

多因素融合井漏类型分析及其堵漏方法选择

张道明^{1*}, 余林锋^{2,3#}, 马跃¹, 王金树^{2,4}, 苗海龙¹, 徐同台²

¹中海油田服务股份有限公司油田化学研究院, 河北 廊坊

²北京石大胡杨石油科技发展有限公司, 北京

³中国石油大学(北京), 北京

⁴河北石油职业技术大学, 河北 承德

收稿日期: 2022年7月18日; 录用日期: 2022年8月10日; 发布日期: 2022年8月17日

摘要

渤海油田油藏地质条件复杂, 井漏频次高、漏失规模大、一次堵漏成功率低, 严重影响油田开发进度、钻井安全和钻井成本。基于渤海油田近十年漏失井钻井数据、漏失情况、堵漏方法、堵漏成功率分析了渤海油田漏失井的漏失原因、漏失特征、堵漏措施及效果, 提出了多因素融合的井漏类型分析方法。漏失层地质风险提示、岩性、井深、工况、工程参数、憋压提示、漏速波动、漏排比是井漏综合分析的特征参数, 将渤海油田井漏划分为11类。一次堵漏成功率、施工工艺、作业成本是堵漏方法选择的依据, 基于多因素融合的井漏分析推荐堵漏方法, 测试结果表明一次堵漏成功率由60.91%提高至89.30%。该方法提高了漏失类型判断精度和堵漏方法选择的针对性, 实现了井漏处理中缩短非生产时间、降低作业成本、提升作业安全的目的。

关键词

井漏, 井漏分类, 多因素, 堵漏方法

Multi-Factor Fusion Well Leakage Type Analysis and Its Plugging Method Selection

Daoming Zhang^{1*}, Linfeng Yu^{2,3#}, Yue Ma¹, Jinshu Wang^{2,4}, Hailong Miao¹, Tongtai Xu²

¹Oilfield Chemistry Research Institute, China Oilfield Services Co., Ltd., Langfang Hebei

²Beijing Shidahuyang Petroleum Science-Tech Development Company Ltd., Beijing

³China University of Petroleum (Beijing), Beijing

⁴Hebei Petroleum University of Technology, Chengde Hebei

Received: Jul. 18th, 2022; accepted: Aug. 10th, 2022; published: Aug. 17th, 2022

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张道明, 余林锋, 马跃, 王金树, 苗海龙, 徐同台. 多因素融合井漏类型分析及其堵漏方法选择[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(8): 1087-1095. DOI: 10.12677/ag.2022.128105

Abstract

Bohai Oilfield has complex geological conditions, high frequency of lost circulation, large scale of lost circulation, and low success rate of one-time plugging, which seriously affects the progress of oilfield development, drilling safety and drilling cost. Based on the drilling data, leakage situation, plugging method, and success rate of lost wells in Bohai Oilfield in recent ten years, this paper analyzes the loss causes, loss characteristics, loss plugging measures and effects of loss Wells in Bohai oil field, and puts forward a multi-factor fusion method of loss type analysis. Geological risk indication, lithology, well depth, working condition, engineering parameters, pressure holding indication, leakage rate fluctuation and leakage discharge ratio are characteristic parameters for comprehensive analysis of well leakage, and the lost circulation in Bohai Oilfield is divided into 11 categories. The success rate of one-time leakage plugging, construction technology, operation cost, and operation time is the basis for the selection of leakage-plugging methods. The lost-loss analysis based on multi-factor integration recommends the leakage-plugging method. The test results show that the success rate of one-time leakage plugging has increased from 60.91% to 89.30%. The method improves the accuracy of judging the type of leakage and the pertinence of the method of plugging, and achieves the purpose of shortening the non-production time, reducing the operation cost and improving the operation safety.

