



T/CECS XXX—20XX

中国工程建设标准化协会标准

铁路隧道凿岩台车施工地震波法超前地质预报 技术规程

Technical specification for advanced geological prediction using
seismic wave method during construction of railway tunnel rock
drilling trolley
(征求意见稿)

XXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

铁路隧道凿岩台车施工地震波法超前地质预报技术规程

Technical specification for advanced geological prediction using seismic wave method during construction of railway tunnel rock drilling trolley

(征求意见稿)

T/CECS *-20****

主编单位：山东大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年 xx 月 xx 日

Xxxx 出版社

2024 年北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第一批协会标准制定、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕13 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为 7 章和 3 个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、预报设计、预报实施、数据处理与解译、检收和验收等。

本标准由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由山东大学负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送山东大学（地址：山东省济南市历下区经十路 17923 号；邮政编码：250000），并抄送中国工程建设标准化协会铁道分会（北京市海淀区三里河路 9 号，邮政编码：100038），以供修订时参考。

主 编 单 位：山东大学

参 编 单 位：中国铁路经济规划研究院、中铁二院工程集团有限责任公司、中铁十局集团有限公司、中铁十九局集团有限公司、中铁二十五局集团有限公司、中交第二公路工程局有限公司、中国建筑第八工程局有限公司、山东百廿慧通工程科技有限公司、南京理工大学、陆军工程大学

主要起草人员：

主要审查人员：

目 次

| | |
|--------------------|----|
| 1 总则..... | 1 |
| 2 术语..... | 2 |
| 3 基本规定..... | 3 |
| 4 预报设计..... | 5 |
| 5 预报实施..... | 7 |
| 6 数据处理与解释 | 10 |
| 7 检验和验收..... | 12 |
| 附录 A 隧道地质描述记录..... | 13 |
| 附录 B 隧道地质展示..... | 14 |
| 附录 C 观测系统布设表..... | 15 |
| 本标准用词说明 | 16 |
| 条文说明..... | 17 |

Contents

| | |
|--|----|
| 1 General provisions | 1 |
| 2 Terms | 2 |
| 3 Basic requirements..... | 3 |
| 4 Forecast design | 5 |
| 5 Implementation of forecast | 7 |
| 6 Data processing and interpretation | 10 |
| 7 Inspection and acceptance | 12 |
| Appendix A Tunnel geological description record..... | 13 |
| Appendix B Tunnel geological display | 14 |
| Appendix C Observation system layout table | 15 |
| Explanation of wording in this standard..... | 16 |
| Explanation of provision..... | 17 |

1 总则

1.0.1 为规范铁路隧道凿岩台车随钻震源超前地质预报技术工作，探查施工掌子面前方一定范围内的工程地质情况，提高超前地质预报水平，保障隧道工程质量和施工安全，制定本技术规程。

1.0.2 本规程适用于凿岩台车施工的钻爆法隧道超前地质预报工作。

1.0.3 本规程规定了铁路隧道凿岩台车施工地震波法超前地质预报的参考基准、预报设计、预报实施及成果质量检查；

1.0.4 凿岩台车随钻震源超前地质预报应积极采用新技术、新设备、新方法。

1.0.5 凿岩台车随钻震源超前地质预报工作除应符合本技术规程外，尚应符合现行国家、行业和中国铁路总公司有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 不良地质体 adverse geology

由各种地质作用和人类活动造成的工程和水文地质条件不良现象的统称。

2.0.2 超前地质预报 geological forward-prospecting

在分析既有地质资料的基础上，采用地质分析、物探等方法，对隧道掘进面前方一定范围内的工程与水文地质条件及不良地质体的位置、性质和规模等进行探测、分析、判断和预报。

2.0.3 随钻震源超前地质预报法 advance geological prediction method with drilling seismic source

利用凿岩台车在钻孔环节产生的地震波信号作为震源信号开展预报，将钻孔过程中的噪声源信号加以利用。

2.0.4 超前地质钻探法 advance geological drilling method

在隧道掘进面或边墙以平行或近似平行掘进方向或以一定外插角度施做超前钻孔，探查掘进面前方一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

2.0.5 物性差异 physical-property contrast

两个地质单元之间的物理性质差异。

2.0.6 地震波法 seismic wave prospecting method

利用探测对象与周围介质之间的弹性性质差异，通过观测和研究人工地震波传播规律，推测探测对象地质情况的物探方法。

2.0.7 地质分析法 geological analysis method

通过收集分析地质资料、地表补充调查、隧道内地质编录等方式，对比和分析隧道掘进面前方一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

2.0.8 地质调查法 geological survey method

在收集和分析已有地质资料基础上，通过开展地表补充地质调查和隧道内地质编录等方式对地质资料进行核查和补充，推测掘进面前方一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

2.0.9 随钻震源 the drilling source

将凿岩台车在地层中破岩钻进的同时产生的地震波信号作为震源。

3 基本规定

3.0.1 凿岩台车随钻震源超前地质预报应包括以下内容：

- 1 围岩变化预报，特别是岩性接触面、软弱夹层和特殊岩土等地质条件；
- 2 断层破碎带、岩溶、人为坑洞等的位置、规模和充填性质等；
- 3 其他相关预报工作。

3.0.2 凿岩台车随钻震源超前预报的适用范围：

- 1 适用于钻爆法机械化施工隧道凿岩台车随钻震源超前地质预报
- 2 可开展隧道掌子面前方 70m 以内断层、岩溶、裂隙发育程度及地质情况变化的超前地质预报工作。

3.0.3 凿岩台车随钻震源超前预报的震源选择标准应符合以下要求：

- 1 应根据地勘资料与现场施工情况进行超前预报震源的动态选择；
- 2 在岩体完整、围岩岩性较好的区域，宜采用三臂随钻震源连续激发进行超前预报；
- 3 在软弱破碎地层、围岩岩性较差的区域，宜采用单臂随钻震源与钻臂敲击主动源结合的方式进行超前预报。

3.0.4 凿岩台车随钻震源连续预报时，前后两次预报范围应搭接 3m 以上，每次预报距离应符合下列规定：

- 1 在岩体完整、构造简单的硬质岩地层，一般每次预报距离应在 40m 左右，不宜超过 60m；
- 2 在软弱破碎地层，一般每次预报距离应在 70m 左右，不宜超 100m。

