

团 体 标 准

T/CIN 085—2025

跨海沉管隧道施工测量规范

Specifications for construction survey of undersea immerse tunnel

2025 - 10 - 10 发布

2026 - 01 - 10 实施

中国航海学会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 2

5 控制测量 3

6 施工测量 8

7 线形测量 12

8 水下地形测量 14

9 沉管变形监测 15

10 水文观测 16

附录 A （资料性）记录表 18

参考文献 24

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。

请注意本标准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。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：中交第一航务工程局有限公司、中交天津港湾工程设计院有限公司、中交天津港湾工程研究院有限公司、中交一航局华南工程有限公司。

本文件主要起草人：潘伟、刘兆权、锁旭宏、阚卫明、张超、陶振杰、孔令臣、宁进进、胥新伟、管泽旭、岳远征、邓宏彦、冯玉玺、陈虢、刘晓辉、李海滨、赵瑞军、王立强、王会雄、朱岭、陈智军、于鸿明、寇晓强、吕迎雪。

跨海沉管隧道施工测量规范

1 范围

本文件规定了跨海沉管隧道施工的控制测量、施工测量、线形测量、水下地形测量、沉管变形监测、水文观测等要求。

本文件适用于跨海沉管隧道施工的测量工作。

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 12897 国家一、二等水准测量规范
GB/T 183140--2024 全球导航卫星系统（GNSS）测量规范
GB/T 42640--2023 多波束水下地形测量技术规范
GB 50026--2020 工程测量标准
GB 51201 沉管法隧道施工及质量验收规范
GB 550180--2021 工程测量通用规范
JTG C10--2007 公路勘测规范
JTS 131--2012 水运工程测量规范
JT/T 790 多波束测深系统测量技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

沉管隧道 immersed tunnel

将若干预制完成的基本结构单元通过浮运、沉放、对接形成的水下隧道。

[来源：JTG/T 3371-01—2022，2.1.1]

3.2

GINA 止水带 outer gasket

安装于管节接头处外贴压缩式防水专用橡胶制品。

[来源：GB 51201—2016，2.0.24]

3.3

Omega 止水带 `iner gasket`

安装于管节接头处内贴可卸式防水专用橡胶制品。

[来源: GB 51201—2016, 2.0.25]

3.4

变形监测网 `deformation monitoring network`

由基准点、工作基点、变形监测点组成的监测网, 包括平面控制网和高程控制网。

3.5

测控系统 `measurement and control system`

集成多种定位设备(GNSS、声呐、姿态仪等)与多个传感器, 通过可视化界面实时呈现基床及沉管的安装位置, 为施工过程提供测量控制的专用系统。

3.6

端钢壳 `steel shell of the terminal surface`

用于管节或衔接段端头止水带安装的钢构件。

[来源: GB 51201—2016, 2.0.30]

3.7

线形测量 `geometry measurement`

沉管隧道施工过程中, 对端钢壳几何形状或沉管隧道轴线进行控制的测量。

3.8

线形拟合 `linear fitting`

测量沉管端面特征点三维空间位置, 并根据测量数据拟合沉管端面代表曲线位置的测量。

4 一般要求

- 4.1 沉管隧道施工测量应做到精细化、系统化, 数字化, 技术先进, 测量成果质量可靠。
- 4.2 测量工作应使用统一的测量基准。
- 4.3 施工测量使用的仪器设备、软件等应制定使用管理规章制度, 按规定周期进行检定并按要求进行自检。

- 4.4 跨海沉管隧道施工测量应包括控制测量、施工测量、线形测量、水下地形测量、沉管变形监测、水文观测等内容。
- 4.5 控制测量应按照“由整体到局部、先控制后碎部、分级布网、逐级控制”的原则进行平面及高程控制网布设。
- 4.6 施工测量应包括隧道基础施工、沉管沉放对接施工、回填施工等工序的测量。
- 4.7 线形测量应包括管节端钢壳空间姿态测量、管节线形拟合及模拟安装等。
- 4.8 水下地形测量应包括航道扫测、基础及回填施工扫测、回淤监测等工作。
- 4.9 沉管变形监测应包括管节安装后的垂直位移监测、水平位移监测。
- 4.10 水文观测应包括管节浮运、安装期间的水文数据测量。
- 4.11 跨海测量控制网应根据测区具体条件及精度要求进行专项设计并布设。
- 4.12 施工期的测量应统筹考虑竣工测量的技术要求。

5 控制测量

5.1 基本要求

- 5.1.1 控制测量应包括平面控制测量和高程控制测量，并符合 GB 55018—2021 中 3.1 的有关规定。
- 5.1.2 沉管隧道控制测量宜分三级控制，一级网为勘测设计阶段提交的首级控制网，二级网为在一级网基础上加密的首级加密控制网，三级网为贯通测量等专用的次级加密网。
- 5.1.3 隧道施工前应复测首级控制网，精度满足要求后方可使用。
- 5.1.4 控制网的精度等级、误差要求、仪器性能、布点和测量方法等应符合 GB 51201 的有关规定，控制网测量记录见附录 A 中 A.1。
- 5.1.5 跨海控制网宜采用布置在稳固的桩基础平台上的控制点进行加密，平台数量及位置宜根据隧道长度、测量精度等因素确定。

5.2 平面控制测量

- 5.2.1 投影面宜选择线路平均高程面，投影长度变形值应满足 JTG C10—2007 中 4.1.1 的要求，应结合工程精度要求，在测量方案中明确是否进行投影面改正。
- 5.2.2 开工前，对首级控制网进行复测；首级控制网连续运行参考站信息及坐标转换参数应进行检查比对，参考站应进行信号接收测试。
- 5.2.3 平面控制网的建立，可采用卫星定位测量、导线测量、三角形网测量等方法。
- 5.2.4 根据 GB/T 18314—2024 中 5.3.2 及 JTG C10—2007 中 4.1.1 的规定，平面控制网的精度应满足表 1 的要求。

