ICS 07.060
P55/59

团　　体　　标　　准

T/GSC 007—2024

长大深埋铁路隧道
智能化地质编录技术规程

Technical specification for intelligent geological recording of long and deep railway tunnels

2024-01-02 发布　　2024-01-02 实施

中国地质学会　　发 布

中国地质学会（GSC）是组织开展国内、国际标准化活动的全国性社会团体。制定中国地质学会团体标准，满足市场需要，增加标准的有效供给，促进科技创新，是中国地质学会的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国地质学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国地质学会团体标准按《中国地质学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国地质学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国地质学会团体标准予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国地质学会团体标准秘书处，以便修订时参考。

本文件版权为中国地质学会所有，除了用于国家法律或事先得到中国地质学会的许可外，不得以任何形式或任何手段复制、再版或使用本文件及其章节，包括电子版、影印件，或发布在互联网及内部网络等。

中国地质学会地址：北京市西城区百万庄大街 26 号

邮政编码：100037　电话：010-68999018　　传真：010-68995305

网址：www.geosociety.org.cn　电子信箱：zgdzxh@geosociety.org.cn

目　　次

目　　次 II
前　　言 V
引　　言 VI
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语与定义 1
4 总则 3
4.1 目的意义 3
4.2 基础资料 3
4.3 质量保证 3
4.4 编录要求 3
4.5 校核要求 3
4.6 工作开展要求 3
4.7 总结与创新 3
4.8 其他要求 4
5 智能化地质编录技术要求 4
5.1 基本要求 4
5.2 编录内容 4
5.3 编录流程 4
6 工程岩体完整性智能化识别 5
6.1 掌子面三维激光图像扫描 5
6.2 洞壁三维激光扫描 6
7 工程岩体岩性智能化识别 7
7.1 便携式高光谱仪 7
7.2 便携式 X 射线荧光分析仪 9
8 岩石强度智能化识别 10
8.1 回弹仪 10
8.2 里氏硬度计 11

9 智能化数据处理及图件编制 12
9.1 数据库 12
9.2 智能化数据处理 12
9.3 智能化围岩分级 14
9.4 图件编制 15
10 人工地质编录校核 15
10.1 人工地质编录层段选择原则 15
10.2 编录要求 15
10.3 编录流程 17
10.4 成果类型及要求 17
11 采样及试验 18
11.1 光谱分析及采样试验 18
11.2 岩矿取样及试验 18
11.3 地球化学分析样取样及试验 18
11.4 便携式强度测试样取样 18
12 成果资料编制与提交 19
12.1 报告编制 19
12.2 成果验收与提交 19
13 成果三维可视化 20
13.1 平台建设 20
13.2 可视化处理 21
13.3 可视化展示 22
附 录 A （资料性附录） 隧道工程基点基线记录表 23
A.1 隧道编录段编号 23
A.2 基点编号 23
A.3 样品代号 24
A.4 摄像和照相编号 24
附 录 B （资料性附录）长大深埋铁路隧道智能化综合地质编录记录表 25

图 1 长大深埋铁路隧道断面智能化地质编录流程图 5
图 2 扫描仪架设布置示意 7
图 3 地质要素素描投影示意图 17
图 A.1 隧道编录基点，基线设置示意图 23

表 1　掌子面三维激光扫描设备参数值 5
表 2　洞壁三维激光扫描仪参数值 6
表 3　便携式高光谱仪设备参数值 8
表 4　便携式 X 射线荧光分析仪（PXRF）设备参数值 9
表 5　回弹仪设备参数值 10
表 6　里氏硬度计参数值 11
表 7　智能化综合地质编录主要成果类型及要求 20
表 B.1 隧道工程基点基线记录表 26
表 B.2 掌子面及洞壁扫描影像记录表 27
表 B.3 点云模型数据记录表 28
表 B.4 便携式岩矿高光谱仪测试记录表 29
表 B.5 便携式 X 射线荧光分析现场分析记录表 30
表 B.6 里氏硬度计现场测试记录表 31
表 B.7 采样单 32
表 B.8 人工地质编录原始记录表 33
表 B.9 隧道掌子面地质素描记录表 34

前　言

本文件依据T/CAS 1.1-2017 《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本文件起草单位：中铁二院工程集团有限责任公司、中国地质调查局成都地质调查中心、中国地质科学院地质力学研究所、中国国家铁路集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、西南交通大学。

本文件起草人：冯涛、任光明、张永双、崔颖辉、宁括步、王栋、杨科、陈龙耀、张广泽、刘俊飞、徐正宣、李俊、王世明、赵志明、王超、李雪、于振江、庞维华、袁东、张栓宏、王杜江、宋章、任飞、朱泳标、高永娟、岳志勤、王哲威、林之恒、伊小娟、张营旭、殷家禾、方振华、邹杨、蔡家鹏、孟少伟、袁东、贺建军、周学军、欧阳吉、贾杰、舒杨、彭文、赵景锋、尹小康、赵思为、刘康、谢荣强、刘强、郑长东、陈宇。

本文件附录 A-B 均为资料性附录。

本文件由中国地质学会提出并归口。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国地质学会不负责对任何该类专利的鉴别。

本文件为首次制定。

引　言

铁路隧道尤其是长大深埋隧道的施工地质编录是施工地质的重要内容，也是超前地质预报工作的重要基础，更是安全施工的第一手实时基础资料。在复杂艰险山区长大深埋隧道施工过程中，适时开展地质编录，既能及时记录施工揭示的典型地质现象，又能为前方工程地质条件预报提供重要的地质信息，因此，探索快捷实用的智能化地质编录技术并应用于复杂艰险山区长大深埋铁路隧道施工过程，是当前施工地质重要工作之一。

铁路隧道施工过程中会揭露一系列在地表难以出露的地质现象，如地质构造、地层岩性、岩体结构、特殊岩土体、不良地质等，如何快速准确地编录这些有价值的地质现象，又能与长大深埋隧道建设工序有机衔接，迫切需要编制相关的技术标准指导智能化地质编录工作。

为规范和指导复杂艰险山区快速准确获取长大深埋铁路隧道施工地质信息，实现智能化地质编录，为铁路隧道工程安全施工和深化认识工程区域基础地质信息编制本文件。

本文件可为长大深埋铁路隧道智能化地质编录工作实施、质量管理和成果验收提供依据。

本文件规定的智能化地质编录技术不替代工程建设各阶段的施工地质编录技术。

长大深埋铁路隧道智能化地质编录技术规程

1 范围

本文件规定了长大深埋铁路隧道智能化地质编录基本要求，工程岩体岩性、强度、岩体结构及岩体完整程度等地质信息的仪器快速识别与智能分析处理，以及典型区段人工地质编录校核、成果三维展示、成果编制与提交等方面的技术要求。

本文件适用于钻爆法施工的铁路长大深埋隧道开挖工作面的智能化编录工作，其他隧道、平硐、竖井、探井地质编录或掌子面素描等可参照使用。

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，文件版本为现行最新版本。

[1] GB/T50218 工程岩体分级标准
[2] GB50026 工程测量标准
[3] GB50021 岩土工程勘察规范
[4] GB/T 17412 岩石分类和命名方案
[5] GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范
[6] GB/T 50123 土工试验方法标准
[7] TB 10012 铁路工程地质勘察规范
[8] TB 10077 铁路工程岩土分类标准
[9] TB 10003 铁路隧道设计规范
[10] TB 10049 铁路工程水文地质勘察规范
[11] DZ/T 0286 地质灾害危险性评估规范
[12] DZ/T 0097 工程地质调查规范（1:50000）
[13] DZ/T 0078 固体矿产勘查原始地质编录规程
[14] DZ/T 0370 便携式 X 射线荧光现场分析技术规程
[15] DD2014-13 岩矿波谱测试技术规程
[16] Q/CR 9217 铁路隧道超前地质预报技术规程

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

不良地质作用 Aadverse geological process

由地球内力或外力产生的，对人类生命、财产、工程活动及生态地质环境有不利影响的自然地

质过程。

3.2

工程地质条件 Engineering geological conditions

与人类工程活动有关的地质要素的综合。

3.3

工程岩体 Engineering rock mass

工程影响范围内的岩体。

3.4

地质安全评价 Geosafety assessment

对工程规划建设中可能遇到的地质风险进行识别与评价，并结合防治难易度给出安全性结果和风险防控建议的过程。

3.5

长大深埋铁路隧道 Long and deep tunnel

单体长度不小于 3 千米、埋深不小于 300 米的隧道。

3.6

智能化地质编录 Intelligent geological logging

长大深埋铁路隧道工程岩体岩性、强度、结构面特征、岩体结构与岩体完整程度等信息的仪器快速识别，隧道围岩不同地质体发育特征和延伸变化规律信息智能化分析处理的综合过程。

