聚乙烯醇钻井液在招远滕家金矿岩心钻探中的应用

韩凯飞[1]，刘维平[1*]，孙健越[1]，李晓东[2]，闫昱昊[1]，高金华[1]，高　耸[1]
（1.中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心，山东 烟台 264004；2.北京探矿工程研究所，北京 100083）

摘要：为完成招远玲珑-水旺庄矿区金矿资源潜力评价，在相关矿区设计2个孔共4000 m岩心钻探任务。在ZK1603孔施工过程中，针对金刚石绳索取心钻进中存在的孔壁垮塌、钻杆内壁结泥皮等问题，开展了基于聚乙烯醇（PVA）为抑制剂的无固相防塌钻井液研究，相比于腐植酸钾、磺化沥青等常规抑制剂，聚乙烯醇具有更强的抑制性，且抑制性与聚合度呈正相关；通过对比测试，确定了以聚乙烯醇（PVA）作为增黏提切剂、磺化褐煤树脂（SPNH）和磺化沥青（FT-342）作为降失水剂来配制钻井液。经实际应用，取得了较好的效果。

关键词：聚乙烯醇钻井液；无固相防塌钻井液；岩心钻探；绳索取心；断层泥；滕家金矿
中图分类号：P634.6　　**文献标识码：**B　　**文章编号：**2096-9686(2026)S1-0297-05

Application of polyvinyl alcohol drilling fluid in core drilling construction of Tengjia Gold Mine in Zhaoyuan

HAN Kaifei[1], LIU Weiping[1*], SUN Jianyue[1], LI Xiaodong[2], YAN Yuhao[1], GAO Jinhua[1], GAO Song[1]
(1. *Yantai Center of Coastal Zone Geological Survey, China Geological Survey, Yantai Shandong* 264004, *China*; 2. *Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: In order to complete the evaluation of the gold resource potential of the Linglong-Shuiwangzhuang mining area, Zhaoyuan, two drill holes with a total of 4000 m coring task were designed and carried out in the relevant mining area. In the construction of ZK1603 hole, the research on solid-free anti-collapse drilling fluid based on polyvinyl alcohol (PVA) as an inhibitor was carried out, aiming at the problems of hole wall collapse, mud-making, and mud cake buildup on the inner wall of the drill pipe in the mudstone formations in the process of diamond wire-line core drilling. Compared with conventional inhibitors such as potassium humate and sulfonated asphalt, polyvinyl alcohol had strong inhibition, which was positively correlated with the degree of polymerization. Through comparative tests, it was determined that polyvinyl alcohol(PVA) was used as a viscosifying cutting agent, sulfonated lignite resin (SPNH) and sulfonated asphalt (FT-342) were used as water loss reducing agents to prepare the drilling fluid, which achieved good results in the actual practice.

Key words: polyvinyl alcohol drilling fluid; solid-free anti-collapse drilling fluid; core drilling; wire-line coring; fault gouge; Tengjia Gold Mine

0　引言

在小口径金刚石绳索取心钻进中，为满足低黏度、低固相、强润滑等要求，选用无固相或低固相钻井液[1]。常用的无固相钻井液主要由聚丙烯酰胺（PAM）、部分水解聚丙烯酰胺（PHP）、黄原胶（XC）、植物胶等合成聚合物或天然聚合物中的一种或几种组成，相比于清水及乳状液，该类钻井液具有较好的携岩、润滑以及护壁的综合效果[2-4]。然而，

收稿日期：2026-06-30；**修回日期：**2026-08-04　　**DOI：**10.12143/j.ztgc.2026.S1.038
第一作者：韩凯飞，男，汉族，1989年生，工程师，勘查技术与工程专业，主要从事陆域金矿深部钻探、海岸带海洋船载钻探、钻探现场技术管理工作，山东省烟台市芝罘区机场路287号，819809146@qq.com。
通信作者：刘维平，男，汉族，1986年生，高级工程师，勘查技术与工程专业，长期从事探矿工程技术研发、现场施工管理与科研攻关工作，山东省烟台市芝罘区机场路287号，563916176@qq.com。
引用格式：韩凯飞，刘维平，孙健越，等.聚乙烯醇钻井液在招远滕家金矿岩心钻探中的应用[J].钻探工程，2026，53(S1)：297-301.
HAN Kaifei, LIU Weiping, SUN Jianyue, et al. Application of polyvinyl alcohol drilling fluid in core drilling construction of Tengjia Gold Mine in Zhaoyuan[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1): 297-301.

