

**DB37**

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T4385—2021

---

# 南水北调东线穿黄河工程运行期水下检测 规程

Underwater testing rules for the east route of South-to-North water diversion project  
crossing the yellow river during operation period

2021-07-09 发布

2021-08-09 实施

---

山东省市场监督管理局 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 检测平台及检测设备 .....	1
4.1 一般规定 .....	1
4.2 水上控制单元 .....	2
4.3 脐带缆 .....	2
4.4 检测平台技术要求 .....	2
4.5 检测设备 .....	2
5 检测内容项目及方法 .....	4
5.1 检测内容及项目 .....	4
5.2 检测方法 .....	4
5.3 水下检测作业技术要求 .....	4
6 检测与评估 .....	5
6.1 水下检测作业程序 .....	5
6.2 检测成果与分析 .....	7
附录 A（资料性）南水北调东线穿黄河工程 .....	10
A.1 南水北调东线穿黄河工程概况 .....	10
A.2 穿黄河隧洞基本情况 .....	10
A.3 工程等别、建筑物级别及设计标准 .....	11
附录 B（规范性）运行检查记录表 .....	12
附录 C（资料性）穿黄河隧洞监测仪器埋设记录 .....	13

## 前 言

本文件按照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。

本文件由山东省水利厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：山东省水利科学研究院、南水北调东线山东干线有限责任公司、山东省海河淮河小清河流域水利管理服务中心、山东未来机器人有限公司。

本文件主要起草人：刘力真、顾红鹰、崔庆福、董延朋、顾霄鹭、曹方晶、张山、李福超、陶泽文、李军、李明、陈魁、徐峰。

# 南水北调东线穿黄河工程运行期水下检测规程

## 1 范围

本文件规定了利用机器人进行水下工程检测的机器人平台、设备技术要求、检测内容项目及方法、检测作业程序、检测成果与分析评价等。

本文件适用于指导南水北调东线穿黄河工程(见附录A)运行期间的水下检测工作。其他水工隧洞等类似工程管理运行期检测参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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。

- SL 713 水工混凝土结构缺陷检测技术规程
- SL 734 水利工程质量检测技术规程
- SL 764 水工隧洞安全监测技术规范
- SL 768 水闸安全监测技术规范
- T/CDSA—305.23 水下工程声呐渗漏检测技术规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 水下机器人 Remote Operated Vehicle

有缆遥控机器人(也称“缆控机器人”),其主要特点是能够潜入水下环境,代替人完成某些操作。

注:在水利工程运用中,可搭载深度计、声呐系统、罗经等各种传感器及计算机视觉系统,某些机器人还可搭载切割机等操作手,完成水下作业任务。机器人主要由4部分组成:水上控制台、电源、脐带缆及绞车、机器人本体。

### 3.2

#### 检测单元 detection unit

根据水利工程的结构或设备特点及检测工作需要,采取相应检测技术、方法划分的可独立评价其质量的基本单位。

## 4 检测平台及检测设备

### 4.1 一般规定

检测平台和设备一般规定如下:

- 根据检测任务和水下检测要求选择相应型号的搭载平台和检测设备。
- 水下机器人搭载平台应具备水上控制、电力及信号传输、水下作业和可选择性配件搭载等功能。

- 操纵控制平台是整个系统的计算、控制、分析和决策中枢，应满足监视、操控、提供动力、操作控制等功能，并集成相应操控和检测设备软件，满足检测平台的输入和成果输出功能。
- 搭载平台组成部分的具体操作可参照其相关说明书进行。

## 4.2 水上控制单元

水上控制单元应满足以下要求：

- 水上控制单元应包含控制台（可含无线遥控手柄）和水下机器人供电单元等；
- 主控制器应具有在监视器上同步显示日期、时间、洞径、在隧洞内行进距离等信息的功能，并应可以进行数据处理；
- 控制台和外置连接盒应满足操作控制水下机器人及设备的条件，控制台应包含一台带有音频和视频 I/O 端数字视频记录器和配有 USB、VGA 和 LAN 端口的计算机系统；
- 主电源开关负责为除了水下机器人主体外的其他所有部件供电。水下机器人电源开关控制水下机器人的供电，由控制软件控制照明灯的开关；
- 控制手柄传达水下机器人的运动姿态和工作水深等命令，水下机器人获取的光学和声学信息通过复合缆传输至显示屏实时监控并存储。在控制台上，水下机器人的位置信息、姿态信息、推进器的工作信息及相关声呐和摄像机视频信息等会实时显示；
- 控制台应能够进行信息存贮、详细观察等操作。

