

中华人民共和国地质矿产行业标准

××/T×××××—××××

地质钻探护壁堵漏技术规程

Code of practice for wall protecting and leakage plugging in geological drilling

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施



# 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本要求 .....	2
5 不稳定地层和漏失地层分类 .....	3
6 漏失特征判别 .....	4
6.1 漏失位置判别方法 .....	4
6.2 漏层压力计算方法 .....	4
6.3 漏失程度分级 .....	5
7 冲洗液护壁 .....	5
7.1 松散破碎地层冲洗液护壁 .....	5
7.2 水敏性地层冲洗液护壁 .....	6
7.3 溶蚀性地层冲洗液护壁 .....	7
7.4 高压地层冲洗液防涌与防喷 .....	8
7.5 高地应力或蠕变地层冲洗液护壁 .....	9
8 惰性材料堵漏 .....	10
8.1 随钻循环堵漏 .....	10
8.2 停钻加压堵漏 .....	11
9 化学浆液堵漏 .....	12
9.1 复合凝胶堵漏 .....	12
9.2 水泥-凝胶浆液堵漏 .....	14
9.3 水泥-水玻璃浆液堵漏 .....	15
10 水泥浆液护壁堵漏 .....	16
10.1 适用条件 .....	16
10.2 材料及配制 .....	16
10.3 水泥浆液灌注 .....	18
10.4 工艺措施 .....	19
11 套管护壁堵漏 .....	19
11.1 常规套管护壁堵漏 .....	19
11.2 跟管护壁堵漏 .....	21
11.3 膨胀套管护壁堵漏 .....	21
12 其他护壁堵漏方法 .....	23

12.1 脲醛树脂水泥球护壁堵漏.....	23
12.2 黏土球护壁堵漏.....	24
12.3 干粉护壁堵漏.....	24
12.4 膨胀材料堵漏.....	25
12.5 软胶塞护壁堵漏.....	25
附录 A (资料性) 测漏仪性能参数与使用方法.....	27
参考文献.....	29

## 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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本文件起草单位：中国地质科学院勘探技术研究所、中国地质大学（北京）、中国地质大学（武汉）、成都理工大学、北京探矿工程研究所、中国地质科学院探矿工艺研究所、中国自然资源经济研究院。

本文件主要起草人：孙建华、刘秀美、陶士先、于培志、吴金生、杨甘生、段隆臣、王胜、蔡记华、陈晓君、王志刚、尹浩、申文金、侯志成、吴纪修、李宽。



# 地质钻探护壁堵漏技术规程

## 1 范围

本文件规定了不稳定地层和漏失地层分类、漏失特征判别、冲洗液护壁、惰性材料堵漏、化学浆液堵漏、水泥浆液护壁堵漏、套管护壁堵漏及其他护壁堵漏方法等方面的技术要求。

本文件适用于地质岩心钻探，其他钻探工程可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中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 175 通用硅酸盐水泥  
GB/T 10238 油井水泥  
GB/T 16950 地质岩心钻探钻具  
AQ 2004 地质勘探安全规程  
DZ/T 0227地质岩心钻探规程

## 3 术语和定义

### 3.1

#### 护壁 **wall protecting**

利用冲洗液、化学浆液、水泥浆液、套管等保持、维护孔壁稳定。

### 3.2

#### 堵漏 **loss shut-off; leakage plugging**

利用冲洗液、水泥浆液、化学浆液、惰性材料、套管等封堵钻孔漏失通道。

### 3.3

#### 钻孔漏失 **lost circulation**

钻进中，冲洗液在压差作用下漏入地层的情况。

### 3.4

#### 不稳定地层 **unstable formation**

钻进中易发生坍塌、缩径、溶蚀、蠕变等现象的地层。

### 3.5

**漏失地层 lost-circulation formation**

钻进中发生冲洗液漏失的地层。

3.6

**高压地层 high-pressure formation**

地层压力梯度高于静水柱压力梯度的地层。

3.7

**高应力地层 high-stress formation**

由于构造运动等因素所形成的地应力较高的地层。

3.8

**随钻循环堵漏 plugging while drilling**

钻进中，冲洗液循环时进行的堵漏。

3.9

**停钻加压堵漏 pressure plugging while stop-drilling**

停止钻进作业，通过静水压头、循环动压、孔口加压等方式将堵漏浆液送入地层的堵漏。

3.10

**化学浆液堵漏 chemical slurry plugging**

使用一种或多种聚合物、无机胶凝材料等配制的浆液进行的堵漏。

3.11

**膨胀套管 expandable casing**

可通过机械或液压等方式使其直径扩大至预期值的套管。

3.12

**替浆水量 slurry replacement quantity**

为将浆液输送至钻孔指定位置而向钻杆内注入的冲洗液量。

4 基本要求

4.1 钻探工程设计中，应提出具体的预防孔壁失稳和钻孔漏失的技术对策，制定可行的护壁堵漏技术方案。

4.2 钻进中发生冲洗液漏失，应及时记录漏失时孔深以及泵压变化、漏失量和孔口冲洗液返出情况，分析漏失原因，测定、判断漏失层位和漏失程度，确定合理的堵漏工艺和材料。

4.3 依据漏失地层类型和漏失严重程度，分别选用惰性材料堵漏、化学浆液堵漏、水泥浆液堵漏和套管堵漏等方法。单种堵漏方法不能满足要求时，可采用多种堵漏方法。



- 4.4 孔壁相对稳定、孔底岩粉沉渣较少，供水充足、取水成本低的情况下，可不进行堵漏。
- 4.5 护壁堵漏时，应优先使用绿色环保的材料。
- 4.6 钻遇不稳定及易漏失地层，应优化冲洗液性能、控制冲洗液上返流速，降低提下钻速度，及时回灌冲洗液，并调整钻具结构，加大环空间隙，降低冲洗液循环压力。
- 4.7 可能钻遇涌水地层的钻孔，应储备适量加重材料。
- 4.8 不稳定及易漏失地层绳索取心钻进时，应使用带通气孔的提引接头，不宜带内管总成提下钻。
- 4.9 护壁堵漏浆液配制前应在现场进行地表小样试验，测试浆液主要性能，提高护壁堵漏作业成功率。
- 4.10 作业现场宜配备测定漏失位置与漏失量的仪器和工具。
- 4.11 实施护壁堵漏时，应执行 DZ/T 0227 和 AQ 2004 相关安全规定。

## 5 不稳定地层和漏失地层分类

5.1 不稳定地层类型分为松散破碎地层、水敏性地层、溶蚀性地层等，见表1。

表1 不稳定地层类型

类型	特征描述	地层举例
松散破碎地层	颗粒或岩块之间缺乏胶结，钻进时易出现孔壁坍塌、掉块、涌水（砂）、漏水、钻孔超径、形成厚泥皮等	流砂层、砂砾石层、基岩风化层、断层破碎带等
水敏性地层	遇水易发生膨胀、分散、剥落等，失去稳定性，出现膨胀缩径、冲洗液增稠、钻头泥包、孔壁表面剥落、坍塌、超径等	泥岩、页岩、千枚岩等
溶蚀性地层	遇水后部分或全部溶解，钻进时易出现钻孔超径、孔壁坍塌、掉块、污染冲洗液等	含钠盐、钾盐、石膏、芒硝及天然碱等地层
高压地层	地层压力梯度与静水压力梯度相比偏高的地层，钻进时易出现涌水（气）、井喷等	处于储油、气、水的背斜构造或逆掩断层的封闭构造上的地层
高应力地层	由于构造运动等因素影响，形成较高的地应力，钻进中易出现孔壁剥落、掉块等	——
蠕变地层	在地应力的作用下，塑性变形逐渐增加的地层，钻进中易出现缩径和套管挤毁破坏等	盐岩、软泥岩等

5.2 漏失地层按照漏失通道形态及成因等分为孔隙型、微裂隙型漏失层，裂缝、破碎带型漏失层等，见表2。

表2 漏失地层类型

类型	特征描述	地层举例
孔隙型、微裂隙型	孔隙相互连通，分布比较均匀；颗粒间胶结性差，颗粒或颗粒集合体之间存在孔隙；地层发育有微细裂隙，一般发生渗透性漏失和轻微漏失	松散堆积岩层，如风积砂层、洪积层、冲积层等第四纪沉积层
裂缝、破碎带型	多发生于断层破碎带和天然的裂缝性地层。岩体破碎，裂缝发育，并有一定的张开度，无充填或不完全充填，一般发生中等漏失	裂缝和破碎带发育的中硬及坚硬岩层
诱导裂缝型	天然的裂缝性地层裂缝发育，张开度较小，由于钻进作业引起地层破裂或裂隙张开度扩大，一般发生轻微漏失、中等漏失	强度较低或天然裂缝发育但张开度较小的岩层
大裂隙、洞穴（溶洞）型	主要发生于碳酸盐岩等可溶性岩石地层，或由于构造运动形成的大裂隙，一般发生严重漏失、失返性漏失	溶洞发育的碳酸盐岩地层

