

ICS 67.040

X 18



T

团

体

标

准

T/CSPSTC X-202X

海域管道水平定向钻施工技术规范

Specification for construction of offshore pipeline by horizontal

directional drilling

(征求意见稿)

2024-xx-xx 发布

2024-xx-xx 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 基本规定	2
4.1 一般规定	2
4.2 穿越位置	3
4.3 穿越轴线	3
4.4 出、入土角选择	3
5 施工准备	3
5.1 一般规定	3
5.2 施工测量	4
5.3 施工组织设计要求	4
6 设备和工具	4
6.1 一般规定	4
6.2 规格选择	4
6.3 维护和检查	4
6.4 使用计划	5
6.5 重要设备和工具	5
6.6 泥浆系统	5
7 穿越施工	5
7.1 导向孔	5
7.2 扩孔	6
7.3 回拖	6
7.4 防腐层检测	6
8 海上施工	7
8.1 一般规定	7
8.2 海上支持船/平台	7
8.3 海上隔离套管及支撑架	7
9 焊接与检验	7
9.1 焊接	7
9.2 无损检测	8
10 管线预调试	8
10.1 清管、测径与试压	8
10.2 排水、干燥与惰化	8
参考文献	10

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XXX提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

为规范海域管道工程水平定向钻施工技术，保证工程质量，落实国家现行的有关方针政策，统一技术要求，结合国内外海域管道水平定向钻工程建设实践，编制组广泛征求意见，对海域管道水平定向钻工程施工技术进行了深入对标与研究，并借鉴了国内外先进技术和经验，起草本文件。

海域管道水平定向钻施工技术规范

1 范围

本文件规定了海域管道水平定向钻施工技术的施工准备、设备和工具、穿越施工、海上施工、焊接与检验、管线预调试等方面的要求。

本文件适用于海域钢制管道采用海对海水平定向钻或陆海水平定向钻技术的工程，对于使用其他材质的管道工程，当采用海域管道水平定向钻技术时，可参照使用。

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。

GB 50424 油气输送管道穿越工程施工规范
SY/T 4109 石油天然气钢质管道无损检测
SY/T 6968 油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范
SY/T 7368 穿越管道防腐层技术规范
SY/T 10030 海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法 工作应力设计法
SY/T 10037 海底管道系统

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

陆海水平定向钻 land-to-sea horizontal directional drilling

入土点和出土点一侧位于陆地上，另一侧位于海上的海底管道水平定向钻工程。

3.1.2

海对海水平定向钻 sea-to-sea horizontal directional drilling

入土点和出土点均位于海上的海底管道水平定向钻工程。

3.1.3

入土点 entry point

导向孔的起点。

3.1.4

出土点 exit point

导向孔的终点。

3.1.5

入土角 entry angle

入土点钻杆与水平面的夹角。

3.1.6

出土角 exit angle

出土点钻杆与水平面的夹角。

3.1.7

穿越段 crossing section

入土点至出土点间的范围。

3.1.8

过渡段 transition section

海上出、入土点至与海底管道一般段连接点间的范围。

3.1.9

导向孔 pilot hole

利用水平定向钻机，沿设计曲线完成的初始钻孔。

3.1.10

海上支持船/平台 offshore support barge/platform

用于支持水平定向钻施工的搭载钻机的船舶（通常为驳船）或海上平台。

3.1.11

泥浆 slurry

由膨润土、水和少量添加剂组成的混合物。

3.1.12

钻机地锚 rig anchor

用以固定定向钻钻机，提供钻机反作用力的锚固设施，通常埋于地下。

3.1.13

导向工具 guidance tool

钻孔过程中提供导向信息、实施导向功能的工具。

3.1.14

控向系统 direction control system

测量钻具方位角、倾斜角及工作状态等参数，控制水平定向钻钻头姿态的系统。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

TOFD: 衍射时差法 (Time of Flight Diffraction)

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 穿越场地应符合相关部门的要求，临时用地和用海应征得所有方或相关部门的同意。

4.1.2 穿越场地的布置应能保证施工期间符合环保要求。

4.1.3 陆上穿越场地选择时宜利用已有地面设施，如已建道路等。

4.1.4 海上可采用海上支持船或平台作为海上钻机场地。海上场地宜尽量避免占用海洋功能区，与功能区保持安全间距。施工过程对周边功能区的影响应符合该功能区的环保要求。

