



雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水 北调中线天津干线保定市 1 段工程 专题设计报告

230348GC-05G

试用水印

北京市煤气热力工程设计院有限公司

工程咨询资格：市政公用工程（燃气热力）甲级

工程咨询资格证书编号：工咨甲 10120070016

工程设计证书编号：市政公用甲级 A111001667

2024 年 12 月



目 录

目 录..... I

1 概述..... 5

 1.1 工程概况..... 5

 1.2 项目建设背景及必要性..... 8

 1.3 天津干线概况..... 10

2 穿越的必要性论证..... 11

 2.1 穿越必要性..... 11

 2.2 关于项目管线位置的相关批复文件..... 12

3 设计依据..... 14

4 遵循主要法规、标准及规范..... 16

 4.1 遵循的法规..... 16

 4.2 遵循的标准规范..... 16

5 穿越位置选择与确定..... 18

 5.1 穿越位置选择原则..... 18

 5.2 穿越位置选择..... 18

6 自然地理、地质条件..... 20

 6.1 自然地理条件..... 20

 6.2 地质构造与地震..... 21

 6.3 工程地质条件..... 22

7 穿越方案选择..... 26

 7.1 穿越特点..... 26

 7.2 穿越方案..... 26

8 穿越方案设计..... 27

 8.1 设计基本参数..... 27

 8.2 穿越形式选择..... 27



8.3 工程等级	27
8.4 穿越土层及管道埋设深度确定	27
8.5 穿越出入点、曲线设计	28
8.6 穿越管段计算	29
8.7 定向钻穿越引起的沉降分析	44
8.8 线路截断阀设置	45
8.9 管道防腐及阴极保护	48
8.10 管道标识	56
8.11 数字化管道	57
8.12 设计使用年限及安全措施	58
8.13 施工注意事项	60
9 定向钻穿越风险及技术措施	61
9.1 地质结构风险分析及技术措施	61
9.2 在管道回拖的过程中的风险和技术措施	62
9.3 大洞径泥浆回流问题	62
9.4 施工承包商、设备及材料	63
9.5 环境保护措施	63
10 通信光缆	65
10.1 通信光缆穿越必要性	65
10.2 穿越方案选择	65
10.3 附属设施	67
10.4 穿越管段计算	67
10.5 光缆定向钻穿越施工技术要求	67
10.6 定向钻同孔回拖的技术保障措施	70
10.7 施工注意事项	71
11 施工组织设计	73
11.1 施工条件	73
11.2 施工程序	73



11.3 施工准备.....	73
11.4 穿越场地布置与平整.....	74
11.5 导向控制及措施.....	76
11.6 钻机组装与调试.....	78
11.7 泥浆配制、压力控制与回收.....	78
11.8 钻孔施工.....	83
11.9 预扩孔和回拖.....	84
11.10 孔隙处理及泥浆置换.....	85
11.11 截渗环设置.....	87
11.12 管道安装要求.....	89
11.13 回拖后管道测量.....	94
11.14 定向钻穿越施工技术要求.....	94
11.15 地貌恢复.....	96
11.16 施工应急预案.....	97
12 安全监测设计.....	98
12.1 第三方监测的定义.....	98
12.2 第三方监测的目的.....	98
12.3 第三方监测的必要性.....	99
12.4 第三方监测范围.....	99
12.5 第三方监测内容.....	100
13 施工监管.....	107
13.1 施工监管依据.....	107
13.2 主要施工监管内容.....	107
14 天津干线箱涵检修对天然气管道的影响分析.....	111
14.1 检修的目的.....	111
14.2 管道与天津干线暗渠箱体的位置关系.....	111
14.3 天津干线开挖检修对燃气管线的影响分析.....	111
14.4 天津干线暗渠箱涵放空检修对管道的影响.....	112

14.5 结论	112
15 管道报废处理	113
16 环境保护及水土保持	114
16.1 环境保护	114
16.2 水土保持	115
17 劳动保护和安全卫生	117
17.1 概述	117
17.2 设计措施	117
17.3 定向钻施工主要安全措施	117
17.4 HSE 管理	118
18 运行期对南水北调影响因素及保护、应急措施	119
18.1 影响因素	119
18.2 保护、应急措施	119
18.3 地表监测方案	121
18.4 应急预案	121
19 工程投资与工期	125
20 存在问题及建议	126
21 落实采纳审查意见情况	127
22 附表	129
23 附件	134
24 附图	136



1 概述

1.1 工程概况

雄安新区燃气高压环网一期工程起自定兴分输站，途径 2#门站，沿线途经保定市定兴县、徐水区、雄县，止于南张调压站。其中定兴分输站至 2#门站为输气管道，长度约 884m，管道管径为 D508mm，设计压力 4.0MPa，设计输气规模 $2.75 \times 10^8 \text{Nm}^3/\text{a}$ 。2#门站至南张调压站为城镇燃气高压（A）管道，线路长度约 11.8km，管道管径为 D508mm，设计压力 4.0MPa，设计输气规模为 $2.75 \times 10^8 \text{Nm}^3/\text{a}$ 。全线共设置 1 座门站（2#门站）、1 座调压站（南张调压站）、3 座干管阀井及 1 座支管阀井。

沿线河流穿越 9 次，穿越南水北调 1 次，穿越现状等级公路 3 次，穿越铁路 2 次。工程宏观走向及平面布置见下图。

试用水印



图1.1 工程宏观走向及平面布置示意图

本设计报告为南水北调中线天津干线保定市 1 段穿越，穿越处位于河北省徐水区南湖渠村东南，穿越处输配管道与南水北调中线天津干线保定市 1 段夹角为 90° 。根据《城镇燃气设计规范》GB50028-2006（2020 年版）第 6.4.8 条规定，本项目全部管线所在地区等级为三级地区，地区等级为三级地区时，强度设计系数为 0.4。考虑南水北调中线的重要性，并按照《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》（Q/NSBDZX 112.03-2021）第 3.0.3 条的要求，本穿越段按照四级地区进行设计，强度设计系数取 0.3。管道穿越采用定向钻方式穿越。穿越起点里程为 0km+0.00m，终点里程为 0km+656.000m，定向钻穿越段管线水平长度为 656.000m。

定向钻穿越段真管采用 D508mm×14.2mm L360M 直缝埋弧焊钢管，热煨弯管采用 D508mm×14.2mm L360N 直缝埋弧焊钢管。

本工程沿线一般段同沟敷设一根光缆，通信光缆穿越南水北调采用通信光缆钢管套管与主管道同孔回拖的定向钻穿越方式，光缆保护管采用 D114mm×6mm 20 无缝钢管。

输配管道定向钻入土角 10° ，入土点坐标 $X=4327034.727$, $Y=116479086.365$ （北京 54 坐标系）；出土角 8° ，出土点坐标 $X=4327655.080$, $Y=116478873.061$ （北京 54 坐标系）。定向钻穿越段管道外防腐采用常温型三层 PE 加强级+环氧玻璃钢防护的做法。

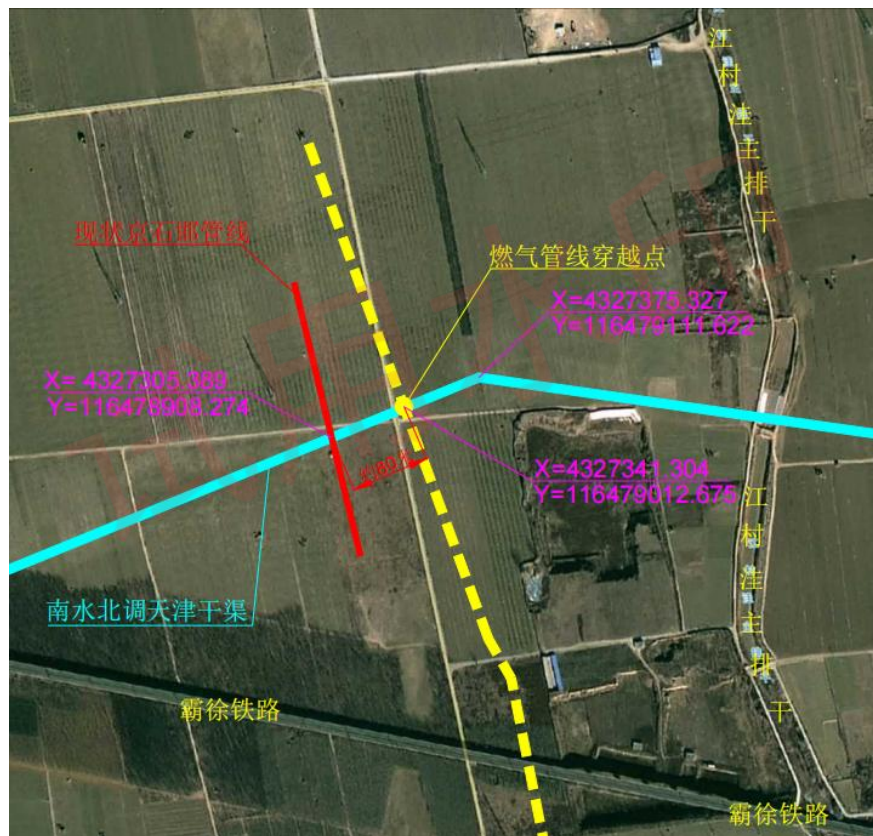


图1.2 南水北调中线天津干线保定市1段穿越段示意图

1.2 项目建设背景及必要性

1.2.1 项目建设背景

2017 年 4 月 1 日，中共中央、国务院印发通知，决定设立河北雄安新区。雄安新区规划范围涉及中国河北省雄县、容城、安新 3 县及周边部分区域，地处北京、天津、保定腹地，起步区面积约 100 平方公里，中期发展区面积约 200 平方公里，远期控制区面积约 2000 平方公里。

雄安新区，是深圳特区、浦东新区之后，我国又一具有全国意义的新区。从地缘上看，雄安新区将与北京城市副中心形成“一体两翼”的北京空间优化新格局。十九大报告提出，以疏解北京非首都功能为“牛鼻子”推动京津冀协同发展，高起点规划、高标准建设雄安新区。

2018 年 12 月 25 日，国务院发布《关于河北雄安新区总体规划（2018—2035 年）的批复》，雄安新区正式进入全面实施阶段。天然气作为雄安新区基本能源保障，雄安新区的天然气设施是新区市政基础设施的重要组成部分，需要紧密结合新区的规划建设计划有序发展。随着我国能源生产和消费革命、技术革命和油气体制改革有利推进，清洁高效的天然气能源日益受到重视。天然气已从区域性能源、边际燃料转变为全球能源版图的焦点。天然气不仅可以替代传统煤炭与石油，也可以与传统能源，以及风能和其他可再生能源形成有益互补和耦合。

未来相当长时期内，太阳能、风能等新能源的大规模利用仍受三个因素制约：一是光伏和风力发电存在间歇性和波动性。尽管光伏和风力发电技术已取得长足的进步，但太阳能和风能的利用仍主要“靠天吃饭”，受白天与黑夜、晴天与阴天、风力大小等气候变化影响较大，长期存在供电的不确定和不稳定性问题。二是光伏和风力发电成本仍然较高。三是相关配套技术和政策有待落实。储能系统的技术还没有完全成熟，储能技术大规模商业化应用还有待时日。所以，在储能技术大规模成熟利用前，天然气可以克服可再生能源“不连续、不稳定”的问题，是综合能源系统耦合的基础能源。



根据雄安新区“绿色生态宜居新城区、创新驱动发展引领区、协调发展示范区、开放发展先行区”的功能定位，研究雄安新区天然气输配管网及各片区的燃气工程，对实现雄安新区天然气快速、健康发展意义重大。

本项目是雄安新区输配干线管网系统的一部分，本项目的建设，可为雄安新区从西北方向引入蒙西管道，提升雄安新区的供气保障。

1.2.2 项目建设的必要性

根据雄安新区发展规划，雄安新区规划面积 1770 平方公里，其中建设面积约为 530 平方公里。本项目的建设，具有重要的意义。

(1) 落实新区发展规划的重要举措

2018 年 4 月 14 日，党中央、国务院批复了《河北雄安新区发展规划纲要》，纲要第九章第四节指出，雄安新区要依托国家气源主干通道和气源点，建设新区接入系统，合理布局区内燃气管网，保障新区用气供应。本次新增下载点项目切实落实了党中央、国务院的批复要求。

蒙西线主干管道是雄安新区下载气源的主要通道之一，在雄安新区综合能源专项规划中，雄安新区高压环网北侧气源接入点为蒙西线定兴分输站调压后的规划门站。蒙西线管道产权属于国家管网集团公司，管径 D1016mm，设计压力 10MPa，是国家发改委《2020 年石油天然气基础设施重点工程》之一，气源安全、稳定。因此，中国雄安集团智慧能源有限公司已启动新建高压环网工程与蒙西线连通的项目立项工作。

(2) 提供雄安新区的基本能源保障

根据雄安新区综合能源规划，天然气是雄安新区的基本保障能源。本次新增下载点项目有效保障新区城乡居民、公共服务、集中供热用气需求，为雄安新区社会经济的发展筑牢基础。

雄安新区范围内，缺少自国家管网集团公司干线管网上下载的气源，下游中国雄安集团智慧能源公司连接的气源点错综复杂，管网建设缺少统筹规划，不利于新区政府对燃气运营的安全管理。蒙西线接入新区的管网建成后，有利于智慧能源公司选择质优价廉的气源，有利于新区统一规划燃气管网建设。

(3) 落实安全、绿色、高效的能源发展战略

天然气一种清洁能源，能够有效减少环境污染。本次新增下载点项目，落实了雄安新区安全、绿色、高效的能源发展战略，为雄安新区建设发展夯实基础。

(4) 满足社会经济发展的需要

本项目沿线经过新区规划的科技小镇及人工智能区域，位于雄安新区内，霸徐铁路北侧，本项目需预留为该区域供气的设施。

1.3 天津干线概况

南水北调中线一期工程天津干线工程西起河北省保定市徐水县西黑山村北，起点桩号为 XW0+000；东至天津市外环河西，终点桩号为 XW155+305.074；天津干线全长 155.3km，途经河北省保定市的徐水、容城、雄县、高碑店，廊坊市的固安、霸州、永清、安次和天津市的武清、北辰、西青等 11 个区县。

天津干线共划分 6 个设计单元（工程段落）。即，西黑山进口闸至有压箱涵段、保定市 1 段、保定市 2 段、廊坊市段、天津市 1 段和天津市 2 段。

保定市 1 段是天津干线中的第 2 设计单元。保定市 1 段起点位于保定市徐水县丁家庄村西，终点位于保定市雄县辛许庄村东，总长 45.680km，天津干线桩号 XW15+200~XW60+842，采用 3 孔 4.4m×4.4m 现浇钢筋混凝土箱涵自流有压输水。保定市 1 段位于广阔的河北冲积平原。地面高程由 22.3m 降至 12.0m 左右，平均坡降 0.2‰。保定市 1 段范围内天津干线均为 3 孔 4.4m×4.4m（宽×高）埋地有压箱涵。

根据《水利部关于南水北调中线干线工程管理范围和保护范围划定方案的批复》（水建管函【2016】445 号）规定，本穿越处天津干线箱涵以结构外边线外延 50m 作为保护范围。本工程定向钻入土点位于箱涵南侧，距天津干线距箱涵净距最小，垂直距离为 306.2m，出土点在天津干线北侧，距离南水北调天津干线箱涵外边缘垂直距离为 334.5m。位于箱涵保护范围 50m 以外，满足要求。

根据《南水北调中线一期工程总干渠河北段饮用水水源保护区划定和完善方案（定州市和保定市段）》，“采用全线钢筋混凝土箱涵封闭输水的天津干线不再划分水源保护区”。



2 穿越的必要性论证

2.1 穿越必要性

本项目用于为雄安新区供气，雄安新区（包括容城、起步区等）位于霸徐铁路和荣乌高速南侧。从图 2-1、图 2-2 可以看出，新建输配管道自定兴分输站接气后，自北向南穿越霸徐铁路、荣乌高速后敷设至南张调压站，在南张调压站与雄安新区干线一期工程现状燃气管线相接。

定兴分输站、2#门站位于南水北调天津干线的北侧，南张调压站位于南水北调天津干线的南侧。该区域南水北调输水干线自京雄高速，沿容易线南侧、霸徐铁路北侧、荣乌高速北侧东西走向敷设，长度超过 30km。

从上述下游燃气需求位置、新建场站位置、输配管道走向以及南水北调路由对比可知，本项目新建输配管道无法避免与南水北调中线天津干线保定市1段交叉，有必要穿越南水北调中线天津干线保定市1段。



图2.1 雄安新区燃气高压环网一期工程走向图

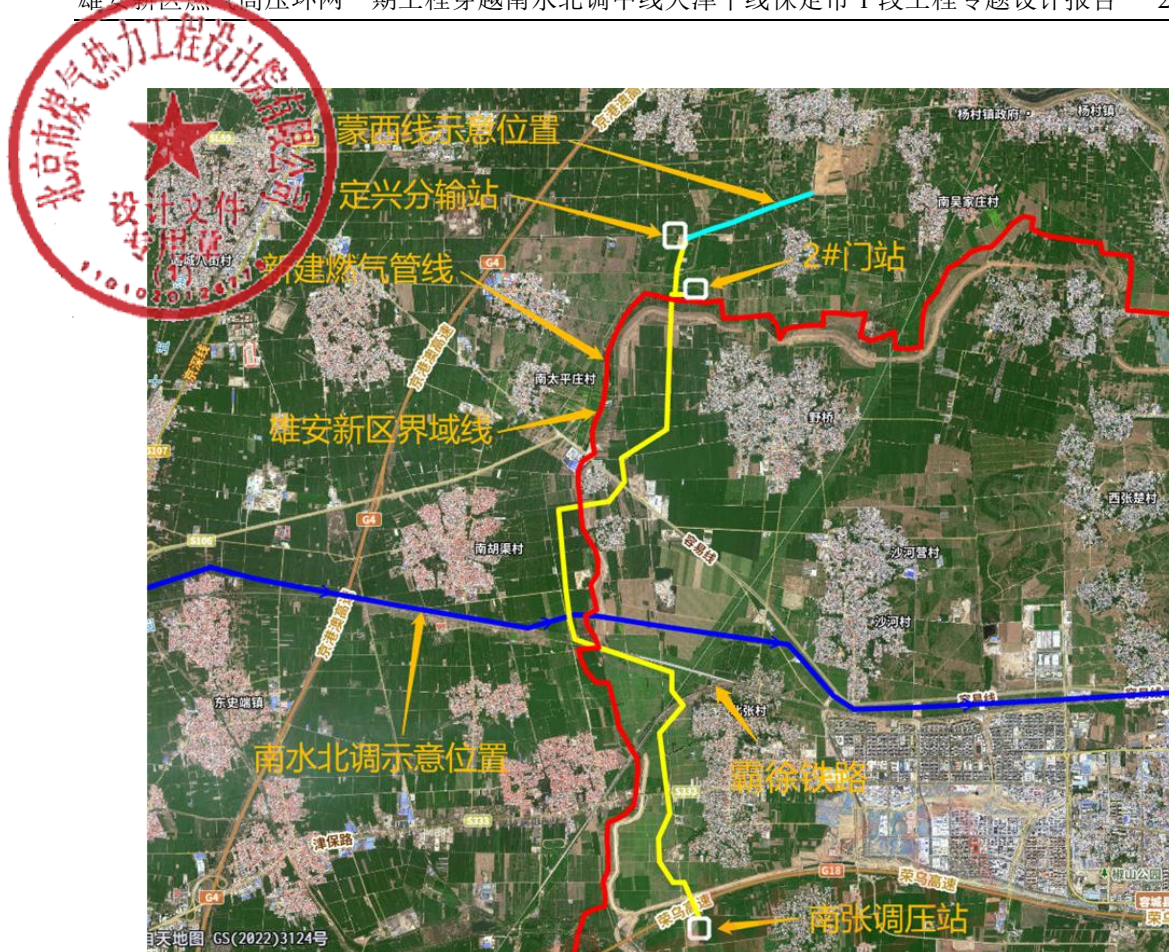


图2.2 雄安新区燃气高压环网一期工程新建燃气管线位置示意图

2.2 关于项目管线位置的相关批复文件

2023 年 10 月 11 日，津保铁路有限责任公司对项目穿越霸徐铁路、霸徐京广高速联上行线和霸徐京广高速联下行线的管线路由进行回复，同意该项目的管线路由。

2023 年 10 月 25 日，保定市自然资源和规划局徐水区分局对项目的建设用地预审和选址进行审查，同意项目的规划选址。

2023 年 11 月 8 日，保定市自然资源和规划局对项目的建设用地预审和选址进行审查，同意项目的规划选址。

2023 年 11 月 13 日，河北雄安新区管理委员会自然资源和规划局对项目的建设用地预审和选址进行审查，同意项目的规划选址。

2024 年 3 月 1 日，取得河北雄安新区建设项目规划条件，雄规条字[2024]20 号。



2023 年 10 月 22 日，《中国南水北调集团中线有限公司天津分公司关于雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段工程路由的复函》，中国南水北调集团中线有限公司天津分公司，南水北调中线津工函[2023]24 号：基本同意雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段工程路由。

2023 年 11 月 17 日，《中国南水北调集团中线有限公司天津分公司关于雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段工程方案设计报告和安全影响评价报告的复函》，中国南水北调集团中线有限公司天津分公司，南水北调中线津工函[2024]27 号：基本同意雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段工程方案设计报告和安全影响评价报告。

试用水印



3 设计依据

- 1) 《河北雄安新区总体规划（2018-2035 年）》
- 2) 《河北雄安新区规划纲要》（2018 年 4 月）
- 3) 《雄安新区燃气专项规划》（在编）
- 4) 《市政公用工程设计文件编制深度规定（2013 年版）》
- 5) 《雄安新区燃气高压环网一期工程可行性研究报告》，北京市煤气热力工程设计院有限公司，2023 年 8 日
- 6) 《河北省发展和改革委员会关于雄安新区高压环网一期工程项目核准的批复》，冀发改能源核字[2024]13 号，河北省发展和改革委员会，
- 7) 《雄安新区燃气高压环网一期工程地形及管线探测成果图》建研地基基础工程有限责任公司
- 8) 《雄安新区燃气高压环网一期工程岩土工程勘察报告》建研地基基础工程有限责任公司，2023 年 7 月
- 9) 《雄安新区燃气高压环网一期工程岩土工程勘察补充资料》建研地基基础工程有限责任公司，2024 年 11 月
- 10) 《关于印发穿跨邻接南水北调中线干线工程项目管理规定、穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定和穿跨邻接南水北调中线干线工程项目安全影响评价导则的通知》，中线局总工办〔2021〕43 号，南水北调中线干线工程建设管理局文件
- 11) 《中国南水北调集团中线有限公司天津分公司关于雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段工程方案设计报告和安全影响评价报告的复函》，中国南水北调集团中线有限公司天津分公司，南水北调中线津工函[2024]27 号，2024 年 11 月 17 日
- 12) 《中国南水北调集团中线有限公司关于对油气管道穿越南水北调中线干线工程管径尺寸补充说明的通知》南水北调中线科技〔2024〕93 号，中国南水北调集团中线有限公司，2024 年 8 月 20 日

13) 《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》

(Q/N33DZX112-03-2021)

14) 中国铁路北京局集团有限公司关于印发《中国铁路北京局集团有限公司涉铁工程管理办法》的通知，京铁科信〔2022〕107 号，中国铁路北京局集团有限公司

15) 《水利部关于南水北调中线干线工程管理范围和保护范围划定方案的批复》
(水建管函【2016】445 号)

16) 《中国雄安集团智慧能源有限公司雄安新区燃气高压环网一期工程(城燃管道)安全生产条件和设施综合分析报告》石家庄常丰环境工程有限公司，2024 年 5 月版

17) 《雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段工程方案设计安全影响评价报告》，天津市水务规划勘测设计有限公司，2024 年 12 月



4 遵循主要法规、标准及规范

4.1 遵循的法规

- 1) 《中华人民共和国安全生产法》，2021 年 6 月 10 日第三次修正
- 2) 《中华人民共和国节约能源法》，2018 年 10 月 26 日修订
- 3) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令[2014]第九号
- 4) 《中华人民共和国水土保持法》，中华人民共和国主席令[2010]第三十九号
- 5) 《中华人民共和国大气污染防治法》，中华人民共和国主席令[2015]第三十一号，2018 年 10 月 26 日修订
- 6) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，中华人民共和国主席令[1995]第五十八号，2020 年 4 月 29 日修订
- 7) 《中华人民共和国土地管理法》，2019 年 8 月 26 日修订
- 8) 《中华人民共和国突发事件应对法》，中华人民共和国主席令[2007]第六十九号，2024 年 6 月 28 日修订
- 9) 《建设工程安全生产管理条例》，中华人民共和国国务院令第 393 号[2003]
- 10) 《城镇燃气管理条例》，中华人民共和国国务院令第 583 号[2010]，2016 年 2 月 6 日修订
- 11) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第 253 号[1998]，2017 年 7 月 16 日修订
- 12) 《基本农田保护条例》，中华人民共和国国务院令第 257 号[1998]，2011 年 1 月 8 日修订
- 13) 《生产安全事故应急条例》，中华人民共和国国务院令第 708 号[2019]

4.2 遵循的标准规范

- 1) 《燃气工程项目规范》GB55009-2021
- 2) 《城镇燃气设计规范》GB50028-2006（2020 年版）



- 3) 《城镇燃气规划规范》GB/T51098-2015
- 4) 《压力管道规范-公用管道》GB/T38942-2020
- 5) 《城镇燃气管道穿跨越工程技术规程》CJJ/T250-2016
- 6) 《油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范》SY/T 6968-2021
- 7) 《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T50470—2017
- 8) 《石油天然气工业管线输送系统用钢管》GB/T 9711-2023
- 9) 《输送流体用无缝钢管》GB/T8163-2018
- 10) 《油气输送用钢制弯管》SY/T5257-2012
- 11) 《钢质管道冷弯管制作及验收规范》SY/T4127-2018
- 12) 《优质钢制对焊管件规范》SY/T 0609-2016
- 13) 《城镇燃气输配工程施工及验收标准》GB/T 51455-2023
- 14) 《承压设备无损检测第 2 部分：射线检测》NB/T47013.2-2015
- 15) 《承压设备无损检测第 2 部分：射线检测》行业标准第 1 号修改单，NB/T47013.2-2015/XG1-2018
- 16) 《承压设备无损检测第 3 部分：超声检测》NB/T47013.3-2023
- 17) 《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》GB/T 23257-2017
- 18) 《城镇燃气埋地钢质管道腐蚀控制技术规程》CJJ95-2013
- 19) 《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448-2017
- 20) 《钢制管道外腐蚀控制规程》GB/T 21447-2018
- 21) 《穿跨邻接南水北调中线干线工程项目管理规定》南水北调中线干线工程建设管理局，Q/NSBDZX 214.01-2021
- 22) 《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》南水北调中线干线工程建设管理局，Q/NSBDZX 112.03-2021
- 23) 《穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》南水北调中线干线工程建设管理局，Q/NSBDZX 112.01-2021



5 穿越位置选择与确定

5.1 穿越位置选择原则

- 1) 应符合线路总体走向，线路局部走向可根据穿越位置进行调整；
- 2) 应符合国家及地方相关法律法规，满足南水北调、规划等相关部门的要求；
- 3) 穿越中线宜选择在南水北调天津干线箱涵节的中间位置；
- 4) 宜避开存在活动地震断裂或大型地层断裂带的河段；
- 5) 选择在有良好、稳定地层的河段；
- 6) 穿越中线与南水北调水平、垂直等间距应符合南水北调相关管理规定的要求；
- 7) 穿越轴线宜与水域正交通过。当需斜交时，交角不宜小于 60° ；
- 8) 穿越位置选择应满足管道穿越工程涉及的相关评价（估）报告的要求；
- 9) 穿越位置附近应有一定的施工场地及便利的交通运输条件。

5.2 穿越位置选择

穿越处位于河北省保定市徐水区南湖渠村东侧，地貌单元上为平原，地形起伏不大。管线穿越处属冲洪积平原区，地表植被以农田、树林为主。结合现场情况及与规划等主管部门结合，穿越处东南侧为现状深坑（深度约 25 米），东侧为雄安新区，西侧为现状京石邯输气管线。根据规划要求，此段燃气管线沿界域敷设，因此只能并行既有水泥路敷设，穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段。

天津干线穿越位置详见下图。



图5.1 南水北调中线天津干线保定市1段穿越段示意图

本工程管道穿越南水北调干渠的里程为 XW32km+603.544m，管道与箱涵成正交布置，交叉角度 90° ，管道布置在箱涵中心位置。输配管道定向钻入土角 10° ，入土点坐标 $X=4327034.727$ ， $Y=116479086.365$ （北京 54 坐标系，1985 高程）；出土角 8° ，出土点坐标 $X=4327655.080$ ， $Y=116478873.061$ （北京 54 坐标系，1985 高程）。入土点在天津干线南侧，距离南水北调中线天津干线保定市 1 段水平净距 306.2m，出土点在天津干线北侧，距离南水北调中线天津干线保定市 1 段水平净距 334.5m。



