

团 体 标 准

T/CGS XXXXX—XXXX

隧道全断面岩石掘进机施工 超前地质预报技术规程

Code for geological forward-prospecting in tunnels
using full face rock tunnel boring machines

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国地球物理学会 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 基本规定	2
5 超前地质预报设计与实施	4
6 地质分析法	6
6.1 一般规定	6
6.2 地质调查法	6
6.3 超前地质钻探法	7
6.4 超前导洞法	7
7 物探法	8
7.1 一般规定	8
7.2 地震波法	8
7.3 电法	10
7.4 电磁波反射法	11
8 综合超前地质预报法	13
附 录 A（资料性附录） TBM 隧道地质描述记录	14
附 录 B（资料性附录） 超前地质预报钻探施工记录表	16
附 录 C（资料性附录） 钻孔柱状图	17
附 录 D（资料性附录） 地震波法观测系统示意图	18
附 录 E（资料性附录） 电法观测系统示意图	19
附 录 F（资料性附录） 电磁波反射法观测系统示意图	20

前 言

本标准参考GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由中国地球物理学会提出并归口。

本标准主要起草单位：山东大学、长安大学、长江地球物理探测（武汉）有限公司、中国科学院地质与地球物理研究所、中铁工程装备集团有限公司、中国矿业大学（北京）、北京同度工程物探技术有限公司、山东省煤田地质规划勘察研究院、中铁隧道集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁西南科学研究院有限公司、中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司、中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司、山东正元地球物理信息技术有限公司、山东智岩探测科技有限公司

本标准主要起草人：李术才、刘 斌、李 貅、张建清、薛国强、李建斌、王杜娟、朱国维、赵永贵、王怀洪、薛景沛、李立民、丁建芳、张 伟、肖长安、张善法、聂利超、许振浩、许新骥

隧道全断面岩石掘进机施工超前地质预报技术规程

1 范围

本标准规定了隧道全断面岩石掘进机（Full Face Hard Rock Tunnel Boring Machine, TBM）施工超前地质预报工作的目的和任务、基本原则、设计、实施及技术要求。

本标准适用于TBM施工中的超前地质预报工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 34354-2017 全断面隧道掘进机 术语和商业规格

3 术语和定义

3.1 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。

3.2 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。

3.3 综合超前地质预报 *integrated geological forward-prospecting*

根据被探测对象的地质特点，采取两种或两种以上有效的预报方法进行综合探测，以提高预报成果的准确性和可靠性。

3.4 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。

3.5 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。

3.6 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。

3.7 超前导洞法 *advance heading method*

与正洞平行或近似平行开挖一条超前导洞，根据导洞所揭示的地质情况，推测正洞掘进面前方一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

3.8 物探法 geophysical prospecting method

根据探测对象与周围介质之间的物性差异，借助仪器对天然场或人工场的分布与变化进行观测，通过对观测数据的综合分析研究，对探测区的地质情况进行推断、解释的勘探方法。

3.9 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。

3.10 电法 electrical prospecting method

利用探测对象与周围介质之间的电磁性质差异，通过观测天然存在的或由人工建立的电场、电磁场分布，研究地质构造、寻找有用矿产资源，解决工程、环境、灾害等地质问题的物探方法。

3.11 电阻率法 resistivity method

利用探测对象与周围介质之间的导电性差异，通过观测和研究人工建立的电流场（稳定电场或交变电场）分布规律，进行找矿和解决地质问题的一组电法分支方法。

3.12 激发极化法 induced polarization method (IP)

利用探测对象与周围介质之间的激电效应差异，通过观测和研究人工建立的直流（时间域）或交流（频率域）激电场分布规律，进行找矿和解决地质问题的一组电法勘探分支方法。

3.13 电磁波反射法 electromagnetic wave reflection method

利用探测对象与周围介质之间的介电常数差异，通过观测和研究电磁波传播规律，推测探测对象地质情况的物探方法。

4 基本规定

4.1 TBM 隧道超前地质预报的目的应包括：

- a) 进一步探查 TBM 掘进面前方一定范围内的工程地质和水文地质情况；
- b) 为优化工程设计、TBM 施工安全控制、降低 TBM 隧道地质灾害及事故发生风险提供参考依据；
- c) 为编制竣工文件提供资料。

4.2 TBM 隧道超前地质预报的内容应包括：

- a) 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；
- b) 断层破碎带、岩溶、人为坑洞等的位置、规模和充填性质等；
- c) 地下水预报，包括掘进面前方一定范围内的孔隙水、裂隙水和岩溶水分类及其赋存特征，特别是断层富水特征、岩溶和人为坑洞充水充泥情况、地层富水特征等；
- d) 其他相关预报工作。

4.3 在 TBM 隧道超前地质预报工作中，建设、勘察、设计、施工、监理等参建单位应分工明确、落实责任、相互配合，做到信息传递顺畅、反馈及时、决策迅速、处理得当。

