

SUIDAO

YU DIXIA GONGCHENG

ZHUJIANG

JISHU

# 隧道与地下工程 注浆技术

崔玖江 崔晓青 著

中国建筑工业出版社

# 隧道与地下工程注浆技术

崔玖江 崔晓青 著

中国建筑工业出版社

### 图书在版编目 (CIP) 数据

隧道与地下工程注浆技术/崔玖江, 崔晓青著. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2010. 12  
ISBN 978-7-112-12638-5

I. ①隧… II. ①崔… ②崔… III. ①隧道工程-灌浆加  
固②地下工程-灌浆加固 IV. ①TU753.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 224660 号

隧道与地下工程在修建中离不开注浆技术, 本书系统阐述了注浆材料、注浆机理、注浆设计、注浆方法、注浆设备以及注浆施工, 隧道衬砌背后注浆, 以及运用注浆法治理隧道与地下工程渗漏水, 并列举了注浆技术的典型工程应用实例, 供施工技术人员应用时参考。

\* \* \*

责任编辑: 曾 威  
责任设计: 赵明霞  
责任校对: 张艳侠 马 赛

## 隧道与地下工程注浆技术

崔玖江 崔晓青 著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

世界知识印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 $\frac{1}{4}$  字数: 505 千字

2011 年 5 月第一版 2011 年 5 月第一次印刷

定价: 46.00 元

ISBN 978-7-112-12638-5  
(19943)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 序


作者，崔玖江副总工程师，是我国最早从事各种用途隧道及地下工程注浆技术研究和结合工程实践的高级专家，是我国地下注浆学科的开拓者。

作者从1969年12月开始结合工程研究注浆至今，已有四十多年之久。他首先参加了某大河流第一条水下隧道进行注浆堵水加固地层技术方面的设计与施工，并有很大创新，是引领该学科的知名专家。已进入老年高龄的他，站在工程科学的高度，用严谨、实事求是而公正的态度，带着历史的责任感，对近百项用各种方法施工的工程，采用不同的注浆方式、注浆材料、注浆工艺、注浆机械结合注浆后效果进行了分析和论证，从中得出许多可贵的经验和教训。用注浆改良了地层，改善了地下水对工程的侵害，大大降低了工程的施工风险。

注浆，必须与现场紧密结合，必须与地层相适应，必须与水压、水量、水的流向等参数相匹配，在注浆过程中必须要不断调整浆液的各种参数、甚至修改注浆材料，尤其凝渗时间必须及时调整、随时修正，达到注浆可靠、快速而经济。因此，注浆是一门临场发挥、创新的科学，这是注浆者必备的素质和责任。崔总经常用自己的行动去指导注浆作业，去教导青年注浆者。

隧道及地下工程有数十种施工方法，应用于数百种不同的地下、地上环境中，其中注浆技术是各种辅助工法应用之首。因此，该书的出版具有很大的实用价值，对开拓注浆思路很有指导性。全书给我们留下了许多宝贵的科学知识、工程实例、注浆理念、方法和要点。这是一本可供从事土木工程，尤其是从事隧道及地下工程的各界人员必读之作。

中国工程院院士



# 前 言

当今，我国隧道与地下工程发展迅猛，修建的越岭铁路、公路隧道座数及长度居世界首位；随着西部开发事业的发展，水电工程中水工隧道也在增加；南水北调西线工程将穿越崇山峻岭，修建隧道势在必行、西气东输工程中的穿越江河隧道修建业已大部建成；横穿海湾之厦门翔安海底隧道已于 2010 年建成，青岛胶州湾隧道正在建设之中；尤其是在近几年，大城市如北京、上海、天津、重庆及广州、武汉、深圳等，为解决交通拥挤正在大力修建地下铁道或地面轨道交通；为节约土地资源，大城市地下空间开发正在崛起，如兴建大型地下商业街、地下停车库及地下机动车道等，上述各类隧道与地下工程系在不同的工程地质、水文地质及环境条件下修建的，其条件也是千差万别的，尤其是在修建中所遇到的复杂问题往往难以预料，存有风险性。欲降低或规避风险，必须制定周密的计划、先进可行的方案和安全可靠的技术措施等。隧道与地下工程修建所采取的技术措施很多，其中注浆技术是必不可少的，无论是在岩体中修建的山岭隧道、水下隧道，还是在第四纪软弱地层中修建的隧道和地下工程皆离不开注浆。国内外大量工程实践证明，注浆是改良地层的有效方法，是保证隧道与地下工程安全建成的可靠手段。据有关文献记载，最早的注浆是法国人 Charles Berigny 于 1802 年用冲击泵注入黏土和石灰加固港口砌筑墙，至今已 200 多年了。200 多年来，随着社会的发展和科学技术的进步，注浆技术有了很大的发展与进步，注浆技术的应用范围扩大，我国在 20 世纪 50 年代开始应用注浆技术处理矿井工程开凿地层加固与堵水；20 世纪 70 年代初在我国第一条穿越特大河流的水下公路隧道修建中应用注浆堵水与加固围岩等综合技术，保证了隧道安全顺利建成；20 世纪 80 年代应用注浆技术治理衡广铁路复线中的大瑶山隧道 F<sub>9</sub> 断层及南岭隧道岩溶淤泥涌水取得成功；21 世纪初修建长大海底隧道应用注浆止水措施和加固围岩、大断面隧道开挖和初期支护、二次衬砌等先进技术，规避了风险，从而使我国第一条长大海底公路隧道安全顺利建成；20 世纪 80 年代至 90 年代在北京地铁复八线工程中应用注浆技术改良第四纪软弱地层，从而保证了区间隧道和车站的顺利建成，以及从 2002 年 12 月开始建设的新线工程皆依赖注浆加固围护和处理地下渗漏水，取得了明显效果。