## 4.3 脐带缆

电力及数字信号传输应采用脐带缆，脐带缆应满足以下要求：

- 脐带缆应采用水下专用零浮力复合缆，内含光纤和电力传输用电缆；
- 脐带缆收放装置可采用人工或绞车，并有电滑环连接到供电及显控台，保证在收放缆的时候水下机器人可正常工作；
- 根据穿黄河工程布置，为保证完成检测任务，脐带缆长度不应小于 1 200 m；
- 脐带缆中供电线直径应满足各部分电力设备用电要求；
- 脐带缆计数器的最小计量单位不应大于 0.1 m。

## 4.4 检测平台技术要求

穿黄河工程水下检测平台采用水下有缆机器人，机器人检测平台基本技术要求如下：

- 水下机器人平台应能够精确控制机器人的姿态，更方便于机器人水下精确控制，以获取准确的检测资料；可根据任务要求选择配置含有姿态控制的 3D 水下罗经、有角度姿态传感器、深度指示传感器、内部温度传感器、内部泄露指示传感器、高度辅助传感器等设备来辅助完成整个机器人的工作；
- 水下机器人应具有前进、后退、空档、变速、防侧翻等功能；
- 水下机器人留有加装其他检测设施的通道，可拓展不同检测方式；
- 水下机器人应能在水流速度不超过 1.5 m/s，最大工作水深不小于 100 m 的环境下正常工作；
- 水下机器人外形尺寸应保证能满足在隧洞、检查井等工程的顺利投放与回收；
- 为方便操控和定位，机器人检测平台宜实现后端跟踪和姿态监控功能。

## 4.5 检测设备

### 4.5.1 照明设备

照明设备应满足以下要求：

- 水下机器人照明设备应能调整方向、角度、聚焦并实现强度调节；

——照明设备应能够配合拍照、摄像功能使用。

#### 4.5.2 光学设备

水下机器人使用水下高清摄像头应满足以下要求：

- 实时观测、录像、拍照；
- 镜头云台支持三轴姿态监控；
- 摄像镜头应具有平扫与旋转、仰俯与旋转、变焦功能，摄像镜头高度应可以自由调整；
- 内附高清录像储存功能，文字说明和声呐图形叠加功能。

#### 4.5.3 声学设备

穿黄隧洞检测声学设备可采用管道声呐或成像声呐，应满足下列要求：

- 可水平、垂直测量管道；
- 用于有水的条件下检查各类隧洞、管道等工程的缺陷、破损及淤泥状态等；
- 通过操作操作系统的画面，直观地描述隧洞的状态，并对适合水质浑浊能见度差的管道内部探查；
- 声呐探测最小量程不宜大于 0.25 m；
- 声呐水下工作深度不少于 100 m。

#### 4.5.4 检测设备安装与维护

检测设备的安装与维护应满足以下要求：

- 检测设备安装应结构坚固、密封良好，并能在 0℃~+50℃的水温条件下和潮湿的环境中正常工作；
- 检测设备应按规定进行检定或校准；
- 水下检测的设备除应进行定期运行检查，并认真做好检查记录，记录格式应符合附录 B 的规定，运行检查记录由检验部门归档保存，档案资料整理完成后移交委托单位保存。

#### 4.5.5 检测设备基本技术要求

检测设备的主要技术指标应符合表1的规定。

表1 检测设备主要技术指标

项目	技术指标
图像传感器	≥1/4" CCD, 彩色
摄像系统光照度	≥3 000 lux
清晰度	700 线
灵敏度（最低感光度）	≤3 lux
视角	≥45°
摄像头操控	前端摄像机可圆周旋转 360° 俯仰 200°
脐带缆抗拉强度	≥500 kg
脐带缆测距精度	≤0.1 m
管道声呐探测最小量程	≤0.25 m
管道声呐最大工作水深	≥100 m