4.4 TBM 隧道超前地质预报工作宜按图 1 所示流程实施。

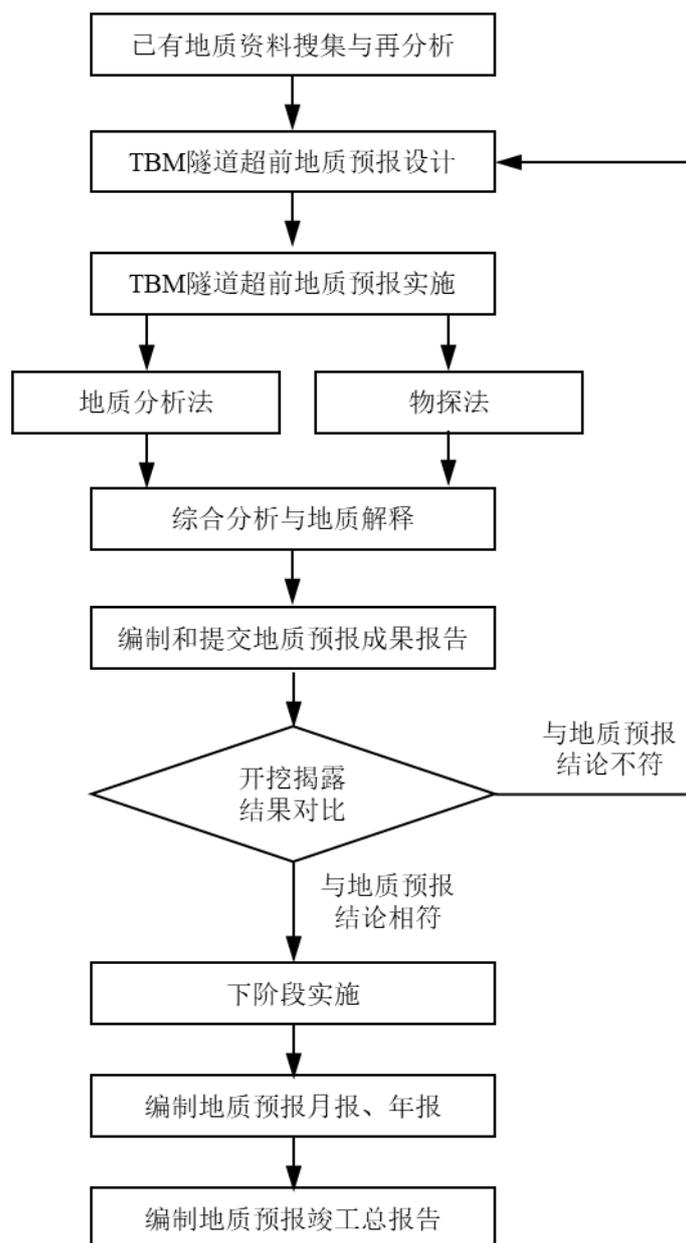


图1 TBM 隧道超前地质预报工作流程图

4.5 TBM 隧道超前地质预报前应了解隧道沿线地区的地质情况，分析和掌握存在的主要工程和地质水文地质问题、主要地质灾害隐患及其分布范围等。

4.6 TBM 隧道超前地质预报前可根据地质条件、工程复杂程度和实际需要等确定 TBM 施工的高风险段落，初步判断 TBM 隧道施工面临的地质风险，结合 TBM 隧道施工环境、各预报方法特点等因素，确定满足 TBM 现场要求的预报方法。

4.7 TBM 隧道超前地质预报仪器应满足以下要求：

- a) 仪器及其附件应性能稳定、构件牢固可靠，并适应 TBM 隧道施工环境；
- b) 应妥善管理仪器，按规定进行检查、标定和保养，建立维保台账，确保仪器工作状态正常；
- c) 应采取适当措施消减 TBM 环境对探测的干扰；
- d) 应在探测前对仪器进行检查调试。

4.8 TBM 隧道超前地质预报仪器可分为搭载式和非搭载式两种类型，并应满足下列要求：

- a) 宜优先选择搭载式超前地质预报仪器；
- b) 搭载设计应列入 TBM 装备设计统筹考虑，不应影响 TBM 正常工作性能；
- c) 搭载式超前地质预报仪器应与 TBM 集成，实现自动化数据采集。

4.9 TBM 隧道超前地质预报工作应建立质量保证体系，实行全过程质量控制并符合安全环保的相关要求。

5 超前地质预报设计与实施

5.1 TBM 隧道超前地质预报的设计原则：

- a) 应根据已有的工程和水文地质资料及 TBM 施工现场环境条件进行相应的超前地质预报设计，选择的预报方法应与预报目标、实际条件相适应；
- b) 应遵循动态设计原则，当 TBM 施工作业环境发生变化，或地质条件与原设计不符，或预报结果与实际开挖揭示不一致时，应相应调整设计方案。

