

# 海上勘探海水造浆装置设计

钮建定, 胡建平, 王照明

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 在海上进行工程地质钻探作业时, 对砂粒、松散岩、风化岩等地层需采用泥浆护壁, 采用淡水配置泥浆才能达到最佳效果。创建一种海水造浆双流程模型, 一级流程装置输出的初纯水满足高性能泥浆用水标准; 二级流程去除水中残存的盐类, 制成适于饮用的超纯水。设计的实用海水造浆装置, 包括海水预处理、反渗透装置、EDI分离器及维护控制系统等, 从而突破了海上勘探受制于平台空间、载荷、淡水成本等因素制约, 有效地降低了勘探成本。

**关键词:** 海水泥浆; 反渗透; 预处理; 装置; 流程

**中图分类号:** P634; TQ028.9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-7428(2014)08-0009-04

**Design of Seawater-mud Making Device for Offshore Exploration/NIU Jian-ding, HU Jian-ping, WANG Zhao-ming**  
(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** For engineering geological drilling operations at sea, mud protection is necessary in sand, loose rock and weathered rock stratum, and the best effects can only be achieved by using the mud prepared with fresh water. By establishing a two-process model of mud making with seawater, primary pure water produced by the first-stage process device can meet the water standards for high-performance mud; ultrapure water suitable for drinking is output by the second-stage process with the residual salts being removed. The designed seawater mud making device, including seawater pretreatment and reverse osmosis devices, EDI separator and maintenance control system, breaks through the restriction of platform space, load, fresh water cost and other factors in the offshore exploration, the exploration cost is effectively reduced.

**Key words:** seawater mud; reverse osmosis; pretreatment; device; process

## 0 引言

在海上进行工程地质钻探作业时, 对砂粒、松散岩、风化岩等地层需跟管钻进或泥浆护壁钻进。利用泥浆护壁循环钻进技术, 将孔底被钻头磨碎的砂、岩颗粒随浆液携带出孔口, 分筛过滤净化后再循环, 并在孔壁形成一层薄而韧的泥饼, 稳固已钻开的地层并阻止液相侵入, 防卡钻、孔塌等事故发生。众所周知, 拌制泥浆只有使用淡水才能够达到最佳的效果。而在海上进行工程地质钻探作业时, 受其特殊环境的影响, 无法就地获得淡水, 这就使得海上勘探作业前就需存储相应的淡水。由于受勘探平台空间、载荷、淡水运输及淡水成本等因素限制, 尤其海外工程影响更大, 使勘探成本居高不下; 勘探作业中频繁供水也会大幅缩短海上钻探作业的宝贵时间。若直接用海水拌制泥浆液, 则海水中的 NaCl 会使泥浆中的膨润土处于不水化状态; 另海水中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等离子也会降低泥浆的流动性, 影响泥浆护壁之效果, 需采用添加处理剂这一模式。国内外学者如, 孙启忠、彭洪军、Reid P I、Downs J D、Bland R G、Enright D P、Bland R G 等<sup>[1-7]</sup> 按美国 (API) 和国际

(IADC) 分类体系相继提出了一些经典配方, 研究人员又相继开发了数以万计的配方变异, 胡建平在文献[8]中也曾提出一种生物聚合物配方, 尽管如此, 至今仍无法形成一个标准系列配方。这些配方在解决特定土层时有效, 但也存在着缺陷: (1) 地质复杂时, 配方成分或比例需不断调整, 难以控制; (2) 配方成分复杂, 须进行室内测试, 影响作业时间; (3) 海水泥浆中的化学成分, 可能会造成污染, 影响当地生态及环境; 若采用低污染聚合物类成分, 则会提高勘探成本; (4) 无规范指导, 以致用户难以掌握。

开发一套经济实用的海水造浆装置, 使流经该装置的天然海水达到高性能泥浆用水标准, 这样既可节约大量淡水资源, 又可降低勘探成本, 长期受到业内期待。

## 1 造浆装置研究

### 1.1 研究目的

海水中的主要成份如表 1 所述, 采取现有海水过滤、反渗透 (RO) 技术, 将海水中主要影响泥浆液性能的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  离子 (统称盐类) 分离,

