

T/YDHX

云南省电力行业协会团体标准

T/YDHX 006-2025

导井式竖井掘进机正向掘进施工规程

Construction rules for forward driving of pilot shaft shaft boring  
machine-Code of practice

2025年09月02日发布

2025年09月02日实施

云南省电力行业协会 发布

## 目 次

1	范围 .....	1
2	规范性引用文件 .....	1
3	术语及定义 .....	1
4	基本规定 .....	2
5	竖井掘进结构及配置 .....	3
6	测量 .....	5
7	竖井正向掘进和支护 .....	6
8	质量控制与检验 .....	10
9	施工安全 .....	13

## 前 言

本文件按照《云南省电力行业协会团体标准管理办法（试行）》的要求，依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件起草单位：中国水利水电第十四工程局有限公司

北京中煤矿山工程有限公司

中南林业科技大学

本文件主要起草人：和孙文 字继权 侯孝军 孙留阳  
刘延涛 胡传安 程 飞 杨元红  
王来所 王仕虎 秦 政 李 所  
马占飞 王晓莉 周 武 李 涛  
何品杰 唐 俊 张玉彬 马 岚  
辛石镱 陈圆云 申 甫 李 飞  
孔买群 张 聪 韩 博 浦仕璟  
李学辉 程 鹤

本文件为首次制定。

# 导井式竖井掘进机正向掘进施工规程

## 1 范围

1.1 本文件规定了竖井掘进机结构及配置、掘进与支护、质量控制与检验、施工安全等施工要求。

1.2 本文件适用于水电水利工程采用导井式溜渣的竖井掘进机正向掘进施工,其它类似工程可参照执行。

## 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。

- JGJ 46 施工现场临时用电安全技术规范(附条文说明)
- DL/T 5099 水工建筑物地下工程开挖施工技术规范
- DL/T 5148 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范
- DL/T 5173 水电水利工程施工测量规范
- DL/T 5181 水电水利工程喷锚支护施工规范
- DL/T 5370 水电水利工程施工通用安全技术规程
- DL/T 5407 水电水利工程竖井斜井施工规范
- NB/T 10096 电力建设工程施工安全管理导则
- GB/T 34650 全断面隧道掘进机盾构机安全要求
- GB/T 34354 全断面隧道掘进机术语和商业规格

## 3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**竖井掘进机** shaft boring machine

竖井掘进机指由破岩钻头系统、旋转驱动系统、推进系统、辅助系统等组成,用于导井式溜渣的竖井开挖支护,实现钻进与井壁支护平行作业的机械设备。

### 3.2

**破岩钻头系统** rock breaking system

破岩钻头系统由动力头、破岩滚刀、刀盘主体、超前钻头、中心管组成,用于破碎岩体实现竖井掘进。

### 3.3

**旋转驱动系统** rotary drive system

通过电机或液压马达输入电能或液体能量，经减速机变比后再输出一定的转速和扭矩，驱动刀盘旋转。

### 3.4

#### **推进支撑系统 Propulsion support system**

由导向支撑立柱、推进油缸组成，推进油缸通过推进驱动装置沿导向支撑立柱上下滑动。

### 3.5

#### **撑靴 hang boots**

撑靴指竖井掘进机支撑推进系统中支撑油缸的伸缩杆末端的靴板，作用是传递刀盘推进的推动力以及刀盘旋转的回转反扭矩、保证破岩系统和推进系统运行稳定。

### 3.6

#### **辅助系统 auxiliary system**

辅助系统包括辅助提升设备、井筒内悬吊设备、支护系统，为掘进机作业提供有效保护，实现支护钻进的平行作业。

### 3.7

#### **吊盘 ceiling**

吊盘指竖井开挖支护施工时，悬吊在井筒中可以升降的工作台。可以防止物体从井口落入井内，保护井下施工人员安全；并可以对风水管线进行维护。

### 3.8

#### **导井 slag pit**

利用自重从上往下溜放渣石的通道。

### 3.9

#### **导向系统 guidance system**

实时动态测量和显示竖井掘进机掘进位置和姿态的系统。

## 4 基本规定

4.1 施工前，根据前期地质勘察资料，对掘进机需要合理配置的功能、参数进行研究，确定掘进机类型。

4.2 竖井掘进机的选型与配置，应遵循适用、安全、先进、经济等原则。

4.3 导井施工、辅助工程和辅助设施应根据竖井掘进机类型等要求进行方案选择和设备选型配置。

4.4 竖井施工前可根据导井施工探明的水文地质情况，制定预支护、预加固方案，在实施过程中，应结合实际揭露围岩情况动态调整支护措施。

4.5 施工前，应根据规程规范、合同文件、设计文件及水文地质条件、道路运输环境、施工现场实际情况等相关条件，编制施工组织设计。

4.6 根据相关规程规范，确定本项目危险性较大的分部分项工程，并编制专项施工方案，超过一定规模的危大工程专项方案应组织专家论证。

4.7 现场施工管理宜采用信息化安全监测系统。

4.8 临时用电方案、临建布置应编制专项施工方案，审批后实施。

4.9 施工前做好现场截排水工作，应在竖井周围设置截排水设施。

## 5 竖井掘进机结构及配置

### 5.1 主要结构

竖井掘进机结构主要分为四部分，由上到下分别为：辅助系统、旋转驱动系统、推进支撑系统以及破岩钻头系统。其中辅助系统中的操作控制平台安装有泵站、控制台、调频启动柜等，并设置有人员监控室。