表 1 平面控制网的精度要求

控制网等级	最弱点点位中误差（cm）	最弱相邻点边长相对中误差
一级网	±0.5	1/1000 000
二级网	±5	1/100 000
三级网	±5	1/70 000

- 5.2.5 卫星定位测量可用于一级网测量及二级网的建立；导线测量及三角形网测量可用于三级网的建立。

5.2.6 首级加密控制网建立满足下列要求：

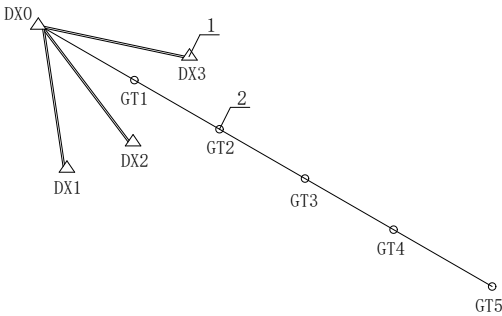
- a) 应编制测量技术设计书，观测后应编制成果报告；
- b) 应覆盖整个施工区域，点位应均匀布设；
- c) 观测宜采用卫星定位测量方法，联测不少于 3 个首级控制网点，观测应满足表 2 要求；
- d) 施工过程中，首级加密网应进行复测，宜为每季度一次；
- e) 当控制点发生移位或精度不满足要求时，应立即进行复测并验证，误差超限时对点位进行修正，并编制报告备案。

表 2 各级 GNSS 网观测的技术要求

项目	技术指标要求			
	B	C	D	E
卫星截止高度角/（°）	15	15	15	15
同时观测有效同系统卫星数	≥4	≥4	≥4	≥4
有效观测卫星总数	≥20	≥6	≥4	≥4
观测时段数	≥3	≥2	≥1.6	≥1.6
时段长度	≥23 h	≥4 h	≥60 min	≥40 min
采样间隔/（s）	30	15~30	5~15	5~15
<p>注 1：计算有效观测卫星总数时，将各时段的有效观测卫星数扣除其间的重复卫星数。</p> <p>注 2：观测时段长度为开始记录数据到结束记录的时间长度。</p> <p>注 3：观测时段数“≥1.6”指采用网观测模式时，每站至少观测一时段，其中二次设站点数不少于 GNSS 网总点数的 60%。</p> <p>注 4：采用基于卫星导航定位基准站的点观测模式时，可连续观测，但观测时间不低于表中规定的各时段观测时间的和。</p>				

5.2.7 贯通测量控制网建立满足下列要求：

- a) 应在首级加密控制网的基础上加密建立并结合管节安装精度要求编制测量方案；
- b) 定向点应按照“即测即用”的原则使用，贯通测量控制网进入隧道的引测定向点应不少于 3 个，引测定向点宜位置稳定、通视条件良好，示意图见图 1；

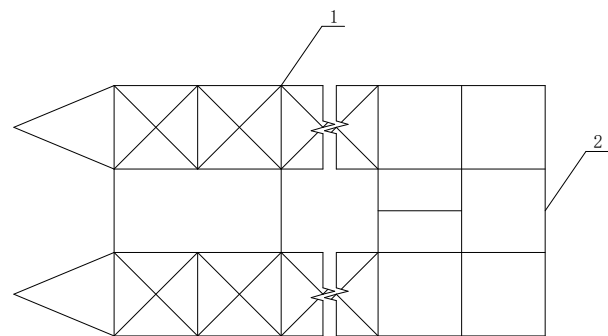


标引序号说明：

- 1——引测定向点；
- 2——贯通测量控制点。

图 1 贯通测量控制网进入隧道引测定向示意图

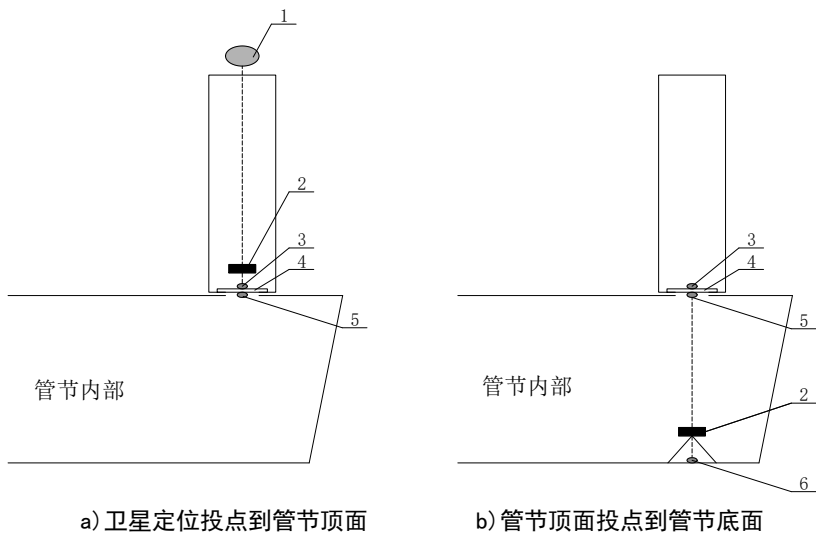
- c) 控制网应分隧道内和隧道外两部分，隧道外控制网宜采用卫星定位观测，隧道内控制网应采用全站仪观测；
- d) 贯通测量控制网在管节安装初期宜采用支导线形式布设；当管节安装达到一定数量、条件具备后应采用导线网布设，在横向通道位置进行左右车道联测或单孔行车道内形成锁网，示意图见图 2；



