



中国煤炭科工集团有限公司  
煤炭科学技术研究院有限公司  
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

# 基于高效防冻技术的产品开发及应用

报告人：王玉超

煤炭科学技术研究院有限公司

2025年12月



# 提 纲

一

情况简介

二

高寒高海拔地区特征及防冻需求

三

煤炭运输用非氯高效防冻技术

四

重负荷发动机冷却液技术

五

高原高寒液压支架防冻液、清洗液



一、

## 情况简介



## 煤科院 矿用材料分院（煤科新材料）

隶属于**中国煤炭科工集团 煤炭科学技术研究院有限公司**，前身可追溯至**煤科总院开采研究所特种油品室**、测试中心油品事业部、检测分院油品所、矿用油品分院、矿用材料分院几个发展阶段。

先后承担了国家科技部专项基金、中央国有资本经营预算重大科技创新及产业化项目、北京市重大科技成果转化落地培育项目、中煤科工集团重点项目等多项重大科研项目。

开发自主知识产权技术  
**四十余项**

获得产品安标认证  
**五十余项**

起草多项  
**国家标准  
煤炭行业标准**

获得多个奖项  
**国家科技大会奖  
国家科技进步奖等**





中国煤炭科工集团有限公司  
煤炭科学技术研究院有限公司  
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

# 主要研究方向



## 矿用难燃液压传动介质

智能化装备、工业智能制造等领域，**环保、稳定、高效**可靠的“绿色”血液。



## 矿井灾害防治工程材料

深地环境与空间资源高效开发利用等领域，**低温、安全、高力学性能**的加固工程材料。



## 战略新兴产业

锂电池用高能量密度电解液、高端纳米陶瓷材料、SOFC固体燃料电池，**战略新兴产业**新材料、新技术。



## 环保新材料

绿色城市、生态环境保护、煤炭清洁利用等领域，**绿色、高效**的环保新材料、新技术。





中国煤炭科工集团有限公司  
煤炭科学技术研究院有限公司  
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

## 基本情况

**矿用材料研发、生产、服务：**浓缩液、防冻液、加固材料、无氯煤炭防冻剂、环保型融雪剂等产品生产50000吨。

液压支架传动介质32000吨；科力安加固充填材料15000吨，为行业头部企业。

**2024年11月，煤科新材入选  
国资委第二批“启航企业”**



**中国煤炭学会“矿用材料专业委员会”秘书处**设立在煤科新材。



## 二、

## 高寒高海拔地区特征及防冻需求

# 高寒高海拔地区特征及防冻需求

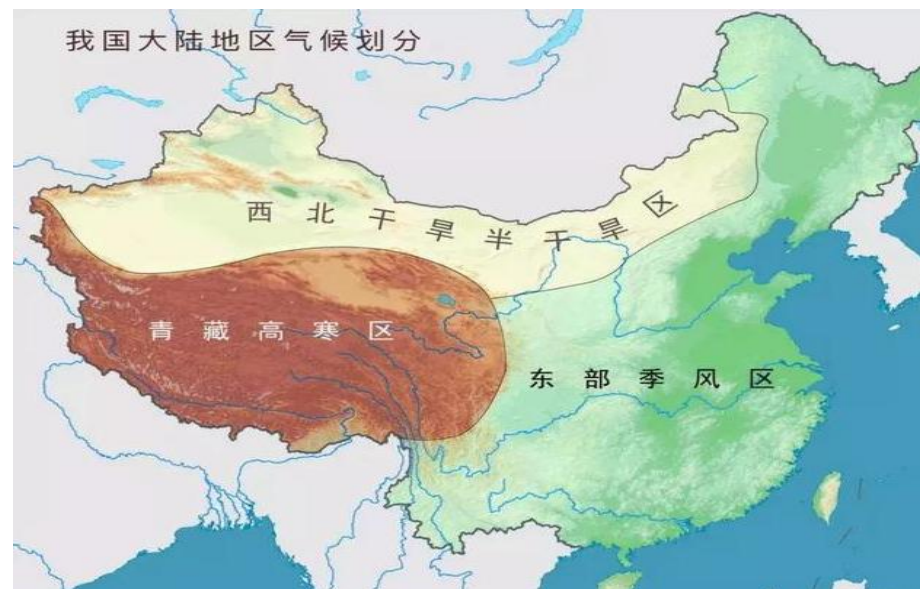
高寒高海拔地区通常指海拔较高（一般超过2500米）、气候寒冷、地形复杂的区域，如青藏高原。

**低温严寒：**年平均气温低，冬季漫长而严酷，极端低温可达 $-30^{\circ}\text{C}$ 至 $-50^{\circ}\text{C}$ 甚至更低。昼夜温差大，日温差可达 $20-30^{\circ}\text{C}$ 。

**脆弱生态系统：**生态环境一旦破坏，极难恢复

**材料性能劣化：**极端低温会使普通材料（如金属、橡胶、塑料）变脆，强度、韧性和密封性下降，导致设备故障。

**防冻需求：**使用耐低温材料、添加防冻制剂  
机械设备与车辆：使用低凝点的防冻燃油和低温流动性好的冬季机油、冷却系统使用防冻冷却液。





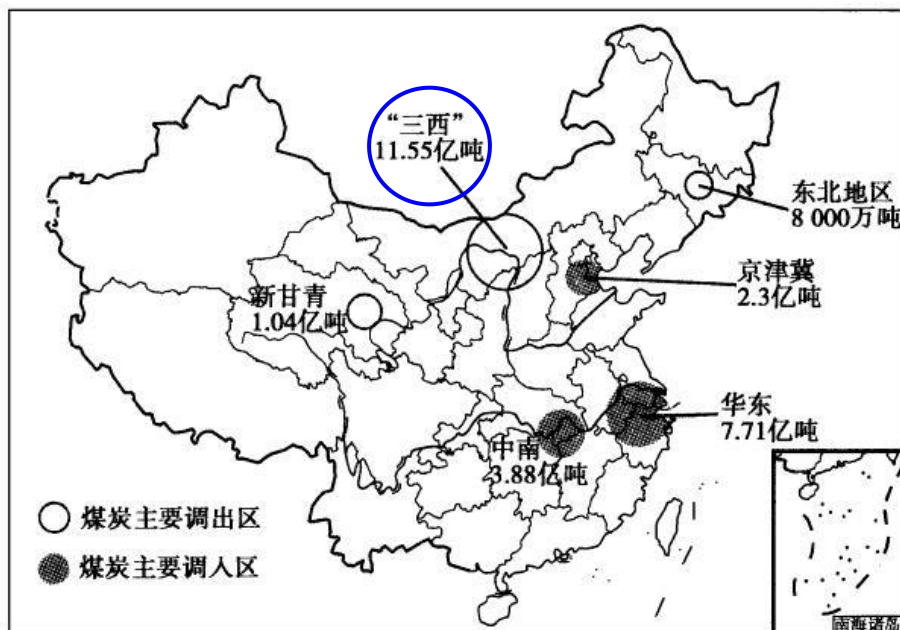


三、

## 煤炭运输用非氯高效防冻技术

# 1、技术背景

- ◆ 我国煤炭资源储藏与利用的区域性矛盾，导致西煤东运。
- ◆ 每年冬季运煤量超过亿吨。
- ◆ 洗选后煤质外水含量高，致使冬季运煤列车发生冻车，影响运输效率和增加劳动强度。