## 6 漏失特征判别

### 6.1 漏失位置判别方法

发生钻孔漏失，可根据钻探现场条件，按照表3推荐的一种或几种方法，确定钻孔漏失位置。

表3 钻孔漏失位置（层位）测定方法

名称		测定方法
直接观察分析法		根据孔深、钻速、地层、岩心和孔内液面等信息，综合分析判断钻孔漏失位置
水动力学测试法	正反循环测试法	测试正反循环过程中冲洗液返出孔口的流量和相应的漏失量，记录冲洗液迟到时间，计算判断钻孔漏失位置
	立压变化测试法	注入段塞，并用冲洗液缓慢顶替，根据冲洗液压力变化和顶替量计算判断钻孔漏失位置
仪器测定法	流量计测试法	将流量计下入孔内，连续稳定回灌冲洗液，逐段观测冲洗液流量变化，流量突然变大处为钻孔漏失位置
	温度计测试法	将测温仪下入孔内，连续测量孔内温度，从温度曲线上找出温度突变的位置，确定钻孔漏失位置
	测漏仪测试法	使用可检测孔内冲洗液温度、压力和流速变化的专用测漏仪测定钻孔漏失位置，具体操作步骤参见附录 A
地球物理测井法		利用放射性测井、电阻率成像、声波等地球物理测井技术辅助判定钻孔漏失位置

### 6.2 漏层压力计算方法

冲洗液停止循环，钻孔内的冲洗液液面静止在某一位置，根据静液面深度按公式（1）计算已知漏层位置（深度）的漏层压力：

$$p = 10^{-3} \times \rho g(H_1 - H_2) \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- $p$ —漏层压力，MPa；
- $\rho$ —冲洗液密度，g/cm<sup>3</sup>；
- $g$ —重力加速度，m/s<sup>2</sup>；
- $H_1$ —漏层位置深度，m；
- $H_2$ —静液面深度，m。

### 6.3 漏失程度分级

按照冲洗液的返出量占泵入量的百分比，将钻孔漏失程度分为四级，见表4。

表4 钻孔漏失程度分级

漏失级别	I	II	III	IV
	轻微漏失	中等漏失	严重漏失	失返性漏失
返出量占泵入量比 $\lambda$ %	$\lambda > 60$	$60 \geq \lambda > 30$	$30 \geq \lambda > 0$	0

## 7 冲洗液护壁

### 7.1 松散破碎地层冲洗液护壁

#### 7.1.1 冲洗液选型及主要材料

宜选用细分散冲洗液。冲洗液主要材料参见表5。

表5 细分散冲洗液主要材料

材料名称	参考加量 kg/m <sup>3</sup>	作用
钠膨润土	20~60	提高黏度、降低滤失量，提高胶结性
氢氧化钠（NaOH）或纯碱（Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ）	0.5~2	调节pH值，提高黏土分散性，软化水质
腐植酸类，如腐植酸钾等	10~30	降低滤失量，选择其中一种或多种
纤维素类，如CMC-LV、PAC-LV等	1~5	
淀粉类，如羧甲基淀粉、改性淀粉等	5~15	
水解聚丙烯腈类，如水解聚丙烯腈铵盐等	5~15	
纤维素类，如CMC-HV、PAC-HV等	2~10	提高黏度和切力
改性沥青、乳化沥青等	10~30	提高胶结性
随钻循环堵漏剂、超细碳酸钙等	10~50	封堵地层孔隙或裂缝
磺化单宁（SMT）、木质素磺酸盐等	3~10	降低黏度
重晶石粉、铁矿粉等	按需计算确定	提高密度

#### 7.1.2 冲洗液性能要求

配制的冲洗液主要性能宜达到以下要求：

- a) 漏斗黏度（苏式），20 s~40 s；
- b) API 滤失量，≤10 mL/30 min；
- c) 密度，1.05 g/cm<sup>3</sup>~1.10 g/cm<sup>3</sup>，根据实际需要调整；
- d) pH 值，8~10。

### 7.1.3 冲洗液维护要求

冲洗液性能维护及调整要求如下：

- a) 钻遇松散破碎地层时，应适当提高钠膨润土加量，并及时添加沥青类等防塌剂和随钻封堵材料；
- b) 钻遇渗透性较强的松散地层时，应添加 CMC-LV、腐植酸钾等降滤失剂，API 滤失量控制在 5 mL/30 min 以内；
- c) 有坍塌掉块现象时，应及时提高冲洗液黏度和密度；
- d) 钻遇渗透性较强的松散地层，应加强冲洗液固相控制，防止孔壁形成厚泥皮。

### 7.1.4 现场作业工艺要求

松散破碎地层进行冲洗液护壁时，应执行以下作业工艺要求：

- a) 控制钻进速度和提下钻速度；
- b) 小泵量开泵，钻进时控制冲洗液上返速度；
- c) 钻遇渗透性强的松散地层时，回次钻进时间不宜过长，并经常扫孔；
- d) 避免在松散破碎地层孔段长时间循环冲洗液。

## 7.2 水敏性地层冲洗液护壁

### 7.2.1 冲洗液选型及主要材料

宜选用无固相或低固相聚合物冲洗液。冲洗液主要材料见表6。

表6 聚合物冲洗液主要材料

材料名称	参考加量 kg/m <sup>3</sup>	作用
钠膨润土、抗盐土等	0~40	提高黏度、降低滤失量，提高胶结性
氢氧化钠（NaOH）或纯碱（Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ）	0.5~3	调节pH值，提高黏土分散性，软化水质
水解聚丙烯酰胺、水解聚丙烯酸钾、丙烯酸盐共聚物（80A51）及乙烯基单体多元共聚物（PAC141）等	0.5~2	絮凝和包被作用
纤维素类，如CMC-HV、PAC-HV等	2~10	提高黏度和切力
腐植酸钾	10~30	抑制剂，选择一种或多种
水解聚丙烯腈铵盐、水解聚丙烯腈钾盐	5~15	
氯化钾（KCl）等	30~60	
有机胺、成膜剂等	10~30	
纤维素类，如CMC-LV、PAC-LV等	1~10	降低滤失量，选择其中一种或多种
淀粉类，如羧甲基淀粉、改性淀粉等	5~15	
磺化酚醛树脂等	10~30	

表 6 聚合物冲洗液主要材料（续）

材料名称	参考加量 kg/m <sup>3</sup>	作用
改性沥青、乳化沥青、磺化沥青等	10~30	提高胶结性
随钻循环堵漏剂、超细碳酸钙等	10~50	封堵地层孔隙或裂缝
磺化单宁（SMT）、两性离子聚合物降黏剂（XY-27）等	3~10	降低黏度
重晶石粉、铁矿粉等	按需计算确定	提高密度

### 7.2.2 冲洗液性能要求

配制的冲洗液主要性能宜达到以下要求：

- 漏斗黏度（苏式），17 s~35 s；
- API 滤失量，≤5 mL/30 min；
- 密度，1.02 g/cm<sup>3</sup>~1.10 g/cm<sup>3</sup>，根据实际需要调整；
- pH 值，8~9。

### 7.2.3 冲洗液维护要求

冲洗液性能维护及调整要求如下：

- 钻进粘附性强的黏土层时，冲洗液应维持较低的黏度和良好的润滑性；
- 钻进蒙脱石含量较高的泥页岩地层，可添加氯化钾、有机胺等强抑制剂，将原冲洗液转化为钾基聚合物、有机胺聚合物等冲洗液，API 滤失量控制在 5 mL/30 min 内；
- 钻进孔隙、裂隙发育的炭质千枚岩、绿泥石化等分散剥落地层，应及时添加成膜剂等抑制分散性材料、乳化沥青及随钻封堵材料，补充并维持冲洗液中高分子聚合物的含量，使冲洗液保持较高的黏度和密度，API 滤失量控制在 5 mL/30 min 内。

### 7.2.4 现场作业工艺要求

水敏性地层进行冲洗液护壁时，应执行以下作业工艺要求：

- 钻进易缩径、粘附性强的黏土层，采用较大泵量，坚持勤扫孔和短起钻；
- 钻遇进尺快、渗透性强的地层时，控制钻进速度，坚持勤扫孔和短起钻；
- 钻进易分散剥落地层，采用较小泵量，勤扫孔。

