

盐湖卤水参数自动观测系统中的传感器

祁永唐 李长夫

(中国科学院盐湖研究所, 西宁 810008)

林向真 明代都

(中国科学院声学研究所, 北京 100080)

摘 要 研制了检测盐湖和盐田卤水温度、密度和水位的传感器,并建立了盐湖高浓度卤水中钾离子含量的直接自动测定方法.为了使传感器在青藏高原盐湖的恶劣环境中长期稳定工作,并防止探头结盐与腐蚀,采取了一系列技术措施.这些传感器用于察尔汗盐湖卤水动态自动观测系统中,取得了满意的效果.

关键词 盐湖卤水 自动观测 传感器

在盐湖晶间卤水开采过程中和盐田日晒工艺控制中,为了掌握卤水参数动态变化情况,需要及时对采区内和盐田中若干观测点的卤水温度、密度、水位等参数及其主要化学成分进行测量和分析.为了实现大范围多观测点多参数的同步、快速、准确、连续测量,我们设计了微型计算机盐湖卤水动态自动观测系统.各种卤水参数传感器在系统中起着非常重要的作用.

盐湖卤水是高浓度的盐溶液.传感器探头在卤水中长期使用会结盐而影响测量,甚至会被腐蚀而损坏.此外,青藏高原盐湖地区气压低,温差大,冬季严寒,各种传感器必须能在这样的环境中长期稳定工作.这些都给卤水参数传感器的研制带来很多困难,而对高浓度盐湖卤水中某种离子的含量进行现场直接测定,则是国内外尚未解决的一个难题.针对这些问题,我们在各种传感器的研制中采取了一系列技术措施,取得了较好的效果.

卤水温度传感器

测量温度的传感器有很多种.最常用的有热电偶、热敏电阻和半导体温度传感器^[1].我们经过对比试验,选用半导体集成感温元件 AD590^[2].它体积小,便于密封,且环境适应性强,适合于盐湖卤水中使用.使用 AD590 不需要设计精密电桥,对供电电压稳定性要求不高,所以很适合于野外工作.它是一个两端元件,在其两端加上4~30V的电压时,该元件为一温控恒流源.在-50~+150℃温度范围内,输出电流与温度有很好的线性关系.由于它是电流输出,所以具有良好的抗干扰性能,适用于远距离测试和遥测系统.

在传感器线性范围内,其输出电流与绝对温度值成正比.

$$I = K_T \cdot T_K \quad (1)$$

其中 T_K 为绝对温度, $K_T = 1\mu A/K$ 为标度因子.

AD590 输出的电流信号经过如图 1 所示电路转换和放大, 输出一个电压信号 V_c 。

为使传感器输出信号与摄氏温度值成正比, 电路中设置了一个分流支路(R_1)。该支路由标准电源 AD589 提供一个 1.2V 的标准电压。(图中 $U_1=1.2V$, $U_2=0$ 为虚地。)调节精密电位器 R_1 ,

使支路电流 $I_1=273.15\mu A$ 。

运算放大器 911 的输出电流

$$I_2 = I - I_1 = K_T \cdot T_K - I_1 \quad (2)$$

因为 $K_T=1\mu A/K$, 所以在数值上

$$I_2 = T_K - 273.15(\mu A) \quad (3)$$

摄氏温度值 $T_c = T_K - 273.15$, 所以 I_2 的值为

$$I_2 = T_c(\mu A) \quad (4)$$

输出电压的值

$$V_c = I_2 R_4 = T_c(\mu A) \cdot 8(k\Omega) = 8T_c(mV) \quad (5)$$

由此可以得到, 在理论上传感器的温度—

电压转换率为 $8mV/^\circ C$ 。

实际上, 由于 AD590 元件本身的误差, 加上电路元件的温度系数及运算放大器的漂移等因素的影响, 测量结果必然有一定的误差。我们对每个传感器都在标准温度场下做了标定, 并将标定结果输入计算机, 做出相应的标准曲线, 以此为依据进行数据处理, 从而使测量精度得到提高。

卤水密度传感器

测量液体的密度可以采用浮力式、重力式、压差式、振动式和超声波式等多种传感器^[1]。根据盐湖卤水测量的要求, 我们选用了沉浸式浮力传感器。这种传感器由玻璃或陶瓷沉子和高精度电阻应变式力传感器组成, 测量精度和分辨率高, 环境适应能力强^[3]。测量中只需将光滑的玻璃沉子浸入卤水中, 力传感器部分不接触卤水, 所以不会结盐或被腐蚀。玻璃沉子上不易结盐。而且我们还设计了微机控制的振动除结盐电路, 在每次测量前清除沉子表面的微量结盐。该电路还起自动卸荷的作用, 使沉子的作用力只在测量的瞬间加在力传感器上, 而在平时传感器不受力。从而防止了电阻应变片长期受力而产生疲劳, 延长了传感器的寿命。

