



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117405015 A

(43) 申请公布日 2024. 01. 16

(21) 申请号 202311124698.3

(22) 申请日 2023.09.02

(71) 申请人 上海融测空间测绘有限公司

地址 201814 上海市嘉定区宝安公路4229
号4层J3405室(72) 发明人 王温灵 张小红 刘苏航 胡长亮
张向春

(51) Int. Cl.

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

G01B 11/24 (2006.01)

G01S 17/06 (2006.01)

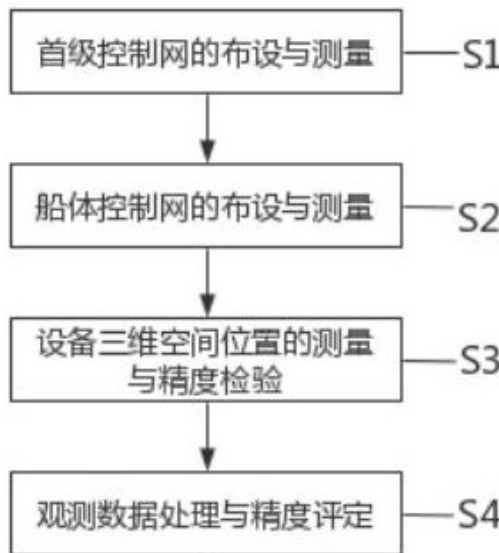
权利要求书1页 说明书10页 附图8页

(54) 发明名称

一种测定船舶上多台设备三维空间相对位置的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种测定船舶上多台设备三维空间相对位置的方法,应用在多层船舶上多台设备三维空间相对位置测定,其方法步骤如下:设置地面控制点和船体的加密控制点,地面控制网的布设与测量,平面控制网采用边长、水平角、垂直角同步观测,船体控制网的布设与测量,设备三维空间位置的测量,测量结果的精度检验。本发明在船体控制测量过程中,采用自由测站法进行观测,使控制施测更加灵活、有利于控制网的优化,并且采用自由测站法可避免对中误差对平面精度的影响,该方法严密平差模型通用性强,计算简便,平差结果精度高。



1. 一种测定船舶上多台设备三维空间相对位置的方法,应用在多层船舶上多台设备三维空间相对位置测定,其特征在于:

A、设置地面控制点和船体的加密控制点,设置两级平面控制网和一级高程控制网,平面控制网包括地面控制网和船体控制网,所述地面控制网即为首级网,船体控制网即为加密网,高程控制网布设一级,由地面控制点和船体的加密控制点共同组成;

B、准备全站仪、激光跟踪仪、棱镜、球形标靶;

C、地面控制网的布设与测量:设置观测墩,所述观测墩为垂直地面的不易变形的柱状物,位于地面,强制对中,所述观测墩的顶端设置测量仪器,仪器安装后视线距离地面和障碍物50cm以上;布设控制点,地面控制点布设强制对点4个,根据测量船舶的大小情况适当增减,不少于3个,长边中间可增加中间连接点,控制点间至少保持相邻点之间相互通视,地面控制测量开始前,先在每个地面控制点安装一套棱镜,并使用全站仪对棱镜底座进行精确整平;

D、平面控制网采用边长、水平角、垂直角同步观测;根据估算的测回数,在地面每个测站点依次观测,按全圆法进行水平角和边长观测,仪器安置时,先将棱镜和连接部拆卸下来,替换为全站仪,并检查整平状态和观测目标类型是否与棱镜型号一致;输入大气环境测量参数后开始进行观测,先让仪器沿顺时针方向,依次学习各个观测方向,然后开始自动观测并记录数据,观测过程中随时检查各项观测指标是否符合技术要求,发现超限及时补测,每个测站按设定的测回数观测完成后,取下全站仪换上棱镜;

E、船体控制网的布设与测量:布设船体控制点,船体控制点采用靶球布设,靶球的底座带有磁性,吸附在铁材质的表面,点位的选择在满足在地面观测时的通视条件情况下,尽量靠近所要测量的设备四周,每处设备周围的控制点呈高低错落分布,满足激光跟踪仪对基准点的使用要求;船体控制网的测量,船体控制网采用自由测站的方式进行测量,平面控制以地面控制网为基准,高程控制假定其中任意一点高程为起算,船体平面控制网观测的测回数和观测技术要求与地面控制网相同,船体控制网的高程测量采用三角高程的方式测量,与平面控制同步观测,通过观测垂直角和边长计算出测站仪器中心至棱镜中心的高差;

F、设备三维空间位置的测量:设备三维空间位置坐标使用激光跟踪仪进行测量,激光跟踪仪的测量以控制测量为基准进行三维坐标采集,为激光跟踪仪提供的测量基准控制点数量不少于4个,呈高低错落分布;若控制点如果无法直接用于激光跟踪仪进行设备测量,使用激光跟踪仪进行控制网的加密延伸,延伸时的测量距离控制在激光跟踪的标称测程的1/2以内,且延伸测站不超过3站,延伸加密点应重复测量两次,检查点位相对精度应优于0.05mm;激光跟踪仪测量使用全站仪测设的船体控制点进行自身定位时,与控制测量使用的靶球规格相同,测量时根据测量目标的具体情况选用合适的测量部件进行坐标采集;

H、测量结果的精度检验:激光跟踪仪采集设备三维坐标数据时,迁站前应检核2个设站基准点,检核坐标与原坐标各分量较差要优于 $\pm 0.05\text{mm}$;每站测量数据进行重复设站测量检查,检查点比例不小于15%,检查点测量结果作为数据采集精度检验数据,与原测量数据进行对比,计算两组数据坐标差异量,分别统计坐标值X、Y、Z分量和点位的中误差,评估激光跟踪仪的测量精度。

一种测定船舶上多台设备三维空间相对位置的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及大型船舶上多台设备三维空间相对位置测定的技术领域,更进一步地,具体为一种测定船舶上多台设备三维空间相对位置的方法。

背景技术

[0002] 深远海大型专业海道测量船一般船体巨大,船体上设置了多台大型设备后将很难直接测算设备之间的相对位置,比如H2634东保大型测量船(海巡08)将成为中国深远海海道测量旗舰,测量能力达世界领先水平,该船设计航区为无限航区,总长123.6米、型宽21.2米、型深9.3米,船体设计了多个高精度数据采集传感器。为了保证类似大型船舶上的各种精密设备安装后,所采集数据之间的关联精度,需要建立以船体为参考的独立坐标系为基准,对船体上的多个精密传感器设备的安装位置进行精密的相对定位测量。