3.0.5 凿岩台车随钻震源超前地质预报应根据隧道环境及特点，选择适宜的方法，提高预报准确性。

3.0.6 凿岩台车随钻震源超前地质预报系统应包含探测设备及系统软件：

- 1 凿岩台车搭载式超前地质预报设备
- 2 现场编辑模块
- 3 无线传输与控制模块
- 4 数据采集模块
- 5 数据处理模块

6 视图与解释模块

3.0.7 凿岩台车随钻震源超前地质预报仪器应符合以下规定：

- 1 仪器应性能稳定、构件牢固可靠、具有三防功能，并适应隧道施工环境；
- 2 应妥善管理仪器，按规定进行检查、标定和保养，确保仪器工作状态正常；
- 3 应在探测前对仪器进行检查调试。

3.0.8 凿岩台车随钻震源超前地质预报仪器性能应满足以下要求：

- 1 仪器采样率可调，最小采样间隔不应大于 $500\mu\text{s}$ ，不应小于 $62.5\mu\text{s}$ ；
- 2 每次采样个数不宜小于 2k 个点；
- 3 仪器采集通道数不宜小于 8 个；
- 4 无线传输距离不应小于 16m。

3.0.9 设备安装

- 1 边墙检波器安装前应按照要求在隧道边墙提前钻孔；
- 2 宜采用耦合剂固定三分量传感器，并用膨胀螺栓将无线传输节点布置在传感器附近；
- 3 应在隧道轴向上线性布设边墙检波器；
- 4 应在检波器布设完成后开启电源调试设备；
- 5 宜采用磁吸的方式在凿岩台车钻臂前端布设先导信号检波器；
- 6 设备宜采用外部电池供电，并配备插装式高增益天线与安装支架，实现边墙的快速安装布设；
- 7 宜提前部署隧道专用工控机和路由器，并在工控机中运行采集系统软件。

3.0.10 参考基准

- 1 2000 国家大地坐标系（CGCS2000）。
- 2 1985 国家高程基准。
- 3 宜选择协调世界时（UTC）。

4 预报设计

4.0.1 应根据已有的工程和地质资料及凿岩台车施工现场环境条件进行相应的超前地质预报设计，设计的预报方法应与预报目标、实际条件相适应。

4.0.2 凿岩台车随钻震源超前地质预报设计方法应包括：

- 1 地质调查法：包括隧道地表补充地质调查、隧道内地质素描等；
- 2 地震波法：机械震源激发地震波以及随钻震源激发地震波。

4.0.3 凿岩台车随钻震源超前地质预报设计应编制设计方案，经审核批准后实施，宜包括下列内容：

- 1 工程概况、工程和地质条件，高风险段落划分及可能存在的灾害形式；
- 2 超前地质预报目的与任务、设计原则以及准备工作；
- 3 搭载式超前地质预报仪器的针对性设计；
- 4 地震波法现场试验方案，包括观测系统与仪器参数试验、干扰信号调查方法等；
- 5 凿岩台车随钻震源超前地质预报方案，包括预报方法、观测系统、预报流程、操作要点、技术要求、预报工作量、成果内容与形式等；
- 6 重点预报段落专项实施方案，针对高风险段落及可能存在的灾害形式，提出具体的预报方法、技术要求、参数选择；
- 7 安全操作流程及应急预案，环境保护措施；
- 8 其他需要说明的问题。

4.0.4 凿岩台车随钻震源超前地质预报工作宜按图 4.0.4 所示流程实施：

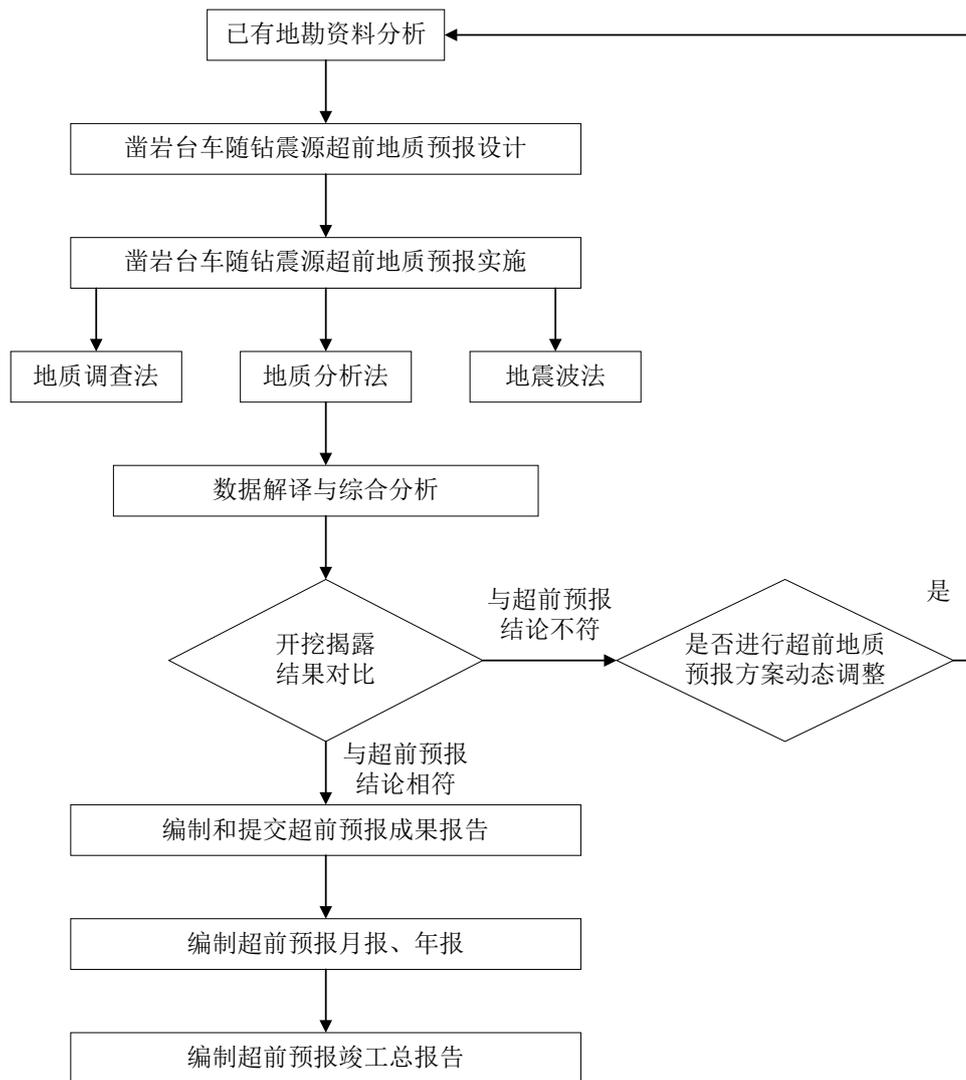


图 4.0.4 凿岩台车随钻震源超前地质预报工作流程图

4.0.5 凿岩台车随钻震源超前地质预报应纳入工序进行管理。隧道施工前，施工单位应根据预报对象的特点进行超前地质预报方案设计，并编制超前地质预报实施细则并纳入施工组织设计。

