

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

(报批稿)

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-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

前 言

本标准按照《工程建设标准编写规定》（建标〔2008〕182号）的规定起草。

本标准共分为11章和8个附录，主要技术内容包括总则、术语、基本规定、钻探设计、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、资料整编等。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

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）

本标准参编单位：广东省水利电力勘测设计研究院有限公司

水利部水利水电规划设计总院

中山大学

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

四川水发勘测设计研究有限公司

吉林省水利水电勘测设计研究院

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、庄景春、

邓争荣、张忠海、王子忠、罗飞、李勇、卢长伟、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、王立民。

本标准主要审查人：高玉生、徐士忠、吴伯健、唐涛、易学文、李山、王星照。

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	钻探设计	4
4.1	一般规定	4
4.2	钻孔轨迹设计	4
4.3	钻孔结构设计	5
4.4	钻探工艺设计	5
5	钻探设备与器具选择	7
5.1	一般规定	7
5.2	钻机	7
5.3	钻具	7
5.4	冲洗液设备	8
5.5	造斜器具	8
5.6	测量仪器	9
6	钻探实施	10
6.1	一般规定	10
6.2	作业计划	10
6.3	作业准备	10
6.4	冲洗液制备	12
6.5	钻进作业	14
6.6	轨迹控制	15
6.7	特殊地层钻进	15
6.8	封孔	16
6.9	钻探记录	17
7	钻孔取心取样	18
7.1	一般规定	18
7.2	钻孔取心	18
7.3	地质描述	19
7.4	水样采集	20
8	钻孔试验与测试	21

8.1 一般规定	21
8.2 地球物理测井	21
8.3 水文地质试验	21
8.4 钻孔岩体试验	22
9 孔内事故预防和处理	23
9.1 一般规定	23
9.2 孔内事故预防	23
9.3 孔内事故处理	24
10 质量与验收	27
10.1 钻探质量	27
10.2 钻探验收	27
11 资料整编	28
附录 A 钻孔轨迹形式	29
附录 B 钻探班报表	31
附录 C 钻孔岩心采取记录表	32
附录 D 钻孔轨迹记录表	33
附录 E 钻探异常情况记录表	34
附录 F 水文地质观测记录表	35
附录 G 钻孔事故及处理记录表	36
附录 H 钻孔验收表	37
本标准用词说明	38
引用标准名录	39
条文说明	40

Contents

1	General provisions	1
2	Vocabulary and symbols	2
2.1	Vocabulary	2
2.2	Symbols	2
3	Basic requirements	3
4	Drilling design	4
4.1	General requirements	4
4.2	Borehole trajectory design	4
4.3	Borehole structure design	5
4.4	Drilling process design	5
5	Selection of drilling equipment and instruments	7
5.1	General requirements	7
5.2	Drilling rigs	7
5.3	Downhole drilling tools	7
5.4	Flushing fluid equipments	8
5.5	Whipstock and deflecting tools	8
5.6	Measurement instruments	9
6	Drilling execution	10
6.1	General requirements	10
6.2	Design of operation	10
6.3	Preparation of operation	10
6.4	Preparation of flushing fluid	12
6.5	Drilling operation	14
6.6	Trajectory control	15
6.7	Drilling in special stratum	15
6.8	Hole sealing	16
6.9	Drilling logs	17
7	Core boring and sampling	18
7.1	General requirements	18
7.2	Coring	18
7.3	Geologic description	19
7.4	Water sample collection	20
8	Borehole testing	21
8.1	General requirements	21
8.2	Borehole geophysical testing	21
8.3	Hydrogeological testing	21

8.4 Borehole rock-body testing	22
9 Borehole trouble prevention and treatment	23
9.1 General requirements	23
9.2 Prevention of borehole trouble	23
9.3 Treatment of borehole trouble	24
10 Drilling quality and acceptance	27
10.1 Drilling quality	27
10.2 Drilling acceptance	27
11 Data compilation	28
Appendix A Borehole trajectory format	29
Appendix B Daily drilling report form	31
Appendix C Core recovery record form	32
Appendix D Borehole trajectory record form	33
Appendix E Drilling anomaly record form	34
Appendix F Hydrogeologic observation record form	35
Appendix G Borehole trouble and treatment record form	36
Appendix H Drilling acceptance form	37
Explanation of wording in this standard	38
List of quoted standards	39
Explanation of provisions	40

1 总 则

1.0.1 为适应水利水电工程建设需要，规范水平定向钻探方法、工艺、技术要求，保障钻探质量和作业安全，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程的水平定向钻探。

1.0.3 水利水电工程水平定向钻探除应符合本标准规定外，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

以一定的开孔角进入地层,钻进过程中通过控制钻孔轨迹并实现长距离水平定向钻进的勘探方法。

2.1.2 开孔角 hole opening angle

水平定向钻孔开孔、钻头进入地层时,钻杆柱轴线与水平面的夹角。

2.1.3 冲洗液 drilling 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钻孔浆液。

2.1.4 特殊地层 special formation

可能产生涌水、突泥、坍塌、有害气体以及冲洗液非正常循环漏失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。

2.1.5 偏心楔 eccentric wedge

钻进过程中一种人工弯曲的钻孔造斜工具,又称钻孔导向楔。

2.1.6 螺杆钻具 positive displacement motor drill

一种以冲洗液为动力,把液体压力能转为机械能的容积式动力钻具,又称螺杆马达。

2.1.7 导向仪 guiding instrument

钻进过程中用于测量导向钻头的空间位置和姿态的仪器,一般由地下传感器和地面接收器组成,它们之间的信息传递方式分为有缆式和无缆式两类。

2.2 符号

α —开孔角

P_m —冲洗液压力

Q —泥浆泵的排量

V —冲洗液用量

G —冲洗液的静切力

Y_p —冲洗液的动切力

P_v —塑性黏度

A_v —表观黏度

V_d —钻进速度

V_s —水泥(砂)浆用量

D_e —钻孔直径

L —钻孔长度

3 基本规定

3.0.1 水平定向钻探孔位、观测段和测试点的布置，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。

3.0.2 水平定向钻探应根据工程地质勘察大纲或专项任务书编制定向钻探设计书、制定作业计划，钻探作业前应进行技术交底。

3.0.3 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。

3.0.4 水平定向钻探实施前，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，防止损害地下构筑物、管线等设施。

3.0.5 现场钻探记录及整理应及时、准确、完整。

3.0.6 钻探结束后应按要求提交成果资料，资料整编应符合现行行业标准《水利水电工程地质勘察资料整编规程》SL 567 有关规定。

3.0.7 钻探作业应符合现行国家标准《岩土工程勘察安全标准》GB/T 50585 的有关规定，并应符合职业健康、安全生产、环境保护等有关法律法规的规定。

4 钻探设计

4.1 一般规定

4.1.1 钻探设计应根据勘察大纲或专项任务书进行。

4.1.2 钻探设计前应了解和搜集相关资料，宜包括下列内容：

- 1 工程设计资料。
- 2 定向钻进技术和工艺。
- 3 场地条件、环境条件等。
- 4 钻孔拟穿越段地层岩性、地质构造及水文地质条件等。
- 5 既有地下管线、建（构）筑物等环境制约因素。
- 6 已有钻孔偏斜规律、防斜措施、测斜资料。

4.1.3 钻探设计书宜包括下列内容：

- 1 工程概况。
- 2 钻孔设计依据及条件。
- 3 钻探目的、内容及要求。
- 4 钻孔拟穿越段工程地质条件。
- 5 钻孔轨迹设计、结构设计、钻进方法及工艺设计。
- 6 取心取样、原位测试与试验要求。
- 7 检验、验收内容和要求。
- 8 施工工作量及进度计划。
- 9 质量安全环境职业健康保证措施。

4.2 钻孔轨迹设计

4.2.1 钻孔轨迹应满足勘察大纲或专项任务书的要求，宜与地下工程设计轴线平行或同轴。

4.2.2 钻孔轨迹应根据钻探目的、地形地质条件、环境条件采用“一”形、“L”形、“人”形或“—”形等，具体钻孔轨迹形式选择应符合本标准附录 A 的规定。

4.2.3 钻孔轨迹确定后应进一步进行下列设计内容：

- 1 定向钻孔轨迹控制点。
- 2 定向孔轨迹设计计算方法。
- 3 偏差要求。
- 4 造斜点或分支点的位置。
- 5 弯曲孔段的曲率和长度。
- 6 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。

7 绘制设计的钻孔轨迹三维曲线图或二维投影图。

8 校核孔身曲率。

4.2.4 钻孔轨迹偏差应符合下列要求：

1 钻孔轨迹每 1000m 最大允许偏差不应超过 5m。

2 钻进过程每 25m 宜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 $\pm 3^\circ$ 。

3 取心钻进岩层分层长度量测最大允许偏差为 $\pm 5\text{cm}$ ，并宜在地层交界面处校核钻孔三维坐标。

4 当钻孔轨迹（倾角、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、及时更新记录报表。

4.3 钻孔结构设计

4.3.1 水平定向钻探应根据地层条件、设备机具、钻进工艺、冲洗液及冲洗方式、护壁方法等钻进技术条件，以及取心取样、孔内试验与测试的技术要求等综合考虑，进行钻孔结构设计。

4.3.2 水平定向钻探的钻孔结构设计，宜遵循减少换径次数、结构简单的原则，并留足适当的储备孔段。

4.3.3 水平定向钻探的钻孔结构应“从下往上”设计，取心取样钻孔终孔孔径不宜小于 76mm，有孔内试验与测试时，孔径不应小于测试探头直径。

4.3.4 钻孔结构设计应绘制钻孔结构图，钻孔结构图应标示各孔段和套管层序的直径、长度，以及变径台阶和套管头尾的处理技术要求。

4.4 钻探工艺设计

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，选择钻进方法、确定钻进工艺。

4.4.2 水平定向孔钻进方法和工艺设计应包括下列内容：

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、钻具结构组合形式与规格选择。

3 取心钻进工艺、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 定向方法及造斜器具，测量技术及测控仪器。

6 主要技术参数选择。

7 冲洗液配制及护壁、堵漏方法，固壁技术措施。

8 原位测试要求和技术措施。

9 调整或改变钻进工艺预案。

全国团体标准信息平台

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宜包括钻机、钻具、冲洗液设备、造斜器具和测控仪器等。

5.1.2 钻探设备与器具的选择应综合考虑钻探目的、场地条件、地质条件、钻孔轨迹、钻孔结构、埋深和长度、钻进工艺、护壁方式、试验与测试要求等因素。

5.2 钻机

5.2.1 水平定向钻探钻机类型宜选用调速范围大、扭矩和发动机功率合适的机型。

5.2.2 水平定向钻机的转速、扭矩、最大给进力等性能参数应满足钻进需要，绳索取心转速不宜小于 300r/min，空间造斜扭矩不宜小于 3000N·m，复杂地层给进力不宜小于 60kN。

5.2.3 取心钻进宜选择高转速钻机，非取心钻进宜选大扭矩钻机。

5.2.4 地质条件复杂、钻孔结构复杂、轨迹设计形式多的钻孔，宜选择钻深能力大、扭矩大、最大给进力大、钻进工艺适应性强的钻机型号与性能参数。

5.3 钻具

5.3.1 水平定向钻探采用不取心钻进工艺时，钻具结构宜选择“全面钻头+螺杆马达+无磁钻铤+钻杆”的组合形式。

5.3.2 水平定向钻探采用取心钻进工艺时，钻具结构宜选择“取心钻头+取心钻具（绳索取心钻具、反循环钻具）+螺杆马达（液动冲击器）+无磁钻铤+钻杆（绳索钻杆）”的组合形式。

5.3.3 在水平定向钻进施工中，宜根据岩石特性变化及实际钻进效果，对钻头类型进行更换或调整，钻头类型宜按照表 5.3.3 选择。

表 5.3.3 不同岩石特性钻头选择

岩石硬度	岩石可钻性级别	钻头类型	
		钻头材质	钻头结构
极软、软	1~3	钢质	斜板式导向钻头
软	3~4	硬质合金复合片	硬质合金铣齿式斜板式导向钻头 金刚石复合片斜板式导向钻头 钢质铣齿式牙轮钻头 硬质合金齿或复合片的环状取心钻头
中硬	4~6	硬质合金复合片	钢质铣齿式牙轮钻头 硬质合金镶齿式牙轮钻头 硬质合金齿或复合片的环状取心钻头
硬	7~9	硬质合金复合片 金刚石	硬质合金镶齿式牙轮钻头 金刚石复合片钻头 表镶金刚石全面钻头或环状取心钻头 孕镶金刚石全面钻头或环状取心钻头

