

ICS 03. 220. 40

CCS R 20

DB3206

南通市地方标准

DB 3206/T 1081-2024

水运工程桩位无人机测量导则

Guidelines for UAV survey of pile position in water transport
engineering

2024-07-19 发布

2024-09-01 实施

南通市市场监督管理局

发布

目 次

前 言	3
引 言	4
1 范围	5
2 规范性引用文件	5
3 术语和定义	5
4 技术准备	7
5 现场作业	8
6 内业解算	12
附 录 A	15
附 录 B	16
附 录 C	17
附 录 D	18
附 录 E	19
附 录 F	20

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。

本文件由南通市交通运输综合行政执法支队提出。

本文件由南通市交通运输局归口。

本文件起草单位：南通市交通运输综合行政执法支队、中建港航局集团有限公司。

本文件主要起草人：季祥、顾红雷、伍忠林、赵志强、朱建明、邱礼平、高晶晶、王培伦。

引 言

水运工程桩位无人机测量技术是为解决水中桩位测量工作量大、危险性高、精度不稳定等问题而发展的一种新测量手段。为保证水运工程桩位无人机测量活动有序开展，促进新技术应用，实现其安全、经济效益，编制本导则。本导则基于水运工程桩位测量现状，依据现有国家和行业技术规范要求，通过程序化、数字化、图表化等形式，明确水运工程桩位无人机测量技术在使用过程中的具体工作流程和相关要求。依据本文件规定开展水运工程桩位无人机测量，所得测量成果结合最终测量精度评定情况和相关验收标准要求，可用于快速排查异常桩位或辅助开展桩位验收检测。

水运工程桩位无人机测量导则

1 范围

本文件描述了利用低空无人机倾斜摄影测量技术进行水运工程桩位质量检测的技术准备、现场作业和内业解算等环节要求。

本文件适用于水运工程 PHC 桩和灌注桩的无人机测量,其他工程桩位测量可根据情况参照执行。

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 55018 工程测量通用规范
- GB 50167 工程摄影测量规范
- GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
- JTS 131 水运工程测量规范
- JTS 257 水运工程质量检验标准
- CH/T 1014 基础地理信息数据档案管理与保护规范
- CH/Z 3001 无人机航摄安全作业基本要求
- CH/Z 3002 无人机航摄系统技术要求
- CH/Z 3003 低空数字航空摄影测量内业规范
- CH/Z 3004 低空数字航空摄影测量外业规范
- CH/Z 3005 低空数字航空摄影规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机 (UAV) unmanned aerial vehicles

一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器,具有遥控、半自主、自主三种飞行控制方式。

[来源: CH/Z 3001-2010, 3.1]

