

ICS 23.040

P 72

备案号: J2619-2019

SH

中华人民共和国石油化工有限公司行业标准

SH/T 3202—2018

二氧化碳输送管道工程设计标准

Specifications for engineering of carbon dioxide pipeline transportation



2018-07-04 发布

2019-01-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 输送工艺	2
4.1 一般规定	2
4.2 工艺计算	2
4.3 泄压放空系统	2
5 线路	3
5.1 线路选择	3
5.2 地区等级划分	4
5.3 管道敷设	5
5.4 线路截断阀的设置	5
5.5 线路附属工程	6
5.6 高后果区	6
6 站场	7
6.1 站场设置	7
6.2 站场工艺	7
7 管道及其附件的设计	8
7.1 一般规定	8
7.2 管道强度和稳定计算	8
7.3 外防腐和保温	8
8 辅助系统	8
8.1 仪表与控制系统	8
8.2 通信	9
9 焊接与检验、清管与试压、干燥	9
9.1 焊接与检验	9
9.2 清管与试压	9
9.3 干燥	10
附录 A (资料性附录) 超临界、气相、液相二氧化碳输送管道水力和热力计算	11
附录 B (资料性附录) 二氧化碳管道的壁厚、强度、稳定性计算	15

本标准用词说明 18

附：条文说明 19

Contents

Foreword	V
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 Terms and definitions	1
4 Transportation process	2
4.1 General requirements	2
4.2 Process calculation	2
4.3 Relief and blow-down system	2
5 Pipeline route	3
5.1 Route selection	3
5.2 Location classification	4
5.3 Pipeline laying	5
5.4 Configuration of pipeline block valve	5
5.5 Pipeline auxiliary	6
5.6 High consequence areas	6
6 Station	7
6.1 Station setting	7
6.2 Station process	7
7 Design for pipeline and auxiliaries	8
7.1 Pipe material selection	8
7.2 Pipeline strength and stability calculation	8
7.3 Corrosion protection and cold preservation	8
8 Auxiliary system	8
8.1 Instrumentation	8
8.2 Communication	9
9 Welding defects and inspection, pigging and pressure testing, and dry	9
9.1 Welding defects and inspection	9
9.2 Pigging and pressure testing	9
9.3 Dry	10
Appendix A (Informative) Hydraulic and thermal calculation formulas of supercritical, gas and liquid carbon dioxide pipelines	11

Appendix B (Informative) Calculation formulas of pipe wall thickness, pipeline strength and stability of carbon dioxide pipelines..... 15

Explanation of wording in the specifications 18

Add: Explanation of provisions 19

前 言

根据中华人民共和国工业和信息化部办公厅《关于印发2013年第四批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科[2013]217号）的要求，标准编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分九章和两个附录。

本标准的主要技术内容是：输送工艺、线路、站场、管道及其附件的设计、辅助系统、焊接与检验、清管与试压、干燥等。

本标准由中国石油化工集团公司负责管理，由中国石油化工集团工程部负责日常管理，由中国石化石油工程设计有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送日常管理单位和主编单位。

本标准日常管理单位：中国石油化工集团公司储运设计技术中心站

通讯地址：广东省广州市体育西路191号

邮政编码：510000

电 话：020-22192001

传 真：020-22192001

本标准主编单位：中石化石油工程设计有限公司

通讯地址：山东省东营市济南路49号

邮政编码：257026

本标准参编单位：大连理工大学

中国石油大学（华东）

中科院岩土力学所

中国石化天然气分公司

中国石化集团公司华东油气分公司

陕西延长石油（集团）管道运输公司

本标准主要起草人员：刘建武 陈 霖 喻健良 梁海宁 李玉星 张邕生 范振宁 李 超

李小春 孙启昌 欧 莉 房茂立 曹广明 蔡清峰 田京山 魏子云

王丽芬 郝 强 张 阳 李安坤 王 炯 王剑波

本标准主要审查人员：何龙辉 葛春玉 姚亚萍 刘杨龙 杨良瑾 张书勤 尹继东 俞国梅

蒋 秀 宫 敬 张淑玉 信 鹏 吴宝祥 乔 虎 韩 涛

本标准2018年首次发布。

二氧化碳输送管道工程设计标准

1 范围

本标准规定了陆上二氧化碳输送管道工程的设计要求。

本标准适用于陆上新建、改建或扩建二氧化碳输送管道工程的设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

- GBZ 1 工业企业设计卫生标准
- GB 6479 高压化肥设备用无缝钢管
- GB/T 9711 石油天然气工业管线输送系统用钢管
- GB/T 21447 钢质管道外腐蚀控制规范
- GB/T 31032 钢质管道焊接及验收
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50251 输气管道工程设计规范
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB 50369 油气长输管道工程施工及验收规范
- GB 50423 油气输送管道穿越工程设计规范
- GB 50459 油气输送管道跨越工程设计规范
- GB 50470 油气输送管道线路工程抗震技术规范
- GB 50540 石油天然气站内工艺管道工程施工规范
- GB/T 50698 埋地钢质管道交流干扰防护技术标准
- GB/T 50823 油气田及管道工程计算机控制系统设计规范
- GB/T 50892 油气田及管道工程仪表控制系统设计规范
- GB 50991 埋地钢质管道直流干扰防护技术标准
- SY/T 0048 石油天然气工程总图设计规范
- SY/T 0452 石油天然气金属管道焊接工艺评定
- SY/T 4108 输油(气)管道同沟敷设光缆(硅芯管)设计及施工规范
- SY/T 6064 管道干线标记设置技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准

3.1

二氧化碳输送管道工程 **engineering of carbon dioxide pipeline transportation**

用管道输送二氧化碳流体的工程,一般包括二氧化碳输送管道、站场、穿跨越及辅助生产设施等内容。

3.2

超临界二氧化碳输送 **supercritical carbon dioxide transportation**

指输送压力高于临界压力的输送形式。

3.3

水露点 **water dew point**

气体在一定压力下析出第一滴水的温度。

3.4

管道附件 **pipe auxiliaries**

指管件、法兰、阀门、清管器收发筒、汇管、组合件、绝缘法兰或绝缘接头等管道专用承压部件。

3.5

高后果区 **high consequence areas**

管道发生泄漏会严重危及公众安全和（或）造成环境较大破坏的区域。

3.6

增压站 **pressure boosting station**

管道沿线用压缩机或泵对管输流体增压而设置的站。

3.7

减压站 **pressure reducing station**

管道沿线为限制管道内压力对管输流体减压而设置的站。

4 输送工艺

4.1 一般规定

4.1.1 二氧化碳输送管道的设计输送能力应按设计委托书或合同规定的年或日最大输量计算。设计年工作时间宜取 8000h。

4.1.2 二氧化碳管道的输送相态、输送压力和管径应根据二氧化碳源条件、用户要求、环境条件等因素经安全、技术经济比较确定。

4.1.3 二氧化碳采用气相输送时，沿线任何一点的压力都不应高于输送温度下二氧化碳的饱和蒸气压。各进站压力应比同温度下二氧化碳的露点压力低 1MPa，末站进站前的压力应比同温度下二氧化碳的露点压力低 0.5MPa。

4.1.4 二氧化碳采用液相输送时，沿线任何一点的压力应高于输送温度下二氧化碳的饱和蒸气压。沿线各中间泵站的进站压力应比同温度下二氧化碳的泡点压力高 1MPa，末站进站前的压力应比同温度下二氧化碳的泡点压力高 0.5MPa。

4.1.5 二氧化碳采用超临界输送时，沿线任一点的压力不应低于临界压力的 1.1 倍。

4.1.6 二氧化碳采用液相输送时，管道宜保冷。

4.1.7 二氧化碳介质应符合下列规定：

- a) 水含量应小于等于 200ppm（质量分数），同时水露点应低于输送条件下管道环境温度 5℃。
- b) 硫化氢含量应小于等于 10ppm（质量分数），总硫含量（以硫计）应小于等于 200mg/m³。
- c) 其他指标应满足用户的使用要求。