岩石硬度	岩石可钻性级别	钻头类型	
		钻头材质	钻头结构
坚硬	10~12	金刚石	孕镶金刚石全面钻头或环状取心钻头

5.3.4 中长距离钻孔及以上级别钻孔宜选用金刚石绳索取心钻具。

5.4 冲洗液设备

5.4.1 冲洗液设备主要包括泥浆泵和冲洗液制备处理系统，其选择应综合考虑场地环境、地质条件、钻孔轨迹、钻孔结构、钻进方法与工艺等因素。

5.4.2 泥浆泵类型与性能参数应根据钻孔深度、钻孔结构、钻进方法与工艺、地层特性、冲洗液类型、试验要求等选择，并与造斜工艺相适应。

5.4.3 冲洗液宜采用搅拌机（器）制备，并宜备有测定冲洗液性能参数的比重计、粘度计、含砂量计（杯）、失水量测定仪和 PH 试纸等测试工具。

5.4.4 水平定向钻探施工应综合考虑场地条件、冲洗液类型和用量、环保要求，配置地面冲洗液处理系统或设置弃渣处置区，并应符合下列要求：

1 地面冲洗液处理系统应配置除砂或除泥单元设备，并在吸水管和输出管路中配置过滤装置，确保冲洗液循环使用。

2 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，或脱水设备与絮凝剂、助滤剂等结合，或直接采用固化剂对冲洗液固化脱水。当脱水后弃渣采用车载外运时，其含水率宜小于 30%。

3 地面冲洗液处理系统宜采用有废浆零排放处理设备，处理后的余水应达到循环使用要求或达到当地水质排放标准要求。

4 地面冲洗液处理系统或弃渣处置区应满足建筑施工场界环境噪声排放、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。

5.5 造斜器具

5.5.1 造斜器具宜包括斜面导向板、偏心楔、连续造斜器、螺杆钻具等类型。

5.5.2 造斜器具宜根据地层坚硬程度和完整性选择，并应符合下列要求：

1 软弱地层或（及）松散地层选择斜面导向板，造斜强度宜为 $3^{\circ}/3\text{m} \sim 15^{\circ}/3\text{m}$ 。

2 中硬及坚硬岩完整地层选择偏心楔造斜，楔顶角宜为 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

3 中硬完整地层选择连续造斜器，造斜强度宜为 $0.5^{\circ}/\text{m} \sim 2^{\circ}/\text{m}$ 。

4 中硬及以上地层，或中硬以下破碎地层选择螺杆钻具，造斜强度宜为 $3^{\circ}/30\text{m} \sim 15^{\circ}/30\text{m}$ 。

5.6 测量仪器

5.6.1 水平定向钻探应根据钻孔结构、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量仪器种类与型号。

5.6.2 钻探导向仪器选择宜符合下列要求：

1 对埋深较浅的钻孔，无电磁干扰时，宜采用无线导向仪；有电磁干扰时，宜采用有缆式导向仪。

2 对距离长、埋深大、地面无通行条件的钻孔，无电磁干扰时，宜采用地磁导向仪；有强电磁干扰时，宜采用陀螺导向仪。

5.6.3 测量仪器的选择宜符合下列要求：

1 非磁性区宜选用磁感应式单点测斜仪、多点测斜仪、数字罗盘测斜仪等；磁性区宜选用不受磁场干扰的光纤陀螺测斜仪、光电测斜仪、应变片式测斜仪等。

2 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，宜选用单点测斜仪、多点测斜仪、随钻测量仪。

6 钻探实施

6.1 一般规定

6.1.1 钻探实施应包括作业计划、作业准备、冲洗液制备、钻进作业、轨迹控制、封孔等。

6.1.2 钻探实施前应结合地质条件、设计孔深、轨迹偏差、取心取样、原位测试等要求合理安排施工工期。

6.1.3 钻探实施应按现行行业标准《水利水电工程钻探规程》SL/T 291 的规定执行，应对设备和机具进行检查、维护、保养。

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或专项任务书，以及水平定向钻探作业的各项要求。现场踏勘宜了解钻探区域的地质、地形地貌、交通、场地、水源等自然条件，并编制钻探作业计划。

6.2.2 钻探作业计划宜包括下列内容：

- 1 钻探目的与任务。
- 2 钻探设计书、执行技术标准等工作依据。
- 3 资源配置。
- 4 钻探方法与工艺。
- 5 钻孔轨迹、测控要求与措施。
- 6 取心取样、原位测试要求与方法。
- 7 作业场地规划布置。
- 8 进度计划。
- 9 钻孔质量保证措施。
- 10 环境与职业健康安全管理。

6.3 作业准备

6.3.1 作业前宜按照设计图纸放出钻孔轨迹地面投影线确定孔位，根据孔位、投影线、钻探设备、安装方法、地形条件等因素确定作业场地。

6.3.2 作业前宜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要求：

- 1 作业场地宜单独围挡。
- 2 场地上方应避开高压线或其他影响机具吊装的障碍物，并保持安全距离，钻孔位置应避开地下管线及地下构筑物等设施。

- 3 场地宜平整硬化，地基可承载钻机、泥浆处理系统等大型设备，四周宜修砌排水沟。
- 4 在河滩或山谷中修建场地时，场地宜与水域保持一定距离，在洪水、暴雨季节场地高程应满足防洪水位要求。
- 5 钻场处于陡崖、陡坡下方时，应清除上方的危石；无法清除时宜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，宜在泥浆池中铺设防渗材料。

6.3.4 地锚修筑应符合下列要求：

- 1 地锚应稳固，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。
- 3 混凝土浇筑地锚时，混凝土强度不宜低于 C30，养护时间不宜少于 48 小时。

6.3.5 钻机安装应符合下列要求：

- 1 钻机各系统组件应齐全无损，机械传动、液压回路、电控、循环管路等系统应连接稳固，仪表显示正常，各油路、水管畅通，无泄漏。
- 2 安装钻机时，辅助起吊臂应保持锁死状态，起吊臂下严禁人员逗留。
- 3 雷电天气及六级以上风力时严禁安装钻机。
- 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 钻机采用地锚或锚定沉箱固定时，应满足在钻机最大推拉力作用下不发生移位。
- 6 钻机安装后应对钻机整体进行校平。

6.3.6 其它机械设备安装应符合下列要求：

- 1 其它机械设备宜按照作业计划布置平面图进行安装，冲洗液管路和电器线路应规范有序。
- 2 安装和固定机械设备时不宜直接敲击。连接螺栓宜对称拧紧，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、照明设施宜布置在干燥、通风处，并宜采用有效措施防止油、水和杂物侵入。电器的引线应做好绝缘和防护，接地应可靠。各类电路应正常、无漏电。
- 4 钻杆丝扣清洁完好，无变形或损坏。
- 5 零配件和钻探工具摆放有序。

6.3.7 导向钻具应根据钻孔轨迹设计、地层类型、钻孔深度及钻杆尺寸选择合适的组合形式。

6.3.8 无线导向仪施工前应对导向仪进行校核，并应符合下列要求：

- 1 检查导向系统（接收器、发射器、远程同步监视器）电源功能是否正常。
- 2 检查接收器、远程同步监视器信道是否匹配。

- 3 使用导向系统前应对导向系统进行校准。
- 4 更换发射器、接收器、钻头体时应重新进行校准。
- 5 钻进前宜测试施工区域干扰信号，确定合适的发射和接收频率。

6.3.9 试验作业前应对试验设备进行检查，并宜符合下列要求：

- 1 各类测试仪器的电源功能是否正常。
- 2 信号传输是否畅通，记录是否正常。
- 3 各类测试仪器是否在校准有效期内。

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，选择合适的冲洗液类型与造浆材料，制定完善的冲洗液制备与处理系统。

6.4.2 冲洗液制备应包含下列内容：

- 1 确定冲洗液的密度、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 确定各种造浆材料的配合比。
- 3 计算冲洗液材料用量。
- 4 确定冲洗液制备方法与要求。
- 5 制定冲洗液循环、净化、排放措施。

6.4.3 冲洗液的选用应满足下列要求：

- 1 钻进致密、稳定地层时，宜选用清水或添加润滑剂作业。
- 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、破碎或胶结较差地层时，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，宜选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，宜选用与该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，宜选用密度大、失水量小的冲洗液。
- 7 金刚石钻进宜选用清水、低固相、无固相泥浆或乳化泥浆等。

6.4.4 冲洗液性能应根据岩石的坚硬程度、水敏水化性和岩体的完整性综合选择，并宜按表 6.4.4 的规定取值。

表 6.4.4 冲洗液性能参数表

冲洗液性能	地层类型			
	花岗岩等坚硬完整地层	砂岩等中硬～软岩完整地层	砾岩层等松散破碎地层	泥页岩等水敏水化性地层
马氏漏斗黏度 (s)	40～55	50～60	80～120	35～50
塑性黏度 P_v (MPa·s)	8～12	8～12	15～25	6～12

冲洗液性能	地层类型			
	花岗岩等坚硬完整地层	砂岩等中硬~软岩完整地层	砾岩层等松散破碎地层	泥页岩等水敏水化性地层
动切力 Y_p (Pa)	5~8	5~10	>10	3~6
表观黏度 A_v (MPa·s)	8~15	12~20	20~35	6~12
静切力 $G_{10\text{ s}}/G_{10\text{ min}}$ (Pa)	2~6/5~10	3~8/6~12	5~10/15~20	2~5/3~8
失水量(ml)	10~20	8~12	8~12	8~12
PH	9~11	9.5~11.5	9.5~11.5	9~11

6.4.5 冲洗液制备材料应根据冲洗液性能要求和材料作用选择,并宜按表 6.4.5 的规定选取。

表 6.4.5 冲洗液制备材料作用及加量表

组分	参考加量 kg/m^3	作 用
膨润土	30.0~60.0	提高黏度、降低滤失量,提高胶结性
烧碱 (NaOH) 或纯碱 (Na_2CO_3)	0.5~2.0	调节 pH 值,分散作用和软化水
腐植酸类,如腐植酸钾等	10.0~30.0	降低滤失量,选择其中一种或多种
纤维素类,如 CMC-LV、PAC-LV 等	1.0~5.0	
淀粉类,如羧甲基淀粉等	5.0~15.0	
水解聚丙烯腈类,如水解聚丙烯腈铵盐等	5.0~15.0	
纤维素类,如 CMC-HV、PAC-HV 等	2.0~10.0	提高黏度和切力
改性沥青、乳化沥青等	10.0~30.0	封堵,提高胶结性
随钻循环堵漏剂、超细碳酸钙等	10.0~50.0	封堵孔隙或裂缝
磺化单宁 (SMT)、木质素磺酸盐等	3.0~10.0	降低黏度
重晶石粉	视密度情况	提高密度

6.4.6 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,可按公式 (6.4.6) 计算:

$$V = \frac{k\pi D_e^2 L}{4} \times 10^{-6} \quad (6.4.6)$$

式中: V —冲洗液用量 (m^3);

D_e —钻孔直径 (mm);

L —钻孔长度 (m);

k —比例系数,取值范围为 3~5,一般取 3。

6.4.7 冲洗液的配方和性能参数在施工过程中应根据地层条件、钻进工艺、孔内情况等因素进行实时监测和调整,并应符合下列要求:

