

文章编号: 1001-1986(2010)03-0076-05

新型 KL 植物胶无固相环保钻井液体系

王 胜¹, 陈礼仪¹, 黄 猛², 张光西²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 成都水利水电建设有限责任公司, 四川 成都 610072)

摘要: 以新型 KL 植物胶开发为例, 研究了 KL 植物胶加量、植物胶钻井液的改性等, 并从漏斗粘度、滤失量、粘弹性、润滑性、稳定性及环保性等方面, 确定了 KL 植物胶钻井液的优化方案; 介绍了 KL 植物胶无固相环保钻井液在实际工程中的应用情况。综合研究表明, KL 植物胶钻井液体系可作为一种新型的无固相环保钻井液使用。

关键词: KL 植物胶; 无固相; 环保; 钻井液

中图分类号: P634 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.03.018

New type KL plant glue solid free drilling fluid system for environmental protection

WANG Sheng¹, CHEN Liyi¹, HUANG Meng², ZHANG Guangxi²

(1. State key laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Chengdu Hydraulic and Hydroelectric Construction Co., LTD, Chengdu 610072, China)

Abstract: Plant glue drilling fluid plays an important role in drilling in pebbly sand, loosely and broken stratum for its good properties such as viscoelasticity, film build property and environment protection. With new type plant glue-KL plant glue drilling fluid as example, the origin, processing, amount and modification of KL plant glue were studied to make sure the optimized formulation. Its main properties were evaluated from funnel viscosity, filter loss, viscoelasticity, lubricity, stability and environment protection. In the end, the application situation of KL plant glue drilling fluid in the actual projects was introduced. Studies show that KL plant glue solid free environmental protection drilling fluid can be put into use in geological drilling engineering by its simple formulation, easy operation, good property and environment protection.

Key words: KL plant glue; solid free; environmental protection; drilling fluid

在砂卵石堆积层及松散破碎地层等复杂地层进行取心钻探, 特别要求钻井液在护壁和取心方面具有良好的效果。另外, 随着钻探技术的发展及环保意识的增强, 人们对钻井液的环保性要求也越来越高。长期的研究和生产实践表明, 采用植物胶无固相钻井液在复杂地层钻进中往往会收到较好的效果^[1]。

KL 植物胶是适应复杂地层钻探要求而开发出来的一种具有环保特点的新型无固相钻井液技术。将单一植物胶直接用作钻井液处理剂或配制成植物胶钻井液, 其护心防塌效果和综合性能并不太理想。因此, 必须对植物胶进行改性, 这种改性过程也就是通常所说的“复合”。本文以 KL 植物胶的开发为例, 从植物胶原料来源、加工工艺、加量的确定, 植物胶钻井液的改性处理、优化方案、性能评价及现场应用等方面, 对这一新型植物胶无固相环保钻

井液体系进行了较为系统的研究。

1 KL 植物胶概述

1.1 原料来源

一般来说, 可用作植物胶钻井液的植物胶原料可来自于植物的不同部位, 而且不同部位的植物胶, 其制成的植物胶钻井液性能是有所不同的。植物胶按照来源于植物的不同部位, 大致可以分为以下 3 类: 植物根部、植物籽粒及植物的茎或皮。来自不同部位制成的植物胶, 其加工工艺与性能都有所不同。植物根部易于采集, 只需研磨加工即可, 加工工艺和设备都不复杂; 植物籽粒因其所含丰富的半乳甘露聚糖, 在经过适当加工处理后可显著提高胶液的粘度, 应用于钻探钻井液中, 可起到良好的提粘、护心、取心效果; 植物的茎或皮做为植物胶来源, 往往会对植物资源带来破坏, 不符合环保的要