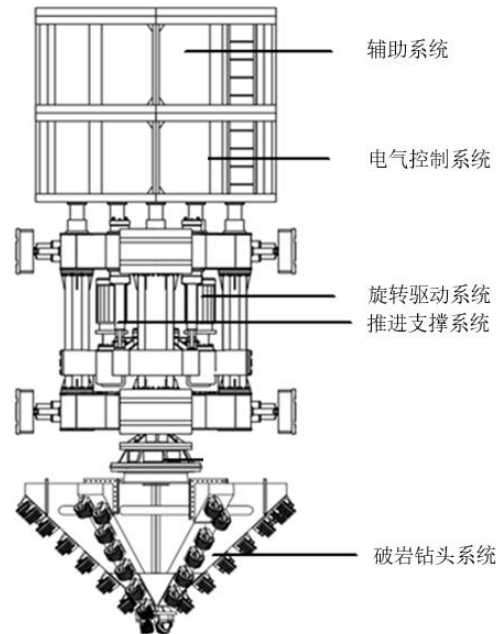


图 1 竖井掘进机总体结构示意图

#### 5.1.1 破岩钻头系统

a) 刀盘和滚刀形成组合结构，刀盘在驱动系统的作用下旋转，刀盘带动滚刀自转，滚刀在推进力的作用下压入岩石。刀盘和滚刀应根据竖井的直径和深度确定尺寸。

b) 刀盘宜采用多翼可变径锥形结构。

#### 5.1.2 推进支撑系统

a) 支撑装置，包括支撑油缸、撑靴、扶正杆和框架结构。

b) 推进系统，为刀盘提供推进力，包括推进油缸、辅助设施。

c) 在钻进过程中，应控制支撑油缸的伸出量和支撑力、提供刀盘的反作用力和回转反扭矩、调整主机的姿态和方向，实现连续准确钻进。

#### 5.1.3 旋转驱动系统

a) 旋转驱动系统，包括电动机、减速器、传动齿轮和箱体总成。

b) 电动机通过减速器后，齿轮箱内部齿轮驱动主轴旋转，实现刀盘旋转破岩的功能。

#### 5.1.4 电气控制系统

a) 电气控制系统，包括供配电、刀盘旋转驱动控制、支撑和推进装置控制以及远程控

制。

- b) 供配电宜配备独立隔离开关和断路器，分别向支护设备和降压变压器供电。
- c) 刀盘旋转驱动宜采用扭矩同步控制方式，确保各电机同步工作，负荷均衡分配。

### 5.1.5 液压监测系统

- a) 液压监测系统应满足竖井掘进机推进、支撑、方位调整的需要。
- b) 液压监测系统工况，包括竖井掘进机钻进方向定位、正常钻进、移步和事故处理。

## 5.2 竖井掘进机辅助系统配置

### 5.2.1 凿井井架

凿井井架作为提升设备的支撑系统，结构设计应考虑井架受力荷载、地基承载力等，满足使用要求。

### 5.2.2 吊盘

a) 吊盘主要满足支护需要，可由保护盘、支护盘、操作盘、电控盘等组成，需结合竖井掘进实际要求灵活设计多功能吊盘。

b) 吊盘应设有安全防护层，可采用竹跳板、钢板等作为防护，防止上部坠物下落并具有缓冲作用。

### 5.2.3 提吊设备

a) 提吊设备，包括井架、天轮、绞车、稳车、钢丝绳、提升容器等，应根据竖井深度、作业人员数量、支护材料重量、体积及运输强度等进行选配，钢丝绳及稳绞系统提升力安全系数执行《水电水利工程竖井斜井施工规范》DL/T5407。

b) 载人吊具应设置可靠的防坠措施，并在运行前进行防坠试验确认防坠器具运行正常，运行过程中应作为重点检查部位。

### 5.2.4 操作系统、数据采集系统

a) 操作系统是人机之间的交互接口，通过 PLC 控制竖井掘进机钻进过程，显示控制参数，进行安全检测和操作提醒等。

b) 数据采集系统由三向力传感器、USB 采集卡、工控机、Labview 平台和自编程序组成。

### 5.2.5 防尘系统

a) 防尘系统包括喷雾系统和通风系统。

b) 喷雾系统利用水或其它物质降尘，通风系统利用进风形成循环降尘。

### 5.2.6 导向系统

导向系统应具备实时监测掘进机中心轴线与设计轴线的平面偏差、垂直度、滚动角等姿态信息功能。

### 5.2.7 多功能吊盘

a) 锚喷支护施工可采用多功能吊盘进行支护作业，吊盘同时起到保护竖井掘进机作业的目的。

b) 多功能吊盘由保护盘、中层盘和下层盘组成。

c) 保护盘位于吊盘的最上部，可以放置支护材料，盘面上设置有防冲击缓冲层。

d) 中层盘安装有液压支撑油缸、液压泵站、操作台和喷浆机。

- e) 下层盘安装有液压支撑油缸、锚杆钻机、挂网机械臂。

## 6 测量

### 6.1 施工准备

测量放样前，熟悉工程有关的测量资料、施工设计蓝图、确定施工要求，并对工程设计提供的测量资料与现场实际情况进行复核，对于可应用的相关测量软件，在正式使用前应进行验证，竖井掘进机在掘进前，对自带的精度控制相关设备、软件等进行检查。

### 6.2 控制网

控制网分为平面控制网、高程控制网和重力控制网三类。

a) 平面控制网是以一定形式的图形把大地控制点构成网状，测定网点的坐标，或通过测定网中的角度、边长和方位角，推算网点的坐标。

b) 高程控制网由连接各高程控制点的水准测量路线组成。

c) 重力控制网是由绝对重力点和相对重力点构成的网，作为一个国家重力基准的实现。

### 6.3 基于激光指向仪的导向和定位

a) 激光指向仪是一种能够提供掘进方向及大致位置的一种导向方法，其固定安装在掘进机的后方，射出的激光可作为井筒中线使用。

b) 竖井掘进机使用激光指向仪及光测角仪进行定向，激光指向仪实现定位的组合测量方法。

### 6.4 远程控制

通过地面控制台与工作面主控制台之间相互发送及接收信息，实现操作指令和监控测量等数据的实时采集、处理和传输。系统软件允许用户在远程登录并控制电脑，实时监控运行状态与处理相关数据，实现与控制台相同的操作功能。

### 6.5 测斜系统

包括位移测量系统（激光发射器和 PSD 光电位移传感器平板）和姿态测量系统（两个高精度角度传感器），利用光电传感器平板获取竖井掘进机轴线与井筒设计轴线的偏斜量，利用角度传感器获取竖井掘进机姿态的垂直量。如果位移测量发现掘进机轴线偏离井筒设计轴线一定量后，应启动导向纠偏系统，通过调整各个支撑油缸的伸缩量，使掘进机的刀盘指向井筒设计中心轴线，经过几个步距的纠偏，掘进机轴线与井筒设计轴线夹角逐渐变小直至重新重合。

### 6.6 刀盘转速测量

采用轴编码器，其通过信号电缆与变频器相连。变频器、接触器、电抗器等安装于电控柜中，传动系统构成转速闭环和转矩（电流）闭环控制。

### 6.7 测量定位

根据井筒方位测量结果（主机系统自带水平仪和垂直传感器测量数据），计算确定各支撑油缸的伸出量和支撑力，并在钻进过程中随时调整，确保钻进方向和精度要求，防止靴板相对井帮滑动。

