

# 反井钻机扩孔施工破碎地层临时支护材料研制

周 明, 马灵姬

北京中煤矿山工程有限公司, 北京

收稿日期: 2024年5月6日; 录用日期: 2024年6月7日; 发布日期: 2024年7月5日

## 摘 要

本文通过试验研究, 研制出了的反井钻机扩孔施工破碎地层临时支护材料。该支护材料为AB型复合胶凝支护材料, 用于反井扩孔施工过程中围岩的及时封闭。文中确定了支护材料各组成成分的最终配比, 且现场施工中采用该支护材料进行围岩封闭取得了良好的使用效果。本文研究成果填补了反井钻井工艺在随钻临时支护方面的技术缺口, 对反井钻井工艺的应用起到了巨大的推动作用。

## 关键词

反井钻井, 破碎地层, 临时支护, 围岩封闭

# Development of Temporary Support Material for Broken Formation in Reaming Construction of Raise-Hole Drilling Rig

Ming Zhou, Lingji Ma

Beijing China Coal Mine Engineering Co., Ltd., Beijing

Received: May 6<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jun. 7<sup>th</sup>, 2024; published: Jul. 5<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In this paper, a temporary supporting material for broken formation in reaming construction of anti-well drilling rig has been developed through experimental research. The supporting material is AB-type composite cementitious supporting material, which is used to seal the surrounding rock in time in the process of reaming construction. The final proportion of each component of the support material is determined in the paper, and good effect is achieved by using the support material to seal the surrounding rock in the field construction. The research results of this paper fill up the technical gap of temporary support while drilling in anti-well drilling technology, and pro-

mote the application of anti-well drilling technology greatly.

## Keywords

Anti-Well Drilling, Fractured Formation, Temporary Support, Wall Rock Sealing

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

反井钻机凿井工艺, 是一种安全高效的立井井筒机械化施工工艺[1]。对反井钻机凿井工程而言, 反井井帮的稳定与否是决定工程成败的关键因素[2]。导井施工完成后, 井帮围岩的原岩应力状态即开始受到破坏。尤其从扩孔开始到扩孔结束钻机拆除, 大直径扩孔后的井帮大面积长时间暴露, 风化、涌水淋水、地层变化、地应力作用、岩石强度降低等都能造成井帮变形或坍塌。如何保证反井钻机在扩孔施工过程中井帮围岩的稳定性, 是反井钻井机械化一次成井亟待解决的问题[3]-[5]。

普通凿井法遇破碎或不稳定地层主要采用预注浆超前支护的方式, 而反井钻井施工过程中, 岩渣自工作面向下掉落至巷道, 无法实现工作面超前支护, 只能采用地面预注浆的加固方式。预注浆加固的方法工期长且资金投入大, 不利于反井钻井工艺的开展和推广。为解决这一难题, 本文在已有反井钻井工程穿越不利地层的临时随钻支护工艺及相关装备的基础上, 研发了高性能的临时支护材料。

## 2. 研究内容

本文所要解决的技术问题在于提供一种反井钻机扩孔施工穿越不利地层临时随钻支护材料, 可由临时随钻支护装备在扩孔施工过程中喷洒在破碎地层的井帮围岩上而起到及时封闭作用, 以避免采用地面预注浆加固而延长工期。良好的支护材料是工艺效果得以实现的决定性因素之一。临时随钻支护材料应具有良好的流动性, 便于在材料运输管中流动和从喷浆口喷出。此外, 临时随钻支护材料形成的保护层还应具有一定的厚度和良好的隔水性, 实现围岩封闭的功能。为实现上述目的, 本文研发了一种新型 AB 型复合胶凝支护材料, 用于扩孔过程中对围岩及时封闭。

## 3. 研究意义

本文研究成果可使反井钻机应用于含破碎带的地层, 极大的拓展了反井钻机的应用领域, 有效改善反井工程中的井帮稳定性, 降低钻井事故风险, 极大提高运用反井钻机钻凿井筒的安全性, 具有明显的技术优势。国家目前鼓励机电产品开发和出口, 本文成果极大地补充和完善了我国的反井钻井工艺, 提升了国产反井装备在国际反井钻机市场的竞争优势和占有率。

本文研发的反井扩孔支护材料拓展了反井钻机钻井法在山西、陕西及内蒙古等多个矿区的煤矿大直径立井工程业务范围, 项目成果转化创造直接经济效益 835.02 万元, 完成工程量 261.1 m, 成功实现了项目成果转化和产业化应用。

