

海底油气管道保护电位检测装置的研究

郭津年 徐 斌 卢阿平 曾仁森 吴佳林

(中国科学院福建物质结构研究所二部, 厦门)

收稿日期 1989年1月12日

关键词 海底管道, 保护电位, 水声遥测

提要 本文介绍了利用水声遥测遥控技术建立起来的海底管道阴极保护电位检测系统。着重说明检测装置的结构和原理, 建立了保护电位的 PPM-PTC 水声信息传输方式, 系统由水上部分和水下部分组成, 电位测量采用双参比电极体系 (Ag/AgCl 和 Zn 参比电极)。系统能进行远距离(水深 200 m)、适时、可靠的电位测量。仪器结构简单, 抗干扰能力强, 测量准确。

海水是强腐蚀介质, 在海底的油、气管道必须采取阴极保护措施以抑制腐蚀的发生。阴极保护的程度和效果如何, 必须通过电位的检测来确定。目前主要采用的测量方法有: (1) 直接测量法^[6,7], 即带电缆或不带电缆的电极探头由潜水员带到海底管道或被测结构物上直接测量, 用电缆通到海面船上或平台上, 或在探测头上装有电位表或记录装置直接读数 and 记录。这种方法广泛应用于浅海几十米水深的海区。(2) 自航式潜水器或拖曳式装置沿管道行走, 测定管道的电位或电场梯度^[5,6]。这种方法技术复杂、定位困难、价格昂贵。(3) 采用水声遥测技术进行海底管道电位测量^[8,9,11]。这种方法不需要潜水员或潜水器、不需电缆, 适用于深水检测, 不受恶劣的海洋环境限制, 是近几年发展起来的新检测技术。

本研究是根据我国南海深水区石油开发的需要, 首先采用水声遥测遥控技术研制的海底管道保护电位遥测装置, 系统采用独特的 PPM-PTC 方式进行水下信息传输, 建立保护电位测量的水声遥测方法, 为海洋石油工程设施安全监测和检测提供远距离、适时、可靠的测

量装置。

I. 仪器的结构和工作原理

仪器由水上机与水下机两部分组成(见图 1, 2)。水上机电路及显示仪器安装在船上或平台上。水上机换能器安装在船底或放置水中, 由电缆与水上仪器相连。水上机仪器部分由询问与测量指令编码器、信号发射与接收器、信息检测与处理器及数字显示装置等部分组成。水下机包括信号发射与接收器, 测量与询问指令

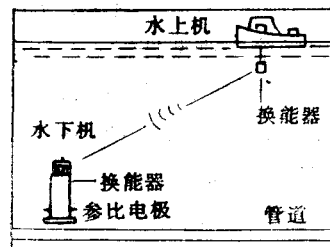


图 1 系统工作原理

Fig. 1 Schematic diagram of survey system

1) D. J Garrood and N. D Miller, 1982. Acoustic Telemetry for Underwater Control. OCEANS 82 CONFERENCE RECORD, 111-114.

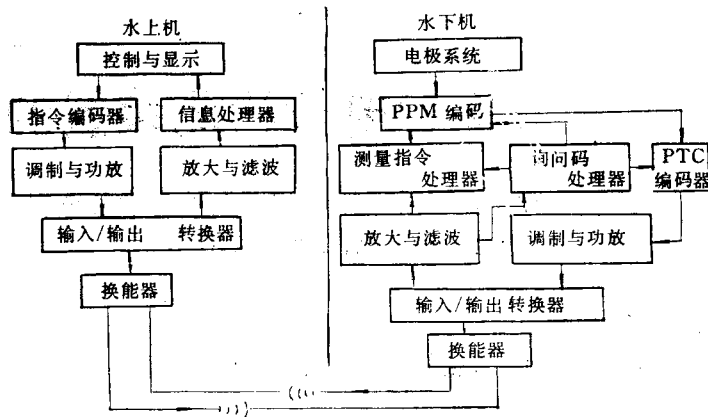


图2 遥测系统方框

Fig. 2 Block diagram of the system principle

处理器，电位检测与编码器及电源装在水密的金属筒体内，换能器装在筒体顶上。筒体下部装有两个参比电极，即 Ag/AgCl 电极和 Zn 合金电极。前者稳定性好、精度高，在海水和海泥中电位漂移小于 5 mV，后者稳定性较差，但寿命长，电位漂移小于 ± 20 mV，满足检测精度的要求，两者可互为校正，筒体安装在管线上，使之与管线处于等电位。

