

# 公路工程数字勘测应用指引

**Guidelines for the Applications of Digital Surveying in Highway  
Engineering**

---

广东省交通运输厅发布  
2025年3月

## 前 言

交通行业数字化和智能化转型是提升服务质量和运营效率、促进产业升级的重要途径。2023年9月，交通运输部发布了《关于推进公路数字化转型加快智慧公路建设发展的意见》，旨在推动公路建设、管理、养护、运行、服务全流程数字化转型，提升公路建设与运行管理服务水平。

公路工程勘测是公路交通建设的重要环节，其数字化转型是数字交通建设的主要内容和重要实施手段。加快推进北斗卫星导航系统、高分卫星遥感、三维激光扫描、无人机、数字物探、数字钻探等数字勘测技术在公路工程全生命期的应用，既是贯彻落实国家数字化发展战略的具体体现，也是响应新时代公路工程行业对于数字化融合发展的创新实践，对于提升公路建设的质量与效率、优化公路运行管理服务意义重大。

广东省作为中国经济强省，在交通基础设施建设方面一直走在前列。为贯彻落实交通强国战略，进一步加快交通强国和强省建设，推动广东省公路工程数字勘测技术升级，深化数字勘测技术在公路工程全生命期中的应用，提升公路交通安全水平与运输效能，广东省交通运输厅组织编制了《公路工程数字勘测应用指引》（以下简称《指引》）。《指引》对应用数字勘测技术解决公路工程可行性研究、设计、施工、运营养护、管理等阶段的地形测绘、地质勘察、变形监测、病害检测等内容进行了规定，可用于规范和指导广东省公路工程数字勘测工作。

本指引共分为8章，分别是：1 总则、2 术语和缩略语、3 基本规定、4 工程可行性研究阶段、5 工程设计阶段、6 工程施工阶段、7 工程运营养护阶段、8 成果管理和交付。

本指引编制过程中，得到了广东省交通集团有限公司、广东省南粤交通投资建设有限公司等单位的大力支持。在此一并表示感谢。

本指引的管理权归属广东省交通运输厅，日常解释和管理工作中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责。请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告中交第二公路勘察设计研究院有限公司（地址：武汉经济技术开发区创业路18号；联系人电话及邮箱：余绍淮，027-84214035，yushaohuai@ccccltd.cn），以便修订时参考。

**主编单位：**中交第二公路勘察设计研究院有限公司

**参编单位：**广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

云基智慧工程股份有限公司

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

中交公路规划设计院有限公司

中国公路工程咨询集团有限公司

北京交科公路勘察设计研究院有限公司

华设设计集团股份有限公司

河南省中工设计研究院集团股份有限公司

中铁大桥勘测设计院集团有限公司

湖南省交通规划勘察设计院有限公司

苏交科集团股份有限公司

**主要编审人员：**黄成造、张钱松、王璜、黎侃、陈榕峰、陈红

**主要编写人员：**余绍淮、李水清、罗博仁、汤敏、陈国国、曾胜欢、陈亮青、卢启煌、余飞、闫海涛、张俊瑞、何伟兵、张金平、于晖、尉学勇、马鑫程、赵振国、马平、崔亮、吴继峰、张毅、邢煜、胡彦卿、徐春明、吴家铭、叶辉、徐乔、刘德强、姚金玺、宋啟晟、万欢、李景明、苏海亮、傅海堂、孙颖、邓凯丰

## 目 录

<b>1 总则</b> .....	<b>1</b>
<b>2 术语和缩略语</b> .....	<b>2</b>
2.1 术语.....	2
2.2 缩略语.....	3
<b>3 基本规定</b> .....	<b>5</b>
3.1 一般规定.....	5
3.2 技术方法选择.....	5
3.3 技术要求.....	6
<b>4 工程可行性研究阶段</b> .....	<b>8</b>
4.1 一般规定.....	8
4.2 数字测绘.....	8
4.3 数字地质勘察.....	9
4.4 路线方案比选.....	10
<b>5 工程设计阶段</b> .....	<b>12</b>
5.1 一般规定.....	12
5.2 数字测绘.....	12
5.3 数字地质勘察.....	15
5.4 数字勘测与设计协同.....	17
<b>6 工程施工阶段</b> .....	<b>19</b>
6.1 一般规定.....	19
6.2 数字测绘.....	19
6.3 数字地质勘察.....	21
6.4 数字勘察后服务.....	22
<b>7 工程运营养护阶段</b> .....	<b>25</b>
7.1 一般规定.....	25
7.2 数字测绘.....	25
7.3 数字地质勘察.....	26
7.4 数字运养服务.....	28
<b>8 成果管理和交付</b> .....	<b>29</b>
8.1 一般规定.....	29
8.2 成果内容与形式.....	29
8.3 勘测报告管理.....	30
8.4 勘测数据管理.....	30
8.5 数字化交付.....	31

# 1 总则

1.0.1 为规范和指导广东省公路工程数字勘测工作，提升公路工程建设和服务水平，制定本指引。

1.0.2 本指引适用于公路工程可行性研究、设计、施工、运营养护等各阶段的数字测绘、数字地质勘察。

1.0.3 公路工程全生命期应加强数字化统筹，加大数字勘测技术推广应用，并融合应用人工智能、大数据分析、云计算等先进技术，形成有效的数据资源积累，实现多源数据的综合分析与高效利用。

1.0.4 公路工程数字勘测应积极应用可靠的新技术、新工艺和新设备。

1.0.5 公路工程数字勘测除应符合本指引的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 2 术语和缩略语

### 2.1 术语

#### 2.1.1 数字勘测 digital surveying

利用现代信息技术、计算机科学和地理空间科学等数字化技术手段赋能公路工程勘测，对公路工程全生命期的地形地貌、地质条件、工程结构特征等进行测绘、勘察、记录、分析及可视化的过程。

#### 2.1.2 数字测绘 digital mapping

利用北斗/GNSS、高分卫星、激光扫描、无人机、倾斜摄影等现代信息技术和装备，对地形、地貌、地物等进行精确测量、处理与数字化表达的过程。

#### 2.1.3 数字地质勘察 digital geological surveying

以传统勘察手段为基础，利用数字调绘、数字钻探、数字物探、数字测试、地理信息系统、遥感、三维建模等现代信息技术和装备，对地质体进行数据采集、处理、分析和可视化表达的过程。

#### 2.1.4 数字调绘 digital geological mapping

采用现代信息技术，通过便携式设备和应用程序（APP），充分利用卫星导航系统、地理信息系统、遥感等技术，对公路工程地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质、特殊性岩土等传统地质信息和地质环境进行数据采集、处理、分析的过程。

#### 2.1.5 数字钻探 digital drilling

利用数字化技术，采集钻探过程中钻进参数、随钻孔内测试信息，并进行钻探岩芯地质数字化、智能化编录，形成数字班报表、数字钻孔地质柱状图草图的过程。

#### 2.1.6 数字物探 digital geophysical exploration

结合传统的地球物理勘探手段，利用数字化采集、反演技术来探测和研究地下结构和岩性变化等地质信息的过程。

### 2.1.7 遥感 remote sensing (RS)

不接触物体本身，用传感器收集目标物的电磁波信息，经处理、分析后，识别目标物，揭示其几何、物理性质、相互关系及其变化规律的科学技术。

### 2.1.8 全球卫星导航系统 global navigation satellite system (GNSS)

在全球范围提供定位、导航和授时服务的卫星系统的统称，包括北斗卫星导航系统（BDS）、全球定位系统（GPS）、格洛纳斯导航卫星系统（GLONASS）和伽利略导航卫星系统（Galileo）等。