收稿日期: 2009-10-12

作者简介: 王 胜(1982—), 男, 重庆黔江人, 博士, 从事岩土钻掘及工程地质研究。

求, 局限性很大, 应用不广泛^[2]。

KL 植物胶亦即苦苣豆胶, 是从豆类植物苦苣豆的种子加工提炼而制成的^[3]。苦苣豆生于向阳干燥山坡或路边, 具有抗干旱、耐贫瘠、适应性强等特点, 是我国北方地区石质山地阳坡的当家树种, 分布十分广泛, 资源非常丰富。苦苣豆中植物胶含量超过 40%, 其主要成分是半乳甘露聚糖^[4]。

1.2 原料的加工

KL 植物胶籽粒主要由种皮、胚乳、子叶 3 部分组成, 胚乳经粉碎即为植物胶。植物胶的加工工艺是从植物籽粒中除去种皮与子叶, 分离出胚乳, 然后将胚乳粉碎, 达到一定细度。根据加工工艺的不同, 植物胶的加工可分为干法和湿法两种工艺^[3]。干法加工工艺流程是将清选去杂的植物种子直接投入连续多台刀片式粉碎机中, 由于种皮与子叶易碎, 很快被粉碎, 经过筛孔由风机吸出; 而胚乳因有较大韧性还未粉碎, 仍留在机内, 最后经过圆筛分离即可得到胚乳片。胚乳片中加入一定比例的水进行水化, 然后在增粘机上进行增粘, 粉碎机里进行粉碎, 达到一定细度, 即得到成品。工艺流程可以分为清选、提胚、水化、增粘、粉碎 5 个工序。湿法加工工艺流程是首先向清选去杂的植物种子中加入一定量的温水, 润湿搅拌, 使其胀大易于分离; 然后经过一次分离和二次分离, 将种皮和子叶分离除去, 提取胚乳片; 以后的工序与干法工艺完全相同。整个工艺流程分为清选、浸润、分离、水化、增粘、粉碎 6 个工序。

1.3 KL 植物胶的合适加量

在确立了以 KL 植物胶作为环保钻井液基本原料的基础上, 植物胶的加量在很大程度上决定了胶液性能和成本^[5-6]。因此, 为了得到性能优良的胶液, 必须确定 KL 植物胶的适宜加量。如果 KL 加量过低, 所配制的胶液粘弹性不好, 综合性能也不高, 不能满足钻探要求; 而浓度过高, 胶液的粘度过大, 不仅流变性不好, 而且也会使成本过高, 造成浪费。试验研究表明^[1], KL 植物胶比较适宜的加量为 8‰~10‰。

2 KL 植物胶钻井液的改性

复杂地层的取心钻进要求钻井液具有良好的粘弹性和流变性能, 这样可以有效地提高钻井液的护壁取心效果。单一的纯植物胶液在粘弹性和流变性等方面比较差, 一般很难达到钻进取心的要求。通过加入合适的改性处理剂, 则可以改善植物胶液体系的分子构成, 改变结构特性, 优化植物胶液性能, 使植物胶钻井液具有合适的粘度, 良好的粘弹性、流变性及成膜性等, 以满足钻进取心的需要^[5]。

2.1 碱激发

无机处理剂(如碱)的加入, 可以使植物胶液各分子更好地水化, 胶粒变得更加致密, 流变性能进一步改善^[7]。目前, 用于植物胶液碱激发比较多的产品是纯碱(Na_2CO_3)、烧碱(NaOH)和泡花碱(固态速溶粉状的 Na_2SiO_3)。前两者通过自身的碱性激发, 可使植物胶液的粘度发生极大的改变; 后者则通过碱激发和偶联的共同作用实现对植物胶液的改性。

试验研究发现, Na_2SiO_3 和 NaOH 在改善植物胶液性能方面均有良好效果。相对而言, Na_2SiO_3 效果更好, 经其改性后的漏斗粘度和胶液粘弹性均好于后者, 而且 Na_2SiO_3 呈粉末状, 腐蚀性低于 NaOH 。但从经济角度考虑, Na_2SiO_3 的市场价格远远高于 NaOH 。因此, 综合考虑性能和价格因素, 最终确定以 NaOH 作为 KL 植物胶液的碱激发剂对植物胶液进行改性。

