植物胶冲洗液成膜防塌机制研究与应用

王 胜[1]，潘安邦[1]，向 杰[1]，李奉霖[2]，袁长金[3]，解程超[1]，李之军[1]
（1.地质灾害防治与地质环境保护全国重点实验室，四川 成都 610059；2.中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，四川 成都 610072；3.四川省第一地质大队，四川 成都 610032）

摘要：针对深厚覆盖层绳索取心钻进中孔壁失稳、取心困难及常规冲洗液护壁效果差的问题，研发了一种新型植物胶成膜防塌冲洗液体系（K-PA）。通过室内测试评价其流变、滤失及抑制性能，利用扫描电镜、接触角及X射线衍射等表征手段揭示其成膜防塌作用机理，并在西部高原深厚覆盖层开展现场应用验证。室内试验表明，K-PA体系具有适中的黏度与动塑比，滤失量低至12.40 mL，24 h线性膨胀率为23.15%，岩心热滚回收率达96.8%。机理分析表明，魔芋胶与PVA形成刚柔复合膜，HJ颗粒架桥实现双尺度物理封堵；胺基聚醇通过阳离子中和及范德华力实现界面锚定，疏水链段聚集形成超疏水屏障阻断水分子传输，三者协同提升地层防塌抑制能力。2个试验孔段现场应用结果显示，钻进过程中孔壁稳定、无垮塌掉块，岩心采取率分别大于85%和90%，绳索取心全程无结垢、卡钻现象。该冲洗液体系可为复杂覆盖层绳索取心钻探提供环保高效的技术参考与工程借鉴。

关键词：深厚覆盖层；绳索取心；植物胶冲洗液；成膜防塌；流变性能；微观机理；绿色钻探；现场试验
中图分类号：P634.6 **文献标识码**：A **文章编号**：2096-9686(2026)06-0060-08

Research on the film-forming anti-sloughing mechanism and application of plant gum drilling fluid

WANG Sheng[1], PAN Anbang[1], XIANG Jie[1], LI Fenglin[2], YUAN Changjin[3], XIE Chengchao[1], LI Zhijun[1]
(1. *State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu Sichuan* 610059, *China*; 2. *PowerChina Chengdu Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan* 610072, *China*; 3. *The 1st Geological Brigade of Sichuan, Chengdu Sichuan* 610032, *China*)

Abstract: To address the problems of borehole instability, core recovery difficulties, and the poor wall-protection performance of conventional drilling fluids during wire-line coring in deep overburden, a novel plant-based polymer film-forming anti-sloughing drilling fluid system (K-PA) was developed. Its rheological, filtration, and inhibition properties were evaluated through laboratory tests. The film-forming anti-sloughing mechanism was revealed using characterization techniques including scanning electron microscopy (SEM), contact angle measurements, and X-ray diffraction (XRD). Field application verification was conducted in deep overburden formations on the western plateau. Laboratory tests indicate that the K-PA system exhibits a moderate viscosity and yield-plastic ratio, a filtrate loss as low as 12.40 mL, a 24 h linear swelling rate of 23.15%, and a core hot-rolling recovery rate of 96.8%. Mechanistic analysis demonstrates that konjac gum and PVA form a rigid-flexible composite film, while HJ particles bridge to achieve dual-scale physical plugging; the amino polyol achieves interfacial anchoring via cation neutralization and van der Waals forces, and the aggregation of hydrophobic chain segments forms a superhydrophobic barrier that blocks water molecule transmission. These three components synergistically enhance the formation's anti-sloughing and inhibition capabilities. Field application results from two test borehole intervals show stable borehole walls without collapse or caving, core recovery rates exceeding 85% and 90%, respectively, and no scaling or pipe sticking occurs

收稿日期：2026-05-07；**修回日期**：2026-05-22 **DOI**：10.12143/j.ztgc.2026.06.007
基金项目：地球深部探测与矿产资源勘查国家科技重大专项（编号：2024ZD1003100）
第一作者：王胜，男，汉族，1982年生，钻掘教研室主任，教授，博士生导师，地质工程专业，博士，长期从事钻探新工艺与新材料的科研与教学工作，四川省成都市成华区二仙桥东三路1号，yongyuandewangsheng@sina.com。
引用格式：王胜，潘安邦，向杰，等.植物胶冲洗液成膜防塌机制研究与应用[J].钻探工程，2026，53(6)：60-67.
WANG Sheng, PAN Anbang, XIANG Jie, et al. Research on the film-forming anti-sloughing mechanism and application of plant gum drilling fluid[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(6): 60-67.

throughout the wire-line coring process. This drilling fluid system provides an environmentally friendly and efficient technical reference and engineering guidance for wire-line coring in complex overburden strata.