3.7

人工地质编录 Artificial geological logging

通过人工手段对隧道开挖工作面所揭露的各种地质信息，进行观察、描述、量测、记录、分析及制图的过程。

3.8

三维激光扫描 3D laser scanner

采用激光扫描仪，获取被测对象表面高分辨率三维坐标点云数据，建立被测物体三维影像模型的技术手段。

3.9

便携式 X 射线荧光分析技术 Portable X-ray fluorescence analytic technology

基于能量色散 X 射线荧光分析原理，使用便携式 X 射线荧光分析仪器，测定工程岩体岩矿成份元素的定性定量分析技术。

3.10

波谱反射率 Spectral reflectivity

被测物体在某波段的反射通量与该波段的入射通量之比。

3.11

岩石反射波谱 Reflectance spectrum of rock

岩石的反射率随入射波长而变化的波谱特征。

4 总则

4.1 目的意义

遵循真实性、准确性、及时性及连续性等原则，采用三维激光扫描、高光谱 X 射线、回弹仪、里氏硬度计等技术手段，快速识别与分析复杂地质背景下长大深埋铁路隧道断面工程岩体岩性、强度、结构面特征、岩体结构、岩体完整程度、地下水等地质信息，预测隧道围岩不同地质体发育特征和延伸变化规律，完成隧道围岩的远程智能化分级，实现隧道施工地质调查和编录工作的智能化，为隧道工程安全施工及后期运营与维护提供地质资料支撑。

4.2 基础资料

智能化地质编录前应取得下列基础资料：

（1）长大深埋隧道施工图设计文件资料；

（2）隧道工程勘察成果文件资料、设计图、现场施工组织及监测资料；

（3）不同阶段编制的各种精度的隧道区域地质、地球物理、遥感解译和水工环基础地质资料；

（4）智能化地质编录仪器设备架构及信息化平台技术保障。

4.3 质量保证

智能化地质编录应建立完善的质量保障体系，制定切实可行的质量管理制度和措施，保证智能化编录和展示平台的工作质量。

4.4 编录要求

智能化地质编录应在铁路隧道开挖后喷混支护前及时进行。地质编录应在同一洞壁上连续进行，遇到不能连续编录情况（如围岩垮塌、凹陷、溶洞、突水等），应沿地层走向对另一洞壁的对应位置进行扫描编录，或沿岩层倾向对同一洞壁的不同深度掘进形成的台阶进行。

4.5 校核要求

智能化地质编录实施过程中应辅以人工地质编录进行校核，以保证智能化地质编录成果的准确性。

4.6 工作开展要求

智能化地质编录应与工程施工同时进行，并遵循动态调整及信息反馈原则。

4.7 总结与创新

智能化地质编录在具体实施过程中应注重应用经验积累和技术方法创新，并不断补充完善。

4.8 其他要求

智能化地质编录除应符合本文件规定外，尚应符合国家和行业有关规范和标准的规定。

5 智能化地质编录技术要求

5.1 基本要求

智能化地质编录应遵循以下要求：

（1）数字化程度及扩展性

编录所用设备应具全数字性，易于处理、分析、输入出、显示，且后处理软件用户界面友好，能够与其它常用软件进行数据交换及共享；可外接数码设备，可与 GPS 、北斗等 GNSS 配合使用；具有较好的扩展性。

（2）分辨率

可进行快捷、高质量、高密度的数据采集，能够获取高密度点云及单点的高精准度数据，实现高分辨率的目的。

（3）应用广泛性、适应性

应选择使用条件简易，外业环境适应性强，适合野外测量，各工程建设领域广泛应用的仪器作为编录数据采集设备。

5.2 编录内容

编录内容及对应的技术方法如下：

（1）工程岩体结构及岩体完整性

采用掌子面三维激光扫描、洞壁三维激光扫描，快速准确地获取隧道内岩体结构面和其他地质体的矢量化点云数据，获取工程岩体的结构面几何参数、划分岩体结构类型，评判岩体完整性。

（2）工程岩体岩性

利用便携式高光谱仪、X 射线荧光分析仪，借助岩石介质波谱特征、荧光强度特征测试数据图谱智能分析手段，获取工程岩体的矿物成份信息，实现长大深埋隧道工程岩体岩性智能化识别。

（3）岩石强度

利用回弹仪、里氏硬度计测取岩石的回弹值和里氏硬度值，借助回弹值、里氏硬度值与岩石单轴抗压强度之间的关联关系，智能分析现场岩石强度特征，实现隧道围岩岩石强度现场快速简易测取，为隧道围岩分级提供实时岩石强度指标值。

（4）人工校核

智能化地质编录技术尚属起步阶段，应选择地质复杂区段和代表性工程区段，实施人工综合地质编录校核，完善智能化地质编录结果的可靠性。

5.3 编录流程

收集研究长大深埋铁路隧道工程区域基础地质、地球物理勘察、遥感解译、工程勘察及科研资料的基础上，采用现代信息采集技术，测取工程岩体结构、岩石强度、岩性等信息参数，智能化识别岩性、计算岩石强度、划分岩体结构、评判岩体完整性，选择性进行人工综合地质编录校核。智能化编录流程分为以下几个阶段（图 1）：

（1）系统收集整理分析隧道工程穿越区段的区域基础地质文件资料；

（2）搭建各信息采集技术平台；
（3）开展现场数据采集；
（4）智能化数据图件处理分析，形成成果资料；
（5）比较分析智能化综合地质编录与人工地质编录的异常结果；
（6）分析智能化编录资料误差原因，修正误差数据资料。

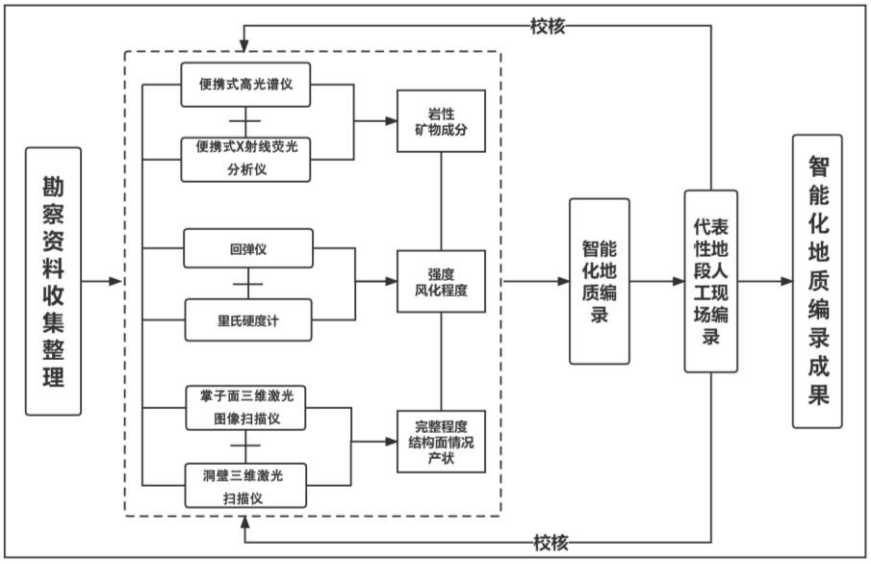


图1 长大深埋铁路隧道断面智能化地质编录流程图

6 工程岩体完整性智能化识别

6.1 掌子面三维激光图像扫描

6.1.1 基本要求

（1）工作环境条件：洞内空气质量良好（粉尘浓度低于 2mg/m^3；一氧化碳容许浓度低于 30mg/m^3，氮氧化物浓度低于 5mg/m^3），且扫描仪镜面无水雾
（2）全站仪精度：测距精度≤1mm，测角精度≤2″；
（3）设备工作参数如表 1：

表 1 掌子面三维激光扫描设备参数值

激光参数	测距误差	1σ(@20m)≤2cm
	扫描速度	≥8 万点/秒
	测量视场角	≥50°
图像参数	像素	≥1 亿
	CMOS（图像传感器）尺寸	≥1 英寸
稳定器参数	各轴绝对角精度	≤0.05±0.02°
一般参数	工作温度	0℃~40℃
	防尘/防水等级	≥IP65
标定	采集设备标定	特征点提取变换矩阵求解
	云台标定	俯仰轴 1.15；横滚轴 2.65；航向轴 2.7