北方年区域间煤炭调运流量图



港口冻车清理

## 存在的问题及危害



### 污染环境

- ◆ 煤中氯经燃烧**95%**转化为**HCl**，其中**78%**经脱硫系统转移至**脱硫废水**中。

- (1) 增加**脱硫废水**排放；
- (2) 酸性气体**污染大气**。



### 腐蚀设备

- ◆ **氯超标**，对燃煤等设备的**腐蚀**；



### 防冻性能

- ◆ 氯盐型防冻剂**防冻性能不完善**，**易流失**，导致资源浪费。

开发**环保无氯**煤炭运输防冻剂，是推进我国煤炭清洁运输的**迫切需求**。

## 2、目标及技术路线

### 研究目标

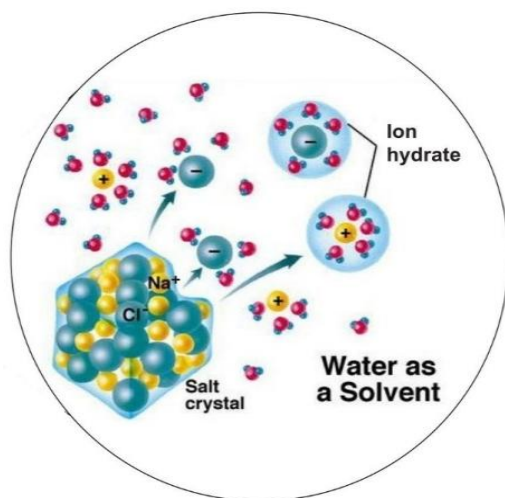
- ◆ 开发环保无氯煤炭运输用防冻剂**新产品**，提升煤炭清洁化流转运输；**提出**挂壁性能新指标及评价方法，提升防冻剂的使用效率。

