

长江三峡工程 灌浆技术研究

熊进 祝红 董建军 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

长江三峡工程 灌浆技术研究

熊进 祝红 董建军 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是近半个世纪长江三峡工程灌浆研究试验与实践技术的理论总结,代表了当代大型水利枢纽工程灌浆研究的新水准。全书共分10章,主要包括灌浆载体性质、灌浆设计与灌浆理论基础、水泥固结灌浆与帷幕灌浆研究、断层水泥/化学复合灌浆研究、混凝土裂缝补强灌浆研究、灌浆质量检查、墙接幕灌浆技术研究等内容。书中对三峡工程的试验灌浆技术、工艺与成熟的经验进行了总结,并提出了资源水利环保灌浆的新思路。

本书可供水利水电、土木建筑等领域从事勘测、设计、科研、施工、监理等专业的技术人员及相关专业的大专院校师生使用参考。

责任编辑 王志媛

图书在版编目(CIP)数据

长江三峡工程灌浆技术研究/熊进等编著. - 北京:中国水利水电出版社, 2003

ISBN 7-5084-1374-1

I. 长… II. 熊… III. 三峡工程-灌浆-研究 IV. TV543

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第031833号

书 名	长江三峡工程灌浆技术研究
作 者	熊进 祝红 董建军 编著
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 24.5印张 581千字 2插页
版 次	2003年7月第一版 2003年7月第一次印刷
印 数	0001—3100册
定 价	69.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

序

长江三峡水利枢纽工程的主体建筑物，如大坝、船闸、发电厂房等均坐落在前震旦纪的闪云斜长花岗岩上，从总体上而言，三峡工程的坝基地质岩体是好的，适宜兴建高坝大库。但也存在一些微细裂隙和断层破碎带，如果不经灌浆处理，将会影响大坝等水工建筑物的稳定和安全。

1958年10月，国家科学技术委员会根据中共中央《关于三峡水利枢纽和长江流域规划的意见》的精神，组织国内20余个科研、企业与高等院校的有关力量，集中于武汉和宜昌三峡工地，建立了“三峡岩基专题研究组”，有组织地、系统地、持续不断地开展岩体力学与改良坝基岩体的灌浆试验研究工作。40余年来，取得了大量的研究成果，专著《长江三峡工程灌浆技术研究》就是其中的成果之一。

《长江三峡工程灌浆技术研究》，几乎集中了全国有关同仁的智慧，是我国工程灌浆技术研究的高水平代表作之一。该书的特点：

(1) 针对三峡工程实际，全面系统地试验研究了各种灌浆材料与灌浆设备及其灌浆技术工艺。

(2) 提出了“水资源环境保护灌浆学”的概念，并在

灌浆试验研究的各发展阶段，与时俱进地对三峡工程适用的灌浆，尤其是化学灌浆材料，作过多品种、多工艺的深层次研讨，以求灌浆全过程与自然环境、人文社会环境的和谐统一，符合水资源可持续发展的方向。

(3) 全书内容丰富，试验数据翔实，灌浆理论基础比较系统全面。

《长江三峡工程灌浆技术研究》的出版，将对我国乃至世界的大型水利枢纽工程的坝基处理灌浆技术与理论的发展起到积极的促进作用。

应《长江三峡工程灌浆技术研究》一书的策划人陈彦生与董建军所约，书写上述这些话，是为序。

中国工程院院士

王思敬

2002年10月 北京

前言

自

20 世纪 20 年代孙中山先生提出开发利用长江三峡水能资源的设想以来，三峡水利枢纽的科学研究与工程论证与实施已有近 80 年的历史，其中，有关长江三峡工程灌浆研究也有 44 年的历程。

