

李成君 黄守明 译

煤矿 回采工作面 顶板 化学加固法

煤炭工业出版社

U133.75
B729

煤矿回采工作面顶板 化学加固法

[苏] И.Т.布琴阔 В.В.卡拉 著
В.К.沙里尼阔夫 И.Я.彼赫维奇

李成君 黄守明 译

煤炭工业出版社

509121

内 容 提 要

本书叙述了用药包法和注入法加固顶板岩层时所采用的工艺、操作方法和设备。介绍了顿巴斯矿井回采工作面中采用化学方法加固不稳定顶板岩层的经验。阐述了合成树脂和粘结剂的特性及其物理化学性质和物理力学性质的研究成果。

本书可供煤炭工业工程技术人员参考。

И.Т.Бутенко В.В.Кара

В.К.Сальников И.Я.Пиховиц

ХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ПОРОД В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Киев Издательство «Техника» 1978

*

煤矿回采工作面顶板化学加固法

李成君 黄守明 译

*

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787×1092¹/₃₂ 印张2

字数42千字 印数1—2,300

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

书号15035·2367 定价0.25元

目 录

序 言	1
粘结剂	4
药包法粘结剂的选择	5
注入法粘结剂的研究	11
用药包法加固不稳定顶板	17
药包法加固工艺和主要参数	21
用药包法加固顶板的经验	28
药包法的缺点和改进途径	37
用注入法加固岩层	39
粘结剂的制备和注入方式	39
岩层加固方式	43
粘结剂压注参数	45
压注粘结剂的工作组织	47
压注介质的评价	48
使用脲醛树脂时的作业安全问题	50
顿巴斯矿井回采工作面顶板岩层的加固	51
参考文献	60

序 言

煤层和围岩的化学加固方法对创造回采工作面良好而安全的工作条件可起到相当重要的作用。

随着煤田的开采，采掘工作逐步向深部和地质条件复杂的区域转移。回采工作面进入不稳定岩层区域时，煤炭产量显著降低。在顶板不稳定的地方，工作面生产情况的恶化均因岩层塌落而引起。顶板塌落而形成的空洞，通常用木垛填充，这项工作既繁重又不安全。此外，由于冒落的矸石混入煤中，使煤的灰分提高。

不管采用何种顶板管理方法，工作面作业的安全均靠工作面支架和特种支架来保证。为了防止工作面直接顶冒落，随采随架设工作面支架。然而，远远不是在所有情况下仅用工作面支架就可保证工作面安全生产。因此，近年来用合成树脂人工加固岩层的方法获得了越来越广泛的应用。

对回采工作面来说，需加固的岩层是支护前就失去承载能力的岩层。在综采工作面中，加固后的顶板不仅在顶板裸露时不冒落，而且在移架时，经过4~6次反复支承，也不冒落。

回采工作面顶板岩石按两个标志分类：第一个是回采工作面顶板岩体的冒落性；第二是回采工作面直接顶的稳定性。顶板岩石易塌的程度是由第二个分类标志来表示的。

直接顶岩层厚度和裂隙的间距可作为第二个分类标志的定量准则。在顶板分级中，这一级顶板岩石分为五类^[15]：

第一类 为极不稳定顶板（煤质粘土页岩），它随采随

冒，支护这类顶板只能留护顶煤或采取特殊加固顶板的措施来维持。第一类顶板的工作面占生产工作面总数的2%。

第二类 为不稳定顶板（松软的泥质页岩和砂质粘土页岩），它不能形成稳定的裸露面。因此，用现有的机械化支架支护这类顶板时，还要留护顶煤或采取加固办法。第二类顶板占现有生产工作面总数的20%。

第三类 为稍微稳定顶板（泥质页岩、砂质粘土页岩、薄板状砂岩和松软石灰岩）。这类顶板能形成稳定的裸露面，占现有工作面总数的25%。

第四类 为中等稳定顶板（坚硬的泥质页岩、砂质粘土页岩和细粒砂岩）。在这类顶板条件下，综采设备获得了广泛应用。第四类顶板占现有工作面总数的40%。虽然第四类顶板能形成稳定的裸露面，但是，在此也常常出现第一、二类顶板岩石，因而不得不定期采取专门的顶板加固措施。