6 自然地理、地质条件

6.1.1 地理位置与交通

南水北调中线天津干线保定市 1 段穿越位于河北省徐水区南湖渠村东南，天然气管道穿越桩号 T1-T6，南水北调桩号为 XW32km+603.544m。交叉角度为 90° ；穿越处依托的主要干线道路主要为乡村公路，穿越点北侧 3km 为容易线，穿越点南侧 2.8km 为津保路。两岸有乡村水泥路可到达穿越点附近，交通条件良好。场地位置交通图详见图 6.1。

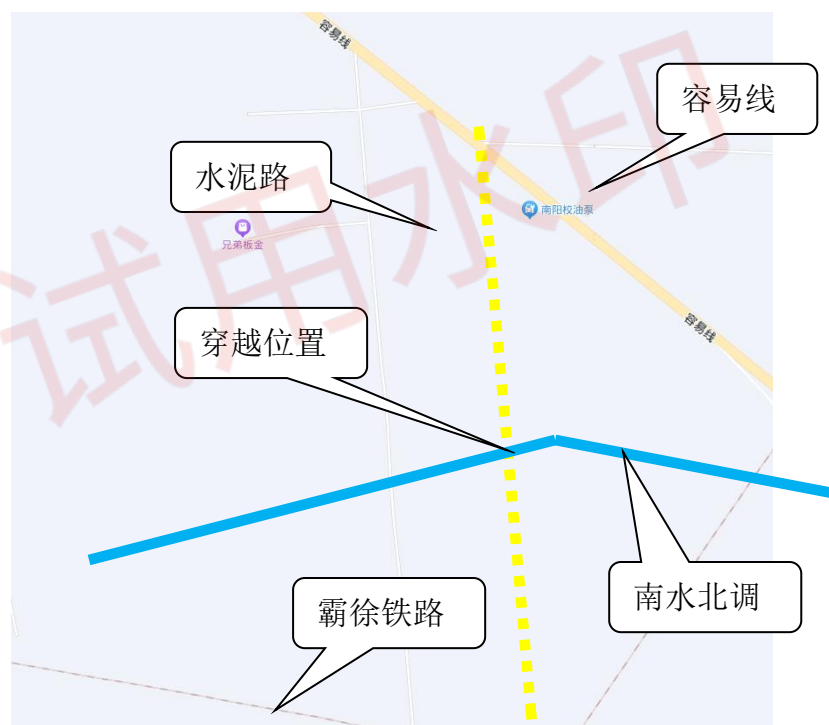


图6.1 场地位置交通图

6.1.2 气象

保定属暖温带大陆性季风气候区，主要气候特点是：四季分明，春季干燥多风，夏季炎热多雨，雨、热同季，秋季天高气爽，冬季寒冷干燥。多年平均气温 13.4°C ，1 月平均气温 -4.3°C ，7 月平均气温 26.4°C 。年平均日照时数 2511.0h，占可照时数的



56%。年平均降水量 498.9mm，年平均降水日数为 68d；降水集中在每年 6～8 月，7 月最多。年平均风速 1.8 米/秒。年平均蒸发量为 1430.5mm。主要气象灾害有干旱、高温、雷暴、冰雹、大风、寒潮、大雾。

保定市季节性冻土深度最大冻深为 55cm。

表6.1 管道穿越处主要气象表

气温(℃)			降水量(mm)			风速(m/s)		标准冻土深度(cm)
平均	历年最高	历年最低	平均	历年最大	历年最小	平均	最大	
13.4	40	-20.5	498.9	975.1	232	1.8	—	55

6.1.3 植被及人类工程活动

穿越区位于暖温带半湿润大陆性季风气候。穿越场地主要植被为小麦，植被覆盖率一般。人类活动较频繁。

6.2 地质构造与地震

6.2.1 区域地质概况

管线所经过地区位于河北平原西部，属山前堆积平原。按下伏基底构造单元来说，它处于冀中凹陷的西半部。西部以第三系一级断层及地层尖灭与太行山隆起相接。管线沿线的土质基本上为粘性土和砂土，地质结构和地层岩性比较简单。

6.2.2 地震

拟建场地的抗震设防烈度为 8 度，设计基本地震加速度值为 0.30g，设计地震分组为第二组，反应谱特征周期为 0.55s。场区地基土属中软土，建筑场地类别为 III 类。拟建场地属于对建筑抗震一般地段。

6.5 工程地质条件

6.3.1 地形地貌

穿越场地属于冲洪积平原区，地势较开阔，地形较平坦，为农田，主要种植玉米、小麦等。天津干线为暗渠，渠顶覆土深度 2.4m 左右。

6.3.2 地层岩性

根据野外钻探，勘察深度范围内场区地层主要划分为：

人工堆积层

房渣土①a 层：杂色，稍湿，稍密，以砖块、灰渣、碎石为主，粉土充填，含少量建筑垃圾。

粉土素填土①3b 层：黄褐色，稍湿，稍密，以粉土为主，含少量砖渣、灰渣、植物根等。

新近冲洪积层

粉质黏土②2 层：褐黄～黄褐色，湿～很湿，可塑～硬塑，稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁；属中等压缩性土。

粉土②3 层：褐黄色～黄褐色，稍湿～湿，中密～密实，摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁及少量姜石，局部含粉砂、粉质黏土透镜体；属中等压缩性土。

第四纪一般冲洪积层

粉质黏土④2 层：褐黄～灰黄色，湿～很湿，可塑～硬塑，稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁、姜石等，局部夹粉土薄层；属中等压缩性土。

粉土④3 层：褐黄～灰黄色，稍湿～湿，中密～密实，摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁等，局部夹粉质黏土薄层；属中等压缩性土。

粉细砂④4 层：褐黄色，湿（局部饱和），中密～密实，含云母片，矿物成分以长石、石英为主，局部夹粉土、粉质黏土薄层；属低压缩性土。

粉质黏土⑤2 层：褐黄色～黄褐色，湿～很湿，可塑～硬塑，稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁、姜石等；属中等压缩性土。



粉土⑤₃层：褐黄色，稍湿～湿，密实，摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁及少量姜石等，局部夹粉质黏土薄层；属中等压缩性土。

粉细砂⑤₄层：褐黄色，湿～饱和，密实，含云母片，矿物成分以长石、石英为主，局部夹粉土、粉质黏土薄层；属低压缩性土。

粉质黏土⑥₂层：褐黄色，很湿，可塑～硬塑，稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁、姜石等；属中等压缩性土。

粉土⑥₃层：褐黄色，稍湿～湿，密实，摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁等，局部含粉砂透镜体；属中等压缩性土。

细砂⑥₄层：褐黄色～黄灰色，湿～饱和，密实，含云母片，矿物成分以长石、石英为主，局部夹粉质黏土、粉土薄层；属低压缩性土。

粉质黏土⑦₂层：褐黄～黄褐色，湿～很湿，可塑～硬塑，稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁、姜石等，局部夹粉土、细砂薄层；属中等压缩性土。

粉土⑦₃层：褐黄色，稍湿～湿，密实，摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁等，局部含粉砂透镜体；属中等压缩性土。

细砂⑦₄层：褐黄色，饱和，密实，含云母片，矿物成分以长石、石英为主，局部夹粉质黏土薄层；属低压缩性土。

细砂⑧₄层：褐黄色，饱和，密实，含云母片，矿物成分以长石、石英为主，属低压缩性土。本次勘察未穿透该层。

6.3.3 地下水、浅层土对建筑材料腐蚀性评价

本工程补充勘察期间（2024年10月下旬）于该区段（204#～77#钻孔段）301#、302#、303#钻孔内中实测到2层地下水，详见下表。

表6.2 地下水水位量测情况一览表（2024年10月下旬）

序号	地下水类型	地下水稳定水位（承压水测压水头）		主要含水层
		水位埋深（m）	水位标高（m）	
1	滞水（局部分布）	/	/	/
2	层间水	15.00	-1.49	粉土⑤ ₃ 层
3	层间水（具微承压性）	21.20~21.30	-7.76~-7.69	粉土⑥ ₃ 层及 粉细砂⑥ ₄ 层及细砂⑦ ₄



			层	
4	承压水	32.00	-18.96	细砂⑧ ₄ 层

工程现场钻探期间(2022 年 11 月中旬)于该区段（204#~77#钻孔段）钻孔内中头测到 2 层地下水，详见下表。

表6.3 地下水水位量测情况一览表（2022年11月下旬）

序号	地下水类型	地下水稳定水位（承压水测压水头）		主要含水层
		水位埋深（m）	水位标高（m）	
1	滞水（局部分布）	/	/	/
2	层间水	/	/	/
3	层间水 （具微承压性）	19.40~19.70	-6.5106~-5.85	粉土⑥ ₃ 层及 粉细砂⑥ ₄ 层
4	承压水	32.30~32.40	-18.96~-18.94	细砂⑧ ₄ 层

由表 1 及表 2 可知，该区段场区由于大气降水原因出现区域内第 2 层地下水，但水量不大；该区段内第 3 层地下水水位有所下降，降幅大约 2.00m；第 4 层地下水无明显变化。

本次勘察在 3#、25#、46#、80#、120#、151#、165#、171#勘探孔中各采取土试样 1 组，并进行了土的易溶盐分析测试。根据试验分析结果，结合现场调查，并按照《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009 年版）的相关标准综合判定，在 II 类腐蚀环境类型时，该场地浅层土（包括人工填土）对混凝土结构及钢筋混凝土结构中钢筋腐蚀性为微腐蚀性（试验结果详见：“土的易溶盐分析报告”）；根据拟建场区 30.0 深度范围内土层的视电阻率测试成果(详见附表“土壤视电阻率测量成果表”)，依据《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2010）（2009 年版）判定：拟建场区 30.0 深度范围内的土壤对钢结构具中等腐蚀性。

6.3.4 地下水

工程场区滞水天然动态类型属渗入—蒸发、径流型，主要接受大气降水入渗、农业灌溉水下渗等方式补给，以蒸发及地下水侧向径流为主要排泄方式；工程场区潜水天然动态类型属渗入—径流型，主要接受大气降水入渗、地下水侧向径流等方式补

给，以地下水侧向径流、越流和人工开采为主要排泄方式；其水位年动态变化规律一般为：6 月份～9 月份水位较高，其它月份水位相对较低，其水位年变幅一般为 1m～3m；工程场区承压水天然动态类型属渗入—径流型，主要接受地下水侧向径流、越流等方式补给，以地下水侧向径流为主要排泄方式；其水位年动态变化规律一般为：6 月份～9 月份水位较高，其它月份水位相对较低，其水位年变幅一般为 1m～2m。

试用水印



7 穿越方案选择

南水北调中线天津干线保定市 1 段工程穿越具有以下特点：

- 1) 该穿越处南水北调中线天津干线为地下暗涵。
- 2) 根据《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》（Q/NSBDZX 112.03—2021）的规定：
 - (1) “油气管道不应采用埋设方式跨越中线干线工程管涵”。
 - (2) 油气管道小于 DN500mm 时，可采用定向钻方式穿越中线干线总干渠；大于等于 DN500mm 时，宜采用顶进套管方式，在套管内敷设油气管道。
 - (3) 定向钻出入土点和顶管竖井不应布置在一级水源保护区以内，宜布置在中线干线工程保护范围以外的合适地点。
 - (4) 定向钻穿越导向孔轨迹线上偏差不应大于 0.5m，下偏差不应大于 1m；钻孔护壁泥浆应采用环保型，并能循环使用；应合理设计钻孔护壁泥密度。
 - (5) 根据勘察报告，地质主要以粉质黏土、粉砂及粉土为主。

7.2 穿越方案

本工程为燃气管道，设计压力为 4.0MPa，管径为 D508mm，根据《中国南水北调集团中线有限公司天津分公司关于雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段工程方案设计报告和安全影响评价报告的复函》（中国南水北调集团中线有限公司天津分公司，南水北调中线津工函[2024]27 号，2024 年 11 月 17 日），以及《雄安新区燃气高压环网一期工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段工程方案设计报告》（北京市燃气热力工程设计院有限公司，2024 年 9 月），本项目穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段采用水平定向钻方式。



8 穿越方案设计

8.1 设计基本参数

(1) 设计压力：本穿越设计压力同一般线路，为 4.0MPa，一般段燃气管道设计系数取 0.4，考虑南水北调中线天津干线的重要性，本段设计系数取 0.3。

(2) 穿越用管：定向钻穿越段直管采用 D508mm×14.2mm L360M 直缝埋弧焊钢管，热煨弯管采用 D508mm×14.2mm L360N 直缝埋弧焊钢管，制管标准为《石油天然气工业管道输送系统用钢管》（GB/T9711-2023）PSL2。

8.2 穿越形式选择

根据前述章节论述，本工程穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段，推荐采用水平定向钻方式穿越。

8.3 工程等级

按《城镇燃气设计规范》GB50028-2006（2020 年版）、《城镇燃气管道穿越工程技术规程》CJJ/T250-2015、《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》QNSBDZX 112.03—2021，穿越处两端及穿越处地区等级为四级，本穿越段的强度设计系数取 0.3。

8.4 穿越土层及管道埋设深度确定

根据《穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》QNSBDZX 112.01—2021，穿越中线干线工程暗涵(管涵)时，采用定向钻方式时，管道埋深不宜小于箱涵底结构层以下 10m，石油、天然气等管道埋深不宜小于箱涵底结构层以下 15m。根据《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》QNSBDZX



112.03—2024.03。燃气管道不宜在中线干线工程富水土层、粉细砂层、中强膨胀土、湿陷性黄土区渠段以及全填方、高填方等渠段穿越。

根据本项目地勘报告，穿越南水北调中线天津干线箱涵处下方 14.5 米至 20.5 米处、21.8 米至 23.2 米处为细砂层，为了减少对南水北调中线天津干线箱涵的影响，结合实际土层情况，选择在箱涵下方 25.4 米，地面下 33.5 米处穿越，穿越土层为粉质黏土层。

8.5 穿越出入口、曲线设计

穿越管段的操作坑位置应根据穿越地形、地质条件、穿越管径大小、南水北调相关管理规定等确定。

输配管道定向钻入土角 10°，入土点坐标 X=4327034.727, Y=116479086.365（北京 54 坐标系）；出土角 8°，出土点坐标 X=4327655.080, Y=116478873.061（北京 54 坐标系）。入土点在天津干线南侧，距离南水北调中线天津干线保定市 1 段水平净距 306.2m，出土点在天津干线北侧，距离南水北调中线天津干线保定市 1 段水平净距 334.5m。穿越管段的曲率半径为 1500D（即 762m），穿越长度为 656m，穿越处输气管线管顶与天津干线垂直净间距 25.4m。定向钻轨迹线重要节点的坐标见下表。

表8.1 主管道钻进轨迹控制点设计成果表

桩号	里程 (km+m)	高程 (m)	纵坐标 X (m)	横坐标 Y (m)
管线起点（出土点）	0+0.000	11.097	4327655.080	116478873.061
出土弹数起点	172.4	-13.15	4327492.048	116478929.119
出土弹数终点	278.4	-20.557	4327391.808	116478963.585
出土侧保护范围线	284.507	-20.557	4327386.095	116478965.550
入土侧保护范围侧	399.907	-20.557	4327276.966	116479003.073



入土弹敷终点	410.4	-20.557	4327266.981	116479006.506
入土弹敷起点	542.7	-8.99	4327141.870	116479049.525
管线终点 (入土点)	656	11.084	4327034.727	116479086.365

注：坐标系为北京 54 坐标系，1985 国家高程基准。

8.6 穿越管段计算

8.6.1 计算参数

南水北调中线天津干线保定市 1 段穿越设计压力为 4.0MPa，与一般线路部分设计压力相同。穿越段所在地区等级为四级地区，设计系数取 0.3。定向钻穿越段管道规格为 D508 直缝埋弧焊钢管，制管标准为《石油天然气工业管道输送系统用钢管》（GB/T9711-2023）PSL2。

8.6.2 壁厚计算

根据《城镇燃气设计规范》GB50028-2006（2020 年版）的规定，管道强度计算依据以下公式：

$$\delta = \frac{PD}{2\sigma_s \phi F}$$

式中：

- δ —— 钢管计算壁厚（mm）；
- P —— 设计压力（MPa）；
- D —— 钢管外径（mm）；
- σ_s —— 钢管的最低屈服强度（MPa）；
- F —— 强度设计系数；
- ϕ —— 焊缝系数。

根据上述公式计算不同管径、不同压力的计算壁厚，并按照《焊接钢管尺寸及单位长度重量》GB/T21835-2008 标准的焊接钢管规格选取壁厚。本穿越段上下游为



一般直埋段燃气管道，按照地区等级三级、强度设计系数 0.4 进行计算。本穿越段为定向钻穿越，考虑到本工程管道的重要性，结合建设单位投资建设的其他同类型项目，按照地区等级四级、强度设计系数 0.3，对管道壁厚进行计算选取。按照与强度设计系数同比值原则，经圆整后计算结果及选取壁厚见下表：

表8.2 管线管道规格及材质计算表

敷设位置	设计压力 (Mpa)	管径 (mm)	强度设计系数	强度设计系数 比值	材质	管材屈服强度 (MPa)	直管段计算壁厚 (mm)	选取壁厚(mm)	壁厚 比值
上下游一般直埋段	4.0	508	0.4	1.33	L360M	360	7.06	10	1.42
本穿越段	4.0	508	0.3		L360M	360	9.41	14.2	1.51

8.6.3 管道回拖工况应力校核

根据《油气输送管道穿越工程设计规范》GB50423-2013 中 5.1.8 规定“管道回拖经计算需要采取降浮措施时，宜内设冲水管配重”，根据《油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范》（SY/T 6968-2021）10.1.1 中“当管道在钻孔中的有效重力为大于 2KN/m 的上浮力时，应采取配重浮力措施”。通信光缆外加钢套管，采用钢套管与主管道同孔回拖的定向钻穿越方式，通信光缆钢套管规格为 D114×6mm，无缝钢管。

对于 D508×14.2mm 和 D114×6mm 管道，总净浮力为 643.7N/m，根据《油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范》（SY/T 6968-2021）中规定，可不采取降浮措施。

《油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范》SY/T6968-2021 校核如下：

（1）水平定向钻回拖时的最大拉力按下式计算的 1.5～3 倍选取。

$$F_t = \mu_{soil} L \left| \frac{\pi D_s^2}{4} \gamma_{mud} - \gamma \delta \pi D_s - W_p \right| + \pi D_s \mu_{mud} L$$

式中：F_t——计算的拉力（kN）；

L——穿越管段长度（m）；

μ_{soil}——摩擦系数，取 0.3；

D_s——钢管外径（m），0.508 和 0.114；



γ_{mud} ——泥浆的重度 (kN/m^3)，取 11.5；

γ_{steel} ——钢管的重度 (kN/m^3)，取 78.5；

δ ——钢管壁厚 (mm)，0.0142 和 0.006；

W_p ——回拖过程中单位长度配重 (kN/m)；

μ_{mud} ——粘滞系数 (kN/m^2)，取 0.175；

经计算，在整段约 656.000m 的管道回拖长度时， $\Sigma F_t = 351.07\text{kN}$ 。结合本穿越工程实际情况，取 2.5 的安全系数，实际最大回拖力 F_t 约 877.68kN。

(2) 管道回拖工况下，拉应力为拉力与钢管横截面积的比值，按下式校核：

$$f_t < 0.9\sigma_s$$

$$f_t = 1000 F_t / A$$

式中： f_t ——拉应力 (Mpa)；

F_t ——回拖过程中的最大拉力 (kN)；

σ_s ——钢管屈服强度 (Mpa)，360；

A ——钢管净截面面积 (mm^2)；按下式计算：

$$A = \pi \left(\frac{D_s + d_s}{2} \right) \delta$$

D_s ——钢管外径 (mm)；

d_s ——钢管内径 (mm)；

δ ——钢管壁厚 (mm)；

经计算，拉应力 $f_t = 33.76\text{Mpa} < 0.9\sigma_s = 324\text{Mpa}$ ，满足要求。

(3) 钢管的弯曲应力按下式校核：

$$f_b < F_b$$

$$f_b = (E \cdot D_s) / (2R)$$

$$r = D_s / \delta$$

当 $r \leq 10000 / \sigma_s$

$$F_b = 0.75\sigma_s$$

当 $(10000 / \sigma_s) \leq r \leq 20000 / \sigma_s$

$$F_b = \{ 0.84 - [1.74\sigma_s \cdot D_s / (E \cdot \delta)] \} \cdot \sigma_s$$



当 $(20000/\sigma_s) \leq r \leq 300000$

$$F_b = \{0.72 - [0.58\sigma_s \cdot D_s / (E \cdot \delta)]\} \cdot \sigma_s$$

式中： D_s ——钢管外径（m）；

δ ——钢管壁厚（m）；

σ_s ——钢管屈服强度（Mpa）；

R ——弹性敷设曲率半径（m），762；

r ——径厚比；

E ——钢管弹性模量（Mpa），取 21000；

f_b ——弯曲应力（Mpa）；

F_b ——容许弯曲应力（Mpa）；

经计算，钢管承受的允许弯曲应力 $F_b=263.98\text{Mpa}$ ，弯曲应力 $f_b=70.00\text{Mpa}$ ， $f_b < F_b$ ，满足要求。

（4）钢管周围外部环向应力按下式校核：

$$f_h < F_{hc}/1.5$$

$$f_h = p_{ex} \cdot D_s / (2\delta)$$

$$F_{hc} = 0.88E(\delta/D_s)^2$$

当 $F_{hc} \leq 0.55\sigma_s$

$$F_{hc} = F_{hc}$$

当 $0.55\sigma_s \leq F_{hc} \leq 1.6\sigma_s$

$$F_{hc} = 0.45\sigma_s + 0.18F_{hc}$$

当 $1.6\sigma_s \leq F_{hc} \leq 6.2\sigma_s$

$$F_{hc} = 1.31\sigma_s / [1.15 + (\sigma_s/F_{hc})]$$

当 $6.2\sigma_s \leq F_{hc}$

$$F_{hc} = \sigma_s$$

式中： f_h ——外部环向应力（Mpa）；

D_s ——钢管外径（m）；

δ ——钢管壁厚（m）；

E ——钢管弹性模量（Mpa）；



σ ——钢管屈服强度 (Mpa)；

f_h ——外压产生的环向应力 (Mpa)；

F_h ——容许环向屈服应力 (Mpa)；

F_{hc} ——弹性环向失效力 (Mpa)；

经计算，容许环向屈服应力 $F_{hc}=144.39\text{Mpa}$ ，钢管承受的外部环向应力 $f_h=6.89\text{Mpa}<F_h/1.5=96.26\text{Mpa}$ ，满足要求。

(5) 管道回拖阶段管道应按下列两个准则进行校核。

①对拉力和弯曲产生的轴向应力进行组合，按下式校核：

$$f_t / (0.9\sigma_s) + (f_b / F_b) \leq 1$$

式中： f_t ——拉应力 (Mpa)；

f_b ——弯曲应力 (Mpa)；

σ_s ——钢管屈服强度 (Mpa)；

F_b ——容许弯曲应力 (Mpa)。

经计算，管道回拖工况最大回拖力作用下， $f_t / (0.9\sigma_s) + (f_b / F_b) = 0.37 \leq 1$ ，满足要求。

②对拉力和弯曲产生的轴向应力及外压产生的环向应力进行组合，按下式校核：

$$A^2 + B^2 + 2\mu \cdot |A| \cdot B \leq 1$$

$$A = (f_t + f_b - 0.5f_h) \times 1.25 / \sigma_s$$

$$B = 1.5f_h / F_{hc}$$

式中： μ ——泊桑比，取 0.3；

f_h ——外压产生的环向应力 (Mpa)；

F_{hc} ——临界环向弯曲应力 (Mpa)。

经计算， $A^2 + B^2 + 2\mu \cdot |A| \cdot B = 0.14 \leq 1$ ，满足要求。

8.6.4 管道试压工况应力校核

(1) 试压时管道内压产生的环向应力按下式校核：

$$f_h < 0.9\sigma_s$$

$$f_h = p_{in} \cdot D_s / (2\delta)$$



式中： f_h ——内压产生的环向应力（Mpa）；

p ——管道试压压力（Mpa），6；

σ_s ——钢管屈服强度（Mpa），360；

D_o ——钢管外径（m），0.508；

δ ——钢管壁厚（m），0.0142；

经计算，试压工况下内压产生的环向应力 $f_h = 107.32 \text{Mpa} < 0.9\sigma_s = 324 \text{Mpa}$ ，满足要求。

（2）环向应力产生的轴向应力按下式计算：

$$f_{lh} = \mu f_h$$

式中： f_{lh} ——环向应力产生的轴向应力（Mpa）；

f_h ——内压产生的环向应力（Mpa）；

μ ——泊桑比，取 0.3。

经计算，试压工况下环向应力产生的轴向应力 $f_{lh} = 32.20 \text{Mpa}$ 。

（3）若管道布置场地受限，需要水平弹性敷设布置时，应计算弹性弯曲产生的弯曲应力，按前 1）点（3）条中公式计算。

出土端回拖场地需水平弹性敷设（曲率半径不小于 1200 D）布置。经计算，弹性弯曲产生的弯曲应力 $f_b = 70.00 \text{Mpa} < F_b = 263.98 \text{Mpa}$ ，满足要求。

（4）试压阶段管道的应力校核应按第三强度理论（最大剪应力）进行校核，公式如下：

$$f_v < 0.45\sigma_s$$

$$f_v = (f_c - f_l) / 2$$

$$f_c = f_h$$

$$f_l = f_{lh} + f_b$$

式中： f_v ——最大剪应力（Mpa）；

σ_s ——钢管屈服强度（Mpa）；

f_c ——环向应力的代数和（Mpa）；

f_l ——轴向应力的代数和（Mpa）；

f_h ——试压阶段内压产生的环向应力（Mpa）；



f_{ht} ——环向应力产生的轴向应力 (Mpa) ;

f_b ——弯曲应力 (Mpa) 。

经计算, 试压工况最大剪应力 $f_v=72.56\text{Mpa}<0.45\sigma_s=162\text{Mpa}$ 。管道在试压工况下是安全的。

8.6.5 管道运营工况应力校核

(1) 内压产生的环向应力校核按前第 8.6.4 节 (1) 条中公式计算, 内压产生的环向应力 $f_h=71.55\text{Mpa}$, $f_h<0.9\sigma_s=324\text{Mpa}$, 满足要求。

(2) 环向应力产生的轴向应力按前第 8.6.4 节 (2) 条中公式计算, 环向应力产生的轴向应力 $f_{ht}=21.46\text{Mpa}$ 。

(3) 管道的弯曲应力校核按前第 8.6.3 节 (3) 条中公式计算, 管道的弯曲应力 $f_b=70.00\text{Mpa}$, $f_b<F_b=263.98\text{Mpa}$, 满足要求。

(4) 温度应力按下式计算:

$$f_{ht}=E\cdot\alpha(T_2-T_1)$$

式中: f_{ht} ——温度变化引起的轴向应力 (Mpa) ;

α ——钢管的线膨胀系数 [$\text{m}/(\cdot\text{m}^\circ\text{C})$] , 取 1.2×10^{-5} ;

E ——钢管弹性模量 (Mpa) , 取 210000;

T_1 ——管道安装温度 ($^\circ\text{C}$) , 取 10°C ;

T_2 ——管道最大或最小运行温度 ($^\circ\text{C}$) , 最大运行温度为 5°C ;

经计算, 温度变化引起的轴向应力 $f_{ht}=-12.6\text{Mpa}$ 。

(5) 运行阶段管道的组合应力校核应按照第三强度理论 (最大剪应力) 进行校核, 公式如下:

$$f_v<0.45\sigma_s$$

$$f_v=(f_c-f_t)/2$$

$$f_c=f_h$$

$$f_t=f_{ht}+f_b+f_{ht}$$

式中: f_v ——最大剪应力 (Mpa) ;

σ_s ——钢管屈服强度 (Mpa) ;



f_c ——环向应力的代数和 (Mpa) ;

$f_{\text{轴}}$ ——环向应力产生的轴向应力 (Mpa) ;

$f_{\text{轴}}$ ——轴向应力的代数和 (Mpa) ;

$f_{\text{环}}$ ——试压阶段内压产生的环向应力 (Mpa) ;

f_b ——弯曲应力 (Mpa) ;

f_{ht} ——温度变化引起的轴向应力 (Mpa) 。

经计算, 运行工况最大剪应力 $f_v=53.74\text{Mpa}<0.45\sigma_s=162\text{Mpa}$ 。管道在运行工况下是安全的。

8.6.6 管道径向屈曲失稳验算

在一定泥浆压力下进行回拖时, 为避免出现泥浆压力下导致管道失稳, 应进行失稳校核:

$$P_s \leq F_d \cdot P_{yp}$$

$$P_{yp}^2 - \left[\frac{\sigma_s}{m} + (1 + 6mn)P_{cr} \right] P_{yp} + \frac{\sigma_s P_{cr}}{m} = 0$$

$$m = \frac{D_s}{2\delta}$$

$$n = \frac{f_0}{2}$$

$$P_{cr} = \frac{2E \left(\frac{\delta}{D_s} \right)^3}{1 - \mu^2}$$

$$P_s = 1.5 \gamma_{\text{mud}} H / 1000$$

式中: P_s ——泥浆压力 (Mpa) , 按最大泥浆静压力的 1.5 倍考虑;

σ_s ——钢管屈服强度 (Mpa) ; 360

F_d ——穿越管段设计系数; 0.3

P_{yp} ——穿越钢管所能承受的极限外压力 (Mpa) ;

P_{cr} ——钢管弹性变形临界压力 (Mpa) ;