6.1.2 操作流程

(1) 前期准备

a)人员：1~2 人；

b)设备：三维激光扫描主机、全站仪、采集控制端各 1 台，补光灯 2 个；

c)基础资料：扫描隧道曲线要素表、平面图、纵横断面图。

(2) 外业数据采集

a)设备摆至掌子面扫描区域内，正对掌子面法向方向，调平标定，数据采集过程中避免遮挡干扰；

b)调整两个补光灯照射角度至掌子面无阴影，亮度不小于 4100LM；

c)开启云台稳定器，待设备项目信息、掌子面信息等初始化完成后开始扫描。扫描时将数据远程同步至采集控制端。

(3) 内业数据处理

a)单站采集需 8 张以上照片，每张照片移动角度宜在 20~30°之间；

b)分析处理采集控制端接收的点云及图像数据，生成三维地质模型；

c)在 APP 分析界面上勾勒掌子面轮廓，识别结构面几何特征。

d)数据应上传至云平台。

(4) 成果类型及要求

a)成果类型：掌子面三维地质模型、掌子面正射投影图、开挖轮廓二维展开图；

b)质量要求：单站激光点云不少于 170 万点；图像分辨率 5mm。

6.2 洞壁三维激光扫描

6.2.1 基本要求

（1）工作环境条件：洞内空气质量良好（粉尘浓度低于 2mg/m^3；一氧化碳容许浓度低于 30mg/m^3，氮氧化物浓度低于 5mg/m^3），且扫描仪镜面无水雾。

（2）全站仪精度：测距精度≤1mm，测角精度≤2″；

（3）棱镜球常数：-34.4mm；

（4）原始点云数据应满足：①点云密度：10m 处≤6mm；②单站点数量不小于 3000 万点/站；

（5）选择三维激光扫描仪，具体参数应不低于表 2 所列技术指标：

表 2 洞壁三维激光扫描仪参数值

扫描范围	≥70m
测距误差	≤±1mm@25m
三维点位置精度	≤2mm（10m 处）≤3.5mm(25m 处)
角分辨率	优于 0.036°
扫描速度	≥90 万点/秒
视野范围(垂直/水平)	300°/360°
工作温度	-20℃~55℃
防尘/防水等级	≥IP54
标定	三维位置精度及测距噪音范围校验

6.2.2 操作流程

(1) 前期准备

a)人员：1~2 人；

b)设备：三维激光扫描主机、全站仪各 1 台，棱镜球 2 枚；

c)基础资料：扫描隧道曲线要素表、平面图、纵横断面图。

(2) 外业数据采集

a) 安置扫描仪于扫描区域中心，固定扫描仪至三脚架上，调平三脚架，锁定仪器；

b) 在扫描仪前方约 5 米处各放置一个棱镜球，两棱镜球之间的距离不应小于 5 米。棱镜球背面朝向扫描仪，棱镜正面朝向全站仪，操作全站仪记录两个棱镜的坐标，保持扫描仪、全站仪、棱镜球三者位置稳定；

c) 保证扫描区域内无异物遮挡后，开始扫描。完成扫描后将数据传入后处理软件。

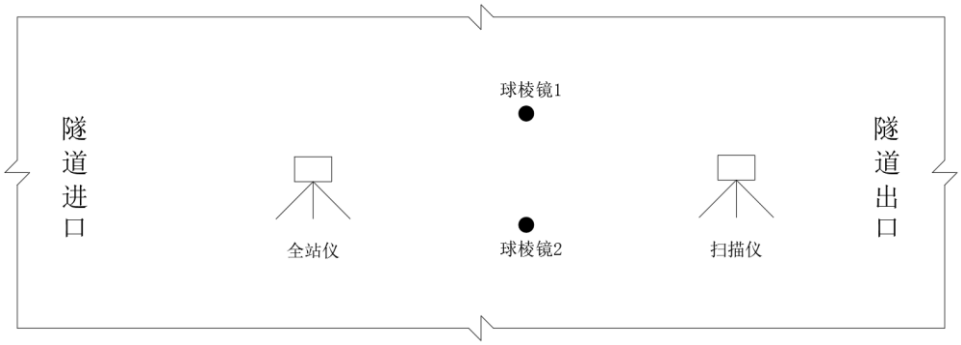


图2 扫描仪架设布置示意

(3) 内业点云处理

a)新建项目文件，将点云所属隧道曲线要素、设计断面录入软件；

b)选中点云数据，截取处理里程；

c)选定降噪模式，开始点云处理；

d)成果展示与操作。

(4) 成果类型及要求

a)成果类型：隧道开挖轮廓灰度及色谱图、三维点云模型；

b)质量标准：开挖轮廓灰度及色谱图分辨率不大于 1cm，三维点云模型分辨率不大于 2cm。

7 工程岩体岩性智能化识别

7.1 便携式高光谱仪

7.1.1 基本要求

（1）探头选择：测量所获的光谱曲线为岩石的综合光谱，探头视域范围内的矿物分布及组合要有足够的代表性。当目标地物的范围较大，观测距离较近时，应选取较大视场角的探头；

（2）测量要求：探头与被测物体水平面的法线夹角±10°之内；反射参考板校正时，探头视域应充满整个参考板，保持这一高度进行测量获取平均光谱。仪器无法进行原位测量的，可对采集的岩石样品进行测量，测量时应保持探头视域充满整个岩石样品；

（3）测量频度：每个测量点风化面、新鲜面应各重复测量3条数据，求取平均值，降低噪声和

随机性；

（4）设备参数如表 3：

表 3　便携式高光谱仪设备参数值

光谱仪参数	光谱范围	350-2500nm
	光谱通道数	2151 通道
	最大扫描速度	7.5-1000 毫秒
	波长重复性/准确度	0.1nm / 0.5nm
	测距范围及精度	0.3-3 米/0.1 米
光源系统参数	光源系统	宜采用功率大于 50W 的卤钨灯或白炽灯作为光源
反射板参数	反射板	反射参考板应朗伯特性好，性能稳定，光谱选择性小，各向同性，表面均匀、清洁

7.1.2　操作流程

(1) 前期准备

a)人员：1~2 人；

b)设备：便携式高光谱仪 1 台；光纤 1.5 米；反射板 1 片；

c)位置：掌子面测点布设不少于 3 个。

(2) 外业数据采集

a)仪器连接：使用手机或平板作为移动端，无线连接控制仪器；

b)仪器设置：在移动端界面进行软件设置，选择光学器件标定文件，设置测量平均次数，积分时间，参考板标定文件等；

c)数据采集与存储：测量时，应光线充足，岩石表面无凝结水或附着水影响。每种地物光谱测量前，均需进行参考板定标校准，得到接近 100%的基线后，方可进行目标地物测量，在移动端界面上，点击“Ref” 进行参考板校准，点击“Tgt”进行目标物测量。测量仪器探头应垂直于目标地物，围绕每个测点处应测试多条波谱，一般不少于 3 条。数据采集完成后，波谱数据以 ASCII 码文本文件形式存储。记录样品号、测试时间、波长、反射率等信息。

(3) 注意事项

a)测量人员应适时调整光源方向及站位，以避免自身阴影落在目标物上；

b)不得过度弯曲光纤，弯曲直径不得＜15cm；不得摔打、敲击、挤压光纤；

c)隧道内测试时应采用连续光谱人工光源，可选择功率大于 50W 的卤钨灯或白炽灯作为光源，后期光谱处理时应采用滤波等方式消除隧道内其它光源的影响。

(4) 内业数据处理

a)光谱采样间隔为 1nm，不同的高光谱仪测得的波谱数据应以 ASCII 码文本文件形式存储，记录样品号、测试时间、波长、反射率等信息；

b) 每个测点或样品测得的所有波谱数据应存放在以测点编号命名的目录下；

c)数据应上传至云平台。

(5) 成果类型及要求

a)成果类型：测点的典型地物光谱曲线，地物光谱曲线及时导入高光谱岩矿地物波谱库，实时显示岩矿类型及概率；

b)质量要求：每个测试工作日结束后，测试组成员对各自的工作进行 100%自检；工作阶段或批次测量结束后，互检不低于 40%，检查合格率应不低于 95%。

7.2 便携式 X 射线荧光分析仪

7.2.1 基本要求

（1）便携式X射线荧光分析仪工作时，应避免抓握探测窗和将探测窗对着自己或任何人，应避免肉眼观察X射线主光束路径。使用X射线发生器作为激发源的便携式X射线荧光分析仪时，应符合GBZ 115的规定，并按照仪器厂家的安全说明书进行操作。

（2）测试时间：为保证测量结果精度，单次测量时间选择应不低于90s。

（3）样品（岩石）要求：所选岩石表面应尽量平整，需完全覆盖测试窗口，以免射线外露伤人；针对土壤等碎屑样品，应采用松散粉末法制样，并将粉末样品置于试样盒中进行测试，用时配以 TF-240-255 型聚丙烯薄膜作为试样盒底膜。

（4）试样表面干湿度：外来水分的增加会导致元素测试值呈减小趋势，部分低于检出限，应选择干燥岩面和样品进行测量。

（5）试样均匀性：块状样品因不均匀性导致测试结果波动，测试过程中应尽量选择均匀点位测量，同时应采用多点测试取平均值的方式进行。

（6）设备参数如表 4：

表 4 便携式 X 射线荧光分析仪（PXRF）设备参数值

探测器有效面积	≥5mm^2
灵敏区厚度	≥300μm
连续工作时间	≥4h
可分析元素范围	镁（Z=12）-铀（Z=92）
工作温度范围	-10℃～50℃
数据传输	通用标准通信接口（如 USB、蓝牙、RS232 等）
数据存储能力	≥1GB