### 6.8 偏斜控制

竖井掘进机的主要设计功能包括偏斜控制。根据井筒方位测量结果，计算确定各支撑油

缸的伸出量和支撑力，并在钻进过程中随时调整，确保钻进方向和精度要求，防止靴板相对井壁滑动。

## 7 竖井正向掘进和支护

### 7.1 一般规定

7.1.1 应根据掘进机部件的单重、尺寸等情况，结合实际运输条件，确认掘进机运输和组装方案。

7.1.2 风水电等准备工作完成，在竖井施工前应对竖井掘进机相关配件进行检查，主要部件应在井口完成预组装等工作，确保满足掘进要求。

7.1.3 竖井掘进机制造完成后应进行验收。

7.1.4 竖井掘进机始发前应对设备导向姿态进行人工复核，确保初始始发姿态准确，保障设备始终处于可控状态。

### 7.2 导井施工

7.2.1 导井宜采用反井钻机施工，导井直径不宜小于 1.4m。

7.2.2 在导井施工时，采取定向纠偏措施，确保导井的精度。

7.2.3 导井钻机开孔时反井钻机应慢速、均匀推进，纠偏频率宜结合竖井地层岩性情况确定。

7.2.4 导井钻进过程中，应及时跟踪记录掘进速度、收集井内返出岩屑性状，分析判断地层岩性状况。

### 7.3 始发井施工

7.3.1 应根据竖井掘进机结构尺寸，确定始发井深度及结构形式，始发井的深度宜不小于竖井掘进机高度，始发井直径宜大于掘进机结构 20cm，以满足操作空间要求，始发井结构可采用锚喷结构、混凝土结构、钢结构。

7.3.2 井壁的承载力不低于始发阶段所需的最大推力。

7.3.3 当采用无始发井反力笼结构始发时，应确保反力笼的刚度、强度和稳定性，反力笼的地锚结构应稳定可靠，地锚提供的反力应大于竖井掘进机始发所需推力。

### 7.4 掘进机及辅助设施安装

7.4.1 掘进机安装包括驱动系统安装、推进支撑系统安装、破岩钻头系统安装。

#### 7.4.1.1 驱动系统安装

##### a) 轴承安装

1) 动力头上、下推力轴承内圈、保持架和滚动体整体组装，外圈单独进行组装；

2) 动力头上、下扶正轴承外圈、保持架和滚动体整体组装，内圈单独进行组装。

##### b) 密封件安装

1) 耐磨套安装前，预热至 70~80℃，组装在旋转主轴上。

2) 先将第一个密封件安装在轴承盖上的腔体中，安装带有密封腔体的密封套；再将第二个密封件安装在密封套上的腔体中，安装密封盖和其它零部件。

3) 将动力头输出端各零部件组装成一体，整体安装到已安装有耐磨套的旋转主轴上。

##### c) 驱动电机及相关部件安装

1) 选用内外圈可以分体组装的圆柱轴承，通过特制工装将轴承外圈安装到上箱体轴承孔中。

- 2) 减速器、齿轮等相关部件组装成一体，整体安装到上箱体中。
- 3) 减速器等部件安装后，再组装驱动电机。

#### 7.4.1.2 推进支撑系统安装

主要工序：(1) 动力头上箱体安装轨道衬板→(2) 焊接四立柱安装水平微调装置→(3) 点焊四导向立柱下法兰中间板于下梁圈梁立柱垫板上→(4) 点焊四导向立柱上法兰中间板于上梁圈梁立柱垫板上→(5) 透钻 32-Φ30H12 绞制孔→(6) 吊装动力头与四导向立柱，装钉工艺销→(7) 吊装上梁圈梁，装钉工艺销→(8) 安装四驱动装置→(9) 四垂直推进油缸活塞杆座于动力头上箱体端面组焊→(10) 启动电气及液压系统。

#### 7.4.1.3 破岩钻头系统安装

在刀盘铸造毛坯面上加工定位键槽，在各焊接结构翼板结合面加工定位台，在现场定位安装。

#### 7.4.2 辅助系统安装

##### a) 提绞系统

在井筒上方安装井架、绞车、稳车，在井口安装封口盘。

##### b) 支护系统

- 1) 多功能吊盘为三层结构，包括保护盘、中层盘和下层盘。
- 2) 在保护盘安装安全防护层。
- 3) 在中层盘安装液压支撑油缸、喷浆机和混凝土分料及暂存装置。
- 4) 在下层盘安装液压支撑油缸、锚杆钻机。

7.4.3 掘进机和辅助系统安装后应对各系统进行调试并验收。

### 7.5 掘进施工

#### 7.5.1 竖井掘进机工作流程

##### 7.5.1.1 定位

a) 应根据井筒方位测量结果，计算各支撑油缸伸出长度，确定钻进方向，通过钻进过程逐步纠偏达到预设精度。

b) 在钻进过程中，应避免靴板相对井壁发生滑动。

##### 7.5.1.2 钻进

a) 应根据钻凿岩石的物理力学性质和可钻性，施加相应的钻压，达到滚刀破岩的状态。

b) 在岩石条件差地段，利用竖井掘进机二层框架搭设支护平台，收起竖井掘进机支撑靴，由地面提升设备提吊竖井掘进机由上至下进行锚网喷支护，必要时增加工字钢支撑，形成可以满足竖井掘进机自稳的填充井筒，再进行钻进作业。

##### 7.5.1.3 支撑结构换步

a) 在推进油缸达到最大设置行程位置时，转动刀盘平稳接触岩石后停止刀盘，锁紧推进油缸，逐渐松开支撑油缸。

b) 当支撑油缸的支撑力为 0 时，应逐渐收缩推进油缸，下移支撑框架，同时地面提升设备下放竖井掘进机，下放速度和收缩速度保持同步。

c) 当推进油缸全部到位后，方可进行下一个钻进循环。

#### 7.5.2 掘进机操控

a) 开启钻机：调整撑靴的位置和压力，使撑靴全部支撑在井壁上，控制支撑油缸的压力在合理的范围内，通过摄像头确认撑靴与井壁有效接触后，方可进入下一步操作环节。

b) 停止钻机：调整推进油缸压力和推进速度，使得推进速度缓慢降低为 0。

- c) 移动钻机：在推进油缸位移指示显示行程剩余 5cm 时，停止推进，完成移机。
- d) 推进油缸完成一个行程后，主框架结构沿竖井轴线向下移动一段距离，然后支撑油缸推动支撑板继续支撑在井壁上，应经找正后，继续形成下一个破岩循环。
- e) 竖井掘进机通过支撑油缸压力的调节实现姿态控制。应利用上部一对支撑油缸将掘进机上部横梁固定，调节下部支撑油缸的伸缩量，改变机体轴线角度。

