

库尔特计数器在油田回注水的应用

概述

能源在中国飞速发展的经济中占据极其重要的地位。而石油的产量和储备更是国家可持续发展的必要条件。中国不但要进口原油还必须充分高效地利用和开发国内的油田。目前，中国的大部分油田已经进入开发的高含水量期（中后期），采出液中的含水量为60~80%，有的油田的含水量甚至高达90%。随着含水率的上升，采出液总液量也不断增加，能耗随之迅速增长。如果这些含油污水未经处理而直接排放，将不但对环境造成严重的污染，而且也是水资源的极大浪费。因此，对油田含油污水必须进行处理回用，从而为油田带来巨大的经济和社会效益。

标进行控制外，还要对COD等排放指标进行控制。



采油废水与回注水

采油废水又称油田采出水，是油田在采油的过程中随原油一同采出的地层水。由于地层不同、采油过程不同，采出水的成份十分复杂，一般不能直接排放或回注。采出原油经油水分离处理后，水中一般含有一定量的油、硫化物、有机酚、细菌、固体颗粒以及所投加的破乳剂、絮凝剂和杀菌剂等。这部分废水的量较大，若直接外排将对环境造成很大影响。

油田含油污水处理后有三种利用方式。首选的是处理后用于回注，即将水回注到地层中去，要求必须对水中的油、悬浮物及其颗粒粒径进行控制。第二种主要是稠油污水，处理后用于热采锅炉的给水，要满足热采锅炉给水的水质要求。第三种是多余污水处理后排放，按照中国综合污水排放标准，除对含油及悬浮物等指

油田采出水的回注不但是废水处理的手段之一，通过水的回注还能保持地层压力与采出更多的原油。废水处理与回注往往是石油公司最大的单项操作费用，全球油田每年的回注水超过1千亿桶，费用高达500亿美元。

国内外含油污水处理工艺是基本相同的，主要分为除油和过滤两级处理。处理后的污水如果是用于回注，则根据注水地层的地质特性来确定处理深度标准。对渗透性好的地层，一般污水经除油和一级过滤后即进行回注；而对低渗透地层，则要进行二级或三级过滤。

回注水的特点与质量要求

回注水的各项指标都有很严格的要求，其中最主要的控制指标是水中悬浮物的含量和颗粒的粒径。废水中的悬浮物和

油是采油废水回注中导致注水井和油层堵塞的两个重要因素。



用常规方法处理的油田注水中仍然含有大量固体悬浮颗粒，大粒度固体悬浮物有可能堵塞岩层微孔而影响水的渗透，达不到驱赶原油，充分利用石油资源的目的。采油废水经过滤后用于回注的水样中固体悬浮物粒度对于降低成本，增加注水速率与压力，从而提高采油效益有着十分重要的意义。为此，世界上很多油田都在研究油田注水精细过滤技术。精细过滤设备可将悬浮物的含量控制在小于1mg/L，颗粒直径小于1 μ m。许多石油公司在低渗透油田注水水质标准中对这两项有明确的要求，美国和加拿大要求水中悬浮固体含量为0.1~0.5mg/L，颗粒粒径小于孔喉直径的1/10。沙特阿拉伯和阿联酋长国要求水中悬浮固体含量为0.2mg/L，颗粒粒径分别为4.0 μ m和2.0 μ m。

行业标准

随着地层采出水量的不断提高，注水量成倍增长，注水水质要求也更加严格，其基本要求如下：(1)水质稳定，与油层水相混不产生沉淀；(2)水注入油层后不使粘土矿物产生水化膨胀或悬浊；(3)水中不得携带大量悬浮物，以防堵塞注水井渗滤端面及渗流孔道；(4)对注水设施腐蚀性小；(5)当采用两种水源进行混合注水时，应首先进行室内实验，证实两种水的配伍性好，对油层无伤害才可注入。

1995年，中国石油天然气总公司颁布了《碎屑岩油藏注入水水质推荐指标及分析方法SY/T—5329—94》，统一了

高、中、低渗透层注入水水质的十一项指标，国内油田污水处理有了统一的依据标准。该标准中规定，依据油层的地质条件不同，将水质指标按注入层平均空气渗透率小于0.1 μ m²、0.1 μ m²~0.6 μ m²、大于0.6 μ m²分为：低渗透（A）、中渗透（B）、与高渗透（C）三类。又将每类标准分为3级。该标准规定，中渗透的B1级及低渗透的A3级要求悬浮物颗粒粒径控制在 $\leq 2\mu$ m，低渗透的A2级、A1级要求悬浮物颗粒粒径控制分别为 $\leq 1.5\mu$ m， $\leq 1.0\mu$ m。（注水水质的主要控制指标见表1）。

随着更严格的水质标准的执行，新技术的高效滤水设备的采用，粒度的测量将成为水处理中最重要的监控手段。

库尔特计数仪的应用

库尔特原理由于是通过测量与单个颗粒体积有正比关系的电压脉冲而直接得到颗粒粒径和个数，因此测量时不受样品颜色、形态、角度和光学特性等因素的影响，具有最小的受限性。即使在颗粒含量极低的状态下也能准确地测量出来，特别适用于含颗粒极少的油田注水的测量。



由于各油田所处环境不同，油田地层渗透率差别较大，对回注水水质要求也

不相同，因此对回注水中悬浮物粒径的控制的标准也有不同。目前中国有几十家油田生产企业及研究单位使用贝克曼库尔特公司的库尔特颗粒计数与粒度分析仪（Multisizer系列）。从20 μm 到400 μm 规格的小孔管均有选择应用，大部分用户选择20 μm 、50 μm 、或70 μm 的小孔管。这些小孔管相应可监测的范围分别是：0.4~12 μm 、1~30 μm 、1.4~4.2 μm 。

美国贝克曼库尔特公司（前身美国库尔特电子仪器公司）是库尔特原理与库尔特计数仪的发明者，在颗粒分析领域有

着深远的影响和不可替代的地位。库尔特计数仪经历了超过半个世纪发展，上市销售的型号与系列仅用于实验室分析就已有二十几个。最新的Multisizer 3 型库尔特计数仪由于采用了先进的数码脉冲处理技术，使得仪器可以精确地分析单个颗粒的脉冲信号。同时也可以通过分析测量过程中脉冲的变化来判断样品的状态是否稳定，如絮凝、分解、团聚等。国内许多油田企业与油田的研究单位均选择贝克曼库尔特公司生产的Multisizer系列库尔特计数仪作为其质量控制时可靠的测量仪器。

注入层平均空气渗透率/ μm^2	<0.10			0.10-0.60			>0.60		
标准分级	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂	C ₃
悬浮固体含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	<1.0	<2.0	<3.0	<3.0	<4.0	<5.0	<5.0	<7.0	<10.0
悬浮物颗粒直径中值/ μm	<1.0	<1.5	<2.0	<2.0	<2.5	<3.0	<3.0	<3.5	<4.0
含油量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	<5.0	<6.0	<8.0	<8.0	<10.0	<15.0	<15.0	<20.0	<30.0

表1. 《碎屑岩油藏注入水水质推荐指标及分析方法SY/T—5329—94》中的主要指标