E ——钢管弹性模量 (Mpa)；取 210000

δ ——钢管壁厚 (mm)；14.2

D ——钢管外径 (mm)；508

——泊松比，取 0.3；

f_0 ——钢管椭圆度 (%)，1%；

γ_{mud} ——泥浆的重度 (kN/m³)，11.5；

H ——穿越轴线的高差 (m)。

经计算，临界压力计算为 $P_{cr}=10.08\text{Mpa}$ ，极限外压为 $P_{yp}=7.12\text{Mpa}$ ， $P_s=0.603\text{Mpa}$
 $\leq F_d \cdot P_{yp}=2.136\text{Mpa}$ 。本穿越所选取的壁厚是满足要求的。

8.6.7 管道强度稳定性校核

1) 管道钢性

根据《油气输送管道穿越工程设计规范》(GB50423-2013) 有关材料的规定，穿越管段选用钢管的径厚比不应大于 100。经计算， $D508\text{mm} \times 14.2\text{mm}$ 钢管径厚比为 35.2，均小于 100。因此，穿越段钢管的刚度满足规范要求。

2) 管道强度校核

按照《输气管道工程设计规范》GB50251-2015 规定，埋地管道需进行管道强度校核，校核公式如下：

由温度引起的轴向应力：

$$\sigma_L = \mu \sigma_h + E \alpha (t_1 - t_2)$$

由内压引起的轴向应力：

$$\sigma_h = \frac{P d}{2 \delta_n}$$

对埋地管道最大剪切应力破坏理论进行强度校核，按下式计算：

$$\sigma_e = \sigma_h - \sigma_L < 0.9 \sigma_s$$

式中： σ_e ——当量应力 (MPa)；

σ_h ——由内压产生的管道环向应力 (MPa)；

σ_L ——管道的轴向应力，拉应力为正，正应力为负 (MPa)；



σ_s —管子的最低屈服强度（MPa）；

μ —泊桑比，取 0.3；

P —管道设计内压力（MPa），取 4.0；

D_m —管子内径（cm）；

δ_s —管子公称壁厚（cm）；

E —钢材的弹性模量（MPa），查 GB50423-2008 附录 D，取 2.1×10^5 MPa；

α —钢材的线性膨胀系数（ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ），取 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；

t_1 —管道下沟回填时温度（ $^{\circ}\text{C}$ ），取 10°C ；

t_2 —管道的工作温度（ $^{\circ}\text{C}$ ），取 0°C ；

本工程对管线进行校核计算，根据上述公式计算可得。

表8.3 管线管道强度计算校核

设计压力 (MPa)	管径 D_m (mm)	公称 壁厚 δ_n (mm)	钢材	钢材最小 屈服强度 σ_s (MPa)	σ_e	$0.9\sigma_s$	是否满 足要求
4.0	508	14.2	L360M	360	24.88	324	满足

由上述数据可以看出，本工程选用的钢材能满足强度要求。

3）径向稳定性校核（管道的径向稳定性按无内压状态校核）：

根据《输气管道工程设计规范》GB50251-2015，燃气管道径向稳定校核应符合

下列表达式：

$$\Delta x \leq 0.03 D_m$$

$$\Delta x = \frac{ZK_1 W D_m^3}{8EI + 0.061 E_s D_m^3}$$

$$I = \frac{\delta_n^3}{12}$$

$$W = W_1 + W_2$$

$$W_1 = \rho_t g h$$

$$W_2 = \frac{0.478 K_2 P}{h}$$

式中： Δx —钢管水平方向最大变形量（m）；



D_m —钢管外径（m）；
 α —钢管变形滞后系数，取 1.5；
 k —基床系数，敷设类型为 5 型取 0.085；
 q —单位管长竖向总载荷（N/m）；

E —钢材弹性模量，取 $2.10 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ ；

I —单位管长截面惯性矩 m^4/m ；

E_s —土弹性模量，取 $4.8 \times 10^6 \text{N/m}^2$ ；

δ_n —钢管壁厚（m）；

W_1 —单位管长上竖向永久土载荷（沙土中管沟边坡大取其土重）（N/m）；

W_2 —竖向可变载荷传递到钢管土载荷，（N/m）；

ρ_t —土容重，取 $1.7 \times 10^3 \text{Kg/m}^3$ ；

h —管顶覆土厚度，取 1.5m；

K_2 —车轮冲击系数，取 1.5；

P —车单轮集中载荷 N，N 取 12500；

根据上述公式计算得到下表结果。

表8.4 管线管道径向稳定性校核校核

设计压力 (MPa)	管径 D_m (mm)	壁厚 δ_n (mm)	W	I	Δx	$0.03D_m$	是否满足要求
4.0	508	14.2	26280	2.836×10^{-7}	0.00028	0.00975	满足

经验算，在管道设计埋深及外载荷情况下，用管均满足径向稳定性要求。

8.6.8 抗震设计

按照《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB50470—2017 第 6.5.1 条规定，当水域大中型穿越管道位于基本地震动峰值加速度大于或等于 0.1g 场地，其他穿越管道位于基本地震动峰值加速度大于或等于 0.20g 场地时，应进行抗拉伸、抗压缩验算。

根据本项目地勘报告及《河北雄安新区规划纲要（2018-2035）》第九章第三节“增强城市抗震能力”中的相关规定（本工程属于生命线系统工程），拟建场区抗震设防烈度为 8.5 度，设计基本地震加速度值为 0.30g，设计地震分组为第二组。同时



根据《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002-2021 第 2.3.1 条和 2.3.2 条规定，对于重点设防类的生命线工程，应按本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施。拟建场区抗震设防烈度为 8.5 度，抗震措施按照 9 度进行相关选取计算。

经查《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002-2021，拟建场区抗震设防烈度为 9 度时的基本地震动峰值加速度为 0.4g，基本地震动加速度反应谱特征周期为 0.40s。根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）附录 E（各类场地地震动峰值加速度调整），地震动峰值加速度调整系数 F_a 为 1.00，故本场地的地震动峰值加速度仍为 0.4g。根据区划图第 8.2 节中表 1（场地基本地震动加速度反应谱特征周期调整表），本场地反应谱特征周期为 0.40s。

根据《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T50470-2017 第 4.1.1 条规定：

（1）管道应按基本地震动参数进行抗震设计，其中重要区段内的管道应按 1.3 倍的基本地震动峰值加速度及速度计算地震作用。（2）管道应采用罕遇地震动参数进行抗震校核。根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）第 6.2.2 条，罕遇地震动峰值加速度宜按基本地震动峰值加速度 1.6~2.3 倍确定，本项目取 1.6 倍进行计算。根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）第 7.2.2 条，罕遇地震动加速度反应谱特征周期应大于基本地震动加速度反应谱特征周期，增加值宜不低于 0.05s。

因此本穿越段应进行抗震设计，并对穿越段按照罕遇地震进行校核计算。

地震作用下穿越管段截面轴向的组合应变应满足下式要求：

$$\text{当 } \varepsilon_{\max} + \varepsilon_a + \varepsilon_e \leq 0 \text{ 时, } |\varepsilon_{\max} + \varepsilon_a + \varepsilon_e| \leq [\varepsilon_c]_v$$

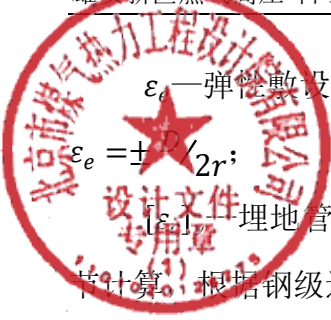
$$\text{当 } \varepsilon_{\max} + \varepsilon_a + \varepsilon_e > 0 \text{ 时, } \varepsilon_{\max} + \varepsilon_a + \varepsilon_e \leq [\varepsilon_t]_v$$

其中： $\varepsilon_{\max}$ —地震动引起管道的最大轴向拉、压应变，取以下两个值较大者。

$$\varepsilon_{\max} = \pm \frac{a T_g}{4 \pi V_{se}}$$

$$\varepsilon_{\max} = \pm \frac{v}{2 V_{se}}$$

ε_a —由于内压和温度变化产生的管道轴向应变，按 GB/T50470-2017 中式 (6.1.2-3) 计算： $\varepsilon_a = \sigma_a / E$ ；



ε_e ——弹性敷设产生的管段的轴向应变，按 GB/T50470-2017 中式（6.5.2）计算：

$$\varepsilon_e = \pm \frac{\delta}{2r};$$

$[\varepsilon_t]$ ——埋地管道抗震设计轴向容许压缩应变，按 GB/T50470-2017 中式（6.1.3-1）计算，根据钢级进行计算：

$$L360 \text{ 钢级 } [\varepsilon_c]_v = 0.28 \delta / D$$

$[\varepsilon_t]_v$ ——埋地管道抗震设计轴向容许拉伸应变，按 GB/T50470-2017 中表（6.1.3）

选取，按照项目所选钢级进行选择，取 0.5%。

直埋弯管在地震动作用下的最大轴向应变 ε_{max} 按下列公式计算：

$$\varepsilon_{max}^b = \varepsilon_n + \varepsilon_m$$

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{max} - \frac{t_u L}{AE}$$

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_{nAD}}{6\lambda I}$$

$$L = \frac{4AE\lambda}{3K_s} \left[\sqrt{1 + \frac{3K_s \varepsilon_{max}}{2t_u \lambda}} - 1 \right]$$

$$t_u = \frac{\pi}{2} D \rho_s g H (1 + \kappa_0) \tan \phi$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s}{4EI}}$$

$$K_s = \frac{P_u}{0.15y_u}$$

$$y_u = 0.03 \sim 0.05 (H + D)$$

$$p_u = \rho_s g H N_q D$$

$$N_q = 0.38 \frac{H}{D} + 3.68$$

a ——设计地震动峰值加速度（m/s²）；

v ——设计地震动峰值速度（m/s）；

T_g ——地震动反应谱特征周期（s）；



V_e ——波的传播速度，即场地剪切波速(m/s)；

σ_a ——由于内压和温度变化产生的管道轴向应力，MPa； $\sigma_a = \mu\sigma_h + E\alpha(t_1 - t_2)$

σ_h ——由内压产生的管道环向应力，MPa； $\sigma_h = Pd/2\sigma_n$ ；

P_0 ——管道的设计内压力，MPa；

σ_n ——管子公称壁厚，mm；

D ——管子外径，mm；

d ——管子内径，mm；

E ——钢材的弹性模量，MPa，取 2.1×10^5 ；

α ——钢材的热膨胀系数，取 $1.15 \times 10^{-5} \text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

t_1 ——管道安装闭合时的环境温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_2 ——穿越管道输送介质温度， $^\circ\text{C}$ ；

μ ——钢材的泊桑比，取 0.3；

r ——弹性敷设曲率半径，762m；

ε_{max}^b ——地震动引起的弯管最大轴向应变；

ε_n ——轴向力引起的弯管轴向应变；

ε_m ——弯矩引起的弯管最大轴向应变；

t_μ ——土壤作用在管道单位长度上的摩擦力 (N/m)；

L ——摩擦力作用的有效长度 (m)；

A ——管道横断面面积 (m^2)；

λ ——模量系数 (m^{-1})；

I ——管道横断面惯性矩 (m^4)；

K_S ——地基反力模型 (Pa)；

ρ_S ——回填土密度 (kg/m^3)；

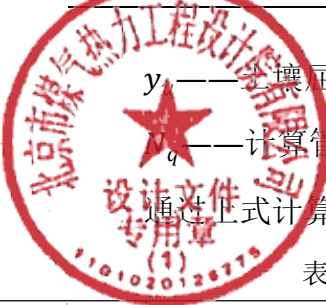
g ——重力加速度，取 $9.8 \text{m}/\text{s}^2$ ；

H ——管道中心线埋深 (m)；

k_0 ——土壤压力系数，一般取 0.5；

ϕ ——土壤的内摩擦角 ($^\circ$)；

P_u ——场地土屈服抗力 (N/m)；



y_s ——土壤屈服位移（m）；
 μ ——计算管道法向土壤压力的参数。

通过上式计算，结果详见下表。

表8.5 管道抗震计算结果一览表（直管段， $\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e>0$ ）

$\epsilon_{\max}$	ϵ_a	ϵ_e	$\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e$	设计 $[\epsilon_c]_v$	校核 $[\epsilon_c]_v$	$ \epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq [\epsilon_c]_v$
0.000625	0.0002115	0.000333	0.00117	0.005	0.01	满足

表8.6 管道抗震计算结果一览表（直管段， $\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq 0$ ）

$\epsilon_{\max}$	ϵ_a	ϵ_e	$\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e$	设计 $[\epsilon_c]_v$	校核 $[\epsilon_c]_v$	$ \epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq [\epsilon_c]_v$
-0.000625	0.0002115	-0.000333	-0.000747	0.007827	0.009783	满足

表8.7 管道抗震计算结果一览表（弯管， $\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e>0$ ）

ϵ_n	ϵ_m	$\epsilon_n+\epsilon_m$	设计 $[\epsilon_c]_v$	校核 $[\epsilon_c]_v$	$ \epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq [\epsilon_c]_v$
0.0000495	0.0002498	0.000299	0.005	0.01	满足

表8.8 管道抗震计算结果一览表（弯管， $\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq 0$ ）

ϵ_n	ϵ_m	$\epsilon_n+\epsilon_m$	设计 $[\epsilon_c]_v$	校核 $[\epsilon_c]_v$	$\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq [\epsilon_t]_v$
-0.0012005	-0.006064	-0.007265	0.007827	0.009783	满足

通过对本工程不同用管及工作条件的复核计算，同时考虑到弹性敷设产生弯曲应变后，管道仍然是安全的。

表8.9 管道抗震计算结果一览表（直管段， $\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e>0$ ）

$\epsilon_{\max}$	ϵ_a	ϵ_e	$\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e$	设计 $[\epsilon_c]_v$	校核 $[\epsilon_c]_v$	$ \epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq [\epsilon_c]_v$
0.001123	0.0002115	0.000333	0.001668	0.005	0.01	满足

表8.10 管道抗震计算结果一览表（罕遇地震）（直管段， $\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq 0$ ）

$\epsilon_{\max}$	ϵ_a	ϵ_e	$\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e$	设计 $[\epsilon_c]_v$	校核 $[\epsilon_c]_v$	$ \epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq [\epsilon_c]_v$
-0.00062	0.000211	-0.00033	-0.00124	0.00782	0.00978	满足
5	5	3	5	7	3	



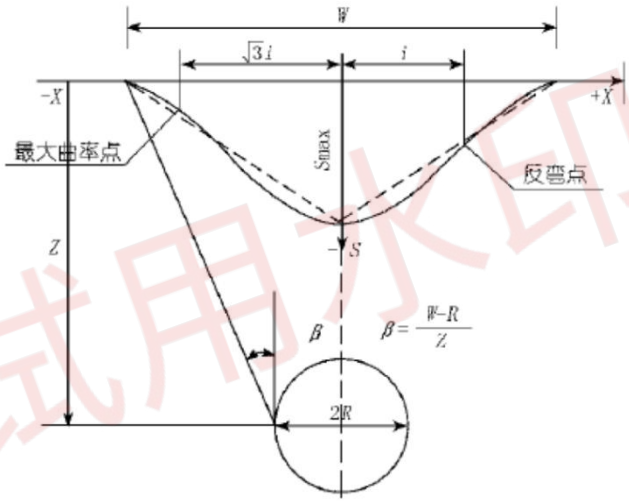
表8-11 管道抗震计算结果一览表（罕遇地震）（热煨弯管， $\epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e>0$ ）

	ϵ_m	$\epsilon_n+\epsilon_m$	设计 $[\epsilon_c]_v$	校核 $[\epsilon_c]_v$	$ \epsilon_{\max}+\epsilon_a+\epsilon_e \leq [\epsilon_c]_v$
0.0001433	0.0007239	0.000867	0.005	0.01	满足

通过对本工程不同用管及工作条件的复核计算，同时考虑到弹性敷设产生弯曲应变后，管道仍然是安全的。

8.7 定向钻穿越引起的沉降分析

定向钻穿越引起的沉降计算公式参考选用 Peck 经验公式，见以下公式，引起定向钻上方土体及箱涵沉降的横向分布类似正态高斯曲线。



$$S_{\max} = \pi R^2 \eta / (i \sqrt{2 \pi})$$

$$i = \frac{H}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \tan(45^\circ - \phi / 2)}}$$

- 式中：i——地面沉降槽宽度系数(m)；
- ϕ ——土的内摩擦角，粘质粉土取 16.1° ；
- H——燃气管道覆土厚度，取 33.5 米；
- $S_{\max}$ ——管道轴线上方的最大地面沉降量；



η ——土体的损失率，参考《盾构隧道施工引起的土体损失率取值及分布研究》岩土工程学报，结合北京、上海、南京、广州、武汉、天津、深圳地区盾构法隧道施工引起的土体损失率实测值，对 71 个实测数据进行了统计分析。结果表明：土体损失率分布在 0.20%~3.01%，其中 95.77%的实测数据分布在 0.20%~2.0%，43.66%的实测数据集中在 0.5%~1.0%；黏性土地区土体损失率在 0.20%~2.0%。土体损失率主要与施工水平、土质条件和隧道轴线埋深有关。随着隧道轴线埋深增大，土体损失率基本呈减小趋势，当埋深大于 25 m 后该趋势比较明显，两者关系可近似采用幂函数拟合。本项目参考以上统计数据，并考虑最不利条件，取 2%进行计算。

其中自地面到定向钻孔洞的覆土深度 H 为 33.5 米，自箱涵基础到定向钻孔洞的覆土深度 H 为 25.4 米。

经计算，最后一级扩孔时，计算得到管道轴线处地面最大沉降值约 1.17mm，箱涵基础土体的最大沉降值约 1.54mm。根据定向钻施工工艺，在扩孔及管道回拖过程中孔道内一直充满泥浆，定向钻泥浆作用之一就是孔道护壁稳定孔道的作用，且管道回拖后，孔道内泥浆用水泥浆进行置换，固结后，定向钻孔道内不存在空隙，控制好泥浆压力，几乎不会造成干渠的沉降。根据统计资料及大量定向钻工程经验分析，定向钻穿越深度超过 $5D$ （外径）以上，几乎不会造成箱涵沉降，但为保证施工的安全性，施工过程中要对箱涵沉降实时监测。

8.8 线路截断阀设置

（1）阀门设置要求

按《城镇燃气设计规范》GB50028-2006（2020 年版）的要求，为了在管道发生事故时减少天然气的泄漏量、减轻管道事故可能造成的次生灾害，便于管道的维护抢修，应在高压燃气干线上，按要求设置线路截断阀室。截断阀一般选择在交通方便、地形开阔、地势较高的地方。阀门临近公路或道路设置，便于生产管理与维护、巡检，并减少进阀门道路的长度。高压 A 管线阀门按照以下原则设置：

- a) 在以一级地区为主的管段最大间距不宜大于 32km；
- b) 在以二级地区为主的管段最大间距不大于 24km；



c) 在以三级地区为主的管段最大间距不大于 13km;
d) 在以四级地区为主的管段最大间距不大于 8km。
《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》QNSBDZX 112.03—2021 第 5.0.11 条：油气管道穿跨邻接两端应设置截断阀（室），设置在中线干线工程饮用水水源保护区外，距中线干线工程管理范围不应大于 4km。在天津干线河北段，截断阀室应设置在天津干线输水暗涵外缘向两侧 200 米之外。

(2) 阀室布置

本项目全线地区等级为三级地区，按照《城镇燃气设计规范（2020 年版）》（GB50028-2006），管线总长度小于 12km，沿线可不设座截断阀。根据《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》QNSBDZX 112.03—2021 第 5.0.11 条：油气管道穿跨邻接两端应设置截断阀（室），设置在中线干线工程饮用水水源保护区外，距中线干线工程管理范围不应大于 4km。在天津干线河北段，截断阀室应设置在天津干线输水暗涵外缘向两侧 200 米之外。综上以上要求，本项目拟在穿越南水北调两侧各设置一座截断阀。

结合地方国土部门提供的管道沿线土地利用类型分布情况，为了避免站场、阀室占用基本农田，同时结合现场征地条件，在南水北调中线天津干线保定市 1 段穿越位置上游约 2200 米非基本农田位置设置本工程 1#阀井，穿越位置下游约 1185 米非基本农田位置设置本工程 2#阀井。因此南水北调中线天津干线保定市 1 段上下游线路事故截断点设置在 1#阀井和 2#阀井。同时本项目在 2#门站出站、南张调压站进站处均设置了电动球阀，与南水北调中线天津干线保定市 1 段的距离约 6km，可实现对阀门的自动控制。

截断阀的设置位置详见下表。

表8.12 南水北调中线天津干线保定市1段穿越点上下游阀室设置表

序号	截断阀名称	位置	与南水北调的距离(m)	地区等级	备注
1	出站阀门	2#门站			电动球阀
2	1#截断阀	徐水区南湖渠村	2200	四级	手动球阀
3	2#截断阀	徐水区南湖渠村	1185	四级	手动球阀
4	进站阀门	南张调压站			电动球阀



图8.1 雄安新区燃气高压环网一期燃气截断阀位置示意图

穿越上下游阀室燃气截断阀采用手动球阀，截断阀为全通径焊接球阀，两侧放空阀门为双截断和超高压自泄放阀门，密封性能好。阀门底部有排污口，使用寿命长。

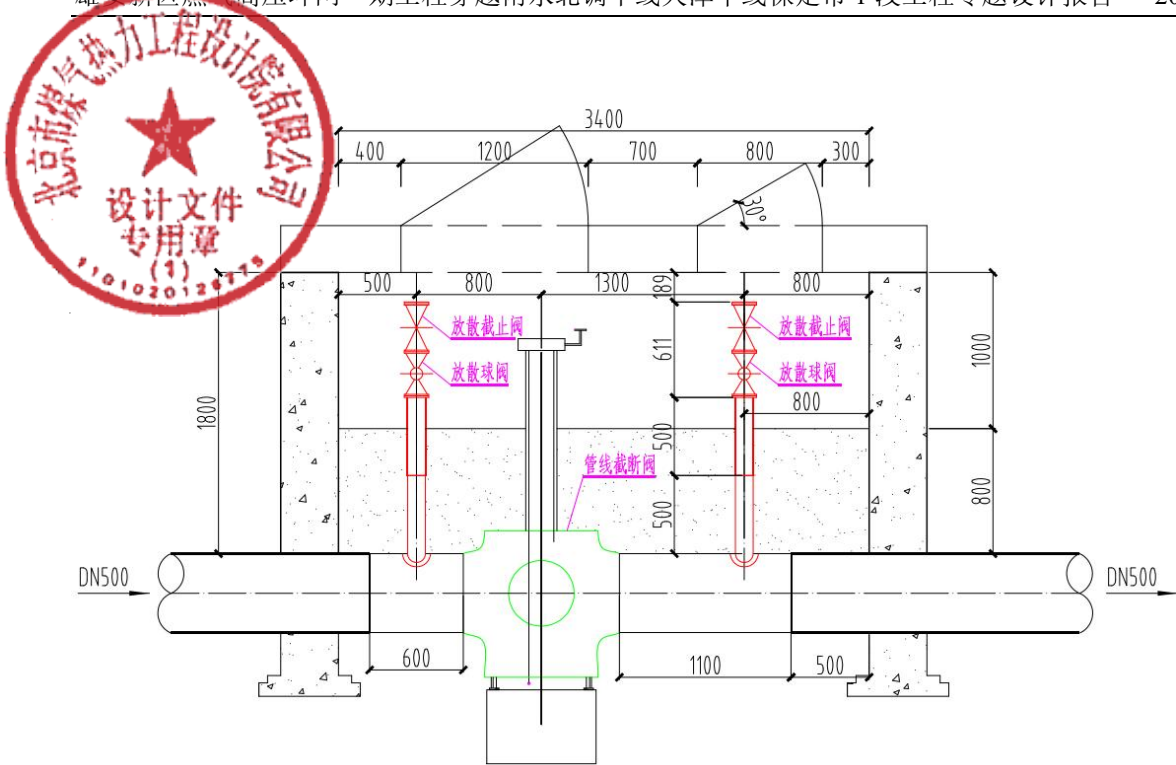


图8.2 燃气截断阀井工艺安装图（剖面）

南水北调天津干线穿越处附近一旦发生管道天然气泄漏等现象，立即启动南水北调中线两侧阀门关断作业，以及对阀门中间关断的天然气进行放空、泄压。根据初步估算，南水北调天津干线穿越处发生泄漏后，两个截断阀门两侧的放散阀同时启动放空，放空完成时间不超过 3 小时。

8.9 管道防腐及阴极保护

8.9.1 管道外防腐层方案

本设计推荐新建线路管道总体防腐方案为：采取外防腐层加强制电流阴极保护的联合防腐措施。管道外防腐层全线采用常温型三层结构聚乙烯加强级外防腐层（三层 PE 加强级），冷弯弯管可用带三层 PE 防腐层的成品直管防腐管经冷弯机弯制而成，热煨弯管采用双环氧粉末加强级+增强纤维聚丙烯胶带，补口采用辐射交联聚乙烯热收缩带；管道阴极保护采用强制电流法，对交流干扰段采用设置去耦合器加锌带对交流干扰进行综合防护。

（1）管道外防腐层的特性要求



按照《钢质管道外腐蚀控制规范》（GB/T 21447-2018）要求，埋地输配管道外防腐层一般应具备下列特性：

- 1) 有良好的绝缘性，涂层电阻不应小于 $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{m}^2$ ；
- 2) 有良好的稳定性；耐老化性能好；化学稳定性好，耐化学和微生物腐蚀；耐水性好，吸水率低；
- 3) 有较好的阴极剥离强度，使防腐层在有效期内与管体保持紧密粘结；
- 4) 有足够的机械强度；有一定的抗冲击强度，以减少运输和施工过程中的损伤；有良好的抗弯曲性，以确保管道弹性敷设或冷弯时不致防腐层损坏；有良好的耐磨性，以防止土壤摩擦而损伤；
- 5) 与管道有良好的粘结性；
- 6) 抗植物根系穿透；
- 7) 涂料来源广泛，质量可靠，价格低廉；
- 8) 能机械化连续生产，满足工程建设需要；
- 9) 易于现场补口、补伤；
- 10) 外观光滑平整与土壤摩擦系数小，可减少外部阻力。

（2）管道外防腐层的选用原则

合理选择管道涂层，其评价标准应包括：原材料、涂敷工艺、管道施工及运输、工作寿命、费用等内容。首先，必须保证所选的涂层应具有预期的功能，即必须保证管道在所要求的寿命期内不能因为腐蚀而中断管道的正常运行；同时必须满足管道施工、运行的要求，并尽可能降低工程成本。

（3）主要防腐涂层的介绍及性能对比

目前国内燃气管线常用的管道防腐层主要有环氧粉末、三层 PE。环氧粉末使用温度范围宽、耐土壤应力好、耐化学介质浸泡、硬度高、摩擦系数小，不产生阴极保护屏蔽，是一种性能优良的外防腐涂层，但由于是薄涂层，其耐冲击性能有限，管线从防腐预制厂到施工现场距离长，长途运输、堆放、布管、下沟及回填等施工各环节中防腐层易损伤；同时现场的人为损伤也是不能忽视的因素。因而，环氧粉末从涂敷预制到施工均需格外细致，现场补伤量很大，对管线施工环境和施工技术要求高。



三层 PE 结构防腐层具有抗冲击性好、水汽渗透率低、绝缘电阻率高等优良性能，是一种比较完善的长输管道外防腐涂层。此涂层是目前我国长输管道工程上首选的涂层。

两种防腐层在国内都得到了广泛的应用，材料均国产化，且国内均具备多个生产厂家，虽然价格方面三层 PE 较环氧粉末高，但三层 PE 防腐层利于管道的运输和施工，还减小了管道防腐层的修补工作量，综合性能更优。

(4) 直管外防腐涂层方案确定

考虑防腐层的综合性能，确定本工程直管段管道外防腐层选用三层 PE 防腐。在穿越及存在交流干扰的地段采用三层 PE 加强级防腐层，其他地段原则上可以采用三层 PE 普通级防腐层，但沿线普通级与加强级管段穿插分布，考虑到布管及施工采办、施工组织的方便性，另外根据目前普通级与加强级的价格差很少，单平米价格差仅为 5 元，采用普通级防腐层虽然节约部分投资，但与给施工布管带来的组织上的麻烦相比效益不显著，同时考虑雄安新区人口密度大，安全要求高，故全线采用常温型三层 PE 加强级外防腐。三层 PE 防腐预制及施工执行《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》(GB/T 23257-2017) 技术要求。防腐层厚度见下表。

表8.13 防腐层厚度表

钢管管径(mm)	环氧粉末层 (μm)	胶粘剂层 (μm)	最小总厚度 (mm)
D508	≥ 150	≥ 170	3.2

(5) 穿越管道防腐层结构

根据《穿越管道防腐层技术规范》SY/T 7368-2023，穿越段管道防腐层结构可采用三层结构聚乙烯、双层熔结环氧粉末、三层结构聚乙烯+环氧玻璃钢、双层熔结环氧粉末+环氧玻璃钢、其他防腐层+环氧玻璃钢等几种形式。近年来三层结构聚乙烯+环氧玻璃钢防护层结构在众多项目中得到了应用，以保证管道防腐层完整性和长期安全运行。环氧玻璃钢防护层优点如下：