由于缺少固相颗粒,在钻进破碎、松散等力学强度不稳定地层时难以在孔壁上形成具有一定强度的泥皮,导致其防塌能力不足。聚乙烯醇(PVA)等处理剂凭借其独特的防塌机理为研究人员所重视[5-6],并被应用到钻井液中。为了充分发挥无固相钻井液在深部绳索取心钻探中的优势,并提高其防塌、处理孔内垮塌以及应对多种污染物的能力,基于聚乙烯醇为抑制剂研究应用一种无固相防塌钻井液。

1 工程概况

1.1 工区概况

所属项目为山东招远玲珑-水旺庄金矿资源潜力评价项目钻探工程,在招远市滕家(前花园)矿区共设计2个钻孔共计4000 m岩心钻探任务,其中ZK1603孔终孔深度1996.66 m,ZK2003孔终孔深度2076.66 m,利用钻探对深部进行控制,大致查明矿脉规模、产状及蚀变矿化情况。

工作区位于山东半岛西(中)北部,行政区划隶属山东省烟台市,工作区交通便利,东西向有荣乌高速公路(G18)、荣潍高速公路(S16)和国道G308贯穿全区,南北向有烟海高速(S11)和龙青高速(S19)连接互通。道路都已进行路面硬化,工作便利。胶东半岛位于黄海、渤海之间,为东北—西南向狭长的低山丘陵区,东西长约300 km,南北宽近70 km,面积约21000 km^2。地貌以丘陵为主,地表切割一般,海拔一般为200~300 m。在丘陵之间有海拔500~1000 m的低山。区内水系发育,气候适宜,为温带季风大陆性湿润气侯,受海洋调节,四季分明,昼夜温差较小。

工作区矿产资源丰富,主要有金、银、铁、铜、钼、石墨及海砂、花岗岩等。胶西北地区是山东省,也是全国金矿的重要分布区和重要产区。著名的三山岛、新立、焦家、新城、玲珑、夏甸、蓬家夼、辽上等大型、超大型金矿床均位于该区,中小型金矿床也星罗棋布,同时其他多金属、非金属矿床(点)也遍布全区。本区采矿业发达,机械化程度高,人口稠密,劳动力资源丰富,电力充足,矿山建设具有良好的自然条件。

1.2 地层情况

施工区地表出露新太古代TTG岩系之细粒黑云奥长花岗岩,深部为侏罗纪玲珑型二长花岗岩。区内断裂构造发育,以NE-NEE向为主,主要有破头青断裂、栾家河断裂以及九曲断裂等,以主裂面(断层泥)为中心向两侧依次分布黄铁绢英岩化碎裂岩、绢英岩化花岗质碎裂岩、黄铁绢英岩化花岗岩、花岗岩。以破头青断裂为界,断裂下盘(西北侧)主要为玲珑型花岗岩的弱片麻状含斑粗中粒二长花岗岩,上盘(东南侧)主要为栾家河型花岗岩的含粗斑中粒含白云母二长花岗岩,早前寒武纪变质岩系在花岗岩中呈包体出现。脉岩以闪长岩脉最为发育,其次有煌斑岩和辉绿玢岩脉,呈北东向、北北东向、北东东向分布。区内断裂破碎带长2600 m,厚350~450 m,走向NE60~70°,倾向SE,倾角35~45°。断裂上盘次级裂隙发育,岩石较破碎,由碎裂状花岗岩、绢英岩化碎裂岩等组成;下盘由黄铁绢英岩和黄铁绢英岩化碎裂岩、花岗质碎裂岩组成,蚀变较强,在远离主断裂的花岗岩中偶见石英脉。断裂主裂面一般不清晰,局部具有明显裂面,并发育有断层泥。地层分层情况见表1。