收稿日期: 2014-01-20; 修回日期: 2014-06-12

作者简介: 钮建定 (1962-), 男 (汉族), 江苏宜兴人, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司副总工程师、教授级高级工程师、注册土木工程师 (岩土), 岩土工程专业, 从事岩土工程勘察和管理工作, 上海市松江区莘砖公路 518 号 1 号楼, niujd-ke@theidi.com。

输出的初纯水与膨润土搅拌,制成的泥浆基本满足钻孔护壁、防塌、润滑等要求;初纯水经过 EDI 进一步分离所生成的高纯水,能满足作业人员生活用水。

表 1 海水中主要离子成分

成分	含量/(mg·L <sup>-1</sup> )	成分	含量/(mg·L <sup>-1</sup> )
Na <sup>+</sup>	10900	Cl <sup>-</sup>	18980
Mg <sup>2+</sup>	1310	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	2560
Ca <sup>2+</sup>	410	Br <sup>-</sup>	65
K <sup>+</sup>	390	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.5
Sr <sup>2+</sup>	13		

## 1.2 设计方案

提出一种系统、经济、集成化的海水造浆双流程独立模型,创建二级分离设计装置。一级流程装置包括:(1)预处理系统——对海水中的胶体、杂质进行预滤处理,并使海水中的 NaCl 含量大幅降低<sup>[9]</sup>; (2)反渗透装置——对流过预处理系统的海水进行反渗透处理,输出的初纯水与膨润土经过搅拌配置成高性能泥浆液。二级流程装置包括:EDI 设备——初纯水通过 EDI 处理,去除水中残存的盐类,制成适于饮用的超纯水。以效益为中心,依据工程特性及海况条件,按需选用一级流程或双级流程装置优化组合,降低海上勘探成本。

## 2 装置的研制

### 2.1 主要部件原理概述

活性炭(AC)过滤器——一种内装填粗石英砂垫层及优质活性炭的水处理净化设备,它具有高效吸附及特效过滤等功能。作为海水处理脱盐系统前处理能够吸附水中胶体、余氯及部分金属离子,大大提高水净化程度,减少对半透膜、EDI 离子交换的污染程度,延长后续设备的使用寿命。

纳滤(NF)过滤器——介于活性炭和反渗透膜之间一种截留水中粒径为纳米级微颗粒的过滤装置。它的两个主要特征:对二价或多价(Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Sr<sup>2+</sup>)金属离子有较高脱盐率,所透过的只有水分子和部分一价离子;NF 膜的运行费用远低于反渗透膜费用,而且耐污染、膜通量较高等特点。

反渗透(RO)装置——一种将海水加压使纯水透过,并使盐类排斥的渗透膜装置。反渗透原理如图 1 实施,采用一种允许溶剂(纯水)透过,不允许溶质(海水)透过的半透膜,使海水和纯水溶液分隔。纯水通过半透膜渗透到海水一侧(如图 1 左),结果使海水一侧的液面逐渐升高,直至达到一定高度平衡为止,这时海水一侧高出的水柱静压即称为

渗透压。若在海水一侧施加一个大于渗透压的压力时,溶剂中的水分子流动方向将与原来的渗透方向相反(如图 1 右),从海水一侧向纯水一侧流动,这一过程称为反渗透,这类分离技术,简称 RO 技术。

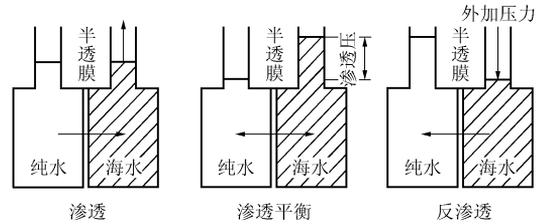


图 1 反渗透原理

上述活性炭、纳滤、反渗透构成的一级流程装置可将影响海水泥浆的 NaCl、MgCl<sub>2</sub>、CaSO<sub>4</sub>、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 等盐类分子分离,现有产品的截留率已达 99% 以上,制成的初纯水完全满足制浆的需求。