第一作者从 1969 年 12 月开始至今，一直从事隧道与地下工程的注浆技术的研究和工程实践。第二作者作为隧道与地下工程技术研究工作的新兵，参与了南水北调、北京地铁 10 号线、北京地铁大兴线等大型工程。为总结交流，共同推进我国隧道与地下工程注浆技术的发展，特编写了此书。在编写过程中曾获得很多设计、施工、科研单位的大力支持及清华大学傅承诵教授的鼓励帮助，在此特致感谢。由于作者水平有限，肯定有不妥之处，敬希读者指教。

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第 1 章 概论</b> .....     | 1   |
| 1.1 注浆定义 .....            | 1   |
| 1.2 注浆技术发展概况.....         | 1   |
| 1.3 注浆的功能和用途.....         | 5   |
| <b>第 2 章 注浆材料</b> .....   | 9   |
| 2.1 注浆材料的要求 .....         | 10  |
| 2.2 注浆材料的分类 .....         | 10  |
| <b>第 3 章 注浆机理</b> .....   | 55  |
| 3.1 渗透注浆 .....            | 55  |
| 3.2 劈裂注浆 .....            | 62  |
| 3.3 压密注浆 .....            | 66  |
| <b>第 4 章 注浆设计</b> .....   | 68  |
| 4.1 注浆设计程序 .....          | 68  |
| 4.2 注浆前的调查和试验 .....       | 69  |
| 4.3 注浆现场试验的方法 .....       | 71  |
| 4.4 现场原位注浆试验 .....        | 78  |
| 4.5 注浆设计 .....            | 79  |
| <b>第 5 章 注浆方法</b> .....   | 97  |
| 5.1 按注浆施工时间的不同分类 .....    | 97  |
| 5.2 按注浆机理的不同分类 .....      | 98  |
| 5.3 按注浆浆液的混合方式的不同分类 ..... | 98  |
| 5.4 按注浆管布设形式的不同分类 .....   | 98  |
| 5.5 高压旋喷注浆法 .....         | 105 |
| <b>第 6 章 注浆机械设备</b> ..... | 109 |
| 6.1 钻机 .....              | 109 |
| 6.2 常用钻具 .....            | 116 |
| 6.3 注浆泵 .....             | 121 |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 6.4         | 止浆塞 .....                               | 129        |
| 6.5         | 混合器、搅拌机、孔口管和注浆用仪表 .....                 | 131        |
| <b>第7章</b>  | <b>注浆施工</b> .....                       | <b>135</b> |
| 7.1         | 注浆施工准备工作 .....                          | 135        |
| 7.2         | 注浆施工 .....                              | 136        |
| 7.3         | 注浆效果检验 .....                            | 145        |
| <b>第8章</b>  | <b>注浆方式的选择</b> .....                    | <b>148</b> |
| 8.1         | 各种注浆方式的特点 .....                         | 148        |
| 8.2         | 隧道注浆方式的选择 .....                         | 151        |
| <b>第9章</b>  | <b>重大工程注浆施工实例</b> .....                 | <b>154</b> |
| 9.1         | 日本青函海底隧道 .....                          | 154        |
| 9.2         | 我国某大河流水下公路隧道注浆 .....                    | 172        |
| 9.3         | 大瑶山隧道克服9号(F <sub>9</sub> )断层的注浆施工 ..... | 185        |
| 9.4         | 南岭铁路隧道穿越岩溶淤泥地段注浆 .....                  | 194        |
| 9.5         | 北京八达岭高速公路潭峪沟隧道的注浆 .....                 | 212        |
| 9.6         | 上海延安东路越江盾构隧道注浆 .....                    | 222        |
| 9.7         | 北京地铁浅埋暗挖法修建车站与区间隧道注浆技术 .....            | 228        |
| 9.8         | 我国第一条长大海底隧道——厦门翔安海底隧道注浆技术 .....         | 283        |
| 9.9         | 南水北调北京段西四环暗涵工程(输水隧洞)注浆技术 .....          | 290        |
| 9.10        | 高压旋喷注浆工程 .....                          | 294        |
| <b>第10章</b> | <b>隧道衬砌背后注浆</b> .....                   | <b>298</b> |
| 10.1        | 概述 .....                                | 298        |
| 10.2        | 矿山法或新奥法(NATM)修建隧道的背后回填注浆 .....          | 298        |
| 10.3        | 盾构法修建隧道的背后回填注浆 .....                    | 302        |
| <b>第11章</b> | <b>运用注浆法治理隧道与地下工程渗漏水</b> .....          | <b>306</b> |
| 11.1        | 概述 .....                                | 306        |
| 11.2        | 渗漏水调查 .....                             | 307        |
| 11.3        | 堵漏注浆材料 .....                            | 308        |
| 11.4        | 堵漏注浆设计 .....                            | 309        |
| 11.5        | 堵漏注浆施工 .....                            | 310        |
| 11.6        | 工程实例 .....                              | 313        |
|             | <b>主要参考文献</b> .....                     | <b>318</b> |

# 第 1 章 概 论

## 1.1 注浆定义

注浆法的实质是用气压、液压或电化学原理，把某些能固化的浆液注入各种介质的裂隙或孔隙，以改善地基的物理力学性质，也即注浆法系将具有凝结能力的浆液注入地层或隧道围岩中以填充、渗透、压密等方式挤走土颗粒间或岩石裂隙中的水分，待浆液凝结后，使隧道围岩或土形成一个抗渗性能好、强度较高的整体，以达到堵水加固围岩或土体的目的。

