



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102322789 B

(45) 授权公告日 2013.06.05

(21) 申请号 201110188148.9

CN 102053282 A, 2011.05.11,

(22) 申请日 2011.07.04

US 6087831 A, 2000.07.11,

(73) 专利权人 中北大学

WO 02/084221 A1, 2002.10.24,

地址 030051 山西省太原市尖草坪区学院路
3号

审查员 贾奇峰

(72) 发明人 韩晶 刘仁浩 焦国太

(74) 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限公司 14101

代理人 李富元

(51) Int. Cl.

G01B 7/00 (2006.01)

G01C 1/00 (2006.01)

G01P 3/66 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1132470 A, 1996.10.02,

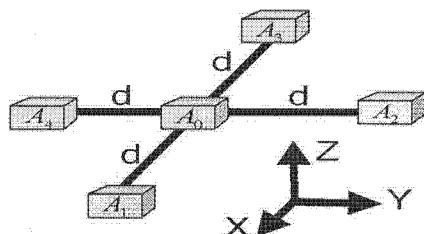
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于磁梯度法的水下枪弹着靶参数测量方法

(57) 摘要

一种基于磁梯度法的水下枪弹着靶参数测量方法，目的是适用于野外复杂水质环境下同时测量弹丸着靶位置、姿态和速度；本发明方法是在靶架上将4个磁梯度检测装置 S_i ($i = 1, 2 \wedge 4$) 对称均匀布置成正方形磁梯度信号检测阵列靶，每个磁梯度信号检测装置又由5个共面的三轴矢量磁传感器对称布置，构成正交“十”字型阵列，并且该“十”字型阵列平面与靶面坐标系X、Y轴组成的坐标平面平行，其中三轴磁传感器的矢量方向与靶面坐标系的方向一致；以弹丸的位置与姿态为未知量，利用靶面上4个磁梯度信号检测装置的测量值，结合磁梯度数学模型即可构建一组非线性方程式组，通过求解该方程组即可确定弹丸空间着靶位置及姿态。



1. 一种基于磁梯度法的水下枪弹着靶参数测量方法,其特征是:

(1)在靶架上将4个磁梯度检测装置S₁、S₂、S₃、S₄对称均匀布置成正方形磁梯度信号检测阵列靶,每个磁梯度检测装置又由5个共面的三轴磁传感器对称布置,构成正交“十”字型阵列,并且该“十”字型阵列平面与靶面坐标系X、Y轴组成的坐标平面平行,其中三轴磁传感器的矢量方向与靶面坐标系中的X、Y、Z轴方向均保持一致;

(2)以弹丸的位置与姿态为未知量,利用靶面上4个磁梯度信号检测装置的测量值,结合磁梯度数学模型即可构建一组非线性方程式组,通过求解该方程组即可确定弹丸空间着靶位置及姿态;

非线性方程组的具体表达式为:

$$\frac{\Delta \mathbf{B}_A}{\Delta r_i} = \begin{bmatrix} -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)(5x_i^2 - r_i^2) - 2r_i^2 x_i m_x] / r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)(5y_i^2 - r_i^2) - 2r_i^2 y_i m_y] / r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5x_i y_i - r_i^2 (x_i m_y + y_i m_x)] / r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5x_i z_i - r_i^2 (x_i m_z + z_i m_x)] / r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5y_i z_i - r_i^2 (y_i m_z + z_i m_y)] / r_i^7 \end{bmatrix}$$

式中 $\Delta B_A / \Delta r_i$ 为磁梯度检测装置 S_i 测量得到的磁梯度分量, i=1…4; r_i 为弹丸中心点 (x_i, y_i, z_i) 到 S_i 中心点的矢径, r_i 为矢量 r_i 模, μ 为真空磁导率; 磁矩 $\mathbf{M}(m_x, m_y, m_z)$ 由弹丸的偏航角 ψ 、俯仰角 θ 及其磁矩标量值 m 确定, 具体表达式如下:

$$\begin{cases} m_x = m \sin \theta \cos \psi \\ m_y = m \sin \theta \sin \psi \\ m_z = m \cos \theta \end{cases}$$