## 4. 临时随钻支护材料组成及制备方法

反井钻机扩孔施工破碎地层临时支护材料研制, 成功研发出了 A、B 型复合胶凝支护材料。A 料由

MN-500 聚醚多元醇、DL-400 聚醚多元醇、DL-1000D 聚醚多元醇、二异丙基萘、催化剂和紫外吸收剂组成; B 料由 44V20L 异氰酸酯、改性异氰酸酯、二异丙基萘和炭黑组成。其中, 改性异氰酸酯为氨酯改性异氰酸酯和缩二脲改性异氰酸酯中的一种或两种[6]。A 料中各组分分配比如下: MN-500 聚醚多元醇 75~85 重量份, DL-400 聚醚多元醇 8~13 重量份, DL-1000D 聚醚多元醇 5~15 重量份, 二异丙基萘 2~6 重量份, 催化剂 0.1~0.5 重量份和紫外吸收剂 0.5~1.5 重量份。B 料中各组分分配比如下: 44V20L 异氰酸酯 60~75 重量份, 改性异氰酸酯 26~33 重量份, 二异丙基萘 3~8 重量份和炭黑 0.01~0.05 重量份。

上述材料中, 各类关键材料的组成和制备方法如下: 改性异氰酸酯为氨酯改性异氰酸酯和缩二脲改性异氰酸酯中的一种或两种。氨酯改性异氰酸酯为氨酯改性二苯基甲烷二异氰酸酯, 其制备方法如下: 将二苯基甲烷二异氰酸酯、丁烯二酸和季戊四醇按照固液比为 1~1.5 g/mL 加入到乙醇中, 在搅拌的温度 20℃ 下加入硫酸溶液至混合物中硫酸的浓度为 0.5~1 mol/L, 加热至 70~75℃, 反应 2~5 小时, 反应结束冷却至室温, 即得氨酯改性二苯基甲烷二异氰酸酯。二苯基甲烷二异氰酸酯、丁烯二酸和季戊四醇的物质的量之比为 10:0.5~10:1。缩二脲改性异氰酸酯的制备方法如下: 将赖氨酸二异氰酸酯和三乙胺按照物质的量之比为 1:1~1.5 混合, 加热至 100~150℃, 反应 4~8 小时, 冷却至室温即得改性赖氨酸二异氰酸酯缩二脲。催化剂由主催化剂和辅催化剂组成, 主催化剂和辅催化剂的质量之比为 1~5:0.1~0.6, 主催化剂为异辛酸铋和氨三乙酸铋中的一种或两种, 辅催化剂为异辛酸镧和异辛酸锰中的一种或两种[7]。

将 A 料各组分按照配方投入搅拌釜中, 800 r/min 以上搅拌 20~30 min, 出锅后分装; 将 B 料各组分按照配方投入搅拌釜中, 800 r/min 搅拌至炭黑均匀分散, 出锅后分装。A 料和 B 料的体积之比为 1:0.9~1.1。

## 5. 临时随钻支护材料配比

在研究过程中, 为确定材料的最终配比, 共计进行了三组配比试验。

### 5.1. 试验方案一

A 料中各组分分配比如下: MN-500 聚醚多元醇 83 千克, DL-400 聚醚多元醇 9 千克, DL-1000D 聚醚多元醇 9 千克, 二异丙基萘 3 千克, 催化剂 0.3 千克和紫外吸收剂 0.8 千克。催化剂由主催化剂和辅催化剂组成, 主催化剂和辅催化剂的质量之比为 1:0.5, 主催化剂为氨三乙酸铋, 辅催化剂为异辛酸镧和异辛酸锰按照质量比 1:1 组成的混合物。B 料中各组分分配比如下: 44V20L 异氰酸酯 72 千克, 改性异氰酸酯 33 千克, 二异丙基萘 6 千克和炭黑 0.04 千克。

