

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5374.2—2023

代替 SY/T 5374.2—2006

固井作业规程 第 2 部分：特殊固井

Cementing specification—
Part 2 : Special cementing

2023 — 05 — 26 发布

2023 — 11 — 26 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和缩略语	3
5 设备、工具及附件的选择与使用要求	5
5.1 选择要求	5
5.2 使用要求	6
6 水泥浆准备	7
6.1 水泥浆的试验项目	7
6.2 不同作业对滤失量要求	7
6.3 水泥浆量	7
6.4 挤水泥和注水泥塞作业对水泥石抗压强度要求	8
7 安全压力要求	8
7.1 各种作业管柱内外压力关系要求	8
7.2 水泥承转器坐封后上下压差要求	9
8 特殊固井工艺技术要求	9
8.1 干法注水泥	9
8.2 挤水泥	9
8.3 注水泥塞方法的选择	10
8.4 对尾管注水泥作业准备的要求	10
8.5 对回接注水泥作业准备的要求	10
8.6 海上注水泥作业	11
8.7 探钻水泥塞技术要求	11
9 作业程序	11
9.1 内管法注水泥	11
9.2 双级注水泥	12
9.3 尾管注水泥	13
9.4 回接注水泥	14
9.5 干法注水泥	14

SY/T 5374.2—2023

9.6 挤水泥	15
9.7 注水泥塞	16
9.8 海上注水泥	16
10 作业总结	17
11 作业评价（测固井质量后，再试压）	17
11.1 常规评价方法	17
11.2 其他评价方法	17
附录 A（资料性） 尾管作业相关计算	18
附录 B（资料性） 固井施工报告单	22

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

SY/T 5374《固井作业规程》分为两个部分：

- 第1部分：常规固井；
- 第2部分：特殊固井。

本文件为 SY/T 5374 的第2部分。

本文件代替 SY/T 5374.2—2006《固井作业规程 第2部分：特殊固井》，与 SY/T 5374.2—2006 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“干法注水泥”的术语和定义（见 3.8）；
- b) 增加了“回缩距”的术语和定义（见 3.15）；
- c) 增加了“牵制短节”的术语和定义（见 3.16）；
- d) 增加了“水下释放胶塞系统”的术语和定义（见 3.19）；
- e) 更改了“分级箍和胶塞组”的选择要求（见 5.1.1，2006年版的 5.1.1）；
- f) 增加了“回接筒及插头”的使用要求（见 5.1.3）；
- g) 增加了“水下释放胶塞系统”的选择和使用要求（见 5.1.6 和 5.2.5）；
- h) 更改了“尾管悬挂器”的使用要求（见 5.2.2，2006年版的 5.2.3）；
- i) 更改了“水泥浆准备”（见第 6 章，2006年版的第 6 章）；
- j) 增加了“干法注水泥”工艺措施和作业程序（见 8.1 和 9.5）；
- k) 更改了“对挤水泥作业用水泥的要求”（见 8.2，2006年版的 8.2）；
- l) 增加了“回接注水泥”工艺措施和作业程序（见 8.5 和 9.4）；
- m) 增加了“海上注水泥”工艺措施和作业程序（见 8.6 和 9.8）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由石油工业标准化技术委员会石油钻井工程专业标准化委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院、中国海洋石油有限公司天津分公司、中国海洋石油有限公司湛江分公司、中海油田服务股份有限公司、中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司、中国石油集团工程技术研究院有限公司。

本文件主要起草人：丁士东、杨红歧、周仕明、段永贤、赵景芳、于永金、赵琥、汪晓静、曾艳军、孟小光、罗鸣、李治衡、庄健、程林。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2006年首次发布为 SY/T 5374.2—2006，整合了 SY/T 5475—1992（1992年首次发布）、SY/T 5479—1992（1992年首次发布）、SY/T 6026—1994（1994年首次发布）、SY/T 5701—1995（1995年首次发布）的内容，增加了挤水泥和注水泥塞作业的一般技术要求和作业程序；