## 7.3 溶蚀性地层冲洗液护壁

### 7.3.1 冲洗液选型及主要材料

宜选用盐水冲洗液。冲洗液主要材料见表7。

表7 盐水冲洗液主要材料

材料名称	参考加量 kg/m <sup>3</sup>	作用
钠膨润土、抗盐土	30~50	选择其中的一种或两种，提高黏度、降低滤失量
聚丙烯酸钾、丙烯酸盐共聚物（80A51）等包被剂	1~3	絮凝和包被作用
抗盐增黏剂，如纤维素类CMC-HV、PAC-HV等	5~10	抗盐，提高黏度和切力，降低滤失量
纤维素类，如CMC-LV、PAC-LV等	5~10	降低滤失量，选其中的一种或多种
羧甲基淀粉、水解聚丙烯腈钠盐等	5~20	
磺化酚醛树脂等	10~30	
磺化单宁（SMT）等	5~15	降低黏度
氯化钠（NaCl）、氯化镁（MgCl <sub>2</sub> ）、氯化钙（CaCl <sub>2</sub> ）等	至饱和或要求的浓度	抑制溶蚀性地层溶解
氢氧化钠（NaOH）	2~5	调节pH值
消泡剂	1~3	消除泡沫
缓蚀剂	1~3	减缓钻具腐蚀

### 7.3.2 冲洗液性能要求

冲洗液主要性能宜达到以下要求：

- 漏斗黏度（苏式），20 s~40 s；
- API 滤失量，≤10 mL/30 min；
- 密度，1.20 g/cm<sup>3</sup>~1.50 g/cm<sup>3</sup>，根据实际需要调整；
- pH 值，7~10。

### 7.3.3 冲洗液维护要求

冲洗液性能维护及调整要求如下：

- 配制盐水冲洗液时，宜先将钠膨润土预水化，再加入处理剂，最后加盐至所需浓度；
- 钻进岩盐、盐膏及芒硝等地层，宜选用由氯化钠配制的饱和盐水冲洗液；
- 钻进含光卤石的盐岩地层，宜选用由氯化镁配制的饱和氯化镁冲洗液；
- 钻进含光卤石、溢晶石的盐岩地层，宜选用由氯化镁和氯化钙配制的二氯盐冲洗液；
- 钻进埋藏较深的厚盐岩地层，有缩径现象时应及时提高冲洗液密度；
- 出现盐重结晶现象时，可在保证岩心采取率的条件下采用欠饱和盐水冲洗液或向冲洗液中添加重结晶抑制剂。

### 7.3.4 现场作业工艺要求

溶蚀性地层进行冲洗液护壁时，应执行以下作业工艺要求：

- 钻进较厚盐岩地层时，控制钻进速度，坚持勤扫孔和短起钻；
- 施工结束后，及时清洗钻具。

## 7.4 高压地层冲洗液防涌与防喷

### 7.4.1 冲洗液密度值确定

通过测定水头高度或孔口压力值计算压涌所需的冲洗液密度。若测定水头高度，压涌所需的冲洗液密度按公式（2）计算；若测定孔口压力，压涌所需的冲洗液密度按公式（3）计算。

$$\rho_1 = \rho_0 + \frac{\Delta H}{H} \rho_w + E_f \dots \dots \dots (2)$$

$$\rho_1 = \rho_0 + \frac{100P}{H} + E_f \dots \dots \dots (3)$$

式中：

- $\rho_1$ —压涌所需冲洗液密度，g/cm<sup>3</sup>；
- $\rho_0$ —冲洗液原密度，g/cm<sup>3</sup>；
- $\Delta H$ —水头高度，m；
- $H$ —涌水层的深度，m；
- $\rho_w$ —地层流体密度，g/cm<sup>3</sup>（地层流体为淡水时， $\rho_w = 1$ ）；
- $P$ —孔口压力，MPa；
- $E_f$ —安全附加值，0.05 g/cm<sup>3</sup>~0.10 g/cm<sup>3</sup>。

#### 7.4.2 加重材料用量计算

加重冲洗液所需的加重材料的质量及加重后冲洗液体积，可按公式（4）和公式（5）分别计算。

$$W = \frac{V_1 \rho_B (\rho_2 - \rho_1)}{\rho_B - \rho_2} \times 1000 \dots \dots \dots (4)$$

$$V_2 = V_1 \frac{\rho_B - \rho_1}{\rho_B - \rho_2} \dots \dots \dots (5)$$

式中：

- $W$ —加重材料质量，kg；
- $V_1$ —加重前冲洗液体积，m<sup>3</sup>；
- $V_2$ —加重后冲洗液体积，m<sup>3</sup>；
- $\rho_1$ —加重前冲洗液密度，g/cm<sup>3</sup>；
- $\rho_2$ —加重后冲洗液密度，g/cm<sup>3</sup>；
- $\rho_B$ —加重材料密度，g/cm<sup>3</sup>。

#### 7.4.3 冲洗液维护要求

冲洗液性能维护及调整要求如下：

- a) 加重前先调整冲洗液的流变性能，确保冲洗液具有稳定的悬浮能力；
- b) 将原冲洗液一次提高至需要的冲洗液密度；地层压力较大时，起初注入孔内的冲洗液密度可适当高于需要的冲洗液密度；
- c) 根据需要向冲洗液中添加随钻封堵剂等材料。

#### 7.4.4 现场作业工艺要求

高压地层进行防涌与防喷作业，应执行以下作业工艺要求：

- a) 发现水涌时，停止钻进，立即配制重浆（加入相应堵漏材料）并循环入孔；
- b) 若无法上提钻具，保持冲洗液循环和钻具旋转；
- c) 压涌平衡后，提钻时连续灌浆。

#### 7.5 高地应力或蠕变地层冲洗液护壁

### 7.5.1 冲洗液密度确定

钻进时应保持孔内液柱的压力大于(或等于)地层的坍塌压力,或平衡地层塑性变形的径向应力。若达到平衡时冲洗液密度为 $\rho_0$ ,在此基础上宜增加 $0.03\text{ g/cm}^3\sim 0.05\text{ g/cm}^3$ 推荐附加值,可作为确定使用的冲洗液密度 $\rho_1$ (见公式6):

$$\rho_1 = \rho_0 + (0.03\sim 0.05) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\rho_1$ —冲洗液密度,  $\text{g/cm}^3$ ;

$\rho_0$ —平衡地应力时的冲洗液密度,  $\text{g/cm}^3$ 。

### 7.5.2 加重材料加量计算

所需要的加重材料质量及加重后冲洗液体积按公式(4)和(5)计算。

### 7.5.3 冲洗液维护要求

冲洗液性能维护及调整要求如下:

- a) 加重前,尽可能清除冲洗液中的无用固相;
- b) 调整冲洗液的流变性能,确保冲洗液具有稳定的悬浮能力;
- c) 地应力较高的脆性地层,宜在冲洗液中添加随钻封堵材料;黏土层、泥岩等塑性蠕变地层,应提高冲洗液的抑制性能,且API滤失量 $\leq 5\text{ mL}/30\text{ min}$ ;
- d) 加重冲洗液时,每循环一周,密度提高 $0.02\text{ g/cm}^3\sim 0.05\text{ g/cm}^3$ ;
- e) 加重过程中若发生漏失,应立即停止加重,静止观察;必要时向冲洗液中加入封堵材料,满足加重要求;
- f) 根据绳索取心钻进工艺要求,必要时可选用可溶性盐或配合重晶石加重。

### 7.5.4 现场作业工艺要求

高地应力或蠕变地层进行冲洗液护壁时,应执行以下作业工艺要求:

- a) 提钻时,降低提钻速度;
- b) 控制钻进速度和回次进尺,回次间勤扫孔。

## 8 惰性材料堵漏

### 8.1 随钻循环堵漏

#### 8.1.1 适用条件

适用于孔隙型、微裂隙等轻微漏失的地层,及承压能力较低的地层。

#### 8.1.2 材料及配制

##### 8.1.2.1 随钻循环堵漏使用的惰性材料应满足以下基本技术要求:

- a) 有效增强孔隙型和微裂隙地层的承压能力;
- b) 在孔壁形成良好的屏蔽层(泥皮屏蔽及堵漏材料屏蔽);
- c) 对冲洗液性能影响较小;
- d) 颗粒尺寸适宜,不影响冲洗液循环和绳索取心钻进内管总成打捞。

##### 8.1.2.2 随钻循环惰性堵漏材料选择参见表8。



表8 常用惰性堵漏材料

外观分类	主要材料	作用
颗粒状	核桃壳、石灰石、硅藻土、橡胶粒、沥青等	架桥
纤维状	锯末、棉纤维、皮革粉、亚麻纤维、棉籽壳、甘蔗渣、石棉粉、纸纤维、稻草及秸秆等	架桥、填塞
片状	云母片、稻谷壳、蛭石、花生壳、玻璃纸、鱼鳞片等	填塞

8.1.2.3 根据漏失地层岩性、钻速、岩心及漏失程度，判断漏失通道特征，合理选择堵漏材料颗粒大小、级配、形状等。架桥颗粒尺寸一般为  $0.65 D_{\text{裂缝}} < D_{\text{堵漏材料}} < D_{\text{裂缝}}$ 。