试验证实, NaOH 的加量对植物胶液的性能有很大的影响。当胶液的流变性能达到最佳状态时, 存在一个最优的 pH 值。因此, 在进行植物胶液的系统试验研究时, 必须找到对应于植物胶液的最优 pH 值, 也就是确定 NaOH 的最优加量。表 1 是(KL+SP)胶液在不同 NaOH 加量条件下, 胶液所表现的不同性能。

从试验数据及观察现象可以看出, 在 KL 植物胶液中加入 NaOH 使胶液的 pH 值达到 10~11 时, 胶液的流变性能最优, 综合性能最好, 此时, 胶液中 NaOH 的适宜加量约为 0.6~0.8‰。

表 1 (KL+SP)胶液经烧碱改性后的胶液性能
Table 1 Properties of KL+SP glue fluid modified by caustic soda

配 方	胶 液 性 能					pH
	漏斗粘度 /s	表观粘度 /mPa·s	塑性粘度 /mPa·s	动切力 /Pa	动塑比	
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.4‰ SP+0.2‰ NaOH	80	50	23	27.6	1.20	10~11
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.4‰ SP+0.4‰ NaOH	92	52.5	25	28.1	1.12	10~11
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.4‰ SP+0.6‰ NaOH	123	54	26	28.6	1.10	10~11
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.4‰ SP+0.8‰ NaOH	130	55	26	29.6	1.14	10~11

2.2 粘弹性

高分子聚合物可以使植物胶分子联结起来，形成理想的交联液，提高胶液的粘弹性。以高分子聚合物材料的性能稳定性、配伍性和经济性为主要指标，确定了目前钻探生产中常用的羧甲基纤维素(CMC)、生物聚合物(XC)、聚丙烯酰胺(PAM)、水解聚丙烯酰胺(PHP)以及特种聚合物(SP)等聚合物为植物胶钻井液的粘弹性改性材料^[8]，从中筛选出适宜于 KL 植物胶钻井液的聚合物品种。通过试验研究发现，CMC 和 XC 在提高植物胶液的粘弹性方面的作用不大，胶液的表观粘度很小，流变性很差；加入 PAM 后虽然粘度上升很大，但外观呈团状，为体型交联，不宜采用；而 PHP 和 SP 的加入都可显著的改善 KL 胶液的粘弹性，但两者相比，后者在改善植物胶液的流变性、成膜性方面也有良好的效果，故决定以 SP 作为 KL 胶液的聚合物处理剂来提高胶液的整体粘弹性。

遵循能使植物胶液的粘弹性达到理想的效果，同

时也要考虑价格因素，使这两方面都能满足生产应用的要求，通过试验确定 SP 的用量。表 2 是 KL 植物胶与不同加量 SP 共同作用的胶液性能的试验数据表。

从试验数据和试验现象来看，对于 KL 植物胶，SP 比较适宜的加量为 0.3‰~0.5‰，在此范围内胶液能达到理想的粘弹性。如果 SP 加量太少，在 KL 胶液中起的作用不明显，而如果 SP 加量过大，对 KL 胶液的粘弹性改善作用已经不明显，相反还会导致胶液成本大幅度提高。

3 优化方案的确定

综上所述，KL 植物胶型环保钻井液是以 KL 植物胶为主要成分，采用 SP 和 NaOH 改性的三组分体系。由于组分中各种因素的相互制约和牵制，欲找到其在体系中的作用大小，确定相互关系，就必须有一个合理的试验设计方案。试验采用正交试验法进行优化配方设计。根据正交试验结果，确定了 KL 植物胶钻井液的优化方案，如表 3 所示。