- 标引序号说明：
- 1——导线点；
- 2——贯通面。

图 2 隧道内控制网布设形式示意图

- e) 贯通测量成果宜采用“测量塔投点+卫星定位静态观测”方法进行检核，示意图见图 3；



- 标引序号说明：
- 1——GNSS 接收机；
- 2——天顶天底仪；
- 3——转点 1；

- 4——人孔井盖板；
- 5——转点 2；
- 6——转点 3。

图 3 贯通测量成果校核示意图

- f) 单向贯通距离超过 1.5km 的隧道，应在隧道每前进 1km 处增加陀螺观测，复核贯通测量控制网的精度。
 - g) 贯通测量投影面宜选择合拢贯通面。
- 5.2.8 预制场管节标定控制网建立符合下列规定：
- a) 标定控制网可不与首级控制网联测，根据施工区的布置形式独立建立；
 - b) 标定控制网宜采用三角网或导线的形式布测，应根据管节安装精度评估标定精度，编制测量方案；
 - c) 控制点的布设应选择在基础稳定、预制施工影响小、易于保存标志、相邻点通视良好、旁折光影响小的位置。

5.3 高程控制测量

- 5.3.1 高程基准宜采用 1985 国家高程基准或理论深度基准面。
- 5.3.2 开工前应对首级高程网进行复测。
- 5.3.3 沉管隧道涉及到的跨海水准测量应根据测距选择合适的方法，可采用光学测微法、倾斜螺旋法、测距三角高程法、经纬仪倾角法及 GNSS 测量法。
- 5.3.4 根据 GB/T 12897—2006 中 4.2 及 JTS 131—2012 中 5.2 的规定，高程控制网的精度应满足表 3 的要求。

表 3 高程控制网的精度要求

控制网等级	用途	每千米水准测量的中误差限值(mm)	
		偶然中误差	全中误差
一级网	测量基准	0.45	1
二级网	高精度施工	1	2
三级网	局部施工	3	6

- 5.3.5 高程控制网的建立宜采用一、二等几何水准测量，技术要求满足表 4 的要求，无法使用几何水准测量的区域采用测距三角高程测量，技术要求满足表 5 的要求。

表 4 几何水准测量技术要求

表 5 测距三角高程法二等水准测量技术要求

跨水面视线长度/m	最少时间段数	双测回数	半测回中的组数
100-300	2	2	2
301-500	2	2	4
501-1000	4	8	6
1001-1500	6	12	8
1501-2000	8	16	8
2000 以上	4 • S	8 • S	8
注：表中 S 为跨水面视线长度千米数，尾数凑整到 0.5。			

- 5.3.6 测距三角高程测量时的气象条件符合下列规定：
- a) 跨海水准测量应在能见度良好的天气下进行，避免雨、雪、雾等对视线的影响。降雨强度超过 50mm/h 或能见度低于 200m，应暂停光学测量；
 - b) 宜选择温度变化较小的时段进行观测；
 - c) 当风速不小于 5 级时，应采取防风措施，可加装配重块（不小于 20 kg）或使用强制对中基座固定棱镜组，对中误差应不大于 0.5 mm；风速大于 6 级时，应暂停外业测量。

5.4 参考站建设

5.4.1 不具备岸上建立参考站条件时，参考站应建在人工岛或隧址海域的测量平台上，参考站的稳定性应满足设计要求。

5.4.2 测量平台选址应考虑卫星差分信号覆盖范围、通航航道等因素。

等级	仪器类别	视线长度（m）		前后视距差（m）		任一测站前后视距差累积（m）		视线高度（m）		数字水准仪重复测量次数
		光学	数字	光学	数字	光学	数字	光学（下丝读数）	数字	
一等	DSZ05、DS05	≤30	≥4 且 ≤30	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤3.0	≥0.5	≤2.8 且 ≥0.65	≥3
二等	DSZ1、DS1	≤50	≥3 且 ≤50	≤1.0	≤1.5	≤3.0	≤6.0	≥0.3	≤2.8 且 ≥0.55	≥2
注：下丝为近地面的视距丝。几何法数字水准仪视线高度的高端限差一、二等允许到 2.85m，相位法数字水准仪重复测量次数可以为上表中数值减少一次。所有数字水准仪，在地面震动较大时，应随时增加重复测量次数。										

5.4.3 测量平台面积宜不小于 100 m²，应设置观测室、观测墩、电台天线柱、供电、照明、排水、防雷、防台、救生等设施，设置闪爆灯等安全警示设施，除应符合 JTS 131 的相关规定外，还需满足下列要求：

- a) 观测室应设置卫星接收机、电台等仪器设备，考虑设备隔热、通风等要求；
- b) 根据需求设置不同高度的观测墩，观测墩应设置强制对中装置；
- c) 电台天线柱与观测墩距离宜不小于 1.5m；
- d) 电力供应应满足所有设备正常运行，保证断电的情况下能持续工作 24h，供电宜采用太阳能电池板。