第五类 为稳定顶板，占13%。在这类顶板中有3%的工作面遇有前三类顶板岩石。

通过上面的分类证实，现有生产工作面有一半以上有发生顶板冒落事故的情况。为了防止这种事故发生，可采取加固顶板的办法作为工作面支护的辅助措施。

目前，准备巷道中岩层加固法几乎所有国家都在采用。通常用锚杆支护法（机械法）、水泥浆液或水玻璃浆液高压注入法、冻结法和合成树脂注入法（物理化学法）加固松软岩层。但是，在回采工作面内由于随工作面的推进而产生的静、动压力的作用，利用这类经验加固顶板是不可能的。试图将锚杆支护法以及水泥类或其它矿物类粘结剂注入法移到回采工作面未获得满意结果。美国煤炭工业是个例外，那里由于矿山地质条件良好，楔缝式锚杆作为回采工作面的主

要支护形式获得了广泛应用。

近年来研制出许多新的速凝合成粘结剂，在矿井中对其试验表明，用这些粘结剂加固岩层不仅在准备巷道中，而且在回采工作面中都是有前途的。国外已小规模地开始应用药包法作为回采工作面松软顶板岩层的超前加固法。在苏联煤炭工业中只是零星地在回采工作面试用楔缝式锚杆加固顶板〔9, 13〕。

目前，回采工作面顶板加固法有三种：即药包法、注入法、和混合法。药包法是用发泡的（膨胀）聚氨酯把锚杆体沿钻孔全深粘结住，以此超前锚固顶板岩层。注入法是将合成树脂和固化剂高压注入。药包法适用于加固冒落块度（10~50厘米）顶板，注入法适用于加固各种顶板。但是其成本比第一种方法高得多（由于树脂消耗量大），并且由于目前缺乏可靠的设备，所以，在回采工作面中使用，技术上还有很大困难。第三种方法是前两种方法的混合使用法。

书中介绍了顿涅茨煤炭科学研究所关于适用于药包法和注入法的粘结剂的研究成果，指出了每种岩层加固法的应用范围，搜集并分析了顿巴斯矿井回采工作面顶板加固的经验。

粘 结 剂*

目前用于加固岩层的粘结剂可分为三大类：微粒悬浊液类；固化前粘度逐渐提高的凝胶体类；在固化剂或催化剂作用下固化的合成树脂类。

水泥浆液和粘土浆液是第一类最普通的粘结剂。但是，这些浆液和其它非有机物浆液（氧化镁粘结剂）一样，都有一个停止流动后沉淀快的缺点。粘土与水泥和膨润土混合或水泥与速凝剂混合的粘结剂是较稳定的粘结剂。然而，这些粘结剂由于其颗粒大，难以充填细小裂隙，因此渗透性都是低的。

水玻璃浆液属于第二类粘结剂。水玻璃浆液广泛用于冲积层和流砂层注浆止水。但水玻璃浆液固化速度慢，因此，只用于持续时间长的预防性加固。

在加固岩层方面，合成树脂类粘结剂与水玻璃浆液和水泥浆液相比有很多优点：凝胶时间和固化时间易调，对细小裂隙的渗透性能好，对岩石的粘着力大和机械强度大。这类粘结剂是用于回采工作面的最有前途的一种。

在室温条件下搅拌合成树脂粘结剂组分，经反应，并在多数情况下生成聚合体。这种粘结剂不需加热即可固化，这对井下使用极为重要。酚醛树脂和脲醛树脂（用各种酸性固化剂固化），环氧树脂和苯间二酚树脂（用胺或低分子聚酰胺树脂固化）和聚氨酯等均属这种粘结剂。