——本次为第一次修订。

引 言

固井是油气井钻完井工程中的关键环节，影响因素多、可控难度大。随着油气藏勘探开发不断深入，油气井固井面临的环境越来越复杂，非常规油气还要进行大型分段压裂，对固井质量提出了更高的要求。为进一步规范固井施工流程，提高固井质量，2006年制定发布了SY/T 5374《固井作业规程》，分为两个部分：

- 第1部分：常规固井；
- 第2部分：特殊固井。

本文件作为SY/T 5374的第2部分，主要规范了内管法注水泥、双级注水泥、尾管注水泥、回接注水泥、干法注水泥、挤水泥、注水泥塞和海上注水泥等特殊工艺固井的要求和作业程序。

制定特殊固井作业规程，体现了油气勘探开发对固井技术的新需求，也体现了固井技术的进步，对实现油气高效勘探和效益开发具有重要意义。

固井作业规程

第2部分：特殊固井

1 范围

本文件规定了内管法注水泥、双级注水泥、尾管注水泥、回接注水泥、干法注水泥、挤水泥、注水泥塞和海上注水泥等特殊工艺固井的要求和作业程序。

本文件适用于石油及天然气钻井中的特殊工艺固井作业。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 19139 油井水泥试验方法
- GB/T 28911 石油天然气钻井工程术语
- SY/T 5083 石油天然气钻采设备 尾管悬挂器及尾管回接装置
- SY/T 5374.1—2016 固井作业规程 第1部分：常规固井
- SY/T 5412 下套管作业规程
- SY/T 5467 套管柱试压规范
- SY/T 5480 固井设计规范
- SY/T 5956 钻具判废技术规范
- SY/T 5964 钻井井控装置组合配套、安装调试与使用规范
- SY/T 6592 固井质量评价方法

3 术语和定义

GB/T 28911 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水泥承转器 cement retainer