8.1.2.4 根据地层、漏失情况适当调整堵漏材料的加量，随钻循环堵漏材料推荐加量见表9。各类型堵漏材料可单独使用，亦可复合使用。

表9 随钻循环堵漏材料推荐加量

单位为千克每立方米

颗粒状材料		纤维状材料			片状材料	总加量
16目~20目	>20目	7目~12目	12目~40目	>40目	≥16目	
2~6	5~12	2~4	3~6	10~20	1~4	20~60

8.1.2.5 可根据地层漏失情况在现场将不同形状、粒径的堵漏材料进行合理互配，亦可使用生产厂家互配好的成品堵漏材料进行随钻循环堵漏。

8.1.2.6 随钻循环堵漏时，也可在冲洗液中适量添加非惰性的化学凝胶等堵漏材料。

### 8.1.3 操作步骤

随钻循环堵漏的主要操作步骤如下：

- a) 确定漏失层位置和漏失程度；
- b) 配制加入  $20 \text{ kg/m}^3 \sim 60 \text{ kg/m}^3$  堵漏材料（以中、细尺寸为主）的随钻循环堵漏浆液；
- c) 将配制好的随钻循环堵漏浆液泵入钻孔，减小泵量，机械钻速降为正常钻进的40%~60%；
- d) 当堵漏浆液返出孔口时，应停止使用离心机等固控设备，保持2~3个循环周期；
- e) 返浆正常时停止堵漏，恢复正常钻进。

### 8.1.4 工艺措施

随钻循环堵漏作业时，应执行以下工艺措施：

- a) 钻遇孔隙型和微裂隙漏失层前，通过增加钠膨润土含量或加入增黏剂提高冲洗液的黏度、静切力和动切力；
- b) 随钻循环堵漏钻进时，采用大水口钻头，防止憋压；
- c) 钻遇高压地层前，优先采用随钻循环堵漏对上部易漏失地层进行封堵，提高其承压能力；
- d) 若随钻循环堵漏无效，应停止钻进，调低泵量；循环1~2个周期后，若漏失量仍不减小，换用其他堵漏方法。

## 8.2 停钻加压堵漏

### 8.2.1 适用条件

适用于裂缝型、大裂隙型等漏失地层，以及发生中等漏失、严重漏失、失返性漏失后随钻循环堵漏无效时。

### 8.2.2 材料及配制

8.2.2.1 应根据漏失地层特点合理选择停钻加压堵漏材料，其类型的选择可参考表 8。

8.2.2.2 停钻加压堵漏材料加量应根据漏速、漏层压力和漏失地层类型等因素确定，一般为  $30 \text{ kg/m}^3 \sim 200 \text{ kg/m}^3$ 。堵漏材料的总加量及中粗颗粒、长纤维类材料的加量应随漏速的增大而增加；冲洗液密度高，应适当降低堵漏材料的加量；冲洗液密度低，应适当提高堵漏材料的加量。

8.2.2.3 停钻加压堵漏材料中的颗粒状、片状和纤维状材料之比宜为 5:2:1，推荐加量见表 10。其中，片状和纤维状材料在堵漏浆液中加量不宜超过  $50 \text{ kg/m}^3$ ，其他材料加量宜控制在  $100 \text{ kg/m}^3$  以内。

表10 停钻加压堵漏材料加量

单位为千克每立方米

漏失级别	颗粒状材料			纤维状材料				片状材料	总加量
	>20 目	10 目~ 20 目	4 目~ 10 目	4 目~ 7 目	7 目~ 12 目	12 目~ 40 目	>40 目	≥4 目	
轻微-中等漏失	5~11	6~10	3~7		3~6	5~8	4~6	4~12	30~60
中等-严重漏失	13~20	15~26	12~26	3~6	9~15	10~17	8~15	10~15	80~140
失返性漏失	23~33	30~38	26~35	6~9	10~20	12~19	12~23	17~25	150~200

8.2.2.4 堵漏浆液的基浆中应含有  $50 \text{ kg/m}^3 \sim 80 \text{ kg/m}^3$  钠膨润土，漏斗黏度（苏氏）宜控制在  $30 \text{ s} \sim 50 \text{ s}$ ，切力应适当。基浆可采用现有冲洗液或新浆。

8.2.2.5 惰性材料的添加顺序宜为纤维状—颗粒状—片状，惰性材料在基浆中应分布均匀、可泵性好。

8.2.2.6 堵漏浆液的配制量应根据地层情况、漏失程度、钻孔直径、漏失段长度等确定，一般为漏失层段钻孔体积的 3 倍~5 倍。

8.2.2.7 配制的堵漏浆液密度应略高于孔内冲洗液密度。

### 8.2.3 操作步骤

停钻加压堵漏的操作步骤如下：

- 下钻至漏失层顶部  $10 \text{ m} \sim 30 \text{ m}$  位置，立即泵入已配制好的堵漏浆液；
- 泵入堵漏浆液至漏失层段后，上提钻具至堵漏浆液面以上，开泵循环，观察漏失情况。若有漏失，停止循环，静止观察 8 h 左右；若无漏失，再开泵循环，待冲洗液返出孔口时，进行憋压作业；
- 憋压作业时，应关闭孔口，采用小泵量注入冲洗液，待泵压稳定后，立即停止注入，观察  $15 \text{ min} \sim 30 \text{ min}$ ，再次按照同样方法注入浆液直至达到正常钻进所需压力值；若无孔口密封装置，可采用间隙性循环加压，先挤注堵漏浆液量的  $1/2$ ，静止  $30 \text{ min} \sim 60 \text{ min}$  后，再以小泵量多次挤注。

### 8.2.4 工艺措施

停钻加压堵漏作业时，应执行以下工艺措施：

- d) 停钻加压堵漏一般采用孔口加压法；孔口无法密封时，可采用循环加压或静止加压法；
- e) 堵漏作业时，应摘除泥浆泵莲蓬头的滤网和停用固控设备；
- f) 堵漏作业时，应不断活动孔内钻具，防止卡钻；
- g) 同一裸眼孔段存在多个压力系统时，在进入高压地层提高冲洗液密度前，应找准漏失层位，对上部地层进行先期堵漏，待承压能力达到预期值时，再钻开高压地层。

## 9 化学浆液堵漏

### 9.1 复合凝胶堵漏

#### 9.1.1 适用条件

适用于松散、破碎、固结程度差、裂缝发育、孔洞发育的地层或失返性漏失地层。

#### 9.1.2 材料及配制

9.1.2.1 复合凝胶堵漏材料组分及参考加量见表 11。

表11 复合凝胶堵漏材料组分及参考加量

单位为千克

材料名称	参考加量 (每 1m <sup>3</sup> 水加量)	作用
钠膨润土	30~50	提高黏度、降低滤失量
悬浮剂，如凹凸棒土、钙膨润土等	80~100	提高黏度、增强悬浮稳定性
成胶剂	80~120	形成高分子聚合物交联凝胶
堵漏剂，如铝镁酸盐	80~100	提高封堵性能，提高胶结性
增强剂，如聚丙烯酸乳液	50~100	提高体系黏度，增强胶结强度
交联剂，如醋酸铝、有机硼酸盐等	10~20	与成胶剂交联形成凝胶体，促使堵漏浆液胶结
加重剂，如重晶石	按需加入	调节堵漏浆液密度

9.1.2.2 复合凝胶堵漏浆液性能应符合表 12。

表12 复合凝胶堵漏浆液性能

原料混合后状态	黏度（室温） mPa·s	初凝时间 h	终凝时间 h	试块强度 (50 mm×50 mm×50 mm 试块) MPa
灰白色稠状流体	13~37	1.5~2.5	3~10	≥2.0

9.1.2.3 复合凝胶堵漏浆液用量一般为漏失层孔段钻孔容积的 3 倍~4 倍。

#### 9.1.3 浆液配制与灌注

9.1.3.1 复合凝胶配制步骤如下。

- a) 当地面循环系统配制齐备时：
  - 1) 清罐，采用混合漏斗将钠膨润土和悬浮剂加入清水中，水化 4 h；

- 2) 依次加入成胶剂、堵漏剂、交联剂;
  - 3) 加入加重剂调节堵漏浆液密度;
  - 4) 充分搅拌均匀后等待注入。
- b) 当地面循环系统受限时:  
在带搅拌的配制罐中,按照 9.1.3.1 a) 的要求,边搅拌边依次加入相关材料进行配制。