Key words: deep overburden; wire-line coring; plant gum drilling fluid; film-forming anti-sloughing; rheological property; microscopic mechanism; green drilling; field test

0　引言

覆盖层是经各类地质作用堆积于基岩之上的松散堆积物,其结构层次复杂,常存在松散架空现象,地层中多含巨漂石、细粒土,并赋存多层地下水;岩性主要包括砂层、砂砾层、砂质黏土、粉质黏土及黏土[1-2]。该地层胶结性差,且软硬互层多,易发生缩径、剥落、坍塌和砂侵等复杂情况。如西部某重大水电工程重要坝区,覆盖层深厚且结构松散,孔壁稳定困难,覆盖层漏失与涌水并存,冲洗液护壁堵漏困难[3]。岩心钻探作为广泛应用的勘探手段,面对深厚覆盖层时,常常出现空采、岩心采取率低等问题,极大地影响工程成本与进度[4]。

目前覆盖层取心大多采用常规提钻取心,钻进效率低,劳动强度大。绳索取心钻探技术虽能显著提高钻进效率和质量[5-7],但其应用受深厚覆盖层地层条件的严重制约,亟须研发护壁防塌性能优异且环保的新型冲洗液体系。绳索取心钻进对冲洗液的要求包括:低固相或无固相以避免钻柱内壁沉积结垢;具备优异的润滑性和流变性;低环空循环压力;良好的滤失控制能力以形成致密滤饼;能有效抑制地层水敏性膨胀,预防孔径收缩。

植物胶冲洗液天然契合绳索取心钻进要求。植物胶属于天然高分子聚合物,主要由多糖、蛋白质、脂肪构成,具有护心、黏弹性减振、紊流减阻三大特殊功效,能显著降低滤失量、改善润滑效果。更重要的是,植物胶冲洗液具有突出的绿色环保特性。研究表明,植物胶取材于天然植物,对环境友好,目前已在钻探行业得到广泛关注与应用[8-10]。王皓等[11]对多种基于植物胶处理剂构建的冲洗液体系进行生物毒性测试与综合效能评价,结果表明其性能良好。Singh等[12]指出植物基纳米添加剂作为可持续、环保的替代品,在冲洗液流变性、降滤失性和环境安全性方面可媲美或超越传统添加剂。在现场应用方面,佟浩等[13-14]提出植物胶冲洗液回转取心钻进技术在提高覆盖层取心率方面表现优异,取得了良好的工程成果和经济效益。有地质队在覆盖层钻进过程中采用植物胶配制低固相冲洗液进行裸孔钻进,过程中孔壁基本稳定,但随着孔深的增加孔内沉渣不断增多,后续钻进非常困难[15]。孙京卫等[16]根据工程实践科学配制SH植物胶新型低固相冲洗液用以钻进302.77 m砂卵石覆盖层,取得了较好的工程效果。

针对高性能植物胶成膜防塌冲洗液体系,通过大量前期研究,已构建了一套具有良好地层适配性的新型植物胶冲洗液体系K-PA。本文对植物胶冲洗液体系K-PA进行室内性能评价,运用扫描电镜(SEM)测试、接触角分析、X射线衍射分析(XRD)阐述植物胶与其他处理剂协同成膜防塌机理,并通过现场实践应用验证该冲洗液体系的成膜防塌效果。研究成果为研发新型环保无固相冲洗液、攻克复杂地层取心难题提供了新思路,对深厚覆盖层绳索取心钻进具有重要工程价值。

1　植物胶冲洗液体系及室内性能评价

1.1　植物胶冲洗液体系组成和性能评价方法

植物胶冲洗液体系K-PA成膜基体由魔芋胶和成膜助剂PVA组成,改性处理剂包括流变改性剂HJ、防塌抑制剂胺基聚醇。K-PA冲洗液配方:0.2%纯碱+0.3%魔芋胶+0.9% PVA+0.6% HJ+1.0%胺基聚醇。

冲洗液性能主要包括流变性能、成膜性能,流变性能使用数显六速旋转黏度计测试评价,成膜性能通过滤失特性与抑制特性来表征,其中滤失特性通过API标准滤失仪测定,抑制特性通过浸泡岩心测量线性膨胀率,以及使用数显式滚子加热炉在80±3 ℃温度下热滚16 h,测定页岩岩样滚动回收率表征。

1.2　植物胶冲洗液体系性能测试结果

植物胶冲洗液室内性能测试结果见表1。该冲洗液体系具有适中的黏度及动塑比,可以高效携岩和泵送;滤失量和岩心线性膨胀率均处于较低水平,岩心热滚回收率达96.8%,表明冲洗液体系具有优异的降滤失和抑制性能,能有效成膜防塌,维持孔壁稳定,可以满足绳索取心钻进的需要。

表1 植物胶冲洗液体系性能测试

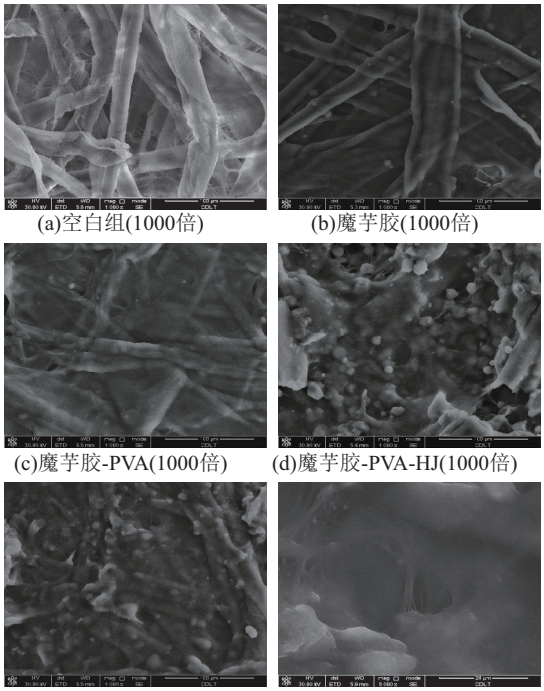
Table 1 Performance test of the plant-based polymer drilling fluid system