### 总体路线

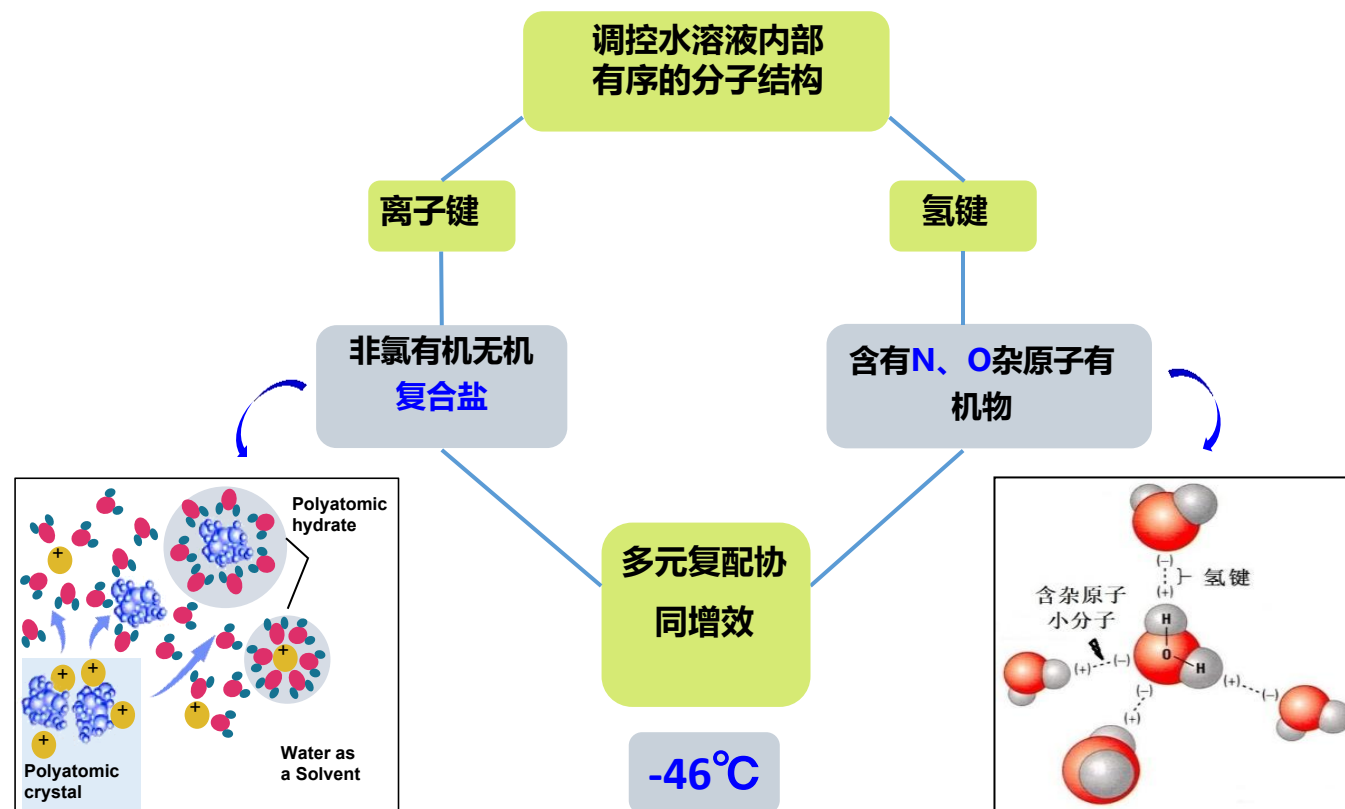


### 3、关键技术— (1) 双效协同降凝技术

非氯盐类高效降凝是行业难题



水合单原子  
氯盐降凝原理



水合多原子或分子

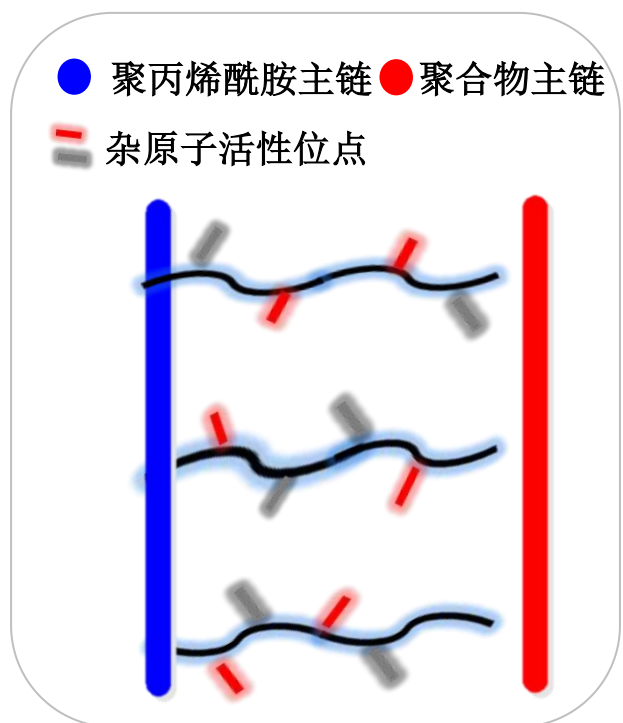
分子间氢键结合

双效协同降凝技术原理



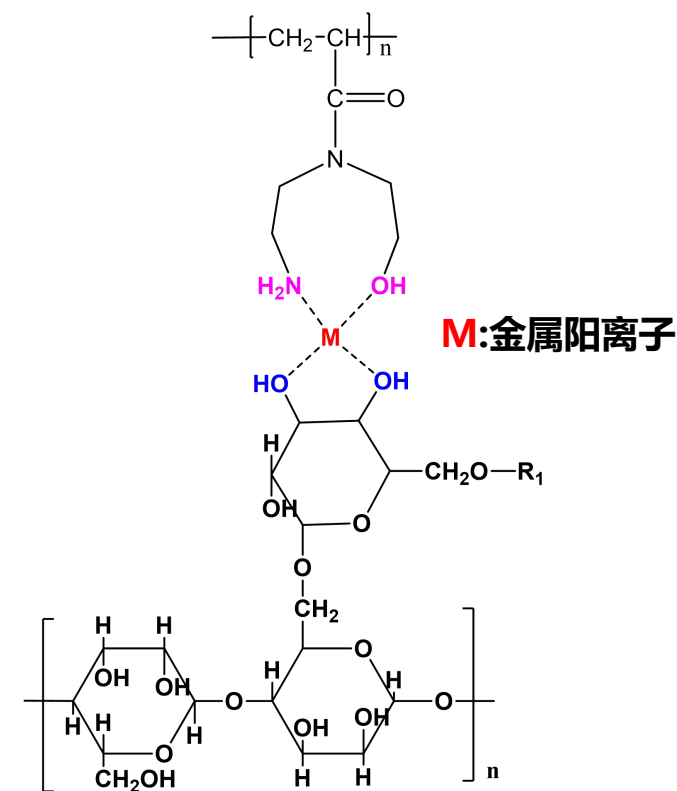
### 3、关键技术— (2) 多活性位点骨架稳定技术

#### 多活性位点梯形骨架稳定技术原理



多活性位点梯形骨架稳定技术原理俯视图

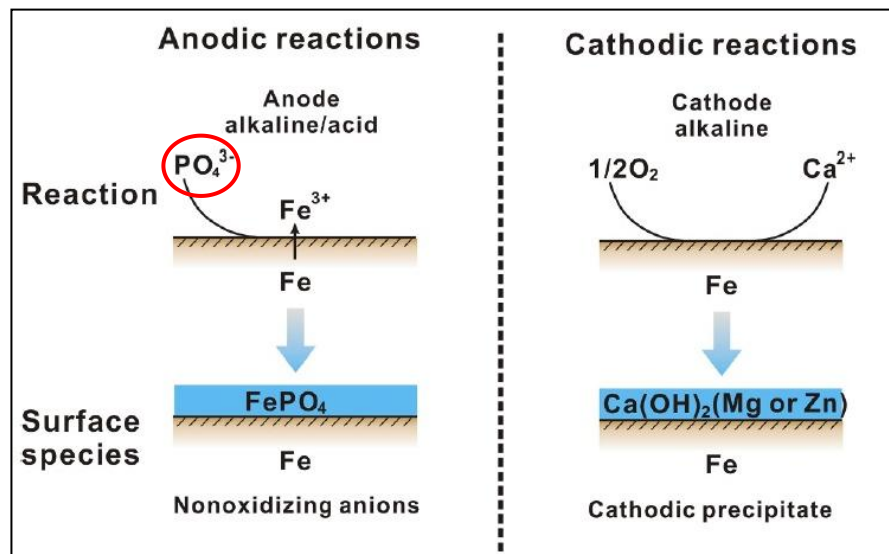
低温**稳定性**显著提高  
(1) 增稠剂均匀分散;  
(2) 降凝剂低温稳定  
冰点可达**-52℃**。



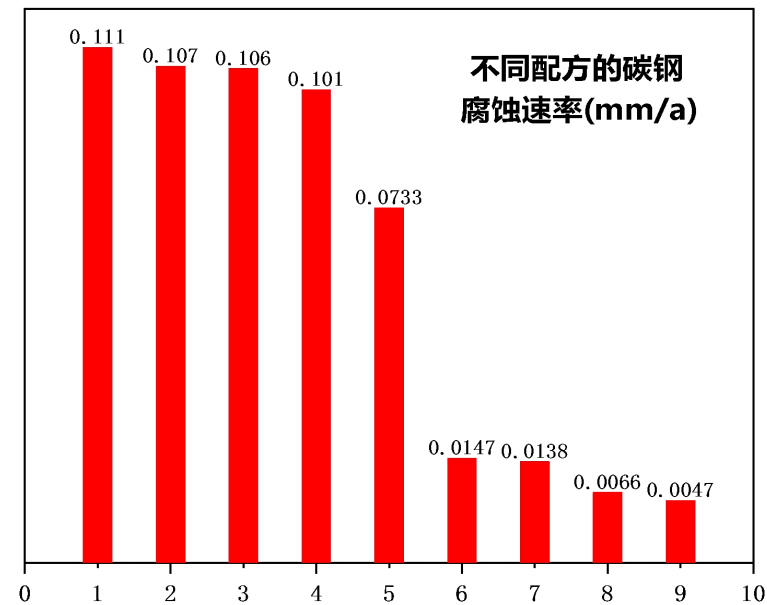
多活性位点梯形骨架稳定技术原理

### 3、关键技术— (3) 高效缓蚀技术

根据金属表面的腐蚀机理，通过有机盐结合游离的 $\text{Fe}^{3+}$ 生成沉淀膜抑制阳极反应，通过 $\text{M}^{2+}$ 结合金属表面的氧生成 $\text{M}(\text{OH})_2$ 沉积膜，造成贫氧环境，抑制阴极反应，减少水分和有害离子的入侵。



