

磁异探测法探测海底光缆

高志, 王瑛剑

(海军工程大学, 湖北 武汉 430033)

摘要:为提高海底光缆的探测效率,克服有源磁探测法的缺点,首先从海底光缆自身的铠装出发,提出了磁异探测这种无源磁探测的方法,接着对该方法的原理进行了深入分析,并利用无限长圆柱体模型和磁偶极子磁场模型对其进行了理论推导,其结果对今后开展仿真和实验具有较强的指导意义。

关键词:海底光缆;无源磁探测;磁异探测

中图分类号:TN818

文献标志码:A

文章编号:1005-8788(2012)04-0039-03

Magnetic anomaly detection for optical submarine cables

Gao Zhi, Wang Yingjian

(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: To improve the detection efficiency of optical submarine cables and overcome the shortcomings of active magnetic detection, this paper first presents a passive magnetic detection, i. e. magnetic anomaly detection, on the basis of their armoring, then it conducts an in-depth analysis of its principle and carries out theoretical derivation by using the models of infinite long cylinder and magnetic dipole field, which are instructive to the simulation and experiments in the future.

Key words: optical submarine cable; passive magnetic detection; magnetic anomaly detection

0 引言

目前,在海底光缆探测中广泛应用的方法是有源磁探测法,即在光缆中注入一适当频率和功率的交流电流,通过探测设备探测该电流产生的电磁场,再根据探测信号的信息判断光缆的位置。该方法有以下缺点:(1)必须中断光缆承载的业务,这会海底通信带来不可避免的损失;(2)海底光缆内的导体(无缝金属管或供检测用的小直径铜导线)对加载的信号有较强的衰减作用,不适合对长距离光缆进行探测;(3)有源法对于有中继的海底光缆无法实现有效探测。因此亟需采用新的探测方法——无源磁探测法。无源磁探测法是一种地球物理勘探技术,它的前提是海底光缆中的钢铠装结构,是通过探测海底光缆自身的磁场信息实现探测和定位的。该方法无需给海底光缆加载额外信号。本文分析的磁异探测方法即为一种典型的无源磁探测法。

1 磁异探测

磁异探测,即地磁异常探测,是基于铁磁性物体扰乱地磁场磁力线均匀分布这一基本物理现象的。由于磁场的磁力线从水中进入空气几乎不改变传播方向,而且传播方式几乎一致,这样我们就能通过在空气中测量磁场的异常来确定水下目标。

目前该方法已经广泛应用于探测磁性矿物、油气资源及铁质的给水、燃气等管道(线),此外还可以用来搜寻沉船等大型目标和较小的沉物(如铁锚、遗弃水雷等)。

1.1 磁异常的产生

从物理学上可知,任何物体在地磁环境中都不可避免地磁化,铁磁体的磁性是由感应磁化强度和不同时期的剩磁叠加而成的。但是对于水下铁磁体而言,其剩磁强度比感应磁化强度小好几个数量级,因此,水下铁磁体的当前磁性主要来源于当前地磁背景场作用下产生的感应磁化强度 $\vec{M}$,方向沿着当前地磁场的方向 $\vec{T}^{[1]}$ 。

铁磁体磁化产生的磁场叠加在海底地磁背景场上,就会产生磁异常: $\Delta B=B-T_0$,式中, ΔB 为磁异常强度, B 为总磁场强度, T_0 为地磁背景场。因此只要获取高精度区域海底磁场数据,利用铁磁体产生的磁异常特性,就可以对实际地磁场异常特性进行分析判断,从而对其进行识别和定位。

1.2 海底光缆磁场模型

对于工程勘察而言,磁化率的大小对磁场的影响很大。光缆的铠装主要是钢绞线,由表1可知,钢的磁化率最强,与周围介质(海水或淤泥)之间的磁性差异非常明显,这就为磁法探测海底缆线提供了前提条件。因此无论海底光缆敷设在海床还是埋设

在海底,都可以通过磁异探测法去发现海缆,实现光缆的定位。

表 1 常见物质的磁化率测量统计表^[2]

物质名称	磁化率 ($\kappa/10^{-5}$)
海水	<10
淤泥	<10
沉积岩	<100
水泥	200~400
钢铁	50 000~120 000

根据探测物体体积的大小,对海上寻找的铁磁性物体一般简化为 3 种类型^[3]:第 1 种为球体(探测距离大于目标最长边 5 倍以上,铁锚、水雷等小沉物均类似于此类型),其产生的磁异常曲线类似于偶极子;第 2 种为无限走向的圆柱体(管线、海底缆线等近似于该种类型);第 3 种为长方体,有限边长的目标除了球体外,均近似于此类(由于此目标的长宽比、埋深和厚度各不相同,所以表现形态也各异)。