1958 年 3 月，中共中央成都会议通过《关于三峡水利枢纽和长江流域规划的意见》，同年 10 月，国家科学技术委员会根据上述《意见》的精神，集中国内科研、设计和施工，以及高等院校的有关力量，在武汉组建了“三峡岩基专题研究组”，其中第二课题即为灌浆专题研究小组，从此为我国从事大型水利水电工程基础灌浆加固与防渗帷幕的研究拉开了序幕。

遵循“积极准备、充分可靠”和“有利无弊”的三峡科研与建设方针，长江三峡工程的灌浆研究思路一直是密切联系工程实际。针对三峡大坝坝基总体很好，但仍存在有细微裂隙和破碎带与厚层风化壳的地质特点，初步提出了水资源环保灌浆学的概念。

1992 年 4 月 3 日，第七届全国人民代表大会第五次会议通过《关于兴建长江三峡工程的决议》，1994 年 12 月 26 日，三峡工程正式动工兴建，为此，长江三峡工程的灌浆研究进入施工期的现场试验及配合施工中出现的加固与防

渗以及裂缝等处理灌浆研究阶段。本阶段的灌浆研究方法是直接密切施工工程实际,从调查入手,开展现场与室内、宏观与微观、总体与局部、近期与长远、人文与自然和谐等系统的环保灌浆探索与研究,从而优化灌浆浆材与实施方案,并对环境影响作出识别,对影响程度作出预测;对影响结果作出评判与展望,最终给出施工灌浆处理的可靠、合理且经济的措施。

44 年来的三峡工程灌浆研究表明,系统地、有组织地和与时俱进地密切工程,尤其是世界上宏伟的长江三峡水利枢纽工程的灌浆研究,是大坝坐落在坚实可靠基础之上,在大库容、高水头作用下能防止渗漏的关键。虽然三峡大坝尚在建设过程中,但灌浆研究的主体工作已近尾声,主要的研究成果及其在施工建设中的应用日见明显效果。为此,及时、系统地总结 40 余年的集全国有关同仁智慧和反映当代大型水利枢纽工程的灌浆先进水平的长江三峡工程灌浆研究成就,责无旁贷地落在长期从事该项工作的灌浆工程师的肩上。

《长江三峡工程灌浆技术研究》一书由陈彦生、董建军策划。绪论、灌浆设计、水泥固结灌浆研究、水泥帷幕灌浆研究、断层水泥/化学复合灌浆研究和裂缝补强灌浆研究等章节由熊进、祝红执笔编写;绪论、灌浆载体性质、灌浆理论基础、墙接幕灌浆技术研究以及水泥固结灌浆研究、水泥帷幕灌浆研究、断层水泥/化学复合灌浆研究、墙接幕灌浆技术研究等章节由董建军执笔编写;灌浆质量检查一章由长江科学院工程质量检测中心陈玲编写。

中国工程院院士王思敬为本书写了序,谭日升教授审查了全书,陈珙新教授也提出了许多宝贵意见。另外,蒋硕忠教授、薛希亮教授等在编写过程中都曾给予了指导和帮助。与此同时,书中吸取了水利部长江水利委员会、中国长江三峡工程开发总公司等单位的勘察、设计、施工的有关研究成果与一些研究报告,编著者在此一并表示谢意。