5.4.4 参考站的卫星接收机选型原则宜为北斗单模主机为主，多模多频 GNSS 主机为辅。

6 施工测量

6.1 基本要求

6.1.1 施工测量包括管节预制测量、基础施工测量、管节浮运施工测量、管节安装施工测量、最终接头施工测量、管节回填施工测量等。

6.1.2 施工测量前应分析各工序的精度指标要求，制定测量方案，开发适用的测控系统并进行精度测试符合要求后方可投入使用。

6.1.3 施工时应应对参考站进行不低于 24h 的差分定位精度测试，并记录信号失锁或精度低的时段，记录应符合 GB/T 18314 的要求。

6.2 管节预制测量

6.2.1 管节预制测量的平面测量基准宜采用独立坐标系，高程采用 1985 国家高程基准。

6.2.2 主要测量内容包括模板安装测量、钢筋骨架定位测量、预埋件及端钢壳测量、管节几何尺寸测量、顶推测量等。

6.2.3 主要设备的精度应满足以下要求：

- a) 全站仪测角精度优于 1"，测距精度优于 2mm+2ppm；
- b) 水准仪精度 DS05 级。

6.2.4 沉管预制关键精度控制点应为轴线及端钢壳线形控制。

6.2.5 测量前应对设备进行校准，确保仪器状态良好；实行自检、互检、专检“三级复核”制度。

6.2.6 空间点位测量宜采用边角后方交会法，线形检测采用最小二乘法拟合，变形监测采用多期观测比较法。

6.2.7 顶推过程宜采用测量机器人实时追踪顶推过程管节轴线与滑移轨道轴线偏差的方式严格控制轴线。

6.2.8 测量数据应实时录入专用数据库，进行平差计算与精度分析。

6.2.9 成果报告应包含测量方案、观测记录、计算过程、精度评定及结论。

6.2.10 关键工序测量成果应经有资质的第三方复核确认。

6.3 基础施工测量

6.3.1 块石抛填、碎石整平等基础的施工测量宜采用测控系统，测控施工流程包括参考站的确认、船体调平、测控系统平面与高程比对、声呐的校准等，基床铺设测控系统作业记录见附录 A 中 A.2。

6.3.2 参考站宜选用观测墩、测量平台上的控制点对 RTK 数据进行采集比对并应符合下列规定：

- a) 数据连续采集时间不少于 60min；
- b) 选择不同时间段、不同位置、不同天气条件下采集数据且仪器工作稳定；
- c) 比对的误差不大于 3cm。

6.3.3 整平船船体应调平至四角高差不大于 $\pm 10\text{mm}$ ，调平测量应符合下列规定：

- a) 激光扫平仪安装接收器时保持相同的起始位；
- b) 测量点布设在大小车轨道的四个端点。

6.3.4 测控系统显示的平面坐标值、高程值验证满足以下要求：

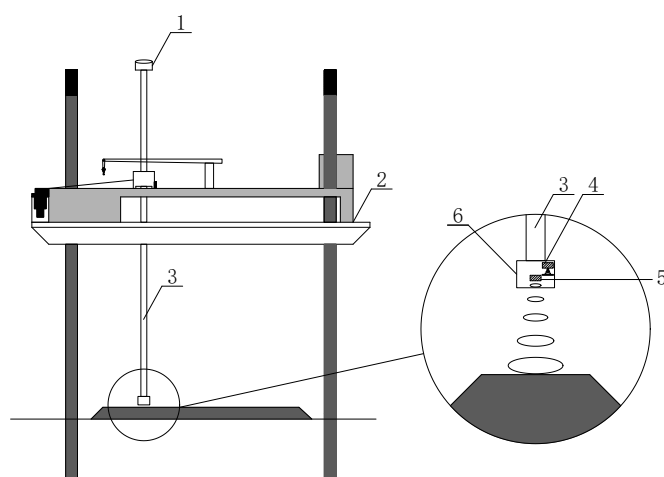
- a) 测控系统校准宜选用高精度的全站仪等测量设备，测量点应布设在抛石管底部中心位置；
- b) 系统显示的数值与仪器设备测量的结果应满足系统校核施工要求，应不大于 3cm 不满足时需调整抛石管测控设备的位置或长度。

6.3.5 声呐的校准包括测距校验与声速修正，并符合下列规定：

- a) 抛石管下降的高度应满足声呐设备的工作范围要求；
- b) 宜采用校准声呐测量值与反射盘之间距离比对的方式检测铺设测量声呐精度，误差应满足测距校验的精度要求；
- c) 测量结果如有误差应进行声速修正，将修正值输入到施工用的声呐系统中，声呐测量与校准系统示意图见图 4。

6.3.6 块石抛填施工测量符合下列规定：

- a) 测控系统的抛石管定位宜采用 GNSS RTK 方法比对平面坐标值，采用 GNSS RTK 结合水准仪测量比对高程值；
- b) 应采用多波束测深系统对夯平后的基础进行全覆盖扫测，并计算实测高程与设计高程的差值，统计差值分布范围，测量应满足 JT/T 790 的要求；
- c) 测量数据应实时记录，原始数据存档保存，电子版数据应备份，纸质记录应签字确认。
- d) 每作业 2 小时复核测控系统的抛石管定位，偏差超限时立即停止施工并调至正常。



标引序号说明：

- 1——GNSS 接收机
- 2——整平船

- 3——抛石溜管
- 4——校准声呐
- 5——铺设测量声呐
- 6——整平头

图 4 声呐测量与校准系统示意图

- 6.3.7 碎石铺设过程中卫星定位信号质量监测应满足以下要求：
- a) 卫星定位信号质量监测站与测控系统接收同一参考站信号；
 - b) 实时关注电离层监测质量发布情况；
 - c) 卫星定位信号异常时停止施工。
- 6.3.8 碎石基床声呐扫测法验收应满足以下要求：
- a) 保持声呐到碎石垄顶的距离在声呐高精度模式下的有效测量范围内；
 - b) 抛石管台车保持匀速运动；
 - c) 验收数据采集时满足两台声呐设备同步记录。