表 2 (KL+SP)胶液的性能
Table 2 Properties of KL+SP glue fluid

配 方	胶 液 性 能					pH
	漏斗粘度 /s	表观粘度 /mPa·s	塑性粘度 /mPa·s	动切力 /Pa	动塑比	
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.8‰ NaOH+0.2‰ SP	87	42	21	21.5	1.02	11
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.8‰ NaOH+0.3‰ SP	105	46	23	23.5	1.02	11
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.8‰ NaOH+0.4‰ SP	130	55	26	29.6	1.14	11
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.8‰ NaOH+0.5‰ SP	133	58.5	30	29.1	0.97	11
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.8‰ NaOH+0.6‰ SP	138	64	32	31.2	0.97	11

表 3 KL 植物胶液优化方案胶液性能表
Table 3 Properties of optimized KL plant glue fluid

最 优 配 方	性 能 控 制					pH
	漏斗粘度 /s	表观粘度 /mPa·s	塑性粘度 /mPa·s	动切力 /Pa	动塑比	
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.4‰ SP+0.8‰ NaOH	130	55	26	29.6	1.14	11

4 主要性能评价

优化方案确定后，必须按照钻井液性能评价方法，对 KL 植物胶钻井液性能进行综合评价。检验的主要性能有：漏斗粘度、滤失量、粘弹性、润滑性、浆液稳定性及环保性等。

4.1 漏斗粘度

用漏斗粘度可粗略评价植物胶液的粘度。优化配方 KL 植物胶钻井液的漏斗粘度与 SM 植物胶液漏斗粘度的对比情况如表 4 所示。

试验结果表明，KL 植物胶型钻井液的漏斗粘度值能满足复杂地层钻进对钻井液粘度的要求。KL 植物胶的低用量不仅比 SM 植物胶综合使用成本

表 4 KL 与 SM 植物胶钻井液漏斗粘度对比
Table 4 Comparison of funnel viscosity of KL and SM plant glue drilling fluid

配 方	漏斗粘度/s
1 000 mLH ₂ O+100‰ KL+0.40‰ SP+0.80‰ NaOH	130
200‰ SM+20‰ NaOH	85

低，而且由于其用量少，大大降低了运输成本和工人的劳动强度。

4.2 滤失量

滤失量大小是评价钻井液最重要的指标之一。对于植物胶钻井液而言，由于不能形成泥皮，压力稍高，胶液就会透过试验滤纸，无法获得真实的失水量。因此，根据无粘土冲洗液试验常用推荐方法，

采用苏式 1009 型泥浆失水仪测量浆液 30 min 的失水量是可行的，其试验数据如表 5 所示。

表 5 KL 植物胶钻井液的滤失水量及其比较
Table 5 Loss of KL plant glue drilling fluid

配 方	滤失水量 /mL·30min ⁻¹
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.4‰ SP+0.8‰ NaOH	6.5
20‰ SM+2‰ NaOH	11

试验表明 ,KL 植物胶环保钻井液优化方案的滤失量比 SM 植物胶浆液小，30 min 滤失量仅为 6.5 mL，满足钻井液对滤失量的要求。

4.3 粘弹性

性能优良的植物胶钻井液必须具有良好的粘弹性，有利于提高取心率和维护孔壁稳定，有利于减轻钻具的磨损。基于当前对植物胶钻井液粘弹性没有统一的测试工具和方法 ,通过长期的探索与实践，直观地采用了钻井液的“爬杆效应”来衡量钻井液的粘弹性。图 1 为优化方案 KL 胶液的爬杆能力效果图，可见 KL 胶液具有良好的粘弹性。



图 1 KL 胶液的爬杆能力
Fig. 1 Climbing capacity of KL glue fluid

4.4 润滑性

KL 植物胶钻井液的润滑性试验，采用 DNR-1 型钻井液润滑系数测定仪，按 API 标准试验方法进行测试。用 KL 植物胶液与 SM 植物胶液、去离子水进行润滑系数的对比，其结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出 ,KL 植物胶钻井液润滑系数比较低，为 0.195，降低水的百分率达 45.83%，这说明 KL 植物胶钻井液具有良好的润滑效果。