* 此章是与化学副博士P.Γ.伊利尤申柯和工程师З.П.科勃林娜、Ю.Н.克拉斯诺沙朴柯-采德利克共同编写的。

酚醛树脂在凝胶过程中不改性，是低强度极脆性材料。多数强度较高的改性树脂，只在加热时才固化。酚醛树脂类粘结剂的优点是抗水性强，但因其中含有游离酚和甲醛，所以有毒。

脲醛树脂广泛用于粘结木材和制作刨花板。虽然脲醛树脂类粘结剂与酚醛树脂相比，抗水性不强、物理力学性能差，但它具有粘度低、使用方便、毒性小和材料来源广等优点。

最近，三聚氰胺甲醛树脂得到了广泛应用，其优点是抗水性较强，但通常要在 $100\sim 140^{\circ}\text{C}$ 温度下固化。

环氧树脂凝固时收缩率小，同时凝固后物理力学性能好，对各种金属和许多非金属材料的粘着力强，但环氧树脂粘度高、价格高，而且有毒。环氧树脂类粘结剂的毒性不仅是由树脂本身造成的，而且亦由某些固化剂，例如胺和有机二元酸酐^[8]造成的。

聚氨酯类粘结剂的特点是对多数材料的粘着力大，在室温条件下可固化。由于它含有二异氰酸酯成分，故有毒。

对加固岩层的合成树脂的基本要求是：原料来源广；存放时保持性能稳定，能够运输；毒性化学成分含量低；便于制成各种浓度的树脂类粘结剂单液；树脂粘度适宜，能渗入细小裂隙；粘结剂耐久性好，不过早凝胶，固化速度快；粘结剂有足够的强度，对加固岩层的粘结力强。

药包法粘结剂的选择

当用锚杆来超前加固回采工作面顶板时，最适宜的固结方式是采用速凝自膨胀的粘结剂充填锚杆体与孔壁间的空隙和渗入孔壁周围裂隙岩体中。

在一般大气条件下反应生成的国产发泡材料中有：聚氨酯泡沫塑料、酚醛泡沫塑料和脲醛泡沫塑料。

脲醛泡沫塑料 (МФП) 强度低，发泡时不膨胀 (通过压气搅动而发泡)。ΦРП-1型酚醛泡沫塑料的 发泡和固化的时间需2~4分钟，同时放热。放热有助于正常的化学反应。然而，在锚杆体与孔壁之间的粘结剂薄层中由于放热使 ΦРП-1泡沫塑料的生成反应速度急剧减慢，因此聚合体的生成条件变得不利。“维拉列斯-Н”型新酚醛泡沫塑料的发泡和固化时间不长，但它反应时亦易于放热。此外，目前这种泡沫塑料的原料尚未投入工业性生产。因此，目前还不能使用酚醛泡沫塑料和脲醛泡沫塑料来固结锚杆。

放热对发泡聚氨酯的生成反应影响小，此外固化速度和发泡倍数可调范围大。根据发泡聚 氨 酯 的 这些性能和国外成功使用的经验，可以认为聚氨酯材料是一种有前途的材料〔10, 17〕。

不发泡聚氨酯的强度与环氧树脂和不饱和聚酯类树脂的强度大致相同，但与发泡倍数成反比：不发泡聚氨酯的抗压强度为100兆牛顿/米²；发泡聚氨酯为5~10 兆牛顿/米²，这对加固岩层完全够用。所以，可用发泡倍数为6~8倍的聚氨酯来加固岩层和固结锚杆。使用发泡聚氨酯可降低锚杆的锚固费用。此外，发泡聚氨酯有一定的可缩性，因而能够承受少量的下沉，不致损坏。

国内配方中，ППУ-13Н和 ППУ-304Н 型发泡聚氨酯是最适用的，因为其热容量最大。后一因素对往孔中送粘结剂药包是非常有益的。因为粘结剂是以薄层 (5 毫米) 状态分布在锚杆体与孔壁之间的，所以放热量极大。放热量大，在这样条件下对粘结剂的质量将产生有害的影响，也就是说不