3.2

倾斜摄影 oblique photography

摄影机主光轴明显偏离铅垂线或水平方向并按一定倾斜角进行的摄影。

3.3

倾斜摄影测量 oblique photography photogrammetry

利用倾斜摄影技术对地物进行的量测。

3.4

预应力高强度混凝土管桩 (PHG) prestressed high-strength concrete pipe pile

采用先张预应力离心成型工艺制成的混凝土预制管桩。

3.5

实时动态定位 (RTK) real-time kinematic

RTK 技术是一种利用 GNSS 载波相位观测进行实时动态相对定位的技术。

RTK 设备是泛指应用 RTK 技术接收卫星信号实时实现高精度定位测量设备。

3.6

后处理动态定位 (PPK) post processed kinematic

PPK 技术是一种利用载波相位观测值进行事后处理的动态相对定位技术。

PPK 设备是泛指应用 PPK 技术观测和记录卫星信号, 后期通过计算机线性组合实现高精度定位测量设备。

3.7

相机倾斜角度 oblique angle

倾斜相机与垂直相机主光轴之间的夹角。

3.8

垂直影像 nadirimage

飞行平台的垂直相机获取的影像。

3.9

倾斜影像 obliqueimage

飞行平台的倾斜相机获取的影像。

3.10

航向重叠度 degree of course overlap

飞机沿航线摄影时, 相邻像片之间所保持的影像重叠程度。以像片重叠部分的长度与像幅长度之比的百分数表示。

3.11

旁向重叠度 degree of lateral overlap

飞机沿航线摄影时, 相邻航线之间所保持的影像重叠程度。以像片重叠部分的长度与像幅长度之比的百分数表示。

3.12

像控点 photo control points

像控点 (相片控制点) 是为了提高测量精度而布设的高精度已知坐标点, 通过全站仪、RTK 等测定点位 XYZ 坐标。

3.13

数字三维模型 digital 3D model

通过倾斜摄影技术生成的三维立体模型。

3.14

数字高程模型 (DEM) digital elevation model

通过有限地形高程数据实现对地面地形的数字化模拟 (即地形表面形态的数字化表达)。

它是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型。

3.15

数字正射影像图 (DOM) Digital Orthophoto Map

利用 DOM 对经过扫描处理的数字化航空像片或遥感影像 (单色或彩色), 经逐像元进行辐射改正、微分纠正和镶嵌, 并按规定图幅范围裁剪生成的形象数据, 带有公里格网、图廓 (内、外) 整饰和注记的平面图。

4 技术准备

4.1 技术方案准备

4.1.1 收集资料

4.1.1.1 与摄区有关地形图、地形地貌、气象条件以及机场、重要设施等情况, 确定飞行区域空域条件、设备对任务的适应性。

4.1.1.2 收集待测量水中桩基施工设计图纸, 明确桩基设计范围、数量、桩径、高程、坐标、编号、施工计划等。

4.1.1.3 明确水中 PHC 桩基的验收参数、标准, 具体验收的规定见 JTS 257。

4.1.2 编制无人机测量技术方案

4.1.2.1 测量技术方案由具体负责无人机测量的技术负责人编制, 方案应明确测量目标、测量原理及方法、各参数数值、测量范围、精度控制、成果形式、设备准备、人员准备和安全作业等保障措施。

4.1.2.2 测量技术方案格式详见附录 A。

4.1.3 审核和批准

4.1.3.1 技术方案由本次测量项目主要负责人审批, 如有必要可邀请相关领域专家参加评审。

4.1.3.2 无人机飞行应遵照民航、通航和空域管理部门相关规定执行; 无人机航摄系统技术按照 CH/Z 3002 确定的相关要求执行。

4.2 硬件设备准备

4.2.1 无人机设备

4.2.1.1 无人机应具备出厂合格证, 保险处于有效期内。

4.2.1.2 使用前应进行设备功能性检查, 确保设备完好, 具备飞行条件。

4.2.1.3 无人机应具备 RTK 或者 PPK 定位技术, 并配备相关设备, 保证施工测量精度。

4.2.1.4 单块电池续航时间和电池数量应能满足无人机当天航飞架次用电需求。

4.2.2 摄像设备

4.2.2.1 摄像设备基本要求如下:

a) 倾斜摄影摄像设备总像数、传感器尺寸、快门速度、存储空间、焦距等性能参数应能满足本次测量需求;

b) 倾斜摄影一次曝光采集的像素应能满足本次测量精度需求, 单个镜头宜不低于 2000 万像素, 一次曝光不低于 1 亿像素;

- c) 作业时间宜达到 90 min 以上，具备全天候的作业能力；
 - d) 有定点曝光功能，影像重叠度满足测量要求。
- 4.2.2.2 摄像设备在达到以下条件时，应进行设备校准：
- a) 距前次检定时间超过 2 年；
 - b) 快门曝光次数超过 20000 次；
 - c) 经过大修或主要部件更换以后；
 - d) 在使用或运输过程中产生剧烈震动以后。
- 4.2.2.3 倾斜摄影相机镜头宜选择五镜头，即前、后、左、右、中五个方向各有一个镜头。当镜头数量少于 5 个时，应合理设计航线，在航向规划中依架次设置不同的航线角度、相机倾斜角度，保证同一地物能被 3 个以上不同方向航拍摄像，并保持相机倾角稳定。

4.2.3 地面基站

基站安装固定位置应明显、无遮挡，不被施工干扰。基站离测区最远水中桩距离不得超过基站稳定接收信号半径范围，RTK 定位基站稳定接收信号半径应在 30km 以内，PPK 定位基站接收信号半径应在 50km 以内。

4.2.4 其他配套设备

RTK 移动站、对中杆、电源、数据处理终端等设备应按要求配备，并能正常使用。

4.3 软件系统准备

4.3.1 无人机航摄系统

无人机航摄系统基本构成包括飞行平台、飞行导航与控制系统（简称飞控系统）、地面监控系统、任务设备、数据传输系统、发射与回收系统、地面保障设备等构成，各组成部件具体要求见 CH/Z 3002。