对于给定弹丸, 磁矩标量值 m 为常值, 通过联立各个测量点的磁梯度方程组, 解算后即可确定弹丸着靶位置及姿态。

2. 如权利要求1所述的基于磁梯度法的水下枪弹着靶参数测量方法,其特征是:

在弹道段内架设两距 L 的正方形磁梯度信号检测阵列靶, 两靶平行且共轴安装; 记录下弹丸过两靶的磁梯度信息, 并按上述方法解算出弹丸过两靶的位置坐标 P₁(x₁, z₁) 和

P₂(x₂, z₂) 以及对应的着靶时间 t₁ 和 t₂, 则按表达式即可计算 $v = \sqrt{\frac{L^2 + (x_2 - x_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}{t_2 - t_1}}$ 得

出弹丸穿过两靶之间的平均速度。

一种基于磁梯度法的水下枪弹着靶参数测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种测量水下枪弹飞行速度及着靶姿态的磁梯度靶。属弹丸水下外弹道测试领域。

背景技术

[0002] 在水下枪械研制过程中,弹丸的着靶位置、姿态和速度是经常需要测量的关键弹道参数。目前常用的水下枪械弹道参数测量方法主要分为两类:一类是利用弹丸光电信息的摄影法和光电靶法;这类方法可同时测量弹丸的速度、位置和姿态信息,具有测量精度高、动态范围宽的优点,但对水质要求较高,因此仅限于室内靶场使用。另一类是线圈靶法;它利用弹丸磁场在线圈中产生的感应电动势测量弹丸着靶速度。线圈靶法具有成本低、不受水质及弹丸空泡影响的显著优点,但该方法不能测量着靶姿态,同时,速度测量精度易受线圈缠绕一致性、着靶偏移量以及过靶姿态等因素的影响。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服上述现有技术缺点,提供一种适用于野外复杂水质环境下同时测量弹丸着靶位置、姿态和速度的基于磁梯度法的水下枪弹着靶参数测量方法。

[0004] 本发明是采用如下技术方案实现的:

[0005] (1) 在靶架上将4个磁梯度检测装置 S_i ($i = 1, 2 \wedge 4$)对称均匀布置成正方形磁梯度信号检测阵列靶,每个磁梯度信号检测装置又由5个共面的三轴矢量磁传感器对称布置,构成正交“十”字型阵列,并且该“十”字型阵列平面与靶面坐标系X、Y轴组成的坐标平面平行,其中三轴磁传感器的矢量方向与靶面坐标系的方向一致;

[0006] (2) 以弹丸的位置与姿态为未知量,利用靶面上4个磁梯度信号检测装置的测量值,结合磁梯度数学模型即可构建一组非线性方程式组,通过求解该方程组即可确定弹丸空间着靶位置及姿态;

[0007] 非线性方程组的具体表达式为:

$$[0008] \frac{\Delta \mathbf{B}_A}{\Delta \mathbf{r}_i} = \begin{bmatrix} -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)(5x_i^2 - r_i^2) - 2r_i^2 x_i m_x] / r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)(5y_i^2 - r_i^2) - 2r_i^2 y_i m_y] / r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5x_i y_i - r_i^2(x_i m_y + y_i m_x)] / r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5x_i z_i - r_i^2(x_i m_z + z_i m_x)] / r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5y_i z_i - r_i^2(y_i m_z + z_i m_y)] / r_i^7 \end{bmatrix}$$

[0009] 式中 $\frac{\Delta \mathbf{B}_A}{\Delta \mathbf{r}_i}$ 为磁梯度检测装置 S_i 测量得到的磁梯度分量, $r_i(x_i, y_i, z_i)$ 为弹丸中心点到 S_i 中心点的矢径, r_i 为矢量 r_i 的模, μ 为真空磁导率;磁矩 $\mathbf{M}(m_x, m_y, m_z)$ 由弹丸的姿态 $O(\psi, \theta)$ 及其磁矩标量值 m 确定,具体表达式如下:

$$[0010] \quad \begin{cases} m_x = m \sin \theta \cos \psi \\ m_y = m \sin \theta \sin \psi \\ m_z = m \cos \theta \end{cases}$$

