

河道低盐度自动监测系统综述及其设计应用

贲婷华¹, 林 仪², 凌小佳^{3*}, 翟爱龙¹, 杨胜梅², 郝 宁³

(1. 东台市水利局, 江苏 盐城 2240003; 2. 水利部南京水利水电自动化研究所, 江苏 南京 210012
3. 江苏南水科技有限公司, 江苏 南京 210012)

摘要:沿海中部地区往往受到低盐度盐水入侵影响。研究系统的分析了盐度检测常用方法的精度及分辨率,总结了盐度监测系统的核心技术组成以及各模块功能设计要求,简述了东台市河道盐度自动监测系统设计内容。

关键词:低盐度; 内河河道; 盐水入侵; 监测系统

中图分类号:X832 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2019)08-0047-04

Summary and designing application on low – salinity automatic monitoring system in river courses

BEN Tinghua¹, LIN Yi², LING Xiaojia^{3*}, ZHAI Ailong¹, YANG Shengmei², HAO Ning³

(1. Dongtai Water Conservancy Bureau, Yancheng 224000, Jiangsu;
2. Nanjing Automation Institute of Water Resources and Hydrology, Ministry of Water Resources,
Nanjing 210012, Jiangsu; 3. Jiangsu Naiwch Corporation, Nanjing 210012, Jiangsu)

Abstract: The central coastal areas are influenced by low – salinity intrusion frequently. The accuracy and resolution of the common methods of salinity detection was systematically analyzed, the core technical composition of the salinity monitoring system and the functional design requirements of each module was summarized, and the design content of the river channel salinity automatic monitoring system in Dongtai City was briefly described.

Key words: low – salinity; inland river; saltwater intrusion; monitoring system

盐度简单理解就是溶解在水溶液中盐的量,它是由于海水和陆地淡水 2 种水资源因为水动力差异,海水上溯,与淡水相混合,造成盐水入侵的现象。在沿海地区,盐度是水文、水环境的一个重要参数,它直接影响区域内人类的生产生活、农业灌溉以及自然环境^[1]。近年来,临海地区经济发展快速,对淡水资源需求增加,而全球气候变暖使得海平面抬升,沿海地区咸潮入侵不断加剧^[2]。越来越多的学者关注盐水入侵的危害,针对海域以及近海地区的盐度监测技术发展快速。而距海域稍微远一点地区受低盐度影响较深,低盐度精确监测技术还有发展空间。随着科学技术、沿海经济的发

展,对河道盐度的精度要求也越来越高^[3]。

我国水资源丰富,特别是沿海地区,水系更为发达,水质参数测量的工作量大大增加。仅靠传统的人工定时、定点采样监测,不能显示出盐度的实时变化情况^[4]。因此,急需一种自动化采集监测系统,以便连续快速的数据采集、数据传输等,实现对盐度及时有效的监控,避免水环境问题突发状况对生产生活的影响。

1 盐度监测方法

20 世纪初,克纽森团队研究出一种化学滴定法即硝酸银滴定法,结合麦克伽莱表,确定液体盐

收稿日期:2018-10-18

作者简介:贲婷华(1977—),女,本科,主要从事水利信息化研究工作。

通讯作者:凌小佳(1991—),女,硕士,主要从事水处理材料研究工作。

度^[5],此方法比原始的物理测定法精度更高。发展到 20 世纪末叶,电导盐度以及实用盐标的推广使用,使得盐度测量技术发生根本性的变革^[6]。在此基础上,国内外研究人员根据盐溶液的物理化学性质,研究出很多成熟的新技术,比如电导率法、折射率法、比重法、光纤传感、光电法等。近年来,针对海域也研发出微波遥感、拉曼散射遥感等新技术^[7-8]。