[0003] 目前类似项目的测量精度要求为毫米级(即要求 $X: \pm 2\text{mm}$, $Y: \pm 2\text{mm}$, $Z: \pm 5\text{mm}$),为了满足上述精度要求,需要设计一种精密的测量方法完成船舶的控制测量和设备三维空间位置测量。本发明主要适用于各类船舶或类似工程的控制测量和部件测量,具有测量过程规范、操作简便灵活、作业效率高,观测数据中多余观测数多、控制网可靠性高、测量结果精度高等优点。

发明内容

[0004] 本发明针对传统的大型船舶及船舶上设置设备相对三维空间测定不易的技术难题,提供了一种测定船舶上多台设备三维空间相对位置的方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种测定船舶上多台设备三维空间相对位置的方法,应用在多层船舶上多台设备三维空间相对位置测定,其方法步骤如下:

[0006] A、设置地面控制点和船体的加密控制点,设置两级平面控制网和一级高程控制网,平面控制网包括地面控制网和船体控制网,所述地面控制网即为首级网,船体控制网即为加密网,高程控制网布设一级,由地面控制点和船体的加密控制点共同组成;

[0007] B、准备全站仪、激光跟踪仪、棱镜、球形标靶;

[0008] C、地面控制网的布设与测量:设置观测墩,所述观测墩为垂直地面的不易变形的柱状物,位于地面,强制对中,所述观测墩的顶端设置测量仪器,仪器安装后视线距离地面和障碍物50cm以上;布设控制点,地面控制点布设强制对点4个,根据测量船舶的大小情况适当增减,不少于3个,长边中间可增加中间连接点,控制点间至少保持相邻点之间相互通视,地面控制测量开始前,先在每个地面控制点安装一套棱镜,并使用全站仪对棱镜底座进行精确整平;

[0009] D、平面控制网采用边长、水平角、垂直角同步观测;根据估算的测回数,在地面每个测站点依次观测,按全圆法进行水平角和边长观测,仪器安置时,先将棱镜和连接部拆卸下来,替换为全站仪,并检查整平状态和观测目标类型是否与棱镜型号一致;输入大气环境测量参数后开始进行观测,先让仪器沿顺时针方向,依次学习各个观测方向,然后开始自动

观测并记录数据,观测过程中随时检查各项观测指标是否符合技术要求,发现超限及时补测,每个测站按设定的测回数观测完成后,取下全站仪换上棱镜;

[0010] E、船体控制网的布设与测量:布设船体控制点,船体控制点采用靶球布设,靶球的底座带有磁性,吸附在铁材质的表面,点位的选择在满足在地面观测时的通视条件情况下,尽量靠近所要测量的设备四周,每处设备周围的控制点呈高低错落分布,满足激光跟踪仪对基准点的使用要求;船体控制网的测量,船体控制网采用自由测站的方式进行测量,平面控制以地面控制网为基准,高程控制假定其中任意一点高程为起算,船体平面控制网观测的测回数和观测技术要求与地面控制网相同,船体控制网的高程测量采用三角高程的方式测量,与平面控制同步观测,通过观测垂直角和边长计算出测站仪器中心至棱镜中心的高差;

[0011] F、设备三维空间位置的测量:设备三维空间位置坐标使用激光跟踪仪进行测量,激光跟踪仪的测量以控制测量为基准进行三维坐标采集,为激光跟踪仪提供的测量基准控制点数量不少于4个,呈高低错落分布;若控制点如果无法直接用于激光跟踪仪进行设备测量,使用激光跟踪仪进行控制网的加密延伸,延伸时的测量距离控制在激光跟踪的标称测程的1/2以内,且延伸测站不超过3站,延伸加密点应重复测量两次,检查点位相对精度应优于0.05mm;激光跟踪仪测量使用全站仪测设的船体控制点进行自身定位时,与控制测量使用的靶球规格相同,测量时根据测量目标的具体情况选用合适的测量部件进行坐标采集;

[0012] H、测量结果的精度检验:激光跟踪仪采集设备三维坐标数据时,迁站前应检核2个设站基准点,检核坐标与原坐标各分量较差要优于 $\pm 0.05\text{mm}$;每站测量数据进行重复设站测量检查,检查点比例不小于15%,检查点测量结果作为数据采集精度检验数据,与原测量数据进行对比,计算两组数据坐标差异量,分别统计坐标值X、Y、Z分量和点位的中误差,评估激光跟踪仪的测量精度。

[0013] 实际工作时,本发明要使用的测量仪器的主要技术指标和性能要求如下:

[0014] (1) 全站仪:主要用于平面和高程控制测量,数量1台,具备自动照准和记录观测数据功能,测角精度优于 $\pm 0.5''$,角度显示(最小读数)0.1",棱镜模式测距精度优于 $\pm 0.6 + 1\text{ppm}$,可根据输入的温度、气压、湿度参数对观测数据实施自动改正。

[0015] (2) 激光跟踪仪:主要用于设备点位三维坐标的采集,数量1台;3D空间测量精度优于 $\pm 10\mu\text{m} + 5\mu\text{m}/\text{m}$,线性精度(MPE):干涉测量模式(IFM)测距分辨率优于 $0.1\mu\text{m}$ 、精度优于 $\pm 0.5\mu\text{m}/\text{m}$ 、绝对距离测量模式(ADM)测距分辨率优于 $0.5\mu\text{m}$ 、ADM精度优于 $\pm 0.7\mu\text{m}/\text{m}$,角度测量(MPE):角度精度优于 $\pm 3.5\mu\text{m}/\text{m}$ 、角度分辨率优于 $0.018''$ 、水平仪精度 $\pm 2''$ 。

[0016] (3) 棱镜:应使用精度不低于0.3mm的精密圆棱镜及配套基座,基座应为底座可拆卸结构。棱镜套装的数量应与地面控制点数量相同。

[0017] (4) 球形标靶:应使用与上述激光跟踪仪匹配的精密靶球(SMR),反射率大于90%,温度系数小于 $0.1\text{ppm}/^\circ\text{C}$,位置测量误差优于 $\pm 0.5\mu\text{m}$ 。数量根据控制网每站的观测方向确定,并配备与船体控制点数据相同的靶座。

[0018] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0019] (1) 船体控制测量过程中,采用自由测站法进行观测,使控制施测更加灵活、有利于控制网的优化,并且采用自由测站法可避免对中误差对平面精度的影响;