### 7.5.3 数据采集系统

- a) 竖井掘进方位参数, 实现掘进方向控制、刀盘自动化方向调整等。
- b) 竖井钻进效率参数, 实现钻进速率分析、破岩钻进与围岩状态分析等。
- c) 掘进机运行状态参数, 实现掘进机自稳、推进、破岩、溜渣、降尘、安全监控等高自动化控制。

### 7.5.4 换刀时间

- a) 根据岩石条件, 选择适用排齿间距的硬岩耐磨镶齿滚刀, 使用寿命不低于 500m。
- b) 在竖井掘进机组装过程中, 完成硬岩耐磨镶齿滚刀安装, 可实现连续钻进作业, 不需要更换滚刀。

### 7.5.5 异常情况处理及措施

- a) 如围岩破碎或塌落, 利用竖井掘进机操作平台搭设支护平台, 进行锚喷支护。在支护区域内, 采用支撑钢管支架形成钢管网格, 在网格内由内向外喷射混凝土, 直至完全填充。
- b) 如遇大量涌水, 可采用灌浆方法进行封堵。

### 7.5.6 掘进机变形处理措施

- a) 当发生钻孔偏斜, 及时调整测量间距, 增加测点, 明确钻孔弯曲部位及变化值, 启动纠偏方案, 使钻孔弯曲保持在允许的范围内。
- b) 当钻孔弯曲超限, 使用螺杆钻具纠斜, 确保导向孔斜不超限, 同时利用单点测斜技术对孔斜度进行验证。

### 7.5.7 设备保养

- a) 磨合期保养: 按照首次保养条例进行, 工作时不能全负载运行, 在中低负荷的状态下工作。
- b) 完工保养, 对设备进行全面的清洗、检查、整修、更换, 排除异常现象, 保持机况完好、整洁。
- c) 停放保养: 排除故障, 进行全机的保养、润滑。
- d) 封存保养: 对生锈的部位进行防腐, 进行全机的保养、润滑。
- e) 换季保养: 更换润滑油及防冻液和防寒、降温措施。

## 7.6 初期支护

### 7.6.1 一般规定

- a) 竖井应严格按照实际揭露的围岩类别选用相应的设计支护参数进行支护。
- b) 竖井支护应紧随开挖作业进行, 开挖一循环、支护一循环。
- c) 支护平台宜采用多功能吊盘, 吊盘之间设置钢爬梯作为施工通道, 支护平台外缘与围岩间隙不大于 20cm。支护平台的承载力、刚度、稳定性应满足施工安全要求。
- d) 应进行现场监测, 通过对围岩和支护结构的观察、监测, 掌握围岩动态及支护结构受力状态, 根据监测情况, 对支护结构和开挖、支护方式进行动态调整。

e) 支护平台吊盘运行时应设专人操作,每次升降吊盘后,应将吊盘抄平找正,保持各通过口能顺利通过,并用稳盘装置将吊盘稳定,经常清理吊盘上的各种杂物,保持盘面整洁。

f) 现浇竖井衬砌混凝土时,可采用吊盘带整体模板方式,在钻进的同时进行竖井衬砌混凝土浇筑作业。

### 7.6.2 竖井锚喷支护应遵循以下原则

a) 喷射混凝土宜选择湿喷或潮喷工艺,喷射混凝土施工前应检查断面尺寸是否达到设计要求。

b) 喷射混凝土施工前应检查施工机具、设备、风水管路、电缆线路等是否运转正常。

c) 喷射混凝土水泥应选择硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,其余原材料、外加剂等应满足配合比要求。