1.1 折射率法

折射率是溶液的重要特性参数,直接表现了溶液浓度。折射率测量方法的原理是光束透过装有液体的棱镜时发生偏转,通过偏转角度计算折射率,主要应用于盐度计设计。主要分为 3 种形式:测量光线透过时,样品液体与棱镜面的临界角;测量光线透过三角形液体池的最小偏转角;测量光线透过 V 形棱镜槽液体时的偏转角^[9]。随着科学技术的发展,研究人员也在此技术上不断改进,折射率也不仅仅只用于光线。吴英才^[10]利用表面等离子共振技术,克服温度的影响,根据折射率原理测量盐度。冯国红^[11]等人利用菲涅耳公式推导出光纤信号在水中的折射率关系,并构建了盐度检测模型,最大检测误差为 0.37%。日本 AATGO 公司开发生产的折射计和折射仪,对盐度的测量精确度可达到 1~2%。

1.2 电导率法

电导率是电解质溶液的固有特性之一,直接反映了溶液中的离子浓度。不同盐度的溶液具有不同的导电能力,根据这一原理研究出电导率法,建立了盐度与电导率之间的关系。根据此原理可分为电极式、感应式 2 种盐度测量方法^[9]。电极式是利用电极(≥ 2 个)结合恒温控制设备,直接测量液体的电导率,但是此方法存在电导极化的问题,一般采用交流电源作为电导激励电源以防止出现此现象。感应式则是利用电导池内外的单匝回路将两个环形变压器耦合,由于耦合程度与电导率成比例,利用电路自动补偿并结合此原理测量水样盐度。应用最广泛的是美国海鸟公司的温盐深仪,测量范围为 0~70 ms/cm,精度可达 ± 0.002 ,响应时间 50 ms。

1.3 微波遥感技术

遥感作为一种空间探测技术,随着航天技术不断发展已广泛应用于水文、气象、地质地理、环境等领域。微波遥感技术是在遥感技术的基础上,利用物体的差异性波谱特性,对不同的物体进行识别。

由于盐度变化会改变海水的介电常数,使得海面辐射亮温发生变化,而海水的微波辐射穿透能力较弱,利用微波辐射测量海水亮温,通过反演计算海水盐度^[5]。2009 年欧洲空间局发射的土壤湿度和海洋盐度卫星,利用搭载的微波辐射计反演海面盐度,大部门海域精度可达 0.2 psu^[12]。2011 年 NASA 发射的 Aquarius/SAC-D 卫星可获得月平均盐度数据精度 0.2 psu^[13]。目前我国微波遥感技术尚未进入到卫星测量阶段,大量选用机载试验,利用高灵敏度波段微波辐射计,盐度精度可优于 0.2 psu。863 项目也正支持双频波段 FPIR 盐度计的研制。此方法可以全天时、全天候、大面积的定量测量,但是只能测算海面表层盐度。

1.4 光纤传感技术

传感技术是实现自动化监测和控制的基础,它的探测原理分为 2 种:一种是物性型传感器,由于外界环境如压力、电磁场、热等因素的变化,改变了光导纤维传输特性,通过测量光导纤维的光相位、波长、频率等波普特征参数变化来得知参数的变化;另一种是结构型传感器,将其作为传输通道,连接敏感元件^[14]。光纤传感技术由于不受电磁干扰、使用寿命长、耐腐蚀、可靠性高等优点发展迅速。目前用于盐度监测的光纤传感方法原理主要分为折射率和敏感材料两种。折射率测量法又可以分为裸露光纤检测法、基于 PSD 检测法和表面等离子共振检测法^[12]。

裸露光纤检测法是利用光纤直接接触溶液,测量溶液光强或波长,通过关系式计算溶液浓度。徐贲^[15]等人在两段普通单模光纤(SMF28)之间熔接一段细芯单模光纤(TCSMF),得到盐水浓度分辨率为 $9.17 \times 10^{-4}‰$,比波长解调法提高了近 3 个数量级。孙慧慧^[16]制备出具有双开口微腔结构的光纤内马赫泽德干涉仪,温度灵敏度达到 0.035 nm/°C,折射率灵敏度达到 -13055.16 nm/RIU。此方法由于光纤裸露直接接触液体,容易受到腐蚀,在表面形成沉积物,影响测量精度。