Keywords

Well Leakage, Well Leakage Classification, Multiple Factor, Stop up Leak Methods

Copyright © 2022 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

渤海油田地层完整性差,胶结疏松砂砾岩层、岩性过渡带的不整合地层、应力敏感裂缝发育的强非均质地层、断层或断层破碎带等地质风险使该区域井漏问题越发突出[1] [2] [3] [4] [5]。钻井过程中,漏失处理多基于现场工程师的经验选择堵漏方法,判断标准不明确,配方选择缺乏针对性,导致一次堵漏成功率低、复漏率高。利用漏失特征对井漏进行综合分析,并实现与堵漏方法对应,能提高漏失类型判断精度和堵漏方法选择的规范性及针对性[6] [7] [8] [9]。但现有井漏分类标准多以单一特征为主,如按漏速和漏失通道类型分类[10]-[15]。单一特征无法全面表征漏层特征和井漏原因,因此堵漏措施制定存在一定的试错几率和失败风险。考虑现有井漏分类局限性和渤海油田堵漏存在的问题,亟须建立一套以推荐针对性堵漏方法为目的,且适用于渤海油田钻井现场的井漏分类标准,突出堵漏方法选择的时效性和针对性,提高一次堵漏成功率,最终实现低成本、高质量堵漏。

2. 渤海油田井漏与堵漏现状

对2011~2020年渤海油田9个区块完钻井进行筛查,收集和整理了184口井发生的307次井漏资料。图1为渤海油田漏失井堵漏结果统计,传统堵漏一次堵漏成功率为60.91%。表1统计了不同堵漏方法的使用次数和堵漏成功率,从表中可以看出,随钻堵漏和桥接堵漏是使用最多的堵漏方法,成功率分别为68.38%和51.21%,只通过降低循环排量进行漏失处理的共有37次,成功率为78.38%,三种方法占堵漏

总次数的 91.12%，平均堵漏成功率为 60%。针对渤海油田现有堵漏措施存在堵漏方法集中、堵漏成功率低的实际情况，笔者从漏失特征和漏失原因分析出发，多因素融合系统划分井漏类型，并探究堵漏方法、堵漏工艺、堵漏效果与井漏类型的匹配关系。建立基于多因素融合分类的井漏处理方法和堵漏措施优选原则，指导渤海油田现场堵漏作业，以提升渤海油田漏失井特征分析准确性和堵漏方法选择的针对性，达到提高堵漏效果、缩短堵漏时间、提升堵漏效率、节约堵漏成本的目的。

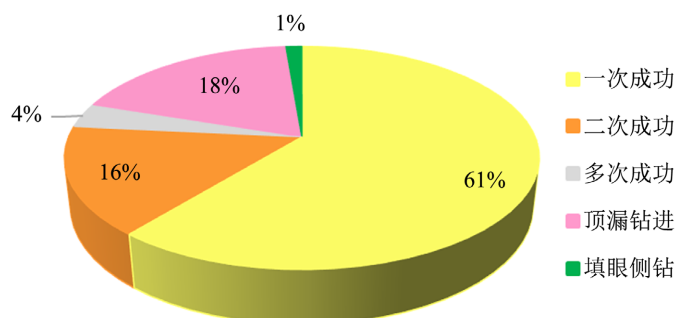


Figure 1. Statistical of lost circulation control results in Bohai Oilfield

图 1. 渤海油田堵漏结果统计

Table 1. Statistics of lost circulation control methods in Bohai Oilfield

表 1. 渤海油田堵漏方法统计

堵漏方法	堵漏次数	成功次数	成功率/%
降排量	37	29	78.38
随钻堵漏	136	93	68.38
桥接堵漏	207	106	51.21
凝胶堵漏	7	2	28.57
复合堵漏	19	7	36.84
STP 堵漏	6	4	66.67
水泥堵漏	5	1	20.00

3. 多因素融合的井漏分类方法建立

井漏处理与漏失速度、漏失通道性质、漏失原因和钻井液性能等均有密切关系[4] [15] [16]。发生漏失时，以漏速等单一因素确定堵漏措施往往存在措施针对性差、堵漏效果不理想等问题。笔者通过对渤海油田近 10 年的井漏历史资料分析，建立了多因素融合的井漏分类方法。该方法的建立原则是：首先根据地层岩性、地质风险提示、井深特征将渤海油田井漏分为泛孔隙型、裂缝型和断层型三个大类；再根据钻井工况、憋压提示、应急处理措施后漏失速度降低率等再将裂缝型井漏大类分为 A、B、C 三类；最后根据瞬时漏速及漏排比(漏速与循环排量的比值)等特征参数将上述井漏类型细分为 11 小类。