AV/(mPa•s)	PV/(mPa•s)	YP/Pa	τ_0/μ_p	滤失量/mL	24 h线性膨胀率/%	岩心热滚回收率/%	层间距/nm
30.75	22.40	8.53	0.38	12.40	23.15	96.8	1.773

2 植物胶冲洗液成膜防塌机理分析

2.1 SEM电镜分析

采用场发射扫描电镜对冲洗液体系的成膜结构进行系统表征。分别制备魔芋胶基体、魔芋胶-PVA复合体、魔芋胶-PVA-HJ三元体系及K-PA体系试样，并以空白组作为对照进行试验。电镜扫描结果如图1、图2所示。



(a)空白组(1000倍) (b)魔芋胶(1000倍)

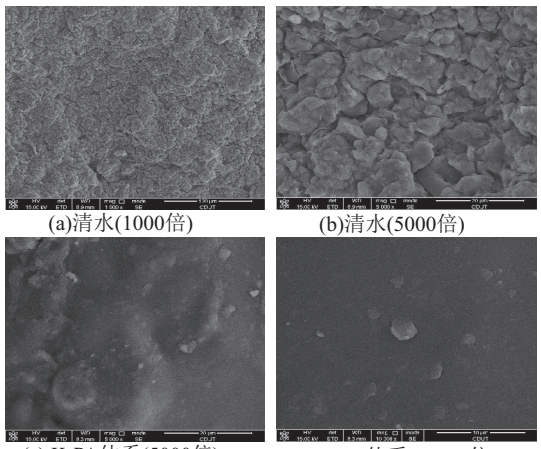
(c)魔芋胶-PVA(1000倍) (d)魔芋胶-PVA-HJ(1000倍)

(e) K-PA体系(1000倍) (f) K-PA体系(5000倍)

图1 不同体系滤纸表面微观形貌

Fig.1 Microscopic morphology of filter paper surface under different systems

图1(a)为空白滤纸的微观形态结构，观察到纤维束交错、表面粗糙，孔隙间无有效连接，液体粒子易通过。图1(b)中魔芋胶透过滤纸附着于纤维表面成膜包裹，但成膜程度不足以完全覆盖孔隙，因此虽具有一定的滤失控制能力但在冲洗液循环过程中易受剪切破坏，导致滤失量增大。对比图1(c)魔芋胶与PVA共溶于水后形成的聚合物溶液成膜形貌，魔芋胶的刚性骨架与PVA的柔性链通过氢键作用与分子缠结等物理交联形式形成“刚柔并济”的复合



(a)清水(1000倍) (b)清水(5000倍)

(c) K-PA体系(5000倍) (d) K-PA体系(10000倍)

图2 不同体系岩心表面微观形貌

Fig.2 Microscopic morphology of core surface under different systems

结构[17-18]，PVA分子填充魔芋胶骨架间隙，减少孔隙尺寸并增强膜层强度，改善滤失性能。图1(d)进一步添加HJ后，细小颗粒状物质不规则地穿插于膜内，在压差的作用下作为架桥粒子连接成膜基体协同封堵地层中的裂缝及孔隙，宏观性能表现为滤失量进一步降低。图1(e)K-PA体系下膜层具有高度连续性，在滤纸表面形成致密覆盖层，颗粒附着较均匀。图1(f)在高倍数下未见明显的微裂缝，证明最终优化配方所形成的膜结构较好，可有效抵抗钻进过程中流体的冲刷侵蚀，稳定滤失性能。

对清水和K-PA体系处理后的岩心微观形貌进一步分析。由图2(a)、(b)可见，由于水化膨胀应力释放，清水处理的岩心表面黏土颗粒松散堆积，层间发育大量交错裂隙[19]。而图2(c)经K-PA体系处理后的岩心表面紧密覆盖连续均匀的吸附膜层，未见明显裂隙或剥落现象。图2(d)高倍SEM图(10000倍)显示，膜层内部均匀嵌有大量粒径0.1～1.0 μm的黏土颗粒，表明聚合物膜层通过物理包裹作用将黏土颗粒固定于三维网络结构中，形成“颗粒-膜层”复合增强界面。该嵌合结构一方面可通过机械互锁效应抑制黏土颗粒迁移，另一方面利用高覆盖率膜层阻断滤液沿微裂缝的侵入路径，为孔

壁稳定提供双重保障。

2.2　接触角分析

表面润湿性作为表征固-液界面相互作用的关键参数，可定量反映成膜材料对黏土表面的改性程度。接触角试验结果如图 3 所示，其对应的线性膨胀率和 XRD 岩心层间距如图 4 所示。

