

灌浆材料 及应用

孙 亮 夏可风 编著

GUANJIANG
CAILIAO
JI YINGYONG



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

灌浆材料 及应用

孙 亮 夏可风 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书共分 10 章, 对各类灌浆材料的特性、优势和缺点作出了实事求是的阐述, 对灌浆材料的基础理论、原材料、配比设计、室内试验、现场试验、工程应用进行了系统介绍, 对各材料标准进行了深入剖析, 指出了材料标准的局限性和改进方向, 列举了各相关行业大量的工程实例。

本书可供水电、铁路、隧道、矿井、建筑等领域灌浆加固的相关工程设计人员、施工技术人员、质量检测人员、科研人员及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

灌浆材料及应用/孙亮, 夏可风编著. —北京: 中国电力出版社, 2013. 8

ISBN 978 - 7 - 5123 - 4811 - 0

I. ①灌… II. ①孙… ②夏… III. ①灌浆材料 IV. ①TU528. 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 181870 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http://www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13. 25 印张 309 千字

印数 0001—3000 册 定价 58. 00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



近二十年来,灌浆技术在水电、矿山、铁路、土木等领域的应用日益广泛,整体水平不断提升。与此同时,新型浆材层出不穷,原有浆材配比不断改进,标准体系基本成型,有效支撑了工程需求。但是,各类灌浆材料的原理、特点、工艺配合,材料标准的适用条件和局限性等深层次重要问题却鲜有文献系统研究和阐述,《灌浆材料及应用》一书在这方面算是一个拾遗和补充。本书在介绍各主要灌浆材料的同时,强调了材料在工程中的组合应用,精选了若干有代表性的工程实例,从而更具有实用价值。

本书主要作者高级工程师孙亮,西北大学化学系研究生毕业。参加工作18年来,他刻苦钻研,勤于实践,不断进步,在小浪底水利枢纽、万家寨水利枢纽、锦屏二级水电站、四川广元工程等多个重大项目的灌浆工程中发挥了重要的作用,积累了许多经验。他先后担任本公司科研所岩基室主任、试验中心主任、技术信息中心副主任等职,是《水工建筑物化学灌浆施工规范》(DL/T 5406—2010)主要执笔人,《水利水电工程施工全书》第一卷第七册《化学灌浆》主编。尤其值得一提的是,2002~2009年间,他在没有立项、没有申请经费的条件下,凭着对事业的热爱、兴趣和信念,业余研发突变型系列浆材,在经历了无数次失败后,终于厚积薄发,研究出了高触变抗水膏浆、快凝型高触变抗水膏浆、高渗透突变型环氧浆液等性价比较高的新型浆材,使突变型灌浆材料形成了完整的体系,为灌浆工程走向精益化、科学化奠定了基础。本书汇集了他在此方面的很多成果。

本书另一位作者夏可风是本公司原副局长兼总工程师、中国水利学会地基与基础工程专业委员会第二届委员会主任委员、资深地基与基础工程专家,他撰写

了本书的部分内容，并对全书进行了校阅。

在本书即将付梓之际，我对作者付出的辛勤劳动表示感谢，并希望本书能对促进灌浆材料和灌浆工程技术的发展起到应有的作用。

中国水电基础局有限公司执行董事、总经理
中国水利学会地基与基础工程专业委员会主任委员



2013年6月6日



自 2002 年起,笔者萌生了一个愿望,对灌浆材料的基础理论、配比设计、室内试验、现场试验、工程应用进行系统梳理和归纳,并浓缩成一部小册子,供灌浆工程一线的青年技术人员查阅之用。2006 年以后,笔者在参与编写《水工建筑物化学灌浆施工规范》(DL/T 5406—2010)和多个化学灌浆材料标准的过程中,越发感到标准规范间的矛盾和冲突愈演愈烈,这种愿望逐渐转化为一种责任,并成为本书付梓的主要动力。