3.1. 泛孔隙型漏失

历史资料的统计分析发现，在疏松砂岩地层或砂泥岩不整合地层发生的漏失，无论是孔隙型漏失还是孔隙 - 裂缝型漏失，其在漏速和液面变化趋势、成功堵漏的方法和堵漏效果上，都具有很强的一致性。同时考虑到无法实时获取井下具体漏失通道类型，因此将井深小于 1200 m 的疏松地层、不整合地层，井深大于 1200 m 的疏松砂岩储层发生的漏失统称为泛孔隙型漏失。

3.2. 裂缝型漏失

渤海油田泥岩、砂岩、火成岩等致密性地层井漏主要以裂缝型漏失为主。根据裂缝成因，可以分为诱导裂缝和天然裂缝，但不借助成像测井等技术，通过钻井参数和地层岩性等数据资料很难做出准确区分。笔者根据井深、岩性特征、地质风险提示确定裂缝型漏失大类；然后根据井漏瞬间的泵压参数变化，漏失发生后应急处理前后的漏速降低率确定裂缝型漏失的 2 级分类；最后通过计算漏速与循环排量比值确定裂缝型漏失小类。具体分类过程如表 2 所示。

Table 2. Classification table of fracture type loss

表 2. 裂缝型漏失分类表

井深 /m	岩性特征	地质风险提示	漏失大类	憋压提示	漏速降低率 /%	漏失类	瞬时漏速 /(m^3/h)	漏排比	漏失小类
≥ 1200	泥岩、砂岩、火成岩等致密岩石	无	裂缝	是	$\geq 50\%$	裂缝 A 型	-	-	裂缝 A-I 型
					$< 50\%$		-	-	裂缝 A-II 型
				否	$\geq 50\%$	裂缝 B 型	< 30	-	裂缝 B-I 型
							≥ 30	-	裂缝 B-II 型
							-	< 0.3	裂缝 C-I 型
				否	$< 50\%$	裂缝 C 型	-	$0.3 \sim 0.6$	裂缝 C-II 型
		-	> 0.6	裂缝 C-III 型					

1) 裂缝 A 型漏失

裂缝 A 型漏失主要由两方面原因导致：一是由于井壁不规则等原因使得井内存在憋压或憋压征兆，造成井底压力增大压漏地层造成漏失；二是由于地层“薄弱”，破裂压力或裂缝延伸压力较低，在异常井底压力作用下，地层破裂或裂缝扩展造成漏失。憋压和憋压征兆是裂缝 A 型井漏的外部因素，地层承压能力是裂缝 A 型井漏的内部因素。由憋压和憋压征兆等外部因素造成的井漏定义为裂缝 A-I 型井漏，由外部因素和内部因素共同影响的井漏定义为裂缝 A-II 型井漏。裂缝 A-I 型井漏发生后，通过起下钻、倒划眼等措施拉顺井眼，恢复正常循环通道，井底压力恢复正常，裂缝在上覆岩层压力和地应力作用下闭合，漏速显著减小；裂缝 A-II 型井漏不仅与憋压有关，还与地层承压能力低、破裂压力或裂缝延伸压力低有关，消除憋压影响后，漏失通道仍较大，漏速降低不显著。

2) 裂缝 B 型漏失

若钻井中发生漏失前后没有憋压提示，此类漏失主要发生在钻遇微裂缝地层或钻遇薄弱地层压裂地层造成漏失。该类型漏失以中漏为主(漏速 $\leq 50 \text{ m}^3/\text{h}$)，且漏失速度与循环排量密切相关。井漏发生后，降低循环排量，漏速大幅下降或井内液面趋于稳定。根据地质条件的不同，可将该类型漏失划分为两类，具体表现在瞬时漏失速度上的差异。瞬时漏失速度 $< 30 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，定义为裂缝 B-I 型漏失；瞬时漏失速度 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，定义为裂缝 B-II 型漏失。B-II 型漏失发生的地层更“薄弱”，裂缝尺寸和漏失空间更大。