1) 优异的性能

环氧玻璃钢是采用改性环氧树脂和高强度玻璃纤维布粘接而成，保护层硬度高、有很好的耐划伤性能。实验室测试表明：固化 48 小时后使用 $\Phi 2\text{mm}$ 钢质划伤头进



行 100Kg(相当于 318MPa)抗划伤台架测试,平均划痕深度 $<300\mu\text{m}$,呈现出硬度高、耐划伤、耐磨损的优异性能。

2) 操作简便,环氧树脂常温固化,保护层施工简便

3) 环氧玻璃钢保护层对于管道焊口补口部位的施工和保护层损伤部位的修补容易,操作简便。

3) 优异的防腐性能,环氧玻璃钢保护层及配套技术与管道防腐层粘结性能好,在穿越过程中不易剥离。

4) 良好的适应性,对于管道防腐材料及材料表面无特殊要求。

基于环氧玻璃钢防护的优点,结合规范条款要求,对于定向钻穿越段,燃气管采用加强级三层结构聚乙烯+环氧玻璃钢防护的做法。为了更好地保护防腐层等级,环氧玻璃钢防护类型采用 B 级,结构为“三布七油”,环氧玻璃钢厚度应 $\geq 1.5\text{mm}$ 。环氧玻璃钢防护层由环氧涂层材料和玻璃纤维布组成,玻璃纤维布材料性能、环氧涂层材料性能应满足《穿越管道防腐层技术规范》SY/T 7368-2023 中表 5.1.3-1 与表 5.1.3-2 要求,环氧玻璃钢防护层的性能应满足《穿越管道防腐层技术规范》SY/T 7368-2023 中表 5.1.3-3 的要求。

(6) 弯管防腐

冷弯弯管直接采用防腐好的直管弯制而成。

热煨弯管通常在工厂预制,由于其特殊的结构,现场防腐处理无法满足质量要求;而且三层 PE 防腐层的预制工艺不适用于热煨弯管防腐;另外,由于人工施工不易控制,聚烯烃冷缠带的搭接缝隙易发生粘结失效,因此不选用。

目前弯管双层熔结环氧粉末防腐层应用较多,工艺较成熟,由于采用在弯管防腐作业线进行预制,防腐层质量受人为因素影响相对较小,因此推荐采用加强级双层熔结环氧粉末防腐层。双层熔结环氧粉末外防腐层应由底、面两层环氧粉末一次喷涂成膜而构成,防腐层厚度:底层厚度 $\geq 300\mu\text{m}$;外层厚度 $\geq 500\mu\text{m}$;总厚度应 $\geq 800\mu\text{m}$ 。因环氧粉末防腐层吸水较高,管道沿线地下水位高,故在环氧粉末防腐层外再缠绕增强纤维聚丙烯胶带起到防水作用,同时在实际的运输途中及施工时避免热煨弯管收到磕碰导致防腐层受到损伤。

8.9.2 补口与补伤

管道现场补口是对管道外防腐层的完善，补口质量的好坏直接影响整条管线的使用寿命，是质量控制的重要环节。因此补口应采用性能可靠、现场环境条件适应性强、施工操作方便和技术经济性好的材料。常用的补口方式如下：

热收缩带：热收缩带是国内应用最广泛的三层 PE 防腐层管道补口材料，一般由辐射交联聚烯烃基材和密封热熔胶复合而成，其中密封热熔胶可与聚烯烃基材、钢管表面实现良好黏结。热收缩带在安装时，其基材径向收缩，同时内部密封热熔胶熔化，紧紧包覆在补口处，从而形成防腐层，具有耐磨损、耐腐蚀、剥离强度高、抗冲击等性能。

粘弹体+外护带：粘弹体是一种永不固化的粘弹性聚合物复合在聚乙烯薄膜上制成的冷缠胶带，粘弹体胶带自身的机械强度低，所以必须采用配套的外护带以提高防腐层的整体机械强度。该种补口方式目前在管道补口维修及唐山液化天然气工程中有良好的应用记录，未大范围采用的主要原因是机械性能相对低，并且价格高。

无溶剂聚氨酯涂料：无溶剂聚氨酯涂料在国外用于三层 PE 的管道补口已经有近 15 年的应用历史，该涂料可以低温施工，固化时间短，具有耐磨、抗冲击、化学稳定性好，与 PE 搭接部位粘结性能好的优点。缺点是需要大型施工机具，在山区及丘陵段施工车无法作业，较适用于平原地区。

热收缩压敏胶带：热收缩压敏胶带采用“辐射交联聚乙烯+丁基橡胶改性压敏胶带”。与热收缩带相比，密封性能相当，与 PE 的粘结性能稳定，对管体及 PE 搭接部位不需要预热，烘烤温度低，只需烘烤到基材收缩，具有抱紧力即可，不像热收缩带需将热熔胶烤至充分融化，因此适用于低温施工。但是目前热收缩压敏胶带补口应用较少，并且价格较高。

鉴于三层结构的辐射交联聚乙烯热收缩带补口方式仍是国内外公认的最为成熟、可靠的三层 PE 防腐管补口技术，本工程线路管道一般段补口采用配套环氧底漆（干膜厚度 $\geq 200 \mu\text{m}$ ）+辐射交联热收缩带（厚度 $\geq 2.5\text{mm}$ ）。定向钻管道补口采用配套环氧底漆（干膜厚度 $\geq 200 \mu\text{m}$ ）+定向钻专用辐射交联聚乙烯热收缩带（厚度 $\geq 3.2\text{mm}$ ，带牺牲带）+环氧玻璃钢的做法。



三层 PE 防腐层管段的损伤，损伤处直径 $\leq 30\text{mm}$ 时，可采用辐射交联聚乙烯补伤片；直径 $> 30\text{mm}$ 的损伤，先用补伤片进行补伤，然后采用热收缩带包覆，热收缩带的宽度不小于 30cm。

热煨弯管外防腐层补伤采用双组分液体环氧树脂涂料修补。

在施工中，施工单位应注意采用适当的施工方式，避免在布管、回拖过程中造成防腐层的损伤。

8.9.3 定向钻穿越段管道外防腐层完整性检查

引起埋地管道外部腐蚀的原因主要为：涂层缺陷，在管道存在涂层缺陷的部位，当阴极保护失效时，就可能加速埋地管道外腐蚀的发生和发展，为提前预控管道的腐蚀风险，充分体现完整性管理中预防为主的指导思想，根据国标《埋地钢质管道阴极保护技术规范》（GB/T21448-2017）的规定，管道下沟回填密实后，对管道全线进行地面检漏测量，准确确定破损点位置，定性判断防腐层质量。漏点数不应大于 5 个/10km，并应对漏点进行开挖修补，根据《钢质管道外腐蚀控制规范》（GB/T21447-2018）的规定，在阴极保护系统调试时，应采取密间距测量法，确定管道得到了充分保护后方可交工，否则施工单位应对腐蚀活性点应进行开挖修补。

定向钻段管道防腐层完整性检测，由于穿越段管道位于无法进行常规的地面检测，因此，可采用馈电法测试定向钻管道的防腐层电导率，即对穿越段管道施加临时外加电流阴极保护，通过测量管道两端通电和断电电位以及保护电流密度来评价管道防腐层绝缘性能的方法。定向钻穿越施工完毕后应检查出土端外涂层的完整性、是否存在贯穿性损伤等，并按照《穿越管道防腐层技术规范》SY/T7368-2023 规范附录 A 规定的方法，对穿越段外涂层电导率进行测试。按照以下步骤进行现场测量：

（1）测试应在管道回拖完成 15d 后，并在管道未连头之前进行。测试前应确保管道两端裸露的金属不与土壤接触。

（2）首先，在管道的出土端和入土端使用便携式硫酸铜参比电极和万用表分别测量并记录管道的交流及直流电位。测试过程中，硫酸铜电极的位置应固定不变。如果记录的交流管地电压超出了最大电压准则，应采取减缓措施使交流管地电压达到可以接受的安全工作电压，才可以进行下一步测试工作。



(3) 在定向钻管道一端安装临时强制电流阴极保护系统,采用输出可调的直流电源电源正极通过导线与临时阴极保护系统连接,电路中串联电流表,电源负极与定向钻管道进行连接。

(4) 启动阴极保护系统,极化半小时,待管道电位稳定后,测量并记录阴极保护系统通电和瞬间断电时管道两端的电位(通电电位和断电电位)。断电电位值应在-1100~-850mV。

(5) 在进行电位测试的同时记录电流表的读数。

(6) 采用温纳四极法测量并记录管道穿越处两端的土壤电阻率,土壤电阻率测试深度应与管道最大埋深相同。对管道两端的土壤电阻率取算数平均值,用于防腐层电导率的计算。

(7) 根据测试结果,计算涂层的归一化电导率。

穿越段外涂层电导率检测结果按照表 8.14 进行评价。新建管线穿越段防腐层标称电导率不应大于 $200 \mu S/m^2$,若测试结果大于 $200 \mu S/m^2$ 时应对穿越段管道附加阴极保护措施。

表8.14 涂层电导率与防腐层质量比照表

标称电导率 λ ($\mu S/m^2$)	防腐层质量
$\lambda \leq 100$	优
$100 < \lambda \leq 200$	良
$200 < \lambda \leq 1000$	一般
$\lambda > 1000$	差

8.9.4 阴极保护措施

(1) 阴极保护方案

管线的阴极保护方法通常有强制电流法和牺牲阳极法,两种方法各有优缺点和应用范围。

其中,牺牲阳极法的优点有:不需要外部电源、对邻近金属构筑物无干扰或干扰很小、保护电流分布均匀、工程规模越小越经济等;但其缺点也较为明显,如:保护年限短、不宜在高电阻率环境下使用、保护电流的大小不易调节等。因此,牺牲阳极法常用于管线较短、管径较小密集敷设的城市管网保护中。



强制电流法的优点有：输出电流连续可调、保护范围大、不受环境电阻率的限制、保护装置寿命长、工程规模越大越经济等；缺点是：需要外部电源、维护管理工作量较大，而且可能对周围管线或构筑物造成干扰。强制电流法常用于站外管道较长的管线的保护。

雄安新区燃气高压环网一期工程管线起自定兴分输站天然气侧新建 2#门站，止于现状南张调压站。高压管道管径为 D508，线路总长度约 12.7km，整体采用强制电流阴极保护方案。

为了检测管道沿线的阴极保护电位和电流等阴极保护参数，需在沿线安装一定数量的测试桩来实现。沿线管道每公里设 1 支智能电位测试桩，在本段穿越点两侧各设置 1 支智能电位测试桩，智能电位测试桩兼做线路里程桩。

电缆与管道采用铝热焊连接。阴极保护数据将通过无线输入进入阴极保护监控系统。

(2) 临时阴极保护

根据《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448-2017 规定，外加电流阴极保护系统应在管道下沟回填后 3 个月内投运，不能投入运行时，应采取相关措施。临时保护的设计寿命通常按 2 年考虑，临时阴极保护采用镁阳极。

在穿越两侧各设置 1 支电位测试桩及 1 组镁合金牺牲阳极（每组 2 支）进行临时保护，牺牲阳极与测试桩设置在同一位置。阳极通过智能电位测试桩与管道连接，外加电流正式投产前，应断开与牺牲阳极的连接，实现对管道的临时阴极保护。

8.9.5 防腐层质量保障措施

1) 工程勘察

地质勘察应尽量准确，为设计提供尽可能准确的地质资料，从而保证设计选择最合理的穿越层位。本项目地勘报告成果于 2024 年 11 月现场勘探后完成。

2) 施工检测

水平定向钻穿越管道回拖前首先对回拖的钢质管道外防腐层进行外观检查，并采用 15 kv 电火花检漏仪对全部管线进行漏点检测，穿越管道防腐层应无漏点后方可



回拖。三层聚乙烯防腐层(3PE)的漏点检测执行现行国家标准《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》(GB/T 23257-2017)的相关规定。

3) 泥浆配比

定向钻钻进、扩孔和回拖阶段均应选择合理的泥浆配比，管道回拖过程中是不旋转的，管壁四周与孔洞之间由合理配比的泥浆润滑，扩好的孔中充满泥浆，管道在扩好的孔中是处于悬浮状态，这样即减少了回拖阻力，又可较好地保护管道外防腐层。

4) 扩孔

扩孔成孔时应采用数级预扩孔，具体可根据施工工艺调整，本项目扩孔直径按照不小于主管道和通信光缆保护套管管径之和的 1.2~1.5 倍进行扩孔，扩孔直径取 900mm。

5) 清孔检查

定向钻扩孔完成后，应对所扩孔进行清孔检查，孔内干净，检查没有不可逾越的障碍物后，方可通过发送沟或发送道回拉管道。

6) 回拖

回拖时采用发送沟或发送道的方式，减少摩擦阻力保护防腐层，回拖管线应及时、连续进行，除发生不可抗拒原因外，严禁在施工中无故停拖。

7) 定期对管道进行检测

管道投运后通过管道检测可以发现管道本身以及防腐层存在的问题，分为内检测和外检测。内检测反映的是管道的整体情况，但只能间接判断防腐层的状况，而外检测可以直接判断防腐层状况，但通常只能代表局部，因此投运后采用内外检测技术对管道进行检测。运行中后期关注管道内检测结果，对比历次异常信号变化可以判断管体外腐蚀的活跃程度，并由此判断防腐层的状况。发现问题及早处理，确保管道的腐蚀控制有效。

8.10 管道标识

线路标识包括线路标志桩、警示牌和警示带，其设置参照《城镇燃气标志标准》CJJ/T153-2010、《油气管道线路标识设置技术规范》SY/T6064-2017 执行。



穿越桩：管道穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段两侧分别设置穿越桩。

警示牌：管道穿越南水北调中线天津干线保定市 1 段两侧分别设置警示牌。

警示带：在开挖段管道管顶上方 0.5m 处设置警示带，警示带宽 0.5m。

8.11 数字化管道

从工艺运行、管道保卫等方面提出以下智能化运营建项。

(1) 全面集中远控，实现调度中心对设备设施与生产运行的全面远程监控。完善各系统远程控制技术要求，包括远控信号数量和信号类型、控制逻辑等，达到现场无人操作控制水平。

工艺运行全面感知、智能控制。以 SCADA 系统为核心，基于各类感知元件与数据，生产及其辅助系统全面实现自动化，运行控制与保护实现逻辑化、程序化和标准化。

(2) 利用管道沿线光缆实现穿越处视频监控。

在穿越处适当位置设置一处视频监控，进行全天候监控。前端监测点包含网络红外智能球型摄像机（低功耗）1 台、太阳能板 1 套、蓄电池 1 套、工业级以太网交换机 1 套和监控立杆 1 基。

监控点视频数据通过管道光缆传至 2#门站，再通过网络运营商专用光纤传至能源公司视频监控系统；南水北调公司可根据需求访问视频监控系统，调取需求视频实现远程观测（具体如何访问需要能源公司能管平台厂家配合完成）。

管道保卫：重点监视、智能巡护。基于巡线影像与智能监控图像，自动识别和比对巡线时地面情况与重点监控区域变化，给出需要技术人员现场查看提示，指挥人员现场确认、快速处置。

后期待管道运行后，按照《特种设备安全监察条例》、《压力管道安全管道与监察规定》、《压力管道定期检验规则-公用管道》TSG D7004-2010 等相关要求，对燃气管道进行定期检验。待检验工作完成后，将检验报告纸质版成果提交给南水北调天津干线管理分公司。

8.12 设计使用年限及安全措施

本穿越段燃气管道设计使用年限为 30 年。穿越段所用管材使用年限为 30 年，超出使用年限后，对管线进行检测评估，根据检测评估结果，燃气管道按照降压继续运行或进行报废处理。

燃气管道的具体使用年限与管道周边环境有密切的关系。在使用期间，为保障燃气管道的安全，对燃气管道采取了以下安全措施。

(1) 管道防腐

1) 管道防腐及补口做法

对于定向钻穿越段，燃气管采用加强级三层结构聚乙烯+环氧玻璃钢防护的做法。为了更好地保护防腐层等级，环氧玻璃钢防护类型采用 B 级，结构为“三布七油”，环氧玻璃钢厚度应 $\geq 1.5\text{mm}$ 。环氧玻璃钢防护层由环氧涂层材料和玻璃纤维布组成，玻璃纤维布材料性能、环氧涂层材料性能应满足《穿越管道防腐层技术规范》SY/T 7368-2023 中表 5.1.3-1 与表 5.1.3-2 要求，环氧玻璃钢防护层的性能应满足《穿越管道防腐层技术规范》SY/T 7368-2023 中表 5.1.3-3 的要求。

定向钻管道补口采用配套环氧底漆（干膜厚度 $\geq 200\mu\text{m}$ ）+定向钻专用辐射交联聚乙烯热收缩带（厚度 $\geq 3.0\text{mm}$ ，带牺牲带）+环氧玻璃钢的做法。

根据国标《埋地钢质管道阴极保护技术规范》（GB/T21448-2017）的规定，管道下沟回填密实后，对管道全线进行地面检漏测量，准确确定破损点位置，定性判断防腐层质量。

2) 定向钻段管道防腐层完整性检测

由于穿越段管道位于无法进行常规的地面检测，因此，采用对穿越段管道施加临时外加电流阴极保护，通过测量管道两端通电和断电电位以及保护电流密度来评价管道防腐层绝缘性能的方法。该测试执行 Q/SY 1477-2012。检测的合格标准为：定向钻穿越施工完毕后应检查出土端外涂层的完整性、是否存在贯穿性损伤等，并按照 Q/SY 1477-2012 规范附录 D 规定的方法，对穿越段外涂层电导率进行测试，测试宜在穿越完成 15 天后、与主管线连接前进行。



穿越段外涂层电导率检测结果按照表 8.3 进行评价。新建管线穿越段防腐层标称电导率不应大于 $200 \mu S/m^2$ ，若测试结果大于 $200 \mu S/m^2$ 时应对穿越段管道附加阴极保护措施。

(2) 阴极保护

整体管线采用外加电流阴极保护系统，根据《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448-2017 规定，外加电流阴极保护系统应在管道下沟回填后 3 个月内投运，不能投入运行时，应采取相关措施。临时保护的设计寿命通常按 2 年考虑，临时阴极保护采用镁阳极。

在南水北调穿越双侧各设置 1 组镁合金牺牲阳极组（每组 2 支，8kg/支），与测试桩设置在同一位置，阳极通过智能电位测试桩与管道连接，外加电流正式投产前，应断开与牺牲阳极的连接，实现对管道的临时阴极保护。电缆与管道采用铝热焊连接。阴极保护数据将通过无线输入进入阴极保护监控系统。

在穿越两侧各设置 1 支电位测试桩及 1 组镁合金牺牲阳极（每组 2 支）进行临时保护，牺牲阳极与测试桩设置在同一位置。在全线进行断电测试时，应断开与镁合金阳极组的连接。

(3) 管道定期检验

根据《压力管道定期检验规则—公用管道》TSG D7004-2010，对于运行的 GB1 级公用高压燃气管道，应进行定期检验，定期检验包括年度检查、全面检验与合于使用评价，定期检验要求(包括报告格式)参照《压力管道定期检验规则--长输(油气)管道》(TSG D7003)，其中地区级别划分按照《城镇燃气设计规范（2020 年版）》GB 50028--2006 执行。

年度检查，是指在运行过程中的常规性检查，年度检查至少每年 1 次。

全面检验，是指按一定的检验周期对在用管道进行的基于风险的检验。新建管道的首次全面检验时间不能超过本规则 TSG D7004-2010 表 1 的规定，首次全面检验之后的检验周期按照 TSG D7004-2010 第二十条确定。

合于使用评价，在全面检验之后进行。合于使用评价包括对管道进行的应力分析计算；对危害管道结构完整性的缺陷进行的剩余强度评估与超标缺陷安全评定；对危



害管道安全的主要潜在危险因素进行的管道剩余寿命预测；以及在一定条件下开展的材料适用性评价。

8.13.0 施工注意事项

- 1) 由于该段管道穿越涉及到南水北调、规划等问题，穿越施工时应与南水北调、规划等地方有关部门取得联系，做好相关的协调工作以保证施工顺利进行。
- 2) 穿越处地下水其化学成分有可能对于泥浆性能有影响，应予以注意。
- 3) 施工应注意风险因素。通过设计、施工、监理和建设管理的共同努力、科学应对、严格管理、合理加大施工投入，特别是施工单位应作好严密和切实可行的各工序施工方案、技术措施和相关安全预案，做好施工技术准备和储备，做到风险可控。
- 4) 本穿越建议施工时采用环保泥浆，并注意泥浆和压力控制，防止冒浆和泥浆漏失污染等，施工应特别注意环境保护，按相关要求执行。施工过程中应注意控制泥浆压力和钻进速度以避免出现冒浆和沉降现象。
- 5) 施工前应探明和调研已建管线、电缆、通信线等设施，施工时应根据地质情况、钻进工艺影响，制定保护措施，确保钻孔、扩孔及回拖工序避开和不要影响已探明管线等设施的运行安全。
- 6) 施工过程中应加强地面、河道的观测，控制好定向钻钻进工艺、泥浆压力等施工参数，若发生异常情况时，应立即停止施工，并上报相关主管部门，查清原因和采取措施后，方可继续施工。观测按防洪评价要求和河道相关管理部门要求进行。
- 7) 定向钻施工入、出土侧的开挖部分，应采用粘性土密实回填，并根据规范要求恢复地形、地貌。
- 8) 施工及生活废水、弃物、残渣等应按环境保护评价和环保部门的要求进行处理，达标后方可按规定排放。



9 定向钻穿越风险及技术措施

9.1 地质结构风险分析及技术措施

根据勘察资料，定向钻预计深度内穿越的地层总体可钻性、成孔性较好，有利于定向钻施工；但是穿越地质条件相对较为复杂，为确保穿越施工成功，将施工风险降到最低，设计对定向钻穿越地层的风险进行了分析并提出应对措施建议。

表9.1 定向钻穿越风险分析

穿越层位	地层简况	风险分析
②3 粉土	摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁及少量姜石，局部含粉砂、粉质黏土透镜体；属中高-中等压缩性土。	土质可采用定向钻，但地层较松软，而本穿越工程成孔孔径大，泥浆易漏失，扩孔级数多，成孔稳定性变差，孔洞易坍塌。
④2 粉质黏土	含云稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁、姜石等，局部夹粉土薄层；属中高-中等压缩性土。	
④3 粉土	摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁等，局部夹粉质黏土薄层；属中高-中等压缩性土。	
⑤ 2 粉质黏土	稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁、姜石等；属中高-中等压缩性土。	
⑤3 粉土	摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁及少量姜石等，局部夹粉质黏土薄层；属中高-中等压缩性土。	
⑤4 粉质细砂	含云母片，矿物成分以长石、石英为主，局部夹粉土、粉质黏土薄层；属低压缩性土。	
⑥ 2 粉质黏土	稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁、姜石等；属中高-中等压缩性土。	
⑥3 粉土	摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁等，局部含粉砂透镜体；属中高-中等压缩性土。	
⑥4 细砂	含云母片，矿物成分以长石、石英为主，局部夹粉质黏土、粉土薄层；属低压缩性土。	
⑦ 2 粉质黏土	稍有光泽，干强度、韧性中等，含云母、氧化铁、姜石等，局部夹粉土、细砂薄层；属中高-中等压缩性土。	
⑦ 3 粉土	摇振反应中等，无光泽，干强度、韧性低，含云母、氧化铁等，局部含粉砂透镜体；属中高-中等压缩性土。	
⑦ 4 细砂	含云母片，矿物成分以长石、石英为主，局部夹粉质黏土薄层；属低压缩性土。	

技术措施如下：

- ① 设计曲线合理，加大曲线半径，减少穿越过程的阻力。
- ② 合理配置泥浆，现场配置泥浆实验装置，通过现场泥浆实验室测试泥浆各项参数，控制参数在合理的范围内；为保证成孔的稳定性和钻屑的充分携带，宜采用高密度、高粘度、低滤失、防塌型、大排量泥浆，提高液柱压力平衡地层压力，减小孔



洞的塌方、钻具磨损及回拖阻力；为了确保泥浆的性能，使膨润土有足够的水化时间，增加泥浆储存罐和泥浆快速水化装置。

③ 扩孔钻具选择：选用板桶一体式低质轻扭扩孔器进行扩孔，可有效降低扩孔器在孔洞内的下沉量，同时板桶一体式扩孔器对于此类地质的挤压式扩孔有很好的效果。挤压式扩孔可以增大孔壁的强度和密度，有效地降低塌孔风险。

④ 当塌孔严重、塌块尺寸很大时，在保持环形空间层流状态的前提下可加大钻头水眼，使用高泵压和适当排量冲洗，以便将坍塌的大块岩屑带出地面。冲洗时可配制一定量的高切力、高粘度泥浆清洗孔底和钻屑。

⑤ 适当控制泥浆粘度，保持充分的流动性和悬浮性，适当添加悬浮剂和强降失水剂。

⑥ 开泵、起下钻不要过猛过快，以减少钻具、钻头对孔壁的剧烈撞击和液柱压力激动，同时要防止钻头泥包和起下钻时抽吸。

⑦ 施工中注意钻进工艺特别是控制钻进速度，发现异常立即停止施工，严禁强行钻进。施工应有补浆和堵漏预案。

9.2 在管道回拖的过程中的风险和技术措施

① 注意泥包钻和拖管时的黏土吸附作用。适当控制泥浆粘度，保持充分的流动性和悬浮性，适当添加悬浮剂和强降失水剂；

② 严禁二接一，拖管时必须保持连续性；若遇阻避免强行拖拽，可采用回拉等方式进行松动，必要时采取夯管锤进行松动等。

③ 为了降低管道回拖入洞施工难度，提高回拖成功率，在出土端采用“开挖预制坑+吊管机+吊篮+发送沟”的回拖吊装设计方案，可解决管道回拖入洞困难问题。

9.3 大洞径泥浆回流问题

大洞径定向钻穿越，保证泥浆有合理的流速及从入土点返浆非常重要，由于目前我国施工已有成熟经验，可根据地质和钻进工艺情况，科学进行泥浆配比，控制泥



浆压力，适当采用大排量泥浆泵、合理设置泥浆短节和泥浆对注、合理确定扩孔尺寸和洗孔次数，及时进行清孔，增加堵漏预案等是可以解决上述问题的。

9.4 施工承包商、设备及材料

就本穿越管径及穿越长度，国内现有施工设备和钻具性能能满足要求，因此钻具的选择及连接是否正确，进场设备及钻具的安全性能是否完好，备品备件是否充足等尤其重要；同时在本地层结构条件下孔壁在钻导向孔、预扩孔和回拖时是否稳定，泥浆材料供给是及时也很重要；现场实际施工工序衔接，特别是管道组装和钻（扩）孔工序是否衔接等都要注意。一旦开工，不能因设备和材料影响工程成败。

施工应选择有类似地层丰富施工经验的承包商，施工承包商应作好严密并切实可行的各工序施工方案、技术措施和安全预案等及审查，严格按规范和设计要求施工。

9.5 环境保护措施

定向钻穿越施工不能避免的会对环境造成一定的破坏。工程占地、施工活动等将不可避免地扰动地表，破坏植被，引起水土流失；定向钻产生的废弃泥浆会对环境产生影响。因此，河流穿越施工必须采用切实有效的技术措施防止对环境产生破坏。

（1）水土流失防治措施

防治水土流失的关键是强调施工工期合理安排；强调对临时工程的及时防护。加强施工期的监督和管理。对可复垦与绿化地段，在施工结束后对上覆植土进行复垦与绿化。

（2）废弃泥浆处理措施

要做好泥浆回收处理，在入土点、出土点场地各布置一台泥浆回收系统和一台泥浆泵，将两侧回收处理合格的泥浆同时通过钻杆重新打入地下，既节约了泥浆配置材料，增大了泥浆排量，又减少了废浆量，保护了周围环境；回收废泥浆时分离出来的泥沙等，设专门的堆放场地；定向钻穿越施工完成后，对剩余泥浆和回收废泥浆时分离出来的泥砂运送到当地垃圾填埋场；剩余泥浆外运，都要征得相关部门同意，不

可能造成环境污染。剩余泥浆外运时要使用密封好的灌车运输，防止运输过程中泥浆洒落到路途上。

(3) 固体废弃物及生活垃圾的处理措施

施工期间由于大量施工人员及机械设备进入，将会产生大量的生活垃圾和固体废弃物，若不进行处理，必将对环境产生污染。所以，我们对生活垃圾和废弃物采取集中收集堆放，定期对其进行消毒后运至弃渣场挖坑掩埋，有效防止此类垃圾对环境造成污染。

(4) 场地恢复

施工完毕后，对施工现场进行平整、清理，将地貌恢复到原貌。并根据当地主管部门要求或批复施工方案进行绿化，为工程验收创造有利条件。



10 通信光缆

10.1 通信光缆穿越必要性

根据管道输气工艺及自动化控制对通信业务的要求，为输配管道的生产调度、行政管理、巡线抢修等提供多种通信服务，同时为管道 SCADA 系统的数据传输、远程监控等系统提供可靠的通信通道，同时防止管道遭到非法破坏及管道周边非法开挖，本工程设置管道光纤预警系统。

系统基于相分布式管道光纤预警监测技术，利用与管道同路由敷设的 24 芯通信光缆作为传感器，在 2#门站设置光纤预警主机，实现全线第三方损坏自动报警和定位功能。同时利用上述 24 芯通信光缆（其中两芯）作为信道，实现 2#门站与南张调压站之间的信息交互。