4.5 稳定性

钻井过程中要求钻井液具有良好的稳定性，这样才能有效地保障钻井液在相当长的一段时间内携带和悬浮能力好、取心护壁效果好，确保安全顺利地钻进。在试验中，采用 KL 植物胶钻井液配制后的放置时间来评价其稳定性，试验数据见表 7。

表 6 KL 胶液去离子水以及纯 SM 胶液的
润滑系数和对比

Table 6 Lubrication coefficient of KL glue fluid,
deionized water and pure SM glue fluid

样品名称	润滑 系数	降低水的 百分率/%
去离子水	0.360	100
1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.4‰ SP+0.8‰ NaOH	0.195	45.83
2‰ SM 纯溶液	0.245	31.40

表 7 KL 植物胶钻井液的稳定性

Table 7 Stability of KL plant glue drilling fluid

配 方	1 000 mLH ₂ O+10‰ KL+0.4‰ SP+0.8 ‰NaOH									
放置时间/h	1	6	12	24	48	72	96	120	144	
粘 度/s	375	390	405	409	401	390	372	351	342	

从表 7 可以看出 ,KL 植物胶钻井液具有良好的稳定性，6 d 后仍能保持较高的粘度，完全可以满足钻进的要求。

4.6 环保性

目前主要采用急性毒性试验对钻井液的环保性进行评价。对 KL 植物胶钻井液的急性毒性试验表明^[2]，优化方案 KL 植物胶钻井液 96 h 的半致死浓度(LC50)为 3.98×10^4 mg/L，范围为 $2.63 \times 10^4 \sim 6.26 \times 10^4$ mg/L。该结果与美国常用钻井液毒性等级分类表中(表 8)的标准比较，LC50 值超过标准中的实际无毒水平(> 10^4)，因此 KL 植物胶钻井液属于实际无毒水平，也大于表中的排放标准($\geq 3 \times 10^4$)，可以限制性排放。

表 8 美国常用钻井液毒性等级分类
Table 8 American classification of toxicity for
common drilling fluids

毒性等级	剧毒	高毒	中毒	微毒	实际 无毒	排放 标准
LC50/mg·L ⁻¹	<1	1~10 ²	10 ² ~10 ³	10 ³ ~10 ⁴	>10 ⁴	$\geq 3 \times 10^4$

上述试验结果表明^[2] ,KL 植物胶钻井液组成简单，不含有毒有害化学成分，主要原材料和钻井液体系均符合环保要求，可实现自然降解，对人畜无害。KL 植物胶钻井液属于实际无毒水平，符合排放标准，对生态环境不会造成负面影响，具有显著的环保性。

5 KL 植物胶钻井液的应用效果

KL 植物胶无固相环保钻井液研制成功后，先后在成都水利水电建设有限责任公司承担的众多水电站坝址勘察工程中得到应用。其中较典型的如：坪头电站、长河坝电站、泸定电站、龙洞沟电站以及唐家山堰塞湖抢险救灾勘探等工程。上述工程河床覆盖层厚度一般

为 60~100 m，最深的超过 130 m，其结构松散、岩质坚硬，常见粒径超过 1.0 m(最大的直径超过 15.0 m)。由于覆盖层深厚，地质方面对覆盖层的勘探质量提出

了极为严格要求，经采用 KL 植物胶液作为钻井液后，岩矿心采取率一直保持在 90% 以上，取得了较好的应用效果。部分钻孔钻进与取心情况如表 9 所示。

表 9 KL 植物胶钻井液在典型工程的生产应用效果表
Table 9 Result of application of KL plant glue drilling fluid in typical engineering

电站名称	孔号	孔深/m	取心进尺/m	取心长度/m	岩矿心采取率/%	覆盖层厚度/m
坪头电站	PYZK8	255.10	255.1	229.59	90.0	48.76
	PYZK4	292.55	292.55	266.22	91.0	89.50
长河坝电站	SZK115	186.53	68.60	65.85	96.0	68.60
	SZK132	85.59	71.09	66.11	93.0	71.09
	SZK163	101.00	75.80	69.74	92.0	75.80
泸定电站	BZK3	115.45	92.40	93.16	90.0	92.40
	BZK5	100.7	78.18	72.71	93.0	78.18
龙洞沟电站	LKZK03	83.7	77.12	71.72	93.0	77.12
唐家山堰塞湖	ZK3	105.92	99.00	89.10	90.0	99.00