3) 裂缝 C 型漏失

当地层存在天然裂缝漏失通道时，漏失压力极低，钻井液直接漏入地层。该类型裂缝扩展或延伸阻力较大，裂缝宽度不易受井底压力影响，天然裂缝宽度和漏失空间大小是影响漏失严重程度的决定因素，笔者将此类地层中发生的漏失定义为裂缝 C 型漏失。多元数据统计分析发现该类型漏失与漏排比(漏失速度与循环排量的比值)有很强的关联性，具体表现在漏排比越大，裂缝越发育、漏失越严重。根据漏排比

的不同将裂缝 C 型漏失细分为 3 类,漏排比小于 0.3 为裂缝 C-I 型,漏排比在 0.3~0.6 之间为裂缝 C-II 型,漏排比大于 0.6 为裂缝 C-III 型。

3.3. 断层型漏失

渤海油田各构造之间断层发育,从浅部地层到深部地层都存在钻遇断层的风险[2] [3]。断层漏失主要依据工程设计和地质设计等资料的地质风险提示,其预测了断层深度和断距,在预测深度和断距范围内,出现较严重漏失,即可判定为断层漏失。

断层漏失多为失返性漏失,漏速、液面变化和灌浆量都能表征断层漏失的严重程度。但在历史资料中漏失井循环漏速、灌浆量及液面变化等参数缺失严重,很难通过漏失严重程度对井漏进行分类。通过对断层漏失统计分析发现,断层岩性与堵漏难易程度有一定关联性,以发生断层漏失处的岩性作为断层漏失的分类特征,渤海油田断层漏失可细分为断层-砂岩型漏失、断层-泥岩型漏失和断层-火成岩型漏失,见表 3。

Table 3. Classification table of fault type loss

表 3. 断层型漏失分类表

地质风险提示	岩性特征	漏失类型
断层	砂岩	断层-砂岩型
	泥岩	断层-泥岩型
	火成岩	断层-火成岩型

4. 堵漏方法推荐

在钻井过程中,井漏会导致非生产时间和作业成本的显著增加。井漏发生后,及时采取合理措施能有效降低井漏带来的不良影响。在钻井现场堵漏施工中,按漏速、漏失通道特征和井漏原因等单因素对井漏进行处理是比较常见的做法。但单一井漏特征很难在堵漏方法的选择上做出正确判断。笔者建立了一套适用于钻井现场的井漏综合分析及堵漏推荐方法,该方法突出堵漏方法选择的针对性,可提高一次堵漏成功率,实现低成本、高质量堵漏。

渤海油田最常见的堵漏方式为随钻堵漏和桥接堵漏,其中桥接堵漏配方根据最大颗粒堵漏材料的不同可分为小颗粒桥堵浆、中颗粒桥堵浆和大颗粒桥堵浆,基本配方如下:

小颗粒桥堵浆:井浆 + 10%~20% SEAL + 10%~20% SZDL + 5%~15% BLN1 + 土粉。

中颗粒桥堵浆:井浆 + 5%~10% SEAL + 5%~10% SZDL + 5%~15% BLN1 + 5%~15% BLN2。

大颗粒桥堵浆:井浆 + 5%~10% SEAL + 5%~10% SZDL + 5%~20% BLN1 + 5%~20% BLN2 + 5%~20% BLN3。

4.1. 泛孔隙型漏失堵漏分析

泛孔隙型漏失主要以随钻堵漏为主,一次成功率为 89.47%。降排量堵漏和小颗粒桥接堵漏使用次数较少,二者一次成功率相差较大,桥接堵漏一次成功率高、堵漏效果好,见表 4。二者差异主要表现在对漏失层段地层承压能力的改善效果上。漏失层封堵后,当堵漏后的恢复排量高于漏前排量时,地层承压能力得到增强;若恢复排量远小于漏前排量,地层承压能力未明显改善,后续钻进复漏风险较大。因此,笔者引入排量恢复率作为漏层封堵效果的评价指标,结合堵漏成功率综合评价堵漏效果。综合分析堵漏方法的使用频次、施工工艺及堵漏效果,泛孔隙型漏失优先选择随钻堵漏方法,当漏失速度超过 50