作为 DL/T 5406—2010 的主要执笔人和多种突变型灌浆材料的发明人,笔者通过自己的工程经历深深地体会到,灌浆材料实际上就是可泵送的胶凝材料,其固化过程本质上是一种化学反应,遵循结构决定性质的基本原则。因此,每种材料都有其特定的工程和环境适应性。只要从工程需求出发,根据特定条件选择材料,就不会犯大的原则错误,从而保证灌浆工程的整体效果。反之,如果仅仅根据材料性能检测指标,而没有充分考虑工程需求和条件,就很可能事倍功半,甚至徒劳无功。由此可见,本书主要篇幅固然是灌浆材料,却应从工程整体高度,以系统化的观念来看待,而不可拘泥于材料本身。这一点,务请读者在阅读时深入体会。

本书共分十章。其中绪论为第 1 章,重在揭示工程实践对灌浆材料的要求和灌浆材料的分类;第 2~4 章分别对粒状灌浆材料的主要组分、试验方法和各主要浆材品种进行了比较详细的分析;第 5~8 章分别讨论了水玻璃、丙烯酸盐、聚氨酯和环氧树脂四大类主要浆材,对其原理、配比、标准、适用性、局限性等重要问题进行了详细阐述;第 9 章对各类灌浆的健康、安全、环保性能进行了简要分析;第 10 章分析论述了地基处理与混凝土缺陷处理工程中各类灌浆工程中材料的组合应用,列出了多个典型案例的详细情况供读者参考。

本书承蒙中国水电建设股份有限公司宗敦峰副总经理审阅并给予了精心指导。在即将付梓之时,笔者愿借此机会对宗总的关怀和爱护表示最诚挚的谢意。

在本书编写过程中,得到了中国水电基础局有限公司赵存厚总经理、韩伟书记、肖恩尚总工程师和其他公司领导的鼎力支持,特此致谢。

本书的完稿得益于中国电力出版社韩世韬编辑的热情鼓励,郝鸿禄、杨晓东、彭春雷、蒋硕忠、汪在芹、谭日升、熊厚金、曹光钊、邱小佩、叶林宏、胡迪煜、喻建清、刘家书、李忠镛、陈珙新、张福贤、张良秀、黄灿新、宋伟、邢峻、张捷、李焰、易举、邓敬森、

党玉辉、屈高见、郑亚平、唐玉书等多位资深专家的指导和帮助，中国水利水电建设股份有限公司巴基斯坦办事处刘忠主任对所有英文资料进行了校译，中国电力出版社李嫚编辑进行了认真校阅，并提出诸多宝贵建议，在此一并致谢。

由于灌浆材料领域发展很快，受作者理论知识和实践经验所限，本书难免存在不妥之处，敬请斧正。欢迎致电 18630878257 或 QQ 联系 475089406 赐教，以便再版时修订。

孙 亮

2013 年 6 月 2 日



序
前言

1 绪论	1
1.1 灌浆的定义	1
1.2 灌浆的分类	1
1.3 灌浆工程的特点	2
1.4 灌浆工程对材料的内在要求	3
1.5 灌浆材料的发展	3
1.6 灌浆材料的基本分类	4
1.7 各类灌浆工程中所应用的主要材料	5
1.8 灌浆材料的室内试验和材料标准	6
1.9 本章小结	8
2 粒状灌浆材料的主要组分	9
2.1 概述	9
2.2 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥	10
2.3 硫铝酸盐水泥	17
2.4 矿物外加剂的基本要求	19
2.5 矿渣	19
2.6 粉煤灰	21
2.7 硅灰	22
2.8 膨润土	23
2.9 黏土和填充材料	24
2.10 外加剂	24
2.11 水玻璃	29
3 粒状灌浆材料的试验方法	32
3.1 试验方法的分类	32
3.2 制浆	32
3.3 基本性能	33
3.4 浆液的流动性	34