施工区内地质构造强烈,地层破碎(见图1),普遍存在强水敏性、松散破碎绿泥石蚀变层。该地层微裂隙极为发育,在毛细作用下极易从钻井液中吸水,导致其自身强度降低;绿泥石与钻井液接触后,引起晶格间膨胀,导致膨胀缩径或分散剥落;岩石本身缺乏胶结性,水敏性矿物水化分散后引起其整体结构松散,在钻井液冲洗及钻具扰动条件下快速失稳。钻孔设计孔深均超过1000m,而且普遍钻遇强水敏绿泥石层,常规的植物胶钻井液难以有效进行护壁工作。

经采样确定岩石密度为2.57~2.67 g/cm^3,含水率0.07%~0.29%,见表2。

1.3 工区常用钻井液类型

针对矿区地层情况,常用钻井液主要有三种类型:

1.3.1 风化层及强变质层用膨润土钻井液

该层岩石风化强,裂隙发育,比较破碎,取心困难,掉块严重、漏水。钻孔坍塌超径、钻井液完全漏失,对此选择膨润土钻井液开孔。

钻井液配方:清水+12%钠膨润土。主要解决坍塌、掉块、岩粉携带等问题,为下一步扩孔变径打好基础。

钻井液性能:漏斗黏度35~43 s,密度1.05~1.07 g/cm^3,滤失量12~15 mL,pH值7.5。

1.3.2 裂隙发育、漏失地层用低固相堵漏钻井液

该区钻孔在不同程度上都会发生漏失现象,导

表1　漏失地层状况

分层号	地层深度/m	地层岩性	分层描述
19	1553.00	断层泥和构造角砾岩	该层为灰白—灰绿色断层泥,含有少量构造角砾岩,角砾呈半磨圆状
20	1557.00	花岗质碎裂岩	该层为花岗质碎裂岩,浅肉红色花岗结构,块状构造。主要矿物为石英(30%)、斜长石(40%)、钾长石(25%)和黑云母等暗色矿物(5%),裂隙普遍发育,弱绿泥石化,少量黄铁矿星点分布。部分孔段含浅灰绿色断层泥
21	1592.50	碎裂二长花岗岩	该层为肉红色碎裂二长花岗岩,中粗粒花岗结构,块状构造。主要矿物为石英(35%)、斜长石(30%)、钾长石(30%)和黑云母等暗色矿物(5%)岩石较完整,可见明显蚀变和矿化,少量裂隙中充填有碳酸盐脉和矿化
22	1849.40	片麻岩混杂少量花岗岩	该层为灰黑色片麻岩,片麻理明显。岩石整体较为完整,矿化明显,片麻岩中见星点状黄铁矿
23	1868.80	钾化碎裂花岗岩	该层为肉红色钾化碎裂花岗岩,中粗粒花岗结构,块状构造。主要矿物为石英(25%)、斜长石(25%)、钾长石(45%)和黑云母等暗色矿物(5%)。局部可见钾长石斑晶,粒径1~1.5 cm,或者更大。局部裂隙发育,矿化富集,细粒状黄铁矿沿裂隙分布