### 2.1.9 合成孔径雷达干涉测量 interferometric synthetic aperture radar (InSAR)

利用合成孔径雷达在不同站点，获取同一地区两次观测数据的相位差等信息进行分析处理，获取变形信息的技术。

### 2.1.10 倾斜摄影 oblique photography

通过在同一飞行平台上搭载多个传感器，同时从垂直、倾斜等多个不同的角度采集影像。

### 2.1.11 三维激光扫描 light detection and ranging (LiDAR)

利用航空平台、车辆或地面固定平台搭载激光雷达获取目标三维信息的过程。

### 2.1.12 无人机勘察 unmanned aerial vehicle surveying

利用无人机平台搭载传感器，对地球表面或地下一定深度范围的地形地貌、地质体进行非接触式的探测与数据采集、监测和分析的过程。

### 2.1.13 三维地质模型 three-dimensional geological model

通过数字化技术构建反映地表及地下地质结构、地质体属性的三维可视化模型。

## 2.2 缩略语

APP ——应用程序（Application）；

BDS ——北斗卫星导航系统（BeiDou navigation satellite System）；

BIM ——建筑信息模型（Building Information Modeling）；

- 
- CT ——层析成像（Computerized Tomography）；
- DEM ——数字高程模型（Digital Elevation Model）；
- DLG ——数字线划地形图（Digital Line Graph）；
- DOM ——数字正射影像图（Digital Orthophoto Map）；
- GB-SAR ——地基合成孔径雷达（Ground Based Synthetic Aperture Radar）；
- GNSS ——全球卫星导航系统（Global Navigation Satellite System）；
- GIS ——地理信息系统（Geographic Information System）；
- InSAR ——合成孔径雷达干涉测量（Interferometric Synthetic Aperture Radar）；
- LiDAR ——激光雷达（Light Detection And Ranging）；
- PDOP ——位置精度因子（Position Dilution of Precision）；
- POS ——定位测姿系统（Position and Orientation System）；
- RTK ——实时动态测量（Real Time Kinematic）；
- TGP ——隧道超前地质预报（Tunnel Geological Prediction）；
- TRT ——真地震反射成像法（True Reflection Tomography）；
- TSP ——隧道地震波法超前预报（Tunnel Seismic Prediction）；
- Web ——全球广域网（World Wide Web）。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 公路工程数字勘测应积极推广应用高分卫星遥感、BDS/GNSS、LiDAR、倾斜摄影、无人机、数字钻探、三维物探等信息采集手段，利用 BIM+GIS 技术实现数据信息集成管理，优化勘测流程，推广“云+端”公路勘察测绘新模式，为公路工程全流程数字化奠定基础。

3.1.2 应积极实施重大工程数字化监管，深化卫星遥感、无人机视频监控、数字三维呈现等工程应用，提升工程信息采集与监管效率，提高工程质量安全水平。

### 3.2 技术方法选择

3.2.1 公路工程数字勘测方法应根据可行性研究、设计、施工、运营养护等各阶段的工作内容、不同深度要求等，并结合现场地形地质条件、工程结构以及数字化特点等因素综合选定。

3.2.2 公路工程数字测绘技术选择宜符合下列规定：

- 1 平面控制测量宜采用 BDS 静态测量、BDS RTK 测量技术，高程控制测量宜根据需要采用水准测量、BDS 高程测量等技术。
- 2 地形图测绘宜采用高分卫星、LiDAR、航空摄影等技术。
- 3 地物测量宜采用 BDS RTK 测量等技术。
- 4 断面地面线宜采用 LiDAR 等技术。
- 5 水下地形宜采用单波束水深测量、无人船测量等技术。
- 6 变形测量宜采用 BDS、InSAR、地面 LiDAR 等技术。

3.2.3 公路工程数字地质勘察技术选择宜符合下列规定：

- 1 工程地质数字调绘宜采用具备 BDS/GNSS 定位功能的移动端调绘系统现场调绘，地形陡峭或人力无法到达路段可采用高分卫星、无人机遥感技术进行调绘。
- 2 工程地质数字物探可采用二维或拟三维物探技术，地形平坦路段可选择二维地震技术或二维高密度电法，地形起伏大的路段可采用航空或半航空瞬变电

磁技术。

3 工程地质数字钻探宜采用可记录随钻参数的数字化钻机，并宜采用钻探监控管理系统实时监控钻探过程、实时上传影像资料、实时填报钻探班报表和编录表。

4 工程地质数字测试与试验宜采用可联网的数字化测试设备和仪器。

5 工程地质勘察数据综合管理宜采用可实时上传数字调绘、数字物探、数字钻探、数字测试与试验等勘察数据并进行综合分析的系统或平台。

### 3.3 技术要求

3.3.1 应依据公路工程的规模、等级、项目特点、自然环境、地形地貌、地质条件等特征，确定公路工程数字勘测的工作内容、详细程度和勘测重点，制定科学合理且针对性强的技术方案。

3.3.2 公路工程数字测绘应符合现行《公路勘测规范》（JTG C10）、《公路勘测规范》（JTG/T C10）、《公路工程卫星图像测绘技术规程》（JTG/T C21-02）、《工程测量标准》（GB 50026）、《工程测量通用规范》（GB 55018）等国家和行业标准的有关规定。

3.3.3 公路工程数字地质勘察应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）、《公路工程物探规程》（JTG/T 3222）、《公路工程地质原位测试规程》（JTG 3223）、《公路工程地质遥感勘察规范》（JTG/T 3221-01）、《工程勘察通用规范》（GB 55017）等国家和行业标准的有关规定。

3.3.4 公路工程数字勘测的时空基准应符合下列规定：

- 1 时间系统宜采用公元纪年和北京时间。
- 2 平面坐标系宜采用 2000 国家大地坐标系。
- 3 高程基准宜采用 1985 国家高程基准。

4 投影方式宜采用高斯-克吕格投影，中央子午线和投影面的选择应使测区内投影长度变形值小于 25mm/km，大型构造物的投影长度变形值应小于 10mm/km。

3.3.5 公路工程数字勘测应采用中误差作为评定精度的指标，2 倍中误差为极限误差。

3.3.6 各种勘测仪器应按计量规定进行检定，并根据需要进行现场检校。

3.3.7 应对公路工程数字勘测成果进行精度检测或调查验证。当数字勘测成果相互矛盾或与调查验证不一致时，应综合对比分析，查找原因，必要时再次开展数字勘测工作。

## 4 工程可行性研究阶段

### 4.1 一般规定

4.1.1 工可阶段数字测绘应根据路线走廊带方案完成地形测绘，为公路工程路线方案比选提供三维地形资料。

4.1.2 工可阶段数字地质勘察应初步查明公路沿线的工程地质条件和对公路建设规模有影响的工程地质问题，为编制工程可行性研究报告提供工程地质资料。

4.1.3 应综合考虑地形地貌、地质条件、交通流量、区域规划、环境保护等因素，为公路选线提供科学、合理的决策支持。

4.1.4 公路工程数字勘测范围应满足路线方案研究及构造物布置需要。

### 4.2 数字测绘

4.2.1 工可阶段数字测绘应完成路线走廊带的地形测绘，地形图成图比例尺不宜小于 1:10 000，并可根据需要开展控制测量和 1:2 000 地形图测绘工作。

4.2.2 工可阶段控制测量宜优先采用网络 BDS/GNSS RTK 测量技术。控制点的等级、分布应满足 1:2 000 比例尺地形图测绘、沿线主要控制性点位测量和地质钻探放孔的需要。

4.2.3 工可阶段 1:2 000 比例尺地形图测绘应符合本指引第 5.2 节的有关规定。1:5 000、1:10 000 比例尺地形图测绘宜优先采用卫星图像测绘技术，并应符合《公路工程卫星图像测绘技术规程》（JTG/T C21-02）的有关规定。

