

ICS 编号
CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

水利水电工程水平定向钻探规程

**Code for horizontal directional drilling of water and
hydropower projects**

（征求意见稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

20XX-XX-X 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

前 言

按照中国水利学会团体标准编制工作安排,依据《工程建设标准编写规定》(建标〔2008〕182号)的要求,经编制组广泛调查研究,认真总结了水平定向钻探在水利水电工程勘察经验,在广泛征求意见的基础上,制定了本标准。

本标准共11章、6个附录,主要技术内容有:总则、术语、基本规定、钻孔设计、钻探设备与器具选择、钻探实施、钻孔取心取样、钻孔试验与测试、孔内事故预防和处理、质量与验收、资料整编。

本标准由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议,请寄送中国水利学会(地址:北京市西城区白广路二条16号,邮编100053),以便今后修订时参考。

本标准主编单位:长江三峡勘测研究院有限公司(武汉)

广东省水利电力勘测设计研究院有限公司

本标准参编单位:水利部水利水电规划设计总院

中山大学土木工程学院

中国地质科学院探矿工艺研究所

中水东北勘测设计研究有限责任公司

徐州徐工基础工程机械有限公司

长江岩土工程有限公司

四川省水利水电勘测设计研究院有限公司

本标准出版、发行单位:

本标准主要起草人: 李会中 马保松 王汇明 段世委 王吉亮

吴金生 庄春景 邓争荣 张忠海 王子忠

罗 飞 李 勇 黄 胜 袁宜勋 梁 梁

李红星 李 坤 李 军 郝才成 杨海鑫

李 明 项 洋 蔡网锁

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定.....	3
4	钻孔设计.....	4
4.1	一般规定	4
4.2	轨迹设计	4
4.3	结构设计	6
4.4	工法设计	6
5	钻探设备与器具选择.....	8
5.1	一般规定	8
5.2	钻机	8
5.3	钻具	8
5.4	测控仪器	9
5.5	辅助器具	9
6	钻探实施.....	11
6.1	一般规定	11
6.2	作业计划	11
6.3	作业准备	11
6.4	冲洗液制备	13
6.5	钻进作业	15
6.6	轨迹控制	16
6.7	特殊地层钻进	16
6.8	封孔	17
7	钻孔取心取样.....	18
7.1	一般规定	18
7.2	钻孔取心	19
7.3	现场记录	20
7.4	钻孔水样采集	21
8	钻孔试验与测试.....	23

8.1 一般规定	23
8.2 水文地质观测	23
8.3 压水试验	23
8.4 综合测井	23
8.5 钻孔彩电	23
8.6 岩体变形试验	24
8.7 地应力测试	24
9 孔内事故预防和处理.....	25
9.1 一般规定	25
9.2 孔内事故预防	25
9.3 孔内事故处理	26
10 质量与验收.....	28
10.1 钻探质量	28
10.2 钻探验收	28
11 资料整编.....	29
附录 A 钻探班报表.....	30
附录 B 钻孔岩心采取现场记录表.....	31
附录 C 钻孔轨迹记录表.....	32
附录 D 钻探异常情况记录表.....	33
附录 E 钻孔事故记录表.....	34
附录 F 水文地质观测记录表.....	35
本标准用词说明.....	36
条文说明.....	37

1 总 则

1.0.1 为适应水利水电工程建设需要，规范水利水电工程水平定向钻探工作，提高勘察技术水平，制定本规程。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程中深埋长隧洞、跨江（海）穿越工程及地下洞室群的水平定向勘探，水利水电工程隧洞超前地质预报的先导孔勘探可参照执行。

1.0.3 本规程主要引用下列标准：

GB 20904 水平定向钻机安全操作规程

SL 31 水利水电工程钻孔压水试验规程

SL 245 水利水电工程地质观测规程

SL/T 291 水利水电工程钻探规程

SL/T291.1 水利水电工程勘探规程 第1部分：物探

SL 567 水利水电工程地质勘察资料整编规程

1.0.4 水利水电工程水平定向钻探除应符合本规程规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 水平定向钻探 **horizontal directional drilling**

采用水平定向钻机，以一定的入射角钻入地层，通过控制钻头方向实现长距离近水平定向钻进的勘探方法。

2.1.2 水平定向钻机 **horizontal directional drilling rig**

用于水平定向成孔的机械设备。

2.1.3 入土角 **entry angle**

水平定向钻施工过程中，钻头开始进入地层时，钻杆柱与水平面的锐角夹角。

2.1.4 钻孔入土点 **bore entry**

先导孔钻进时，钻头开始进入地层的地点。

2.1.5 冲洗液 **drilling flushing fluid**

钻进中用于冷却钻头、排除岩粉、保护孔壁、传递动力及平衡地层压力的液体。

2.1.6 特殊地层 **special formation**

可能产生涌水突泥、有害气体等影响施工及安全的地层，如断层、软弱破碎岩层、瓦斯地层、岩溶地层等。

2.2 符号

A—钻头底唇面积；

α —入土角；

P_m—冲洗液压力；

Q—泥浆泵的泵量；

V—钻孔冲洗液用量；

W_c—允许的最大钻屑含量百分比；

YP—冲洗液的动切力；

vd—钻进速度。

3 基本规定

3.0.1 水利水电工程水平定向钻探宜在引调水工程深埋长隧洞或跨江（海）穿越段及水库枢纽工程地下洞室群设计方案基本确定后应用。

3.0.2 水平定向钻探入土点、观测段和测试点的布置目的应明确，应能查明勘探范围内的地层岩性、地质构造、水文地质等地质条件，并结合相关资料分析判断不良地质条件和主要工程地质问题。

3.0.3 水平定向钻探实施前，应根据工程地质勘察大纲编制定向钻探设计书、制定作业计划。

3.0.4 水平定向钻探取心取样应按定向钻探设计书和作业计划执行，取心与取样方法应根据岩层性质、取心取样要求确定。

3.0.5 布置水平定向钻探工作时，应进行资料搜集和现场调查，分析评估钻探对既有地上、地下建（构）筑物和自然环境的影响，并制定有效措施，防止损害地下工程、管线等设施。

3.0.6 现场钻探记录应由经过专业培训的编录人员或工程技术人员承担，记录及整理应及时、准确，并应由工程技术负责人签字验收。

3.0.7 钻探作业前应进行技术交底，作业过程中应严格遵守设计要求并做好施工记录；钻探结束后应按要求提交成果资料，资料整编应符合 SL 567 有关规定。

3.0.8 钻探作业过程中应采取可靠措施，确保作业安全，并应符合国家和地方政府有关环境保护的法律法规的规定。

4 钻孔设计

4.1 一般规定

4.1.1 钻孔设计应在充分调查研究的基础上，结合工程设计方案、勘察大纲进行。

4.1.2 钻孔设计前应了解和搜集相关资料，宜包括下列内容：

- 1 钻探目的、内容及要求。
- 2 钻孔拟穿越段地层岩性、地质构造及水文地质等。
- 3 既有地下管线、建（构）筑物等环境制约因素。
- 4 已有钻孔偏斜规律、防斜措施、测斜资料。
- 5 定向钻进技术条件和工艺水平。

4.1.3 钻孔设计应包括下列内容：

- 1 工程概况。
- 2 钻孔设计依据及条件。
- 3 深埋长隧洞或江（海）穿越段、地下洞室群的平面图、剖面图。
- 4 定向钻轨迹设计、结构设计及工艺设计。
- 5 取心、取样及原位测试与试验要求。
- 6 施工工作量及进度计划。
- 7 检验、验收内容和要求。

4.2 轨迹设计

4.2.1 水平定向钻探钻孔轨迹应满足勘探目的，宜与地下工程设计轴线同轴或平行。

4.2.2 对于深埋长隧洞，应根据地形、地质条件采用不同的轨迹形式，宜采用“一”形、“L”形、“人”形或“L”形，见图 4.2-1；当隧洞轴线高程平面内存在距轴线较近的冲沟时，可充分利用冲沟地形条件从冲沟内开孔，宜采用“人”形或“L”形组合钻进，见图 4.2-2。

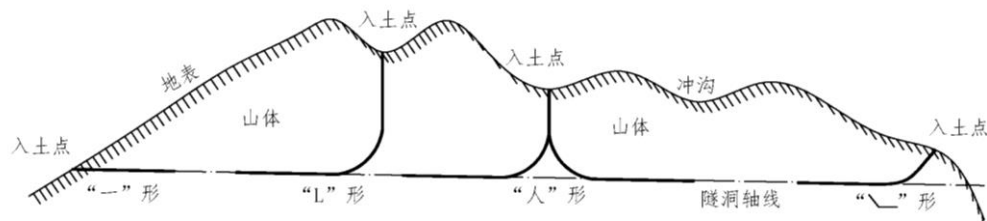


图 4.2-1 深埋长隧洞水平定向钻孔轨迹剖面示意图

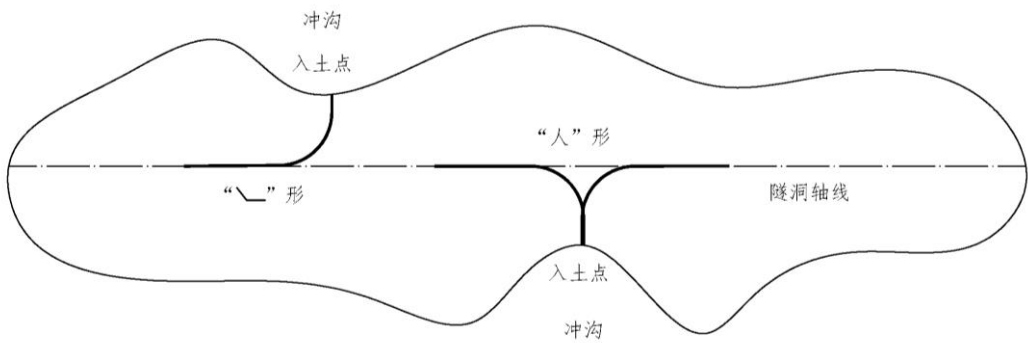


图 4.2-2 深埋长隧洞水平定向钻孔轨迹平面示意图

4.2.3 对于跨江（海）穿越工程，钻孔轨迹宜沿着穿越工程的轴线进行，进口段宜采用“L”形或“┘”形钻进，见图 4.2-3。

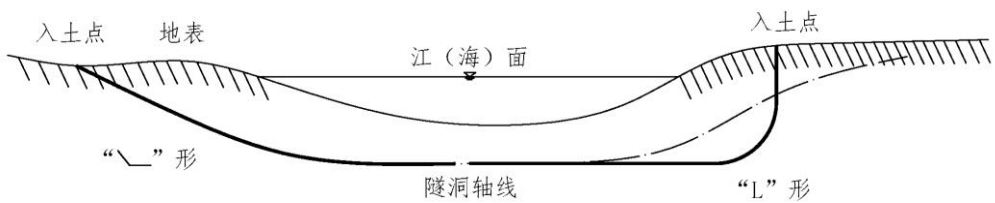


图 4.2-3 跨江（海）穿越工程水平定向钻孔轨迹剖面示意图

4.2.4 对于枢纽工程地下洞室群，应根据地形、地质条件采用不同的轨迹形式，可采用开孔水平的“一”形、垂直方向的“L”形或倾斜方向的“┘”形钻进，见图 4.2-4。

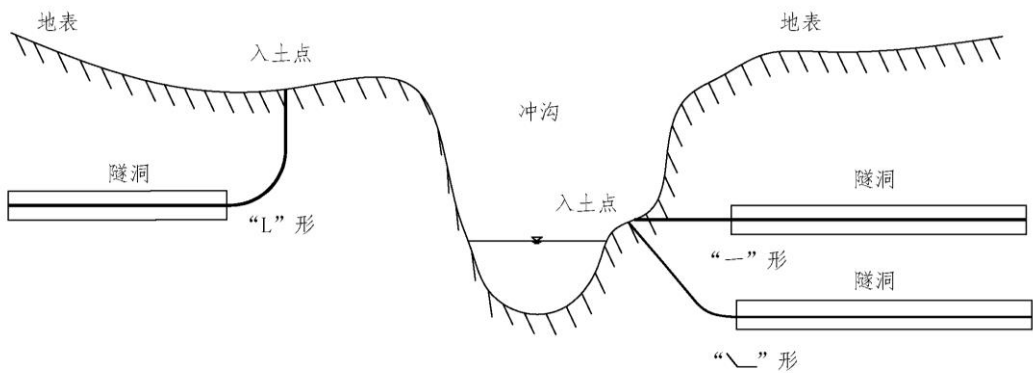


图 4.2-4 地下洞室群水平定向钻孔轨迹剖面示意图

4.2.5 在确定钻孔轨迹后，应进一步确定以下设计内容：

- 1 定向孔设计计算方法。
- 2 偏差要求。
- 3 造斜点或分支点的位置。
- 4 弯曲孔段的曲率和长度。
- 5 各孔段空间要素，包括各孔段的长度、各孔段始末点的顶角和方位角、各孔段始末点垂深和水平移距。