## 5 检测内容项目及方法

### 5.1 检测内容及项目

#### 5.1.1 检测对象

检测对象应包括南水北调东线穿黄河工程的所有建筑物的水下结构部分，即：出湖闸、南干渠、埋管进口检修闸、滩地埋管、穿黄河隧洞、出口闸及隧洞出口连接段、穿引黄渠埋涵、穿引黄渠埋涵出口闸及连接明渠等。

#### 5.1.2 检测项目

根据穿黄河工程布置情况，检测项目宜包括以下内容：

- 渠道水下淤积、冲刷、岸坡情况检测；
- 闸前连接段水下淤积物厚度、水下异物探测等；
- 水下结构体表观质量、裂缝、连接缝止水、基础异常沉陷等；
- 水闸闸门门体结构和闸门锈蚀、止水等情况等；
- 倒虹吸淤积、各箱涵体止水和不均匀沉降等；
- 穿黄河隧洞淤积情况、洞壁表观质量、裂缝、连接缝止水，有无异常沉陷、内部隐患排查等。

#### 5.1.3 检测单元

检测单元应根据工程特点和运行工况按下列要求划分：

- 对于渠道水下护坡结构，可沿长度或轴线方向每 10 m 或按面积不超过 50 m<sup>2</sup> 划分为 1 个检测单元；
- 对于水闸等结构体建筑物，按结构体功能分类，上游连接段、闸室段和下游连接段等均可独立划分为检测单元；
- 闸室段的闸墩、导墙、底板等检测单元不宜大于 100 m<sup>2</sup>；
- 隧洞工程按长度划分检测单元，不宜大于 100 m。

### 5.2 检测方法

根据工程布置及运行管理特点，水下工程检测方法应满足以下要求：

- 混凝土结构表观质量，包括裂缝、止水、缺陷、变形、完整性、搭接和固定方式、涵管的连接部位的止水、连接装置及连接；闸门面板裂缝、砂眼、变形等应采用摄录方法检测；水下摄录法应执行 SL 713 的规定；
- 建筑物连接缝情况、基础异常沉陷、结构体断裂、水下淤积情况、有无垃圾等异物等应采用摄像或声呐进行检测；
- 侧壁漏水或渗漏宜采用渗漏声呐进行检测；渗漏声呐检测应执行 T/CDSA—305.23 的规定；
- 其他检测：可根据具体要求进行相关检测。

### 5.3 水下检测作业技术要求

水下检测作业技术要求主要包括以下方面：

- 水下机器人行进方向宜与水流方向一致，并应与隧洞中轴线一致，偏离度不应大于洞径的 10%；当无法满足顺水流行进时，宜在静水中进行检测；
- 为保证声呐数据采集的连续性，水下机器人行进速度不宜大于 0.1 m/s；
- 声呐检测前应从被检隧洞中取水样通过实测声波速度对系统进行校准；

- 将载有摄像镜头或声呐的水下机器人安放在检测起始位置后，在开始检测前，应将计数器归零。当检测起点与洞段起点位置不一致时，应做补偿设置。为消除扫描盲区，在洞段起始和终止检查处应进行 2 m~3 m 的重复检测；
- 检测过程并应调整电缆，使其始终处于自然绷紧状态。每一洞段检测完成后，应根据电缆上的标记长度对计数器显示数值进行修正；
- 机器人行进过程中，图像应保持正向水平，中途不应改变摄像头的拍摄角度和焦距。当使用变焦功能时，设备应保持在静止状态。当需要继续行进时，应先将镜头的焦距恢复到最短焦距位置；
- 侧向检测或扫描时，机器人宜停止行进，变动拍摄角度和焦距以获得最佳图像。隧洞检测过程中，录像资料不应产生画面暂停、间断记录、画面剪接的现象；
- 在检测过程中发现缺陷时，应将机器人在合适的位置至少停止 10 s 或一个声呐扫描周期，确保所拍摄的图像清晰完整；
- 对各种缺陷、特殊结构和检测状况应作详细判读和量测，并填写现场记录表。对缺陷位置描述宜采用两个参数，即纵向位置与横断位置。纵向位置一般用里程或桩号，横断位置宜采用时钟表示法<sup>注</sup>，即用时钟的指针位置直观描述缺陷出现在隧洞内的环向位置。

