

前 言

根据住房城乡建设部《关于印发 2015 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》(建标[2014]189 号)的要求,由中国石油管道局工程有限公司会同设计、勘察、研究和相关院校对《油气输送管道线路工程抗震技术规范》50470—2008 进行修订。

在修订过程中,编制组总结了近年来油气输送管道抗震设计、施工和交工的经验,特别是基于应变设计方法的最新成果,借鉴了国内相关的国家标准、行业标准以及国外先进规范,并广泛征求了国内有关单位、专家的意见,反复修改,最后经审查定稿。

本规范共分 9 章和 6 个附录,主要内容包括:总则、术语和符号、基本规定、抗震设防要求、工程勘察及场地参数、管道抗震设计、抗震措施、管道抗震施工和管道抗震交工等。

本次修订的主要技术内容是:

1. 增加了抗震设防目标;
2. 取消了原规范适用范围中的设防参数 $0.05g \sim 0.40g$ 的限制;
3. 修订了抗震设防标准;
4. 细化了管道与活动断层的并行敷设间距的具体要求;
5. 修订了场地类型划分及场地参数调整的规定;
6. 补充、修订了管道抗震校核的规定;
7. 修订了断层位移作用下的管道容许应变的确定方法;
8. 增加了液化区侧向位移作用下的管道校核要求;
9. 增加了管道穿越工程结构抗震设计的相关规定;
10. 修订了管道跨越工程地震组合及承载力抗震调整系数,增加了大型跨越工程结构防倒塌校核要求;

11. 补充、修订了管道抗震措施和抗震施工的相关规定；
12. 删除了原附录 B 滑坡稳定性校核部分，边坡稳定验算改为执行现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330；
13. 补充、修订了附录 C 的管材性能参数。

本规范由住房城乡建设部负责管理，由石油工程建设专业标准化委员会负责日常管理，由中国石油管道局工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国石油管道局工程有限公司质量管理部（地址：河北省廊坊市广阳道 87 号，邮政编码：065000，联系电话：0316—2171407，传真：0316—2171407）。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：中国石油管道局工程有限公司

参 编 单 位：中国石油管道局工程有限公司设计分公司
中国石油工程设计有限责任公司西南分公司
中国地震局地球物理研究所
中国地震局工程力学研究所
中国地震局地质研究所
中国海洋大学
中油朗威工程项目管理有限公司

主要起草人：余志峰 史 航 张文伟 许 杰 高剑锋
张振永 詹胜文 佟 雷 胡道华 李国辉
刘爱文 郭恩栋 冉勇康 李 强 续 理
代炳涛 高惠英 刘玉卿

主要审查人：李小军 郑玉刚 孔庆哲 杨铁荣 房茂立
王平化 贾光明 庞鑫峰 童 伟 刘志田
祁 哲

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(10)
4	抗震设防要求	(11)
4.1	抗震设防标准	(11)
4.2	地震安全性评价	(12)
5	工程勘察及场地参数	(14)
5.1	工程勘察	(14)
5.2	场地类别和地震动参数调整	(15)
6	管道抗震设计	(18)
6.1	一般埋地管道抗震设计	(18)
6.2	通过活动断层的埋地管道抗震设计	(21)
6.3	液化区埋地管道抗震设计	(25)
6.4	震陷区埋地管道抗震设计	(26)
6.5	管道穿越工程抗震设计	(27)
6.6	管道跨越工程抗震设计	(30)
7	抗震措施	(35)
7.1	通用抗震措施	(35)
7.2	专项抗震措施	(35)
8	管道抗震施工	(41)
8.1	一般规定	(41)
8.2	材料检查与验收	(41)

