

ICS 07.060

CCS N 92

HY

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T XXX—202X

水下滑翔机总体设计指南

(报批稿)

Guidelines for general design of autonomous underwater glider

202X-XX-XX 发布

202X-XX-实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体设计原则和约束	2
4.1 总体设计原则	2
4.2 约束条件	3
4.3 安全约束	3
5 水动力外形设计	3
5.1 水动力外形分类	3
5.2 水动力外形总体设计	4
5.3 主体线型设计	4
5.4 机翼设计	4
5.5 尾翼设计	5
6 耐压主体单元设计	5
6.1 耐压壳体总体设计	5
6.2 材料选择	5
6.3 尺寸设计	5
6.4 密封设计	5
7 浮力驱动单元设计	6
7.1 模型建立	6
7.2 浮力调节方式选择	6
7.3 执行机构设计	6
7.4 结构选型设计	6
8 姿态调节单元设计	7
8.1 姿态调节单元总体设计	7
8.2 确定姿态调整方案	7
8.3 建立滑翔运动模型	7
8.4 设计姿态调节机构	8
9 能源单元设计	8
9.1 确定能源总量	8
9.2 设计能源模块	8
9.3 设计能源管理模块	8
10 通信单元设计	8
10.1 确定信息/数据传输需求	8

10.2 设计通信单元.....	8
10.3 通信单元安全.....	8
11 控制单元设计.....	8
11.1 需求分析.....	8
11.2 硬件设计.....	9
11.3 软件编制.....	9
11.4 系统监测设计.....	9
11.5 控制算法.....	9
12 任务单元设计.....	9
13 应急单元设计.....	9
14 甲板控制单元设计.....	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（TC283）归口。

本文件起草单位：天津大学、自然资源部第一海洋研究所、自然资源部第二海洋研究所、北京蔚海明祥科技有限公司。

本文件主要起草人：王树新、王延辉、牛文栋、兰世泉、杨绍琼、马伟、刘玉红、张宏伟、杨亚楠、王岩峰、张涛、辛爱学。

水下滑翔机总体设计指南

1 范围

本文件规定了水下滑翔机总体设计应遵循的基本要求。
本文件适用于水下滑翔机的整机和各组成单元设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 150.1 压力容器 第1部分：通用要求
- GB/T 3362 碳纤维复丝拉伸性能试验方法
- GB/T 3452.1 液压气动用O形橡胶密封圈 第1部分：尺寸系列及公差
- GB/T 3452.3 液压气动用O形橡胶密封圈 沟槽尺寸
- GB/T 3880.2 一般工业用铝及铝合金板、带材 第2部分：力学性能
- GB/T 9019 压力容器公称直径
- GB/T 23604 钛及钛合金产品力学性能试验取样方法
- GB/T 26749 碳纤维 浸胶纱拉伸性能的测定
- GB/T 38512 压力容器用铝及铝合金管材

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水下滑翔机 autonomous underwater glider, AUG

主要依靠调节重浮力差实现升沉，借助水动力实现水中滑翔前进的水下无人飞行器。

3.2

俯仰角 pitch angle

本体坐标系 O 轴与地面坐标系 EXY 平面的夹角，标记为 θ 。水下滑翔机坐标系定义见图1。

注：当水下滑翔机头部偏向 EXY 平面之上时，其值为正。

3.3

横滚角 roll angle

本体坐标系的 OXZ 平面与地面坐标系 EXZ 平面间的夹角，标记为 φ 。

注：也可表示为本体坐标系 O 轴与垂直于地面坐标系 EXY 平面且通过 O 轴的垂直面的夹角。从水下滑翔机尾部朝头部方向看，如果 O 轴偏向垂直面的右侧，其值为正。

3.4

偏航角 yaw angle

本体坐标系 O 轴在地面坐标系 EXY 平面内的投影与 EX 轴的夹角，标记为 ψ 。

注：当水下滑翔机头部偏向EX轴外侧时，其值为正。

3.5

攻角 attack angle

滑翔速度矢量 U 在机体坐标系的 Oxz 平面内的投影与轴 Ox 之间的夹角，标记为 α 。

注：当速度矢量 U 偏向航行器头部下方时，其值为正。

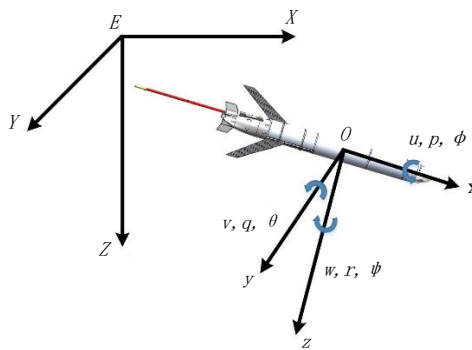
3.6

滑翔角 gliding angle

滑翔速度矢量 U 在地面坐标系 EXZ 平面内的投影与地面坐标系 EXY 平面之间的夹角，标记为 γ 。

注1：当速度矢量 U 偏向航行器头部上方时，其值为正。

注2：滑翔角等于俯仰角减去攻角。



注 1：本体坐标系（标记为 S_b ）又称固连坐标系，该坐标系的各轴固连在水下滑翔机本体上，与航行器同步运动。

将水下滑翔机的浮心 O 选做本体坐标系的原点， Ox 轴沿水下滑翔机的纵轴，向前为正， Oz 轴位于水下滑翔机纵剖面内且垂直于 Ox 轴，当水下滑翔机在海面正常漂浮时，其指向下为正， Oy 轴垂直于 Ox 轴和 Oz 轴，方向满足右手定则。