5.2 TBM 隧道超前地质预报的设计方法：

5.2.1 TBM 隧道超前地质预报可采用地质分析法、物探法等，各预报方法包括下列内容：

- a) 地质分析法：包括地质调查法、超前地质钻探法、超前平行导洞法等；
- b) 物探法：包括地震波法、电法、电磁波反射法等。

5.2.2 物探法应根据施工进度和预报方法特点采用长距离预报或短距离预报，预报长度的划分和预报方法的选择应符合下列规定：

- a) 长距离预报：一次预报掘进面前方不少于 80m 的范围，可采用地震波法、电磁波反射法等；
- b) 短距离预报：一次预报掘进面前方不大于 30m 的范围，可采用电法等。

5.3 TBM 隧道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：

- a) 工程概况、工程和水文地质条件，高风险段落划分及可能存在的灾害形式；
- b) 超前地质预报目的与任务、设计原则以及准备工作；
- c) TBM 类型、探测作业空间、施工工序等说明；
- d) 搭载式超前地质预报仪器的针对性设计；
- e) 物探法现场试验方案，包括观测系统与仪器参数试验、干扰信号调查方法等；
- f) TBM 隧道超前地质预报方案，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；
- g) 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；
- h) 预报的施工组织设计，包括组织机构、设备人员投入、工作量、现场工作安排、进度、质量控制、协作机制等；
- i) 成果资料编制的内容与要求、成果报告提交的时限与方式等；
- j) 安全操作流程及应急预案，环境保护措施；
- k) 其他需要说明的问题。

5.4 TBM 隧道超前地质预报的实施包括现场试验、数据采集、数据处理与解释、报告编制等内容，应符合下列规定：

5.4.1 物探法现场试验应符合下列要求：

5.4.1.1 应利用有条件的段落进行现场试验，并包含以下内容：

- a) 通过调整观测系统、仪器参数、与施工工序的配合等，使物探法探测效果较好；
- b) 根据使用的物探方法，开展针对性的 TBM 隧道电磁干扰、振动干扰等方面的调查研究，提出改进措施和建议；
- c) 应在设计方案与实施细则中体现现场试验成果，给出该工程物探法一般情况下可选用的观测系统、仪器参数、干扰控制措施等。

5.4.1.2 在超前地质预报工作中，遇到探测环境明显改变或现场数据质量明显下降时，应做补充试验，找出原因并调整工作方法，使数据质量得到改善。

5.4.2 预报数据采集工作应符合下列要求：

- a) 预报方法应与 TBM 工序相配合，尽量不影响 TBM 正常掘进，其信号激发和接收应在现场干扰水平较低、信号相对稳定的条件下进行；
- b) 应按照设计方案及实施细则确定的观测系统、仪器参数、干扰控制措施等；
- c) 应正确操作和使用各种探测仪器；
- d) 应在现场检查数据记录情况，如不符合要求，应查明原因并及时重测；
- e) 预报工作期间的现场情况、仪器参数、数据文件等原始记录应完整齐备、数据真实，原始记录应进行备份。

5.4.3 预报数据处理与解释应符合以下要求：

- a) 检查并整理原始记录与测试数据；
- b) 剔除不合格的数据；
- c) 根据预报方法的不同，选择合适处理手段降低干扰；
- d) 结合已知资料，在分析各项预报成果的基础上进行综合解释；
- e) 成果图绘制宜包括曲线图、剖面图、平面图、三维图等，同一工程的同类图件宜采用相同比例尺及统一色标。

5.4.4 报告编制应符合以下要求：

- a) 宜编制单次预报成果报告、超前地质预报与开挖结果对比报告、月报、年报、竣工总报告；
- b) 应及时出具预报报告并提交给有关各方；
- c) 单次预报成果报告内容宜包括：
 - 1) 工程概况，预报时掘进面的里程，已开挖段落的工程地质和水文地质条件。
 - 2) 超前地质预报方法及仪器，观测系统与参数设置、环境干扰情况。
 - 3) 预报成果和分析。
 - 4) 预报结论及建议。
- d) 应对 TBM 掘进情况进行跟踪，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；
- e) 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、预报成果与开挖揭示对比情况、下一步的预报建议等方面内容；
- f) TBM 隧道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) 预报方法原理、现场实施、质量控制情况；
 - 4) 统计各预报方法实际工作量；
 - 5) 预报与开挖揭示对比情况；

- 6) 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；
- 7) 其他。
- g) 超前地质预报报告应经校核和审查批准后才能提交，并按有关规定进行归档。

6 地质分析法

6.1 一般规定

6.1.1 地质分析法应包括下列工作内容：

- a) 收集和分析地质资料；
- b) 开展地表与洞内补充地质工作；
- c) 推测施工中掘进面前方一定范围内的工程和水文地质条件以及可能遇到的不良地质及地质灾害等，并给出建议。

6.1.2 地质分析法工作原则应符合下列要求：

- a) 在搜集分析已有地质资料的基础上，实施全过程地质调查法，开展隧道内全过程地质编录，必要时开展地表补充地质调查；
- b) 在地质条件复杂和重点预报段落，宜搭配使用超前地质钻探法。