注：时钟表示法指采用时钟的指针位置描述缺陷出现在管道内环向位置的表示方法。

## 6 检测与评估

### 6.1 水下检测作业程序

#### 6.1.1 一般性规定

水下检测作业应满足以下要求：

- a) 检测单位应根据业主委托，在详细了解并分析穿黄河工程的基本资料、设计资料、工程运行与调查、地质勘测资料，监测数据、仪器及工程运行状态等基础上，结合穿黄河工程的管理和运行特点及现场条件，编制该项目的水下检测方案。检测单位制定出检测方案后，应提交委托单位备案；
- b) 水下检测实施前应进行水下检测方案的技术交底，以保证操作人员对检测目的、方法、时间、项目及内容等有详细的了解，并进行沟通协调。检测期间，各方应配合检测单位实施水下检测，同时检测单位应合理安排检测时间，尽量减小对工程输水运行的影响；
- c) 建立检测台账。历次检测报告应整理归档，供后续检测参考；
- d) 检测前应对设备进行密封检查、电力线路等安全隐患排查，确保检测过程操作人员安全；
- e) 在遇有以下情况时，应进行水下检测：
  - 1) 隧洞预埋监测仪器(见附录 C)显示水下建筑物运行状态异常时，如位移异常或应力异常等；
  - 2) 进出口流量差监测出现异常时；
  - 3) 运行时间超过例行水下检测周期时。

在工程运行管理中，对工程进行监测应执行 SL 764 和 SL 768 的规定，记录预埋的各种监测仪器位移、渗压计等监测数据，对进出口流量进行定期监测，记录监测数据，进行数据分析并绘制相应曲线。

- f) 穿黄隧洞等建筑物的水下检测应定期进行，周期为每 5 年至少 1 次。

#### 6.1.2 基本检测程序

水下检测作业基本程序应包括：

- a) 接受任务委托，签订合同；



- b) 资料搜集、现场踏勘并编制检测方案；
- c) 检测前准备；
- d) 现场检测作业；
- e) 资料整理，缺陷判读及工程评估；
- f) 编写检测报告。

### 6.1.3 资料搜集

检测前应搜集下列资料：

- 水下工程的图纸等技术资料；
- 水下作业区域内的工程地质和水文地质资料；
- 工程监测资料、运行中出现的主要问题等；
- 水下工程检测的历史资料；
- 评估所需的其他资料。

### 6.1.4 现场踏勘

现场踏勘应包括下列内容：

- 察看水下作业区域及入水区域的地物、地貌、交通状况等周边环境条件；
- 检查入水点位置、水深、流速；
- 检查评估水下淤积、水下作业区深度、作业面情况等。

### 6.1.5 检测方案

检测方案应包含下列内容：

- a) 检测任务、目的、范围和工期；
- b) 水下待检区域基本情况（包括现场交通条件、水下待检区基本情况及对历史资料分析）；
- c) 选用水下检测机器人的型号及搭载的具体设备；
- d) 作业质量、健康、安全、交通组织、环保等保证体系与具体措施；
- e) 出入水及实施过程的控制措施及应急方案；
- f) 可能存在的问题和对策；
- g) 工程量估算及工作进度计划；
- h) 人员组织、设备、材料计划；
- i) 拟提交的成果资料。

### 6.1.6 检测记录与数据整理

检测数据技术要求如下：

- 检测影像记录应连续、完整，实施检测过程并初步判读；录像画面上方应标有“项目名称、编号、检测时间”等内容，并宜采用中文显示；
- 对发现的缺陷或疑似缺陷应进行二次检测，判断缺陷性质，详细描述并评估；缺陷位置的纵向始点应为机器人入水点，缺陷纵向定位误差应小于 0.5 m。检测系统设置的长度计量单位应为米，缆线长度计量精度不宜大于 0.1 m；
- 现场检测完毕后，应由相关人员对检测资料进行复核并签名确认；
- 检测数据与成果资料的整理归档应执行 SL 734 的规定，建立检测台账，资料整理应包括但不限于：任务书、搜集的已有成果资料、现场踏勘记录、检测现场记录表、检查井检查记录表、工作地点示意图、现场照片、检测与评估报告、影像资料等。