挤水泥作业的专用封隔器。

3.2

注水泥插头 cementing stinger

内管法注水泥、水泥承转器法挤水泥作业时插入注水泥插座的工具。

3.3

内管法注水泥浮鞋 stab-in cementing float shoe

带有插入座的浮鞋。

3.4

内管法注水泥浮箍 stab-in cementing float collar
带有插入座的浮箍。

3.5

液压式分级箍 pressure differential stage cementing collar
可使用液压打开循环孔的分级箍。

3.6

机械式分级箍 mechanical stage cementing collar
仅使用重力打开塞打开循环孔的分级箍。

3.7

连续式挤水泥 continuous squeeze cementing
将水泥浆一次挤入地层或孔道的挤水泥作业。

3.8

干法注水泥 dry wellbore cementing
气体钻井后不转换钻井液，空井环境直接下套管、注水泥的固井作业。

3.9

水泥承转器法挤水泥 cement retainer squeezing
使用水泥承转器挤水泥的作业。

3.10

悬空水泥塞 cement cap
不注在井底（或人工井底）的水泥塞。

3.11

上水泥塞 top cement plug
尾管注水泥作业时在喇叭口以上形成的水泥柱。

3.12

下水泥塞 bottom cement plug
固井作业时在底部套管内形成的水泥柱。

3.13

坐挂起始位置 reference sitting position
坐挂尾管过程中，悬重开始下降时送入管串与转盘面平齐的位置。

3.14

坐挂终了位置 final sitting position
坐挂尾管过程中，悬重下降至称重值时送入管串与转盘面平齐的位置。

3.15

回缩距 releasing shortening length
尾管坐挂后，由于载荷释放送入钻柱回缩的长度。

3.16

牵制短节 hold down sub
防止在提出送入钻具时尾管被误提出的工具。

3.17

尾管喇叭口 top of tie-back sleeve
尾管悬挂器回接筒顶部。

3.18

挤入量 entry capacity

挤水泥作业时水泥浆进入外环空或地层的量。

3.19

水下释放胶塞系统 subsea release plug system

一种用于配备水下井口固井作业的胶塞系统，通过井口释放钻杆胶塞（球），启动水下部分的上下胶塞组。

4 符号和缩略语

本文件量的符号、含义和单位见表 1。

表 1 量的符号、含义和单位

序号	符号	含义	单位	单位符号	备注
1	A_{p0}	计算点的钻杆本体处流道面积	平方厘米	cm^2	
2	A_{pco}	悬挂器密封孔的面积	平方厘米	cm^2	
3	A_s	卡瓦片的理论接触面积	平方厘米	cm^2	
4	A_{sarsi}	尾管送入管串第 i 段的本体横截面积	平方厘米	cm^2	
5	d_{cp}	原井内套管内径	厘米	cm	
6	D_{cp}	原井内套管外径	厘米	cm	
7	D_{rs}	尾管送入管串的外径	厘米	cm	
8	D_{rsi}	尾管送入管串第 i 段的外径	厘米	cm	
9	E_{rsi}	第 i 段送入管串材质弹性系数	千牛每平方米	kN/m^2	钢材为 2.06×10^8
10	F_{af}	送入管串给予锥体的附加力	千牛	kN	
11	F_{bfc}	胶塞碰压给悬挂器锥体增加的拉力	千牛	kN	
12	F_{bfrs}	憋压给送入管串施加的拉力	千牛	kN	
13	F_{bcj}	外层套管允许的悬挂力	千牛	kN	
14	F_{bf}	尾管实际需要的悬挂力	千牛	kN	
15	F_{psri}	送入管串第 i 段的允许拉力	千牛	kN	
16	f_{sj}	悬挂器卡瓦片与外层套管的摩擦系数	—		一般取 0.15
17	F_{trs0}	送入管串第 i 段顶部所受的拉力	千牛	kN	
18	g	重力加速度	米每二次方秒	m/s^2	9.80665
19	G_{rs}	尾管送入管串的剪切弹性模量	千帕	kPa	钢材为 7.854×10^7
20	G_{rsi}	尾管送入管串第 i 段的剪切弹性模量	千帕	kPa	
21	H_c	送入管串钻台面以上的接箍高度	米	m	
22	H_e	吊卡高度	米	m	

表 1 (续)

序号	符号	含义	单位	单位符号	备注
23	H_{rs}	尾管送入管串的下深	米	m	
24	J_{rsi}	送入管串第 i 段的极惯性矩	四次方厘米	cm^4	$\pi \times (D_{rsi}^4 - d_{rsi}^4)/32$
25	K_c	接头拉伸系数	—		0.85 ~ 0.90
26	K_t	尾管送入管串扭转系数	圈每米	r/m	
27	L_{ers}	尾管送入管串的余量	米	m	
28	L_{th}	尾管段长度	米	m	
29	L_{es}	送入管串长度	米	m	
30	L_{rsi}	送入管串第 i 段的长度	米	m	
31	L_s	卡瓦片轴向长度	厘米	cm	
32	N	尾管送入管串的允许扭转圈数	圈	r	
33	N_i	尾管送入管串第 i 段的允许扭转圈数	圈	r	
34	n_{hj}	外层套管悬挂安全系数	—		
35	n_s	卡瓦片的数量	块		
36	P_b	碰压值	兆帕	MPa	
37	P_{bwh}	尾管浮重	千牛	kN	
38	P_{bws1}	送入管串第 1 段的浮重	千牛	kN	
39	P_{bws2}	送入管串第 2 段的浮重	千牛	kN	
40	P_{bws3}	送入管串第 3 段的浮重	千牛	kN	
41	P_{bws_i}	送入管串第 i 段的浮重	千牛	kN	
42	P_{ers}	给悬挂器锥体施加的附加力	千牛	kN	
43	P_{rsio}	送入管串第 i 段顶部以下的送入管串浮重	千牛	kN	
44	Q_{Ti}	送入管串第 i 段的允许扭矩	牛顿米	$\text{N} \cdot \text{m}$	
45	Q_{Tmin}	送入管串允许扭矩的最小值	牛顿米	$\text{N} \cdot \text{m}$	
46	S_r	抗扭安全系数	—		取 1.5
47	s_s	卡瓦片弧长	厘米	cm	
48	S_{ri}	第 i 段钻杆的抗拉强度系数	—		
49	S_{rsi}	送入管串第 i 段的抗拉强度	千牛	kN	
50	α_c	悬挂器卡瓦半锥角	度	(°)	
51	ΔF_{pi}	送入管串第 i 段的抗拉余量	千牛	kN	
52	ΔL_{ers}	给悬挂器锥体施加附加力而产生的压缩距	米	m	