改性异氰酸酯由氨酯改性二苯基甲烷二异氰酸酯和改性赖氨酸二异氰酸酯缩二脲按照质量比 1:2 组成。氨酯改性二苯基甲烷二异氰酸酯的制备方法如下: 将二苯基甲烷二异氰酸酯, 丁烯二酸和季戊四醇按照固液比为 1 g/mL 加入到乙醇中, 在搅拌的条件下加入硫酸溶液直至混合物中硫酸的浓度为 0.5 mol/L, 加热至 70℃, 反应 5 小时, 反应结束冷却至室温, 即得氨酯改性二苯基甲烷二异氰酸酯。二苯基甲烷二异氰酸酯, 丁烯二酸和季戊四醇的物质的量之比为 10:0.5:0.8。缩二脲改性异氰酸酯的制备方法如下: 将赖氨酸二异氰酸酯和三乙胺按照物质的量之比为 1:1.2 混合, 加热至 120℃, 反应 6 小时, 冷却至室温即得改性赖氨酸二异氰酸酯缩二脲。

将 A 料各组分按照配方投入搅拌釜中, 800 r/min 以上搅拌 20~30 min, 出锅后分装; 将 B 料各组分按照配方投入搅拌釜中, 800 r/min 搅拌至炭黑均匀分散, 出锅后分装。在目标破碎地层扩孔施工完毕, 将 A 料和 B 料按照体积比为 1:1 输入到喷嘴处进行混合, 然后喷洒在破碎地层井壁围岩面, 与井壁表面破碎岩层可以形成 8~10 cm 厚的固结体, 固结体单轴抗压强度可达 69 MPa; 根据 GB/T2567-2008 对本试验方案中 A 料和 B 料形成的浇铸体进行拉伸性能测试, 拉伸强度为 1.2 MPa, 断裂伸长率为 83%。

## 5.2. 试验方案二

A 料中各组分配比如下: MN-500 聚醚多元醇 80 千克, DL-400 聚醚多元醇 10 千克, DL-1000D 聚醚多元醇 10 千克, 二异丙基萘 4 千克, 异辛酸铋 0.3 千克和紫外吸收剂 0.8 千克。

B 料中各组分配比如下: 44V20L 异氰酸酯 70 千克, 改性异氰酸酯 30 千克, 二异丙基萘 4 千克和炭黑 0.04 千克。

改性异氰酸酯为氨酯改性二苯基甲烷二异氰酸酯, 其制备方法如下: 将二苯基甲烷二异氰酸酯, 丁烯二酸和季戊四醇按照固液比为 1.2 g/mL 加入到乙醇中, 在搅拌的条件下加入硫酸溶液直至混合物中硫酸的浓度为 1 mol/L, 加热至 75℃, 反应 3 小时, 反应结束冷却至室温, 即得氨酯改性二苯基甲烷二异氰酸酯。二苯基甲烷二异氰酸酯, 丁烯二酸和季戊四醇的物质的量之比为 10:1:1。

将 A 料各组分配比按照配方投入搅拌釜中, 800 r/min 以上搅拌 20~30 min, 出锅后分装; 将 B 料各组分配比按照配方投入搅拌釜中, 800 r/min 搅拌至炭黑均匀分散, 出锅后分装。在目标破碎地层扩孔施工完毕, 将 A 料和 B 料按照体积比为 1:1 输入到喷嘴处进行混合, 然后喷洒在破碎地层井壁围岩面, 与井壁表面破碎岩层可以形成 3~5 cm 厚的固结体, 固结体单轴抗压强度可达 54 MPa; 根据 GB/T2567-2008 对本试验方案中 A 料和 B 料形成的浇铸体进行拉伸性能测试, 拉伸强度为 0.6 MPa, 断裂伸长率为 36%。

## 5.3. 试验方案三

A 料中各组分配比如下: MN-500 聚醚多元醇 75 千克, DL-400 聚醚多元醇 8 千克, DL-1000D 聚醚多元醇 15 千克, 二异丙基萘 6 千克, 氨三乙酸铋 0.5 千克和紫外吸收剂 1 千克。如表 1 所示。

B 料中各组分配比如下: 44V20L 异氰酸酯 60 千克, 改性异氰酸酯 26 千克, 二异丙基萘 5 千克和炭黑 0.05 千克。如表 2 所示。

改性异氰酸酯为缩二脲改性异氰酸酯, 其制备方法如下: 将赖氨酸二异氰酸酯和三乙胺按照物质的量之比为 1:1 混合, 加热至 150℃, 反应 4 小时, 冷却至室温即得改性赖氨酸二异氰酸酯缩二脲。