5 预报实施

5.0.1 地震波法超前预报应明确所需要的前期勘探资料；

5.0.2 地震波法可用于探测存在明显波阻抗差异的岩性变化、断层破碎带、溶洞等不良地质体，其探测对象应具有可被探测规模。

5.0.3 凿岩台车随钻震源超前地质预报仪器现场采集时应满足以下规定：

- 1 钻臂敲击主动源激发时，仪器应调至脉冲模式采集；
- 2 随钻震源激发时，仪器应调至连续模式采集；
- 3 应根据隧道现场环境及采集需要，确定合适的采集参数；
- 4 单次震源激发采集完成后，应及时保存数据，并重新设定采集参数进行

信号采集。

5.0.4 地震波法超前地质预报观测系统应符合以下规定：

- 1 应根据现场勘查资料及隧道施工情况，设计合适的观测系统，确定先导、边墙检波器与震源点激发位置；
- 2 边墙检波器宜布置在掌子面后方约 10m~30m 范围内的隧道边墙上，条件允许时应优先采用检波器在隧道轴向上具有一定间距的布置形式；
- 3 观测系统可采用多点激发、多点接收，一点激发、多点接收的方式。

5.0.5 依据隧道现场施工条件确定先导及边墙检波器安装数量及位置；

1 采用三臂随钻震源超前预报时，应在钻臂处布设 3 个先导检波器，隧道边墙布设至少 8 个边墙检波器，宜采用多点激发、多点接收的观测系统布设方式；

2 采用单臂随钻震源与钻臂敲击主动源联合预报时，应在钻臂处安装 1 个先导检波器，隧道边墙安装至少 8 个边墙检波器，宜采用一点激发、多点接收的观测系统布设方式；

- 3 边墙检波器应满足等间距布设的要求；
- 4 先导检波器宜布设在凿岩台车钻臂前端，便于接收清晰的震源信号；
- 5 根据现场施工情况，可进行检波器数量及布设位置的动态调整。

5.0.6 依据现场数据采集的需要，应设定合适的观测系统，并标设检测点及震源点位置。

5.0.7 边墙检波器安装条件需一致，并于岩体有效耦合；

5.0.8 凿岩台车随钻震源激震时应符合以下规定：

- 1 应根据现场情况、现场试验和预报需要，确定合适的钻进深度；
- 2 应根据标设的震源点位置依次激震；
- 3 单臂随钻震源信号采集时，应停止其它钻臂施工；

5.0.9 地震波法超前地质预报应在数据采集前进行地震道一致性检验。

5.0.10 数据采集应符合以下规定：

- 1 依据现场施工与观测系统布设情况，应设置合适的采集参数，包括：采样间隔、采样时间、采集通道数；
- 2 更换震源点激震应重新检查并设置采集参数；
- 3 数据采集过程中应实时记录震源位置与坐标。

5.0.11 对采集的地震数据进行检验，不合格数据应重新采集。

5.0.12 凿岩台车随钻震源超前地质预报的劳动力组织原则应包括以下内容：

- 1 劳动力队伍中应具备超前地质预报技术、凿岩台车操作、数据分析等专业技能的人员，同时注重团队成员之间的协作与配合；
- 2 始终把安全放在首位，确保所有操作符合安全规范，降低事故发生；
- 3 在保证工作质量的前提下，优化劳动力配置，合理分工，提高工作效率；
- 4 合理安排工作时间和工作轮班；

5.0.13 凿岩台车随钻震源超前地质预报各操作步骤所需劳动力及其组织方式宜包含：

- 1 应配置技术人员，负责收集、整理和分析地质资料，为凿岩台车超前地质预报工作提供前期准备工作；
- 2 应安排设备维护人员，对凿岩台车整体设备进行全面检查和调试，并进行定期维护和保养，确保设备能够正常运行；
- 3 应组织安全管理人员和现场工作人员，进行现场布置及安全检查，确保工作环境安全；
- 4 应安排操作人员，确保数据采集的准确性和完整性，对采集到的地震数据进行实时记录和初步分析，并对采集的地震数据进行检验，不合格数据需重

新采集；

5 应安排技术人员对采集到的地震数据进行整理、筛选和分类，对整理后的数据进行分析，结合地质资料，进行数据解释，并根据结果编制超前地质预报报告；

6 应组织项目管理人员和现场工作人员，对预报结果进行沟通和反馈，确保预报结果得到及时有效的应用；

7 施工、监理单位和第三方监测单位在施工监控、评估预警过程中应及时与设计单位沟通，设计单位应结合监控、评估及预警情况提供有关处理意见和建议；

8 在项目部安全生产领导小组下成立专业分包安全生产领导小组，现场设置专职安全管理人员、技术管理人员等与项目部各级主管对接工作，开展日常安全检查、班前安全讲话，及时发现问题，研究改进措施，积极参加安全培训及其他各类安全活动，提高安全生产意识，掌握应急逃生自救知识，确保安全。