[0020] (2) 控制网以棱镜和靶球的中心为控制点,可避免仪器高和觇标高测量误差对高

程精度的影响；

[0021] (3) 该方法布设的控制网多余观测多、控制网可靠性高、粗差探测和抵抗粗差对平差结果的影响能力强；

[0022] (4) 该方法严密平差模型通用性强，计算简便，平差结果精度高；

[0023] (5) 坐标系由地面转到船体上时，转换的方法简单，易操作，且精度可靠。

附图说明

[0024] 图1为本发明的基本流程图。

[0025] 图2为本发明测量坐标系与船舶坐标系关系图。

[0026] 图3为本发明地面控制网布设示意图。

[0027] 图4为本发明地面控制点与船体控制点的分布示意图。

[0028] 图5为本发明船体控制网观测示意图。

[0029] 图6为本发明船体控制网自由测站闭合环展开示意图。

[0030] 图7为本发明高程控制网闭合差推算线路示意图。

[0031] 图8为本发明船体坐标系的建立示意图。

具体实施方式

[0032] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0033] 需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非上下文另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0034] 除非另外具体说明，否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本发明的范围。同时，应当明白，为了便于描述，附图中所示出的各个部分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论，但在适当情况下，所述技术、方法和设备应当被视为授权说明书的一部分。在这里示出和讨论的所有示例中，任何具体值应被解释为仅仅是示例性的，而不是作为限制。因此，示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

[0035] 在本发明的描述中，需要理解的是，方位词如“前、后、上、下、左、右”、“横向、竖向、垂直、水平”和“顶、底”等所指示的方位或位置关系通常是基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，在未作相反说明的情况下，这些方位词并不指示和暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位或者以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明保护范围的限制；方位词“内、外”是指相对于各部件本身的轮廓的内外。

[0036] 为了便于描述，在这里可以使用空间相对术语，如“在……之上”、“在……上方”、

“在……上表面”、“上面的”等,用来描述如在图中所示的一个器件或特征与其他器件或特征的空间位置关系。应当理解的是,空间相对术语旨在包含除了器件在图中所描述的方位之外的在使用或操作中的不同方位。例如,如果附图中的器件被倒置,则描述为“在其他器件或构造上方”或“在其他器件或构造之上”的器件之后将被定位为“在其他器件或构造下方”或“在其他器件或构造之下”。因而,示例性术语“在……上方”可以包括“在……上方”和“在……下方”两种方位。该器件也可以其他不同方式定位(旋转90度或处于其他方位),并且对这里所使用的空间相对描述作出相应解释。

[0037] 此外,需要说明的是,使用“第一”、“第二”等词语来限定零部件,仅仅是为了便于对相应零部件进行区别,如没有另行声明,上述词语并没有特殊含义,因此不能理解为对本发明保护范围的限制。

[0038] 如图1所示,本发明的基本流程通过以下步骤实现:S1、地面控制网的布设与测量;S2、船体控制网的布设与测量;S3、船舶上多层甲板(或船仓)及船底等位置设备三维空间位置的测量与精度检验;S4、观测数据的处理与精度评定。

[0039] 坐标系设定,船舶测量通常是在针对船体所进行的测量,所以测量坐标系通常为假定坐标系,平面和高程基准均采用假定值,但测量成果需要转换至以船舶坐标系中,船舶坐标系通常是以吃水线参考面为基准面,而测量时是以水平面为参考基准面的,因此需要建立相互测量坐标系与船舶坐标系之间的转换关系。

[0040] 两个坐标系的关系如图2所示。

[0041] 如图3所示,地面控制点布设强制对中点4个(分布如下图所示),可根据测量目船舶的大小情况适当增减,最少不少于3个。长边中间如果现场通视条件允许,可增加中间连接点,如图3的虚线连接点,控制点间至少保持相邻点相互通视。地面控制测量开始前,先在每个地面控制点安装一套棱镜,并使用全站仪对棱镜底座进行精确整平。

[0042] 地面控制网做为首级网,宜指定其中一条长边做为起算和定向基准,并只进行平面控制测量,即只做边长和水平角观测。地面控制网应按闭合导线(网)进行观测。

[0043] 参考《精密工程测量规范》(GB/T15314-94),地面平面控制网应以相邻点相对点位中误差作为精度指标,分为一、二、三、四级,各等级精度指标如表1所示。应根据项目的设备点位成果精度要求,确定平面控制网的精度等级。

[0044]	等级	一级	二级	三级	四级
	相邻点相对点位中误差	0.2	1.0	3.0	5.0

[0045] 表1平面控制网精度等级(mm)

[0046] 各精度等级导线的方位角闭合差应符合表2的规定。

[0047]	等级	一级	二级	三级	四级
	测回数	$0.8\sqrt{n}$	$1.4\sqrt{n}$	$2.8\sqrt{n}$	$5.6\sqrt{n}$

[0048] 注:n为测站数。

[0049] 表2各等级导线方位角闭合差限差

[0050] 结合所选用的控制网精度等级与全站仪的标称精度指标,根据下面的公式估算角度和边长观测的测回数。

$$[0051] \quad m_p = \pm \sqrt{\left(\frac{m_s}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{m_a}{\sqrt{n}} \times \frac{S}{\rho}\right)^2} \quad (1)$$

[0052] 式中： m_p --表示控制网相邻点相对点位中误差；

[0053] m_s --表示全站仪标称测距中误差；

[0054] m_a --表示全站仪标称测角中误差；

[0055] S --表示边长；

[0056] n --表示测回数；

[0057] ρ --表示常数206265。

[0058] 对每个测站的可通视方向应按全圆法进行观测，观测技术要求符合表3要求。

仪器类型	半测回归零差	一测回内2C互差	同一方向值各测回互差
DJ05	4	8	4

[0060] 表3水平角方向观测法各项限差要求(″)

[0061] 测回法观测垂直角各项限差要求符合表4要求。

仪器类型	竖盘指标差	测回间垂直角互差	同方向各测回指标差互差
DJ05	9	8	5

[0063] 表4垂直角观测各项限差要求(″)

[0064] 作业方法

[0065] 平面控制网采用边长、水平角、垂直角同步观测；根据估算的测回数，在地面每个测站点依次观测，按全圆法进行水平角和边长观测。仪器安置时，先将棱镜和连接部拆卸下来，替换为全站仪，并检查整平状态和观测目标类型是否与棱镜型号一致；输入大气环境测量参数后开始进行观测，先让仪器沿顺时针方向，依次学习各个观测方向，然后开始自动观测并记录数据，观测过程中随时检查各项观测指标是否符合技术要求，发现超限及时补测。每个测站按设定的测回数观测完成后，取下全站仪换上棱镜。

[0066] 全站仪测量时，视线离障碍物距离要大于0.5米；观测过程中应注意始终保持照准部水准气泡居中；仪器测前、测后要对测距加常数和乘常数进行检验，确定常数值与棱镜参数相匹配；边长测量应加大气改正，在开测前应预先将仪器、气压表、温度计、湿度计打开，使其与外界条件相适应，经过一段时间后再观测；在测回始末，分别在测线两端点上测定温度和气压数据，温度读至0.1℃，气压读至0.1hPa，读取气象元素时，气压表应置平，防止指针搁滞，温度计须悬挂在离地面约1.5m左右或与测距仪近似同高，不受阳光直射、受辐射影响小和通风良好的地方；测回始末所测的气象元素的互差（测站、镜站分别比较）干湿温度不得超过1℃，气压不得超过1hPa。仪器和棱镜替换过程中注意要轻拿轻放，尽量避免在测量过程中调整基座脚螺旋引起仪器或棱镜高度发生变化。