4.1.5 承担海域管道水平定向钻穿越工程的施工单位，应具有相应的施工资质，施工人员和工程质量验收人员应具备相应的职业资格或专业技术资格。

4.1.6 施工现场质量管理应有相应的施工技术标准、质量管理体系、质量控制及检验制度，施工现场应有经过审批的施工组织设计、施工方案等技术文件。

4.1.7 工程材料应符合设计要求和相关标准规定。

4.1.8 同期建设的管道与海缆，宜分别进行穿越。

4.2 穿越位置

4.2.1 穿越位置应满足设计文件要求。

4.2.2 海域管道水平定向钻宜与海岸线、海堤、航道、管缆等正交，如果需要斜交，交角不宜小于 30° 。

4.3 穿越轴线

4.3.1 穿越轴线优先选择地质均匀区域。

4.3.2 海域管道水平定向钻穿越轴线符合下列要求：

- a) 穿越轴线应满足设计文件要求；
- b) 与堤坝、港口、码头、水下建筑物或引水建筑物等之间竖直方向的净距不宜小于 10 m；
- c) 与桥梁墩台、冲刷坑外边缘的净距不宜小于 10 m，且应不影响桥梁墩台安全；
- d) 与海域隧道的净间距不宜小于 30 m；
- e) 穿越已建管缆时，海底管道水平定向钻与已建管缆之间竖直方向的净距不宜小于 10 m。

4.4 出、入土角选择

4.4.1 出、入土角度应满足设计文件要求。

4.4.2 陆上入土角的范围宜为 $8^\circ \sim 20^\circ$ ，陆上出土角的范围宜为 $4^\circ \sim 12^\circ$ 。

4.4.3 海上入土角和出土角的范围宜按表1取值。穿越管径较大时，海上入土角和出土角宜适当减小。当海上不设过渡段时，角度可适当增大。

表1 海域水平定向钻海上角度推荐表

穿越管道管径 mm	海上入土角	海上出土角
<500	$4^\circ \sim 8^\circ$	$3^\circ \sim 8^\circ$
500~1000	$4^\circ \sim 6^\circ$	$3^\circ \sim 6^\circ$
>1000	$2^\circ \sim 4^\circ$	$2^\circ \sim 4^\circ$

4.4.4 海上出、入土角的选取宜考虑过渡段挖沟的难易程度。应依据地形，海上出、入土角角度，穿越段与过渡段之间的纵向弹性敷设曲率半径以及过渡段管顶埋深要求等信息，确定所需的最大挖沟深度。挖沟深度不宜过大，应具备可实施性。

4.4.5 当陆上穿越采取套管隔离进行地质改良时，钢套管内径宜大于最后一级扩孔直径 300 mm。海底管道回拖就位后，管道与隔离套管之间的端部环形空间应采用止水材料进行填充。

4.4.6 施工期应确保海上过渡段管道的稳定性满足设计文件要求，短期稳定可采用覆盖连锁排、打限位桩等施工措施。

5 施工准备

5.1 一般规定

5.1.1 开工前应进行现场调查，编制并报批施工组织设计、施工方案或作业规程，并配合施工装备。

5.1.2 开工前应做好下列工作：

- a) 预测地表和地下障碍物对穿越施工的影响，当勘探结果不满足施工需要时，应加密勘探；
- b) 确立交通运输方案；
- c) 了解施工场地与相邻工程、农田、水利等的关系；
- d) 了解建筑物、构筑物、道路、水利、电讯和电力线等设施的拆迁情况和数量；
- e) 调查水源、检测水质，拟定施工供水方案；
- f) 调查可利用的电源、动力、通讯、消防、劳动力、生活供应及医疗卫生条件；

g) 调查施工中对自然环境、生活环境的影响及需要采取的措施。

5.1.3 施工前, 设计单位应进行现场交底, 施工单位应全面熟悉设计文件, 并应做好下列工作:

- a) 掌握工程的重点和难点, 了解穿越方案;
- b) 复查对穿越施工和环境保护影响较大的地形、工程地质、水文地质和气象条件, 以及其他限制条件和要求, 制定相应的技术和保护措施;
- c) 核对设计文件;
- d) 会同设计单位现场交接和复查测量控制点、施工测量用的基准点及水准点, 按施工方法的要求进行复查。

