

油田回注水水质在线监测技术与 仪器研制

周发文¹, 王国财¹, 胡绪山¹, 吴剑勇¹, 张 斌¹, 李威威¹, 李伟伟², 刘云霞²

¹荆州市明德科技有限公司, 湖北 荆州

²山东省微远科技有限公司 山东 东营

收稿日期: 2023年3月16日; 录用日期: 2023年4月22日; 发布日期: 2023年4月29日

摘 要

针对目前国内在油田水水质监测方面存在诸多技术问题,应用多波长融合技术(不同组分采用不同波长光波测量,不同波长之间的测量互不影响)、嵌入式探头设计技术(有效缩小设备尺寸,方便安装,实现实时在线测量)、温度补偿技术(消除温度对测量的影响)、探头加温技术(防止内外温差对探头的损坏),对油田回注水水质在线监测技术和仪器设计进行了研究。结果表明,建立了油分和悬浮物在线同步测试模型,提出了“先荧光后散射”的测量方法,在一套光路系统中同步实现了油分和悬浮物浓度的检测;采用嵌入式探头设计,实现了污水水质的实时在线连续测量;充分考虑石油化工污水管道工作环境,消除温度、湿度等因素对测量的影响,通过多重措施保证仪器测量精度。

关键词

油田回注水, 水质检测, 悬浮物, 油分, 在线监测技术, 仪器设计

Development of On-Line Monitoring Technology and Instrument for Reinjection Water Quality in Oilfield

Fawen Zhou¹, Guocai Wang¹, Xushan Hu¹, Jianyong Wu¹, Bin Zhang¹, Weiwei Li¹,
Weiwei Li², Yunxia Liu²

¹Jingzhou Mingde Technology Co., LTD., Jingzhou Hubei

²Shandong Weiyuan Technology Co., LTD., Dongying Shandong

Received: Mar. 16th, 2023; accepted: Apr. 22nd, 2023; published: Apr. 29th, 2023

文章引用: 周发文, 王国财, 胡绪山, 吴剑勇, 张斌, 李威威, 李伟伟, 刘云霞. 油田回注水水质在线监测技术与仪器研制[J]. 机械工程与技术, 2023, 12(2): 188-198. DOI: 10.12677/met.2023.122022

Abstract

In view of the current domestic oilfield water quality monitoring in many technical problems, the application of multi-wavelength fusion technology (different components using different wavelengths of light wave measurement; the measurements between different wavelengths do not affect each other), embedded probe design technology (effectively reduce the size of the equipment, convenient installation, realize real-time online measurement), temperature compensation technology (eliminate the influence of temperature on measurement), probe heating technology (prevent internal and external temperature difference to probe damage), the oil field reinjection water quality online monitoring technology and instrument design were studied. The results show that the on-line synchronous testing model of oil and suspended matter is established, and the measurement method of "fluorescence before scattering" is proposed. The detection of oil and suspended matter concentration is realized synchronously in a set of optical path system. The embedded probe design realizes the real-time on-line continuous measurement of sewage quality. Fully considering the working environment of petrochemical sewage pipelines, eliminating temperature, humidity and other factors on the impact of measurement, the accuracy of the instrument measurement is ensured through multiple measures.

Keywords

Oilfield Reinjection Water, Water Quality Testing, A Suspended Substance, Oil Content, On-Line Monitoring Technology, Instrument Design

Copyright © 2023 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

随着开采时间的不断延长,采出油的含水率也越来越大,大部分 60%~80%,有时甚至高达 90%以上 [1]。采出水是回注水的主要水源。油田生产进行回注水操作时,经处理后的油田污水会注入地层。随着开采时间的累计和表外储层的消耗,油田注水的用量越来越高,部分地区高达 85%,故而对回注水的水质有着极高的要求 [2]。回注水必须化学性质稳定、腐蚀性小;但其中包含的油和悬浮物等不利成分,会对油井和油层造成危害,使油田地面设施不能正常运行,达不到驱油的目的,还会造成环境污染。因此,在将回注水注入地层之前,必须对水质进行严格的检验。

目前国外的悬浮物测量产品均采用光电检测的方法,分为透射法、散射法和透射-散射比较法 3 种 [3] [4] [5]。国外的悬浮物测量产品种类较多,比较成熟的生产悬浮物检测仪器产品的公司有美国的 HACH 公司、德国的 DECKMA 公司、德国 Endress + Hauser 公司等 [6],它们有多种悬浮物测量仪产品,包含便携式取样测量仪和在线测量仪;根据检测水质的不同,有普通量程、超低量程或大量程的产品,测量精度较高,安装方式多样,并且部分产品具有在算法中消除气泡和色度影响的功能。油分检测仪器原理采用紫外分光光度法、紫外荧光法或红外吸收法 [7],主要产品厂家有美国 APPLIED 公司、Turner 公司、HACH 公司以及德国的 DECKMA 公司。

