



〔苏〕 E.П.卡尔梅柯夫

井浆技术 立注技

张永成
梁秋琴 译



55.4

TD265.4

5
3

立井注浆技术

〔苏〕 E. П. 卡尔梅柯夫

张永成 梁秋琴 译

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了采矿工业在立井施工中注浆工程的设计与施工的新方法,概述了岩石的物理性质和地下水的化学成分;分析研究了各种注浆法的特点和应用范围,选择方法;注浆孔的各种钻孔设备的技术特征、注浆液的配制设备和压注设备;列举出多种注浆材料和浆液的参考数据,确定其应用范围;提出在不同的水文地质条件下选择注浆方法的主要工艺参数和注浆工程施工方法的建议;注浆段的施工和剩余涌水处理方法。

本书可供从事采矿工业设计与施工的工程技术人员使用,也可供矿业院校和其它学校有关专业的师生参考。

责任编辑:王 闻 升

Е.П.КАЛМЫКОВ
ТАМПОНИРОВАНИЕ
ГОРНЫХ ПОРОД
ПРИ СООРУЖЕНИИ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ
МОСКВА НЕДРА 1979

立 井 注 浆 技 术

〔苏〕Е.П.卡尔梅柯夫
张永成 梁秋琴 译

*

煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平里北街21号)
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092¹/₃₂ 印张9⁷/₈
字数216千字 印数1—1,400
1986年11月第1版 1986年11月第1次印刷
书号15035·2790 定价1.65元



序 言

近年来，岩石注浆堵水在苏联矿井建设中得到了广泛应用，目前，在利用特殊法施工的立井中有55%以上采用注浆法。注浆时利用注浆液充满岩石的裂隙和孔隙，浆液凝固之后，使这些岩石的致密性增加，强度增加，防渗性提高，可以阻止水透过岩石，涌水量大为降低，有时达到完全没有涌水。

苏联和其它国家近些年在注浆工程施工工艺方面发生了许多重大变化。采用了比较合理的工艺系统，注浆孔一次钻进全深，自下而上分段注浆和在注浆孔中安放止浆装置以防浆液流入未注浆的上部含水层，钻孔和注浆平行作业。

在均质岩石中开凿立井时，注浆段的高度从15~30m增加到50~100m以上。

注浆压力从40~50增大到150~250×10⁶Pa以上。

注浆孔总数减少，同时钻注的孔数从1~2个增加到3~4个。

开始采用配比从2:1到0.6:1（水:灰，按重量比）的较浓的水泥浆以及改进浆液性能的各种附加剂、硅酸盐浆液和合成树脂浆液。

改进后的钻孔设备和注浆机组，其生产能力提高，注浆孔重复钻进的进尺和重复注浆量大为减少。

本书总结了苏联和其它国家在立井施工中含水岩层注浆的丰富经验和近年来在这方面的研究成果。

目 录

序 言

第一章 注浆法及其在立井施工中的应用	1
第一节 岩石的物理力学性质和含水的特性	1
第二节 注浆法及其使用条件	8
第三节 注浆堵水前的准备工作	11
第二章 注浆孔钻进设备	16
第一节 立井井筒工作面注浆孔钻进设备	16
第二节 地面注浆钻孔设备	21
第三节 钻具	31
第三章 浆液的配制和注浆设备	40
第一节 注浆浆液的配制设备	40
第二节 浆液的灌注设备	44
第四章 注浆材料	75
第一节 水泥	75
第二节 水	78
第三节 活性矿物附加剂	78
第四节 填料	78
第五节 速凝剂	80
第六节 缓凝剂	81
第七节 表面活性剂和消泡剂	82
第五章 浆液	84
第一节 对浆液的一般要求	84
第二节 水泥浆液	86
第三节 胶体水泥浆	93
第四节 水泥砂浆	97
第五节 粘土水泥浆	99