电阻应变式力传感器的原理如下。在一个弹簧片上下对称粘贴着四片电阻应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 , 它们联接成一个桥路。弹簧片不受应力时, $R_1=R_2=R_3=R_4$, 桥路输出为 0。当弹簧片受力发生形变时, 粘贴其上的电阻应变片分别被拉伸或压缩, 引起电阻的变化。图中, 当弹簧片受到向下的力时, 贴于弹簧片上面的应变片 R_1 和 R_3 被拉伸而阻值增大的变化量 ΔR 等于贴于弹簧片下面的应变片 R_2 和 R_4 被压缩而阻值减小的变化量 $\Delta R'$ 。这是由制造工艺保证的。此时,

$$U_0 = \frac{E}{R} \cdot 2\Delta R \quad (6)$$

$$\Delta R = \frac{RU_0}{2E} \quad (7)$$

由于 ΔR 与弹簧片所受的力 f 成正比

$$\Delta R = Kf \quad (8)$$

$$f = \frac{\Delta R}{K} = \frac{R}{2KE} U_0 = K' U_0 \quad (9)$$

式中 $K' = \frac{R}{2KE}$ 为一常数。

设沉子的重量为 G ，它在液体中所受浮力为 F ，则弹簧片受到的拉力

$$f = G - F \quad (10)$$

设液体密度为 D ，沉子的体积为 V ，则

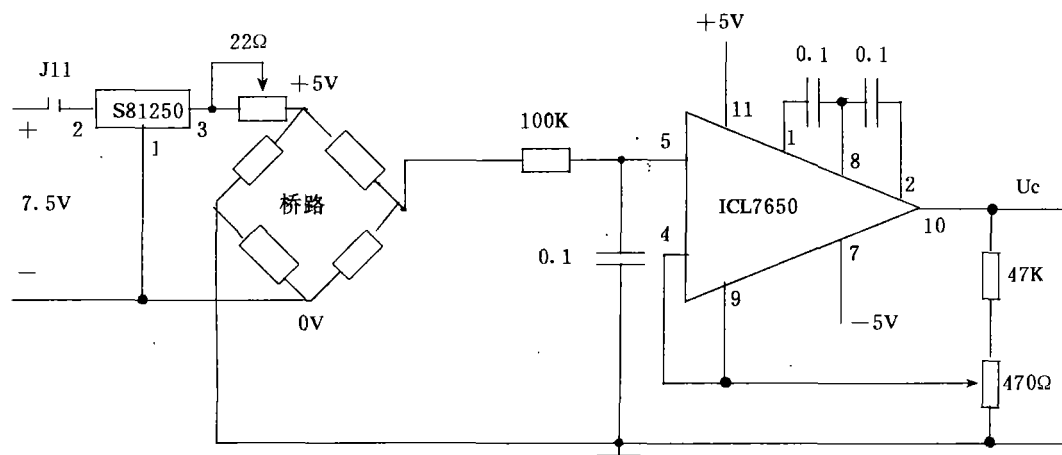
$$D = F/V = (G - f)/V = (G - K' U_0)/V \quad (11)$$

式中除 U_0 外均为常数，故(11)式可改写为

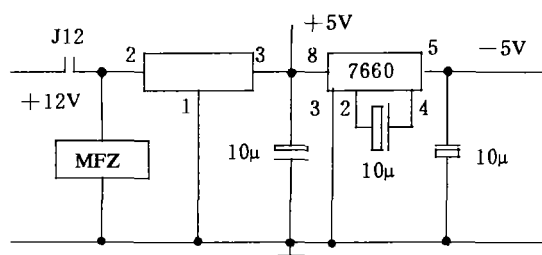
$$D = -a U_0 + b \quad (12)$$

这里 a 和 b 为常数。其值可选择测量范围内两种已知密度的液体来标定。传感器的电路原理图见图 2。

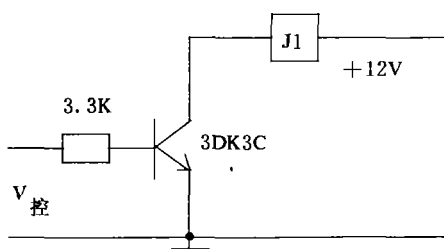
力传感器的桥路由单独一组蓄电池(7.5V)经 S81250 稳压后提供 +5V 电源，同主电源隔离，以保证测量精度和稳定性。桥路输出信号采用 CMOS 调制稳零运算放大器 ICL7650 进行放大。它具有高稳定性、高灵敏度、耐低温、低功耗、低工作电压等特点，特别适合于野外仪器中使用。