[0011] 对于给定弹丸，磁矩标量值 m 为常值，通过联立各个测量点的磁梯度方程组，解算后即可确定弹丸着靶位置及姿态。

[0012] 在弹道段内架设两距 L 的正方形磁梯度信号检测阵列靶，两靶平行且共轴安装；记录下弹丸过两靶的磁梯度信息，并按上述方法解算出弹丸过两靶的位置坐标 $P_1(x_1, z_1)$ 和 $P_2(x_2, z_2)$ 以及对应的着靶时间 t_1 和 t_2 ，则按表达式 $v = \frac{\sqrt{L^2 + (x_1 - x_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}{t_2 - t_1}$ 即可计算得出弹丸穿过两靶之间的平均速度。

[0013] 当在弹道段内架设两个一定间距的磁梯度靶，且两靶平行且共轴安装。记录下弹丸过两靶的磁梯度信息，并按上述方法解算出弹丸过两靶的位置坐标以及对应的着靶时间差，即可解算得到弹丸飞行速度。

[0014] 由于本发明采用磁场梯度理论进行测量，有效解决了光电信息法无法在复杂水质环境下测量的问题，同时避免了线圈靶法受线圈缠绕一致性、着靶偏移量以及过靶姿态等因素的影响，且能够实现连续测量，同时能够全面获得弹丸着靶位置、姿态及速度信息。

附图说明

[0015] 图 1 为磁梯度靶中磁梯度检测装置布置示意图。

[0016] 图 2 为磁梯度检测装置中三轴磁传感器布置示意图。

[0017] 图 3 为磁梯度靶速度测量示意图。

[0018] 图中：1、正方形磁梯度信号检测阵列靶（简称为磁梯度靶）；2、弹丸；

[0019] S_1, S_2, S_3, S_4 分别为布置于测试靶上不同位置的磁梯度检测装置；

[0020] A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 分别为磁梯度检测装置中布置于不同位置的三轴矢量磁传感器。

[0021] X、Y、Z 分别为以位于正方形磁梯度靶底角的磁梯度检测装置 S_1 为坐标原点的笛卡尔直角坐标轴，其中 X、Z 轴过正方形靶两直角边，Y 轴与正方形靶面相垂直。

[0022] d 为传感器 A_1, A_2, A_3, A_4 与中心传感器 A_0 的基线长度。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图对本发明的测量方法作进一步详细说明。

[0024] 参见图 1、2，本发明在靶架上将 4 个磁梯度检测装置 S_1, S_2, S_3, S_4 对称均匀布置成正方形磁梯度信号检测阵列靶（1），且每个磁梯度信号检测装置由 5 个共面的三轴矢量磁传感器构成“十”字型阵列，其中传感器 A_0 表征该装置的中心点位置，其余传感器 A_1, A_2, A_3, A_4 与中心传感器 A_0 的基线长度相等，均为 d 。 A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 构成的传感器阵列平面均与 X、Y 轴组成的坐标平面平行，且每个传感器的矢量方向均与 X、Y、Z 坐标轴方向一致。在测试弹丸（2）的位置与姿态时，结合磁梯度理论磁梯度靶（1）的靶面上任意一个磁梯度检测装置 S_i 可构造一组非线性方程组，其具体的表达式为：

$$[0025] \quad \frac{\Delta \mathbf{B}_A}{\Delta \mathbf{r}_i} = \begin{bmatrix} -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)(5x_i^2 - r_i^2) - 2r_i^2 x_i m_x]/r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)(5y_i^2 - r_i^2) - 2r_i^2 y_i m_y]/r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5x_i y_i - r_i^2 (x_i m_y + y_i m_x)]/r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5x_i z_i - r_i^2 (x_i m_z + z_i m_x)]/r_i^7 \\ -3\mu/4\pi [(\mathbf{M} \cdot \mathbf{r}_i)5y_i z_i - r_i^2 (y_i m_z + z_i m_y)]/r_i^7 \end{bmatrix}$$