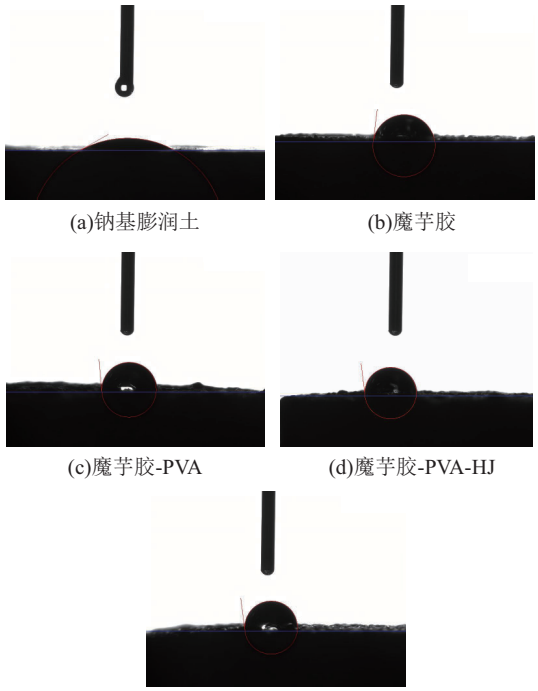


图 3　不同体系处理前后岩心表面的接触角

Fig.3　Contact angle of core surface before and after treatment with different systems

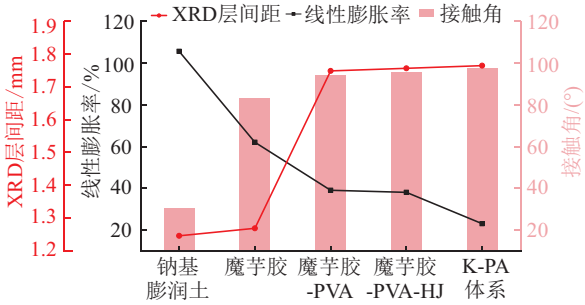


图 4　不同体系下的抑制水化能力

Fig.4　Hydration inhibition capability under different systems

结合图 3、图 4 分析，不同体系处理前后的黏土表面接触角变化显著。图 3(a)钠基膨润土表面接触角为 30.38°，表现出强亲水性，易发生水化膨胀，岩心线性膨胀率达到 106%。图 3(b)经魔芋胶吸附处理后，接触角提升至 83.16°，膨胀率降至 63%。这可能源于魔芋胶分子通过物理吸附作用覆盖黏土表面部分极性位点，降低表面能并延缓水分子吸附速率[20-21]。图 3(c)引入 PVA 后接触角增至 94.48°，膨胀率进一步降至 38%。PVA 分子链中的疏水 CH_2 基团在膜表面富集，形成低表面能区域，同时 PVA 与魔芋胶的氢键交联显著增强膜层致密性，协同抑制水分子渗透[22]。图 3(d)添加 HJ 后仅使接触角微增至 95.4°，膨胀率同样轻微下降。说明 HJ 主要通过物理封堵提升膜层机械强度来辅助提升体系防塌能力。图 3(e)所示最终优化配方 K-PA 体系接触角达到 97.41°，膨胀率降幅提升，为 23%，体系位于疏水区间。值得注意的是，当接触角＞95°后膨胀率下降显著，表明疏水效应在抑制后期起主导作用。K-PA 体系中，胺基聚醇通过胺基嵌入黏土层间，其环氧丙烷与环氧丁烷聚合形成的疏水链与魔芋胶-PVA 协同在层间入口形成能量屏障，即使层间有扩张趋势，也能阻断水分子传输通道，将线性膨胀率控制在可接受范围内。

2.3　XRD 分析

进行 XRD 试验，并运用软件 MDI Jade 6 对数据进行处理，通过晶面间距的定量表征，追踪层间距结构变化规律。膨润土及膨润土经过魔芋胶基体、魔芋胶-PVA 复合体、魔芋胶-PVA-HJ 三元体系、K-PA 体系插层后的测试结果如图 5 所示。