### 6.1.7 检测报告编写

检测工作结束后应编写检测与评估报告，检测与评估报告的基本内容应符合下列规定：

- a) 描述任务及工程概况，包括任务来源、检测与评估的目的和要求、被检工程的平面位置图、地质条件、检测时的天气和环境、检测日期、主要参与人员的基本情况、实际完成的工作量等；
- b) 记录现场踏勘成果；
- c) 说明现场作业和检测评估的标准依据、采用的仪器和技术方法，以及其他应说明的问题及处理措施；
- d) 对采集的声像资料进行逐一解读，异常情况分析出原因及解决对策；
- e) 提出检测与评估的结论与建议。

## 6.2 检测成果与分析

### 6.2.1 一般规定

检测评估应满足以下要求：

- 穿黄河工程的评估应依据检测资料进行；
- 对检测发现的缺陷按表 1、表 2 进行分类，按严重程度进行评估；
- 隧洞、滩地埋管或穿引黄渠埋涵等工程评估应以洞段为最小评估单位，并应进行总体评估。

### 6.2.2 检测成果判读

检测成果判读应满足以下要求：

- 隧洞沉积状况纵断面图中应包括：洞段名、检查井编号、洞径、长度、流向、图像截取点纵距及对应的淤积深度、淤积百分比等文字说明。纵断面线应包括：洞底线、洞顶线、淤积高度线和洞径的 1/5 高度线（虚线）。缺陷的类型、等级应在现场初步判读并记录。现场检测完毕后，应由复核人员对检测资料进行复核；
- 声呐检测截取的轮廓图应标明管道轮廓线、管径、管道积泥深度线等信息。规定采样间隔和图形变异处的轮廓图应现场捕捉并进行数据保存。经校准后的检测断面线状测量误差应小于 3%。声呐轮廓图不应作为结构性缺陷的最终评判依据，应采用摄像检测方式予以核实或以其他方式检测评估；
- 缺陷尺寸的判定可依据水下机器人自带的刻度标尺；
- 无法确定的缺陷类型或等级应在评估报告中加以说明；
- 缺陷图片宜采用现场抓取最佳角度和最清晰图片的方式，特殊情况下也可采用观看录像截图的方式；
- 对直向摄影和侧向摄影，每一处结构性缺陷抓取的图片数量不应少于 1 张。

### 6.2.3 缺陷类型与等级

缺陷类型分为结构性缺陷和功能性缺陷两类，缺陷等级应按表 2 规定分类。

表 2 缺陷等级分类表

缺陷性质	等级		
	1	2	3
结构性缺陷程度	轻微缺陷	中等缺陷	严重缺陷
功能性缺陷程度	轻微缺陷	中等缺陷	严重缺陷

结构性缺陷的名称、等级划分应符合表3的规定。

表3 结构性缺陷名称、等级划分

缺陷名称	定义	等级	缺陷描述
破损	隧洞或埋管的洞身因外部压力超过自身的承受力、温度或其他原因致使隧洞或涵管混凝土发生裂缝、破损或破裂。其形式有纵向、环向和复合3种	1	裂痕—当下列一个或多个情况存在时： 在洞壁上可见细裂痕；在洞壁上由细裂缝处冒出少量沉积物；轻度剥落。
		2	裂口—破裂处已形成明显间隙，但洞身的形状未受影响且破裂无脱落。或洞壁破裂或脱落处所剩碎片的环向覆盖范围不大于弧长60°。
		3	坍塌—当下列一个或多个情况存在时：洞身材料裂痕、裂口或破碎处边缘环向覆盖范围大于弧长60°；管壁材料发生脱落的环向范围大于弧长60°。
变形	隧洞或埋管洞身受外力挤压造成形状变异	1	变形不大于管道直径的1%。
		2	变形为管道直径的1%~5%。
		3	变形大于管道直径的5%。
腐蚀	隧洞或埋管洞壁受侵蚀而流失或剥落，出现麻面或露出钢筋	1	轻度腐蚀—表面轻微剥落，管壁出现凹凸面。
		2	中度腐蚀—表面剥落显露粗骨料或钢筋。
		3	重度腐蚀—粗骨料或钢筋完全显露。
错位	隧洞或埋管同一接口的两个洞口产生横向偏差或错位	1	轻度错口—相接的两个管口偏差不大于管壁厚度的1/10。
		2	中度错口—相接的两个管口偏差为管壁厚度的1/10~1/5之间。
		3	严重错口—相接的两个管口偏差为管壁厚度的1/5以上。
渗漏	埋管洞外水流入洞内	1	线漏—水持续从缺陷点流出，并脱离管壁流动。
		2	涌漏—水从缺陷点涌出，涌漏水面的面积不大于管道断面的1/3。
		3	喷漏—水从缺陷点大量涌出或喷出，涌漏水面的面积大于管道断面的1/3。