4.3.2 数据处理系统

数据处理系统相关软件应具备三维建模、点云后处理、工程分析三大功能。其中三维建模软件用于无人机摄影采集数据和控制点数据的整合计算，模型数据导入工程分析软件用于迅速排查水中桩位坐标异常点，及时发现异常桩并进行整改处置。

4.4 设备精度校核

4.4.1 摄像设备应进行检校，检校要求按 CH/Z 3005 中的规定执行。

4.4.2 无人机开展正式作业前应进行测量精度校核。测量中误差不得大于项目测量技术方案或所用技术标准规定的相应中误差要求，校核不合格不得开展正式现场作业，测量精度应符合 GB 55018 相关条文规定。

5 现场作业

5.1 实地踏勘和场地选取

实地踏勘和起降场地选取按照 CH/Z 3001 确定的要求执行。

5.2 像控点布设

5.2.1 基本要求

5.2.1.1 项目拍摄区域应合理布设像控点，点位宜整体均匀分布，条件允许时在测区边界增设像控点。

5.2.1.2 像控点选点要求如下：

- a) 选点条件按 CH/Z 3004 确定的要求执行；
- b) 像控点位应选择影像清晰、无阴影的明显地物点、地物拐角点、接近正交的线状地物交点或固定的点状地物；
- c) 高程像控点位周围应相对平坦、高程起伏较小。

5.2.1.3 水中桩位测量可选用工程陆域施工已有测量控制点、水中稳定构筑物或水中桩作为布设点，其中控制点不得少于 6 个、控制点与检查点数量比例宜为 7: 3。

5.2.1.4 具备免像控技术的无人机航摄设备，在测量区域范围较小，检校精度能满足测量需求情况下，可不设或少设像控点和检查点。

5.2.2 布设原则

5.2.2.1 待测量桩位区域周边应布置合理数量的像控点，布设原则如下：

- a) 像控点应根据测区范围均匀、立体布设在测区范围内，保持与规划边界一定的距离，长条带区域拐角处宜多布设像控点增加精度控制；
- b) 布设在同一位置的像控点应联测成平高点；
- c) 像控点点位的分布应避免形成近似直线；
- d) 点位应尽量选在旁向重叠中线附近，离开方位线大于 3cm 时，应分别布点。

5.2.2.2 方形测区（长宽比小于 4）像控点基本分布图例，见图 1。

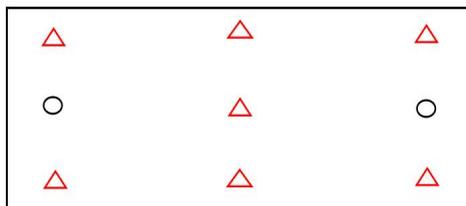


图 1 方形测区像控点基本分布图

△像控点 ○检查点

5.2.2.3 带状测区（长宽比大于 4）像控点基本布设图例，见图 2。

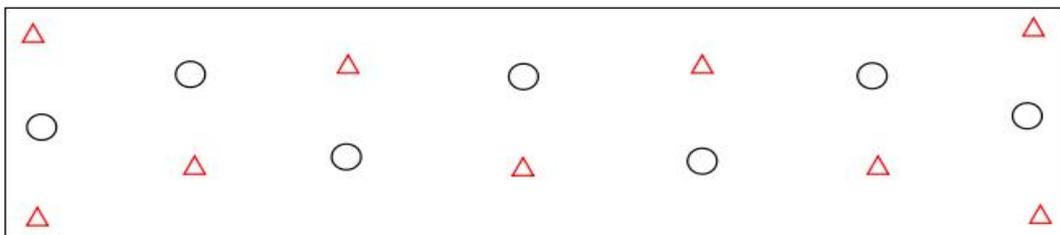


图 2 带状测区像控点基本分布图

△像控点 ○检查点

5.2.3 布设密度

像控点的布设密度宜按照 100m~150m 间距布设，为提高测量精度，可适当增加像控点位，但间距应不小于 80m。

5.2.4 相控点形状和尺寸

5.2.4.1 圆形标志的直径应不小于 30cm，见图 3。

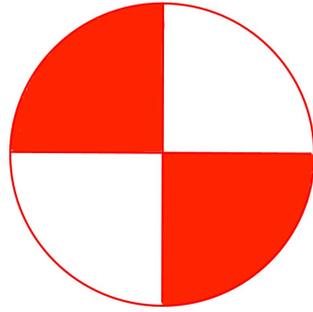


图 3 像控点圆形标志图

5.2.4.2 L 型标志的线宽应不小于 15cm，外边长应不小于 30cm，见图 4。

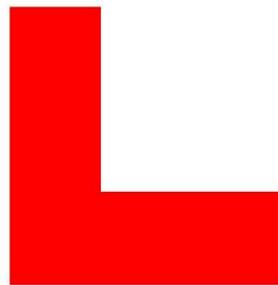


图 4 像控点 L 型标志图

5.2.4.3 如在桩上布设像控点，圆形标志的直径宜与桩外直径一致，像控点中心与桩横截面轴线重合；L 型的外边长宜与桩位的半径一致，L 型中间外凸顶角与桩横截面轴线重合。