XRD 测试结果表明，原始膨润土的层间距为 1.254 nm，经过魔芋胶插层后层间距微增至 1.277 nm，表明魔芋胶分子刚性骨架部分嵌入黏土层间，

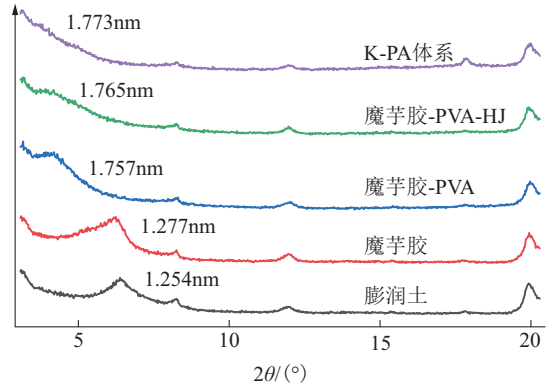


图 5　不同配方作用下膨润土的 XRD 图谱

Fig.5　XRD patterns of bentonite under different formulations

形成初步物理屏障，抑制渗透水化。当引入PVA后，层间距升至1.757 nm，而体系抑制性增强，这是由于PVA的羟基与魔芋胶的多糖链可通过分子间氢键交联，形成“刚性骨架-柔性填充”复合结构，魔芋胶的刚性链提供空间支撑，限制黏土层间的无序扩展，而PVA的柔性链通过动态氢键重组吸收水化应力，允许层间有限膨胀以释放能量，从而避免结构崩塌。同时结合前文SEM与接触角分析结果，PVA加入后膜层更加连续致密，疏水性提升，说明这种结构不仅增强物理封堵能力，还通过减少水分子渗透路径的连通性抑制渗吸。K-PA体系层间距为1.773 nm，较三元体系略微增加，说明胺基聚醇具有的阳离子基团可中和黏土表面负电荷[23]，胺基官能团部分还可嵌入黏土层间，而疏水链与PVA-魔芋胶复合膜结构协同形成低表面能屏障，阻断水分子传输，最终宏观表现为抑制性能提升。

2.4 成膜抑制防塌机理总结

基于上述SEM物相分析、接触角分析及XRD表征数据，植物胶多元复合冲洗液体系成膜抑制机理如图6所示，可归纳为物理封堵、界面锚定与疏水协同三级协同作用。

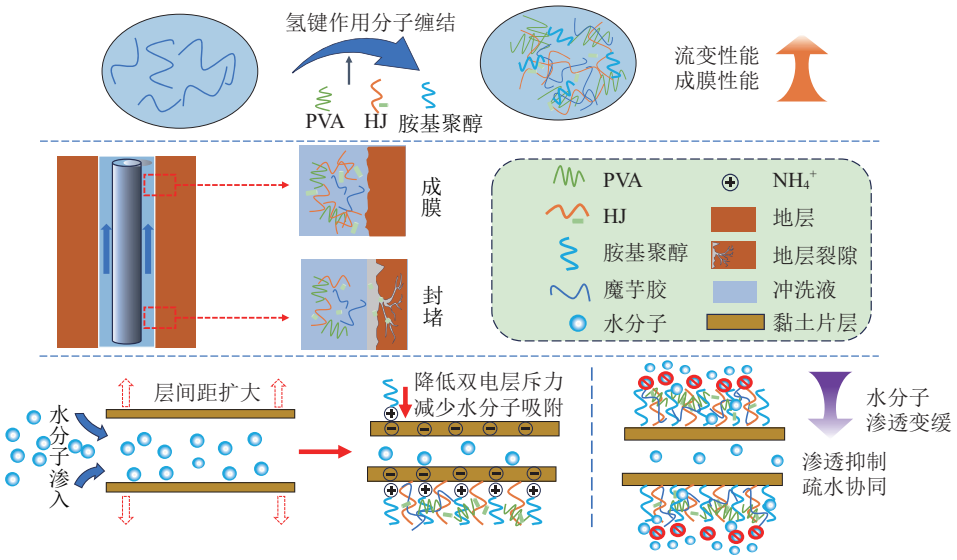


图6 K-PA体系抑制机理

Fig.6 Mechanism diagram of the K-PA system

（1）物理封堵双尺度孔隙调控：魔芋胶利用刚性分子链段形成多孔初级膜，部分嵌入黏土层间抑制颗粒分散，PVA的羟基与魔芋胶多糖链通过氢键交联，填充孔隙并增强膜层韧性，其柔性链允许层间弹性扩展，通过膨胀释放水化应力。HJ颗粒作为刚性骨架嵌入膜层以封堵大孔隙通道，协同魔芋胶-PVA基体形成双尺度封锁体系，延缓滤液侵入岩层。

（2）界面锚定物理化学协同增强结合：胺基聚醇所含阳离子基团可通过静电作用中和黏土表面负电荷，降低双电层斥力，减少水分子吸附驱动力。同时，其烷基链借助范德华力吸附于HJ颗粒及黏土表面，与魔芋胶、PVA共同构建“颗粒-基体-黏土”复合锚固结构，增强界面结合强度，有效抑制颗粒的脱落。

（3）渗透抑制与疏水协同阻断水分子传输路径：魔芋胶、PVA与HJ三者混合后产生的高黏度特性，降低水分子的渗透速率。此外，PVA与胺基聚醇的疏水链段在体系内发生聚集，在膜表面形成超疏水结构，显著抑制毛细管自吸作用，阻断水分子的持续侵入。

3 植物胶成膜防塌冲洗液现场应用实践

3.1 地层概况

施工区域位于西部高原东南缘过渡带，属高山峡谷构造地貌，新构造活动强烈，导致地质条件复杂。地层以新生代晚期松散堆积物为主，含砂卵砾石、中粗砂、中细砂及黏土淤泥，结构松散，渗透性差异大。地下水偏碱性、矿化度高，易影响冲洗液稳定性。前期绳索取心钻进面临孔壁失稳、缩径及