6.4 管节浮运施工测量

- 6.4.1 管节浮运施工测量宜采用浮运导航测控系统，浮运导航测控系统现场作业记录见附录 A 中 A.3。
- 6.4.2 浮运施工前测量准备工作应包括现场海域环境测量，确认浮运路线满足浮运要求。
- 6.4.3 浮运过程中应实时监控浮运导航定位系统的稳定性。
- 6.4.4 浮运监控系统应采用多套设备相互复核，实时监控管节的移动速度、方向和姿态，并用测深仪或侧扫声呐监测水下地形和障碍物。
- 6.4.5 应根据实时测量数据调整速度、航向，满足浮运过程中的稳定性和安全性的要求。
- 6.4.6 数据记录应包括浮运船舶位置、艏向、航向、速度，水深等相关测量数据以及天气条件、海流速度、方向等。
- 6.4.7 浮运施工测量应制定应急预案，预案内容应包括定位、通讯设备的备用、通讯方式等内容和系统及数据库备份处理的要求。

6.5 管节安装施工测量

- 6.5.1 管节安装施工宜制定应急预案，测量采用测控系统，示意图见图 5。

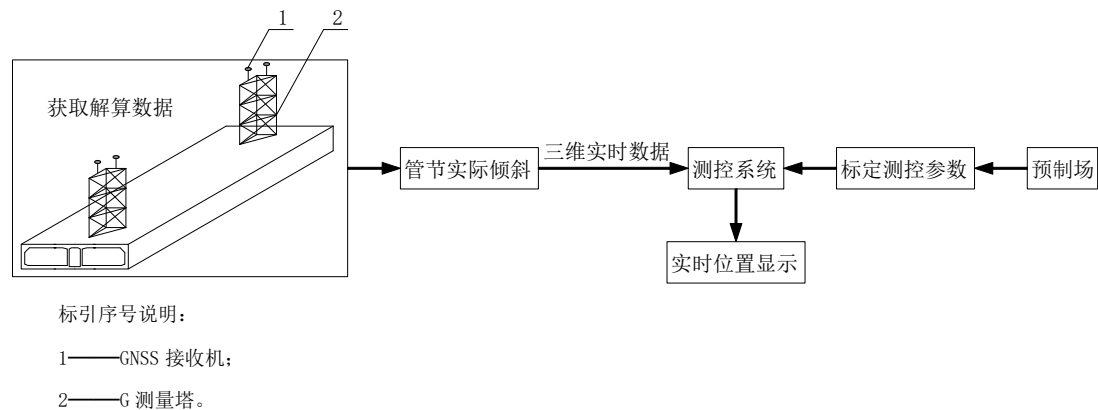


图 5 管节安装施工测量测控系统组成示意图

- 6.5.2 安装前应对测量作业人员进行专业培训并组织模拟演练，熟悉应急预案。
- 6.5.3 安装前测量准备符合下列规定：
- 现场比对测控系统定位偏差，采用在测量平台上全站仪测量、独立的 GNSS-RTK 测量两种方式，解算同一沉管安装特征点并进行同步比对，确认测控系统特征点与沉管安装特征点的几何关系；
 - 安装前在测量平台使用全站仪进行测控系统检核。
- 6.5.4 水下定位应符合下列规定：
- 使用卫星定位、声呐或拉线等系统定位，精度满足设计要求；
 - 使用测控系统实时测量沉管三维位置，调整管节三维姿态。
- 6.5.5 管节安装监控应使用管节顶部的导向系统数据与测控系统数据相互校核，实时监控沉管的位置和姿态，导向系统数据与测控系统数据差异值应小于 3cm。
- 6.5.6 安装调整应根据测控系统的数据或潜水员水下测量数据，微调沉管的位置，满足安装精度要求。
- 6.5.7 安装后使用“测量塔投点+卫星定位静态观测”的方法确认沉管的位置、方向和姿态情况。
- 6.5.8 贯通测量应符合下列规定：
- 在管节沉放前、管节安装后、管节回填后等关键节点进行；
 - 进行轴线偏差、管节高程及相邻管节的横向、竖向相对偏差等的测量，并满足表 4 设计要求，贯通测量作业记录见附录 A 中 A.4。
- 6.6 最终接头施工测量
- 6.6.1 最终接头施工测量应包括合拢口线形控制及测量、最终接头制造测量、最终接头标定、最终接头安装测控、最终接头贯通测量等内容。
- 6.6.2 合拢口线形控制及测量应符合下列规定：
- 最终接头相邻两侧各 3 个管节安装前后，采用管内精密导线测量、测量塔人孔精密投点、双测量塔定位等综合测量方法，精确测定管节的安装精度和姿态，调控管节安装线形，预测合拢口姿态，合拢口横向及竖向相对偏差应不大于 30mm；
 - 测量频率依据施工进度安排，当出现影响测量精度的复杂海况时，增加测量频次；
 - 测量数据与设计要求偏差超出允许范围时，立即进行复测，复测仍不满足要求时，采用辅助检测手段查明原因，调整合拢口安装方案；
 - 测量完成后收集数据，编制测量报告并绘制成果图。
- 6.6.3 最终接头制造过程中应对管节的几何尺寸、预埋件位置、端钢壳、推出段、扩大段制造精度进行测量控制。
- 6.6.4 最终接头标定测量符合下列规定：
- 应对合拢口管节及最终接头进行标定测量，获取测控系统定位参数；
 - 宜采用重载试验对最终接头测控系统进行联调联试测量；
 - 根据标定及重载试验进度确定测量频率，遇特殊情况随时增加测量频次；
 - 测量结果异常时，应进行复测，分析原因，并借助其他辅助方法验证；
 - 测量后汇总数据，编制专项测量报告和相关图表。
- 6.6.5 最终接头安装测控符合下列规定：
- 宜采用专用最终接头测控系统进行实时监测；