系统的两部分采用询问与应答方式进行工作，询问指令由水上机发出，每台水下机只对应一特殊的编号指令。水上机可以控制多台水下机实现多点遥测，编码容量为 80 个编号，根据需要可以扩展。

系统的工作原理 水上机处于工作状态时，检测人员先给控制部件输入一指令，控制器按指令要求使编码器输出对应的询问或测量指令码，此码送入调制器变成 15 kHz 的载频，经放大后由换能器转换成声信号发射出去。在接收状态时，水上机换能器接收到的信号加噪声，经放大、滤波、信号处理，把各种噪声及干扰除去，最后检测出的信号经计算或还原后在显示器上显示出来，可显示水上机与水下机之间的距离或测量到的电位值。根据两机距离，把船驶到最佳接收位置进行电位检测。

为了减少耗电，提高电源寿命，水下机平时

仅能进行信号接收与处理部分工作，其值班电流一般 ≤ 1 mA。当水下机换能器把接收到的声信号转换成电位信号，经放大、滤波，由处理器判断出是本水下机特定编号时，一方面输出信号与指令检测处理电路一起控制测量电路工作；另一方面打开编码器及发射器电源，并发射一个应答信号给水上机。若水下机接收到询问信号后又接收到测量指令，则打开测量电路进行电位测量，并把所测的电位经编码器编成 PPM-PTC 码，经调制、功放后由换能器发射出去。

为了提高仪器的可靠性和抗干扰能力，尽可能降低水下机耗电，水下机先应答后才进行测量。

II. 主要电路的实现

II. 1. 电位测量与信息编码发射器

图 3 为其原理和波形。由参比电极测量的电位值 (a) 与积分器产生的高精度线性积分信号 (b)，同时送入比较器进行比较，当二者的电位幅值相等时，比较器就有输出 (c)，其输出信号一方面经控制电路促使积分电压返回起始点，则积分时间与所测电位值成正比；另一方面将此时间与电压成正比的 PPM 数字码送入 PTC 编码器，从而形成了 PPM-PTC 这一

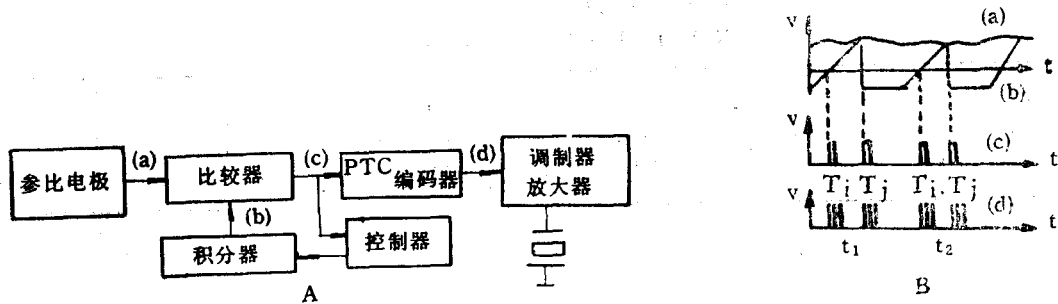


图3 电位测量与信息编码发射器

A. 原理方框图; B. 波形图

Fig. 3 Block diagram (A) and wave-form (B) of the potential measurement and information encoding transducer

独特的编码输出 (d), 经调制、功放后由换能器发射。

II. 2. 信息检测及处理器

海洋声信道存在的环境噪声(风浪、生物、船舶、工业噪声等)使输出信道的声信号发生畸变, 对信号产生严重干扰。设信道的输出信号的集合 $x(t)$, 则 $x(t)$ 等于有用信号 $s(t)$ 加噪声 $n(t)$, 即:

$$x(t) = s(t) + n(t)$$

$s(t)$ 是周期脉冲信号 (PPM-PTC 编码信号), $n(t)$ 是随机噪声。根据文献^[1,2]的分析, 本系统采用时间自相关累积处理方式信息进行检测处理。实验证明它较好地解决了信道的复杂性和水下装置要求简单的矛盾, 满足系统测量精度的要求。