5.1.4 做好海上天气预报和天气观测, 如遇极端恶劣天气, 应确保人员安全, 不宜开展海上作业。

5.3.4 施工前应结合工程特点, 对员工进行质量、健康、安全和环保教育及技术交底和培训。

5.2 施工测量

5.2.1 测量放线前, 应根据设计给出的控制桩位、设备情况、工程情况、地形地貌等编制施工场地平面布置图。

5.2.2 应用测量仪器放出穿越轴线, 并应确定穿越入土点、出土点。

5.2.3 应根据穿越入土点、出土点、穿越轴线、水深、水文条件等, 确定钻机安装场地、海上支持船/平台类型、管线侧施工场地、泥浆池以及穿越管段预制场地的边界线, 陆上场地宜撒上灰线。

5.3 施工组织设计要求

5.3.1 施工组织设计至少应包括施工方法、场地布置、进度计划、质量计划、工程数量、人员配备、主要材料、机械设备、电力、运输、健康安全环保和社会影响等主要措施内容。

5.3.2 施工单位应根据地质条件, 结合穿越长度、结构类型、工期要求、交通条件、场地、施工技术力量、安全生产、机械设备、材料、劳动力组合等情况确定施工方法。

5.3.3 施工单位应结合水文条件、海上天气预报、船舶资源、工程总工期等因素, 制定进度计划。

6 设备和工具

6.1 一般规定

6.1.1 应根据工程特点及设计文件要求对设备和工具进行选择。

6.1.2 设备和工具的选择应符合设备制造商提供的操作参数要求。

6.2 规格选择

6.2.1 水平定向钻穿越设备应包括钻机、海上支持船/平台、泥浆系统、控向系统、动力系统。

6.2.2 水平定向钻机应有足够的钻孔和回拖能力, 泥浆混合和传输系统应有完成穿越工程的能力, 导向系统操作精度应满足工程要求。

6.2.3 所有设备应处于良好、安全的运行状态, 材料和备件应充足。

6.2.4 设备工具应适应使用环境。

6.2.5 钻头类型的确定应当综合考量地层类型、钻孔直径、钻进要求、地质复杂性等因素。

6.3 维护和检查

6.3.1 所有设备和工具均应根据制造商的制造规格书进行定期检查。

6.3.2 在不利地质条件下工作时, 宜增加检查的频次。

6.3.3 应确保所有使用中的设备以及与其相连接的其它设备, 始终保持在适当的操作状态中。

6.3.4 现场应有必要的资源, 以确保设备可以在理想的操作和维护环境中进行操作、维护和维修。

6.3.5 所有设备和工具的存储、运输、使用和维护均应按照制造商的要求进行。

- 6.3.6 应提供所有设备和工具的检查、维护和测试计划。
- 6.3.7 负责维护设备和工具的人员应受过培训。

6.4 使用计划

- 6.4.1 应在施工前准备现场使用的所有设备和工具使用计划。
- 6.4.2 使用计划应提供设备工具的规格书和出厂合格证、作业环境和运输计划等。

6.5 重要设备和工具

- 6.5.1 水平定向钻机的能力应满足管道施工全过程的受力需求，并结合施工场地尺寸、空间环境及地基承载力，选择合理的布设位置。
- 6.5.3 海上支持船/平台的尺寸应满足海上定向钻施工场地布设要求，根据环境载荷进行受力分析。
- 6.5.4 钻杆的强度应能承受水平定向钻施工过程中施加的旋转扭矩和推拉力。
- 6.5.5 根据管径、穿越长度、地质条件及设计文件，选择合理的钻具组合。
- 6.5.6 应在钻导向孔前测试导向工具，校准并确认穿越位置地表的实际预定义点。
- 6.5.7 根据地形考虑现场存在的电磁干扰情况，选择满足精度要求的导向系统。
- 6.5.8 钻机安装调试符合下列规定：
 - a) 应根据施工场地规划，设备依次进场就位。
 - b) 钻机宜安装在穿越轴线上。锚固件应安装牢固，地锚能力应满足钻机最大拉力要求。
 - c) 有线控向系统的调校地点应选在不受磁场干扰的区域。调校时探头在同一位置宜多次测量，并应取多次测量值的算数平均值作为方位角基准值。
 - d) 设备安装完成后应进行整体试运转。
 - e) 在条件具备的情况下，应使用人工磁场。