4.2 工艺计算

4.2.1 二氧化碳物性参数计算应选用 PR 方程。

4.2.2 超临界、气相、液相二氧化碳输送管道水力和热力计算可按附录 A 计算。

4.2.3 采用液相和超临界输送二氧化碳管道的设计应进行水击分析。

4.3 泄压放空系统

- 4.3.1 进站截断阀上游或出站截断阀下游宜设置泄压放空设施。
- 4.3.2 干线截断阀上下游宜设置放空阀或放空管，放空管至截断阀的距离不宜小于 5m。
- 4.3.3 存在超压的管道、设备和容器，应设置安全阀或其他压力控制设施。
- 4.3.4 安全阀的定压应经系统分析后确定，并应符合下列规定：
- 压力容器的安全阀定压压力应小于或等于受压容器的设计压力。
 - 管道的安全阀定压压力 (P_0) 应根据工艺管道最大允许操作压力 (P) 确定：
 - 当 $P \leq 1.8\text{MPa}$ 时， $P_0 = P + 0.18\text{MPa}$ ；
 - 当 $1.8\text{MPa} < P \leq 7.5\text{MPa}$ 时， $P_0 = 1.1P$ ；
 - 当 $P > 7.5\text{MPa}$ 时， $P_0 = 1.05P$ 。
- 4.3.5 安全阀泄放管直径应符合下列规定：
- 单个安全阀的泄放管直径，应按背压不大于该阀泄放压力的 10% 确定，且不应小于安全阀的出口直径；
 - 连接多个安全阀的泄放管直径，应按所有安全阀同时泄放时产生的背压不大于其中任何一个安全阀的泄放压力的 10% 确定，且泄放管截面积不应小于各安全阀泄放支管截面积之和。
- 4.3.6 管道操作温度不应低于管材最低使用温度。
- 4.3.7 泄放口应避开人员活动场所，宜采取防雨水进入措施。

5 线路

5.1 线路选择

- 5.1.1 线路走向应根据工程建设目的和气源、生产的分布，结合沿线城镇规划、土地利用、水资源、环境保护、安全卫生、水土保持、文物保护、交通运输及矿产资源等现状和规划，通过综合分析和技术经济比较确定。
- 5.1.2 线路应避免飞机场、铁路车站、汽车客运站、海（河）港码头等区域，宜避开环境敏感区、城镇规划区和多年生经济作物区。当受条件限制无法避开时，应征得主管部门同意，并采取安全保护措施。
- 5.1.3 线路应避免重要的军事设施、易燃易爆仓库及重点文物保护区。
- 5.1.4 河流大中型穿（跨）越位置的选择，应符合线路总走向。局部走向应根据大、中型穿（跨）越位置进行调整。
- 5.1.5 埋地二氧化碳管道同地面建（构）筑物的最小间距应符合下列规定：
- 管道与地面建（构）筑物的距离不应小于 5m，且应满足施工和运行管理的需求。
 - 当管道临近飞机场、海（河）港码头、大中型水库和水工建（构）筑物敷设时，间距不宜小于 20m。
 - 管道与军工厂、军事设施、易燃易爆仓库、国家重点文物保护单位以及居民小区、学校、医院、娱乐场所、车站、商场、集市等人员密集场所的距离不应小于 100m。
 - 管道与铁路并行敷设时，距铁路用地界的净距不应小于 3m，埋地管道距邻近铁路线路轨道中心线的净距不应小于 25m，地上管道与邻近铁路线路轨道中心线的水平净距不应小于 50m。如受地形或其他条件限制不能满足本条要求时，应征得铁路管理部门的同意。
 - 管道与公路并行敷设时，管道应敷设在公路用地范围边线以外，距用地边线不应小于 3m。如受地形或其他条件限制不能满足本条要求时，应征得公路管理部门的同意。
- 5.1.6 埋地二氧化碳管道与已建管道、架空输电线路并行敷设时，其距离应符合下列规定：
- 埋地二氧化碳管道与已建管道不受地形、地物或规划限制的地段，最小净距不应小于 6m；当受限时，采取安全措施后净距可小于 6m。
 - 在开阔地区，埋地二氧化碳管道与高压交流输电线路杆（塔）基脚间的最小距离不宜小于杆

(塔)高。

- c) 在路由受限地区,埋地二氧化碳管道与交流输电系统的各种接地装置之间的最小水平距离不宜小于表 5.1.6 的规定。

表 5.1.6 埋地二氧化碳管道与交流接地体的最小距离

电压等级 (kV)	≤220	330	500
铁塔或电杆接地 (m)	5.0	6.0	7.5

注:在采取故障屏蔽、接地、隔离等防护措施后,表 5.1 中规定的距离可适当减小。

5.1.7 管道与干扰源接地体的距离应符合现行国家标准《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698、《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991 的规定。

5.1.8 埋地管道与埋地电力电缆平行敷设的最小距离,应符合现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447 的规定。

5.1.9 线路应避免滑坡、崩塌、沉陷、泥石流等不良工程地质区,宜避开矿产资源区、危及管道安全的地震区。当受条件限制无法避开时,应采取防护措施并选择合适位置,缩小通过距离。

5.2 地区等级划分

5.2.1 地区等级划分应符合下列规定:

- a) 二氧化碳管道通过的地区,沿管道中心线两侧各 200m 范围内,任意划分成长度为 2km 并能包括最大聚居户数的若干地段,按划定地段的户数划分为四个等级。在农村人口聚集的村庄、大院、住宅楼,应以每一独立户作为一个供人居住的建筑物计算。地区等级划分见表 5.2.1。

表 5.2.1 地区等级划分表

地区等级	说明
一级地区	户数在 15 户或以下的区段
二级地区	户数在 15 户以上、100 户以下的区段
三级地区	户数在 100 户或以上的区段,包括市郊居住区、商业区、工业区、规划发展区以及不够四级地区条件的人口稠密区
四级地区	四层及四层以上楼房(不计地下室层数)普遍集中、交通频繁、地下设施多的区段

- b) 在一、二级地区内的学校、医院以及其他公共场所等人群聚集的地方,应按三级地区选取设计系数。

- c) 当一个地区的发展规划,足以改变该地区的现有等级时,应按发展规划划分地区等级。

5.2.2 二氧化碳管道的强度设计系数应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 二氧化碳管道的强度设计系数

地区等级	强度设计系数 F
一级地区	0.72
二级地区	0.6
三级地区	0.5
四级地区	0.4

5.2.3 穿越道路的管段以及输气站和阀室内二氧化碳管道的强度设计系数,应符合表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3 穿越道路的管段以及输气站和阀室内管道的强度设计系数

管道及管段	地区等级			
	一级	二级	三级	四级
	强度设计系数 F			
有套管穿越的三、四级公路的管段	0.72	0.6	0.5	0.4
无套管穿越的三、四级公路的管段	0.6	0.5	0.5	0.4
穿越一、二级公路、高速公路的管段	0.6	0.6	0.5	0.4
站内管道及截断阀室内管道	0.5	0.5	0.5	0.4

5.3 管道敷设

5.3.1 二氧化碳管道应埋地敷设，特殊地段可土堤敷设或地上敷设。

5.3.2 埋地管道的埋设深度，应根据管道所经地段的农田耕作深度、冻土深度、地形和地质条件、地下水深度、地面车辆所施加的荷载及管道稳定性的要求，经综合分析后确定。管顶的覆土层厚度不宜小于 1.2m。

5.3.3 埋地管道的管沟设计以及采用土堤埋设时，应符合现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 的规定。

5.3.4 当二氧化碳管道采取地上敷设时，应符合下列规定：

- a) 应采取补偿管道纵向变形的措施。
- b) 二氧化碳管道跨越人行通道、公路、铁路和电气化铁路时，管道架空结构的最下缘净空高度不应低于表 5.3.4 的规定。管道跨越工程两侧应设置限高标志，必要时应设置限高构筑物。

表 5.3.4 管道跨越铁路或道路净空高度

类型	净空高度 (m)
人行通道	3.5
等级公路与城市道路	5.5
铁路	6.5~7.0
电气化铁路	11.0

c) 地上管道沿山坡敷设时，应采取防止管道下滑的措施。

5.3.5 当埋地二氧化碳管道通过地面坡度大于 18% 的地段时，应视土壤情况和坡长以及管道在坡上敷设的方向，采取防止地面径流、渗水侵蚀和土体滑动影响管道安全的措施。

5.3.6 当二氧化碳管道穿跨越冲沟，或管道一侧邻近发育中的冲沟或陡坎时，应对冲沟的边坡、沟底和陡坎采取加固措施。

5.3.7 二氧化碳管道穿跨越工程设计，应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423 或《油气输送管道跨越工程设计规范》GB 50459 的规定。

5.3.8 当埋地二氧化碳管道同其他埋地管道或金属、混凝土、砖石等构筑物交叉时，其垂直净距不应小于 0.3m；管道与电力、通信电缆交叉时，其垂直净距不应小于 0.5m，并应在交叉点处二氧化碳管道两侧各 10m 以上的管段和电缆采用相应的最高绝缘等级防腐层。

5.3.9 当二氧化碳管道需改变平面走向适应地形变化时，可采用弹性弯曲、冷弯弯管、热煨弯管，并应符合现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 的规定。

5.4 线路截断阀的设置

5.4.1 二氧化碳管道应设置线路截断阀。线路截断阀位置应选择在交通方便、地形开阔、地势较高的地方。线路截断阀间距应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 线路截断阀间距

二氧化碳输送状态	地区等级			
	一级	二级	三级	四级
	线路截断阀间距 (km)			
气相输送	32	24	16	8
液相、超临界输送	32	15	15	15