功能性缺陷名称、等级划分应符合表4的规定。

表4 功能性缺陷名称、等级划分

缺陷名称	定义	缺陷等级	缺陷描述	备注
沉积	杂质在洞身底部沉淀淤积	1	沉积物厚度小于管径的10%。	
		2	沉积物厚度在管径的10%~20%之间。	
		3	沉积物厚度大于管径的20%。	
结垢	洞身内壁上的附着物	1	硬质结垢造成的过水断面损失不大于5%；软质结垢造成的过水断面损失在10%~15%之间。	
		2	硬质结垢造成的过水断面损失在5%~10%之间；软质结垢造成的过水断面损失在15%~25%之间。	
		3	硬质结垢造成的过水断面损失大于10%；软质结垢造成的过水断面损失大于25%。	
障碍物	洞内影响过流的阻挡物	1	过水断面损失不大于10%。	
		2	过水断面损失在10%~20%之间。	
		3	过水断面损失大于20%。	

表 4 功能性缺陷名称、等级划分（续）

缺陷名称	定义	缺陷等级	缺陷描述	备注
浮渣	洞内水面上的漂浮物	1	零星的漂浮物，漂浮物占水面面积不大于20%	
		2	较多的漂浮物，漂浮物占水面面积为20%~40%	
		3	大量的漂浮物，漂浮物占水面面积大于40%	

#### 6.2.4 检测成果与结论

通过资料整理和数据分析、对水下工程运行情况做出判断，形成检测成果与结论，应符合下列要求：

- 检测结果应包含整个检测区域，不应有遗漏；
- 离散的图像宜按相邻条或块拼接成整张图像；
- 拼接后的图像应附有刻度标记；
- 是否发现明显的工程隐患问题，水下工程有无结构性、功能性的缺陷；
- 对各检测指标、检测单元作出评价。无结构和功能性缺陷，结构体可正常运行，可评价等级为合格；存在轻微结构或功能性缺陷，经评估或经采取措施后对结构体影响较小，不影响运行，可评价未合格；存在较严重结构或功能性缺陷，经评估或经采取措施后对结构体影响较大，影响安全运行，应评价为不合格；
- 对工程运行状况进行总体评价，并分析对运行产生的影响；
- 应根据检测成果分析，提出检测评估结论与相应建议：
  - 对穿黄河隧洞和滩地埋管工程运行状况进行总体评价；
  - 是否发现明显的工程隐患问题，整个穿黄隧洞及滩地埋管有无结构性、功能性的缺陷；
  - 判明隧洞和滩地埋管沉积物构成以及淤积物厚度，并分析能否对输水运行产生影响等。

## 附录 A

(资料性)

## 南水北调东线穿黄河工程

## A.1 南水北调东线穿黄河工程概况

A.1.1 南水北调东线穿黄河工程包括出湖闸、南干渠、埋管进口检修闸、滩地埋管、穿黄河隧洞、出口闸及隧洞出口连接段、穿引黄渠埋涵、穿引黄渠埋涵出口闸及连接明渠等几部分组成，其中南干渠和连接明渠为明渠，属开敞式水域；出湖闸、滩地埋管、隧洞出口连接段为有压涵洞；穿黄隧洞为有压隧洞，穿引黄渠埋涵为有压涵洞。东线穿黄河工程的主要建筑物如下。