m^3/h 的大漏级别或起下钻中均存在卡钻和憋扭矩等憋压征兆时, 可选择小颗粒桥接堵漏方法封堵漏层、提高地层承压能力。

Table 4. Statistics table for lost circulation control of pan-pore type loss

表 4. 泛孔隙型漏失井堵漏统计

堵漏方法	井漏次数/次	一次成功/次	一次成功率/%	排量恢复率/%	顶漏钻进次数/次
降排量	4	2	50.00	73.25	2
随钻堵漏	38	34	89.47	90.26	4
小颗粒桥接堵漏	6	6	100.00	106.63	0

4.2. 裂缝型漏失堵漏分析

裂缝型漏失通道受裂缝成因、地层岩性、工程参数等多方面影响, 其裂缝开度、裂缝密度等参数很难通过地面数据准确获知。此类漏失的传统堵漏方法存在判断标准不明确、堵漏效果不理想等问题, 通过对渤海油田 236 次裂缝型漏失堵漏结果分析, 对井漏类型判断、堵漏方法选择和漏失层位承压能力改善效果等方面进行分析, 综合考虑堵漏成功率和排量恢复率情况, 分别确定各井漏类型的最优堵漏方法如表 5 所示。通过对裂缝型漏失的准确划分, 可以避免对裂缝漏失的盲目封堵, 指导现场技术人员有针对性的选择堵漏方法和堵漏配方, 从而提高一次堵漏成功率。

Table 5. Statistics table of lost circulation control for fractures type loss

表 5. 裂缝型漏失井堵漏统计

井漏类型	堵漏方法	使用次数/次	成功次数/次	一次成功率/%	排量恢复率/%	推荐方法
裂缝 A-I 型	降排量	14	12	85.71	84.04	降排量 小颗粒桥堵
	随钻堵漏	49	27	55.10	91.76	
	小颗粒桥堵	12	11	91.67	100.43	
裂缝 A-II 型	小颗粒桥堵	26	9	34.62	103.15	中颗粒桥堵
	中颗粒桥堵	12	10	83.33	103.62	
	大颗粒桥堵	13	8	61.54	167.61	
裂缝 B-I 型	降排量	17	11	64.71	61.48	随钻堵漏
	随钻堵漏	12	11	91.67	67.76	
裂缝 B-II 型	随钻堵漏	4	1	25.00	88.35	小颗粒桥堵
	小颗粒桥堵	7	7	100.00	91.39	
裂缝 C-I 型	随钻堵漏	24	22	91.67	85.54	小颗粒桥堵
	小颗粒桥堵	12	11	91.67	117.70	
裂缝 C-II 型	小颗粒桥堵	12	6	50.00	92.00	中颗粒桥堵
	中颗粒桥堵	10	9	90.00	118.46	
裂缝 C-III 型	中颗粒桥堵	5	3	60.00	110.28	大颗粒桥堵
	大颗粒桥堵	7	7	100.00	98.48	

4.3. 断层型漏失堵漏分析

在统计资料中,共 23 口井发生断层型漏失。根据表 6 断层型漏失堵漏结果统计分析,该类型漏失整体堵漏成功率低。

Table 6. Statistics table of lost circulation control for fault type loss

表 6. 断层型漏失堵漏结果统计

漏失类型	漏失井数/口	成功井数/口	填井侧钻数/口	顶漏完井数/口	平均堵漏数/次	成功率/%
断层 - 泥岩型	6	2	3	1	4.66	33.33
断层 - 砂岩型	14	11	1	2	2	78.57
断层 - 火成岩型	3	1	1	1	3	33.33

断层发育程度与岩石性质有关,岩石脆性越大,断层及破碎带越发育[17] [18] [19]。此外,断层封闭性与断层填充物有一定关系[9] [10] [20] [21]。通过断层漏失统计分析发现,断层漏失处岩性与堵漏难易程度有关。从堵漏成功率来看,砂岩地层发生断层型漏失的堵漏成功率明显高于火成岩和泥岩地层。从堵漏难易程度来看,砂岩地层断层漏失平均堵漏次数最少,其次是火成岩,堵漏次数最多的是泥岩地层。