5.2.5 点位测量

5.2.5.1 控制点和检查点坐标可采用 RTK 或者全站仪测量。采用 RTK 时，每个点采集 3 次（平滑 10 次），每次应断开 RTK 重连。

5.2.5.2 控制点和检查点坐标精度应能够满足测量精度需求，布设点位相关信息应记录准确，记录表格式详见附录 B。

5.2.5.3 在布设像控点的同时布设好检查点。

5.3 飞行作业

5.3.1 飞行环境

5.3.1.1 拍摄过程宜保持在天气无明显变化条件下进行，航片天气环境一致、日照条件相

似，拍摄时现场风级不得大于4级。航飞季节和航飞时间选择应符合GB 50167中的规定。

5.3.1.2 保证飞行器起飞点在空旷区域，周围无遮挡，五米范围内不要有干扰到飞行器的人或者物体。

5.3.2 无人机安装

5.3.2.1 严格按照无人机使用说明书要求将各部件组装完成，确保飞行功能正常稳定。

5.3.2.2 倾斜摄影相机应正确安装，能正常使用各项功能。

5.3.2.3 无人机飞行平台检查项目和检查内容参照CH/Z 3001中的规定执行，主要检查项目如下：

- a) 机体外观：逐一检查机身支架、旋翼等有无损伤，修复过的地方应重点检查；
- b) 连接机构：旋翼与电机连接是否牢固，有无安装错误；
- c) 旋翼片或螺旋桨：应无损伤，紧固良好；
- d) 电机：与机身连接应牢固；
- e) 电池：电池寿命应良好，电量显示应正常且能满足飞行需求；
- f) 机载天线：RTK等机载设备安装应稳固，功能正常；
- g) 相机设备：镜头应干净、无破损或划痕，镜头转向功能正常；
- h) 飞控系统：离地试飞，检查各自由度的运动是否正常；
- i) 飞行器总体：无人机落地姿态应正确。

5.3.3 航线规划

5.3.3.1 对拍摄区域应进行航线规划，确保航向和旁向重叠度满足要求。

5.3.3.2 航线规划应结合摄像设备获取垂直和四个倾斜等五个不同角度采集影像的方式综合考虑。

5.3.3.3 根据镜头数量合理选择五向或者井字飞行模式，并设置相应航摄重叠度，重叠度设置要求如下：

- a) 五向飞行：航向、斜射航向重叠度均不小于80%，旁向、斜射旁向重叠度均不小于70%；
- b) 井字飞行：航向及旁向、斜射航向重叠度均不小于80%。

5.3.3.4 航向覆盖超出摄区边界线应不少于两条基线。旁向覆盖超出摄区边界线不宜少于像幅的50%，航线外扩宽度应按照公式(1)计算：

$$L=H_1 \times \tan\theta + (H_2 - H_3) + L_1 \quad (1)$$

式中：

- L ——外扩距离，单位为米(m)；
 H_1 ——相对航高，单位为米(m)；
 θ ——相机倾斜角，单位为度(°)；
 H_2 ——摄影基准面高度，单位为米(m)；
 H_3 ——测区边缘最低点高度，单位为米(m)；
 L_1 ——半个像幅对应的水平距离，单位为米(m)。