5.4.2 线路截断阀间距可适当调整，一、二级地区调整不应超过 2km，三、四级地区调整不应超过 1km。

5.4.3 当二氧化碳管道从低地区等级进入高地区等级时，线路截断阀宜安装在城镇和村庄的管道上游。

5.4.4 线路截断阀应能通过清管器或检测仪器，可采用自动或手动阀门，当采用自动阀门时，应具有手动操作功能。

5.4.5 线路截断阀和止回阀之间应设置泄压措施。

5.5 线路附属工程

5.5.1 线路构筑物应符合下列规定：

- 管道通过土（石）坎、陡坡、冲沟、堰坝、沟渠等特殊地段时，应采取保护管道、防止水土流失的措施。
- 埋设管道的边坡或土体不稳定时应设置挡土墙。
- 管道通过易受水流冲刷的河（沟）岸时应采取护岸措施。
- 管道通过较大的陡坡地段，以及管道受温度变化的影响，将产生较大下滑力或推力时，宜设置管道锚固墩。

5.5.2 管道标志应符合下列规定：

- 二氧化碳管道沿线应设置里程桩、转角桩、标志桩、交叉桩和警示牌等，管道标记应符合现行行业标准《管道沿线标记设置技术规范》SY/T 6064 的规定。
- 里程桩应设置在二氧化碳介质流向的左侧，里程桩间距不宜超过 1km。阴极保护测试桩可与里程桩结合设置。
- 平面转角大于 5°时应设置转角桩。平地上弹性敷设的管道段应设置加密标记桩。
- 二氧化碳管道在穿跨越段两侧及其地下建（构）筑物附近应设立标志桩。
- 二氧化碳管道与地下管道、电（光）缆和其他地下构筑物交叉的位置应设置交叉桩。
- 在人员活动频繁、易受第三方损坏的地段应加密设置标志桩和警示牌，并应在管顶上方设置警示带，且满足农作物的覆土厚度要求。
- 并行管道的标志桩、警示牌等标识应分别设置。每条管道的标志桩位置应准确，标识应清晰、醒目、便于区分。对于同沟敷设段、穿跨越段的标志，宜设置在同一地点。同沟敷设段的标志桩应设置在管道中心线上，并应适当加密。

5.6 高后果区

5.6.1 高后果区管段识别分级应符合表 5.6.1 的规定。

表 5.6.1 管段识别分级表

分级	识别项
I 级	管道两侧各 50m 内有高速公路、国道、省道、铁路等
I 级	管道两侧各 200m 内有水源、河流、大中型水库
I 级	管道两侧各 200m 内有湿地、森林、河口等国家自然保护区

表 5.6.1 (续)

分级	识别项
II级	三级地区
II级	管道两侧各 200m 内有聚居户数 50 户或以上的村庄、乡镇等
II级	管道两侧各 200m 内有医院、学校、幼儿园、养老院、监狱、商场、贸易市场、广场、寺庙等
III级	四级地区

注：I 级代表最小的严重程度，III 级代表最大的严重程度。

5.6.2 当地形起伏较大时，可依据地形地貌判断泄漏二氧化碳可能的流向方向，对表 5.6 中 I 级和 II 级的距离进行调整。

5.6.3 高后果区边界应设定为距离最近一栋建筑物外边缘 200m。

5.6.4 高后果区区段相互重叠或相隔不超过 50m 时，应作为一个高后果区段。

5.6.5 高后果区应采取提高管道壁厚、增大管道埋深、增设警示标识等措施。

6 站场

6.1 站场设置

6.1.1 站场设置应符合二氧化碳资源、市场、线路走向和输送工艺的要求，各类站场宜联合建设。

6.1.2 站场选择应符合下列规定：

- 应符合城乡规划的要求，且满足供电、给水、排水、生活及交通方便的需求；
- 宜选择地形平缓、地势相对较高的地段，并满足扩建需求；
- 应避开山洪、滑坡、地面塌陷、风蚀沙埋等地段。

6.1.3 站场的总图设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《工业企业设计卫生标准》GBZ 1 和现行行业标准《石油天然气工程总图设计规范》SY/T 0048 的规定。

6.2 站场工艺

6.2.1 站场工艺应符合下列规定：

- 站场工艺设置应满足管道输送工艺、运行条件及用户的需求。
- 首站及中间注入站应设置组分分析仪、水露点检测仪。
- 泵或压缩机的流量调节宜采用转速调节；具有分输功能的站场应设置流量或压力调节控制设施。
- 站场应设置越站旁通，进、出站管线应设置切断阀，宜具备远控和手动操作功能。
- 管道内输送介质不应发生相变。
- 气相输送时站内介质流速宜为 10m/s~20m/s；超临界输送时宜为 0.8m/s~1.4m/s，且不应大于 3m/s。
- 液相、超临界输送管道隔断阀之间的管段上应设置安全阀。
- 用于贸易交接的流量计，应设有备用，且不应设置旁路。

6.2.2 清管设计应符合下列规定：

- 清管宜采用不停输密闭工艺。
- 收、发球筒应满足智能清管检测器的使用要求。
- 清管产生的污物应收集处理。

6.2.3 增压设计应符合下列规定：

- 增压站应根据管道沿线压力分布、输送介质的稳定性和工程经济性确定。
- 增压设备的选型和配置，应根据管道流量、进出站压力、介质相态等参数确定。气相输送时应

选用压缩机，液相输送时宜选用离心泵。

- c) 增压设备入口段不应出现两相流。
- d) 增压设备进出口应设置截断阀及旁路，进口还应设置过滤器，出口还应设置止回阀和安全阀。
- e) 泵或压缩机宜用电动机驱动，设备与电机之间的连接宜选用弹性膜片联轴器，联轴器的设计使用系数不应小于 1.5。

6.2.4 减压设计应符合下列规定：

- a) 管内压力大于下一站的允许进口压力时，应采取减压措施。
- b) 减压站上游最高点处不应出现液柱分离现象。
- c) 减压阀在事故状态下应能自动关闭，进口应设置过滤器，出口应设置截断阀。

7 管道及其附件的设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 管道及其附件材料的选择应根据压力、温度、介质特性、地区等级等因素，经技术经济比较确定。
- 7.1.2 管道及其组成件的材料应具有良好的韧性和焊接性能，并应根据流体的性质、操作工况以及外部环境对材料提出韧性指标要求。
- 7.1.3 管道用钢管应符合现行国家标准《石油天然气工业管线输送系统用钢管》GB/T 9711 和《高压化肥设备用无缝钢管》GB 6479 的规定。
- 7.1.4 管件、法兰材质应与其连接的管道材质相匹配。
- 7.1.5 阀门的选择应符合下列规定：
 - a) 阀门的类型、结构及其各部件材料，应根据流体的特性、设计温度、设计压力选用。
 - b) 密闭中腔结构的阀门，应具备超压泄放措施。
 - c) 用于低温工况的阀门，应采用长颈型阀盖的结构型式。
 - d) 阀门不宜采用润滑脂和密封脂。
- 7.1.6 非金属密封材料、密封脂应具有耐二氧化碳腐蚀性的性能。

7.2 管道强度和稳定计算

- 7.2.1 埋地管道强度设计应根据管道所处地区等级以及所承受可变荷载和永久荷载确定。
- 7.2.2 埋地直管段的轴向应力与环向应力组合的当量应力，应小于管材标准规定的最小屈服强度的 90%。管道附件的设计强度不应小于相连直管段的设计强度。
- 7.2.3 管道抗震设计应按现行国家标准《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB 50470 执行。
- 7.2.4 二氧化碳管道的壁厚、强度、稳定性计算可按附录 B 计算。

7.3 外防腐和保温

- 7.3.1 管道外腐蚀控制应符合现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447 的规定。
- 7.3.2 管道杂散电流防护应符合现行国家标准《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698 和《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB/T 50991 的规定。
- 7.3.3 管道保冷应符合现行国家标准《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB 50264 的规定。

8 辅助系统

8.1 仪表与控制系统

- 8.1.1 二氧化碳输送管道宜设置监控和数据采集系统。
- 8.1.2 仪表与控制系统的的设计应符合现行国家标准《油气田及管道工程仪表控制系统设计规范》GB/T 50892 和《油气田及管道工程计算机控制系统设计规范》GB/T 50823 的规定。
- 8.1.3 仪表选型应符合下列规定：

- a) 二氧化碳储罐液位测量宜选择差压式液位计，并应保冷。
- b) 二氧化碳流量计量宜选用标准节流计、涡街流量计或科氏力质量流量计。
- c) 二氧化碳组分分析应选用工业气相色谱仪。
- d) 二氧化碳中水分的测量应采用水露点分析仪或含水量分析仪。
- e) 地势低洼且二氧化碳气体易于聚集处，应设置二氧化碳气体探测器。一级报警设定值宜小于等于体积浓度的 0.5%，二级报警值宜小于等于体积浓度的 1%。探测器安装高度应高出地面 0.3m~0.6m。
- f) 处于封闭或局部通风不良的半敞开厂房内，除了设置二氧化碳气体探测器外，还应设置氧气探测器。