[0067] 船体控制网的布设与测量

[0068] 控制点的布设

[0069] 船体控制点采用靶球(SMR)布设，靶球的底座通常带有磁性，可以吸附在铁材质的表面，为了避免测量过程中位置发生变化，宜加涂强力胶进行固定。点位的选择在满足在地面观测时的通视条件情况下，宜尽量靠近所要测量的设备四周，在每处设备周围的控制点应呈高低错落分布，以满足激光跟踪仪对基准点的使用要求；点位分布同时应考虑船舶四周

点位的衔接,以便于控制网的连接。控制点通常可以布设在船舷上、船侧面以及船周其他地面设备或设施的表面。点位中宜同时包括船舶轴线点、船艏轴线点及船体吃水面上的点(船周不少于4个且均匀分布),或布设为激光跟踪仪加密点。

[0070] 地面控制点与船体控制点的分布如图4所示。

[0071] 船体控制网采用自由测站的方式进行测量,平面控制以地面控制网为基准,高程控制假定其中任意一点高程为起算。船体平面控制网观测的测回数 and 观测技术要求与地面控制网相同。船体控制网的高程测量采用三角高程的方式测量,与平面控制同步观测,通过观测垂直角和边长计算出测站仪器中心至棱镜中心的高差。参考《精密工程测量规范》(GB/T15314-94),高程控制网以测站高差中误差作为精度指标,分为一、二、三、四级,各等级精度指标如表5所示。

[0072]	等级	一级	二级	三级	四级
	测站高差中误差mm	0.03	0.05	0.1	0.3

[0073] 表5高程控制网精度等级

[0074] 根据测量精度要求,确定高程控制测量的精度等级,各精度等级的环闭合差的要求如表6所示。

	等级	一级	二级	三级	四级
[0075]	环闭合差 mm	$0.06\sqrt{n}$	$0.1\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$	$0.6\sqrt{n}$

[0076] 注:n为测站数。

[0077] 表6高程控制网环闭合差

[0078] 当闭合环的个数超过20个时,测站高差中误差按下式计算:

$$[0079] \quad M = \pm \sqrt{[ff/n]/N} \quad (2)$$

[0080] 式中:

[0081] f--环闭合差,mm;

[0082] n--计算各f值相应的测站数;

[0083] N--闭合差个数。

[0084] 当闭合环不足20个而网中测段数超过20个时,按下式计算:

$$[0085] \quad M = \pm \sqrt{[dd/n]/(4N)} \quad (3)$$

[0086] 式中:

[0087] d--测段往返不符值,mm;

[0088] n--计算各d值相应的测站数;

[0089] N--往返不符值个数。

[0090] 观测时,每个自由设站点以能同时观测到至少2个地面控制点为宜,并同步观测船体控制点中可通视点至少3个点,条件允许时每个测站宜尽可能多的增加观测方向,以增加多余观测数和检核条件,提高控制网的探测粗差的灵敏度。相邻测站点应重复观测不少于3个公共点,且每个船体控制点有至少3个方向的观测数据,并在测站绕船体一周后与首站进行闭合。观测过程采用自动测量模式,学习每个观测方向时,应设置好对应的观测目标类型

和对应的棱镜常数。

[0091] 自由测站点的设置及观测方向如图5所示。

[0092] 全站仪测量时,视线离障碍物距离要大于0.5米;观测过程中应注意始终保持照准部水准气泡居中;仪器测前、测后要对测距加常数和乘常数进行检验,确定常数值与棱镜参数相匹配;边长测量应加大气改正,在开测前应预先将仪器、气压表、温度计、湿度计打开,使其与外界条件相适应,经过一段时间后再观测;在测回始末,分别在测线两端点上测定温度和气压数据,温度读至0.1℃,气压读至0.1hPa,读取气象元素时,气压表应置平,防止指针搁滞,温度计须悬挂在离地面约1.5m左右或与测距仪近似同高,不受阳光直射、受辐射影响小和通风良好的地方;测回始末所测的气象元素的互差(测站、镜站分别比较)干湿温度不得超过1℃,气压不得超过1hPa。仪器和棱镜替换过程中注意要轻拿轻放,尽量避免在测量过程中调整基座脚螺旋引起仪器或棱镜高度发生变化。

[0093] 设备三维空间位置的测量与精度检验

[0094] 设备三维空间位置坐标使用激光跟踪仪进行测量,激光跟踪仪的测量应以控制测量为基准进行三维坐标采集。

[0095] 为激光跟踪仪提供的测量基准控制点数量应不少于4个,且呈高低错落分布。控制点如果无法直接用于激光跟踪仪进行设备测量,使用激光跟踪仪进行控制网的加密延伸。延伸时的测量距离宜控制在激光跟踪的标称测程的1/2以内,且延伸测站宜不超过3站。延伸加密点应重复测量两次,检查点位相对精度应优于0.05mm。

[0096] 设备三维空间位置的测量

[0097] 激光跟踪仪测量使用全站仪测设的船体控制点进行自身定位时,应与控制测量使用的靶球规格相同。设备三维空间位置测量应参照激光跟踪仪操作手册进行测量,测量时根据测量目标的具体情况选用合适的测量部件进行坐标采集。

[0098] 测量结果的精度检验

[0099] 激光跟踪仪在现场采集设备三维坐标数据时,迁站前应检核2个设站基准点,检核坐标与原坐标各分量较差应优于±0.05mm。且每站测量数据应进行重复设站测量检查,检查点比例不小于15%,检查点测量结果作为数据采集精度检验数据,与原测量数据进行对比,计算两组数据坐标差异量,并分别统计坐标值X、Y、Z分量和点位的中误差(公式如下),评估激光跟踪仪的测量精度。

$$[0100] \quad m_{\text{检}} = \pm \sqrt{[\Delta_i^2]/(2n)} \quad (4)$$

[0101] 式中: Δ_i --对比差异量;n为样品数量。

[0102] 控制测量数据处理过程如下:

[0103] (1) 生成数据平差文件

[0104] 包括平面控制测量平差文件、高程控制测量平差文件;平面控制测量平差文件包括地面平面控制网平差文件和船体平面控制网文件;平面控制测量的观测数据为平距和水平角观测数据,高程控制测量是按三角高程法进行施测的,其观测数据为边长和垂直角,需要根据原始观测数据,计算各边的观测高差,然后以高差数据编制高程控制测量平差文件;文件格式应与所使用的平差软件相匹配。