(a)完整地层岩心

(b)漏失地层岩心

图1　施工区地层岩心

致孔壁极不稳定。

钻井液配方:清水+4%钠膨润土+0.3%高黏纤维素+0.6%腐植酸钾。

钻井液性能:漏斗黏度26~30 s,密度1.01~1.03 g/cm^3,滤失量14~18 mL,pH值8。

该护壁堵漏钻井液在外部压力作用下,能够进入到岩层的裂隙中,起到封闭漏失通道。漏失严重孔段可采取孔口投掷泥球、聚丙烯酰胺加锯末等方式进行堵漏。

1.3.3　相对完整、坚硬"打滑"地层用聚合物润滑钻井液

该地层需要较高的转速,要求钻井液冷却润滑性能优良。

表2　岩石密度及含水率

野外编号	试样天然质量/g	试样水中质量/g	试样体积/cm^3	岩石天然密度/(g·cm^{-3})	含水率/%
1	310.89	192.43	118.46	2.62	0.11
2	187.76	114.82	72.94	2.57	0.17
3	248.91	154.09	94.82	2.63	0.14
4	233.63	144.34	89.29	2.62	0.14
5	234.16	144.18	89.98	2.60	0.29
6	225.64	139.52	86.12	2.62	0.10
7	184.76	113.90	70.86	2.61	0.16
8	332.03	205.61	126.42	2.63	0.10
9	284.51	176.85	107.66	2.64	0.13
10	309.22	191.15	118.07	2.62	0.15
11	305.07	189.11	115.96	2.63	0.11
12	177.44	109.88	67.56	2.63	0.10
13	205.62	127.66	77.96	2.64	0.14
14	253.46	158.25	95.21	2.66	0.08
15	268.01	167.57	100.44	2.67	0.07
16	219.82	136.23	83.59	2.63	0.11

钻井液配方:清水+0.03%聚丙烯酰胺+0.3% PAC141/142+0.6%腐植酸钾。

钻井液性能:漏斗黏度22~26 s,密度1.01 g/cm^3,pH值8。

1.4　钻进参数

本次施工全面采用金刚石绳索取心钻进工艺,配套多级变径钻孔结构,适配矿区浅表破碎、深部绿泥石蚀变的地层特点,开孔口径:采用Ø150 mm

口径开孔，钻穿表层风化松散层、浅部破碎带后，下入Ø146 mm表层套管固井，封隔浅表易塌、漏失地层，建立稳定孔口条件。终孔口径：采用Ø76 mm口径施工至终孔，完成深部花岗岩及矿层段取心。不同口径钻进时，参考表3的钻进参数施工。地层完整、岩屑多时，泵量应适当加大，地层破碎或钻进断层泥地层时，泵量应适当减小。

表3 钻孔分段参数

钻孔口径/mm	钻压/kN	转速/(r·min^{-1})	泵量/(L·min^{-1})
Ø150	0～12	80～300	60～120
Ø122	15～17	80～300	60～120
Ø98	12～15	350～700	60～90
Ø76	10～12	400～800	40～79

2 聚乙烯醇钻井液现场应用

聚乙烯醇是分子主链含有-CH_2-CH(OH)-基团的高聚物，由聚醋酸乙烯酯醇解而制得。由于聚乙烯醇自身含有大量的羟基，能够取代水分子在孔壁表面产生强力吸附，吸附速度快且胶结作用强，所以可以用来配制无固相钻井液以满足护壁需要[7]。尤其是在松散性水敏地层中钻进，取得了良好的使用效果[8-12]。

在ZK1603钻孔施工过程中，于1218.4～1434.5 m处钻遇绿泥石层。钻进过程中发生了严重的蹩车、蹩泵等现象，采用无泵钻进捞取孔底沉渣到底后，继续钻进3个回次后又发生蹩车、憋泵现象，严重影响了施工进度。基于上述问题，在ZK1603钻孔后续再次遇到断层泥时，使用无固相聚乙烯醇钻井液进行施工。

2.1 聚乙烯醇加量

所选用的聚乙烯醇的醇解度为98%以上，聚合度约为2000。其良好的成膜性取决于疏水主链上带有亲水侧基，而且该亲水侧基与水的吸引力大于其本身的内聚力，单分子链节与岩石表面发生牢固的“平卧式”吸附，从而起到胶结松散岩石、保护孔壁的作用[13]。在金刚石绳索取心钻进中，由于环空间隙小，要求钻井液的黏度不能过高[14-18]。因此，配制不同浓度的聚乙烯醇溶液，分别测试其表观黏度值如图2所示，以确定较为合适的加量。

从图2可知，随着聚乙烯醇浓度的增加，表观黏度逐渐增加；在2%时表观黏度为10 mPa·s，已经具有较强的稳定岩心碎块的能力，当加量超过3%时，其黏度基本呈指数趋势急剧增加，过高的黏度对于泵压影响较大，也会由于压力“激动”而产生孔壁失稳的问题，所以，结合岩心钻探钻井液黏度要求，将聚乙烯醇的加量控制在3%以下是比较合适的。