6 绘制设计的钻孔轨迹三维曲线图或二维投影图。

7 校核孔身曲率。

4.2.6 钻孔轨迹偏差应符合下列规定：

1 对于钻孔轨迹和岩层分层长度量测最大允许偏差为：每 1000m 水平偏移 $\pm 3\text{m}$ ，垂直偏移 $\pm 2\text{m}$ 。

2 取心钻进每 50m 应测量一次钻孔的顶角、方位角，钻孔顶角和方位角的测量精度分别为 $\pm 0.1^\circ$ 和 $\pm 3^\circ$ ，并宜在地层交界面处校核钻孔坐标。

3 当钻孔轨迹（顶角、方位角、深度）偏差超过规定时，应找出原因，并立即采取纠偏措施、更正记录报表。

4.3 结构设计

4.3.1 水平定向钻探应根据场地条件、地层岩性、钻孔轨迹、钻机类型、钻进工艺、冲洗液种类和护壁方式、取心取样技术要求、原位测试与孔内试验技术要求等因素综合考虑，进行钻孔结构设计。

4.3.2 水平定向钻探不取心施工方法的成孔口径应根据岩土特性、钻机类型、钻具及钻铤钻杆、造斜方式与器具、定向方法与测量技术等确定。

4.3.3 水平定向钻探取心施工方法的成（终）孔口径应根据钻孔取心技术要求、孔内测试技术要求、地层岩性以及水平定向钻进取心方法与器具等确定，并宜符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 水平定向钻探钻孔成（终）孔口径

钻孔类型	口径（mm）	
取心取样钻孔	≥ 76	
原位测试、综合测井钻孔	大于测试探头直径	
压水、抽水试验钻孔	软质岩石 ≥ 96	硬质岩石 ≥ 76

4.4 工法设计

4.4.1 水平定向钻探应根据地层岩性、钻孔轨迹、钻机类型、取心取样技术要求、原位测试与孔内试验要求等综合因素，选择确定钻进方法和工艺设计。

4.4.2 水平定向孔钻进工艺设计应包括以下内容：

- 1 设备、器具和仪器类型选择及性能规格匹配。
- 2 不取心钻进工艺方法、钻具结构组合形式与规格选择。
- 3 取心钻进工艺方法、钻具结构组合形式与规格选择。
- 4 造斜、稳斜、纠斜的方法选择和技术措施。
- 5 定向方法及器具，测量技术及仪器。
- 6 主要技术参数选择。
- 7 冲洗液配制及护壁、堵漏方法和技术措施。

- 8** 原位测试要求和技术措施。
- 9** 调整或改变钻进工艺方法预案。

5 钻探设备与器具选择

5.1 一般规定

- 5.1.1 水平定向钻探设备与器具主要包括钻机、钻具、测控仪器和辅助仪器。
- 5.1.2 钻探设备与器具的选择应综合考虑钻探目的、钻孔长度、地质条件、场地条件、钻进工艺等因素。

5.2 钻机

- 5.2.1 水平定向钻探应综合考虑施工场地、地质条件、钻孔结构、埋深与长度、钻进工艺、护壁方式等因素选择钻机类型。
- 5.2.2 水平定向钻机的性能参数应充分满足钻进需要，可根据岩土特性、钻孔结构、孔径、埋深与孔深和钻进工艺等因素选择。
- 5.2.3 水平定向钻探应综合考虑场地条件、钻孔深度与口径、钻孔轨迹、钻进工艺等因素选择钻机类型。

5.3 钻具

- 5.3.1 水平定向钻探施工应综合考虑地质条件、钻孔结构、钻进工艺、定向方法与器具、测斜技术与仪器、取心取样技术要求、原位测试与孔内试验技术要求等因素，合理选择钻具结构组合形式和规格。
- 5.3.2 水平定向钻探采用不取心钻进工艺时，钻具组合宜选择“全面钻头+螺杆马达+无磁钻铤+钻杆”的结构组合形式。
- 5.3.3 水平定向钻探采用取心钻进工艺时，钻具组合宜选择“取心钻头+取心钻具（绳索取心钻具）+螺杆马达（液动冲击器）+钻杆（绳索钻杆）”的结构组合形式。
- 5.3.4 钻头类型与规格选择应根据设备情况、钻孔结构、岩土特性、钻进工艺、取心取样技术要求、原位测试要求、钻进效率和钻头寿命等因素综合考虑。
- 5.3.5 在水平定向钻进施工中，可根据岩土特性变化及实际钻进效果，对钻头类型与规格进行更换或调整，钻头类型宜按照表 5.3.5 选择。

表 5.3.5 不同岩质类型钻头选择

岩质类型	钻头类型	切削具
极软岩、软岩	钢质	钢质的斜板式导向钻头
软岩、较软岩	硬质合金 金刚石复合片	镶嵌硬质合金齿斜板式导向钻头 镶嵌金刚石复合片的斜板式导向钻头 铣齿式牙轮钻头
较软岩、中硬岩	硬质合金	铣齿式牙轮钻头 镶嵌硬质合金齿的镶嵌式牙轮钻头

中硬岩和坚硬岩	硬质合金 金刚石	镶嵌硬质合金齿的镶齿式牙轮钻头 表镶天然金刚石全面钻头 孕镶人造金刚石全面钻头
---------	-------------	---

5.3.6 为防止出现泥浆泵憋压、螺杆扭矩不足等状况，水平定向钻钻进时宜选取扭矩大的螺杆马达。

5.4 测控仪器

5.4.1 水平定向钻应根据钻孔结构设计、钻进工艺、造斜器具类型、定向偏差要求和是否有磁场干扰等因素选择测控仪器种类与型号。

5.4.2 非磁性区宜选用磁感应式测量仪器，如单点测斜仪、多点测斜仪等；磁性区宜选择不受磁场干扰的测量仪器，如陀螺测斜仪、光电测斜仪、应变片式测斜仪。

5.4.3 使用偏心楔和连续造斜器定向时，宜采用单点定向仪；使用螺杆钻具造斜时，宜选用随钻测量仪。

5.5 辅助器具

5.5.1 造斜器具选择应符合下列规定：

1 偏心楔造斜宜用于可钻性 4 级以上、较完整的岩层；楔顶角可在 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 范围内选择；当钻孔顶角大于 30° 时，纠方位不宜采用偏心楔。

2 连续造斜器宜用于完整岩层中同径连续造斜，造斜强度应控制在 $0.3^{\circ}/\text{m} \sim 1.8^{\circ}/\text{m}$ 范围内。

3 螺杆钻具宜用于可钻性 6 级以下地层或破碎岩层中；造斜强度宜控制在 $0.0^{\circ}/\text{m} \sim 1.2^{\circ}/\text{m}$ 范围内。在施工水平孔、对接孔和高精度垂直孔等定向孔时，应优先选用螺杆钻具作为造斜工具。

5.5.2 冲洗液设备选择应综合考虑施工场地、地质条件、埋深与长度、钻进工艺、冲洗液种类和护壁方式等因素，合理选择泥浆泵和冲洗液处理系统的类型与性能参数，冲洗液设备的选择应符合下列规定：

1 水平定向钻进施工设计应规划有完整的地面冲洗液处理系统或弃渣处置区。

2 根据水平定向钻进施工的工程地质特点，地面冲洗液处理系统可配置有除砂或除泥单元设备，冲洗液循环使用。

3 水平定向钻进施工用的冲洗液处理系统应配置脱水设备，弃渣含水率低于 30%，满足车装外运的要求。

4 水平定向钻进施工配套的冲洗液处理系统宜采用振动筛、压滤机、离心机等固控脱水设备，或设备与絮凝剂、助滤剂等药剂结合进行冲洗液脱水处理，也可采用固化剂对冲洗液固化脱水。

5 水平定向钻进施工地面冲洗液处理系统还应满足建筑施工场界环境噪声排放、污水综合排放、一般工业固体废物储存、处置场污染控制等相关法规及标准要求。

6 水平定向钻进施工宜采用有废浆零排放处理设备的地面冲洗液处理系统，处理后的余水达到循环使用或污水排入城镇下水道水质标准相关要求。

6 钻探实施

6.1 一般规定

6.1.1 钻探实施包括作业计划、作业准备、冲洗液制备、钻进作业、轨迹控制、特殊地层钻进、封孔等。

6.1.2 采用水平定向钻探穿越建（构）筑物、铁路、高等级公路、重要水域等，应征得有关部门同意，并采取有效的安全防护措施。

6.1.3 采用的水平定向钻探设备、机具、仪器等应具备出厂合格证书或国家计量检定证书，并满足工程功能需求。

6.1.4 从事水平定向钻探设计、施工、测量等作业人员应取得相应作业资格证书方能上岗作业，且应遵守相应的安全操作技术规程。

6.1.5 钻探实施前应结合地质复杂程度、设计孔深、中靶精度、取心取样与原位测试与试验要求合理安排施工工期，保证钻探实施质量。

6.2 作业计划

6.2.1 钻探作业前，应熟悉工程地质勘察大纲及作业的各项要求，进行现场实地踏勘，了解钻探区域的地质、地形地貌、交通、场地、水源等自然条件，编制钻探作业计划。

6.2.2 钻探施工前，应编制作业计划，钻探作业计划宜包括以下内容：

- 1 任务来源和工程概况。
- 2 钻探目的与任务。
- 3 执行的相关规范、规程等技术标准。
- 4 资源配置。
- 5 轨迹设计及钻探工艺、取心取样与原位测试、试验内容。
- 6 进度计划及保证措施。
- 7 钻探质量保证措施。
- 8 预期成果。
- 9 文明施工、环境与职业健康、安全管理措施及应急预案。

6.3 作业准备

6.3.1 作业前应按照设计图纸放出钻孔轨迹的中心线，确定入土点，根据入土点、中心线、钻探设备、安装方法、地形条件等因素确定场地面积和施工便道边界。

6.3.2 应根据作业计划中的平面布置图确定各功能区位置，做好围挡、安全标识和交通疏导工作。

6.3.3 作业场地应符合下列规定：

- 1 场地位于高压线附近应满足安全距离要求，避开影响机具吊装的障碍物。
- 2 作业场地宜单独围挡，避免交叉作业，钻孔位置必须避开地下管线及地下构筑物等设施。
- 3 场地应平整硬化、地基基础可以满足钻机、净浆系统等大型设备承载力，四周修砌排水沟。
- 4 在河滩或山谷中修建场地时，场地需要与水流保持一定距离，并做好泥浆池防渗措施。在洪水、暴雨季节，应有防护措施。
- 5 在陡崖、陡坡下修建场地时，应清除上方的危石；无法清除时应与地质人员研究，设法避开或采取相应的安全措施。
- 6 在高海拔、严寒区等自然条件恶劣的地区，冬季施工时宜修建保温棚，并做好保温、通风措施。
- 7 泥浆池开挖完成后，宜在泥浆池表面铺防渗材料防止冲洗液渗漏。
- 8 修建场地应节约用地，施工结束后应进行自然环境恢复。

6.3.4 安装钻机应符合下列规定：

- 1 钻机各系统组件齐全无损，安装后应检查机械传动、液压回路、电控、循环管路等系统连接情况，确保连接稳固。
- 2 安装钻机时，辅助起吊臂需保持锁死状态，起吊臂下严禁人员逗留。
- 3 安装钻机如遇雷电及六级以上风力时必须停止操作。
- 4 钻机应安装在设计轨迹延伸线的起始位置，钻机动力头的中心轴应与设计轨迹延伸线重合；
- 5 将钻机用地锚或锚定沉箱固定，且应满足在钻机最大推拉力作用下不发生移位。

6.3.5 地锚修筑应符合下列规定：

- 1 地锚稳固，能承受静载、动载和应急推拉等荷载。
- 2 地锚宜采用地锚挡板与混凝土预制地锚结合安装。
- 3 混凝土浇筑地锚时，混凝土强度不宜低于 C30，养护时间不宜低于 48 小时。