8.3 管道焊接安装与试压	(41)
8.4 埋地管道抗震施工	(42)
8.5 穿跨越管道抗震施工	(45)
9 管道抗震交工	(48)
附录 A 管道场地地段划分	(50)
附录 B 饱和砂土和饱和粉土的地震液化判别	(51)
附录 C 管材性能参数和轴向拉伸曲线	(54)
附录 D 通过活动断层埋地管道极限应变计算	(57)
附录 E 通过活动断层埋地管道有限元方法的 弹簧参数	(62)
附录 F 管道抗震施工检查报告表	(66)
本规范用词说明	(72)
引用标准名录	(73)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(10)
4	Seismic precautionary requirements	(11)
4.1	Seismic precautionary criteria	(11)
4.2	Evaluation of seismic safety	(12)
5	Engineering investigation and site parameters	(14)
5.1	Engineering investigation	(14)
5.2	Site classification and seismic motion parameters adjustment	(15)
6	Seismic design of pipeline	(18)
6.1	Seismic design of buried pipeline in general section	(18)
6.2	Seismic design of buried pipeline in active fault crossing section	(21)
6.3	Seismic design of buried pipeline in liquefaction soil area	(25)
6.4	Seismic design of buried pipeline in subsidence area	(26)
6.5	Seismic design of underground crossing section	(27)
6.6	Seismic design of aerial crossing section	(30)
7	Seismic measures	(35)
7.1	General seismic measures	(35)
7.2	Specific seismic measures	(35)
8	Seismic measure construction	(41)

8.1	General requirements	(41)
8.2	Inspection and acceptance of materials	(41)
8.3	Pipeline welding, installation and pressure test	(41)
8.4	Seismic measure construction of buried pipeline	(42)
8.5	Seismic measure construction of crossing section	(45)
9	Hand-over of seismic measures	(48)
Appendix A	Section division of pipeline site	(50)
Appendix B	Method for identifying liquefaction of saturated sand and saturated silt	(51)
Appendix C	Pipe mechanical properties and longitudinal tensile curve	(54)
Appendix D	Strain limit of buried pipeline in active fault crossing section	(57)
Appendix E	Soil spring parameters for buried pipeline in active fault crossing section by finite element method	(62)
Appendix F	Tables of checking results for seismic measure construction	(66)
	Explanation of wording in this code	(72)
	List of quoted standards	(73)

1 总 则

1.0.1 为保障油气输送管道线路工程地震安全,达到经济、适用的目的,满足使用功能要求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于陆上新建、扩建和改建钢质油气输送管道线路工程的抗震勘察、设计、施工及交工。

1.0.3 管道线路工程的抗震设防目标应符合下列规定:

1 在基本地震动作用下管道主体可继续使用;在罕遇地震动作用下管道主体不破裂。

2 管道通过活动断层及地震时可能发生液化、软土震陷等地质灾害地段,当发生设防位移时,管道主体不破裂。

3 在基本地震动作用下穿跨越结构不发生损坏或经一般性修复可继续使用;在罕遇地震动作用下跨越结构主体不倒塌。

4 对于有特殊要求的线路工程,可采用基于性能的抗震设计。

1.0.4 管道线路工程抗震设计采用的地震动参数应符合现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的规定,对已开展地震安全性评价的工程应根据评价结果确定地震动参数。

1.0.5 油气输送管道线路工程勘察、设计、施工及交工,除应执行本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 管道场地 pipeline site

管道轴线两侧各 200m 宽的范围。

2.1.2 穿跨越工程结构 structures for pipeline crossing

在穿跨越工程中,用于支撑、保护管道或为管道提供敷设空间的结构。

2.1.3 洞埋式 pipeline laid in structures(such as tunnels, case pipes, etc)