基于 PSD 盐度检测法,赵勇^[17]提出的一种基于折射率盐度检测原理,结合敏感元件,测量光线偏移角度,实现对盐度的精确快速测量。该方法灵敏度高,系统分辨率达到 0.012‰,但存在结构复杂、测量条件要求高等缺陷。

表面等离子共振(SPR)检测法是利用金属和电介质交界面的等离子在光作用下产生的谐振现象的原理,设定 SPR 条件为:复色光入射,固定入射

角,记录反射光谱,得到反射率随光波入射光波长的关系,找出共振波长。共振波长还与温度有关,Grunwald B^[18]等人设计了一种具有自参考功能的SPR传感结构,通过测量共振波长差计算盐度,降低温度的影响。邢硕云^[19]等人设计的此方法检测盐度谐振波长分辨率可以达到0.15 nm,折射率(RI)检测偏差小于0.002,稳定性好。

间接测量法是在光纤外层涂覆一层材料,吸收一定的盐水后材料的物理性质改变,使得传输光场改变。涂层材料除了传统的水凝胶,很多学者也提出聚合物材料如聚酰亚胺。赵志文^[20]提出用聚酰亚胺涂层在光纤光栅盐度传感器上,灵敏度可达到17.5 pm/(mol/L)。

2 盐度监控系统

监测系统一般由3个部分组成:数据采集,数据传输,数据接收处理。数据采集端属于硬件设施,装置对盐度测量值需要具有一定的精度和稳定性。数据传输分为短距离和长距离2种。短距离无线通信技术包括无线局域网WIFI、蓝牙等;长距离通信技术即无线通讯网络,包括移动/联通/电信通信网络或GPRS技术等。数据接收处理端也就是监控数据处理信息平台,具有数据接收、汇总管理、入库、查询统计和信息可视化等功能。盐度监测系统设计核心技术主要包括盐度检测的传感器技术、模数转换模块、连接水下监测终端与陆上监控中心的数据通信链路技术以及系统监测数据的存储与查询技术^[21]。李波^[22]提出了盐度监测系统的总体架构。高国栋^[23]等人以MSC1210为核心的数据采集端,结合GPRS技术,提高了系统的实时性。

3 东台市河道低盐度自动监测系统设计

东台市地处江苏省沿海中部,东临黄海,拥有85 km海岸线。受自然因素影响,海水上溯,沿海中部地区河道产生低盐度入侵现象。针对盐度入侵的危害,现设计一套低盐度自动监测系统。盐度检测选用JF-Salt-485在线水质盐度传感器,采用温度自动补偿方式,量程为0~60 mg/L,精度达2% FS。

系统设计依据“可靠、实用、先进、开放”的原则,以系统优良为目标,采用可靠、先进和实用的技术,使系统的整体可靠性强,技术先进,性能优良,性价比高。系统由河道盐度自动监测站与中心站

平台组成,实现盐度实时在线监测,将监测数据通过GPRS网络传送到中心站平台,并可根据监控中心信息管理系统下传的指令集(包括监测频次更改、监测过程启闭、数据提取等),解析后实现对应功能。

盐度自动监测站实现盐度参数的自动分析、处理、采集、控制等功能,可按功能分为盐度自动监测子系统和数据传输子系统。盐度自动监测子系统由取水单元、盐度监测传感器、系统控制单元、现场应用软件、辅助单元组成,数据传输子系统由电源系统和通讯设备组成,使用光纤网络或者GPRS无线网络,自动监测站中所有数据均通过通讯设备传输到监控中心。中心站平台担负系统信息的收集、汇总、处理、入库和应用等。