金属表面的缓蚀机理



高效缓蚀剂的配方优化

# 4、技术对比

## (1) 相关的行业标准

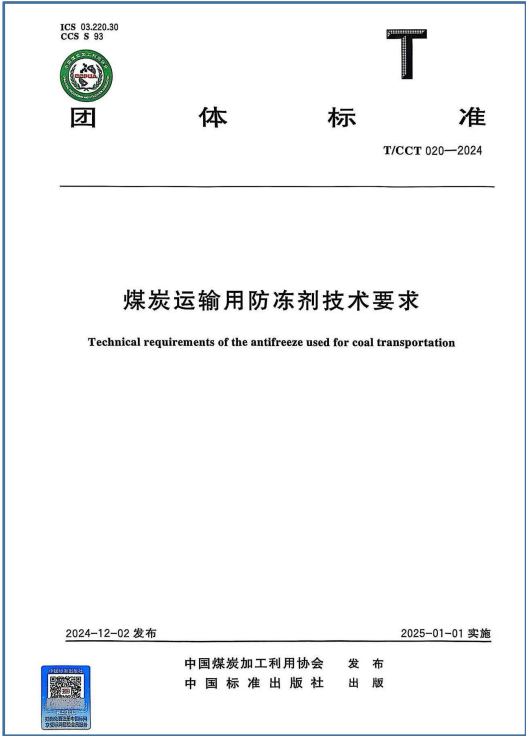
铁路部门针对传统氯盐防冻剂，制定了行业标准TB/T 3208-2008《散装颗粒货物运输用防冻液技术条件》。

## (2) 行业现状

2025年，牵头制定并发布了团体标准T/CCT020-2024《煤炭运输用防冻剂技术要求》。

煤炭运输防冻剂技术指标对比

技术内容		同类技术	本项目	项目整体技术水平
氯含量/%		64	0.0086	项目通过了成果鉴定 达到国际领先水平
挂壁性能及测试手段		未见报道	——	
防冻性能(以冰点计/℃)		-42	-52	
缓蚀性能 (mm/a)	钢	> 0.05	未检出(0.001)	
	铜	> 0.05	未检出(0.001)	
	铝	> 0.05	0.003	



# 5、技术应用

## 某煤炭集团出口煤运输防冻

### 1.1 防冻性能

试验周期：2018年1月15号至2018年1月29号

喷洒地点：矿装车站

卸煤地点：天津港

试验数量：3组6列

表 三组试验冻煤量统计

防冻剂类型	冻煤量 / 吨		
	第一组试验	第二组试验	第三组试验
新型环保防冻剂	基本无冻煤	120	140
氯化钙型防冻剂	基本无冻煤	160	170
冻煤减少率	—	25%	17.7%



装车、喷洒



到港、卸车

## 6、经济及社会效益

### ◆经济效益

- (1) 晋陕蒙冬季年运煤量达亿吨级，防冻剂需求量18万吨，随着无氯防冻剂逐步推广应用，替代10%，年产值可达1亿。
- (2) 项目关键技术已实现系列化产品转化，非氯型融雪剂助力北京绿色冬奥会，获得来自奥组委感谢信。

### ◆社会效益

- (1) 经氯元素跟踪核算，使用无氯防冻剂脱硫废水减少约26kg/吨煤，已累计减少20.7万吨脱硫废水排放，切实落实废水零排放及煤炭的清洁化利用。
- (2) 减少氯离子对设备腐蚀，提高燃煤锅炉的寿命，具有非常重要的社会意义。