6.3.6 安装其它机械设备应符合下列规定：

- 1 其它机械设备应按照作业计划布置平面图进行安装，保证各功能布局合理，冲洗液管路和电器线路规范有序。
- 2 安装和固定机械设备时不应用锤直接敲击。连接螺栓应对称拧紧，管路连接应密封可靠。各零部件应按规定安装齐全、完好。
- 3 电气设备、照明设施应放在干燥、清洁的地方，严防油、水和杂物侵入；电器的引线

必须绝缘，接地应可靠。

- 4 零配件和钻探工具摆放有序，不影响钻探取心操作和岩心摆放。

6.3.7 采用无线导向仪控向施工前，应按以下内容对导向仪进行校核：

- 1 检查导向系统（接收器、发射器、远程同步监视器）电源。
- 2 检查接收器、远程同步监视器信道是否匹配。
- 3 每次使用导向系统前，必须按操作说明书对导向系统进行校准。
- 4 更换发射器、接收器、钻头体时必须重新进行校准。
- 5 钻进前，应测试施工区域干扰信号，以确定合适的发射和接收频率。

6.3.8 试验前，应按以下内容对现场试验设备进行检查校准：

- 1 检查各类测试仪器的电源。
- 2 检查信号传输、记录是否正常。
- 3 在地表对各类测试仪器进行校准。

6.3.9 作业前需要重点检查的其它内容：

- 1 各仪表是否正常显示。
- 2 机械各油管、水管是否畅通，是否有泄漏现象。
- 3 各电路是否正常工作，是否有漏电现象，是否有钻机接地等安全措施。
- 4 钻杆丝扣是否清洁完好，是否发生变形或损坏。
- 5 现场通讯是否畅通。

6.4 冲洗液制备

6.4.1 水平定向钻进应根据地层特性、钻进工艺、钻孔直径、长度，制定合理的冲洗液体系，选择合适的造浆材料。

6.4.2 冲洗液的选用应满足下列要求：

- 1 钻进致密、稳定地层时，宜用清水作业。
- 2 用作水文地质试验的孔段，宜选用清水或易于洗孔的材料配制冲洗液。
- 3 钻进松散、掉块、裂隙地层或胶结较差的地层时，宜选用植物胶、聚丙烯酰胺等材料配制冲洗液。
- 4 钻进片岩、千枚岩、页岩、黏土岩等遇水膨胀地层时，宜采用钙处理泥浆或不分散低固相泥浆。
- 5 钻进可溶性盐类地层时，应采用与该地层可溶性盐类相应的饱和盐水配制冲洗液。
- 6 钻进高压含水层或极易坍塌的岩层时，应采用密度大、失水量小的冲洗液。
- 7 金刚石钻进宜选用清水、低固相或无固相泥浆、乳化泥浆等。

6.4.3 冲洗液设计应包含以下内容：

- 1 确定钻孔冲洗液的密度、漏斗黏度、静切力、动切力、失水量、泥饼厚度、含砂量、

pH 值等基本参数。

- 2 各种造浆材料的配合比。
- 3 钻孔冲洗液材料用量计算。
- 4 冲洗液制备。
- 5 制定钻孔冲洗液循环、净化、管理措施。

6.4.4 冲洗液性能应根据地质情况确定，可参照表 6.4.4 选择。

冲洗液性能	地层类型			
	砂岩、泥页岩	花岗岩等坚硬地层	砾岩层	活性软泥岩层
马氏漏斗黏度 (s)	50~60	40~55	80~120	35~50
塑性黏度 PV (mPa s)	8~12	8~12	15~25	6~12
动切力 YP (Pa)	5~10	5~8	>10	3~6
表观黏度 AV(mPa s)	12~20	8~15	20~35	6~12
静切力 G _{10 s} /G _{10 min} (Pa)	3~8/6~12	2~6/5~10	5~10/15~20	2~5/3~8
失水量(ml)	8~12	10~20	8~12	8~12
pH	9.5~11.5	9~11	9.5~11.5	9~11

6.4.5 冲洗液用量计算应综合考虑地层特性、钻孔直径、钻孔长度、孔内漏失状况等因素，可按下式计算：

$$V = k\pi \frac{D_e^2}{4} L \quad (6.4.5)$$

- 式中：V—钻孔冲洗液用量（m³）；
- De—钻孔直径（m）；
- L—钻孔长度（m）；
- k —比例系数，取值范围为 3~5，一般取 3。

6.4.6 钻孔冲洗液的配方和性能参数应根据施工过程中地层条件、钻进工艺、孔内情况等因素进行实时监测和调整。钻孔冲洗液的性能参数应符合下列规定：

- 1 密度应控制在（1.02~1.25）g/cm³，可用标准泥浆比重秤或其它方法进行测定。
- 2 黏度宜用马氏漏斗测量，应每 2h 测量一次。
- 3 静切力可用六速旋转黏度计测定，并按下式计算：

$$G_{10s} \text{（或 } G_{10min} \text{）} = R_3 / 2 \quad (6.4.6-1)$$

- 式中：G_{10s}/G_{10min}—10s 或 10min 静切力（Pa）；
- R₃—静止 10s 或 10min 时的 3r/min 最大读值。

- 4 动切力可按下式计算：

$$YP = 0.5 \times (2R_{300} - R_{600}) \quad (6.4.6-2)$$

- 式中：YP—冲洗液的动切力（Pa）；
- R₃₀₀、R₆₀₀—旋转黏度计 300 r/min、600 r/min 时的稳定读值。

- 5 失水量采用气压式（打气筒）加压失水量仪测量，压差 0.69MPa，测试 30min 滤液的

体积。

6 钻孔冲洗液的失水量宜控制在 15ml/30min 以内，水敏性、易坍塌和松散地层失水量宜控制在 10ml/30min 以内。

7 经冲洗液净化设备处理后的钻孔冲洗液含砂量应小于 0.5%，用含砂量仪测定。

8 钻孔冲洗液的 pH 值应控制在 9~11 的范围之内，采用 pH 试纸进行测试。

6.4.7 水平定向钻作业过程中应保持稳定的冲洗液循环，钻遇漏失地层时要采取堵漏措施。

6.4.8 冲洗液应在专用搅拌容器或搅拌池中配制，从钻孔内返出的冲洗液应经沉淀池或冲洗液净化设备处理并调整后方可重复利用。

6.4.9 当钻进过程需要长时间中断时，应向孔内定时补充新冲洗液并活动钻具，以补偿冲洗液漏失及防止卡钻事故的发生。

6.5 钻进作业

6.5.1 钻探控向仪器选择应符合下列要求：

1 对于距离长、埋深大、地面无通行条件，且无电磁干扰的钻探，宜采用有缆地磁导向仪。

2 对埋深较浅的钻孔，有电磁干扰时，宜通过布设电缆圈制造人工磁场，采用有缆式导向仪；无电磁干扰时，宜采用无线导向仪。

3 对于有电磁干扰强且钻孔埋深较深，宜采用陀螺导向仪。

6.5.2 应根据钻孔轨迹设计、地层类型、穿越长度及钻杆尺寸选择合适的导向钻具组合。

6.5.3 定向孔钻进应符合下列规定：

1 施工前钻机应进行试运转，时间不少于 15min，确定机具各部分运转正常方可钻进。

2 第一根钻杆入土钻进时应轻压慢转、稳定入土位置，符合设计入土角后方可继续钻进。

3 钻进时，直线段轨迹测量计算频率宜每根钻杆一次。

4 应按下列要求记录相关导向数据：

(1) 采用无线导向仪时，绘制钻孔轨迹平、剖面图；

(2) 采用有缆式导向仪时，司钻员应定时观察计算机处理的随钻数据，并进行数据采集。

5 控向员应及时将测量数据与设计值进行对比，引导司钻员调整钻孔轨迹。

6 钻进至既有管线或障碍物临近区域时，应慢速钻进并复核先导孔轨迹，测算与交叉管线或障碍物的距离，确认在安全许可范围后再恢复正常钻进。

7 曲线段钻进时，一次顶进长度宜小于 0.5m，同时应观察延伸长度顶角变量，顶角变量应符合钻杆极限弯曲强度要求，应采取分段施钻，使延伸长度顶角变化均匀。（定向钻孔造斜孔段应均匀造斜，采用偏心楔单点造斜或钻杆驱动连续造斜钻进时，造斜强度宜为

0.5 %m~1.0 %m；采用螺杆马达孔底驱动进行造斜钻进时，造斜强度宜为 0.2 %m~0.5 %m，并应保证钻杆组顺利通过和回转钻进工作安全。）

8 钻进时遇到异常情况时，应停钻查明原因，问题解决后方可继续施工。

9 定向孔纠偏应平缓，避免出现大的转角。

10 钻机操作人员在钻进过程中应及时记录相关信息，岩心钻探班报表宜符合本规程附录 A 的规定。

11 取心钻进过程中现场应有地质人员值守，并做好相关记录，钻孔柱状现场记录表宜符合本规程附录 B 的规定。

6.6 轨迹控制

6.6.1 水平定向钻孔轨迹控制精度应符合以下要求：

1 应围绕设计轴线，建立地面、孔内测量控制系统。

2 导向、控向使用的仪器、测具应经过检查校正，精度应符合现行国家标准。

3 施工中必须对以下参数进行测量：钻孔轨迹的垂直偏差、钻孔轨迹的水平偏差、钻头的深度和位置、钻头的俯仰角、导向的钻具面角。

4 水平定向钻孔轨迹偏离靶区和设计要求时应及时采取纠偏措施。

6.6.2 水平定向钻孔轨迹控制操作宜符合下列规定：

1 地表通行条件允许时，宜布置人工磁场增强导向信号。

2 安装导向孔定位套管。

3 水平定向钻机固定牢靠，钻进过程中不应摆动和移位。

4 操作人员应依据导向系统显示的偏差数据及时调整孔内钻具姿态，保证钻头偏差控制在允许范围以内。

5 每钻进 10m 宜进行一次钻孔轨迹校核。

6 钻孔轨迹记录宜符合本规程附录 C 的规定。

6.7 特殊地层钻进

6.7.1 特殊地层钻进应符合下列规定：

1 随时关注孔口返浆量情况及钻进参数情况，如有异常及时停钻。

2 分析特殊地层的具体情况，选择针对并且合适的处理方法。

3 钻进过程中遇相关特殊地层、相关异常时应及时记录，钻探异常情况记录表宜符合本规程附录 D 的规定。

6.7.2 涌漏和破碎带钻进应符合下列要求：

1 发现孔口返浆量增加或减少要及时查明原因。

2 确定钻遇涌水地层时，应立即关停钻机和泥浆泵，同时关闭入土点止水装置。

3 若判断为破碎带地层，则可以考虑在冲洗液中添加防塌护壁材料或进行水泥浆固结护壁。

4 若判断为漏失地层，则可以考虑在冲洗液中添加堵漏材料或进行水泥浆固结堵漏。

5 若判断为涌水地层，通过钻杆将水泥浆泵入孔内进行封堵，待 24 小时后，打开防喷器泄压阀，观察是否有冲洗液喷出：若没有冲洗液持续喷出，则封堵成功，继续钻进；若有冲洗液持续喷出，则在关闭防喷器泄压阀后继续泵入水泥浆进行封堵，待 24 小时后再观察是否封堵成功，如此循环。

6 封堵加固完成后，继续钻进施工。

6.7.3 瓦斯地层钻进应符合下列要求：

1 发生瓦斯涌出、喷出的异常状况时，必须及时采取措施，首先考虑杜绝一切可能产生火源、断电、加强通风，同时尽快撤出施工人员，对施工棚进行警戒，进一步研究考虑采取抽排瓦斯的具体安全措施。

2 在探明地质构造后，若断层、裂隙范围不大，溶洞容积较小，或瓦斯不多时，可以继续缓慢钻进，同时让瓦斯自然排放；或采用注浆的方法，用水泥浆将周围通道堵住，阻止瓦斯的喷出。

3 若范围较大或瓦斯较多时，喷出持续时间可能较长，应将孔口处防喷器关闭，在排空孔内冲洗液后，接入抽放瓦斯设备进行抽放。

4 若在冬季施工棚中施工时，需要保持棚内正常通风，因停电、通风机械设备故障等因素造成的通风系统停止运行，在恢复正常通风后，由瓦斯检测员进行专项检测，证实瓦斯浓度低于规定允许浓度，确认安全后方可恢复施工。