管道在隧道、套管等结构内的架空、地面或覆土敷设方式。

2.1.4 重要区段 important section for pipeline

水域大中型穿跨越段、输气干线管道经过的四级地区以及输油干线管道经过的人口密集区。

2.1.5 一般区段 general section for pipeline

除重要区段以外的油气输送管道区段。

2.1.6 活动断层 active fault

晚第四纪(10 万年)以来有过活动,且经评价在工程使用年限内可能继续活动的断层。

2.1.7 危险地段 dangerous area

活动断层及地震时可能发生地裂、崩塌、滑坡、严重液化、地面塌陷等的地段。

2.1.8 地震动参数 seismic ground motion parameters

表征特定地震引起的地面运动的物理参数,包括峰值加速度、峰值速度、反应谱特征周期、地震动时程曲线等参数。

2.1.9 设计地震动参数 seismic ground motion parameters for

design

管道线路工程抗震设计中采用的地震动参数。

2.1.10 基本地震动 basic ground motion

相应于 50 年超越概率 10% 的地震动。

2.1.11 罕遇地震动 rare ground motion

相应于 50 年超越概率 2% 的地震动。

2.1.12 管道与断层交角 intersection angle between pipeline and fault

管道与断层水平位错方向的夹角。

2.2 符 号

A ——管道横断面面积；

a ——地震动峰值加速度；

a_d ——环焊缝表面缺欠高度或内部缺欠高度的一半；

c ——土的黏聚力；

c_d ——环焊缝缺欠长度的一半；

D ——管道外径；

D_L ——土弹簧间距；

d ——场地覆盖层厚度；

d_0 ——场地土层计算深度；

d_0^L ——液化土特征深度；

d_b ——管道底部埋置深度；

d_i ——场地土层计算深度范围内第 i 土层的厚度；

d_i^L —— i 点所在土层厚度；

d_s ——饱和土标准贯入试验点深度；

d_{si} ——第 i 个标准贯入点的深度；

d_u ——上覆盖非液化土层厚度；

d_w ——地下水位深度；

d_d ——环焊缝内部缺欠的缺欠深度；

E ——管道材料的弹性模量；
 E_1 ——管道应力-应变简化折线中弹性区的材料模量；
 E_2 ——管道应力-应变简化折线中弹塑性区的材料模量；
 F ——作用于等效非线性弹簧的外力；
 F_a ——抗震工况组合的容许应力系数；
 F_{LD} ——极限压缩应变的调整系数；
 F_{DP} ——内压调整系数；
 F_{YT} ——应变强化调整系数；
 F_{GI} ——几何尺寸调整系数；
 F_{NF} ——轴向力调整系数；
 f_u ——沿管轴方向管土之间的滑动摩擦力；
 f_{ak} ——地基承载力特征值；
 f_s ——沿管轴方向土壤与管道外表面之间单位长度上的摩擦力；
 f_p ——承压系数；
 f_{pc} ——临界承压系数；
 f_g ——几何尺寸偏差与壁厚的比率；
 f_n ——轴向应力与屈服强度的比率；
 g ——重力加速度；
 h_g ——钢管表面波浪缺欠的波峰至谷底的高度；
 H ——管道中心线埋深；
 H' ——挡土墙或翼墙的高度；
 I ——管道横断面惯性矩；
 I_{IE} ——液化指数；
 I_p ——塑性指数；
 K_s ——地基反力模量；
 k_0 ——土壤压力系数；
 k_s ——地基弹簧常数；
 L ——摩擦力 t_u 作用的有效长度；

- L_t ——断层一侧的管道滑动长度；
 L_y ——管道在液化区中的长度；
 N_0 ——液化判别标准贯入锤击数基准值；
 $N_{63.5}$ ——饱和土标准贯入锤击数实测值；
 N_c ——管道开始失稳时的临界轴向力；
 N_{ch} ——水平横向考虑土体黏聚力的计算参数；
 N_{cr} ——液化判别标准贯入锤击数临界值；
 N_{cri} —— i 点标准贯入锤击数的临界值；
 N_{evd} ——垂直向下考虑土体黏聚力的计算参数；
 N_{evu} ——垂直向上考虑土体黏聚力的计算参数；
 N_i^L —— i 点标准贯入锤击数的实测值；
 N_q ——计算管道法向土壤压力的参数；
 N_{qh} ——水平横向与土体内摩擦角有关的计算参数；
 N_{qvd} ——垂直向下与土体内摩擦角有关的计算参数；
 N_{quv} ——垂直向上与土体内摩擦角有关的计算参数；
 N_r ——垂直向下土弹簧的计算参数；
 n ——场地土层计算深度范围内土层的分层数；
 n_1 ——强化指数,是反映管材强化能力的参数；
 n_t ——7m 深度范围内每一个钻孔标准贯入试验点的总数；
 P ——管内压力；
 P_u ——场地土沿水平横向对管道的压力；
 P_u ——场地土屈服抗力；
 q_u ——垂直向上土对管道的压力；
 q_{ul} ——垂直向下土对管道的压力；
 R ——结构承载力设计值；
 r ——弹性敷设的弯曲半径；
 S ——结构内力组合的设计值,包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值；
 S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；
 S_{G_k} ——第 i 个永久作用代表值的效应；
 S_{LK} ——横向地震作用标准值的效应；
 S_{PK} ——纵向地震作用标准值的效应；
 S_{TK} ——温度作用标准值的效应；
 S_{VK} ——竖向地震作用标准值的效应；
 S_{WK} ——风荷载标准值的效应；
 S_{YK} ——内压作用标准值的效应；
 T_g ——地震动反应谱特征周期；
 t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间；
 t_u ——土壤作用在管道单位长度上的摩擦力；
 V_s ——岩土剪切波速；
 V_{se} ——土层等效剪切波速；
 V_{si} ——场地土层计算深度范围内第 i 土层的剪切波速；
 v ——地震动峰值速度；
 W ——管道上表面至管沟上表面之间的土壤单位长度上的重力；
 W_p ——管道和内部介质的自重；
 ω_i —— i 土层考虑单位土层厚度的层位影响权函数；
 X_u ——水平横向土弹簧的屈服位移；
 Y_u ——垂直向上土弹簧的屈服位移；
 Y_{ul} ——垂直向下土弹簧的屈服位移；
 y_0 ——场地地震陷量；
 y_u ——土壤屈服位移；
 Z_u ——管轴方向土弹簧的屈服位移；
 Z_{0i} ——第 i 层土中点的深度；
 α ——管材屈服偏移量；
 β ——管道与断层交角；
 γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数；