目前国内在水质监测技术上存在诸多问题 [8] [9] [10]。一是悬浮物和油分是石油化工污水检测的核心指标,目前主要采用分模块方式检测,系统占地面积大,结构复杂,成本很高,现场推广应用局限性大,

急需满足可在线工作的低成本、小型化产品；二是油田回注水温度较高(80℃)，对设备的测量精度有较大影响，特别是冬季“外冷内热”的工作环境使探头出现水雾，影响设备运行；三是目前国内的石油化工污水检测设备精度大多为 5%~10%，需提高精度；四是现有仪器多为采样式或探头浸入式，无法实现实时在线测量。而在水质监测技术方面的研究也不多。宋子龙等[11]基于 EPDM 研发了油田注水水质监测管理系统，规范了水质监测业务的数据录入、指标统计等工作。孟超[12]针对油气田水质监测问题，在国内外化学需氧量方法综合分析的基础上，开展油气田水质监测中 COD 测定方法的优化研究，并进行数据统计分析；研究认为，在油田水质监测中化学需氧量检测的标准方法需要进行相关改进，以降低实验误差，提高监测效率。杜黎明等[13]为了实现对油田水质环境中水中油浓度、总铁含量、浊度、pH 等参数的连续在线监测，提出了一种油田多参数水质监测技术方案；通过研究油田工艺管路中的水体特性，获取了不同参数的检测方案；借助于现场取样时的管路预处理设计，消除了水中杂质及管路污染对测试的可靠性影响；搭建了油田多参数水质监测系统，对监测方案进行了验证。

基于此，笔者的目标是研制出能同时检测油分和悬浮物的小型化在线水质检测仪，并实施信息化管理；其检测量程为含油量 1000 mg/L，悬浮物含量 1000 mg/L，分度值达到 1 mg/L，重复性误差小于 1%，系统响应时间 < 0.1 s。

2. 油田回注水水质监测技术

2.1. 悬浮物测量原理

2.1.1. 悬浮物的散射作用

回注水中悬浮物一般由细菌及其代谢产物、硅酸盐、碳酸盐以及少量附着的原油组成[14]。回注水中的悬浮物为非耗散介质，近似吸收系数为 0，可认为光线在其中传播时产生的消光效应均由散射引起。

胜利油田提供的油田回注水中悬浮物颗粒的粒径范围为 1~2.2 μm，光源波长为 860 nm 时，计算得其无因次粒径参量 $0.9 < \alpha < 19$ ，符合常规的 Mie 散射范围。油田回注水中悬浮物浓度大约为 3~200 mg/L，为不相关散射。通过透射法对回注水中悬浮物浓度的光学厚度 T 进行测量，发现 $0.1 < T < 0.3$ ，因此悬浮物颗粒的散射可以作为单散射处理。

对于粒径与入射波长相近的颗粒，主要为前向散射；对于粒径远小于入射波长的颗粒，其各方向的散射强度分布均匀。通过仿真发现，随着粒径的变化其 90°方向散射光强能够保持相对稳定。回注水中悬浮物粒径小，分布均匀，成分固定，因此浊度与悬浮物浓度成正比。

综上，可以采用国际上通用的 90°散射法进行测量[15]，测量原理如图 1 所示。入射平行非偏振光照射油田回注水样液，在 90°散射方向和透射方向分别对光强值进行测量。

2.1.2. 水中悬浮物浓度散射法模型

光在样液中传播时会受到样液中水分、油分、悬浮物以及其他杂质的影响，造成光强衰减。光的透射遵循 Lambert-Beer 定律，随着光传播的距离增加光强呈指数衰减[16]。

$$I_T = I_0 \exp(-\delta cl) \quad (1)$$

式中： I_0 为入射光强度，Cd； I_T 为透射光强度，Cd； δ 为溶液的消光系数(吸收系数与散射系数之和)，1/m； c 为样品体积分数，1； l 为光程，m。

针对油田回注水待测悬浮物建立测量模型，需要考虑两个因素：一是理论上，溶液中单位体积内的散射光强为每个颗粒在该角度的散射光强之和，因此一定体积内散射光强与散射颗粒的浓度成正比；然而实际情况下，由于样液溶质和溶剂对光线的衰减作用，这种线性关系在大多数情况下并不成立；资料表明，浓度小于 100 mg/L 的样液散射光强与溶质浓度成正比关系，此阈值的确定与样液成分、各溶质浓

