤的固结，大量渗水或流速较大的涌水的封堵，以及恢复产生裂缝缺陷的建筑物的整体性等，采用化学灌浆处理和修复后，基本上都能得到较满意的效果。在生产实践中也积累了一定的经验。

为了总结化学灌浆技术经验，促进这门学科的发展，更好地为四化服务，我们编写了《化学灌浆技术》一书，供有关设计、施工和科研技术人员参考。

参加编写的有：电力工业部华东勘测设计院科学研究所冯善彪、刘元津、包银鸿、竺仁林、郭定中；长江流域规划办公室长江水利水电科学研究院谭日璽、陈旭荣、薛希亮、李宗懋；中国科学院广州化学研究所毛善庆、吴静波、林求发、林薇薇等同志。全书由冯善彪同志统一整编校订。

本书在编写过程中，参考了许多单位的技术文献和资料，并选用了其中部分内容和数据，可以说本书是集体实践经验和科研成果的汇集。考虑到有些资料没有正式刊印出版，书中未能一一注明出处，请鉴谅。本书在编写和审查过程中，曾得到水利水电科学研究院等单位及有关人员的大力支持与帮助，提供编写资料，提出许多宝贵修改意见，特此

一并致以谢意。

由于我们水平有限，书中不妥或错误之处，敬请读者指正。

编 著 者

一九七九年十一月

目 录

前言	
概述	1
第一篇 化学灌浆材料	8
第一章 水玻璃类灌浆材料	8
第一节 浆液组成及反应机理	8
第二节 浆材性能及影响因素	15
第三节 水玻璃与水泥合并使用	22
第四节 浆材应用范围	28
第二章 木质素类灌浆材料	29
第一节 铬木质素灌浆材料	29
第二节 硼砂铬木质素灌浆材料	40
第三节 氯化木质素灌浆材料	42
第四节 无铬盐的木质素类灌浆材料	48
第五节 浆材应用范围和改进方向	48
第三章 丙烯酰胺类灌浆材料	50
第一节 丙烯酰胺浆液的组成	51
第二节 胶凝反应机理	54
第三节 浆材的性能	58
第四节 浆液的配制	64
第五节 丙烯酰胺与水泥合并使用	65
第六节 浆材应用范围	68
第四章 丙烯酸盐类灌浆材料	69
第一节 丙烯酸盐单体	69
第二节 浆液组成和性能	72

第三节	丙烯酸盐凝胶体的结构与性能	77
第四节	丙烯酸盐和水泥合并使用	84
第五节	丙烯酸盐材料的应用	86
第五章	聚氨酯类灌浆材料	87
第一节	非水溶性聚氨酯材料	88
第二节	水溶性聚氨酯材料	104
第三节	弹性聚氨酯材料	109
第四节	聚氨酯与水泥合并使用	112
第六章	环氧树脂灌浆材料	115
第一节	主剂——环氧树脂	115
第二节	环氧树脂的固化	118
第三节	灌浆辅助材料	121
第四节	环氧树脂浆材	123
第五节	浆材应用范围和改进方向	137
第七章	甲基丙烯酸酯类灌浆材料	138
第一节	甲基丙烯酸甲酯单体及其聚合体的性能	138
第二节	浆液聚合反应机理和影响因素	140
第三节	浆液组成及其配制方法	146
第四节	浆液及其聚合体的性能	150
第五节	浆材应用范围和改进方向	152
第八章	其他化学灌浆材料	154
第一节	脲醛树脂浆材	154
第二节	丙烯酸环氧酯浆材	166
第三节	酚醛树脂浆材	172
第四节	聚酯树脂浆材	173
第二篇	化学灌浆施工工艺、设备和劳动保护	175
第一章	基岩化学帷幕灌浆	175
第一节	灌浆前的准备工作	175
第二节	帷幕设计	177

第三节	帷幕钻孔的钻进、冲洗和压水试验	179
第四节	灌浆工艺	184
第五节	灌浆资料整理和劳动组合	192
第六节	化学帷幕灌浆中应注意的事项	193
第二章	基岩化学固结灌浆	197
第一节	地质情况调查和灌浆试验	197
第二节	灌浆孔的设计	198
第三节	钻孔冲洗、压水和灌浆	199
第三章	砂砾石层化学灌浆	201
第一节	调查研究和材料选择	201
第二节	灌浆设计	202
第三节	造孔和灌浆施工	204
第四章	混凝土裂缝的防渗堵漏和补强灌浆	209
第一节	裂缝的成因和调查	209
第二节	灌浆材料和灌浆时间的选择	210
第三节	灌浆孔的设计和布置	211
第四节	灌浆工艺	212
第五章	灌浆设备	216
第一节	灌浆泵	216
第二节	孔口、孔内装置	226
第三节	管路及配浆装置	231
第六章	灌浆效果检查	233
第一节	取样检查	233
第二节	压水试验检查	234
第三节	钻孔摄影和钻孔电视检查	237
第四节	声波测定检查	238
第五节	施工质量检查和资料分析	241
第七章	劳动保护	243
第一节	化学灌浆材料的毒性	243