6.2 地质调查法

6.2.1 地质调查法主要根据已知的工程和水文地质条件，通过地质作图和趋势分析等推测掘进面前方一定范围内可能揭示的地质情况。

6.2.2 地表补充地质调查法应包括下列工作内容：

- a) 收集、熟悉、核查和分析已有地质资料，包括隧道沿线地区的地形地貌特征，地层岩性、出露与接触关系，断层、褶皱、节理等地质构造的出露位置、性质、规模与发育规律，地表水系，地下水类型和发育规律及其出露位置和水量大小，不良地质体位置、性质、规模和可能造成的灾害等资料；
- b) 补充调查 TBM 掘进路线的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、不良地质体等；
- c) 复核超前地质预报重点段落，并提出超前地质预报建议。

6.2.3 隧道内地质编录应包括下列工作内容：

- a) 描述分析掘进过程中所揭示的地层岩性、地质构造、水文地质条件、不良地质体、围岩稳定性特征，对施工与支护措施提出具体的建议；
- b) 编制 TBM 隧道地质描述记录表和绘制 TBM 隧道地质展视图（参见附录 A），记录遇到的工程与水文地质条件，不良地质体的出露位置、性质和规模，围岩级别，支护类型变更位置和长度，地质灾害发生的里程、位置、性质和规模等；
- c) 在地质条件复杂段落，宜开展采样工作，记录采样位置、采样类别、采样方式、保存方式、采样时间、采样人等信息，并进行室内判别或实验室测试，判别隧道洞身围岩的岩性组合特征、风化程度，以及不良地质体的性质、结构特征等；
- d) 应对隧道内的不良地质体进行摄影或拍照，并记录不良地质体在隧道内的具体位置等。
- e) 应记录 TBM 掘进参数，包括推进速度、推进力、扭矩、刀盘转速、岩碴特征等。

6.2.4 地质调查法应符合下列技术要求：

- a) 宜在实施物探法超前地质预报前开展地表补充地质调查，并根据需要在 TBM 隧道超前地质预报实施过程中随时补充，做好现场记录，并及时整理；
- b) 应现场记录 TBM 隧道地质描述记录表，现场绘制 TBM 隧道地质展视图（参见附录 A）；
- c) 应将补充地质调查成果、洞壁地质素描记录表和隧道地质展视图及时整理并反映在隧道工程地质平面及纵断面图上。

6.2.5 当 TBM 掘进线路通过地段存在断层破碎带、岩溶、高磨蚀性硬岩、高地温、有害气体、放射性物质、突水突泥等不良地质体或灾害中的一种或几种时，应对其进行专门分析研究。

6.3 超前地质钻探法

6.3.1 超前地质钻探法主要通过钻孔编录、钻进参数分析等揭示和推测掘进面前方一定范围内工程和水文地质条件及可能发生的地质灾害。

6.3.2 TBM 宜预留安装钻机的空间和位置，并配备或集成超前钻机，一般采用冲击钻开展超前地质钻探。

6.3.3 超前钻机宜安装在掘进机刀盘后部，有条件时，可预留垂直掌子面的钻机安装空间和位置。

6.3.4 超前地质钻探法应符合下列技术要求：

- a) 应动态控制和管理钻探过程，根据钻探情况可适当调整钻孔位置和深度；
- b) 地质条件复杂时，宜增加钻孔数量与钻探深度，并选用满足钻探取芯和孔内测试的钻孔直径；
- c) 应控制钻进方向与钻孔偏移量；
- d) 应做好钻孔编录、钻进参数记录与分析；
- e) 在富水地段进行超前钻探时应采取突水突泥防范措施。

6.3.5 超前钻探法应编制探测报告，报告内容包括工程概况、钻孔布置图、超前地质预报钻探施工记录表（参见附录 B）、钻孔柱状图（参见附录 C）、钻探结果与预报结论等。

6.4 超前导洞法

6.4.1 超前导洞法是在对导洞揭示的地质情况进行地质编录、素描、作图的基础上，综合分析其地层岩性、地质构造、水文地质条件、不良地质体等，推测隧道正洞的工程和水文地质条件，以及可能发生的地质灾害。

6.4.2 超前导洞法宜在地质条件复杂和施工风险高时选用。

6.4.3 超前导洞法应包括下列工作内容：

- a) 收集、熟悉、核查和分析已有地质资料；
- b) 开展导洞内地质编录工作；
- c) 可在导洞超前段落中采用物探法对正洞待掘进段落进行探测；
- d) 推测正洞掘进过程中的地层岩性、地质构造位置、性质和规模，水文地质条件，不良地质体位置、性质和规模及可能造成的地质灾害等；
- e) 提出正洞超前地质预报与施工建议。

6.4.4 超前导洞法应编制预测正洞地质情况的超前地质预报报告，并应符合下列要求：

- a) 应包括导洞地质分析结果；
- b) 宜包括导洞物探法超前地质预报结果；
- c) 宜包括导洞超前地质钻探法探测结果；

d) 应包括超前导洞预测正洞地质情况的超前地质预报结论。

6.4.5 导洞竣工时应编制导洞工程地质纵断面图,包括地层岩性,地质构造,各类不良地质体出露位置、性质和规模,涌突水位置、涌突水流量、涌突水压力等。

7 物探法

7.1 一般规定

7.1.1 物探法应具备下列前提条件:

- a) 被探测对象与其周围介质存在明显的物性差异;
- b) 被探测对象具有一定规模,能产生可被观测的地球物理异常;
- c) 存在外界干扰时,被探测对象的响应能够从干扰背景中区分出来。

7.1.2 物探法工作应符合下列要求:

- a) 应收集和利用已有工程和水文地质、物探、TBM 掘进参数、岩碴、隧道设计等资料;
- b) 应在了解现场工作环境的基础上开展现场试验,选用合适有效的物探方法和采集参数;
- c) 当隧道地质条件复杂时,应根据被探测对象的物性特征开展综合超前地质预报,并对预报结果进行综合分析解释。

7.1.3 物探法现场工作应按设计方案开展,操作步骤规范,原始记录完整真实,并及时处理预报数据、按任务要求提交成果报告。

7.2 地震波法

7.2.1 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。

7.2.2 地震波法连续预报时,前后两次预报范围应搭接 10m 以上,每次预报距离应符合下列规定:

- a) 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 120 m 左右,不宜超过 150 m;
- b) 在软弱破碎地层,一般每次预报距离应在 80 m 左右,不宜超过 100 m。

7.2.3 TBM 搭载式地震超前地质预报仪器除应符合 4.7 和 4.8 的规定外,还应符合以下规定:

7.2.3.1 仪器性能应符合下列规定:

- a) 宜使用多道数字地震仪,通道数不宜小于 10 通道;
- b) A/D 转换器不宜低于 24bit;
- c) 动态范围不宜低于 100dB;
- d) 仪器采样率可调,最小采样间隔不应大于 50 μ s;
- e) 每道地震记录长度不应小于 1024 点。

7.2.3.2 TBM 搭载式地震超前地质预报仪器还应符合下列要求:

- a) 应考虑 TBM 类型、结构、尺寸等特点,针对性的设计仪器搭载方案;
- b) 宜使用搭载于 TBM 的机械震源(如液压、气动、超磁等),震源应具备足够的激震能量,且操作方便、重复性好。

7.2.4 地震波法观测系统布置应符合下列规定:

- a) 应根据 TBM 结构及现场施工情况，设计合适的观测系统，确定检波器和震源点位置；
- b) 观测系统宜布置在掘进面后方约 10m~70m 范围内的隧道轮廓上，条件允许时应优先采用震源和检波器在隧道轴向、水平和竖直三个方向上均具有一定间距的布置形式；
- c) 观测系统可采用多点激发、多点接收，一点激发、多点接收，多点激发、一点接收的方式；
- d) 观测系统可采用震源在前、检波器在后或震源在后、检波器在前的布置形式（参见附录 D）；
- e) TBM 隧道地质条件复杂时，观测系统设计不受附录 D 的限制，可视具体情况设计。

7.2.5 现场试验与数据采集应符合下列规定：

7.2.5.1 当利用 TBM 停机时间进行数据采集时，应关闭钻机等设备，尽可能减少隧道内其他震源产生的干扰。

7.2.5.2 数据采集前，应开展现场试验，对 TBM 环境噪声的强度、频率和噪声源分布等进行测试，并根据现场情况和预报需要，选择合适的震源及仪器参数。

7.2.5.3 数据采集前，应进行地震道一致性校验。

7.2.5.4 应根据设计的观测系统，确定所有检波器点和震源点的位置，做出相应的标识并准确测量其坐标。

7.2.5.5 检波器安装应符合下列要求：

- a) 各道检波器的安装条件应一致，且与岩体有效耦合；
- b) 三分量检波器的 X、Y、Z 方向应与预报设计及实施细则中规定的方向一致。

7.2.5.6 采用 TBM 搭载的机械震源激震时应符合下列要求：

- a) 应根据现场情况、现场试验和预报需要，选择合适的激震能量；
- b) 冲击方向应与岩面保持垂直；
- c) 各个震源应按照先后顺序依次激震，在同一个震源点处可重复激震并进行信号叠加；
- d) 激震完成后应及时收回震源，避免影响 TBM 正常工作。

7.2.5.7 在每次激震后，应显示所记录的地震道，据此对地震记录的质量进行控制。

- a) 可根据信号能量检查信号是否过强或过弱，以适当调整震源激震能量；
- b) 可根据初至波信号特性，对信号波形进行质量控制；
- c) 应根据记录特征，分析存在的噪声干扰，必要时应采取干扰源控制措施；
- d) 对质量不合格的地震记录，应重新激震。

7.2.6 现场采集数据的质量检查与评价应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 当利用 TBM 停机时间进行数据采集时，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。

7.2.7 资料处理、分析与解释应符合下列要求：

- a) 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；
- b) 应准确输入现场采集参数，包括 TBM 隧道的几何尺寸、掘进面里程、检波器和震源点坐标等；
- c) 应剔除不合格的地震道；
- d) 可根据预报距离选择合适的的数据长度，并将初至到达前的信号进行归零处理；