5.3.3.5 无人机航摄高度按照下列公式(2)计算：

$$H=f \times \text{GSD} / \alpha \quad (2)$$

式中：

- H ——航摄高度，单位为米(m)；

f ——镜头焦距，单位为毫米（mm）；

α ——像元尺寸，单位为毫米（mm）；

GSD ——地面采样距离，即数字影像中一个像素大小代表真实地面距离，单位为米每像素（m/像素）。

5.3.3.6 公式（2）中 GSD 参数取值要求如下：

a) 测量结果用于快速排查施工现场异常桩位，GSD 值宜取 0.015~0.03m/像素；

b) 测量结果用于辅助交工验收检测，GSD 值宜取小于 0.015m/像素。

5.3.3.7 实际飞行高度不宜大于计算航摄高度。航飞区内如有局部障碍物高于计算航摄高度，应通过调整航线范围、角度或局部环绕飞行等方式避开障碍物。

5.3.4 起飞

5.3.4.1 俯仰角、滚转角和航向角参数控制应符合 GB 50167 中的规定。

5.3.4.2 航空摄影时巡航速度不宜大于 100km/h。

5.3.5 作业监控

5.3.5.1 航飞过程中应监控飞行器状态，包括飞行高度、飞行速度、实时图传、飞行器卫星数、遥控器信号、飞行器电池电量（电池电量应有低电量报警功能）等，电量不足时应暂停飞行及时更换电池。

5.3.5.2 相机拍摄过程中应严格控制 ISO 曝光度，取值宜在 100~300。如出现照片颗粒感较重、不清晰问题，应重新飞行拍摄。

5.4 飞行数据整理

5.4.1 数据拷贝

5.4.1.1 无人机拍摄影像应及时整理保存。

5.4.1.2 飞行作业过程中应及时记录飞行数据，填写航摄飞行记录表并归档，详见附录 C。

5.4.2 数据整理

5.4.2.1 拷贝的数据引发及时分类整理、命名。

5.4.2.2 采用五向镜头拍摄的，各镜头数据应分别保存。

5.4.2.3 航摄成果的整理与保存按照 CH/Z 3005 确定的要求执行。

6 内业解算

6.1 数据导入

6.1.1 系统软件与参数设置

选择合适建模软件，准确设置相关参数。

6.1.2 数据文件检查和导入

6.1.2.1 根据数据后处理需求，可对原始数据进行数据格式转换，转换后不得损失几何信息和辐射信息。

6.1.2.2 原始影像数据应进行畸变差改正。

6.1.2.3 空间参考系应保持一致。

6.2 数据运算

6.2.1 空三刺点

每个像控点宜刺 5~10 张照片，刺点应准确，照片宜间隔选取。

6.2.2 空三运算

空三运算由系统自动完成。空三运算过程中应检查运算质量，具体包括：

- a) 丢片情况，是否存在不合理丢片；
- b) 连接点正确性，是否存在分层、断层、错位；
- c) 检查限差，点误差、像控点残差、连接点误差是否在限差以内，限差相关规定可按照 CH/Z 3003 确定的要求执行。

6.3 数据分析

6.3.1 桩位平面坐标比对分析

6.3.1.1 将正射影像图与桩位设计图进行叠加，对比分析桩位测量坐标与设计坐标，对超出允许偏差的桩位号应进行提取和标注。

6.3.1.2 斜桩实际水平坐标应结合设计平面扭角或斜度，利用计算软件对测量获得的斜桩桩顶坐标和高程坐标进行二次运算获得。

6.3.2 桩位高程坐标比对分析

6.3.2.1 将正射影像模型提取的高程坐标与设计图桩位高程进行比对分析，对超出允许偏差的桩位号进行提取和标注。

6.3.3 坐标比对测量

桩位无人机测量成果应使用 RTK 或者全站仪设备，抽取一定比例桩位进行比对测量，验证测量成果的可靠性。被抽取点位应在测区内均匀分布，对比检查率不少于 5%，比对测量相关信息应记录准确，桩位无人机测量成果质量检查和评价可参考 GB/T 24356 和 JTS 131 规定的相关内容执行，比对测量记录表格式详见附录 D 和附录 E。