γ_{G_i} ——第 i 个永久作用分项系数；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
 χ ——试样厚度和韧带的较小值；
 η ——缺欠高度与壁厚比率；
 ξ ——缺欠长度与壁厚比率；
 δ ——管道壁厚；
 δ_T ——表观韧性；
 δ_T^{HC} ——标准三点弯曲试验数值中最大有效 CTOD 值；
 λ ——模量系数；
 λ_T ——屈强比；
 ϕ ——土壤的内摩擦角；
 φ_{ec} ——压缩应变承载系数；
 φ_{et} ——拉伸应变承载系数；
 μ ——土壤与管道外表面之间的摩擦系数；
 ρ ——输送介质的密度；
 ρ_m ——管道材料的密度；
 ρ_s ——回填土的密度；
 ρ_{sl} ——管道周围场地土的密度；
 ρ_c ——黏粒含量百分率；
 ϵ ——应变；
 ϵ_a ——由于内压和温度变化产生的管道轴向应变；
 ϵ_1 ——管道应力-应变简化折线中弹塑性变形起点处的应变；
 ϵ_2 ——管道应力-应变简化折线中弹塑性区与塑性区交点处的应变；
 ϵ_{max}^L ——管道在上浮位移反应最大时的附加应变；
 ϵ_{max} ——地震动引起管道的最大轴向拉、压应变；
 ϵ_{new} ——管道内的拉伸应变；
 ϵ_e ——弹性敷设时管道的轴向应变；
 ϵ_L ——屈服平台结束时的应变；

- ϵ_m ——弯矩引起的弯管最大弯曲应变；
- ϵ_n ——轴向力引起的弯管轴向应变；
- ϵ_u ——钢管的均匀延伸率；
- $\epsilon_{\max}^S$ ——管道在场地竖向震陷位移作用下的最大附加弯曲应变；
- $\epsilon_{\max}^b$ ——地震动引起的弯管最大轴向应变；
- $\epsilon_{\max}^{Ft}$ ——断层位错引起的管道最大拉伸应变；
- $\epsilon_{\max}^{Fe}$ ——断层位错引起的管道最大压缩应变；
- ϵ_c^{crit} ——在位移荷载作用下管段的极限压缩应变；
- ϵ_t^{crit} ——在位移荷载作用下管段的极限拉伸应变；
- ϵ_r ——极限压缩应变的计算值；
- $[\epsilon_t]_v$ ——埋地管道抗震设计轴向容许拉伸应变；
- $[\epsilon_c]_v$ ——埋地管道抗震设计轴向容许压缩应变；
- $[\epsilon_t]_F$ ——埋地管道抗断的轴向容许拉伸应变；
- $[\epsilon_c]_F$ ——埋地管道抗断的轴向容许压缩应变；
- σ ——应力；
- σ_0 ——Ramberg-Osgood 应力-应变曲线中的管材轴向屈服应力；
- σ_1 ——管道应力-应变简化折线中弹塑性变形起点处的应力；
- σ_2 ——管道应力-应变简化折线中弹塑性区与塑性区交点处的应力；
- σ_a ——由于内压和温度变化产生的管道轴向应力；
- σ_a^c ——极限压缩应变计算中的轴向应力；
- σ_a^L ——液化上浮校核中，由于内压和温度变化产生的管道初始轴向压应力；
- σ_N ——组合的轴向应力；
- σ_h ——组合的环向应力；
- σ_s ——管道材料的标准屈服强度；
- σ_y ——管道轴向屈服强度；