- b) 安装过程中应持续实时测量，根据海况、安装进度等灵活调整测量方案。
- 6.6.6 最终接头安装完成后，应进行贯通测量，测定最终接头安装偏差及隧道贯通精度。
- 6.7 管节回填施工测量
 - 6.7.1 回填测控系统应包括施工平面定位及回填块石顶部高程测量功能。
 - 6.7.2 施工前应校核测控系统。
 - 6.7.3 回填测控系统平面定位功能校核符合下列规定：
 - a) 测控系统校准宜选用高精度的全站仪等测量设备，比对区域应靠近测量平台或人工岛；
 - b) 回填测控系统平面定位功能校核应设置不少于 2 个比对特征点；
 - c) 回填测控系统平面定位校核误差应不大于 3cm。
 - 6.7.4 回填测控系统声速宜采用声呐比测板进行校核、修正。
 - 6.7.5 根据结构反算的管节顶部高程与贯通测量结果的比对数量应不少于 2 个断面。
 - 6.7.6 回填时测控系统应实时监控溜管出料口平面位置和回填顶部高程，并满足施工要求。

7 线形测量

7.1 基本要求

- 7.1.1 线形测量工作流程应包括设计、预控、拟合、模拟安装、调整等步骤。
- 7.1.2 线形测量应根据管节安装工艺要求编制测量方案。
- 7.1.3 线形测量应包括端钢壳安装时的测量控制。
- 7.1.4 线形测量应采用数字化测控系统，实现数据实时采集、传输、分析。
- 7.1.5 模拟安装应输出待安管节尾端预测偏差，若超出允许值，应调整安装方案。
- 7.1.6 管节安装过程中应实时调整，控制安装偏差在允许范围内。

7.2 设计

- 7.2.1 线形测量设计应结合隧道总体线形方案，明确管节端面拟合面、轴线偏差允许值等关键参数，设计文件需包含以下内容：
 - a) 管节端面特征点布置原则及精度要求；
 - b) 线形拟合的数学模型；
 - c) 模拟安装的边界条件及偏差控制指标；
 - d) 最终接头合龙口线形控制专项方案。
- 7.2.2 隧道曲线段管节，应设计“以直代曲”分段拟合方案，确定折线数量、每段长度及矢高偏差允许值。
- 7.2.3 应提出端钢壳加工及安装的精度标准，包括面板平整度、拟合面与设计面偏差等。宜满足表 6 的要求。

表 6 端钢壳加工及安装精度标准

项次	主控项目	允许偏差（mm）
1	面板不平整度	≤4

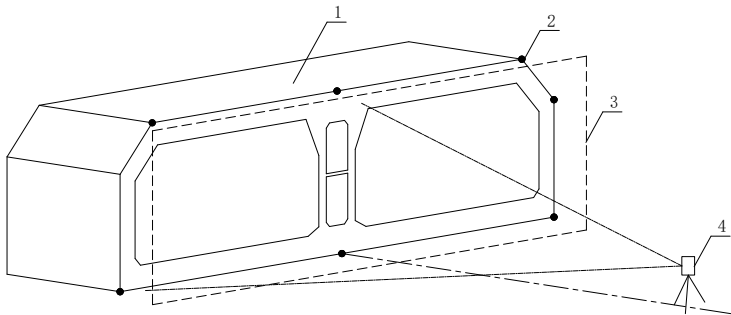
2	GINA 止水带接触面不平整度	≤ 1
3	OMEGA 止水带接触面	≤ 1
4	拟合面与设计面在管节左右外缘之差	≤ 3
5	拟合面与设计面在管节上下外缘之差	≤ 3

7.3 预控

- 7.3.1 管节预制及基础铺设完成后，应根据实测数据复核端钢壳参数、对接安装参数、碎石基础参数。
- 7.3.2 管节节段匹配浇筑的过程中，应跟踪测量管节轴线，节段顶推到位后的偏差不超过 1cm。
- 7.3.3 端钢壳的安装应满足设计要求。
- 7.3.4 管节一次标定时端钢壳、测量塔基座等特征点坐标，相对偏差应不大于 3mm；二次标定时管顶特征点与一次标定坐标偏差应不大于 10mm。
- 7.3.5 基础施工时应根据已安管节的贯通测量结果、荷载-沉降的数据、基床铺设前的基础回淤监测情况，计算待安管节的预抬量。
- 7.3.6 安装过程中应融合 GNSS-RTK 数据、声呐测量数据及全站仪测量数据进行冗余验证。

7.4 拟合

- 7.4.1 线形拟合的外业工作包括端钢壳制造、安装阶段的线形控制。
- 7.4.2 拟合的精度要示宜满足表 6 的要求。
- 7.4.3 采集管节端面特征点的三维坐标宜使用全站仪，特征点布置需满足以下要求：
- a) 特征点宜选用自贴式反射片，反射片选择反光性能好、不易受海水腐蚀的材质，尺寸宜选用 4cm×4cm；
 - b) 特征点布置在 GINA 止水带鼻尖位置到管节端面的投影线上，示意图见图 6；
 - c) 特征点应根据端钢壳尺寸均匀布置，点位密度应满足拟合精度的要求。