[0105] (2) 地面平面控制网平差

[0106] 控制网平差采用严密平差计算,先验精度取全站仪的标称精度;先进行地面平面控制网的平差,固定一个点为起算点,并假定平面坐标X、Y值,假定一条长边方位做为起算方位。平差后控制网精度应满足技术设计要求,即最弱点点位中误差和导线环闭合差应优于设计值。地面控制网参照导线网严密平差模型进行平差,此处不作描述。

[0107] (3) 船体平面控制网平差

[0108] 以地面平面控制网平差结果作为起算数据,对船体平面控制网进行严密平差并进行精度评定。平差采用间接平差法,先以每个自由测站为单位,以任意方向为起算方位,以测站点为坐标原点,计算测站内所有点位在测站坐标系下的坐标。根据每个测站的已知点在测站坐标系下的坐标和在地面坐标系下的坐标,按二维四参数平面坐标转换模型(公式1)计算转换参数,再将测站内的所有点位坐标转换至地面控制坐标系下,作为平差计算的近似坐标。根据这些近似坐标分别列出每条边的坐标方位角误差方程和边长误差方程(公式2)。将观测值代入方程,组成方程组,并转换为矩阵形式,按最小二乘原理,组成法方程,解法方程,求解出未知数。

$$\begin{bmatrix} X_{Pn}^0 \\ Y_{Pn}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{Pn} \\ Y_{Pn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{cases} v_{mi} = -\hat{z}_m + a_{mi} \hat{x}_m + b_{mi} \hat{y}_m - a_{mi} \hat{x}_i - b_{mi} \hat{y}_i - l_{mi} \\ v_i = -\frac{\Delta X_{mi}^0}{S_{mi}^0} \hat{x}_m - \frac{\Delta Y_{mi}^0}{S_{mi}^0} \hat{y}_m + \frac{\Delta X_{mi}^0}{S_{mi}^0} \hat{x}_i + \frac{\Delta Y_{mi}^0}{S_{mi}^0} \hat{y}_i - l_i \end{cases} \quad (2)$$

[0110] 如图6所示,只保留必要观测,平差时可将其中1个地面控制点设为检核点,平差后对比检查点平差后坐标与原坐标的平面点位差异。船体控制网采用自由设站法进行观测,并组成闭合环,通过计算环闭合差来评定测量精度。将闭合环展开,图中AB边为起算边,P1、P3、Pn为船体控制点,P2、P4、Pn+1为自由测站点。计算时以A、B两点为已知点,根据后方交会公式计算出P2点坐标,再根据P2站观测P1、P3点的边角数据推算出P1、P3点的坐标,再以P1、P3为已知点按后方交会公式计算出P4点坐标,依次类推,最终推算出A、B点的测量坐标并计算出AB边的方位角,计算与原坐标和方位的差异量,即为坐标闭合差和方位角闭合差。同时平差结果中,应对控制网中最弱点和最弱边的精度进行评定。

[0111] (4) 高程控制网的平差

[0112] 高程控制网按地面控制网和船体控制网整体平差;同样按间接平差法,以测站点和船体控制点的高程为参数,列出各边的高差观测误差方程,组成法方程,解法方程,求出各边的高差改正数。

[0113] 高程控制测量是按三角高程测量模式施测的,有多个小闭合环,计算出这些小闭合环的闭合差,根据船体控制测量技术要求中的方法,进行测站高差中误差的计算。整个网的闭合差可选择观测网图中较长的一条线路进行推算。本发明线路如图7所示。

[0114] 设备三维空间位置测量数据处理如下:

[0115] 激光跟踪仪测量的设备三维空间位置数据处理在激光跟踪仪配套的数据处理软件中完成。数据处理时应将三维坐标归算至测量目标点位,并注意核对测量参考基准点的三维坐标数据,应使用平差后的控制点坐标和高程。数据处理后制作三维坐标文件,文件格

式为:点名,X,Y,Z。

[0116] 坐标系转换公共点的数据处理如下:

[0117] 在控制网观测时,观测了船艏、船艉的轴线点和吃水面上的点位三维坐标,这些坐标是船体相对于地面坐标系的坐标,也是建立船体坐标系的公共点,按如下方法建立船体坐标系,并进行坐标系的转换。

[0118] (1) 根据吃水面上的点位坐标,采用最小二乘法拟合出吃水面所在的平面,并计算出点的新坐标。以4个点为例说明:

[0119] ①假设这四个点的坐标分别为A(x1,y1,z1),B(x2,y2,z2),C(x3,y3,z3),D(x4,y4,z4)。

[0120] ②构建方程:拟合平面的方程可以表示为 $ax+by+cz+d=0$,其中(a,b,c)是平面的法向量的分量,(x,y,z)是平面上任意一点的坐标,d是平面的截距。

[0121] ③将平面方程转化为参数形式: $x=x_0+at, y=y_0+bt, z=z_0+ct$,式中t是一个参数,(x0,y0,z0)是平面上的一点。

[0122] ④利用最小二乘法来求解参数a、b、c和平面上的一点(x0,y0,z0)。最小二乘法的目标是最小化平面和已知数据点之间的平方距离的总和,可以得到以下方程组: $\sum (ax_i+by_i+cz_i+d)^2=\min$ (其中 $i=1$ 到 4)。

[0123] ⑤通过求解上述方程组,可以得到最佳拟合平面的参数。

[0124] ⑥根据拟合得到的平面方程,将每个点的x和y坐标带入方程,得到拟合平面上对应的z值,得到修正后的坐标,新的点坐标为A(x1,y1,z1'),B(x2,y2,z2'),C(x3,y3,z3'),D(x4,y4,z4')。

[0125] (2) 将船艏、船尾及拟定的船体重心点在这个拟合好的吃水参考平面上进行投影,计算出投影点的坐标。

[0126] (3) 如图8所示,以投影点和重心点重新建立坐标系,坐标系的原点O为重心点的投影点,坐标系纵轴(X轴)为过重心点且与船艏点与船艉点的连线平行,并以指向船艏方向为正;以过原点垂直于纵轴方向为坐标系横轴(Y轴),并以指向船右舷方向为正;以垂直于拟合出的吃水面且过原点的轴为Z轴。

[0127] (4) 船体坐标系建立好以后,在坐标系横轴上虚拟出一个点C',并根据平面方程计算出点的三维坐标,将坐标原点O、船艏投影点A'、船艉投影点B'、横轴虚拟点C'及所有设备测量点在CAD软件中进行三维坐标展点。

[0128] (5) 展点后,使用CAD中的UCS(用户自定义坐标系)命令,重新指定新坐标系的坐标原点(O点),及X轴(A'点)、Y轴(C'点),这样就将所有设备点位转换至船体坐标系下,这时重新提取所有点位的坐标,即得到所有设备在船体坐标系下的三维坐标。在用户自定义坐标系过程中,如果X、Y坐标轴选择与CAD的世界坐标系(WCS)一致,即横轴指定为X轴,纵轴指定为Y轴,则Z轴会与船体坐标系相反,即向上为正,需要将转换结果中的Z值全部进行正负反号处理。