- a) 出湖闸：为穿堤建筑物，是3孔一联的钢筋混凝土无压箱涵，总长130.5 m。出湖闸进、出口底高程分别为34.54 m、34.48 m。
- b) 南干渠：长2404.5 m，纵坡1/15 000。渠道采用梯形断面，底宽14 m，边坡1:2，一般挖深6 m左右，渠首高程34.48 m，渠末高程34.32 m。
- c) 由斜坡段、直段、拦污栅段及闸室段组成，全长86.518 m。该检修闸与南干渠衔接高程为34.13 m，闸底板高程为28.88 m。
- d) 滩地埋管：全长3943 m，纵坡1/2 500。埋管采用内圆外城门洞型现浇钢筋混凝土结构，内径7.5 m。滩地埋管进口高程28.88 m，末端高程27.30 m。
- e) 穿黄隧洞：详见A.2。
- f) 出口闸及隧洞出口连接段：长140 m，其中闸室段长15 m，闸门为2孔，每孔宽5.0 m、高4.0 m，出口闸底高程29.00 m。
- g) 穿引黄渠埋涵：紧接闸后，长390 m，纵坡1/2 000，为有压钢筋混凝土箱涵，2孔一联，每孔宽5.0 m、高5.0 m。
- h) 穿引黄渠埋涵出口闸：穿引黄渠埋涵出口闸工程包括穿引黄渠埋涵改建段、闸室段、出口消力池以及上部生产用房和院落等，全长99.87 m。闸室段长12 m，底板顶高程28.79 m，为两孔有压涵闸，单孔（宽×高）4.5 m×4.5 m。埋涵出口设平板钢闸门，采用固定卷扬启闭机启闭。
- i) 连接明渠：埋涵出口以50 m的渐变段与连接明渠相接；连接明渠再接北岸输水干渠，长140 m，纵坡1/14 000。衔接水位35.61 m，渠首底高程30.93 m，渠末底高程30.92 m，该段采用梯形断面，底宽16 m，边坡1:3。

## A.2 穿黄河隧洞基本情况

A.2.1 穿黄河隧洞包括南岸竖井、过河平洞、北岸斜井及进、出口埋管，总长585.38 m。隧洞衬砌采用钢筋混凝土结构，为圆形断面，内径7.50 m。除进出口地面段在岩石内明挖，现浇钢筋混凝土埋管外，其它均在寒武系灰岩中开挖隧洞，其中II~III类围岩主要位于平洞段、竖井下部及斜井下段，累计长433.328 m；IV类围岩主要位于竖井、斜井中上段及小断层带，累计长121.01 m；V类围岩主要位于斜井洞口段及f3、f4、f12、f6断层处，累计长131.04 m。

A.2.2 南岸竖井段包括竖井及下弯段，长50.83 m，其上通过进口埋管与滩地埋管末端相连，其下经下弯段与过河平洞相连，转弯半径均为20 m。过河平洞段长307.17 m，采用3/1 000的纵坡，平洞南端洞底高程-32.17 m，北端洞底高程-33.09 m，过河平洞在寒武系张夏组厚层、中厚层灰岩中穿过，石质坚硬，成洞条件好。北岸斜井段包括斜井及下弯段，长166.03 m，其上通过出口埋管与隧洞出口连接段相连，其下经下弯段与过河平洞相连，转弯半径均为30 m，斜井坡度20°。

### A.3 工程等别、建筑物级别及设计标准

A.3.1 穿黄河工程是东线调水的关键性控制项目，其工程等别为I等，主要建筑物级别为1级，次要建筑物级别为3级。

A.3.2 穿黄河工程设计地震烈度为Ⅶ度。

A.3.3 黄河洪水主要发生在汛期7月~10月，汛期5年一遇、10年一遇、20年一遇洪水位均高于滩地现状挡水堤埝顶高程；非汛期200年一遇洪水位低于滩地现状挡水堤埝顶高程。考虑到黄河位山段大堤设防标准洪水为 $11\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ ，再计及黄河淤积，到2050年的相应洪水位为50.40 m的情况，确定穿黄隧洞及滩地埋管工程均按此洪水标准设计。