3.5	浆液的析水率和结石率	35
3.6	浆液的抗水性	36
3.7	细度测试	38
3.8	浆液的失流与凝结时间测定	39
3.9	结石性能	40
3.10	室内模拟试验	41
3.11	现场试验	41
3.12	本章小结	42
4	主要粒状灌浆材料	43
4.1	普通水泥浆	43
4.2	稳定性水泥浆	47
4.3	细水泥和超细水泥浆	52
4.4	水泥-水玻璃双液	58
4.5	普通水泥膏浆	63
4.6	快凝型浆液	65
4.7	高触变抗水膏浆	67
4.8	快凝型高触变抗水膏浆	71
4.9	水泥砂浆	73
4.10	水泥-黏土浆	74
4.11	无水泥灌浆材料	76
4.12	本章小结	78
5	水玻璃灌浆材料	79
5.1	概述	79
5.2	无机碱性水玻璃的典型配比和性能	80
5.3	有机碱性水玻璃	81
5.4	酸性水玻璃	82
5.5	活性二氧化硅系列灌浆材料研究简介	90
5.6	工程应用要点	91
5.7	施工工法简介	91
5.8	本章小结	97
6	丙烯酸盐灌浆材料	98
6.1	概述	98
6.2	《丙烯酸盐灌浆材料》(JC/T 2037—2010)简介	100
6.3	与水玻璃材料的对比	103
6.4	工程应用	104
6.5	本章小结	108
7	聚氨酯灌浆材料	109
7.1	概述	109

7.2	《聚氨酯灌浆材料》(JC/T 2041—2010) 简介	110
7.3	油溶性聚氨酯	113
7.4	水溶性聚氨酯	114
7.5	工程应用简介	115
7.6	本章小结	116
8	环氧树脂灌浆材料	117
8.1	概述	117
8.2	高渗透突变型环氧浆材的研究与应用	121
8.3	《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》(JC/T 1041—2007) 简介	124
8.4	基岩环氧灌浆	125
8.5	混凝土裂缝灌浆	130
8.6	本章小结	131
9	灌浆材料的安全、健康与环保性能	132
9.1	要点	132
9.2	MSDS 体制的建立	132
9.3	水玻璃灌浆	133
9.4	丙烯酸盐灌浆材料	133
9.5	聚氨酯灌浆	135
9.6	环氧树脂灌浆	137
10	灌浆工程中材料的组合应用案例简介	140
10.1	全面突变浆材应用典型案例: 四川广元某综合整治工程	140
10.2	水泥-水玻璃双液、快凝型高触变抗水膏浆: 渝怀铁路圆梁山隧道涌水封堵	162
10.3	水泥-水玻璃双液、聚氨酯组合: 海底矿道高热、高压、大涌水封堵灌浆	163
10.4	聚氨酯-水泥组合灌浆: 挪威 Romeriksporten 高铁隧道项目	164
10.5	水泥-黏土-水玻璃浆液组合: 埃及阿斯旺大坝帷幕灌浆	166
10.6	铁路隧道混凝土缺陷综合处理: 武广高铁韶关至花都段隧道二衬和仰拱堵漏	168
10.7	地下混凝土构筑物病害原因及治理情况	171
10.8	水泥-酸性水玻璃组合灌浆	177
10.9	丙烯酸盐浆材在水利和地铁工程中的应用简介	180
10.10	聚氨酯浆材在无衬砌地下洞室围岩涌水封堵和葡萄牙波尔图 Campanha 地铁站防渗工程中的应用	185
10.11	水泥-环氧灌浆材料组合灌浆	189
10.12	混凝土建筑物修补材料的新进展	195
10.13	本章小结	198
	参考文献	199



绪 论

1.1 灌浆的定义

灌浆,亦称注浆,是将某种浆液,一般是具有流动性、凝固后具有胶结力的浆液,注入地层或结构物的裂隙、空隙或孔洞内,以提高其整体性和密实性,改善其力学和抗渗性能的一种工程手段。