6.6 泥浆系统

- 6.6.1 施工前，应根据地质情况、环境水条件及施工用水，在泥浆实验室试配并确定泥浆配方。
- 6.6.2 应根据地质情况和钻进工艺，调整泥浆配方和泥浆性能。
- 6.6.3 泥浆性能应符合 GB 50424 和 SY/T 6968 的要求。
- 6.6.4 施工全程宜合理控制泥浆最大压力和最小压力。
- 6.6.5 宜采用环保泥浆。
- 6.6.6 废弃泥浆处理应满足环保要求。

7 穿越施工

7.1 导向孔

- 7.1.1 导向孔钻进应符合下列规定：
 - a) 控向操作应有经过培训合格的人员操作，控向系统的功能应满足工程的需要；
 - b) 导向孔应根据设计曲线钻进；
 - c) 每钻进一根钻杆宜至少采集一次控向数据，并应根据采集的控向数据及时调整。
- 7.1.2 导向孔实际曲线与设计穿越曲线的偏差应不大于 1%，且偏差应符合表 2 的规定。

表 2 导向孔允许偏差

导向孔曲线/m		出土点/m	
横向偏差	竖直向偏差	横向偏差	轴向偏差
±5	+1~-3	±5	+15~-5

7.1.3 导向孔钻进过程中遇到突然的振动、卡钻等意外情况时应立即停钻，查明原因并解决问题后方可继续施工。

7.1.4 对于采用对穿工艺的工程，对接区域应符合设计要求，所处地质宜均匀。

7.2 扩孔

7.2.1 扩孔应根据穿越管道的管径、长度、地质条件等选择扩孔器类型。

7.2.2 最终扩孔直径应根据管径、长度、地质条件和钻具能力确定。一般情况下，最小扩孔直径与穿越管径的关系应符合表3的规定。如果穿越管道的直径小于400 mm，在钻机能力许可的情况下，可直接扩孔回拖。