#### 9.1.3.2 复合凝胶灌注及施工步骤如下:

- a) 光钻杆下至漏失层位置上部 2 m~10 m 处,依次泵入适量的钠膨润土浆和复合凝胶堵漏浆液;
- b) 将钻杆中的复合堵漏浆液和混浆段顶替到一定位置,以复合堵漏浆液在钻杆内与环空齐平为准;
- c) 将钻具提升至堵漏浆液面上方,替浆 2 m<sup>3</sup>~5 m<sup>3</sup>,清洗钻杆并循环加压;
- d) 候凝 10 h~16 h,若漏层温度低,适当延长候凝时间;期间提下钻、换钻头。候凝时间满足后下钻分段循环,一般每 100 m~200 m 循环一次;
- e) 进行扫塞作业。

#### 9.1.4 工艺措施

复合凝胶配制与灌注,应执行以下工艺措施:

- a) 施工前对现场用水及材料的有效性进行检测;
- b) 交联剂添加后堵漏浆液易产生气泡,应控制搅拌速度;
- c) 灌注中,控制提钻、下钻速度;
- d) 循环等施工操作以多次、逐次递增的方式进行;
- e) 扫塞过程中,冲洗液中根据需要可适当添加随钻循环堵漏材料。

### 9.2 水泥-凝胶浆液堵漏

#### 9.2.1 适用条件

适用于破碎、松散的不稳定地层。

#### 9.2.2 材料及配制

水泥-凝胶浆液材料及配制方法见表13。

表13 水泥-凝胶浆液材料及配制方法

单位为千克

浆液	参考加量 (每 1m <sup>3</sup> 水加量)		配制方法
有机凝胶浆液	钠膨润土	75	搅拌混合均匀
	有机凝胶 (GNJ-2)	100	
隔离液	钠膨润土	50	搅拌混合均匀
	成膜堵漏剂 (GCDL)	100	
水泥堵漏浆	水泥	1600~2000	搅拌混合均匀
	速凝剂	10~30	
	缓凝剂	10~30	
顶替浆	钠膨润土	50	搅拌混合均匀

#### 9.2.3 操作步骤

水泥-凝胶浆液灌注法操作步骤如下：

- a) 将光钻杆下至漏失层位上部 30 m~50 m 处；
- b) 依次泵入有机凝胶浆液、隔离液、水泥浆及顶替浆；
- c) 上提钻具至堵漏浆液面以上 50 m，大泵量循环加压。

#### 9.2.4 工艺措施

水泥-凝胶浆液灌注时，应执行以下工艺措施：

- a) 灌注前应准确判定钻孔发生漏失的层位，确定灌注孔段；
- b) 根据灌注孔段长度和孔径，估算浆液用量，确保浆液满足堵漏要求；
- c) 灌注中，控制提钻、下钻速度；
- d) 循环等施工操作以多次、逐次递增的方式进行；
- e) 灌注过程中防止憋泵、跑钻等故障或事故发生。

### 9.3 水泥-水玻璃浆液堵漏

#### 9.3.1 适用条件

适用于地层松散无胶结或胶结程度较差，易被冲蚀的卵石、砾石等碎石类地层。

#### 9.3.2 材料

水泥-水玻璃浆液材料及配制方法见表14。

表14 水泥-水玻璃浆液材料及配制方法

单位为千克

组分	参考加量 (每 1m <sup>3</sup> 水加量)	作用
P·042.5 水泥	750~1000	化学固结材料
水玻璃 (浓度 35%)	15~20	促进堵漏浆液固结、增强早期强度
硅氟酸钠 (加入水玻璃溶液中)	按需 1.8~3	加快凝结速度

#### 9.3.3 浆液配制与灌注

##### 9.3.3.1 水泥-水玻璃浆液配制方法如下：

- a) 根据漏失情况，测算需要充填的双液浆量，再计算所需的水、水泥、水玻璃质量；
- b) 将水和水泥按比例倒入水泥浆池内，搅拌均匀后，注入到储浆池内；
- c) 按比例将所需的水玻璃倒入水玻璃池内，到入储浆池内混合，双液浆即配制完毕。

##### 9.3.3.2 水泥-水玻璃浆液灌注法操作步骤如下：

- a) 提出孔内钻柱，卸掉钻具与钻头，将光钻杆下放到漏失层孔段顶部 30 m~50 m；
- b) 将配制好的水泥-水玻璃浆液，通过光钻杆注入到漏失层孔段；
- c) 通过光钻杆注入清水，顶替完钻杆内的水泥-水玻璃浆液；清水量以能置换出钻杆内的水泥-水玻璃浆液为宜；
- d) 上提钻杆至安全位置，候凝水泥-水玻璃浆液 6 h~8 h，同时配制冲洗液；
- e) 启动泥浆泵循环，置换出孔内浆液；

f) 扫孔至孔底后，进行正常钻进。

### 9.3.4 工艺措施

水泥-水玻璃浆液配制与灌注时，应执行以下工艺措施：

- a) 配制水泥-水玻璃浆液时应严格按比例添加原料；水泥浆液搅拌不均匀，不应放入储浆池内；
- b) 钻杆连接处应密封良好，不漏浆。注浆时，初压控制在 0.5 MPa~1.0 MPa，终压一般为 2 MPa~6 MPa；
- c) 水泥-水玻璃浆液注入量视地层及冲洗液漏失量而定，每次注入量一般为 3 m<sup>3</sup> ~6 m<sup>3</sup>；
- d) 在注浆后的钻进过程中，应随时观察冲洗液消耗情况。冲洗液消耗过大，可再次注浆，直至冲洗液消耗正常。

## 10 水泥浆液护壁堵漏

### 10.1 适用条件

适用于松散破碎地层以及裂缝、大裂隙、溶洞型等中等漏失以上的漏失层。

### 10.2 材料及配制

#### 10.2.1 水泥浆性能要求如下：

- a) 流动性良好，一般要求 0.5 h~1 h 内的流动度为 15 cm~17 cm。孔深长、灌注量大、温度高时，流动度指标应提高 10 %~30 %；
- b) 初凝时间适当、可调，初凝与终凝时间间隔较短；
- c) 水泥浆固结强度增长较快，早期强度高；
- d) 凝固后的水泥浆，应具有低失水、低析水、适当的渗透性以及抗腐蚀性。

10.2.2 应根据护壁堵漏要求、地层条件和水质等因素确定水泥类型。护壁堵漏水泥宜采用普通硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥或油井水泥等，其技术指标应分别符合 GB 175 和 GB/T 10238 的规定。

10.2.3 护壁堵漏一般使用纯水泥浆液；在高温、低温地层进行护壁堵漏作业时，应分别使用抗高温水泥浆和抗冻水泥浆。

10.2.4 应针对水泥的品种和性能选用外加剂。普通硅酸盐水泥宜添加高效减水剂和早强剂等；硫铝酸盐水泥宜添加减水剂。

10.2.5 当水泥浆液早期强度低时，可加入早强剂。早强剂可选用氯化钠、氯化钙、硫酸钙、硫酸钠、亚硝酸钠、硝酸钙、碳酸钠、三乙醇胺、三异丙醇胺、三乙醇胺+氯化钠、二乙丙醇胺+氯化钠、三乙醇胺+二水石膏+亚硝酸钠等。常用早强剂参考加量见表 15。

表15 常用早强剂及加量

类型		参考加量 (占水泥重量比) %	作用
无机早强剂	氯化钙 (CaCl <sub>2</sub> )	1~2	提高早期强度，有促凝、防冻效果
	氯化钠 (NaCl)	1~2	单独使用会降低后期强度
	硫酸钠 (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0.5~2	多复合使用，效果明显

表15常用早强剂及加量（续）

类型		参考加量 (占水泥重量比) %	作用
有机早强剂	三乙醇胺 (TEA)	0.03~0.05	与无机早强剂复合使用效果更明显
复合早强剂	三乙醇胺+氯化钠	(0.03~0.05)+0.5	提高早期强度
	三乙醇胺+硫酸钠	0.5+(1~1.5)	在低温下效果更明显

10.2.6 快速堵漏时，可添加水玻璃、铝酸钠型粉剂等速凝剂，常用速凝剂及加量见表 16。

表16 常用速凝剂及加量

类型		参考加量 (占水泥重量比) %
铝酸钠粉剂速凝剂	711 型	2~4
	782 型	6~8
	73 型	4~7
硅酸钠型速凝剂	水玻璃	4~10

10.2.7 水泥浆液灌注量大，时间长，可使用水泥减水剂。常用高效减水剂及加量见表 17。

表17 常用高效减水剂及加量

类型		减水率 %	流动度	参考加量 (占水泥重量比) %
树脂类	SM	20~35	显著增大	0.2~0.5
	CRS	20~35	显著增大	0.2~0.7
磺化煤焦油系	FDN	16~25	增大	0.2~1.0
	NNO	15~20	增大	0.5~1.0
	SN-II	14~25	增大	0.5~1.0
	JN	10~20	增大	0.3~1.0