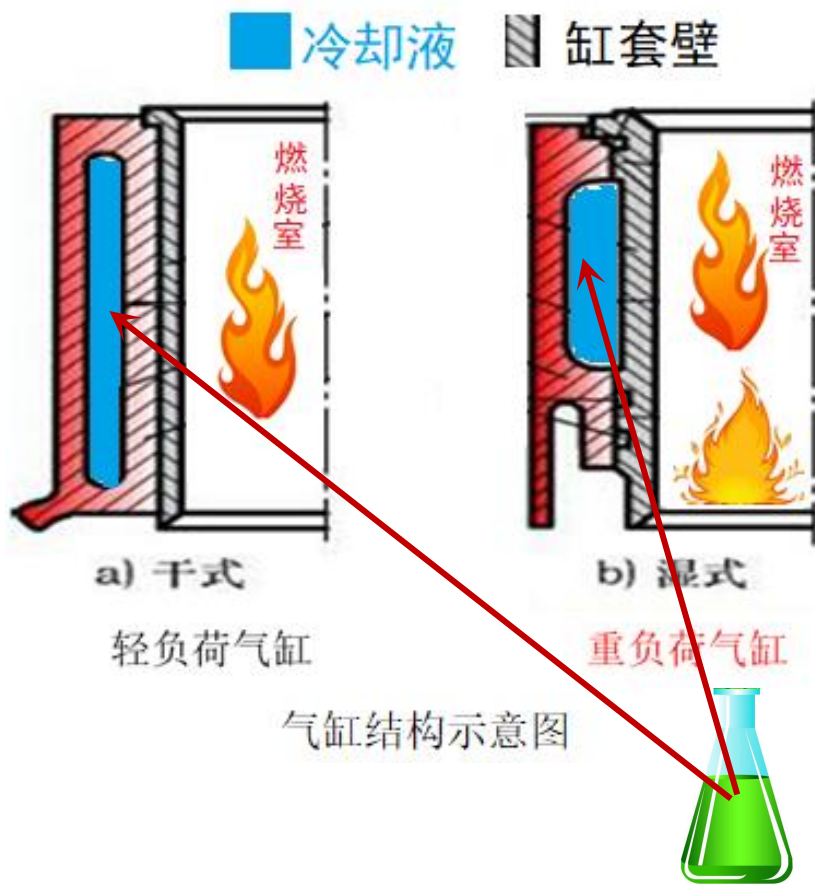


## 四、

# 重负荷发动机用冷却液技术

# 1、技术背景

- ◆ 露天煤矿工程机械和卡车
- ◆ 90%以上为进口大型发动机

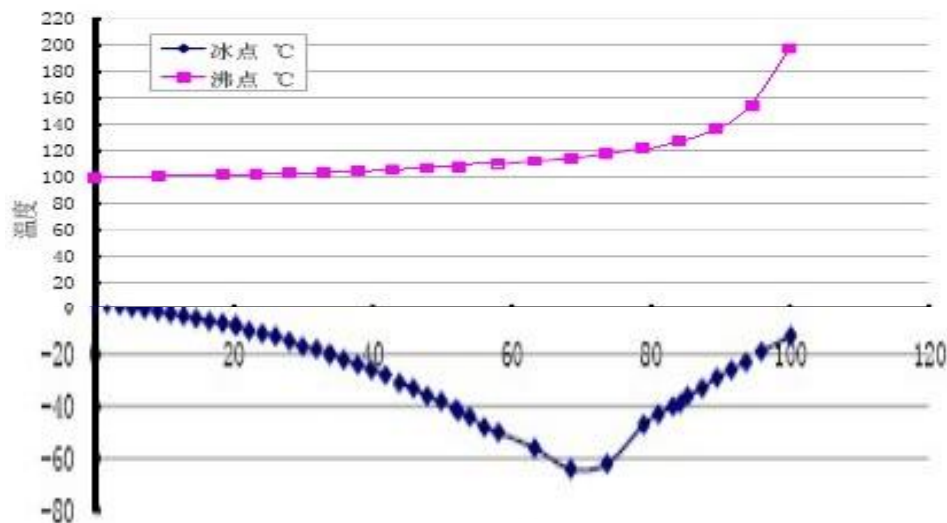


- ◆ 功率大，产热量高；
  - ◆ 缸套表面温度高，**易结垢**；
  - ◆ 冷却液与缸套直接接触  
**防锈、防腐蚀**要求高；
  - ◆ 缸套振动频率高，更容易产生**气穴腐蚀**；
- 露天矿进口卡车和工程机械所使用的**重负荷发动机冷却液**长期受制于国外厂家，产品及服务成本高。

### 3、关键技术— (1) 低温防冻技术

#### 超低温、稳定性强

乙二醇水溶液的冰点和沸点



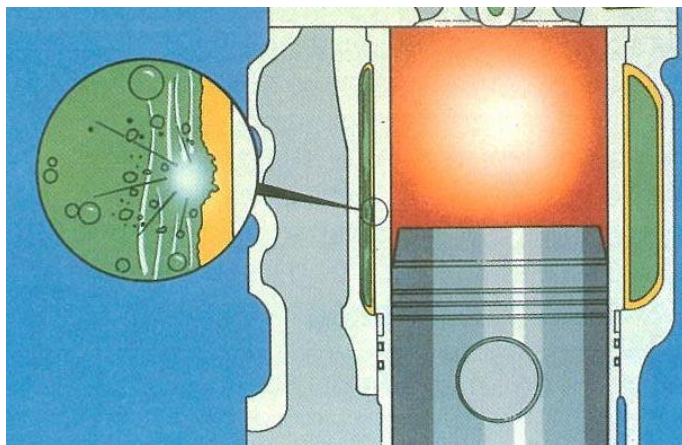
乙二醇体积 %

- ◆ 以**乙二醇**作为降凝剂，最低可满足 **-60°C**环境的使用要求；
- ◆ 复配了**低温分散剂**，使各组分均匀分散与体系中，低温下的稳定性优异，不会产生析出、分层等现象。

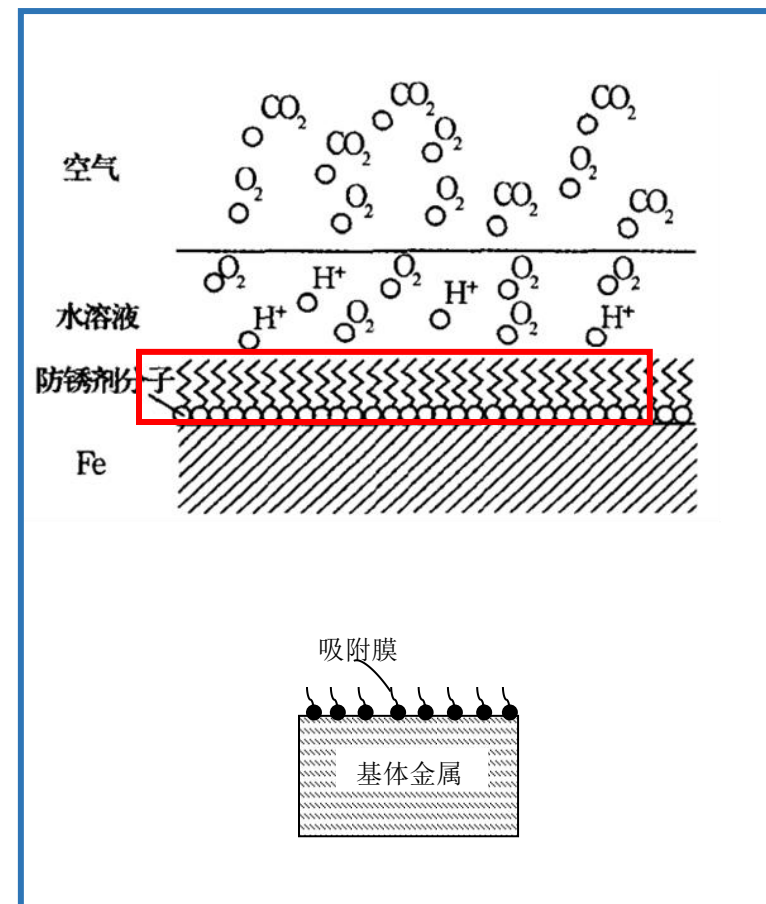
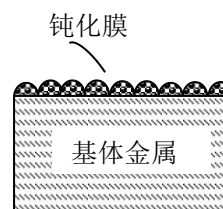
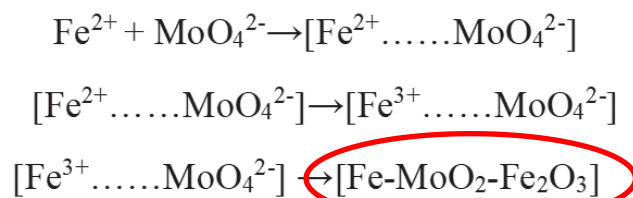
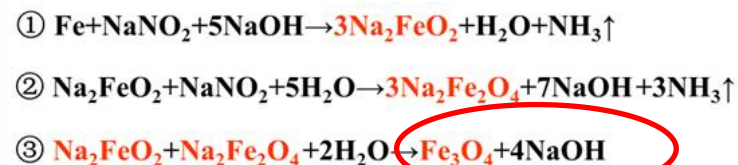