- 1 密度应控制在 $1.02\text{g/cm}^3 \sim 1.25\text{g/cm}^3$ 。
- 2 黏度应每 2h 测量一次,测量工具宜采用马氏漏斗测量。
- 3 静切力可用六速旋转黏度计测定,并按公式 (6.4.7-1) 计算:

$$G_{10s} \text{ (或 } G_{10min}) = R_3 / 2 \quad (6.4.7-1)$$

式中： G_{10s} 、 G_{10min} —分别为泥浆的 10s 或 10min 静切力 (Pa)；

R_3 —旋转黏度计静止 10s 或 10min 时的 3r/min 最大读值。

4 动切力可按公式 (6.4.7-2) 计算：

$$Y_p = 0.5 \times (2R_{300} - R_{600}) \quad (6.4.7-2)$$

式中： Y_p —冲洗液的动切力 (Pa)；

R_{300} 、 R_{600} —旋转黏度计 300 r/min、600 r/min 时的稳定读值。

5 失水量宜采用气压式加压失水量仪测量，压差 0.69MPa，测试 30min 滤液的体积。

6 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 经净化处理后的冲洗液含砂量应小于 0.5%。

8 冲洗液的 pH 值应控制在 9~11 的范围内。

6.4.8 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。

6.4.9 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。

6.4.10 当钻进过程需要长时间中断时，应定期向孔内补充新冲洗液并活动钻具。

6.5 钻进作业

6.5.1 定向孔钻进应符合下列要求：

- 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 开孔钻进时应轻压慢转、稳定入土位置，符合设计开孔角后方可继续钻进。
- 3 钻进时，直线段轨迹测量计算频率宜每根钻杆一次。

6.5.2 钻进过程应按下列要求记录相关导向数据：

- 1 采用无线导向仪时，宜绘制钻孔轨迹平、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。
- 3 钻进过程中应及时记录相关信息，钻探班报应符合本标准附录 B 的规定，钻孔岩心采取记录应符合本标准附录 C 的规定。
- 4 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。
- 5 曲线段钻进时，一次钻进长度宜小于 0.5m，同时应估算延伸长度顶角变量，顶角变量应符合钻杆极限弯曲强度要求；所需顶角变量较大时，应采取分段施钻，延伸长度角度变化应均匀。
- 6 定向孔纠偏应平缓，不应出现大的转角。
- 7 钻进至既有管线或障碍物临近区域时，应慢速钻进并复核钻孔轨迹，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。

8 钻进遇到异常情况时，应停钻查明原因，问题解决后方可继续施工。

6.5.3 钻探相关报表应随钻进作业及时填写，对地层变化、钻进参数、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、重要地质现象、取心情况等方面，宜作出准确及仔细的描述记录。

6.5.4 钻进作业过程中，当钻进轨迹附近有重要构筑物时宜开展监测工作。

6.6 轨迹控制

6.6.1 水平定向钻孔轨迹控制应符合下列要求：

- 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 施工中应对钻孔轨迹的垂直与水平偏差、钻头的位置与俯仰角、导向的钻具面向角等参数进行测量。
- 4 水平定向钻孔实际轨迹偏离设计轨迹和设计要求时，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要求：

- 1 地表或水域条件允许时，可布置人工磁场增强导向信号。
- 2 宜安装导向孔定位套管。
- 3 水平定向钻机应固定牢靠，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，保证钻孔轨迹偏差控制在允许范围以内。
- 5 每钻进一根钻杆，宜进行一次钻孔轨迹校核。
- 6 钻孔轨迹记录宜符合本标准附录 D 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要求：

- 1 随时观察孔口返浆量情况及钻进参数情况，发现异常及时采取措施处理。
- 2 分析特殊地层的具体情况，宜选择合适的钻进方法。
- 3 钻进过程中遇特殊地层，出现卡钻、掉钻、烧钻、埋钻、漏失、涌水等异常时应及时处理并记录，钻探异常情况记录宜符合本标准附录 E 的规定。

6.7.2 破碎地层钻进应符合下列要求：

- 1 孔口返浆量增加或减少时，应及时查明原因。
- 2 存在塌孔风险时，宜在冲洗液中添加防塌护壁材料或进行水泥浆固结护壁。
- 3 出现冲洗液漏失时，宜在冲洗液中添加堵漏材料或进行水泥浆固结堵漏。
- 4 出现钻孔涌突水时，应采取下列处理措施：
 - 1) 宜立即停止钻进，启用应急止水技术措施。
 - 2) 宜通过钻杆将水泥浆泵入孔内进行封堵。

3) 封堵加固成功后, 可继续钻进施工。

6.7.3 瓦斯地层钻进应符合下列要求:

1 发生瓦斯涌出、喷出异常状况时, 应立即采取阻断火源、加强通风、抽排瓦斯、撤离人员等措施。

2 瓦斯较多时, 喷出持续时间较长, 应将孔口处防喷器关闭, 排空孔内冲洗液后, 再用抽放瓦斯设备抽排。

3 瓦斯不多时, 可让瓦斯自然排放, 或采用注浆方法将周围通道堵住, 阻止瓦斯喷出。

4 封闭环境施工应保持正常通风, 通风系统因故中断、恢复正常通风后, 应进行瓦斯专项检测, 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 孔口返浆量减少时, 应及时查明原因。

2 钻遇岩溶洞穴时, 应立即关停钻机和泥浆泵。

3 溶洞较小且不影响钻进成孔时, 可继续钻进。

4 溶洞较大或影响钻进成孔时, 宜采取泵入混凝土进行填充封堵。

6.8 封孔

6.8.1 钻孔资料收集完成后应按钻探设计书要求进行封孔。

6.8.2 钻孔封孔方法宜根据穿越含水层的层数和孔段长度, 选择适当的封闭及隔离方法, 基岩段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, 其配置应符合下列要求:

1 水泥宜采用 P.O 32.5 及以上标号水泥。

2 砂宜采用细砂。

3 水泥浆水灰比宜为 0.5:1~0.6:1, 水泥砂浆中水、水泥、细砂配合比宜为 0.4:1:1。

4 水泥(砂)浆中宜加入占水泥量 10%~20%的膨胀剂。

6.8.4 水泥浆或水泥砂浆用量可根据孔径、灌注长度按公式(6.8.4)计算:

$$V_s = 7.85 \times 10^{-7} \times D_e^2 \times L \times K \quad (6.8.4)$$

式中: V_s —水泥(砂)浆用量, m^3

D_e —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 封孔前宜用清水洗孔, 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, 灌注时导管口应放置于距离孔底 0.3 m~0.5 m 处, 边灌注边匀速提升导管, 并使导管口始终保持在注浆面之下。

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。

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

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。

6.9 钻探记录

6.9.1 钻探记录应在钻探过程中同步完成，记录项目主要应包括钻探班报表、钻孔轨迹记录表、钻孔岩心采取记录表等。

6.9.2 钻探班报和钻孔轨迹记录应按钻进钻杆数量顺序逐项填写，钻孔岩心现场记录应按取心回次逐项填写。记录内容不得追记，误写之处可用横线划去在旁边更正，不得在原处涂抹修改。

6.9.3 现场钻进过程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** 钻进异常情况、孔内事故及处理措施等。

7 钻孔取心取样

7.1 一般规定

7.1.1 水平定向钻探取心取样工作应根据钻探设计书和作业计划的要求,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 85%,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、分段取心或配合交叉使用,在人工弯曲钻孔的纠斜、造斜孔段,不宜做取心要求。

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。

7.2 钻孔取心

7.2.1 水平定向钻探取心钻进应符合下列要求:

- 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 取心钻进参数、冲洗液类型及性能参数宜通过试钻或经验确定。
- 4 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。
- 5 断层、破碎带、软弱夹层和滑动面等取心难点孔段,宜采用针对性的取心钻进器具与操作方法。
- 6 岩样尺寸应满足试样加工的要求。
- 7 取出的岩心应按钻进回次先后顺序排列装箱,回次之间用岩心牌隔开,岩心牌内容应填写齐全并做好防水,岩心和岩心箱应及时编号标示。
- 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。

7.2.2 采用分段取心钻进时,应符合下列要求:

- 1 钻进段岩性较为单一的条件下,可采用分段取心。
- 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 取心钻具下钻时，应控制下放速度，不得猛推快放。

6 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，应符合下列要求：

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 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。

2 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。

3 下钻完毕钻头接近孔底，宜开泵压送冲洗液清洁孔底，并形成内外循环，然后轻压慢转开始钻进。

4 钻进过程中钻压和转速应根据地层条件及时调整，并宜均匀控制，减少蹩钻、跳钻现象。

5 钻孔冲洗液介质的性能应满足钻进与护壁需要，并宜根据地层变化及时进行参数测试及调整。

6 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。

7 严禁加足钻压状态时启动钻具回转。

8 钻进过程中，宜观察动力负荷、机械钻速、泵压钻压的各种变化，发现异常应果断处理，必要时宜停钻排查或起钻检查。

7.3 地质描述

7.3.1 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要求：

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层厚等特征；对岩浆岩和变质岩应描述矿物结晶大小和结晶程度等特征。

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。

3 可溶岩中溶蚀裂隙、孔、洞等的发育规模、充填物及充填程度等。

7.3.2 钻孔非取心段岩心应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，对采集岩屑样品及时进行地质描述和分析判别，地质描述和分析判别应符合下列要求：

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 水样采集

7.4.1 钻孔水样宜分层、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要求：

1 盛水容器应干净，不得有残留杂质，取水试样前应先用被取水洗涤 2 次~3 次后方可使用。

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

3 存在多个含水层（段）时，宜分层（段）隔水取样。

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，再进行提水或抽水，待水位恢复稳定后再进行水样采取。

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、加入稳定剂情况等。

7.4.4 水试样的保管与运送应符合下列要求：

1 取样后应及时加盖、蜡封，并贴标签。

2 水试样数量不应小于 1500mL，特殊测试项目应按有关规定采取水样，数量、质量满足相关规定。

3 水试样应及时送验，放置时间应符合试验项目要求。

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地球物理测井、水文地质试验、钻孔岩体试验等，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 地球物理测井

- 8.2.1** 地球物理测井方法应根据勘察目的确定，主要包括综合测井、钻孔声波、钻孔全景数字成像和钻孔摄像等方法。
- 8.2.2** 仪器性能指标、现场操作、成果资料整理应符合现行行业标准《水利水电工程勘探规程 第1部分：物探》SL/T 291.1的规定。
- 8.2.3** 水平孔地球物理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。
- 8.2.4** 水平孔井径测井宜采用多臂井径测井仪，钻孔声波测试宜采用柱状深孔换能器，并具有前置放大功能，具备防水、耐压性能。
- 8.2.5** 钻孔全景数字成像和钻孔摄像测试应符合下列要求：
- 1 测试时下井探管应安装居中装置。
 - 2 测试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。
 - 3 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。
 - 4 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。
 - 5 钻孔全景数字成像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、顶角等校正。

8.3 水文地质试验

- 8.3.1** 水利水电工程水平定向钻孔宜开展水文地质观测和钻孔压水试验。
- 8.3.2** 钻探过程中应开展水文地质观测，观测工作应符合下列要求：
- 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，承压水分布孔段承压水头、涌水量等。
 - 2 观测设备安装及观测频次应符合现行行业标准《水利水电工程地质观测规程》SL 245

的规定。

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应符合本标准附录 F 的规定。

8.3.3 钻孔压水试验宜符合下列要求:

- 1 压水试验栓塞位置定位应准确,应根据钻孔取心、钻孔全景数字成像等成果综合确定位置。
- 2 压水试验宜采用双栓塞止水、分段隔离进行。
- 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现行行业标准《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL 31 的规定。

8.4 钻孔岩体试验

8.4.1 水平定向钻孔宜根据揭露地层岩性、勘察目的开展钻孔岩体变形试验和地应力测试。

8.4.2 主要地层岩体宜进行钻孔岩体变形试验,并应符合下列要求:

- 1 钻孔岩体变形试验位置应根据钻孔揭露情况、试验目的等确定。
- 2 试验段宜采用金刚石取心钻进,孔壁宜平直光滑。
- 3 试验段不应跨越地层单元,岩性宜一致。
- 4 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现行行业标准《水利水电工程岩石试验规程》SL/T 264 的规定。

8.4.3 水平定向钻孔中地应力测试宜采用水压致裂法、声发射法,测试时应符合下列要求:

- 1 地应力测试位置应根据测试目的、钻孔轨迹、钻孔揭露情况等确定。
- 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。
- 3 采用水压致裂法测试地应力时孔壁岩体压裂缝方向宜采用定向印模器和钻孔全景数字成像成果相结合的方法确定。
- 4 采用声发射法测试地应力时应采用岩心定向技术采集试样,并测试试验孔段的方位角、顶角。
- 5 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现行行业标准《水利水电工程岩石试验规程》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 钻孔孔内事故宜分为钻具事故、取心事故、卡钻、埋钻及烧钻事故、套管事故、造斜事故、落物事故与测试事故等类型。