度均有关系,不能一概而论。二是根据 ISO7207 规定的浊度测量法[17],对悬浮物浓度进行散射测量时只能接受 90°的散射光强;但由于光学器件参数的限制,一般接收的光线都在一个角度范围,这个角度范围的大小对悬浮物测量的影响需要讨论。

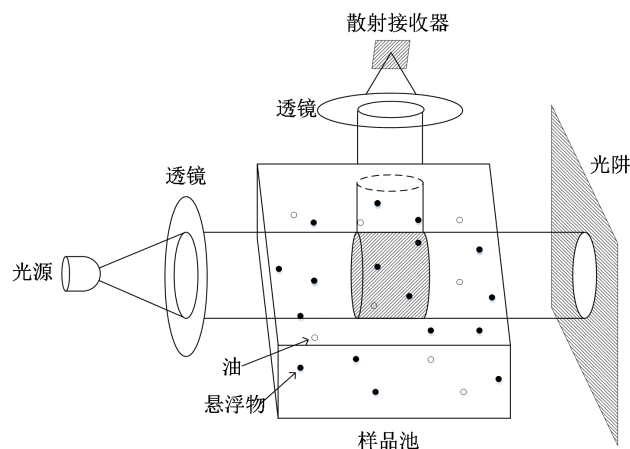


Figure 1. Measurement principle diagram of scattering method
图 1. 散射法测量原理图

所以,针对油田回注水建立具体的 90°散射模型,对于系统器件参数的选择以及性能指标的制定等都十分重要。

2.2. 水中油测量原理

2.2.1. 红外吸收法

目前市面上存在的测油产品所采用的方法一般为红外吸收法和紫外荧光法[18]。近红外(NIR)光谱区定义为波长 780~2526 nm 的光谱区,习惯上又将近红外区划分为近红外短波(780~1100 nm)和近红外长波(1100~2526 nm) 2 个区域。

近红外光谱主要是由于分子振动的非谐振性使分子振动从基态向高能级跃迁,记录的是分子中单个化学键的基频振动的倍频和合频信息,它受含基团 X-H (X-C, N, S, O, P)的倍频和合频的重叠主导,所以近红外光谱范围内,测量的主要是含氢基团 X-H 键振动的倍频和合频吸收。

石油化工产品的主要成分各种烃类化合物,其主要官能团是 C-H,因此特别适合近红外光谱分析,通过近红外光谱(吸收)测量回注水油浓度是可行的。

使用含氢基团二级倍频(1200 nm)的吸收作用进行测量,主要利用的是油中的甲基和亚甲基的 C-H 键。由煤油的光谱图可知,煤油在近红外短波区域(1100 nm 之前)光谱曲线非常平坦,而在 1200 nm 处有明显的吸收峰。利用油中化学键对近红外光的“选择吸收性”,即油吸收 1200 nm 的入射光而不吸收 860 nm 的光,既实现油浓度的测量,同时避免了油和悬浮物测量的相互影响。

2.2.2. 水中油分浓度红外吸收法模型

利用红外吸收(透射)法可准确测量回注水中油的浓度。回注水红外测油系统的吸收透射模型如下:

当光源发出波长为 λ 、强度为 I_i 的光透过水样时,由于水样中油分(和悬浮物)的吸收作用,穿过水样的透射光强度减弱,发光强度的减弱符合 Lambert-Beer 定律[16],公式如下:

$$I_T = I_i \exp(-\tau dl) \quad (2)$$

式中： I_λ 为光源发出的入射光强度，Cd； I_T 为透射光强度，Cd； τ 为待测水样的消光系数，1/m； d 为待测水样包含油、悬浮物和水(悬浮物和水吸收作用非常小)的体积分数，1； l 为透射光在水样中的光程，m。

由于水中油分子和悬浮物颗粒对光的吸收，光线在传播过程中光强会逐渐减弱。取 x 点处单位厚度 dx ，当光线穿透含有悬浮物和油分的待测液时，有如下关系[3]：

$$dI_T = -\beta_\lambda N I_\lambda dx - \gamma_\lambda H I_\lambda dx - \eta_\lambda I_\lambda dx \quad (3)$$

故光的强度衰减为：

$$I_T = I_\lambda \exp\left[(-\beta_\lambda N - \gamma_\lambda H - \eta_\lambda)x\right] \quad (4)$$

式中： β_λ 为含有悬浮物待测液的消光系数，1/m； N 为悬浮物体积分数，1； γ_λ 为含有油分待测液的消光系数，1/m； H 为水中油的体积分数，1； η_λ 为待测液的消光系数，1/m。