6.4 成果管理

6.4.1 成果分类

6.4.1.1 数字正射影像图成果应包括：分幅结合图、数字正射影像图成果、元数据文件、图历簿、其他相关资料。

6.4.1.2 数字高程模型成果应包括：分幅结合图、数字高程模型成果、元数据文件、图历簿、其他相关资料。

6.4.1.3 数字三维模型成果应包括：三维模型图、数字三维模型成果、元数据文件、其他相关资料。

6.4.1.4 文档资料成果应包括：测量设计方案、技术总结、检查报告与验收报告、其他相关资料。

6.4.2 文件命名

详见附录 F。

6.4.3 存储要求

存储要求可按照 CH/T 1014 确定的要求执行。

6.4.4 资料移交

移交的各项成果资料应整理齐全、数据准确、字迹端正清楚。

附录 A
(资料性附录)
无人机测量技术方案

A.1 任务概述

说明本次测量任务来源、用途、测区范围、内容与特点等基本情况。

A.2 测区自然地理概况和已有资料情况

A.2.1 测区自然地理概况。

A.2.2 已有资料情况。

A.3 引用文件

说明技术方案编写所引用的标准、规范或其他技术文件。文件一经引用便构成技术方案内容的一部分。

A.4 成果规格和主要技术指标

说明作业的平面和高程基准、投影方式、成图方法、数据精度、格式、基本内容以及其他主要技术指标等。

A.5 设计方案

A.5.1 规定 GNSS 接收机或其他测量仪器的类型、数量、精度指标以及对仪器校准或检定的要求，规定测量和计算所需的专业应用软件和其他配置。

A.5.2 规定作业的技术路线和流程。

A.5.3 规定作业方法和技术要求：

A.5.3.1 规定施工场区控制网及桩位控制网的布设方法和精度要求，以及场区范围、形状等确定场区高程控制点、平面控制点的布设、精度要求和施测规定；

A.5.3.2 根据现场情况进行航线初步设计，确定航线范围、角度、数量等参数，如现场有施工设备或者建筑物影响航测飞行，需要局部特殊设计飞行航线，避免发生碰撞，并且不降低摄影测量精度；

A.5.3.3 根据施工放样使用的图纸和资料中提出的技术要求，规定各作业环节技术要求、检核方法和限差规定等；

A.5.3.4 规定摄影成果记录的内容和要求；

A.5.3.5 规定成果补测与重测的条件和要求；

A.5.3.6 其他特殊要求: 拟定所需的交通工具、主要物资及其供应方式、通信联络方式以及其他特殊情况下的应对措施。

A.5.4 质量控制环节和质量检查的主要要求。

A.5.5 上交和归档成果及其资料的内容和要求。

A.5.6 有关附录。

附录 B

(资料性附录)

像控点信息采集的样式

像控点信息采集样式详见表 B。

表 B 像控点信息采集表

点名	点号	所在图幅	
概略纬度		坐标 X	
概略经度		坐标 Y	
概略高程		坐标 Z	
控制点所在 桩位号			
点位 描述			点位 略图
实地照片 1		实地照片 2	
选点人:		检查人:	
时间:		时间:	
备注:			

附录 C
(资料性附录)
航摄飞行记录的样式

航摄飞行记录样式详见表 C。

表 C 航摄飞行记录表

机组		天气						
日期		从 时 分到 时 分						
摄区	摄区名称		航线规划号		航摄分区		垂直影像地面分辨率/m	
	相对高度		飞行架次		时间		地形地貌	
无人机型号								
航摄	航向重叠率		旁向重叠率		相机倾角		照片数量	
操作人员					配合人员			
航摄飞行示意图								
备注：								

填表人：

附录 F
(规范性附录)
文件命名规则

- F.1 工程命名：工程正式名称的拼音首字母缩写-项目类型-标段号-(测量桩位号)-批次。
- F.2 工程正式名称：以该项目质量监督受理通知书所定工程名称为准，如不需质量监督项目则以正式施工图所列项目名称为准。
- F.3 项目类型：以桩位所处水工结构部位名称拼音首字母缩写表示。
- F.4 标段号：以该标段施工合同明确的标段名称为准，用字母和数字表示。

示例：XXXX 码头工程，施工 1 标，1#至 99#水中桩第 2 次采集。

工程命名：XXXX-MTGC-SG1-(1#~#99)-2。

- F.5 元数据命名：M-工程正式名称的拼音首字母缩写-项目类型-标段号-(测量桩位号)-批次。
- F.6 成果文件命名：F-工程正式名称的拼音首字母缩写-项目类型-标段号-(测量桩位号)-批次。
- F.7 采集照片文件集命名：P-工程正式名称的拼音首字母缩写-项目类型-标段号-(测量桩位号)-批次。
- F.8 相关资料集命名：Z-工程正式名称的拼音首字母缩写-项目类型-标段号-(测量桩位号)-批次。

示例：XXXX 码头工程，施工 1 标，1#至 99#水中桩第 2 次采集。

元数据命名：M-XXXX-MTGC-SG1-(1#~#99)-2。

成果文件命名：F-XXXX-MTGC-SG1-(1#~#99)-2。

采集照片文件集命名：P-XXXX-MTGC-SG1-(1#~#99)-2。

相关资料集命名：Z-XXXX-MTGC-SG1-(1#~#99)-2。