标引序号说明：

1——沉管管节；

2——特征点；

3——拟合面；

4——全站仪。

图 6 沉管安装线形拟合示意图

7.4.4 线形拟合的内业工作应分析处理外业采集的各特征点数据，计算拟合各特征点到拟合面的最短距离、端面的竖向及水平向偏角等参数。

7.4.5 当线形拟合数据量较大且单个点位的参数对线形拟合影响较大时，外业观测应进行换手观测，内业数据同步平行计算。

7.5 模拟安装

7.5.1 模拟安装应根据已安装管节线形、待安管节端面参数及设计轴线，采用图上模拟法、表格计算法或专业软件进行。

7.5.2 模拟安装采用的数据应复核无误后方可使用。

7.6 调整

7.6.1 管节安装过程中，应根据模拟安装结果及实时测量数据，通过首尾端缆绳拉力调整、拉合系统控制等方式微调管节姿态。

7.6.2 调整后需进行贯通测量，并采用“测量塔投点+GNSS 静态观测”方法进行复核，测定管节轴线偏差、相邻管节相对偏差。

8 水下地形测量

8.1 基本要求

8.1.1 水下地形测量宜采用多波束测深系统。

8.1.2 多波束测深系统安装至测量船后，按 JT/T 790 的要求进行校准并进行精度比对，精度比对应符合下列规定：

- a) 施工前进行测深分辨率验证、波束覆盖与角度校准、动态精度测试；
- b) 在现场进行比测板安装与基准建立、多波束扫测数据采集、数据处理与精度比对。

8.1.3 水下地形测量工作包括浮运航道扫测、基础及回填施工扫测、回淤监测等内容。

8.1.4 应定期清理换能器。

8.2 浮运航道扫测

8.2.1 管节浮运安装前宜对浮运航道进行扫测。

8.2.2 主测深线的间距应不大于有效测深宽度的 80%，浮运航道全覆盖扫测。

8.2.3 扫测数据应与以往的数据进行比对分析，编制浮运航道水深图、回淤报告。

8.2.4 浅水区域或者回淤较大的区域应进行加密测量，必要时安排潜水员进行水下探摸。

8.3 基础及回填施工扫测

8.3.1 基槽开挖地形测量符合以下规定：

- a) 基槽开挖前后，原泥面、基础槽底和边坡宜全覆盖扫测；
- b) 测深线的间距应不大于有效测深宽度的 50%；
- c) 对比分析扫测数据与设计断面；
- d) 基槽开挖最终验收数据宜为基础回淤监测与块石抛填监测首期数据。

8.3.2 基础块石抛填地形测量符合以下规定：

- a) 基础块石抛填前，应全覆盖扫测开挖后基础；
 - b) 基础块石抛填地形测量宜分为抛填前、中、后三期扫测，扫测成图断面应与设计断面进行对比分析；
 - c) 最后一次扫测数据作为基础块石抛填最终验收数据，应与基础块石抛填设计断面进行分析比对。
- 8.3.3 基础碎石整平地形测量应符合以下规定：
- a) 基础碎石整平前，全覆盖扫测块石抛填后基础；
 - b) 基础碎石整平扫测的每条测深线扫测两次，测深线的间距不大于有效测深宽度的30%；
 - c) 基础碎石整平在每一船位整平结束后进行一次扫测，所有船位整平结束后，再进行一次最终扫测；
 - d) 基础碎石整平水深数据在多波束测深系统后处理的基础上增加人工处理，人工处理符合 GB/T 42640—2023 中 7.3.2.2 的规定。
 - e) 数据成果应包括碎石垄差值色块图、三维图、水深图。
- 8.3.4 基础回填地形测量应符合以下规定：
- a) 锁定回填、一般回填、护面回填三个阶段完成后均进行一次水下地形测量；
 - b) 基础回填扫测测深线的间距不大于有效测深宽度的 50%，对回填区域进行全覆盖扫测。

8.4 回淤监测

- 8.4.1 槽底回淤监测应包括基础粗挖全部完成后、精挖分段交工验收前、碎石整平前、管节沉放前等关键工序。
- 8.4.2 回淤监测频率应根据施工工期、船机等情况确定，在台风、热带风暴等极端天气后应增加监测频次。
- 8.4.3 回淤监测应对原泥面、基础槽底、边坡进行全覆盖扫测。
- 8.4.4 监测过程中发现回淤厚度大于设计要求时，应及时复测，必要时应安排潜水员进行水下探摸验证。
- 8.4.5 扫测完成后应及时出具回淤监测报告 and 实际剖面图。

9 沉管变形监测

9.1 基本要求

- 9.1.1 变形观测包括水平位移监测和垂直位移监测。
- 9.1.2 变形监测应制定专项监测方案。
- 9.1.3 监测点应布置在能够准确反应管节位移的位置。
- 9.1.4 沉管隧道变形监测的等级与精度要求应符合 GB 50026-2020 中 10.1.3 的规定，满足表 7 的要求。

表 7 变形监测的等级与精度要求

等级	垂直位移监测（mm）		水平位移监测（mm）
	变形观测点的	相邻变形观测点的	变形观测点的

	高程中误差	高差中误差	点位中误差
一等	0.3	0.1	1.5
二等	0.5	0.3	3.0

9.1.5 变形监测网中基准点、工作基点及变形监测点应符合以下规定：

- a) 基准点设置在人工岛、海中测量平台等基础稳定的位置，可与首级加密控制网点共用；
- b) 工作基点设置在便于联测的位置且不少于 2 处，定期对工作基点进行复测；
- c) 变形监测点布置时综合考虑隧道结构形式及观测要求；
- d) 点位标志设置保护。

9.1.6 观测预警、报警和消警应符合以下规定：

- a) 观测值达到或超过设计允许值时，或经核查、巡视、专家分析等综合判断后进行观测预警或报警；
- b) 观测预警、报警的报送内容、报送时间、响应及处理按专项观测方案执行；
- c) 风险处理结束且警情得到控制后，对预警/报警提出消警建议报告，启动消警程序。