将 A 料各组分配比按照配方投入搅拌釜中, 800 r/min 以上搅拌 20~30 min, 出锅后分装; 将 B 料各组分配比按照配方投入搅拌釜中, 800 r/min 搅拌至炭黑均匀分散, 出锅后分装。在目标破碎地层扩孔施工完毕, 将 A 料和 B 料按照体积比为 1:1 输入到喷嘴处进行混合, 然后喷洒在破碎地层井壁围岩面, 与井壁表面破碎岩层可以形成 3~6 cm 厚的固结体, 固结体单轴抗压强度可达 57 MPa; 根据 GB/T2567-2008 对本实施例中 A 料和 B 料形成的浇铸体进行拉伸性能测试, 拉伸强度为 0.7 MPa, 断裂伸长率为 53%。如表 1、表 2 所示。力学性能实验结果如图 1、图 2 所示。

**Table 1.** Proportion test plan (Material A)

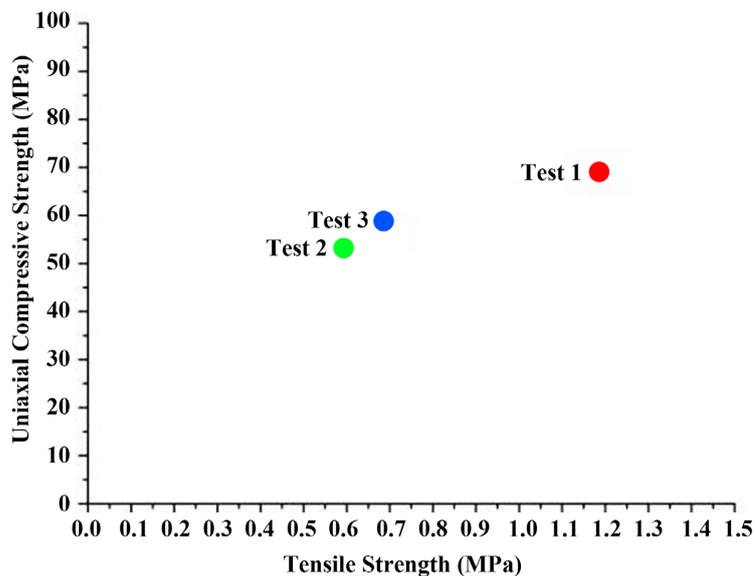
**表 1.** 配比试验方案(A 料)

	Test1	Test2	Test3
MN-500 聚醚多元醇	83 kg	80 kg	75 kg
DL-400 聚醚多元醇	9 kg	10 kg	8 kg
DL-1000D 聚醚多元醇	9 kg	10 kg	15 kg
二异丙基萘	3 kg	4 kg	6 kg
	氨三乙酸铋		
催化剂	异辛酸镧异辛酸锰	异辛酸铋	氨三乙酸铋
紫外吸收剂	0.8 kg	0.8 kg	1 kg

**Table 2.** Proportion test plan (Material B)

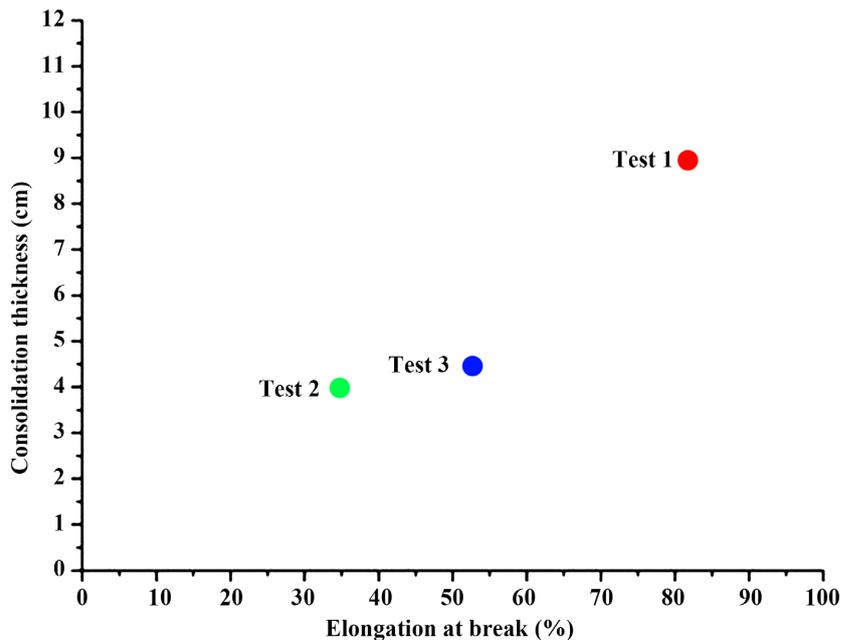
**表 2.** 配比试验方案(B 料)