第六节	含盐岩层注浆堵水用浆液	101
第七节	改善浆液性能的附加剂	104
第八节	硅酸盐类浆液	107
第九节	合成树脂浆液	109
第十节	配制浆液时各种成分的计算	116
第六章	现代注浆方法与工艺流程	120
第一节	注浆方法	120
第二节	注浆方法的选择	124
第三节	地面预注浆的注浆方式	125
第四节	井筒工作面的预注浆方式	133
第五节	坚硬含水岩层注浆方式的分类	139
第六节	立井施工时的注浆段高	143
第七章	地面预注浆	149
第一节	施工组织	149
第二节	注浆孔的布置、孔数和孔间距	150
第三节	环形注浆帷幕的计算	156
第四节	注浆孔的钻进	164
第五节	钻机效率	172
第六节	钻进时钻孔偏斜的预防措施和纠正方法	174
第七节	注浆前钻孔准备	177
第八节	注浆方式	180
第九节	注浆	185
第十节	注浆压力	191
第十一节	注浆质量检查	196
第十二节	地面预注浆实例	197
第十三节	孔隙性含水岩层的注浆	204
第八章	井筒工作面预注浆	209
第一节	施工组织	209
第二节	止浆垫的结构	211

第三节	普通止浆垫的计算	214
第四节	止浆岩帽的计算	231
第五节	止浆垫的施工	233
第六节	注浆孔的布置、孔数及孔间距	238
第七节	注浆孔钻进和注浆前的准备	243
第八节	孔内注浆	248
第九节	立井工作面注浆效果的检查	252
第十节	井筒工作面预注浆工程实例	253
第九章	后注浆	269
第一节	后注浆的用途和施工组织	269
第二节	注浆孔布置、孔数和孔间距	271
第三节	后注浆方式	274
第四节	注浆孔钻进	280
第五节	注浆	281
第六节	注浆压力	285
第七节	后注浆质量检查	288
第八节	后注浆实例	289
第十章	注浆段的立井井筒施工	295
第一节	施工组织	295
第二节	挖掘岩石	297
第三节	砌筑永久井壁	298
第四节	立井井筒剩余涌水的处理方法	301
参考文献		306

第一章 注浆法及其在立井 施工中的应用

第一节 岩石的物理力学性质和含水的特性

在岩石注浆中，岩石的主要物理性质具有重要意义。这些性质是强度、裂隙率、孔隙率、渗透性、遇水软化性和颗粒构成等。

坚硬岩石的特点是机械强度高。它们的抗压强度波动范围很广。不同岩石的抗压强度范围如下($\times 10^5 \text{N/m}^2$)：

花岗岩	1000~3500
玄武岩	1000~4000
正长岩和闪长岩	1000~3000
辉长岩	800~3500
斑 岩	1300~2400
辉绿岩	1300~3100
粗面岩	600~2600
片麻岩	800~3200
石英岩	1400~4500
大理石	400~1600
结晶页岩	600~2000
泥质页岩	200~800
沙质页岩	400~1000
蛇纹岩	600~1200
砂 岩	400~1800
石页岩	400~2000
硬石膏	300~1200

石 膏	200~500
泥灰岩	200~400
白 垩	100~300
无烟煤	150~350
煤	50~200

疏松和松软岩石的矿物颗粒之间胶结很差，其胶结程度主要取决于水分及其含量，这种岩石可能处于固态、塑性状态、甚至是流动状态。其抗压强度不大于 $50 \times 10^5 \text{N/m}^2$ 。

硬岩、疏松和松软岩石，在未开采的矿体中具有各种不同的裂隙、孔隙和空洞。岩石中裂隙和空洞的大小可能有很大的不同，从极微细的到很大的溶洞。根据不同的岩相组成，几种岩石的裂隙率和孔隙率占总体积的百分比变化范围如下：

花岗岩、片麻岩、辉绿岩	
辉长岩、石英岩	
玄武岩、斑岩	0.3~1.9
结晶页岩	0.5~7.5
石灰岩和白云石	3~14
大理石	0.5~13
泥质页岩	3~11
砂质页岩	3.5~13.5
砂 岩	3.5~17
泥页岩和白垩	3.5~35
蛋白土	30~35
泥灰岩	50~60
砾 石	35~45
沙	30~45
粘 土	45~55
沙质粘土	40~55

从上面数据看出，硬岩的孔隙率比疏松岩石小的多。但是，也应该注意到，某些硬岩，像砂岩和石灰岩的孔隙率在个别情况下，也可达到25~30%。

由于生成条件不同，岩石中的裂隙可能呈水平分布，也可能呈倾斜或者垂直分布。

裂隙的长度从几厘米到数百米。裂隙宽度（开度）变化范围也很大，从百分之几毫米到数米。

H. Γ. 特鲁巴克教授将岩石中的裂隙根据其开度分为五类（表1）。

表 1

裂 隙 分 类	裂 隙	裂 缝 开 度, mm
I	微细	0.01~1.00
II	微小	1.00~5.00
III	中	5.00~20.00
IV	小	20.00~100.00
V	极大	100.00以上