在透射方向的光电接收器件测量透射光强 I_T ，通过计算透射光强与光源光强的比值，可以得到回注水的吸光度。在已知消光系数(即回注水中油分、悬浮物和纯水对光的衰减作用大小)和光程的情况下，直接可以求得水中的油浓度。

3. 悬浮物与油分测量综合方法

虽然水中油的光学特性主要表现为对波长1200 nm的光吸收，但是油分作为颗粒形态存在在水中会对波长860 nm的入射光亦存在着散射作用。无机悬浮物的光学特性主要表现为对入射光的散射，分为前向散射、后向散射和90°散射，且前、后向散射光占全部散射光的大部分；但是悬浮物的散射作用本质是悬浮颗粒吸收入射光，再向其他方向发射，因此少部分光会被悬浮物吸收。因此水中油和悬浮物的实际光学特性为油分对1200 nm波长入射光的吸收和所有波段光的少量散射，以及悬浮物对所有波段(860 nm为主)光的散射和少量吸收。

根据这一情况，建立悬浮物与油分测量的综合模型如图2所示。三维坐标轴中， X 轴表示悬浮物浓度， Y 轴为水中油浓度， Z 轴为水样(含悬浮物和油)对860 nm入射光的散射强度和1200 nm入射光的透射强度，而透射光强等于入射光强除去吸收和散射的部分。

透射方向上，光强主要取决于样液对光的吸收作用，因此主要变现为随油浓度增加而减小；同时随悬浮物浓度加大，散射作用增强，透射光强也会减小。

散射方向上，光强主要受悬浮物的散射影响，表现为散射光强随悬浮物浓度增加而近似线性的增加；同时由于油颗粒对光亦有微弱的散射作用，因此随油浓度增加，散射光强会有细微增加。

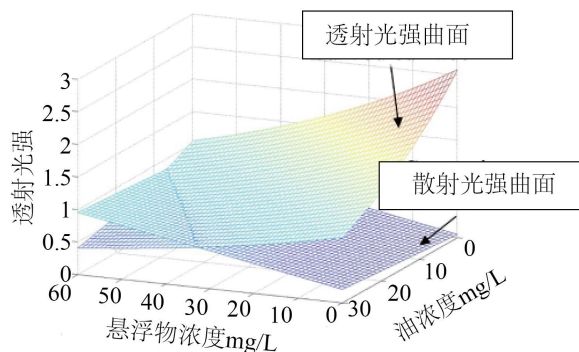


Figure 2. Comprehensive model diagram of suspended matter and oil content measurement

图2. 悬浮物与油分测量的综合模型图

3.1. 悬浮物对油分测量的影响

油分浓度测量原理为红外吸收效应。回注水中悬浮物的主要成分为碳酸盐、硅酸盐以及铁氧化物，吸收现象微弱，因此悬浮物对油分近红外光吸收的直接影响可以忽略。然而光线在传播过程中，回注水中悬浮物颗粒的吸收(少量)和散射作用间接影响了油分对入射光的吸收。

3.1.1. 悬浮物的拉曼散射光被接收器接收

悬浮物的散射作用除了发出与入射波长相等的散射光外，也会发出与入射光存在一定频差的光，主要为拉曼散射[3]。短波长(860 nm)近红外光被悬浮物颗粒散射后，其拉曼散射光谱与部分高波长光(1200 nm)发射光谱重叠，油分测量接收器接收到拉曼散射的 1200 nm 红外光，最终造成油分测量偏差。不过拉曼散射光强微弱，约为正常 1200 nm 光的强度的数千分之一，因此通常可以忽略。

3.1.2. 光线传播时悬浮物的消光效应造成的光强衰减

当溶液浓度大于某个阈值时，入射光的透射能力会随着样液浓度的增大而减小，悬浮物或其他杂质的消光效应产生的激发光光强衰减就是主要影响因素。不同光程下悬浮物的吸收影响试验结果表明，接收光强随光程的增加而减小。因此，系统设计时，在不影响测量的前提下应尽量减少与接收器之间距离。

3.2. 油分对悬浮物测量的影响

悬浮物浓度测量遵循 Mie 散射原理[19]，光线传播过程遵循 Lambert-Beer 定律，因此油分对悬浮物测量的影响因素有两个。

3.2.1. 光线传播时油颗粒对光强的衰减作用

此衰减作用来源于油分子对该波长光线的吸收以及散射作用。悬浮物浓度测量时采用国标 IS07207 规定的 860 nm 近红外光源。油分子中甲基、亚甲基与 Ar-H 芳香烃中的 C-H 键存在伸缩振动，860 nm 恰好处于其吸收谱的第三泛频位置，导致油在该波长处呈现一个很小的吸收峰值。