第二节	化灌防护措施	243
第三节	事故发生后的紧急措施	251
第三篇	化学灌浆现场试验和施工实例	252
第一章	混凝土裂缝和结构缝的处理	252
第一节	环氧树脂灌浆	252
第二节	甲基丙烯酸甲酯灌浆	259
第三节	弹性聚氨酯灌浆	265
第二章	基岩固结灌浆	267
第一节	环氧树脂灌浆试验	267
第二节	环氧树脂灌浆	270
第三章	砂砾石层防渗固结灌浆	275
第一节	丙烯酰胺灌浆	275
第二节	铬木质素灌浆	282
第四章	基岩防渗帷幕灌浆	287
第一节	丙烯酰胺灌浆	287
第二节	改性脲醛(丙强)灌浆	297
第三节	聚氨酯灌浆	301
第五章	防渗堵漏灌浆	308
第一节	丙烯酰胺灌浆	308
第二节	聚氨酯灌浆	312
第三节	丙烯酰胺-水泥灌浆	314
第四节	水泥-水玻璃灌浆	316
附录 I	化学灌浆材料性能测试方法	321
附录 II	我国部分水利水电工程试用和应用化学灌 浆进行处理简况一览表	348
附录 III	常用化学灌浆原材料参考价格及供应厂商 一览表	355

概 述

一、化学灌浆的含义

灌浆就是将一定的材料配制成的浆液，用压送设备将其灌入地层或缝隙内，使其扩散、胶凝或固化，以达到加固或防渗堵漏，保证工程的顺利进行或借以提高工程质量的目的。

灌浆材料从使用石灰和粘土以水混合成浆液开始，到水泥的广泛被采用，其中经历了几十年的历史。由于水泥灌浆具有结石体强度高，材料来源广，价格低，运输、贮存方便，以及灌浆工艺比较简单等优点，迄今为止，水泥仍是灌浆工作中应用最广泛的基本灌浆材料。可是，因为它属颗粒性材料，对某些细微裂缝、裂隙或孔隙的处理，有时不能得到满意的效果。另外，在某些有一定流速的漏水部位，灌入的水泥浆，在凝固前很容易被水稀释或冲走，这些都使水泥灌浆的应用，受到了一定的限制。因此，无颗粒的快凝灌浆材料的研究，就必然会提到日程上来。为了与类似颗粒性的水泥灌浆材料相区别，这类材料目前统称为化学灌浆材料。

化学灌浆材料比水泥具有较好的可灌性，而且能按工程的需要调节浆液的胶凝时间，故也适用于有流动水部位的堵漏或防渗。有的化学灌浆材料还具有较高的粘结强度，用于结构补强，可获得较好的效果。故对某些用水泥灌浆不能解决的工程问题，采用化学灌浆材料处理，则基本上可得到比较满意的解决，无论在改进工程质量、提高施工进度和经济

的合理性都有极大的作用。

二、化学灌浆的发展概况

在国外，化学灌浆中的水玻璃类材料的应用是很早的，随着工程上的需要和化学工业的发展，化灌材料从采用单纯的无机化合物，逐渐采用有机材料，有的并采用了高分子化合物，以补充水泥灌浆的不足，使化学灌浆逐步满足工程需要。40年代，相继出现了木质素类和丙烯酰胺类化学灌浆材料，且在50年代正式应用于工程上。随后，脲醛树脂、环氧树脂、酚树脂和不饱和聚酯树脂亦先后作为灌浆材料，于是掀起了一个采用化学灌浆技术的高潮，并受到各方面的重视。嗣后又出现了聚氨酯类的化学灌浆材料，在应用上又增加了一个新品种。从近几年情况来看，苏联与东欧国家使用脲醛、酚醛类浆材较多，西欧各国及美国则各种化灌材料都有使用；日本由于大量使用各种化学材料，几年前引起环境污染，因此颁布了使用化学灌浆的有关规定，目前以使用水玻璃类灌浆材料为主。