10.2.8 水泥浆液配制过程中的相关参数确定方法如下。

a) 水灰比 (m) 确定：

水灰比应根据灌注孔段深度、气温、水温及灌注所需的时间、目的和要求等确定。普通硅酸盐水泥的水灰比宜为 0.40~0.50；硫铝酸盐水泥的水灰比宜为 0.50~0.60。

b) 灌注孔段所需水泥浆用量 (V) 按公式 (7) 计算：

$$V = \frac{K\pi D^2}{4} \cdot H \times 10^{-6} = 7.85 \times 10^{-7} KD^2 H \dots\dots\dots (7)$$

式中：

V—灌注孔段所需水泥浆用量，m<sup>3</sup>；

D—灌注孔段直径，mm；

H—灌注孔段长度，m；

K—附加系数（包括超径、漏失、地面损耗等因素），一般 K=1.8~2.5。

c) 配制 1 m<sup>3</sup> 水泥净浆所需的干水泥质量 (q) 按公式 (8) 计算：

$$q = 1000 \times \frac{\rho_{水泥} \times \rho_{水}}{\rho_{水} + m \rho_{水泥}} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$q$ —配制 1 m<sup>3</sup> 水泥净浆所需的干水泥质量, kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_{水泥}$ —水泥密度, g/cm<sup>3</sup>;

$\rho_{水}$ —水密度, g/cm<sup>3</sup>;

$m$ —水灰比。

d) 灌注孔段所需水泥用量 ( $Q_{水泥}$ ) 按公式 (9) 计算:

$$Q_{水泥} = q \times V \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$Q_{水泥}$ —配制体积为  $V$  的水泥浆所需水泥质量, kg;

$q$ —配制 1 m<sup>3</sup> 水泥浆所需的干水泥质量, kg/m<sup>3</sup>;

$V$ —灌注孔段所需水泥浆用量, m<sup>3</sup>。

e) 灌注孔段所需用水量 ( $Q_{水}$ ) 按公式 (10) 计算:

$$Q_{水} = Q_{水泥} \times m \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$Q_{水}$ —配制体积为  $V$  的水泥浆所需水质量, kg;

$m$ —水灰比。

f) 外加剂用量确定:

外加剂用量以水泥质量的百分数 (X%) 表示, 可参考表 15、表 16 和表 17 推荐数据或根据产品说明, 通过试验确定。

### 10.2.9 现场开展水泥浆液护壁堵漏前, 应有选择地进行下列室内试验:

- a) 浆液的密度、流动度和可泵期;
- b) 浆液的初凝和终凝时间;
- c) 浆液的析水率和结石率;
- d) 水泥石的抗压强度。

10.2.10 水泥浆应搅拌均匀。浆液温度宜保持在 5 °C~40 °C。寒冷季节施工时, 应做好搅拌设备和管路的防寒保暖工作。

## 10.3 水泥浆液灌注

### 10.3.1 泥浆泵灌注法

泥浆泵灌注法的操作步骤如下:

- a) 根据公式 (11) 准确计算替浆水量, 并用单独的水罐存贮备用;



- b) 灌注前冲洗钻孔；
- c) 灌注时，钻杆下放至距孔底 0.3 m~0.5 m 左右时，泵入清水检查钻杆内部是否畅通；
- d) 将泥浆泵莲蓬头放入水泥浆容器内，泵入配好的水泥浆；
- e) 泵吸水泥浆完成后，立即将莲蓬头放入准备好的替浆水罐中，开泵替浆；替浆时可适当慢转钻具，确保孔底返流均匀；
- f) 替浆完成后，将钻杆提出孔口，候凝；
- g) 浆液终凝后进行扫孔。

### 10.3.2 孔口灌注法

钻孔较浅，裂隙宽且孔内水位较低时可采用孔口灌注法，其操作步骤如下：将钻杆下到灌注的孔段下 0.3 m~0.5 m 左右，用垫叉叉住钻杆，水泥浆通过钻杆上端的漏斗倒入，每灌注 1 m<sup>3</sup> 水泥浆，将钻杆上提一段距离，再继续灌注，灌注完后用清水清洗钻杆。

### 10.3.3 灌注器灌注法

水灰比较小（0.33~0.35）、浓度较大的水泥浆，或封闭孔段较短，或钻进中遇到多层间断漏失层时，可采用灌注器灌注法。操作步骤如下：

- a) 通过钻杆将装有浆液的灌注器下至漏失层位；
- b) 开泵送水，利用水压将灌注器排浆阀打开，水泥浆流入孔内需要灌注的部位；
- c) 提出灌注器，并用清水冲洗。

### 10.3.4 替浆水量的确定方法

应根据灌注量、灌注高度、钻杆容积、孔深及孔内水位等确定替浆水量，一般按公式（11）计算：

$$Q_{压} = K(L - l)q + Q_{地} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$Q_{压}$ —替水泥浆所需压水量，m<sup>3</sup>；

$L$ —钻杆长度，m；

$l$ —孔内静水位离孔口高度，m；

$q$ —每米钻杆内容积，m<sup>3</sup>/m；

$Q_{地}$ —地面管线及水泵容积，m<sup>3</sup>；

$K$ —压水系数，浅孔取 0.9，深孔取 0.95。

## 10.4 工艺措施

10.4.1 不应带钻头或粗径钻具进行灌注水泥浆作业。

10.4.2 应连续注浆，防止浆液断开或被水稀释。

10.4.3 泵送水泥浆液过程中，不应上提钻杆。

10.4.4 当孔内无水或水位很低时，替浆水量达到机上钻杆后，即停泵，拆开机上钻杆，靠钻杆内外液柱压力差，使水泥浆继续沿钻杆内下降，并从钻具底部返出钻杆外，直至钻杆内外压力平衡。

10.4.5 当水位很高或涌水时，替浆水量应接近于钻具内容积加上地面管线容积乘以压水系数，以保证水不压出钻具底部，这时钻杆外的水泥浆高度比钻具的水泥浆高度会大一些。

10.4.6 提钻速度应缓慢，防止抽吸作用，并及时在孔口回灌清水。

## 11 套管护壁堵漏

### 11.1 常规套管护壁堵漏

#### 11.1.1 适用条件

钻探施工中遇到下述情况时，可采用套管护壁或堵漏：

- a) 大裂隙、溶洞、暗河或采空区；
- b) 松散破碎地层，冲洗液不能有效维持孔壁稳定；
- c) 水敏性或蠕变地层，冲洗液不能有效抑制地层膨胀与蠕动；
- d) 高应力地层，冲洗液不能有效平衡地层应力。

#### 11.1.2 套管类型选择

钻探施工中，应根据地层情况、套管下入深度、地层压力等选择套管类型：

- a) 当地层蠕变量较小、套管下入深度较浅或地层压力不大时，宜选用 X 系列套管；
- b) 当地层蠕变量较大、套管下入深度较深或地层压力较大时，宜选用 W 系列套管。

#### 11.1.3 套管直径选择

套管与岩心管、钻头间应留有足够的环状间隙。套管与钻头、岩心管的级配，可按 GB/T 16950 选择。

#### 11.1.4 下套管施工时，应执行以下要求：

- a) 套管应坐定在完整的基岩上；
- b) 套管连接丝扣处应涂抹丝扣油；
- c) 质量不符合要求的套管不得下入孔内；
- d) 若下入套管深度超过 100 m，应先采用由 3 根~4 根套管连接成的套管串下孔探测钻孔通畅，确定钻孔通畅后，进行下套管作业；
- e) 孔底无残留岩心和沉渣；
- f) 套管的上端口应略高于地面，套管中心应与钻机回转器（立轴）中心对正并加以固定，管口周围封填夯实。如表层松散破碎，应对孔口管管口进行固结处理；
- g) 孔口管或表层套管应埋设牢固，避免钻进中出现套管内外冲洗液窜动、套管上下窜动及下溜现象的发生；
- h) 如需回收套管，应在套管外壁涂抹润滑脂，并缠绕包裹一层塑料薄膜；
- i) 孔口夹持套管时，夹板位置与套管管口的距离不应小于 20 cm；
- j) 连接套管，应用套管自由钳或链钳拧卸，不可用管钳拧卸。

#### 11.1.5 下套管时，施工步骤及技术要求如下。

- a) 准备工作：
  - 1) 下入扫孔钻具，扫除孔内残留岩心、修整孔壁，并进行充分循环，清除孔内岩屑与岩粉，确保孔底干净；
  - 2) 备足套管、套管接箍、专用工具及丝扣油（套管螺纹密封脂）；
  - 3) 查看停钻时最后 2 个回次的岩心，确认孔底地层完整；
  - 4) 检查准备下入孔内的套管及其接箍的质量是否符合要求；

- 5) 准确测量每根套管的长度，逐一编号、排队，并作好记录；
  - 6) 检查套管夹板和拧卸工具是否齐全，润滑油、丝扣油或密封胶等是否能满足需求。
- b) 下套管作业：
- 1) 套管柱的连接：对扣前，螺纹应清洗干净，表面均匀涂抹密封脂；对扣时套管应扶正，开始旋合转动应慢，如发现错扣应卸开处理；
  - 2) 套管柱下放：按照编号顺序逐一下入套管，并作好记录。套管柱上提下放应平稳，套管柱下放速度应主要以环空返速、地层承压等参数来确定；下套管过程中，应缩短静止时间，如套管静止时间超过 5 min，应活动套管，套管活动距离应不小于套管柱伸缩量的 2 倍。下入套管重量较大时，应封闭套管底部，采用向套管内注入冲洗液的方式下放套管；
  - 3) 套管坐定：全部套管下入后，将套管柱吊正并对中坐定于孔底，用黏土或水泥对套管底部进行封固。

## 11.2 跟管护壁堵漏

### 11.2.1 适用条件

钻遇下列地层，钻进深度较浅，且冲洗液护壁堵漏无效时，可采用跟管护壁堵漏：

- a) 松散破碎地层；
- b) 低压漏失地层；
- c) 蠕变或水敏性地层。

### 11.2.2 跟管钻具规格选择

采用跟管钻进方法进行随钻护壁堵漏时，可根据钻孔直径大小，按表18选择钻具规格。

表18 跟管钻具规格

单位为毫米

规格	N	H	P	S
		76	96	122
钻孔直径	76	96	122	150
套管外径	73	91	114	140 (146)
主钻头外径	60	76	96	122
副钻头外径	76	96	122	150

11.2.3 采用跟管护壁堵漏时，操作步骤及技术要求如下。

- a) 准备工作：
  - 1) 按照设计，准备好足够的套管、套管接箍、专用工具及涂抹套管油（黄油或废机油）；
  - 2) 查看钻孔所在区位地层资料，确保套管最终能够坐在完整硬岩上；
  - 3) 检查下入孔内的跟管钻进器具、套管接箍及螺纹质量，管材及螺纹配合应符合标准要求；
  - 4) 准确测量入孔钻具、套管的长度，逐一编号、排队，并记录在班报表上；
  - 5) 检查套管所用的吊装工具是否齐全，润滑油、丝扣油或密封胶等是否能满足需求；
  - 6) 确保孔内有足够的冲洗液能充满套管与孔壁之间的间隙。
- b) 跟管钻进：
  - 1) 将套管连接至钻具上，送入孔内；
  - 2) 下放钻具至预定孔深上 0.7 m~1.0 m 处，开泵、缓慢增加钻压和转速至预定值；

- 3) 打完单根、提取岩心后连接套管继续钻进；
- 4) 重复步骤3)，至套管钻达预定深度。

### 11.2.3 工艺措施

- 11.2.3.1 施工过程中，吊运接头应拧紧，防止上部接头回扣，发生跑钻。
- 11.2.3.2 下小径套管时，套管内径应大于主动钻杆外径。
- 11.2.3.3 下管中途遇阻，先将套管与主动钻杆连接，开泵循环冲洗液，同时缓慢转动钻具。若无效，则应将钻具提出后，再进行修孔，重新下入。

### 11.3 膨胀套管护壁堵漏

#### 11.3.1 适用条件

钻遇需采取套管隔离的松散破碎、漏失的地层，且不可改变钻孔口径时，可采用膨胀套管护壁堵漏。

#### 11.3.2 膨胀套管与钻孔直径级配

膨胀套管与钻孔级配选用见表19。

表19 膨胀套管与钻孔级配选用

单位为毫米

钻孔直径		150	122	96	76
可下入的膨胀套管	外径	168	140 (146)	114	91
	内径	154	126	99	80
套管内可下入的钻头	外径	150	122	96	76
套管内可下入的岩心管	外径	140 (146)	114	91	73

#### 11.3.3 膨胀套管配套钻具

实施膨胀套管护壁堵漏，应具备和使用专用的配套钻具，见表20。

表20 膨胀套管施工配套器具

名称	说明
扩孔钻头	所选扩孔钻具需满足钻孔裸眼要求，到位后开启扩孔模式，将原孔段扩径至所下套管规格
下入器具	用于连接膨胀套管及钻杆
增压器具	现场泥浆泵无法满足膨胀套管所需膨胀压力时，通过增压工具增压至所需压力
机械膨胀器具	需满足裸眼通过，回转时最大外径大于裸眼直径 4 mm~8 mm
焊接器具	用于多根膨胀套管对接作业

11.3.4 采用膨胀套管护壁堵漏时，工艺过程与操作步骤如下。

- a) 施工准备：
  - 1) 搜集施工钻孔孔壁稳定、钻孔轨迹、清洁程度等孔内情况；
  - 2) 分析搜集的资料，制定施工技术方案；

- 3) 调节冲洗液性能, 确保施工期间施工孔段孔壁稳定;
  - 4) 对扩孔钻具、送入工具、膨胀工具进行检查, 确保其动作灵活、工作可靠。
- b) 扩孔作业:
- 1) 扩孔钻具下孔前应通孔、清孔, 确保孔内通畅、干净;
  - 2) 将扩孔钻具下放到钻台面以下合适位置, 开泵, 泵量由小到大逐渐增加到扩孔钻进所需泵量。稳定 3 min 后记录工具压降。停泵, 查看扩孔钻具是否能伸缩自如。上述操作重复进行三次, 确定扩孔钻具动作灵活后方可入孔;
  - 3) 所有入孔钻具与工具均应按要求扭矩进行紧扣;
  - 4) 缓慢将扩孔钻具送至预定扩孔孔段;
  - 5) 扩孔钻进初期, 应采取无钻压或小钻压、低转速进行钻进, 直至扩孔工具完全张开及扩孔台阶形成, 造台阶时间应根据地层岩性确定;
  - 6) 应依据扩孔工具类型和孔内实际情况, 合理确定钻压、转速、泵量、扭矩等;
  - 7) 施工完毕或扩孔刀翼完全磨损需要提钻时, 提钻前应充分循环冲洗液, 清洗钻孔。停泵后, 需继续回转钻柱 3 min~5 min, 待扩孔刀翼完全缩回后方可提钻。
- c) 膨胀套管施工:
- 1) 检测钻杆性能, 包括密封、破损等, 确保钻杆满足膨胀压力要求;
  - 2) 根据膨胀套管施工方案, 截取相应长度的膨胀套管;
  - 3) 入孔的膨胀套管应在地面取样检测, 对不合格套管进行更换;
  - 4) 根据技术要求对膨胀套管进行连接, 当采用水力膨胀时需对套管串上下端口进行封堵;
  - 5) 顺序组装膨胀套管、下入工具、变径接头及钻杆, 借助专用夹持工具, 吊运膨胀套管至钻孔内;
  - 6) 下钻应平稳, 下钻速度 $\leq 20$  m/min, 尤其是工具入卡瓦、入喇叭口、过封井器、过尾管悬挂器以及过套管窗口时应缓慢通过; 下钻遇阻不得硬压强下, 遇阻力超过 50 kN 时应提钻、通孔;
  - 7) 根据现场设备情况, 对孔内的膨胀套管进行膨胀作业; 对设备能力不能达到设计膨胀要求的, 采用专用增压器具进行膨胀作业;
  - 8) 膨胀套管膨胀至设计值, 借助专用器具将膨胀套管的上下封隔部分切割;
  - 9) 下入机械膨胀器具对膨胀套管进行归圆处理, 至机械膨胀器具顺利在膨胀套管内通过;
  - 10) 下入常规钻具, 进行正常钻进作业。

## 12 其他护壁堵漏方法

### 12.1 脲醛树脂水泥球护壁堵漏

#### 12.1.1 适用条件

适用于地下水活动剧烈的严重漏失地层、失返性漏失地层。

#### 12.1.2 材料及配制

脲醛树脂中加入早强水泥或普通水泥后与水混合制成。水泥起固化作用, 固化时间由促凝剂和缓凝剂调整; 加硫铝酸盐水泥配制脲醛树脂水泥球时, 用酒石酸作缓凝剂; 加普通硅酸盐水泥时, 用水玻璃作促凝剂。脲醛树脂水泥球的配方及强度可参考表21。

表21 脲醛树脂水泥球的配方及强度

配方						作业 时间 h	抗压强度 MPa			
水泥		脲醛 树脂 kg	酒 石 酸 kg	水 玻 璃 L	水 L		4h	8h	12h	24h
早强 水泥 kg	普通 水泥 kg									
100.00		23.00	0		20.00	0~ 1.00	4.50	9.70	13.90	22.70
100.00		23.00	0.01		20.00	0.50~ 1.50	0.70~ 4.00	5.50~ 11.00	10.00~17.00	16.00~24.00
100.00		23.00	0.03		20.00	1.50~ 2.50	0.20~ 4.00	5.00~ 10.00	9.00~16.00	15.00~20.00
	100.00	23.00		12.00	20.00	2.00~ 3.00	0.50~ 0.80	1.00~ 1.50	1.50~2.50	2.50~4.50
	100.00	23.00		14.00	20.00	1.50~ 2.50	0.60~ 1.40	1.20~ 2.50	1.80~4.50	3.00~8.50
	100.00	23.00		16.00	20.00	0.50~ 1.00	1.00~ 1.50	1.50~ 3.00	2.50~5.00	5.00~9.00