6 数据处理与解释

6.0.1 应根据现场地震记录的数据质量及解释的需要，选择处理方法和步骤。

6.0.2 凿岩台车随钻震源地震数据的预处理应符合以下规定：

- 1 应对采集数据中不合格的地震道进行剔除；
- 2 应根据预报距离明确需处理的地震数据长度；
- 3 应对初至前信号进行归零。

6.0.3 凿岩台车随钻震源地震数据处理原则应符合以下要求：

1 对随钻震源地震数据进行处理应满足处理结果中有效反射信息清晰可见的原则；

2 应确定随钻震源信号的主频范围，可对信号进行频谱分析处理；

3 应滤除随钻震源信号中的噪音干扰，宜选择 F-K 滤波、 τ - p 变换滤波等方法完成；

4 应对随钻震源数据进行重构处理，提取反射波，可选择互相关、多次叠加等技术实现；

5 应对随钻震源重构数据进行增益处理，可选择变分模态分解-希尔伯特谱白化等方法实现

6 应根据现场情况与实际采集数据进行处理方法的动态调整。

6.0.4 应重建不良地质体的图像，可选用绕射叠加偏移、克希霍夫偏移、逆时偏移等成像方法对凿岩台车随钻震源地震数据进行处理。

6.0.5 凿岩台车随钻震源地震数据还可采用其他处理技术：

1 去除地震数据中的噪音信号，可选用带通滤波处理；

2 计算岩体波速，可采用走时层析成像、全波形反演、速度扫描等方法。

6.0.6 预报报告编制应符合以下要求：

1 应在 24h 内及时出具预报报告并提交给有关各方；

2 单次预报成果报告内容应包括：

1)报告编制的背景；

2)超前预报方法原理简介；

3)工程地质概况，预报时掌子面的里程，预报段落的工程地质和水文

地质条件；

4)超前地质预报方法及仪器、观测系统与参数设置、数据质量评价情况；

5)资料处理与解释原理及流程；

6)预报结果分析，形成超前地质预报情况汇总表，包括：隧道名称、掌子面里程、预报范围、预报方法、掌子面地质情况概述、预报结论汇总等；

7)预报结论及建议；

8)预报结果附图。

3 应结合地质资料，对预报结果进行分析、解译，实现不良地质体位置及规模的判定。

4 应对钻爆法隧道开挖情况进行跟踪，对比分析超前地质预报结果及开挖揭示情况，总结、改进、不断提高超前地质预报质量。

5 月报/年报内容应在单次预报成果报告基础上增加当月/当年的预报工作量与开挖揭示对比情况、下一步的预报建议等方面内容。

6 凿岩台车随钻震源超前地质预报竣工总报告应包括以下内容：

1)工程概况；

2)地质概况，包括原有地质资料及施工开挖过程中揭示的不良地质情况；

3)设计预报方案和根据实际地质情况调整后的预报实施方案；

4)预报方法原理、现场实施、质量控制情况；

5)预报与开挖揭示对比情况；

6)施工过程中遇到的重大工程地质问题及其处理的经过、措施、效果、运营中应注意的事项；

7)工作总结分析与建议，包括采用新技术、新设备、新方法的情况；

8)其他。

7 超前地质预报报告应经校核和审查批准后才能提交，并应按有关规定进行归档。

8 整体预报内容宜包括单次预报成果报告、超前地质预报与开挖结果对比报告、月报、年报、竣工总报告；

7 检验和验收

7.0.1 在凿岩台车钻孔时进行数据采集，现场采集数据的质量检查应采用重复观测方式，检查量不应小于总工作量的 5%，复测记录应无明显变化及异常。

7.0.2 敲击原始记录上不应有强烈的干扰背景，且有可靠的追踪反射波同相轴。

附录 A 隧道地质描述记录

A.0.1 隧道地质描述记录应符合表 A.0.1 的规定。

表 A.0.1 隧道地质描述记录

| 里程桩号 | | | 岩石名称 | 岩石风化程度 | 围岩级别 | 层次 | 不良地质体 | 工程地质描述 | 标志物采样 | | | 产状 | | | |
|------|---|---|------|--------|------|----|-------|--------|-------|----|----|----|----|----|----|
| 序号 | 起 | 止 | | | | | | | 名称 | 位置 | 编号 | 倾向 | 倾角 | 走向 | 位置 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

附录 B 隧道地质展示

B.0.1 钻爆法隧道地质开挖对比应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 隧道地质展示

| | | |
|--------------|-----|--|
| 展示图 | 左边墙 | |
| | 拱部 | |
| | 右边墙 | |
| 里程 | | |
| 设计工程地质条件 | | |
| 施工揭示工程地质条件对比 | | |
| 设计围岩分级 | | |
| 施工围岩分级对比 | | |
| 施工围岩分级 | | |
| 施工揭示不良地质体特征 | | |
| 施工围岩稳定性及支护措施 | | |

附录 C 观测系统布设表

C.0.1 钻爆法隧道观测系统布设应符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1 观测系统布设表

| | 观测点 | 检波器 | 震源 |
|------|---|---|--------------|
| | 类型 | 三份量检波器 | 随钻震源、钻臂敲击主动源 |
| | 震源与检波器布设位置 | 震源应在掌子面激发，先导检波器宜布设在凿岩台车钻臂上，边墙检波器宜布置在掌子面后方约 10m~30m 范围内的隧道边墙上。 | |
| 观测系统 | <p style="text-align: center;">单臂随钻震源与钻臂敲击主动源联合激发方式</p> <p style="text-align: center;">三臂随钻震源连续激发方式</p> | | |

本标准用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1. 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2. 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4. 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

中国工程建设标准化协会标准

铁路隧道凿岩台车施工地震波法超前地质预报技术规程

T/CECS XXX—20XX

条文说明

制 定 说 明

《铁路隧道凿岩台车施工地震波法超前地质预报技术规程》T/CECS XXX: 20XX, 经中国工程建设标准化协会××年××月××日以第××号公告批准发布。

本规程编制过程中, 编制组进行了广泛而深入的调查研究, 总结了凿岩台车施工的钻爆法隧道超前地质预报技术所需工作, 为提高超前地质预报水平, 保障隧道工程质量和施工安全提供参考

为便于扩大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定, 《铁路隧道凿岩台车施工地震波法超前地质预报技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程中的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

2 术语

2.0.3 随钻震源超前地质预报法是利用凿岩台车钻孔破岩震动作为震源信号，所产生的地震波以球面波的形式向前传播，当围岩波阻抗发生变化时（例如遇岩溶、断层或岩层的分界面），一部分地震波将会被反射回来，反射的地震波由检波器接收并传递到主机与先导检波器接收到的随钻震源信号形成地震波记录。