我国在化学灌浆方面的研究和应用，除水玻璃材料较早使用外，其他材料开始于50年代末，如当时为长江三峡工程需要，提出了环氧树脂和甲基丙烯酸酯类材料的研究，60年代初又研究了用于防渗、堵漏的丙烯酰胺材料。随着研究工作的不断深入，这些材料较快地都在各种类型的工程部位上得到应用，均获得满意的效果，引起了各有关部门的重视，使这方面的工作发展更快。以后，为了工程的需要，对其他化学灌浆材料，如脲醛树脂、铭木质素、聚氨酯等亦进行了很多试验研究工作。同时随着化学灌浆技术的发展，试制了较多种类的化学灌浆设备，进一步保证了灌浆质量和提高了

灌浆效果。工艺上亦从早期的单纯堵漏，逐渐改进和发展了一套深层帷幕化学灌浆的工艺，而且积累了不少技术成果和资料，使化学灌浆的采用，从已建成的工程缺陷处理逐渐发展到在设计施工中就考虑采用化灌技术方案，以加快工程建设。

三、化学灌浆材料的分类

化学灌浆材料，若按其材料分类，如前所述，有水玻璃类、木质素类、丙烯酰胺类、丙烯酸盐类、氨基树脂、环氧树脂、甲基丙烯酸酯类和聚氨酯类等，见表1。这些材料都有它一定的独特性能，使用的针对性很强。近年来，在不同工程，不同部位使用于不同要求的对象上，都解决了不少问题，有的已推广使用。

如按灌浆对象来分，一般可分为防渗堵漏固结材料和补强材料两种，其中除环氧树脂和甲基丙烯酸酯类属补强材料外，其他均属防渗堵漏固结材料。至于聚氨酯，在国外亦有报导，作为补强材料。关于分类，亦有按其化学反应的类型来分的，如分为复分解反应和聚合反应。前者是将化学材料以溶液形式灌入，在地层中反应分离出不溶物。这些不溶物将地层内的孔隙充填，使之不透水或增加强度，水玻璃类浆材即属于这一种。后者系对某些高分子材料而言，即将低分子的单体或低聚物就地灌入需处理的部位，使其反应成为不溶不熔的高聚物。

四、化学灌浆材料的一般要求

化学灌浆材料的品种较多，它们的性能，当然也不同。理想的化学灌浆材料，其一般特性应符合下列要求：

表 1

主 要 化 学 灌 浆

类 别		主 要 成 分	起始浆液 粘 度 (厘泊)
水玻璃类	水玻璃—氯化钙	硅酸钠、氯化钙	100
	水玻璃—铝酸钠	硅酸钠、铝酸钠	5~10
	水玻璃—磷酸	硅酸钠、磷酸	3~5
	水玻璃—二氧化碳	硅酸钠、二氧化碳	
	水玻璃—有机物	硅酸钠、乙二醛、醋酸	1.8~3.5
木 质 素 类		纸浆废液、重铬酸钠、氯化铁	2~5
丙 烯 酰 胺 类		丙烯酰胺、甲撑双丙烯酰胺	1.2
丙 烯 酸 盐 类	丙烯酸镁	丙烯酸镁 30%	6.2
	丙烯酸钙	丙烯酸钙 20%	4.0
	丙烯酸锌	丙烯酸锌 30%	3.7
聚 氨 酯 类	非水溶性	异氰酸酯、聚醚树脂	10~200
	水 溶 性	异氰酸酯、聚醚树脂	8~25
	弹性聚氨酯	异氰酸酯、蓖麻油	50~200
脲 醛 类	脲醛树脂	尿素、甲醛	10
	丙 强	脲醛树脂、丙烯酰胺	10
	木 胺	纸浆废液、尿素、甲醛	2~5
环 氧 树 脂		环氧树脂、胺类、稀释剂	~10
甲 基 丙 烯 酸 酯 类		甲基丙烯酸甲酯、丁酯	0.7~1.0