9.1.2 施工前应根据地质条件做好钻孔复杂情况分析,制定合理的钻探技术方案和事故预防处理方案,备足钻探器材。

9.1.3 钻进过程中应对钻探事故及时记录并分析,钻孔事故记录宜符合本附录 G 的规定。

9.2 孔内事故预防

9.2.1 孔内事故预防应符合下列要求:

- 1 操作人员应严格遵守钻探设计书和操作规程。
- 2 应根据地层条件正确选择钻进方法和钻进技术参数。
- 3 应根据地层条件和孔内情况正确选用、配制和调整冲洗液。
- 4 应及时检查并更换受损的钻探管材。

9.2.2 钻具事故、取心事故的预防应符合下列要求:

- 1 应选择合理的钻具结构、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 采用水平定向钻机时,下钻前应检查取心钻具和随钻测量仪器是否完好、夹持器功能是否正常、零部件是否齐全、取心钻具单动性是否良好,装入随钻测量仪器及连接部件时应连接可靠。
- 3 采用立轴式钻机时,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)功能是否正常、钢丝绳是否完好,发现问题应立即处理。
- 4 钻具至孔底前应开泵冲孔到底后,先慢钻轻压,然后用正常参数钻进,钻压、转速不宜过高。
- 5 起钻时应平稳提升孔内钻具。

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、黏度较高、失水量较小的冲洗液。
- 2 在吸水膨胀、缩径地层钻进时,宜采用超径钻头钻进。
- 3 钻进回转遇阻时,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 垂直孔段孔底岩粉厚度超过 0.3m、水平孔段钻孔下帮岩粉厚度超过 0.02m,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, 应先用异径钻具打小眼引孔; 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。
- 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, 不得用强力打击套管。

9.2.5 造斜事故的预防应符合下列要求:

- 1 造斜时, 应严格制造斜钻进参数, 杜绝强压强顶。
 - 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, 粗径钻具应能顺利通过。
 - 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, 宜拆开造斜器检查, 更换磨损的轴承, 保持转子单动灵活性。
- 在高固相泥浆孔中, 每造斜1回次应清洗检查。

- 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。

9.2.6 落物事故的预防应符合下列要求:

- 1 孔口套管宜高出地面不少于20cm。
- 2 孔口操作应规范, 孔口工具摆放应规整。
- 3 提钻后应立即用钢板或专用罩遮盖孔口。

9.2.7 测试事故的预防应符合下列要求:

- 1 测试前应先下入钻具通孔。
- 2 检查测试设备连接件螺纹情况, 螺纹磨损过度、变形、损坏及配合不紧密应更换。
- 3 上下测试遇阻力时, 应放慢升降速度, 控制拉力, 防止拉断。

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 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。
- 2 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。
- 3 采用拉、提、顶、打等方法处理事故时, 钻杆应拧紧; 强力起拔事故钻具前应检查设备的可靠性; 处理事故过程中起下钻应平稳, 确保孔壁稳定。
- 4 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，宜先对扣或锥取，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，应调整钻进参数、活动钻具，提钻后宜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，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，宜采取反出钻杆、扫孔、扩孔或掏心等方法进行处理。
- 2 发现烧钻时，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 发生压差卡钻后，应在冲洗液中加入一些原油、柴油或专用解卡剂。
- 5 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，宜采取对扣、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；套管底部宜稳定、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 造斜事故的处理应符合下列要求：

- 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；在无法打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。

9.3.6 落物事故的处理应符合下列要求：

- 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。

9.3.7 测试事故的处理应符合下列要求：

1 发生探头卡埋等测试事故时，应上下提拉，合理控制拉力。

2 测绳或电缆未拉断时，宜采用穿心打捞。

3 发生测绳或电缆拉断、脱落事故时，应先用捞钩打捞测绳或电缆，然后用打捞筒或取心钻具套取测试探头。

10 质量与验收

10.1 钻探质量

10.1.1 钻探质量验收应包括钻孔轨迹测量间距与偏差、岩心采取率与样品采集、水文地质观测、孔内试验与测试、原始记录报表、封孔等项目，并应根据钻孔设计书要求确定主控项目和一般项目。

10.1.2 钻孔实际轨迹偏差与测量间距应符合本标准第 4.2.4 条的要求。

10.1.3 钻孔岩心采取率应符合本标准第 7.1.2 条的要求或钻探设计书的要求，样品采集应符合相关试验的要求。

10.1.4 水文地质观测、孔内试验与测试应符合第 8 章的要求。

10.1.5 原始报表记录应符合本标准第 6.9 节的要求。

10.1.6 封孔要求应符合本标准第 6.8 节的要求。

10.2 钻探验收

10.2.1 验收应由专项委托方或项目负责人组织相关专业人员进行。

10.2.2 验收应逐孔按钻探设计书要求和钻探质量指标逐项进行，钻孔验收表的内容可参考本标准附录 H 的规定。

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

10.2.4 验收结果宜分为“合格”和“不合格”，主控项目全部满足要求、一般项目基本满足要求为合格，主控项目不满足要求为不合格。

10.2.5 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。

10.2.6 钻探验收后由验收人在验收表上签署验收意见并存档。

11 资料整编

11.0.1 水平定向钻探成果资料宜包括资料性成果和成果报告。

11.0.2 资料性成果宜包括下列内容：

- 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 试验与测试成果表及影像。

11.0.3 成果报告应包括水平定向钻探报告、附图、附件，并宜符合下列要求：

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、工程地质条件及问题、结论及建议等章节内容，并宜符合下列要求：

- 1) 概述宜包括工程概况、工作目的、工作依据、实施过程、完成工作量。
 - 2) 钻探技术工效评价宜包括钻探机具选择、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宜包括仪器选择、过程控制、成果分析、效果评价等。
- 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 钻孔轨迹形式

A.0.1 隧洞工程钻孔轨迹宜平行隧洞轴线布置，钻孔轨迹形式布置宜符合下列要求：

- 1 隧洞进出口段地形较陡时，宜采用“一”形钻孔轨迹形式，见图 A.0.1-1。
- 2 隧洞进出口段地形较缓或存在障碍物时，宜采用“∩”形钻孔轨迹形式，见图 A.0.1-1。
- 3 隧洞洞身段宜采用竖直的“L”形或“人”形钻孔轨迹形式，见图 A.0.1-1。
- 4 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布孔，宜采用水平的“L”形或“人”形钻孔轨迹形式，见图 A.0.1-2。

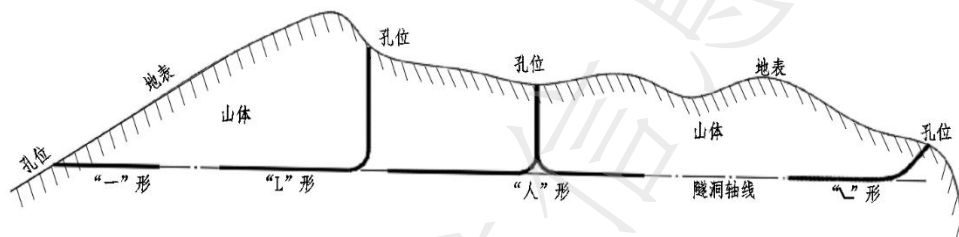


图 A.0.1-1 隧洞水平定向钻孔剖面轨迹形式示意图

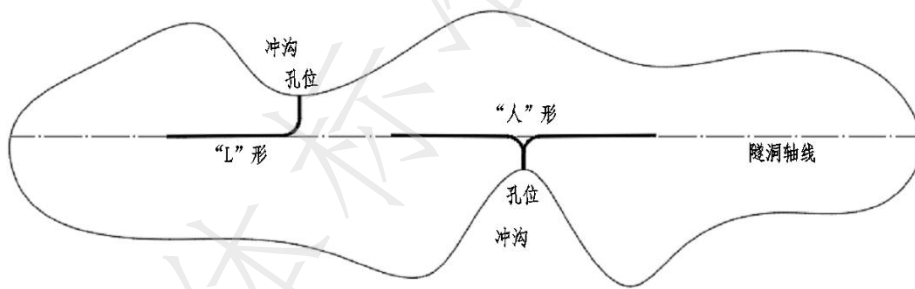


图 A.0.1-2 隧洞工程水平定向钻孔平面轨迹形式示意图

A.0.2 跨江（海）穿越工程钻孔轨迹宜平行穿越工程的轴线布置，钻孔轨迹形式布置宜符合下列要求：

- 1 进出口段地形平缓时，宜采用“∩”形钻孔轨迹形式，见图 A.0.2。
- 2 进出口段地形高陡或存在障碍物时，宜采用“L”形钻孔轨迹形式，见图 A.0.2。

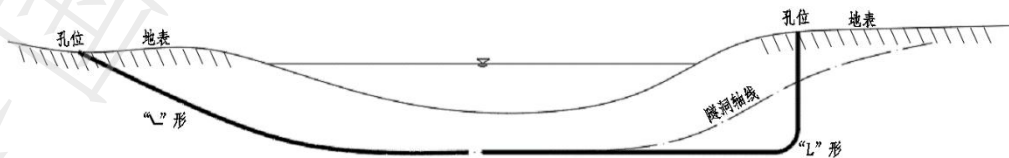


图 A.0.2 跨江（海）穿越工程水平定向钻孔剖面孔轨迹形式示意图

A.0.3 枢纽工程地下洞室群水平定向钻探轨迹宜平行或沿建筑物轴线布置，钻孔轨迹形式布置宜符合下列要求：

- 1 地下洞室进出口段存在平缓台地时，宜采用“一”形钻孔轨迹形式，见图 A.0.3。
- 2 地下洞室（群）进出口附近存在平缓台地时，宜采用“∩”形钻孔轨迹形式，见图

A.0.3。

3 地下洞室（群）进出口段地形高陡或存在障碍物时，宜采用竖直的“L”形钻孔轨迹形式，见图 A.0.3。

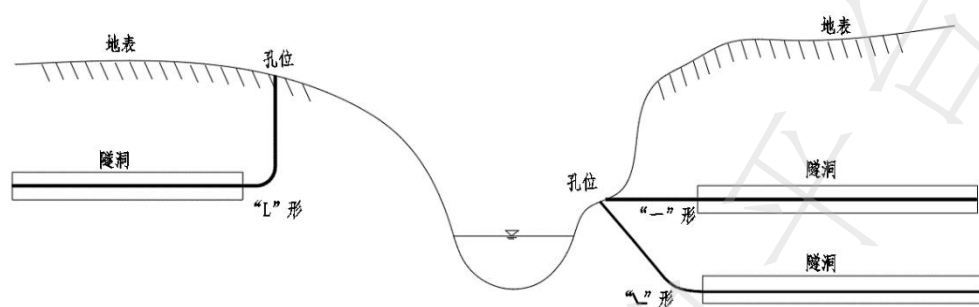


图 A.0.3 地下洞室群水平定向钻孔剖面轨迹形式示意图

附录 B 钻探班报表

表 B X X 钻孔钻探班报表

序号	时间			工作内容	孔深 (m)	钻头 直径 (mm)	粗径 钻具 规格 (mm)	钻进参数						冲洗液性能				钻进速度 (m/h)	岩心采 取编号 (岩粉)	回水及 孔内情 况	备注
	起	止	每根钻 杆钻进 时长 (分)					给进 压力 (kN)	回转扭 矩 (N·m)	转速 (r/min)	泥浆泵压 (MPa)	冲洗液泵 入量 (L/min)	冲洗液消 耗量 (L/min)	进浆 密度 (g/cm ³)	返浆密 度 (g/cm ³)	进浆粘 度 (s)	返浆 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 C 钻孔岩心采取记录表

表 C X X 钻孔岩心采取记录表

回次	孔深 (m)		进尺 (m)	钻孔直径 (mm)	取心取样方法	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 D 钻孔轨迹记录表

表 D X X 钻孔轨迹记录表

工程名称: 工程地点: 实施单位: 钻机型号: 日期:

开孔角 (°)				初始方位角 (°)						钻头-传感器距离 (m)					
孔口高程 (m)				夹持器-孔口 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)	钻孔深度 (m)	工具面向角 (°)	顶角 (°)	方位角 (°)	实际高程 (m)	高程偏移量 (m) (下+上-)	水平偏移量 (m) (右+左-)	测控方法与仪器	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 E 钻探异常情况记录表