EDI(Electronic Data Interchange)分离器——一种超纯水制备装置。该装置将电渗析技术和离子交换技术相融合,通过阴、阳离子交换膜对阴、阳离子的选择性透过作用与离子交换树脂对离子的交换作用,在电场的作用下实现离子的定向迁移,从而完成水的深度除盐,水质可达国家实验室一级用水标准(GB/T 6682-2008)。在进行除盐的同时,水电解产生的氢离子和氢氧根离子对离子交换树脂进行再生,因此不需酸碱化学再生而能连续制取超纯水。它具有技术先进、操作简便和的环保特性,是纯水制备技术的绿色革命。由 EDI 装置构成的第二级流程持续供水,可大幅延长海上勘探作业的时间。

目前,反渗透膜、EDI 分离等产品模块国内外已相当成熟,只要合理选型、优化设计及工艺即可实现一、二级流程装置产品转化。

### 2.2 一级流程设计

#### 2.2.1 预处理设计

合适的预处理对反渗透装置长时间安全运行是十分重要的。对海水水质的预处理,可以确保一级流程流出的初纯水流量稳定;脱盐率维持在某一值上;延长反渗透膜的使用寿命。具体来说,预处理是为了做到:(1)防止反渗透膜表面上污染,即防止海水中胶体、悬浮杂质等直接滞留在 RO 膜表面上影响水流通道;(2)防止反渗透膜表面积垢,降低过滤效率,缩短使用寿命,增加反渗透膜的更换频率。预处理方案的优劣是影响海水滤化一级流程装置长期稳定运行的关键因素。

预处理系统由 1 ~ 若干活性炭过滤器和纳滤膜

过滤器组成(见图 2)。为了便于海水的抽取,预处理系统的进口通过管道与增压泵接通,由增压泵对天然海水先进行增压。由于海水的特殊性质,预处理系统中的活性炭过滤器和纳滤膜过滤器的壳体采用防腐材质制成,这样能够提高整套装置的使用寿命。反渗透装置的进口通过管道与预处理系统的出

口接通,并且在两者之间设置有高压泵,经过预处理的水被高压泵压入反渗透装置。反渗透装置包括 1~若干 RO 组件构成,RO 组件之间串联,或者 RO 组件之间并联,或者 RO 组件之间串并联组合形成反渗透装置,使得海水经过 2 个或以上 RO 组件渗透,既能够保证流出的水纯度又能够保证出水流量。