从历史案例来看,砂岩地层断层漏失,使用小颗粒桥堵浆效果较好,若堵漏失败,可通过增大桥堵浆中 LCM 尺寸和浓度进行二次封堵,高失水固化堵漏可有效封堵砂岩断层漏失。泥岩地层发生断层漏失,直接使用大颗粒桥堵浆进行封堵,失败后可选择“桥堵 + 凝胶”进行复合堵漏。火成岩地层除岩性坚硬、裂缝发育外,还存在易垮塌掉块的特点,因此不宜采用高失水类堵漏材料,以免增加卡钻风险,处理火成岩地层断层漏失,优先采取凝胶堵漏或复合堵漏方法,可取得较好效果。

基于多因素融合的井漏分类方法系统划分渤海油田漏失类型,并统计分析各类型漏失的堵漏效果,如图 2 所示,统计分析 138 次漏失井数据结果表明,使用该分类方法处理的泛孔隙型漏失、裂缝型漏失和断层型漏失堵漏效果均好于以往传统堵漏效果,平均堵漏成功率由传统堵漏的 60.91%提高至 89.30%。大大提高了堵漏成功率,对渤海油田钻井现场漏失类型准确判断和堵漏方法选择有一定借鉴意义。

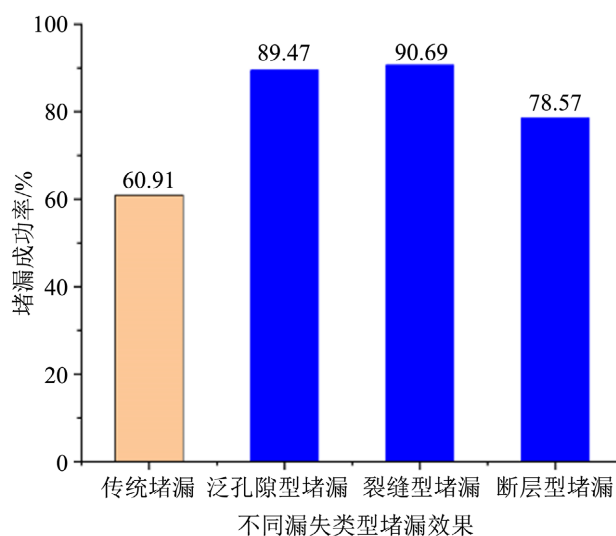


Figure 2. Comparison of success rate between traditional and multi-factor integrated leakage plugging methods in Bohai Oilfield

图 2. 渤海油田传统堵漏与多因素融合堵漏方法成功率对比

为便于现场工程师快速识别井漏类型并准确选择最优堵漏方法，编制多因素融合井漏类型分析与堵漏方法推荐流程如图 3 所示，当作业井发生漏失时，现场技术人员首先根据地质风险提示和录井岩屑分析判断井漏类型大类，其中泛孔隙型漏失和断层型漏失特征相对明显，堵漏决策推荐相对容易，裂缝型漏失分析相对繁琐；裂缝型漏失分析首先根据井漏泵压变化和漏失发生后应急处理前后的漏速变化确定裂缝型漏失的 2 级分类，然后漏排比确定裂缝型漏失小类，根据裂缝型漏失小类推荐具体的堵漏方法。该流程可作为渤海油田漏失井分析和堵漏方法选择的规范性文件。