- e) 应对信号进行频谱分析，确定主频范围，并采用带通滤波等方法滤除噪声干扰，采用倾角滤波、 τ - p 变换滤波等处理方法，提取反射波；
- f) 可根据初至波到达时间计算直达波速度；
- g) 可采用走时层析成像、全波形反演、速度扫描等方式进行岩体波速计算；
- h) 可根据需要选用绕射叠加偏移、克希霍夫偏移、逆时偏移等偏移成像方法实现地质构造图像重建；
- i) 可利用掘进面前方岩体波速，结合 TBM 掘进参数等，评价隧道围岩坚硬程度、完整程度等；
- j) 预报结果的分析解释应结合地质资料等进行综合分析，推断掘进面前方一定范围内地质情况，判断断层破碎带等不良地质体的规模和位置等。

7.2.8 利用 TBM 掘进破岩振动作为震源进行超前地质预报应符合下列要求：

- a) 利用 TBM 掘进破岩振动作为震源的地震超前地质预报仪器，除满足 4.7 和 4.8 的规定外，采集主机还应具有长时间连续采集功能；
- b) 观测系统应根据 TBM 结构及现场条件布置，应在 TBM 刀盘后方或附近围岩中安装 1 个或多个先导（参考）传感器（简称先导传感器），宜在护盾上或掘进面后方围岩内布置接收传感器；
- c) 现场数据采集应符合以下要求：
 - 1) 在 TBM 掘进过程中进行超前地质预报；
 - 2) 根据设计的观测系统，布置先导传感器和接收传感器，并记录其坐标位置；
 - 3) 现场应记录采集开始与结束时的 TBM 掘进面里程，并做好 TBM 掘进停机时间、岩碴、掘进参数等情况的记录。

7.2.9 TBM 掘进破岩振动作为震源的超前地质预报数据处理，应符合以下要求：

- a) 按照探测所需时间长度将先导传感器与接收传感器信号进行分段；
- b) 将分段后的先导传感器和接收传感器信号分别做互相关处理，再进行叠加，得到转化后的标准地震记录；
- c) 采用 7.2.7 所述方法进行处理与地质解释。

7.3 电法

7.3.1 电法探测可用于探查隧道掘进面前方富水异常等地质情况，工作时应根据工作条件和探测要求选用电阻率法或激发极化等方法，其探测对象应具有可被探测规模，且与周围介质间应存在明显的电性差异。

7.3.2 电阻率法和激发极化法预报距离应符合下列规定：

- a) 每次预报距离不宜大于 30m；
- b) 连续预报时前后两次预报范围的搭接长度应不小于 5m；
- c) 隧道地质条件复杂时，相邻两次预报范围的搭接长度应不小于 10m。

7.3.3 用于 TBM 超前地质预报的电阻率法和激发极化法的仪器除应符合 4.7 和 4.8 的规定外，还应满足下列规定：

7.3.3.1 仪器性能应符合下列规定：

- a) 测量电流分辨率不应低于 0.1mA；
- b) 测量电压分辨率不应低于 0.1mV；
- c) 视极化率测量分辨率应达到 0.1%；
- d) 输入阻抗不应小于 20 M Ω ；

- e) 应具有良好的噪声抑制性能，对 50Hz 工频干扰抑制应大于 40dB。

7.3.3.2 用于 TBM 超前地质预报的电极应符合下列要求：

- a) 电阻率法和激发极化法电极宜选用柔性接触电极；
- b) 电极应与 TBM 绝缘；
- c) 激发极化法的测量电极应选用不极化电极。

7.3.3.3 对于 TBM 搭载式电法超前地质预报仪器，应根据 TBM 型式，在 TBM 刀盘和护盾设计开孔并安装电极，开孔孔径应大于电极直径。

7.3.4 TBM 隧道超前地质预报电阻率法和激发极化法的观测系统应符合以下规定：

- a) 同极性供电电极应布置在 TBM 刀盘、护盾及后方边墙等位置，同极性供电电极的数量、布置位置等应满足探测距离的需要；
- b) 测量电极应布置在 TBM 刀盘，应在刀盘上尽量均匀分布，电极数量应满足数据处理的需要；
- c) 无穷远电极 B 和无穷远电极 N 应布置在掘进面后方，电极 B、电极 N 与掘进面的距离都应不小于 20 倍的供电电极 A 与测量电极 M 之间的距离。

7.3.5 TBM 隧道超前地质预报电阻率法与激发极化法数据采集时应符合以下规定：

- a) 探测前应开展现场试验，查明现场干扰信号和干扰源分布情况及强度，并根据现场情况和预报需要，选择合适的仪器测量参数；
- b) 探测前应对比 TBM 进场前、后的观测数据，总结得到 TBM 对观测数据的影响特征和干扰规律；
- c) TBM 停机采集数据时，刀盘应后退与掘进面分离，宜收起撑靴，最大程度减少 TBM 对观测数据的干扰；
- d) 应检查电极与围岩的接触是否良好。对于不极化电极应检查电极极差，其绝对值不应超过 2mV；
- e) 采集区内应清除或避开附近的电磁干扰源；当不能清除或避开时，应在记录中注明并标出位置；
- f) 坏点数据的数量不应超过全部数据的 1%，且坏点不应连续出现。