1.2 灌浆的分类

灌浆的分类方法很多。以水利水电工程为例,常用的有以下几种。

1.2.1 按灌浆浆液

按灌浆浆液的材料可以分为粒状材料灌浆和纯溶液灌浆,前者主要有水泥灌浆、黏土灌浆以及石灰、砂浆等材料的灌浆。纯溶液灌浆即化学灌浆,所用材料包括水玻璃、丙烯酸盐、聚氨酯、环氧树脂等。

1.2.2 按灌浆作用

按灌浆在水工建筑物中所起的作用分为帷幕灌浆、固结灌浆、回填灌浆、接触灌浆、接缝灌浆、预应力灌浆、堵漏灌浆、补强灌浆等。

1.2.3 按受灌对象

按进行灌浆的建筑物或结构可分为坝基灌浆、隧洞灌浆、压力钢管灌浆、土坝灌浆、岸坡灌浆、预应力锚固灌浆、锚杆灌浆等。

1.2.4 按灌浆地层

按灌浆地层可分为岩石地基灌浆、砂砾石地层灌浆、土层灌浆等。

1.2.5 按灌浆方法

按灌浆方法可分为静压灌浆和高喷灌浆。

静压灌浆和高喷灌浆又有多种方式方法,如自上而下灌浆、自下而上灌浆、纯压式灌浆、循环式灌浆、孔口封闭法灌浆、分段阻塞法灌浆,以及单管法高喷灌浆、双管法高喷灌浆、三管法高喷灌浆等。

特殊的灌浆方法有单液法灌浆、双液法灌浆、膜袋灌浆等。

1.2.6 其他分类方式

按灌浆压力的高低,可分为常压灌浆和高压灌浆;按灌浆条件不同,可分为有盖重灌浆和无盖重灌浆等;按灌浆的作用和机理,分为自流灌浆、压力灌浆、渗透灌浆、劈裂灌浆、挤密灌浆、充填灌浆等。

1.3 灌浆工程的特点

尽管灌浆工程种类繁多、作用各异,但均具备以下几方面的特点。

1.3.1 原位加固

通过灌浆,可以对受灌体进行原位加固,提高其抗渗性能或力学指标。

1.3.2 缺陷修补

灌浆是一种缺陷修补,这种缺陷可以是地质缺陷,也可以是结构或其他缺陷。

1. 地质缺陷修补

为修补地质缺陷,常采用水泥灌浆,必要时采用水泥-化学复合灌浆,唯较少单独采用化学灌浆。

(1) 水泥灌浆的作用。

水泥灌浆有四种作用,即充填、压密、黏合和固化。

1) 充填。指浆液结石将地层空隙充填起来,提高地层的密实性,也可以阻止水流通过。

2) 压密。在浆液被压入过程中,对地层产生挤压,从而使那些无法进入浆液的细小裂隙和孔隙受到压缩或挤密,使地层密实性和力学性能都得到提高。

3) 黏合。浆液结石使已经脱开的岩块、建筑物裂缝等充填并黏合在一起,恢复或加强其整体性。

4) 固化。水泥浆液与地层中的黏土等松软物质发生化学反应,将其凝固成坚固的“类岩体”。

(2) 化学灌浆的作用。

化学浆材是纯溶液,它可以进入微细裂隙或孔隙之中,并起到充填、黏合和固化作用,但压密作用很小。

2. 结构缺陷修补

为修补结构缺陷,多采用结构表层处理和内部化学灌浆的组合,水泥灌浆较少使用。

两类缺陷中,地质缺陷修补占据主导地位。因此,本书内容侧重于地基与基础灌浆,但兼顾结构缺陷灌浆。

1.3.3 化学反应

从材料角度看,灌浆是将某种流体注入受灌部位,而后发生化学反应,使浆液自身固化,并与周边黏合成为一体的过程。

由于浆材品种多样、性能各异,受灌体本身状况千变万化,加上施工工艺等因素的影响,浆液充填和固化过程相当复杂,但基本规律是相同的。

1.4 灌浆工程对材料的内在要求

对单一裂隙来说,随着灌浆过程的进行,浆液不断地注入裂隙之中,虽然部分浆液被裂隙中的水过分稀释或冲走,但留存的剩余浆液则逐步充填、固化、黏合,使大裂隙变成中等裂隙,再变成小裂隙,再变成微细裂隙,最后实现受灌体与浆液的一体化。