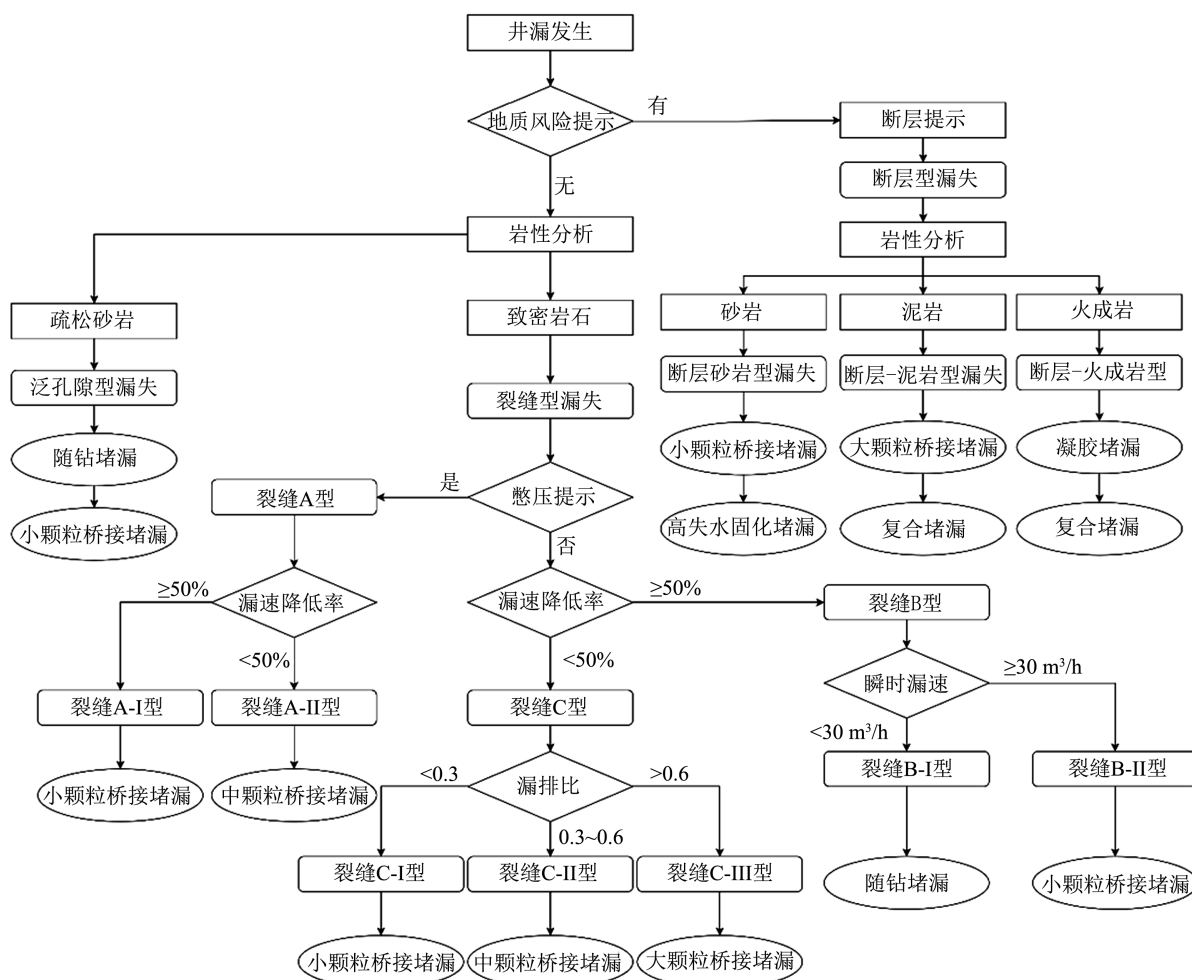


Figure 3. Multi-factor fusion lost circulation analysis and recommended process of lost circulation method

图 3. 多因素融合井漏分析与堵漏方法推荐流程

5. 结论

1) 针对渤海油田井漏实际建立了多因素融合井漏类型分析方法，将传统的三类漏失细化为 11 类漏失类型，总结了每类漏失的基本特征，提出了每类漏失的判断标准，使传统基于经验的井漏类型分类转化为有数据科学依据的系统化井漏分类方法。