4.2.4 工可阶段高分卫星图像采集范围宜超过路线走廊带外侧 1 000m，可选择存档数据或编程采集。

4.2.5 应根据卫星图像成图比例尺和无控地理定位精度，选择相应地面分辨率的卫星图像。成图比例尺对应的卫星图像地面分辨率和卫星图像无控地理定位精度宜符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 成图比例尺对应的卫星图像地面分辨率(m)

成图比例尺	地形类别	卫星图像地面分辨率	卫星图像无控地理定位精度	
			平面	高程
1:2 000	平原	—		
	微丘	$\leq 0.5$	10	6
	重丘	$\leq 1.0$	20	10
	山岭			
1:5 000	平原	—		
	微丘	$\leq 0.5$	10	6
	重丘	$\leq 1.0$	20	10
	山岭			
1:10 000	平原	$\leq 0.5$	10	6
	微丘			
	重丘	$\leq 1.0$	20	10
	山岭	$\leq 2.5$	50	30

4.2.6 高分辨率卫星图像的控制点间隔应小于  $2.5M$  m ( $M$  为成图比例尺)，生产 1:10 000 比例尺地形图可不布设卫星图像控制点。

4.2.7 卫星图像控制点测量平面测量宜采用 BDS 测量方法，高程测量宜根据需要采用 BDS 高程测量方法、水准测量方法。

4.2.8 卫星图像测绘的数据处理应包括区域网平差、数字化产品生产等，数字化产品宜包括 DEM、DOM 和 DLG，并宜融合 DEM、DOM 生成测区三维地形模型。

### 4.3 数字地质勘察

4.3.1 工可阶段数字地质勘察应以资料搜集、数字调绘、工程地质遥感勘察等为主，必要时可辅以地球物理勘探、数字钻探、数字物探等方法。

4.3.2 工可阶段资料搜集应充分利用全国地质数据馆、各地区地质大数据服务平台、企业自建钻孔数据库等信息共享平台，搜集项目所在区域的地质图、地形地貌、地层岩性、地质构造、地震、水文地质及工程地质等基础地质资料，实现工程区域综合分析。

4.3.3 工可阶段数字调绘应对区域地质、水文地质以及当地采矿资料等进行复核，区域地层界线、断层线、不良地质和特殊性岩土发育地带、地下水排泄区等应进行实地踏勘，并做好复核记录。数字调绘比例尺宜为 1:10 000~1:50 000。

4.3.4 工可阶段工程地质遥感勘察应重点对路线走廊带的地形地貌、地质构造、地层岩性、大型不良地质与特殊性岩土进行图像分析和专题特征提取，并应为路线走廊带的确定、大型构筑物的设置和控制投资规模提供地质资料。

4.3.5 工程地质遥感勘察宜根据需要采用高分卫星图像和无人机遥感图像，利用不同地质体的地物波谱特性及其在遥感图像上的影像特征，结合地质学、地貌学等专业知识，运用遥感地学综合分析方法，建立遥感解译标志，进行遥感解译。

4.3.6 工程地质遥感勘察的遥感图像地面分辨率与遥感勘察专题图成图比例尺应符合表 4.3.6 的规定。

表 4.3.6 遥感图像地面分辨率与遥感勘察专题图成图比例尺

	预可行性研究阶段	可行性研究阶段
遥感图像地面分辨率(m)	≤15	≤5
遥感勘察专题图成图比例尺	≥1:100,000	1:10 000~1:50 000

4.3.7 工可阶段遇下列情况，仅通过资料收集、数字调绘、工程地质遥感勘察等不能初步查明工程地质条件时，宜采用数字物探、数字钻探、数字测试等技术对地质及钻探信息进行数据采集：

- 1 控制路线及工程方案的不良地质和特殊性岩土路段。
- 2 地质条件较复杂、复杂的特大桥、特长隧道、水下隧道等控制性工程。
- 3 控制路线方案的越岭路段、区域性断裂通过的峡谷、区域性储水构造。

4.3.8 工可阶段数字物探可采用无人机搭载地球物理设备，探测地质体的磁性、电性、放射性等物理性质，并推测解释地层岩性界线、大型断层构造等位置信息。

4.3.9 工可阶段数字钻探、数字测试可参照本指引第 5.3 节的有关规定执行。

## 4.4 路线方案比选

4.4.1 工可阶段宜综合利用数字测绘、数字地质勘察获取的地形、地貌、地质等信息，构建研究区域范围的地表、地上、地下三维数字模型，为公路选线提供立体、直观的地理环境依据。

4.4.2 宜运用高分卫星图像、无人机遥感快速获取大范围地形、地质信息，运用遥感地学综合分析方法，完成公路工程选线设计。

4.4.3 宜采用星载 InSAR 进行大范围区域地表沉降监测，并结合工程地质遥感勘察技术进行地质灾害遥感解译，识别滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等地质灾害的潜在风险区域，规避地质灾害高风险区域。

4.4.4 可采用数字物探、数字钻探技术探测地下空洞、岩溶、断层等不良地质结构，划分岩性界线和地层界面，为公路地质选线、构造物地质选址和方案设计提供依据。

4.4.5 宜鼓励开展智能化选线系统的研发，综合考虑地形地貌、地质条件、交通流量、区域规划、环境保护等因素，高效生成多个选线方案，并可进一步比选优化。

## 5 工程设计阶段

### 5.1 一般规定

5.1.1 工程设计阶段数字测绘应根据公路工程路线方案完成控制测量、地形图测绘和地物测量，以及路线交叉、大型工点及沿线设施等勘测调查，为工程优化设计提供精确的三维测绘资料。

5.1.2 工程设计阶段数字地质勘察应根据公路工程路线方案基本查明公路沿线及各类构筑物建设场地的工程地质条件，为工程方案比选、初步设计和施工图设计文件编制提供工程地质资料。

5.1.3 工程设计阶段宜建立以融合实景三维模型、三维地形模型和三维地质模型为数据底座的三维正向协同设计平台，实现三维正向协同设计。

### 5.2 数字测绘

5.2.1 工程设计阶段数字测绘宜包括控制测量、地形图测绘、地物测量和断面地面线测量等。

5.2.2 工程设计阶段各等级平面控制测量宜采用 BDS 静态测量，一、二级 GNSS 控制网可采用网络 RTK、单基站 RTK 和 PPK 测量。各等级高程控制测量宜采用水准测量，五等及等外高程测量可采用 BDS 高程测量。当利用 BDS 高程测量代替四等及以上水准测量时，应使用满足精度要求的似大地水准面模型。

5.2.3 工程设计阶段地形图测绘宜优先采用 LiDAR 技术，可根据需要采用高分卫星图像测量、无人机航空摄影、倾斜摄影等技术。水下地形图测绘宜采用单波束水深测量、无人船辅以 BDS RTK 测量。成图比例尺不宜小于 1:2 000。

5.2.4 工程设计阶段 LiDAR 数据采集方法宜按表 5.2.4 选用。

表 5.2.4 激光扫描数据采集方法

适用对象	激光扫描数据采集方法
新建公路	机载 LiDAR
改扩建公路	机载 LiDAR、车载 LiDAR
工点工程	地面 LiDAR、便携式 LiDAR

5.2.5 新建公路工程的激光点云密度应优于 4 点/ $m^2$ ，改扩建公路工程的激光点云密度路面部分应优于 16 点/ $m^2$ ，路面以外部分应优于 4 点/ $m^2$ 。激光点云应分布均匀。

5.2.6 激光扫描宜同步进行数码影像采集，新建公路的数码影像地面分辨率宜优于 0.2m，改扩建公路的数码影像地面分辨率宜优于 0.1m。

5.2.7 工程设计阶段 LiDAR 数据采集范围应符合下列规定：

- 1 新建公路工程宜超过路线方案中心线两侧各 300m，改扩建公路拼宽段宜超过现有道路中心线两侧各 100m，分离式两侧宽度宜参照新建公路的规定执行。
- 2 互通式立体交叉或服务区宜超过工程范围线向外 100m。
- 3 工程起、终点处宜纵向向外延伸超过 1000m。