在裂隙群条件下,情况要复杂得多。如果仅考虑受灌部位附近,浆液首先沿着最大裂隙填充,当填充达到与中等裂隙相接近的状态时,中等裂隙才会得到灌注,而此时,浆液可能已在宽大裂隙中扩散很远;同样道理,只有绝大部分中等裂隙基本填充完毕,基本达到小裂隙的宽度时,小裂隙才能开始灌注。依此类推。

微细裂隙化学灌浆也不例外。在经过水泥灌浆后,地层中的大裂隙、中等裂隙和小裂隙已被充填,只留下水泥颗粒无法进入的微细裂隙。但这些微细裂隙也不是均一的,当进行化学灌浆时,化学浆液同样是沿着其中较宽的通道向远处扩散,当能量耗尽或固化后才能进入较小的微细裂隙,直至灌浆结束。

由此可见,无论是水泥灌浆还是化学灌浆,本质上都是裂隙或孔隙群的均化过程。它的主要特点是“先大后小,梯次充填,逐步均化”,带来的问题是大裂隙扩散距离过远,降低了灌浆工程的性价比,甚至影响灌浆工程质量。

灌浆过程的上述特征,对灌浆材料提出了两个方面的要求:

(1) 系列化。宽大裂隙、中等裂隙、小裂隙、微细裂隙之中,中、小裂隙用水泥灌浆效果较好,宽大裂隙和微细裂隙则需要特殊的浆材进行灌浆,这就要求浆材实现系列化。

(2) 突变性。如果浆材的流变曲线具有突变性,即初期流动性好,便于泵送,而到一定时间之后黏度急剧上升,甚至很快固化,则既能保证浆液在一定范围内的扩散,又不至扩散过远,对保证灌浆质量、提高工程进度、降低总体成本都会起到很好的作用。

1.5 灌浆材料的发展

1802年,法国的贝尔里尼采用黏土-石灰浆进行闸基加固,标志着灌浆技术的诞生。1838年,英国汤姆逊隧道首次进行水泥灌浆,水泥浆液作为灌浆主材的地位延续至今。1887年,切撒尔斯基首创水玻璃-氯化钙体系进行砂层加固,化学灌浆进入实用阶段。1959年,美国AM-9丙凝浆液投入应用,刺激了有机树脂类浆材的诞生和迅猛发展,并逐步形成了今天的灌浆材料体系。

灌浆材料发展过程也并非一帆风顺。1974年,日本福冈丙凝灌浆中,距灌浆孔5m的水井因丙凝单体大量渗入而导致轻微的运动障碍,导致日本建设省规定只允许采用水玻璃进行地基处理,有机高分子浆材则全面禁用。此后,在世界范围内,浆材的环保性能受到高度重视,丙凝逐渐被丙烯酸盐代替,多种化学浆材渐渐退出历史舞台。不过,这也促进了水玻璃、丙烯酸盐、聚氨酯和环氧树脂四类常用化学浆材的发展,使其环保性能得到大幅改善。

1.6 灌浆材料的基本分类

灌浆材料可分为粒状灌浆材料和化学灌浆材料两大类。

1.6.1 粒状灌浆材料

粒状灌浆材料包括两大类，即水泥基浆材和非水泥基浆材。由于黏土浆和新型非水泥基浆材应用较少，如不做特殊说明，粒状灌浆材料仅指水泥基浆材。

粒状灌浆材料由基础材料 and 外加剂组合而成。基础材料可分为一次胶凝材料、二次激发材料和惰性填充材料三类。其中一次胶凝材料是必备组分，它的活性决定了材料的基本性能，后两类则是必要时进行组合，以改变材料性能，满足工程需要。外加剂一般以减水剂为基础根据需要进行复配，它在改善材料性能，特别是调节工作性能（流动性）方面往往能起到关键作用。

一般而言，水泥是最常用的一次胶凝材料，它和水就可以成浆，固化，形成水泥结石。其浆液性能特点除与水泥灰比等因素息息相关外，更主要的是水泥品种的影响。比如说，硫铝酸盐水泥基浆液比普通水泥基快得多，分别形成快凝型和普通型两个系列。

粉煤灰、膨润土、矿渣、硅灰、赤泥、石膏等都属于二次激发材料。它们的特点是单独与水混合后反应活性很低，难以直接胶凝固化，故无法单独成浆。但是，因含有 SiO_2 等矿物，它们能够与水泥水化过程中产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 微晶发生化学反应，生成水化硅酸钙（C-S-H）等凝胶，从而使它们成为水泥-二次激发浆材的一种组分。由于激发材料粒度多比水泥更小，而且胶凝反应分两步进行，因此，水泥-二次激发浆材比较普遍地具有稳定性较高、抗动水能力较差、胶凝时间较长，力学指标先低后高等特点。

砂、豆砾石等均属于惰性填充材料。单从胶凝角度来看，惰性填充材料不是必须的，但它在在大裂隙灌浆中有独特的作用，溶洞中灌注混凝土更是成为常规作法，有效降低了工程造价。

外加剂方面，灌浆材料突出的特点是减水剂的应用远远超过其他品种，特别是在有二次激发材料的情况下，是必不可少的组分。

无论何种粒状灌浆材料，最终都要形成长期稳定的固体结构，才能达到灌浆的目的。由此可见，水化产物是粒状灌浆材料的核心。一般情况下，水化产物是由一次胶凝材料中的各种矿物引发的，这些矿物之所以具有水化活性，是因为高温灼烧形成的晶体结构决定的。各种矿物的水化过程中的特性和最终产物决定了水化产物，从而决定了灌浆材料的基本特点和用途。二次激发材料和外加剂的影响可以归结为对一次胶凝材料水化进程和产物的调整；惰性填充材料对水化过程影响很小，主要作用是在满足工程要求的前提下就地取材，降低造价，提高材料的性价比。但是，水化产物的产生并不是只有这一种途径。在灌浆工程的初期，水泥还没有诞生，石灰和黏土成浆后固化成为灌浆工程的起点。进入新世纪以后，随着材料学的发展，各种激发理论和方式逐渐引起人们的重视，从而导致了非水泥基粒状灌浆材料的出现，尽管目前仍有不少缺陷，尚未在工程中获得应用，但其前景不可忽视，本书亦将对此进行简要讨论。

1.6.2 化学灌浆材料

目前，常用的化学灌浆材料有四类，即水玻璃、聚氨酯、丙烯酸盐和环氧树脂。

水玻璃浆材发展最早,品种最多,应用最广,但其反应机理至今未有明确的解析。

聚氨酯浆材的特点是端异氰酸基($-NCO$)遇水后能迅速反应并放出大量 CO_2 ,这一特性决定了它特别适用于各类渗漏的处理,特别是涌水和大量漏水的快速封堵处理。由于该反应放出大量的 CO_2 ,因此在灌浆时,可以产生二次较大的压力,促使浆液进一步扩散,增加浆液的扩散范围,但也要防止它在封闭环境下的负面作用。由于聚氨酯浆材在反应过程中产生交联,因此具有较高的力学指标。

丙烯酸盐反应机理是典型的自由基聚合反应,其聚合物是一种网状结构的高分子凝胶体,由于其中含有大量的亲水基团,能容纳几倍于自身体积的水,因此,其反应时间精确可控,但强度较低,因此只适用于防渗堵漏,不适用于补强加固。

环氧树脂浆材的反应本质是胺类固化剂中的活泼氢对环氧基团的开环、交联而成紧密联结的三维网状结构,因此环氧浆材强度高、耐久性好,总体性能最为优异。但环氧基团开环是逐步的,因此环氧浆材不适应于快速堵漏领域。

1.7 各类灌浆工程中所应用的主要材料

工程实践中所应用的主要材料见表 1.7-1。

表 1.7-1 各类灌浆工程中所应用的主要材料

裂隙或 孔隙类别	主要材料品种	备 注
宽大	① 水泥-水玻璃双液; ② 普通水泥膏浆; ③ 快凝型膏浆; ④ 高触变抗水膏浆; ⑤ 快凝型高触变抗水膏浆; ⑥ 聚氨酯浆材; ⑦ 填充型骨料; ⑧ 其他材料(如沥青等)	① 在伴有高压、大流量、高流速涌水情况下宜先导后堵,堵排结合,并与模袋等工艺措施组合使用; ② 水泥-水玻璃双液应用最广,适用于临时封堵,但不能单独用于永久性工程; ③ 抗水膏浆目前可以达到流速 $0.2 \sim 0.5m/s$ 动水下不分散,快凝膏浆、快凝抗水膏浆可以在几分钟至几十分钟内终凝,耐久性优于双液; ④ 聚氨酯浆材为油溶性,固化时间在几秒至几十分钟内可调; ⑤ 填充型骨料在流速较低情况下效果较好,高压大流量涌水下较差; ⑥ 沥青材料操作较难,近年来工程实例较少
中等~小	① 普通水泥浆; ② 细水泥和超细水泥浆; ③ 水泥-粉煤灰浆等	
微细	① 水玻璃浆材; ② 丙烯酸盐浆材; ③ 聚氨酯浆材; ④ 环氧树脂浆材	① 水玻璃、丙烯酸盐和聚氨酯浆材为防渗堵漏型,环氧为补强加固型; ② 丙烯酸盐、聚氨酯和环氧树脂又统称为有机高分子类浆材; ③ 其他化学浆材如丙凝、脲醛树脂、木质素、甲凝、不饱和树脂等已较少使用,在本书中不讨论

1.8 灌浆材料的室内试验和材料标准

进入工程实践的灌浆材料需要经历五个步骤，即工程需求、材料设计、室内试验、现场试验和工程应用。其中，材料标准主要根据室内试验结果而定，现场试验则为施工规范或技术规程提供了基础数据。显然，材料标准应服从并服务于施工规范。

1.8.1 对材料标准的总体认识

1. 材料标准与工程效果的关系

从工程总体看，材料进入现场后的流程可分为施工和室内检测两条线，本质上是广告和疗效的 PK，如图 1.8-1 所示。

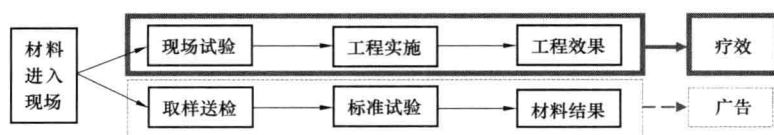


图 1.8-1 现场材料流程图

2. 材料标准所应遵循的四项基本原则

- (1) 现场试验 - 工程效果结果是真正的判据；
- (2) 工程效果良好的材料，材料标准中无权将其排除；
- (3) 在满足工程需求的前提下，测试项目越少，指标越低，富裕度越大，实用价值越大；
- (4) 切忌片面追求材料本身的性能，真正应当重视的是材料的健康、安全、环保性能。

1.8.2 室内试验

室内试验是材料研究的初级阶段。对于新型材料而言，它包括小样试验、系统试验和模拟工程试验三个阶段。对于成熟体系的改进，则以系统试验为主即可。试验项目则须根据不同的浆材品种和工程需要具体确定。

就试验本身而言，至少存在两方面无法回避的局限性，一是试验条件，二是数据离散性。

1. 试验条件

材料的性能指标在不同试验条件下往往有着极大的差异，而试验过程不可能进行全盘模拟。以温度为例，现场施工时，温度多是一个范围，比如说 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ ，但室内试验中能够做到 5°C 下试验和 28d 养护已经非常不易了，因此，室内试验只能视为初级阶段，现场应进行实地材料试验，并以其结果进行判定，室内试验的数据即使模拟得再好，也不可能代替现场试验。

2. 数据离散性

表 1.8-1 给出了某环氧浆材在制定中的《地基与基础环氧灌浆材料》标准性能验证抗压强度和抗拉强度测试结果。

由表 1.8-1 可见以下两点：

- (1) 环氧浆材的性能指标中，抗压强度基本一致，重复性良好，但抗拉强度重复性很低。不仅三家单位的测试结果相距甚远，而且同一家单位，两次测试的结果之间，其差距也

高达 84.7%。这说明,在同样的操作规程下,操作手法的微小差异均可能导致试验结果的完全不同,且多为不可控因素。因此,灌浆材料性能测试结果只能作为参考,不可迷信,更不可依赖。

(2) 尽管三家单位的测试结果之间高度离散,但均能完全满足工程实践的要求。这说明该浆材的性能指标测试数据的高低,对工程应用并不构成实质性影响。

表 1.8-1 某环氧浆材在标准制定过程中性能验证试验测试结果 MPa

测试项目	研发时数据	建材院	长科院	长科院复测	工程实践要求
28d 抗压	73.0	72	71.2	71.2	35 ~ 45
28d 抗拉	12.6	5.8	18.1	9.8	3 ~ 9

1.8.3 材料标准

材料标准是灌浆材料发展到一定程度的产物,它的制定同时也标志着该类浆材由试验室阶段进入了工厂化生产,对材料的规范化质量控制可以起到基础作用。但是,材料标准的局限性也很满意,主要有以下几点:

(1) 材料标准是在室内试验结果基础上提炼和简化的结果,其所获指标是指定的标准条件下的产物。由表 1.8-1 可见,即使在制定标准过程中,由最优秀的测试单位,按最严格的标准条件操作,部分结果仍然呈高度离散状态,因此,其测试数据和最终检验报告只能作为参考,能否应用于工程之中取决于是否满足工程需求。

(2) 材料标准只在特定条件下的一个点的结果,不能代表室内试验中其他条件,更不能代表现场试验和工程的直接需求,因此,材料标准是服务、服从于工程实施和设计规范的,其认证指标只是为了质量控制,不能盲目扩大,更不能以该指标作为评判材料优劣的依据。

(3) 对于大多数材料而言,敏感性的问题都不同程度的存在,尤其以环氧最为突出。研究结果表明,环氧浆材存在着单点越精致,敏感性就越强的问题。也就是说,在 23℃ 室内试验中力学指标越高的浆材,往往对温度最为敏感,即使温度下降至 18 ~ 20℃,材料的强度也将有 25% ~ 30% 的下降。因此,这类浆材在工程应用时尤其要注意进行现场试验,并根据现场试验结果进行配比调节后使用,方可取得较好效果。

为缓解材料标准的必要性和材料本身敏感性的矛盾,在制定材料标准时,应综合考虑室内试验和现场试验结果,以满足工程需要、适度留有余地为原则,片面迷信室内试验的高指标往往会导致现场出现很多意想不到的问题。灌浆材料生产单位则应针对不同条件进行模拟,预作储备,并和现场进行有效反馈和互动,形成良性循环,才能获得长期发展。

1.8.4 材料标准体系的现状和改进方向

1. 现状

目前已发布的灌浆材料标准主要有三个,即《混凝土裂缝灌浆用环氧树脂》(JC/T 1041—2007)、《丙烯酸盐灌浆材料》(JC/T 2037—2010)和《聚氨酯灌浆材料》(JC/T 2041—2010)。另外,《地基与基础工程环氧树脂灌浆材料》已进入征求意见稿阶段,《水玻璃灌浆材料》标准的编制也已提上议事日程。