7.2.2 操作流程

(1) 前期准备

a) 人员：1 人；

b) 设备：便携式 X 射线荧光仪一台；

c) 位置：选取掌子面平整、干燥处，测点布设不少于 3 个。

(2) 外业数据采集

a)开机预热仪器，仪器使用模式可设置为岩石-土壤全能模式；各滤波器测试时间可标定为主滤波器不低于 30s、低滤波器不低于 20s、高滤波器不低于 20s、轻滤波器不低于 20s，单次测试时间不低于 90s；

b)在确定的测量模式下，测量空白样品 2～3 次，单次测量时间不低于 200s，仪器的元素报出率应为零；

c)在岩石-土壤全能模式下，使用 PXRF 分析仪对样品进行分析测试时，每次测量时间设定不低于 90s；分析测试时，待元素含量分析结果与光谱曲线基本稳定后方可停止测试。每个测点重复测量 2-3 次，以改善元素含量分析结果的稳定性和代表性。

(3) 内业数据处理

a) 及时整理现场纸质记录，存储记录应在一个工作日内导出；

b) 复核现场纸质记录和电子记录，复核人员与记录人员不应为同一人；

c) 数据应上传至云平台。

(4) 成果类型及要求

a) 成果类型：ASCII 码文本文件内容应包括使用仪器的类型、仪器编号、测量工区、测量点号、测量日期、测量模式等信息；

b) 成果质量标准：现场原位分析质量检查工作量应不少于总工作量的 3%，误差限内的样品合格率应达到 75%。

8 岩石强度智能化识别

8.1 回弹仪

8.1.1 基本要求

（1）检测前应保证每个掌子面的测区数不少于 5 个，相邻两测区的间距不应大于 2m，测区离样品边缘的距离不大于 0.5m，且不小于 0.2m，测区面积不宜大于 0.04m^2；

（2）测区应尽量选在处于水平方向样品的侧面。当不能满足这一要求时，可使回弹仪处于非水平方向的侧面、表面或底面，检测面应清洁、平整；

（3）检测时，回弹仪的轴线应始终垂直于待测面，缓慢施压，准确读数，快速复位。测点宜在测区内均匀分布，相邻两点的净距离不宜小于 2cm。同一点击弹一次，每一测区记录 16 个回弹值，每一测点的回弹值精确到个位数。

（4）设备参数如表 5：

表 5 回弹仪设备参数值

弹击锤脱钩示值误差	±0.4mm
工作温度	-10℃～50℃
储存温度	-10℃～40℃
无故障弹击次数	≥6000 次
测量误差	≤5%

8.1.2 操作流程

(1) 前期准备

a) 人员：1~2 人；

b) 设备：回弹仪主机 1 台；

c) 位置：掌子面测区布设宜不少于 3 个。

(2) 外业数据采集

a) 检查弹击杆、弹击锤和指针块完好无损，刻度尺清晰；

b) 将弹击杆顶住岩体表面，轻压仪器，使按钮松开；

c) 放松压力，弹击杆伸出，挂钩挂上弹击锤；

d) 保持仪器轴线垂直于测试面，缓慢均匀施压；

e) 弹击锤脱钩冲击弹击杆，回弹带动指针向后移动至某一位置；

f) 读取并记录回弹值，如条件不利于读数，可按下按钮锁住机芯并在它处读数；

g) 缓慢均匀施压，使弹击杆自内而外伸出，待下一击弹使用。

(3) 注意事项

a) 双手持握回弹仪姿势操作，一手握中间部位，一手握压仪器尾部；

b) 操作要领：慢推进，快读数。

c) 测点宜在测区范围内均匀分布，相邻两测点的净距离不宜小于 2cm。

(4) 内业数据处理

a) 标注测区测点的位置和编号，记录每测点的回弹值；

b) 每一测区应读取 16 个回弹值，每一测点的回弹值读数应精确至 1(个位), 剔除 3 个最大值和 3 个最小值，取剩余 10 个测点回弹值的平均值为该测区回弹值；

c) 数据整理成表格，包括测试点编号、位置、回弹值等信息。

(5) 成果类型及要求

a) 成果类型：ASCII 码文本文件内容应包括使用仪器的类型、仪器编号、测量工区、测量点号、测量日期、测量模式等信息；

b) 质量标准：测区回弹值精确至小数点后 1 位。

8.2 里氏硬度计

8.2.1 基本要求

（1）每次测试前，需使用标准铸件对仪器进行校准；

（2）样品表面的粗糙度影响测试精度和冲击球头的使用寿命，应选择样品（岩石）表面平整部位进行测试。

（3）测试环境无振动、无强烈磁场，样品本身磁性也应小于 30 高斯；

（4）设备参数如表 6：

表 6 里氏硬度计参数值

冲头碳化钨球硬度	≥1500HV
示值相对误差	±0.8%
工作温度	-10℃～55℃
存储温度	－20℃～75℃
数据传输	通用标准通信接口（如 USB、蓝牙、RS232 等）
数据存储能力	≥1GB

8.2.2 操作流程

(1) 前期准备

a) 人员：1~2 人；

b) 设备：里氏硬度计主机 1 台，D 型冲击装置 1 只，洛氏硬度块 1 块；

c) 位置：掌子面测点布设宜不少于 3 个。

(2) 外业数据采集

a) 操作步骤：打开硬度计→物体的材料设置→硬度值设置→硬度测试方向设置→开始硬度测试；

b) 每个测试部位测点不少于 5 个，两测试点间距应≥3mm，测试完后，记录仪器自动读取的平均值做为该部位硬度值，然后进入下一个部位测试。

(3) 注意事项

a) 测试过程须保持设备平稳，不得晃动，被测试位置不应有悬空状态；

b) 操作冲击装置稳态压至被测工件表面，双手操作冲击过程，冲击方向应与测试面垂直。

(4) 内业数据处理

a) 每个测试部位的不少于 5 个测点，取有效测试值的平均值作为一个测试部位的硬度值；

b) 数据整理成表格，记录测试点编号、位置、回弹值等信息；

c) 统计分析岩石里氏硬度值、回弹值与岩石抗压强度值关联关系，智能获取岩石强度。

d) 数据应上传至云平台。

(5) 成果类型及要求

a) 成果类型：ASCII 码文本文件内容包括使用仪器的类型、仪器编号、测量工区、测量点号、测量日期、测量模式等信息；

b) 质量标准：标准试块校验测试值误差及重复性应不超过±12HLD，同一检验部位试验值分散性不超过±15HLD。

9 智能化数据处理及图件编制

9.1 数据库

（1）智能化编录数据宜采用空间数据库结合对象存储数据库的方式实现妥善存储；

（2）空间数据库以铁路规划建设区为空间范围，采用矢量和栅格数据存储方式；

（3）空间数据库坐标系统应使用 CGCS2000，不一致的坐标系统应进行投影变换；

（4）空间数据库宜包括但不限于地理、遥感、地质、地球物理等基础图层数据及元数据；

（5）应根据对象规模、类型及特征的差异，采用点、线、面表征，按照不同数据类别形成单要素图层，建立各要素属性表；

（6）对象存储数据库以存储大容量非结构化的数据为目标，采用分布式存储体系实现二维影像和三维模型的高可靠存储；

（7）以空间数据库存储二维影像和三维模型的描述数据、属性数据，按照里程信息唯一确定同一空间内的所有数据实例，实现空间与数据的关联性。

9.2 智能化数据处理

9.2.1 数据处理

（1）智能化数据处理面向多源异构数据，主要由工程岩体结构面、岩体完整性、岩性、岩石强度参数组成；

（2）数据输入应具有完整性、一致性的良好质量；无法避免错误数据或不完整数据时，应及时预处理数据，通过数据转换、补齐、增强、删除等方式提高数据质量，防止“垃圾数据进，垃圾数据出”现象；

（3）通过引入智能处理算法自动化处理编录数据，智能处理算法应遵循鲁棒性高，容错性强的设计目标，在数据输入出现不一致、缺项等问题时，算法仍能保持正常的运行状态和正确的输出结果，不得出现程序崩溃、重启等问题；应以日志等隐式提示方式记录跟踪问题，以提高算法健壮性；

（4）数据处理过程中，如有用户交互界面的，应保证界面易用性，功能不能过于隐藏，同一流程操作跳转不超过 3 次；

（5）数据输出应满足调用者的加载要求，具备与关系型数据库、对象存储型数据库等多种类型数据库交互的能力；数据输出过程中遇存储介质失败、停电等不可抗拒因素时，应具备缓存功能，并能在第二次处理时自动跳过或覆盖已输出部分，不得产生多份相同输出数据。