9.2 垂直位移监测

9.2.1 管节安装完成后应及时采集垂直位移初始值，管节垂直位移监测记录见附表 A 中 A.5。

9.2.2 变形监测应采用水准测量的方法，监测频率应满足设计要求。

9.2.3 垂直位移监测断面不宜少于 3 个，宜选择在管节首、尾、中位置。

9.2.4 管节回填、压舱混凝土浇筑、水箱排水、管节底部注浆等特殊工况条件下，应加密垂直位移监测频次。

9.2.5 变形监测数据应及时处理、分析，形成报告并上报。

9.3 水平位移监测

9.3.1 管节安装完成后应及时采集水平位移初始值，管节水平位移监测记录见附表 A 中 A.6。

9.3.2 变形监测应采用全站仪测量的方法，监测频率应满足设计要求。

9.3.3 水平位移监测断面不宜少于 3 个，宜选择在管节首、尾、中位置。

9.3.4 管节锁定回填等特殊工况条件下水平位移监测宜加密频次。

9.3.5 变形监测数据应及时处理、分析，形成报告并上报。

10 水文观测

10.1 基本要求

10.1.1 水文观测的内容应包括海水密度、海流、波浪、含沙量等。

10.1.2 水文观测应根据管节浮运安装施工的要求制定专项方案。

10.1.3 水文观测专项方案宜包含与气象部门的实时数据共享机制，规定数据传输频率与异常天气预警响应流程。

10.2 海水密度测量

10.2.1 应对管节预制场至隧址区域浮运航道海水密度进行测量。

10.2.2 海水密度的测量精度应满足管节压载、干舷高度、负浮力等计算的要求。

10.2.3 海水密度观测宜采用实时、高精度的测量系统。

10.3 海流观测

10.3.1 隧址、浮运航道海域应进行海流观测。

10.3.2 海流观测应结合隧址所在海域的潮汐变化、沉管浮运安装不同窗口期进行，宜采用投放流速仪的方法进行观测。

10.3.3 坐底式测流宜使用自容式测量模式，对施工水域的流场跟踪观测时间应满足施工要求。

10.3.4 流速仪投放时应保证仪器的安全及合理的朝向，应对仪器及接线位置进行包裹处理，固定安装的支架宜采用不锈钢材质。

10.3.5 设备使用完成后应及时进行清洁。

附录 A
(资料性)
记录表

A. 1 控制网测量记录表

表 A. 1 控制网测量记录表

作业名称:				等级:		
外业观测						
测量日期						
测量人员						
记录:			复核:			
日期:			日期:			
内业计算						
点号	坐标成果(m)			同现有成果差值(mm)		
	X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH
计算:		校对:		审核:		
日期:		日期:		日期:		
备注:						
表中坐标为 坐标系, 高程为 高程系统。						

A. 2 基床铺设测控系统作业记录表

表 A. 2 基床铺设测控系统作业记录表

管节编号：

作业里程：

整平船检校						
项目	日期	检校结果	测量	记录	计算	复核
抛石管底部高程检核						
抛石管平面位置检核						
船体倾斜仪校准						
施工声呐校准						
抛石管底部油缸校核						
整平施工						
项目	第一船位	第二船位	第三船位	第四船位		
诱导定位完成日期						
插桩完成日期						
拔桩完成日期						
第一层铺设完成日期						
第二层铺设完成日期						
碎石垄验收完成日期						
测量						
检查						

A.3 浮运导航测控系统现场作业记录表

表 A.3 浮运导航测控系统现场作业记录表

管节编号：

浮运日期：

记录员：

序号	工作阶段	工作内容	工作记录	工作日期	备注
1	准备阶段	安装船设备维护			
2		浮运航道检测			
3		底图设置			
4		沉管位置显示			
5		流速接收软件准备			
6	浮运阶段	系统运行情况			
7		安装航道检查情况			
8		其它			
9	系泊阶段	系统运行情况			
10		安装航道检查情况			
11		其它			

A. 4 贯通测量作业记录表

表 A. 4 贯通测量作业记录表

作业名称：						
外业观测						
测量时间						
测量人员						
测点	测量结果			同设计偏差值(mm)		
	X(m)	Y(m)	H(m)	△X	△Y	△H
记录：			复核：			
日期：			日期：			
内业计算						
部位	X(m)	Y(m)	H(m)	里程	横倾	
GINA 端						
非 GINA 端						
验收参数统计						
相邻管节端面横向相对偏差						
相邻管节端面竖向相对偏差						
管节轴线与设计轴线间横向绝对偏差						
管节轴线与设计轴线间竖向绝对偏差						
管节里程偏差						
管节纵倾						
计算：		校对：		审核：		
日期：		日期：		日期：		
备注：						
表中坐标为 坐标系，高程为 高程系统。						

A.5 管节垂直位移观测记录表

表 A.5 管节垂直位移观测记录表

作业名称：							
外业观测							
测量日期							
测量人员							
记录：				复核：			
日期：				日期：			
内业计算							
初始观测日期：				上期观测日期：			
点号	高程 H(m)	本期沉降量 ΔH (mm)	累计沉降量 $\Sigma \Delta H$ (mm)	点号	高程 H(m)	本期沉降量 ΔH (mm)	累计沉降量 $\Sigma \Delta H$ (mm)
计算：		校对：			审核：		
日期：		日期：			日期：		

A. 6 管节水平位移观测记录表

表 A. 6 管节水平位移观测记录表

作业名称：						
外业观测						
测量日期						
测量人员						
记录：				复核：		
日期：				日期：		
内业计算						
初始观测日期：				上期观测日期：		
点号	坐标成果		本期位移量		累计位移量	
	X(m)	Y(m)	ΔX (mm)	ΔY (mm)	$\Sigma \Delta X$ (mm)	$\Sigma \Delta Y$ (mm)
计算：		校对：		审核：		
日期：		日期：		日期：		
备注：						
表中坐标为 坐标系。						

参考文献

- [1] GB/T 50308-2017 城市轨道交通工程测量规范
 - [2] GB 55018—2021 工程测量通用规范
 - [3] JTG/T 3371—2022 公路水下隧道设计规范
 - [4] JTG/T 3371-01—2022 公路沉管隧道设计规范
-