7.3.6 TBM 超前地质预报电阻率法与激发极化法数据质量应符合以下规定：

- a) 当利用 TBM 停机时间进行数据采集时，现场采集数据的质量检查应采用重复观测方式，重复观测测量不应小于总工作量的 5%；
- b) 应剔除坏点数据后进行数据质量评价，允许相对均方误差为 $\pm 5\%$ ，否则应查明原因并重新采集数据。

7.3.7 TBM 超前地质预报电阻率法与激发极化法的资料处理与解释应符合以下要求：

- a) 应根据 TBM 干扰特征的统计分析对观测数据进行预处理，降低观测数据中的 TBM 干扰；
- b) 应对电阻率法的观测数据进行反演，得到掘进面前方一定范围内的电阻率分布信息；
- c) 激发极化法探测时应应对激发极化法的电流、一次电位差等观测数据进行反演，得到掘进面前方一定范围内的电阻率分布信息，应绘制视极化率、半衰时曲线；
- d) 应综合隧道地质勘察资料、设计资料、地质分析结果、反演结果、视极化率、半衰时曲线等进行资料解释，判断隧道掘进面前方一定范围内富水情况。

7.4 电磁波反射法

7.4.1 电磁波反射法可用于探测存在明显介电常数差异的含水断层破碎带、溶洞、溶隙、暗河等地质含水体，其探测对象应具有可被探测规模。

7.4.2 电磁波反射法预报距离应符合下列规定：

- a) 每次预报距离宜为 100m 左右；
- b) 连续预报时前后两次预报范围的搭接长度不应小于 10m；
- c) 隧道地质条件复杂时，相邻两次预报范围的搭接长度不应小于 20m；

7.4.3 用于 TBM 超前地质预报的电磁波反射法仪器除应符合 4.7 和 4.8 的规定外，还应满足下列规定：

7.4.3.1 接收机性能应符合下列规定：

- a) 采样率可调，最小采样间隔不应大于 2.5ns；
- b) A/D 转换不宜低于 16bit；
- c) 通道数不少于 2；
- d) 应用电极替代天线。

7.4.3.2 发射机性能以满足下列规定：

- a) 发射信号频带不窄于 100KHZ-10MHZ；
- b) 发射电压不低于 5000V。

7.4.3.3 用于 TBM 超前地质预报的电极应与 TBM 绝缘。

7.4.4 TBM 隧道超前地质预报电磁波反射法的观测系统应符合以下规定：

- a) 接收电极和发射电极可布置在 TBM 刀盘、护盾或后方边墙围岩等位置；
- b) 可采取一发多收或组合式一发一收的采集方式；
- c) 偏移距和接收电极间距可在 5~10m 之间；
- d) 接收电极形成阵列式分布，每次预报使用的接收电极数量不应少于 4 对，以保证接收系统的方向性。

7.4.5 TBM 隧道超前地质预报电磁波反射法数据采集应满足以下规定：

- a) 根据现场条件和预报需要，选择 4~6 组接收电极阵列；
- b) 应检查电极与围岩的接触是否良好；
- c) 应采集发射电极电流和接收电极的电压；
- d) 观测系统区域内不应有较强的电磁干扰，现场作业时应清除或避开附近的电磁干扰源，当不能清除或避开时，应在记录中注明并标出位置；
- e) 应测量并记录发射与接收电极的位置坐标；
- f) 应记录掘进面的里程、隧道断面尺寸等信息；
- g) 现场应采用重复观测方式采集数据，同一接收电极位置应重复采集不小于 3 次；
- h) 异常数据应剔除，重新采集，只保存正常数据。

7.4.6 TBM 超前地质预报电磁波反射法的资料处理与解释应符合以下要求：

- a) 应根据现场记录，准确输入野外采集参数，包括隧道、电极的里程参数等；
- b) 对采集的电流、电压数据，在频域对直达波与反射波进行相干分析，根据相干频率和频谱进行偏移成像，得到掘进面前方一定范围内围岩含水性的偏移图像，及围岩电磁波速和介电常数等电磁参数；

- c) 依据含水性偏移图像，结合地震法超前预报、地质勘探资料对掌子面前方一定范围内围岩含水状况进行分级预报；
- d) 解释中应根据地质资料排除围岩中低阻金属含矿带的影响，避免误判。

8 综合超前地质预报法

8.1 对 TBM 隧道地质条件复杂和高风险段落，应进行综合超前地质预报，相互验证，提高预报准确性。

8.2 TBM 隧道综合超前地质预报应遵循下列原则：

- a) 洞外与洞内相结合、地质与物探相结合、长距离与短距离相结合的原则，提高超前地质预报成果的准确性和可靠性；
- b) 循序渐进的原则，不断总结经验，及时调整或改进预报方法。