	Test1	Test2	Test3
44V20L 异氰酸酯	72 kg	70 kg	60 kg
改性异氰酸酯	33 kg	30 kg	26 kg
二异丙基萘	6 kg	4 kg	5 kg
炭黑	0.04 kg	0.04 kg	0.05 kg



**Figure 1.** Mechanical properties test results(A)

**图 1.** 力学性能实验结果(A)



**Figure 2.** Mechanical properties test results(B)

**图 2.** 力学性能实验结果(B)

对试验形成的三种材料进行了力学性能测试。测算了不同配比条件下, 材料固结体单轴抗压强度和形成的支护层厚度, 并根据国标 GB/T2567-2008, 对 A 料和 B 料形成的浇铸体进行了拉伸性能测试, 测算了不同配比条件下支护材料的拉伸强度和断裂伸长率。如表 3 所示。

**Table 3.** Mechanical properties test results

**表 3.** 力学性能实验结果

	单轴抗压强度	拉伸强度	断裂伸长率	固结体厚度
Test 1	69 MPa	1.2 MPa	83%	8~10 cm
Test 2	54 MPa	0.6 MPa	36%	3~5 cm
Test 3	57 MPa	0.7 MPa	53%	3~6 cm

通过实验结果可以看出, 第一组试验选用的材料配比方案在力学性能上表现最好, 在单轴抗压强度、拉伸强度、断裂伸长率和固结体厚度等方面都显著优于另外两组试验。因此, 该配比方案所形成测材料适合被用于反井穿越不利地层临时随钻支护工艺当中。

## 6. 结论

本文针对反井临时随钻支护工艺所使用的材料问题, 成功研发出了 AB 型复合胶凝支护材料。其中 A 料中各组分配比如下: MN-500 聚醚多元醇 83 千克, DL-400 聚醚多元醇 9 千克, DL-1000D 聚醚多元醇 9 千克, 二异丙基萘 3 千克, 催化剂 0.3 千克和紫外吸收剂 0.8 千克。催化剂由主催化剂和辅催化剂组成, 主催化剂和辅催化剂的质量之比为 1:0.5, 主催化剂为氨三乙酸铋, 辅催化剂为异辛酸镧和异辛酸锰按照质量比 1:1 组成的混合物。B 料中各组分配比如下: 44V20L 异氰酸酯 72 千克、改性异氰酸酯 33 千克、二异丙基萘 6 千克和炭黑 0.04 千克。

将 A 料和 B 料按照体积比为 1:1 混合喷洒在破碎围岩面, 可形成 8~10 cm 厚的固结体, 固结体单轴抗压强度可达 69 MPa; 根据 GB/T2567-2008 对本试验方案中 A 料和 B 料形成的浇铸体进行拉伸性能测试, 拉伸强度为 1.2 MPa, 断裂伸长率为 83%。本文所研发的 A、B 型复合胶凝支护材料可满足反井穿越不利地层临时随钻支护工艺使用要求。

## 参考文献

- [1] 汤正, 于见水, 许峰. 水电工程大直径反井钻机一次扩孔成型施工技术的应用[J]. 建井技术, 2022(3): 34-38.
- [2] 宋朝阳, 谭杰, 宁方波. 深部砂岩地层中井壁结构稳定性分析[J]. 建井技术, 2018(2): 26-31.
- [3] 刘志强, 宋朝阳. 我国大直径井筒机械破岩钻井技术与装备新进展[J]. 建井技术, 2022(1): 1-9.
- [4] 郝熠熠, 程守业, 韩博. 抽水蓄能电站隧洞全深花岗岩导井反井施工技术[J]. 建井技术, 2021(2): 62-66+32.
- [5] 汤正, 龙志阳, 刘志强. 反井钻机破岩过程中的钻压及扭矩计算与工程应用[J]. 建井技术, 2019(4): 44-46+43.
- [6] 高文龙. 巯基硅氧烷改性二异氰酸酯三聚体的制备及性能研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中师范大学, 2008.
- [7] 王军正. Ni、Mo 双金属催化剂在含氧生物油催化脱氧反应中的应用[J]. 现代化工, 2020(2): 143-147+152.