表 E ____X X____ 钻探异常情况记录表

工程名称:

工程地点:

实施单位:

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:

表F X X 钻孔水文地质观测记录表

日期:

其他人员:

附录 G 钻孔事故及处理记录表

表 F X X 钻孔事故记录表

工程名称： 工程地点： 实施单位： 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 H 钻孔验收表

表 H 钻孔验收表

工程名称			实施单位		
孔 号			设计孔深 (m)		作业时间
钻孔位置			实际孔深 (m)		验收时间
序号	验收项目	验收结果		备 注	
1	钻孔轨迹测量间距				
2	钻孔轨迹偏差				
3	孔深				
4	孔径				
5	岩心采取率				
6	试样采取				
7	水文地质观测				
8	孔内试验与测试				
9	岩心标识和保护				
10	原始记录				
11	长观装置安装				
12	封孔				
....					
验收意见					
验收参加人员					
钻探负责人			项目负责人		

本标准用词说明

- 1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，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”。

引用标准名录

《岩土工程勘察安全标准》GB/T 50585

《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL 31

《水利水电工程地质观测规程》SL 245

《水利水电工程岩石试验规程》SL/T 264

《水利水电工程钻探规程》SL/T 291

《水利水电工程勘探规程 第1部分：物探》SL/T291.1

《水利水电工程地质勘察资料整编规程》SL 567

中国水利学会团体标准

水利水电工程水平定向钻探规程

T/CHES XXX—20XX

条文说明

制订说明

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，认真总结了水利水电工程水平定向钻探经验，在广泛征求意见的基础上，参考大量国内外相关法律法规、技术标准，并与相关国家、行业标准相衔接，数次易稿编制而成。

为便于广大技术人员和科研人员在使用本标准时能准确理解条文要义，编写组按章、节、条、款、项等顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，供读者作为理解和把握标准规定的参考。

限于编写时间和水平有限，本标准难免有疏漏之处，希望广大读者批评指正，以便再版修订时加以改进。

目 次

1 总 则.....	46
2 术 语.....	48
3 基本规定.....	49
4 钻探设计.....	50
4.1 一般规定.....	50
4.2 钻孔轨迹设计.....	50
4.3 钻孔结构设计.....	51
4.4 钻探工艺设计.....	51
5 钻探设备与器具选择.....	52
5.1 一般规定.....	52
5.2 钻机.....	52
5.3 钻具.....	53
5.4 冲洗液设备.....	54
5.5 造斜器具.....	55
5.6 测量仪器.....	55
6 钻探实施.....	57
6.1 一般规定.....	57
6.2 作业计划.....	57
6.3 作业准备.....	57
6.4 冲洗液制备.....	58
6.5 钻进作业.....	59
6.6 轨迹控制.....	59
6.7 特殊地层钻进.....	60
6.8 封孔.....	60
6.9 钻探记录.....	60
7 钻孔取心取样.....	61
7.1 一般规定.....	61
7.2 钻孔取心.....	61
7.3 地质描述.....	61
7.4 钻孔水样采集.....	62
8 钻孔试验与测试.....	63
8.1 一般规定.....	63

8.2	地球物理测井.....	63
8.3	水文地质试验.....	63
8.4	钻孔岩体试验.....	63
9	孔内事故的预防和处理.....	65
9.1	一般规定.....	65
9.2	孔内事故预防.....	65
9.3	孔内事故处理.....	66
10	质量与验收.....	68
10.1	钻探质量.....	68
10.2	钻探验收.....	68
11	资料整编.....	69
附录 A	钻孔轨迹形式.....	70
附录 B	钻探班报表.....	71
附录 C	钻孔岩心采取记录表.....	72
附录 D	钻孔轨迹记录表.....	73
附录 E	钻探异常情况记录表.....	74
附录 F	水文地质观测记录表.....	75
附录 G	钻孔事故及处理记录表.....	76
附录 H	钻孔验收表.....	77

Contents

1	General provisions	46
2	Vocabulary and symbols	48
3	Basic requirements	49
4	Drilling design	50
4.1	General requirements	50
4.2	Borehole trajectory design	50
4.3	Borehole structure design	51
4.4	Drilling process design	51
5	Selection of drilling equipments and instruments	52
5.1	General requirements	52
5.2	Drilling rigs	52
5.3	Downhole drilling tools	53
5.4	Flushing fluid equipments	54
5.5	Whipstock and deflecting tools	55
5.6	Measurement instruments	55
6	Drilling execution	57
6.1	General requirements	57
6.2	Design of operation	57
6.3	Preparation of operation	57
6.4	Preparation of flushing fluid	58
6.5	Drilling operation	59
6.6	Trajectory control	59
6.7	Drilling in special stratum	60
6.8	Hole sealing	60
6.9	Drilling logs	60
7	Core boring and sampling	61
7.1	General requirements	61
7.2	Coring	61
7.3	Geologic description	61
7.4	Water sample collection	62
8	Borehole testing	63
8.1	General requirements	63
8.2	Borehole geophysical testing	63
8.3	Hydrogeological testing	63
8.4	Borehole rock-body testing	63
9	Borehole trouble prevention and treatment	65

9.1	General requirements	65
9.2	Prevention of borehole trouble	65
9.3	Treatment of borehole trouble	66
10	Dring quality and acceptance	68
10.1	Drilling quality	68
10.2	Dring acceptance	68
11	Data compilation	69
Appendix A	Borehole trajectory format	70
Appendix B	Daily drilling report form	71
Appendix C	Core recovery record form	72
Appendix D	Borehole trajectory record form	73
Appendix E	Drilling anomaly reocrd form	74
Appendix F	Hydrogeologic observation reocrd form	75
Appendix G	Borehole trouble and treatment record form	76
Appendix H	Drilling acceptance form	77

1 总 则

1.0.1 水平定向钻探是把非开挖领域的定向钻进技术和勘察取心技术相结合,利用钻孔的自然弯曲规律以及人工造斜工具,使钻孔按设计要求钻取目标地层。采用水平定向钻探技术,通过灵活控制钻进轨迹,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,在地质勘探领域尤其深埋长隧洞、跨江(海)穿越段及地下洞室群等工程中有较好的应用前景,主要优势如下:

(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,具有传统铅直孔无法比拟的优势。

(2) 替代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,平硐往往实施比较困难。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;传统的超前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(或平行)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,还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天山胜利隧道、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;2022年在引大济岷工程完成了500m水平定向钻探;2022年底在引江补汉工程完成了主孔630m、水平分支孔81m定向钻探,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。

1.0.2 水平取心钻进相较于垂直钻进和斜孔钻进难度更大,本标准水平定向钻探是将非开挖领域先进的水平定向钻探技术与取心钻具相结合,实现长距离定向钻孔和勘察取心功能,是地质勘察方法的一种应用创新,水平定向钻探凸显的是先进的定向钻探技术,包括钻进过程中通过控制钻孔轨迹实现长距离钻进的水平孔、斜孔、弯曲孔和多分支孔等。

2 术 语

2.1.6 当泥浆泵泵出的冲洗液流经旁通阀进入马达，在马达进出口处形成一定压差，推动转子绕定子的轴线旋转，并将转速和扭矩通过万向轴和传动轴传递给钻头，从而实现钻井作业。

3 基本规定

3.0.1 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很难做到全孔段的取心，而只能根据地质目的进行有计划的取心采样等，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。

3.0.2 钻探设计书是为确保钻探达到预期目的而编制的钻孔书面设计，需地质和钻探专业人员共同编制完成，作业计划是钻探设计的实施，主要由钻探专业负责。

3.0.4 水平定向钻探一般仅通过冲洗液来维持孔壁稳定，在穿越重要设施如建(构)筑物、铁路、高等级公路、重要水域以及地下管线等，需要事先进行风险评估，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。

3.0.7 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，因此需按照国家 and 地方有关规定进行回收处理。在居民区夜间施工时，还要采取相应措施减少噪音扰民。

4 钻探设计

4.1 一般规定

4.1.1 水平定向钻探工程施工前需进行钻探设计，未经审批不得施工。

4.1.2 水平定向钻探设计需对现场环境制约因素进行调查，了解场地周边环境以及地表对孔位的限制条件，重点查勘是否存在影响场地的滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害和自然保护区、水源地、特殊建筑等敏感区，了解钻孔场地交通条件、通水条件、通电和通讯情况，以及场地平整情况等，收集影响场地布置的相关资料。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。

4.1.3 对钻探设计内容进行了规定，明确水平定向钻探目的、内容，以及取心取样、原位测试与试验要求等。钻孔穿越地段地质条件主要根据前期勘察成果或区域地质资料，对穿越段地层岩性、地质构造、水文地质条件等进行分析，并附工程区地质平面图和钻孔轨迹轴线地质剖面图，初步评价岩石可钻性，便于开展钻孔结构设计、钻进工艺设计。

4.2 钻孔轨迹设计

4.2.1 钻孔轨迹一般与地下工程设计轴线平行，一方面要满足查明隧洞围岩基本地质条件的要求，另一方面不给后续工程施工和运行留下隐患。平行布置于隧洞两侧时，穿越水域或地下水丰富段一般距离隧洞外线 2~3 倍洞径，穿越地下水不丰富陆域段时一般距离隧洞外线 1~2 倍洞径；平行布置于隧洞轴线上方时，一般距洞顶 1~2 倍洞径。枢纽工程地下洞室群，一般沿建筑物轴线布置或平行建筑物轴线布置。

4.2.2 “一”形轨迹即将深埋隧洞的入口或出口作为钻孔入钻点，沿隧洞轴线或平行隧洞轴线进行水平钻探；“L”形、“人”形或“—”形轨迹是根据深埋长隧洞的地形特点，把钻孔分成若干区段，选择合适的地形作为入钻点，并采用不同的轨迹设计，进行组合，实现对深埋长隧洞、跨江（海）穿越段及枢纽工程地下洞室群等工程勘察的全覆盖。用于勘探断层带或地层接触带随深度的变化情况，可在一个主孔内布设几个分支孔，勘探过程中可根据地质目的灵活调整。

4.2.3 钻孔轨迹确定后的设计内容进行了规定：

4 造斜点或分支点是指同一钻孔由直线段转变为曲线段的转折点。造斜点的位置确定需综合考虑施工的整体性、技术性、安全性及经济性：①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；②靶点垂深小而水平移距大，造斜点或分支点应选择钻孔的浅部；反之，可选择在钻孔的深部；③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。

5 弯曲孔段的曲率半径取决于岩土层的造斜能力、机具设备的造斜能力及工程的整体性要求等综合因素。在各方面条件允许的情况下，曲率半径越大越好。

4.2.4 本条对钻孔轨迹偏差进行了规定：

1 钻孔轨迹偏差，是在钻孔轴线平面上实际轨迹偏离设计轨迹的距离，在实际生产中，水平定向钻探设计书会对目标层（段）的允许偏差进行相应规定，需要从其规定。无论如何，钻进过程中以及钻进至目标层的靶区每 1000m 最大允许偏差不应超过 5%。

2 取心钻进一般在钻孔轨迹为直线孔段实施，测量频次为 25m。弯曲孔段钻进、取心以及钻孔轨迹控制等难度较大，测量频次需要加密。

3 岩层分层长度偏差，是在沿钻孔轨迹轴线上的量测与实际误差。岩层分层长度偏差参考了现行国家标准 GB50021《岩土工程勘察规范》的规定。

4 钻孔轨迹（顶角、方位角、深度）偏离超过规定，包括不满足水平定向钻探设计书、专项任务书的相关要求。

4.3 钻孔结构设计

4.3.1 对钻孔结构设计综合考虑的因素进行了规定，钻孔结构地层条件主要包括地层岩性、坚硬程度、完整性、及可钻性等，重点关注深厚覆盖层、断层破碎带、裂隙溶洞，根据地层结构采取不同的钻孔结构，如遇复杂地层，需考虑采用多级孔径和套管护壁。钻进技术条件主要包括设备机具、钻进工艺、冲洗介质及方式、护壁方法等，取芯取样、孔内试验与测试主要考虑钻孔直径等因素，钻孔直径满足相应测试要求。