(a)



(b)



(c)

图2 密度传感器电路原理图

图 2(b)是运算放大器供电电源转换电路. 图 2(c)是电源供电控制电路. 在野外自动观测系统中, 由于没有交流电源, 全部设备采用太阳能蓄电池组供电. 为了节省电能, 除了选择低功耗的 CMOS 元件外, 所有传感器和测量仪器都只在每 4 小时一次测量和数据采集时才接通电源. 这一功能由微机输出控制信号 $V_{\text{控}}$ 来实现. 当程序判断数据采集时间到时, 输出控制信号 $V_{\text{控}}$ 为高电平, 继电器 J_1 吸合, J_{11} 和 J_{12} 两个常开触点闭合, 桥路和运算放大器通电工作. 当测量和数据采集完成后, $V_{\text{控}}$ 恢复为低电平, 传感器和测量电路都断电.

图 2(b)中的 MFZ 是为实现传感器自动卸荷而设置的电磁铁. 它的通断电也受微机控制. 当传感器不工作时, J_{11} 断开, MFZ 释放, 传感器的沉子被两个支撑弹簧托起, 应变片不受力. 而当传感器工作时, J_{11} 闭合, MFZ 通电, 电磁铁吸合, 压缩支撑弹簧, 使沉子的力完全作用于力传感器上. 这样就使应变片只在测量和数据采集的很短时间内受力, 而在平时则处于不受力的状态. 从而防止了应变片长期受力引起疲劳, 延长了传感器的寿命.

电磁铁 MFZ 的另一个作用是清除沉子上的结盐. 在传感器开始工作之前, 微机输出几个脉冲信号, 使继电器 J_1 频繁通断电, 使沉子上下振动多次, 从而清除掉两次测量间隔时间内沉积在沉子表面的微量结盐. 试验证明, 这是一种简单而有效的除结盐方法.

卤水水位传感器—非接触式精密超声液位计

测量液位的传感器也有很多种. 最常用的有浮力式、差压式、超声波式、电容式和光电式等^[1]. 为防止在盐湖卤水测量中探头结盐与腐蚀, 并提高测量精度, 我们研制了非接触式精密超声波液位计. 超声波液位计是超声测距技术的应用之一. 它有非接触的特点, 用于盐湖卤水液位测量, 是一种较好的手段. 本仪器采用超声脉冲回波法. 发射换能器发出超声脉冲, 通过媒质(空气)传到液面, 经反射后再通过媒质返回接收换能器.

只要测出超声脉冲从发射到接收所需要的时间 t , 根据媒质中的声速 C 就可以计算出从换能器到液面之间的距离 L , 从而确定液位.

$$L = ct/2 \quad (13)$$

声速 C 与媒质的温度、湿度、压力等环境因素有关. 为了消除环境因素的影响, 提高测量精度, 采用了测距和测声速的双重结构. 先发射超声脉冲到已知距离 l . 从发射到接收的时间为 t_1 , 计算出

$$c = 2l/t_1 \quad (14)$$

再发射超声脉冲到被测液面. 从发射到接收的时间为 t . 则根据(13)和(14)式,

$$L = lt/t_1 \quad (15)$$

其中 l 为已知. t 和 t_1 可以通过专门设计的电子线路精确测量(线路图略). 所以用本仪器测量液位可以达到很高的精度. 以上测量和计算过程, 均由仪器内的单片机控制. 仪器还利用单片机的智能判断技术, 进一步提高了测量精度和可靠性.

卤水中钾含量的直接自动监测

对于以钾资源开采为主的盐湖, 及时掌握采卤过程中和盐田日晒过程中钾含量的动态变化情况是非常重要的. 但由于盐湖卤水浓度很高, 这就给现场直接测定其离子含量造成很大困

难.国内外在盐湖开采和盐田日晒中仍然普遍采用人工取样,实验室分析的方法.

利用钾的天然同位素 ^{40}K 的放射性,可以直接测量液体或固体含钾样品中钾的含量^[4].文献报导,国外在钾盐生产过程中已采用放射性方法对料浆和粉末固体物料中的钾含量进行在线连续监测,取得了满意的结果^[5,6].