取心困难等问题,故需兼具高抑制性、强封堵与抗污染能力的冲洗液,是验证植物胶成膜防塌体系的理想场地。

3.2　钻孔结构设计

将植物胶冲洗液体系先后应用于区域河谷两岸的2个钻孔,编号为ZK1、ZK2,钻孔结构设计如图7所示,验证该冲洗液体系在高原地区松散覆盖地层中的成膜防塌效果。

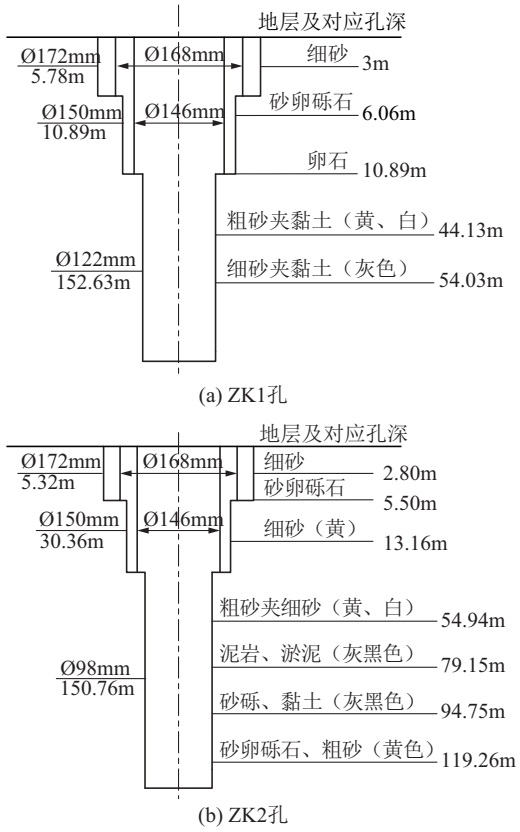


图7　钻孔结构示意

Fig.7　Schematic diagram of borehole structure

ZK1孔设计孔深152.63 m,使用植物胶冲洗液体系钻进孔段为10.89～54.03 m。该孔采用三开钻孔结构,一开采用Ø172 mm金刚石钻头单管钻进至5.78 m,二开采用Ø150 mm金刚石绳索取心钻进至10.89 m,一开与二开均采用现场普通冲洗液体系,配方为1%膨润土+1.2%植物胶+0.3% CMC,三开采用Ø122 mm复合片绳索取心三层管(岩心管为半合管)钻进至152.63 m。植物胶冲洗液钻遇的地层主要为细砂夹黏土及粗砂夹黏土层。

ZK2孔设计孔深150.76 m,使用植物胶冲洗液钻进孔段为0～119.26 m。该孔采用三开钻孔结构,一开采用Ø172 mm金刚石钻头单管钻进至5.32 m,二开采用Ø150 mm复合片绳索取心三层管(岩心管为半合管)钻进至30.36 m,三开采用Ø98 mm金刚石绳索取心三层管(岩心管为半合管)钻进至150.76 m。植物胶冲洗液钻遇地层主要为细砂夹黏土、砂卵砾石、粗砂夹黏土及淤泥夹泥岩层。

3.3　冲洗液应用效果

针对不同地层与工况,灵活调整钻进参数。软岩中采用低转速、小泵量及适当钻压;松散破碎地层采用中低转速、小钻压及适当泵量;遇地层倾角突变时及时下调钻压与转速;深孔钻进时限制转速与钻压;使用无固相或低固相冲洗液时,限制转速和回次纯钻时间,以确保钻杆内壁清洁。植物胶冲洗液现场应用主要钻进参数见表2。

表2　钻孔钻进参数

Table 2　Drilling parameters of the borehole

钻孔编号	孔段/m	钻孔口径/mm	钻压/kN	转速/(r·min^{-1})	泵量/(L·min^{-1})
ZK1	0～5.78	172	钻具自重	142～166	52
	5.78～10.89	150		142～166	30
	10.89～152.63	122		100～207	25～30
ZK2	0～5.32	172	钻具自重	142～166	52
	5.32～30.36	150		100～306	30
	30.36～150.76	98		100～306	20～30

根据现场试验仪器条件,对钻进过程中冲洗液性能进行测试,冲洗液性能及应用效果如表3、表4所示。

表3　ZK1孔钻进过程冲洗液性能及效果

Table 3　Performance and effect of drilling fluid during drilling in ZK1 hole

配方	孔深/m	漏斗黏度/s	密度/(g·cm^{-3})	滤失量/mL	护壁效果	岩心采取率/%
普通冲洗液	5.78	130	1.16	15.8	部分垮塌	31.50
	10.89	128	1.18	13.1		47.42
K-PA	15.79	105	1.08	8.5	无垮塌	88.41
	20.48	108	1.09	3.3		87.34
	24.68	115	1.10	4.6		91.14
	30.89	114	1.11	3.4		93.83
	35.43	116	1.11	3.4		94.43
	40.89	115	1.12	4.5		92.86
	45.63	123	1.12	3.9		95.46
	54.03	120	1.12	2.9		96.46