单个裂隙在岩石中比较少见，通常，裂隙是成组形成的，而且分布面积很广。裂隙的间距，从几毫米到数十米。在较大裂隙缝上还伴随有次生的细裂隙。

通常，岩石中的裂缝群在很大面积上是互相沟通的。但是，有时也有互不连通的单个裂缝或几组裂缝，这就使注浆复杂化。

岩石中的裂缝常常是敞开的没有被次生物质所填塞，但有的却被填塞物质所封堵。

在某些可能被水浸溶和溶解的坚固岩石中（如石灰岩、白云石、泥灰岩、白垩、硬石膏、大理石、弱胶结的砂岩

等), 由于长期受水的作用, 形成大面积的和很深的喀斯特溶洞, 直径可从几十厘米到数十米, 容积达到几十万米³。喀斯特溶洞还常被次生的沙质粘土填满, 给立井施工造成很大困难。

岩石裂隙率和孔隙率在很大程度上决定了岩石的物理力学性质和含水的特性。

由于岩石的孔隙率和裂隙率不同, 颗粒构成和矿物成份不同, 岩石具有各种不同的含水特性。这些特性是含水量, 出水率、吸水率、透水性、软化性和可溶性等。

含水量系指岩石在其裂缝和孔隙中能容纳的水量并在重力作用下, 水可以自由流出的情况下能保留的水量。

岩石的总含水量与岩石中全部裂隙和孔隙的容积有关, 并以占岩石总体积的百分比表示。

出水率, 系指饱含水的岩石在有自由经流的情况下从裂缝和孔隙中能流出的部分水量 (重力水)。

出水率在数量上等于岩石的活性孔隙率。它表明岩石中游离的 (非结合的) 重力水含量, 用占岩石总体积的百分比表示。

不同的岩石具有不同的出水率。砾岩和粗砂岩中的含水几乎能从其孔隙和空洞中全部流出来。裂隙岩石和喀斯特溶岩中的水也几乎是全部流出。

与此同时, 粘土质岩石的孔隙率为50~55%, 其孔隙中处于非游离状态的水, 几乎流不出, 并全部保留在孔隙中。

吸水率, 指岩石吸水的能力。自由吸入水的重量与干岩石重量之比, 决定吸水率的大小。

透水性即岩石的透水 (渗透) 能力。透水性主要取决于裂隙和孔隙的形状、大小, 及其在单位岩石体积中的数量。

岩石中的裂隙和孔隙的体积越大，岩石的透水性越高。当岩石的裂隙和孔隙为微细和细小时，岩石的透水性就明显降低；粘土中孔隙的截面是极小的，虽然其体积达到50~55%，但实际上透水性等于零。

岩石的透水性用渗透系数表示，测量单位为cm/s，m/h和m/d。通过抽水试验和压水试验确定岩石的透水性。

软化性是指某些岩石在水的作用下不破裂，而本身强度降低的性能。软化性用软化系数表示，该系数代表岩石在饱和水状态时的极限抗压强度与岩石充水之前干燥状态时的极限强度之比。

一些岩石潮湿后强度降低的情况见表2。

表 2

岩 石 种 类	潮湿岩石的极限强度与干燥时的极限强度之比	
	变 化 范 围	平 均
花岗石	0.91~0.96	0.94
斑岩、闪长岩	0.88~0.91	0.90
玄武岩	0.80~0.95	0.83
石灰岩	0.72~0.91	0.81
砂 岩	0.55~0.90	0.72
粉砂岩	0.54~0.75	0.67
泥板岩	0.40~0.75	0.55

应该指出，有些岩石在潮湿和泡涨时其强度损失比表2中列出的数值要大的多。

例如，根据西顿巴斯矿井岩石的试验数据，从干燥状态到饱和水状态岩石极限强度的损失，砂岩为38%，粉砂岩为26%，泥板岩为22%。

可溶性即指有些岩石和矿物（石灰岩、白云石、硬石

膏、石膏、盐等), 遇水后溶解于水, 使裂隙扩大并形成水洞和喀斯特溶洞的性质。

所有坚硬的, 松散的和软弱的岩石均被划分为透水性岩石和不透水性岩石。

透水性岩石的特征是在岩石中有孔隙、空洞、裂隙和喀斯特溶洞, 水可以在其中自由流动, 而且还能让水通过(渗透)。松散不胶结的岩石(砾石、卵石、沙子等)、硬岩(坚硬裂隙岩石和喀斯特溶洞均属于这种透水性岩石。