- ◆ **量体裁衣**。
- ◆ 针对区域气候特点配制冰点合理的冷却液；
- ◆ 紧跟材料变化，对冷却液**实时调整配方**，以适应冷却液系统材料的变化。

### 3、关键技术— (2) 防气穴腐蚀技术



缸套穴蚀现象





### 3、关键技术— (3) 阻垢分散技术

#### ◆ 针对成垢类型的差异**定向阻垢**

##### 晶体垢（ $\text{CaCO}_3$ ）阻垢机理

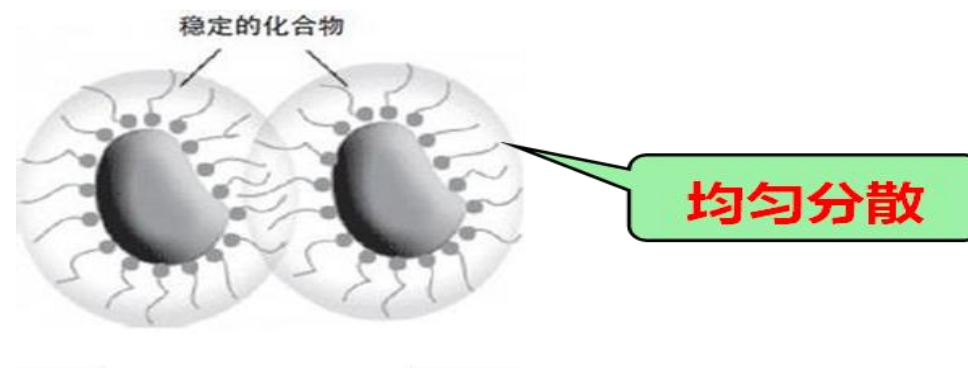
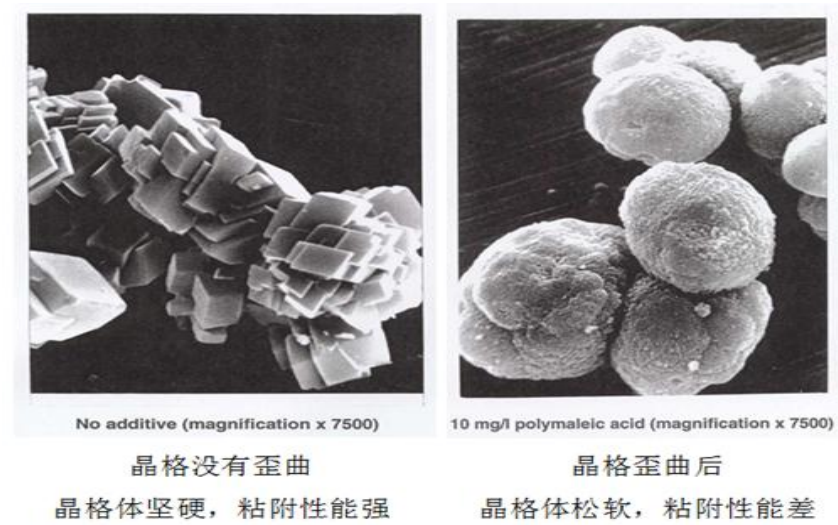
##### ◆ 晶格歪曲机理

晶体格垢松软，粘附性变差，不易附着在缸体表面。

##### 无定型垢（硅垢）的阻垢机理

##### ◆ 吸附分散

使形成的垢分散成为微小的颗粒，防止在系统中沉积、吸附结垢。





# 4、技术对比

## 关键指标对比

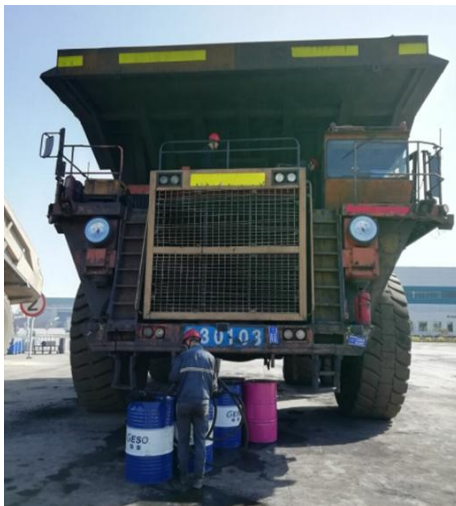
成果通过了科技成果鉴定，达到国际先进水平。

序号	检验项目	GB 29743.1 技术要求		国外厂家1	国外厂家2	煤科新材
1	冰点，℃（50%蒸馏水稀释，V/V）	≤-36.4		-37.9	-37.0	-39.3
2	储备碱度， mL	报告		7.3	7.6	9.8
3	腐蚀性（玻璃器皿法） 重量变化（mg）	铜	± 10	-3.8	-3	+2
		焊料	± 30	-7.4	-6	+12
		黄铜	± 10	-4.1	-2	+3
		钢	± 10	-1.1	+1	+3
		铸铁	± 10	-3.2	+1	+5
		铸铝	± 30	+3.6	-22	+7
4	消泡时间， s	≤5		2.0	3.5	1.4
5	氯含量， mg/kg	≤25		13	11	5

注：“+”表示质量增加，“-”表示质量损失

- 对比国外冷却液，冷却液抗低温能力强、储备碱度大、消泡时间短、氯含量低；
- 自制冷却液金属质量变化均增加，抑制金属腐蚀机理有差异。

## 5、技术应用



行车时间 (小时)	冰点 (℃)	
	7003	7090
0	-42.5	-42.5
250	-43	-42.5
500	-41.5	-42.5
750	-41.5	-39.5
1000	-41.5	-42.5
1250	-41.0	-42.0
1500	-41.5	-42.5
1750	-39.0	-
2000	-41.5	-

- 运行8000小时后，对发动机进行拆缸，未见金属腐蚀、气穴腐蚀、结垢等现象。



## 6、经济及社会效益

### ◆经济效益

- (1) 产品可在露天煤矿、非煤矿山、国家基建等大型工程机械上使用，市场份额超20亿元。
- (2) 有效的提高进口大型发动机和国产大型发动机用冷却液的技术支撑能力，有效保障了矿方设备的出勤率，有助于矿方的高产高效。

### ◆社会效益

- (1) 实现露天矿进口车辆用液的国产化替代，新研制的重负荷发动机冷却液性能优于露天矿在用的进口冷却液，同时冷却液价格比进口冷却液低。
- (2) 冷却液技术的发展应与发动机材料的发展保持同步，拥有自主产权能够紧跟设备发展的步伐，及时做到冷却液的升级和换代，具有非常重要的社会意义。