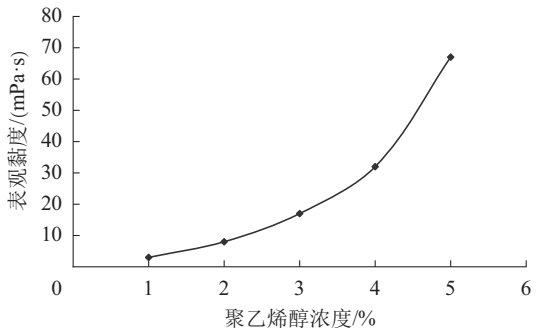

图2 表观黏度随聚乙烯醇浓度的变化

2.2 降失水剂的选择

实验发现，以聚乙烯醇配制的钻井液在做滤失试验时基本为全失，这对于防止孔壁失稳是不利的。因此，使用常用的降失水剂添加到聚乙烯醇溶液内，测试其滤失量的变化情况。由图2可知，聚乙烯醇加量在3%时具有很强的稳定岩心碎块的能力，但是此时的表观黏度达到16 mPa·s左右，对于岩心钻探而言黏度偏高[12,19]，与其他降失水剂复配时可能导致黏度继续增加而引起泵压过高[20-22]。而聚乙烯醇浓度在2%时已经具有较强的稳定岩心碎块的能力，从成本以及复配处理剂时钻井液黏度增加等方面考虑，在优选降失水剂试验中，选用聚乙烯醇的浓度为2%，分别添加磺化酚醛树脂(SMP)、植物胶(CL-1)、磺化沥青粉(FT-342)以及磺化褐煤树脂(SPNH)，加量均为2%，测试上述降失水剂对其黏度与滤失量的影响，测试结果见表4。

由表4可知，CL-1对黏度影响比较大，也具有良好的降失水的能力，可以作为提黏型降失水剂；SMP、SPNH和磺化沥青均对黏度影响较小，其中，

表4 不同降失水剂对聚乙烯醇溶液的性能影响

类 型	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	滤失量/mL
基液	6	7	0	全滤失
基液＋SMP	13	11	0.6	40
基液＋CL-1	88	69	15	6
基液＋SPNH	9	9.5	0.6	15
基液＋FT-342	9	8	0.5	13

磺化沥青的降失水效果更好,且磺化沥青具有一定的封堵能力和润滑作用,更符合钻井液对降失水剂的要求[23-24]。

2.3　现场应用及效果

通过现场分析和实验,将常规低固相钻井液改为聚乙烯醇无固相钻井液,按照配方"2%聚乙烯醇+0.1%植物胶+2%磺化沥青"配制钻井液,按照"先无机处理剂再有机处理剂,先小分子量处理剂再大分子量处理剂"的原则,按顺序依次加入各处理剂,用搅拌机充分搅拌。有机处理剂提前浸泡使用效果更佳[25-26]。

现场配制钻井液时,首先彻底清理地面循环系统剩余的原低固相钻井液,分别配制6%浓度聚乙烯醇、0.3%植物胶和6%浓度的磺化沥青溶液,混合均匀后稀释到配方浓度,开泵循环,将配制好的聚乙烯醇溶液送至孔内,观察到部分沉渣返出至地面,苏式漏斗黏度从28 s降低至18 s左右。说明溶液中的有效物被快速地吸附在孔壁或沉渣上。为确保使用效果,继续配制该无固相钻井液并泵送至孔内。

钻井液使用过程中,要定期测量,每个班至少测定2次钻井液性能,并记录测试结果。钻井液性能不满足技术指标要求时需及时调整,确保钻井液性能稳定,保持良好的护壁效果。

在1553 m再次遇到绿泥石层,更换聚乙烯醇钻井液后顺利穿过。此次钻穿的绿泥石层共耗时2 d,回次进尺在1 m以内;继续钻进50 m后改用普通钻井液至终孔。

3　结论

(1)在滕家金矿绿泥石层钻进中使用聚乙烯醇钻井液,展现了良好的防塌护壁效果。

(2)单独使用聚乙烯醇配制的钻井液滤失量较高,不利于孔壁稳定,需要在聚乙烯醇溶液中添加降失水剂,减少水分对绿泥石地层的浸泡破坏,提高孔壁稳定性。

(3)在处理孔内垮塌物时,该钻井液存在携岩能力不足的问题,有时甚至会引起孔内工况的进一步恶化。

参考文献:

[1] 王中华.国内外钻井液技术进展及对钻井液的有关认识[J].中外能源,2011,16(1):48-60.