8.1.4 二氧化碳输送管道宜设置泄漏检测系统。

8.2 通信

8.2.1 二氧化碳输送管道的数据传输通信系统应设置备用通道。

8.2.2 采用光纤通信传输时，光缆应与管道同沟敷设。

8.2.3 通信系统的通信业务功能应根据二氧化碳输送工艺、监控和数据采集系统的数据传输和生产管理运行等需要设置。

9 焊接与检验、清管与试压、干燥

9.1 焊接与检验

9.1.1 设计文件应明确管道及其组成件的焊接接头型式及焊接检验要求。

9.1.2 焊接工艺评定应根据设计文件提出的材质种类、管道组成件规格、焊接接头型式进行，线路管道的焊接应符合现行国家标准《钢质管道焊接及验收》GB/T 31032 的规定，站内管道的焊接应符合现行行业标准《石油天然气金属管道焊接工艺评定》SY/T 0452 的规定。

9.1.3 线路工程的施工应符合现行国家标准《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369；管道穿（跨）越的焊接质量检验应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423 和《油气输送管道跨越工程设计规范》GB 50459 的规定；站内工艺管线的施工应符合现行国家标准《石油天然气站内工艺管道工程施工规范》GB 50540 的规定。

9.2 清管与试压

9.2.1 清管应符合下列规定：

- a) 二氧化碳管道在试压前应采用清管器进行清管，且不应少于两次，以出口端不再排出杂物为合格。
- b) 清管扫线应采用临时清管器收发设施和放空口。

9.2.2 试压应符合下列规定：

- a) 二氧化碳管道应进行强度试验和严密性试验。二氧化碳站场应单独进行强度试验，并应符合现行国家标准《石油天然气站内工艺管道工程施工规范》GB 50540 的规定。
- b) 大中型穿跨越、铁路、二级以上公路和高速公路的管段应单独进行强度试验，并应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423 及《油气输送管道跨越工程设计规范》GB 50459 的规定。

9.2.3 强度试验宜符合下列规定：

- a) 试验介质宜符合表 9.2.3-1 的规定：

表 9.2.3-1 试验介质要求

管段	试验介质	
	气相输送	液相或超临界输送
一级地区的管段	水或气体	水
二级地区的管段	水或气体	水
三级地区的管段	水	水
四级地区的管段及站内工艺管道	水	水

- b) 用水作为强度试验介质时,水质应为无腐蚀性洁净水。试压环境温度不宜低于 5℃,低于 5℃时应采取防冻措施。试压合格后,应排尽管段内积水。
- c) 用气体作为强度试验介质时,宜采用干燥的空气。
- d) 用水作为强度试验介质时,每段自然高差应保证最低点管道环向应力不应大于管材标准规定的最小屈服强度的 95%。
- e) 试验压力应符合表 9.2.3-2 的规定。

表 9.2.3-2 试验压力

管段	试验压力 (P 为设计压力)	稳压时间
一级地区的管段	$\geq 1.25P$	$\geq 4h$
二级地区的管段	$\geq 1.25P$	
三级地区的管段	$\geq 1.5P$	
四级地区的管段及站内工艺管道	$\geq 1.5P$	

9.2.4 站场管道的严密性试验宜采用空气或氮气作试验介质。

9.2.5 严密性试验应在强度试验合格后进行,试验压力应为设计压力并以稳压 24h 不泄漏为合格。

9.3 干燥

9.3.1 二氧化碳管道干燥应在清管、强度试验结束后进行。干燥可采用干燥气体吹扫、真空蒸发等方式,管道末端应用水露点检测仪进行检测。

9.3.2 干燥验收应符合下列规定:

- a) 当采用干燥气体吹扫时,干燥后排出气体水露点应连续 4h 比管道输送条件下最低环境温度低 5℃、变化幅度不大于 3℃为合格。
- b) 当采用真空法时,选用的真空表精度应不小于 1 级,干燥后管道内气体水露点应连续 4h 低于 -20℃,相当于 100Pa (A) 为合格。

9.3.3 管道干燥结束后,若不能立即投入运行,宜用干燥氮气置换并密封,管道内压宜为 0.12MPa (A) ~ 0.15MPa (A)。

附录 A

(资料性附录)

超临界、气相、液相二氧化碳输送管道水力和热力计算

A.1 超临界二氧化碳输送管道水力计算可按下列公式计算:

$$Q_b = \pi \sqrt{\frac{g_c R M_A}{32} \frac{Z_b T_b}{P_b} \frac{P_1^2 - P_2^2}{Z_{ave} T_{ave} \Delta L} \frac{1}{f}} D^{2.5} \dots \dots \dots (A.1-1)$$

式中:

 Q_b —— 工程标况下气体的流量, m^3/s ; g_c —— 重力加速度, $9.81m/s^2$; P_b, T_b —— 工程标况压力, Pa, 温度, K ($P_b=101325Pa, T_b=293K$); T_{ave} —— 管内平均温度, K; Z_b —— P_b, T_b 时的压缩因子; Z_{ave} —— P_{ave}, T_{ave} 时的压缩因子; M_A —— 空气的相对分子质量, kg/mol; Δ —— 相对密度; D —— 管道内径, m; L —— 管长, m; P_1, P_2 —— 二氧化碳管道起点和终点的压力, Pa; R —— 气体常数, $R = R_M / M$, 其中 $R_M = 8314J/(kmol \cdot K)$, M 为二氧化碳的相对分子质量, kg/kmol; f —— 摩擦因子。

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 3.48 - 1.7372 \ln \left(\frac{\varepsilon}{r} - \frac{16.2446}{Re} \ln A \right) \dots \dots \dots (A.1-2)$$

式中:

$$A = \frac{\left(\frac{\varepsilon}{r} \right)^{1.0198}}{6.0983} + \left(\frac{7.149}{Re} \right)^{0.8981} \dots \dots \dots (A.1-3)$$

 ε —— 内管壁粗糙度, m; r —— 管道内半径, m。

对于光滑管道内的湍流, 推荐使用以下公式计算摩擦因子:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.7372 \ln \frac{Re}{1.964 \ln Re - 3.8215} \dots \dots \dots (A.1-4)$$

式中:

 Re —— 雷诺数。

注: 该方程适用于可压缩流体的等温稳态流动, 不考虑高差的影响。

A.2 气相二氧化碳输送管道水力计算应符合下列规定:

a) 当管道纵断面的相对高差 $\Delta h \leq 200m$ 且不考虑高差的影响时, 应按下列公式计算:

$$Q_b = 20.2436 \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{f Z \Delta T_{\text{ave}} L} \right]^{0.5} \dots\dots\dots (\text{A.2-1})$$

式中:

- Q_b —— 工程标况下气体的流量, $10^6 \text{ m}^3/\text{d}$, 工程标况压力, Pa, 温度, K ($P_b=101325\text{Pa}$, $T_b=293\text{K}$);
 P_1, P_2 —— 管道的起点压力和终点压力, MPa;
 D —— 管道内径, m;
 f —— 水力摩擦因子;
 Z —— 管道气体的平均压缩因子;
 Δ —— 气体的相对密度;
 T_{ave} —— 管道气体的平均温度, K;
 L —— 管道长度, km。

b) 当考虑管道纵断面的相对高差影响时, 应按下列公式计算:

$$Q_b = 20.2436 \left\{ \frac{[P_1^2 - P_2^2 (1 + \alpha \Delta h)] D^5}{f Z \Delta T_{\text{ave}} L \left[1 + \frac{\alpha}{2L} \sum_{i=1}^n (h_i + h_{i-1}) L_i \right]} \right\}^{0.5} \dots\dots\dots (\text{A.2-2})$$

$$\alpha = \frac{2g\Delta}{ZRT_{\text{ave}}} \dots\dots\dots (\text{A.2-3})$$

式中:

- α —— 系数, m^{-1} ;
 Δh —— 二氧化碳管道计算段的终点对计算段起点的标高差, m;
 n —— 二氧化碳管道沿线计算的分管段数;
 h_i —— 各计算分管段终点的标高, m;
 h_{i-1} —— 各计算分管段起点的标高, m;
 L_i —— 各计算分管段的长度, km。

A.3 液相二氧化碳输送管道水力计算应按下列公式计算:

$$h = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (\text{A.3-1})$$

$$V = \frac{4Q_b}{\pi D^2} \dots\dots\dots (\text{A.3-2})$$

式中:

- h —— 管道内沿程水力摩阻损失, m;
 V —— 流体在管道内的平均流速, m/s。

A.4 二氧化碳输送管道热力计算可按下列公式计算:

$$t_x = t_0 + (t_1 - t_0) e^{-\alpha x} \dots\dots\dots (\text{A.4-1})$$

$$\alpha = \frac{225.256 \times 10^6 KD}{q_v \Delta C_p} \dots\dots\dots (\text{A.4-2})$$

式中：

- t_x ——管道沿线任意一点的气体温度，℃；
 t_0 ——管道埋设处的土壤温度，℃；
 t_1 ——管道计算段起点的气体温度，℃；
 e ——自然对数底数，宜按 2.718 取值；
 x ——管道计算段起点至沿线任意点的长度，km。
 α ——系数；
 K ——管道中气体到土壤的总传热系数，W/(m²·K)；
 D ——管道外直径，m；
 q_v ——管道中气体 ($P_0=0.103125\text{MPa}$, $T=293\text{K}$) 的流量，m³/d；
 Δ ——气体的相对密度；
 C_p ——气体的定压比热，J/(kg·K)。

当考虑节流效应时，应按下列公式计算：

$$t_x = t_0 + (t_1 - t_0)e^{-\alpha x} - \frac{D_i \Delta p_x}{\alpha x} (1 - e^{-\alpha x}) \quad \text{..... (A.4-3)}$$

式中：

- D_i ——焦耳-汤姆逊效应系数，℃/MPa；
 Δp_x —— x 长度管段的压降，MPa。

D_i 的计算方法：

1) 节流效应系数的计算式：

$$D_i = \frac{1}{C_p} \left[\frac{T}{\rho^2} \cdot \frac{\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_p}{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_T} - \frac{1}{\rho} \right] \quad \text{..... (A.4-4)}$$

式中：

- C_p ——气体的定压比热，kJ/(kg·K)。
 2) 纯二氧化碳输送时节流效应系数可由表 A.4 查得。

表 A.4 节流效应系数表

压力(MPa) \ 温度(℃)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	13.04	13.47	1.05	0.91	0.81	0.72	0.64	0.58	0.53	0.48	0.43	0.40	0.36
12.5	12.74	13.11	1.24	1.06	0.92	0.82	0.73	0.66	0.59	0.54	0.49	0.44	0.41
15	12.46	12.76	12.91	1.24	1.07	0.93	0.83	0.74	0.66	0.60	0.55	0.50	0.45
17.5	12.18	12.44	12.55	1.48	1.24	1.07	0.94	0.83	0.75	0.67	0.61	0.55	0.50
20	11.92	12.14	12.21	1.82	1.46	1.23	1.07	0.94	0.84	0.75	0.68	0.61	0.56
22.5	11.67	11.85	11.90	11.39	1.75	1.43	1.22	1.06	0.94	0.84	0.75	0.68	0.62
25	11.43	11.58	11.60	11.21	2.18	1.69	1.41	1.21	1.06	0.94	0.84	0.76	0.68
27.5	11.20	11.31	11.32					1.38	1.19	1.05	0.93	0.84	0.76

表 A.4 (续)

压力(MPa) 温度(°C)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30	10.97	11.06	11.05					1.58	1.34	1.17	1.04	0.92	0.83
32.5	10.76	10.83	10.79					1.82	1.53	1.31	1.15	1.02	0.92
35	10.55	10.60	10.55					2.13	1.74	1.47	1.28	1.13	1.01
37.5	10.35	10.38	10.32	10.08	9.45	7.60	3.68	2.52	1.99	1.66	1.43	1.25	1.11
40	10.15	10.17	10.1	9.87	9.32	8.01	4.88	3.03	2.29	1.87	1.59	1.39	1.22
42.5	9.96	9.96	9.88	9.66	9.18	8.15	5.95	3.66	2.65	2.22	1.77	1.52	1.33
45	9.78	9.77	9.68	9.46	9.02	8.18	6.55	4.37	3.08	2.4	1.98	1.68	1.46
47.5	9.60	9.58	9.48	9.27	8.87	8.14	6.87	5.02	3.55	2.71	2.2	1.85	1.6
50	9.43	9.40	9.30	9.09	8.71	8.08	7.03	5.51	4.02	3.05	2.45	2.04	1.75

附录 B
(资料性附录)

二氧化碳管道的壁厚、强度、稳定性计算

B.1 二氧化碳管道的壁厚计算应符合下列规定：

a) 直管段管壁厚度应按下列公式计算：

$$\delta = \frac{PD}{2\sigma_s \varphi Ft} \quad \text{..... (B.1-1)}$$

式中：

- δ —— 钢管计算壁厚，mm；
- P —— 设计压力，MPa；
- D —— 管道外径，mm；
- σ_s —— 管材标准规定的最小屈服强度，MPa；
- F —— 强度设计系数，按表 5.2.2 和表 5.2.3 选取；
- φ —— 焊缝系数；
- t —— 温度折减系数。当温度小于 120℃ 时， t 值取 1.0。

b) 冷弯弯管和热煨弯管的管壁厚度应按下列公式计算：

$$\delta_b = \delta \cdot m \quad \text{..... (B.1-2)}$$

$$m = \frac{4R - D}{4R - 2D} \quad \text{..... (B.1-3)}$$

式中：

- D —— 冷弯弯管或热煨弯管的外直径，mm；
- R —— 冷弯弯管或热煨弯管的曲率半径，mm；
- m —— 冷弯弯管或热煨弯管的壁厚增大系数；
- δ —— 冷弯弯管或热煨弯管所连接的直管段计算壁厚，mm；
- δ_b —— 冷弯弯管或热煨弯管的计算壁厚，mm。

B.2 二氧化碳管道的强度计算应符合下列规定：

a) 受约束的埋地直管段轴向应力计算和当量应力校核，应按下列公式计算：

$$\sigma_L = \mu \sigma_h + E\alpha(t_1 - t_2) \quad \text{..... (B.2-1)}$$

$$\sigma_h = \frac{Pd}{2\delta_n} \quad \text{..... (B.2-2)}$$

式中：

- σ_L —— 管道的轴向应力，拉应力为正，压应力为负，MPa；
- μ —— 泊桑比，取 0.3；
- σ_h —— 由内压产生的管道环向应力，MPa；
- P —— 管道设计内压力，MPa；
- d —— 管道内径，mm；
- δ_n —— 管道公称壁厚，mm；
- E —— 钢材的弹性模量，MPa；
- α —— 钢材的线膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

t_1 —— 管道下沟回填时温度, °C;

t_2 —— 管道的工作温度, °C。

b) 受约束热胀直管段, 按最大剪应力强度理论计算当量应力, 并应符合下列公式要求:

$$\sigma_e = \sigma_h - \sigma_L < 0.9\sigma_s \quad \text{..... (B.2-3)}$$

式中:

σ_e —— 当量应力, MPa;

σ_s —— 管材标准规定的最小屈服强度, MPa。

c) 当温度变化较大时, 应作热胀应力计算。必要时应采取限制热胀位移的措施。

d) 当弯头所受的环向应力 σ_h 小于许用应力 $[\sigma]$ 时, 受内压和温差共同作用下弯头的组合应力 σ 应按以下公式计算:

$$\sigma = \sigma_h + \sigma_{hmax} < \sigma_b \quad \text{..... (B.2-4)}$$

$$\sigma_h = \frac{Pd}{2\delta_b} \quad \text{..... (B.2-5)}$$

$$[\sigma] = F\varphi t\sigma_s \quad \text{..... (B.2-6)}$$

$$\sigma_{hmax} = \beta_q \sigma_o \quad \text{..... (B.2-7)}$$

$$\beta_q = 1.8 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \left(\frac{1}{\lambda} \right)^{2/3} \quad \text{..... (B.2-8)}$$

$$\lambda = \frac{R\delta_b}{r^2} \quad \text{..... (B.2-9)}$$

$$\sigma_o = \frac{Mr}{I_b} \quad \text{..... (B.2-10)}$$

式中:

σ —— 由内压和温差作用下的弯头组合应力, MPa;

σ_h —— 由内压产生的管道环向应力, MPa;

σ_b —— 材料的强度极限, MPa;

P —— 管道设计内压力, MPa;

d —— 弯头内径, m;

δ_b —— 弯头壁厚, m;

$[\sigma]$ —— 材料的许用应力, MPa;

F —— 设计系数;

φ —— 钢管焊缝系数;

t —— 温度折减系数, 温度小于 120°C 时, t 取 1.0;

σ_s —— 材料的屈服极限, MPa;

σ_{hmax} —— 由热胀弯矩产生的最大环向应力, MPa;

β_q —— 环向应力增强系数;

r —— 弯头截面平均半径, m;

R —— 弯头曲率半径, m;

λ —— 弯头参数;

σ_o —— 热胀弯矩产生的环向应力, MPa;

I_b —— 弯头截面的惯性矩, m^4 ;