表4 ZK2钻进过程冲洗液性能及效果

Table 4 Performance and effect of drilling fluid during drilling in ZK2 hole

配方	孔深/m	漏斗黏度/s	密度/(g·cm^{-3})	滤失量/mL	护壁效果	岩心采取率/%
K-PA	13.16	115	1.07	8.8	无垮塌	94.83
	23.22	112	1.09	7.6		93.84
	32.86	116	1.10	6.2		95.89
	43.45	105	1.12	7.2	部分垮塌	94.84
	53.11	118	1.12	6.0		95.20
	63.24	118	1.12	5.9		96.68
	74.35	121	1.13	6.5	无垮塌	94.15
	85.77	125	1.13	4.6		93.16
	96.38	123	1.12	5.4		96.13
	119.26	118	1.12	6.8		95.33

结合表3、表4，使用绳索取心工艺时，采用现场普通膨润土冲洗液在覆盖层不能达到较好的护壁效果，且由于地层过于松散、无胶结，岩心采取率极为低下，甚至无法取得砂层岩心，部分岩心样品见图8(a)。与之对比，植物胶成膜冲洗液体系在2个钻孔中共完成了162.40 m的钻探工作量，钻进过程孔壁几乎无垮塌。在ZK2孔钻进中，32.86～43.45 m孔段出现部分垮塌，这是由于该段砂层为含水层，地下水渗入破坏了钻孔压力平衡导致失稳，采用套管护壁后继续裸孔钻进，后续无垮塌现象发生。总体而言，成膜冲洗液体系应用时，在ZK1孔岩心采取率＞85%，在ZK2孔岩心采取率＞90%，取得的岩心见图8(b)～(d)。绳索取心全程无钻杆结垢、卡钻现象，显示该冲洗液具有良好的成膜护壁、护心作用。因钻进地层富含砂夹黏土，钻进过程中破碎后的细砂及黏土混入冲洗液中，导致固相颗粒浓度增加，表现为黏度与密度上升，因此经试验调控后控制循环浆液漏斗黏度为110～120 s、密度＜1.15 g/cm^{3}较为合适。

4 结论

(1)对植物胶冲洗液体系K-PA进行室内性能评价，结果表明，其具有适中的表观黏度与动塑比，较高的切力，滤失量与岩心线性膨胀率低，岩心热滚回收率高，具备较强的防塌抑制性。各项性能指标表明所研制的冲洗液能够满足覆盖层绳索取心钻进的要求。



(a)普通冲洗液岩样 (b)成膜冲洗液体系岩样I



(c)成膜冲洗液体系岩样II (d)成膜冲洗液体系岩样III

图8 试验钻孔采取的岩心

Fig.8 Cores obtained from the test borehole

(2)SEM、接触角及XRD机理分析表明，魔芋胶与PVA可通过氢键作用填充孔隙并增强膜层韧性，HJ可与魔芋胶-PVA协同通过高黏度特性延缓自由水渗透，PVA与胺基聚醇疏水链可形成低表面能屏障，最终通过物理封堵、渗透抑制及疏水协同三重作用提升体系防塌抑制能力。

(3)在西部高原地区典型覆盖层的2个孔段开展现场试验，试验结果表明：覆盖地层结构松散，采用现场常规冲洗液取心率低，防塌护壁能力不足；使用植物胶成膜防塌冲洗液后全孔起下钻正常，无垮塌掉块现象，成膜护心效果明显，施工过程中冲洗液性能稳定，防塌、稳壁效果较好，基本达到研究预期目标，对类似工程具有一定的借鉴意义与参考价值。

参考文献(References)：

[1] 欧汉森，廖志辉，陈建．深厚砂砾石层钻探取芯技术探讨[J]．资源环境与工程，2017，31(4)：486-488.
OU Hansen, LIAO Zhihui, CHEN Jian. Discussion on drilling coring technology in deep gravel stratum[J]. Resources Environment & Engineering, 2017, 31(4): 486-488.

[2] 杨联锋，彭志平，宋振杰，等．深厚覆盖层绳索取心钻探工艺实践[J]．钻探工程，2023，50(S1)：274-280.
YANG Lianfeng, PENG Zhiping, SONG Zhenjie, et al. Application practice of wire-line core drilling technology for deep and thick overburden strata[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 274-280.

[3] 李奉霖，吴金生，辛宗成，等．工程勘察定向钻探与取心技术规程编制及意义[J]．钻探工程，2025，52(S1)：412-416.

LI Fenglin, WU Jinsheng, XIN Zongcheng, et al. Compilation and significance of technical specifications for directional drilling and coring in engineering investigation[J]. Drilling Engineering, 2025,52(S1):412-416.

[4] 易聪,李奉霖,辜杰为,等.层次分析法在深厚覆盖层水电钻探卡钻因素分析中的应用[J].水电站设计,2022,38(3):24-28.
YI Cong, LI Fenglin, GU Jiewei, et al. The Application of Analytic Hierarchy Process(AHP)to the analysis of sticking factors of hydroelectric drilling in deep overburden[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2022,38(3):24-28.

[5] 邱玲玲.西藏罗布莎深钻绳索取心钻井液的研究与应用[D].武汉:中国地质大学,2011.
QIU Lingling. Research and application on the drilling fluid of deep drilling with wire line coring in Luobusha, Tibet[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2011.

[6] 孙志和,朱克华,刘超,等.绳索取心技术在煤层气DP1井的应用[J].石油钻采工艺,2018,40(6):716-719.
SUN Zhihe, ZHU Kehua, LIU Chao, et al. Application of wireline coring technology in coalbed methane well DP1[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018,40(6):716-719.