[0026] 式中 $\frac{\Delta \mathbf{B}_A}{\Delta \mathbf{r}_i}$ 为磁梯度检测装置 S_i 测量得到的磁梯度分量, $r_i(x_i, y_i, z_i)$ 为弹丸 (2)

中心点到 S_i 中心点的矢径, r_i 为矢量 r_i 的模, μ 为真空磁导率; 磁矩 $\mathbf{M}(m_x, m_y, m_z)$ 由弹丸 (2) 的姿态角 $\theta(\psi, \theta)$ 及其磁矩标量值 m 确定, 具体表达式如下:

$$[0027] \quad \begin{cases} m_x = m \sin \theta \cos \psi \\ m_y = m \sin \theta \sin \psi \\ m_z = m \cos \theta \end{cases}$$

[0028] 对于给定弹丸 (2), 磁矩标量值 m 为常值, 通过联立各个测量点的磁梯度方程组, 解算后即可确定弹丸 (2) 的着靶位置及姿态角。

[0029] 参见图 3, 在弹道段内架设两距 L 的磁梯度靶 (1), 两靶平行且共轴安装, 弹丸过前后两靶时的位置坐标点分别为 $P_1(x_1, z_1)$ 与 $P_2(x_2, z_2)$, PP'_{-1} 及 PP'_{-2} 分别为 P_1 及 P_2 点在各自靶的直角坐标系中 X 轴上的投影点, 同时过 P'_{-1} 点做后一靶 X 轴的垂线相交于 P'_{-12} 点。记录下弹丸 (2) 过前后两靶的磁梯度信息, 并按上述方法解算出弹丸 (2) 过两靶的位置坐标 $P_1(P_1, z_1)$ 和 $P_2(x_2, z_2)$ 以及对应的着靶时间 t_1 和 t_2 , 根据位置坐标 $P_1(x_1, z_1), P_2(x_2, z_2)$ 与投影点 P_1, P'_{-2}, P'_{-12} 之间的几何关系, 可按表达式 $v = \frac{\sqrt{L^2 + (x_1 - x_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}{t_2 - t_1}$ 计算

得出弹丸 (2) 穿过两靶之间的平均速度。

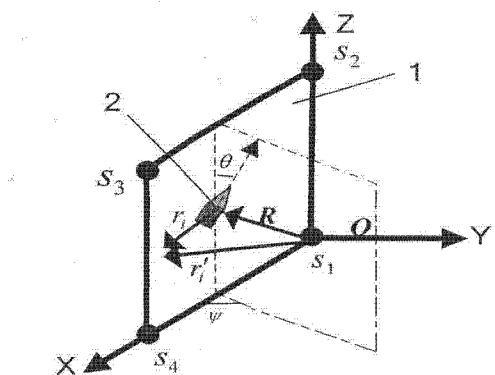


图 1

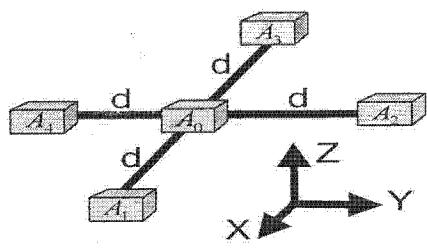


图 2

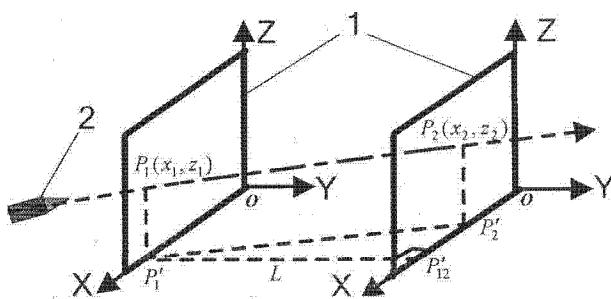


图 3