

注浆堵水加固技术及其应用

——中国注浆技术 43 年论文集

中国煤炭学会矿井建设专业委员会 编著
煤炭科学研究总院北京建井研究所

煤炭工业出版社

前 言

地下工程施工中，常常遇到裂隙含水层、灰岩溶洞、断层破碎带、软岩、松软土层、流沙层等复杂地层。这些地层由于水源丰富、涌水量大，会引起突水、坍塌、冒落等事故，构成地下水害，影响工程进度与质量，危及作业者的健康，并增加工程成本，给实现机械化施工增加了困难，甚至造成淹井、淹矿，严重的还会造成人身伤亡事故。注浆技术是治理这些地层，以消灭可能发生的、或已经发生的水患灾害的重要技术之一。

注浆法的最早应用是在 1864 年，用于英国阿里因普瑞贝硬煤矿矿井的一个井筒里。以后，在比利时、法国和德国等国家相继有了应用这种方法的报导。1885 年，铁琴斯 (Tieejens) 成功地采用地面预注浆开凿井筒，并获得专利权。迄今，南非注浆最深的井筒达 1500m。我国 50 年代初期，在东北的鹤岗、鸡西和山东的淄博等矿区首先采用了井壁注浆封堵井筒漏水。1955 年，在新汶矿区张庄矿的一个立井井筒，用工作面注浆，封堵石灰岩含水溶洞，取得良好效果。以此为起点，注浆技术在我国煤矿应用已有 40 多年的历史。

回顾历史，40 余年来，注浆技术已得到迅速的发展。50 年代初，注浆技术刚刚起步，比较落后，浆液种类少，经验缺乏，理论研究少，注浆效果不理想。以后，煤炭行业组建了注浆技术的专业研究、施工机构，以治水、加固为目标，紧密与实践相结合，开始从机理、材料、工艺、设备等方面进行新技术、新产品的研究、开发，取得了不少重大的科研成果，卓有成效地治理了大量地下水害、加固了软岩破碎带，丰富了注浆经验，把注浆技术提高到一个新的高度。注浆法已成为特殊凿井施工技术的一个重要组成部分。

自 60 年代以来，我国注浆材料已由单纯的水泥浆发展到 C—S 浆液（即水泥—水玻璃浆液）、MG—646 浆液、聚氨酯（包括水溶性聚氨酯）浆液、水玻璃类浆液、脲醛（糠醛）浆液等几十种。近年，又开发了以粘土为主材的 CL—C 型粘土—水泥浆液。这种浆液的开发成功，可大大降低地面预注浆的成本，提高注浆效果，加快施工速度，开辟了注浆技术的新途径。随着注浆材料的发展，还研制出性能良好的专用注浆泵、高效冻注钻机、高精度陀螺定向测斜仪、KWS 型系列止浆塞等注浆设备和机具。与这些注浆材料、设备和机具相匹配又发展了注浆工艺和技术，使之提高到新的水平。据不完全统计，40 余年来，取得注浆技术科研成果约 60 项（见附录三）。我国研究开发的许多注浆新工艺、新材料、新设备，在技术水平、工程应用幅度、效果等诸多方面，有不少都达到和超过国际先进水平。

注浆技术在治理地下水害、加固地层方面，现今已成为地下工程建设不可缺少的、卓有成效的技术之一。地面预注浆的井筒最大注浆深度已达到 859m，工作面预注浆的深度已达到 1110.4m。就煤炭行业来说，不少矿区已有了专业注浆队伍、成立了注浆公司，有较雄厚的施工实力。利用堵水加固注浆治理过各种各样地下水害、冒顶、塌方事故。据不完全统计，40 余年来，仅应用于地面预注浆、工作面预注浆的井筒就有约 200 个（见附录二）。注浆技术还应用于治理已投产的矿井水害，如奥灰岩突水、陷落柱特大透水灾害等，在保护煤矿安全生产方面也起到了巨大作用。

我国幅员辽阔，地层复杂，地下工程事业日益发展，除煤炭行业外，注浆技术在水利、电力、铁道、冶金、交通、建筑等各行业也得到广泛应用。行业间在技术和学术上互相交流，在工程施工中互相渗透。注浆技术在矿井、坝基、隧道、涵洞中用于堵水、加固、帷幕截流与防渗；在高层建筑物基坑中用于围护；在地下构筑物、楼房开裂中用于堵漏、纠偏，以及用于一些文物保护等。可以说，注浆技术之花已遍地开放。

中国煤炭学会矿井建设专业委员会，决定本年度学术活动以注浆技术为主题，征集的论文经专家评审，选用了其中的57篇，编印成《注浆堵水加固技术及其应用》——中国注浆技术43年论文集。这些论文有一定的代表性，在一定程度上反映出我国煤矿注浆技术的水平，企望以此促进今后学术活动深入开展，出现更多、学术水平更高的论文。

40余年来，我国注浆技术发展很快，应用广泛。相信今后科研、设计、施工、院校等部门会继续紧密合作，使注浆技术进一步提高与发展，为国民经济建设更好地服务。

1998年6月

目 录

前言

一、综 述

1. 注浆技术综论..... 赵斌 (1)
2. 注浆技术的开发与应用 赵斌、张川 (13)
3. 煤矿工作面注浆技术的发展 张川、苏坚深、高岗荣 (20)

二、煤矿地面预注浆技术

4. 新一代的井筒地面预注浆技术及其应用 周兴旺、赵大奎、徐润 (24)
5. 浅析张集矿立井地面预注浆堵水效果 王秀河、张学强、姚南山 (36)
6. 立井地面预注浆与揭穿突出煤层 蒲加力 (41)
7. 宣东二矿地面预注浆堵水效果的分析 谢承察 (46)
8. 缩短井筒地面预注浆工期的技术措施研究 冯向东 (50)
9. 摩洛哥杰拉达煤矿Ⅲ号井注浆工程 张崇瑞 (55)
10. S形钻孔注浆技术研究及下部注浆上部凿井平行作业的施工工艺 赵大奎 (59)
11. 帷注法施工技术..... 张崇瑞 (66)
12. 越南冒溪煤矿F_A断层突水冒落区注浆治理技术 赵斌 赵大奎、左永江 (74)
13. 试论“抽注式”注浆..... 顾孟寒 (81)