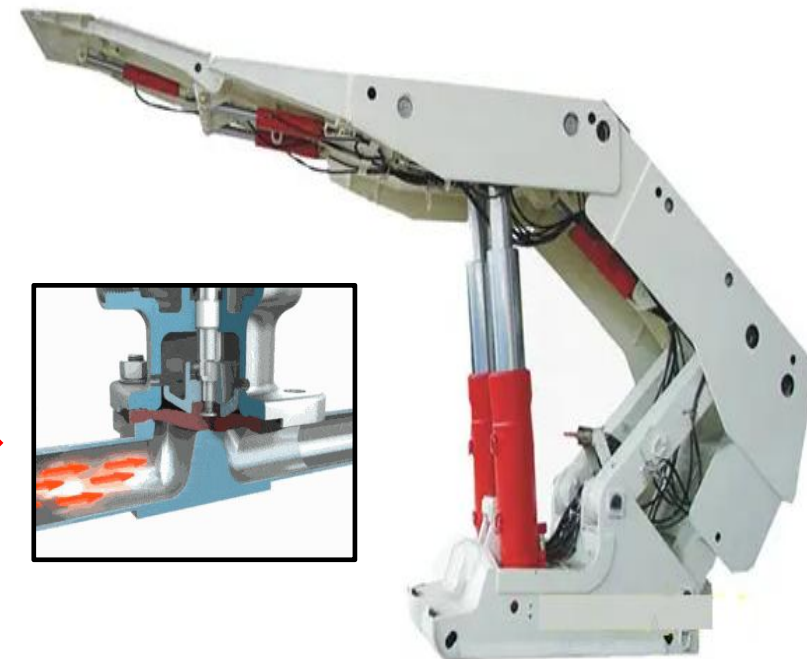
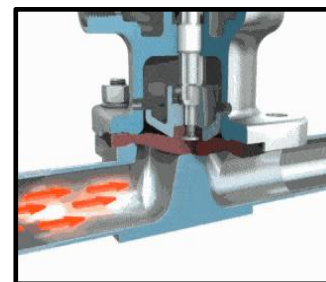
## 五、

## 高寒环境液压支架防冻液、清洗液



# 环境友好液压支架防冻液

综采液压支架冬季地面运行的“血液”



冬季严寒条件下，液压支架储存、运输、  
升井检修、地面调试



# 1、关键技术—— (1) 冻结快速还原技术

温度低于克拉夫特点  
浓度高于CMC

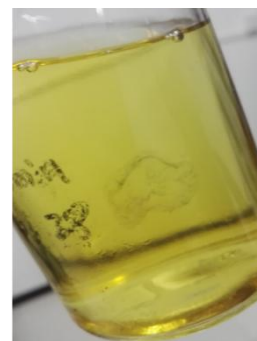
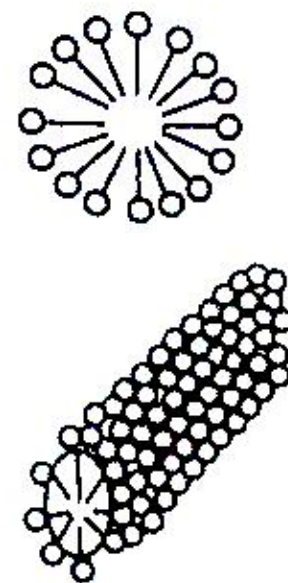
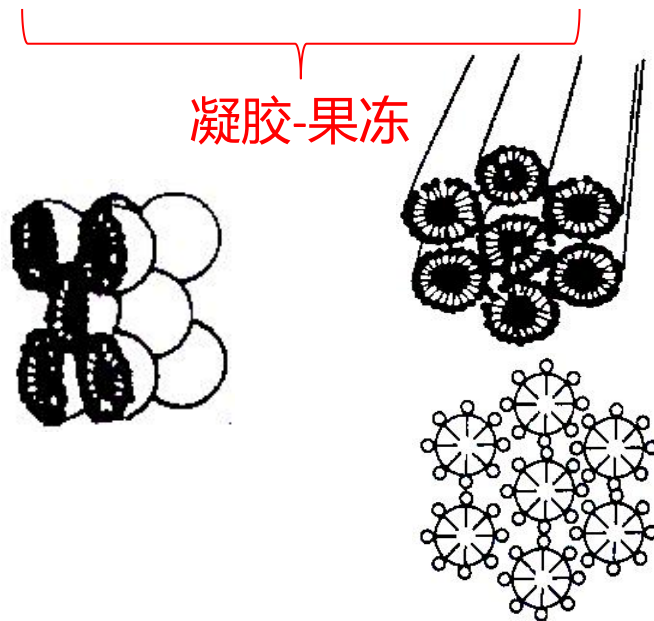
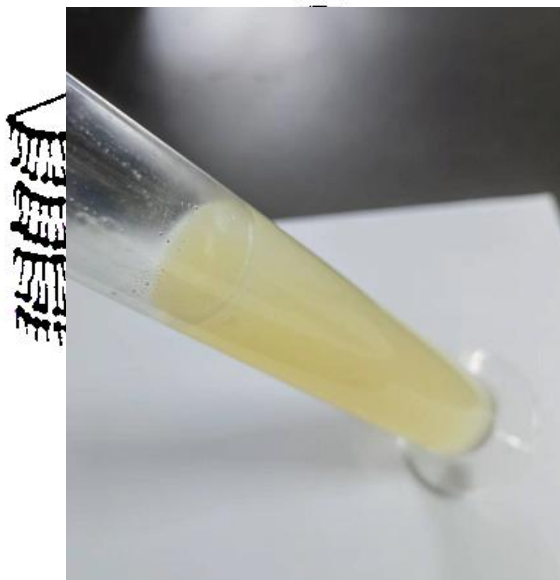
逐渐冻结

降温过程

固体  $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$  层状液晶  $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$  立方液晶  $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$  六方液晶  $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$  胶束  $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$  溶液