表 1 (续)

序号	符号	含义	单位	单位符号	备注
53	ΔL_{rs}	送入管串的总回缩距	米	m	
54	ΔL_{rs1}	送入管串第 1 段的回缩距	米	m	
55	ΔL_{rs2}	送入管串第 2 段的回缩距	米	m	
56	ΔL_{rs3}	送入管串第 3 段的回缩距	米	m	
57	Δl_{rsi}	送入管串第 i 段的回缩距	米	m	
58	ρ_{th}	尾管材质的密度	克每立方厘米	g/cm ³	
59	ρ_{th}	尾管的线密度	千克每米	kg/m	
60	ρ_m	钻井液的密度	克每立方厘米	g/cm ³	
61	ϕ_i	送入管串第 i 段的总扭转角	弧度	rad	
62	ϕ_1	送入管串第 1 段的总扭转角	弧度	rad	
63	ϕ_2	送入管串第 2 段的总扭转角	弧度	rad	
64	σ_{sep}	原井内套管的最小屈服强度	兆帕	MPa	
65	σ_{yrs}	尾管送入管串的最小屈服强度	兆帕	MPa	
66	σ_{yrsi}	尾管送入管串第 i 段的最小屈服强度	兆帕	MPa	
67	π	圆周率	—		

5 设备、工具及附件的选择与使用要求

5.1 选择要求

5.1.1 分级箍

应按以下要求选择分级箍。

- 应依据井眼轨迹、入井套管柱结构和作业类型选择合适打开方式的分级箍。
- 分级箍的材质、螺纹连接强度、密封能力、本体强度应不低于套管柱。
- 分级箍内需钻除的附件应由可钻材料制成，钻除后其通径应不小于套管柱。

5.1.2 尾管悬挂器

应按以下要求选择悬挂器，悬挂器性能应满足 SY/T 5083 的要求。

- 根据上层套管壁厚和强度、悬挂重量、钻井液等选择悬挂器型号规格。
- 尾管悬挂器的材质、螺纹连接强度、密封能力、本体强度应不低于套管柱。
- 球座短节内部构件、密封部件和胶塞组应由可钻材料制成。

5.1.3 回接筒及插头

应按以下要求选择回接筒及插头，回接筒及插头性能应满足 SY/T 5083 的要求。

- a) 尾管悬挂器应带有与回接套管规格匹配的回接筒。
- b) 回接插头应与回接筒匹配，密封能力应不小于 25MPa。
- c) 回接插头及配套的附件由可钻材料制成，钻除后其通径应不小于套管柱。

5.1.4 水泥承转器

应按以下要求选择水泥承转器。

- a) 坐封后能满足作业的最大压差要求。
- b) 由可钻材料制成。

5.1.5 内管注水泥插座及插头

应按以下要求选择内管注水泥插座及插头。

- a) 内管法注水泥浮箍应与套管相匹配，由可钻材料制成，钻除后其通径应不小于套管柱。
- b) 内管法注水泥插头应与内管法注水泥浮箍上的插座相匹配，密封能力应不低于预计注水泥的最大压差。
- c) 使用的内管扶正器应与作业内管柱和套管尺寸相符。