8.3 对围岩条件变化、断层破碎带、岩溶管道、溶洞、暗河及人为坑洞等不良地质体的预报，综合超前地质预报应符合以下要求：

- a) 可根据区域地质资料、隧道工程地质平面图与纵断面图以及必要的地表补充地质调查，研究隧道沿线地区地下水分布运移规律，岩溶地区需分析岩溶发育规律；
- b) 应核查隧道地质复杂程度和超前地质预报方案；
- c) 宜采用隧道内地质素描、地质作图及断层趋势分析等手段预报断层的分布位置，根据隧道内地质素描结果，调整超前地质预报方案；
- d) 宜依次采用长、短距离超前地质预报方法，由远及近对不良地质体进行探测；
- e) 必要时进行超前地质钻探，预报断层等不良地质体的位置、性质和规模、破碎带的物质组成、地下水的发育情况等，必要时可采用孔中探测法进行补充探测；
- f) 应进行综合判断，提交综合超前地质预报成果报告。

8.4 TBM 隧道综合超前地质预报宜考虑其他辅助方法，包括岩碴分析、TBM 掘进参数分析等。

8.5 在条件允许的情况下，宜融合多种信息，进行约束反演，获得综合地质预报结果。

8.6 综合超前地质预报法数据处理与成果报告应符合以下要求：

- a) 应及时汇总整理各预报手段实施情况与预报结果，各预报手段的结果应相互补充验证，综合分析取舍后得出预报结论，并编制综合超前地质预报成果报告；
- b) 综合超前地质预报成果报告内容应包括工作概况、采用的各种预报手段及预报结果、相互印证情况、综合分析预报结论、施工措施建议及下步预报工作计划等。

附 录 A
(资料性附录)
TBM 隧道地质描述记录

附表的编制应准确反映TBM施工揭示的实际地质情况。特别是隧道施工中遇到的不良地质体的出露位置、范围，隧道围岩级别，坍塌、涌水、突水突泥等地质灾害发生的规模、位置和施工处理措施等。

表A.1 TBM 隧道地质描述记录表

项目(隧道)名称

第 页

里程桩号				岩石名称	岩石风化程度	围岩级别	层位	不良地质体	工程和水文地质描述	涌水情况		标志物采样			产状			
序号	起	止	状态							大小	名称	位置(m)	编号	倾向	倾角	走向	位置(m)	

注：长度单位：m；涌水量单位：L/s；角度单位：度

记录

日期

检查

表A.2 TBM 隧道地质展视图

隧道方位：

比例：

作图日期：

展视图	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		
设计水文地质条件		
施工揭示水文地质条件		
设计围岩分级		
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		

绘制：

复核：

附 录 B
(资料性附录)
超前地质预报钻探施工记录表

钻孔编号:

孔口位置:

掌子面里程:

终孔里程:

钻孔日期:

序号	开孔 时间	终孔 时间	钻孔深度 (m)	钻进速度 (m/min)	钻进压力 (MPa)	岩性描述	钻进情况 (冲洗液颜色、涌砂、空洞、震动, 卡钻位置, 突进里程, 冲击器声音变化, 断层、溶洞充填等情况)

操作:

技术负责:

现场监理:

记录:

复合:

附 录 C
(资料性附录)
钻孔柱状图

工程名称:

钻孔编号:

开孔时间: 终孔时间:				孔口里程:	孔口位置:		立角: 偏角:			
地 层 时 代	层 底 里 程	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图(比 例)	采样 位置	工程地质简述	出水 位置	出水量 (m ³ /h)	孔径(mm)	备注

完成单位名称:

编写:

复核:

日期:

附录 D
 (资料性附录)
 地震波法观测系统示意图

观测点	检波器/接收传感器	震源
类型	可选用三分量或单分量检波器	可选用机械震源、锤击震源、炸药震源、TBM 掘进破岩振动震源等
布置区域	震源和检波器一般安装在掘进面后方约 10m~70m 范围内。 当采用 TBM 掘进破岩振动作为震源时，接收传感器应在掘进面后方约 10m~70m 范围内，同时在刀盘后方安装先导（参考）传感器	
观测系统	示意图	
	<p>震源在前、检波器在后</p> <p>震源在后、检波器在前</p>	

附录 E
 (资料性附录)
 电法观测系统示意图

供电电极		测量电极	
电极 A	掘进面、护盾及后方边墙上布置不少于 15 个供电电极圈，每圈 4~8 个同性供电电极，应在隧道掘进面后方布置的范围不小于 80m，建议掘进面上布置 1 个电极 A0；	电极 M	测量电极的数量不少于 12 个，尽量均匀的分布在掘进面上
电极 B、电极 N	应布置在掘进面后方，电极 N 与掘进面的距离应不小于 10 倍的探测距离，电极 B 距掘进面远于电极 N，且与电极 N 的间距不小于 10 倍的探测距离。		
电极直径	Φ45mm-70mm		
观测系统	示意图		

附录 F
 (资料性附录)
 电磁波反射法观测系统示意图