^{40}K 在衰变过程中能放射出具有连续光谱的,最大能量为 $E(\beta)=1.33\text{MeV}$ 的 β 粒子和能量为 $E(\gamma)=1.46\text{MeV}$ 的 γ 量子.探测 β 或 γ 射线都能作为测定样品中钾含量的方法(β 计数法和 γ 谱法).由于 γ 射线穿透力强,所以用 γ 谱法测定不均匀固体物料中的钾的效果比 β 计数法为好.但 γ 谱法容易受到其它放射性物质的 γ 射线和宇宙射线等干扰,故须采用可靠的铅屏蔽.这对于盐湖野外现场应用带来很大困难. β 射线穿透力弱, ^{40}K 的 β 辐射的最大射程为 $0.6\text{g}/\text{cm}^2$.用 β 计数法只能测量计数管表面几个 mm 距离范围内的样品中的钾,故比较适合于液体样品的测量.在盐湖和盐田卤水中采用 β 计数法测钾同 γ 谱法相比,有以下优点:

(1) ^{40}K 的 β 辐射比活性较强.平均每克钾在1分钟内放射出1650个 β 粒子和180个 γ 量子.所以测量钾的 β 辐射比 γ 辐射灵敏得多.

(2)采用盖革计数管,对 β 粒子的探测效率很高($\approx 100\%$),而对 γ 辐射和宇宙射线的探测效率很低($\approx 1\%$).所以抗干扰性能较好.

(3)当样品层厚度大于 β 射线的最大射程时,计数率与样品的体积无关,仅是样品中钾的百分含量的函数.因而该方法最适合于难以限定样品体积的盐湖和盐田现场应用.

因此我们选用了 β 计数法.

我们采用J306 β 计数管来计量盐湖卤水中钾的 β 辐射.为了提高灵敏度,采用多支计数管并联工作的方式.为了能在卤水中长期使用,对每支计数管都采取了特别的密封保护措施.计数管输出的计数脉冲,先经过射极跟随器进行电流放大,再经传输电缆送到自动定标器的输出端.自动定标器对脉冲进行整形、放大和单道分析,到定标门把脉冲记录下来,并由数码管显示或打印机打印输出.

在自动观测系统中,定标器的输出信号经由专门设计的接口电路输入观测站的单板计算机.测钾系统的工作过程由单板机通过程序实行自动控制.程序设定在每4小时一次数据采集之前20分钟将测钾仪器通电,先预热10分钟,然后计数10分钟.计数结束后,单板机便将计数值采集存贮起来.随后再对其它参数进行测量和数据采集.中心站可随时调取任一观测站的测量数据.这样就实现了动态自动监测^[7].

对每个计数管探头都用KCl系列标准溶液做出标准曲线.计算机据此对未知溶液和实际的卤水测定数据进行处理.用本方法在室内和野外做了一系列试验,都取得了满意的结果^[8].

结 论

根据盐湖卤水参数检测的特殊要求和技术难点,研制了卤水温度、密度和水位传感器,并建立了卤水中钾含量的直接自动监测方法.各种传感器由微型机控制进行定时或即时测量,实现了卤水参数的动态自动观测.

卤水动态自动观测系统已在察尔汗盐湖首采区实际运行两年多时间.各种传感器使用效果良好.但在运行中也发现了一些问题,需要在技术上进一步改进完善.另外,为了进一步改善传感器的环境适应能力,提高信号噪声比以及实现信号的判别和预处理,各种传感器的智能化也势在必行.这些工作都正在进行中.

参 考 文 献

- 1 袁希光主编,传感器技术手册,北京:国防工业出版社,1986
- 2 王惠秋等,电测与仪表,1985,(5):34-37
- 3 王云章,自动化仪表,1985,(5):29-32
- 4 Ю. В. 莫拉切夫斯基, E. M. 彼得洛娃主编,《盐水和盐类的分析方法》,张进棠译,1975
- 5 Frank, G. G. et al., Potash '83, Canada, 559-564
- 6 曹兆汉译,1991年第二次国际钾盐工业技术会议,盐湖研究,1991,(4):55-59
- 7 祁永唐等,海湖盐与化工,1990,19(4):48-51
- 8 马育华等,海湖盐与化工,1989,18(2):49-51

The Transducers for Measurement of the Parameters of Salt Lake Brine

Qi Yongtang and Li Changfu

(*Institute of Salt Lakes, Academia Sinica, Xining 810008*)

Lin Xiangzhen and Ming Daidu

(*Institute of Acoustics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

ABSTRACT

The transducers measuring the temperature, density and level of the brine in salt lakes and solar pondings have been developed. And a direct and automatic method has been founded to measure the concentration of potassium ions in the high—density brine. In order to keep the transducers working long and steadily in the adverse environment in the Qing hai-Tibet plateau and to prevent the transducers from being corroded and crystallizing of salt, a series of technical measures are taken. Using these transducers in the automatic observing system for the dynamic states of the brine in Qarhan salt lake, good results have been achieved.

Keywords Brine, Transducer, Automatic observing system