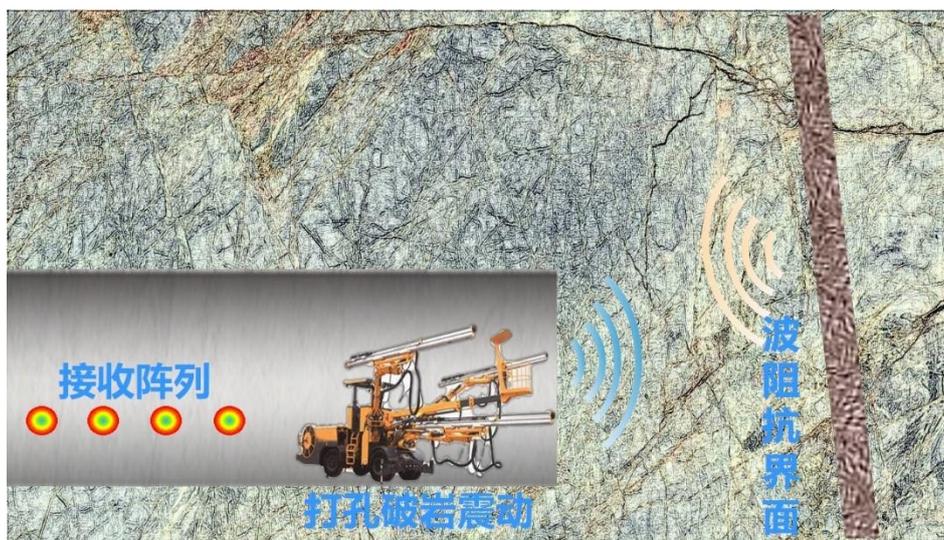


图1 随钻震源超前预报法

3 基本规定

3.0.2 在钻爆法机械化隧道中，由于隧道掌子面存在大型机械钻孔施工，可采用随钻震源超前地质预报方法对掌子面前方不良地质体进行探测。

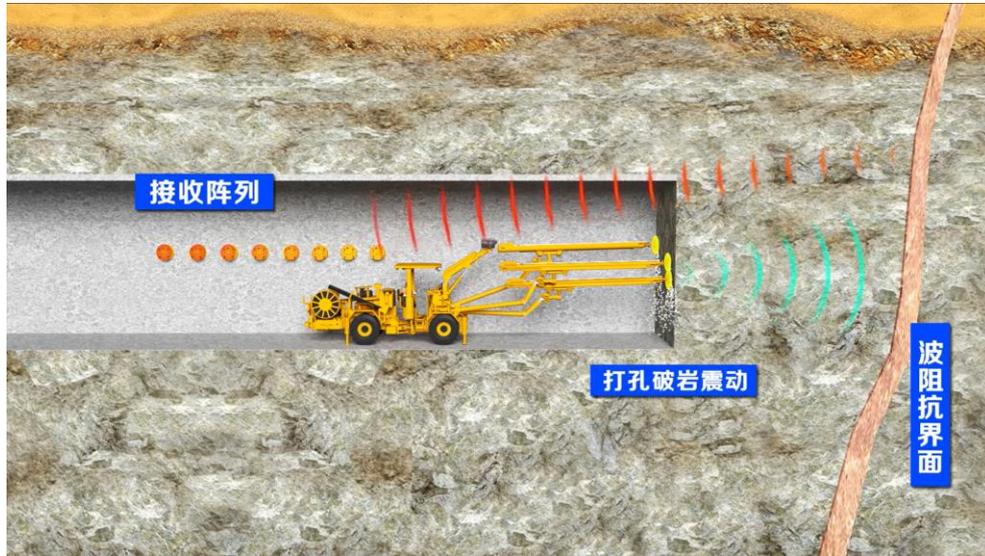


图 2 凿岩台车随钻震源超前预报方法

3.0.5 应根据不同隧道选用单臂、三臂凿岩台车施工的环境特点，选择适配的单臂、三臂随钻震源超前地质预报方法进行探测，提高准确性。

3.0.6 凿岩台车随钻震源超前地质预报系统主要由以下模块组成：



图 3 凿岩台车搭载式超前地质预报设备

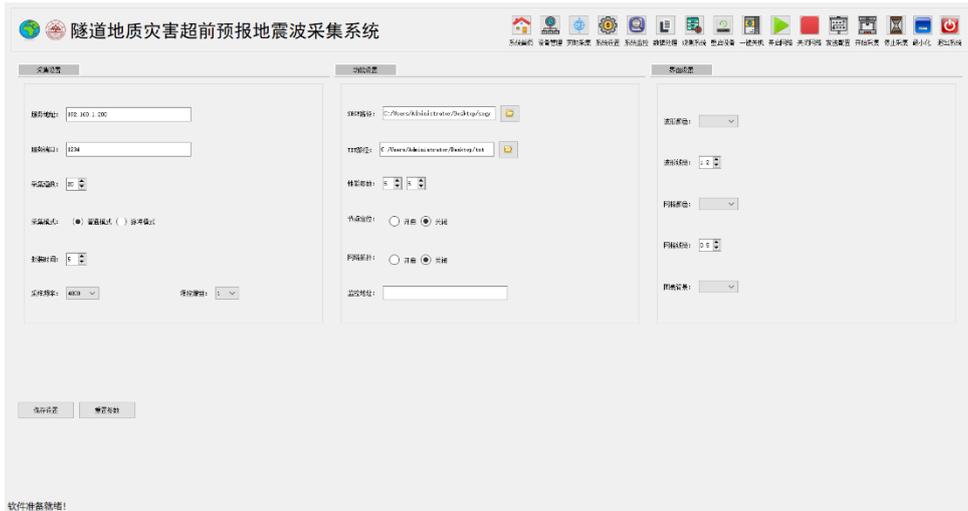


图 4 现场编辑模块

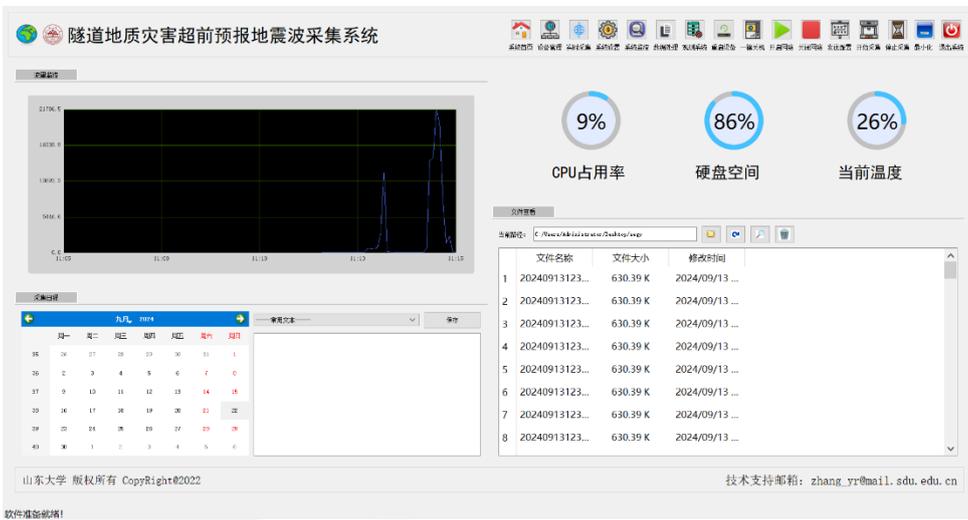


图 5 无线传输与控制模块

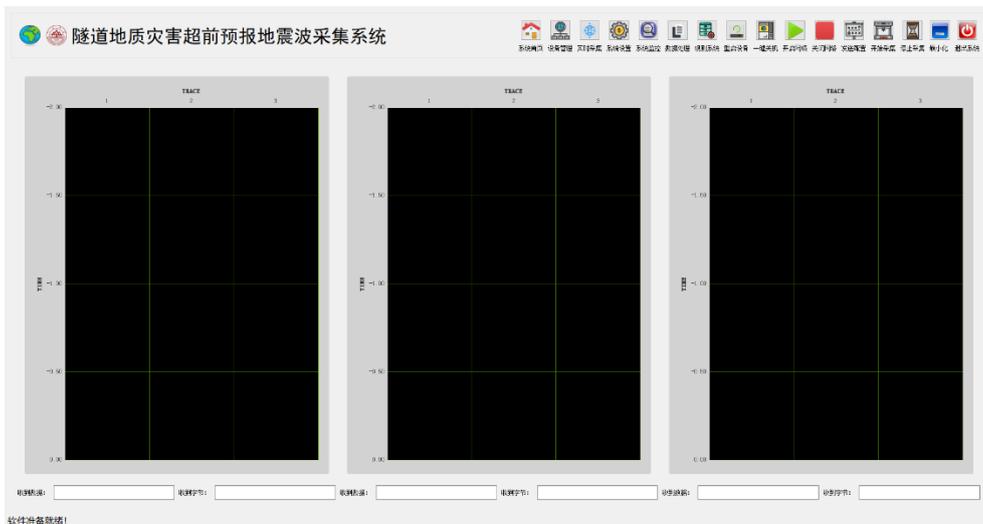


图 6 数据采集模块