限于编著者水平与认识的局限性,不当或失误之处,敬请读者不吝指正。

编著者

2002 年 10 月

目 录

序 前言

1 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 灌浆的概念	1
1.1.2 灌浆分类	2
1.1.3 长江三峡水利枢纽的环保灌浆学雏形	3
1.2 灌浆历史的简要回顾	3
1.3 长江三峡工程灌浆研究的课题	4
1.3.1 1958~1994年三峡工程建设可行性科研论证期的灌浆研究课题	4
1.3.2 1994年开工兴建后的灌浆研究课题	5
1.4 长江三峡工程灌浆研究的特点	7
1.5 长江三峡工程灌浆研究的贡献	8
参考文献	9
2 长江三峡工程灌浆载体性质	10
2.1 引言	10
2.1.1 灌浆载体的概念	10
2.1.2 长江三峡工程灌浆载体简述	11
2.2 水泥与化学灌浆载体——闪云斜长花岗岩工程地质与水文地质特性	12
2.2.1 三峡工程坝基利用岩体与建基面的选择对帷幕与固结两种灌浆的影响	12
2.2.2 三峡工程坝址区构造条件对坝基帷幕与固结两种灌浆的影响	15
2.2.3 三峡工程坝区水文地质条件对灌浆的影响	19
2.3 水泥与化学灌浆载体——闪云斜长花岗岩岩体物理—力学特性	21
2.3.1 三峡工程坝基岩体质量与基础灌浆的影响要求	21
2.3.2 坝基岩体弹性波速与灌浆的关系	21

2.4 水泥与化学灌浆载体——大坝混凝土分块浇筑接缝特性	21
2.5 化学灌浆载体——大坝混凝土浇筑过程中产生的裂缝特性	28
2.6 化学灌浆载体——闪云斜长花岗岩岩体内断层破碎带的力学 与化学特性	29
2.7 水泥与化学灌浆载体——闪云斜长花岗岩岩体断层破碎带内 的软弱泥化夹层的力学与化学特性	32
2.8 三峡工程环境水的物理—化学特性	35
参考文献	37

3 长江三峡工程灌浆设计	38
3.1 引言	38
3.1.1 灌浆设计的概念	38
3.1.2 长江三峡工程灌浆设计特点	39
3.2 长江三峡水利枢纽主体建筑物基础灌浆设计原则	41
3.3 坝基水泥帷幕灌浆设计	42
3.3.1 帷幕轮廓设计	42
3.3.2 帷幕结构设计	54
3.3.3 三峡大坝坝基防渗及排水方案设计	56
3.3.4 三峡工程灌浆帷幕的施工设计	59
3.4 坝基水泥固结灌浆设计	59
3.5 坝基固结/帷幕的水泥/化学复合灌浆设计	64
3.5.1 水泥/化学复合灌浆设计要求	64
3.5.2 水泥/化学复合灌浆材料设计	65
3.6 软弱泥化夹层及断层破碎带的化学灌浆设计	66
3.6.1 软弱泥化夹层及断层破碎带的化学灌浆设计目的要求	66
3.6.2 化学灌浆的环保设计要点	67
3.7 永久船闸地下输水隧道的混凝土层面缝化学灌浆设计	69
3.7.1 设计前提	69
3.7.2 层面缝化学灌浆设计要点	69
3.8 混凝土裂缝与接缝的灌浆设计	71
3.8.1 混凝土裂缝灌浆设计	71
3.8.2 坝体接缝灌浆设计	73
3.9 三峡工程二期围堰防渗墙与高压旋喷灌浆设计	73
3.9.1 墙接幕灌浆设计前提	74
3.9.2 墙接幕灌浆设计要求指标	74
3.9.3 墙接幕灌浆设计要点	74
参考文献	76

4 长江三峡工程灌浆理论基础	79
4.1 引言	79
4.1.1 牛顿 (Newton) 体	80
4.1.2 宾汉姆 (Bingham) 体	80
4.1.3 圆管中粘性流 (牛顿体) 与粘—塑性流 (宾汉姆体) 的区别及其 速度分布计算式	81
4.2 水利枢纽工程灌浆理论概述	83
4.2.1 渗透灌浆理论	83
4.2.2 压密灌浆理论	89
4.2.3 劈裂灌浆理论	92
4.2.4 灌浆施工控制理论	95
4.3 水泥固结灌浆理论简述	103
4.3.1 水泥固结灌浆采用的宾汉姆型浆液公式	103
4.3.2 水泥固结灌浆结石体寿命公式	105
4.4 水泥帷幕灌浆理论简述	105
4.4.1 刘嘉材教授推导出的公式	105
4.4.2 贝克 (Baker) 公式	109
4.5 水泥/化学复合灌浆理论导论	111
4.5.1 水泥/化学复合浆液在灌浆载体裂隙 (缝) 中的流动机理	111
4.5.2 水泥/化学复合浆液在灌浆载体裂隙 (缝) 内的沉积排水机理	112
4.6 化学灌浆通论	113
4.6.1 化学浆液在低渗透载体中的流动特点	113
4.6.2 电离子交换加固论	113
4.6.3 用于断层破碎带及其泥化夹层的吸渗理论	121
4.6.4 湿面粘结理论	124
4.6.5 用拮抗作用消除化学灌浆的毒性	126
4.7 灌浆载体裂隙分布蒙特卡洛模拟	127
4.7.1 灌浆载体裂隙分布模拟理论探索	127
4.7.2 灌浆过程模拟	128
4.7.3 原始数据的处理	129
4.7.4 程序各功能模块简介	129
4.7.5 浆扩散的计算机模拟结果	129
4.7.6 程序运行结果分析	129
参考文献	132