图4为检测与处理器原理及波形图, 由换能器接收到的信号加噪声, 经放大、滤波和检波抑制了通带外和一定门限下的噪声。其输出(a)被送入鉴幅整形器进行幅度鉴别和整形, 鉴幅器为一限幅放大器, 它只对超过一定门限的信号进行放大, 其输出(b)为幅度归一的方波脉冲; (b)送入鉴宽器进行脉冲宽度鉴别, 脉宽鉴别器只让脉冲宽度为一定值 T 的脉冲通过, 而除去大于或小于 T 值的干扰脉冲。它是一个简单而有效的反宽窄措施。使信噪比进一步提高。经前面几级处理后的输出信号(c)分两路, 一路直接送入相乘器, 一路延时一个脉

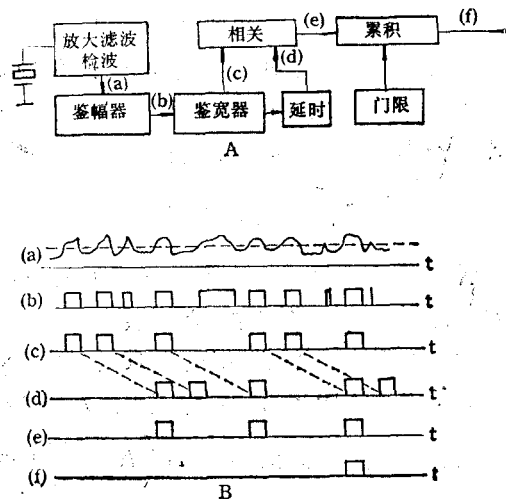


图4 信息检测与处理器

A. 原理方框图; B. 波形

Fig. 4 Block diagram (A) and wave-form (B) of the information detecting and processing equipment

冲周期 T_i 或 T_j 后再送入相乘器进行相关处理, 相乘器的输出 (e) 再送入设有一定门限值的累积器进行判决处理。在规定的时间内, 累积器累积达到门限值 (E), 就判决是“1”, 其输出 (f) 驱动执行下一步功能。否则累积器自动清“0”, 重新判决。

门限值 E 的确定则根据系统对误码率和检测率的要求。下面对系统误码率进行估算。

相关器的虚警概率 P_f 的分布服从二项式分布^[1]:

表1 不同参数 E 的 P_f 值 ($P = 0.08, m = 50$)Tab. 1 The P_f of different E

E	4	6	8	10	12	14	16	18
P_f	0.57	0.21	0.44×10^{-1}	0.56×10^{-2}	0.47×10^{-3}	0.26×10^{-4}	0.98×10^{-6}	0.26×10^{-7}

$$P_f = \sum_{K=E}^m C_m^K P^K (1-P)^{m-K}$$

只要在判决时间 t 内 K 处于 $E \leq K < m$, 系统就判决为是。 m 为噪声方波数, P 为某个噪声方波能通过相关器形成方波输出的概率。

设 PPM-PTC 脉冲列平均周期 $T = 36$ ms, 取延时器为三级延时, 则噪声平均周期 $T' \geq 12$ ms (在延时时间内, 噪声无法进入), 若脉宽 $\tau = 1$ ms, 则 P 最大值为:

$$P = \frac{\tau}{T'} = \frac{1}{12} \approx 0.08$$

P_f 可用计算机运算, 表 1 列出 $P = 0.08, m = 50$ 的条件下, 不同参数 E 的 P_f 值。

管线每点电位检测时每次测 10 个数据平均, 因此 P_f 取 10^{-3} 为宜。由表得: $E = 12$ 。门限 E 近似等于信号脉冲数 $N \left(N = \frac{m}{3} \right)$ 的 80%, 适合系统工作要求。

每得到一个数据需要 2 次判断 (即对 PPM-PTC 前后二脉冲列进行两次单独判断)。所以每个数据错误概率 P_{Df} 为:

$$P_{Df} = C_2^1 P_f (1 - P_f) \approx 2 \times 0.47 \times 10^{-3} \\ \approx 0.94 \times 10^{-3}$$

若每点检测的 10 个数据中允许除去一个离散值较大的数据 (即错误数据) 后再平均, 则每点电位检测出现错误的概率为 10 个数据中出现两个以上错误数据的概率:

$$P_{Df10-n} = \sum_{n=2}^{10} C_{10}^n P_{Df}^n (1 - P_{Df})^{10-n} \\ \approx 3.9 \times 10^{-5}$$