M —— 弯头的热胀弯矩, MN·m。

B.3 二氧化碳管道径向稳定校核应符合下列公式要求, 当管道埋设较深或外荷载较大时, 应按无内压状态校核稳定性。

$$\Delta x \leq 0.03D \quad \dots\dots\dots (B.3-1)$$

$$\Delta x = \frac{ZKW D_m^3}{8EI + 0.061E_s D_m^3} \quad \dots\dots\dots (B.3-2)$$

$$W = W_1 + W_2 \quad \dots\dots\dots (B.3-3)$$

$$I = \delta_n^3 / 12 \quad \dots\dots\dots (B.3-4)$$

式中:

Δx —— 钢管水平方向最大变形量, m;

D —— 钢管外径, m;

D_m —— 钢管平均直径, m;

Z —— 管材变形滞后系数, $Z=1.5$;

K —— 基床系数;

E —— 钢材弹性模量, N/m^2 ;

I —— 单位管壁截面惯性矩, m^4/m ;

δ_n —— 钢管壁厚, m;

E_s —— 土壤变形模量, N/m^2 , E_s 值应采用现场实测数;

W —— 作用在单位管长上的总竖向载荷, MN/m;

W_1 —— 作用在单位管长上的竖向永久荷载, MN/m;

W_2 —— 地面可变荷载传递到管道上的荷载, MN/m。

本标准用词说明

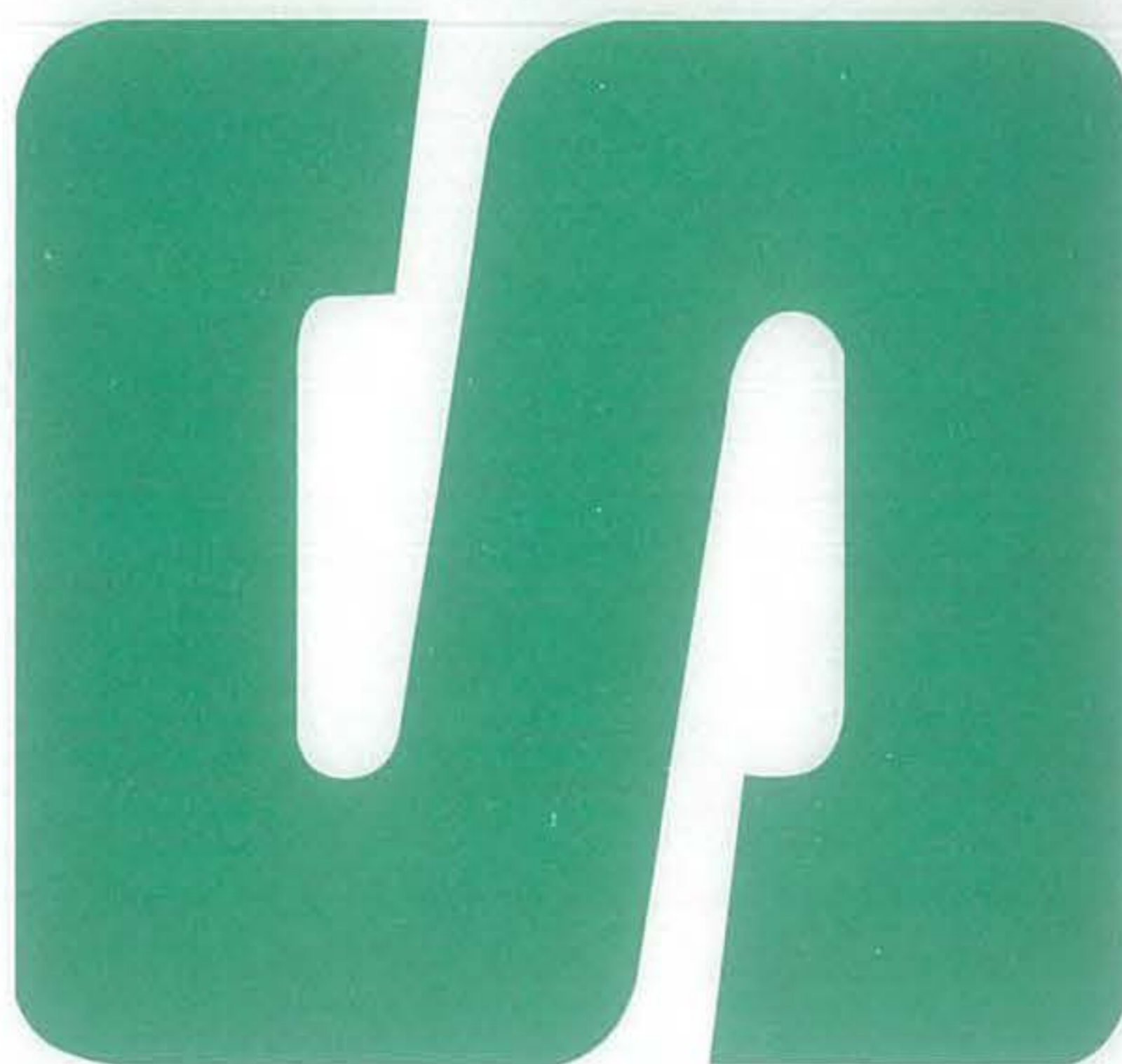
- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国石油化工有限公司

二氧化碳输送管道工程设计标准

SH/T 3202—2018

条文说明



2018 北京

制 订 说 明

《二氧化碳输送管道工程设计标准》(SH/T 3202—2018), 经工业和信息化部 2018 年 7 月 4 日以第 36 号公告批准发布。

本规范制定过程中, 编制组对国内外二氧化碳输送管道工程设计现状和特点做了广泛调查研究, 收集、提取了各方面的意见, 总结了国外输送工程的实际经验, 同时吸收、借鉴了其他相关行业的成熟经验和相关标准规定。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定, 本编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

3 术语和定义	22
3.2 超临界二氧化碳输送	22
4 输送工艺	23
4.1 一般规定	23
4.2 工艺计算	25
4.3 泄压放空系统	25
5 线路	25
5.6 高后果区	25
8 辅助系统	25
8.1 仪表与控制系统	25

二氧化碳输送管道工程设计标准

3 术语和定义

3.2 超临界二氧化碳输送

二氧化碳会随着温度、压力的变化相应地呈现出固态、液态和气态三种状态，在相图中，这三态的交点叫做三相点。在三相点上三态可以互相转化。此外，二氧化碳存在一个固有的临界点，临界点由临界温度、临界压力构成。

图 1 为纯二氧化碳的相图，相态图中有两个明显的特征点：三相点（ -56°C ， 0.52MPa ）和临界点（ 31°C ， 7.38MPa ）。纯二氧化碳相态分为 5 个区域：超临界区域、液相区域、固相区域和气相区域（见表 1）。

表 1 纯二氧化碳相态的 5 个区域分析

相态名称	压力范围	温度范围	特征
超临界区域	$P > 7.38\text{MPa}$	$T > 31.1^{\circ}\text{C}$	低黏度、高扩散系数、高密度
密相区域	$P > 7.38\text{MPa}$	$-56^{\circ}\text{C} < T < 31.1^{\circ}\text{C}$	高密度、高黏度、低扩散系数
液相区域	$P < 7.38\text{MPa}$	$-56^{\circ}\text{C} < T < 31.1^{\circ}\text{C}$	高密度、高黏度、低扩散系数
固态区域	—	$T < -56^{\circ}\text{C}$	高密度
气态区域	—	$T > -56^{\circ}\text{C}$	低黏度、低黏度、高扩散系数

由于国外超临界二氧化碳管道输送气源大多数位于超临界区域，随着输送过程中温度降低，二氧化碳由超临界逐渐转化为密相，因此超临界二氧化碳管道输送指只要求压力高于临界压力的形式输送，包括超临界和密相形式的输送。