试验结果表明，860 nm 附近油对光线的消光作用存在十分微弱，消光度约为 0.005，悬浮物消光度约为 0.05，油分密度约为 0.9 g/L，则将油分稀释 2 倍大约可以达到过滤前的回注水油分浓度标准，则可得到悬浮物颗粒消光量约是油颗粒消光量的 20 倍左右。因此水中油对该波长光的衰减作用不可忽略。

3.2.2. 油颗粒在 90°方向的散射

散射法也是测量油浓度的方法之一，这说明油颗粒对光线的散射作用还是存在并不可忽略的。回注水中油颗粒的无因次粒径参量 $9 < \alpha < 87$ ，因此对光线在各个角度的散射量并不多，可认为是一个常数。

试验结果表明，在水下散射法对悬浮物浓度进行测量过程中，油分的影响较大，主要是源于油颗粒对光强的衰减作用，需在建模过程中加以考虑，产生 90°的散射光强可近似为常数。

3.3. 综合测量方法

综上所述，油分浓度变化对悬浮物水下散射法测量影响较大，而在合理选择系统参数后，悬浮物含量却对油分的吸收测量影响很小，可以忽略。因此，针对油田回注水水质提出“先油后悬浮物”(也称“先荧光后散射”)的综合测量方法。即先通过红外吸收法对回注水中的油分含量进行测量，在已知油分浓度的情况下利用水下散射法对悬浮物浓度进行检测，最终得到 2 种物质的浓度。

利用不同浓度的标准油溶液对红外吸收系统部分进行线性拟合，得到油浓度与透射光强度之间的关系，即可测量回注水中油分含量。在已知油浓度的情况下，利用不同浓度标准悬浮物溶液对散射法系统部分进行多段线性拟合或双指数曲线拟合，得到油浓度、悬浮物浓度和 90°散射光强的三维曲面关系，可

测得回注水中悬浮物含量。

3.4. 试验验证

在室内静态环境下悬浮物和油分测量模型的进行了验证，确定分段线性标定的方法，并进行了误差分析。通过小型水循环装置试验压强、流速对测量的影响，大型水循环装置模拟油田现场测量环境，对测量系统进行了标定。静态与动态结合既能够保证测量方法的准确，同时方便对流动液体对测量结果的影响因素进行有针对性的分析，消除测量误差。