9.2.2 工程岩体结构识别的智能化数据处理

9.2.2.1 掌子面激光扫描数据处理流程

（1）掌子面图像质量判识。不同位置不同角度采集的掌子面图像，采用均值低通滤波器获取参考图；获取待评价图像和参考图像的差值图像，并取绝对值；进而计算出待评价图像在水平和垂直方向上的清晰度评价参数，剔除清晰度评价参数高于阈值的图像；选取待评价图像中最清晰的图像作为掌子面图像；

（2）掌子面图像三维重建。找出掌子面图像集合中各张照片的特征点进行图像匹配，利用射影定理计算得到相机位置等场景信息；将场景信息与原始照片结合在一起，得到照片中物体的三维点云；根据三维点云构建三维模型，在得到了物体表面的三维点云后，使用泊松表面重建算法将点连成面；

（3）掌子面和开挖轮廓区域分割。经过三维重建处理后得到的模型数据，分为初支、边墙和掌子面三部分组成。为了数据处理快捷方便，需要通过算法将这三部分单独分割出来；

（4）基于空间几何和基于机器学习的无监督聚类算法对结构面进行分割，在三维模型上识别结构面；

（5）将二维的结构面投射到二维掌子面图像，获取二维结构面图；

（6）利用神经网络模型提取图像上结构面特征；

（7）基于三维分析投影的结构面作为主要走向，按方向进行连接；剔除贴近的结构面，闭包判识；

（8）最终给出掌子面所有的结构面的组数、坐标点、法向量、点集数量等数据。

9.2.2.2 洞壁三维激光扫描数据处理流程

（1）基于空间几何原理，对洞壁三维点云模型的结构面进行识别；

（2）不同结构面的法向量朝向有较大差异，可采用基于聚类算法对结构面进行分割；

（3）基于三维分析投影的结构面作为主要走向，按方向进行连接；剔除贴近的结构面，闭包判识；

（4）最终给出洞壁所有识别出的结构面的组数、坐标点、法向量、点集数量等数据。

9.2.3 工程岩体岩性识别的智能化数据处理

9.2.3.1 便携式高光谱仪数据处理流程

（1）先期建立光谱库，并利用深度学习神经网络模型，建立各类岩性的高光谱识别模型；

（2）收集人工判识岩石高光谱既有数据，裁剪光谱的波段数据，适应深度学习模型的输入结构，建立光谱数据集 X 与对应岩性类别集 Y；

（3）处理光谱数据集 X 与对应岩性类别集 Y，按 7:3 的比例生成训练集和测试集；

（4）在训练集基础上，训练深度学习模型，在测试集上预测岩性类别集 Y’，对比测试集的 Y 与 Y’结果，评估模型质量；

（5）选取较好质量的深度学习模型，导入待预测的高光谱数据，由深度学习模型回归识别出该光谱数据对应的岩性。

9.2.3.2 便携式 X 射线荧光分析仪数据处理流程

（1）X 射线荧光分析仪测试数据包含着岩石的元素含量，先采用随机森林算法，建立岩性与元素含量的对应关系模型；

（2）收集人工判识后的岩石元素含量既有数据，进行数据转换和结构化，处理空值、小数点位数等数据质量问题，建立元素含量数据集 X 与对应岩性类别集 Y。

（3）处理元素含量数据集 X 与对应岩性类别集 Y，按 7:3 的比例生成训练集和测试集；

（4）在训练集基础上，利用随机森林算法，建立各类岩性的元素含量识别模型，在测试集上预测得到岩性类别集 Y’，对比测试集的 Y 与 Y’结果，评估模型质量；

（5）选取较好质量的随机森林模型，导入待预测的样本元素含量值，由随机森林模型识别出该元素组合对应的岩性。

9.2.4 工程岩体强度的数据处理

9.2.4.1 回弹仪数据处理

可采用如下岩石表面测区回弹值与岩石单轴抗压强度之间关联分析经验公式，回归计算岩石单轴抗压强度值：

$$lg\,\sigma_c = (0.00863\rho_d \cdot N + 1.01)$$

式中：ρ_d为岩石的干密度（g/cm^3），可通过简单的室内试验获取或查取经验值；N 为回弹值；σc 为单轴岩石抗压强度（MPa）。

9.2.4.2 里氏硬度计数据处理

里氏硬度值计算公式为：

$HL = 1000\times v_b/v_a$

式中：HL—里氏硬度值、v_b—冲击体的回弹速度、v_a—冲击体的冲击速度。

计算每个岩样测量数据的里氏硬度平均值，在大量试验的基础上建立里氏硬度值与单轴饱和抗压强度的相关性关系，单轴饱和抗压强度与里氏硬度值间相关性公式为：

泥岩类：$Y= 2\times10^{-5}X^2+ 0.0393X-5.9433$，

砂岩类：$Y= 7\times10^{-4}X^2- 0.5726X+139.81$，

式中 Y：单轴饱和抗压强度（MPa），X：里氏硬度值（HL）。

9.3 智能化围岩分级

9.3.1 数据汇总

智能化围岩分级是建立在智能化数据处理成果的基础上，进一步汇总数据，以构建深度学习网络。汇总数据应包括下列内容：

（1）按照里程段落，汇总智能化数据处理成果；

（2）转换工程岩体完整程度指标，对掌子面、洞壁三维激光扫描等方法所获得的数据进行量化分级，将连续性数据分组、离散化；

（3）转换工程岩体硬度指标。根据回弹仪、里氏硬度计所获取的强度指标，结合便携式高光谱仪、便携式 X 射线荧光分析仪所获得的岩性指标，划分工程岩体坚硬程度等级；

（4）汇总后的数据可定义为围岩分级指标，且应具备持久化功能，防止重复汇总。

9.3.2 建立围岩分级指标

建立围岩分级指标编码，应满足深度学习网络参数输入的要求，宜采用独热编码方式对指标的各级状态进行编码，形成各分级指标集合 X。

9.3.3 智能围岩分级

分级标准应符合现行《铁路隧道设计规范》TB10003-2016 的规定，并包括下列内容：

（1）以围岩定性指标编码作为输入，围岩分级作为输出，构建深度学习网络；
（2）根据各分级指标集合 X，人工标注围岩分级 Y，按 7:3 的比例生成训练集和测试集；
（3）在训练集基础上训练深度学习模型，在测试集上预测得到岩性类别集 Y’，对比测试集的 Y 与 Y’结果，评估模型质量；
（4）持久化深度学习网络，为预测围岩分级提供模型基础。

9.3.4 人工围岩分级修正

根据现场隧道施工情况和地质复杂程度，综合考虑地下水状态、初始应力状态等因素可对智能围岩分级结果做进一步人工修正。可采用定性或定性与定量结合的方式，综合分析确定围岩级别，具体分级标准参见铁路隧道设计规范（TB10003）。

9.4 图件编制

9.4.1 掌子面三维激光图像扫描

（1）通过采集处理端生成三维地质模型；
（2）选择生成掌子面正射投影图及边墙二维展开图；
（3）对边墙二维展开图进行左拱、拱顶、右拱分割形成三张展开图。

9.4.2 洞壁三维激光扫描仪

（1）通过终端处理软件，选择对应里程，处理洞壁点云数据；
（2）打开二维展开图，选择灰度模式，点击保存图片；
（3）生成洞壁二维展开图，纵坐标为断面间距，横坐标为隧道里程。

9.4.3 便携式高光谱仪

利用便携式高光谱仪获得的 ASCII 码文本文件，可在 ENVI、MATLAB、ORIGIN 等软件中打开并处理，以 jpg、tif、gif 等图片格式，输出岩矿光谱图。

10 人工地质编录校核

10.1 人工地质编录层段选择原则

为校核智能化隧道综合地质编录成果，人工地质编录层段的选择应遵循以下主要原则：
（1）应有效校核各地质单元；
（2）跨越重要地质构造、水文地质、工程地质条件复杂地段，；
（3）工程施工难度大、风险高的地段；
（4）地学上具有研究意义或需要验证的地段；
（5）利用当前常规地质技术手段难以获取地质信息的地段；
（6）编制过程中，地质条件发生重大变化时应及时调整编录地段。