5 长江三峡工程水泥固结灌浆研究	134
5.1 引言	134

5.1.1 茅坪溪土石坝坝基固结灌浆简述	135
5.1.2 三峡主体建筑物大坝坝基固结灌浆简述	135
5.1.3 三峡工程大坝坝基水泥固结灌浆的优化设计研究要点	136
5.2 水泥固结灌浆试验研究的依据	137
5.2.1 早期的水泥固结灌浆研究试验依据	137
5.2.2 后期的水泥固结灌浆试验研究依据	138
5.3 水泥固结灌浆试验研究的目的	138
5.3.1 早期固结灌浆的目的	138
5.3.2 后期固结灌浆的目的	138
5.4 水泥固结灌浆试验研究的任务	139
5.4.1 早期的固结灌浆试验研究任务	139
5.4.2 后期的固结灌浆试验研究任务	139
5.5 水泥固结灌浆的室内试验研究	140
5.5.1 早期的水泥固结灌浆室内试验研究	140
5.5.2 后期的水泥固结灌浆室内试验研究	143
5.6 水泥固结灌浆的现场试验研究	155
5.6.1 早期的水泥固结灌浆现场试验研究	155
5.6.2 后期的水泥固结灌浆现场试验研究	158
5.7 无盖重水泥固结灌浆的进一步论证试验	192
5.7.1 3LG 组论证试验	192
5.7.2 无盖重固结灌浆可行性论证	194
5.7.3 无盖重固结灌浆的优缺点	195
5.7.4 无盖重固结灌浆的下一步实施建议	196
参考文献	198
6 长江三峡工程水泥帷幕灌浆研究	200
6.1 引言	200
6.1.1 三峡工程水泥帷幕灌浆的试验简况	200
6.1.2 三峡工程帷幕灌浆的技术准备	200
6.1.3 三峡工程一期围堰基础的防渗灌浆试验	210
6.2 水泥帷幕灌浆试验目的和要求	212
6.3 帷幕灌浆试区的选择及其地质条件	212
6.3.1 试区选择	212
6.3.2 各试区地质条件	215
6.4 帷幕灌浆现场钻孔布置及技术要求	216
6.4.1 三峡工程帷幕灌浆试验钻孔现场布置	216
6.4.2 帷幕灌浆现场施工主要技术要求	217
6.4.3 帷幕灌浆效果检测要求	220