[7] 周前程.绳索取心技术在岩土钻探施工中的应用[J].工程技术,2020(6):217.
ZHOU Qiancheng. Application of wireline coring technology in geotechnical drilling construction[J]. Engineering Technology, 2020(6):217.

[8] 袁华东.高聚物改性钻井液在复杂地层钻探施工中的应用[J].中国煤炭地质,2023,35(9):44-47.
YUAN Huadong. Application of polymer-modified drilling fluid in complex formation drilling construction[J]. Coal Geology of China, 2023,35(9):44-47.

[9] 张明,董平华.绿色环保水基降滤失剂的制备及其性能评价[J].化学与生物工程,2022,39(12):65-68.
ZHANG Ming, DONG Pinghua. Preparation and performance evaluation of environmental friendly water-based filtrate reducer[J]. Chemistry & Bioengineering, 2022,39(12):65-68.

[10] 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.
LI Bingle, WANG Sheng, YUAN Changjin, et al. Research on polymer alcohol anti-collapse flushing fluid for directional drilling of horizontal wire-line coring in complex mountain areas[J]. Drilling Engineering, 2023,50(6):85-91.

[11] 王皓,尹飞,李泽群,等.环保水基钻井液体系研究及综合效能评价[J].科学技术与工程,2024,24(36):15375-15383.
WANG Hao, YIN Fei, LI Zequn, et al. Research and comprehensive performance evaluation of environmentally friendly water-based drilling fluid system[J]. Science Technology and Engineering, 2024,24(36):15375-15383.

[12] Singh R, Sethi D, Pandey A K, et al. Plant-based nano-structured additives in drilling fluids: Sustainable solutions, applications, and environmental advantages[J]. Journal of Molecular Liquids, 2026,441:129018.

[13] 佟浩,王启新.关于深厚覆盖层地区钻探取芯技术的研究[J].大科技,2019(16):127-128.
TONG Hao, WANG Qixin. Research on drilling coring technology in deep overburden areas[J]. Super Science, 2019(16):127-128.

[14] 佟浩,王启新.植物胶取芯技术在深厚覆盖层钻探领域的应用研究[J].科学技术创新,2019(16):21-22.
TONG Hao, WANG Qixin. Application study of plant glue coring technology in deep overburden layer drilling field[J]. Scientific and Technological Innovation Information, 2019(16):21-22.

[15] 牛美峰.钻孔冲洗液在西部水电深厚覆盖层台地钻探中的应用[J].工程技术研究,2020,5(17):142-143.
NIU Meifeng. Application of drilling fluid in deep overburden terrace drilling for hydropower projects in western China[J]. Engineering and Technological Research, 2020, 5(17):142-143.

[16] 孙京卫,郭东方,潘炜元,等.青海三岔河水库深厚覆盖层钻探技术研究[J].水利规划与设计,2019(7):106-109.
SUN Jingwei, GUO Dongfang, PAN Weiyuan, et al. Research on drilling technology for deep overburden layer of Sanchahe reservoir in Qinghai[J]. Water Resources Planning and Design, 2019(7):106-109.

[17] 顾蓉,穆宝宁,郭康权.魔芋粉-壳聚糖-聚乙烯醇共混胶黏剂的结构表征[J].农业工程学报,2013,29(7):277-283.
GU Rong, MU Baoning, GUO Kangquan. Structural characterization of konjak powder-chitosan-PVA blending adhesive[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013,29(7):277-283.

[18] 耿胜荣,李新,鉏晓艳,等.魔芋飞粉/淀粉/PVA共混膜的制备及膜特性研究[J].湖北农业科学,2017,56(16):3125-3129.
GENG Shengrong, LI Xin, CHU Xiaoyan, et al. Preparation and properties of fly powder-starch-PVA blending film[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017,56(16):3125-3129.

[19] Wang F H, Kong L W, Zhou Z H. Study on pore structure and mechanical property of expansive soil under different dehydration conditions[J]. Applied Sciences, 2022,12(12):5981.

[20] 徐叶琼,翁武银.热处理温度对明胶-魔芋粉复合膜性质的影响[J].食品科学,2019,40(3):202-207.
XU Yeqiong, WENG Wuyin. Effect of thermal treatment temperature on properties of gelatin-konjac flour composite films[J]. Food Science, 2019,40(3):202-207.

[21] Strnad S, Oberhollenzer J, Šauperl O, et al. Modifying properties of feather keratin bioplastic films using konjac glucomannan[J]. Cellulose Chemistry and Technology, 2019, 53(9/10):1017-1027.

[22] Bai Z X, Liu S N, Liu C C, et al. Super-wetting membrane with internalized PVA-TA gel networks for oil/water separation[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2338(1):012036.

[23] 徐先国,张歧安.新型胺基聚醇防塌剂研究[J].钻采工艺,2010,33(1):93-95.
XU Xianguo, ZHANG Qi'an. Research on new amine polymeric alcohol anti-sloughing agent[J]. Drilling & Production Technology, 2010,33(1):93-95.

(编辑　王跃伟)