10.2 编录要求

10.2.1 编录内容

针对典型隧道掌子面和复杂区段，如构造混杂岩带、重要断裂带等区段，需开展人工地质编录，编录内容主要包括：

a)根据岩体工程特性，划分出断层破碎带、破（碎）裂岩带、全风化带、强风化带、中风化带、微风化带等。

b)观察记录软弱结构面的产状、形态特征及组合关系，隧道顶拱及两壁的工程岩体稳定情况，如冒顶、片帮、掉块、垮塌、底鼓、挤压、倾斜、变形等；

c)在隧道不同深度、不同岩性的洞壁或掌子面上统计线裂隙率或面积裂隙率，同时描述裂隙特征。

d)调测地下水的分布，出露形态、岩石的含隔水性，含水层（带）的水量、水压、水温以及地下水活动对围岩稳定的影响。根据围岩出水情况，划分隧道洞身干燥区、潮湿区、滴水区、淋水区。

e)地应力异常区应描述地应力异常显示性标志及其发生部位，如存在岩爆、软弱夹层挤出、隧道超前预报探孔钻进中揭露的饼状岩芯等现象。

f)发现放射性物质、有毒物质（砷、汞、铅、镉、铬……）、有害气体（瓦斯……）、地热、游离二氧化碳等有异常时，记录其背景值，对空气、水、地面的污染现状，隧道开挖揭露时及支护后的情况。

g) 调绘岩溶发育规模、形态、位置、所属地层和构造部位，充填物成分、状态，以及岩溶展布的空间关系等。

10.2.2 原始地质记录

a) 原始地质编录簿统一使用野外记录本，将现场记录、地质素描图等全部记载于记录本上。原始编录随隧道每天的开挖进尺逐日逐导线开展。记录内容要全面、准确，专业用语使用恰当，无错漏字，特征地质信息应重点记录。当天回到室内再根据野外记录本的记录整理成原始地质编录表，参见附录 I。

b) 文字记录应与素描图吻合。

c) 原始地质编录记录只能划改，不能涂改，记录中的数字全部上墨。

d) 记录内容包括：

--编录人员、日期、天气、地点；

--基线记录：基线号、基线长度、方位角、坡角；

--地质描述：岩性分层及地质要素在基线上的位置、假厚度、真厚度，基础地质、矿产地质、工程地质、水文地质特征、环境地质描述；

--采样记录：种类、规格、位置、数量、编号；

--岩层产状记录：倾向、倾角、测点位置；

--构造产状记录：倾向、倾角、测点位置；

--影像资料记录：影像资料类型、编号、位置、距离、地质意义。

10.2.3 比例尺的选择

常用比例尺为 1∶50～1∶200。

10.2.4 隧道素描图

10.2.4.1 洞壁素描图

洞壁素描是用通过基线的竖直平面作水平投影的方法。素描前，先按比例做出一假想竖直立面，标明基点和基线位置。然后在岩层及地质要素界面上选择能准确反映位置和形态变化的测点，将测点垂直于该立面投影于相应的洞壁上，然后勾绘。具体细节也可参照 DZ/T 0078 中坑道素描技术要求。

示例 1：洞壁 a、b、e 三点分别水平投影于过基线的竖直平面得到 a'、b'、e'三点，见图 3（a）。

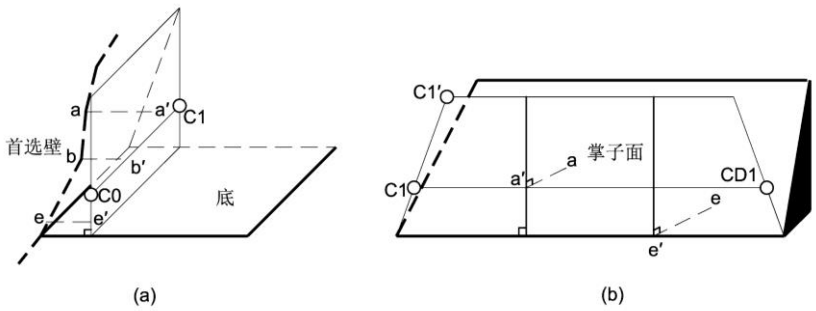


图3 地质要素素描投影示意图

10.2.4.2 掌子面素描图

隧道掌子面素描方法与洞壁素描方法相同，通过基线的竖直立面作投影的方法。掌子面使用理想化规则梯形法作图，洞壁与掌子面相交处为腰线，与底边夹角为 70°。

掌子面上 a、e 两点分别水平投影于过基线的竖直平面得到 a'、e'两点，见图 3（b）。

隧道素描图参照 DZ/T 0078 中坑道素描技术要求执行。

10.2.5 地质编录用语

常用地质编录用语、代号应符合 DZ/T 0078 的规定。

10.2.6 地质编录代号

（1）隧道编录段编号

由 3 个大写字母或大写字母+数字+大写字母组合而成，可参照附录 A.1 技术要求执行。

（2）样品编号

a)普通样品编号有下列两种方式：

①采用隧道编录段的编号+样品序号+样品代号组合而成，序号从 001 开始递增，不可重号。

示例：康定二号隧道进口段右壁上的第一块薄片编号为 KD2R001b。

②采用编录段的编号+标本里程位置+普样品代号，里程位置由采样点的里程表示，不可重号。

示例：康定二号隧道进口段里程为 035+629 处左壁上采的薄片，样品编号 KD2L035629b。

b)其他特殊意义样品编号方法同上，用其他特殊意义样品代号代替薄片代号 b 组合而成。其他可参照附录 A.3 技术要求执行。

10.3 编录流程

人工编录校核工作主要包括以下几个阶段：

（1）资料收集整理，掌握工程穿越区段基本地质概况；

（2）开展深埋隧道上方的地质纵剖面（大断面）测制，完成关键部位典型构造形迹和特殊岩性精细编录，形成典型构造形迹展示图和地质综合分析成果；

（3）选择具有工程代表意义的层段进行现场编录，系统采集所选编录区段内水工环地质及基础地质的相关信息，填写原始地质编录表；

（4）根据现场采集到的数据进行室内综合研究，编制相应的隧道综合地质平面展示图；

（5）将人工地质编录结果与智能化综合地质编录结果进行比对，并做进一步核实和修正。

10.4 成果类型及要求

（1）最终成果：隧道人工综合地质编录平面展示图；

（2）成果类型：Mapgis(.wp/.wl/.wt)、Arcgis(.shp)、CAD(.dwg)。

11 采样及试验

11.1 光谱分析及采样试验

11.1.1 采样目的

当需要室内详细研究波谱精细特征和形成机理，同现场测试光谱数据进行比对校验时需要采集高光谱测试样品。

11.1.2 采样要求

采用打块法或捡块法采集，根据需要选择自然面或新鲜面作为测试面。块状样品测试面应比较平整，尺寸应根据测试时波谱仪覆盖的视场大小确定，长、宽一般应大于 2 倍视场直径，垂直测试面的厚度一般应大于 5cm，片状岩石样品厚度可视具体情况适当减薄。松散岩矿样品采集量应与固结样品要求的体积一致。

11.2 岩矿取样及试验

11.2.1 采样目的

当需要对测试岩石准确命名，进一步研究岩石的矿物组成、变质或蚀变特征，及其与光谱特征的关系时，应采集岩矿鉴定样，送实验室作薄片/光片鉴定。当需要对岩石中的矿物作物相分析，测定晶胞参数，研究矿物的结晶度、类质同象等特征，深入分析岩矿光谱机理时，应采集 X 衍射分析样，也可采集待分析矿物的晶体或晶体碎屑。

11.2.2 采样要求

标本规格，以能反映实际情况和满足制作光、薄片及手标本观察的需要为原则。可从小标本上截取，也可单独采取。单独采取方法是敲块法，在隧道洞壁上采样，样品规格不大于3 cm×6 cm×9 cm。需定向光、薄片岩（矿）样时，应在标本上作出明显方位标志，并在样品标签和送样单中加以说明。

11.3 地球化学分析样取样及试验

11.3.1 采样目的

当需要研究岩石化学成分时，应采集化学分析样，主要是为系统了解不同地层和岩石中的元素含量，检测岩矿的地球化学元素。样品量应根据分析的元素和分析方法确定。

11.3.2 采样要求

采集岩矿样品时，每个样品在采样点周围10～20m范围内多处采集（3处以上），同一岩性的新鲜岩石碎块（直径小于30mm）组合成一个样品，重量300g以上。建立取样的标签，并附采样点地质位置等信息的示意图。

11.4 便携式强度测试样取样

11.4.1 采样目的

当需要详细研究岩石里氏硬度、回弹强度同工程力学强度的关系及校验现场测试的结果时需采集便携式强度测试样。

11.4.2 采样要求

野外现场取里氏硬度的测试样，应满足采集样本回室内可满足制作≥7cm立方体岩样的需求，回弹强度测试样应满足制作10╳10cm，或15╳15cm立方体岩样的需求。

12 成果资料编制与提交

12.1 报告编制

12.1.1 成果图件应客观真实、准确清晰，并编写相应的图件说明书。

12.1.2 报告编制应图文并茂。报告主要章节内容应包括工作概况、区域地质背景、隧道智能化综合地质编录技术方法、人工地质校核、编录质量评述、结论与建议等，可根据项目工作具体情况作适当调整。

12.1.3 成果数据库应资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰、结论有据、建议合理、便于使用和长期保存。