表3 最小扩孔直径与穿越管径关系表

穿越管段的直径 mm	最小扩孔直径
<300	管径+100 mm
300~700	1.5倍管径
>700	管径+300 mm

7.2.3 扩孔宜采取分级、多次扩孔的方式进行；在地层条件及辅助设备允许的情况下，可减少扩孔级次。相邻两级的扩孔级差宜控制在100 mm~300 mm。

7.2.4 扩孔过程中出现长时间停钻时，宜尽量使孔洞内泥浆流动，防止悬浮颗粒下沉堆积。

7.2.5 扩孔过程中，如发现扭矩、拉力较大，可采取洗孔作业；应在洗孔结束后，再进行扩孔；扩孔结束后，如发现扭矩、拉力仍较大，可再进行洗孔作业。

7.2.6 对于岩石地层，扩孔后宜进行洗孔作业，对于有凸台或曲线不符合要求的扩孔应进行修孔作业。

7.3 回拖

7.3.2 管道回拖阶段，若组焊管道从陆上入洞，回拖管道入洞竖向曲线的曲率半径应经计算确定且不宜小于800D。

7.3.3 回拖应连续作业，分段预制管道时每次二接一停留时间不宜超过4 h，对于停留过长时间的钻孔，应维持泥浆在孔内的空间流动。

7.3.4 回拖过程中，最大回拖力不应超过钻机允许的最大回拖力及其锚固能力。当回拖过程中出现回拖异常情况时，应停止回拖并采取应急方案。

7.3.5 当陆上回拖场地限制管段不能直线布置时，可采用弹性敷设或管段多接一布置。

7.3.6 当采用铺管船开展边焊接边回拖的工序时，回拖的速度和力度应与焊接进度相匹配，避免对未完全焊接好的部位造成损伤。

7.3.7 回拖后应及时将穿越洞口回填封堵。

7.4 防腐层要求

7.4.1 定向钻在钻孔和扩孔过程中应采取适当措施，确保成孔质量良好，并采取适宜的发送方式、必要的降浮措施等，避免防腐层损伤。

7.4.2 当管道带混凝土配重层穿越时，管道外防腐层宜采用与一般段海底管道相同的外防腐层和防腐补口，且聚氨酯泡沫成型后、管道穿越前宜摘除外护钢板。

7.4.3 具备条件时，在水平定向钻管道施工完成后且与两侧线路管连通前，应按SY/T 7368的规定进行防腐层完整性评价。

8 海上施工

8.1 一般规定

- 8.1.1 海上施工场地可采用海上支持船或海上支持平台的方式，宜根据回拖力、水深、波浪、海流及地质、施工机具、人员能力等因素，对设计文件中的施工场地方式进行复核。
- 8.1.2 海上支持船或平台的甲板应具有足够的空间，以满足钻机、泥浆罐、发电机、钻具放置区、操作间等的布置需求，甲板空间不足时可考虑增加辅助驳船。
- 8.1.3 海上支持船/平台的最大水平位移应满足水平定向钻设备和施工要求。
- 8.1.4 海上支持平台结构应具有足够的强度，以承受结构自重、钻机拖拉力和各种环境荷载的作用。桩基础应具有足够的刚度和强度，以免产生过大的变形或破坏。

8.2 海上支持船/平台

- 8.2.1 海上支持船锚位布置应根据锚泊分析结果确定，并核实锚位布置在建议的锚位及作业期间均应具有所要求的能力。应通过系泊分析确定海上支持船锚泊方案是否可靠。
- 8.2.2 应确定海上支持船与其他建筑物和非抛锚区的安全距离，并宜考虑在紧急情况下离开现场的可能性。
- 8.2.3 海上支持船的锚泊定位系统应具有足够的冗余度或后备系统，以保证部分锚失效时不危及钻具或管道安全。
- 8.2.4 海上支持船宜采用 6 锚及以上的多点锚泊方式，宜适当增加钻机抗力方向的锚缆长度。
- 8.2.5 在海上支持船的系泊分析中应全面考虑可能的工况，包括：潮位的变化、全方向的风、波浪和海流条件、钻杆对海上支持船可能造成的最大拉力、推力以及其他施工措施对海上支持船的荷载。
- 8.2.6 平台的海上施工作业应保证平台结构强度不受影响。对于影响结构强度的作业方式和方法，应进行强度复核计算和分析。
- 8.2.7 定向钻施工平台宜选用桩基固定式平台。平台主体采用钢结构形式，桩基础应根据场地地质实际情况选用钢管桩或混凝土灌注桩。
- 8.2.8 平台的甲板高程应在潮汐与波浪最不利组合情况下的最大波峰高程以上，再加上至少 1.5 m 的空气间隙，以保证甲板上设备的安全。
- 8.2.9 平台结构校核应全面考虑所有可能的工况，包括运行和极端工况下的风、波浪、海流、潮位、海生物等。桩基础校核宜考虑压桩和拔桩两种工况，且应进行桩基极限承载力校核。
- 8.2.10 平台所有杆件、桩段的名义应力校核以及平台所有节点的冲剪应力校核应满足 SY/T 10030 的要求。
- 8.2.12 海上支持船在施工结束后应及时拆除。

8.3 海上隔离套管及支撑架

- 8.3.1 入土点在海上的水平定向钻工程应在海上设置用于泥浆回收和支撑钻杆的钢套管。钢套管可采用支撑架支撑，支撑架宜使用钢结构支架，通过桩基础固定在海床上。支架间距应根据钢套管尺寸、平台高度、定向钻入土角度等综合确定，并满足设计文件要求。
- 8.3.2 海上支撑架在施工结束后应及时拆除。

9 焊接与检验

9.1 焊接

- 9.1.1 海底管道水平定向钻焊接应按 SY/T 10037 的有关规定执行。本文件中所述焊接仅针对管线钢管对接焊缝，其他结构（如海上支持平台等）的焊接应参照相应规范执行。

9.1.2 焊接前应进行焊接工艺评定，明确管道焊接所采用的所有焊接工艺，依据评定通过的焊接工艺编制焊接工艺规程。

9.2 无损检测

9.2.1 无损检测方法应与焊接工艺匹配。

9.2.2 海上焊接的普通环焊缝应进行 100% 全自动超声波检测或 100% 相控阵超声波+衍射时差法（TOFD）检测。

9.2.3 陆上焊接的普通环焊缝宜采用 100% 射线检测和 100% 超声波检测，也可采用 100% 相控阵超声波+衍射时差法（TOFD）检测，或采用 100% 全自动超声波检测。

9.2.4 除 9.2.1 和 9.2.2 条的规定外，关键位置焊口（通常包括金口、定向钻与海底管道一般段连接处、定向钻多接一分段连接处等位置）还应补充 100% 磁粉或液体渗透检测。