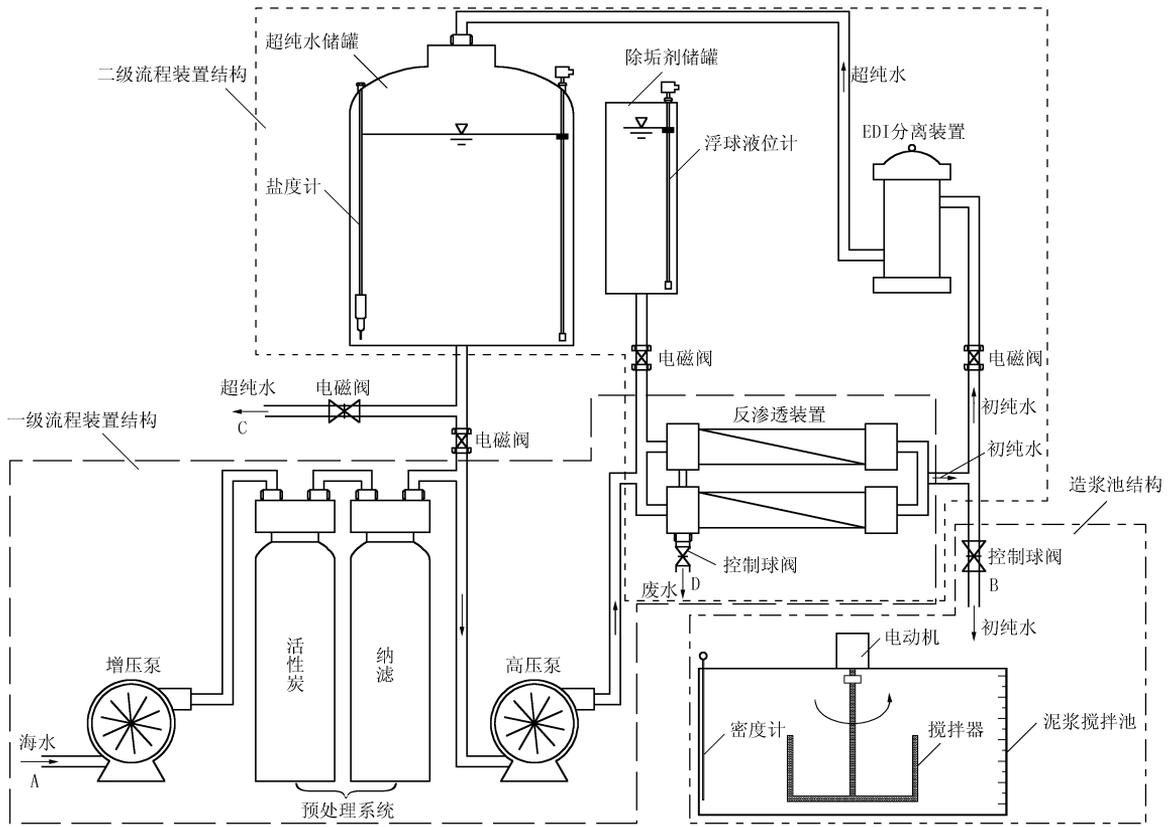


图 2 海水造浆装置总体设计图

本设计采用 2 个 RO 组件形成的一对并联装置,流经该装置的海水被分离成废水(浓盐水)和初纯水,废水直接通过排放口排出,初纯水则通过出口引入到泥浆搅拌池进行泥浆拌制。为了便于控制,在废水及初纯水排放口均设有控制球阀开关,由此,构成了一个较为完整的一级流程独立装置。

### 2.2.2 造浆结构设计

处于勘探平台上的造浆池,包括泥浆搅拌池、电动机、搅拌器等(图 2)。造浆搅拌池的内壁上设置有刻度;搅拌器安置在造浆搅拌池中间,并由电机带动旋转;密度计设置在造浆搅拌池边侧,用以监测泥浆液密度。造浆池内倒入膨润土与初纯水混合,搅拌后泥浆密度应控制在  $1.05 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$  之间。

## 2.3 二级流程设计

### 2.3.1 EDI 装置

经过一级流程处理形成的初纯水只能限于泥浆

液配置,还不能够达到饮用水标准。故在此基础上,增加饮用水处理装置对得到的初纯水进行二级处理得到超纯水,满足勘探作业人员长时间作业需求。为此,饮用水处理装置包括超纯水储罐和 EDI 分离装置 2 部分。其中 EDI 分离装置中设置离子交换膜,以此去除初纯水中残余的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  离子,形成超纯水。EDI 分离装置的进口与反渗透装置的初纯水出口接通,同时在两者之间设置电磁阀开关,实现水流控制,根据初纯水的需求进行开或关,有效避免影响泥浆液的配置工作。EDI 分离装置的出口通过管道与超纯水储罐的进口相接,将经过 EDI 分离处理的超纯水流至超纯水储罐进行储存。

### 2.3.2 反渗透装置维护

在反渗透过程中,反渗透膜对  $\text{Ca}^{2+}$  的透过率几乎为零,随着  $\text{Ca}^{2+}$  浓度上升及 pH 值升高,会引起水中  $\text{HCO}_3^-$  转化成  $\text{CO}_3^{2-}$ ,造成  $\text{CaCO}_3$  在反渗透膜上

逐步沉淀,以致降低一级流程透水率和脱盐率。由于反渗透这一特殊工作原理,故需定期除垢。

反渗透维护装置包括除垢剂储罐和设置在除垢剂储罐中的浮球液位计,除垢剂储罐与反渗透装置连通。在超纯水储罐的内部安装电导率盐度计和浮球液位计,用来监测超纯水的盐度和液位高度<sup>[10]</sup>。电导率盐度计由感应器、螺旋接口、导管组成。其中感应器盐度信号通过导管从螺旋接口连接到LED显示。浮球液位计由导管、浮球、液位变送器组成。其中浮球随液位变化,导管内传感器将液位信号,通过液位变送器传递至LED显示。