6 结 论

KL 植物胶型环保钻井液是由 KL、SP 和 NaOH 3 组分组成，通过室内试验研究，初步得出以下结论：

a. KL 植物胶无固相环保钻井液配方组分简单，配制方便，现场操作性强，有利于推广应用。

b. KL 植物胶无固相环保钻井液具有优良的流变性、粘弹性、润滑性、低滤失量、稳定性和环保性等，具有良好的悬浮岩心、护壁堵漏效果，实现高取心率，解决了砂卵石堆积层和松散破碎地层等复杂地层中钻进取心难的技术问题，为复杂地层取心钻探提供了一条新的途径。

c. KL 植物胶无固相环保钻井液主要原材料和钻井液体系均符合环保要求，可实现自然降解，对人畜无害，对环境无污染，具有显著的环保性，可在复杂地层钻探中推广应用。

参考文献

[1] 孙涛. 植物胶钻井液的性能及新型植物胶 QM 的开发研究[J]. 探矿工程, 2004 (4): 44-46.

[2] 王胜. KL 植物胶钻井液的环保特性研究[J]. 探矿工程, 2009 (5): 13-15.

[3] 朱莉伟. 野皂荚豆及其化学成分的研究[J]. 中国野生植物资源, 2000, 19(1): 12-14.

[4] 闫明. 吕梁山南端野皂荚群落特征的初步研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2002, 16(4): 56-61.

[5] 鄢捷年. 钻井液工艺原理[M]. 北京: 石油大学出版社, 2001.

[6] 黄汉仁. 泥浆工艺原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.

[7] 吴隆杰. 钻井液处理剂胶体化学原理[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1992.

[8] 李道山. 聚丙烯酰胺水溶液粘弹性研究[J]. 油田化学, 2003, 20(4): 347-350.

(上接第 75 页)

3 结 论

a. 通过模态实验与有限元计算相结合使用的方法，获得了模拟曲轴轴承的弹簧刚度。采用弹簧模拟轴承比直接约束曲轴边界更为接近曲轴的实际工况，为研究曲轴振动特性提供了新的方法。

b. 通过对钻探用泥浆泵曲轴的模态分析，从振型图上可以看出，该曲轴在低阶频率下，大多以弯曲和扭转振动为主。在曲柄臂和主轴颈、曲柄臂与连杆轴颈相连接的过渡圆角处是曲轴振动中危险的区域。曲轴振型图显示，此处是曲轴振动过程中弯曲变形最大的区域。由此可以预见，弯曲疲劳裂纹最容易出现在这些地方。因此，在该曲轴的设计过程中还要充分考虑曲柄臂与连杆轴颈相连过渡圆角的大小。

c. 曲轴的模态分析是泥浆泵中的重要工作内容，所获得的固有频率能够预测泥浆泵各部件之间相互干扰的可能性。通过合理的结构设计可以避开共振，为泥浆泵曲轴的优化和改进设计提供理论依据。

参考文献

[1] 朱发新, 林少芬, 陈跃坡. 船舶柴油机曲轴的模态分析[J]. 船舶工程, 2008, 30(1): 23-25.

[2] 郝志勇, 韩松涛. 主轴刚度对曲轴振动特性影响的研究[J]. 车辆与动力技术, 2001, 82(2): 31-35.

[3] 林士龙, 李景奎, 张锴峰. 基于 ANSYS 的机床有限元分析[J]. 机械设计与制造, 2007(5): 91-92.

[4] 樊小霞, 张建斌, 李海刚. 基于 ANSYS 的六缸柴油机曲轴的模态分析[J]. 机械设计与制造, 2008(9): 107-108.