A.3.4 穿黄河隧洞结构设计。

- a) 设计输水流量： $Q=50\ \text{m}^3/\text{s}$ ；隧洞规模按 $100\ \text{m}^3/\text{s}$ 流量进行建设。
- b) 设计内水压力：按隧洞埋管进口前水位38.12 m进行计算。
- c) 设计外水压力：按黄河过流量 $11\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 相应2050年的洪水位50.40 m进行计算；外水折减系数 $e$ 根据地下水对围岩稳定的影响及隧洞的运行工况进行选取。
- d) 设计准则：隧洞按限裂设计，允许裂缝宽度 $\delta f=0.2\ \text{mm}$ 。
  - 1) 隧洞内径： $D=7.50\ \text{m}$ ；地震烈度：基本烈度为Ⅶ度，按7度设防；混凝土强度等级：C25。
  - 2) 衬砌厚度：由于穿黄隧洞围岩稳定性好，承载能力强，且隧洞内径大于6 m，隧洞衬砌根据构造要求，按限裂设计。衬砌厚度根据围岩稳定条件、渗流条件等并参考其它类似工程，确定Ⅱ~Ⅲ类围岩衬砌厚度 $h=0.60\ \text{m}$ ，Ⅳ类围岩衬砌厚度 $h=0.70\ \text{m}$ ，Ⅴ类围岩衬砌厚度 $h=0.80\ \text{m}$ 。

附 录 B  
(规范性)  
运行检查记录表

运行检查记录表见表B.1。

表B.1 运行检查记录表

编号：

日期：

作业前检查

水下机器人外观			
吊装		所有电缆和软管	
脐带受力情况		补偿器正常	
配重		电子仓	
所有设备无松动		液压系统	
所有电缆连接或插接头良好		电源电压	
所有未使用的接口有接头		电源频率	

启动检查

线路接地/绝缘监视		声呐控制	
图形画面		监视器	
微调旋钮		机械手控制开关	

水下机器人功能检查

水下机器人电器接通电源并检查绝缘		推进器补偿器读数	
液压动力源装置温度		罗盘读数	
电子舱真空		深度读数	
摄像头聚焦变焦		声呐功能	
灯泡及调光		沉没功能	
电机补偿器读数		通信信号	
云台转动检查		螺旋桨	
拆除固定绑带		下水前去掉摄像头封盖	

记录人员：

附 录 C  
(资料性)  
穿黄河隧洞监测仪器埋设记录

穿黄河隧洞监测仪器埋设考证统计表见表C.1。

表 C.1 穿黄河隧洞监测仪器埋设考证统计表

监测项目		埋设位置	备注
围岩	围岩变形	竖井段两套位移计，f12、f3 断层破碎带处监测断面均布置 3 套位移计	
	围岩压力	隧洞斜井段监测断面各设 3 支压力计，分别布置在洞顶及两侧位置，共计 6 支	
	收敛监测	每个监测收敛监测断面设 5 个测点，分别布置在洞顶、洞两侧及底部 45° 位置。	
接缝开合度	围岩与衬砌接缝开合度	隧洞进口竖井段监测断面设 2 支测缝计，对称布置在两侧。其余监测断面各设 2 支测缝计，分别布置在隧洞洞顶及一侧位置，共计 8 支。	
	隧洞结构伸缩缝开合度	在位与 f12 断层附近的监测断面所在一节隧洞两端连接缝处各设 2 支测缝计，分别布置在隧洞两侧壁位置。共计 4 支。	
外水压力监测		竖井段监测断面布置 2 支孔渗压计，安装在两侧位置；其余监测断面各布置 3 支渗压计，分别安装在隧洞顶部、底部及一侧位置。共计 11 支渗压计	
混凝土	应力	在竖井段监测断面两侧共布置 4 环向钢筋计，其余监测断面共布置 8 支环向钢筋计，分别布置在隧洞顶部、底部及两侧位置钢筋应力。共计 28 支钢筋计。	
	应变	在竖井段监测断面两侧共布置 2 支环向应变计，其余监测断面共布置 4 支环向应变计，分别布置在隧洞顶部、底部及两侧位置。共计 14 支应变计。 除竖井监测断面在侧壁设 1 支无应力计外，其它监测断面在隧洞底拱 45° 位置设 1 支无应力计，共计 4 支。	
锚杆应力		隧洞斜井段监测断面各设 3 支锚杆应力计，分别布置在洞顶及两侧位置，竖井进口段监测断面设 2 支锚杆应力计，对称布置洞两侧。共计 8 支。	