[0129] 设备测量成果的精度按以下方法进行估算:

[0130] (1) 设备平面点位测量中误差 m_a 按下式进行估算:

$$[0131] \quad m_a = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}$$

[0132] 其中： m_1 为地面控制测量中误差，取地面控制网平差结果中最弱点点位中误差； m_2 为船体控制测量中误差，取船体平面控制测量平差结果中最弱点点位中误差； m_3 为激光跟踪仪测量设备点位的平面中误差，取激光跟踪仪重复设站检核测量的平面中误差。有控制网加密延伸时，增加延伸部分的测量检验中误差。也可根据项目需求对平面坐标分量的中误差进行分别估算。

[0133] (2) 设备点位高程测量中误差 m_b 按下式进行估算：

[0134] 设备点位的高程测量中误差按下式进行估算：

[0135]
$$m_b = \pm \sqrt{m_4^2 + m_5^2}$$

[0136] 其中： m_3 为高程控制测量中误差，取高程控制测量平差结果中最弱点高程中误差； m_4 为激光跟踪仪测量设备碎部测量高程中误差，取激光跟踪仪重复设站检核测量Z方向中误差。

[0137] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例，对于本领域的普通技术人员而言，可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型，本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

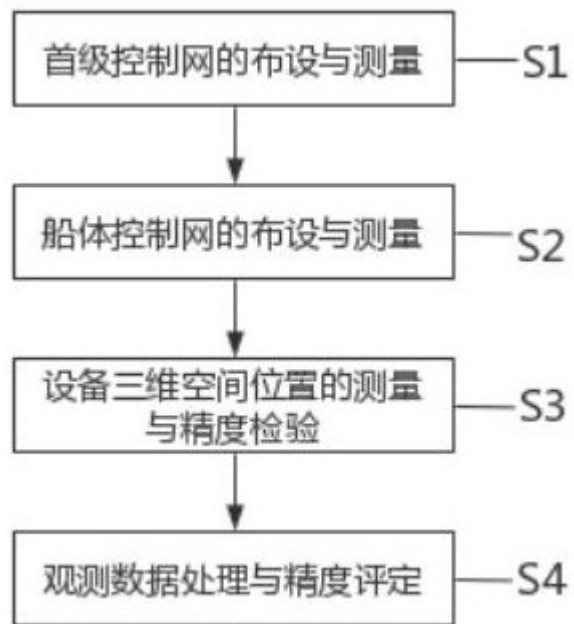


图 1

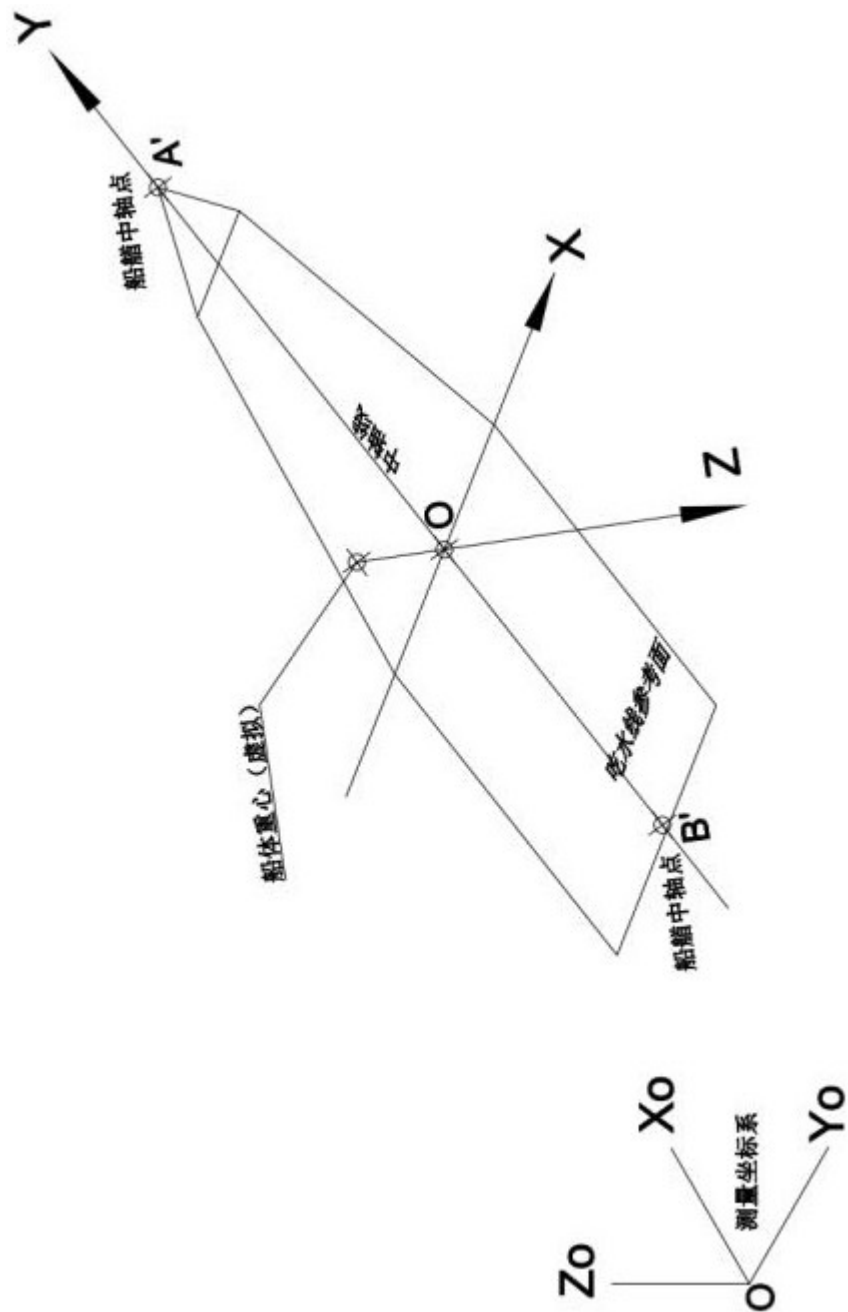


图 2

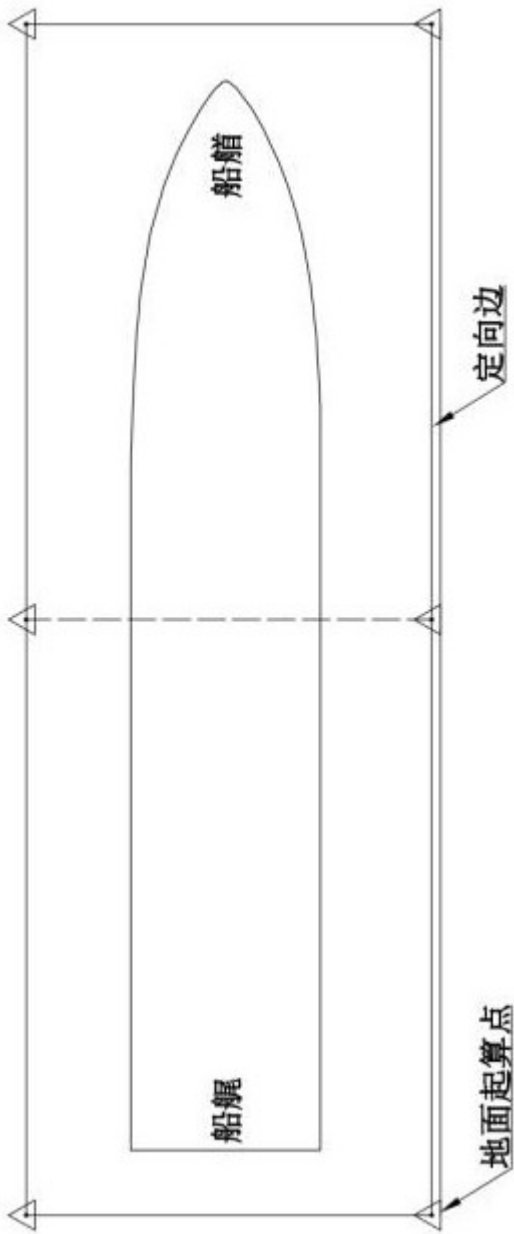


图 3

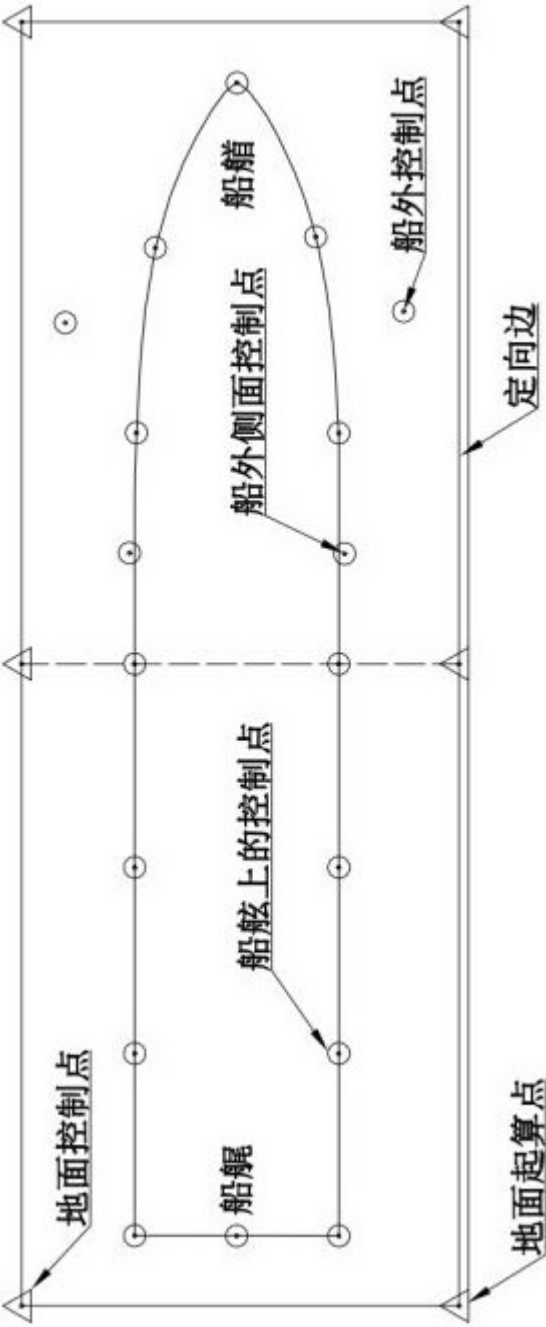


图 4

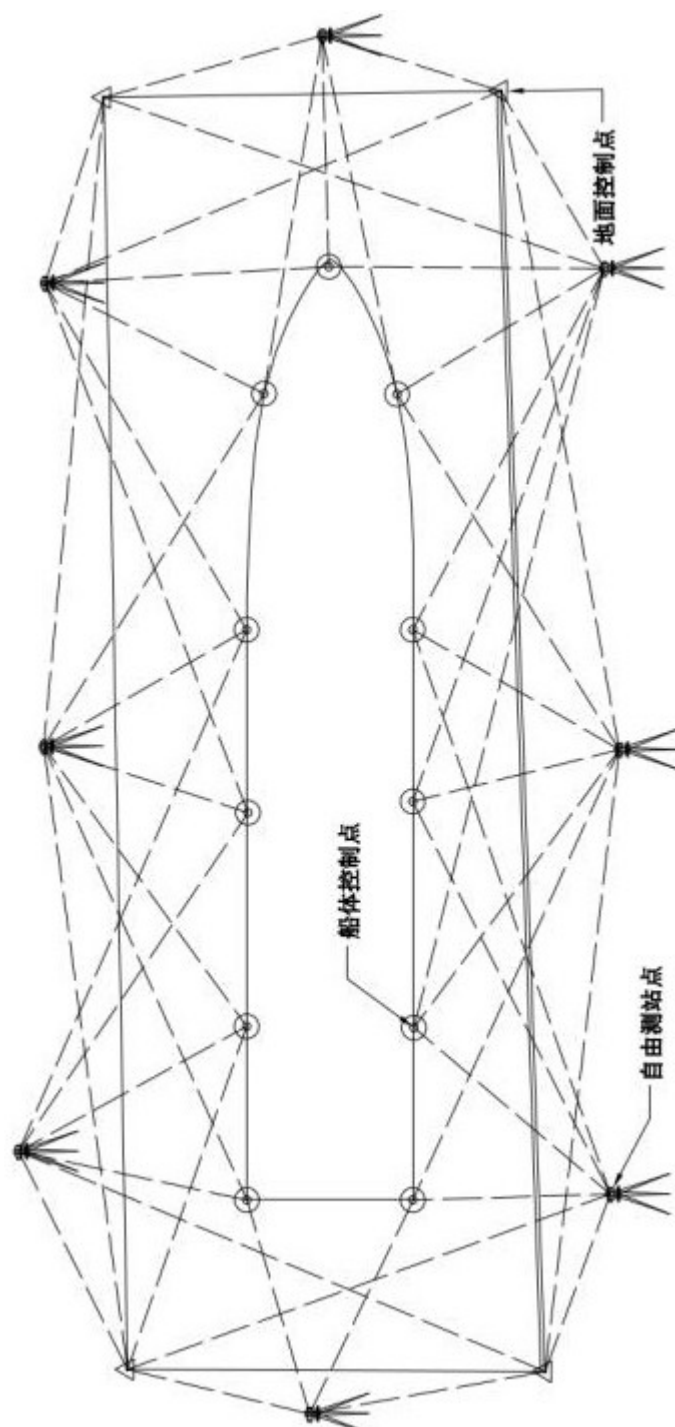


图 5

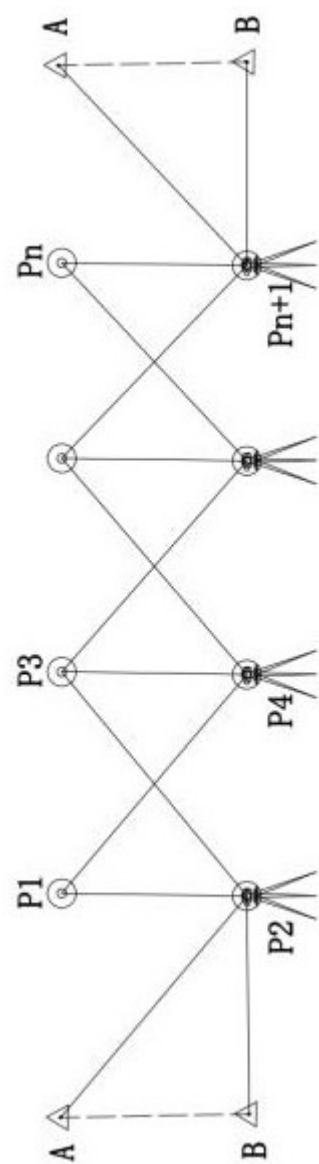


图 6

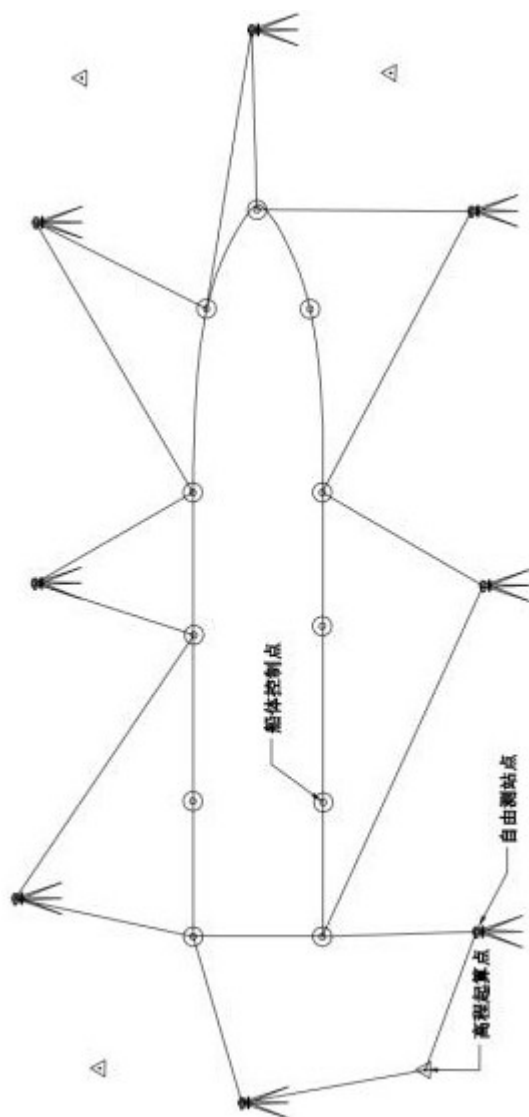


图 7

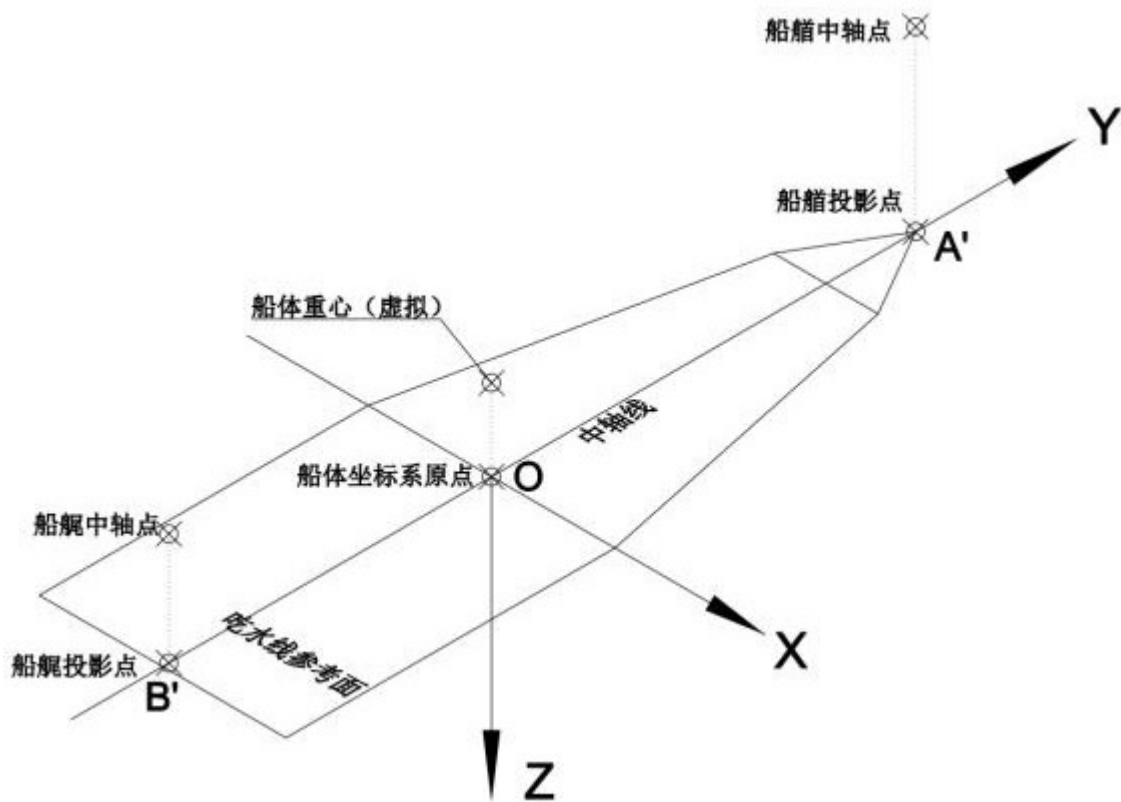


图 8