5.2.8 LiDAR 数据处理应包括数据预处理、数据精化处理、激光点云分类、数据融合处理工作。

5.2.9 LiDAR 数据预处理应联合 POS 数据、基准站数据、轨迹记录、激光测距数据和系统检校数据进行点云解算，预处理后的激光点云测量精度应符合表 5.2.9 的规定。

表 5.2.9 预处理后的激光点云测量精度 (m)

	平面中误差	高程中误差
平原、微丘	0.30	0.15
重丘、山岭	0.40	0.30

5.2.10 改扩建公路工程应对激光点云数据的平面坐标和高程坐标进行精化处理。精化处理后的激光点云精度应符合表 5.2.10 的规定。

表 5.2.10 精化处理后的激光点云测量精度 (m)

	平面中误差	高程中误差
路面	0.05	0.02
边坡	0.10	0.10

5.2.11 激光点云分类应准确分检出地面类激光点云数据，宜根据需要对非地面点进行分，并存入相应的类别和层中。

5.2.12 工程设计阶段 LiDAR 数字化产品宜包括 DEM、DOM 和 DLG 等，并应

符合下列规定：

- 1 DEM 应利用分类后的地面类激光点云与补测的地面点，采用线性内插或三角面内插的方法生成。
- 2 DOM 应采用地面类激光点生成 DEM 进行影像的数字微分纠正的方法生成。
- 3 DEM 格网尺寸和 DOM 影像地面分辨率宜符合表 5.2.12 的规定：

表 5.2.12 DEM 格网尺寸和 DOM 影像地面分辨率(m)

比例尺	1:500	1:1 000	1:2 000
DEM 格网尺寸	≤0.5	≤1.0	≤2.0
DOM 地面分辨率	≤0.05	≤0.10	≤0.20

4 DLG 生产应包括等高线生成、高程注记采集，地物、地貌数据采集。其中，地形图等高线数据宜基于分类后的地面类激光点或 DEM 自动生成，地形图高程注记采集应基于 DOM 和地面类激光点进行。

5.2.13 工程设计阶段采用卫星图像测绘技术生产 1:2 000 比例尺地形图时，应符合本指引第 4.2 节的有关规定。

5.2.14 工程设计阶段采用无人机航空摄影测量技术生产 1:2 000 比例尺地形图时，应进行航飞任务设计、外业数据采集、内业数据处理等工作，并应符合下列规定：

- 1 航飞任务设计应根据地形情况和成图比例尺要求，进行航摄分区，完成航线高度、航摄分辨率、重叠度等参数的设定，并应符合下列规定：
  - 1) 平地、丘陵地和山地分区内的高差不应大于 1/4 相对航高；高山地分区内的高差不应大于 1/3 相对航高。
  - 2) 各航摄分区的地面分辨率选择宜符合表 5.2.14 的规定。

表 5.2.14 无人机航摄分辨率选择(m)

比例尺	地面像元分辨率
1:500	≤0.05
1:1 000	≤0.1
1:2 000	≤0.2

- 3) 航向重叠度宜为 65%~85%，旁向重叠度宜为 30%~45%。
- 2 外业数据采集应包括像控点布设与测量、外业航飞、外业调绘等工作，并应符合《低空数字航空摄影测量外业规范》（CH/Z 3004）的有关规定。
- 3 内业数据处理应包括影像预处理、空中三角测量以及 DLG、DEM、DOM 生产等工作。影像预处理应包括格式转换、相机畸变改正和图像增强。空中三角

测量以及 DLG、DEM、DOM 生产应符合《低空数字航空摄影测量内业规范》(CH/Z 3003)的规定。

5.2.15 工程设计阶段采用倾斜摄影技术生产 1:2 000 比例尺地形图时,可参照本指引第 5.2.14 条的有关规定执行。

5.2.16 工程设计阶段宜利用数字测绘获取的 DEM、DOM、激光点云等数据构建数字三维模型,并应符合下列规定:

1 数字三维模型应由反映建模对象几何形态的几何数据和反映建模对象表面纹理、色泽特征的纹理数据组成。

2 数字三维模型生产宜包括三维地形模型生产和三维地物模型生产。数字三维模型生产内容与精细程度等级应根据使用要求的不同进行选择 and 明确。

3 采用倾斜摄影技术生成实景三维模型宜结合三维激光扫描、近地面补拍数据等技术手段。近地面补拍数据可包括利用手机、数码相机、单反相机、手持云台、车载 LiDAR、地面 LiDAR 或低空环拍的方式获取的高分辨率地物侧面纹理和结构细节。

5.2.17 工程设计阶段地物测量宜采用网络 RTK、单基站 RTK 测量。单基站 RTK 测量的作业半径不宜超过 3km,流动站截止高度角 15°以上的 BDS 卫星数不应少于 5 颗,PDOP 值应小于 6。不同基准站作业时,地物重合点的平面和高程较差分别不应大于 30mm。

5.2.18 工程设计阶段断面地面线测量应符合下列规定:

1 宜直接利用激光点云数据,采用邻近激光点云高程赋值生成。用于断面生成的激光点应在断面线两侧各 0.8m 范围内的地面类激光点中就近提取。

2 可利用激光点云生成的 DEM 数据,采用 DEM 内插点高程生成。DEM 模型构建宜采用一体化建模,并宜对陡坎、硬化人工构筑物、水域区域采用野外实测进行补点。

3 断面线中处于水域内的区域,宜采用 BDS RTK、单波束水深测量、无人船辅等方法进行野外实测补点。

### 5.3 数字地质勘察

5.3.1 初步勘察宜采用数字调绘、工程地质遥感勘察为主,数字钻探、数字原位测试、数字物探为辅的数字地质勘察方法。

5.3.2 详细勘察宜充分利用初勘取得的各项数字化成果,采用以数字钻探、数

字测试为主，数字调绘、数字物探等为辅的数字地质勘察方法。

5.3.3 工程设计阶段数字调绘宜利用集成 BDS、数字罗盘、影像拍摄、GIS 地质填图等高精度定位、标准化数据记录、数据互通的一体化地质信息采集技术，实现地质调绘信息的快速定位和多数据记录，并应符合下列规定：

- 1 工程设计阶段数字调绘比例尺宜选用 1:2000。
- 2 地质调绘点在图上的密度每 100mm×100mm 不宜少于 4 个。
- 3 调绘点应布置在地貌单元的边界、地层接触线、断层、地下水出露点、特殊性岩土及不良地质体的界线、具有代表性的节理和岩层露头及大桥、特大桥、长隧道、特长隧道、高填深挖路段等部位。
- 4 调绘点的误差在图上的距离不应大于 3mm。

5.3.4 工程设计阶段工程地质遥感勘察宜对公路路线、桥梁工程、隧道工程的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、不良地质和特殊性岩土等进行遥感解译与调查验证。工程地质遥感勘察采用的遥感图像地面分辨率不宜低于 1m，遥感勘察专题图成图比例尺不宜小于 1:2000。

5.3.5 工程设计阶段数字物探宜结合信息化采集和人工智能解译技术，建立数据可溯、信息共享、解译高效的数字化系统，并应符合下列规定：

- 1 物探工作开展前应充分搜集和研究工点已有的数字化地质信息，包括遥感解译资料、地质调绘资料、钻探地层信息等，综合选择数字物探方法。
- 2 测线宜垂直地质异常带走向布置，测线数量不宜少于 2~3 条，地质条件复杂时应布置垂直路线走向的横测线，点距应不小于预估地质异常带宽度的 1/2。
- 3 探测深度应至稳定地层深度或根据工程地质评价的需要确定。
- 4 疑难地段宜结合钻孔，探测钻孔周围及钻孔之间的地质情况。