6.7.4 岩溶地层钻进应符合下列要求：

1 发现孔口返浆量减少要及时查明原因。

2 确认为钻遇岩溶地层时，应立即关停钻机和泥浆泵。

3 若溶洞较小，则采取泵入混凝土进行填充封堵；若溶洞较大，如果不影响成孔，则继续钻进，如果影响成孔，则在混凝土中添加填充材料后，泵入溶洞。

4 填充完成静止 24 小时之后，泵入冲洗液观察漏浆是否停止，如果停止则继续钻进施工，否则继续填充封堵。

6.8 封孔

6.8.1 钻孔资料收集完成后应立即封孔，封孔工作由钻探实施单位负责组织实施，并对封孔质量负责。

6.8.2 钻孔封孔方法宜采用封堵法，孔口段覆盖层可采用回填法。

6.8.3 钻孔封孔材料宜采用水泥浆或水泥砂浆，其浆液配置应符合下列规定：

- 1 水泥采用 42.5 级普通硅酸盐水泥。
- 2 砂采用细砂。
- 3 水泥浆水灰比 0.5~0.6，水泥砂浆配合比为 0.41:1（清水：水泥：细砂）。
- 4 水泥（砂）浆中宜加入膨胀剂，一般为水泥量的 10%~20%。

6.8.4 水泥浆或水泥砂浆用量可根据孔径、灌注长度按下式计算：

$$V=7.85 \times 10^{-7} \times D \times L \times K$$

V——水泥（砂）浆用量（m³）

D——钻孔直径（mm）

L——灌注长度（m）

K——水泥（砂）浆封孔附加系数，一般取 1.3~1.7

6.8.5 封孔前应用清水洗孔，直至孔口返清水。

6.8.6 封孔宜采用导管灌注法，水泥（砂）浆应搅拌均匀，灌注水泥（砂）浆时，导管应放置于距离孔底 0.3~0.5m 处，并灌注边匀速提导管，导管不应提出水泥（砂）浆。

6.8.7 封孔过程中应填报钻孔封孔记录，做到及时、准确、真实、齐全，并应签字确认。

6.8.8 封孔过程中加强质量控制，封孔完成后应进行封孔资料检查和封孔质量检查。

6.8.9 封孔完成后应做好孔口恢复工作，涉及防洪安全的钻孔应按防洪管理部门的规定在孔口设置标识。

7 钻孔取心取样

7.1 一般规定

7.1.1 水平钻探取心取样工作，应按勘察大纲和钻孔任务书的具体技术要求，结合钻孔结构与钻进工艺的实际情况，选择采用分段取心、连续取心、定点取样、连续取样等方式。

7.1.2 水平定向钻探取心段应根据地层特性合理控制取心取样钻进的回次进尺，最大长度不得超过岩心管或取样管长度。岩心采取率在完整的岩层中不宜小于 90%，在强风化岩层中不宜小于 60%，破碎岩层、碎石土层采取应满足钻孔任务书的要求。

7.1.3 水平定向钻探应根据地层情况和取心技术要求，采用连续取心与分段取心配合交叉使用的办法，在保证满足查清地质问题前提下提高水平定向钻进总体效率。

7.1.4 岩土样品应密封保存，按钻进回次先后顺序排列，注明样品名称、取样时间、取样孔深、取样人、是否进行特殊处理措施等；原状样品在运输和保管过程中不得日晒、雨淋和融

冻，保持密封、不得扰动；样品保留时间应根据勘察大纲要求确定。

7.2 钻孔取心

7.2.1 水平定向钻探取心钻进应符合下列规定：

- 1 取心方法应根据现场地形条件、地层特性、钻孔目的及技术要求选择确定。
- 2 取心钻器具选择应满足钻孔取心质量的技术要求与标准，并宜根据实际使用效果及地层变化情况作出必要调整或更换。
- 3 取心钻进方法应能配合及满足钻孔原位测试、水文试验等技术工作的要求。
- 4 断层、破碎带、软弱夹层和滑动面等取心难点孔段，宜采取特殊及针对性的钻器具与操作等方法提高岩心采取率。
- 5 钻探班报应按钻进回次及时填写，对地层变化、操作参数、钻进感觉、钻具状态、循环液情况、进尺快慢、机械状况、孔内异常、重要现象、取心情况等方面，宜作出准确及仔细的描述记录。
- 6 岩心制作样品的毛样尺寸应满足试块加工的要求；有特殊要求时，试样形状、尺寸和方向应按岩石力学试验设计要求确定。
- 7 取出的岩心应按钻进回次先后顺序排列装箱，每回次之间用岩心牌隔开，岩心牌内容填写齐全并做好防水，柱状岩心和岩心箱按要求编号及保存。
- 8 取心记录应真实、准确、及时，按钻进回次逐次填写，全孔岩心应留存彩色照片。
- 9 用作长期观测的钻孔应做好维护；对交通、环境、安全有影响的钻孔应按相关规定进行封孔作业。

7.2.2 采用分段取心钻进时，应符合下列规定：

- 1 钻进段岩性较为单一的条件下，宜采用分段取心。
- 2 分段取心宜在每一种岩性地层中至少取心一次，在需重点查明的部位宜增加取心频次。
- 3 取心岩心管长度不宜小于 2m，直径应满足室内岩石试验要求，单回次进尺不得超过岩心管长度。
- 4 非取心段应及时采集岩屑样品进行地质描述与鉴定。
- 5 钻进时宜根据各场地地层特点通过试钻或经验确定钻进参数，宜选择清水、泥浆、植物胶等介质作为钻孔循环冲洗液介质。
- 6 当需确定岩石质量指标 RQD 时，应采用不小于 76mm 口径双层岩心管和金刚石钻头。
- 7 取心钻具下钻时，应控制下放速度，不得猛推快放。
- 8 下钻遇阻明显时，宜开泵循环，慢转推送钻具；若遇阻严重，宜及时起钻选换合适钻头进行通孔操作。

7.2.3 采用连续取心钻进时，应符合下列规定：

- 1 岩性类型变化较频繁、特殊地质条件及不良岩体影响范围较大的条件下，宜采用连续取心。
- 2 连续取心钻进可根据钻孔结构选择采用普通取心钻具、单双管取心钻具、半合管式取心钻具、绳索取心钻具等钻器具，及适宜配套的取心钻头。
- 3 连续取心钻进可使用水平定向钻机于地表提供钻进所需动力，也可使用孔内钻具于孔底提供钻进动力，亦可同时使用地表与孔底两种动力提供钻进复合动力。
- 4 取心钻进时，宜根据地层特性通过试钻或经验确定合适的钻进参数；宜选择清水、泥浆、植物胶等介质作为钻孔循环冲洗液介质。
- 5 为了随时掌握孔内情况，取心钻进孔段应做好定向测量现场数据观察与记录。

7.2.4 取心钻进操作应符合下列要求：

- 1 取心钻进操作须由具备资质及经验的专业人员负责。
- 2 起钻下钻操作应平稳匀速，不猛刹猛放，不强拉强压，避免钻具摆动过大。下钻遇阻时不可强行加压推送钻具，应查明原因及时处理。
- 3 需要转动钻具时，严禁钻具猛烈反转，防止松扣、倒扣、脱扣情况。
- 4 下钻完毕钻头接近孔底，开泵压送冲洗液，至充分清洁孔底及形成内外循环。
- 5 均匀控制钻压与转速，减少蹩钻、跳钻现象。根据需要及时合理调整钻压和转速。
- 6 保持控制钻孔循环冲洗液介质性能满足钻进与护壁需要，注意根据地层变化及时进行参数测试及调整。
- 7 加强观察，防止断水、停泵、蹩泵、堵钻、停钻等情况，发生异常状态应及时处理排除。
- 8 严禁加足钻压状态时启动钻具回转。
- 9 钻进过程中，注意观察动力负荷、机械钻速、泵压钻压的各种变化，发现异常应果断处理，需要时宜停钻排查或起钻检查。

7.3 现场记录

7.3.1 钻探记录应在钻探进行过程中同时完成，记录内容应包括钻进过程和地质描述两个部分。

7.3.2 钻探现场记录表的各栏均应按钻进钻杆数量顺序逐项填写，当同一钻杆钻进过程中发生变层时，应分行填写，不得将若干钻杆或若干层合并一行记录。现场记录的内容不得追记或转抄，误写之处可用横线划去在旁边更正，不得在原处涂抹修改。

7.3.3 现场钻进记录应包括下列内容：

- 1 钻进方法、钻具名称、规格、护壁方式等。
- 2 钻进的难易程度、钻进速度、钻进参数的变化情况。

3 孔内情况，应注意缩径、地下水位或冲洗液位及其变化等。

4 取样及原位测试的编号、长度位置、取样工具名称规格、原位测试类型及其结果。

5 异常情况。

7.3.4 钻孔取心段岩心应及时进行地质描述，描述内容应符合下列规定：

1 岩石描述宜包括地质年代、岩性、颜色、矿物成分、结构构造、风化程度、岩心采取率、岩石质量指标（RQD）。对沉积岩应描述沉积物的颗粒大小、形状、胶结物成分和胶结程度；对岩浆岩和变质岩应描述矿物结晶大小和结晶程度。

2 结构面的描述宜包括类型、性质、产状、发育程度、闭合程度、起伏粗糙度、充填情况和充填物性质等。

7.3.5 钻孔非取心段在搜集区域地质和工程地质测绘成果资料，了解非取心段地层岩性和地质构造发育情况基础上，对采集岩屑样品应及时进行地质描述和分析判别。

1 地质描述应剔除非鉴别层位的岩屑，描述内容宜包括：颜色、岩性、矿物成分、风化程度、颗粒大小、形状、均匀性。

2 分析判别宜利用已有基础地质资料和地质描述内容，结合综合测井资料和钻进参数进行，内容宜包括地层界线、地质构造、岩体结构等。

7.4 钻孔水样采集

7.4.1 钻孔水样应分层、原位采集，采集的水样应代表天然条件下的水质情况。

7.4.2 取样工具应使用专用盛水容器和储样容器。

7.4.3 取水试样应符合下列规定：

1 取水试样前，应洗净盛水容器，不得有残留杂质。

2 取水试样过程中，应尽量减少水试样的暴露时间，及时封口；对需测定不稳定成分的水样时，应及时加入稳定剂。

3 当含有多钻孔段含水时，宜采用分段隔水措施，将被测含水段与钻孔其他区段隔开。

4 按取样要求确定取样位置和次数，如遇勘察孔涌水量突然变大或减小，应适当增加取样次数。

5 采用冲洗液护壁的钻孔，应先进行洗孔，待所测区段孔壁冲洗干净后，再进行取水样。

6 采取水试样后，应做好取样记录，记录内容应包括取样时间、孔号、取样位置、取样人、是否加入稳定剂等。

7 水试样应及时送验，放置时间应符合试验项目的相关规定。

7.4.4 水试样的采取、保管与运送应符合下列规定：

1 水样中应少含泥、砂，不应含有油污等杂质。

2 取水样前盛水器皿应先用被取水洗涤 2-3 次后方可取样，器皿内应保留 20%的空间。

3 取样后应及时加盖、蜡封，并贴标签。

- 4** 作侵蚀性测定的水试样数量不应小于 1500mL。
- 5** 特殊测试项目应按有关规定采取水样，数量、质量满足有关规定。

8 钻孔试验与测试

8.1 一般规定

- 8.1.1 钻孔试验与测试项目应根据勘察目的、地质条件、现场条件等选择确定。
- 8.1.2 钻孔试验与测试宜包括水文地质观测、压水试验、综合测井、钻孔彩电、岩体变形试验、地应力测试等，并合理安排试验测试顺序。
- 8.1.3 测试段孔深较大时宜使用无缆设备，入孔仪器设备应设有防撞防卡保护装置，测试时应慢转缓推。
- 8.1.4 测试人员应与钻探机组做好信息沟通，钻探机组应根据钻孔试验与测试要求提供钻孔基本信息，并做好扫孔、洗孔、孔内事故处理等现场配合工作。

8.2 水文地质观测

- 8.2.1 水文地质观测内容宜包括钻孔初见水位、稳定水位，自流孔水头、流量和水温等。
- 8.2.2 观测孔安装及观测应符合 SL 245 的规定。
- 8.2.3 钻孔水文地质观测过程中应及时做好记录，水文地质观测记录表宜符合本规程附录 F 的规定。