4.3.2 钻孔结构设计原则为保证安全钻进的条件力下力求简单。

4.3.3 水平定向钻常见孔内试验与测试主要包括综合测井、声波、钻孔全景数字成像、岩体变形试验、地应力测试等。

4.4 钻探工艺设计

4.4.1 钻进方法是指向地下钻孔时，破碎孔底岩石的方法及技术措施的总称。根据破碎岩石的外力作用性质及方式，钻进方法可以分为冲击钻进、回转钻进、冲击回转钻进以及振动钻进等；按钻进时是否采取岩心分为取心钻进与不取岩心钻进等。钻进工艺主要包括孔身设计、钻头和泥浆的选用、钻具组合、钻进参数配合、孔斜控制、泥浆处理、取岩心以及事故预防和处理等。

4.4.2 本条主要对水平定向钻进方法和钻进工艺设计内容进行了规定。

7 钻孔护壁方法包括冲洗液柔性护壁和套管刚性护壁等固井方法。

5 钻探设备与器具选择

5.1 一般规定

5.1.1 本条主要对主要对水平定向钻探设备和器具进行说明。

5.1.2 钻探设备与器具选择还需考虑现场拆卸、搬运、方便零配件更换等因素；钻具的选择与配置还需要考虑钻进方法改变的需要。

5.2 钻机

5.2.1 钻机选择需综合考虑钻机能力、钻孔长度、钻进地层等因素，并按厂家的具体要求进行使用和保养，施工过程中不宜超出钻机的能力极限。由于钻进地层的未知性，因此水平定向钻探过程存在不确定性风险，钻进前需要尽可能多的收集相关数据，以便优选钻机。下表 1 列举部分工程勘察中使用钻机情况，供钻机选型时参考。

表 1 国内部分重大工程水平定向钻探勘察实施情况一览表

工程名称	钻机类型	钻孔长度 (m)	完成时间	取心情况
天山胜利隧道	GD3500-L	2271	2020 年 7 月	分段取心
川藏铁路	GXD-5S/ EP800/ Smart 8	1212/900/1616	2020 年 12 月	连续取心
珠三角水资源配置工程	S1200	936.2	2021 年 1 月	分段取心
引大济岷工程	EP800/ GXD-3S	300/500	2022 年 6 月	连续取心
引江补汉工程	ZYL-7000D	主孔 630/分支 83	2022 年 9 月	连续取心

5.2.2 钻机性能参数主要包括转速、扭矩、最大给进力/起拔力等，钻机的转速是指钻头在钻进作业时的旋转速度，通常以转/分钟 (r/min) 为单位，转速越高，可以提高钻进效率，但也会增加能耗和机器的磨损，钻进过程中需根据地层岩性及取心要求选择合理的转速；扭矩是钻机的重要参数之一，扭矩大小决定了设备的成孔能力，一般来讲，扭矩越大，可以成孔深度越大，成孔直径越大；钻机最大给进力/起拔力决定了钻机处理复杂钻进事故的能力。目前国内地质导向取心钻探工艺属于“卡脖子”技术，现行替代方案多以“非开挖钻进导向+地质岩心钻探”解决“指哪打哪，定点取心勘探”需求。近几年已有非开挖全面钻进导向到靶点+提大钻取心、非开挖全面钻进导向到靶点+绳索连续取心、非开挖导向提大钻取心、水平绳索定向造斜+水平绳索连续取心等几种水平定向勘探工法的应用，但目前没有专门的水平定向勘探钻机厂商，大多采用类似能力的钻机替代解决工程勘察迫切需求问题。下表 2 列举部分钻机型号与性能参数情况，供钻机选择时参考。

表 2 国内部分钻机性能参数与适用孔深情况一览表

钻机型号	性能参数	适用孔深 (m)	备注
------	------	----------	----

GXD-3S	转速 0~560 r/min, 扭矩 0~2400 N.m, 主轴通孔直径 92 mm, 最大给进力/起拔力 70/112 kN, 钻孔倾角 0°~±90°	600 m	绳索取心
GXD-5S	转速 0~780 r/min, 扭矩 0~5600 N.m, 主轴通孔直径 114mm, 最大给进力/起拔力 140kN/220kN, 钻孔倾角 -5°~90°	1500m	绳索取心
GXD-6S	20~1000 r/min, 扭矩 100~6000 N.m, 主轴通孔直径 114mm, 最大给进力/起拔力 165kN/280kN, 钻孔倾角 -5°~90°	2000m	绳索取心
Smart 8	转速 0~1400 r/min, 扭矩 0~2425 N.m, 主轴通孔直径 89mm, 最大给进力/起拔力 133kN, 钻孔倾角 0°~±90°	1745m	绳索取心
EP800	转速 0~1200 r/min, 扭矩 0~920N.m, 顶驱式, 最大给进力/起拔力 30kN/60kN (使用双油缸时加倍), 钻孔倾角 0°~90°	600m	绳索取心
EP1000	转速 0~1600 r/min, 扭矩 0~1100 N.m, 顶驱式, 最大给进力/起拔力 30kN/60kN (使用双油缸时加倍), 钻孔倾角 0°~90°	1200m	绳索取心
XTS1000	转速 0~130r/min, 扭矩 0~27000 Nm, 最大推拉力 488kN, 推拉速度 44m/min, 钻孔倾角 -5°~5°	1000m	不取心(或点取心)
XSD900	转速 0~100r/min, 扭矩 0~30000 Nm, 最大推拉力 900kN, 推拉速度 35m/min, 钻孔倾角 0°~90°	1000m	不取心(或点取心)
XSD1200	转速 0~120r/min, 扭矩 0~35000 Nm, 推拉力 1200kN, 推拉速度 45m/min, 钻孔倾角 0°~45°	1500m	不取心(或点取心)
XSD2200	转速 0~95r/min, 扭矩 0~70000 Nm, 最大推拉力 0~2200kN, 推拉速度 45m/min, 钻孔倾角 0°~45°	2000m	不取心(或点取心)
XSD3600	转速 0~95r/min, 扭矩 0~100000 Nm, 最大推拉力 3600kN, 推拉速度 35m/min, 钻孔倾角 0°~45°	3000m	不取心(或点取心)
注: 钻孔终孔直径 Φ76mm			

5.2.3 水平定向钻机主要分为取心钻机和非取心钻机, 取心钻机一般具有高转速性能, 有利于提高取心质量, 非取心钻机一般采用大扭矩、低转速的非开挖钻机, 有利于提高钻进效率

5.2.4 地质条件复杂的钻孔, 孔段需要实施特殊工艺或孔内测试时, 可另行选择具备适应和满足特定工作需要的钻机型号与辅助设施, 专门单独承担完成此孔段的专项特殊工艺或试验工作。

5.3 钻具

5.3.1 钻具包括钻头、岩心管及钻杆等, 钻具的选择对钻进施工非常重要, 如果没有合理的选择钻具结构组合将会直接导致钻孔的效率和质量低下。不取心钻进时, 需进行全面破碎孔底岩石, 可以使用全面钻头, 提高钻进效率。

5.3.2 本条对取心钻具进行了规定。反循环钻具取心效率高，但取心质量较差，对取心质量要求相对较低，仅判断岩性，不需要统计 RQD 时则可以采用反循环钻具进行取心，兼顾了钻进效率和取心要求。水平定向钻进主要依托钻具的大扭矩对地层切削，为避免出现螺杆扭矩不足等状况，优先选用扭矩大的螺杆马达。液动冲击器又称液动回转钻具或液动潜孔锤，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。

5.3.3 表中为常用推荐钻头类型，钻头的选择需与岩石硬度、可钻性、钻具等相适应。

5.3.4 不同行业钻孔深浅划分标准不同，工程勘察竖向钻探孔深度大多在 100m 以内，在大坝和引调水水勘察中深度一般为 200~300m，甚至达到 500m，极少达到 1000m。而水平定向孔难度更大，结合行业特点、地层复杂程度、工程目标任务、技术难易程度、效率效益成本及钻探技术水平等，将水平孔长度划分为短距离孔（0~300m）、中距离孔（300~1000m）、长距离孔（1000~2000m）和超长距离孔（>2000m）。

5.4 冲洗液设备

5.4.1 冲洗液设备包括泥浆泵及处理系统的选择，要充分考虑泥浆通道、泥浆泵能力及处理能力等，这些决定了设备供应和处理泥浆的能力，长距离定向钻探中，泥浆的供应和处理能力是影响钻进进度和成败的重要因素，因此水平定向钻探冲洗液设备需综合考虑场地条件、地层特性、钻孔结构、防漏失及护壁需要、冲洗液种类、试验内容与要求等因素合理选择。

5.4.2 泥浆设备的泵压、泵量等参数控制和冲洗液种类调整需适应和满足钻进工艺、护壁方法、钻孔深度、孔内试验等需要。泵量是泥浆泵重要的性能参数，当钻头尺寸和钻进速度一定时，单位时间内产生的钻屑量是一定的，此时，冲洗液中钻屑的含量由泵量决定，泵量大则钻屑含量少，反之，泵量小则钻屑含量大。孔内水压高、地层复杂、护壁及防漏失要求高的钻孔，需要优先选择泵压泵量大、调节范围广、性能优异的泥浆泵。

泥浆泵种类很多，可根据钻进孔深、取心和地层情况优选合适的泥浆泵，下表 3 列举部分泥浆泵型号与性能参数，供泥浆泵选择时参考。

表 3 部分泥浆泵性能参数与适用孔深情况一览表

泥浆泵型号	性能参数	适用孔深（m）	备注
BW250/6	最大泵量 250 L/min，最大泵压 6Mpa	≤600	绳索取心
BW320/12	最大泵量 320 L/min，最大泵压 12Mpa	≤800	绳索取心
BW300/16	最大泵量 300 L/min，最大泵压 16Mpa	≤1000	绳索取心
BW1000/8	最大泵量 1000 L/min，最大泵压 8Mpa	≤600	不取心
BW-1500/12	最大流量 1500L/min，最大压力 12MPa	≤1000	不取心
BW-2500/15	最大排量 2500L/min，最大压力 10MPa	≤2000	不取心
BW-3000/15	最大排量 3000L/min，最大压力 10MPa	≤3000	不取心

F-130	最大泵量 16.6L/s, 最大泵压 10Mpa	≤800m	不取心
F-260	最大泵量 23.4L/s, 最大泵压 15.5Mpa	≤1000m	不取心
F-300	最大泵量 33.4L/s, 最大泵压 15.5Mpa	≤1500m	不取心
3NB-350	最大泵量 24.4L/s, 最大泵压 20Mpa	≤1500m	不取心
XMP3000E	泥浆最大排量 3000L/min, 最大压力 10MPa	≤3000	绳索取心
XMP2000E	泥浆最大排量 2000L/min, 最大压力 10MPa	≤2000	绳索取心

5.4.4 地面冲洗液处理系统、设置弃渣处置区需满足相关环保要求。

5.5 造斜器具

5.5.1 考虑到水利水电水平定向钻孔一般要求全孔取心、定向造斜钻进的特点，因此推荐偏心楔单点造斜或钻杆驱动连续造斜法。

5.5.2 本条对四种造斜器具适用地层、造斜强度等进行了规定：

1 推荐斜面导向板钻具造斜，为软及松散地层中控制钻孔轨迹提供了设计、实施保障。

2 偏心楔造斜楔顶角取值范围为一般 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，对于坚硬岩石可取低值，反之取高值。

根据生产经验，当钻孔顶角大于 30° 时，纠方位角不宜采用偏心楔造斜法。

3 实际生产中，一般采用同径造斜。连续造斜器宜选择由地面钻杆驱动，也可由螺杆马达孔底驱动。

4 螺杆钻具对地层具有较强的适应性，实际生产中应用较多（水平孔、对接孔和高精度垂直孔等为优选造斜工具）。螺杆钻具的转速和扭矩宜与地层坚硬程度相匹配。

5.6 测量仪器

5.6.1 水平定向钻探过程受地层影响，工况复杂多变，在钻探前宜根据专项任务书的要求选择合适的测量仪器。

5.6.2 钻探导向仪器包括导向仪传感器、传输方式、接收解译终端。导向仪传感器位置信息采集原理主要有地磁类、惯性陀螺仪等；传输方式分为有线传输和无线传输两类，无线传输又分为电磁波传输、泥浆脉冲传输等；接收解译终端和传输方式相适应，分有线或无线（电磁波）接收方式。