## 1.2 注浆技术发展概况

### 1.2.1 注浆材料

据有关文献记载，最早的注浆是法国人查理士·布尔尼（Charles Berigny）于 1802 年首次用冲击泵注入黏土和石灰加固港口砌筑墙。1838 年英国汤姆逊隧道开始用水泥浆进行填充注入。后来人们发现普通水泥颗粒的粒径较大，对于较细小的裂隙难于注入，并且在流速较大的条件下，注入地基内的水泥浆容易被冲走，于是人们又投入到溶液态的化学浆液材料的注浆研究。

1884 年，英国豪斯古德（Hosagood）在印度建桥时首次用化学药品固砂。1887 年德国的切撒尔斯基（Jeziorsky）利用一个钻孔注浓水玻璃浆液，相邻钻孔注氯化钙，创造了原始硅化法而获专利。1909 年，比利时的勒马尔·塔蒙特（Lemaire Dumont）在水玻璃中加入稀硫酸，发现了改变水玻璃浆液 pH 值的凝固机理，使用双液单系统的一次压注法取得专利。1920 年荷兰采矿工程师尤斯登（E. J. Joosten）首次论证了化学注浆的可靠性，并发明了水玻璃、氯化钙双液双系统二次压注法，于 1926 年取得专利。由于水玻璃一定程度上克服了水泥类非化学类浆液的缺点，价格也比较便宜且无毒，从此欧美各国广泛应用水玻璃浆液注浆。

由于水玻璃浆液在固结强度和耐久性方面难以满足某些工程的需要，因而随着高分子化学材料的发展，20 世纪 50 年代在美国首先推出了黏度接近于水、凝结时间可任意调节的丙烯酰胺浆液（AM-9），随后世界各国又先后出现木质素尿醛树脂类、酚醛树脂类、呋喃树脂类、丙烯酸盐类、聚氨酯类（日本的 TACSS；原苏联的 II II Y-13H、II II IY-304H）、环氧树脂、不饱和聚酯树脂等性能各异的高分子化学注浆材料。

正当高分子化学类浆液较为广泛应用之际，1974 年 10 月日本因福冈县发生了注入丙烯酰胺引起中毒的事故，日本政府厚生省发布命令，禁用有毒的化学浆液。1978 年美国厂商停止了 AM-9 的生产，同时许多其他国家也效仿日美禁止使用有毒的化学浆液。人们



又开始把注浆材料重点转向了水泥浆液和水玻璃浆液。

目前水玻璃类浆体（特别是酸性中和水玻璃类、复合型水玻璃类、气液反应型水玻璃类及水玻璃+水泥类）是所有注浆材料中使用率最高的，其中又以中国、日本及东亚各国应用较多。

水泥类浆体（普通水泥、超细水泥、湿磨水泥、硅粉、特种水泥如硫铝酸盐水泥）是当前注浆的主要材料。其中超细水泥、湿磨水泥、硅粉是 20 世纪 80 年代后新开发的细粒水泥浆体材料，主要是克服普通水泥颗粒大，不能用于充塞中、细砂层（渗透系数低于  $10^{-3}$  cm/s）和细微的裂隙（宽度小于 0.15mm）的缺点。这些细粒水泥可以注入  $10^{-4}$  cm/s 的细砂层和 0.1mm 的裂隙。同时为了满足不同的要求，水泥类浆体中有时也掺加不同的砂、膨润土和石粉等。

### 1.2.2 注浆方法

化学注浆工艺，目前除仍采用比较经济、简便的钻杆注浆法和过滤管注浆法外，又出现双重钻杆过滤管法、双层管双栓塞工法、双重钻杆双液同步注入工法、CO<sub>2</sub> 气液反应型复合注入工法、高压喷射搅拌工法和袖阀管注浆工法等。

近年来随着注浆工法的发展，使注浆技术不仅能更为广泛地运用到各种隧道与地下工程中，而且在不良工程地质、水文地质条件及土建工程的深基础等工程中得到了广泛应用。如 20 世纪 70 年代初问世的高压喷射搅拌工法克服了以往注入工法的可靠性相对较差的缺点，使注浆技术大范围的运用到房屋和桥梁的地基及基础处理领域；环氧树脂注入工法的出现，使注浆技术更好地运用混凝土裂缝的粘接修复；双层管双栓塞工法和双层过滤管瞬凝、长凝复合工法，则使大深度、大规模基底注入加固成为可能；盾构衬砌背后同步注浆法使盾构在地层土体难于稳定的场合能有效地防止地表下沉。同时，由于其他非土木水利专业的发展，极大地带动了注浆工艺的发展，注浆技术已成为一项集土木、工程地质与水文地质、机械、建材、化工、计算机等多专业为一体的综合性学科领域。各种先进的动力设备、精密的监测探测仪表和高性能钻具等极大地提高了注浆的可控制性、可预见性和可靠性。

### 1.2.3 注浆系统

根据注浆目的和浆液混合方式的不同，注浆系统大致分为：单液单系统、双液单系统、双液双系统、袖阀管注浆。

#### 1. 单液单系统法

单液单系统如图 1-1 所示。

单液单系统法，它是将浆液的各组分按规定配比放在同一搅拌器中充分搅拌混合均匀后，由注浆泵注入隧道围岩或地层的方法。对于要求凝胶时间较长的浆液（一般认为凝胶时间在 8min 以上），宜采用此系统。此系统设备简单、操作方便。