开挖沟埋段通信光缆与管道底部平齐并与管壁垂直间距 300mm，定向钻穿越段采用通信光缆钢套管与主管道同孔回拖的穿越方式。

10.2 穿越方案选择

10.2.1 穿越方式

光缆穿越南水北调方式可采用与主管道同孔回拖及单独成孔穿越两种方式。与主管道同孔回拖的方式是指在扩孔时，按照通信光缆钢套管与主管道一同回拖的要求进行扩孔，待扩孔完成后，通信光缆钢套管与钢套管一同回拖的方式。独立成孔定向钻穿越是指主管道与通信光缆均采用定向钻穿越方式，独立扩孔，独立回拖的方式。

通信光缆钢套管与主管道同孔回拖的方式在以下几个方面具有特点：

（1）缩短工期

本项目途径保定市定兴县、徐水区、雄安新区容城县，沿途经过的村落较多，会给当地居民带来些许不便，同时项目征地问题错综复杂，产生不利因素影响项目推



进，所以采取措施缩短工期十分必要。同孔回拖技术减少了一次光缆套管的定向钻穿越，明显缩短了工期。

(2) 减少穿越次数和费用
同孔穿越南水北调天津干线，减少了一次定向钻光缆穿越(包括钻孔、回拖钢套管、套管内吹缆等)，减少总穿越次数，同时可避免二次穿越时的相互影响。采用同孔回拖，只要在光缆选型、拖头制作及施工中的技术要求等几个方面严格要求，几乎不用考虑光缆给管道穿越带来的风险因素。

同孔回拖的应用减少一次大型设备移位，可减少征地面积，又可节省部分费用，仅增加同孔回拖需要的拖头制作、回拖等相关费用。

因此本穿越光缆穿越南水北调方式采用与主管道同孔回拖的定向钻穿越方式。

10.2.2 穿越位置选择

本工程沿线一般段同沟敷设一根光缆，在南水北调中线天津干线保定市 1 段穿越位置处，采用通信光缆钢套管与主管道一同定向钻穿越的方式，穿越点位置与主管道穿越位置一致。

10.2.3 穿越管材

定向钻穿越段管道光缆保护管采用 D114mm×6mm 20 无缝钢管。

10.2.4 钢套管防腐、补口

通信光缆钢套管用于保护通信光缆，钢套管外加三层 PE 结构防腐层（普通级），三层 PE 防腐预制及施工执行《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》（GB/T 23257-2017）技术要求。防腐层厚度见下表。

表10.1 防腐层厚度表

钢管管径(mm)	环氧粉末层（μm）	胶粘剂层（μm）	最小总厚度（mm）
D114	≥120	≥170	1.8



由于通信光缆钢套管与主管道为同孔回拖，在光缆套管补口处采用配套环氧底漆（干膜厚度 $\geq 200\mu\text{m}$ ）+辐射交联热收缩带（厚度 $\geq 3.2\text{mm}$ ），避免光缆焊口与管道壁面的摩擦而损坏管道的防腐层。

10.2.5 穿越地层选择

为满足《油气管道穿跨邻接南水北调中线干线工程项目设计技术规定》QNSBDZX 112.03—2021 要求，定向钻主穿越层与主管道一致，在粉质黏土⑦₂层。

10.3 附属设施

光缆线路标识包括通信手孔、通信标石和警示带，设置原则如下。

通信手孔、通信标石：定向钻入、出土点分别设置通信手孔，通信手孔上方设置通信标石。

警示带：在开挖管道管顶上方 0.5m 处设置警示带，警示带宽 0.5m。

10.4 穿越管段计算

穿越管道的管道回拖工况应力校核、管道径向屈曲失稳计算见主管道计算章节。

10.5 光缆定向钻穿越施工技术要求

10.5.1 基本要求

光缆保护钢套管为 1 根 D114×6 20# 无缝钢管，采用在钢套管内拖入 2 根硅芯管 Φ40/33，再吹放光缆的方式进行穿越施工。

保护钢套管采用 D114×6 20# 无缝钢管，并作防腐处理，钢管质量按 GB/T8163-2018 执行。钢套管采用 E4316 焊条焊接，采用 100% 手工超声波探伤，达到 SY/T4109 二级为合格。为防止钢套管内焊瘤伤及硅芯管，钢套管对接焊口采用钝边为 1mm 不留间隙的单面焊，因此焊口探伤等级缺陷评判中可不考虑根部未焊透缺陷。

10.5.2 钢管组管

1) 岸上组焊钢套管

岸上组焊无缝钢管，为牵引入硅芯管方便，可将钢管每 140m 左右为一组。注意焊接时不留间隙。焊接完毕后，管外作防腐处理。采用 100%手工超声波探伤。

2) 分段清管

用钢绞线拖万向牵引头、铁锤和钢丝刷分段清管三次，除掉钢管内的焊瘤和焊渣。

10.5.3 硅芯管组装和穿入套管

1) 封堵住硅芯管口

用硅芯管堵头堵住硅芯管管口两端，不得让泥土、杂物进入硅芯管。

2) 岸上组装硅芯管管组

2 根 $\Phi 40/33$ 硅芯管管口对齐组成一个硅芯管组。从硅芯管牵引头部，沿每根硅芯管轴向每隔 25cm 对钻 1 对 $\Phi 10$ 小孔，钻 3 组，用 8 号纲丝十字捆扎硅芯管形成硅芯管组，6 根 8 号纲丝扭成 3 组，然后沿硅芯管组每隔 5m 用 2 吋宽打包用塑料带缠 6 圈进行捆扎。

10.5.4 牵引头制作

牵引钢丝绳用钢线卡子卡紧在 3 组 8 号纲丝上，组成拖放牵引绳。用拖放牵引绳连接万向牵引头，制作成硅芯管定向钻牵引头。

10.5.5 拖放硅芯管组穿入套管

用无缝钢绞线作牵引绳，低速拖放硅芯管组分段穿入钢套管。2 组硅芯管一次拖入无缝钢管内。为确保硅芯管在钢套管焊接时不受损伤，每穿一段硅芯管组留 15cm 不穿出钢套管口，焊接后再拖入下一段。

10.5.6 钢套管全程组管和拖管

1) 封堵钢套管管口连接万向牵引头



用与 $D114 \times 6$ 20# 无缝钢管外径相近的 $\delta 6\text{mm}$ 厚钢板，焊接封堵组焊后的钢套管两端口，由厚钢板组成的端帽一端应带有牵引环，再连接万向牵引头。

2) 低速拖放钢套管

用钻机拖放牵引绳和万向牵引头，将组管后的焊接钢套管拖入地下定向钻孔，直至对岸，拖放速度 $\leq 40\text{m/h}$ 。

3) 浇筑防渗墙

定向钻穿越两端防渗墙用 C20 混凝土浇筑，厚 $400 \times$ 宽 $2000 \times$ 高 2000mm ；防渗墙临箱涵一侧开挖部分用 3:7 灰土夯填压实；防渗墙与钢套管之间的 15mm 孔隙用热沥青麻丝填充塞紧，检测不漏水为合格。

4) 割掉多余钢套管

钢套管穿越后割掉多余钢套管，套管口两端露出硅芯管至少 5m ，切割中不得损伤硅芯管。

5) 封堵管缝

钢管两端口与硅芯管之间的缝隙要用防水堵料封堵，要求每端封堵长度在 500mm 以上，防止河水通过钢管和硅芯管的间隙相互窜水。

10.5.7 硅芯管气吹实验和气闭实验

1) 气吹试通

硅芯管敷设后要进行圆头型聚乙烯或尼龙 1010 棒气吹试通，以检验该段的可通性。试通棒直径为 $\Phi 23\text{mm}$ ，长度为 200mm 。

2) 气闭实验

大型穿跨越除进行气吹实验以外，还需按《通信工程线路设计规范》（GB51158-2015）进行气闭实验。

10.5.8 硅芯管引入手孔

1) 修筑手孔

在箱涵两岸各修筑埋地式复合型手孔一个，手孔井盖顶部离地面 800mm ，手孔的管孔数为 4 个（2 进 2 出）。



2) 开挖硅芯管引管段管沟

开挖硅芯管管沟至手孔，上口宽 800mm，下底宽 500mm，深 1200mm。沟底敷 200mm 厚细土。

3) 埋设硅芯管

用细土掩埋硅芯管厚 150mm，每隔 0.5m 用原土（砂）袋（25kg/袋）压重保护硅芯管，然后用原土将管沟全部回填。

4) 硅芯管引入手孔

用硅芯管接头接续硅芯管，并引入地面上两端手孔，硅芯管进入手孔长度不得小于 300mm。硅芯管每隔 2m 用塑料带缠 6 圈进行捆扎。用防水堵料封堵手孔内管孔，以防手孔有水灌入。

10.6 定向钻同孔回拖的技术保障措施

定向钻穿越工程采用同孔回拖施工，应对整个施工环节进行严格的质量控制。通过建立组织领导机构，保证质量体系能够顺畅有序运转，使各环节的施工质量处于受控状态并达到要求，并按照有关要求做好相关施工记录，将原始数据记录完整、详实做到有据可查，同时也便于分析问题和总结经验。此外，同孔回拖在以下主要的施工环节中采取相应的技术保障措施。

(1) 定向钻穿越回拖的环形空间成形

1) 对于长距离穿越采用有线控向系统，保证控向的精度。司钻人员要严格控制每根钻杆的弯曲角度，使每根钻杆的弯曲角度均匀，避免回拖孔洞产生过多的纵横向“S”弯，同时也要使产生的“S”弯有足够的曲率半径，保证孔洞的圆滑性，以减小回拖阻力、磨损管道和管道间的相互作用力。

2) 同孔回拖孔的直径控制在双管外径之和的 1.2~1.5 倍，以避免因孔径过小而造成卡堵现象。如确因地质条件限制，也应保证回拖孔的孔径为双管外径之和再加上 300 mm 的技术要求。本项目回拖孔径取 900mm。

3) 扩孔完成以后，至少对回拖孔进行两次清孔，清洗应干净彻底，防止孔内岩屑堆积引起“缩孔”，使回拖力增大甚至抱死。



(2) 泥浆质量及其适用性

在施工现场建立泥浆试验室,针对不同地层优选优化泥浆配方,使泥浆在不同施工阶段分别发挥悬浮、携屑、固壁、润滑等功能,以减少穿越风险。

(3) 光缆套管的焊接质量

光缆套管的焊口进行 100%超声波无损检测,焊接时要严格按照有关标准的要求进行,要求打坡口,防止虚焊,并进行严格的外观质量检查,防止回拖过程中拖断焊口而造成回拖失败。

对光缆套管的焊口采用冷缠胶带进行包裹,有效保护焊缝不刮蹭不磨损主管道防腐层,同时主管道防腐层采用加强级 3PE 防腐层,可抗冲击。

(4) 发送沟回拖管道

开挖发送沟时,采用全站仪进行测量放点,保证发送沟顺直,使发送沟轴线在实际穿越轴线的延长线上。发送沟的起点段应根据出土角挖出斜坡,使入洞时的管道与钻杆轴线的夹角接近于 0° 。发送沟的个别起伏弯曲部位采取加支撑、施加助力等措施。

(5) 光缆套管和主管道独立连接

光缆套管和主管道分别独立地连接在回拖万向节上。光缆套管和主管道不捆绑、不连接,处于相对独立状态,使其本身的应力能够自由释放,防止管道带着应力进入回拖孔中,避免相互挤压和缠绕,同时防止回拖力集中在光缆管或主管道上而造成回拖失败。

(6) 回拖速度控制

管道回拖应连续作业,并控制回拖速度,使管道回拖能够匀速前进。防止因回拖速度过快,主管进洞后挤压原孔内泥浆,造成泥浆压力激增,导致孔壁失稳。根据地层变化随时调整泥浆的排量和压力严格控制回拖拉力,避免超正常拉力进行回拖。

10.7 施工注意事项

1) 套管穿越完后对管孔进行疏通,将管孔清扫干净。采用吹缆方式吹送光缆。光缆穿越完成后,在穿入手孔内的硅芯管头加上护缆塞保护光缆。



2) 套管中硅芯管在拖放过程中, 严禁中接头, 也不得将硅芯管拖断。硅芯管在穿放前对钢套管进行清扫, 将管中毛刺、焊瘤等杂物清除, 施工时要严格把关。

3) 塑料管道加压前, 拧紧所有的连接件, 在硅芯管连接或断开之前, 确信压缩空气已释放。

4) 吹缆时管道对端必须设专人防护, 且看护人不得面对塑料管道的出气孔并与之保持一定的安全距离。

5) 看护人须随时与光缆吹送端作业人员保持通信联络, 防止试通棒、气吹头等物吹出伤人, 防护人员同时做好光缆吹出后的预留盘放。

6) 设备操作人员必须按章操作, 以确保人身、设备、光缆的安全。

试用水印



11 施工组织设计

经现场踏勘、地质勘察，南水北调穿越两侧地形开阔、平坦，有足够的组焊空间与钻机布置空间；穿越两侧可通过乡间水泥路到达施工场地（见图 12.4-1），方便施工机具到达现场。

11.2 施工程序

主要施工方法和程序见下图：

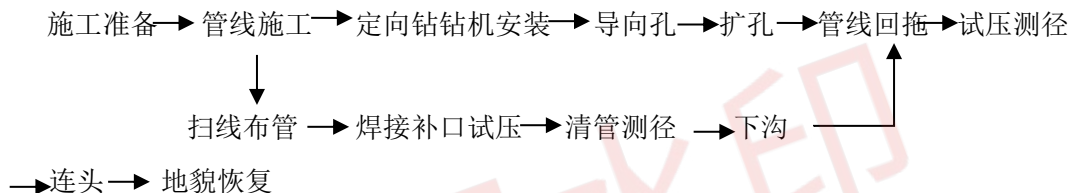


图11.1 施工程序图

完成征地工作之后，进行场地布置，做好场地的三通一平。然后机械设备、人员进场，正式开始定向钻的施工。

11.3 施工准备

首先对入、出土端施工现场用地面积用白石灰划出边界控制线，做好临时用地的征用工作。

向当地交通部门办理相关手续，利用现有交通道路，以便钻机等大型设备及车辆到达施工现场附近。

根据管线施工图纸及现场地形、地质勘察后取得的地形、地质资料，查明沿穿越路径上的所有地下设施（如管线、电缆、设备等），以及周围的公共设施。

清理施工带范围内影响施工机具通行或施工作业的石块、杂草、树木。

11.4 穿越场地布置与平整

定向钻穿越场地入土端 $60\text{m} \times 60\text{m}$ ，出土端 $40\text{m} \times 40\text{m}$ 。场地修垫方法：先用挖掘机整平压实原始地面，在其上铺垫土工布，然后其上铺垫 0.3m 厚碎石土，最后用挖掘机压实；在场地四周挖 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 排水沟，挖出的土在排水沟外侧 0.5m 处打土围堰 1.5m 高，宽 0.8m ，上层用编织袋覆盖，防止泥浆外流和雨水过大，淹没钻机场地。在入、出土端场地内各挖泥浆池 1 个，其尺寸为 $20\text{m} \times 20\text{m} \times 2\text{m}$ ，泥浆池底部与四周用土工布铺垫，以防泥浆渗漏到地层中。

本工程回拖场地按 16m 宽考虑，在回拖场地内、入土点与出土点所形成直线的延长线上，开挖一发送沟，发送沟沟底宽不小于 2.0m ，深度一般为 2.0m 。

进场便道根据实际情况修筑，修筑后路面能够满足大型设备进场要求即可，施工道路不应利用配套工程管理维护道路，重型施工机械及施工荷载不应影响配套工程及相关设施的安全。施工道路应避开暗涵或管道布置，必须要从管道上方通过时应保证通过车辆重量，并做好对暗涵或管道采取铺设钢板等必要的保护措施，定向钻场地布置示意图、出、入土点场地布置详见下图。

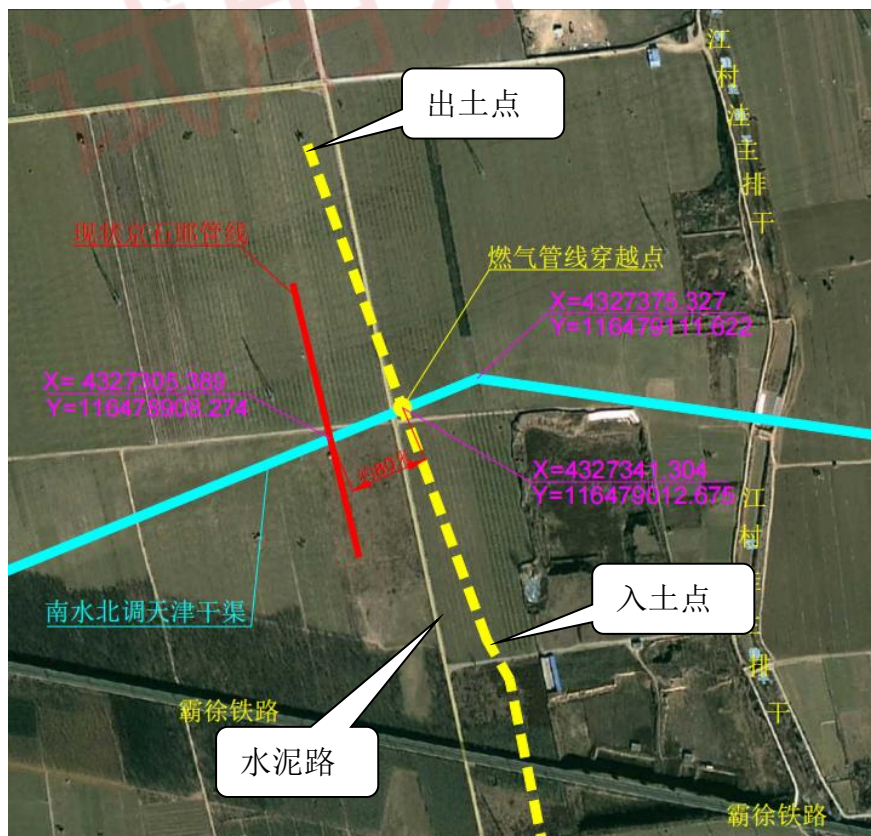




图11.2 南水北调穿越定向钻场地布置示意图

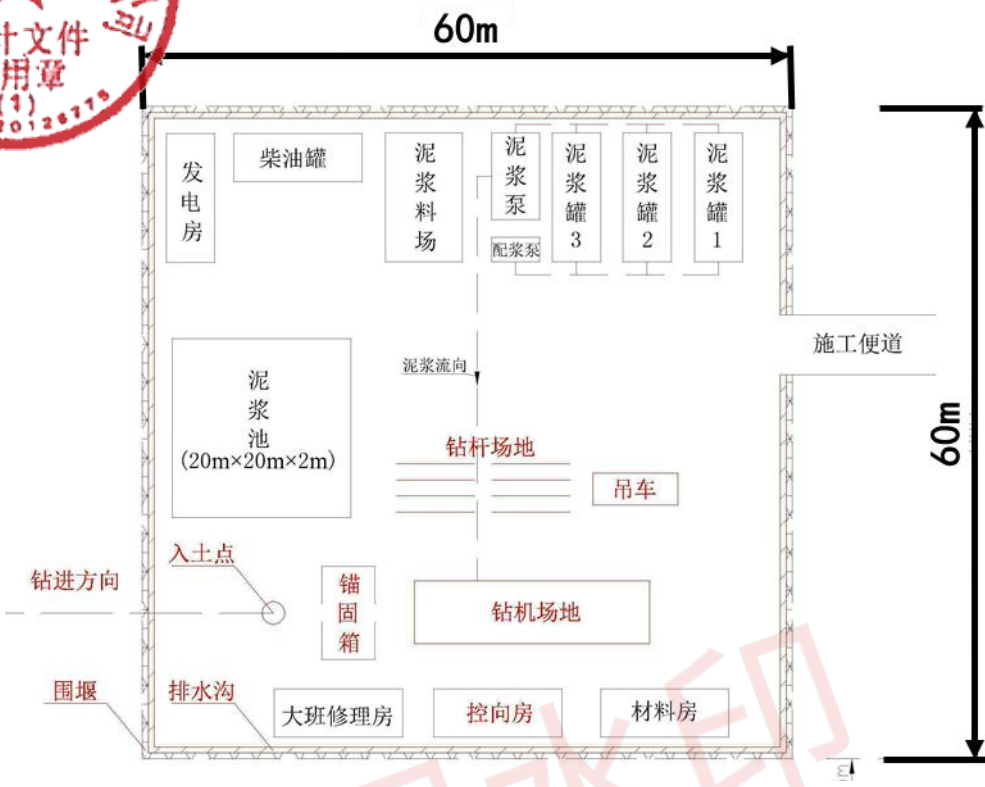


图11.3 定向钻入土端场地布置示意图

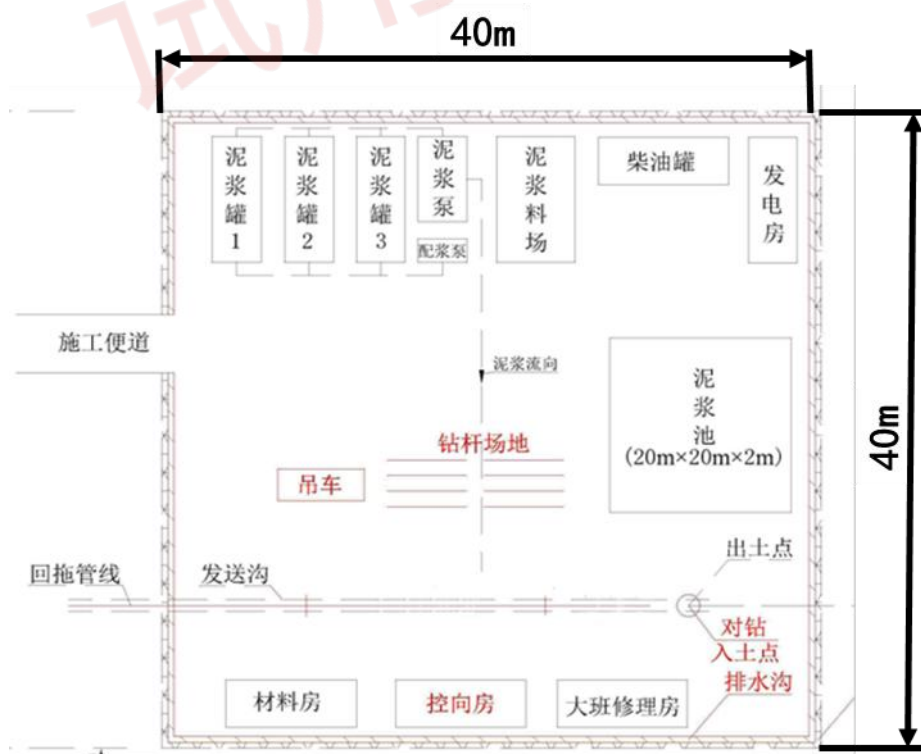




图11.4 定向钻出土端场地布置示意图

施工中严禁将施工弃土及其他施工材料或施工废弃物堆放在天津干线箱涵之上。工程施工道路应利用现有交通道路，施工运输车辆严禁直接从天津干线上方经过，需通行时应从箱涵上已有的道路上（该处箱涵按照公路等级进行了加强）进行绕行。

11.5 导向控制及措施

由于穿越工程要求施工精度高，钻杆导向过程中对实际情况进行实时监测十分必要，所以要求导向系统具有有线控向、实时的图形化人机交互界面、钻孔轨迹的实时测量、较强的抗磁场干扰能力，以满足本工程控向精度要求。

水平定向钻穿越导向系统一般分为有线导向系统和无线导向系统。无线导向系统一般跟踪钻头定位，可充分体现其使用便捷、灵活等特点，适用于穿越深度较浅的城市电缆、光缆、燃气管道、输水管道等较小管径的水平定向钻穿越施工。而有线导向系统一般应用于穿越深度较大、距离较长、管道直径较大的水平定向钻施工，具有技术成熟、稳定、精度高等特点”，也是油气管道穿越施工中常用的导向系统。

由于穿越工程要求施工精度高，该项目定向钻穿越南水北调箱涵深度达到-33.5米，对钻杆导向过程中实际情况进行实时监测十分必要，所以要求导向系统具有有线控向、实时的图形化人机交互界面、钻孔轨迹的实时测量、较强的抗磁场干扰能力，以满足本工程控向精度要求。

在本项目定向钻施工时拟采用目前最先进的地磁导向系统(仪器精度：左右偏差小于 1%，上下偏差小于 1.5%)。该系统采用 RTK 测量出入土点和地面南水北调沟渠两侧边沿的绝对坐标，作为导向控制点。导向过程中地下钻头处的位置信息直接传输到钻机处的控制面板，使钻机操作手能够及时调整导向轨迹按照预定线路行进。

导向系统的操作应经过培训合格的人员操作；每钻进一根钻杆宜采集一次导向数据，每根钻杆的所改变的角度都要严格控制，导向过程中要严格按照设计曲线来控制走向。如果单根钻杆改变角度过大，应及时抽回本根钻杆重新钻进以达到设计的需要。同时为提高导向精度，每隔 200 米，尤其是在南水北调箱涵处布置交流测量线圈或无线磁靶，在地面能够复测轨迹的位置和深度，保证导向孔实际曲线与设计穿越曲

线的偏差允许±0.5m。出土点位置横向偏差不大于0.5m，纵向偏差不大于0.5m。钻进期间，建立穿越曲线数据库，采集在控向过程中由控向系统的计算机自动生成的有关数据。根据每根钻杆长度测量一次穿越曲线的三维坐标。

在实际定向钻导向作业前及导向过程中，做好以下措施：

(1) 测量穿越中心线的磁方位角，这一数值是导向孔控向的原始依据数值，必须准确。通过在地表多点测量（一般情况下，出、入土侧各取两个点），然后将各组数据进行分析对比，排除由于那些由于磁干扰而错误的的数据，确定正确的磁方位角数值。如果各组数据相差较大（ 0.2° 以上），则增加测量点（2~4个），直到确定准确的磁方位角数值。

(2) 布置磁场辅助定位装置：即在地面布置人工磁场。

穿越施工中，导向系统依靠磁场测定钻头方位，但地磁场易受穿越附近的磁性物质(如高压线、已建管道等)的干扰，进而使导向系统测定的方位角出现偏差。针对这一问题通常采用的有效控制方法是在穿越中心线上方布设人工磁场，导向系统可根据人工磁场对钻头方位和深度进行标定，从而实现对钻头的精准定位，保证穿越精度。

(3) 保证控向仪器精度

每次施工前，用消磁仪对无磁钻挺进行消磁处理，防止由于无磁钻挺被磁化产生磁场干扰，影响控向的精度。

(4) 精心施工，导向孔严格按设计曲线钻进

在钻导向孔阶段，对每一测量点的控向数据的采集，采取不同工具面角（TOOLFACE）进行实时测量。即：在每个测量点，旋转钻头，使工具面角（TOOLFACE）分别在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 时进行控向数据的实时测量，取最接近四次实时测量数据的平均值的工具面角（TOOLFACE）作为控向数据采集时的工具面角（TOOLFACE），减少控向数据采集的误差。从而防止钻进曲线与设计曲线的偏移。

(5) 确保工具面值更接近实际工具面值

连接无磁钻挺、造斜短节、钻头时，采取措施，确保造斜短节的工具面与钻头射流钻进的中心线一致。从而，使测量的工具面值更接近实际工具面值，有助于控向工程师控制钻进方向。

(6) 控向系统的数学模型采用高精度的数学模型

在水平定向钻井施工中，控向系统数学模型主要有三种：正切法、平均角法、最小曲率法，其中常用的数学模型是正切法。根据数学原理，在这三种数学模型中，正切法的精度较差，平均角法和最小曲率法的精度较高。因此，在实际操作中，我们将采用精度较高的平均角法和最小曲率法作为控向系统的数学模型，以求在相同的数据采集基础上，得到较高的计算精度，从而提高控向的精度。

(7) 确保导向孔钻进成功的增强措施

由于本工程为较长距离穿越，由于推力过大，钻杆将产生多次弯曲，同时与孔壁的摩擦力不断增大，直推式导向孔钻进将变得非常困难，因此在施工中全程采用泥浆马达进行施工；使用较大直径 9 1/2" 钻头，增大环形空间，减小钻杆与孔壁的摩擦力。加大泥浆排量，提高钻头水马力，从而提高机械钻速，以快保安全，同时提高泥浆的流变性能及动切力，尽可能的将孔内岩屑通过泥浆带出孔外。同时为保证整个导向孔内泥浆畅通，减小钻杆与孔壁的摩擦，在导向孔钻进的过程中，每钻进 2-3 根钻杆将回拉旋转洗孔一次。

11.6 钻机组装与调试

根据测量放线情况及入土点位置，确定锚固坑位置，挖好锚固件坑，用吊车将锚固件吊装就位后，四周填碎石并压实。钻机就位后将钻机锚固爪和锚固件连接。

组装完毕，并经检验后，调校控向系统，进行设备试运转，钻机调校完成后，组装地下仪表单元，连接钻头、泥浆马达与蒙乃尔管，调试喷泥浆，检查钻头水嘴，同时检查控向信号是否正常。一切正常后，按设计曲线采用钻机推进，由泥浆马达带动钻头旋转的工艺钻导向孔。