会影响锚固强度。

为了确定锚固强度，作了比较试验。例如，对ППУ-13Н和ППУ-304Н发泡聚氨酯进行了试验。其中后一种聚氨酯是按两个配方（ВНИИСС*的配方和顿涅茨煤炭科学研究所修改的配方）配制试验的。由于担心药包存放时，其中氟利昂成分可能挥发掉，所以决定用水代替氟利昂作为发泡剂，另加入了磷苯二甲酸二丁酯作为稀释剂。试验粘结剂的配方（按重量计的份量）列于表1。

发泡聚氨酯典型粘结剂的试验配方

表 1

组 分	ППУ-13Н	ППУ-304Н	ППУ-304Н (顿涅茨煤研所)
聚醚II-509	100	—	—
拉朴罗尔503M	—	64	64
福斯波里奥尔	—	60	60
三 乙 胺	3	3	3
三氯乙基磷酸酯	40	—	—
三乙醇胺	—	20	20
磷苯二甲酸二丁酯КЭП-1	—	—	25
有机硅发泡调节剂	0.5	1	1
氟利昂-11	—	45	—
水	1.5	—	1.5
科 季 岑	215	—	—
多、异氰酸酯	—	170	170

锚固强度用使锚杆体离位所需要的拉力来表示。锚固长度为27厘米，可靠系数为0.95时，该拉力值（千牛顿）如下：

ППУ-13Н	11.39 ± 1.75
ППУ-304Н	22.49 ± 1.90

* 弗拉基米尔合成树脂科学研究所。

虽然ППУ-304H发泡聚氨酯有明显的优点,但在井下进行初步试验时,还是采用了最便宜的ППУ-13H配方。

科季岑和聚醚是ППУ-13H配方的主要成分。这两种成分经反应生成发泡聚氨酯化合物。加入三氯乙基磷酸酯使发泡聚氨酯具有塑性,以便使粘结剂在岩层发生少许移动时,仍可保持着连结。三乙胺是一种催化剂。改变催化剂的用量可在较大范围内调节粘结剂的固化时间。磷苯二甲酸二丁酯КЭП-1起着乳化剂和稳定剂的作用,使发泡聚氨酯结构更加均匀。水用作发泡剂,水与科季岑发生反应后生成大量二氧化碳,从而使粘结剂发泡。在生成二氧化碳和发泡过程中产生压力,促使粘结剂渗入被加固的岩体裂隙中。

各种组分对ППУ-13H发泡聚氨酯物理力学性能和物理化学性能的影响 在井下试验过程中查明,为了使发泡聚氨酯的性能更加符合回采工作面顶板加固的工艺条件和要求,必须对粘结剂配方作适当的调整。此外,在现用的将原浆送入孔内和搅拌的方式下,沿孔全深的浆液的正常配比可能失调,从而使锚固强度受到影响。

为了了解科季岑和聚醚这两种主要组分的配比失调的影响,在钻孔模型上对锚固强度作了试验。

试验结果表明,当配比失调时从统计上看出其锚固强度与标准配方的锚固强度不同,意思说,配方中有一种组分偏差10%,把这种配比失调作为临界失调。通过与标准配方配制的样品进行比较的方法研究了聚醚混合物(聚醚和КЭП-1除外)各组分含量不同时的影响。催化剂和水的含量对聚氨酯密度和发泡时间的影响的研究结果如图1所示。当三乙胺的含量按重量计超过4份时,泡沫塑料的密度实际上不变,

其结构也保持不变。

以后,对含有 4 份三乙胺的粘结剂在井下进行了试验。试验证明,这个含量大致相当最佳值,即粘结剂的发泡时间和固化时间均不太长,约为1~1.5分钟,这个时间对充分搅合各种成分亦是足够的(30秒)。