12.2 成果验收与提交

12.2.1 成果验收

现场编录工作结束后，应进行隧道地质编录资料的综合整理，形成图件、隧道综合编录表。

（1）形成的综合资料应通过上级主管部门组织的专家组的验收，验收时至少应提交的地质资料和实物清单如下：

a） 项目任务书、实施方案及其评审意见书；
b） 原始地质编录表；
c） 工程基点基线记录表；
d） 影像记录表；
e） 采、送样登记表；
f） 样品鉴定及测试报告；
g） 素描图；
h） 综合编录表；
i） 标本；
j） 编录工作总结；
k） 隧道纵剖面图；
l） 样品鉴定及测试报告综合整理成果表。

（2）成果报告审查验收应依据项目合同、设计书以及相关技术标准和要求进行。审查验收内容包括：成果报告的完整性、合理性、真实性和实用性，各项工作成果是否符合方案及规程的要求，图件内容和要素是否准确齐全，数据库是否齐全完整，成果是否达到了预期目标。成果报告评审结束后，组织评审单位签署评审意见书。对评审意见书提出的各项问题，项目承担单位应在规定时间内修改补充完善。

12.2.2 成果提交

成果提交需包括纸质、电子文档，内容包括成果报告、成果图件、数据库和典型照片集等，各智能化综合隧道地质编录技术方法及人工地质编录应提交成果类型如表 7：

表 7　智能化综合地质编录主要成果类型及要求

序号	技术方法	成果名称	成果文件类型	精度及质量要求
1	掌子面三维激光扫描	掌子面三维地质模型、	VTK 格式三维模型	激光点云单站不小于 170 万点。
2		掌子面正射投影图、开挖轮廓二维展开图	jpg 格式图像	图像采集分辨率约 5mm。
3	洞壁三维激光扫描	隧道开挖轮廓灰度及色谱图	OBJ 格式三维模型	三维点云模型分辨率不大于 2cm。
4		三维点云模型	jpg 格式图像	开挖轮廓灰度及色谱图分辨率不大于 1cm。
5	便携式高光谱仪	测点的典型地物光谱曲线	ASCII 码文本文件	每个测试工作日结束后，测试组进行自检，自检率为 100%；工作阶段或批次测量结束后，互检不低于 40%，检查合格率应不低于 95%。
6	便携式 X 射线荧光光分析仪	测点的地球化学元素种类及含量	ASCII 码文本文件	现场原位分析质量检查的工作量，应不少于总工作量的 3%，误差限内的样品合格率应达到 75%。
7	回弹仪	测点的回弹值	ASCII 码文本文件	测区的 16 个回弹值中剔除 3 个最大值和 3 个最小值，其余的 10 个回弹值取平均回弹值，精确至 0.1。
8	里氏硬度计	测点的里氏硬度值	ASCII 码文本文件	标准试块进行校验其示值误差及重复性应不大于 ±12HLD，试验中同一检验部位试验值分散性不超过 ±15HLD。
9	人工地质编录	综合地质编录展示图	.shp 文件，Jpg 格式图像	根据实际比例尺，图面距离大于 1mm 的地质体、构造均应表达出来，特殊地质体可适当夸大表达。

13　成果三维可视化

13.1　平台建设

13.1.1　硬件建设

（1）宜多台服务器组建集群，实现高可用三维可视化硬件环境；
（2）CPU：建议采用四核心八线程，主频 2.4GHz，宜采用十二核心二十四线程，3.2GHz；
（3）内存：建议采用 32GB 以上内存，宜采用 192GB 内存；
（4）存储：建议采用高速的 SSD 硬盘，宜采用 RAID 5 的模式保证数据的安全性和读写性能；
（5）网卡：宜采用千兆以上的网络带宽。

13.1.2　软件与系统建设

（1）应采用 B/S 架构作为软件总体框架，服务端采用微服务架构实现分布式发布，提高应用服务的可用性、容错性，微服务架构应包含服务注册、服务发现、网关服务、负载均衡和服务监控等功能，浏览器端应包括三维可视化、空间分析、空间检索等组件功能；

（2）非结构化数据宜采用分布式对象存储数据库软件妥善存储，结构化数据宜采用空间数据库软件妥善存储，并保证数据访问的可靠性和高效性；

（3）为提高三维可视化应用的运行效率，宜使用反向代理软件实现应用的负载均衡和动静分离。

13.1.3　安全建设

（1）安全防护保护方案，进行网络边界防护，部署网关、防火墙，隔离 Internet 与信息系统；将网络环境中不同的系统对接。需要规划设计好连接方案和区域间的控制措施；在系统内部，采用防火墙将数据库系统和业务应用进行逻辑隔离，并保护数据库服务器；在数据库的集中存储区域，做更严格的边界访问控制策略，保护数据不被非授权的访问和越权访问；

（2）防火墙系统，支持抵御多种流行的 DoS／DDoS 攻击和各种常见的网络攻击，如端口扫描攻击、IP 碎片攻击、Syn 攻击、ICMP 碎片攻击、大包 ICMP 攻击、DNS 攻击、RIP 攻击等；

（3）网关，抗 DDoS 网关可提供异常流量检测、攻击防御、设备管理、报表生成、增值运营等功能，支持不同的部署方式；

（4）入侵检测系统，入侵检测系统可检测的主动攻击方式包括：预攻击探测、CGI 漏洞、后门、DoS／DDoS、缓冲区溢出、WEB 服务攻击、FTP 攻击、Ping 攻击、SMTP 攻击、邮件病毒类、远程登录漏洞、网络蠕虫、口令猜测、异常流量等；

（5）身份鉴权，专用的登录控制模块对登录用户进行身份标识和鉴别；用户身份标识唯一和鉴别信息复杂度检查功能，保证应用系统中不存在重复用户身份标识，身份鉴别信息不易被冒用；登录失败处理功能，可采取结束会话、限制非法登录次数和自动退出等措施；用身份鉴别、用户身份标识唯一性检查、用户身份鉴别信息复杂度检查以及登录失败处理功能，并根据安全策略配置相关参数；

（6）访问控制，依据安全策略控制用户对文件、数据库表等客体的访问。

13.2 可视化处理

13.2.1 坐标与投影

里程信息与地理坐标的转换。

（1）坐标要素：

地理坐标	X,Y,H
投影坐标	X,Y,H
里程坐标	工点、里程冠号、里程、偏距

（2）坐标系要素（转换的必要参数）：

地理坐标	椭球参数
投影坐标	椭球参数、中央经线、投影高程
里程坐标	线位的空间三维形态数据(如中铁二院的线位数据库，或包含线位空间形态的几何 WKT 及断链表)、及其投影参数

（3）实现上述不同坐标系之间的相互转换；

（4）投影坐标转地理坐标，如勘察期间的地质图，钻孔柱状图等数据的坐标，通常为投影坐标。可通过源坐标系及目标坐标系的参数按照 EPSG 标准格式表达，实现源坐标系对应的坐标到目标坐标自动化转换；

（5）里程坐标转投影坐标：里程坐标系的线位参数描述了不同工点下任意里程的空间位置信息，并对应某种投影参数，根据该关联关系可编程将里程信息转换为投影坐标。

13.2.2 非结构化数据存储格式

（1）对于一些非结构化的文件，例如 word，pdf，照片等，通过赋予空间信息，将文件与空间位置绑定，实现与空间展示关联的文件查询及在线浏览；

（2）处理后数据结构包括：文件关联的空间信息及文件的 url。如某隧道工点说明书，可表达为：{"Geometry":"隧道以 100 米为缓冲半径得到的多边形区域"，"data":文件 URL}。

13.3 可视化展示

13.3.1 实现路径

（1）收集模型数据。包括不限于掌子面模型、倾斜摄影模型、矢量数据、地质模型；
（2）数据预处理。形成可视化需求的模型数据成果；
（3）在平台上传模型数据，配置模型相关参数信息，进行模型数据的发布。
（4）平台依据模型数据的存储地址对模型进行可视化渲染展示。

13.3.2 渲染方法

（1）点、线、面的矢量数据，可以通过 GeoJson 的文本格式直接在平台中导入进行可视化展示；
（2）地质体结构模型数据，获取模型数据，使用模型数据处理工具，经过数据解译、数据预处理成平台支持的三维模型 GLB 的文件格式，满足地质体结构模型可视化渲染的格式需求；
（3）掌子面模型通过数据采集，建立掌子面的 OBJ 模型，获取掌子面所在的里程位置参数，通过接口获取到投影坐标值和投影参数，导入平台进行发布，满足掌子面三维场景可视化需求；
（4）倾斜摄影模型形成的 OSGB 的文件格式，运用处理工具把 osgb 格式转换成平台支持的 3dtiles 的文件格式，实现在平台加载倾斜摄影模型的可视化需求；
（5）卫星影像模型数据一般数据格式为 TIF，需要进行数据预处理操作，通过处理工具软件设置切片参数及切片级别，对 TIF 影像进行影像切片处理，形成切片的 PNG 格式文件，在平台中配置影像的索引访问方式如{x}/{y}/{z}.png 链接方式，平台会自动进行影像切片数据的调用；
（6）矢量 SHP 数据，平台只能处理一个 SHP 图层，把数据文件归类，确保处理的 SHP 及相关的坐标系 prj 文件在同一目录文件夹下文件类型有且仅有一份。调用 GIS Web 服务器的 API 接口进行数据的发布，服务发布支持 WMS、WMTS、WFS 的地图服务类型。

附 录 A
（资料性附录）
隧道工程基点基线记录表

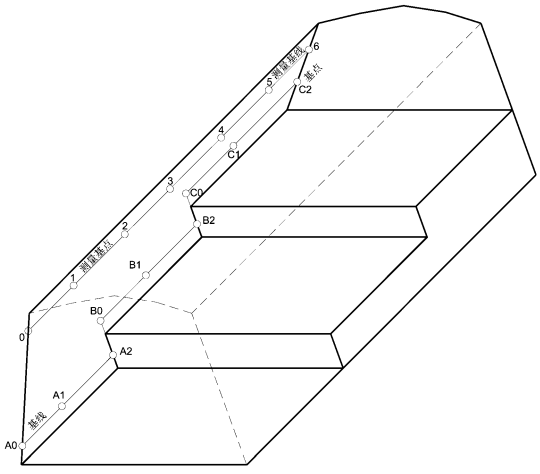
A.1 隧道编录段编号

a） 第 1 个字母代表隧道名称，取隧道工程名称的第一个汉字拼音的首字母。当不同隧道工程名称存在字母重复则以里程从小到大为顺序，里程小的隧道取第一个汉字拼音的首字母，里程大的取第二个汉字拼音的首字母，以此类推；
b） 第二个字母代表隧道口位置，进口方向为 J，出口段为 C；若有明洞，明洞往进口方向开挖为 M，往出口方向开挖为 N；采用 1 个斜井或横洞开挖进入隧道主洞，往进口方向开挖为 X，往出口方向开挖为 V；当一条隧道有多个斜井或明洞开挖进入隧道主洞的，第 2 个字母改为数字表示，以隧道进口到出口为顺序，用 1、2……表示斜井或明洞的序号；
c） 第三个字母代表编录的洞壁方位，拱顶为 U，底面为 D，左壁为 L，右壁为 R。

示例：康定隧道有 2 个斜井，其中 1 号斜井向进口方向开挖，编录左壁，其编录编号为 K1L。

A.2 基点编号

a） 隧道开挖时，基点自起点至终点按 0、1、2……N 的顺序编号。当隧道为台阶式开挖时，第一台阶基点编号前冠以字母 A，第二台阶基点编号前冠以字母 B，依此类推，参见图 A.1；
b） 测量隧道进、出口坐标，编录基点和终点坐标。坐标数据宜向施工方收集，也可编录承担单位自行测量；
c） 观测前后基点之间的距离和高差，并用油漆或打钢钉在现场作好标记；
d） 坐标测量结果采用全国统一的坐标系统和最新的国家高程基准，测量精度符合 GB/T 18341 的规定；
e） 掌子面基线起点应与洞壁基线终点重合，掌子面基线与洞壁基线在同一水平面内。掌子面形态采用规则梯形。



图A.1 隧道编录基点，基线设置示意图

A.3 样品代号

- 标本 B
- 薄片 b
- 光片 g
- 基本化学分析样 H
- 光谱分析样 GP
- 外检样 WJ
- 点荷载样 DH

A.4 摄像和照相编号

a) 编号以 1 位字母+隧道编录段编号+数字编号+1 位镜头高宽编号组成；
b) 第一位字母以摄像取拼音大写首字组“S”，照相取拼音大写首字组“Z”；
c) 隧道编录段编号参照 A.1 技术要求执行；
d) 数字编号与导线编号一致,摄像、照相时以“1”开始顺序编号，不足三位数的，数字前添加“0”补足三位数字；
e) 取像镜头高、宽不一致时，应分别取像。成像正立摆放时较宽的影像编号为“X”，较高的影像编号为“Y”。

示例：

康定 2 号隧道出口段东壁第 1 导线处摄像，成像正立摆放时较宽，编号为“SK2CE001X”, 第 2 导线处照相，成像正立摆放时较高，编号为“ZK2CE002Y”。

附　录　B
（资料性附录）
长大深埋铁路隧道智能化综合地质编录记录表

表B.1给出了隧道工程基点基线记录表
表B.2给出了掌子面及洞壁扫描影像记录表
表B.3给出了点云模型数据记录表
表B.4给出了便携式岩矿高光谱仪测试记录表
表B.5给出了便携式X射线荧光分析现场分析记录表
表B.6给出了里氏硬度计现场测试记录表
表B.7给出了采样单
表B.8给出了人工地质编录原始记录表
表B.9给出了隧道掌子面地质素描记录表

表 B.1 隧道工程基点基线记录表

项目名称: 工程号 第 页总 页

基点								基线			
具体工程名称	工程测量点对应里程	坐标(里程坐标系）		高程(m）	编录段			编号	长度(m）	方位角(°）	坡度(°）
		x	y		编录段代号	起点里程~终点里程	长度(m）				

编录人： 日期： 检查人： 日期：

表 B.2 掌子面及洞壁扫描影像记录表

项目名称：　　工程编号：　　第　页/总　页

序号	导线号	隧道位置 (m）	镜头方向 (°）	实物大小 范围（m）	数码图像 文件名称	物距 （m）	代表性内容 及地质意义

编录人：　　日期：　　检查人：　　日期：

表 B.3 点云模型数据记录表

项目名称: 工程号 第 页/共 页

采集时间	隧道工点名称	采集里程	坐标(XX 坐标系）						掌子面岩性	模型质量	不合格原因
			左标靶坐标			右标靶坐标					
			X(N)	Y(E)	高程	X(N)	Y(E)	高程			

记录人： 日期： 检查人： 日期：

表 B.4 便携式岩矿高光谱仪测试记录表

项目名称：　　仪器型号：　　第　页/共　页

测点编号	测点位置	测点坐标	波谱编号	样品编号	样品描述	目标特征				探头与样品距离/m	探头与测试面法线夹角/°	备注
						新鲜	风化面	粉末样	参考板			

测试人：　　测试日期：　　测试时间：　　检查人：

表 B.5 便携式 X 射线荧光分析现场分析记录表

项目名称：　　仪器型号：　　第　页/共　页

测点编号	测点位置	测点坐标	样品编号	样品描述	目标特征				仪器测量模式	单次分析时间（s）	备注
					新鲜	风化面	粉末样	标准样			

测试人：　　测试日期：　　测试时间：　　检查人：

表 B.6 里氏硬度计现场测试记录表

项目名称：　　仪器型号：　　第　页/共　页

测点编号	测点位置	测点坐标	样品编号	样品描述	目标特征				冲击装置类型	里氏硬度检测结果	备注
					新鲜	中等风化	强风化	标准试块			

测试人：　　测试日期：　　测试时间：　　检查人：

表 B.7 采样单

采样单位　　项目名称　　采样人　　年　月　日

序号	样品编号	采样位置(m）	样品名称	样品状态	长度	重量	测试内容	备注
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								

表 B.8 人工地质编录原始记录表

隧道名称：　　第　页/共　页

里　程：　　编录起点/终点坐标:

基　线				分层位置			层位	综合地质描述			岩层产状				岩矿层厚度（m）		标本编号	样品编号	摄相编号	照片编号	备　注
编号	长度(m）	方位角(°)	坡角(°）	分层号	基线读数（m）			基础地质	工程地质	水文地质	测量位置（m）		倾向(°）	倾角(°）	视厚	真厚					
					起	止					长距	高距									

编录人：　　日期：　　检查人：　　日期：

表 B.9 隧道掌子面地质素描记录表

工点名称：　　施工里程：

预报单位：　　施工单位：

编号	项目名称	状 态 描 述									
1	掌子面尺寸	开挖宽度(m)		开挖高度(m)		开挖面积(m^2)		开挖方式		其它	
2	掌子面状态	稳定		正面掉块		正面挤出		正面不能自稳		其它：	
3	毛开挖面状态	自稳		随时间松弛、掉块		自稳困难、要及时支护		要超前支护		其它：	
4	岩石强度(MPa)	30＜Rc≤60		15＜Rc≤30		5＜Rc≤15		Rc≤5		其它：	
5	风化程度	微风化		弱风化		强风化		全风化		其它：	
6	裂隙宽度(mm)	＞5		3～5		1～3		＜1		不易测取	
7	裂隙状态	较发育		微张		平整光滑		硅质胶结			
8	涌水状态	无水		潮湿或点滴状出水		淋雨状或线流状出水		涌流状出水		其它：	
9	岩溶发育程度	微		弱		中等		强烈		其它：	
10	设计围岩级别					建议围岩级别					
素描图					地质描述						
调绘：		复核：			审核：			日期：			