11.7 泥浆配制、压力控制与回收

11.7.1 泥浆系数

泥浆是主要用于导向孔的固壁，防止孔壁塌落，同时对钻头起到润滑作用，它是决定穿越施工成败的重要因素之一。泥浆在各个阶段所起的作用如下：（1）钻导



向孔阶段要求尽可能将孔内的泥沙、岩屑携带出孔外，同时维持孔壁的稳定，减少推进阻力；（2）预扩孔阶段要求泥浆具有很好的护壁效果，防止地层坍塌，提高泥浆携砂能力；（3）洗孔回拖阶段要求泥浆具有很好的护壁、携砂能力；同时还有很好的润滑能力，减少摩阻和扭矩。

泥浆的主要成分是膨润土、化学泥浆和水，同时向泥浆中加入各种添加剂，以保证泥浆具有高粘度、高携砂性、固孔和润滑等。根据穿越地层地质条件，应在泥浆实验室试配并确定不同的泥浆配方，针对地层特点，优选优质的定向钻专用土粉，配合加一定比例的添加剂，确定泥浆配制方案。在施工过程中，应根据地质情况和钻进工艺，调整泥浆的配方和泥浆性能。

开始扩孔的前半段，要采取比较大的泥浆量，利用泥浆的流动把孔内的泥土带到出土点。当扩孔中段，泥浆量要减小，因为距离出土点与入土点都比较远，泥浆从这两点返出需要的压力较大，一般来说水泥浆压力过小会造成塌孔，压力过大可能造成周围土体松动甚至破坏，因此施工中应严格按设计要求控制灌浆的泥浆压力及回托力，并应进行实时数据监测，发现问题应立即采取工程措施，保证天津干线运行不受影响。因本工程穿越深度距离天津干线底板不小于 25.4m，定向钻施工对天津干线箱涵底板影响微小。因此在施工过程可以保证天津干线工程的安全。

泥浆粘度应根据地质情况确定，泥浆粘度的测量通常用马氏漏斗，每 2 小时测量一次，本工程不同地质情况见下表。

表11.2 泥浆粘度表

项目	管径（mm）	泥浆粘度		
		黏土	亚黏土	粉砂细砂
导向孔	-	35~40	35~40	40~45
扩孔及回拖	508	45~50	50~55	55~60

表11.3 泥浆动塑比、滤失量、返浆携砂量表、PH值

项目	泥浆粘度		
	黏土	亚黏土	粉砂细砂
动塑比	≥0.5	≥0.5	≥1



滤失量	≤15ml	≤15ml	≤10ml
返浆携砂量	3-5%	3-5%	≥10%
PH 值	9-10	9-10	9-10

土壤变形模量为 3.8Mpa，因此钻进、扩孔和回拖的泥浆控制压力：考虑导向孔期间泥浆压力过小无法置换出土，因此导向孔期间泥浆压力控制在 0.6MPa，扩孔期间泥浆压力控制在 0.5MPa，回拖期间泥浆压力控制在 0.5MPa。实际工程施工中，可通过现场试验与安全监测数据分析来动态控制灌浆压力的大小，保证压力不会过小或过大进而对周围土体造成破坏。

定向钻扩孔后顶与箱涵底板垂直高差约 25.4 米，根据地勘报告显示，穿越层上方 2.1 米至 3.5 米、4.9 米至 10.9 米间隔粉砂层，即使局部空隙跑浆，细沙层也能起到泄压作用，因此定向钻施工对箱涵底板影响轻微。

11.7.2 泥浆压力

本次设计泥浆压力对被穿越物稳定性校核根据论文《基于 SMP 准则的定向钻扩孔泥浆压力计算》（地下空间与工程学报，2012 年 8 月）研究成果进行。

（1）允许最大孔壁内压计算公式：

$$P_{a,max} = (P_f + ccot\phi) \left[\left(\frac{r_0}{r_{p,max}} \right)^2 + Q \right]^{-sin\phi/(1+sin\phi)} - ccot\phi$$

$$P_f = P_0(1 + sin\phi) + ccos\phi = 725.2$$

$$Q = (P_0 sin\phi + ccos\phi) / G = 0.049$$

$$P_0 = \gamma_{\pm} h_{\pm} = 553.15$$

$$r_{p,max} = \sqrt{\frac{Gr_a^2}{P_{ar} - P_0}}$$

$$G = E / [2(1 + \mu)] = 3846.2$$

式中： $P_{a,max}$ —允许最大孔壁内压，KPa；

P_f —最优孔壁内压，KPa；

P_0 —初始压力，KPa；

P_{ar} —孔壁周围土体全部处于弹性状态的临界值，KPa；



ϕ —土的内摩擦角($^{\circ}$), 取 17.9°

$l_{p, \max}$ —最大允许塑性区半径, m;

r_a —钻孔半径 (m), 取 0.45m;

c —土的粘聚力 (kPa), 取 25kPa

E —土的弹性模量, 取 1.0×10^4 kPa

μ —波桑比, 取 0.3。

$\gamma_{\pm}$ —土容重 (kN/m^3), 取 18.5kN/m^3 。

$h_{\pm}$ —等效覆土厚度 (m), 是净覆土与地面动荷载及其它因素转换成的覆土之和。本次不考虑地面动荷载及其它因素, 直接取净覆土 25.4m, 箱涵自重+水重对地基基底压力为 83.4kPa, 相当于 4.5m 覆土。则等效覆土厚度 29.9m。

管道穿越对泥浆的需求量很大, 对施工区域的周边环境会造成破坏。根据 HSE 管理目标, 且考虑到环境保护的要求, 穿越工程中的泥浆需循环使用, 设置泥浆净化回收装置。

(2) 极限孔壁内压公式

$$P_{\lim} = (P_f + c \cot \phi) \cdot Q^{\frac{-\sin \phi}{1+\sin \phi}} - c \cot \phi$$

(3) 工程实际中最大孔壁内压

$$P_{a, \max} = 0.9 P_{\lim}$$

根据文中相关理论基于 M-C 强度准则推导出最优孔壁内压公式为:

$$P_{ar} = P_0(1 + \sin \phi) + c \cos \phi$$

经计算极限孔壁内压 $P_{\lim}=1453\text{kPa}$, 最大孔壁内压值 $P_{a, \max} \times 0.9=1163\text{kPa}$, 最优孔壁内压值 $P_{ar}=725\text{kPa}$ 。

导向孔期间泥浆泵出口压力控制在最大 0.6MPa, 扩孔期间泥浆压力控制在 0.5MPa, 回拖期间泥浆压力控制在 0.5MPa, 均小于最大孔壁内压值 $P_{a, \max}=725\text{kPa}$, 因此判定泥浆压力不能传导至箱涵底板, 对箱涵底板稳定性不造成影响。

(4) 弹性区应力场计算

$$\sigma = \frac{r_a^2}{r^2} (P_{ar} - P_0)$$



式中：σ——计算点应力（kPa）；
ra——钻孔半径（m），为 0.45m；
r——计算点半径（m）；
Pa——孔壁内压（m），以 0.6Mpa 计；
P0——初始压力（MPa）。

经计算，可以得出以下两个结论：①极限塑性区半径为 1.35m，远小于距箱涵底板距离 25.4m；②由泥浆压力引起的作用力，在箱涵底板处应力为 12kPa，远小于该点自重应力。

11.7.3 泥浆配比

（1）调整泥浆配比，调整泥浆粘度，加入防塌剂、防渗漏剂等聚合物，改善泥浆性能。据资料显示，泥浆密度一般大于清水 15%-60%（ $\rho=1.02$ ），泥浆密度 $\rho = (1.15\sim1.25) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

（2）钻导向孔阶段要求尽可能将孔内的物质携带出孔外，同时维持孔壁稳定较长的时间，保持孔内泥浆面,减少钻杆摩阻,保证导向孔顺利完成。推荐基本配方：膨润土 4%；高聚物 0.2%；润滑剂 0.2%。

（3）预扩孔阶段要求泥浆一定的动切力和良好的流动性,提高泥浆携带能力，推荐基本配方：膨润土 4%，高聚物 0.2%；

（4）清孔和回拖阶段要求泥浆具有很好的护壁、携带能力；同时还有很好的润滑能力，减少摩阻；推荐基本配方如下：膨润土 4%，高聚物 0.2%；润滑剂 0.3%；

（5）各阶段泥浆性能总体应符合下以下要求：

漏斗粘度(s)	泥皮厚度(mm)	切力(pa)	失水量(ml)	备注
45-70	1.0	800	≤ 10	

（6）控制泥浆流量：钻导向孔阶段，流量控制在 400L/min 左右，扩孔阶段，流量控制在 500L/min 左右。



11.7.4 泥浆回收

泥浆处理流程为：用注砂泵先将废泥浆经钻杆输送到泥浆池，再用注砂泵把泥浆池中的泥浆送到振动筛，进行一级净化处理，除去大颗粒钻屑；然后经除砂器除砂，进行二级净化处理；最后由除泥器除泥，进行三级净化处理，泥浆经三级处理后便可以循环再利用。泥浆回收利用的优点：保证泥浆的粘度，减少环境污染，降低泥浆材料消耗，保证泥浆供给量。

11.8 钻孔施工

11.8.1 作业概述

定向钻施工严格按照设计坐标测量放线——>场地平整、机具布置——>导向孔施工——>扩孔——>回拖。每一个环节都严格按照设计图纸及定向钻穿越施工规范实施。

11.8.2 穿越施工工艺要求

穿越钻进曲线严格按照穿越施工规范和设计图纸曲线要求，导向孔实际施工曲线与设计穿越曲线的偏差不应大于 1%，且偏差应符合下表规定：

表11.4 导向孔允许偏差（m）

导向孔曲线		出土点	
横向偏差	上下偏差	横向偏差	纵向偏差
±0.5	±0.5	±0.5	±0.5

11.8.3 导向钻孔

- 1) 正式钻导向孔前，在钻杆前面安装无磁钻挺、无磁方向短节、无磁造斜短节、定位调整片等，然后接好钻头。
- 2) 开钻前先清洗泥浆过滤网，用泥浆冲洗钻头及其水嘴，并对钻头进行试运转，时间不少于 15min，确定机具各部位运转正常且钻头喷嘴有泥浆流动后开始钻进。
- 3) 为了控向方便，在曲线段每根钻杆调整一次角度，一次顶进长度不大于 0.5m，分段施钻，延伸长度顶角变化均匀，每次调整的角度不得超过 0.3°，以便回拖顺利。
- 4) 钻进过程中随时测定钻进方向，根据微机显示的数据分析钻头所在的位置等。



5) 控向人员随时监视和控制穿越曲线情况, 控向过程逐渐实现, 不要急剧调向, 以防卡钻。应根据管径大小所决定的穿越曲线确定每根钻杆的折角。每四根钻杆的累计折角误差不得超过 1.5 度, 且误差要随时调整过来。

6) 钻进过程中, 如遇泥浆压力异常, 应及时分析钻进情况, 必要时抽回几根钻杆, 调整钻进方向。

7) 钻进过程中, 电工要随时检查和摆顺控向线, 不得有绞结和破损处, 以防止信号传递失灵。

8) 钻完导向孔, 应用管钳拆除无磁钻铤, 尽量缩短钻具在导向孔内停滞的时间。

11.9 预扩孔和回拖

11.9.1 扩孔施工

钻头出土后, 卸下钻头与蒙乃尔管, 安装扩孔钻头。预扩前, 试喷泥浆, 检查切割刀和扩孔器水咀是否通畅, 泥浆压力是否正常。在预扩孔的时候, 根据现场情况, 要使用中心定位器。

为了增大环形空间, 减小回拖拉力, 扩孔最小直径不小于 900mm (36"), 根据地质勘探资料、穿越长度及扩孔管径, 导向孔直径 6" , 分 5 级扩孔完成, 即第一级扩孔为 16" , 第二级扩孔为 20" , 第三级扩孔为 24" , 第四级扩孔为 30" , 第五级扩孔为 36" 。

11.9.2 管线回拖

1) 回拖施工

预扩孔完毕后进行管线回拖, 首先检测穿越管段, 经试压吹扫合格后, 在管段端部安装拖拉头。就位管线时用两台吊管机将管段下入发送沟中。试喷泥浆, 检查扩孔器水嘴是否通畅, 泥浆压力是否正常。一切正常后, 开始回拖。回拖过程中必须严格控制泥浆压力、旋转扭矩、回拖力, 密切注意管线回拖情况, 直至管线在钻机侧出土。管线回拖完成后, 标志着定向钻穿越成功。

2) 注意事项



①为了确保管线顺利回拖，回拖前要仔细检查各连接部位的牢固，检查扩孔器的各通道及泥浆喷嘴是否畅通。

②在管线回拖过程中要根据钻机显示回拖力的大小控制好回拖的速度；根据管线回拖过程中地质变化情况配比合理的泥浆。

③管线回拖前为了保证管线清洁，要对管线牵引头进行封堵，为了防止管线回拖过程中划伤防腐层，将回拖管线置于发送沟内或橡胶滚轮上，根据出土角和主管线的埋深，在工作管线入土点前端按一定比例放坡挖一条发送沟，发送沟内不得有石块、树根和硬物等，以避免管线底部与地层摩擦，划伤防腐层，并降低回拖拉力；

④回拖前准备好补口、补伤材料和电火花检漏仪，安排专人巡视管线。在管头附近设定补口补伤点，保持两岸通讯畅通，一旦管线出现划伤，立即停止回拖，需对管线进行补伤工作，待完成后可继续回拖。

⑤回拖过程需要进行连续作业，避免停工而使回拖阻力增大。在发生回拖不动时可以在出土点使用夯管锤，钻机拉力操作和夯管锤振动操作协调进行，以图降低阻力使回拖继续进行。

11.10 孔隙处理及泥浆置换

(1) 为了避免南水北调箱涵沉降，提高地基土的承载力，定向钻施工完成后进行泥浆置换，加固土体。本次采用孔内注浆的加固措施，采用与导向孔相同的泥浆体系，在扩孔施工时，根据现场施工返浆情况、返出的泥浆性能、返出泥浆的携带钻屑等情况进行调整泥浆性能。

(2) 填充材料

填充材料为按照一定配比的水泥和粉煤灰材料，该材料具有微膨胀特性，保证填充效果。填充固化泥浆及配浆、注浆性能指标如下：

① 填充材料配比：填充材料为一定配比的水泥和粉煤灰材料，水粉比控制在0.4:1左右。

② 流动性：马氏漏斗粘度<120s。

③ 固化体积收缩率：<10%。



④ 强度：在注入后 48 小时，强度达到 0.5-1MPa。

(3) 注浆压力（泥浆泵出口压力）根据管道深度 H 和泥浆重度 γ 而定，经验为 $2 \sim 3 \gamma H$ ，本工程注浆压力为 0.75~1.13MPa，推荐采用 0.8MPa。

(4) 注浆管的选定：选择 DN40mm（无缝钢管，20 钢）的钢管作为注浆管。

(5) 注浆管的固定

水平定向钻回拖前，将注浆管固定在回拖管道上。固定方式可以选择以下几种方式：

①捆扎方式，将作为注浆管固定在回拖的主管线上；

②钢管固定，用焊接方式，将注浆管焊接在拖拉头上；

③PE 管固定，选一根与 PE 管直径接近钢管，长度 0.5-2m，将钢管焊接在拖拉头上。将 PE 管套在钢管上，达到固定 PE 管的目的；

④多管回拖时，可以将注浆管作为回拖管之一，与其它管线一起固定。

本项目注浆管的固定推荐采用方式二的固定方式。

(6) 注浆口

根据注浆需要，注浆管的注浆口可以选择以下几种方式：

①注浆管尾端开口，填充泥浆从尾端开口处直接注入地下孔隙中。

②注浆管尾端设置 1 个 $\phi 10-14\text{mm}$ 喷嘴，根据需要，每隔 50-100m，用电钻在注浆管上钻 8-10mm 的孔作为喷嘴，泥浆通过设置的喷嘴注入地下孔隙中。

结合本工程的实际情况，本项目注浆口选择在注浆管尾端开口。

(7) 注浆长度的确定

根据注浆需要，确定注浆管长度。当需要全程注浆，注浆管长度按以下方式确定：

①当定向钻穿越长度大于 600-700m 时，注浆管长度为定向钻穿越长度减 200-300m 即可。可选择注浆管尾端注浆，边回拉注浆管边注浆；也可选择注浆管尾端喷嘴+注浆管管身喷嘴注浆，注浆管不再回拉，弃于地下即可。

②当定向钻穿越长度小于 600-700m 时，注浆管长度为定向钻穿越长度的 1/2，即注浆管尾端要预留在穿越曲线的中间部位。

本项目穿越长度为 656 米，注浆管长度取穿越长度的 1/2。

(8) 注浆过程

① 注浆管就位：在回拖主管线时，利用钻机，将固定好的注浆管与主管线一起，同时拖入地下孔洞。

② 按要求配置泥浆后，缓慢启动注浆泵，进行注浆。边配浆边注浆方式。注浆泵转速要慢慢调高，排量缓慢增大。

③ 随着注浆泵转速要慢慢增加，排量缓慢增大，注浆泵压力从 0.1MPa 缓慢速调到 0.5MPa。压力不宜超过 1MPa，避免填充固化泥浆压力过高将公路、水渠顶变形或跑冒浆情况的发生。

④ 随着泥浆的注入，将孔内穿越泥浆逐渐排出至孔外。注入的填充固化泥浆填充到环形空隙之中，直到穿越点两侧流淌出填充固化泥浆，说明环形空隙的穿越泥浆被置换完全后，停止注浆。

⑤ 有一侧冒泥浆时，可用土将出口埋住，促使填充固化泥浆向另一侧流动。

⑥ 注浆过程中，可边注浆边回拔注浆管；也可一次性完成注浆，注浆完毕后，不回拔注浆管，将注浆管弃留在地下即可。

⑦ 注浆过程中，要及时清理、运出溢出的穿越泥浆，避免泥浆蔓延污染土地或水源。

⑧ 注浆完毕，应立即用清水配浆、注浆设备及输浆管道，防止泥浆在配浆、注浆设备及输浆内固化，造成损害。

11.11 截渗环设置

定为了保证整个穿越段管道的密实性，防止两侧水流顺着管道穿越孔渗漏，定向钻穿越段出入口两端与水平自然敷设主管道连接处采用局部换填粘土和设置混凝土止水环等防渗措施，具体实施方案如下：

① 粘土换填

管道中心线上下两侧换填高度均为 1.5m，管道左右两侧按照开挖的梯形断面（底宽 2.5m，边坡 1:2）进行换填，沿管道方向换填长度为 5.0m。换填土压实度不小于

0.96。换填时先将边坡挖成台阶状，再分层填筑。特别注意应将管道底部粘性土填充密实。

要求回填土料粘粒含量在 35%~50%，渗透系数小于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ，并且有较好的塑性和渗透稳定性，含水量控制在 20%~30% 左右，塑限附近为宜。

②设置止水环

为进一步防止管线接触面形成渗水通道，建议设置混凝土止水环。混凝土止水环采用 C25 混凝土现场浇筑，宽度 1.5m，高度 1.5m，厚度 0.4m（沿管道方向），浇筑完成后套在管道周围，并回填粘土进行封堵固定。本次设置两道混凝土止水环，第一道位置位于定向钻与直埋管段连接点即拐弯处，第二道距离第一道水平 5.0m（即第一道与第二道止水环直接粘土回填水平距离为 5.0m）。

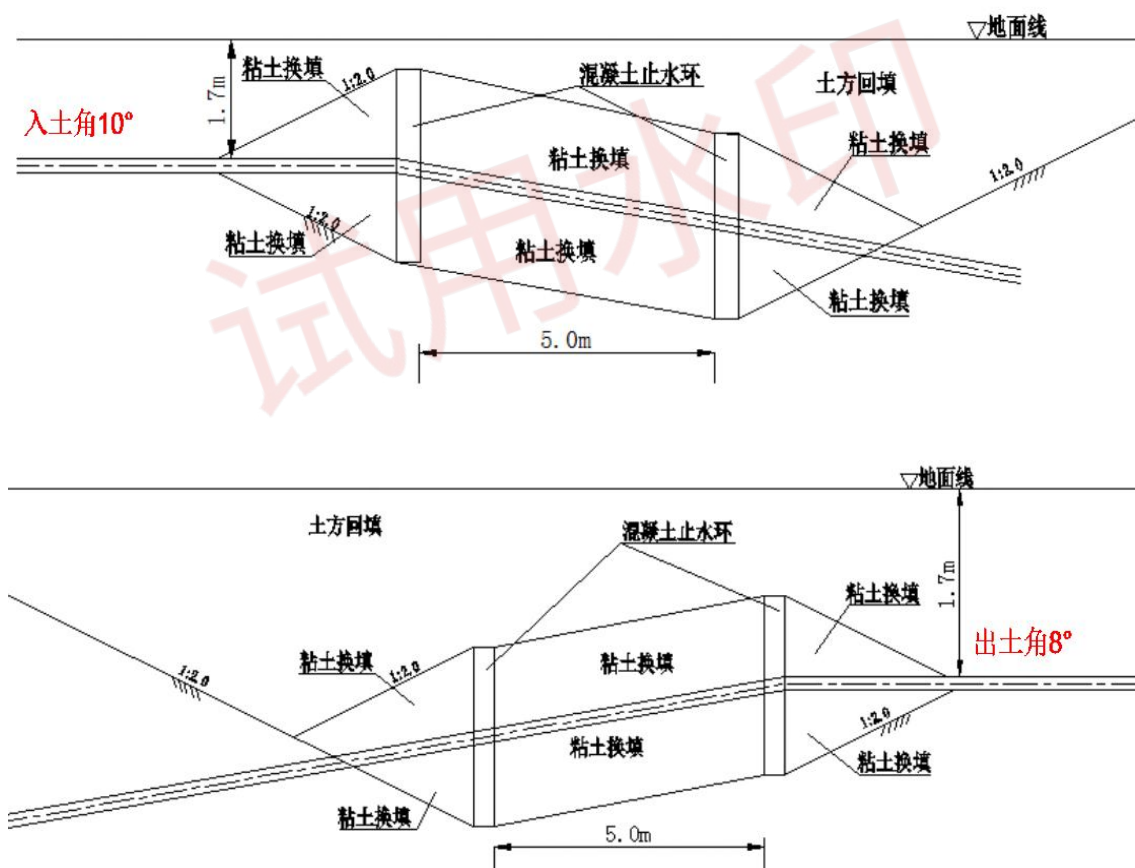


图11.5 定向钻出入土端黏土换填布置图

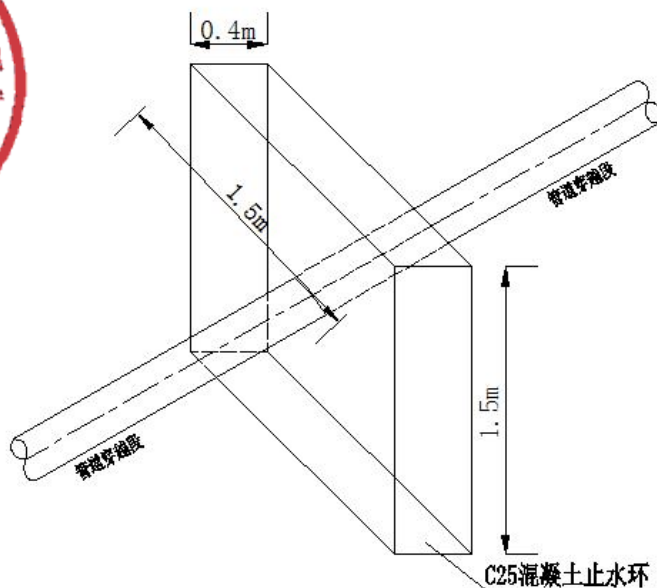


图11.6 定向钻出土止水环布置图

11.12 管道安装要求

11.12.1 管道组对

管子布管、组对应严格按《城镇燃气输配工程施工及验收标准》GB/T 51455-2023的要求及本工程线路工程相关技术标准执行。

组对时，管子应尽量选取质量较好，长度较长的钢管，以减少中间环向焊缝，同时应尽量选取管子端部椭圆度相近的管子组对。

11.12.2 管道焊缝外观检查

①焊缝成形后必须进行内外部质量检验，表面质量用目测和器械方法检验，内部质量采用无损探伤方法检验；

②外观检查应将焊缝表面的飞溅物，熔渣清除干净，焊缝外观质量检查要求执行《城镇燃气输配工程施工及验收标准》GB/T 51455-2023 的相关规定；

③外观检查合格的焊缝才能进行无损探伤检查。

11.12.3 管段焊接管道焊接及检测

管段焊接前，均应进行焊接工艺评定试验（参照《钢质管道焊接及验收》（GB/T 31032-2014）等现行的相关标准执行）。在其评定合格后，施工单位方可按照批准的《焊接工艺评定》中有关要求及本工程线路工程相关技术标准进行焊接。

管段焊接应执行本工程焊接工艺评定。应加强管道组对时的端部尺寸匹对选择、组对尺寸控制、焊接人员的技术素质等工序管理、监理和检测，严格按上述规范施焊。

穿越段推荐 STT 根焊+药芯焊丝的填充盖面的半自动焊接方式，局部困难地段如设备难以到达、碰死口的焊缝焊接及返修焊缝焊接推荐采用手工电弧焊焊接方式。

所有主管道环向焊缝均应进行 100% X 射线检查、100%超声波检查检测。射线检测和超声检测的技术等级应符合国家现行有关标准的规定，射线检测不得低于 AB 级，超声检测不得低于 B 级。超声波检查应达到《承压设备无损检测第 3 部分：超声检测》NB/T47013.3-2023 的要求，以 I 级焊缝质量为合格；X 射线照相检测结果应符合《承压设备无损检测第 2 部分：射线检测》NB/T47013.2-2015 的要求，II 级片以上合格。

对于通信光缆钢套管，其焊口通常不进行无损检测，但焊接应参照主管道焊接要求进行打坡口，防止虚焊并进行严格的外观质量检查，防止回拖过程中拖断焊口而造成回拖失败。焊缝外观质量检查要求执行《城镇燃气输配工程施工及验收标准》GB/T 51455-2023 的相关规定。

11.12.4 清管、测径

穿越管道在回拖前应进行清管。清管时可设置临时清管设施，清管球充水后过盈量应为管内径的 5%-8%，并以排除口排除时无污物为管合格。清管未达到合格标准时，应增加清管次数，直至达到合格为止。清管器应适用于管线弯管曲率半径。

清管合格完毕后应进行管道内测径。管道测径可利用清管器中部安装测径板来检验管道内径是否存在凹坑、变形等缺陷。测径板一般采用铝制，其直径宜为试压段中最大壁厚钢管或者弯头内径的 92%。

清管和测径的步骤建议如下：清管和测径之前，先在管线两端安装临时收发球筒，收发球筒安装完成后将清管或测径用的清管器装入发球筒，然后启动空气压缩机



向发球筒内注入压缩空气,压缩空气推动清管器向前移动,直到清管器将管线内泥沙、焊渣等杂物推到收球筒内,停止向管线内注入压缩空气,并打开收发球筒上的排气阀门进行排气。当管线内压力降到大气压力时,打开收球筒,检查清管或测径效果。

清管时次数不应少于 2 次,以排除无污物为清管合格。测径时,测径清管器到达收球筒后,拆下清管器上的测径板,若测径板无变形、无褶皱,测径合格试压。

回拖完毕,再对穿越管段进行一次清管和测径,排除管内积水以及检查拖管后管道内部的情况,具体要求同上。

燃气管道在投产之前必须进行管道内水份的清除和管道干燥。

当然,根据两侧连接线路业主工程建设计划安排和承包施工单位承包情况,如是同一个施工单位,且穿越和线路施工间隔时间较短,上述工作也可和线路统一进行。管道在安装前应进行清管并保持管内清洁,与线路连通后,与线路再次进行清管。

11.12.5 管道试压及干燥

(1) 管道试压

穿越管段试压分两步进行。

回拖前穿越桩内的管段以及两侧开挖段应分别进行一次强度试验和严密性试压,管段回拖就位与开挖段管道连接后,穿越桩范围内的管道再进行一次整体管段严密性试压。

1) 试压要求

城镇燃气管道强度试压介质采用无腐蚀的洁净水。强度试验压力为 1.5 倍设计压力(即 6MPa)。水压试验时,试验管段任何位置的管道环向应力不得大于管材标准屈服强度的 90%,试压宜在环境温度 5℃以上进行,否则应采取防冻措施。进行强度试验时,压力应逐步缓升,首先升至试验压力的 30%和 60%,应分别检查,如无泄漏或异常,继续升压至试验压力,然后继续升压至试验压力,然后稳压 4h 后,观察压力计,不应少于 30min,无变形、无压力降为合格。

城镇燃气管道严密性试压应在强度试验合格后进行。城镇燃气管道严密性试压介质采用空气,严密性试验压力为设计压力的 1.15 倍。严密性试压时,压力缓慢上升至 30%和 60%试验压力时,应分别停止升压,稳压 30min,并检查系统有无异常



情况,如无异常情况继续升压。管内压力升至严密性试验压力后,待温度、压力稳定后,稳压 24h,每小时记录不应小于 1 次。当修正压力降小于 133Pa 为合格。

试压要求和增压次数按上述规范执行。

一般直埋段管线连接完毕,再进行第二次整体严密性试压。第二次试压压力及要求与第一次相同。同样,根据两侧连接线路业主工程建设计划安排和承包施工单位承包情况,如是同一个施工单位,且穿越和线路施工间隔时间较短,上述试压工作,包括试压后清管和干燥工作也可和线路统一进行。