8.3 压水试验

- 8.3.1 压水试验栓塞位置定位应准确，应根据钻孔取心、钻孔彩电等成果综合确定位置。
- 8.3.2 压水试验宜采用双栓塞止水、分段隔离进行。
- 8.3.3 压水试验设备及安装、现场试验操作、成果资料整理宜符合 SL 31 的规定。

8.4 综合测井

- 8.4.1 测井方法应根据勘察目的确定，主要包括井径测井、井斜-方位测井、井温测井、电阻率测井、自然电位测井、自然伽马测井、密度测井、超声成像测井等方法。
- 8.4.2 综合测井设备宜采取串联方式连接，测试宜采用钻杆推进方式进行，井径测井宜采用多臂井径测井仪。
- 8.4.3 仪器性能指标、现场测试要求、成果资料整理应符合 SL/T 291.1 的规定。

8.5 钻孔彩电

- 8.5.1 采集钻孔图像时，应保持钻杆平稳推进或回拖，钻杆和测试设备应保持不旋转或低速转动。

8.5.2 无缆钻孔电视设备图像采集时，应详细记录更换钻杆的时间，通过计算钻杆的位置和速度等方式来标定图像采集位置。

8.5.3 无缆钻孔电视设备图像采集完成后，应立即取出存贮设备对视频资料进行处理和分析。

8.4.4 钻孔彩电成果解译时宜利用井径测井、井斜-方位测井资料进行方位角、倾角等校正。

8.6 岩体变形试验

8.6.1 钻孔岩体变形试验应根据试验目的、钻孔揭露情况等确定试验位置。

8.6.2 试验段宜采用金刚石取心钻进，孔壁应平直光滑，试验段不应跨越地层单元，岩性宜一致。

8.6.3 试验仪器设备性能、现场试验技术要求及资料整理等应符合 SL/T 264 的规定。

8.7 地应力测试

8.7.1 地应力测试应根据测试目的、钻孔轨迹、钻孔揭露情况等确定测试位置。

8.7.2 测试孔段应避开岩体破碎松动掉块孔段，布置于基岩弱风化带以下岩性单一、结构完整的部位。

8.7.3 地应力测试方法宜采用水压致裂法，孔壁岩体压裂缝方向宜采用定向印模器和钻孔彩电相结合的方法确定。

8.7.4 测试仪器性能指标、现场测试技术要求及资料整理等应符合 SL/T 264 的规定。

9 孔内事故预防和处理

9.1 一般规定

9.1.1 施工前应根据外部环境、地质条件做好钻孔复杂情况分析，备足钻探材料，制定合理的钻探技术方案和事故预防处理方案。

9.1.2 施工时应按照 SL/T 291 的有关规定进行作业。开工前、施工中对设备和机具进行检查、维护、保养。

9.1.3 钻进过程中应对钻探事故及时记录并分析，钻探事故记录表应符合本规程附录 E 的规定。

9.2 孔内事故预防

9.2.1 孔内事故的预防应符合下列要求：

- 1 操作人员应严格遵守施工设计和操作规程，杜绝违章作业，防止孔内事故的发生。
- 2 根据地层条件，应正确选择钻进方法和钻进技术参数。
- 3 根据地层条件和孔内情况，应正确选用、配制和调整冲洗液。
- 4 应及时检查和更换钻探管材。

9.2.2 钻具事故、取心事故的预防应符合下列要求：

- 1 应选择合理的钻孔结构、钻具组合与级配，不得使用弯曲或磨损严重的钻杆、接头和岩心管。
- 2 升降钻具前，应仔细检查升降机制动装置、提引器、垫叉（或夹持器）及钢丝绳等是否完好，发现问题应立即处理。
- 3 深孔钻进时，钻压、转速不宜过高。

9.2.3 卡钻、埋钻、烧钻事故的预防应符合下列要求：

- 1 在孔壁容易掉块、坍塌及常有探头石活动和岩石容易产生错动的地层中钻进时，应选用密度较大、粘度较高、失水量较小的冲洗液。
- 2 在吸水膨胀、缩径地层钻进时，可采用超径钻头钻进。
- 3 钻进回遇阻时，应立即上下活动或转动钻具，不得无故关泵，不得猛压硬提。
- 4 岩石由硬变软，钻速突然加快，应控制钻速，减小钻压。
- 5 孔底岩粉高度超过 0.3m 时，应立即采取处理措施。

9.2.4 套管事故的预防应符合下列要求：

- 1 下入套管前，应用异径钻具先打小眼；套管下入完成后，底部及孔口应封严固牢。
- 2 在破碎、坍塌地层下套管前，可配置高密度、高粘度冲洗液灌注孔内。

3 跟管钻进时，宜采用短岩心管，以减轻岩心管对套管内壁的摩擦和敲打。

4 下套管时中途遇阻，应提出套管进行处理。弯曲严重的浅孔可用套管钻头旋转下入，不得用吊锤强力打击套管。

9.2.5 落物与测井事故的预防应符合以下要求：

1 停钻期间应做好孔口防护，并管理好孔口常用的专用工具。

2 测井数据较多时，应用优质冲洗液替换孔内全部泥浆。

9.2.6 定向钻进事故的预防应符合以下要求：

1 应控制造斜强度，减少钻柱对孔壁的侧向力，防止在急剧弯曲处形成键槽，产生卡钻事故。

2 在稳斜阶段应采用低钻速、轻钻压钻进，钻杆柱下部宜采用较新钻杆。

3 造斜结束后，应采用专用修孔钻具修磨孔壁，使粗径钻具能顺利通过。

4 造斜孔段，宜采用低固相泥浆或油基泥浆。

5 每造斜1回次~2回次，需拆开造斜器检查，更换磨损的轴承，以保持转子单动灵活性。在高固相泥浆孔中，每用1回次就要清洗检查。

6 每回次造斜钻进结束后，应延长冲孔时间，防止发生岩粉埋钻事故。

9.3 孔内事故处理

9.3.1 孔内事故处理应符合下列要求：

1 处理孔内事故时应专人指挥、明确分工，一般事故由班长负责处理，复杂事故由机长负责处理。

2 事故发生后，应先考虑护壁，再处理事故。尽量保持冲洗液循环，必要时加大泵量或泵压恢复循环，冲开孔内障碍物；对于复杂地层，应同时保持孔内压力平衡。

3 事故发生后，应查清并详细记录事故发生的孔深、机上余尺、事故钻具的位置、规格类型、数量，并根据发生事故的过程和钻具损坏情况，正确分析判断孔内情况，采取相应的处理措施。

4 采用拉、提、顶、打等方法处理事故时，钻杆必须随时拧紧；强力起拔事故钻具前应检查钻塔、设备的可靠性；处理事故过程中起下钻应平稳，确保孔壁稳定。

5 事故排除后，应总结经验教训，采取预防措施；重大事故应根据有关规定填写事故报告。

9.3.2 钻具事故、取心事故的处理应符合下列要求：

1 在钻进中，发生钻具事故，一般先对扣或锥取，对接后应立即提钻检查钻具，不得继续钻进和卡取岩心。

2 如打捞不成功，应根据孔内情况，采取倒扣、套铣、侧钻绕障等方法处理。

3 钻进过程中发生岩心堵塞、岩心脱落、绳索取心打捞失败等故障，首先应适当调整

钻进参数、活动钻具，否则应提钻后根据地层情况重新捞取。

9.3.3 卡钻、埋钻、烧钻事故的处理应符合下列要求：

- 1 发现钻具遇卡或埋钻时，首先应保持冲洗液畅通，先用顶拉、回转、振击等方法活动钻具，若处理无效，再采取反出钻杆、扫孔、扩孔或掏心等方法进行处理。
- 2 发现烧钻时，首先应提动钻具，无效时应采用向上打、反、透、磨、扩等方法处理。
- 3 处理事故用的扩孔钻具，必须带有内导向，导向器应焊接牢固。
- 4 事故位置较深采用上述办法无效时，可选择较好的造斜点进行侧钻绕障。

9.3.4 套管事故的处理应符合下列要求：

- 1 发生套管事故，应分析钻孔孔径、弯曲度、地层孔洞、冲洗液漏失等情况，确定事故原因和事故套管情况然后制定处理对策。
- 2 套管事故的处理，一般先采取对扣、振击、锥取或千斤顶顶拔的方法进行打捞。
- 3 打捞无效时可采取套铣、磨铣、割管、侧钻绕障等方法处理。
- 4 套管断裂、脱节后，应将事故套管全部起拔后再重新下入，不得将上部套管坐在孔内下部套管上端继续钻进。
- 5 事故处理后重新下套管时应在套管外壁适当涂刷润滑脂，确保丝扣拧紧上满、密封良好；套管底部稳定、不得悬空。下管后应进行止水或水泥固井，并按照下入顺序记录套管的根数和长度。

9.3.5 落物与测井事故的处理应符合以下要求：

- 1 发生小工具、钻头翼片、合金块、胎体块等金属落入钻孔时应采用下入磁力打捞器（或捞桶、弹簧钻头等）捞取或磨铣的方法，确保孔内干净后方可重新钻进。
- 2 提引器、钢丝绳等落入钻孔时应采用下入抓桶、捞矛等方法进行处理。
- 3 测井前，一般应先下入钻具通孔，确保测井探头能够顺利通过。
- 4 发生电缆断落、探管卡埋等测井事故时应尽量控制电缆拉力，防止拉断电缆；发生电缆拉断时，应先用捞钩打捞电缆，然后用打捞筒或取心钻具套取探管。

9.3.6 定向钻进事故的处理应符合以下要求：

- 1 如发生造斜器转子轴折断，造斜器落入孔内，可用带导向的公锥打捞，处理无效时，可在孔内灌注水泥进行侧钻。
- 2 发生钻杆在造斜孔段折断后，应采用公锥或母锥打捞折断钻杆，或套铣后再打捞钻杆；在无法捞出钻杆或钻具的情况下，可放弃丢失的钻杆及钻具，钻分支孔重新钻进。
- 3 发生键槽卡钻后，应设法将被卡钻具导出，不得强力起拔。
- 4 发生键槽卡钻后，可用带钻铤的长岩心管钻具扫除键槽，用带反钻头或铣刀式异径接头的钻具钻进。提钻时如遇键槽阻卡，可开车向上扫除键槽。
- 5 发生压差卡钻后，应立即提钻，如果提钻不能解卡，则应在冲洗液中加入一些原油、柴油或专用解卡剂，渗入泥皮，使泥皮裂解，降低作用于钻柱上的静压力。

10 质量与验收

10.1 钻探质量

10.1.1 实际钻孔轨迹应符合钻探设计要求。

10.1.2 水平定向钻孔质量评价指标应包括岩心采取率与岩心整理、钻孔轨迹测量与偏差、孔深误差与校正、试验与测试、原始报表和封孔等，且各项指标应满足设计要求。

10.2 钻探验收

10.2.1 验收应由钻探负责人与地质负责人组织相关人员进行。

10.2.2 钻探应按设计书要求和钻探质量指标逐项进行，且宜采用单孔验收。

10.2.3 验收应在钻孔成孔和钻孔试验与测试结束后，相关设备未撤离前进行。

10.2.4 验收结果分为“合格”“不合格”两级，对验收不合格钻孔应根据不合格指标的类型和性质，采取相应补救措施或返工，并应重新组织验收，直至验收合格。

10.2.5 验收应形成钻孔验收表，并由验收人在表上签署验收意见并存档。

11 资料整编

11.0.1 资料性成果应包括以下内容：

- 1 钻孔平面布置图。
- 2 钻探现场记录。
- 3 钻孔岩心地质描述记录、岩心照片。
- 4 试验与测试成果记录表。

11.0.2 成果报告应包括水平定向钻探报告、附图、附件。

1 水平定向钻探报告宜包括概述、钻探技术工效评价、现场试验测试适宜性分析、工程地质条件及评价、结语等章节内容，并应符合下列规定：

- 1) 概述应包括工程概况、工作目的、工作依据、实施过程、完成工作量。
 - 2) 钻探技术工效评价应包括钻探机具选择、钻进工艺与事故处理分析、轨迹控制与中靶精度分析、取心取样效果分析等。
 - 3) 现场试验测试适宜性分析应包括仪器选择、过程控制、成果分析、效果评价等。
 - 4) 工程地质条件及评价应包括基本地质条件、主要工程地质问题及评价。
 - 5) 结语应包括结论及建议。
- 2 附图宜包括工程地质平面图、钻孔柱状图、钻孔轨迹工程地质剖面图
- 3 附件宜包括试验与测试成果等。