5.3.6 岩溶发育段落宜采用数字物探技术查明碳酸盐岩层与非碳酸盐岩层的界线，探测岩溶的形态、规模、埋深、走向及空间分布等，并应符合下列规定：

- 1 探测范围应超出工程边界及工程受岩溶塌陷的影响范围。
- 2 地面塌陷、地下水强烈活动地段等物探异常应进行重点勘察，并加密或延长探测线。
- 3 覆盖层薄、埋深浅的岩溶探测可选用地质雷达技术。溶洞影响路段宜采用 CT、钻孔地质雷达等技术探测洞穴的位置、规模、延伸、充填情况。孔壁岩溶宜采用综合测井、钻孔全景光学成像、钻孔管波探测等方法。

5.3.7 工程设计阶段数字钻探宜采用大数据分析、人工智能和深度学习技术对采集的地层、原位测试、岩土取样、岩芯照片等进行自动识别和正理，实现地质钻探过程中对地层信息的分析和反馈，并形成钻探外业数据库。

5.3.8 工程设计阶段数字钻探宜对工程钻探过程进行监控，并宜包括下列内容：

- 1 钻探施工回尺进尺、速度、响动等钻进实时数据。
- 2 钻探过程中动力触探、岩土取样等原位测试及取样的数据。
- 3 钻探施工现场图像、声音、影像等数据，并实现影像储存。

5.3.9 地形陡峭、无通行条件的山岭隧道或跨江河湖海水下通道等复杂环境地质勘察，宜采用水平定向数字钻探进行隧道连续围岩地质信息的准确获取。

5.3.10 工程设计阶段静力触探、室内岩土试验及水质分析宜采用数字测试技术，并应上传试验结果至数字化勘察平台。

5.3.11 对尚处于变形阶段或存在致灾隐患的重大不良地质体，可建立数字监测平台，利用各类传感装置对形变、受力、位移、地下水等进行自动化监测，并应符合以下要求：

- 1 监测网应覆盖不良地质体及边界以外一定范围，并能监测地质体变形的整体变化趋势。
- 2 位移监测点应主要布设在变形明显区域及两侧。
- 3 采用自动化实时连续监测，处于不稳定状态的地质体，监测频率应每天不低于 1 次，处于欠稳定状态的地质体，监测频率应每周不低于 1 次，出现环境异常变化应提高监测频率。

## 5.4 数字勘测与设计协同

5.4.1 应综合最新采集的数字测绘、数字地质勘察的地形、地物、地质、地下结构物等信息，构建项目范围的地表、地上、地下三维数字模型。在此基础上，开展路线方案的优化设计，尤其是项目重大桥梁、隧道、交叉、高边坡、不良地质段等的方案论证、比选和优化工作，进而确保方案的安全性、可靠性和经济性。

5.4.2 宜采用“BIM+GIS”协同技术，实现地形、地物、地质信息从现场到模型平台的无缝传递，同时在平台上整合工程模型，形成项目的数字沙盘，开展如方案漫游、碰撞检查、方案汇报、正向设计、数字化交付等应用工作。

5.4.3 宜综合各类地质勘察成果，对地下结构物、不良地质结构进行精确还原，

为项目重大桥梁的布孔、桩基进入持力层深度提供有效依据，为项目重要隧道的布设、洞口位置、洞门设置、施工工法等提供有力的技术支持。

5.4.4 宜利用工程设计阶段采集的地质信息，集成测绘、遥感、钻探、试验、物探、BIM、原位测试等数据，借助数字孪生技术，建立三维地质模型，识别可能存在的地质风险并作出决策。

5.4.5 宜采用探地雷达、管线探测仪等设备对公路工程勘察范围内的地下管线进行精确探测，查明地下管线位置、深度和类型等信息。

5.4.6 宜采用 LiDAR、无人机遥感技术，对项目重要工点构建高仿真的实景三维模型，为不同设计方案的征拆、土石方、环保、景观等方面提供科学直观的依据。

5.4.7 宜基于实景三维模型，结合交通仿真软件，模拟道路通行能力、交通流量、交通拥堵等情况，为道路规划、安全性评价提供科学依据。

## 6 工程施工阶段

### 6.1 一般规定

6.1.1 工程施工数字测绘应积极采用 BDS、LiDAR、无人机遥感和实景三维模型等技术，获取多时期、高分辨率的测绘数据，以提高信息采集精度，保障工程质量进度和安全。

6.1.2 工程施工阶段遇下列情况时，应根据设计、施工的要求进行施工数字地质勘察：

- 1 勘察阶段钻孔未能按计划实施，地质情况尚未查明的路段。
- 2 施工期间发生滑坡、崩塌、坍塌等地质灾害，需补充勘察的工点。
- 3 设计、施工方案有较大变更，详细勘察资料不能满足要求。
- 4 施工过程中地质情况出现较大变化，原设计、施工方案需进行修改。
- 5 场地存在岩溶等形态特别复杂、影响工程安全的不良地质体。
- 6 场地存在孤石、漂石、断裂破碎带、风化深槽等对工程施工造成不利影响的特殊性岩土体。
- 7 需进行施工勘察的其他情况。

#### 条文说明

随着经济社会的快速发展，土地资源越来越宝贵，公路工程地质勘察较多路段往往作业空间受限，或受各类管线的影响，部分钻孔难以在勘察设计期完成。

此外，由于地质条件的多变性，施工阶段揭露的地质往往变化较大，需要进行设计变更，因此需要通过施工勘察提供地质依据。

6.1.3 在公路工程施工过程中，施工勘察与勘察后服务应与互联网+、物联网、云计算、大数据分析等新一代信息技术相结合，积极采纳数字钻机、数字物探、数字化施工服务等信息化、智能化技术手段。

### 6.2 数字测绘

6.2.1 工程施工数字测绘工作宜包括控制测量、施工放样、设计变更补充测量、施工变形监测和施工监管等。

#### 条文说明

根据现行《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610—2019）、《公路桥涵施

工技术规范》(JTG/T 3650-2020)、《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660-2020)等要求,传统测绘工作主要包含以上内容,可采用 BDS、LiDAR 等数字测绘技术进行。

6.2.2 施工前应由勘测设计单位对控制性桩点进行现场交桩后,施工单位在复测原控制网的基础上,根据施工需要适当加密、优化,建立施工测量控制网,并与相邻工程结合处进行控制联测。

6.2.3 平面控制测量宜采用 BDS 测量方法,高程控制测量宜根据需要采用水准测量、BDS 高程测量方法,并应符合本指引第 5.2.2 条的有关规定。

6.2.4 施工放样中桩测量宜采用 BDS RTK 测量。RTK 测量可采用单基站 RTK 或网络 RTK 测量,并应符合本指引第 5.2.17 条的有关规定。

6.2.5 施工路基横断面测量宜根据需要采用 LiDAR、BDS RTK 测量,并应分别符合本指引第 5.2.18、5.2.17 条的有关规定。

6.2.6 由设计变更引起的地形图补测宜采用无人机航拍制图,路线变更补充测量宜采用 LiDAR 测量,其精度要求与公路工程设计阶段一致。

6.2.7 施工期间应对重要的构造物进行变形监测,宜包括特大桥梁、高边坡、隧道洞口、隧道浅埋段等。

6.2.8 施工变形监测可采用 BDS、地面 LiDAR、GB-SAR、全站仪自动跟踪测量等方法进行,也可采用多种方法联合监测,并应符合相关国家标准和行业标准的规定。

6.2.9 宜采用具备数据自动采集功能的监测系统,特别是对监测人员人身安全存在高风险的区域应采用具备智能监控量测方法。监测平台宜具备数据自动采集、传输、处理、存储、预警及评估等功能。监测数据分析结论及报告成果宜以信息化方式及时进行反馈。

6.2.10 施工变形监测周期和频次应综合考虑结构物或地质灾害变形特征、变形速率和工程地质条件等因素,并应符合下列规定:

- 1 当监测数据异常或变化速率较大、周围环境发生较大改变时,应提高监测频率。
- 2 当变形速率明显加快或监测对象本身出现异常时,应连续性实时监测。

3 当监测数据三年内变化不显著并预计若干年内周边环境无重大变化时，可根据监测需要适当延长监测周期或结束阶段性监测。

6.2.11 施工监管应符合下列规定：

1 宜采用无人机航拍技术进行施工进度监管，通过采集公路工程施工建设过程中的长时间序列遥感数据进行多期数据比对分析，评估公路施工进度。

2 宜采用无人机航拍技术、LiDAR 技术对土石方调配和建筑垃圾处理进行精准监管，实现公路建设成本的控制管理和生态环境的有效保护。

3 宜采用无人机遥感技术进行施工安全隐患排查，并提供多时期、多形式的施工现场监测数据进行分析。

4 在施工结束后，宜利用卫星遥感技术监测生态恢复、植被恢复、水土流失治理等情况。并宜通过对比分析施工前后的遥感图像数据，评估生态恢复的效果，为后续的生态保护和管理工作提供参考。

6.2.12 公路工程交工阶段可采用无人机倾斜摄影技术对公路现状进行实景三维建模，为后期运营阶段的道路资产管理、养护管理、应急指挥调度、路网服务等提供精准的数字底座。

### 6.3 数字地质勘察

6.3.1 工程施工数字地质勘察应针对公路各类构筑物施工方案、施工方法的特殊要求和施工中出现的工程地质问题开展工作，充分利用数字化手段替代传统作业方式，切实提高勘察质量和效率，并满足设计及施工方案调整的要求。

6.3.2 工程施工数字地质勘察应以传统勘察手段为基础，利用先进的数字技术和勘察设备进行工程地质数字调绘、数字钻探与取样、数字物探、数字原位测试、试验成果数字化、地质资料综合分析等工程勘察工作所获得的综合勘察成果，并以此进行数据分析处理、生成成果报告、建立地质信息模型和可视化展示等，为设计变更、施工提供地质资料。

6.3.3 工程施工数字地质勘察应根据工程地质问题的复杂程度、已有勘察成果可利用情况、场地条件等因素确定勘察手段和工作量。

6.3.4 工程施工软土地基勘察应符合下列规定：

1 对丘陵区、山区浅层软土，应利用挖探等手段查明软土空间分布。需查明软土强度时，宜采用多功能静力触探、十字板试验等手段进行测试。

2 对三角洲相、湖相、海相等深厚软土，应通过数字钻探、多功能静力触

探、十字板试验等手段加密勘探，以查明软土分布及强度。

3 对改扩建项目，需要查明既有公路下软土固结情况时，宜采用孔压静力触探。

4 当场地地层分布不稳定、交互层复杂、地基主要受力层内软土层和硬层面起伏大时，宜布置物探测线进行断面勘探或三维勘探。

6.3.5 工程施工岩溶勘察应符合下列规定：

1 对岩溶强发育~极强发育的路基段落，应选择地质雷达、高密度电法、微动等物探方法进行普查，测线密度应根据路基宽度和岩溶发育情况确定，必要时辅以数字钻探，避免基底存在大规模岩溶，影响路基安全稳定。

2 对岩溶发育的桥梁桩基，应对已有勘察成果进行复核，必要时采用数字物探与数字钻探相结合进行加密勘探。

3 对岩溶强发育~极强发育的桥梁桩基，应在逐桩钻探的基础上，采用钻孔内管波、钻孔地质雷达、跨孔 CT 测试技术进行探测。

4 宜开展桩底岩溶超前探测。

6.3.6 工程路堑边坡施工中，应对各级边坡开挖揭示的地层岩性、风化程度、地质构造、土石比例等进行现场判析和校核，对已有的勘察成果进行修正，为稳定性验算、动态设计与信息化施工提供依据。

6.3.7 工程隧道开挖施工中，宜在传统超前地质预报的基础上，对地质异常复杂或安全隐患大的位置，沿隧道轴线开展水平定向钻探和孔内远探测，形成钻探与物探相结合、孔内与孔外相结合的综合超前地质预报，对隧道地质情况进行综合分析，为动态设计与信息化施工提供依据。

6.3.8 工程施工勘察成果是对已有勘察成果的补充，应将其融入已有的勘察数据中，实现各阶段勘察数据的存储、管理及分析，实现数据的高效共享与协同工作。

6.3.9 工程施工勘察成果应纳入已有三维地质模型中，为三维正向设计、施工及运营养护服务，搭建公路全生命期数字化管理平台。

## 6.4 数字勘察后服务

6.4.1 在公路工程施工启动阶段，勘察设计单位应依照与业主签订的勘察设计合同，指派勘察专业施工服务人员，并完成相应的发函及报批程序。

6.4.2 工程施工阶段应主要针对软基处理、路堑边坡开挖支护、桩基终孔、隧道开挖支护等动态设计施工的内容进行，处理现场技术问题应迅速而及时，评判地质条件时应展现专业技术水平，对复杂的工程地质问题应及时与技术领导沟通汇报，审慎作出决策。

6.4.3 工程施工阶段宜构建集工作管理、流程控制、无纸化办公、分析决策于一体的勘察后服务数字化系统，实现公路施工勘察后服务工作更高效、更准确、更智能。

#### 条文说明

勘察后服务数字化系统，是通过将各分部分项工程勘察设计基础信息的导入，能智能编制标准化表单，做到在线处理、记录、拍照等，并能在编辑完成后发送审核、签发等，通过平台导出标准格式的成果图表、文档、汇总清单等，来替代传统的勘察设计代表手写记录。

6.4.4 工程施工阶段应充分利用现有的勘察数据、三维地质模型等数字勘察成果，确保勘察成果能够及时地应用于公路工程施工，为施工方案的编制和施工组织的优化提供有力支持。

6.4.5 应利用信息技术手段建立勘察后服务与施工管理活动的密切沟通渠道，实现勘察与施工之间的实时协作和信息共享，保障公路施工的顺利推进。

6.4.6 勘察成果宜实现数字化存储，并在 WEB 端与 APP 端实现协同可视化展示，涵盖文字评价、成果图件、土工试验成果报告、岩芯照片等，确保在施工过程中能够随时随地调用和查看。

#### 条文说明

将传统的纸质或电子格式的勘察成果报告转化为数字化的形式，通过一张图进行勘察成果可视化展示，包括在线图源、区域和水文地质图、总体平面设计图、勘探孔图层、调绘图层、地形图、物探图层等。通过总说明、路基、边坡、桥涵、隧道、互通立交等各类工点列表，能快速找到对应工点的勘察成果展示，包括文字说明、工点平面图、纵断面、横断面、地质柱状图、物探成果图等，地质纵断面图沿路线摆放，横断面放置在对应桩号处，由勘探孔图层能可视化展示地质柱状图、岩芯照片及对应试验成果等。

6.4.7 勘察数据处理应具备数字化和智能化的特点，宜实现平面图的智能绘制、纵断面的智能绘制以及横断面与纵断面的相互自动生成等功能，提升地质分析的便捷性、准确性和可靠性。