三、井巷工作面注浆技术

14. 黄槐立井副井工作面软岩注浆及效果观测..... 梁庚宸 (88)
15. 立井过软弱地层的注浆技术..... 刘树彪、周志强、葛荀、李友怀 (98)
16. 运河煤矿立井工作面预注浆的经验
..... 胡传喜、刘传申、祖玉喜、吴晓山、丁成华 (106)
17. 大涌水条件下止水垫的施工工艺 吴晓山 (111)
18. 预注浆技术治理奥灰岩含水层 赵斌、王国明、张川 (115)
19. 斜井淹井水下注浆技术 王国明、靳毅斌 (124)
20. 固结注浆法维修斜井井筒 刘其兴、赛云秀、毛巨省 (127)
21. 置换注浆技术在立井过厚层流砂中的应用
..... 谭桂华、原振德、高俊勇、赵悦然 (130)

四、井巷壁后注浆技术

22. 东胜矿区李家塔矿主副斜井井筒井壁注浆施工
..... 李柱和、韩光利、顾雪明 (135)
23. 斜井井筒施工中泥灰岩含水层涌水的防治 蔡振国、常基尧、蔡振雷 (139)
24. 立井壁后深孔注浆堵水 彭跃成、张国相、赵勇敢 (145)
25. 立井深井后注浆施工技术 张馨、方学军、连光明、李银桥 (148)
26. 浅谈苦竹林煤矿井下岩溶注浆堵水方法与效果 卢授光 (154)
27. 注浆锚索在中央泵房的应用 滕杰 (159)
28. 古汉山矿东运输大巷防水闸门硐室注浆技术 蔡振国、常基尧、蔡振雷 (162)
29. 动水单液注浆技术探讨 徐启录、张文增 (168)
30. 建井期间矿井石灰岩涌水的处理 杨春来、高岗荣、雷风 (173)
31. 矿井陷落柱特大突水灾害注浆治理技术 赵大奎、王国明 (179)
32. 特大导水岩溶陷落柱的治理技术 田嘉兴、洪溢清 (184)

五、高压喷射注浆技术

33. 高喷注浆及其在软基中的防渗加固技术 赵斌、高岗荣、李国强 (192)
34. 高喷注浆法机理分析 高岗荣 (198)
35. 水下三重管高喷注浆法防渗帷幕墙施工技术 李国强、赵大奎、赵斌 (202)
36. 注浆法在抚顺石油一厂加固地基中的应用 马兆荣 (206)
37. 西沙群岛珊瑚礁砂地层旋喷加固 张崇瑞 (211)
38. 高压喷射注浆加固地下管道 刘建、张大林 (216)
39. 抚顺西露天矿西端帮水池注浆帷幕截流工程 王文翰 (221)
40. 旋喷注浆法加固煤仓地基 李彦涛、张川、孙凯、连军 (226)

六、土、岩层注浆技术

41. 大面积复杂地层注浆封水施工技术 赵斌、赵大奎、王国明 (231)
42. 钻孔灌注桩后灌浆方法的研究和应用 许大雄、王国庆、李冠田 (238)
43. 稳固铰支框架结构基础的注浆技术 张川 (244)
44. 防渗堵漏技术及其应用 马兆荣、苏坚深 (247)
45. 跟踪充填注浆技术 杨春满、陈朝辉、袁辉、韩光利 (253)
46. 冻结管射孔注浆技术在姚桥新副井中的应用 郑军、刘敏、龙志阳 (256)
47. 古汉山矿副井冻结段夹层突水治理 乔秉越、蔡振国 (261)
48. 冻结管外环状间隙复合浆液封堵实验在孟加拉国巴矿主井中的应用
..... 吴晓山 (266)
49. 采用注浆法处理立井冻结孔突水 王晓明、刘振国 (270)
50. 孟巴矿主井冻结管外围封孔止水施工技术 史志明、祖玉喜 (276)
51. 注浆法加固剥山填海地基 魏德华、杜嘉鸿、王杰 (282)

七、其 它

52. 我所注浆材料研究成果及推广 苏坚深、赵斌 (286)
53. 粘土水泥浆凝结性能研究 徐润 (302)
54. 流量测井技术在井筒地面预注浆中的应用 郑军、王国明、马兆荣 (305)
55. 压水吸水率与注浆效果关系的探讨 郑军、李国强、马兆荣 (309)
56. YSB-300/20 型高压变量注浆泵 肖瑞玲 (313)
57. 写字楼基坑防护设计与施工 冯科明 (316)
- 附录一 中国煤矿地面预注浆汇总表..... (320)
- 附录二 中国煤矿工作面预注浆汇总表..... (329)
- 附录三 注浆堵水加固技术科研成果汇总表..... (338)

一、综 述

1. 注浆技术综论

煤科总院北京建井研究所 赵 斌

摘 要 地下工程施工经常遇到地下水和松软岩土等复杂条件,不进行治疗就容易造成突水、坍塌、冒落等灾害和安全事故。注浆堵水和岩土加固技术就是预防和治理水害及稳定岩土的重要技术之一,本文以煤炭行业的注浆技术为代表,简要介绍 40 多年来我国注浆技术的水平和发展概况,注浆技术开发研究成果,各种注浆法的技术要点、特点、适用范围和工程应用情况。

关键词 注浆技术 综论 含水层 软弱地层

一、前 言

注浆技术起源于地下工程的特殊需要。地下工程常常遇到地下水害和软弱地层。注浆法是治理水害和加固地层的重要技术,它包括堵水、截流、帷幕和岩土加固等诸多技术。本文力图阐明我国注浆技术的发展,但侧重于煤炭行业的注浆技术。