6.5 “小口径、孔口封闭、高压帷幕灌浆”试验研究	221
6.5.1 三峡工程坝基闪云斜长花岗岩裂隙型灌浆载体应用小口径、 孔口封闭、高压帷幕灌浆的可行性试验研究	221
6.5.2 帷幕灌浆 R I、R II 组使用的灌浆压力试验研究	225
6.5.3 R I、R II 组帷幕灌浆的浅层 ($\leq 5\text{m}$) 爆破影响试验研究	228
6.5.4 R I、R II 组湿磨细水泥浆材与改性灌浆水泥浆材的比较研究	228
6.6 “无塞灌浆技术”的防渗帷幕设计参数优化研究	231
6.6.1 “无塞灌浆技术”的概念及优点	231
6.6.2 L I 组试验浆材与帷幕灌浆参数	232
6.6.3 F ₇ 大断层“无塞灌浆技术”试验成果	232
6.6.4 L I 组帷幕“无塞灌浆”试验发生抬动变形分析	237
6.6.5 L I 组无塞帷幕灌浆试验的几点结论	237
6.7 “灌浆强度数 (GIN)”法在三峡工程帷幕灌浆中的应用 试验研究	239
6.7.1 “灌浆强度数 (GIN)”法的概念及特点	239
6.7.2 GIN 法在三峡工程裂隙岩体中应用的可行性试验研究 (R III 组)	239
6.7.3 GIN 法在三峡工程裂隙密集带、大断层 (F ₂₃) 中应用的可行性 试验研究 (L II 组)	248
参考文献	254
 7 长江三峡工程断层水泥/化学复合灌浆研究	256
7.1 引言	256
7.2 化学灌浆材料的研究与开发	256
7.2.1 环氧树脂灌浆材料的开发	257
7.2.2 丙烯酸盐化学灌浆材料的研究	258
7.2.3 MMA (甲凝) 化学灌浆材料的开发	258
7.2.4 弹性聚氨酯化学灌浆材料的研究	259
7.3 三峡工程断层水泥/化学复合灌浆材料选择	261
7.4 水泥/化学复合灌浆研究的试验依据与目的	264
7.5 水泥/化学复合灌浆的室内试验研究	264
7.5.1 室内试验研究内容	264
7.5.2 改性湿磨水泥性能研究试验分析	265
7.5.3 改性环氧树脂化学灌浆材料性能研究试验分析	266
7.5.4 灌前 F ₂₁₅ 原状试样理化分析	269
7.6 水泥/化学复合灌浆专用化学灌浆设备的开发	270
7.6.1 化学灌浆设备开发研制的整体思路和实施方案	270
7.6.2 开发的化学灌浆设备——HGB—1 (2) 型化学灌浆泵的性能和 主要技术参数	271

7.7 高压水/气冲洗断层夹泥效果的研究	272
7.7.1 高压喷水/气冲洗原理	272
7.7.2 高压喷水/气冲洗工艺	278
7.7.3 F_{215} 灌浆前高压喷水/气效果	280
7.8 水泥/化学复合灌浆的现场试验	281
7.8.1 现场试验布置	281
7.8.2 试验设计参数	281
7.8.3 水泥/化学复合灌浆试验程序	285
7.9 水泥/化学复合灌浆技术及工艺	285
7.9.1 复合灌浆技术要点	285
7.9.2 复合灌浆工艺要点	286
7.10 F_{215} 断层复合灌浆前透水性研究	288
7.11 水泥/化学复合灌浆压力、灌入量与抬动关系研究	290
7.11.1 水泥耗量及各序孔单位灌入量分析	290
7.11.2 水泥灌浆各序孔段耗灰量与采用的压力分析	291
7.11.3 水泥灌浆采用压力与抬动观测值关系分析	291
7.12 化学灌浆中的环保创新	293
7.12.1 化学灌浆材料的毒性和改进	293
7.12.2 化学灌浆设备的革新与完善	294
7.12.3 倡议	295
参考文献	296