5.6.3 测量仪器分为测量磁性和非磁性地层两大类，磁性地层宜选用不受磁场干扰的导向仪，如陀螺测斜仪、光电测斜仪、应变片式测斜仪等；非磁性地层宜选用磁感应式导向仪，如单点测斜仪、多点测斜仪、随钻测斜仪等。下表 4、表 5 列举两类测量仪器工作原理与性能参数情况，供仪器选择时参考。

表 4 磁性和非磁性测量仪器工作原理对照表

类别	光纤陀螺测斜仪	数字罗盘测斜仪
----	---------	---------

方位角测量原理	传感器为闭环光纤陀螺元件，是一种高精度角速度测量元件，工作原理是利用 Sagnac 效应来测量地球自转角速度及其在钻孔倾斜方向的分量，并精确计算出钻孔的方位角。	传感器为巨磁效应磁阻传感器，工作原理为测量大地磁场及钻孔方向的磁矢量，从而计算出仪器坐标与大地磁场坐标的相互关系，并精确计算出钻孔的方位角。
顶角测量原理	传感器为重力加速度元件，是一种加速度测量元件，可以分辨到重力加速度值 g 的 10^{-5} ，角测量的分辨率高达 $2''$ 。	传感器为重力加速度元件，是一种加速度测量元件，可以分辨到重力加速度值 g 的 10^{-5} ，角测量的分辨率高达 $2''$ 。
特 点	测量精确，数据置信度高。顶角分辨率 2 秒、直接寻北；采用光纤陀螺仪测量方位，不受地磁场等的干扰。自寻北工作方式，无需测前北向校准，方位无时间漂移；采用三维高精度重力加速度传感器测顶角；井下仪和无线手持机之间无线数据传输，操作简单；钻杆内、套管内、有磁矿区、无磁矿区、随钻测斜等。	测量精确，数据置信度高。顶角分辨率 2 秒；仪器内置免维护可充电锂电池，仅用钢丝绳或钻具连接即可下井测量；采用三维高精度重力加速度传感器测顶角；井下仪和无线手持机之间无线数据传输，操作简单；裸孔、无磁矿区、南半球、北半球等。

表 5 常用测量仪器性能参数表

类别	JTL-40GX（自寻北）光纤陀螺测斜仪	KXP-2D 数字罗盘测斜仪	CAV-1 数字罗盘测斜仪
顶 角	$0^{\circ} \sim 180^{\circ} \pm 0.1 (0.05)$	$0^{\circ} \sim 180^{\circ} \pm 0.1^{\circ}$	$0^{\circ} \sim 180^{\circ} \pm 0.2^{\circ}$
方 位 角	$0^{\circ} \sim 360^{\circ} \pm 2^{\circ}$	$0^{\circ} \sim 360^{\circ} \pm 4^{\circ}$	$0^{\circ} \sim 360^{\circ} \pm 2^{\circ}$
仪器尺寸	$\Phi 40\text{mm}$	$\Phi 40\text{mm}$	$\Phi 40\text{mm}$
测量方位	真北（自寻北）	磁北	磁北
测量方式	点测	点测	点测
适用井深	$\leq 2000\text{m}$	$\leq 1500\text{m}$	$\leq 2000\text{m}$
造 价	高	低	低
工作环境	钻杆内、套管内、有磁矿区、无磁矿区	裸孔、无磁矿区	裸孔、无磁矿区

6 钻探实施

6.1 一般规定

6.1.1 对水平定向钻探实施的工序进行了规定，编制作业计划书，对作业场地进行场平，制备冲洗液，然后开始钻进作业，过程中对钻孔轨迹进行控制，钻探完成后开展封孔。

6.1.3 现行行业标准《水利水电工程钻探规程》SL/T 291 主要对偏心楔造斜钻进、连续造斜器造斜钻进、螺杆钻具造斜钻进等进行了原则性规定。

6.2 作业计划

6.2.1 现场踏勘的主要任务：了解施工场地地面建筑物的功能、基础类型、规格尺寸、区域环境和植被及地形地貌；了解交通状况，施工进退场道路；了解水域覆盖面积、深度情况；查看高空及地表有无强磁场干扰，常见的干扰源主要有周边电网、无线电发射设备、地磁场异常、地下金属管道、含大量钢筋的地下工程及基础等。

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、造斜点、造斜强度等。

6.3 作业准备

6.3.3 本条对作业场地进行了规定：

1 作业场地设置围挡一方面是文明施工需要，另一方面是避免交叉作业，规避安全风险的需要。

2 作业场地在高压线附近是需满足安全距离，地上构筑物距离作业场地太近，一则可影响场地布置；二则可影响设备的进出场；

3 场地平整硬化可满足钻机、冲洗液系统等大型设备进场、布置、安装的需要，也是现场文明施工要求。

4 场地与水域保持距离可避免施工污染水体。河滩或山谷中修建场地需考虑洪水、暴雨对钻探作业的侵扰，并制定相应的应急预案。

7 铺设防渗材料目的是防止冲洗液漏失。

6.3.4 钻机是钻探核心设备，钻机准确安装就位是保证水平定向钻孔按设计精准钻进的基础，钻机就位时的锚固不稳或偏离钻孔轴线，都会造成钻孔轨迹偏离甚至导致钻孔事故的发生。钻机基础采用预制地锚或现浇混凝土锚固定，需满足钻机生产过程中不发生移位。

6.3.5 主要对钻机安装工作进行了规定。

1 钻机安装后需及时检查机械传动、液压回路、电控、循环管路等系统连接情况，各部件连接宜可靠，各仪表是否正常显示，机械各油管、水管是否畅通，是否有泄漏现象。

3 如遇雷电及六级以上风力，主要考虑安全因素需停止作业。

6.3.6 其他机械设备主要包括冲洗液设备、发电机及各种电器设备等。

1 各类机械设备布局合理，冲洗液管路和电器线路布置规范有序；

3 本条对现场用电安全进行了规定，作业期间要定期不定期检查各类电路是否正常工作，是否有漏电现象，是否有钻机接地保护等安全措施。

6.3.8 测试施工区域干扰信号，可确定导向仪发射和接收频率，确保无线导向仪不受外界干扰，提高数据准确度。

6.4 冲洗液制备

6.4.2 冲洗液适当的密度可以防止漏失和维持孔壁的稳定。冲洗液的黏度越大，悬浮钻屑的能力越强，但是会增加冲洗液循环的流动阻力。静切力是冲洗液静置时的结构力，也称为冲洗液的凝胶强度，静切力越大，冲洗液静置时悬浮钻屑的能力越强，但是泵送阻力也会越大。动切力是冲洗液在流动时的结构力，同等流速下，动切力越大，冲洗液携带钻屑的能力越强。滤失量是冲洗液在一定压力下析出水的程度，水渗入地层后会引发孔壁附近地层性质的变化，如钻孔缩径、地层溶蚀、孔壁坍塌等事故。泥饼厚度是随滤失量增大而增加的，泥饼越厚，越不利于施工，在渗透性强的地层，泥饼厚度增加会增大压差卡钻的风险。砂是泥浆配制中的主要无用固相，含砂量过高，会使泥浆的流变性能变坏，泥饼疏松，韧性低，对管材、钻头、水泵缸套、活塞拉杆磨损大。PH 值对冲洗液的性能有很大影响，如黏土颗粒带负电，它必须在碱性条件下才能维持稳定，多数有机处理剂必须在一定的 PH 值下才能充分发挥效用，现场冲洗液 PH 值一般控制在 9~11 之间。

常用的冲洗液按其组成成分和性能特点，可分为 7 类：清水、泥浆、乳化液、无固相冲洗液、盐溶液和饱和盐水、空气、气液混合物。

6.4.3 遇水膨胀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。

6.4.6 冲洗液总体积包括钻孔孔内量、地面循环净化系统量、漏失及其他损耗量。一般在砂、土层钻进，采取以一定时间内泵入的冲洗液量与该时间内产生的钻屑体积比值进行估算，这一比值的确定主要以钻屑对冲洗液流变性能影响程度来确定的，对于易导致冲洗液黏度增加的黏土及泥页岩地层，比值取大值；而对砂层、岩层等惰性颗粒地层，比值取小值。对于坚硬岩层，由于钻进速度慢，冲洗液用量不宜使用公式(6.4.6)进行估算。

6.4.7 钻孔冲洗液除冷却和润滑钻头、带走钻屑外，还起到保护孔壁和岩心等作用。合理使用冲洗液，不仅能保证钻探质量，而且能提高工效和施工进度。

1 钻进过程中，一方面冲洗液受到钻屑或地下水等侵害，性能可能会发生变化，现场需做好实时监测；另一方面，冲洗液随着地层条件、钻进工艺和孔内状况的变化进行动态调整。

2 施工现场常用马氏漏斗仪器测试黏度，配制冲洗液黏度按表 6.4.4 的规定取值。

3、4 使用六速旋转黏度计测量冲洗液的静切力,宜先将冲洗液样品在 600r/min 下搅拌 10s,而后使冲洗液样品静置 10s,测 3r/min 转速下的最大读值,并按公式(6.4.7-1)计算 10s 初切力;然后将冲洗液样品在 600r/min 下重新搅拌 10s,而后使其静置 10min,测 3r/min 转速下的最大读值,并按公式(6.4.7-2)计算 10min 终切力。

6.4.8 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。

6.4.10 若因地面设备故障或其它原因需停钻时间较长,则需提出孔内钻具至套管内或地面,并向孔内注入冲洗液,补偿冲洗液漏失,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、卡钻事故发生。

6.5 钻进作业

6.5.1 开孔角的选择受钻孔长度、场地条件、钻机参数及地层条件等因素限制。施工中如果开孔角过小,则覆土深度较浅,土质松软,钻杆往往会翘出地面,难以按照设计的开孔角钻进;如果开孔角过大,钻进深度大,不利于导向钻进,难以较快减小钻杆埋深。参考国内钻机参数和施工单位的施工经验,建议开孔角的范围为 $8^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

6.5.2 定向孔钻进的关键是钻孔轨迹的监测、控制和精准记录。

1 采用无缆式导向仪时,需要工作人员手持信号接收器到钻头上方接收信号,因此每钻进一根钻杆进行一次信号采集及测量计算(造斜段增加测量次数)。

2、4 采用有缆式导向仪,信号通过电缆线传输可随时进行观测,发现轨迹偏离后可及时纠偏。

5、7 曲线段、造斜段、地下管线交叉处、障碍物临近区域、调整钻进轨迹时,对导向的精确度要求较高,且导向操作比直线段困难,需增加测量点,因此建议测量计算频率不超过 0.5m/次。

6 钻孔纠偏要遵循小幅、多次的原则,不能操之过急而矫枉过正;水平方向发现偏离需退杆重钻,如果仍然不能保持沿设计轨迹钻进,则要采取缓慢的“钻进趋势”纠偏的方法,形成大弧度的轨迹;竖直方向纠偏,主要是依靠钻进趋势,控制深度的同时尚需注意钻头顶角的变化。急于纠偏往往出现 S 形轨迹,这将损坏钻杆且易发孔内事故,因此需依靠钻进趋势缓慢纠偏。控制深度就是不论实际钻头深度偏离设计深度多少,进行造斜钻进,使深度差逐渐缩小。

6.6 轨迹控制

6.6.2 本条主要对水平定向钻孔轨迹控制操作要求进行了规定。

1 在地面或水底布设人工强磁场,有利于信号接收,提高传感器测量精度。

5 保持适度的测量频次,有利于钻孔轨迹进度的控制,要充分利用停钻间隙进行孔内测量和轨迹校核。水平定向钻探钻杆长度一般为 3m~6m,因此钻进过程中要求每钻进一根

钻杆后进行轨迹校核。

6.7 特殊地层钻进

6.7.2 钻遇破碎地层时首先需要根据破碎带的性质调整冲洗液性能，采取针对性措施：

1~3 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。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。若冲洗液护壁效果较差，则可注入水泥浆的方式进行固结护壁。

4 破碎地层出现钻孔涌突水时，则采取堵漏措施，可将水泥浆泵入孔内进行封堵，等待 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，再次等待 24 小时，观察是否封堵成功，如此循环直至封堵加固成功。

6.7.4 岩溶地层钻进过程中若溶洞较大或影响钻进成孔时，一般先采取泵入混凝土进行填充封堵。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