煤炭工业建设中的井巷工程属于地下工程,现在煤炭开采深度最深已达到 1000 余米,工程地质与水文地质极为复杂,环境与作业条件恶劣,技术难度很高。在煤矿地下工程施工中,常常遇到地下水害和软弱地层,它直接影响施工的进度、质量和费用,有时甚至造成设备淹埋、人员伤亡的严重事故。煤矿注浆技术早在 50 年代就开始应用,随着我国工业和科学技术的提高,为适应地下工程的需要,煤炭系统一直在研究开发注浆新技术。各行业也在注浆技术探讨与应用方面做了大量工作。注浆法已成为地下工程中地层堵水和加固的有效方法之一,并且在水电、铁道、冶金、公路交通、建筑、石化部门和一些军事工程中得到广泛应用,可以说注浆技术的应用遍及全国。从 60 年代开始,注浆技术也应用于文物的修复、加固方面,例如石窟、大佛、壁画开裂的加固,1985 年虎丘塔出现险情,就是利用注浆技术加固和保护。

然而,注浆法是一种工艺性的技术,国内外对注浆理论研究尚不能令人满意,因此总结施工经验更为重要。

二、注浆技术概论

利用浆液进行地层堵水和加固的施工技术,煤炭行业称为“注浆”、水电行业称为“灌浆”。

（一）注浆技术发展简况

世界上注浆最早应用于建筑工程中，从1802年法国的查理士·柏利尼（Charles·Berigny）采用石灰、粘土浆加固迪普港的砖石砌体算起，至今大约已有近200年的历史。1864年，阿里因普瑞贝硬煤矿井的一个井筒，第一次使用了水泥注浆法，以后又相继在比利时，法国和德国等国家使用这种方法。1885年，铁琴斯（Tietjens）成功地采用地面预注浆法开凿井筒，获得专利权。从此，注浆法在矿井、市政建设中，作为防水、加固的重要方法，先后在英国、法国、南非、美国、日本和原苏联得到了广泛应用。50年代以后，国外注浆技术应用更为普遍。以化学药液作为主要浆液材料的化学注浆只有40多年的历史，70年代后由于化学药剂的毒性污染问题，化学注浆受到限制。砂、土层的化学注浆防渗加固技术被70年代开发的高压喷射注浆法逐渐取代。

我国的煤炭行业，在50年代初期，东北的鹤岗矿区、鸡西矿区和山东的淄博煤矿，首先采用井壁注浆堵水，山东新汶张庄煤矿工作面预注浆取得良好的注浆堵水效果。1985年峰峰的薛村煤矿主、副井筒地面预注浆（起止深度31~81m），堵水效果达到96.3%，焦作的李庄立井地面预注浆深度180m，堵水效果达到99.6%。60年代后，开发了许多新注浆材料、新注浆工艺、注浆专用设备与配套机具，在保证注浆施工的安全、提高注浆效果方面，起了重大的作用，因而使注浆技术有了很大的发展和提高，有些方面已达到国际先进水平。

（二）注浆法的分类

注浆法的分类中国并不统一，但一般有以下几种分类方法：

1. 按含水岩土地层揭露前后进行注浆施工分类

（1）预注浆：当井筒、巷道、硐室等构筑物在开凿前或开凿到接近含水层以前所进行的注浆工程，称之为预注浆。煤炭行业常见的有地面预注浆、工作面预注浆。预注浆法进行岩土堵水和加固，使事故防患于未然。

（2）后注浆：当井筒、巷道、硐室等构筑物掘砌以后，用注浆法治理水害和地层加固称之为后注浆。

2. 按注浆使用的浆液材料进行分类

（1）水泥注浆：浆液材料以水泥为主，包括添加其它附加剂；

（2）粘土注浆：浆液材料以粘土为主，包括粘土—水泥浆；

（3）化学注浆：注浆材料以化学药液为主剂。

3. 按浆液进入地层产生能量方式进行分类

（1）静压注浆：浆液用注浆泵输送，使浆液压入或渗透入受注地层，称为静压注浆；

（2）高压喷射注浆：浆液利用高压泵输送，并通过特殊的喷嘴产生具有巨大动能的喷射流，切削地层，与土、砂颗粒搅拌混合、凝结称为高压喷射注浆。

4. 按浆液在地层中运动的方式进行分类

（1）充填注浆：浆液充填大裂隙、洞穴等称为充填注浆；

（2）挤压注浆（或劈裂注浆）：依靠注浆压力迫使浆液在地层中压开各种各样的通道来挤入地层，浆液多呈现脉络状或树枝状固结，这种浆液可以使松软地层挤压密实，所以在地基加固中也称为压密注浆；

（3）置换注浆：通过一定的方法把受注地层中的土、砂逼放出来，形成的空间用浆液

充填，称之为置换注浆；

(4) 高压喷射注浆，利用喷射流的动能进行注浆。

(三) 注浆技术开发、研究成果

40余年来，煤炭行业非常重视注浆技术的研究，根据有据可查的资料，包括国家攻关项目，省部、院、所、局、矿立项研究，并经过鉴定、评议、验收的项目有59项，其中注浆材料9项，注浆设备机具10项，注浆法或工艺有40项。这些研究开发的技术获地市级、省部级、国家级科技进步奖共有29项，“开滦矿务局特大透水灾害的治理”获国家科技进步一等奖。

注浆技术有了很大的发展并获得广泛的应用，许多矿务局、矿都建立了专业注浆队伍，进行治理各种煤矿水害，用于预注浆凿井，井壁或壁后注浆，井巷及硐室的漏水与涌水封堵，软岩或软土的封水加固，特大透水或淹井事故的治理。我国自1955年在新汶矿区张庄立井采用工作面预注浆取得成功，到现在为止，预注浆施工的井筒经不完全统计约有195个。其中地面预注浆立井筒约有104个（参见附录一），最深859m，工作面预注浆立、斜井井筒91个（次）（参见附录二），北票冠山主井最大深度1110.4m，古交马兰矿主斜井最大斜长1157.6m。实现预注浆打干井，提高了建井的质量，推进了井巷施工机械化，加快了建井速度。仅就注浆地域范围而言，煤炭科学研究总院北京建井研究所在除西藏、青海、云南、台湾之外的省、市、自治区都参与矿井注浆项目及跨行业的各种类型注浆的项目；北京建井研究所承担过的在国外注浆工程如摩洛哥王国杰拉达3号井的地面预注浆、越南冒顶煤矿注浆法治理F_A断层突水冒落事故，都得取优异的注浆效果。