材 料 一 览 表

可灌入 土层的 粒 径 (毫米)	可灌入部 位的渗透 系 数 (厘米/秒)	浆液胶凝时间	聚合体或 固砂体的 抗压强度 (公斤/ 厘米 ²)	聚合体或 固砂体的 渗透系数 (厘米/秒)	灌浆方式	浆液估算 成 本 (元/米 ³)
0.2~ 0.5	$10^{-1} \sim 10^{-2}$	瞬 时	30~60	10^{-4}	双 液	170~200
0.1~ 0.2	10^{-2}	数分~数十分	5~15	$10^{-5} \sim 10^{-6}$	双 液	150~300
0.1~ 0.2	10^{-2}	数分~数十分	3~5		双 液	
0.1~ 0.2	10^{-2}	数分~数十分	10~30		双 液	
0.1~ 0.2	10^{-2}	数分~数十分	7~18		双 液	
0.03	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	数分~数十分	4~9	$10^{-7} \sim 10^{-8}$	单、双液	300~400
0.01	10^{-4}	瞬时~数十分	3~8	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	单、双液	1200~1500
0.08	10^{-3}	数秒~数十分	3.3~4.3	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	单、双液	8000~ 10000
0.08	10^{-3}	数秒~数十分	3.3~4.3	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	单、双液	
0.08	10^{-3}	数秒~数十分	3.3~4.3	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	单、双液	
0.015	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	数分~数十分	30~250	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	单 液	20000
0.015	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	数分~数十分	5~150	10^{-6}	单 液	10000
		数分~数十分			单 液	8000
0.05	10^{-3}	数秒~数十分	20~100	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	单、双液	600~900
0.05	10^{-3}	数秒~数十分	80~100	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	单、双液	2800
0.04	10^{-3}	数秒~数十分	70~100	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	双 液	500~600
0.2 (裂缝)			400~800 12~20 (粘结强度)		单 液	16000
0.05 (裂缝)			600~800 12~22 (粘结强度)		单 液	12000

- (1) 浆液是真溶液，粘度小，可灌性好。
- (2) 浆液的胶凝或固化时间，可以按需要进行调节。
- (3) 凝胶体或固结体的耐久性好，不受稀酸、稀碱或其他外界因素的影响，如某些微生物的侵蚀等。
- (4) 浆液在胶凝或固化时的收缩率小。
- (5) 凝胶体或固结体有良好的抗渗性能。
- (6) 浆液在胶凝过程中，其粘度的增长有较明显的突变过程。
- (7) 固结体的抗压、抗拉强度高，特别是与被灌体有较好的粘结强度。
- (8) 浆液无毒或低毒，对环境的污染较少。
- (9) 灌浆工艺较简单。
- (10) 浆材货源广，价格低，贮运方便。

在目前已有的化学灌浆材料中，其性能一般仅部分地符合上述要求。到现在为止，可以说还没有一种浆材能完全满足上述各项要求。因此，按不同要求来选择合适的灌浆材料，是一个非常重要的问题。

五、化学灌浆材料的应用范围

从各个工程应用化学灌浆的效果看来，不同灌浆材料一般都能解决不同的问题，因此化学灌浆的应用范围日益广泛，它特别适用于以下几个方面：

- (1) 对有较大渗流速度的地基或建筑物的防渗堵漏。
- (2) 大坝、堤岸的基础帷幕防渗。
- (3) 地基加固，如增加大坝、堤岸、桥墩和其他建筑物的基础承载力。
- (4) 地下建筑工程和水工建筑物的裂缝防渗堵漏和补

强。

(5) 隧洞、矿井在掘进中, 对软弱土层的止水和固结稳定的预注浆。

(6) 油井或地质勘探孔的涌水、流砂处理和钻孔护壁。

(7) 钢板桩连接处的止水处理。

(8) 消除机械基础振动。

综上所述, 目前化学灌浆技术在国内或国外, 都已多快好省地解决了工程上一些过去难以解决的问题, 有的甚至成了一种不可缺少的技术措施。可是从国内水平来看, 与国外先进的技术相比较, 特别是灌浆工艺和设备方面, 还有一定的差距。因此, 必须努力提高化学灌浆技术水平, 为早日实现四个现代化, 作出应有的贡献。

第一篇 化学灌浆材料

第一章 水玻璃类灌浆材料

水玻璃（硅酸钠）是化学灌浆中最早使用的一种材料，由于它来源丰富，价格低廉，目前仍然是使用最广的化学灌浆材料之一。

最早使用的水玻璃类浆液是以氯化钙作为胶凝剂的，用它加固土层获得了成功。但由于氯化钙与水玻璃的反应极为迅速，胶凝时间较难控制，给施工上带来不便。后来又用其他金属盐作为胶凝剂，进一步提高了灌浆效果，但固结体的强度较用氯化钙的为低。

近年来，水玻璃类化学灌浆材料又有了新的发展，在性能上有了很大改进。如为了改善浆液扩散的性能，研究了以铝酸钠作为胶凝剂的水玻璃类浆液（日本的MI型属此类），以及用磷酸等材料配成的混合胶凝剂（日本的耶仑 γ_1 属此类）；为了延长胶凝时间，并使之易于控制，采用了较有效的有机胶凝剂（如日本的CW型材料）。

我国于1953年将水玻璃浆液用于林西、佳木斯等地的工程后，又在北京、武汉等地建筑工程上使用，取得了预期的效果。最近冶金部门应用它作为地面预注浆，效果良好。

第一节 浆液组成及反应机理

如上所述，水玻璃类浆液是由水玻璃溶液和相应的胶凝