1.3 磁异常分析

地磁场是由许许多多不同的成分组成的,其中地磁场偶极子成分远远大于其他成分,也就是说,地磁场的空间分布类似于位于地心的磁偶极子磁场,

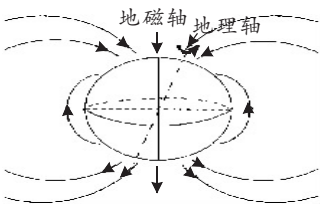


图 1 地磁场空间分布

磁偶极子指南半球,偶极轴(称作地磁轴)与地球自转轴(即地理轴)的夹角约为 11°^[4]。简化模型如图 1 所示。

1.3.1 铁磁体磁矩分解

建立如图 2 所示的坐标系, x 轴为地理北, y 轴为地理东, z 轴为垂直向下。

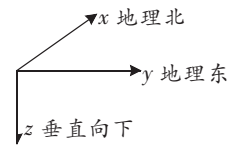


图 2 海缆探测坐标系

将无限长圆柱体分割为无限个小体积 dV , 如果在 dV 中,任意点 $Q(x, y, z)$ 处介质的磁化强度是 $\vec{M}=\vec{M}(x, y, z)$, 则可以求出 dV 内部的全部磁矩 $\vec{m}=\vec{M}dV$, 体积 V 外 $P(x', y', z')$ 一点的磁位可以写成:

$$U(x, y, z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\vec{M} \cdot \vec{r}}{r^3} dV = -\frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \vec{M} \cdot \nabla p \frac{1}{r} dV, \tag{1}$$

式中, μ_0 为磁场空间磁导率; $\vec{r}$ 为从 Q 点到 P 点的矢量, $r=\sqrt{(x'-x)^2+(y'-y)^2+(z'-z)^2}$; ∇p 表示对 P 点的坐标作梯度运算。

如果介质是均匀磁化,则 $\vec{M}$ 为常矢量,对式(1)利用由重力位计算磁位的泊松定理,再利用标量与矢量积的散度公式可得:

$$U(x, y, z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \nabla \cdot \frac{\vec{M}}{r} dV - \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\nabla \cdot \vec{M}}{r} dV, \tag{2}$$

由于 $\nabla \cdot \vec{M}=0$, 所以式(2)右端第 2 项等于零^[4]。将高斯公式应用于第 1 项,得:

$$U(x, y, z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\vec{M}_n}{r} dS, \tag{3}$$

式中, $\vec{M}_n$ 、 r 和 S 均为 x 、 y 和 z 的函数。由 $\vec{B}=-\nabla U$, 可以导出磁场 $\vec{B}'$ 沿 x 方向的分量 $\vec{B}'_x$ 、沿 y 方向的分量 $\vec{B}'_y$ 和沿 z 方向的分量 $\vec{B}'_z$, 在图 2 所示的坐标系中进行分解,分解过程如图 3 所示,分解结果如下:

$$\begin{cases} \vec{B}'_x = -\frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\vec{M}_n}{r} dS \\ \vec{B}'_y = -\frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{\partial}{\partial y} \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\vec{M}_n}{r} dS \\ \vec{B}'_z = -\frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial z} \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\vec{M}_n}{r} dS \end{cases} \tag{4}$$

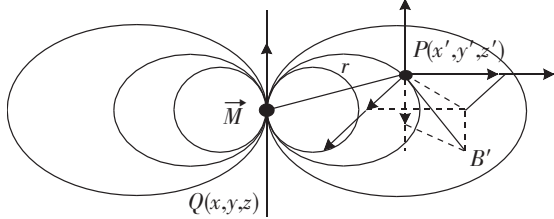


图 3 铁磁体磁矩分解

1.3.2 地磁背景分解

水下铁磁体周围的磁场是其自身磁场和地磁背景场的合成。通常地磁背景场变化比较平缓,我们不妨设水下铁磁体所在处的局部地磁背景场是均匀

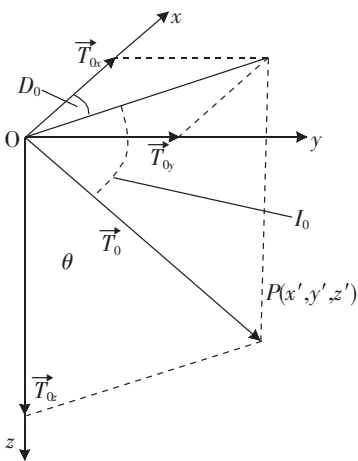


图 4 地磁背景场三要素示意图

恒定磁场,用 $\vec{T}_0$ 表示。地磁偏角为 D_0 , 地磁倾角为 I_0 , 则空间一点的地磁背景场 $\vec{T}_0$ 同样可以在 3 个相互垂直的轴向产生分量,称为地磁三要素^[5],如图 4 所示。