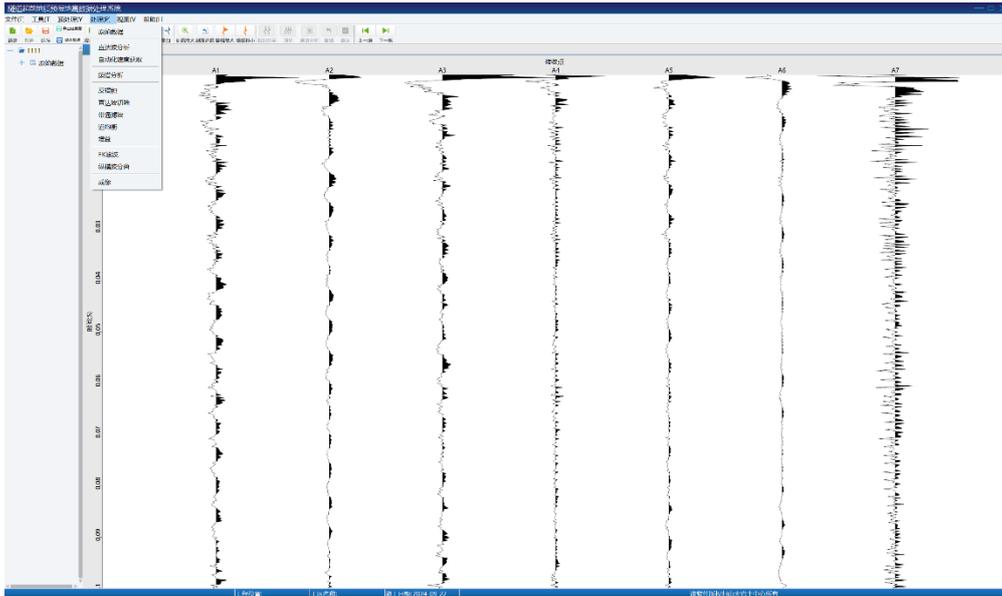


图 7 数据处理模块

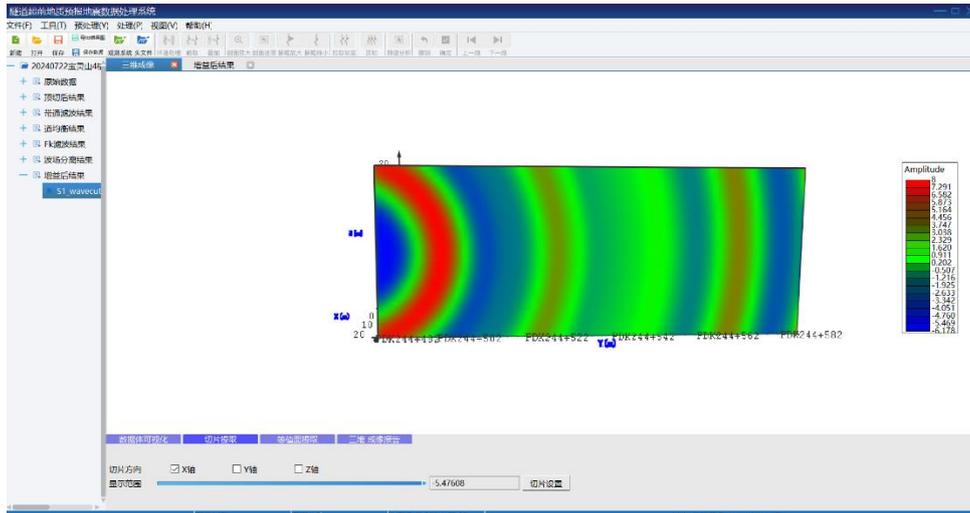


图 8 视图与解释模块

5 预报实施

5.0.5 应根据隧道现场环境及凿岩台车施工时使用的钻臂具体数量选择检波器布置数量及位置，原则上边墙检波器布置间距应不小于 1.5m，先导检波器应在保证不损坏设备的前提下尽量靠近钻臂前端进行安装，以便接收到清晰的随钻震源信号。

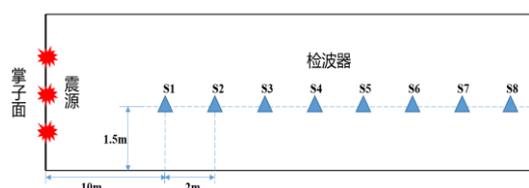


图 9 观测系统布设方案



图 10 现场观测系统布设

5.0.7 应根据隧道洞壁具体环境及检波器规格确定检波器耦合方式，例如：

1. 当检波器规格为圆柱形时，应在边墙打孔并将检波器放置其中，使用速干水泥等耦合剂填满孔中孔隙，使检波器有效耦合；
2. 当检波器规格为方形且隧道洞壁无渗水时，使用速干水泥等耦合剂将检波器粘贴于隧道洞壁上，使检波器与边墙耦合；
3. 当检波器规格为方形且隧道洞壁有渗水时，应使用膨胀螺栓将检波器固定于边墙上。