### 12.1.3 操作步骤

采用脲醛树脂水泥球护壁堵漏时，操作步骤如下：

- a) 将水泥球投至漏失层孔段；若漏失层孔段不在孔底，先制作人工孔底；
- b) 水泥球投至预定位置后，用接有鱼尾钻头或三翼钻头的粗径钻具将水泥刮到孔壁周围，并上下挤压将水泥挤至漏失部位，待水泥凝固后，形成稳定的封堵段。

### 12.1.4 工艺措施

- 12.1.4.1 根据漏失地层深度、下钻时间等因素选择水泥球配方。
- 12.1.4.2 水泥球直径一般不应超过钻孔直径的 1/3。
- 12.1.4.3 水泥球投入量以超过漏失层顶部 2.0 m 为宜。

## 12.2 黏土球护壁堵漏

### 12.2.1 适用条件

适用于严重漏失地层、失返性漏失地层。

### 12.2.2 材料及配制

在优质黏土中加入一定比例的充填物，如麻丝、锯末、聚丙烯纤维、钠羧甲基纤维素、水泥等，搓成球状，直径 20 mm~40 mm。使用前制好晾干，达到表面稍干，内部湿润柔软为宜。

### 12.2.3 操作步骤

黏土球堵漏操作步骤可参见 12.1.3。

### 12.2.4 工艺措施

12.2.4.1 黏土球直径一般不超过钻孔直径的 1/3。

12.2.4.2 黏土球投入量以超过漏失层顶部 2 m 为宜。

### 12.3 干粉护壁堵漏

#### 12.3.1 适用条件

适用于孔内水位低的严重漏失地层、失返性漏失地层。

#### 12.3.2 材料及配制

干粉护壁堵漏材料主要为水泥、石灰、石膏等。应在施工钻探现场做小样试验，以确定干粉护壁堵漏材料组成。

#### 12.3.3 操作步骤

采用干粉护壁堵漏时，操作步骤如下：

- a) 将干粉装在密封性良好的密封袋中，用岩心管送至漏失层孔段；
- b) 送入冲洗液将干粉袋压出岩心管，提出钻具，再向孔内下入鱼尾钻头或三翼钻头；
- c) 用鱼尾钻头或三翼钻头钻散密封袋，将干粉材料与水搅拌形成堵漏浆液；利用粗径钻具将堵漏材料挤压至漏失层孔段。

### 12.4 膨胀材料堵漏

#### 12.4.1 适用条件

钻遇以下地层时，可使用膨胀材料堵漏：

- a) 孔隙和裂缝发育的中等漏失、严重漏失或失返性漏失地层；
- b) 人为诱导型裂缝漏失层。

#### 12.4.2 材料及配制

膨胀堵漏材料一般采用高分子吸水膨胀树脂，主要为聚丙烯酸类、聚丙烯酰胺类、淀粉类和聚乙烯醇类等，宜选择 0.5 mm~3 mm 粒径的颗粒，在现场按一定浓度，加入水中或冲洗液中搅匀。

#### 12.4.3 操作步骤

用泥浆泵将膨胀堵漏浆液注入漏失层孔段。当漏失层位较浅时，也可直接从钻杆投入。

#### 12.4.4 工艺措施

膨胀堵漏材料在冲洗液中的加量根据漏失情况确定，一般为 5 kg/m<sup>3</sup>~20 kg/m<sup>3</sup>；膨胀堵漏浆液应随配随注。

### 12.5 软胶塞护壁堵漏

#### 12.5.1 适用条件

软胶塞护壁堵漏适用条件同 12.4.1。

### 12.5.2 材料及配制

软胶塞堵漏材料的主要原料为水泥、柴油。每 100 kg 的 P·042.5R 水泥通常加入 70 L~75 L 的柴油。

### 12.5.3 操作步骤

采用软胶塞护壁堵漏时，操作步骤如下：

- a) 将一定比例的柴油和水泥粉混合搅匀，装在密封袋中，用岩心管送至漏失层孔段；
- b) 送入冲洗液将密封袋压出岩心管，提出钻具，再向孔内下入鱼尾钻头或三翼钻头；
- c) 用鱼尾钻头或三翼钻头钻散密封袋，利用粗径钻具将软胶塞挤压至漏失层孔段。



附 录 A  
(资料性)  
测漏仪性能参数与使用方法

A.1 钻孔测漏仪性能参数

钻孔漏失测量仪主要有超声波和电磁式两种类型，均为无缆多参数组合存储式，可根据钻孔情况和精度要求进行优选。超声波钻孔测漏仪性能参数见表A.1。电磁式钻孔测漏仪性能参数见表A.2。

表A.1 超声波钻孔测漏仪性能参数

主要指标		性能参数
	探管外径×长度	Φ35 mm×900 mm
	质量	仪器主体约 3.3 kg
	供电电压	6 V
	自检工作电流	<50 mA
	稳定工作电流	约 15 mA
	工作温度	0 ℃~90 ℃
	工作压力	≤20 MPa
	连续测量时间	高温锂电池 22 h，充电电池组 8 h
	采样周期	10 s
	测量范围	0~200 m <sup>3</sup> /d
	精确度	示值的±1%或满量程的±0.2%，取最大值
	零点温漂	<0.01%/℃ (F·S)
	始动流量	≤1 m <sup>3</sup> /d，反向流量指示：≤-50 m <sup>3</sup> /d
	分辨率	0.1 m <sup>3</sup> /d
孔内温度 测量	测量范围	0 ℃~125 ℃
	精度	±1 ℃
	分辨率	0.1 ℃
	采样周期	20 s
孔内压力 测量	测量范围	0 MPa~20 MPa
	非线性	<0.05% (F·S)
	精度	±0.2%
	分辨率	0.01 MPa
	采样周期	20 s

表A.2 电磁式钻孔测漏仪性能参数

主要指标		性能参数
	探管外径×长度	Φ35 mm×860 mm
	质量	仪器主体约 2.8 kg
	供电电压	6 V
	自检工作电流	<50 mA
	稳定工作电流	约 35 mA
	工作温度	0~90 °C
	工作压力	普通型≤20 MPa
	连续测量时间	高温锂电池 22 h, 充电电池组 8 h
	采样周期	10 s
	测量范围	0~200 m <sup>3</sup> /d
	精确度	示值的±1 %或满量程的±0.2 %, 取最大值
	零点温漂	<0.005%/°C (F·S)
	始动流量	≤ 1 m <sup>3</sup> /d, 反向流量指示: ≤-50 m <sup>3</sup> /d
	分辨率	0.1 m <sup>3</sup> /d
孔内 温度 测量	分辨范围	0~125 °C
	精度	±0.5 °C
	分辨率	0.1 °C
	采样周期	20 s
孔内 压力 测量	测量范围	0 MPa~20 MPa
	非线性	<0.05% (F·S)
	精度	±0.2%
	分辨率	0.01 MPa
	采样周期	20 s

## A.2 测漏仪使用方法

测漏仪使用方法如下:

- a) 将钻孔测漏仪器探管采用钢丝绳或直接连接到钻杆下端, 慢速下放孔内;
- b) 探管在漏失层静置 1 min 后, 开泵灌入冲洗液;
- c) 待压力稳定后开始测量点计时; 每个测量点停留时间应大于 3 min, 孔内仪器探管沿孔深对冲洗液流速(流量)、孔内温度、孔内压力等参量进行测量, 并自动将测试数据存储到探管内部的存储器中;
- d) 将孔内仪器探管从钻孔中取出, 然后与地面电脑连接, 将测试数据形成电子文档, 由计算机进行数据处理、显示和打印, 判断漏层位置和漏失量。

### 参 考 文 献

- [1] 王达等. 地质钻探手册[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2014
  - [2] 陶士先等. 地质钻探复杂地层冲洗液对策及应用案例[M]. 北京: 地质出版社, 2015
  - [3] 汤凤林等. 岩心钻探学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2010
  - [4] 曾祥熹等. 钻孔护壁堵漏原理[M]. 北京: 地质出版社, 1986
  - [5] 姜明和等. 钻探工艺学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2009
  - [6] 徐同台等. 钻井工程防漏堵漏技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
  - [7] 李世忠. 钻探工艺学(中册)[M]. 北京: 地质出版社, 1989
-