2) 泛孔隙型漏失优先选择随钻堵漏方法，断层型漏失以断层岩性推荐堵漏方法和配方具有一定的现实意义。

3) 通过多因素融合分类和多元统计分析方法为裂缝型漏失类型准确区分和堵漏配方推荐提供了依

据。

4) 考虑现有井漏分类和渤海堵漏现状存在的一定短板, 通过多因素融合和多元统计分析, 建立一套适用于钻井现场的井漏综合分析方法, 突出堵漏方法和配方选择的针对性, 可明显提高一次堵漏成功率, 具有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 谭忠健, 胡云, 袁亚东, 曹军, 张向前, 杨占许. 渤海海域裂缝性地层井漏机理研究——以渤中 34-9 油田为例[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(2), 127-136.
- [2] 陈龙, 韩雪银, 和鹏飞, 陈玉山, 郭家. 渤海油田井漏分析及堵漏技术应用[J]. 化工管理, 2021(9): 185-186.
- [3] 张庆春. 渤海油田常见井漏类型及处理方法探究[J]. 石化技术, 2020, 27(6): 119+229.
- [4] 马光长. 井漏综合分类及其堵漏方法的选择[J]. 钻采工艺, 1993, 16(4): 15-20.
- [5] 卢小川, 狄明利, 王伟. 渤海油田井漏对策探讨[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2017, 14(11): 46-49.
- [6] 徐延瀚, 聂明顺, 刘康龙, 朱赟. 堵漏工艺实践与分析[J]. 石化技术, 2021, 28(4): 147-150.
- [7] 卢小川, 赵雄虎, 王洪伟, 张伟, 徐同台. 固化承压堵漏剂在渤海油田断层破碎带的应用[J]. 钻井液与完井液, 2014, 31(4): 47-49.
- [8] 谭建成. 井漏分类及漏层位置确定方法的研究[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(10): 66-68.
- [9] 王涛, 刘锋报, 罗威, 晏智航, 陆海瑛, 郭斌. 塔里木油田防漏堵漏技术进展与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 28-33.
- [10] 陈军, 王平, 李占超. 油基钻井液防漏堵漏理论与技术研究进展[J]. 当代化工研究, 2022(12): 162-164.
- [11] 丁浩力. 国内防漏堵漏新技术研究进展[J]. 西部探矿工程, 2022, 34(4): 99-100.
- [12] 胡国金, 虞海洋, 付琳, 罗曼, 胡志爽. 渤海火成岩发育区油田防漏堵漏技术认识与探讨[J]. 科学技术创新, 2021(9): 122-123.
- [13] 孙金声, 白芙蓉, 许成元, 吕开河, 康毅力. 裂缝性地层高效防漏堵漏关键技术与工业化应用[Z]. 青岛: 中国石油大学, 2020-12-29.
- [14] 席志成, 裴琦, 陈有亿. 钻井液堵漏材料与防漏堵漏技术研究[J]. 中国科学探险, 2022(2): 110-112.
- [15] 舒刚. 裂缝性地层钻井液同存流动规律及模型研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2012.
- [16] 沈海超, 胡晓庆, 李桂芝. 破碎性地层漏失力学机理及井漏诊断与处理思路[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(1): 85-88+96.
- [17] 陈霞飞, 桑晓彤. 断层带与裂缝关系研究进展[J]. 河南科学, 2017, 35(6): 951-958.
- [18] Cook, J., Growcock, F., Guo, Q., Hodder, M. and van Oort, E. (2012) Stabilizing the Wellbore to Prevent Lost Circulation. *Oilfield Review*, **23**, 26-35.
- [19] Moazzeni, A.R., Nabaee, M. and Jegarluei, S.G. (2010) Prediction of Lost Circulation Using Virtual Intelligence in One of Iranian Oilfields. *Nigeria Annual International Conference and Exhibition*, Tinapa, July 2010, Paper No. SPE-136992-MS. <https://doi.org/10.2118/136992-MS>
- [20] 吕延防. 断层封闭的差异性分析[J]. 大庆石油学院学报, 1996(4): 7-11.
- [21] Jahanbakhshi, R., Keshavarzi, R. and Jalili, S. (2014) Artificial Neural Network-Based Prediction and Geomechanical Analysis of Lost Circulation in Naturally Fractured Reservoirs: A Case Study. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, **18**, 320-335. <https://doi.org/10.1080/19648189.2013.860924>