5.0.9 应在数据采集之前进行超前地质预报软件地震道一致性检验，对采集的地震数据记录中各道相位、频率、振幅等信息进行核验，并对异常值进行校正。

5.0.11 每次数据采集后，应对采集的数据进行检验，当符合以下情况时，为不合格数据：

1. 当地震波数据记录中某道数据发生偏移，则判定为不合格数据；
2. 当地震波数据记录中一道或多道数据缺失，则判定为不合格数据；
3. 当地震波数据记录中一道或多道振幅异常，则判定为不合格数据。

6 数据处理与解释

6.0.3 随钻震源数据处理应用参考如下:

1. 凿岩台车随钻震源信号由于是凿岩台车钻臂连续冲击、回转产生的, 该信号具有连续、随机、非平稳的特点, 应对随钻震源信号进行频谱分析, 确定其有效信息与噪音干扰所在的频段范围。在实际频谱分析处理过程中, 可通过傅里叶变换获取随钻震源频率域特征, 小波域变换获取随钻震源时频域特征, 进而总结随钻震源信号时域、频域特征。

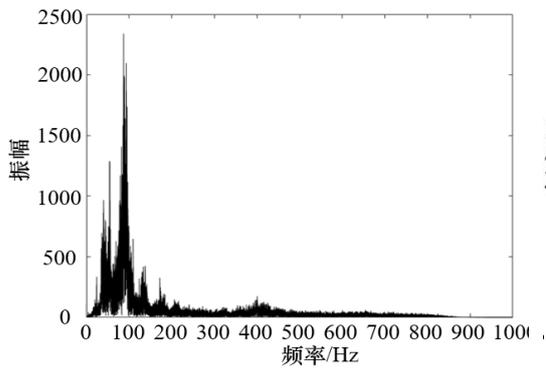


图 11 傅里叶变换频谱图

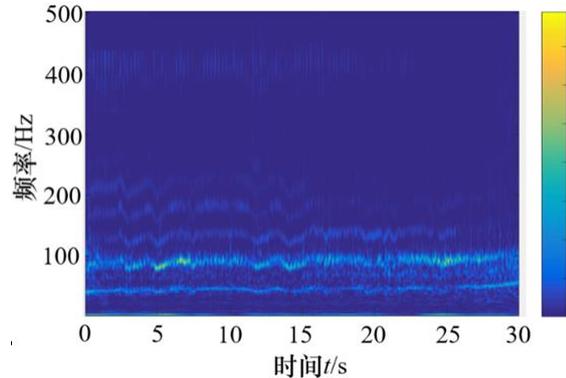


图 12 小波变换频谱图

2. 在凿岩台车钻孔施工过程中, 由于隧道环境的复杂性及随钻震源连续激发的特点, 在信号中不可避免地会引入各种噪音干扰, 这些干扰会对后续的数据处理及不良地质成像带来较大影响, 因此必须去除信号中不相干的噪音。首先对随钻震源进行 $f-k$ 变换, 这是一种广泛用于频域分析的方法, 通过 $f-k$ 变换, 能够进行大范围的频谱滤波, 这有助于滤除随钻震源地震记录中的高低频噪声成分, 接下来, 利用 $r-p$ 方法进行精细化滤波, 这一步骤的关键是根据不同波到达的先后顺序来进行滤波, 从而进一步消除了散射波、转换波等干扰波的影响, $r-p$ 方法在滤波过程中考虑了波的传播路径和到达时刻, 因此也能够更准确地分离出纵波和横波成分, 最终得到了去除噪音干扰并包含纵横波信息的随钻震源地震记录。

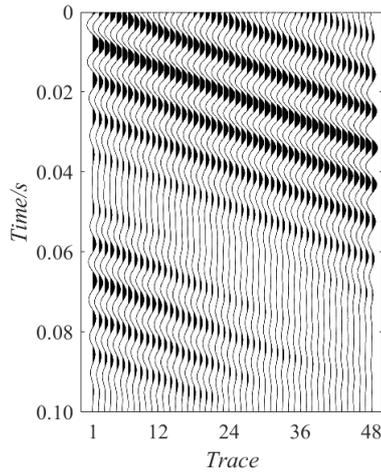


图 13 随钻震源原始地震记录

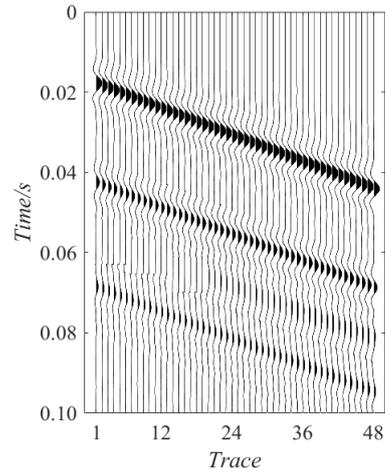


图 14 随钻震源去噪地震记录

3. 在凿岩台车随钻震源超前地质预报中，主要通过地震波传播过程中遇到的不良地质体产生的反射波进行处理，获得掌子面前方不良地质体的位置信息，即反射波信号为随钻震源信号中的有效信息。然而，由于随钻震源连续激发的特点，其反射波有效信息被直达波与噪音干扰淹没，因此，必须对随钻震源进行重构处理，提取反射波有效信息。通过互相关算法不仅可以随钻震源与边墙检波器信号转化为等效脉冲信号，也可以求取随钻震源信号与边墙检波器接收信号之间的格林函数，进而提取两个信号中相似的反射波成分，实现反射波有效信息重构。

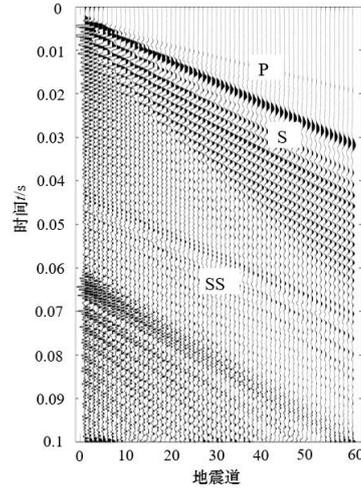
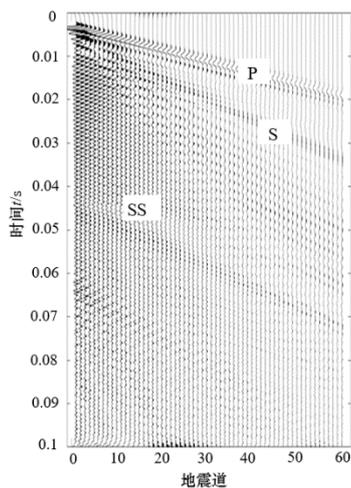