不透水性岩石的特征是岩石中不存在透水的空洞和裂隙。疏松的(粘土等), 没有裂缝和孔隙的硬岩以及致密坚硬岩石均属此类。

岩石中的裂隙和孔隙当被地下水充满并形成地下含水层时就会给立井施工造成很大困难。在疏松未胶结的含水岩层中间以及有裂隙的坚硬含水岩层中间, 常常有大面积的不透水性层, 把含水层分成几个单独的含水层。

根据含水层的水力状态, 分为承压含水层(其水平面高于含水层的标高)和无压含水层(其水平面低于含水层的标高)。

各个含水层常常通过裂隙和构造断层而互相沟通, 在下部含水层中形成有高水压的地下水域。

经过多次观测确认, 上部含水层的水力补给靠大气降水和地表水潜入、渗透和集聚而得到的。

潜入即重力水流入地下含水层。在暴雨和春讯期顺着裂隙、喀斯特溶洞和塌陷区潜入地下。

渗透就是水从地面沉积物和地面水域中经过坚硬岩石的小裂隙渗透到地下含水层中。地表水渗透是地下含水层最丰富的水源。

水蒸气冷却时渗入岩石的裂隙和孔隙而聚集起来，这也是地下含水层的水源之一。

深部含水层的水力补给常常是上部含水层的水经裂隙和构造断层溢入而来的。

地下含水层和地下水域中的水可分为地下静储量（这种水贮存在这些含水岩层和水域里的裂隙、孔隙和空洞之中）和地下动储量（这种水是从水源区流入含水岩层和水域之中）。

地下静水储量使巷道常发生最大的涌水，随着水的流出、涌水量逐渐减少，当地下静水储量全部流尽时涌水量就是动水补给量。

当有些含水层没有水源补给时，巷道的涌水量就逐渐减少，直到地下静水储量全部耗尽。

地下水的物理性质和化学成份是千差万别的。关系最大的是水的侵蚀性。对于水泥来说，常发生的有硫酸盐侵蚀、二氧化碳侵蚀、溶侵以及酸和镁侵蚀等。

当地下水中的硫酸盐（ SO_4^{2-} ）含量高时，出现硫酸盐侵蚀，这时，水泥结石中发生化合物结晶作用，并形成石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ），使体积增大一倍，生成硫铝酸钙时，体积增大1.5倍。这种变化导致水泥结石破裂。

二氧化碳侵蚀，受到这种侵蚀时发生溶解作用，把溶于水中的组成水泥的主要部分——石灰石（ CaCO_3 ）从结石中冲刷出来，这样就使水泥结石强度降低并促使其破坏。

溶侵是在水中 HCO_3^- 含量低的情况下出现的。受到这种侵蚀时，和前面的情况一样，水将水泥结石中的石灰石溶解后并将其冲刷出来，这样就使水泥结石的强度和密实性降低，进而使其破坏。

酸侵蚀的特点是在某些地下水中氢离子指数的含量低，

$\text{pH} \leq 5$ 。在这种情况下，水泥结石中的石灰石 (CaCO_3) 被水加速溶解，这就导致水泥结石密实性和强度降低，随后破坏。

镁侵蚀是在水中Mg含量增加时出现的。这时，水泥结石中发生化合物结晶作用，并生成导致其破坏的石膏和硫酸钙。

立井施工中井筒最常穿过的含水岩层是裂隙砂岩、裂隙灰岩和喀斯特石灰岩、熔侵岩石和砾岩等，这些岩层的涌水量达到 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 以上。因此，在这些岩层中开凿立井就需要特殊凿井法。