4. 油田回注水水质在线监测仪器设计

根据上述研究设计的仪器系统组成如图 3 所示。

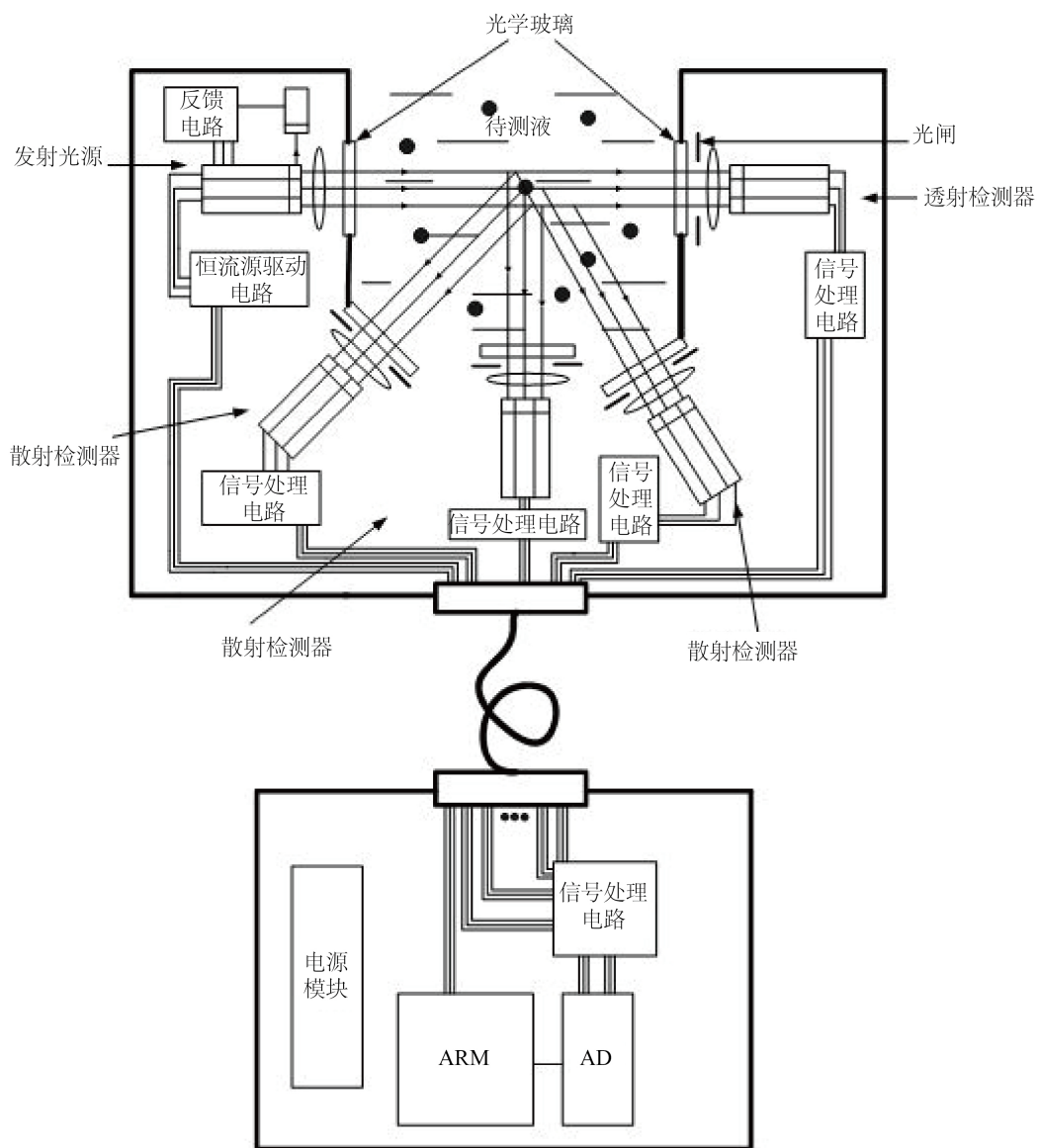


Figure 3. On-line monitoring instrument system of reinjection water quality in oilfield

图 3. 油田回注水水质在线监测仪器系统

由于系统包含光路, 因此对于机械稳定性要求较高, 同时机械外形的设计也决定了系统对油田污水的测量方式。为保证在线的实时测量功能, 系统结构采用插入式结构设计, 将传感器探头插入测量管安装座上, 安装座与传感器采用螺纹连接方式, 这样可以调节因光感强度发生变化或信号接收、传输过程中受到干扰的情况下不影响测量精度而产生的位置变化。且传感器与安装座之间采用 O 型圈密封, 这样的密封方式既可靠又可长时间使用。测量管与主管线之间采用法兰连接, 且配有上下游切断阀, 在需要维护的同时不影响主管线流程正常运行。图 4 为小型化探头设计机械设计图。

仪器系统共有 4 个探头, 分别为散射光源、透射接收器、散射接受器和油测量探头; 还包括 1 台测试主机, 完成控制与测量。经过理论准备、模型建立和实验室数据分析, 笔者选择了 $\lambda_1 = 3400 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 860 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 1200 \text{ nm}$ 的红外光, 进行多波长融合, 研制嵌入式探头。

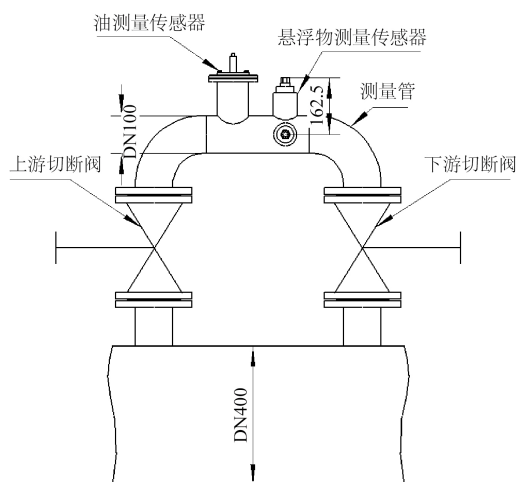


Figure 4. Mechanical design drawing of miniaturized probe design

图 4. 小型化探头设计机械设计图

透射接收器检测近红外入射光经过样液散射和吸收之后的透射光强, 散射接受器检测被悬浮物散射到 90° 方向的光强, 测量悬浮物浓度。油分的荧光效应产生在样液表面, 荧光接收器与紫外光源成一定角度放置, 使用滤光片避免其他波长对测量的影响。接收器接收非反射方向的荧光, 光强与油浓度成线性关系, 经处理后计算出待测油浓度。