d) 对竖井开挖过程中存在渗漏水的情况,开挖后及时封闭,并采取防水和排水措施。

e) 可根据现场围岩情况,选择掺加钢纤维或合成纤维喷射混凝土。

f) 锚杆成孔困难时,可选择自进式锚杆和中空注浆锚杆。围岩较差时,可选择预应力锚杆。

### 7.6.3 钢构架支撑有钢格栅和型钢支撑两类,施工时应满足下列要求

a) 钢构件支撑应在初喷混凝土施工后及时安装。

b) 钢构件支撑应有足够的强度,接头牢固可靠,相邻钢构件支撑应连接牢靠。

c) 每环支撑应在同一平面上,钢构件支撑与锚杆、钢筋网等应焊接牢靠。

d) 钢构件支撑安装就位后应及时复喷混凝土,由下至上进行,钢构件支撑与围岩之间应喷填密实,不应有杂物填充。

e) 钢构件支撑应定期进行检查,发现喷射混凝土开裂、支撑偏斜、扭曲、变形等情况时,应立即采取加固措施。

### 7.6.4 不良地质段应对措施

a) 掘进过程中,应严格按照设计要求及时进行支护,对局部不稳定的区域及时进行随机支护。

b) 掘进过程中,若遇到岩溶地段、膨胀性岩体、高地应力、地下水活动较严重地段,应及时反馈至设计,采取针对性处理后,再进行掘进施工。

c) 采用灌浆法处理不良地质段时,应满足相关规范要求。

## 7.7 掘进机拆除

7.7.1 竖井掘进机进入拆机阶段,应停止与竖井掘进机钻进工作有关的一系列操作,同时应关停吊盘上的风水管。

7.7.2 竖井掘进机进入预拆机位,应将刀盘缓慢贴近竖井底部通道底板,并将部分刀盘埋入锥形坑槽内,待刀盘到位后,竖井掘进机撑起上圈梁的撑靴需顶住井壁。

### 7.7.3 竖井掘进机刀盘拆解

a) 检查并清理吊盘最下层到井口约5m垂直范围的井壁浮石,确保在后续拆卸过程中的井壁稳定。

b) 在拆机过程中,竖井井口和掘进机拆卸部位应做好警戒、安全防护措施到位后才能进行拆卸工作。

c) 用力矩扳手、风炮机等工具依次对各个刀盘翼板、刀盘连接法兰的连接螺栓进行拆除,难以拆解的螺栓可用螺母破切器对目标螺母进行破坏切除。

d) 刀盘连接法兰拆解完毕后，螺钉暂时不予以拔出法兰连接孔，检查随车吊提吊无异后，进行刀盘周围安全防护设施进行拆除。

e) 安全防护设施拆除完后，对竖井掘进机下圈梁、上圈梁及横梁、齿轮减速箱及立柱的拆解。

7.7.4 洞内运输时，根据洞内交通环境，采用重型运输车或短轴多转向自行车。

## 8 质量控制与检验

### 8.1 质量控制

8.1.1 施工前应建立质量管理体系，明确质量检查和验收程序，竖井开挖支护质量检查应包括自检、抽检和联合检查。

8.1.2 施工过程中应定期检测竖井方向、中心线和高程，及时进行规格检查，发现不符合质量要求时，应及时进行修正。

8.1.3 竖井掘进过程中，通过对掘进机的操控，调整掘进方向，应控制径向超挖值。

8.1.4 在施工过程中，若采取固结灌浆等灌浆处理措施，其质量控制及检验应按照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148 技术要求。

8.1.5 初期支护施工应对原材料质量以及安装范围、数量等项目进行检验。锚杆施工应对杆体胶结材料性能、钻孔、注浆等项目进行检验；喷射混凝土工序施工应对配合比、抗压强度、喷射作业质量、钢筋网制安以及喷射混凝土厚度等项目进行检验；排水孔施工应对钻孔深度、排水管安装等项目进行检验。

### 8.2 质量检验

8.2.1 竖井初期支护的质量检查，应在每个工序施工完成后进行，初期支护工序施工质量检验标准见表 1。

表 1 初期支护工序施工质量检验标准

项类	检验项目	质量标准	检验方法	检验数量	
主控项目	1) 钢筋的材质和规格型号	符合设计要求	查阅资料、取样试验	逐批查验和取样试验	
	2) 水泥、锚固材料、砂石骨料、掺合料和外加剂质量	符合设计要求	查阅资料、取样试验	逐批查验和取样试验	
	3) 锚杆安装范围、数量和深度	符合设计要求	现场查看、量测、查阅资料	全数检查	
	4) 钢构架支撑	钢构架型式和尺寸，制作和连接件质量	型式和尺寸符合设计要求，制作质量合格，连接件规格型号符合设计要求或批准，质量符合标准	查阅资料	逐批查验
		钢构架安装	外缘紧贴围岩，空隙按设计要求填充；立柱置于平整的坚硬岩面上，软岩或土体设置垫梁或封闭底梁	现场查看	全数检查
		钢构架固定	固定锚杆或插筋符合设计要求，与钢构架焊接牢固	现场查看	全数检查
		钢构架组装和连接	连接板结合紧密，连接螺栓无遗漏、紧固无松动；相邻钢构架的连接件及其布置符合设计要求，连接牢靠	现场查看、量测	全数检查
	5) 钢筋网和喷射混凝土	喷射混凝土性能	配合比、抗压强度满足设计要求或 DL/T 规范要求	查阅资料、取样试验	逐批查验和取样试验
		钢筋网安装	直径和规格符合设计要求，牢固固定在锚杆或钢构架上	现场查看、量测	全数检查
		喷射混凝土厚度	实测厚度合格率不低于 60%，平均值不小于设计值且最小值不小于 1/2 设计值和 50mm	现场查看、量测	每 10 m <sup>2</sup> 以内一点（竖井施工规范）
6) 地下洞室净断面	无影响衬砌结构的支护构件或设施侵入设计开	测量	断面间距不		

		挖断面内		超过 2m	
			位置和间距	径向偏差±50mm, 间距不超过设计	量测
一般项目	1) 锚杆	方向和倾角	方向与洞室轴线偏差不得超过±5°, 倾角偏差不得超过±2°	量测	全数检查
		深度偏差和注浆饱满度	锚杆插入长度不小于设计长度的95%, 注浆时孔口回浆饱满	量测、现场查看	全数检查
		2) 钢构架支撑	钢构架间距	平均值不超过设计间距, 最大值不超过设计间距的1.1倍	量测
	钢构架垂直度		铅直方向允许偏差3°	量测	全数检查
	3) 喷射混凝土外观	围岩表面全覆盖无裸露, 型钢构架外翼缘或格栅构架全部包裹密实	现场查看	全数检查	
	4) 集中渗水封堵或引排	按设计要求封堵或引排至支护段外, 支护段无线状渗水	现场查看、查阅资料	全数检查	

## 9 施工安全

### 9.1 施工作业安全

#### 9.1.1 一般规定

- 作业人员应经入场安全教育培训, 并考试合格方可上岗作业。
- 特种作业人员应按规定取得特种作业资格证书, 方可上岗作业。
- 每班作业前应组织召开班前会, 开展班前安全教育, 如实填写班前会记录。
- 进入施工区域的人员应遵守施工现场安全生产管理规定, 按要求正确佩戴使用安全帽、安全带、防尘口罩等劳动防护用品。
- 下井人员应进行实名登记, 内容包括但不限于姓名、单位、职务/工种、下井时间、事由、出井时间, 记录填写应及时、准确。
- 井口应设置安全值班室, 配置专人进行井口区域安全监督管理。
- 作业前应进行安全检查, 坚持日常检查和定期检查, 发现安全隐患及时处理。
- 竖井掘进机启动、掘进和停机等应按照安全操作规程操作, 设备运行前, 应发出警告信号。

#### 9.1.2 安全技术管理应符合以下管理规定:

- 施工前应制定专项安全技术方案, 属于超过一定规模的危险性较大的单项工程, 应组织专家对专项方案进行审查论证。
- 应对施工人员进行安全技术交底与培训, 交底与接受交底人签字, 留存交底记录。
- 应安排专人对专项施工方案实施进行旁站监督, 发现未按专项施工方案施工的, 应要求立即整改。
- 对于不良地质条件下的直径较大及井深较深的竖井, 应对围岩稳定进行安全监测, 及时反馈监测信息。

#### 9.1.3 安全防护及设施管理应符合以下管理规定:

- 锁口应超过井口地面一定高度, 不少于30cm, 在井口部位应设置封口盘、防护栏、防护网和踢脚板、防排水措施、通风设备等措施, 降低井内作业时井口安全隐患风险。并采用可靠的通讯设备, 确保井口、井内、井底在作业过程中沟通畅通。
- 施工区域应实行封闭管理, 主要进出口处设有安全警示标识和危险告知, 与施工无关的人员、设备不应进入封闭作业区。
- 井口应设置明显的安全警示标识, 采取封闭防护措施, 防护结构及尺寸应满足安全要求。