6.4.8 公路软基处理施工的勘察后服务，应包括下列内容：

1 宜采用面波、微动、高密度电法等物探方法推测软土的空间范围，并根据静力触探或开挖揭示的软土情况修正物探成果，给出软土赋存深度及分布范围的地质建议。

2 采用复合地基施工时，应对桩体施工时的锤击下沉值、压力值、油压表读数等进行复核确认，给出软基处理方案及处治深度的地质建议。

3 涵洞、支挡工程等浅基础，应对基底承载力值进行复核确认，给出基底换填深度或其他适宜的处治方法的建议。

6.4.9 公路路堑边坡开挖及支护施工的勘察后服务，应对各级边坡开挖揭示的地质情况等进行现场复核确认，给出动态设计及施工方案的地质建议。

6.4.10 公路桩基施工的勘察后服务，应对现场桩孔施工的渣样进行地质判析，结合已有的勘察资料给出适宜的终孔桩长的建议。

6.4.11 公路隧道开挖及防护施工的勘察后服务，应对掌子面揭露的地质情况、超前地质预报成果、监测结果等进行校核，给出动态设计及施工方案的地质建议。

6.4.12 工程施工阶段的勘察后服务，还应包含如下内容：

1 针对软基处理、路堑边坡开挖支护、桩基终孔、隧道开挖支护等施工过程中所揭露的地质条件及地质灾害情况，提供地质补勘及处治方案的建议。

2 协助建设单位，对第三方监控量测的路基、高边坡、隧道监测成果进行复核，并提出地质建议。

3 定期参加建设单位组织召开的工地例会、设计变更会等。

## 7 工程运营养护阶段

### 7.1 一般规定

7.1.1 应利用设计和施工期间的各类勘测数据与模型，结合道路资产管理系统及现有的养护系统，采用先进的数字测绘技术和快速建模技术，构建公路养护管理的数字底座。

7.1.2 宜积极采用路基、路面、桥梁、隧道等智能化检测监测新技术、新设备，加强设备集成与协同，实现设备之间的协同作业和数据共享，提高养护作业的效率 and 准确性。

7.1.3 公路路基、路面、桥涵、隧道等工点因地质原因引发病害时，应开展病害勘察工作，为病害治理方案的设计提供地质依据。

#### 条文说明

因地质原因引发病害较多，如填平区积水、边坡严重渗水、边坡管涌或流土、边坡防护排水构件损坏、坡面冲刷严重、边坡排水不畅、边坡滑塌、路面纵横向开裂、隧道衬砌侵蚀、衬砌裂损、洞门变形开裂等。

### 7.2 数字测绘

7.2.1 工程运营养护阶段应对公路重点路基、路面、桥梁、隧道等路段进行状态检测监测，并对其运行状态进行分析与调查验证，对道路交通工程及沿线设施进行巡查。

7.2.2 工程运营养护阶段宜采用 InSAR 技术对大范围路基和边坡变形进行 mm 级变形检测监测，并对路基变形阶段和边坡变形风险进行分析，应为下阶段边坡监测提供重点监测对象及监测点位信息。

7.2.3 工程运营养护阶段宜采用无人机、车载 LiDAR 等数字化测绘技术，定期进行公路路基路面、沿线设施巡查，便于设施日常维护和道路资产管理。

7.2.4 对于一旦损坏将造成生命财产重大损失或产生重大社会影响、对变形及差异沉降有严格限制，以及存在高度安全风险的特殊基础设施，应进行结构监测，为结构损伤识别、技术状态评估及养护对策制定等提供技术支持。

7.2.5 宜根据需要采用 BDS、GB-SAR、地面 LiDAR 等数字测绘技术对桥梁、隧道、重点高边坡或存在安全风险的公路边坡等进行监测，并应符合相关国家标准和行业标准的有关规定。

7.2.6 结构监测应根据行业现行有关设计标准和监测对象控制要求等设定预警值，结合现场及周边环境条件制定监测方案，明确监测目的、监测内容、测点和设备布置、数据采集、数据管理和预警方案等。

7.2.7 结构监测内容应根据结构监测目的、监测对象工程特征和技术状况、环境条件及相关影响因素等经分析确定。监测参数的选择应满足对结构技术状态监控、预警及评估的要求。

7.2.8 结构监测宜采用具备数据自动采集功能的监测系统，并应具备完整的传感、调理、采集、传输、存储、数据处理及控制、预警及评估等功能。

7.2.9 公路边坡、桥梁、隧道监测周期和频次应综合考虑结构物与地质灾害变形特征、变形速率和工程地质条件等因素，并应符合下列规定：

- 1 当监测数据异常或变化速率较大、周围环境发生较大改变时，应提高监测频率。

- 2 当变形速率明显加快或监测对象本身出现异常时，应连续性实时监测。

- 3 当监测数据三年内变化不显著并预计若干年内周边环境无重大变化时，可根据监测需要适当降低监测频率或结束阶段性监测。

### 7.3 数字地质勘察

7.3.1 工程运营养护阶段因地质病害需要处治设计、设计回溯、排查风险工点等需要，应在前期各阶段勘察成果的基础上，开展数字地质勘察，满足病害处治设计、设计回溯、排查的要求。

7.3.2 工程运营养护阶段数字勘察成果应与前阶段已有地质数据进行合并，融入已有的数字化存储及三维地质模型中，并应符合本指引第 5.3 节、第 6.3 节的有关规定。

7.3.3 工程运营养护阶段应定期采用高分辨率卫星遥感、BDS、LiDAR、无人机遥感、航空物探等技术进行公路地质灾害巡查，对滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等地质灾害进行早期识别、分析和评估，加强基于人工智能、大数据技术的公路地质灾害预警、决策算法模型研究应用。

7.3.4 宜采用无人机提供多时期、多形式的病害点现场航拍数据，生成工程平面影像图、实景三维模型、全景影像视频等，通过多期数据比对，分析与评估病害发展变化情况及对公路工程的危害程度。

7.3.5 工程运营养护阶段数字调绘应符合下列规定：

1 应加强工程地质调绘，路堤宜调查到坡脚位置，路堑边坡宜调查到第一分水岭，填平区调绘应包含填平区及其影响范围，有滑坡、崩塌等不良地质和软土等特殊土时，应适当扩大调绘范围。

2 宜在传统徒步调绘的基础上，采用无人机航拍构建三维倾斜摄影和正射投影模型，加强地表异常识别圈示与地质病害特征分析。

3 对路堑边坡，尚应对既有各级边坡坡面进行挖探、挖槽验证，精细化查明其岩性、风化程度和地质构造等。

7.3.6 工程运营养护阶段数字钻探应符合下列规定：

1 对滑坡崩塌堆积、残坡积、软弱夹层或其它风化强烈较破碎的岩石且不易取芯时，应采用数字钻机及保真取芯工艺，以提高采取率、更精准的分析 and 识别地层以及岩芯物理力学特性。

2 对高陡路堤、深挖路堑等病害点，宜在钻孔内同步实施孔内变形监测、地下水位监测等。

3 对重要性工点，可生成岩芯实景三维模型。

#### 条文说明

高路堤指的是路堤填土边坡高度大于 20m 的路堤。陡坡路堤指的是基底平均坡度陡于 1:2.5 的路堤。深挖路堑指的是高度大于 20m 的土质或类土质路堑、高度大于 30m 的岩质路堑。

7.3.7 工程运营养护阶段数字化取样及试验应符合下列规定：

1 对路堤土、地基土、填平区土均要测试其天然状态、饱和状态下的抗剪强度指标。

2 设置填平区的路堤、半填半挖路堤、陡坡路堤的填料应进行颗粒分析，评估发生管涌、流土等渗透变形破坏的可能性。

3 全风化花岗岩及残积土作为填料时，宜先进行颗粒分析试验，初判为非砂土后，则加做室内基本物理力学性质试验等。

4 对路堑边坡工点，属高液限土的，应加做膨胀指标试验。

5 软土应选取部分土样加做高压固结试验，提供  $e \sim p$  曲线，确定先期固结压力、次固结系数、不排水抗剪强度、三轴剪切试验、有机质含量测试。

7.3.8 对地下溶洞、空洞等既有路面地质病害勘察，宜采用微动、高密度电法、地质雷达法、孔内管波以及孔间 CT 测试等物探技术进行勘探，以确保公路工程安全并降低地质灾害风险。