实施反渗透装置维护,首先打开控制阀开关将除垢剂流入反渗透装置中,并使反渗透装置浸泡约15~30 min,将除垢剂从废水口排尽;再用超纯水冲洗反渗透装置,污垢严重时利用高压泵反复多次冲洗,每次持续1~2 min,具体操作可参看图2。

### 3 实施及效果分析

#### 3.1 初纯水制备

(1)关闭球阀、电磁阀开关,打开废水控制球阀及初纯水控制球阀,启动增压泵和高压泵电源,使得天然海水从经增压泵增压后流经预处理系统(图2);(2)将经预处理的海水再经高压泵加压通过反渗透处理,分离后生成废水和初纯水,将废水排弃(废水控制球阀已经打开),而初纯水流入造浆搅拌池内;(3)当造浆搅拌池的初纯水达到某一刻度止,5%~8%膨润土与初纯水配比,混合后通过电动机带动搅拌器旋转搅拌,密切观察密度计读数,通过充分搅拌后的泥浆基本满足护壁之作用。

#### 3.2 超纯水制备

关闭初纯水控制球阀,打开EDI电磁阀开关,天然海水→增压泵增压→预处理系统→高压泵加压→反渗透装置→生成废水或初纯水。废水通过控制球阀排出,初纯水经电磁阀流经EDI分离装置。EDI分离装置中的离子交换膜对流经的初纯水进行处理,去除残余的 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 离子,制成超纯水。超纯水注入超纯水储罐,注满终止,随时观察电导盐度计上的LED盐度显示读数,及浮球液位计上的LED液位显示读数。通过打开电磁阀,既可提供生活用

超纯水。

#### 3.3 测试分析

我们对样机进行了上述初纯水及超纯水制备一系列测试,实际效果与设计目标基本吻合,为下一步产品优化、成果转化及市场推广奠定了基础。

### 4 结语

海水中含有 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 等离子,若直接用海水造浆,这些离子会影响泥浆的流动性、粘度、滤失量等综合性能,无法起到孔内护壁之作用。本设计方案充分利用现有技术与勘探方法的集成,发明了一种海水造浆简易装置及方法,实现了海水造浆之目标,既节约大量淡水资源,又有效降低勘探成本,同时显著增加了海上勘探作业的宝贵时间。独立的二级流程模块可按需组合,实现工程效益的最大化。该设计方案新颖,为水运行业近海工程地质勘察海水配置泥浆提供了有益的参考。

#### 参考文献:

- [1] 孙启忠,胥洪彪,刘传清,等. 海水钻井液用降滤失剂SR-1及其应用[J]. 油田化学,2000,17(2):114-116.
- [2] 彭洪军. 环保型多羟基聚合物海水钻井液研制及应用[J]. 天然气技术,2010,4(2):43-46.
- [3] Reid P I, Bernadette Dolan. Mechanism of shale inhibition by ploys in water based drilling fluid[J]. SPE 28960,1995:155-167.
- [4] Downs J D, Van Oort Eric, Redman D I. TAME: A new concept in water-based drilling fluids for shales[J]. SPE 26699,1994:239-250.
- [5] Bland R G, Smith G L. Low salinity polyglycol water-based drilling fluids as alternatives to oil-based muds[J]. SPE/IADC 29378,1995:405-418.
- [6] Enright D P, Dye W M, Smith F M. A new environmentally safe water-based alternative to oil muds[J]. SPE Drilling Engineering,1992,25(3):15-19.
- [7] Bland R G. Quality criteria in selecting as alternatives to oil-Based drilling fluid system[J]. SPE 27141, 1994:399-411.
- [8] 胡建平,董教社,冯蓓蕾. 聚合物海水泥浆的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):29-31.
- [9] 冯逸仙,杨世纯. 反渗透水处理工程[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [10] 钮建定,胡建平,王照明. 一种利用海水配置泥浆液的装置以及方法:中国,ZL201210262353.X[P]. 2013-12-11.