#### 2. 双液单系统法

双液单系统如图 1-2 所示。

双液单系统法，它是将 A、B 两种浆液，通过各自注浆泵按一定的比例在注浆管口的

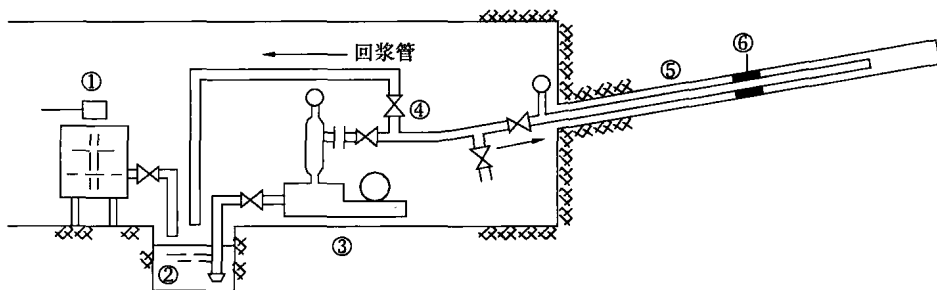


图 1-1 单液单系统图

注：①搅拌机；②贮浆罐；③注浆泵；④阀门；⑤注浆管；⑥橡胶止浆塞

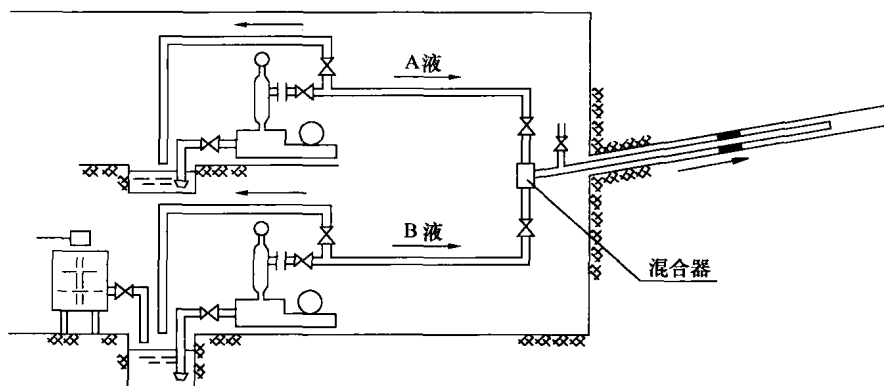


图 1-2 双液单系统图

混合器混合，然后注入隧道围岩地层中，对于浆液凝胶时间有一定要求的宜采用此系统。如采用水泥浆—水玻璃浆液注浆时，要求浆液凝胶时间为 3~5min，则宜采用这种系统。

### 3. 双液双系统法

双液双系统法，系用各自不同的注浆泵系统，将 A、B 两种浆液同注入地层，使其混合的注浆方式。对于要求凝胶时间非常短的浆液，如水玻璃浆—氯化钙浆（瞬凝浆液）宜采用双液双系统。这种系统有两种：

一种为双层管，分别用于注入 A、B 浆液，A、B 浆液在进入地层的瞬间发生混合。如图 1-3 (a)，另一种是交替注入型双液双系统法，如图 1-3 (b)，只有一根注浆管，两种浆液靠改变 a、b 阀门交替注入，在地层混合。

### 4. 袖阀管注浆法

#### (1) 袖阀管注浆法的机理与特点

为适合多种工程地质、水文地质条件下的注浆加固地层，尤其是软弱地层，20 世纪 50 年代法国地基建筑公司开发的 SOLETANCHE 注浆加固法，即袖阀管注浆法得到广泛应用。

袖阀管注浆工法的机理是通过封管和注浆两种材料进行分次封孔和注浆，实现分次注

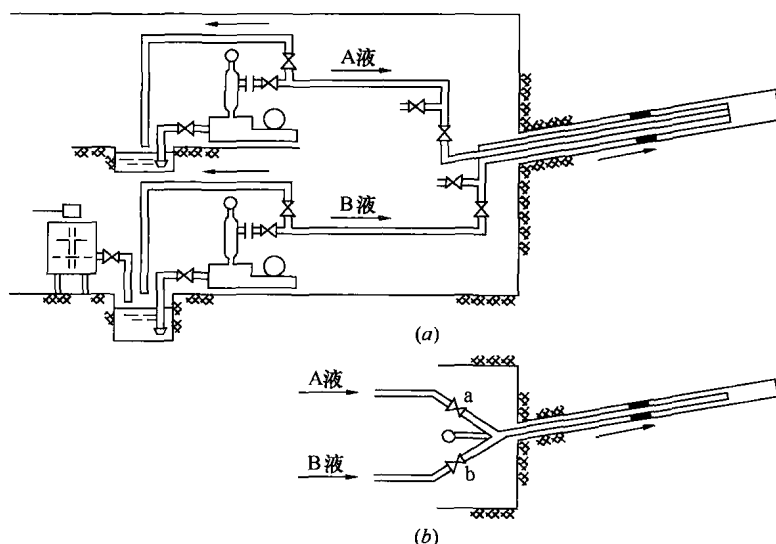


图 1-3 双液双系统图

(a) 双层管; (b) 单管

浆的可能。通常，每一个工程的地质条件、颗粒粒径、透水性和不同地层之间交互重叠，由于不均匀地层的各层透水性不同，通过注浆的所达到的效果也不尽相同，有针对性地对注浆地层进行分析，在可注性好的地层进行针对性注浆，不同的地层采用不同的注浆材料，有效地填补地层的空隙，使地层得到有效的加固处理，达到设计要求，使地层特性达到同性化，并可以通过二次注浆弥补注浆缺陷。二次注浆时要注意注浆材料的浸透性，注浆速度也要有所重视。该工法特点如下：