附录 A 钻探班报表
表 A X X 钻孔钻探班报表

工程名称： 工程地点： 施工单位： 钻机型号： 日期： 天气情况：

序号	日期	时间			工作内容	回次孔深 (m)		钻孔 直径 (mm)	钻进参数				冲洗液性能						钻进速 度 m/h	钻探振 动、回弹 情况	交接 班	岩心采 取编号 (岩粉)	回水及孔内 异常情况	备注
		起	止	每根 钻杆 导向 时间 (分)		起	止		钻进压 力(MPa)	旋转压 力(MPa) /扭矩 (N·m)	转速 R/min	液压(气 压) (MPa)	冲洗液 压力 MPa	进浆流 量 L/min	返浆流 量 L/min	进浆密 度 g/cm ³	返浆密 度 g/cm ³	进浆粘 度 s						
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
					本班工作情况（包括①钻探异常情况②事故处理情况③水文地质观测记录④孔深校正记录⑤安全生产控制及效果等）																			

第 页/共 页 机长： 班长： 记录： 其他人员：

附录 B 钻孔岩心采取现场记录表

表 B X X 钻孔岩心采取现场记录表

工程名称:

工程地点:

施工单位:

钻机型号:

日期:

回次	孔深(m)		进尺 (m)	钻孔直 径 (mm)	标高 (m)	岩性	地质描述	采取长 度 (m)	采取率 (%)	柱状岩心 长度 (m)	获得率 (%)	≥10cm 柱状 岩心长度 (m)	RQD(%)	试样采 取情况	备注
	起	止													
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

第 页/共 页

机长:

班长:

记录:

其他人员:

附录 C 钻孔轨迹记录表

表 C X X 钻孔轨迹记录表

工程名称:

工程地点:

施工单位:

钻机型号:

日期:

入土角				初始方位角						钻头-传感器距离 (m)				
入土点高程 (m)				夹持器-入土点距离 (m)						设计钻进总长 (m)				
序号	开始时间	结束时间	工作时间 (分)	钻杆长度 (m)	钻具长度 (m)	累计长度 (m)	工具面向角 (°)	倾角 (°)	方位角 (°)	实际高程 (m)	高程偏移量 (m) (下+上-)	水平偏移量 (m) (右+左-)	里程桩号	备注
0														
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

第 页/共 页

机长:

班长:

记录:

其他人员:

附录 D 钻探异常情况记录表
表 D X X 钻探异常情况记录表

工程名称:

工程地点:

施工单位:

钻机型号:

日期:

序号	发现时间	孔深部位	现象描述	处理措施	备注
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

第 页/共 页

机长:

班长:

记录:

其他人员:

附录 E 钻孔事故记录表

表 E X X 钻孔事故记录表

工程名称:

工程地点:

施工单位:

钻机型号:

日期:

序号	出现时间	孔深部位	事故现象描述	事故分析	事故处理	备注
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

第 页/共 页

机长:

班长:

记录:

其他人员:

附录 F 水文地质观测记录表
表 F X X 钻孔水文地质观测记录表

工程名称: 工程地点: 施工单位: 钻机型号: 日期:

序号	时间	孔深（m）	水位（m）	冲洗液概况	冲洗液循环情况	冲洗液消耗量（l/min）	漏水孔深（m）	漏水量（l/min）	出水孔深（m）	流量（l/min）	水头（m）	水温（℃）	水样采取情况	其它
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

第 页/共 页 机长: 班长: 记录: 其他人员:

本标准用词说明

- 1 为了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：
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：
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该这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中国水利学会团体标准

水利水电工程水平定向钻探规程

条文说明

目 次

1	总 则.....	40
3	基本规定.....	42
4	钻孔设计.....	43
4.1	一般规定	43
4.2	轨迹设计	43
4.3	结构设计	43
4.4	工法设计	43
5	钻探设备与器具选择.....	44
5.1	一般规定	44
5.2	钻机	44
5.3	钻具	44
5.4	测控仪器	44
5.5	辅助器具	44
6	钻探实施.....	45
6.1	一般规定	45
6.2	作业计划	45
6.3	作业准备	45
6.4	冲洗液制备	45
6.7	特殊地层钻进	45
6.8	封孔	46
7	钻孔取心取样.....	47
7.1	一般规定	47
7.2	钻孔取心	47
7.3	现场记录	47
8	钻孔试验与测试.....	49
8.1	一般规定	49
8.2	水文地质观测	49
8.3	压水试验	49
8.4	综合测井	49
8.5	钻孔彩电	49
8.6	岩体变形试验	50

8.7 地应力测试	50
9 孔内事故的预防和处理.....	51
9.1 一般规定	51
9.2 孔内事故预防	51
9.3 孔内事故处理	52
10 质量与验收.....	54
10.1 钻探质量	54
10.2 钻探验收	54
11 资料整编.....	55
附录 A 钻探班报表.....	56
附录 B 钻孔岩心采取现场记录表.....	57
附录 C 钻孔轨迹记录表.....	58
附录 D 钻探异常情况记录表.....	59
附录 E 钻孔事故记录表.....	60
附录 F 水文地质观测记录表.....	61

1 总 则

1.0.1 大型引调水工程深埋长隧洞、水库枢纽工程地下洞室群等工程的勘察难度大、周期长，现有勘察手段如平硐、竖直钻孔存在勘探总体工效差、综合成本高，或受控于环境因素无法实施等弊端；如采用水平定向钻探技术，可以获得一孔抵多孔或代替平硐勘探的效果，同时异地开孔也可克服环境制约，从而较好的解决了上述问题。

水平定向钻技术，是利用钻孔的自然弯曲规律以及人工造斜工具，使钻孔按设计要求倾斜钻进至目的层上部，再采用定向技术钻进至预定目的层。水平定向钻应用于工程地质勘察，主要应用领域及优势如下：

（1）提升深埋长隧洞工程地质勘察成果质量和效率：目前深埋长隧洞勘察以铅直钻孔为主，其主要缺点是勘探深度大、但有效孔段仅为孔底末端，钻孔利用率极低，事倍功半；同时受控于勘察经费的限制往往勘探点数量有限，以点代线的勘察精度不高。而采用水平定向钻技术，通过造斜设计后，钻进可完全沿隧洞轴线进行，无效进尺和工作量大大减少，综合效率高，较传统的以点带线的勘探可以更完整、真实揭露隧洞沿线的地质情况，达到传统铅直孔无法达到的精度。

（2）替代水库枢纽工程地下洞室群平硐勘探技术：传统的地下洞室群工程地质勘察中，查明地下洞室等部位的工程地质条件，往往需开挖大量平硐，平硐开挖一方面受火工品管控影响施工成本高、进度慢，同时由于弃渣的随意堆放往往会带来一些环境问题，或受困于地形等条件控制，平硐往往无法实施。若采用水平定向钻技术，通过灵活的造斜设计，可从多个部位进入勘察区域内进行水平定向钻探，某种程度上可代替平硐勘察，且具有施工成本低、进度快、以及受场地限制小的优点。

（3）增加跨江（海）穿越段工程地质勘探灵活性：在一些环境敏感区、禁止施工的航道内、或水流湍急的河道内，传统的勘探手段主要是在水域内搭建勘探平台后，以铅直钻孔进行勘探，受控于河流、航道限制等因素往往无法实施，进而只能通过物探手段进行相关分析，但物探成果具有多解性，不能准确的指导设计及施工。而采用水平定向钻技术，通过合理的造斜设计后，可以避开上述无法实施区域后顺利的进入勘察区域内再进行钻孔取样、试验等，具有很好的灵活性。

（4）提高深埋长隧洞超前地质预报效率：深埋长隧洞施工中突泥涌水、软岩大变形、有害气体、岩爆等地质问题突出，需要在施工中进行地质超前预报；传统的先导孔预报手段在隧洞掌子面上实施，对隧洞的施工干扰大，严重影响施工进度，同时受控于传统钻探工艺的限制，一般应用于中短距离预报。若采用水平定向钻技术，可在隧洞掌子面附近或地表等部位，通过灵活的造斜设计后，使得水平定向钻进入隧洞轴线进行勘察，同时水平定向钻可钻深度大，可进行长距离预报、且可与隧洞施工同步进行互不干扰，提高施工效率。

近年来水平定向钻探在隧洞或穿越工程勘察中的应用越来越多，深度越来越长，如交通

行业于 2020 年分别于新疆乌尉高速胜利隧道、川藏铁路卡子拉山 1 号隧道完成了 2271m 和 1212m 的水平定向钻探，水利行业亦于 2021 年在珠江三角洲水资源配置工程狮子洋穿越段成功完成 936.2m 水平定向钻探，均取得了良好的效果，为工程勘察领域水平定向钻探技术的推广应用奠定了重要基础。

3 基本规定

3.0.1 水利水电工程水平定向钻探由于实施条件要求较高、实施成本昂贵，一般应在引调水工程深埋长隧洞或跨江（海）穿越段及水库枢纽工程地下洞室群设计方案基本确定后应用，以避免无效工作。

3.0.2 由于水平定向钻探取心难度较大且成本高、耗时较长，在实施水平定向钻探的过程中不可能与普通钻进取心一样进行全孔段的取心，而只能根据地质目的进行计划的取心采样等，这就需要在钻孔实施前对地质情况有个大致的判断，进行观测段和测试点的布置，在实施钻探过程中要实时跟踪，对观测段和测试点进行动态调整。

3.0.5 水平定向钻法一般仅通过冲洗液来维持稳定，在穿越重要设施如建(构)筑物、铁路、高等级公路、重要水域等时，应事先进行风险评估并根据评估结果采取相关安全防护措施，防止施工中可能出现的地面沉降、塌陷或地层压裂等造成的危害。

3.0.8 水平定向钻施工中产生的废弃物主要有冲洗液、钻屑、油污等，若直接弃置会对周边环境造成污染,应按照国家 and 地方有关规定进行回收处理。在居民区夜间施工时，应采取相应措施减少噪音扰民。

4 钻孔设计

4.1 一般规定

4.1.1 每项定向钻探工程施工前应进行钻孔设计，未经审批不得施工。

4.1.2 若采用磁性仪器，还需了解施工地区大地磁场参数，如磁场强度、磁倾角、磁偏角等。环境制约因素应进行现场调查，了解场地周边环境以及地表对孔位的限制条件，收集影响场地布置的相关资料。

4.2 轨迹设计

4.2.2 “一”形轨迹即将深埋隧洞的入口或出口作为钻机入钻点，沿或平行隧洞轴线进行水平钻探；“”形、“人”形或“L”形轨迹是根据深埋长隧洞的地形特点，把长隧洞分成若干区段，选择合适的地形作为钻孔的入钻点，并采用不同的轨迹设计，进行自由组合，实现对深埋长隧洞的全线覆盖。

4.2.5 确定造斜点和分支点时应注意：a) 造斜点、分支点的位置应选在稳定的岩层部位，避开坚硬、脆、破碎岩层以及溶洞和砂层；b) 靶点垂深小而水平移距大，造斜点或分支点应选择在钻孔的浅部；反之，可选择在钻孔的深部。应在保证粗径钻具和拟下套管能顺利通过的基础上力求设计的孔身最短，并保证钻杆柱工作安全。

4.2.6 受取心施工阶段取心方法和随钻测量技术的限制，对于不取心的钻孔轨迹最大允许偏差为每 1000m 水平偏移 $\pm 3\text{m}$ ，垂直偏移 $\pm 2\text{m}$ ，采用岩粉录井的岩层分层长度最大允许偏差为 3m；取心钻进时钻孔轨迹最大允许偏差为 2 度/100m，超过最大允许偏差时必须及时采取纠偏措施。

4.3 结构设计

4.3.1 确定钻孔结构时应注意：a) 综合考虑地层情况、护壁措施、钻进方法和终孔直径等因素，应在保证安全钻进的条件下力求简化钻孔结构。b) 如遇复杂地层，应采用多级孔径和套管护壁。