4 结论

盐水入侵是沿海地区水文、水环境重要参数之一。实现对内河河口盐度精确监测,对减轻咸潮危害、合理管理淡水资源以及保障沿海地区经济发展具有重要意义。河道低盐度自动监测系统在现有近海地区盐度自动监测系统的基础上优化,选择量程趋于零、敏感度高、可靠性高的传感器,设计可靠、实用、稳定性好、实时性好的监测系统。

参考文献:

- [1] 魏雪静. 盐淡水交汇水域潮汐水流特性的三维数值模拟[D]. 太原:太原理工大学, 2017.
- [2] 丁晓英,余顺超. 基于遥感的珠江口表层盐度监测研究[J]. 遥感信息, 2014, (5):96-100.
- [3] 刘赛. 高精度电极式海水电导盐度计设计与开发[D]. 青岛:中国海洋大学, 2015.
- [4] 张文孝,杨君德,于功志,等. 基于GPRS的海水温度和盐度自动监测系统[J]. 海洋技术学报, 2006, 25(1):28-30.
- [5] 赵志文. 光纤光栅盐度传感器[D]. 大连:大连理工大学, 2011.
- [6] 刘赛. 高精度电极式海水电导盐度计设计与开发[D]. 青岛:中国海洋大学, 2015.
- [7] 陈小兰,周振柱,韩作振,等. 低温拉曼光谱分析流体包裹体盐度的条件约束[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(8):2446-2451.
- [8] 严明,严卫,王迎强,等. 基于微波遥感的海表面盐度探测机制研究进展[J]. 遥感信息, 2015, (2):17-25.
- [9] 季峰. 基于短距离高速无线通信盐度监测系统的设计

- 研究[D]. 镇江:江苏大学, 2008.
- [10] 吴英才, 符运良, 袁一方. 基于表面等离子共振原理的一种新型盐度光学传感器[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8):818-821.
- [11] 冯国红, 裘祖荣, 阎洁, 等. 光纤-电容液滴分析技术用于水的盐度检测[J]. 光电子·激光, 2013, (5):975-981.
- [12] 赵勇, 胡开博, 陈世哲, 等. 海水盐度检测技术的最新进展[J]. 光电工程, 2008, 35(11):38-44.
- [13] Dinnat E, Boutin J, Vine D M L, et al. Inter-Comparison of Aquarius and SMOS Calibration and Impact on Sea Surface Salinity Products[J]. 2014.
- [14] 陈阳, 陈媛晨, 沈翔, 等. 面向海洋传感与探测的光纤传感器研究进展[J]. 海洋技术学报, 2017, 36(5):1-10.
- [15] 徐贲, 李建庆, 李裔, 等. 应用于海水盐度测量的单模异芯结构光纤折射率传感器[J]. 光电子·激光, 2012, (5):839-843.
- [16] 孙慧慧. 光纤内马赫泽德干涉微腔的飞秒激光制备及温盐传感特性[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2015.
- [17] Zhao Y, Liao Y, Zhang B, et al. Monitoring technology of salinity in water with optical fiber sensor[J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(5):1334-1338.
- [18] Grunwald B, Holst G A. Fiber optic microsensor for refractive index and salinity based on SPR[C]. 1999.
- [19] 邢砾云, 郑妍, 孙玉锋, 等. 基于光纤 SPR 传感器水中盐度的测定(英文)[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(4):1290-1296.
- [20] 赵志文. 光纤光栅盐度传感器[D]. 大连:大连理工大学, 2011.
- [21] 王文龙. 基于 GPRS 的环境参数监测系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2012.
- [22] 李波. 基于 GPS 和 GPRS 的海水盐度监测系统[J]. 计算机与现代化, 2008, (6):118-120.
- [23] 高国栋, 杨君德, 于功志, 等. 基于 GPRS 的海水盐度自动监测系统[J]. 渔业现代化, 2005, (5):20-21.
-