地磁背景场三要素分别如下：

$$\begin{cases} \vec{T}_{0x} = \vec{T}_0 \cos I_0 \cos D_0 \\ \vec{T}_{0y} = \vec{T}_0 \cos I_0 \sin D_0 \\ \vec{T}_{0z} = \vec{T}_0 \sin I_0 \end{cases} \quad (5)$$

1.3.3 磁异计算

通过分析可知,坐标系的每个轴上都叠加着来自铁磁体和地磁背景场的两个分量。因此,可导出 P 处的总磁场为

$$\begin{cases} \vec{B}_x = \vec{T}_{0x} + \vec{B}'_x \\ \vec{B}_y = \vec{T}_{0y} + \vec{B}'_y \\ \vec{B}_z = \vec{T}_{0z} + \vec{B}'_z \end{cases} \quad (6)$$

由上式可得磁场总强度 $\vec{B}$ 的模量为

$$B = (\vec{B}_x^2 + \vec{B}_y^2 + \vec{B}_z^2)^{1/2} \quad (7)$$

通过磁探测器,我们得到的即为磁场的总强度 $\vec{B}$,减去地磁背景场 $\vec{T}_0$,就可以得到由铁磁体磁异常产生的磁场强度 $\vec{B}'$,

$$\vec{B}' = \vec{B} - \vec{T}_0 \quad (8)$$

我们可以适当布置多个磁力仪探头,只要它们能捕捉到一次磁异常信号,就可以通过比较各个磁异常信号的微弱差异,基本上确定水下铁磁体的空间位置。

2 结束语

海底光缆探测是海洋工程中经常遇到的实际问题,对于海缆敷设和维护具有重要意义。本文从海底光缆自身的铠装出发,对磁异探测这种无源磁探测方法的原理进行了分析,并利用磁偶极子磁场模型推导出了海缆的磁场计算公式,为确定海底管线的精确位置奠定了理论基础,并为将来开展仿真和实验提供了依据。

参考文献：

- [1] 任来平,欧阳永忠,陆秀平,等. 水下铁磁体磁场特征平面 [J]. 海洋测绘,2005,25(4):1-4.
- [2] 吕邦来. 海底管线的地球物理探测技术探讨 [J]. 水运工程,2009,(7):146-150.
- [3] 王闰成,王守国. 水下铁磁体磁场特性 [J]. 海洋测绘,2006,26(5):35-41.
- [4] 徐文耀. 地球电磁现象物理学 [M]. 合肥:中国科技大学出版社,2009.
- [5] 任来平,黄漠涛,翟国军,等. 海底管线磁场计算模型 [J]. 海洋测绘,2007,27(1):1-6.

※ 简 讯 ※

武汉邮科院《单通道 Tbit/s 级超大容量光传输系统项目》 荣获第六届中国通信与信息化应用优秀成果奖金奖

近日,在第十届中国信息港论坛上,由武汉邮电科学研究院光纤通信技术和网络国家重点实验室和烽火通信科技股份有限公司联合承担的《单通道 Tbit/s 级超大容量光传输系统项目》喜获中国通信与信息化应用优秀成果奖金奖。

互联网数据业务的爆炸式增长推动着高速波分传输的快速发展,现有骨干网将无法满足不同容量日益增长的带宽需求,促使着骨干网朝着 1 Tbit/s 单波道速率的传输网方向发展。OFDM 技术凭借其高谱效率等诸多特点以一种简单的系统构建来实现 Tbit/s 级的传输速率,成为未来 Tbit/s 级超高速长距离传输的首选调制方式。

武汉邮科院国家重点实验室和烽火通信公司依托所承担的国家 973 项目“超高速超大容量超长距离光传输基础研究”的成果,将超大容量 CO-OFDM 传输系统作为重点研究方向之一。继 2010 年实现单光源 1 Tbit/s LDPC 码 CO-OFDM 1 040 km 标准单模光纤传输实验之后,2011 年又再接再厉,从现有的电子和光电器件水平出发,提出一种新型的频率循环搬移的多子波光产生方法来实现单通道 1 Tbit/s 的超高速传输速率,采用数字相干接收技术和高阶 OFDM 的调制方式,结合多波长光源精密合波技术,最终实现 C 波段 16 光源 30.7 Tbit/s 相干光 OFDM 80 km 的普通单模光纤无误码传输。单通道 Tbit/s 级超大容量光传输系统项目的研制成功,将在未来 Tbit/s 级别的骨干 WDM 网络建设中产生巨大的经济效益。