- d) 竖井掘进机施工时，下井口应布设安全围挡，设置警示标识，安排专人进行警戒；下井口出渣时，竖井掘进施工应停止掘进，上井口应封盖。
- e) 应随竖井掘进开挖进度及时跟进支护，支护参数根据不同围岩类别确定，严禁冒进。
- f) 临边高处作业人员应佩戴安全带（绳），并可靠固定。
- g) 混凝土下料的溜管、风管、水管应有安全保护装置，应用钢绳串联，每节宜用绳卡与钢丝绳连接，钢丝绳可采用专门提吊系统或间隔一段距离将锚杆与岩壁可靠固定。
- h) 雨季施工，井口应设置防雨和挡水设施，防止雨水倒灌井内。

#### 9.1.4 提升系统和罐笼管理应符合以下管理规定：

- a) 人员和材料采用吊笼运输时，施工吊笼使用要求应按照《水电水利工程竖井斜井施工规范》DL/T 5148 技术要求，所乘人员和数量应在作业规程中明确。
- b) 罐笼应设导向装置，采用钢丝绳作为导向装置时，钢丝绳的直径、张紧力大小应执行有关行业规定。
- c) 提升绞车控制应设置总停开关，控制装置的操作应安全、灵活、舒适、可靠。
- d) 提升系统钢丝绳应进行现场取样，委托有相应资质检测机构检测合格后，方可投入使用。
- e) 罐笼应经断绳防坠试验，合格后方可投入使用。
- f) 应设置专人进行信号指挥，指挥与操作人员间应保持通信联络畅通，信号、指令明确。
- g) 罐笼严禁超员、超载及人货混装，吊运材料设备时应均衡放置且牢固固定。
- h) 每班作业前应对提升系统（含罐笼、施工吊盘）电气系统、通信系统、钢丝绳、各类限位、保险装置进行检查，经试运行正常，方可进行作业。
- i) 提升系统运行时，如遇异常情况，应按操作规程停车检查。

#### 9.1.5 施工用电管理应符合以下管理规定：

- a) 施工现场临时用电应执行《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的规定。
- b) 配电箱、开关箱及漏电保护开关的配置实行“三级配电两级保护”，配电箱内电器设置应按“一机一闸一漏”原则设置。
- c) 配电箱、用电设备外壳均应按要求进行重复接地，接地电阻满足规范要求。
- d) 井内施工用电应使用电缆，电缆接头作防水处理，沿金属构件敷设时进行套管防护。
- e) 井内照明应使用安全电压，且照度应满足施工需要。
- f) 用电场所电器灭火应选择适用于电气的种类，不应使用泡沫灭火器。
- g) 电工应每日进行现场用电安全检查，及时消除触电隐患。

## 9.2 设备运输

- 9.2.1 运输车辆应当随车携带有效的《超限运输车辆通行证》，主动接受公路管理机构的监督检查。
- 9.2.2 运送竖井掘进机时，事先应组织专人对路基、桥涵的承载能力、弯道半径、沿途架空线路高度、桥洞净空和其他障碍物等进行调查分析，确认可靠后方可办理运输事宜。
- 9.2.3 车辆不应带故障运行、不应超载、疲劳驾驶、酒驾及醉驾。
- 9.2.4 竖井掘进机起吊运输时，应制定专项安全技术措施，按规定要求审批后，方可施工。
- 9.2.5 竖井掘进机吊装区域进行封闭隔离，设置安全警戒，无关人员不应进入。重物下面不应有人停留或穿行。

9.2.6 竖井掘进机吊运过程中,要保持其平稳,避免歪斜,吊钩上使用的绳索,不应滑动。

### 9.3 应急管理与响应

9.3.1 应组织开展竖井施工安全风险辨识,制定施工现场生产安全事故应急救援预案、专项应急预案和现场处置方案。

9.3.2 应建立应急救援组织机构、组建应急救援队伍、配备应急救援人员、器材、设备,并定期组织演练。

9.3.3 应对全体人员进行针对性的应急培训和交底。

9.3.4 现场应设置灭火器、应急照明设施、报警装置和应急备用电源,设置应急疏散通道。

9.3.5 竖井应设置应急爬梯或应急绞车。

9.3.6 发生生产安全事故后,事故现场有关人员立即报告本单位负责人,事故单位负责人接到事故报告后,应在 1h 内向项目主管部门、安全生产监督机构、事故发生地县级以上人民政府安全监督管理部门和有关部门报告。

9.3.7 发生生产安全事故后,事故单位主要负责人应立即到现场组织抢救,启动应急预案,采取有效措施,防止事故扩大。

9.3.8 事故单位依法做好伤亡人员的善后工作,安排好受影响人员的生活,做好损失的补偿。

9.3.9 事故单位应采取有效措施,尽快恢复工程建设,吸取事故教训,落实防范和整改措施,防止再次发生类似事故。

### 9.4 通风及气体检测

9.4.1 导井式竖井掘进机在施工过程中,导井未通前,应采取临时通风措施,保证现场施工工作面供应  $3\text{m}^3 / (\text{人} \cdot \text{min})$  的新鲜空气。导井施工完成后,主要通过导井的烟囱效应自然通风,如若不能满足需要,仍然需采取通风措施。

9.4.2 采取井口压风式通风时,风管端头应接至支护平台和设备操作平台,随着平台升降增减风管长度,确保操作人员施工需求。

9.4.3 通风管路宜固定在井壁,且距离人员上下交通较近位置,便于维护,严禁在风管上悬挂物体。

9.4.4 应在掘进施工过程中,对竖井井内存在的粉尘、噪音、有毒、有害等危害因素进行监测,可采取加强通风等措施改善作业环境,应保证作业环境中施工人员的基本需要。常见生产性粉尘、有毒物质要求执行《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL / T 5370 和《水工建筑物地下工程开挖施工技术规范》DL / T 5099 的相关规定。

9.4.5 掘进施工前,在通风及有害气体检测不合格时不应下井作业。

### 9.5 安全监测及数据分析

9.5.1 可通过导井施工前后,对竖井围岩作为初步判断,必要时可采取钻孔取芯的方式分析和明确围岩,同时也可通过对导孔采取孔内摄像的方式辅以佐证,为后续掘进支护提供参考。