试压时环境温度不宜小于 5℃;若环境温度 5℃以下试压,应采取防冻措施。试压前应清除管内铁锈和组对焊接时可能遗留、进入的泥土和砂石杂物和吹扫工作。

2) 试压安全措施

管道试压须严格遵守设计和规范要求(介质、压力、停压时间等)进行,试压要有安全措施。

试压前应进行具体检查,应对连接阀门、管件、机泵和设备进行检查,确保性能和技术状态符合安全要求,连接管道不许同时施工作业,的确具备升压条件时,方可进行试压。试压时,除直接参与试压人员外,四周 200 米之内人员应通知撤离现场,防止意外。

压力表的选用和安装必需符合下列条件:要有出厂检验合格或单位仪表校验的标记,并有铅封,压力表的铭牌压力为试验压力 1.5-2.5 倍;用垂直安装于简单观看的地方,一般应安装双表。

水压试验时,管道的最高最低点要设置放空阀,以便上水时排空阀将气体放净,冬季水压要采取防冻措施,夏季试水要留意水温变化造成压力剧增。

在气压试验整个过程中,管线及设备施压的安全距离处(90m)应有明显的警示牌或护栏进行必要的防护,严禁无关人员进入现场,在警示区内严禁吸烟和使用明火。

当试压源的压力大于试验压力时,应使用减压阀、安全阀和系统压力表连续检测等措施,防止系统超压。

在气压试验的整个过程中,参与的施工人员眼睛以及耳朵均应处于防护状态,以免被气流损伤。试压完毕后,应缓慢泄压,拆除试压设备,清理试压现场,确保无安全隐患后方可撤离。



分段试压时，连接试压的管道必需断开，临时采取的盲板厚度应满足强度要求，螺栓要上紧，焊接盲板和封头必需是经过考试合格的焊工，焊缝需要经探伤检查，等级应符合要求。试压后应准时排解。

试压时，盲板的对面不许站人，试压中发觉泄露现象时，不许带压补焊，要等泻压后再进行。

（2）干燥

燃气管道经过清水试压后，内部不可避免地存在大量的游离水和水蒸气，如果不进行干燥处理而直接投产，会对管道的正常运行埋下隐患，甚至会造成堵塞、停输等较严重的事故。主要原因是：1）管道中的水分与天然气中的 H_2O 、 CO_2 等酸性气体结合生成酸性溶液而造成管道腐蚀；2）管道中的水分在低温、高压时会形成天然气水合物，减少了管道的流通面积，造成管道的冰堵现象；3）水分还会降低管道的输送能力，降低供气品质等。因此，天然气管道在投产前必须进行干燥作业。

1）干燥方法

目前，天然气管道常用的干燥方法有：干燥剂法、干空气干燥法、真空干燥法等。这几种干燥的方法各有特点，干燥剂法采用甲醇作为干燥剂，干燥剂和水可以任意比例互溶，所形成的溶液中水的蒸汽压大大降低，从而达到干燥的目的。残留在管道中的干燥剂同时又是水合物抑制剂，能抑制水合物的形成。一般在中小管道中应用较多，对于大管径，山区段，干燥分段多，相对甲醇的处理量大，采用的设备也较多，检测较困难。真空干燥法主是在控制条件下应用真空泵通过减小管内压力而出去管内自由水的方法。其原理是创造与管内温度相应的真空压力，以使附着在管内壁上的水分沸腾汽化。真空干燥法效果好，主要应用于中小口径，管内没有内涂层的管道较好，施工中一般同干空气干燥法结合使用。

2）干燥验收

当采用干燥气体吹扫时，可在管道末端配置水露点分析仪，干燥后排除气体露点应连续 4 小时比管道输送条件下最低环境温度至少低 $5^{\circ}C$ 、变化幅度不大于 $3^{\circ}C$ 为合格。当采用真空法时，选用的真空表精度不小于 1 级，干燥后管道内气体水露点应连续 4 小时低于 $-20^{\circ}C$ ，相当于 100pa 气压为合格。

当采用甘醇类吸湿剂时，干燥后管道末端排出甘醇含水量的质量百分比应小于20%为合格。

管道干燥结束后，如果没有立即投入运行，宜冲入干燥氮气，保持内压大于0.12-0.15MPa的干燥状态下密封，防止外界湿气重新进入管道，否则应重新进行干燥。

11.13 回拖后管道测量

定向钻穿越回拖完成后采用RTK和陀螺仪将回拖后的地下管道位置，以三维坐标的形式进行提取。

陀螺仪定位技术是一种国际领先的管道精确定位技术，它将陀螺仪原理与计算机三维计算技术整合在一起，巧妙地综合利用陀螺仪导航技术、重力场、计算机矢量计算等交叉学科原理，自动生成基于坐标(x, y, z)的地下管道空间曲线图，从而实现精确定位，且不受管道材质埋深或周围环境及地质条件限制。陀螺仪应用的主要原理是根据旋转力学理论，当物体旋转过程中未受到外力形成，当下向不会发生改变。基于陀螺仪设备在地下燃气管道测量中的实际应用，保持陀螺仪时刻处于快速旋转的姿态，通过装设传感器的方式获取相应的数据，指示设备的方向，将数据上传至管理系统之中。

地面的地形地物采用三维激光进行扫描，最终将地下和地上进行融合，完美的将地下管道和地上地物地貌的相对位置关系很好的展现出来，方便后期运营。

11.14 定向钻穿越施工技术要求

1) 定向钻施工应严格按照《城镇燃气管道穿越工程技术规程》CJJ/T250-2015和《油气输送管道穿越工程施工规范》（GB50424-2015）执行。

2) 施工应有施工方案和设备失效和意外事故下各种应急预案。

3) 施工场地布置应根据地质和环境条件以尽量节约用地原则进行，并绘制平面布置图。对于软土地质应注意地质改造处理，特别是钻机场地。



4) 若因场地限制, 预制管段不能直线布置, 则在曲线敷设前至出土点保留不少于 100m 的直管段, 方可采取弹性敷设, 敷设半径不小于 1200D。

5) 定向钻进曲线应严格按照穿越施工规范和设计图纸曲线要求。其中:
导向孔实际曲线与设计穿越曲线的偏差不应大于 1%, 且偏差应符合下表规定:

表11.5 导向孔允许偏差 (m)

导向孔曲线		出土点	
横向偏差	上下偏差	横向偏差	纵向偏差
±0.5	±0.5	±0.5	±0.5

6) 成孔时应采用数级预扩孔。具体数级可根据地质、管径和施工工艺调整。最小扩孔直径一般应保证大于管道外径至少 300mm。

7) 扩孔过程中, 如果发现扭矩、拉力较大, 应结合地质条件对钻孔进行分析, 从泥浆配比、排量、洗孔和调整扩孔级数等多方面进行处理。

8) 管线回拖。管线回拖前, 应完成以下事项:
①管线回拖前应按相关规范对防腐层和补口补伤部位进行电火花检漏。
②应有回拖方案和预案。
③回拖设备和连接件如钻杆、旋转接头、钻机和泥浆泵等设备性能完好, 回拖用泥浆性能合理。

④回拖管段应检查合格。
发送沟或发送道设置应合理。

a) 采用发送沟的方式。
①发送沟应根据地形、出土点、管径以及管道按照方式确定开挖路由、深度和宽度。一般情况下, 发送沟的下底宽度宜比穿越管径大 500mm。

②沟内应注水, 最小注水深度宜超过管径的 1/3。
③发送沟和出土点之间应有如“猫背”形状的管架或麻袋土堆, 管道入土角与钻杆出土角一致。

b) 采用发送道的方式。
① 根据穿越管段的长度和重量确定托管架的跨度和数目。
② 托管架的高度设计须满足预制管段弯曲曲率的要求。



③ 托管架和基础的强度必须计算，并校核其稳定性。

④ 回拖管线应及时、连续进行，原则上应采用一次性整段回拖。对于较为稳定的地层（如基岩），若地形等限制必须采用二次回拖时，间隔时间不得超过洞壁稳定时间，以防止回拖时洞壁垮塌。回拖前应清除发送道内硬物、树根等杂物；泥浆配置参数应符合规范和本穿越场地地层实际情况，以减少回拖力。

⑤ 回拖时若发现扭矩、拉力过大或甚至出现卡钻现象，严禁强行回拖，应分析可能的问题原因，采取必要的措施或将管道逐步从入土点反退，待对机具和孔洞进行有效处理后方可继续回拖。

定向钻穿越工程管道回拖时应采取以下措施，以防止防腐层损坏。

① 在设计规范规定的扩孔尺寸基础上增加一级扩孔，使孔洞与管道之间的间隙更大；

② 加大泥浆浓度，使管道在回拖过程中悬浮在空洞中；

③ 管道焊缝处采用定向钻专用补口带包裹；

④ 管道回拖前增加一次洗孔。

9) 施工应尤其注意钻进及管道回拖过程中孔壁垮塌、卡钻（管）等现象，应采取措施保证孔洞的稳定性，防止地面沉降。

11.15 地貌恢复

1) 定向钻穿越施工前，用单斗将穿越工地的表层耕植土剥离，堆放在工地边沿。然后用土工布将可能跑、冒、流淌泥浆的地方覆盖铺垫。并开挖导流沟，将可能跑、冒、流淌的泥浆引向泥浆回收池，泥浆部分循环利用；

2) 施工完毕待设备全部撤离后，将泥浆池中的剩余泥浆用专用的泥浆罐车拉运到当地环境保护部门指定的泥浆填埋场；

3) 清除场地上的杂物，用单斗及人工回填开挖的沟、渠等，分层压实，将已剥离的表层耕植土恢复到表层，填土方高出地表 300mm。农地田坎、沟渠堤用铁锹分层拍打密实，逐层恢复到原貌。

11.16 施工应急预案

1) 设备进场前确认施工场地内及周围环境无强电、磁场等因素影响。强干扰设备不准进入施工场地。以免对南水北调工程及设施造成影响。

2) 定向钻施工出入土角度、深度必须保证达到南水北调管理部门的要求。定向钻穿越长度尽量大,以保证出入土角度、穿越深度等参数满足南水北调工程安全要求。

3) 施工前对穿越范围内地下环境(保护土壤结构、岩石层、地下水位、地下设施等)做必要的地勘及物探勘察。并做好应对措施。

4) 定向钻钻机测量就位及定向钻出入土点坐标采用 GPS 或全站仪定位设备精确定位。

5) 准确测量标定控向参数,对穿越部分管道中心线定位要准确。

6) 导向孔必须满足管线曲率半径的要求,出现 S 型曲线时更要多次检测、核实、调整导向数据。打导向孔时参数测量间隔不得超过 2m,并及时纠偏。

7) 及时调整泥浆配比,针对不同地层,调整最适配的泥浆。控制泥浆粘度,增加虑失剂、润滑剂及防塌剂。稳定泥浆性能、稳固孔壁,防止大幅度调整泥浆引起孔壁坍塌。

8) 及时调整注浆压力,多检查、多测试,避免冒浆。

9) 施工过程中若产生冒浆,应根据地质情况,添加必要的泥浆药品,防止产生大规模冒浆;

10) 若施工过程中产生冒浆严重,可采取起钻的方式,边起钻边小排量注浆,一方面保证孔壁完好,另一方面通过起钻使孔壁更加顺畅,保证孔内向外返浆良好,从而减小孔内的压力,达到防止冒浆的效果,也可在泥浆中加 4%有机堵漏剂,达到封堵效果。

11) 管道回拖前严格计算回拖拉力是否满足回拖要求。回拖过程中及时监测回拖参数。

12) 施工完成后清理泥浆,外运处理。并对散落的膨润土进行回收或处理。对施工场地进行原貌恢复。



12 安全监测设计

12.1 第三方监测的定义

第三方监测，是指具有相应的监测资质的机构或组织，在施工过程中或者施工前后，业主委托某工程项目对其进行独立施工、设计或者监理。它能够独立、公正地进行安全性的评价以及对破坏周边环境的纠纷处理，如对道路、建筑物、管线和工程主体等采用各种各样的监测手段和方式进行监测，使业主的环境安全或者生产安全能够得到保障，是当前一种较为先进和流行的管理模式。

12.2 第三方监测的目的

在本项目施工中采用第三方安全监测的管理模式，其目的主要是为了更好地保障施工环境的安全性，能够对施工数据的准确性、安全做出公平、公正的评价，使周边环境的影响降到最低。其中主要表现在以下几个方面。

(1) 由于本项目是一项重要、较复杂的系统工程，被穿越物是国家重点工程、民生工程，因此在进行施工时可能会对周边的环境和南水北调中线天津干线保定市 1 段段本质安全造成较大的影响，进而影响生活用水供应。开展第三方安全监测的目的主要是为了对南水北调中线天津干线保定市 1 段进行保护，做好提前预警，将破坏的影响程度减到最小，从而保证施工的有效性。

(2) 通过第三方安全监测可以精确地监测到本项目的有效数据，从而使其在施工中的失误减到最小，保障南水北调中线天津干线保定市 1 段结构的安全性。这是因为在进行定向钻进施工过程中可能造成地面沉降以及冒浆等事故，这就使得施工会变得复杂。

12.3 第三方监测的必要性

(1) 将监测结果用于反馈优化设计，为改进设计提供依据。工程设计方案的计算是否真正反映了工程实际情况，只有在方案实施过程中才能获得最终的答案，其中现场安全监测是确定上述数据的重要手段。由于各种场地地质条件不同、施工工艺不同和周边环境不同，设计计算中未曾计入的各种复杂因素，都可以通过对现场的检测结果进行分析、研究，加以局部的修改、补充和完善。

(2) 为施工开展提供及时的反馈信息。通过安全监测随时掌握土层和箱涵的沉降情况，提供客观正确的数据，将监测数据与设计要求值进行分析对比，以判断前一步施工工艺和施工参数是否符合设计要求，以确定优化下一步施工参数，以此达到信息化施工的目的，使得监测数据和成果成为现场施工技术人员判断工程是否安全的依据，成为工程决策机构的眼睛。

(3) 第三方安全监测还起到检核和指导施工单位的监测数据的作用，保证整个施工过程中，施工监测的正常工作。

(4) 通过对地面和输水箱涵沉降等的监测，及时了解它们的现状和沉降情况，根据现场监测数据与设计要求值进行比较，当达到或超过警戒沉降值时及时报警，必要时采取有力措施确保天津干线的稳定与安全。

(5) 积累工程经验、监测数据，为今后类似工程设计与施工提供参考数据，为提高工程的设计和施工的整体水平提供依据。

(6) 为业主（南水北调管理单位）提供及时信息，以便对整个项目进行科学化管理。

12.4 第三方监测范围

监测范围是施工穿越天津干线处，具体见图 12.1 安全监测点位布置图。

12.5 第三方监测内容

12.5.1 施工期及运行期监测

为了保障管道施工及运营期间穿越南水北调中线一期工程天津干线南水北调中线天津干线保定市 1 段的安全，应加强管道施工及运营期间的监测，监测内容包括施工轨迹监测、成孔及回托速度、泥浆及注浆压力监测、土体沉降、输水箱涵沉降及地下水位监测。

- 1) 严格按照有关技术规范 and 规定进行运营监测。
- 2) 监测点的设置应与建设、管理单位等多方协调，不得影响箱涵输水。
- 3) 监测时间为施工前取得监测基准值，施工期及运行期（施工结束后 12 个月）。
- 4) 监测内容包括施工轨迹监测、成孔及回托速度、泥浆及注浆压力监测、土体沉降、箱涵沉降、地下水监测。
- 5) 监测仪器事先经过有关技术部门的标定和校正，以保证监测数据的可靠性。

12.5.2 定向钻施工轨迹监测

定向钻穿越工程是一项高风险的系统工程，为了保证成功穿越并确保施工轨迹和管道在地下的深度满足设计要求，对定向钻施工轨迹及偏移量进行实时跟踪监测，如发现偏离预定轨迹，责令实施单位及时进行纠偏。

- 1) 设立固定观测点，指定有经验的技术人员昼夜监测施工区域干渠及其周围是否异常，并做好记录。
- 2) 利用采集的控向数据进行钻进方位角监测。
- 3) 观察钻机扭矩变化。
- 4) 观察钻机回拖力变化。
- 5) 观察组对管道防腐、探伤、有无机械应力变形等。
- 6) 观察钻机稳定性，纵向、横向位移变化。
- 7) 检查回拖管道前钻杆与专用回拖器的各部位是否连接牢靠。

12.5.3 成孔及回托速度、泥浆及注浆压力监测

根据设计控制值进行现场成孔、回托速度、次数，泥浆配比参数，灌浆压力进行实时跟踪控制，超出设计控制值，监测单位及时要求实施单位采取措施进行处理。

定向钻施工泥浆压力（冒浆）监测主要是控制施工过程中泥浆压力，防止出现超压、憋压等情况而引起冒浆的发生。（1）观察泥浆泵排出口压力值变化，并做好记录；（2）观察泥浆泵流量变化；（3）观察泥浆流动及多少变化情况。

12.5.4 沉降监测测点布置

（1）基准点：基准点应设在施工变形影响范围以外，通视条件良好并便于保存的稳定位置。对于本工程，在天津干线两岸距施工轴线 50m 外的永久占地线附近原状土位置共设置 3 个位移观测基准点。

（2）土体沉降监测设置方案：在穿越干线两侧沿燃气管线、电缆套管正上方设置 16 组多层土体沉降监测点，土体沉降监测的深度为箱涵底部与顶部的深度位置。其中在箱涵与入土点之间地表布设 8 组监测点，间距 10m；在箱涵与出土点之间地表布设 8 组监测点，间距 10m。

（3）箱涵沉降监测设置方案：受施工影响的 5 节箱涵，每节箱涵 4 个角各设置 1 个沉降监测点，合计 20 点。

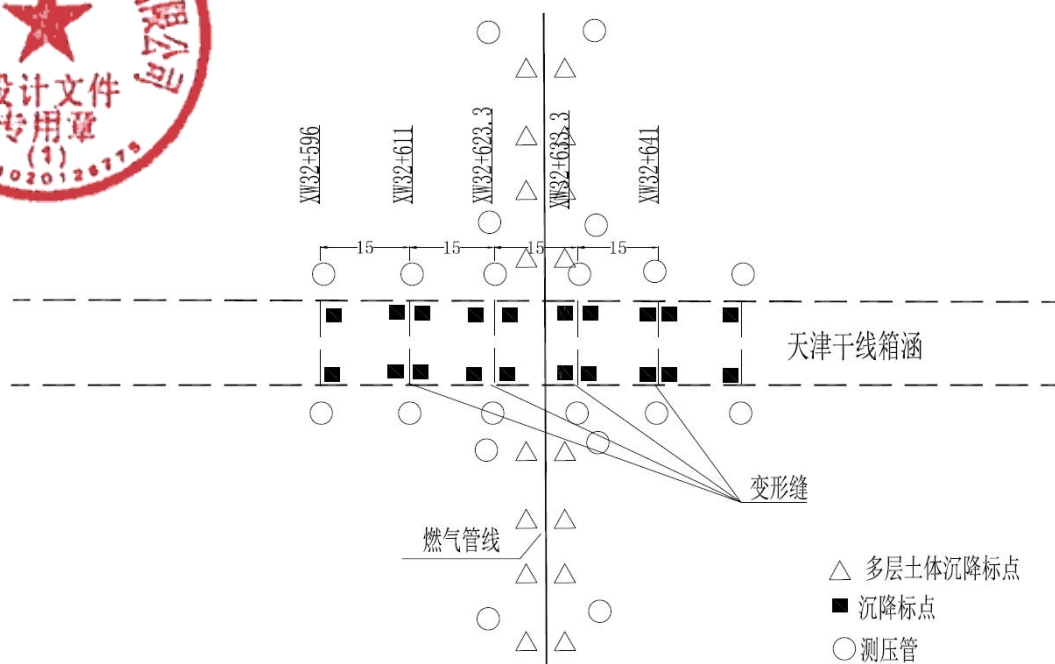


图12.1 安全监测点布置示意图

- a. 基准点采用开挖基坑后现浇砼的方式施工，不得采用预制方式。
- b. 砼应浇筑密实，强度及抗冻标号同渠道衬砌，避免出现冻融破坏。
- c. 箱涵沉降监测点采用钻孔后埋设钢管标的方式施工，钢管标上安装静力水准仪自动化监测。
- d. 多层土体沉降监测点采用钻孔后埋设位移计方式施工，实现实时自动化监测。
- e. 埋设时应查清路面下电缆及硅芯管等的埋设位置，不得对已埋设电缆及硅芯管等造成破坏，若位置有冲突，可略微调整标点位置，调整距离一般不应超过 0.5m。
- f. 本工程沉降观测应随施工进度及时进行，施工开始之前埋设沉降观测点并记录初始读数，施工期间的沉降观测根据施工情况进行观测。
- g. 不间断进行观测，一般每小时进行 1 次观测沉降量，并及时向机组组长反馈准确数据。



12.5.5 地下水监测

为了掌握输水箱涵周边地下水变化情况及对箱涵的影响，管道施工过程中对输水箱涵两侧地下水的压力进行监测。采用埋设测压管方式进行，测压管内安装渗压计自动化监测，布设在受施工影响的箱涵 6 条变形缝两侧，离边缘 1m 处各设置 1 个测压管，共 12 点；测压管管底高程在箱涵底部以下 1m，用于监测箱涵变形缝是否渗水。在天津干线两侧 50m 保护范围与施工轴线交叉处分别布设 2 个测压管，共 8 点，深度为 16m，监测施工对第四系孔隙潜水的影响变化。

12.5.6 人工巡视检查

为掌握施工期南水北调状况变化情况，除了采用仪器进行安全监测外，还必须经常进行巡视检查。每天巡查 1~3 次。

一般的巡视检查可使用简易工具，采取眼看、丈量、手锤敲打、耳听的简易方法进行，可用照像机、摄像机及各类专用设备对已发现问题的部位进行较全面的信息采集，并随时记录。

12.5.7 监测频率

表12.2 监测频率表

项目	导向孔施工	预扩孔施工	管线回拖施工	施工完成半个月	施工完成 1 个月内	施工完成 2~4 个月	施工完成 5-12 个月
施工轨迹监测、成孔及回拖速度、泥浆及注浆压力监测	跟踪监测	跟踪监测	跟踪监测				
沉降监测	1 次/小时	1 次/小时	1 次/小时	1 次/1 小时	1 次/1 周	1 次/15 天	1 次/月
地下水监测	1 次/小时	1 次/小时	1 次/小时	1 次/1 小时	1 次/1 周	1 次/15 天	1 次/月
巡视检查	跟踪监测	跟踪监测	跟踪监测	1 次/1 天	1 次/1 周	1 次/15 天	1 次/月

实际施测中，可根据现场条件和穿越施工外部环境变化情况适时调整监测频率，当钻进至与南水北调中线交叉位置处，应适当加密监测频次。一旦出现异常情况立即向业主通报，商定解决办法，采取措施消除安全隐患，当出现下列情况之一时，提高监测频率：

- (1) 监测数据达到预警值；
- (2) 监测数据变化较大或者速率加快。

12.5.8 监测仪器

(1) 箱涵沉降监测采用静力水准仪全自动化监测。

仪器精度要求为：

测量范围：0mm~200mm

灵敏度：0.01mm

测量精度：0.1%F.S

储存湿度：≤80%RH

储存温度：-30℃~70℃

(2) 多层土体沉降监测采用多点位移计全自动化监测。

仪器精度要求为：

测量范围：0~300mm

灵敏度 k：≤0.10mm / F

拟合/端基精度：0.1%F.S/0.5%F.S

测温范围：-40℃~+80℃

灵敏度：±0.1℃

测温精度：±0.5℃

修正系数 b：0.969 F/℃

耐水压：≥1MPa

绝缘电阻：≥50MΩ

储存温度：-30℃~+70℃

(3) 地下水位监测采用渗压计全自动化监测。

仪器精度要求为：

测量范围：0~400KPa

分辨率：0.025%F.S

拟合/端基精度：0.1%F.S/0.5%F.S

测温范围：-40~+80℃

灵敏度：±0.1℃

测温精度：±0.5℃

修正系数 b：0.10KPa/℃



耐水压：测量范围 1.2 倍
绝缘电阻： $\geq 50\text{M}\Omega$ 。

根据实际监测数据对工程做出险情预报是一个重大的技术问题，关系着工程安全和施工进度等多方面因素，必须根据工程的具体情况，综合考虑各种实际因素，在实测数据的基础上及时作出判断。

当箱涵及多层土体沉降累计值，地下水位当日变化值达到表 12.3 的数值或测压管内从无水突变到有水时进行预警。

表12.3 监测预警值指标

名称	沉降/水位变化 控制值（mm）	沉降/水位差 预警值（mm）	变化速率 （mm/d）
地面垂直位移	± 10	± 8	2
箱涵垂直位移	± 10	± 8	2
箱涵不均匀沉降	± 5	-	2
地下水位	-	200	200

对应不同的预警标准，施工过程中监测点的预警状态按照严重程度由小到大分为三级，黄色监测预警、橙色监测预警、红色监测预警，并明确了相应等级的预警状态描述以及预警处理措施，详见表 12.4。

若发生预警现象，立即报警，并提交报警报告，监测频次加密，处理完成后进行消警处理。

表12.4 分级预警及处理措施

预警级别	预警状态描述	预警处理
黄色预警	实测位移（或沉降）的绝对值和速率值双控指标均达到极限值的 70%之间时；或双控指标的 85%之间而另一指标未达到该值时。	发生黄色预警时，监测组合施工单位应加密监测频率，加强对地面和暗渠沉降动态的观察。
橙色预警	实测位移（或沉降）的绝对值和速率值双控指标均达到极限值	发生橙色预警时，除应继续加强上述监测、观察、监测和处



预警级别	预警状态描述	预警处理
	的 70%~100%之间时;或双控指标达到极限值而另一指标之间未达到该值时;或双控指标均达到极限值而整体工程尚未出现不稳定迹象时。	理外, 应根据预警状态的特点进一步完善针对该状态的预警方案, 同时应对施工方案、开挖进度、支护参数、工艺方法等做检查和完善, 在获得设计、建设单位和天津干线管理单位同意后执行。
红色预警	实测位移(或沉降)的绝对值和速率值双控指标均达到极限值与此同时, 还出现下列情况之一时: 实测的位移(或沉降)速率出现急剧增长, 结构混凝土表面出现裂缝, 同时裂缝开始渗水。	发生红色预警时, 除应向上述单位报警外还应立即采取补强措施, 并经设计、施工、监理和建设单位分析和认定后, 改变施工程序和设计参数, 必要时应立即停止开挖, 进行施工处理。

12.5.10 资料处理、分析及成果提交

(1) 各期观测完成后, 对观测资料、观测结果及时整理, 对跟踪及观测数据进行定量分析。及时反馈给相关单位。

(2) 监测结果分析

① 对跟踪及观测数据进行定量分析, 包括: 监测量累计变化值、监测量变化速率、不均匀沉降等。

② 沉降观测点布置施工完成后, 使用水准仪测量读取初始值, 并跟随施工进度按照观测频次进行观测记录, 当观测数据变化较大时, 加密观测频次, 并立即向建设方、监理方发出警报, 提请有关部门关注, 以便及时决策并采取措施。



13 施工监管

13.1 施工监管依据

根据《穿跨邻接南水北调中线干线工程项目施工和运行监管规定》(Q/NSBDZX 206.08-2022)，施工监管单位由中国南水北调集团天津分公司与穿跨邻接项目业主单位共同确定。施工监管单位应熟悉中线干线工程和穿跨邻接项目，按规定编制穿跨邻接项目施工监管要点，加强对关键部位、关键环节的旁站监控，对危害中线干线工程安全、供水安全、水质安全和人身安全的行为立即制止，并报告现地管理处。施工监管单位应定期向现地管理处提交监管日志、周报、月报及监管工作报告等，施工监管资料由分公司组织现地管理处按照中线公司相关档案管理规定整编、归档。

13.2 主要施工监管内容

13.2.1 施工监管要点

定向钻穿越工程是一项较高风险的系统工程，为了保证成功穿越并确保施工轨迹和管道在地下的深度满足设计要求，需对定向钻施工进行监管。主要监管要点为：

- (1) 钻进入土点、出土点、钻孔轨迹轴线和切点控制；
- (2) 钻进泥浆的储存、循环和处理；
- (3) 钻进泥浆压力、粘度、比重、固相含量的控制；
- (4) 维持扩孔孔壁稳定；
- (5) 拉管前实施焊缝测试；
- (6) 回拖时监测和记录拉力、扭矩、拉管速度和钻井液流量等，不超过管线的最大允许拉力；
- (7) 穿管线后的钻孔回填情况及防止外水渗入措施；
- (8) 天津干线箱涵孔隙水压力、沉降变形监测等。

13.2.2 施工监管内容

(1) 施工组织监管

监督施工方是否按批复的设计文件、施工方案组织施工，主要是监管施工方是否按批复的设计文件、施工方案组织施工。重点监管项目的工程位置、规模、设计标准、主要建筑物或结构型式、主要施工方案等是否发生变化。如有重大设计变更，项目建设单位是否组织编制设计变更报告，并重新履行相关审批程序。如发生一般设计变更情况，项目建设单位是否向中线分公司报备相关审批文件。