5.1.6 水下释放胶塞系统

应按以下要求选择水下释放胶塞系统。

- a) 适用于配备水下井口的海上固井作业。
- b) 应根据套管规格、水下井口尺寸、送入钻杆和井口工具、浮箍等选择合适的水下释放胶塞系统。

5.2 使用要求

5.2.1 分级箍

分级箍的使用应满足以下要求。

- a) 分级箍安放位置宜距油、气、水层顶界以上不少于 300m，或底界以下不少于 60m；距漏失层顶部不少于 50m。
- b) 分级箍应安放在套管内或井壁稳定、井径扩大率不超过 15% 的井段。
- c) 机械式分级箍下入位置井斜应小于 25°。

5.2.2 尾管悬挂器

尾管悬挂器的使用应满足以下要求。

- a) 尾管悬挂器应坐挂于无磨损或磨损较轻的外层套管本体上。
- b) 重叠段长宜 100m ~ 200m。
- c) 尾管悬重小于 5t 或悬挂长度小于 300m 时，宜使用牵制短节或水力锚。

5.2.3 水泥承转器

水泥承转器的使用应满足以下要求。

- a) 水泥承转器坐封位置宜距挤入位置以上 3m ~ 25m。
- b) 水泥承转器坐封位置在套管内时，应坐封在套管本体上。

5.2.4 阻流环

距离浮鞋不少于 20m，深井宜增加间距。

5.2.5 水下释放胶塞系统

水下释放胶塞系统的使用应满足以下要求。

- a) 水下释放胶塞系统应配备压力平衡阀。
- b) 水下部分的上下胶塞组与井口释放的钻杆胶塞（球）应匹配，剪切释放压力应满足设计要求。

6 水泥浆准备

6.1 水泥浆的试验项目

水泥浆的试验项目按表 2 执行，水泥浆试验方法按 GB/T 19139 执行。

表 2 水泥浆试验项目

作业类型	内管法注水泥		双级注水泥				尾管注水泥		干法注水泥		挤水泥		注水泥塞
	表套	技套	技套		油套		技套	油套	正注	反灌	补注	封堵	
			一级	二级	一级	二级							
稠化时间	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
抗压强度	※	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	※	✓
沉降稳定性	※	*	*	*	*	*	✓	✓	※	※	✓	✓	✓
游离液	※	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	※	※	✓	✓	✓
滤失量	※	○	○	○	✓	○	✓	✓	○	○	✓	✓	✓
相容性	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	○	✓	✓	✓
渗透率	※	*	*	*	*	*	*	*	※	※	*	*	*
流变性	※	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

注：“○”表示宜做；“✓”表示应做；“※”表示可不做；“*”表示第一次使用应做。

6.2 不同作业对滤失量要求

不同作业对滤失量要求按表 3 执行，水泥浆滤失量试验按 GB/T 19139 执行。

6.3 水泥浆量

6.3.1 挤水泥作业水泥浆量

应根据试挤的吸入量和挤入压力来确定挤水泥量。

- a) 封堵炮眼：不少于挤入量、炮眼段套管的内容积及附加量之和。
- b) 封堵套管泄漏：不少于挤入量、泄漏段套管的内容积及附加量之和。
- c) 封堵漏失层：不少于预计的漏失量、漏失层段井筒容积及附加量之和。
- d) 补注水泥：不少于补注段容积及附加量之和。