9.2.5 全自动超声波检测的检测方法及验收标准应按 SY/T 10037—2018 中附录 E 的有关规定执行，相控阵超声波检测的检测方法及验收标准应按 SY/T 4109—2020 中第 8 章的有关规定执行，其他无损检测的检测方法及验收标准应按 SY/T 10037—2018 中附录 D 的有关规定执行。

9.2.6 应依据返修焊接程序进行焊缝修复。局部焊缝修复长度不应小于 50 mm，不允许对同一位置进行两次以上的返修。返修处应采用和原焊缝相同的方法进行无损检测。

10 管线预调试

10.1 清管、测径与试压

10.1.1 海域管道水平定向钻清管、测径与试压应符合 SY/T 10037 的相关规定。

10.1.2 试压前后均应进行清管和测径。清管次数不宜小于 2 次，以开口端不再排出杂物为合格；测径宜采用铝制测径板，直径为穿越管段公称内径的 95% 或最小内径的 97%，测径板通过管段后未出现变形和褶皱为合格。

10.1.3 当海域水平定向钻的管道在陆上预制时，宜在回拖前进行一次水压试验，试验压力应与主管道保持一致。持续稳压时间不小于 24 h，在稳压时间内压降不大于 1% 设计压力且不大于 0.1 MPa 为合格。

10.1.4 海域水平定向钻管道回拖完成后，宜单独进行一次清管和测径，并与海底管道一般段连接后进行水压试验，试验压力应与主管道保持一致。持续稳压时间不小于 24 h，在稳压时间内压降不大于 1% 设计压力且不大于 0.1 MPa 为合格。

10.1.5 水压试验时，穿越管道任何一点的试验压力与水头压力之和产生的环向应力不应大于钢管的最小屈服强度的 90%。

10.1.6 试压介质应采用无腐蚀的洁净水或经过处理的海水。试压时环境温度不宜低于 5℃，当环境温度低于 5℃ 时，应采取防冻措施。

10.2 排水、干燥与惰化

10.2.1 海域水平定向钻管道排水、干燥与置换应符合 SY/T 10037 的相关规定。

10.2.2 水压试验结束后应对管道进行排水。

10.2.3 对于输气管道，排水后应对管道进行干燥。宜采用真空干燥或利用干燥空气进行对流干燥，验收标准应满足以下要求：

- a) 采用真空干燥时，露点应不高于 -20℃，对应饱和蒸汽压为 0.103 kPa，管道内残余水量应不高于 0.9 g/m³。
- b) 利用干燥空气进行对流干燥时，入口处露点应不高于 -40℃，入口处和出口处露点的差值应小于 7℃。

10.2.4 对于需要惰化的管道，正式投运前应使用氮气对整条定向钻管道进行吹扫。氮气可由液氮蒸发产生，也可由膜分离法生成。如果使用膜分离法生成氮气，最终含氧量应不高于5%。如果氮气由液氮蒸发生成，其纯度应高于99.99%。

10.2.5 如果需封存管道，可以采用抽真空或利用低压氮气置换管道内空气，应满足以下要求：

- a) 采用抽真空时，管道内绝对压强应不高于 0.1 kPa。
- b) 采用低压氮气置换时，应持续监测露点值并确保其低于限值，直至管道内绝对压强达到 0.11 MPa~0.15 MPa。

参 考 文 献

- [1] GB 12319 中国海图图示
- [2] GB 50423 油气输送管道穿越工程设计规范
- [3] GB/T 12763.2 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测
- [4] GB/T 12763.3 海洋调查规范 第3部分：海洋气象观测
- [5] GB/T 17501 海洋工程地形测量规范
- [6] GB/T 17502 海底电缆管道路由勘察规范
- [7] GB/T 23257 埋地钢质管道聚乙烯防腐层
- [8] GB/T 35988 石油天然气工业海底管道阴极保护
- [9] SY/T 4216.1 石油天然气建设工程施工质量验收规范 油气输送管道穿越工程 第1部分：水平定向钻穿越
- [10] SY/T 7057 动态立管
- [11] T/CSPSTC 121 海底管道水平定向钻设计规范
- [12] API RP 1111 海上碳氢化合物管道的设计，施工，运行和维护（极限状态设计）[Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design)]
- [13] ASCE 埋地管道设计指南 (Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe)