

〔苏〕 B. B. 达维道夫
Ю. М. 别罗索夫

加固矿山的 岩层的 化学方法

5.4

煤炭工业出版社

7D268.4
33

加固矿山岩层的化学方法

〔苏〕B.B.达维道夫

Ю.И.别罗索夫

樊永凤 梁秋琴 段振西 译
段振西 王耀林 李家鳌 校

地质工业出版社

内 容 提 要

书中叙述了化学法加固岩层的现状、经验和使用范围。介绍了树脂浆液的性质,被加固介质和注浆方法对浆液在各种不同渗透性岩石中分布特征的影响,提出了确定工艺参数的公式和图表。

论述化学法加固岩石对机械化施工与设备的要求,并列出了选择与应用的实例。同时,提出了在回采巷道和准备巷道用专用成套设备加固岩层在技术上的可能性与经济效益。

本书可供矿业工程技术人员在开凿巷道以及交通、铁道、建筑、水利等部门,在复杂的地质条件下(如泉水,岩层破碎等),开凿地下铁道、隧道和其他地下建筑时参考。

В.В.Давыдов

Ю.И.Белоусов

ХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ
УКРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
Издательство «Недра», 1977

*

加固矿山岩层的化学方法

樊永凤 梁秋琴 段振西 译

段振西 王耀林 李家鳌 校

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16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 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $6^{1/2}$

字数 142 千字 印数1—2,100

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

书号15035·2400 定价0.70元

序 言 (摘译)

化学方法是加固岩层有效方法之一，即把化学浆液注入加固岩层中去的方法。

用化学浆液加固岩层，在苏联已进行广泛的研究。其中，A.A.斯阔琴斯基矿业研究所制成了国内最普通的碳酰胺树脂为基础的浆液。用这种浆液做的砂子试样，抗压极限强度达到112公斤/厘米²，渗透系数降低到 0.0023×10^{-6} 厘米/秒。所获得的化学浆液组成物，是在阿列克山德里斯克№2-3矿斜井掘进中和十月革命50周年矿井、洛夫斯克与安特拉钦特矿井等生产条件下，对加固采场不稳定岩层进行试验得出的。往岩层中注入的浆液是以MΦΦA和MΦ-17树脂为主要成分制成的。

在不稳定岩层内采煤，回采速度要降低1/2~1/3，这即导致煤产量减少，技术经济指标下降和生产事故增多。

在回采工作面加固不稳定岩层的试验表明，化学法同金属锚杆相比较，采煤劳动量减少7~10%，而吨煤成本下降0.2卢布。

化学法加固围岩的广泛应用，也可减少井巷掘进及其他工程的涌水量。

利用合成树脂加固煤层和减少煤层瓦斯突然喷出的危险，也正在受到重视。

在国外，化学法事实上也同样获得广泛使用。目前，美国、日本、英国、西德及其他国家，都有为加固岩层与煤层

制造浆液和设备的厂商。在大多数情况下，采用的是丙烯氨基化合物、环氧树脂、聚氨基甲酸乙酯和氧化镁等为主的浆液。注入树脂是为了提高煤岩强度，和在煤岩颗粒和裂缝很小以及 pH 值小于 7 时，减少其透水性，即在不能使用水泥的情况下，而使用树脂的。在工作面伪顶、采场与巷道交岔点、破碎性岩柱以及其他地方，都可以对岩层进行加固。

在国外，化学加固方法已普遍使用。其中，法国在1974年仅加固伪顶岩层就注入了5500吨浆液，西德仅萨尔煤田矿井于1971~1974年间使用一万吨浆液，英国在1973年用了二千吨。

作者在书中总结了国内外实践经验，提出用化学法加固岩层在技术上的可能性和经济上的效果。由于化学的飞跃发展，化学法加固岩层必将获得广泛的应用。

目 录

序 言

第一章 矿山岩层加固概况	1
1. 矿山岩层加固的方法	1
2. 化学法加固矿山岩层	2
第二章 浆液的主要性质	11
1. 化学浆液概述	11
2. 凝固	16
3. 粘度	31
4. 改变岩石强度特征的能力	39
5. 降低岩石透水性的能力	59
第三章 化学方法加固岩层的施工工艺和参数	75
1. 施工工艺	75
2. 化学浆液的注入方法	79
3. 细粒岩层中注入化学浆液时工艺参数的研究	84
4. 细裂隙岩层化学注浆时工艺参数的研究	99
5. 化学加固的施工工艺	121
第四章 化学加固岩层的设备	155
1. 化学加固岩层对设备的基本要求	156
2. 钻注浆孔的设备	162
3. 拌制和注入化学浆液的设备	164
4. 注浆器和加固岩层工作机械化的设备	172
5. 检测仪表	176
6. 往岩层中注入加固浆液的设备	183
7. 加固岩层的综合设备	187
译 后	200
参考文献	201

第一章 矿山岩层加固概况

1. 矿山岩层加固的方法

当修建和掘进矿山巷道时，必须预先加固岩层的情况是经常发生的事。每年在煤炭和其它采矿部门以及交通、水利和城市地下建筑，在复杂的地质条件下，超过4公里的立井井筒都采用特殊施工法。

在掘进水平巷道、地下铁道、隧道和其它城市地下建筑都采用特殊施工法。

将有许多用特殊法施工的矿山工程，其中有雅可夫斯克矿山摩尔斯克磁力异常区的建设、新的钾矿联合企业的建设、莫斯科近郊的和顿巴斯煤田的矿井建设、诺里利斯克矿井联合企业的建设等。

目前，国内外加固岩层所采用的方法有：水泥注浆法、砂化法、冻结法、粘土注浆、沥青注浆、喷浆、电化学法和热力加固法及其它。在个别情况下，使用合成树脂加固岩石的方法。这些方法中的每一种都具有其使用的范围。

在发展和改进岩层加固方面，许多研究单位都作出了很大成就。其中有地基与结构研究所，A.A.斯阔琴斯基矿业研究所，全苏矿井建设施工组织与机械化研究所，以及科学家H.Г.特鲁巴克、B.A.拉尼钦、Г.И.曼科夫斯基、Г.М.洛米捷、A.H.阿达莫维奇等。

水泥注浆法胶结岩石是在含水岩层中开挖巷道时，加固

不稳定岩层和破碎岩石条件下使用的，并按照 H.Γ.特鲁巴克教授的资料，当裂隙性岩石中的裂缝宽度大于0.15~0.20毫米的条件下才有效。对于粒径小于0.8毫米的孔隙性岩石，水泥注浆法是没有作用的。根据 B.C.沃洛布耶夫的资料，在顿巴斯煤田于各种不同深度含水层中开凿井筒时，用不同技术方案进行水泥预注浆法，积累了丰富的经验。水泥注浆的工程质量，在一些情况下是很高的，达到90%以上，有时，在井筒开凿中，相当大的涌水完全可以堵住。

分析顿涅茨-莫斯科和顿巴斯的红军区矿井采用水泥预注浆胶结井筒的经验表明，在一些情况下，穿过几个含水砂岩层是达不到良好指标的。

N_8S 、 N_1S 和 n_1S 层砂岩属于第一类，分布深度达200~250米。不同粒度砂岩层厚度的变化从20到120米。由这些岩层涌入井筒的水量达80~250米³/小时。

水文地质研究证明，这些含水层通常在含水砂岩和粘土层的覆盖沉积层之下，有很大的贯通面积，并且通过风化裂隙与它有直接的联系。这种情况，是靠覆盖层的贮水而经常引起砂岩的渗透。

m_8Sm_9 、 $m_6^2Sm_7$ 、 $M_7Sm_6^2$ 等上部的含水砂岩属于第二类矿山岩层，仅局部可以使用水泥注浆法。这一类矿山岩石是孔隙小的石英砂岩，其厚度变化从7.5到50米，涌水量达50米³/小时。通常，砂岩水的静水压头达60公斤/厘米²。

全苏矿井建设施工组织与机械化研究所进行的研究指出：上述岩层由于微细孔隙结构的缘故，不能使用水泥注浆法。

2. 化学法加固矿山岩层

化学工业的成就，出现了具有足够强度的高粘结性和防

水的有机化合物，使得拟定并且开始应用合成树脂浆液的新方法去加固细颗粒和微裂隙岩石成为可能。

这种方法是以合成树脂浆液在硬化作用下形成的坚固而不透水的化合物为基础的，它把岩块同完整的岩体粘结在一起。

在苏联，以Б.А.拉尼钦为首的一些学者于1931年实现了砂子粘土的矽化法，并在1933年应用这种方法修建了马格尼托哥尔斯克水坝横堤。

碳酰胺树脂是1954年在我国首次使用的，当时Д.И.门捷列夫莫斯科化学工艺研究所同石油天然气科学研究所，在Т.С.彼得罗夫的领导下通过在石油钻孔中设置不透水障，对分隔层状水开始了研究。为了加固岩层，使用初始粘度为30~60厘泊的《固化剂M》碳酰胺树脂，并且使用盐酸作为固化剂。被注入的混合液浓度pH值配成4.5~5，注浆后砂岩的透水性减少了98%。确定树脂同各种固化剂的凝固时间的经验表明，盐酸、草酸及其他种酸都是有效的固化剂。

从1956年起，地基与地下建筑科学研究所 在Б.А.拉尼钦、В.В.阿斯科克拉诺夫和В.Е.索科洛维奇的领导下，进行了碳酰胺树脂浆液固结砂子的研究。

全苏水利科学研究所借助于糠醇和糠醛甲醛进行水利建筑中加固砂子地基的实验研究。根据В.К.巴乌谢夫的资料，加固砂子试样的浆液成分如下：糠醇70%，糠醛甲醛5%，24%的硫酸苯（25%）的水溶液。七天令期的强度是113公斤/厘米²和198公斤/厘米²。

化学法加固矿山岩石的理论与试验研究，在Н.Г.特鲁巴克、А.Н.阿达莫维奇、Б.А.拉尼钦、В.В.阿斯科克拉诺夫、И.Н.瓦赫洛米夫、Т.С.卡拉菲洛夫、Г.И.曼科

夫斯基、B.B.达维道夫、Я.И.巴尔巴卡及其他著作中有广泛的阐述。

侵蚀性介质对于化学法加固的耐久性影响，B.A.拉尼钦、H.A.布列斯肯诺、E.C.查里科夫等进行了研究。降低加固浆液价格的可能性和固化剂对于胶凝的影响，这在H.И.别辽维奇诺、T.B.穆希诺及其他人的著作中做了阐述。

由于Л.И.门捷列夫化学工艺研究所、地基与地下建筑科学研究所、全苏水力采煤科学研究设计院、A.A.斯阔琴斯基矿业研究所、全苏矿井建设施工组织与机械化研究所及其他组织进行研究的结果，而提出了大量的配方和应用于岩石加固的可能性。

一系列工程实践证明，使用化学浆液可以大大提高岩石强度，增强岩石的不透水性。

在B.B.沙保尔塔斯、B.B.达维道夫和其他人的著作中，是阐述关于在地下条件使用化学浆液的首批经验之一，其中指出，当加固阿列克山德里斯卡亚矿№2~3号斜井井筒稳定性较差的砂层时，使用MΦΦA树脂，作为含草酸的固化剂使用。

Г.Д.丘波鲁诺夫探讨了现有的加固岩石方法后提出使用树脂浆液的可能性，并发现树脂浆液在采矿工业中有很大的应用前途。

B.Φ.别辽耶夫和A.B.帕斯托洛夫研究机械方法和物理化学方法加固岩石时，对于合成树脂加固岩体给予极大的注意。作者认为：廉价的原料和制造碳酰胺树脂的工艺是广泛应用于岩石加固的先决条件。

B.C.托姆考维奇、H.Φ.安德烈耶夫和其他人，对于具

有高度的并能够堵塞岩石裂缝的合成树脂使用的合理性与效果作了论证，并提出改变注浆过程中凝固时间的问题。

П.П.冈恰鲁克、Ю.Т.克里缅科、М.Э.卡冈诺维奇、Ю.А.拉乌欣和Н.Т.法捷耶夫等，提出在含水砂质岩层中开挖斜井实际使用МФ-17树脂浆液加固化学方法的优点。

浆液是在地面拌制的，并用НГР-250/50型泵将浆液压至井筒工作面。往岩石中注浆使用穿过止浆垫的、直径25毫米、长1米的注浆器。用事先配制好按一定时间凝固的浆液，并沿管路送往井筒工作面等项施工工艺。正如作者所说，注浆压力不超过6~8公斤/厘米²，并在注入过程中降为2.5~3公斤/厘米²，此时浆液消耗量平均为2.4米³。加固6米长井筒，用了25个班的时间，耗用34.9米³浆液。

用МФ-17树脂浆液加固准备巷道周围的煤层，以提高其稳定性，这在О.В.季莫费耶夫和И.Г.谢里霍夫的著作中有记载，其中叙述了在克拉斯诺高尔斯克矿井使用НШ-10型泵向Ⅳ号煤层破碎带进行注浆的过程。提出在此情况下改变注浆过程单位时间的浆液流量和注浆压力，并论述必须使用能调节注浆参数的设备。

开挖浅地铁隧道时，使用KM与M-2碳酰胺树脂加5%盐酸溶液加固表土的经验，在В.М.科罗列夫、П.А.普洛斯托夫和В.П.萨莫依洛夫的著作中已有叙述。

用碳酰胺树脂加固含水砂层，在С.А.马里沙克和В.П.萨莫依洛夫的著作中已有介绍。作者描述在p河下加固隧道时，使用树脂浆液加固含水砂层的经验。使用ЛК-4Б型泵往每个注浆器压浆，为了操纵注浆器而使用液压千斤顶。

А.П.卡涅维兹在用МФ-17树脂加固巷道围岩的实例中指出，用化学方法充填岩体裂隙对于防止跑浆和浆液凝固前

保持孔内压力有很大效果。但是，作者没有给出设备选择的建议。

在莫斯科沃列茨克区汽车工厂与纳加吉诺车站之间，建设地下铁路隧道时，必须直接建于工厂建筑物、变电所以及铁路线的下面。

为了保护建筑物和保证工厂的正常生产。在修筑隧道期间，必须采用化学加固方法。

采用这种方法能够在工业建筑物下面掘进隧道，但由于缺乏成套施工设备——插入和取出注浆器、拌制混合浆液、检查加固参数等；工程进度受到阻碍。

对注浆器的要求是：结构简单，使用方便；能多次使用，坚固；一次安装能注满整个加固厚度，或能连续注浆；不堵塞并能冲洗。

H.T.法捷耶夫认为，在松软岩层中注浆器插入深度超过10米时，必须在全部深度内用预先钻孔的冲刷法或打钻孔和插入注浆器同时进行，并准备插注浆器和注浆平行作业的装置。

A.Π.帕尔菲诺夫和P.C.彼尔米诺夫研究钾矿和盐矿巷道防水问题后认为，为保障这种矿井的安全，必须注入能可靠地防止浸蚀性介质向巷道渗透。

作者根据研究指出，作为防浸蚀的注浆材料，可以使用很粘的丙烯酰胺溶液为主的化合物。

这种浆液，在工业中曾用于斯杰布尼科夫斯克钾矿一条巷道，防止盐性水渗透。使用中，控制触媒剂和促进剂的数量，可使初始凝固时间在10分钟到2.5小时之间。

化学浆液的高渗透性和在规定时间内凝固，使得在预防煤层瓦斯方面找到了新的方法。按照A.H.雅科夫列夫的资

料，在无烟煤矿工煤炭公司共产主义者矿井，曾以高压泵把掺促进剂的能由液态变为固态的高分子化合物浆液注入了1.45米厚的煤层。此时，瓦斯逸散和部分瓦斯的解吸作用，打破了瓦斯-煤系统的平衡。加固范围被浆液充满后凝固，占据岩层孔隙，从而微细孔隙被堵塞。浆液固体隔绝了瓦斯主要吸附范围和通道。

Л.С.库加耶夫、B.A.柳耶夫和其他人认为，掘进分段平巷时，用化学浆液加固有爆炸危险的煤层是可能的，而且是合理的。

顿巴斯中央区，随着急倾斜煤层开采深度的增加，瓦斯的动态活性也增加。经证明，煤层产生气动力作用，初步近似地可用下列物理性质表达：

$$\Pi = \frac{\sigma_p X}{\beta E}$$

式中 σ_p ——煤抗断极限强度，公斤/厘米²；

X ——塑性系数；

β ——瓦斯线性收缩系数；

E ——弹性模量，公斤/厘米²。

增加煤层强度和可塑性，改变煤层综合力学指标及减少瓦斯线性收缩系数，可降低瓦斯动力活性。增加煤层结构的坚固性，是控制煤层物理性质的方法之一。

国外有很多化学浆液加固岩层的实例。

美洲氰胺公司出的AM-9浆液是国外广泛使用的一种。

美国苏利宛城附近的矿井开拓中曾经遇到含水砂岩层，其埋深350米，厚度4.5~6米，细小裂缝，孔隙率10%。采用AM-9聚合物浆液化学方法加固，注浆压力79~86公斤/厘米²。

加拿大一个矿井在裂隙性岩层中开凿平巷，使用水泥注浆未能取得满意的结果。改用AM-9浆液，凝固时间由3分钟到30分钟，以70公斤/厘米²压力进行注浆取得了成功。

为了减少打钻时钻孔涌水，也可使用AM-9浆液；这时注浆是在孔壁与钻杆之间进行。

英国大不列颠氰胺公司用AM-9浆液加固孔隙性砂岩，凝固时间控制为几分钟到几小时。AM-9聚合物不但用于堵塞裂隙，也用于加固不稳定的岩层。

西德在松软含水岩层中掘进平巷时，曾以100公斤/厘米²的压力注入配制好的树脂。

美国麦拉明矿立井开凿中，在使用水泥、灰渣、粘土等注浆证明不可能之后，采用浓度为10%的AM-9聚合物浆液，加固孔隙率10%、裂隙宽度0.25毫米、厚度5~7米的细小裂隙含水层。在50~70公斤/厘米²压力下注入AM-9聚合物，可以在上山掘进中加固不稳定含水层。

在苏格兰《摩克托豪尔》矿对涌水量超过30米³/时、厚度达30米的含水砂层进行注浆，成功地完成了610米深井筒的掘进。

日本考茨推土机公司在防止地下水渗透、充填土壤和建筑物裂缝、修筑堤坝闸门、提高建筑物基础承载能力、加固隧道和类似掘进工程的不稳定土层等方法，采用苏米索里（Сумисойль）浆液。苏米索里浆液是以丙烯酰胺为主的化学物质，粘度很低，凝固时间可以调节。

在大阪建设地下铁道时，有一个井筒是用苏米索里浆液，对表土层进行预加固开凿的。

浆液从管路用泵注入33.5~40.5毫米直径的钻孔中，泵压达30公斤/厘米²，能力为50公升/分钟。浆槽是不锈钢做

的，容量为500公升。为了控制浆液流量和压力，装设了专门的调速器。

在日本，加固土壤的方法，同样用于岩清堤坝建筑上，在粘土和砂质粘土中构成一道防渗屏障。

在大阪市用苏米索里浆液加固建筑物基坑墙，防止瓦斯管与水管变形。

在国外，也使用合成树脂加固煤层和回采工作面顶板。

在西德阿马利亚矿井，为了防止冒顶，向赛尔法利煤层注以环氧树脂和希里纳格工业化学药品固化剂对煤体进行加固。

浆液通过42毫米直径钻孔中的管子，在150公斤/厘米²压力下以1.5到2.0公升/分钟流量注入。浆液和固化剂是在直接靠近注浆器的混合器中相混合，防止浆液在设备和管路之中凝固。

进行的注浆工程有效的加固了 270米³ 煤体，并防止煤突出。每一立方米煤体耗用树脂34公斤。

西德在埃什维列尔矿区埃码里码依里特矿井，使用环氧树脂加固顶板，煤层厚度为 1.56 米，倾角 20 度，工作面长 190米，配备有刨煤机的液压支架。

由于遇到长15米，落差 2.4 米的断层，使正常施工增加了困难。

采煤实践证明，用强力锚杆支护加固破碎带不能达到理想结果，工作面日产量由1000吨下降到400吨，所以决定改用环氧树脂加固破碎顶板。树脂是通过长 6 米、直径45毫米、倾角20度的钻孔注入的。经过将近 6 个小时，然后顶板变稳定了。以后的破坏是离开最后一排支柱 3 米发生的。

使用环氧树脂加固顶板，工作面产量增加到 700 吨/

昼夜。

西德萨煤矿股份代公司出的镁氧粘结剂，主要在萨尔区加固煤层和鲁尔区加固围岩得到使用。同时，工作面过破碎带是这种加固方法的主要使用范围。能同氧化镁迅速而稳定化合的氯化镁溶液，是镁氧粘结物的主要成分。也可以掺入混凝土粉，它能改善浆液的质量。

根据萨煤矿股份公司资料，向煤层和围岩的裂隙中注浆可以提高其原始强度。

镁氧物质是在专用搅拌器中拌制的，并沿管路用泵压送到使用地点。用试探器实现注射材料。为了注浆，可利用哈乌希纳克-萨尔和濠塔必娄装置。

哈乌希纳克-萨尔注浆设备由能力 1000 升/时的 TP-300-55 型泵和高压混合器组成。由于泵不是自动吸入的，所以浆液是在压力下送入吸水口的。注浆时使用压力达 100 公斤/厘米² 的电子计量装置。

为使探测器紧靠孔壁，当充压时，壳体应具有能扩张压紧的装置。探测器末端有伸缩式的喷射器，它可以改善注浆状况。

探测器前面装有阀门，它可以关上输送管和解除探测器的压力。拌制一份由 60 公斤水、100 公斤氯化镁、75 公斤氧化镁和 50 公斤混凝土粉组成的浆液，约需 2 分钟时间。

第二章 浆液的主要性质

1. 化学浆液概述

在注浆工程中，目前主要使用的是水泥浆和粘土水泥浆。由于这些浆液具有一定的颗粒，所以受到一定的限制。

水泥注浆的使用范围，根据各个著述者的意见而定。但总的意见是，水泥注浆不能用于加固和充填细粒和微裂隙岩层。多数作者把水泥注浆限于裂隙宽度大于0.15~0.20毫米和颗粒直径大于0.8毫米的裂隙性和孔隙性岩石条件。

水泥注浆的缺点是浸蚀性水解破坏水泥浆，而且在酸性介质中使用，因浆液将被破坏，不能取得很好的效果。此外，在许多情况下要求能迅速形成强度，这是用水泥所达不到的。

由于在中粒砂和细粒砂以及微小裂隙岩石中注水泥浆困难，便寻求解决加固孔隙性岩石和裂隙性岩石的新方法，其中就有树脂浆液。

当选择浆液成分时，必须考虑下列岩石性质：孔隙和裂隙的特征；岩石的化学成分和矿物成分；岩石中充填物的化学成分；注浆后岩石的物理力学指标。

化学加固浆液，其化学成分、结构、物理状态、物理化学性质和均质性应当和岩石性质相适应。

树脂浆液应具备以下主要性质：有进行注浆作业所要求的必要的粘度；硬化后能提高岩石的强度，并减少其透水性。

在苏联常遇到各种不同的地质条件和水文地质条件。对