室内对油田回注水水质在线检测仪器系统结构进行了试验验证, 从原理误差、制造误差和运行误差 3 个方面对系统精度影响因素进行了详细分析。结果表明, 插入式结构设计和探头承插式安装方便设备的调节; 测量管与主管线之间采用法兰连接, 且配有上下游切断阀, 在需要维护的同时不影响主管线流程正常运行; 相比国内其他模块集成式的回注水测量仪器, 该系统具有体积小, 集成度高, 方便维护的明显优势。

5. 水质在线监控数据传输和分析系统终端制作

系统终端主要包括水质在线监控数据采集系统、无线数据传输终端、数据采集平台、水质分析平台、数据发布平台及移动终端 APP。

5.1. 数据采集系统

数据采集系统就是现场防爆型 RTU 研究和制作。RTU 是 SCADA 系统对油井实施测控的核心单元,

实施数据采集、存储、报警及控制的智能远程终端。按照数字化油田标准设计的 RTU 满足野外环境、复杂电气环境的应用要求，能够满足油田的各种需求及恶劣的自然环境和电气环境。

5.2. 数据传输终端

数据传输终端基于 GPRS 或 CDMA 的数据传输终端，可实现数据透明传输，支持语音拨号、点对点中英文短信传输，支持断线自动连接，连续工作免维护。

5.3. 服务器终端

服务器包括数据服务器和 web 服务器，在该系统中，2 个服务器合二为一。数据服务器负责接收数据，并存储数据；web 服务器提供 web 服务。

5.4. 移动终端

移动终端是移动 APP 运行载体，选用华为 M2 为内核。

5.5. 数据采集系统软件

数据接收平台主要完成数据从现场终端到入库的整个过程，是数据分析和数据发布的基础。如图 5 所示。数据接收分为 4 个部分：协议处理、传输控制、数据分析、终端控制。传输控制模块上维护一个分析模块和协议处理模块的列表，分析模块和协议处理模块在启动后，主动登录传输控制模块。传输控制模块在收到数据后根据轮流使用的原则，遍历分析模块列表，将数据转发到各个分析模块里。如果转发失败则将列表中的对应节点删除，并将故障信息写入数据库中，供网站调用。

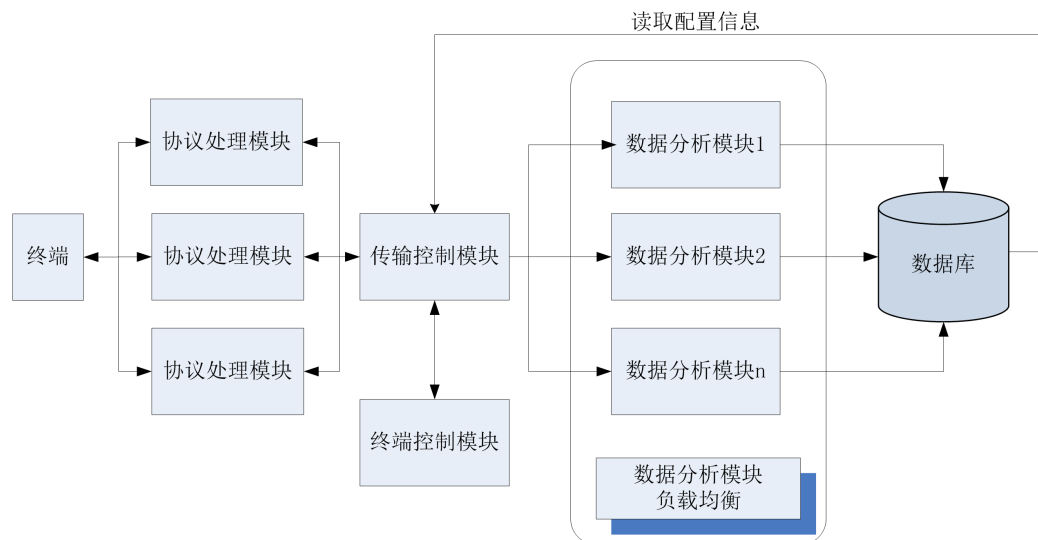


Figure 5. Flow chart of data receiving platform

图 5. 数据接收平台流程图

5.6. 数据分析及发布平台

数据分析平台即对水质进行分析的平台，对水质处理前油分含量、悬浮物含量的统计分析、趋势分析；处理后油分含量、悬浮物含量的统计分析、趋势分析；油分含量、悬浮物含量超限报警；水质变化原因分析，给出相应措施；提供综合分析报告。

数据发布平台即网页开发,采用 Microsoft Visual Studio asp.net 开发。Web 服务程序安装于 web 服务器上,各用户计算机通过浏览器 IE 即可浏览数据和结果。

5.7. 移动终端 APP

开发环境 eclipse 加 android SDK,开发语言 Java。移动终端 APP 完成对现场仪器的报警参数(上限、下限)设置;发送数据读取命令,将读取的数据以图形或数据的方式显示;可进行本地存储,存储方式为 TXT 文本文件,然后导入到服务器。移动终端 APP 可以远程浏览 web 网页,成为移动办公平台。

6. 结论

1) 建立了油分和悬浮物在线同步测试模型,在一套光路系统中同步实现了油分和悬浮物浓度的检测。针对水中不同的物质类型,对其光学特性进行研究,选取最适合的入射光波长,建立悬浮物水下散射法模型及油分荧光模型;研究各参数对测量模型的影响,对测量系统进行最优化设计。考虑到油分对近红外光的吸收和散射作用对悬浮物测量的影响,提出“先荧光后散射”的测量方法,将荧光法测得的油分浓度带入悬浮物测量模型,可以更精准地测量悬浮物浓度。将测量分度值提高到 1 mg/L,重复性误差小于 1%,系统响应时间<0.1 s。

2) 采用嵌入式探头设计,实现了污水水质的实时在线连续测量。探头通过螺纹旋入石油化工管道,采用密封圈保证密封性。该结构不同于现有的采样式和浸入式测量仪器,不需要设置采样旁路,可以实时连续在线测量,也不需要探头浸入水中(浸入式探头一般要求 1 m 水深),结构简单,安装方便。

3) 充分考虑石油化工污水管道工作环境,消除温度、湿度等因素对测量的影响,通过多重措施保证测量精度。在结构上增加探头密封性,在探头内放置干燥剂的槽,防止电路受潮;在硬件方面,设计温度补偿电路和恒温装置;在软件上,提出基于温度补偿的测量优化算法。

参考文献

- [1] 赵世杰,李越,傅强,等. 孤东油田薄层边际油藏特征及挖潜研究[J]. 石油地质与工程, 2021, 35(5): 44-50.
- [2] 郭强之,李强,沈忱,等. 油田采出水成分及处理技术分析[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(11): 33-35.
- [3] 唐洁. 工业废水油分混合悬浮物含量测定方法研究[J]. 清洗世界, 2022, 38(6): 63-65+89.
- [4] 杨增光. 污水油分与悬浮物光学在线检测方法探析[J]. 冶金与材料, 2020, 40(2): 50+52.
- [5] 李宸阳,段发阶,许飞,等. 污水油分与悬浮物光学在线检测方法[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(11): 3431-3436.
- [6] 李精伟. 基于紫外-可见光谱法检测 COD 的关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2020.
- [7] 闫玲,姚毅,昌学年,等. 地表水中油污染的检测技术[J]. 分析试验室, 2009, 28(S1): 299-302.
- [8] 戚浩然. 油田回注污水水质检测及处理方法研究[J]. 化工管理, 2018(4): 50-51.
- [9] 高磊. 油田水质管理信息系统的开发与应用[J]. 数字石油和化工, 2008(5): 45-48.
- [10] 毕毅,高磊,隋林. 油田水质管理信息系统的开发与应用[J]. 石油工业技术监督, 2007(12): 29-31.
- [11] 宋子龙,聂波,巴合提亚尔. 基于 EPDM 的油田注水水质监测管理系统开发与应用[J]. 中国管理信息化, 2015, 18(18): 77-78.
- [12] 孟超. 油田水质监测中 COD 测定方法优化研究[D]: [硕士学位论文]. 东营: 中国石油大学(华东), 2017.
- [13] 杜黎明,滕建强,吴鹏举,等. 油田多参数水质监测技术研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2020(4): 85-88+91.
- [14] 刘星. 油田回注水水质的问题与应对[J]. 化工管理, 2020(14): 213-214.
- [15] 綦声波,尹保安,于敬东. 基于散射法及透射法的浊度检测系统设计[J]. 机电工程, 2019(8): 771-776.
- [16] 赵京东,王立刚. 红外吸收光谱测量中的影响因素与拟合校正[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2006(5): 6-10.
- [17] 柴颖,承海东,白雁飞. 符合国际浊度测定标准的浊度分析仪[J]. 中国仪器仪表, 2007(5): 80-83.

- [18] 许艳鑫, 杨阳, 赵明慧, 等. 水中油浓度在线监测系统的研究和应用[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2018, 35(1): 20-22.
- [19] 许飞. 散射和荧光法油田注水在线检测系统研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2016.