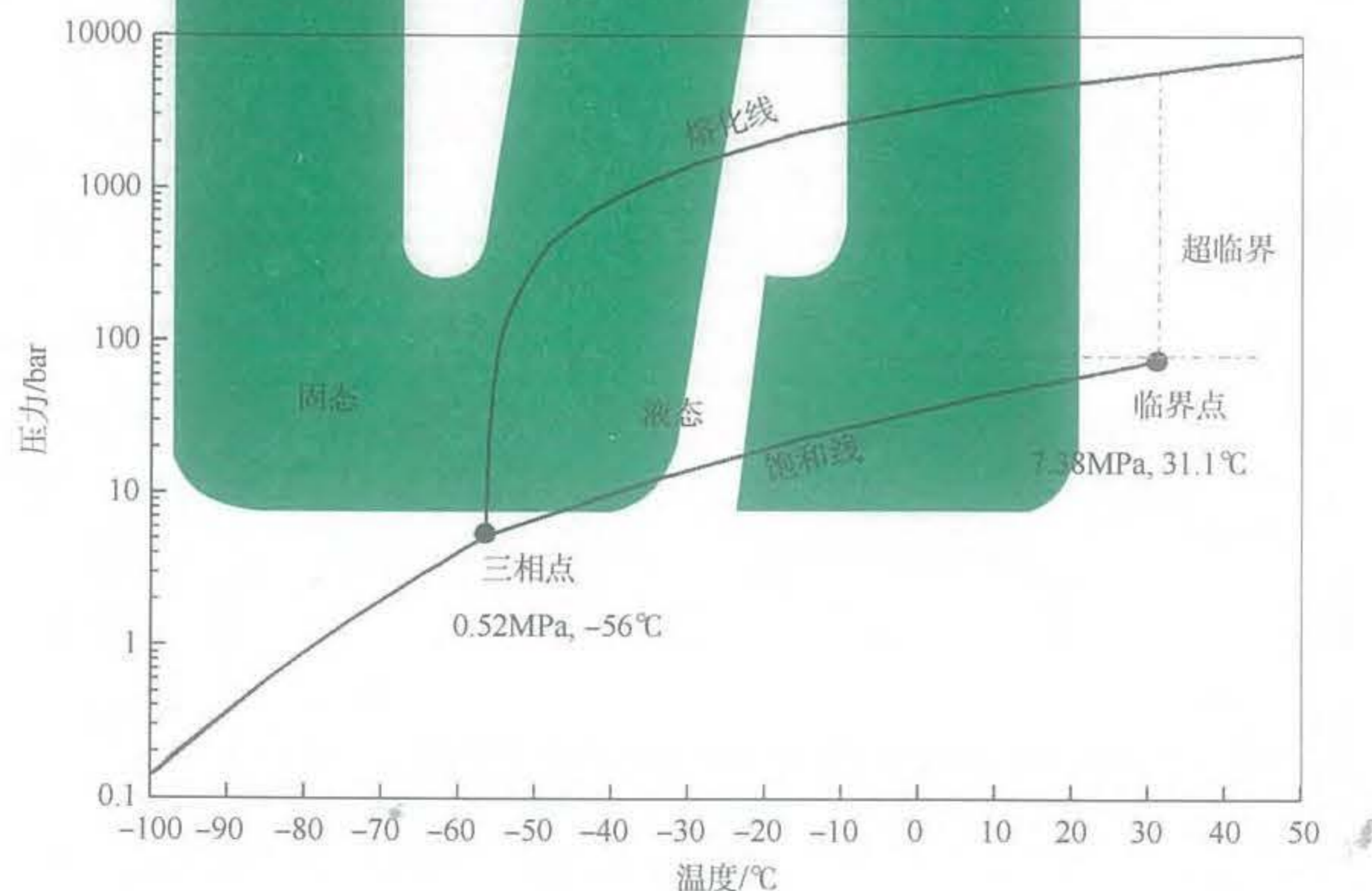


图 1 纯二氧化碳相图

4 输送工艺

4.1 一般规定

4.1.1 二氧化碳管道的输送量受到二氧化碳来源波动、上游二氧化碳处理厂运行时间和检修时间、用量负荷变化、管道维修、下游二氧化碳注入/封存运行时间等因素的影响，不可能全年满负荷运行。为保证输送管道的年输送任务，要求管道的输送能力必须有一定的裕量。故本标准规定二氧化碳输送管道输送设计能力按每年 8000h 计算。由于有的设计任务书或合同中规定的输送规模为日输送量，在工艺设计中，日输送量更能直接反映出管道的输送能力和规模，因此本标准将日输送量作为一个重要指标。

4.1.7 二氧化碳可能来自电厂、工业设施、其他领域中燃烧化石燃料（如煤、石油、天然气）或天然二氧化碳气井等。此外，二氧化碳也可能从一系列的工业生产中捕集（例如钢铁制造业、水泥生产炼化工厂和化学工业）。天然或捕集的二氧化碳会包含不同种类和数量的化学组分，例如 H₂O、H₂S、SO_x、N₂、CH₄、Ar、O₂、CO 等组分。二氧化碳流的物理性质由其包含的所有组分共同决定，因此与纯二氧化碳的物理性质有所不同，并且会对管道的设计和运行产生影响。

国外不同管输二氧化碳流体的组成要求见表 2（参考美国 National Energy Technology Laboratory “CO₂ Impurity Design Parameters” 表 2-1）。

表 2 不同管输二氧化碳流体的组成要求

组分	单位 (未标明的代表最大含量)	碳钢管道		聚烯烃管		盐水层封存	
		建议值	范围	建议值	范围	建议值	范围
CO ₂	% (体积分数) (min)	95	90~99.8	95	90~99.8	95	90~99.8
H ₂ O	ppm (质量分数)	300	20~650	300	20~650	300	20~650
N ₂	% (体积分数)	4	0.01~7	1	0.01~7	4	0.01~7
O ₂	% (体积分数)	4	0.01~4	0.01	0.001~1.3	4	0.01~4
Ar	% (体积分数)	4	0.01~4	1	0.01~4	4	0.01~4
CH ₄	% (体积分数)	4	0.01~4	1	0.01~4	4	0.01~4
H ₂	% (体积分数)	4	0.01~4	1	0.01~4	4	0.01~4
CO	ppm (体积分数)	35	10~5000	35	10~5000	35	10~5000
H ₂ S	% (体积分数)	0.01	0.002~1.3	0.01	0.002~1.3	0.01	0.002~1.3
SO ₂	ppm (体积分数)	100	10~50000	100	10~50000	100	10~50000
NO _x	ppm (体积分数)	100	20~2500	100	20~2500	100	20~2500
NH ₃	ppm (体积分数)	50	0~50	50	0~50	50	0~50
COS	ppm (体积分数)	trace	trace	5	0~5	trace	trace
C ₂ H ₆	% (体积分数)	1	0~1	1	0~1	1	0~1
C ₃ +	% (体积分数)	<1	0~1	<1	0~1	<1	0~1
HCN	ppm (体积分数)	trace	trace	trace	trace	trace	trace
Glycol	ppb (体积分数)	46	0~174	46	0~174	46	0~174

目前国外运行的典型二氧化碳管道中组分要求见表 3（参考《Pipeline Transportation of Carbon Dioxide Containing Impurities》）。

表3 不同管输二氧化碳流体的组成要求

管道	Central Basin	Cortez	Weyburn	EU Dynamic	Ecofys	Denbury	KMCO ₂	Canyon Reef Carriers	WY
CO ₂	98.5%	98.5%	96%	>95%	95%	>95%	≥95%	95%	≥95%
CH ₄	0.2%	0.14%	0.7%	总不凝气 <4%	总不凝气 <4%	烃类: <5%	烃类: ≤5%	5%	—
N ₂	1.3%	1.3%	300ppm	总不凝气 <4%	总不凝气 <4%	<4%	<4%	<0.5%	<4%
H ₂ O	240ppm	240ppm	—	500ppm	500ppm	257ppm	348ppm	50ppm	<348ppm
H ₂ S	<20ppm	—	0.9%	200ppm	—	0.0015%	10~200ppm	<200ppm	<20ppm
C ₂ +	—	—	2.3%	—	—	—	≤4%	—	—
CO	—	—	0.1%	200ppm	—	—	—	—	—
O ₂	<10ppm	—	<50 ppm	总不凝气 <4%	总不凝气 <4%	10ppm	≤10ppm	—	<10ppm
来源	自然	自然	人为	—	—	—	—	人为	—

注：所有 ppm 都是指质量分数。

水含量或水露点：二氧化碳流体中存在游离水或液相水，水会与二氧化碳生成碳酸，将加剧碳钢腐蚀。当游离水、液相水存在时，腐蚀的速率非常高，文献中指出速率达到并超过 10mm/a。因此，为了防止二氧化碳管道腐蚀，有必要在管输前对产品进行干燥以防止自由水的形成或采用更耐腐蚀的材料。由于目前所有运行的二氧化碳长输管道均采用碳钢，因此要严格控制进入管道的水含量。不同压力和温度下纯二氧化碳中水的溶解度如图 2 所示。从图中可以看出，在恒压状态下，纯二氧化碳气相和液相中水的溶解度都随温度的上升而增加。在恒温状态下，水在气相纯二氧化碳中的溶解性随着压力的上升而降低；在液相中水的溶解性随着压力的上升而增加。二氧化碳拥有这个特性的重要意义在于管道在低温低压运行时，二氧化碳中的含水量必须被更严格地控制。输送气相二氧化碳管道对含水量要求比输送超临界二氧化碳管道要更严格。为了保证输送过程中不析出水，最小水溶解度限制在 60%饱和度。由于管道输送温度可能达到 4℃左右，因此水含量保守限制值是 200ppm，即 4℃时最小溶解度的 60%。