7.3.9 对高陡路堤、深挖路堑等病害点，宜采用 BDS、InSAR、地面 LiDAR 等多源数字勘测技术开展智能监测，实现对位移、变形、应力等参数的全面、实时监测、智能预警等。

7.3.10 水文地质条件特别复杂的位于沟谷中上游的高路堤、陡坡路堤、深路堑和填平区或路基设计需要的工点，应开展针对性的水文地质勘察，其范围宜涵盖对工程有影响的含水层补给区、径流区及排泄区。

## 7.4 数字运养服务

7.4.1 宜采用高分辨率卫星遥感、BDS、InSAR、无人机以及 LiDAR 等先进技术，构建涵盖天-空-地-深的公路网地质灾害综合监测体系，实现对大范围公路地质灾害早期发现与监测。

7.4.2 宜采用无人机航拍、高清摄像机、雷达等技术，实时跟踪车辆的行驶轨迹，监测车流密度、交通事故、道路拥堵等信息。

7.4.3 宜采用三维地质雷达探测路基脱空类隐伏病害。

7.4.4 宜采用无损检测技术探测桥梁既有基桩完整性和缺陷状态。

7.4.5 宜采用多光谱、高光谱遥感实现大范围沥青路面老化状况评估、路域气象环境、生态环境监测感知。

7.4.6 公路地质灾害发生后，宜根据灾害类型、影响区域、严重程度等因素，尽快启动公路地质灾情应急监测工作，为灾害应急调查、应急监测、应急评估、道路应急抢通及灾后恢复重建提供数据支撑与决策建议。

## 8 成果管理和交付

### 8.1 一般规定

8.1.1 公路工程数字勘测宜采用数字化技术对公路工程全生命期各种勘测数据进行数字化处理，建立三维地形模型、三维地质模型等信息模型，分阶段、分类别进行数据存储与管理。

8.1.2 公路工程数字勘测应运用数据传输、数据管理、数据安全等技术，实现公路工程勘测数据在公路工程可行性研究、设计、施工和运营养护等全生命期的流通和共享。

8.1.3 公路工程数字勘测应对数据源的真实性、可靠性进行验证，并确保采集数据的完整性、准确性和可追溯性。

8.1.4 公路工程数字勘测应根据数据特点进行数据分类、安全分级，对数据的采集、存储、使用和传输采取安全管控措施。

8.1.5 公路工程数字勘测宜建立数据标准体系，并符合下列规定：

- 1 宜涵盖公路工程数字勘测的数据采集、存储、分析、应用、归档、服务、治理等全过程。
- 2 宜明确各类数据的开放属性为公开、限制公开或不公开。
- 3 宜统一数据开放、分类目录、交换接口、访问接口、数据质量等关键共性标准。

### 8.2 成果内容与形式

8.2.1 公路工程数字勘测成果宜采用文件与数据库相结合的方式组织管理。

8.2.2 公路工程数字勘测成果宜根据公路工程数字勘测项目的工作内容和要求提交相应的勘测报告、勘测数据和专题图件等，必要时还宜提交勘测数据信息模型。

8.2.3 勘测报告宜包括技术指导文件、技术设计书和技术报告等，成果报告的格式、内容、提交方式等应符合相关国家标准和行业标准的规定，并满足项目的需要。

8.2.4 勘测数据宜包括公路工程全生命期数字测绘、数字地质勘察的原始采集数据、处理数据、成果数据及其他相关数据。

8.2.5 勘测数据的文件类型宜为栅格图像、点云、矢量、表格、图件、信息模型或文本等类型。

8.2.6 专题图件宜包括数字线划地形图、数字正射影像图、地质构造图、区域地质图、区域水文地质图等。

8.2.7 勘测数据信息模型宜包括三维地形模型、三维地质模型以及地形与地质综合模型等。

### 8.3 勘测报告管理

8.3.1 公路工程数字勘测应建立技术文件档案，对各环节搜集、形成和积累的各种技术文件，均应搜集齐全、整理立卷后归档。

8.3.2 公路工程数字勘测归档文件内容应完整、真实、准确。

8.3.3 勘测报告应签署完备并加盖勘测项目承担单位出版图章，经评审通过后提交相关方使用并归档。

8.3.4 应对公路工程数字勘测归档文件进行数字化管理，包含文件编制、案卷整理、归档整理等建设内容。

8.3.5 应对公路工程数字勘测归档文件进行分类、索引和目录管理，并设置不同的访问权限，确保只有授权人员能够访问和操作相应文件。

8.3.6 多次修改的技术设计书、技术报告等文件应记录每次修改时间、修改人、修改内容等信息，确保不同阶段文件的准确性和可追溯性。

### 8.4 勘测数据管理

8.4.1 公路工程数字勘测宜建立数据库，对各环节搜集、形成的原始数据、过程数据及成果数据，均应存储管理。

8.4.2 公路工程数字勘测数据管理宜包括数据编码、数据存储、数据交互与共享和数据安全。

8.4.3 数据管理应具备存储展示、检索查询、图表生成等功能。在时空基准统一的条件下，应支持跨项目的数据检索分析。

8.4.4 数据存储应采用本地服务器和云端存储相结合的方式，满足数据访问速度和长期保存的需求，并采用多重数据安全防护技术，防止外部非法访问和内部数据泄露。

8.4.5 数据传输应采用加密技术，保障数据在传输过程中的安全性，防止数据被窃取或篡改，保障数据的安全性和隐私。

8.4.6 宜构建数据共享交换资源目录，并通过资源目录形式提供数据共享交换服务，并应包括数据名称、内容、格式、数据源、访问接口等内容。

8.4.7 宜基于统一的数据标准开展数据治理，为构建形成广东省公路工程的专题数据库、基础数据库和业务数据库等提供数据支撑，并为相关业务提供大数据应用服务。

8.4.8 宜结合广东省交通运输厅八大业务协同平台，整合各类勘测数据、施工监测数据、养护管理数据等，完善重点要素地理信息、服务状态等信息，实现公路建设、养护管理数据实时上线上云，推进数据共享和协同工作。

8.4.9 公路工程数字勘测数据宜根据公路全生命期各个阶段的变化情况及时进行勘测成果的数据更新。

## 8.5 数字化交付

8.5.1 公路工程数字勘测过程各阶段、各专业领域以及各种技术手段的勘测成果均宜采用数字化交付方式，确保不同环节间的数字化流转。

8.5.2 勘测成果交付前，交付方应结合项目需求制定交付方案，在获得接收方批准后方可实施，交付方案宜包括以下内容：

- 1 数字化交付方的组织机构、工作范围、责任和义务。
- 2 数字勘测成果的组织方式、存储方式和交付形式。
- 3 成果交付的进度计划。
- 4 成果交付的工作流程。

8.5.3 勘测成果数字化交付的主要内容应根据公路全生命期各阶段的需求进行

确定，宜包括勘测报告、勘测数据、成果图件和信息模型等成果数据。

8.5.4 勘测成果数字化交付应以勘测报告、数据文件、专题图件或模型文件等形式，结合工程进度计划进行移交，并应符合下列规定：

- 1 勘测成果应受知识产权保护。
- 2 数据格式应遵循统一的标准，按照约定的格式和方式进行数据交付。
- 3 应按照信息交付方案的要求进行相关数据、文档等信息的搜集、整理、转换并建立关联关系，并提供相应的说明文档和操作指南。
- 4 应提供交付信息的电子文件移交清单，移交清单应包含文件名称、格式、描述、修改日期、版本等。

8.5.5 成果接收方应提供数字化交付具体内容和形式的要求，协调和管理公路工程数字勘察成果的交付工作。

8.5.6 成果接收方应自行或委托第三方从完整性、准确性和一致性等方面对勘测成果质量进行审核和校验，并按照交付方案及时组织验收。

8.5.7 通过验收的数字勘测成果宜接入广东省交通运输厅建设管养平台。