图 15 随钻震源反射波重构地震记录

4. 在随钻震源地震记录经过互相关处理后，反射波信息得到了有效提取，然而，互相关处理同时会提取直达波、相干噪音干扰等相关成分，导致反射波有效信号在地震记录中仍难以分辨，因此应对随钻震源重构地震记录进行增益

处理。结合希尔伯特-谱白化算法与自适应模态分解算法，通过设计改进白化滤波器，来实现反射波有效信号的逐段增益效果，从而增强反射波信号。

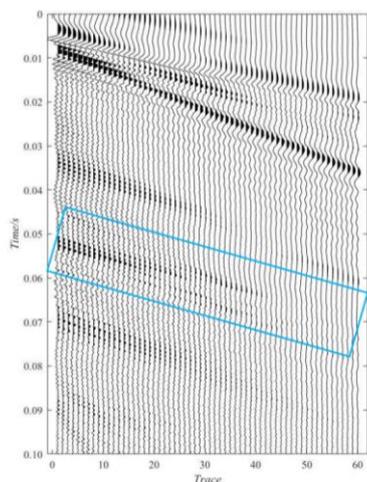


图 16 未谱白化处理地震记录

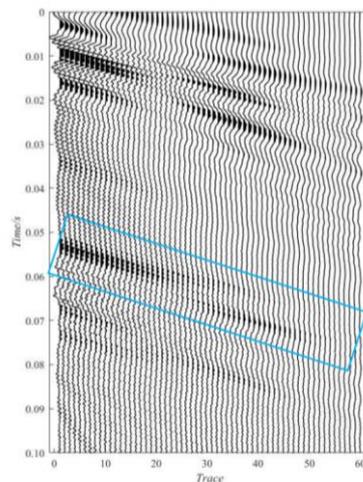


图 17 谱白化处理后地震记录

6.0.4 经降噪、重构处理后的随钻震源信号中的有效反射信息已经能够准确识别，但依据随钻震源重构地震记录无法对掌子面前方不良地质体进行判断，应对地震记录进行可视化处理。可选用绕射叠加偏移、克希霍夫偏移、逆时偏移等成像方法对随钻震源地震数据进行处理，构建掌子面前方不良地质体探测成像信息，便于后续不良地质体的判断与识别。

7 检收和验收

7.0.2 在采集凿岩台车钻臂敲击地震波信号时，由于敲击震源信号相较于随钻震源信号干扰较少，因此，原始地震记录中不应出现强烈的噪音干扰，且地震记录中的反射波同相轴清晰可见。

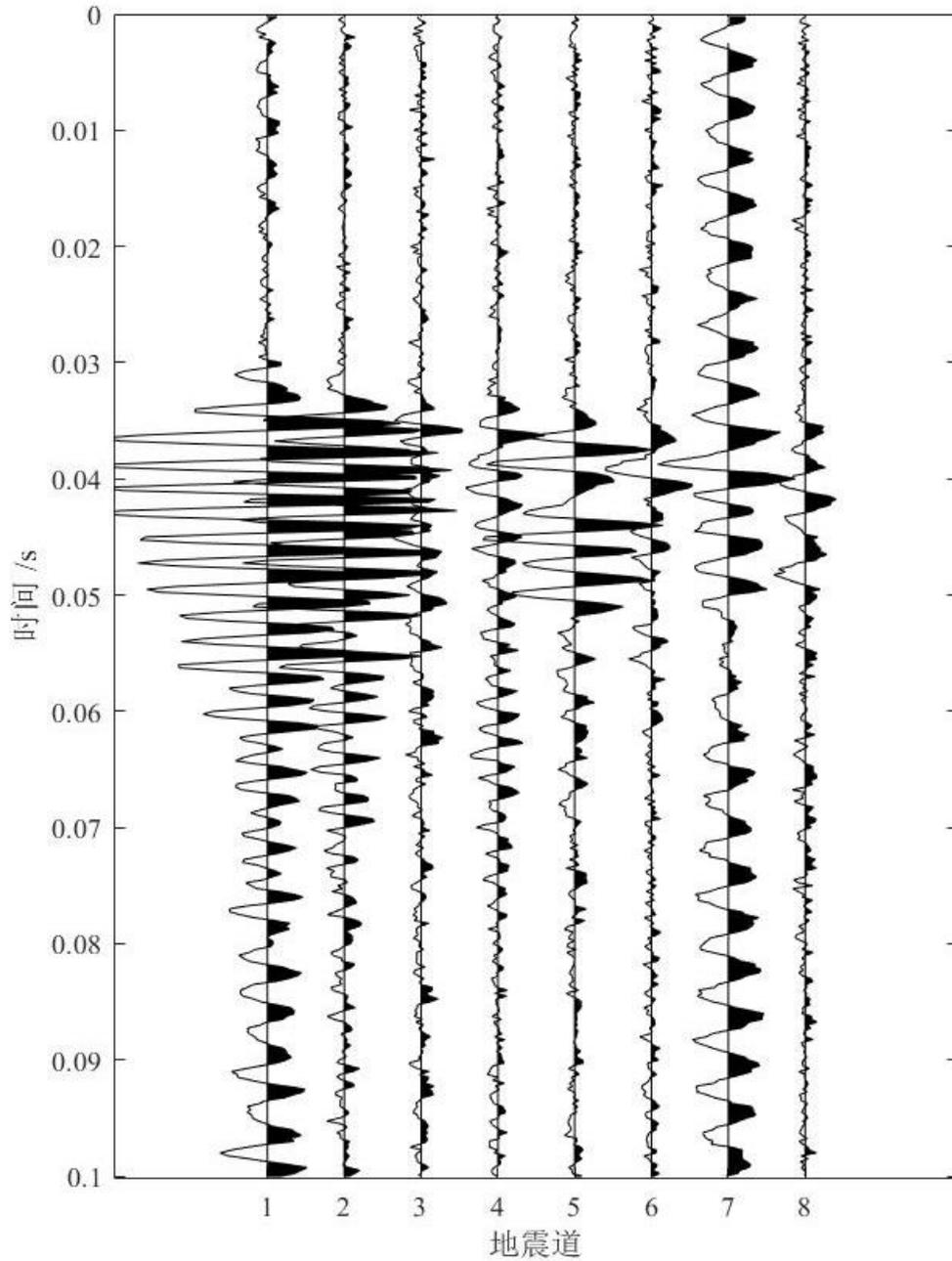


图 18 钻臂敲击地震记录