6.8.3 水泥（砂）浆中的砂要求无土、无杂质，粒径 0.5mm~1.0mm 为宜，添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，附加系数根据地面损耗、钻孔超径、孔内漏失及产生“浮灰”等综合因素而确定。

6.9 钻探记录

6.9.1 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，加强记录工作是保证成果质量的基本条件。经过诸多勘察项目现场资料调查研究：项目勘探测试工作做得不少，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，而不能真实、准确反映孔内地层实际情况，甚至造成不真实的假象，导致分析评价的不可靠。因此，本条强调所有钻探过程资料均需如实记录、规范整理。

6.9.2 现场过程记录可以反映钻探工作过程中重要工程地质和水文地质现象，需在钻探过程中及时、认真记录，不得事后回忆补记和漏记，严禁事后伪造。

6.9.3 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 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逐步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、双管和半合管钻具, 对岩心采取率要求较高时, 可以选用双管或半合管钻具。为了提高破碎岩层取心质量, 实践中常常可以采用下列措施:

- (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, 即利用螺杆马达作为动力钻进取心, 可以减小地表与孔底两种动力复合钻进时钻杆转动对岩心的强扰动破坏。

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、提高钻进效率, 为了确定岩石的 RQD 指标, 同时也要求岩心管直径不得小于 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, 来提高工作效率。取心钻进孔段进行定向测量的目的就是为了随时掌握钻孔轨迹偏差。

7.3 地质描述

7.3.1 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 的柱状岩心的累计长度与每钻进回次进尺之比 (以百分数表示, %), 即: $RQD = \text{每回次进尺 } 10\text{cm 岩心累计长度} / \text{回次进尺} \times 100\%$, 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 ($RQD < 25$)。

7.3.2 主要对非取心段岩屑地质描述内容进行了规定。通过对岩屑矿物成分、形状、粒径大小和表面特征等可以了解地层岩性、风化程度等。

7.4 钻孔水样采集

7.4.3 稳定水位是指钻探时的水位经过一定时间恢复到天然状态后的水位; 地下水位恢复到天然状态的时间长短受含水层渗透性影响最大; 在水平定向钻结束后宜统一量测一次稳定水位, 可防止因不同时间水位波动导致地下水状态误判。水样记录内容宜包括工程名称、取样时间、孔号、孔深、取样人、是否加入稳定剂等。

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,钻孔地球物理测井、钻孔试验等优先推荐采用无线存储式设备。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。存储空间能保证对测试结果的完整记录与保存。

8.2 地球物理测井

8.2.1 综合测井一般包括,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。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,防止冲洗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。

8.2.5 主要对钻孔全景数字成像和钻孔摄影要求进行了规定。

3 无缆钻孔全景数字成像和钻孔摄影设备需确保有独立电池供电与独立存储设备存储视频文件,确保电视设备具有足够的结构强度和可靠的密封性能,特别是要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。

4 钻孔全景数字成像对清晰度要求较高,测试完成后需及时进行查看和分析,确保影像清晰完整,满足要求,如不能满足要求,可及时采取措施重新测试。

5 资料解译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。

8.3 水文地质试验

8.3.2 对钻孔水文地质观测内容进行了规定。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,工作中需引起重视。

8.3.3 压水试验栓塞位置可参考钻孔全景数字成像成果,一般要求选取光滑圆柱状孔段,并综合考虑孔内地质条件、钻孔取心等因素综合确定。

8.4 钻孔岩体试验

8.4.2 本条对钻孔岩体变形试验要求进行了规定。

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准确。

8.4.3 本条主要对地应力测试的要求进行了规定。

2 水平定向钻孔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，目前可测试水平孔孔深约 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。

3 水平定向钻中地应力试验定向难度较大，主要原因是水平孔提钻时橡胶印模容易磨掉，确定方向比较困难，因此需配套钻孔全景数字成像成果来定向。

9 孔内事故的预防和处理

9.1 一般规定

9.1.1、9.1.2 施工前做好设备和机具的检查、维护、保养是预防孔内事故的重要举措，如定期检查钻具的弯曲、磨损情况，弯曲的钻杆需及时校直。管材的弯曲和磨损最大允许值需满足现行行业标准《水利水电工程钻探规程》SL/T 291 第 10.1.1 条款的规定。

9.2 孔内事故预防

9.2.1 现场地层条件复杂、预防措施不当等均能引起孔内事故。预防孔内事故的主要措施有：

①严格按钻探设计书、作业计划要求，做好施工前的各项准备工作，并精心组织管理；②强化生产管理，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根据岩层的差异，宜选择合适的钻进方法及其相应的钻进技术参数；⑤根据地层和孔内钻进情况，正确选用、配制及调整冲洗液；⑥按相关规定进行设备、钻具、工具、仪表等的维修和保养，确保设备运行正常、高效；⑦优选和使用管材，及时检查、更换不合格品等。

9.2.2 钻具事故、取心事故的原因很多，而且比较复杂，现场需根据具体情况具体分析，并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、含砂量低的冲洗液护壁，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、灌注水泥、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护壁，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，在钻进、起钻、下钻的过程中，可造成吸附卡钻、坍塌卡钻、键槽卡钻、落物卡钻以及跑钻等将孔底钻杆墩弯等引起卡钻。在钻进过程中，因钻头冷却效果差，钻头与孔壁、孔底或岩心等烧结在一起，易会发生烧钻事故，根据经验一般水平孔段钻孔下帮岩粉厚度超过 0.02m 容易发生烧钻事故。

9.2.4 发生套管事故的原因大多数是没有下到硬质岩层，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摩擦、挤压等损坏，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。采用短管岩心管减轻岩心管对套管内壁的摩擦和敲打。

9.2.5 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，减少钻杆柱对孔壁的侧向力，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，定子易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，宜拆开造斜器检查，更换轴承和密封件等。

9.2.6 在钻进、提下钻具、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，易将扳手、管钳、手锤、提引器、垫叉、卡瓦、螺栓、螺母等物件落入孔内，如处理不慎，常常引起卡钻、夹钻、掉钻头等事故，需要采取相应措施：操作要谨慎，钻进、起钻后下钻前，临时停钻、停车检修和保养钻机时，孔口要加安全盖板；处理事故时，还要防止卡瓦、管钳或孔口附近的小件工具等落入孔内。

9.2.7 钻具通孔的目的是确保测试探头能够顺利通过。

9.3 孔内事故处理

9.3.1 孔内埋钻、卡钻事故常与塌孔等事故往往相伴相随，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差、操作不规范、地层复杂，因此钻探机组需要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，宜采取如下措施：①宜进行强力开泵冲孔，以求用冲洗液冲散坍塌物，并排出孔外，在强力开泵的情况下串动钻具，并逐步扩大串动范围，对于不太严重的孔内事故，这样处理往往可以取得良好的效果。②若卡埋物很深，事故比较严重，宜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。③经以上两种方法处理仍无效果，最后可采用割、磨的方法处理，如条件允许亦可换小一级的孔径钻进。发生压差卡钻后，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。

烧钻事故发生后，需要及时处理。①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，孔内比较清洁，宜采用外力强拉，即边开钻机边拉，如提拉不动，再用千斤顶起拔。②发生严重的烧钻事故，用钻机提拉和千斤顶起拔往往无效，则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。③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，宜采取分段割取或放弃的办法处理。

9.3.4 孔内发生套管事故主要采取如下措施：①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，可直接用钻机起拔，或采用多股钢丝绳强力起拔。②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，然后再用钻机起拔，或

者采用拉顶结合的办法将套管处理，再用钻机起拔。③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 曲线段钻进易发生造斜事故。

2 为避免钻杆在造斜孔段折断，重要是控制钻孔造斜率。预防造斜事故常见措施有：①避免频繁地往反方向调整顶角和方位角；②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；③宜采用低钻速、轻钻压稳斜钻进；④长距离水平钻进中，钻杆柱与孔壁之间严禁长时间滑动而不转动；⑤不宜采用泥皮质量差、厚度大的冲洗液；⑥大径钻铤外表光滑，宜安装稳定器，减小与孔壁接触面积；⑦长时间中断钻进时，钻杆柱不宜长时间静止，避免钻孔内不循环冲洗液造成压差卡钻。

9.3.6 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，脱落的钢丝绳等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。

10 质量与验收

10.1 钻探质量

10.1.1 常规地质钻探钻孔质量六大指标是岩心钻探对钻孔施工质量要求的六项基本指标，分别为岩矿心采取率、钻孔弯曲与测量间距、简易水文观测、孔深误差的测量与校正、原始报表和封孔。结合水平定向钻探的特点和目的，将其分为钻孔轨迹测量间距与偏差、岩心采取率与样品采集、水文地质观测、孔内试验与测试、原始记录报表、封孔等六项。主控项目和一般项目的界定主要根据钻探目的确定，查明地质界线为目的则钻孔轨迹测量间距与偏差、岩心采取率为主控项目，查明水文地质条件则水文地质观测和孔内试验为主控项目。

10.1.2 水平定向钻孔轨迹测量间距与偏差同时包含了孔深误差与校正，孔深误差与校正需符合现行行业标准《水利水电工程钻探规程》SL/T 291-2020 中 11.1.7 条款要求。

10.2 钻探验收

10.2.2 具体验收指标不限于附录 H 中的 12 项，实际验收时根据钻探目的和钻探设计书的要求进行增补。

10.2.4 钻孔验收标准分为“合格”与不“合格”两级，与现行行业标准《水利水电工程钻探规程》SL/T 291-2020 的 11.2.4 条一致。

11 资料整编

11.0.1 水平定向钻探成果包括两方面内容,一方面包括现场过程记录资料,即资料性成果,另一方面包括钻探技术分析总结报告和必要的附图附件,即成果报告。

11.0.2 钻探现场记录资料成果主要包括钻探班报、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要经常校正,及时准确填报,当孔深误差超过 0.3%时,则需要说明原因并修正记录报表。

岩心需逐箱检查整理、清洗干净并保持湿润后进行数码拍照。每箱岩心照片完整展现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,一般放置于前排左上角或前排中部。岩心照片要求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、钻孔全景数字成像和钻孔摄像、地应力试验等记录资料进行整编后作为资料性成果之一。

11.0.3 本条主要成果报告的内容进行了规定。

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主要根据钻孔结构、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主要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主要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,其地质剖面图主要包括反映工程地质条件及适宜的地质评价。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 钻孔轨迹形式

钻孔轨迹形式主要根据钻孔目的、地质条件、场地环境条件及造斜规律确定，优先选择单一直线的“一”字形，减少造斜难度，必须造斜时尽量选择轨迹简单的平面弯曲，如直线-曲线-直线的“└”形和“L”形轨迹，尽量减少造斜次数或空间三维弯曲的轨迹，如直线-曲线-直线-曲线-直线等形状；条件允许时推荐采用一孔多支的轨迹形式，如双向“人”字形轨迹，减少垂直段钻孔。

附录 B 钻探班报表

钻探班报表主要用来记录钻探工程基本情况和钻探机组当班生产全过程信息，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、施工日期等；钻探机组当班生产内容包括时间、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等，详细、准确记录有助于全面反映钻探的实施过程，从而分析钻孔地层情况，

附录 C 钻孔岩心采取记录表

钻孔岩心采取记录表用来记录孔深、进尺、钻孔直径、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、岩心试样采取情况等与岩心相关的内容，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资料。

取心取样方法与获得样品质量密切相关，作为原始资料，对后续工作具有重要的评价依据和指导意义，因此，记录表中宜填入钻头类型+取心器（取土器）结构特征，非常有意义。

附录 D 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、顶角、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 E 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。记录内容要求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 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。冲洗液概况主要包括其种类、制备材料、配方及性能参数等。水文地质观测要及时、准确、无漏项观测和记录。

附录 G 钻孔事故及处理记录表

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 H 钻孔验收表

钻孔验收表主要根据钻孔验收的钻孔轨迹测量间距与偏差、岩心采取率与样品采集、水文地质观测、孔内试验与测试、原始记录报表、封孔等六大项目，结合水平定向钻探的特点共划分为 12 项具体验收指标。钻孔轨迹偏差包括孔深、孔径等是否满足钻探设计书要求，长观孔要进行长观装置安装，非长观孔一般需要进行封孔。

验收人员主要包括钻探实施人员、地质专业人员和项目负责人，必要时邀请业主参与。