注 2：地面坐标系（标记为 S_E ）的各轴与地面固连，其坐标系的原点 E 可选在地面任意处。将水下滑翔机的入水点作为坐标系原点，且 EX 轴在水平面内，指向水下滑翔机的初始运动方向， EZ 轴垂直水面朝下， EY 轴分别与 EX 轴和 EZ 轴垂直，方向由坐标系右手定则决定。

图 1 水下滑翔机坐标系定义

3.7

重排比 ratio of weight to displacement

水下滑翔机耐压壳体重量与其排水量的比值。

3.8

压缩率 compressibility

水下滑翔机耐压壳体受外界压力、温度因素影响发生的体积变化率。

3.9

浮容积调节量 buoyancy adjustment volume

水下滑翔机通过自身机构能够实现的最大浮力容积调节量。

4 总体设计原则和约束

4.1 总体设计原则

根据执行机构设计结果，完成浮力驱动单元的整体选型设计。

- a) 机械驱动式需进行选型与设计的元器件包括：电机、蜗轮、蜗杆以及活塞等；
- b) 液压驱动式需进行选型与设计的元器件包括：电机、液压泵、电磁阀以及油箱等。

8 姿态调节单元设计

8.1 姿态调节单元总体设计

水下滑翔机姿态调节单元由俯仰调节机构和转向调节机构组成。转向调节可通过调节内部可移动质量块、尾舵、螺旋桨等来实现；俯仰调节通常可通过内部可移动质量块实现。俯仰机构设计时调节角度值需满足下潜、上浮、水面通讯三种状态下的俯仰角度要求。

8.2 确定姿态调整方案

可采取的转向调节方法主要有：

- a) 螺旋桨动力调整法；
- b) 水动翼及舵调整法；
- c) 重心调整法；
- d) 上述三种的组合方式。

可采取的俯仰调节方法有：

- a) 内部可移动质量块；
- b) 吸排水。

8.3 建立滑翔运动模型

确定姿态调节方案后，初步选择姿态调节机构设计参数，并结合水下滑翔机外形设计参数、水动力参数、浮力驱动单元设计参数以及工作海域环境参数，建立系统动力学模型。运动学方程和动力学方程见公式（10）和公式（11）。

$$\begin{bmatrix} v_r \\ \omega_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E}{B}J_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \frac{E}{B}J_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{R} - \mu_c \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (10)$$

式中：

- v_r ——本体坐标系下水下滑翔机与海流之间的相对线速度，单位为米每秒（m/s）；
- ω_b ——本体坐标系下水下滑翔机角速度，单位为弧度每秒（rad/s）；
- $\frac{E}{B}J_1$ ——水下滑翔机线速度从地面坐标系到本体坐标系的转换矩阵；
- $\frac{E}{B}J_2$ ——水下滑翔机角速度从地面坐标系到本体坐标系的转换矩阵；
- \dot{R} ——地面坐标系下水下滑翔机线速度，单位为米每秒（m/s）；
- μ_c ——海流速度，单位为米每秒（m/s）；
- $\dot{\theta}$ ——地面坐标系下水下滑翔机角速度，单位为弧度/秒（rad/s）；

$$\mathbf{M} \begin{bmatrix} \dot{v}_r \\ \dot{\omega}_b \end{bmatrix} + \mathbf{A}_{v\omega} \begin{bmatrix} v_r \\ \omega_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_b \\ M_b \end{bmatrix} \dots \dots \dots (11)$$

式中：

- \mathbf{M} ——水下滑翔机的质量/附加质量矩阵；
- $\dot{\omega}_b$ ——本体坐标系下水下滑翔机的角加速度，单位为弧度每秒的平方（rad/s²）；
- \dot{v}_r ——本体坐标系下水下滑翔机与海流的相对线加速度，单位每秒的平方（m/s²）；