[2] 姜桂春.聚丙烯酰胺无固相冲洗液在复杂地层中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,41(1):34-37.

[3] 李生海,马智跃,邓先明,等.高分子聚合物无固相冲洗液在牛头山深钻CUSD3孔的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):29-32.

[4] 李攀义,单文军,徐兆刚,等.成膜防塌无固相钻井液体系在金鹰矿区ZK1146井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):26-30.

[5] 张翼,方俊伟,于培志,等.塔里木盆地顺北一区柯吐尔组失稳特征及钻井液技术研究[J].地质科技情报,2019,38(4):281-286.

[6] 方俊伟,苏晓明,熊汉桥,等.塔中区块成膜封缝堵气钻井液体系[J].地质科技情报,2019,38(2):297-302.

[7] 王文臣,靖向党,何世鸣.无固相钻井液的研制与护壁作用机理[J].地质与勘探,1990(4):54-58.

[8] 赵生庆,李录波,卢彬,等.前郭县深井子油页岩矿区松散层钻进护壁堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):13-14.

[9] 张元清,宋健.长白矿区复杂地层多金属矿深孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):13-16.

[10] 宋世杰,陈师逊,杨芳.三山岛海上金矿勘查工程ZK3410孔坍塌原因与处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):26-28,32.

[11] 刘志峰.无固相冲洗液在变质岩系复杂地层绳索取心钻进中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):14-18.

[12] 全志刚. PVA无固相冲洗液在吉林珲春松林油页岩矿区水敏地层中的应用[J].吉林地质,2007(1):80-82.

[13] 王禹,杨春柳,吕小燕.PVA无固相冲洗液在吉林珲春松林矿区复杂地层的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(7):14-15.

[14] 朱旭明,乌效鸣,郑文龙,等.深孔绳索取心钻进用无固相防塌钻井液试验[J].地质科技通报,2021,40(2):118-124.

[15] 黄聿铭,张金昌,郑文龙.适于深部取心钻探井超高温聚磺钻井液体系研究[J].地质与勘探,2017,53(4):773-779.

[16] 刘俊辉.成膜防塌无固相冲洗液在绿泥石化水敏蚀变地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(12):36-41.

[17] 王鹏飞,郭曜欣,翟育峰,等.小秦岭金矿田3500 m特深孔复杂地层冲洗液技术[J].钻探工程,2024,51(5):115-121.

[18] 余桂红.洛宁上宫金矿深孔断层破碎带护壁冲洗液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):19-23.

[19] 嵩县金矿勘查课题组.嵩县金矿区复杂地层强抑制PVA无固相泥浆技术研究[J].中国地质调查,2022,9(4):78-83.

[20] 李攀义.磺化沥青+SPNH复配降失水剂在成膜钻井液中的优化试验[J].地质科技情报,2020,39(3):245-250.

[21] 赵浩.破碎蚀变花岗岩地层植物胶与PVA复合冲洗液应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):35-38.

[22] Huang Y M, Zheng W L, Zhang G Q, et al. Laboratory investigation on inhibition of polyvinyl alcohol used for wireline coring drilling[J]. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2024,14:2239-2255.

[23] 董同新.湖北恩施某铁路隧道定测深孔钻探施工技术[J].钻探工程,2025,52(5):142-147.

[24] 李冰乐,王胜,袁长金,等.复杂山区水平绳索取心定向钻进聚合醇绿色防塌冲洗液研究[J].钻探工程,2023,50(6):85-91.

[25] 苏力才,蒙学礼,李永卫,等.PVA1788成膜体系无固相冲洗液在桂柳地1井的应用[J].钻探工程,2022,49(5):57-63.

[26] 苏力才,谢健全,李永卫,等.PVA1788无固相冲洗液体系的研究与应用[J].钻探工程,2022,49(4):68-73.

(编辑　王文)