此外，参考国内已建天然气管道项目，除了限制水含量外，要求水露点应比输送条件下最低环境温度低 5℃。

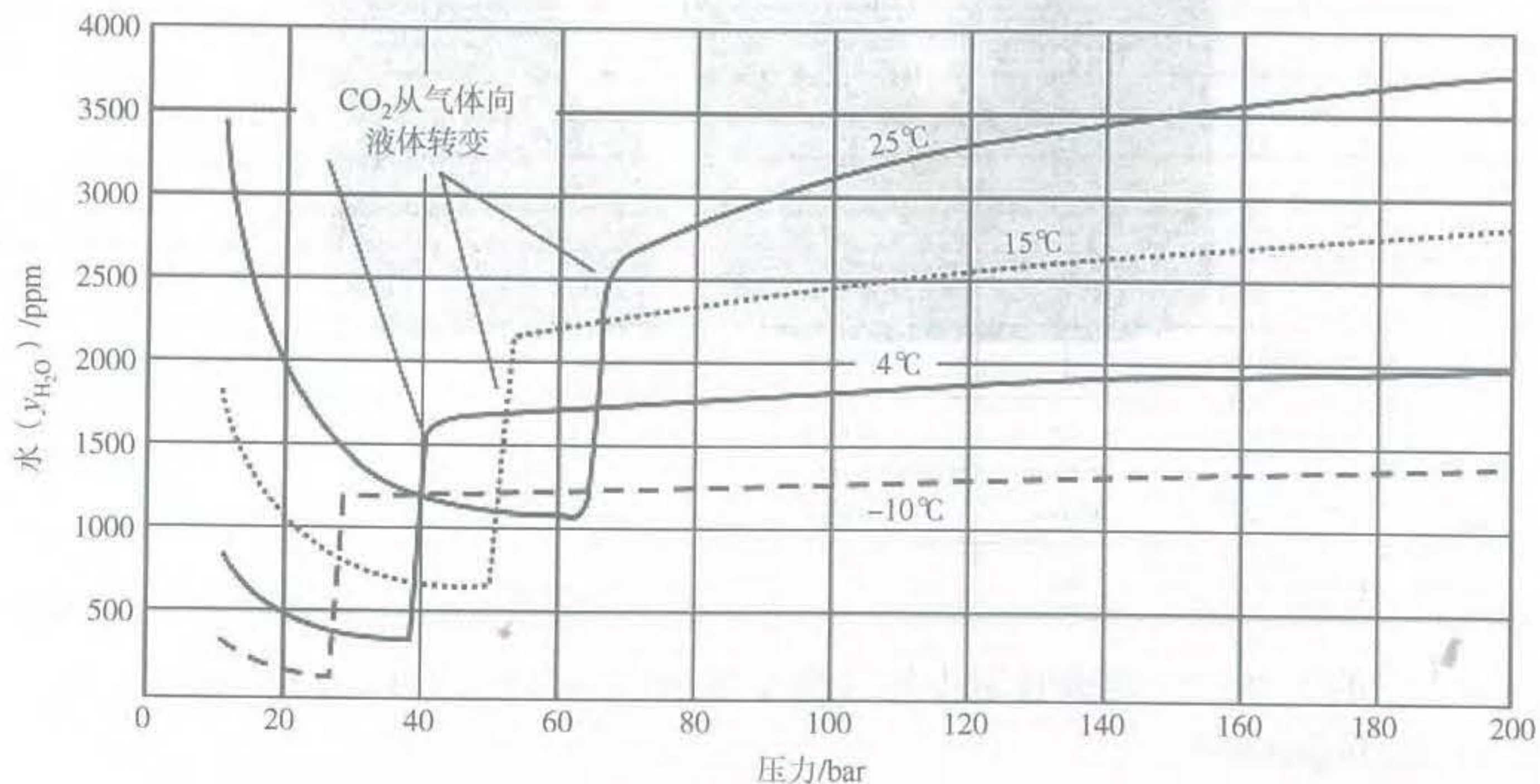


图2 纯二氧化碳中水的溶解度

硫化氢含量：一般来说，当脱除管输气体中的游离水后，就没有腐蚀发生。但考虑到我国管道沿线人口密集，为确保管道沿线居民的安全，需要规定脱水后管输中硫化氢含量。硫化氢标准状况下是一种易燃的酸性气体，是具有刺激性和窒息性的无色气体。低浓度接触仅对呼吸道及眼有局部刺激作用，高浓度接触表现为中枢神经系统症状和窒息症状。硫化氢具有“臭鸡蛋”气味，但极高浓度很快引起嗅觉疲劳而不觉其味。对于非埋存的应用，美国国家职业安全与卫生研究院（NIOSH）规定达到立即威胁生命和健康（IDLH）的体积浓度为 0.01%。硫化氢暴露影响如表 4 所示。从表中可以看出，硫化氢浓度 10ppm 以内对人影响很小，而国外管道中硫化氢浓度在 10ppm~200ppm 之间，考虑到国内经济发展迅速，人口密集，硫化氢泄漏后对周围人员危害较大，因此硫化氢 ≤ 10 ppm（质量分数），同时参考现行标准《天然气》（GB 17820）二类气标准，总硫（以硫计） ≤ 200 mg/m³。

表 4 硫化氢暴露影响

水平 (ppm)	影响
0.00041	人开始嗅到臭味
0.41	嗅到难闻的气味
0~10	容许暴露极限超过 8h (0.01~0.03 嗅觉阈值)
10~50	头痛、头晕、恶心/呕吐、咳嗽、呼吸困难
50~100	对眼睛和呼吸道有轻微的刺激，气管刺激、结膜炎
100~200	嗅觉麻痹
200~300	对眼睛、喉咙和肺的刺激显著增加、休克、痉挛、昏迷，1h 内急性中毒
500~700	无意识/暴露 30min 后死亡
≥ 1000	在几分钟内迅速死亡

4.2 工艺计算

4.2.3 二氧化碳输送管道采用液相或超临界输送时，介质密度较大，可能会发生水击。因此采用液相和超临界输送的二氧化碳管道的设计应进行水击分析，并应根据分析结果设置相应的保护措施。

4.3 泄压放空系统

4.3.6 为防止管道放空引起管道内二氧化碳发生相变，出现管道内的温度低于管材最低使用温度，放空阀可与管道温度联锁操作，或采用压力控制的方法控制管道温度，使管内压力维持在三相点以上。

5 线路

5.6 高后果区

本节根据现行标准《管道完整性管理规范 第 2 部分：管道高后果区识别规程》（Q/SY 1180.2）制定，目的在于加强高后果区管道管理，预防环境地质灾害、管道第三方损坏和管道本体腐蚀导致管道失效在高后果区造成严重危害。

8 辅助系统

8.1 仪表与控制系统

8.1.6 设置二氧化碳泄漏检测系统是为了避免泄漏的二氧化碳气体造成人员窒息事故。气态二氧化碳管道泄漏检测，可采用音波法或感温光纤法；液态二氧化碳管道，可采用负压波法或负压波加量平衡法；对于超临界或者输送过程中会发生相变的管道，可采用感温光纤法。

附录 A（资料性附录） 超临界、气相、液相二氧化碳输送管道水力和热力计算

A.2 结合胜利油田气态 CO₂ 输送管道的实际运行数据，对公式 A.2-1 进行验证如下：

表5 胜利油田气态 CO₂ 输送管道实际运行数据

参数名称	数值	单位
标况输量	70000	m ³ /d
出站压力	3.78	MPa
出站温度	22	°C
进站压力	3.41	MPa
进站温度	15	°C
管道外径	168.3	mm
管道壁厚	6.5	mm
管道长度	18.45	km

表6 相关物性参数

参数名称	数值	单位
管输条件下的 CO ₂ 密度	84.166	kg/m ³
管输条件下的空气密度	43.2187	kg/m ³
CO ₂ 的相对密度	1.9474	/
管输条件下的 CO ₂ 运动黏度	0.0018	cm ² /s
管输条件下的压缩因子	0.7728	/

假设进站压力未知，根据公式 (A.2-1) 计算得到的结果及误差分析如表 7 所示。

表7 气态 CO₂ 水力模型验证表

参数	数值	单位
公式计算的进站压力	3.4099	MPa
实际运行的进站压力	3.41	MPa
绝对误差	-0.0001	MPa
相对误差	0.003%	/

通过核算，采用公式 (A.2-1) 计算误差较小。

中华人民共和国
石油化工行业标准
二氧化碳输送管道工程设计标准
SH/T 3202—2018

*

中国石化出版社出版发行
地址：北京市朝阳区吉市口路9号
邮编：100020 电话：(010) 59964500
石化标准编辑部电话：(010) 59964080
发行部电话：(010) 59964526
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail: press@sinopec.com
北京艾普海德印刷有限公司印刷
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 51 千字
2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

*

书号：155114·1542 定价：30.00 元
(购买时请认明封面防伪标识)