$A_{v\omega}$ ——科里奥利/向心矩阵；

ω_b ——本体坐标系下水下滑翔机的角速度，单位为弧度每秒（rad/s）；

F_b ——本体坐标系下水下滑翔机的外力，单位为牛顿（N）。

M_b ——本体坐标系下水下滑翔机的外力矩，单位为牛米（N·m）。

8.4 设计姿态调节机构

根据动力学模型，确定姿态调节幅值，结合水下滑翔机内部空间利用率，设计姿态控制机构。

9 能源单元设计

9.1 确定能源总量

依据水下滑翔机的驱动原理、运动特性以及相应的导航、运动控制等策略，分析系统功耗特点，结合能源能力约束，以及环境变化，估算运行一个完整剖面的能耗，推算达到设计约束所需的能源总量，以满足任务需要的能源供给。

9.2 设计能源模块

依据能耗分析结果，并以性能、可靠性、能源利用率等为约束进行能源选型设计。确定能源单元外形、尺寸、质量。常用能源包括电化能、海洋能、太阳能等。例如：在电化能电池中，可选用一次电池或二次电池等类型。

9.3 设计能源管理模块

设计能源管理模块应设计短路保护、过流保护、过放保护、过温保护等安全措施，确保能源模块安全可靠运行。

10 通信单元设计

10.1 确定信息/数据传输需求

依据水下滑翔机的数据存储内容、观测参数数据量以及相应的导航、运动控制指令数据量等，开展通信系统信息传输需求分析，结合其能耗约束，估算运行一个完整剖面的数据传输量，以满足通信数据传输量需求。

10.2 设计通信单元

依据能耗分析结果，并以性能、可靠性、数据安全性为约束进行通信单元选型设计。确定通信单元外形、尺寸、质量。通信单元宜包含无线电通信模块、卫星通信模块以及定位授时模块。

10.3 通信单元安全

设计通信单元应设计过压和过流保护等安全措施，确保通信单元安全可靠运行。

11 控制单元设计

11.1 需求分析

依据水下滑翔机各单元设计方案进行控制单元需求分析，统计控制单元所需的软硬件接口；依据任务需求确定控制流程及算力需求；同时结合尺寸、重量等限制条件，最终制定水下滑翔机控制单元需求分析报告。

11.2 硬件设计

依据需求分析报告，以低功耗、高可靠性为原则进行芯片选型设计、印制电路板设计；并可根据需要适当预留部分硬件接口，使水下滑翔机具有可扩展性，一般规定下列接口：

- a) 机械接口，根据水下滑翔机内部空间约束预留安装与定位孔，方便水下滑翔机控制系统安装；
- b) 电气接口，满足水下滑翔机内部与外部电子元器件及传感器的电气连接需求，具有防插错设计，避免电气连接错误；
- c) 信息接口，根据各电子元器件的控制要求制定通讯协议，满足水下滑翔机信息采集与控制需求。

11.3 软件编制

依据需求分析报告，进行控制流程图绘制、编制水下滑翔机软件，软件编制简洁、易维护，并具备故障诊断与处理功能，软件编制完成后需通过静态分析、单元测试等测试流程。

11.4 系统监测设计

为保证水下滑翔机运行稳定可靠，控制系统软硬件部分都应设计相应的运行状态监测功能。

- a) 硬件部分。应设计硬件监测电路，对控制系统板上电源、主要芯片的运行状态进行状态监测，为充分实现硬件监测功能，软件应设计相应的保护策略。
- b) 软件部分。为实现硬件监测电路的功能，软件部分应设计有相应的状态监测与保护策略；为防止软件运行故障，软件部分也应当设计监测策略进行控制系统重启，必要时硬件部分可以配合设计独立的硬件监测电路。

11.5 控制算法

水下滑翔机整体为一闭环控制系统，通过搭载的各种测量单元感知周围环境变化，中央决策单元进行感知数据融合，根据任务规划采用PID、各种改型PID、智能等控制算法计算得到执行机构执行量，并控制执行机构动作，使水下滑翔机达到设计的运行状态，为防止误动作在数据融合与执行量输出阶段应增加相应的数据校验、滤波等数据质量控制算法。

12 任务单元设计

根据任务需求搭载任务传感器载荷。水下滑翔机设计时需满足不同传感器的搭载需求。一般将CTD传感器作为标准配置，可选配增加声、光、电、磁等类型任务传感器。

13 应急单元设计

应急单元应具有易安装、易更换、快响应、高可靠等特点，发生故障时可通过机械式、熔断式等方式主动抛载重物，实现水下滑翔机紧急上浮，抛载重量设计值需大于最大浮容积调节量对应的浮力值。应设置应急单元响应时的最小能量余量阈值。

14 甲板控制单元设计

甲板控制单元应具备人机交互功能，主要包括：

- a) 显示人机交互界面；
 - b) 切换操作模式；
 - c) 对水下控制单元下达遥控指令；
 - d) 显示水下控制单元反馈的遥测信息；
 - e) 状态报警；
 - f) 显示电子海图及运动航迹；
 - g) 控制参数调整；
 - h) 传感器校准/配置；
 - i) 保护配置；
 - j) 下载和回放数据；
 - k) 通讯状态显示等。
-