(2) 施工质量监管

施工监管单位对该工程项目的施工质量监管区别于项目监理单位对项目施工按照监理规则实施的监理。鉴于该项目工程质量问题可能波及或威胁南水北调中线干线工程安全、供水安全、水质安全，因此在监管过程中，施工监管单位有权查阅施工单位涉及工程质量及安全的各种检测数据、施工记录，材料及成品进场合格证等，有权指出在施工中不符合设计和施工方案的材料、器件、施工方法和工艺。

①定向钻施工。包括出入点的位置、角度是否与设计文件一致；导向孔轨迹偏差是否满足规定要求；施工中泥浆配比、泥浆压力是否满足设计要求；扩孔级数是否满足设计要求，是否出现扩孔异常等。

②管道安装。包括管道材质和壁厚是否满足设计要求；管道焊接及检测是否满足设计要求；管道防腐是否满足设计要求；管道清管、试压是否满足设计要求；管道回拖速度、回拖力是否异常等。

③回填及地貌恢复。包括二次注浆配比、注浆压力、注浆量是否满足设计要求；管道接头部位的防渗处理措施是否满足设计要求；地貌恢复是否符合要求。

(3) 施工进度监管

检查穿越项目施工工期与批复工期是否发生较大变化，尤其是汛期施工项目。确需延期的，检查穿越项目业主单位是否提出延期申请和应对措施，是否经分公司同意。

(4) 施工安全监管



重点监管参建单位采取必要的安全防护措施，防止对中线干线工程管理范围内的水质、工程设施等安全造成影响。

④安全生产组织。有无对现场作业人员进行安全教育和安全交底；在南水北调中线工程管理范围内施工的项目，有无强调对南水北调“三个安全”的保护要求，作业时是否遵守南水北调各级管理单位的安全生产有关规定。

②安全标识。施工过程中是否设置符合相关行业要求的警示带、警示牌和项目标识牌（含永久）。南水北调中线干线工程管理范围外警示带和警示牌按有关行业规定进行设置，南水北调中线干线工程管理范围内标识牌按中线干线工程统一规定的标准样式设置。

③特种作业和特种作业人员。电工作业、焊接作业等特种作业是否由特种作业证的人员进行。特种作业人员是否持证上岗、是否正确使用个人防护用品和用具。

④重大危险源管理和风险辨识。是否按要求开展安全风险辨识、评估工作并建立重大安全风险管控清单；是否设置安全风险公告栏、作业场所安全风险告知卡；坍塌、起重伤害、机械伤害、触电等重大安全风险控制措施落实情况是否到位等。

⑤对南水北调中线工程的保护措施是否到位，是否存在影响中线干线工程安全、供水安全和水质安全的行为。

⑥安全生产检查。是否定期、不定期进行安全生产检查和事故隐患排查，针对发现的问题，整改措施是否及时、到位等。

⑦安全生产事故。发生安全生产事故时，处理措施是否及时得当等。

（5）环保监管

重点监管施工单位在中线水源保护区、工程管理范围内是否采取必要的环境保护措施，防止对中线干线工程水质安全造成影响。

①管理范围内施工是否存在扬尘、扬物影响水质安全；裸露土地、物料是否遮盖；混凝土浇筑时洒落处理等。

②施工用水及生活废水处理是否符合环境保护及南水北调中线水源保护要求。



③施工期生活垃圾、固体废物、施工油污等是否按照环境保护要求处理。

(6) 突发事件应急处置监管

重点监管是否按照中线公司分公司批复的建设阶段应急预案和中线公司有关规定开展突发事件应急处置工作，主要监管要点如下：

①是否建立突发事件应急处置机构。

②是否按照要求开展穿跨邻项目突发事件应急演练（如有）。

③若发生危及中线干线工程安全、供水安全、水质安全和人身安全等突发事件时，穿跨邻接项目相关参建单位是否及时报告穿跨邻接项目建设单位，穿跨邻接项目建设单位是否及时报告镇平管理处，是否立即启动相关应急预案，是否及时组织会商，是否迅速开展应急处置。

(7) 第三方安全监测监管

重点监管是否按照批复的第三方安全监测实施方案开展工作，主要监管要点如下：

①是否按照要求布置相关监测项目，测点布置是否可靠、间距是否满足要求。

②监测人员是否接受培训或持证上岗，监测设备是否标定合格。

③监测频率是否满足设计要求，监测数据的整理与记录是否规范。

④是否按要求定期向镇平管理处提交监测数据、异常问题分析等监测成果。

⑤对数据异常和超出预警值的，是否立即报告施工监管单位和镇平管理处，并提出了处置建议。

(8) 干渠巡视检查

重点巡查穿越段南水北调干渠情况，主要包括：干渠渠道、管理范围内是否存在冒泡、冒浆等情况；干渠工程管理内地表是否存在塌陷、冒水的情况。



14 天津干线箱涵检修对天然气管道的影响分析

14.1 检修的目的

从天津干线近些年运行状况来看，箱涵整体结构性性能良好，箱涵运行过程中局部地区存在渗漏的可能，天津干线箱涵检修则根据渗漏情况采取不同的处理措施。根据箱涵破坏严重程度大概外部检修可分以下两类：局部开挖检修和箱涵全断面开挖检修。

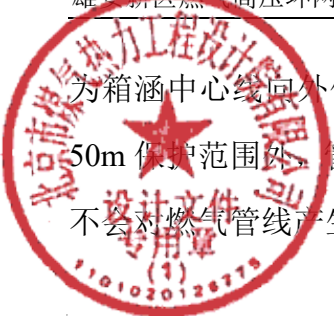
14.2 管道与天津干线暗渠箱体的位置关系

雄安新区燃气高压环网穿越南水北调干渠的里程为 XW32+603.544，管道与箱涵近正交布置，交叉角度 90° ，管道布置在箱涵中心位置。新建管线定向钻入土点位于箱涵南侧，距天津干线距箱涵外边缘垂直距离为 306.2m，出土点在天津干线北侧，距离南水北调天津干线箱涵外边缘垂直距离为 334.5m。燃气管道位于天津干线暗渠箱涵底板 25.4m 的距离。

14.3 天津干线开挖检修对燃气管线的影响分析

天津干线局部开挖检修是在能够大概率确定渗漏点的情况下，采取局部支护和开挖处理，目前常用的处理方式，采用钢板桩或拉森桩。根据南水北调天津干线暗渠箱涵局部检修计算和工程经验，最大所需采用桩长为 15.0m，最大嵌固深度约为 8m 左右。在箱涵结构破坏时，则采取箱涵全断面开挖进行维修加固。开挖最大深度为箱涵底板底以下 0.5m。

燃气管线顶部距离天津干线暗渠箱涵底板净距为 25.4m，距离地面 33.5m。天津干线局部检修时钢板桩按最大桩长 15m 考虑，因此钢板桩底部距离管道顶部覆土厚度为 18.5m。全断面开挖进行箱涵维修加固时，检修开挖工作坑的坑底为箱涵底板下 0.5m，开挖边线距箱涵中心约 23m（下部按 1: 1.5，上部 1: 1.25 临时边坡开挖），施工道路宽 5m，不计临时堆土区域，则天津干线箱涵满足开挖检修的最小施工范围



为箱涵中心线向外偏移 28m。该穿越工程水平定向钻最低点水平段均位于天津干线 50m 保护范围外，管道与天津干线底板最小净距 25.4m，因此天津干线箱涵检修开挖不会对燃气管线产生影响。

14.4 天津干线暗渠箱涵放空检修对管道的影响

天津干线在放空检修并再次充水时，箱涵基础是一个减载再加载的过程，基础上部荷载变化会引起基础变形。

穿越处箱涵自重+水重产生压力为 81.7kPa，箱涵未建设前原状土自重应力约为 140~150kPa，箱涵的建设是一个减载的过程，此处基础相当于是超固结的状态。当箱涵放空再充水时，整个过程均未超出前期荷载，基础基本不受影响，箱涵结构安全。因此燃气管建设对箱涵排空检修工况下结构安全基本无影响。

14.5 结论

综上，雄安新区燃气高压环网施工及运行不会影响天津干线运行管理及维护。天津干渠维修和放空检修同样不会对新建燃气管道安全运行造成影响。



15 管道报废处理

管道工程的设计工作年限一般为 30 年，当运行年限达到设计工作年限后，应结合管道壁厚检测情况及市场供需关系等因素综合考虑，决定报废处理或继续降压运行。

当确定管道报废不再使用后，首先对全线（包括站场、阀室的工艺管线）进行氮气置换，置换合格后向管道内注满水泥砂浆，就地封存即可。注浆前，先向管内注 1m^3 的水，以利于砂浆流动，减少注浆阻力；砂浆的配比按重量水泥：水：河砂为 1：2：7 的比例配置，以末端有砂浆冒出为注满标准。

管道定向钻穿越回拖过程中若发生钻孔塌陷等损坏，可在入土端将管道拖出地面并回收处理；如无法回拖，将钻孔内管道与超过工作年限管道报废处理措施一致。

试用水印



16 环境保护及水土保持

16.1.1 概述

考虑到天然气管道工程在施工过程及投入运行后有可能对环境造成一定的影响，根据《中华人民共和国环境保护法》的规定，必须在设计中考虑环境保护问题，以利于人民的身心健康和生活质量，同时也符合国家有关法规、政策。

16.1.2 穿越管道工程的污染分析

施工中不可避免将对周围环境存在一定影响，施工进度和施工完毕应采取相应措施减小对环境的影响。建设期间对环境的影响主要来自管道施工中的清理平整施工作业带、施工便道的建设、堆管场、蓄水池和施工机械、车辆、人员践踏等活动对土壤和生态环境的影响。此外，建设期间各种机械、车辆排放的废气和产生的噪声、施工产生的固体废物的丢弃、管道试压产生的废水等，也将对环境产生一定的影响。

16.1.3 设计采取的环境保护措施

针对以上问题，设计上主要考虑以下措施：

1) 严格执行燃气管道设计规范及施工验收规范，提高设计系数、合理选择管材、防腐措施等，增加管线壁厚，以增强管道抵抗外部可能造成破坏的能力，确保管道施工质量和运行质量，以确保管道的安全、稳定的运行；

2) 对于临时性开挖管沟产生的弃渣，应尽量按施工规范、地方法规和设计要求堆放。在施工过程中的临时性占地在施工完后即可恢复。固体废弃物及时清理、运走，不会对环境产生长期影响。

3) 管道试压介质采用清洁水，试压后排放水中的主要污染物为悬浮物，处置方式是选择合适的地点排放，将水中悬浮物及时收集、运走。

4) 施工中应尽量减少对耕地的破坏范围。对于破坏的耕地，应将表层土推至一边堆放，恢复地貌时再覆土；



5) 加强施工管理, 严格执行国家《土地复耕规定》, 控制施工占地面积, 减少地表植被的破坏,

6) 对于油污, 残渣等应设临时排污池, 集中排放; 施工完毕应运走至适当地方进行处理。施工过程中应在地方相关环保部门现场监督、指导下进行, 达到环保相关要求方为合格。

7) 为加强施工的管理, 减少对生态环境的破坏, 施工期间应落实相应的环保专职人员与地方政府工作人员一道进行监督和管理, 使本工程成为符合国家环保要求的优良工程。

8) 施工时废弃泥浆集中收集后运至合适地方进行处理, 或采用泥浆罐替代泥浆池; 泥浆应尽量采用环保泥浆; 泥浆循环净化处理; 尽量采用无害处理剂; 有害处理剂, 应进行污染测试, 并按环境保护评价和环保部门的要求进行处理。注意场地收集储存返回的泥浆尽可能回收再利用; 施工完成后, 将剩余泥浆和回收返浆时分离出来的泥沙运送到当地垃圾填埋场, 按环保部门要求进行处理。

16.2 水土保持

16.2.1 水土保持

水土保持是我国一项基本国策, 在资源开发及基建工程中应予以高度重视, 设计将认真贯彻执行《中华人民共和国水土保持法》。

在管道穿越施工特别是漫滩施工过程中, 如不引起重视, 将会对管道沿途的自然环境造成破坏, 将会形成水土流失, 不但对环境, 同时对管道也将带来不利的影响。因此, 设计时应充分考虑以上因素, 采取切实而有效的措施确保管道安全及达到地方水土保持部门的要求。

16.2.2 设计措施

1) 管道采取埋地敷设;

2) 施工后认真恢复地形、地貌, 做好排水系统设计, 不能破坏和影响水土流失和环保。

3) 定向钻穿越钻进和出土点及回拖场地将占用较大的耕地，施工完毕，地形、地貌应予以恢复。



试用水印



17 劳动保护和安全卫生

天然气属易燃、易爆介质，在运行过程中，其泄漏、爆炸、粉尘、噪声等因素均可能对人体造成危害，依照劳动部《关于生产建设工程项目职业安全卫生监察的暂行规定》的要求，设计中应采取相应的保护及安全卫生措施。

17.2 设计措施

对于可能产生的危害因素，设计考虑如下措施：

- 1) 选择成熟的天然气输送工艺、合理的穿越设计系数和管材、管型，提高管道运行的安全可靠性的；
- 2) 工程建设单位应建立严格的规章管理制度，定期对职工进行安全及健康防护方面的教育；加强对水下穿越管道的安全检查，建立专门检查专职生产安检人员；
- 3) 依托社会，建立有效的医疗卫生保障体系，对现场施工和抢修工作应配备急救人员和医疗卫生设施；
- 4) 建议建设单位在选择施工队伍时，应优先选择有同类穿越施工经验，有优良穿越施工安全记录的队伍；
- 5) 要加强爆破器材的管理。基岩爆破作业时要控制装药量，加强安全措施。
- 6) 施工期间应注意施工安全，加强边坡监测，做好相关安全预案和措施（包括可能出现的自然灾害的风险应对措施）。

17.3 定向钻施工主要安全措施

- 1) 应预先探明高压电线、电缆等带电设施，采取有针对性的措施防止导向偏差的同时，对人体、设备的安全可充分掌控，避免触电事故的发生；



2) 钻进前 应按照制造商提供的资料, 防止超出钻杆的允许扭矩和拉应力, 避免出现事故;

3) 钻进突然停止或减慢, 应确定是否碰到障碍物, 然后再进行钻进;

4) 保持出入土点的畅通联系, 避免沟通障碍导致回转钻杆及回扩工具对人员的伤害;

5) 干膨润土粉末可能造成吸入危险, 应佩带防护工具, 如口罩等;

6) 在设备操作方面, 应制定严格的操作流程和安全控制细节; 如: 在启动任何设备前应设置好紧急关机程序, 断开任何管路前均应释放压力, 拧、卸钻杆柱时, 应使钻头离开孔底等。

17.4 HSE 管理

施工过程中应制定完善的 HSE 管理制度, 施工操作、材料堆放、人员调度等应严格按照所制定的 HSE 管理制度执行, 确保施工操作的安全性、施工计划的合理性。



18 运行期对南水北调影响因素及保护、应急措施

运行期对南水北调天津干线的影响因素主要是：

- 1) 第三方打孔盗气对管道的破坏。
- 2) 第三方施工导致管道或通信光缆的破坏。
- 3) 管道发生泄漏破裂。

18.2 保护、应急措施

1) 设计方案安全防范措施

(1) 加大管道穿越设计埋深，设计埋深调整至南水北调天津干渠箱涵底板下覆土埋深厚厚度 25m，地面下管顶覆土埋深 33.5m。通过加大设计埋深的加强保护措施最大限度的降低管道运营期的第三方破坏行为的发生。

(2) 采用最高等级的设计系数，增加管道的壁厚，由 10mm 增大至 14.2mm，保证管道母材本质安全；管道焊口采用目前最为先进的、安全可靠的焊接方式及严苛的焊口检测标准，保证管道焊口的焊接施工质量。因此通过管道母材和焊口质量的质量提高，从而确保管道本体质量安全。

(3) 采用加强级防腐涂层+电流阴极保护系统+智能阴极检测桩，确保运营期管道的防腐层的安全，从而确保管道本体的安全。

(4) 本项目上下游设有切断阀（手动球阀，埋地式），上游 2#门站出站处设有电动球阀。上、下游切断阀及 2#门站电动球阀两侧设有放散阀门、放散管，阀门设置位置可见表 8.12。

当管道发生泄漏时，可通过关闭上、下游切断阀门、上游 2#门站出站电动球阀，实现对 2#门站下游管道的自动切断，同时切断上、下游阀门之间的故障段管道气源并紧急放散。管道运行期应定期维护切断阀等相关设施。



(5) 如发现泄漏、管道压力不稳定等问题,应立即停气进行检修,当管道无法修复且影响到沿途稳定性及供水安全时,应将管道报废处理,并对报废管道进行高压充浆(素混凝土)填充处理。

(6) 根据《压力管道定期检验规则 公用管道》TSG D7004-2010 的相关要求,对新建燃气管线应进行年度检查、全面检验和合于使用评价,定期检验要求执行《压力管道定期检验规则-公用管道》TSG D7004-2010 的相关规定。全面检验和合于使用评价结果报送中线干线工程管理部门备案。

2) 运营期安全防范措施

运营期需采取人力防范、技术防范和实体防范等综合措施确保隧道和管线运营安全。

(1) 人力防范:每日开展地面巡检,发现问题及时处理,防止第三方施工建设破坏管道,特殊时期加强巡检;考虑到不同季节第三方施工发生的时间节点不同,不同季节执行不同巡检时间段,巡线员每天对所辖区段进行 3 次全覆盖巡检,巡护时长不超过 3.5 小时,巡线员上午、下午至少各巡护一次。巡护公司现场代表每天车辆巡护所辖全部管道。

(2) 技术防范:管道沿线应设置卫星定位巡检系统或电子巡查系统。

(3) 实体防范:

①管道穿越两侧设置标志桩和警示牌。

②加强管道巡逻,做好安全宣传工作。

③定期维护警示牌、标志桩等设施。

④做好管道阴极保护运行、定期监测工作。

⑤管道投产后,将定期开展本工程的内检测和适用性评价工作,对管道腐蚀情况进行检测,确保管道的安全运行。

3) 智能监控设计

(1) 本工程为监测重点部位,在穿越竖井两侧适当位置设置视频监控监测系统。

(2) 监控采集到的数据宜汇聚至各段归属站场,将数据统一上传至控制中心。

(3) 在控制中心的数据管理平台上宜设置相关数据评判系统和预警报警系统,达到报警阈值时进行报警。

18.3 地表监测方案

为了保障管道运营期间穿越南水北调天津干线的安全，应加强管道的运营期间的监测，监测内容包括地表沉降及管道安全状态。

- 1) 严格按照有关技术规范和规定进行运营监测。
- 2) 监测点的设置应与建设、管理单位等多方协调，不得影响通水。
- 3) 监测时间为施工结束后 12 个月，监测频率为第 1 个月每周 1 次，第 2~4 个月，每 15 天 1 次。第 5~12 个月，每月 1 次。监测数据稳定后，监测频率可适当低。
- 4) 监测内容包括土体沉降、箱涵顶沉降、地基渗漏和塌陷监测。
- 5) 监测仪器事先经过有关技术部门的标定和校正，以保证监测数据的可靠性。
- 6) 当监测值接近报警值时，及时预警，并提请有关方面注意；当达到报警值时，及时报警，并分析原因，及时处理。
- 7) 对自然条件、周边环境、监测设施等的巡视检查情况应做好记录，检查记录应及时整理，并与仪器监测数据进行综合分析。

一般沉降监测周期为施工结束后 12 个月。

在穿越处适当位置设置一处视频监控，进行全天候监控。前端监测点包含网络红外智能球型摄像机（低功耗）1 台、太阳能板 1 套、蓄电池 1 套、工业级以太网交换机 1 套和监控立杆 1 基。监控点视频数据通过管道光缆传至 2#门站，再通过网络运营商专用光纤传至能源公司视频监控系统；南水北调公司可根据需求访问视频监控系统，调取需求视频实现远程观测（具体如何访问需要能源公司能管平台厂家配合完成）。

18.4 应急预案

18.4.1 事故信息接收与报告

事故发生后，事故当事人或发现人，应在采取应急处理措施或启动应急预案的同时，向应急小组、调控中心调度室报告。报告应包括以下内容：事故发生时间、类别、地点和相关设施；现场联系人姓名和电话等。



18.4.2 信息上报及传递

有关部门和人员接到报告后，向有关部门和分管领导报告。当确定为公司较大级（含公司较大级）以上事故时，应由主管领导报告公司主要领导。经公司同意后，各部门领导应当按照国家有关规定，1小时内向事故发生地县级以上人民政府安全生产监督部门和负有安全生产监督管理职责的有关部门报告有关事故情况。

18.4.3 应急响应

（1）突发事故发生或接到有关报告、预报时，发现部门应立即按照规定程序逐级上报。

（2）应急小组接到报告后，应立即报告分管副总指挥和总指挥，由分管副总指挥立即组织生产现场的主管部门等相关部门，对现场风险情况的评估。

（3）根据评估结果，由总指挥任命现场指挥部指挥。并由现场应急指挥向公司有关部门（单位），发布启动公司级专项应急预案的应急响应信息和要求。

（4）公司级应急预案启动后，应急办公室应立即报告集团调度中心。

18.4.4 响应程序

人员	工作内容	备注
发现人	报警，执行现场应急处置	汇报现场情况
上级应急指挥	1、根据现场情况判断是否启动本级预案。 2、如启动应急本级预案则上报上级部门、发出增援要求。 3、应急结束则发出预案关闭指令。 4、发出扩大应急响应请求。	在达到预案启动条件时，启动本级预案，发出应急响应指令，派出应急人员制定、组织实施抢险方案
应急人员	按照指令组织人员、资源，赶到现场实施抢险工作。	执行抢险方案

18.4.5 应急处置措施

表18.1 应急处置措施

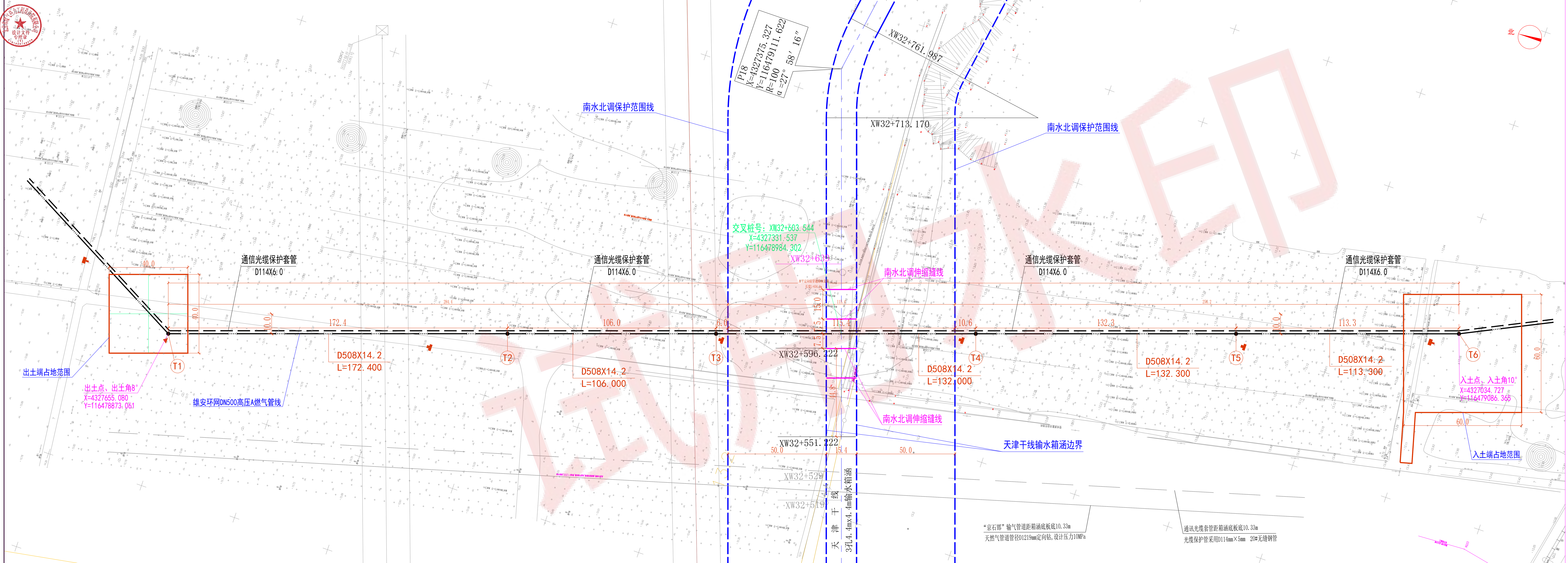
现象、原因、注意事项	处置、操作步骤	负责人
现象：泄漏现场聚集大量	1.值班人员接到管道泄漏报警后，通知报警人	值班人员、线路作业



现象、原因、注意事项	处置、操作步骤	负责人
现象：有尖锐的气流声。 原因：因腐蚀、自然灾害、第三方施工意外、焊接缺陷等，造成管道发生天然气泄漏。	撤离至泄漏现场的上风向安全区域，并请求对现场人员进行疏散。	岗
	2.记录好发生泄漏的具体地点及现场详细情况。	值班人员、线路作业岗
	3.汇报公司调度，申请根据上下游阀室或站场运行工况进行分析研判。	值班人员、线路作业岗
	4.汇报值班站长。	值班人员、线路作业岗
注意事项： 1.现场人员须撤离到泄漏点上风处。 2.如事故失控，对人员生命安全构成威胁时，立即撤离危险区域。 3.有人员受伤，将受伤人员移至安全位置，采取初期必要的紧急救护措施。 4.当使用正压空气呼吸器低压报警（5.5±0.5MPa）时，必须立即撤离至安全区域。	5.安排就近线路巡护人员进行现场核实。	值班站长
	6.安排人员赶赴泄漏点上下游阀室，到达现场后就地关闭。确认阀室截断阀关闭，得到命令后对隔离管线进行放空。	值班站长
	7.汇报公司应急领导小组办公室和公司领导，组织现场处置。	值班站长
	8.告知受影响的下游用户。	值班人员
	9.2 名人员穿戴正压空气呼吸器、避火服对泄漏点由远及近实施天然气浓度的安全检测。 ——地上探边：根据地上可燃气体浓度检测结果及管道潜在影响半径，查找划定达到爆炸下限 10%的边界和可燃气体浓度为 0 的边界。地上探边包括相关的建筑物、停靠车辆等内部。 ——地下探边：在相关区域，通过地下钻孔等方法，检测地下的可燃气体浓度，查找并划定达到爆炸下限 10%的边界和可燃气体浓度为 0 的边界。 ——沟井管道探边：查找相关区域内的上水、	安全员



现象、原因、注意事项	处置、操作步骤	负责人
	下水、暖气、电力、电信等全部阀井、窖井，检测井内的可燃气体浓度，对发现有可燃气体浓度的井，应沿敷设管线向外扩展探测，查找可燃气体串气蔓延的边界。发生燃气不明泄漏应对敷设有套管的管道井特别关注。	
	10.及时报当地政府，请求组织现场疏散，利用扩音喇叭等方式引导相邻企业人员和周边居民撤离至安全区域。	值班站长
	11.配合政府人员对外围警戒线外进行交通管制，并确保消防通道畅通，引导应急救援车辆入场。	安全员
	12.请求消防部门和医疗部门进行协助，随时应对事态扩大，配合地方政府救援队伍开展现场应急抢险。	专业技术岗和作业岗
	13.确认现场安全后，配合维抢修单位进行抢修，负责现场作业的安全监督。	专业技术岗和作业岗
	14.抢修完成后汇报上级调度中心，完成升压、平压、检漏、流程切换等现场操作。	专业技术岗和作业岗人员
	15.根据抢险处置情况判断事态受控，响应解除关闭方案。	值班站长
	16.汇报公司应急领导小组办公室和公司领导。	值班站长
	17.汇报公司调度。	值班人员



桩号	T1
里程	0+0.000
X	4327655.080
Y	116478873.061
θ	

桩号	T2
里程	0+172.400
X	4327492.048
Y	11647929.119
θ	180.0000°

桩号	T3
里程	0+278.400
X	4327391.808
Y	11647963.585
θ	180.0000°

桩号	T4
里程	0+410.400
X	4327266.981
Y	116479006.506
θ	180.0000°

桩号	T5
里程	0+542.700
X	4327141.870
Y	116479049.525
θ	180.0000°

桩号	T6
里程	0+656.000
X	4327034.727
Y	116479086.365
θ	

- 说明:
- 实施前应复核现场条件,有问题及时与设计单位联系。
 - 图中坐标采用北京54坐标系。
 - 桩号、高程、尺寸均以米计。

图例

- 设计高压A燃气管线
- 待设计高压A燃气管线
- 通信光缆保护套管
- 标志桩
- 转角桩
- 警示牌
- 燃气阀室

北京市燃气热力工程
设计院有限公司
BEIJING GAS AND HEATING
ENGINEERING DESIGN INSTITUTE

日期	摘要	签署
	修改说明	
给排水	机械	
暖通	自控	
建筑	电气	
结构	燃气	
总图	热力	
会签		
项目负责人	薛海强	何山江
专业负责人	李鑫	李鑫
设计	张鹏	张鹏
校核	熊猛	熊猛
审核	车轩	车轩
审定	孙明坤	孙明坤
项目名称		
雄安新区燃气高压环网一期工程穿海河水		
北调中线天津干渠保护及专项工程燃气设计部分		
图纸名称		
天然气输气管道工程		
(穿海河水北调中线干渠)		
项目编号		
2303480C-05G		
阶段	专题设计	图号
专业	燃气	附图01
版次	第一版	日期
		2024-12