- 1) 能有效地按注浆工程的设计要求，确定注浆的位置和范围。
- 2) 不易产生注浆盲区和薄弱区，适合高风险注浆施工。
- 3) 注浆的位置可根据实际情况上下调整，随意变动。
- 4) 同一注入点可以采用不同的注浆材料进行注浆。

注入后，可根据地层的实际情况非常方便地再次注入，保证注浆质量。

袖阀管注浆工艺流程如图 1-4 所示。

#### (2) 袖阀管注浆法的止浆工艺

在经特制浆液封孔固定后的带阀套的套管（可为塑料管、钢制管或其他材料管材）中下入注浆塞（单囊塞、双囊塞或多囊塞），浆液通过注浆管冲开阀套进入需注浆加固的土体中。当注浆指标达到技术要求时，停止注浆上提一段，进行下一段注浆。同时，刚注过浆的阀套会收缩，紧紧抱住套管防止土体中的浆液回流到套管中。在需要时，可在套管的适当位置重新下入注浆塞，进行重注。

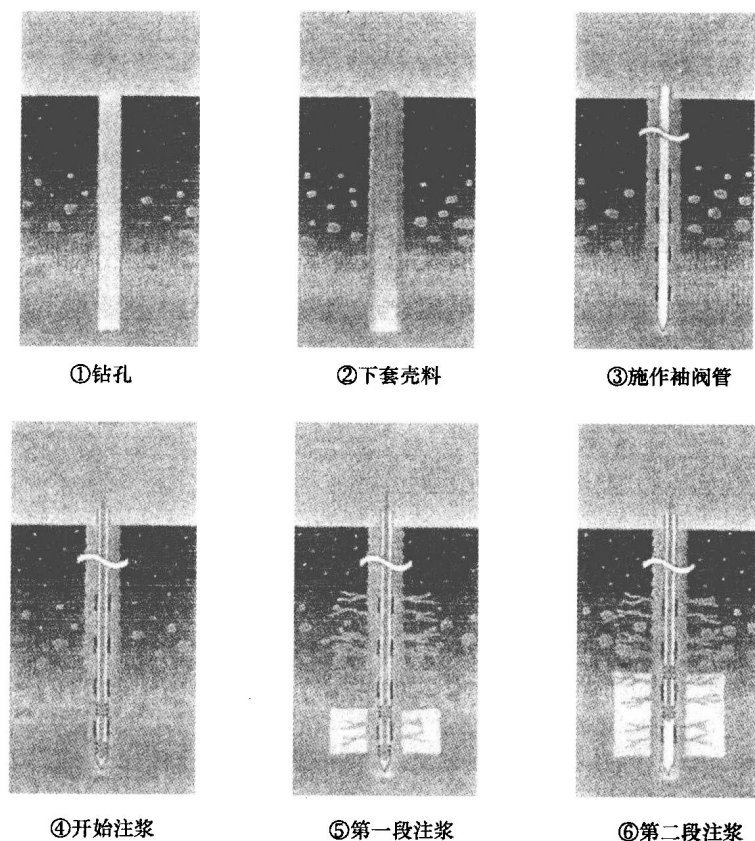


图 1-4 袖阀管注浆工艺流程

## 1.3 注浆的功能和用途

### 1.3.1 注浆功能

#### (1) 防渗堵水

防渗主要是指防止水在微细裂隙中的渗透。如隧道与地下工程横筑混凝土衬砌裂缝、施工缝渗水，大坝、防堤的防渗帷幕的形成，垃圾处理场场地基底的隔离防参加固等。

堵水是防止隧道或地下建筑由于某种原因而发生漏水。如修建水下隧道，为了克服涌水，在隧道开挖之前沿其四周钻孔，利用注浆泵将不透水的凝胶物质（防水材料）通过这些钻孔注入扩散到岩层裂隙中，把裂隙中的水挤走，从而堵塞地下水的通路，减少或阻止涌水流入开挖面，同时还起到固结破碎岩层的作用，从而为开挖、衬砌创造较好条件。

#### (2) 加固补修

通过注浆对地基加固，防止地表下沉和建筑物的变形，并且通过注浆对边坡的加固防止滑坡；而对混凝土建（构）筑物，当结构混凝土出现裂缝，可用注浆的方法修理补强，以恢复其整体性。