4.4 工法设计

4.4.1 工法设计需要注重社会效益和经济效益。

5 钻探设备与器具选择

5.1 一般规定

5.1.2 钻探设备与器具选择还需兼顾考虑利于拆卸和搬运、零配件的更换维修等因素；钻具的选择与配置还需要考虑钻进方法变换的需要。

5.2 钻机

5.2.1 由于地层的未知性，水平定向钻探过程相当复杂，钻进前应尽可能多的收集相关数据，支撑钻探工作。

5.2.2 水平定向钻机的功率定义范围较窄，一般单指发动机功率，衡量是否满足钻进需要需了解钻机整体性能参数；钻孔结构是指钻孔由开孔至终孔，钻孔剖面中各孔段深度与直径。

5.3 钻具

5.3.2 不取心钻进时，需进行全面破碎，宜使用全面钻头。

5.3.3 液动冲击器又称液动回转钻具、液动潜孔锤。以钻探冲洗液为动力介质，利用高压液流能量及动态水击能量产生连续冲击载荷的孔底动力钻具。

5.3.5 附表中为推荐切削具，可根据地层岩土特性变化及实际钻进效果，对钻头类型与规格进行及时更换或调整。

5.3.6 水平定向钻探钻进时，主要依托大扭矩对地层破碎，为避免出现螺杆扭矩不足等状况，宜选用扭矩大的螺杆马达。

5.4 测控仪器

5.4.1 水平定向钻探过程受地层影响，工况复杂多变，应在钻探前根据设计需求选择合适的测控仪器。

5.4.2 单点测斜仪、多点测斜仪宜用于非磁性区；陀螺测斜仪、光电测斜仪、应变片式测斜仪宜用于磁性区。

5.5 辅助器具

5.5.1 应根据不同地层选择合适的造斜器具，以提升钻探成功率。

5.5.2 冲洗液在水平定向钻探过程中起着至关重要的作用，冲洗液设备的选取应充分考虑现场冲洗液制备回收等需求，此外冲洗液处理系统还应满足建筑施工场界环境噪声排放、污水综合排放、一般工业固体废物储存、处置场污染控制等相关法规及标准要求。

6 钻探实施

6.1 一般规定

6.1.2 水平定向钻探需对穿越沿线的构筑物及其基础型式进行调查，重点对地下构筑物、桩长等信息进行搜集调查，必要时进行安全评估，采取防护措施，确保施工对其无影响。

6.2 作业计划

6.2.2 钻孔轨迹设计是水平定向钻探作业计划重点，要根据钻探目的和钻孔的实际情况合理选择钻孔结构、钻孔轴线剖面形式、造斜强度、造斜点等。

6.3 作业准备

6.3.3 场地应平整硬化、地基基础可以满足钻机、净浆系统等大型设备承载力，四周修砌排水沟。其中净浆系统设备主要包括振动筛、除砂除泥器、离心机等。

6.4 冲洗液制备

6.4.2 钻进片岩、千枚岩、页岩、黏土岩等遇水膨胀地层时，宜采用钙处理泥浆或不分散低固相泥浆。主要目的是该类地层属于强水敏性地层，需提高冲洗液的防塌抑制性，严格控制失水量，以降低该类地层的水化程度。

6.4.5 该冲洗液用量不包括地面循环系统需要配制的冲洗液及发生大型漏失时产生的冲洗液消耗量。

6.4.6 冲洗液性能调整前应在地面进行小样试验，确保冲洗液性能不发生大的变化。

6.4.7 钻遇漏失地层时要根据漏失量大小采取随钻堵漏、静止堵漏、桥接堵漏、高失水堵漏、化学浆液堵漏、水泥堵漏等措施。

6.4.9 若因地面设备故障或其它原因需停钻时间较长，则应提出孔内钻具至上层套管内或地面，并向孔内注入冲洗液，确保冲洗液静液柱压力对孔壁形成正向支撑，避免发生孔壁失稳等复杂情况。

6.7 特殊地层钻进

6.7.2 钻遇破碎带地层时应首先根据破碎带的性质调整冲洗液性能，如地层属于弱胶结易垮塌地层则需适当提高黏度和切力，并加入封堵性材料，提高泥饼质量；若地层为强水敏性地层，则应加大抑制剂和降失水剂的用量，适当提高冲洗液密度。若冲洗液性能调整效果较差，则可注入水泥浆的方式进行固结护壁。

6.8 封孔

6.8.3 水泥（砂）浆中的砂应该无土、无杂质，粒径 0.5mm~1.0mm，加膨胀剂是防止水泥浆固结后收缩与孔壁脱空。

6.8.4 水泥（砂）浆用量主要依据所需要灌注孔段的孔径和长度进行计算，附加系数是考虑地面损耗、钻孔超径、孔内漏失及产生“浮灰”等综合因素而确定。

7 钻孔取心取样

7.1 一般规定

7.1.1 水平定向钻孔一般孔深较大，钻孔轨迹往往是由地表经过非目标地层经过定向钻进至靶区地层，在非目标地层可以减少取心数量，采用分段取心或不取心，在靶区地层可以采取连续取心或连续取样等方式，当靶区地层岩性较为单一时，也可以采取分段取心或定点取样。

7.1.2 回次进尺超过岩心管长度 90%时，将严重影响岩心品质。为了确保岩心采取率和岩心品质，对强风化及破碎岩层、碎石土层等孔段和特殊要求孔段，要控制回次进尺，减少岩心在内管中的时间。

7.2 钻孔取心

7.2.1 水平定向钻进取心钻具可配套选用单管、双管和拌合管钻具，当在对岩心采取率要求别较高时，可以选用双管或拌合管钻具。为了提高破碎岩层取心质量，实践中常常可以采用以下措施：

- (1) 使用单动双管钻具，保护岩心。
- (2) 增大取心直径，提高岩心的强度和抗冲蚀的能力。
- (3) 提高卡取岩心的可靠度，防止中途脱落。
- (4) 采用局部反循环钻进，使孔内形成局部负压，为岩心进入岩心管提供有利条件；同时，能够使岩心呈悬浮状态，防止岩心管内二次破碎。
- (5) 在取心过程中，采用孔内钻具提供动力，即仅利用螺杆马达作为动力钻进取心可以减少采用地表与孔底两种动力复合钻进时钻杆转动对孔壁和岩心的破坏。

7.2.2 采用分段取心的地层，当岩心管的长度大于等于 2m 时，可以保证采取岩心的质量和钻进效率，为了确定岩石的 RQD 指标，同时也要求岩心管尺寸不得小于 76mm。

7.2.3 水平定向钻取心钻进往往比不取心钻进效率偏低，在实际工作中，连续取心往往应用于地层变化频繁、特殊地质条件及不良岩体影响范围地层，当地层比较单一或者对工程影响不大的地层，可以采用分段取心的方式，来提高工程效率。

7.3 现场记录

现场过程记录资料是岩土工程地质分析评价和编写报告成果的基础，加强现场过程的记录工作是保证成果质量的基本条件。

经对诸多勘察项目现场资料调查研究，经常发现一些项目勘探测试做得不少，但由于对现场过程资料的整理、检查、分析、鉴定或验收重视不够，而不能如实反映实际情况，甚至

造成假象，导致分析评价的不可靠。

因此，本条强调对岩土工程地质分析依据的所有钻探过程资料，均应进行整理、检查、分析、鉴定或验收，认定完整无误后方可利用。

7.3.1 现场过程记录可以体现钻探工作过程中重要工程地质和水文地质现象，应在钻探过程中及时认真记录，不得事后回忆补记和漏记，更严禁事后伪造。钻进过程和地质描述为钻探记录内容的两个部分，记录员配置需符合专业素质要求，必要时进行学习和培训，经考核合格后上岗，以保障记录内容的全面性与可靠性。

7.3.3 异常情况是指在钻进过程中出现的钻具折断脱落、跑钻、埋钻、卡钻、夹钻、掉钻、烧钻、孔内落物、泵压突变、扭矩突变、设备异常、钻井液参数突变等一切不同于正常钻进过程的特殊情况。

7.3.4 钻孔岩心地质描述十分重要，是水利水电工程勘察地质工作的基础内容之一，正确记录岩土对象的地质描述内容是必要的，客观反映所揭露的岩石和结构面相应特征，可为内业资料分析整理提供第一手资料。

岩心采取率是指钻探取出的完整岩石加上破碎岩石总长度与回次进尺的比值。反映钻探质量的指标，和岩体破碎程度、钻探技术和质量控制有关。

岩石质量指标（RQD）是指每回次进尺中大于或等于 10cm 的柱状岩芯的累计长度与每钻进回次进尺之比（以百分数表示，%），即： $RQD = \text{每回次进尺 } 10\text{cm 岩芯累计长度} / \text{回次进尺} \times 100\%$ ，可分为很好的（ $RQD \geq 90$ ）、好的（ $RQD = 75 \sim 90$ ）、一般的（ $RQD = 50 \sim 75$ ）、差的（ $RQD = 25 \sim 50$ ）和很差的（ $RQD < 25$ ）。

8 钻孔试验与测试

8.1 一般规定

8.1.3 由于目前有线测量仪器在水平孔中存在下放困难等技术难题,钻孔综合测井宜使用无线存储式设备。使用时,需认真检查存储设备的电池电量、密封性能、结构强度、抗压能力等是否符合测试要求。存储空间应能保证对测试结果的全记录与保存。

8.2 水文地质观测

8.2.1 钻孔初见水位、稳定水位、自流孔水头、流量和水温都属于水利水电工程地质勘察中重要的水文地质参数,工作需引起重视。

8.3 压水试验

8.3.1 压水试验栓塞位置可根据钻孔彩电图像,选取光滑圆柱状孔段,并综合考虑水平定向钻导向装置、钻孔取心、钻孔彩电等因素,确定栓塞具体位置。

8.4 综合测井

8.4.2 同一钻孔采用多种方法进行地球物理测井时需要合理安排测井顺序,防止井液扰动影响测井精度和效果,一般按井温测井、井径测井、井斜测井、自然伽马测井、密度测井、自然电位测井、电阻率测井、其他测井的顺序进行。

8.4.4 资料解释前需根据测量的钻孔方位角、顶角数据调整图像展开方位,然后结合孔壁图像量测的结构面产状数据计算出真产状。

8.5 钻孔彩电

8.5.2 无缆钻孔电视设备应确保有独立电池供电与独立存储设备存储视频文件,应确保电视设备具有足够的结构强度和可靠的密封性能,特别是应具有与钻孔内最大静水压力对应的防水性能,防止密封失效或漏电导致数据丢失或设备损坏。

8.6 岩体变形试验

8.6.2 采用金刚石钻进主要确保孔壁光滑,取心钻进主要为了方便地质描述,确保试验段地层岩性。

8.7 地应力测试

8.7.2 孔水平定向钻地应力测试深度太大易卡钻致使测试失败，因此需选择孔壁完整段实施，目前水平孔现在可测试孔深约 300m。通过钻孔电视设备确定光滑圆柱状孔壁段作为水压致裂法测试孔段，若孔壁不规则，需修改相关测试计划，寻找适宜水压致裂法测试孔段。

8.7.3 水平定向钻中地应力方向难度较大，主要原因是水平孔橡胶印模提钻时容易磨掉，确定不了方向，因此需配套钻孔彩电来定向。

9 孔内事故的预防和处理

9.1 一般规定

9.1.2 设备和机具的检查、维护、保养预防孔内事故的主要措施，定期检查钻具的弯曲、磨损情况，弯曲度过大、磨损过大和出现裂纹的钻探管材不得使用，弯曲的钻杆需及时校直。各种管材、接头、接箍需定期进行保养、除锈、丝扣涂油，钻具需拆开进行丝扣涂油。

9.2 孔内事故预防

9.2.1 现场管理不严、措施不当、管材及工器具质量不好、地层条件复杂等均能引起孔内事故。预防孔内事故的基本措施有：①严格按钻探施工设计要求，做好施工前的各项准备工作，并精心组织管理；②加强生产技术管理，增强员工责任心，严格遵守各项规章制度和操作规程，杜绝违章作业；③加强技术培训，提高操作技术水平；④根据岩层的不同，正确选择和确定不同的钻进方法及其相应的钻进技术参数；⑤根据地层和孔内情况，正确选用、配制及调整冲洗液；⑥注意设备、钻具、工具、仪表等的维修和保养，确保运行正常，工作可靠；⑦正确选择和使用管材，做到及时检查和更换等。