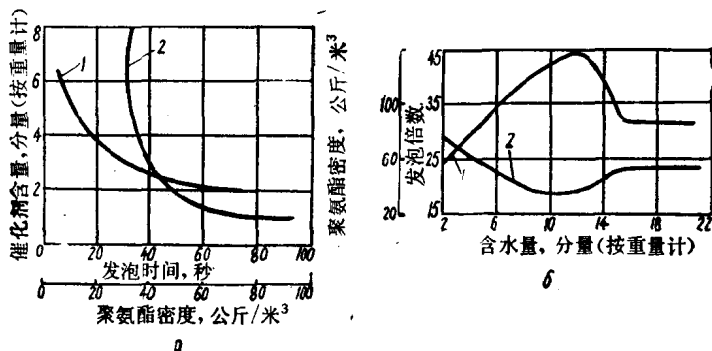


图 1 关系曲线图

a—催化剂含量与发泡时间(1)和聚氨酯密度(2)的关系; b—发泡倍数(1)和聚氨酯密度(2)与自由发泡时粘结剂中含水量的关系

配方中含水量对发泡聚氨酯的密度和结构有很大影响。泡沫塑料的密度,随着含水量的增加而减小,当含水量增加到10~12份以后再继续增加时,则密度又略有增大,而达到一个定值50公斤/米³。这种情况可解释如下:当含水量低于10~12份时,发泡倍数一直增加,直到各气泡膜壁达到极薄而承受不住发泡体的重量时,泡沫塑料开始收缩,这种现象在试验中也观察到了。如果用目力评价材料的结构时,则可以认为含水量在 4 份以下为最佳。含水量很大时,泡沫塑料的孔隙度很大也变脆了。

增韧剂(三氯乙基磷酸酯)的含量与含水量不同,对泡

沫塑料的密度影响不大，但对反应速度（发泡时间）和发泡聚氨酯的结构质量有影响。当增韧剂含量低于30份时，泡沫塑料的脆性和松散性明显增大。

由于对聚醚混合物组分进行了多次试验，制备优质泡沫塑料的各组分的含量，更加准确。ППУ-13Н 配方中，聚醚混合物的组分（按重量计份数）如下：

聚醚II-509	100
三氯乙基磷酸酯	40~50
三乙胺	4
КЭП-1	0.5
水	4~5

后来，对推荐的配方在井下进行了试验，取得了良好效果。

填料对锚固强度的影响 在许多药包粘结剂的配方中广泛采用了各种不同的填料（砂子、白云石、玻璃纤维等），因此显著降低了各种聚合物组分的单位消耗量，提高了药包的刚度，改善了各组分的搅合和孔壁岩尘的清除^[12]。在某些情况下，加入填料还改善了粘结剂的粘结性能。

填料的增强作用在于填料颗粒对系统的加固作用，也由于填料表面吸附的聚合物大分子形成规则的结构所致。只有填料和粘结材料的配比一定时，才能获得最佳的力学性能^[16]。

对配有填料的发泡聚氨酯类粘结剂的各组分也进行了研究。用砂子作填料，按1:1、2:1和3:1的比例将砂子掺入聚醚混合物。在粘结剂中砂子的总含量占21、45和55%。在这些试验中，配有砂子的发泡聚氨酯的发泡倍数与采用普通配方时相同。

为了评价填料对锚固强度的影响程度，在钻孔模型上作了试验。试验结果证明，填料最佳含量是45%：

发泡聚氨酯中 填料含量 (%)	平均拉力 (千牛顿)
0	11.76
21	13.26
45	20.94
55	18.35

当含砂量为45%时，锚固强度提高80%；含砂量为55%时，锚固强度提高56%，但此时粘度也增大，使组分搅合发生困难。

用掺砂子的方法改善粘结剂的质量，尚未在实际中实现，因为为此需要修改药包充装设备。

注入法粘结剂的研究

在回采工作面不断向前推移的条件下，顶板加固工作应在一班内结束，即经过4~6小时后可在加固的区域内进行生产作业，而顶板岩石没有冒落的危险。为此，必须选择合适的粘结剂配方，以保证在回采工艺限定的时间内粘结剂失去流动性并在岩体中固化。

水泥浆液和粘土浆液是最普遍和最便宜的浆液，但它们的渗透性低、易于沉淀、凝固时间长，因此在用注入法加固时，未获得广泛应用。与此相反，合成树脂浆液的凝胶时间和固化时间均易调整，而且渗透性好。