升温过程

凝胶-果冻

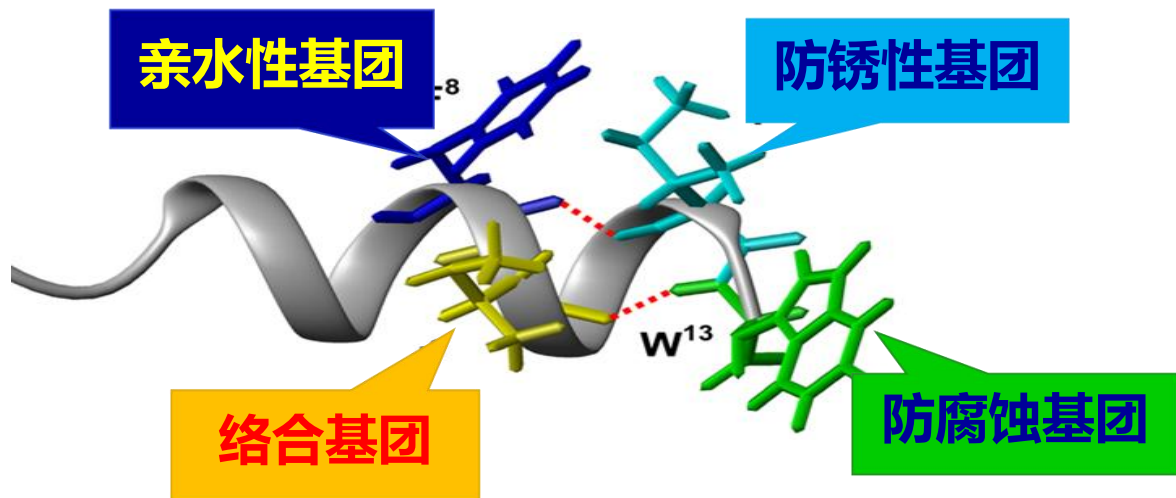


## 2、关键技术—— (2) 多功能高效技术

环境友好性

以多功能添加剂为基础组分，通过分子设计，实现可生物降解、防锈、抑菌、快速消泡等性能

### 绿色基因



绿色环保

无重金属元素

↑ 80%

生物可降解率

↓ 9000 mg/L

COD

高效抑菌

产品对矿井水中的微生物的杀菌率达 ↑ 95 %

快速消泡

工作液消泡时间小于 60 秒  
(MT/T76要求小于10min)



# 高原高寒地区支架清洗液

液压支架系统 “**清洁剂**”



解决综采支架长期运行，系统杂质淤积、  
阀件堵塞、运行缓慢等问题



# 1.综采支架系统污染物分析

## 粘附性油脂导致系统堵塞

污染物位置	25210面	15214面
液箱	有机污染物：硼酸三乙醇胺、芥酸酰胺为主	机械杂质：煤粉、泥沙、碳酸钙和铁渣： 污染物：少量有机组分
滤芯和阀芯	机械杂质：煤粉、有机氧化物和铁锈； 有机污染物：2,2’-亚甲基双-（4-甲基-6-叔丁基苯酚）和芥酸酰胺	机械杂质：煤粉、泥沙和铁锈， 有机污染物：芥酸酰胺和 2,2’-亚甲基双-（4-甲基-6-叔丁基苯酚）
特点	具有粘附性	具有粘附性

## 2.多功能高效清洗技术

### 机理与设计

微乳液原理：快速将油性污染物乳化、增溶至微小颗粒，并降低粘度而避免系统堵塞；其用液须具备良好润滑特性。

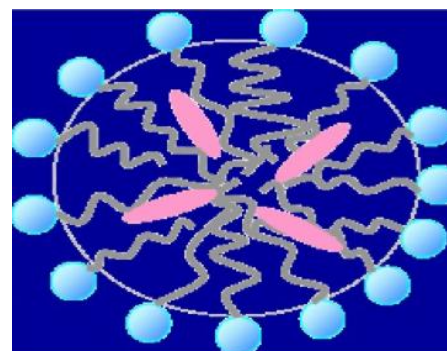
增溶类型

内部溶解型

外壳溶解型

插入型

聚氧乙烯表面型



目标

低流动型

膏状粘稠型

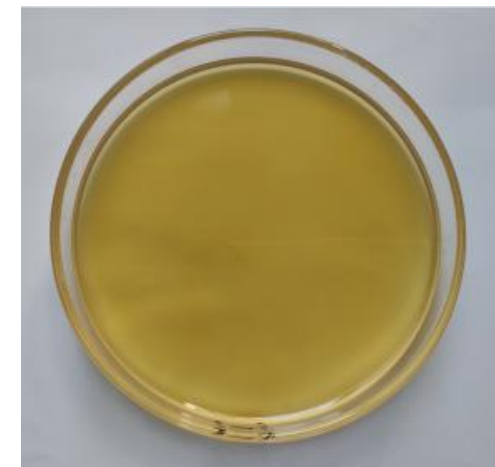
能使不溶或微溶于水的粘附物乳化、溶解于水中，且溶液基本呈透明状。



## 2.多功能高效清洗技术

### 油污的配置

成分	类型	特点	比例, W%
白油	基础油	低流动性	50
磺酸钡	缓蚀剂	难流动	25
凡士林	增稠剂	不流动	25



通过**试片称重、油污涂抹、摆洗、清洗能力评价**，考察产品的清洗性能

洗油率 $h$ :

$$h = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%$$

**清洗能力达到92%**

### 3.高效清洗液的应用

#### 陕西某煤矿

北二盘区东翼4-<sup>2</sup>煤第5个工作面，走向长度为1928m，倾向长度为325m，平均煤厚3.55m，可采储量为268.3万t，服务年限7个月，采用自动化采煤工艺。

序号	设备名称	型 号	单位	数量
1	液压支架基本架	ZY10000/20/40DB	架	179
2	端头支架	ZYD10000/20/40DB	架	7
3	过渡支架	ZYG10000/20/40DB	架	4
4	乳化液泵站	S500	3泵2箱	
5	支架电液控制系统	玛珂		



# 3.高效清洗液的应用

现场监测

液样变化



阀芯外观



液压支架系统运行及相关配件更换频率

周期	高压泵站反冲洗滤芯	支架反冲洗滤芯	支架先导阀滤芯	回液滤芯	乳化液泵运行状况	支架运行动作状况
41天	无	4	2	无粘附物	正常	正常



中国煤炭科工集团有限公司  
煤炭科学技术研究院有限公司  
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

# 系列产品技术

## 矿用难燃液压传动介质

- ◆ 环保型支架浓缩液
- ◆ 电液控专用浓缩液
- ◆ 液压支架防冻液
- ◆ 液压支架微乳液
- ◆ 液压支架用清洗液
- ◆ 重负荷发动机冷却液
- ◆ 水-乙二醇难燃液
- ◆ 无水全合成难燃液

## 矿井灾害防治工程材料

- ◆ 低放热无机改性加固材料
- ◆ 有机聚氨酯加固材料
- ◆ 纳米无机充填材料
- ◆ 高含水充填材料
- ◆ 有机喷涂材料
- ◆ 环保高效阻化剂
- ◆ 堵水材料

## 环保新材料

- ◆ 环保无氯煤炭防冻剂
- ◆ 环保型融雪剂
- ◆ 植物基抑尘剂
- ◆ 水性环保金属防腐材料
- ◆ 硅酸锂混凝土防腐材料



中国煤炭科工集团有限公司  
煤炭科学技术研究院有限公司  
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

# 敬 请 批 评 指 正!

煤炭科学技术研究院有限公司  
矿用材料分院