8 长江三峡工程混凝土裂缝补强灌浆研究	298
8.1 引言	298
8.1.1 裂缝调查	298
8.1.2 混凝土灌浆裂缝补强的灌浆材料选择	299
8.1.3 三峡工程混凝土裂缝灌浆补强缘由与要求	299
8.2 裂缝补强灌浆材料应用研究	300
8.2.1 国内商售混凝土裂缝补强灌浆材料	300
8.2.2 用于水利水电工程混凝土裂缝补强灌浆材料的近期调查研究	301
8.2.3 三峡工程永久船闸地下输水系统结构混凝土裂缝补强灌浆材料 选择	306
8.3 三峡工程永久船闸地下输水系统结构混凝土裂缝补强灌浆 的生产性试验	307
8.3.1 混凝土裂缝补强灌浆试验区基本情况	307
8.3.2 混凝土裂缝补强灌浆试验方案	307
8.3.3 灌浆材料与设备	308
8.3.4 灌浆材料室内试件试验	308

8.3.5 灌浆孔布置及钻孔参数	309
8.3.6 灌浆施工程序及工艺	310
8.4 灌浆后质量检查	312
8.4.1 灌浆后现场压水检查	312
8.4.2 灌浆后取芯灌浆材料填充情况检查	312
8.4.3 灌浆后芯样力学、抗渗试验	312
8.5 三峡工程永久船闸地下输水系统结构混凝土裂缝补强灌浆 生产性试验成果分析	315
8.6 三峡工程永久船闸地下输水系统结构混凝土温控试验研究 与裂缝原因分析	316
8.6.1 输水系统结构混凝土性能试验	316
8.6.2 输水系统结构混凝土温度、应变与应力观测	317
8.6.3 输水系统结构混凝土温度应力初步估算	318
8.6.4 输水系统结构混凝土裂缝原因综合分析与防裂措施	320
8.6.5 混凝土裂缝补强灌浆的合理性与可靠性	321
参考文献	322

9 长江三峡工程灌浆质量检查	324
9.1 引言	324
9.2 灌浆质量检查方法	324
9.2.1 灌浆前调查	325
9.2.2 灌浆管的布置与施工方法研究	326
9.2.3 灌浆质量效果试验	326
9.2.4 灌浆材料质量检测	327
9.3 灌浆质量检查标准	327
9.3.1 三峡大坝坝基灌浆质量检查控制准则	327
9.3.2 灌浆工程项目质量控制系统的检验工作程序	330
9.4 灌浆质量检测效果及评判	331
9.4.1 检测结果的归纳与评价	331
9.4.2 灌浆载体典型 F ₂₁₅ 的灌浆前性状	334
9.4.3 F ₂₁₅ 水泥/化学复合灌浆与检测孔布置	334
9.5 灌浆载体完整性检测效果及评价	337
9.5.1 压水试验检测值及其对比	337
9.5.2 物探检测值及其对比	339
9.5.3 声波检测值及其对比	339
9.5.4 灌浆载体完整性评价	339
9.6 灌浆载体连续性检测效果及评价	340
9.6.1 灌浆浆液在载体裂隙中的胶结观察	341

9.6.2	现场载体弹性模量检测值及其对比	341
9.6.3	泊松比检测值及其对比	342
9.6.4	灌浆载体连续性评价	342
9.7	灌浆载体坚固性检测效果及评价	343
9.7.1	灌浆后抗拉强度检测值与设计值对比	343
9.7.2	灌浆后抗剪强度检测值与设计值对比	344
9.7.3	灌浆后抗压强度检测值与设计值对比	344
9.7.4	灌浆载体坚固性评价	344
9.8	灌浆环保问题	344
参考文献		345
10	长江三峡工程“墙接幕灌浆”技术研究	347
10.1	引言	347
10.2	“墙接幕”的概念	348
10.3	“墙接幕灌浆”技术要点	349
10.3.1	塑性混凝土墙体内成孔施工方案比选	349
10.3.2	预埋灌浆管成孔技术措施	349
10.3.3	防渗墙塑性混凝土配比与性能	349
10.3.4	基岩钻孔灌浆施工方法	350
10.3.5	对施工过程中有关问题的处理措施	351
10.4	三峡工程二期围堰“墙接幕灌浆”	351
10.4.1	概述	351
10.4.2	三峡工程塑性混凝土墙接灌浆帷幕施工实例（二期下游围堰）	353
10.4.3	三峡工程塑性混凝土/高压旋喷复合墙接灌浆帷幕施工实例 （二期上游围堰）	357
10.4.4	预灌浓浆处理二期围堰漏失层	361
参考文献		363
附表		364