第二节 注浆法及其使用条件

在一定的压力之下，人们利用浆液充塞岩层中的裂隙、孔隙和空洞，灌注之后促其能够密实和凝固并使岩层具有较高的强度、密实性和不透水性，这种方法称为注浆法。

按照经注浆孔向含水岩层中灌注的主要材料分类，注浆法可分为：水泥注浆法，粘土注浆法，沥青注浆法，硅化法和树脂法。

在立井施工中采用水泥注浆法、硅化法和树脂法使井筒周围的含水岩层增加强度和不透水性，而使用粘土注浆和沥青法只能使其增加不透水性。

目前，在矿井建设中，按立井施工时不同的地质和水文地质条件，分别采用下面的注浆方法：

在坚硬的大裂隙、中细裂隙和细裂隙含水岩层中以及含水溶洞中，采用水泥、粘土和热融沥青注浆法，

在坚硬的细裂隙和孔隙含水岩层中采用硅化法和树脂法；

在大颗粒未胶结的砾石、小卵石含水岩层中采用水泥、粘土和热融沥青注浆法；

在松散未胶结小颗粒的含水砂质岩层中采用硅化法和树脂法。

在许多情况下，含水岩层的地质和水文地质条件很复杂，采用混合方法，例如：对细小的、中细的和大裂隙岩层用水泥注浆法，对细裂隙和孔隙性岩层等则用硅化法和树脂法。

在矿山立井井筒施工中水泥注浆法是最成熟和最广泛的方法。

这种方法的主要优点在于工艺简单，使用方便和工程可靠性高等。此外，采用这种方法比沥青法、硅化法和树脂法更经济，因此，只有在不适合使用水泥注浆法的地质和水文地质条件下才建议采用其他几种方法。

采用水泥注浆法，就是在一定压力下把没有掺料的水泥浆经钻孔灌注到岩石的裂隙、孔隙和空隙中，或者往水泥浆中添加各种掺料，在浆液凝固之后能使岩石密实和得到加固。

在裂隙开度大于0.1mm的坚硬含水岩层和在任何静水压力下岩层水的渗透速度小于600 m/d情况下注浆时，最适合应用水泥注浆法。

苏联在乌拉尔煤矿井筒施工时初次研究和采用了粘土注浆法。采用这种方法，就是在一定压力之下通过注浆孔往含水岩层的裂隙和空隙中灌注粘土或粘土水泥悬浮浆液，在其中掺入能改善浆液性质，使其加快凝胶速度的附加剂。当立井井筒周围的岩石只要求具有不透水性而不需要加固时或由于大裂隙和空隙耗用大量水泥而采用水泥注浆法不经济时，或

地下水对水泥有严重侵蚀时，最适合采用粘土注浆法。

粘土注浆法的缺点在于需要比水泥注浆法的注浆压力高出 $15\sim 20\times 10^5\text{Pa}$ 。粘土注浆法不能加固井筒周围的岩层、而且在地下高压水冲刷下，使粘土堵截水流的持久性降低。

热融沥青法是在立井井筒施工中为了使裂缝岩石和大块的砂砾性含水层具有不透水性而采用的一种方法。

利用这种方法，在压力作用下通过钻孔把加热到 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的沥青注入含水岩层的裂隙和空穴中。为保持很高的温度，在灌注沥青时在钻孔中使用专门的电热装置。

热融沥青法的特点是能够在地下水每天超过 600 m 的高速渗透条件下能较好的使用并对地下水有增强耐侵蚀的作用。这种方法的缺点是在地下静水压力长期作用下很容易产生塑性变形（流动）；沥青不易被压注到岩层的小裂隙中去而且使用的设备既笨重又复杂。

在有裂隙的大碎块岩层中，而地下水渗透速度又很快并有强侵蚀性，其裂隙开度大于 0.2 mm 和静水压力小于 $3\sim 4\times 10^5\text{ Pa}$ 条件下掘进浅立井井筒时适合采用热融沥青法。

在立井井筒施工中，为了使细裂隙和孔隙性含水岩层及松散小碎块砂质含水岩层具有不透水性和得到加固，可采用硅化法。这种方法在于通过注浆孔在压力作用下向含水岩层的裂隙和孔隙中注入两种或一种能凝结和固化的化学浆液，使岩层具有较大的致密性和不透水性。

采用双液硅化法时，轮流往岩层的裂隙和孔隙中灌注水玻璃液和氯化钙浆液。采用单液硅化法则注入水玻璃并添加磷酸或氟硅酸。

从液态变为凝胶状的凝胶时间按照浆液的不同配比和浓度，变化范围为 $1\sim 16\text{ h}$ 。