### 1.3.2 注浆用途

(1) 隧道工程中的应用。

1) 矿山法隧道在掘进中,对富水地段、软弱地层、破碎岩层注浆,进行堵水和加固。

2) 防止地表沉降的隧道拱顶的回填注浆。

3) 隧道的地中接合技术中形成止水保护套。

4) 盾构法隧道施工中控制沉降的同步注浆及二次补注浆。

(2) 坝基防渗注浆。

(3) 各种塔基础的加固。

(4) 基岩中的断层破碎带和软弱泥化夹层处理。

(5) 混凝土建筑物的裂缝补强处理。

(6) 高大建筑物的基础加固和防止沉降。

(7) 深基坑开挖防止基底回弹;挡土墙外侧的防渗加固;防止邻近构造物的沉降。

(8) 边坡稳定加固。

(9) 桥梁和道路基础:公路、铁路和机场路道的路基稳定加固。

(10) 地下连续墙接头防渗止水。

(11) 地下工程(军事地下工程、地下停车库、地下工业厂房、地下粮库、地下油库、地下商业街和人行过街地道等)的防渗和加固。

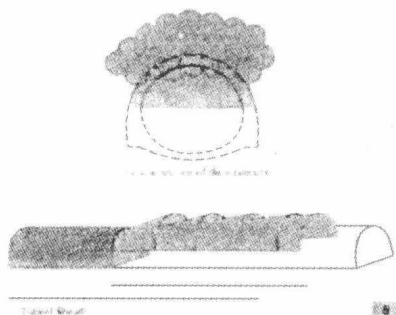


图 1-5 隧道超前预注浆

可见,注浆法广泛运用于铁路、公路及水工、隧道、矿井、地下建筑、桥梁、大坝、机场建设及高层建筑基础工程等众多领域。国内外运用注浆法获得成功的工程实例非常多。已建成的日本青函海底隧道和我国某大河流域水下隧道即运用了注浆法制服了海底或河底施工遇到的涌水和不良地层;法国巴黎地铁隧道修建时,为防止地面沉陷影响地面上古老的历史建筑,采用了注浆法来加固地层,取得良好的效果。我国的大瑶山铁路隧道、南岭铁路隧道、大秦线军都山隧道、圆梁山隧道、厦门翔安海底公路隧道以及北京

八达岭潭峪沟公路隧道等都是运用注浆法克服了大断层、岩溶淤泥及泥石流;北京地铁复八线工程,以及从 2002 年至今修建的北京地铁五号线、十号线、四号线六号线、八号线及九号线等新线工程皆在第四纪地层中修建,地层自稳能力很差,也是运用注浆法加固地层才保证了工程的顺利完成。近年来我国注浆技术有了很大的发展,应用范围越来越广。注浆法不仅用于新建地下工程加固地层、堵住漏水,而且用于处理已建成地下工程存在的变形或渗漏水缺陷,效果也十分明显。可以说,在现代隧道和地下工程施工中,注浆是修建隧道与地下工程的一项必备的辅助工法。

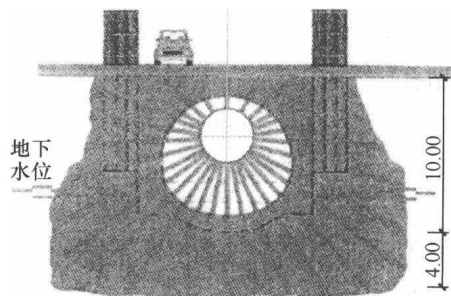


图 1-6 隧道隔水帷幕注浆

注浆法应用举例如图 1-5~图 1-12 所示。

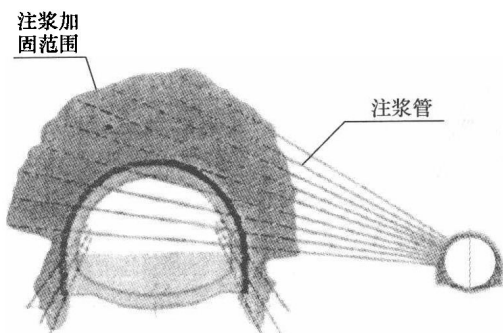


图 1-7 从平行导洞内向主隧道注浆

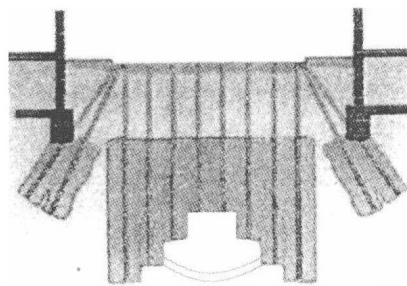


图 1-8 控制地表沉降注浆

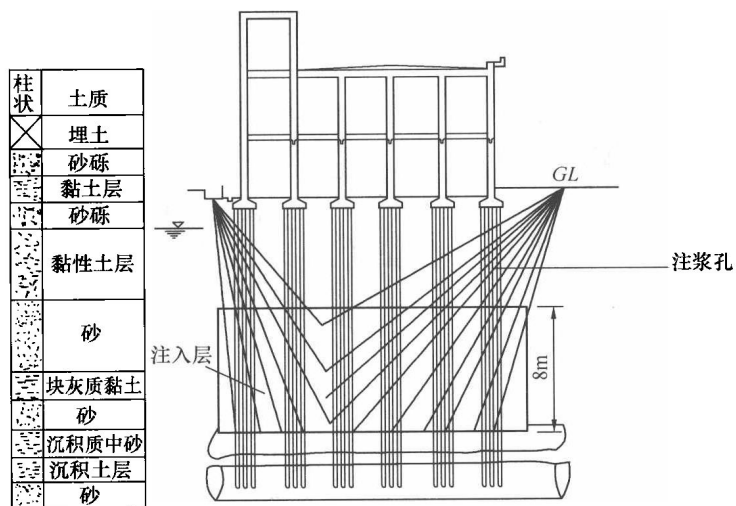


图 1-9 控制建筑物沉降变形注浆

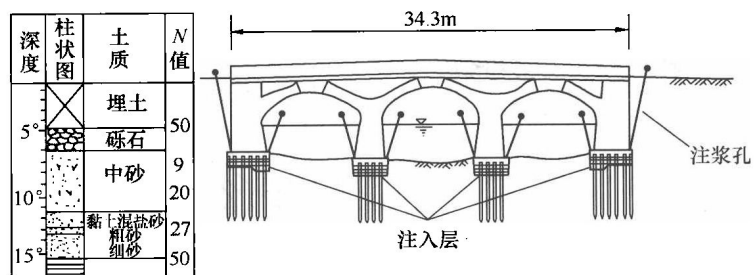


图 1-10 防止桥梁变形注浆

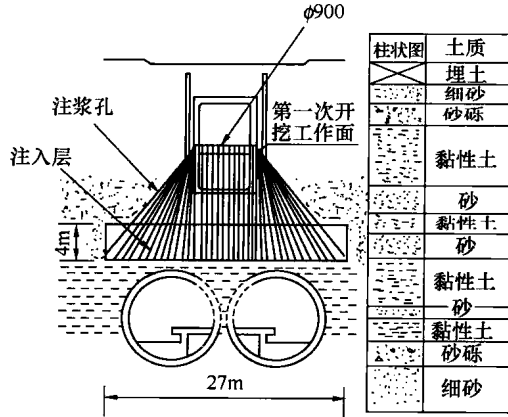
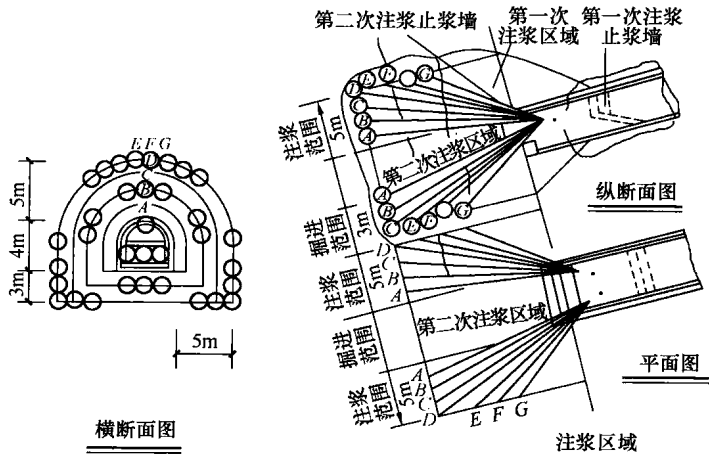
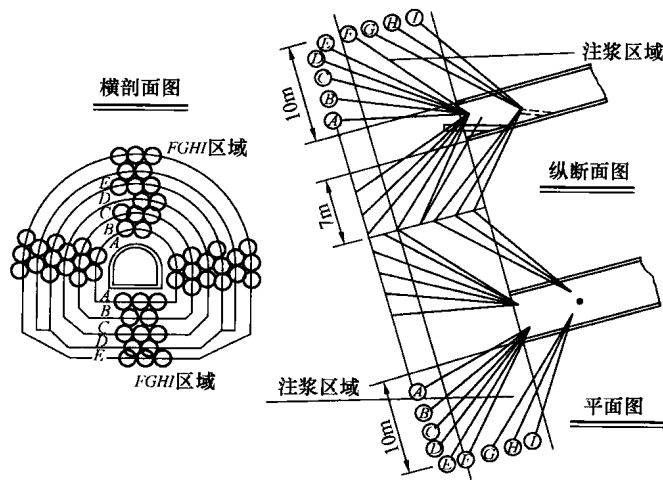


图 1-11 盾构隧道在含水砂及砂黏土修建时为防水与加固注浆



(a)



(b)

图 1-12 具有高压涌水及破碎带的条件下注浆

(a) 实例 1; (b) 实例 2

## 第 2 章 注 浆 材 料

隧道系在山体岩层、江河湖海水下岩层或在城市平原地区土层中修建。在山体岩层中，由于地壳运动，使岩层形成很多褶皱、断层、破碎带和裂隙，局部地区成为富水区，有的还有溶洞、暗河等，当隧道开挖遇到这种岩层时，其整体结构强度降低，节理裂隙的连通则增强了岩层透水性，侵蚀风化岩层、降低了岩层的力学强度。为此，需对岩层进行注浆，其目的是在拟建隧道周围一定范围内，加固岩层，提高围岩的强度，堵住地下水的通道，截断地下水流水作业面，保障施工的安全。

我国许多城市建于平原地带，从地貌上分，平原有河流堆积地貌形成的冲积平原、大片停滞水堆积地貌所形成的湖泊平原及大片构造——侵蚀地貌所形成的构造平原，以及山麓斜坡堆积地貌洪积扇、坡积裙、山前平原。北京城区平原即属永定河、温榆河、潮白河将风化物质冲泄于北京平原，三大河流自山谷流入平原后，流速减低，形成分散的漫流，流水挟带的碎屑物质开始堆积，形成由顶端（山谷出口处）向边缘缓慢倾斜的扇形地貌。洪积扇顶部堆积物颗粒粗大，且多呈三角形，中部颗粒较细，多为块石、碎石、圆砾、角砾及砂等，尾部颗粒更细，多为细砂、粉砂、粉土及粉质黏土等。

基于北京城区上述地层条件及浅层（埋深 30m）地下水较丰富，因此在城区修建隧道与地下工程必须采取恰当措施予以处理，方能保证工程安全、顺利地进行。对于含水土体固化处理，则可根据土壤的种类及其有效粒径、渗透系数  $K$  值等条件，经全面技术经济比较后选用。一般可参照图 2-1 选用。

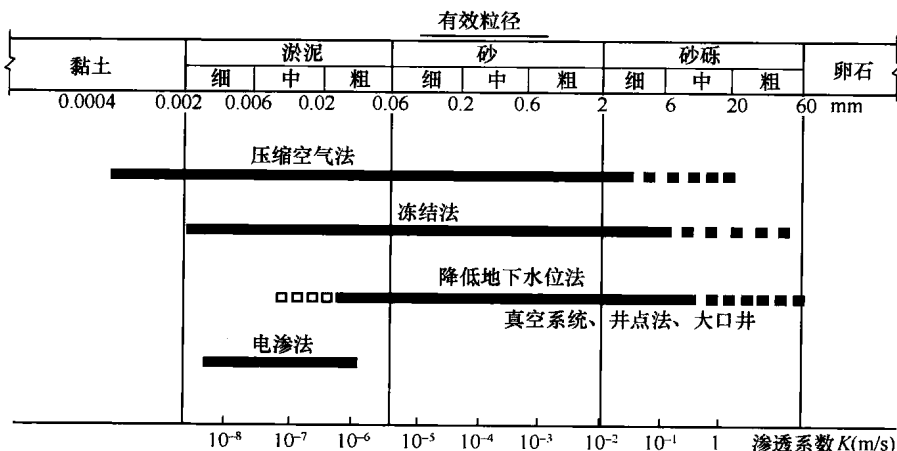


图 2-1 土工技术处理

对于采用注浆法加固土体及防水，可根据图 2-2 所示土壤种类及其有效粒径、渗透系数  $K$  值选择注浆材料。



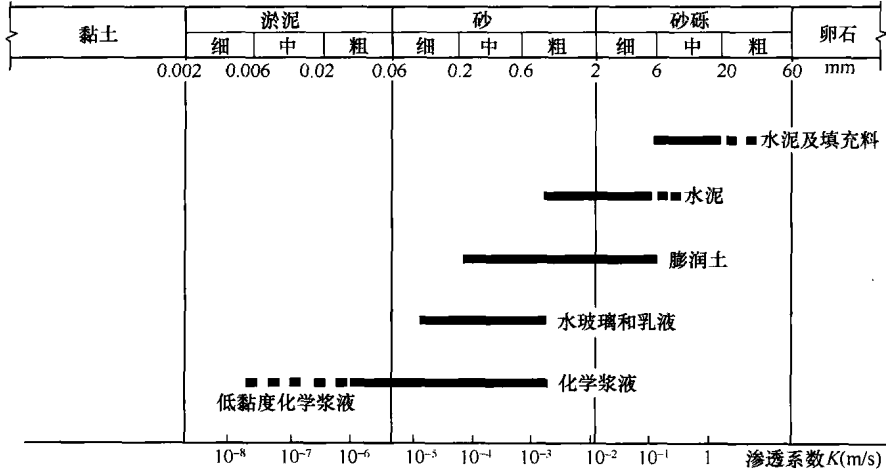


图 2-2 注浆材料的选择

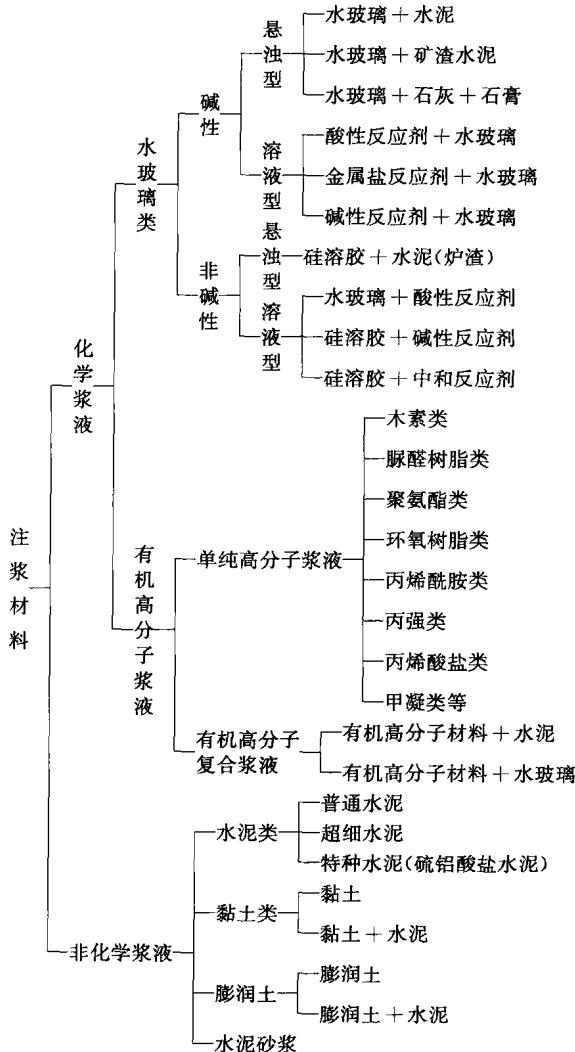


图 2-3 注浆材料分类

## 2.1 注浆材料的要求

根据隧道与地下工程所处工程地质、水文地质条件、注浆目的及注浆工艺等选择注浆材料。一般来说，对注浆材料有如下要求：

(1) 浆液黏度低、流动性好，能注入岩层细小裂隙或粉细砂层。

(2) 浆液稳定性好，能在预定时间内凝固，结石体透水性低，具有一定的抗压、抗拉强度，尤其希望结石体早期抗压、抗拉强度高，有较好的抗老化性能。

(3) 材料来源广，价格适中，配制及操作简便。

(4) 不污染环境及对操作人员无损害。

目前在注浆工程中，还难以找到一种能同时满足上述要求的材料。因此，注浆工程技术人员应熟悉各种浆材的特性，并根据注浆的目的和注浆对象条件等，选择较合理的一种浆材或几种浆材联合使用，使注浆既有效又经济合理。

## 2.2 注浆材料的分类

注浆工程中使用的浆液由主剂（主要的原材料）、溶剂（水或其他溶剂）及各种