由此可见, 当 E 为信号脉冲数 N 的 80% 时, 系统的误码率 P_{Df10-n} 已非常小。

III. 信号发送功率

对发射脉冲电功率的估算, 一般按被动声纳方程进行。被动声纳方程为:

$$SL - TL - NL + DI = DT$$

设声发射频率为 15 kHz, 带宽 $\Delta f = 200$ Hz。则式中声源级 SL 、传播损失 TL 、噪声级 NL 均可由公式计算^[3]。在计算中, 考虑本系统水上、水下部分的换能器均兼作发射和接收用, 则 $DI = DI'$ 。由于海上定位困难, 因此无论是工作在询问、应答、测距, 还是处在信息测量状态, 都不宜具有明显的指向性。明显的指向性会给搜寻带来困难, 增加接收数据期间船舶机动的复杂性, 从而浪费时间和费用, 故取 $d = 1$ 。综合考虑检测处理器性能及近船条件比较复杂等因素, 取检测阈 $DT = 10$ (dB)。最后计算得 P_w 为

$$P_w = 5.49 \text{ W}$$

实际的传输与理论的估算会有偏差, 另外提高码元能量可提高接收端信噪比, 直接提高系统检测率。经近海实验, 确定系统脉冲码元的发送电功率为 10 W。

IV. 仪器的性能、特点

IV. 1. 电位检测范围: $-0.4 \text{ V} \sim -1.4 \text{ V}$ (相对于海水/氯化银参比电极)。

IV. 2. 电位测量精度: $\pm 20 \text{ mV}$ 。

IV. 3. 遥测距离: 1 000 m。

IV. 4. 水下机工作深度: $\leq 200 \text{ m}$ 。

IV. 5. 工作频率: 15 kHz。

IV. 6. 声发射功率: 10 W。

IV. 7. 水下机工作电流: $\leq 1 \text{ mA}$ 。

IV. 8. 水上机编码器容量: 80 种(根据需要可以扩展)。

参 考 文 献

- [1] 许天增, 1984. 数字时间自相关积累及其在浅水信道中数据传输上的应用. 厦门大学学报(自然科学版) 1: 53—59.
- [2] 梁筠莲, 1980. 数字相关器及其实现方法. 厦门大学学报(自然科学版) 4: 60—65.
- [3] 秦臻, 1984. 海洋开发与水声技术. 海洋出版社.
- [4] J. W. 凯鲁译著, 杨祯先、董学明译, 1983. 海洋声学原理. 科学出版社.
- [5] 岩本喜直等, 1984. 自航式海底ケーブル探査机. 海洋开发 16(1): 12—20.
- [6] B. S. Watt, B. BC., 1985. Cathodic protection monitoring and survey requirements for offshore platforms and pipelines. *Anti-Corrosion* 32(6): 4—7, (7): 8—10, (8): 7—10.
- [7] C. A. Smith, 1986. Advances in underwater corrosion and flaw detection. *Anti-Corrosion* 33(4): 12.
- [8] A. D. Willis, 1980. New monitoring methods of cathodic protection *Anti-Corrosion* 27(4): 6—8.
- [9] Clark P. Weldon and Stephen L., 1983. Submersible assisted cathodic protection survey of subsea pipelines. Wolfson Harco Corporation Paper CH 1972—9/83: 619—622.

DEVELOPMENT OF CATHODIC PROTECTION POTENTIAL SURVEY EQUIPMENT FOR SUBMARINE PIPELINES

Guo Jinnian, Xu Bin, Lu Aping, Zeng Rensen and Wu Jialin
(Institute of Matter Structure Study, Academia Sinica, Xiamen)

Received: Jan. 12, 1989

Key Words: Subsea pipeline, Protection potential, Acoustic telemetering

Abstract

This paper describes an acoustic potential survey system for cathodic protection of submarine pipeline which is set up by utilising acoustic telemetering technique. The structure principle and design of the system are introduced emphatically. The system comprises of a surface display unit and submarine monitors. The PPM-PTC (Pulse Phase Modulation-Pulse Time Code) pattern is adopted to transmit the submarine data. The advantage is that the strong noise and serious undulation of sound signal in the sea could be overcome. Each submarine monitor contains dual reference comprising of both Ag/AgCl and Zn alloy. This system can be used to make remote, flexible and reliable potential measurements. The system is also simple in structure, interference resistant and accurate.