9.5.2 在掘进机施工过程中,应及时施工永久和临时安全监测项目,并根据数据及时调整开挖支护措施。

9.5.3 监测和巡视应做好数据的采集及分析,记录应准确、及时、清晰、齐全,应记录监测日期和变形数据,及时通知至现场,作为相应调整,安全监测要求执行《水工建筑物地下工程开挖施工技术规范》DL / T 5099 的相关规定。

### 本标准用词说明

- 1) 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 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”；
  - 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”；
  - 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 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标准执行的写法为“应符合.....的规定”或“应按.....执行”。

# 导井式竖井掘进机正向掘进 施工规程

Construction rules for forward driving of pilot shaft shaft  
boring machine-Code of practice

条文说明

# 目 次

<b>4 基本规定</b> .....	<b>19</b>
4.2 竖井掘进机的选型与配置 .....	19
<b>5 竖井掘进机结构及配置</b> .....	<b>19</b>
5.1 主要结构 .....	19
5.2 竖井掘进机辅助系统配置 .....	20
<b>6 测量</b> .....	<b>20</b>
6.2 控制网 .....	
<b>7 竖井正向掘进和支护</b> .....	<b>20</b>
7.1 一般规定 .....	20
7.2 导井施工 .....	21
7.3 始发井施工 .....	21
7.4 掘进机及辅助设施安装 .....	21
7.7 掘进机拆除 .....	21
<b>8 质量控制与检验</b> .....	<b>21</b>
8.2 质量检验 .....	21
<b>9 施工安全</b> .....	<b>222</b>
9.1 施工作业安全 .....	222
9.2 设备运输管理 .....	222
9.4 通风及气体检测 .....	22

## 编制说明

为保障大断面深竖井的施工安全，解决竖井工程采用竖井掘进机正向掘进的施工问题，统一建设标准，做到技术先进、安全可靠、经济合理，编制了《导井式竖井掘进机正向掘进施工规程》。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了近年来我国大断面深竖井施工的科研成果与工程经验，对关键技术进行了深入研究和探讨，这些工作为本规程编制积累了宝贵的资料。同时，编制过程中广泛征求的意见也提供了很大帮助。

为方便广大施工、科研等单位有关人员在使用本规程过程中能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条的顺序编制了本规程条文说明，对条文规定的目的、依据及执行中需注意的有关事项进行了说明。但条文说明不具备与标准正文相同的效力，仅作为使用者理解和把握本规程规定的参考。

## 4 基本规定

4.1 竖井掘进机掘进前，应按照可行性研究阶段、初步设计阶段和施工图设计阶段进行工程地质勘察。其勘察工作深度和要求，可参考现行国家标准《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487）的相关技术要求和做法。

4.2 竖井掘进机的选型与配置，应遵循适用、安全、先进、经济等原则。配置应包括动力头、破岩滚刀、扩展翼板、翼板连接梁、主翼板、超前刀盘、中心管、推进油缸、辅助提升设备、井筒内悬吊设备和支护系统等。竖井掘进机的选型依据应包括下列内容：工程地质勘察报告、竖井线路及结构设计文件、施工安全、施工环境及其保护要求、工期条件、辅助施工方法、类似工程施工经验等。竖井掘进机的主要参数应包括下列内容：钻井直径、推进行程、最大推进力、最大拉力、额定扭矩、最大扭矩、设备功率等。

4.3 辅助工程（如供风、供水与排水、供电与照明等）和辅助设施（如起吊设施、防坠设施、支护设施等）应根据竖井掘进机类型、掘进方法和施工工艺等要求进行配置。辅助工程和辅助设施的设置，均应符合国家现行有关标准的规定。

4.4 导井应根据工程地质勘察报告、环境要求等，选择安全、经济、快速的施工方法。参考现行行业标准《水电水利工程竖井斜井施工规范》DL/T 5407 的相关技术要求和做法。导井的偏斜决定于导孔的偏斜率，竖井掘进机可以通过支撑油缸伸缩长度的变化进行纠偏，但无法纠正大的偏斜。为提高钻孔精度，可以先用定向钻机钻出符合精度要求的小直径定向孔，再利用反井钻机进行扩挖。应根据竖井制定分钻进尺寸偏斜要求，在开孔期间进行偏斜检测，若不符合要求，则重新开孔。在导孔钻进过程中，每隔一段距离（由竖井深度决定）或更换刀盘时进行偏斜检测，若不符合要求，则在纠偏后继续钻进。导井施工过程中，如果遇到地质条件较差的情况，可采用超前灌浆、超前支护的预支护、预加固的手段，确保竖井后续施工安全。

4.6 掘进前应制定专项安全技术方案，对施工人员进行安全技术交底和培训，特种作业人员应持证上岗。进入施工现场的工人应戴安全帽，并按规定使用其他相应的个人防护用品，应实名登记。作业现场应设置警示标志和标识标牌，高处作业面的临空边缘应设置安全防护栏杆，井口应设置警卫值班室。应根据设备的重量、体积、形状、种类选用适宜的运输方法。运输大型设备应符合交通规则规定，配备指挥车，并事先规定前后车辆的联络信号，还应悬挂明显标志。正式起吊前，应先试吊，确认可靠后方可正式起吊。应建立安全应急机构，并定期组织安全意识教育、学习安全操作手册和开展安全演练。竖井施工应建立质量控制与检验制度，上道工序质量验收合格后方可进入下道工序施工。竖井斜井开挖及支护过程中的质量检查和控制，应满足现行行业标准《水工建筑物地下工程开挖施工技术规范》DL/T 5099 的相关技术要求和做法。

4.8 以礼河四级电站复建工程应用过程中，采用 1 台 200KW 柴油发电机作为临时停电后的备用电源，井内低压供电电缆及照明线路利用井壁锚杆固定到井壁。备用电源的功率可根据机械使用情况进行合理配置，以保证现场主要机械临时使用为主。

## 5 竖井掘进机结构及配置

### 5.1 主要结构

目前已成型 6m 直径的竖井掘进机主要技术性能参数，见表 1。

表 1 6m 直径的竖井掘进机主要技术性能参数表

掘进直径	掘进深度	掘进推力	掘进扭矩	掘进转速	设备功率	总重量约
5.7-6.0m	800m-1000m	6000kN	1000kN·m	0-5rpm	680kW	170t

## 5.2 竖井掘进机辅助系统配置

### 5.2.2 吊盘

吊盘为三层盘结构，安全防护层在上层盘顶部，具有保护吊盘的作用，不能防止井口坠物，可以防止掉落在上层盘的坠物继续下落。

### 5.2.3 提吊设备

载人吊具主要作为人员上下竖井的设备，一般选择为罐笼，罐笼可根据现场情况选择具体尺寸。罐笼宜选用专业厂家进行生产，出厂时应附出厂合格证、质量证明书等质量证明文件，进场前需进行验收。

### 5.2.4 操作系统、数据采集系统

a) PLC, Programmable Logic Controller, 可编程逻辑控制器。

b) USB, Universal Serial Bus, 通用串行总线; Labview, Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, 实验室虚拟仪器工程平台。

## 6 测量

### 6.2 控制网

重力控制网，是由绝对重力点和相对重力点构成的网，作为一个国家重力基准的实现。平面控制网和高程控制网的观测都与地球重力场相联系，特别是高程控制网与重力的关系更为密切。因此，在建立平面和高程控制网中，重力测量也是其重要的组成部分。

## 7 竖井正向掘进和支护

### 7.1 一般规定

7.1.1 掘进机的拼装、操作和拆解应制定专项的方案，并应对相关人员进行专业培训。应根据掘进机的部件尺寸、重量、场地和施工工艺等因素，制定拼装方案，选择拼装设备。掘进机的拼装现场应设置消防设备，拼装作业应按照安全操作流程和制定的拼装方案进行。拼装完成后，应先对掘进机的各个系统进行空载调试，再进行掘进机整体的空载调试。掘进机的操作人员应经培训考试合格后，才能持证上岗，应了解所掘进机的基本构造、原理，熟悉其性能、规格、保养方法和安全操作规程。操作掘进机前，应先对其进行检查，检查无误后，才可运行。掘进机运行时，若遇到异常情况，应立即停机检查。严禁超过掘进机的性能运行，停机时应及时对掘进机进行检查、维修和保养。在拆解掘进机前，应制定拆解方案，准备拆解时所需的设备、工具和材料等，检查掘进机的各个部件。清理已拆解的掘进机零部件。

### 7.2 导井施工

### 7.2.2

a) 导孔施工精度决定后续溜渣的精度，溜渣井精度的高低也会直接影响竖井掘进机在掘进过程中纠偏及姿态调整次数，在以礼河四级电站复建工程采用无线随钻测斜工艺，测斜仪为蒙德纳 MDN-48KZ 泥浆脉冲随钻测斜仪，无线随钻测量系统能够做到适时监测，定向孔施工孔深 258 米，定向导孔的偏斜率为 1.62%，施工工期 19 天。

b) 为增加竖井掘进机掘进过程中的安全保障，在以礼河四级电站复建工程应用过程中，采用 BMC600 型反井钻机（额定拉力为 600t）作为导井的施工，以及在井口通过加长钻杆与掘进机连接，掘进机和钻杆的重量约为 360t，BMC600 型反井钻机可确保掘进过程及拆除的安全，在掘进机拆除过程中，BMC600 型反井钻机起到至关重要的作用。待掘进机全部拆卸完成后，依次从井口完成钻杆的回收和反井钻机拆除工作。

## 7.3 始发井施工

7.3.1 根据地质条件、施工工艺、环境条件等，始发井的施工方法应遵循安全、经济、对周边环境影响小的原则。根据竖井掘进机的类型及尺寸、重量、推进力、施工工艺等因素确定始发井的尺寸，并应满足竖井掘进机起吊、拼装、拆除和检修等施工要求。

## 7.4 掘进机及辅助设施安装

7.4.1 露天井建议在井口进行拼装，在井口调试完成后采用大型吊车吊装入始发井，如果井口空间受限，可在始发井内拼装。

7.4.2 在已经完成的工程中，掘进机的操控系统可放在支护吊盘上，紧跟掘进机推进，支护吊盘采用稳绞系统悬吊，人员采用罐笼上下。也可将操控系统置于井口，通过增加主电缆实现操控掘进机。

## 7.7 掘进机拆除

7.7.4 地面运输时，目前已有的竖井掘进机最大单件的尺寸长×宽×高（5240×5240×4855mm），重量 55.42t，最大不可拆卸件尺寸长×宽×高（3930×3930×4200mm），重量 48.65t。从已成功应用的以礼河四级电站复建工程中，最大采用 75t 平板车运输。根据实际应用成果，建议在运输过程中，如果载重量允许，可以多件组合运输，从而确保设备的安装精度。洞内运输时，需结合洞内净空、转弯半径等运输条件确定运输方案，已成功应用的以礼河四级电站复建工程中，应用部位为出线竖井，井深 280m，井口为露天结构，通过井底的出线竖井交通洞作为施工通道，受交通洞转弯半径影响，大型平板车无法进入，实际采用改造后的运梁炮车转运。

# 8 质量控制与检验

## 8.2 质量检验

8.2.1 竖井掘进机在掘进及支护过程中的质量控制和检查，应满足《水工建筑物地下工程开挖施工技术规范》DL/T 5099、《水电水利工程喷锚支护施工规范》DL/T 5181、《水电水利工程竖井斜井施工规范》DL/T 5407 及设计有关要求。

## 9 施工安全

### 9.1 施工作业安全

9.1.2 混凝土下料的溜管、风管、水管的安全保护装置，应通过计算复核，确认绳卡数量及形式，采用锚杆连接混凝土下料的溜管时，应计算锚杆数量及与溜管焊接长度等，确保施工过程中的安全。

9.1.4 本标准的竖井施工开挖采用竖井掘进机施工，支护和操作吊盘、风水管、人员上下等均采用稳车和绞车进行提吊，在施工过程中，保障稳绞系统的安全运行是确保本工程安全顺利完成至关重要的一个环节，其中提升系统中安全系数、钢丝绳绳径等选择应满足《水电水利工程竖井斜井施工规范》DL/T 5407 等相关规范要求。

### 9.2 设备运输管理

9.2.1 竖井掘进机运输，需提前规划运输路线，达到超限运输条件时，应当依法办理有关许可手续，采取有效措施后，按照制定的时间、路线、速度行驶，随车携带《超限运输车辆通行证》。未经许可，不应擅自改变行驶路线。

### 9.4 通风及气体检测

9.4.1 在以礼河四级电站复建工程出线竖井工程应用中，井深 280m，为露天井，导井施工完成后，经现场施工检测，导井的自然通风可满足工作面的施工需求。