根据对合成树脂类粘结剂性能的分析，可得出结论：酚可溶酚醛树脂和酚醛树脂基本上用来制作泡沫塑料。由于环氧树脂和聚醚树脂的粘度高，因而需要研制专用压注设备，

而且这些树脂价格昂贵，易受潮湿。

在西德煤矿中用聚氨酯注入，其缺点是需用高压压注，不能用于含水岩层，存放期短，耗量大，价格高。在法国矿井中，采用注入法加固岩层时，主要使用脲醛树脂。

脲醛树脂固化后的强度虽然很低，但与其它树脂相比有许多优点：便于生产、粘度低、毒性小、凝胶时间和固化时间可调整等。由于有这些良好特性，所以这类树脂最适用于注入法加固岩层。

脲醛树脂的研究和粘结剂的选择 脲醛树脂中掺入酸性固化剂时，其凝胶和固化过程可分为三个阶段：第一阶段的特点是粘度低，流动性小，且粘度逐渐增加；第二阶段完全停止流动（变成塑性物质）；第三阶段变成不溶化，不熔融的硬物质〔6〕。

固化速度取决于固化剂的性质、数量和温度。选用含9%草酸的水溶液作为固化剂。这种固化剂是一种干燥的结晶物所以使用处理方便。用强酸铵盐可使脲醛树脂固化速度减慢。这种强酸铵盐主要用于热态固化。

通过对各种脲醛树脂类粘结剂的试验查明，在固化剂掺入量相同的条件下，它们具有不同的凝胶时间和固化时间。MΦΦ-M型树脂类粘结剂的诱导期最长，凝胶和固化速度最易调节。

下面列出掺入3.05%的固化剂的各种型号脲醛树脂的抗压极限强度值（兆帕）①：

“M-2粘结剂”	4.7
MΦ	6.5
MΦ-17	8.4

① 译者注：1帕=10毫巴=1牛顿/米²。

由这些数据可看出, MΦΦ-M 型树脂类粘结剂的抗压极限强度最大。

粘结剂的粘着性能研究 为了查明用 MΦΦ-M 树脂和 9% 草酸水溶液按 4:1 配比配制的这类粘结剂对各种岩石 (泥质页岩、砂质粘土页岩和砂岩) 的附着力, 进行了一些试验。粘合岩石试样的破坏具有各种不同的特性: 岩石附着力特性占 38%, 岩石附着力和粘结剂内聚力混合特性占 30%, 粘结剂内聚力特性占 32%。

试验结果 (图 2) 表明, 对粘着力有影响的不只是加固岩层的岩性, 而且还有粘合岩石试样的存放时间。粘结剂对泥质页岩的粘着力最大, 其次是砂质粘土页岩和砂岩。

**单液和双液注入方式下
粘结剂组分配比的选择** 采用单液和双液注入方式时, 粘结剂应满足下列要求: 粘度要合适, 以便在规定的时间内, 在一定的压力下能进行压注; 在一定的时间内能固化。

对单液注入方式来说, 树脂与固化剂的配比为 4:1 时, 粘结剂的粘度完全适于压注, 并可使浆液渗入到孔周围岩体一定距离。这样配比的粘结剂浆液在 13~15 分钟内可停止流动, 在 4~5 小时内固化, 这完全符合施工工艺的要求。同时, 粘结剂强度也完全适于加固岩层。

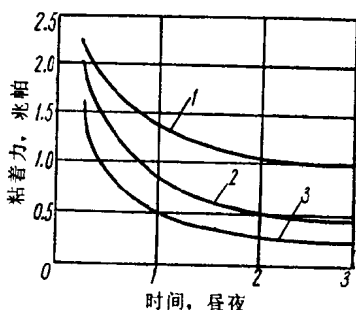


图 2 粘合岩石粘着力随时间变化的曲线图

1—泥质页岩; 2—砂质粘土页岩;
3—砂岩