三、预注浆技术

广义上，预注浆技术应用非常广泛，本章节只简介地面预注浆和工作面预注浆。

(一) 立井地面预注浆技术

地面预注浆技术，最常见的是立井地面预注浆，它适用于厚度较大的裂隙含水层，也适用于层厚虽不大，但层数较多的裂隙含水层。

据不完全统计，采用地面预注浆技术开凿的立井有104个，到目前为止，最大注浆深度是859m。注浆钻孔最多的是1965年施工的鸡西河北矿主、副井，主井钻孔24个，副井钻孔32个。注浆钻孔最少的是平顶山六矿二水平，注浆起止深度40~275m，采用一个注浆钻孔，但为了提高注浆效果，使用爆破法谋求裂隙沟通。随着注浆技术的进步，地面预注浆的注浆钻孔数，一般是6~8个。

立井地面预注浆，以打钻技术区分，有常规钻孔立井地面预注浆和定向钻孔立井地面预注浆；以使用主要的注浆材料而言，有水泥注浆和综合注浆。

1. 常见钻孔立井地面预注浆技术

一般在井筒的同心圆上布孔，把钻孔布置在井筒荒径以外，按垂直钻孔的要求进行打钻，但难免发生偏斜。

(1) 钻孔孔数：根据我国实际情况在一般地质条件下，每个井筒可以选择6个注浆孔，当地质和水文地质条件复杂或井筒的断面较大（如井径为8m及其以上）时，可以选择8个注浆孔。当含水较少或裂隙沟通较好，可以考虑少布孔，即选择3~4个注浆孔。

(2) 钻孔垂直度：钻孔允许偏斜，在套管段为0.3%，注浆段为0.6%。为此，钻进中

要使用 JDT-S 型陀螺定向测斜仪器、CX-56 型测斜仪，进行孔斜监测。发现不符合设计要求时，要进行纠偏工作。

(3) 注浆方式和注浆段高：注浆方式是指浆液的压注形式和压注浆液的顺序。以浆液的压注形式不同，注浆方式有压入式和循环式。

压入式注浆是把浆液直接压入注浆孔，充塞裂隙这种方式，因注浆速度快、压力高、浆液填塞密实、浆液凝固后强度高、容易注入到细小裂隙中，而被广泛采用。

循环式注浆：需要复杂的钻孔注浆装置，即孔口回浆装置，使多余的浆液由注浆孔经过回浆管返回贮浆池，再与新的浆液混合，注入地层中，这种方式可以实现恒压注入，控制浆液扩散范围和材料消耗量。它适用于注浆深度不超过 200m、含水岩层有较大裂隙和有岩溶空洞的条件。

地面预注浆都应分段注浆，其段高值的大小是根据含水层的厚度、围岩破碎程度、可靠的止浆位置和注浆泵的能力来确定。在极破碎含水层注浆段高为 10m 左右；在较破碎含水层注浆段高为 15~25m；在坚硬岩层的含水层中注浆段高可为 25~35m。复注时段高可取 35~80m。

按分段注浆关系，注浆方式分为分段下行式和分段上行式。常规使用水泥浆注浆，原则上都采用分段下行式。

(4) 注浆的浆液材料，一般使用单液水泥浆，必要时使用水泥—水玻璃双液浆。

(5) 注浆参数。

①浆液有效扩散半径：浆液有效扩散范围的大小受许多因素影响，一般有效距离为 6~9m。

②注浆压力：注浆压力是浆液注入地层的能量，压力大浆液扩散远，耗浆量大；压力太小，浆液扩散距离不够，甚至有封堵不严的可能。因此，正确选择和合理运用注浆压力是注浆技术的关键。

以实践总结的经验数据为，当裂隙开度值小于 10mm，注浆最大压力按静水压的 2~2.5 倍计算；当裂隙开度值大于 10mm 情况下，注浆最大压力值可按静水压力的 1.6~2.0 倍计算。

③浆液注入量、浓度、注浆终量。

井筒浆液注入量，可以按下列公式进行计算：

$$V = A\pi R^2 H n \beta / m$$

式中 V ——井筒浆液注入量， m^3 ；

A ——浆液消耗系数，一般 $A=1.2\sim 1.5$ ；

R ——以井筒中心为圆心的浆液有效扩散半径， m ；

H ——注浆段高， m ；

n ——岩层裂隙率， $\%$ ；

β ——浆液充填系数，为 $0.9\sim 0.95$ ；

m ——浆液结石率，为 0.85 。

浆液浓度，从总体上来说前期较浓，后期的浆液较稀。而每段每次注浆而言，是先稀后浓。

注浆终量，每段注浆达到注浆压力时，注浆泵的排量为 $50\sim 60L/min$ ，并维持 $20\sim$

30min。

2. 综合注浆法地面预注浆技术

我国综合注浆法地面预注浆技术开发时间不长,至今只有约7年历史,已经在26个井筒中应用。立井地面预注浆的历史整整40年,井筒总数104个,应用综合注浆法井筒占总数的25.0%。7年中地面预注浆有34个井筒,采用综合注浆法的井筒有26个,占76.5%。而且,堵水效果很好,井筒开凿过程中,剩余水量小于 $10\text{m}^3/\text{h}$ 的井筒占92.3%,多数井筒剩余水量小于 $5\text{m}^3/\text{h}$,综合注浆法为地面预注浆技术闯出一条新路。

综合注浆法是一种严格按一定顺序和作业程序,完成从岩层地质调查、注浆工程设计、设备选择、确定浆液材料及配方配比到施工和注浆效果监测等一整套内容的注浆技术。

综合注浆法具有以下主要特点:

- (1) 含水岩层内堵水或加固的全过程有科学的工程计算;
- (2) 为获取工程计算客观、可靠的资料,在孔内利用各种仪器进行测试;
- (3) 采用以粘土为主料的CL-C型廉价浆液材料,对浆液的配制与注浆过程实行连续监测;
- (4) 注浆过程中对注浆质量不断进行分析、评价,并调整、补充、完善施工设计。

CL-C型浆液主要由粘土、水泥、结构型外加剂和水组成。浆液的主要成分是粘土浆,占89%~90%,水泥占8%~10%,结构型外加剂添加1%~2%,它是一种粘塑性浆液,具有良好的可注性、很高的隔水性及长期耐腐蚀等特点。

综合注浆法地面预注浆技术的注浆钻孔布孔、钻具组合、钻进工艺、测斜纠偏、注浆设备、浆液输送系统、止浆技术等均可参与常规地面预注浆技术。

综合注浆法地面预注浆技术的注浆方式和注浆段高的划分按井筒深浅,可以采用一次成孔,分段上行式注浆。例如傅村矿西风井,注浆起止深度为110~269m,高庄混合井起止深度135~277m,钻孔一次打到终孔,按含水层划分三个注浆段,上行式注浆,注浆压力7~10MPa。钻注效率西风井459.8m/台·月,高庄井钻注效率为348.75m/台·月,井筒开凿实测剩余涌水分别是 $9.6\text{m}^3/\text{h}$ 和 $1.0\text{m}^3/\text{h}$ 。

井筒深,可以实行分段钻孔,再对分段的钻孔,进行分段上行式注浆。

综合注浆法的注浆段高一般为40~75m。

注浆的终压和浆液注入量:

注浆的终压,经验的规律是静水压头的2倍,再加3~5MPa,参考数值见表1-1。浆液注入量以施工设计为标准。

3. 定向钻孔立井地面预注浆技术

表1-1 注浆终压参考数值表

注浆深度/m	注浆压力(泵压)/MPa	注浆深度/m	注浆压力(泵压)/MPa
<300	7~19	500~700	10~18
300~500	8~14	>700	18~25

定向钻孔地面预注浆在我国是 80 年代发展起来的, 1989~1991 年开滦东欢坨二号井的建设, 成功地应用了上部 (400m 以上) 工作面预注浆和凿井施工, 下部 420~750m 实行定向钻孔地面预注浆同时作业, 使建井工期缩短 1 年。兖州矿区鲍店煤矿的井筒在建井时, 厚表土层采用冻结法施工, 投产若干年后, 井壁变形严重, 威胁井内设施, 需要进行注浆加固井筒, 由于地面有井塔建筑物, 所以在不停产的条件下采用定向钻孔地面注浆技术。为了加快速度、缩短工期, 邢台矿务局邢东矿井的主、副井筒, 400m 以上采用常规钻孔综合注浆法地面预注浆, 而后采用上部 249m (主井) 和 255m (副井) 冻结, 400m 以下定向钻孔综合注浆法地面预注浆技术。

注浆技术可以运用地面预注浆技术, 定向钻孔是利用在高精度定向测斜仪器定向, 用井下动力钻具造斜, 使钻孔的钻进轨迹按设计的路线延深到规定的位置, 然后再打直孔进行注浆。

(二) 工作面预注浆技术

当井巷及硐室开凿期间遇到含水层、断层破碎带、松软岩层时, 往往需要进行工作面预注浆堵水和加固岩层。

未揭露含水层、软弱破碎带, 工作面没有水, 岩石完整坚硬, 可以利用预留一定厚度岩石作为岩帽进行工作面预注浆。

当工作面比较破碎不能承受注浆压力, 需要构筑止浆垫 (止浆墙), 使工作面能承受较高的注浆压力, 并防止跑浆。

1. 立井工作面止浆垫的构筑

立井工作面的止浆垫有以下几种方式:

(1) 当工作面基本无水时, 可以用混凝土构筑单级球面形或平底形的止浆垫。

(2) 当工作面有涌水, 但可以用泵连续运转维持排干的条件下, 可以构筑带有滤水地层的止浆垫, 滤水层厚度以不被水淹没为标准, 厚度一般为 0.5~0.8m, 设置排水的水窝, 浇筑混凝土, 混凝土凝固后并有足够强度后, 对滤水层进行注浆。

(3) 淹井条件下, 构筑止浆垫, 一般采用两种办法:

①水下浇筑混凝土, 又有两种方式, 一是用较大直径钢管作下料 (混凝土) 管, 浇筑混凝土; 二是用底卸式吊桶浇筑混凝土。

②抛渣再注浆的止浆垫, 在井内悬吊 3~4 根 $\Phi 50\text{mm}$ 注浆管到井底, 向井内抛入粒径 20~40mm 的石渣或碎砖, 然后注入单液水泥浆, 养护约 10d, 把水排干, 如有必要再构筑一层较薄的混凝土止浆垫。

止浆垫、止浆墙的厚度, 根据有关公式计算, 取 1.5~2.0 倍的安全系数。

2. 立井工作面预注浆技术

(1) 常规立井工作面预注浆, 由预留帽或止浆垫布孔打钻, 采用下行式分段注浆, 段高不作严格规定, 可以根据涌水量大小决定, 注浆压力原则上也是静水压力的 2~2.5 倍, 但要严密观察井内情况, 妥善控制压力, 防止井壁压裂、掉块。

(2) 多孔小孔快速工作面预注浆, 它采用 YQ100A、YQ100B 型风动潜孔钻机或伞钻打钻, 钻孔深度 10~20m, 进行群孔注浆。

(3) 炮眼工作面注浆, 又称直接堵漏, 是前些年开发的具有一定特色的注浆堵水技术。其特点是注浆与凿井交替进行, 利用 3.0~4.0m 的中深炮眼或 11~12m 的深炮眼做注浆

孔，用高压注入稠浓的速凝浆液迅速将水堵住。该法最大优点是快，打眼快、注浆快、辅助时间短、堵水见效快；不足之处是浆液扩散范围小，残余水量大，打钻注浆作业条件不好，掘进费用高，井壁质量较差，淋水大，往往需要壁后注浆。

3. 斜井、巷道、硐室工作面注浆技术

如果掘进前方是含水岩层，需要注浆堵水，或是断层、软弱岩层需预注浆加固。掘进工作面是硬岩，可以预留岩帽布孔注浆；如果是软岩或已经有涌水漏水现象，必须打一道止浆墙，止浆墙构筑方法是：

- (1) 利用经验公式计算厚度，安全系数一般 1.5~2.0；
- (2) 设临时档水堰，安置 $\Phi 108\text{mm}$ 的钢管（带有法兰盘），把水由钢管导出；
- (3) 在确定的止浆墙的前后，由料石或砖砌墙，当作混凝土模板使用，料石墙或砖墙之间，充填混凝土，振捣密实，如此方法逐渐加高，逐渐振捣，到一定部位预埋注浆管；
- (4) 养护 7~10d，对止浆墙进行注浆，使不密实的部位用浆液充填，以免进行工作面注浆时，止浆墙跑浆。

斜井、巷道、硐室工作面注浆，使用的材料、设备、工艺与立井工作面预注浆基本相同，注浆钻孔与斜井、巷道的轴线近似平行，略有些倾角，仰角和方位角一般是 $1^\circ\sim 5^\circ$ 。

四、后注浆技术

含水岩层被开凿揭露后，出现漏水、涌水、流泥、冒砂，井壁或巷道顶断裂、开裂、片帮、冒顶等情况，需要堵水或加固的注浆技术称为后注浆技术。常见的有壁内注浆和壁后注浆两种井壁注浆，还有裸体巷道的裂隙注浆。

壁内注浆适用于表土段，壁后为流砂层或冻结双层井壁夹缝注浆。壁后注浆适用于基岩段井壁堵水，或壁后有空洞，曾发生过片帮、冒顶，井筒下沉的立井、斜井、巷道的注浆，把浆液注到壁后，起到充填、堵水或加固作用。

(一) 壁内注浆

1. 注浆施工顺序

整个井筒注浆顺序是由上而下分段注浆，但对每段而言是由下而上注浆。

2. 注浆孔的布置和注浆管的埋设

注浆孔布置与井壁裂缝、漏水点的分布、井壁结构及其强度、注浆压力与注浆材料有关。

以堵水为目的，注浆孔可以选择漏水点造孔，称为顶水注浆。或在漏水裂隙附近打斜孔与裂隙相交，尽可能将全部水都导出来，然后关闭阀门，检查哪些部位仍漏水，再处理，直到基本不出水为止，称为泄水注浆。

如果既要堵水又要加固，布孔要多些，在井壁上出水区域，布成三花眼或五花眼，孔间距要使浆液的扩散能够互相交圈；如果壁后是流砂层，按《煤矿安全规程》规定，一般都不打透井壁，留 100~200mm 的安全距离，防止跑砂。双层井壁，注浆孔穿进外壁 100mm 左右即可。注浆管的埋设有三种方法。

- (1) 用 $\phi 50$ 或 $\phi 40$ 钢管，在井壁上打眼直接把注浆管打入孔内；
- (2) 埋入井壁中，把钢管车成马牙扣、缠麻，打入注浆孔中；
- (3) 注浆孔内，安置止浆塞式孔口管，压紧，把注浆管与孔壁固定牢。必须把止浆塞下得较深，但是不耐高压注浆。

3. 井壁处理

井壁处理是非常重要的，它关系到注浆效果与成败。混凝土井壁存在的接茬缝、裂缝、蜂窝、麻面等都要经过处理后再注浆。

接茬缝、裂缝处理，多采用凿成沟槽办法，挖成 V 形 U 形的沟槽，把水由钢管导引出来，用水泥—水玻璃塑胶泥糊缝。

料石井壁，也是用埋管、导水糊缝的办法。

蜂窝、麻面，采用埋管、导水、挖补的办法。

4. 注浆材料、工艺、参数

注浆材料：使用单液水泥浆、水泥—水玻璃双液浆、化学浆液等。

注浆工艺：分段上行式，打眼、埋管、处理井壁、关闭阀门检查、注浆。

注浆参数：主要指注浆压力、凝胶时间和注入量。注浆压力高于静水压力 0.3~0.7MPa。凝胶时间的掌握原则是，当处理后井壁不漏水，尽可能注单液水泥浆，如果少量漏水，使用快速凝固双液浆。浆液注入量与注浆孔涌水量有关，涌水量大，注入量也多，涌水量小，注入量一般亦少。

(二) 壁后注浆

1. 常见的壁后注浆

基岩有裂隙水、断层破碎带等，造成井壁砌碇后产生井壁漏水，而进行堵水、加固的技术称为壁后注浆。

壁后注浆的布孔、埋管、井壁处理，以及注浆顺序、工艺、材料、设备、机具、技术参数与壁内注浆基本相同。

2. 破壁注浆

80年代末到90年代初华东地区相继有40个井筒，在深表土层底部含水层与基岩交界处，发生井壁破裂，涌水漏砂，使井壁混凝土剥离，钢筋断裂，罐道梁弯曲变形，对井筒安全构成严重威胁，所以开发了破壁注浆技术。

破壁注浆是在常规的壁后注浆技术基础上，在井壁上设置防止涌水喷砂的装置，以保证在钻透井壁，发生涌水、喷砂时可及时关闭阀门，进行壁后注浆，充填和加固壁后的冲积地层。

其注浆工艺、材料与常规的壁内、壁后注浆基本相同，主要使用水灰比为 1:1~0.8:1 的水泥浆，水泥—水玻璃双液浆为辅，其体积比一般采用水玻璃/水泥浆为 1/8~1/5，力求壁后形成 2.0m 厚的帷幕。

破壁注浆技术特点：

(1) 为保证井筒安全，要设置防止涌水喷砂装置。

(2) 采用“下堵、上封、中间渗透”的钻注形式。

下堵：先注基岩风化带；

上封：每一分段上部注入速凝浓稠浆液形成固结圈；

中间渗透：上封、下堵之后中间部位重点进行渗透的破壁注浆。

(3) 高压注浆，一般由小到大逐渐增加，因为壁后是粘土和砂，可注性差，要实行高压注浆，考虑到井筒的可能承压能力，设计压力为 10~12MPa，实际在 7~8MPa。特别要注意安全。

(4) 注浆过程要加强观测, 注意井筒和操作人员的安全防护。

五、软弱地层特殊注浆技术

(一) 高压喷射注浆技术

高压喷射注浆技术起源于高压旋喷注浆, 因它除高压旋喷注浆之外, 还有定向喷射注浆(定喷)和摆动喷射注浆(摆喷), 所以统称为高压喷射注浆技术。

高压喷射注浆技术是一种新型的注浆法, 是静压注浆法的发展。60年代末, 日本首先开发了单管高压旋喷注浆法(CCP工法), 根据土层的 N 值大小不同, 在粘土层中成桩直径可达0.3m以上。以后, 日本又开发了高压水泥浆与压缩空气同轴喷射的二重管高压旋喷注浆法(JGP工法), 成桩直径达到0.8~1.0m, 但再提高喷浆压力, 需要更高压力的水泥浆泵, 这样的水泥浆泵制作困难, 而且对喷嘴磨损大, 所以发明高压水和压缩空气同轴喷射的喷射流把喷嘴附近低压水泥浆, 带进土层中, 注浆管就设计成三重管, 称为三重管高压旋喷注浆法(CJP工法)。现在日本除以上三种工法之外还有多管水平高压旋喷注浆法(MJP工法)和双高压旋喷注浆法(RJP工法)。

我国高压喷射注浆法于70年代中期开始应用于建筑工程。1975年北京某地下工程由00069部队应用单管高压旋喷注浆法加固砂卵石地层, 延米数100m; 1976年郑州铁路局应用单管旋喷注浆法, 处理事故, 加固粉细砂, 总延米450m; 同年, 铁道科学研究院铁建所与煤炭科学研究总院北京建井研究所共同应用单管旋喷注浆法在丰南煤矿主、副井筒粉细砂层作旋喷桩防水帷幕, 总延米530m。现在我国许多行业部门都具有高压喷射注浆技术。已经有单管、二重管、三重管高压喷射注浆(水利系统为代表的研究开发的三列管, 左右摆动 190° 形成圆柱桩)。煤炭科学研究总院北京建井研究所不仅拥有单管、二重管、三重管高压喷射注浆技术, 而且在技术上有独到之处, 近来试验成功了三重管高压水平旋喷注浆、双高压喷射注浆技术。在一般情况下, 三重管高压旋喷注浆, 高压水的压力为30MPa左右, 水泥浆是用低压的泥浆泵输送。双高压喷射注浆法水的压力大于30MPa, 水泥浆的压力为30MPa左右, 这样对导流器, 注浆管, 喷射头(包括喷嘴)的结构、材质都有特殊要求。

日本高压旋喷注浆法, 喷射压力大于40MPa称为超高压旋喷注浆法。

我国高压喷射注浆技术的工艺参数, 列于表1-2。与日本相比我国机具设备比较差, 但应用广泛, 工程实例较日本多。

高压喷射注浆技术的应用领域包括:

- (1) 增加地基的承载力, 整治既有建筑物、构筑物的沉降开裂;
- (2) 防止局部地基松散软弱造成的建筑物不均匀沉降;
- (3) 桩基础, 如桥墩、高层建筑物基础桩;
- (4) 地下铁、隧道工程、暗挖工程的软土加固;
- (5) 水利坝基工程的防渗帷幕;
- (6) 井筒围堰, 使井筒穿过流砂层和软弱地层;
- (7) 防止基坑底部隆起;
- (8) 防止塌方滑坡, 作为护坡桩使用, 高喷桩与钻孔钢筋混凝土桩组成组合桩使用;
- (9) 地下钢筋混凝土的补缺口。

(二) 压密注浆技术

表 1-2 高压喷射注浆技术工艺参数表

类 型	压力/MPa			注入量/L·min ⁻¹			转速 /r·min ⁻¹	提升速度 /mm·min ⁻¹	旋喷直径 /m	定喷长度 /m	
	水	气	浆	水	气	浆					
单管	旋喷			16~25			50~80	20~30	100~300	0.3~0.6	
	定喷			16~25			50~80		100~150		0.4~0.5 注 1
二重管	旋喷		0.5~0.7	16~25		50	60~90	10~15	80~120	0.8~1.0	
	旋喷	20~30		0.5~1.0	60~90		60~90	10~15	80~120	0.6~0.8	注 2
三重管	旋喷	25~32	0.5~0.7	0.5~1.0	70~80	50	60~90	10~15	80~120	1.2~1.8	
	定喷	25~32	0.5~0.7	0.5~1.0	70~80	50	60~90		50~120		4~6
	水平旋喷	25~32	0.5~0.7	0.5~1.0	70~80	50	60~90	10~15	50~120	1~1.2	注 3
	双高压旋喷	25~32	0.5~0.7	20~30	70~80	50	60~90	10~15	50~120	1.5~2.2	注 4
	高压旋喷										

- 注：1. 福建省煤炭工业科研所，单管定喷，由于泵的能力小，单嘴定喷，再插下去喷嘴反向 180°再喷。
 2. 上海隧道研究所，高压水低压浆同轴喷射注浆。
 3、4. 煤科总院北京建井研究所在单管、二重管、三重管，三重管高压喷射注浆研究和应用成果的基础上新的试验研究的成果。

软弱地区，如淤泥、砂土、杂填土等地层采用压密注浆技术增加地基强度，堵水等，它实际上是以挤压、劈裂注浆技术为基础开发出来的新的应用途径，在上海、武汉、广州等城市应用很广泛。

压密注浆技术是在一定的压力作用下，浆液在地层中劈裂、挤压形成脉状网络和片状、层状的固结体，使松软地层被挤压密实，提高地层的强度，达到一定的隔水作用。

压密注浆使用的材料有水泥、水玻璃、粉煤炭。根据实际需要可以单独使用水泥浆，也可以使用水泥—水玻璃双液浆或水泥、水玻璃混合浆。

其工艺方法是：利用钻机造孔(或震动钻孔)，把下部带花孔的注浆管送到设计位置，搅拌机造浆，注浆泵以 0.5~3MPa 的注浆压力把浆液挤压到地层，逐渐提升，完成全孔注浆。

(三) 流砂层注浆法

1. 化学注浆法

该法是以化学浆液加固流砂层，形成隔水层，使开挖工程穿过流砂层。

常使用的化学浆液有 MG-646 (水利等行业称为丙凝)、脲醛 (尿素—甲醛)、糠醛—尿素、聚氨酯 (水利等行业称为氰凝或堵漏王)、水玻璃类的化学浆液。这些浆液一般都是溶液型的，凝胶时间控制几十秒到几分钟，在砂层中能够扩散、渗透，但如果浆液粘稠、凝固时间短、泵的排量大于地层的渗透能力，也会造成劈裂注浆的方式。所以选择合适的浆液类型、凝胶时间、注浆泵的排量是很重要的。

采用前端带有花管的钻杆，造孔到设计深度后，采用分段上行式定量注浆，需设置孔口密封装置或止浆塞，防止浆液沿钻杆向孔口外跑浆。

例如，丰南煤矿主副井筒井深 25~32m 出现流砂层，使用糠醛—尿素浆液注浆穿过流砂层；河南平顶山王道矿出风井，采用 36 个注浆孔，注入水玻璃—铝酸钠化学浆固结 7.4m 厚的细、中、粗砂和砾石含水层获得成功。

2. 排管注浆法

排管注浆法既有置换注浆的含义，又有板桩施工的作用，是二者结合的典型。其主要工艺过程为打钻造孔，在钢管插入钻孔过程中，大量放砂，使砂层松动形成空隙，然后通过钢管注入泥浆，使水泥浆在钢管四周形成水泥砂浆的岩柱，许多个带有钢管水泥砂浆的岩柱连成一片，构成具有一定强度的隔水帷幕，在其保护下安全凿井，应用实例有山东徽山三号井（立井）等。

3. 置换注浆法

该法是将砂层的砂随水冲出工作面，腾出一定的置换空间，再将水泥浆压入充填空间并向四周扩散，经脱水、压密、凝固，逐渐将受注范围内砂层改换成人工造成的水泥结石帷幕。适用于粘土类地层，夹有单层、数层的薄夹层流砂层或中厚流砂层，并采用分层分段的置换注浆。

以山西屯留矿区郭庄煤矿主、副井表土段过流砂层为例说明该法的施工要点如下：

(1) 在距流砂层顶板 1.5~2.0m 厚粘土隔水层上构筑止浆垫；

(2) 以同心圆锥面状布孔，终孔距荒径外 1.5~2.0m。中心有一个检查孔。

(3) 钻孔一经钻入流砂层就会出现涌水冒砂，每次漏水带出的砂量就是应注入水泥的置换量，但必须控制，放砂量过多，会引起粘土顶板塌落，这种现象必须防止；但放砂量过小，则增加重复钻注次数延长工期。每次置放量以 $1.5\sim 2.0\text{m}^3$ 为宜。

(四) 断层破碎带的注浆技术

在井巷、隧道、硐室开凿工程中，当遇到断层破碎带、软岩或细小裂隙含水层等复杂的地质条件，采用注浆堵水和加固技术是有效方法之一。有两种情况，第一种是原生态的阻水性断层，一般水泥浆在这些特殊地层中的可注性差，而达不到浆液注入量的要求，以致降低堵水和加固效果；第二种情况是在开凿施工时，发生过突水、冒落、大量涌泥的事故，使断层破碎带造成严重的破坏和扰动而增加了注浆难度。

开滦矿区钱家营煤矿副井，林南仓煤矿副井，淮北矿区临涣主井，越南冒溪煤矿—80m 水平巷道穿过 F_A 断层破碎带时均发生突水、冒落、压垮软弱岩层，造成淹井。

1. 提高断层破碎带的可注性

原生状的阻水性断层破碎带，水泥浆在这样的特殊地层中可注性差，因而降低了堵水和加固的效果，为了获得理想的堵水和加固效果，国外通常应用超细水泥或化学浆液作为注浆材料。如南非、美国应用粒径为 0.01~0.03mm 的磨细水泥注入 0.05mm 的细小裂隙中；英国和前苏联采用先注水泥浆后注化学浆的工艺，均使堵水和加固效果大为提高。根据我国的实际情况，应用普通水泥，加上特殊的注浆技术措施，进行施工试验取得良好的注浆效果。

(1) 压裂法。

压裂法注浆，也就是劈裂注浆或挤压注浆，利用浆液的传压作用在含水岩层中挤开通道，造成裂隙之间的相互勾通或扩大细小裂隙的开度，以提高断层的浆液可注性。该法是注浆初期以稀水泥浆为主，一般水灰比为 3~4。稀浆液中的水泥颗粒在脉冲压力的作用下对压开和沟通裂隙能够起到支撑的作用，一旦压开或扩大裂隙开度后即转入注浆阶段。

采用缓慢升压方法找出注浆泵的排量明显增入时的压力值作为压裂法的注浆压力，压开裂隙的时间一般需要 10~20min，一压开裂隙之后，压力就有所下降，这时进入正常的注浆，为防止已压开的裂隙重新闭合而影响浆液注入量，所以要连续注浆，避免中途停泵。