1

绪 论

1.1 引言

1.1.1 灌浆的概念

灌浆 (Grouting), 是“把未凝固的防渗材料的浆液加压注入建筑物或其基础部分缝隙中的措施 (《辞海》(缩印本), 上海辞书出版社, 1999 年版, 第 1189 页)”。又称注浆 (Injection grout)。其实质是使浆液在被灌载体中渗透、扩散、充塞, 经一定时间后凝固和硬化, 从而达到加固载体和抗渗防水的目的。灌浆涉及环境地质学、工程地质学、水文地质学、岩体力学、土力学、材料学、矿物结构学、化学、岩土工程化学、流体力学、地球物理学、工程机械学等学科, 并且与液压技术、泵技术、射流技术、电子信息技术等密切相关。国内外一直认为灌浆是一门以经验为主的“技术 (Technique)”, 个别的还认为是一门“工艺 (Art)”。只是近年来, 国内有关学者提出为“岩土灌浆工程学”^[1]概念。

如果进一步深化研究上述灌浆的内涵, 我们可以明晰地获得如下认识: 第一, 被灌注的载体——岩土及其断裂破碎带或泥化夹层, 混凝土与基岩/土体交接层面及其混凝土本身的缝隙等, 它们的产状、组构与成分均是灌浆必须要弄清的课题。第二, 实施灌注的基体——水泥浆液或化学浆液或者是它们二者的复合浆材, 是结构材料还是功能材料, 还是它们二者的复合材料, 同样需要作专门研究。第三, 灌注模式即灌浆环境、目的和过程机制一定要做到因地制宜、与时俱进。不能以牺牲生态环境为代价进行工程灌浆, 也不能不顾及人文社会和自然环境的有机联系而盲目孤立地进行灌浆。尤其是像长江三峡水利枢纽集防洪、发电、航运、供水、渔业、旅游于一体的世界上极巨大的资源水利工程的灌浆,

形式上看似似乎是一个以大坝安全稳定为主的主体建筑物基岩灌浆工程,实质上却是以服从于人文社会环境和自然环境的协调与改善为目的的环保灌浆系统工程。就学科而言,我们称其为“环保灌浆学 (Grout-nology for Environmental Protection)”。

1.1.2 灌浆分类

(1) 按被灌载体分

- 1) 裂隙岩体灌浆。
- 2) 松软土体灌浆。
- 3) 混凝土/钢筋混凝土裂缝灌浆。
- 4) 基岩与混凝土/钢筋混凝土层面缝灌浆等。

(2) 按使用浆液材料分

- 1) 水泥浆液灌浆。
- 2) 化学浆液灌浆。
- 3) 水泥与化学浆液复合灌浆。

(3) 按灌浆压力分

- 1) 静压灌浆。
- 2) 高压灌浆。

(4) 按工程分部项目分

- 1) 大坝基础灌浆。
- 2) 大坝接缝灌浆。
- 3) 大坝混凝土与基岩接触灌浆。
- 4) 隧洞回填灌浆。
- 5) 边坡补强灌浆。
- 6) 渠道止水防渗灌浆等。

(5) 按灌浆理论分

- 1) 渗透灌浆。
- 2) 压密灌浆。
- 3) 充填灌浆。
- 4) 劈裂灌浆。
- 5) 强制灌浆。
- 6) 电动化学灌浆等。

(6) 按灌浆工艺分

- 1) 无孔灌浆。
- 2) 单管分喷灌浆。
- 3) 二重管旋喷灌浆。
- 4) 三重管旋喷灌浆。
- 5) 多重管旋喷灌浆。
- 6) 诱导灌浆。