9.2.2 钻具事故、取心事故的原因很多，而且比较复杂，需根据当时当地的具体情况，出现的征兆，采取相应的预防措施。在松散坍塌、掉块、裂隙发育、容易产生滑动和错动的岩层中钻进时，可采用比重较大、粘度较高、失水量小、含砂量低的冲洗液洗孔，保持冲洗液良好的造壁性能，以维持孔壁的完整。坍塌、掉块严重的情况下，可采用黏土球固壁、灌水泥、下套管、塑料护孔等方法，保持孔壁稳定。在塑性大、遇水膨胀、钻孔缩径的岩层中钻进时，采用失水量小、含砂量低、粘度不大的优质冲洗液洗孔，使用肋骨钻头钻进，保持钻具与孔壁有足够大的环状间隙。

9.2.3 卡、埋钻事故主要发生在破碎、缩径等地层钻进、起钻、下钻的过程中，造成吸附卡钻、坍塌卡钻、键槽卡钻、落物卡钻以及跑钻将孔底钻杆墩弯等引起的卡钻。在钻进过程中，因钻头冷却不好，钻头与孔壁、孔底或岩心等烧结在一起，会发生烧钻事故。

9.2.4 发生套管事故的原因大多数是没有下到硬盘岩层，或孔口没有很好的固定。在钻进过程中冲洗液对套管底部进行冲刷，或冲洗液从套管与孔壁间隙上返，回转的钻杆又对其进行敲击，从而发生套管下滑、套管脱节、套管错位、套管挤夹、套管磨穿等事故。

9.2.5 在钻进、升降钻具、检修机械或处理事故等工作过程中，因工作不慎或疏忽大意，将扳手、管钳、手锤、提引器、垫叉、卡瓦、螺栓、螺母等小工具、小物件落入孔内。如处理不慎，常常引起卡钻、夹钻、掉钻头事故，轻者也会妨碍正常钻进和损坏钻头，应采取相应措施：操作时要小心，不能疏忽大意；钻进、起钻后下钻前，临时停钻、停车检修和擦洗

钻机时，孔口要加安全盖板；处理事故时，防止卡瓦、管钳或孔口附近的小件工具落入孔内。

9.2.6 造斜强度过大导致软地层局部形成“狗腿”，稳斜钻进时，由于提钻时侧向力的作用，钻杆在“狗腿”处卡入键槽，并越卡越深，产生键槽卡钻。控制造斜强度，减少钻柱对孔壁的侧向力，深孔钻进用加重钻杆进行减压钻进，可有效避免形成“狗腿”；造斜结束后，往返扩孔使弯曲段变得平缓，可减少狗腿严重度。

定子与孔壁的卡固力不够，定子产生转动是连续造斜器造斜钻进常见事故，将导致面向角发生改变，造斜达不到预期效果。预防措施有：降低冲洗液固相含量；造斜1回次~2回次后拆开造斜器检查；更换轴承和密封件等。

9.3 孔内事故处理

9.3.1 事故发生后，应先考虑护壁，再处理事故。尤其是埋钻、卡钻事故常与塌孔等情况同时存在。强力开泵冲孔，恢复冲洗液循环，清洁孔底和钻孔环状间隙，可以使卡埋物松动，能够减轻甚至解决事故。

9.3.2 钻具事故主要是由于管材质量原因、不能规范操作和地层原因。故此钻探机组应经常检查钻具并排队使用。

9.3.3 卡或埋钻事故一般用强拉硬顶的办法往往不能收效。首先进行强力开泵冲孔，以求用冲洗液冲散坍塌物，并排出孔内。在强力开泵的情况下串动钻具，并逐步扩大串动范围。对于不太严重的事故，这样处理往往可以排除。若卡埋物很深，事故比较严重，经上述方法无效，可将卡埋物以上的钻杆反上来，然后下入同径钻具送水钻进。待将卡埋物钻掉，并冲洗干净后用丝锥捞取事故钻具。若捞取不动时，则把异径接头以上的钻杆全部反回，再用透孔的方法处理。经以上方法处理仍不收效，最后只有采用割、磨的方法处理，如条件允许亦可换小一级的孔径钻进。

烧钻事故发生后，应及时处理。若孔内不清洁，往往易造成烧钻加埋钻双重事故。当及时发现烧钻且烧钻程度较轻，孔内较清洁，应立即采用升降机强拉。强拉时，不要拉死，即边开车边拉。如提拉不动，再用千斤顶起拔。严重的烧钻事故，用升降机提拉和千斤顶起拔往往无效。一般应先反回钻杆和异径接头，然后再用割、扩孔套取、劈、磨等办法处理。金刚石单动双管钻具钻进，发生烧钻后，通常先反出全部钻杆，然后将内管拿出来，再进行掏心，最后用公锥捞取外管及扩孔器和钻头。如果捞不上来，则采取分段割取或消灭的办法处理。

9.3.4 如果孔内套管数量较少，岩层较完整，套管下入的时间不长，套管事故不严重时，可直接用升降机起拔，或采用多股钢丝绳强力起拔。如果孔内情况复杂，套管事故较严重时，可先用千斤顶将套管顶活，然后再用升降机起拔，或者采用拉打结合，顶打结合的办法将套管处理活动后，再用升降机起拔。如果孔内情况复杂，套管数量较多，事故特别严重时，经上述方法处理无效，则可采用兜底强力起拔，扩孔反套管，“割、扩、卡”起拔，爆破轰动，

侧旁打眼掏空等方法进行处理。

9.3.5 打捞落孔钢丝绳或电缆。用钻杆把专供打捞落孔钢丝绳或电缆的打捞钩送入孔内，由于脱落的钢丝绳大多成螺旋状卷曲在孔内，打捞钩插在卷曲的钢丝绳上转动，使钢丝绳牢牢地缠绕在捞矛上，即可提升钻具打捞上来。

9.3.6 为避免钻杆在造斜孔段折断，应控制造斜率；避免频繁地往反方向调整顶角和方位角；造斜结束后，采用专用修孔钻具修磨孔壁，使粗径钻具能顺利通过；采用低钻速、轻钻压稳斜钻进。长距离水平钻进中，钻柱与孔壁长时间滑动而不转动；泥皮质量差、厚度大；大径钻铤外表光滑，未装稳定器，与孔壁接触面积大；长时间钻柱静止，且不循环冲洗液均可造成压差卡钻。

10 质量与验收

10.1 钻探质量

10.1.1 应符合本标准 4.2 轨迹设计中对钻进轨迹偏差的要求。

10.1.2 岩心采取率应符合本标准 7.1.2 条款要求；岩心整理应符合本标准 7.2.1 条款要求；钻孔轨迹测量应符合本标准 6.6 条款要求；钻孔轨迹偏差应符合本标准 4.2 要求；孔深误差与校正应符合《水利水电工程钻探规程》SL/T 291-2020 中 11.1.7 要求；试验与测试应满足本标准第 8 部分要求；原始记录应符合《水利水电工程钻探规程》SL/T 291-2020 中 11.1.5 要求；封孔作业应符合《水利水电工程钻探规程》SL/T 291-2020 中 11.1.8 要求。

10.2 钻探验收

10.2.2 具体指标应包含本标准 10.1.1，10.1.2 中所列所有指标。

10.2.4 若钻进轨迹偏差不满足本标准 4.2 要求，应返工直至满足要求；岩心采取率不满足本标准 7.1.2 条款要求，应返工直至满足要求；若岩心整理应不满足本标准 7.2.1 条款要求，应采取相应补救措施直至满足要求；若试验与测试不满足本标准第 8 部分要求，应采取相应补救措施直至满足要求；若孔深误差与校正应不满足《水利水电工程钻探规程》SL/T 291-2020 中 11.1.7 要求，应采取相应补救措施直至满足要求；若封孔作业不满足《水利水电工程钻探规程》SL/T 291-2020 中 11.1.8 要求，应采取相应补救措施直至满足要求。

11 资料整编

资料整编涉及两方面内容，一方面包括现场过程记录资料，另一方面包括钻探技术分析总结报告和必要的附图附件。

11.0.1 钻探现场记录资料成果应包括钻探班报、钻孔岩心采取现场记录、钻孔轨迹记录、钻孔异常情况记录、钻孔事故记录及水文地质观测记录。其中，钻探班报记录的孔深应经常性校正后及时准确填报，当孔深误差超过 0.3% 时，应说明原因并修正记录报表。

对所有岩心应逐箱在检查整理、清洗于净并保持湿润后进行数码拍照。每箱岩心照片应体现整箱岩心标识牌和每一回次岩心标签、分层界限标示、重要地质现象标示和采样位置标识。整箱岩心标识牌内容包括项目名称、钻孔编号、岩心箱号和起止孔深，宜放置于前排左上角或前排中部。岩心照片应为岩心箱中心垂向上等距对焦并基本满幅状态，且明暗要保持一致。

对在钻孔中开展的水文地质观测、压水试验、综合测井、钻孔彩电或地应力试验记录资料进行整编后作为资料性成果之一。

11.0.2

1 钻探技术工效评价是对影响钻探工效的技术因素进行的综合性分析评价，主要技术因素包括钻探机具选择、钻进工艺与事故处理分析、轨迹控制与中靶精度分析、取心取样效果分析等。

钻孔现场试验测试适宜性分析应根据钻孔结构、孔壁稳定性、揭示地层特征、岩体完整程度等方面，分析可进行的具体试验和测试项目，并对选择实施的现场试验测试项目进行仪器选择、过程控制、成果分析、效果评价及综合分析总结。

工程地质条件及评价中基本地质条件应针对钻孔揭示的地层岩性及岩质类型、地质构造、岩溶及水文地质现象等方面进行陈述分析；主要工程地质问题及评价应针对钻孔揭示的地质现象可能引发的工程地质问题开展分析及评价。

2 钻孔轨迹工程地质剖面图是指沿钻孔轨迹轴线，根据揭示地层岩性、重要地质现象、现场试验测试等成果资料绘制的专用图件，其地质剖面图应反映工程地质条件及适宜的地质评价。

3 钻孔柱状图是指沿钻孔轨迹轴线反映钻孔结构、穿过的地层岩性、地层接触关系、分层厚度、地质构造、取样和试验结果、钻进情况等编制的柱状图，是工程地质剖面图绘制和工程地质分析的重要依据。

附录 A 钻探班报表

钻探班报表应记录钻探工程基本情况和钻探机组当班生产全过程内容，其中，钻探工程基本情况包括工程名称、工程地点、施工单位、钻机型号、天气情况、施工日期；钻探机组当班生产全过程内容包括时间、工作内容、回次孔深、钻孔直径、钻进参数、冲洗液性能、交接班情况、岩心采取情况、回水及孔内异常情况，有助于记录分析钻孔情况，全面反映钻探技术方案的实施过程。

附录 B 钻孔岩心采取现场记录表

钻孔岩心采取现场记录表应包含孔深、进尺、钻头直径、标高、岩性、地质描述、采取长度、采取率、柱状岩心长度、获得率、 $\geq 10\text{cm}$ 柱状岩心长度、RQD、试样采取及测试类型等内容，是充分利用钻孔岩心采取情况进行工程地质分析的重要基础地质资料。

附录 C 钻孔轨迹记录表

钻孔轨迹指钻孔轴线上各点空间位置的变化状态，并由其空间要素来表征。钻孔轨迹记录内容可确定其空间要素，包括钻孔轴线上各点的累计长度、倾角、磁方位角、实际高程，以及经计算得出的高程偏移量、水平偏移量等。

附录 D 钻探异常情况记录表

钻探异常情况是指在钻进过程中出现的一切不同于正常钻进过程的特殊情况,主要包括钻具折断脱落、跑钻、埋钻、卡钻、夹钻、掉钻、烧钻、孔内落物、泵压突变、扭矩突变、设备运行异常等。记录内容应详细准确填写钻进过程中出现的所有异常情况及其处理措施,具体包括钻探异常情况发现时间、孔深部位、现象描述、处理措施等内容。

附录 E 钻孔事故记录表

钻孔事故主要包括钻具事故处理如钻具脱落、取心事故如岩心脱落、钻进事故如埋钻卡钻烧钻等、套管事故如套管脱扣断裂，以及落物、综合测井事故等。需要详细记录事故发生的位置、处理措施等。

附录 F 水文地质观测记录表

水文地质观测记录内容主要包括时间、钻孔里程桩号、水位、冲洗液概况、冲洗液循环情况、冲洗液消耗量、漏水里程桩号、漏水量、出水里程桩号、出水量、水头、水温、水样采取情况等水文地质记录。水文地质观测要及时、准确、无漏项观测和记录。