表 3 水泥浆滤失量要求

作业类型		滤失量要求
挤水泥	孔穴和裂缝地层	小于 800mL/30min × 6.9MPa
	高渗地层 ^a	小于 100mL/30min × 6.9MPa
	低渗地层 ^a	小于 200mL/30min × 6.9MPa
	极低渗地层 ^a	小于 300mL/30min × 6.9MPa
	补注水泥	参见同层套管注水泥作业要求
注水泥塞	套管内	宜低于 250mL/30min × 6.9MPa
	裸眼段	宜低于 150mL/30min × 6.9MPa
	油层段	宜低于 100mL/30min × 6.9MPa
^a 地层根据其渗透率分为高渗、低渗及极低渗地层，不同地层渗透率为： <ul style="list-style-type: none"> ——高渗：大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$； ——低渗：$10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$； ——极低渗：$1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$。 		

6.3.2 注水泥塞作业水泥浆量

注水泥塞作业的水泥浆量为设计注水泥塞段的井筒容积及附加量之和。

6.3.3 水泥浆的附加量

可根据本地区作业经验确定。

6.4 挤水泥和注水泥塞作业对水泥石抗压强度要求

挤水泥和注水泥塞作业对水泥石抗压强度要求按表 4 执行，水泥石抗压强度试验按 GB/T 19139 执行。

表 4 挤水泥和注水泥塞作业对水泥石抗压强度要求

作业类型	抗压强度要求
挤水泥	24h 抗压强度不低于 7MPa
水泥塞	24h 抗压强度不低于 14MPa，侧钻水泥塞不低于 21MPa

7 安全压力要求

7.1 各种作业管柱内外压力关系要求

各种作业管柱内外压力宜按照以下要求设计。

- a) 内管法注水泥、双级注水泥、尾管注水泥、回接注水泥作业替浆结束时，环空静液柱压力应高于管内，但不应超过浮鞋、浮箍的反向承压能力。

- b) 封堵炮眼、套管泄漏挤水泥作业在候凝期间，挤入位置套管内压力不应低于管外。
- c) 井口法挤水泥和注水泥塞作业中，上提注水泥作业管柱时的管内静液柱压力宜高于管外的静液柱压力。
- d) 水泥承转器法挤水泥作业中，在注水泥插头插入水泥承转器前，注水泥管柱外的静液柱压力宜高于管内静液柱压力。

7.2 水泥承转器坐封后上下压差要求

水泥承转器坐封后上下压差应满足以下要求。

- a) 水泥承转器承受的正压差低于额定工作正压差。
- b) 水泥承转器承受的负压差低于额定工作负压差。
- c) 如果水泥承转器承受的正压差超过水泥承转器额定工作正压差，应在水泥承转器以上使用密度较低的液体；如果水泥承转器承受的负压差超过水泥承转器的额定工作负压差，应在水泥承转器以上环空施加平衡压力。

8 特殊固井工艺技术要求

8.1 干法注水泥

干法注水泥应满足以下要求。

- a) 气体钻井后，井眼稳定、不出水、不掉块。
- b) 空井能够顺利下入套管。

8.2 挤水泥

8.2.1 井口法挤水泥

满足以下所有条件时，可使用井口法挤水泥。

- a) 挤水泥作业压力低于套管抗内压强度的 70% 和井口额定工作压力。
- b) 注完水泥浆后能将作业管柱提至水泥浆面 150m 以上。
- c) 将水泥浆挤入地层或环空，或通过一组炮眼将水泥浆挤入环空。

8.2.2 水泥承转器法挤水泥

满足以下任一条件时，应使用水泥承转器法挤水泥。

- a) 挤水泥作业压力高于套管抗内压强度的 70% 或井口额定工作压力。
- b) 注完水泥浆后不能将作业管柱提出水泥浆面以上。
- c) 两组炮眼间连通挤水泥，或炮眼与喇叭口连通挤水泥。

8.2.3 挤水泥方式

按照以下条件，选择合适的挤水泥方式。

- a) 挤入排量低于 300L/min 时宜采用连续式挤水泥，高于 300L/min 宜采用间歇式挤水泥。
- b) 封堵炮眼、修补套管宜采用间歇式挤水泥。

8.2.4 对试挤的要求

挤水泥作业前应试挤，试挤应按照以下要求执行。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/905104230144011213>