$[\sigma_c]$ ——管道在地震等组合荷载作用下的容许压应力；

τ ——组合的剪应力；

Δ ——管道在液化土层中最大上浮位移；

ΔL_1 ——在外力作用下等效非线性弹簧的伸长量；

ΔL_1 ——断层位错引起的管道几何伸长；

ΔL_2 ——管道轴向应变引起的物理伸长；

ΔH ——水平方向的断层位移；

ΔX ——平行于管道轴线方向的断层位移；

ΔY ——管道法线方向的断层位移；

ΔZ ——垂直方向的断层位移；

ψ ——缺欠深度与壁厚的比率；

ψ_{LK} ——横向地震作用组合值系数；

ψ_{PK} ——纵向地震作用组合值系数；

ψ_T ——温度作用组合值系数；

ψ_{VK} ——竖向地震作用组合值系数；

ψ_W ——风荷载组合值系数；

ψ_Y ——内压作用组合值系数。

3 基本规定

3.0.1 油气输送管道线路工程设计文件中,应明确工程抗震设防依据和设防标准。

3.0.2 油气输送管道线路工程抗震设计应采取防止或减少地震次生灾害的措施。

3.0.3 抗震措施应根据管道线路工程的重要性、设计地震动参数、场地类型、工程地质条件以及发生地震灾害的影响程度综合确定。

3.0.4 油气输送管道线路工程勘察时,应掌握沿线地震活动性和地震构造资料,按本规范附录 A 的规定划分管道场地地段,并给出综合评价。

3.0.5 油气输送管道线路应选择抗震有利场地,宜避让不利和危险地段。对难以绕避的不利或危险地段应按照本规范的规定进行抗震设计并采取相应的抗震措施。

3.0.6 通过活动断层的管道应按本规范的规定进行抗震设计。与活动断层并行的管道,宜将其敷设在活动断层破裂影响范围外。

3.0.7 油气输送管道穿跨越位置应选择在地基良好和稳定地段。当难以避开液化土、震陷软土等不良地基时,宜选择短距离通过。

3.0.8 在油气输送管道线路工程设计文件(图件)中,应明确抗震措施,对抗震专用材料和构件、配件应提出材质、规格、数量及安装要求,对施工工艺应提出相应的要求。

4 抗震设防要求

4.1 抗震设防标准

4.1.1 管道抗震设计和校核应符合下列规定：

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。

4.1.2 穿跨越工程结构抗震设计和校核应符合下列规定：

1 穿跨越工程结构应按基本地震动参数进行抗震设计,大型穿跨越工程结构应按 1.3 倍的基本地震动峰值加速度计算地震作用；

2 穿跨越工程结构主体应按高于本地区基本地震动参数一级的要求采取抗震措施,当位于基本地震动峰值加速度 $0.40g$ 地段时,应按比 $0.40g$ 地段更高的要求采取抗震措施；

3 大型跨越工程结构应采用罕遇地震动参数进行防倒塌校核；

4 当基本地震动峰值加速度大于 $0.40g$ 时,应进行专题设计。

4.1.3 管道穿越或并行活动断层的设防应符合下列规定：

1 当管道通过基本地震动峰值加速度小于或等于 $0.30g$ 地区的活动断层,且管底至基岩的土层厚度大于或等于 $60m$ 时,或管道通过基本地震动峰值加速度大于 $0.30g$ 以上地区的活动断层,且管底至基岩的土层厚度大于或等于 $90m$ 时,可不分析断层潜在的地表断错影响。

2 对不符合本条第 1 款规定的穿越活动断层管道,其设防位移应按下列要求选取：

1)位于重要区段的管道,其设防位移应为预测的最大位移;

2)位于一般区段的管道,其设防位移应为预测的平均位移。

3 对不符合本条第 1 款规定的并行活动断层管道,管道与活动断层的并行距离应符合表 4.1.3 的规定,否则应采取措施,采取措施后的并行间距不应小于 20m。

表 4.1.3 管道与活动断层的并行距离(m)

基本地震动 峰值加速度	断层覆盖土层厚度		
	<60	60~90	>90
$\leq 0.30g$	≥ 50	—	—
$0.40g$	≥ 100	≥ 50	—
$> 0.40g$	专项研究确定		

4.1.4 管道通过地震地质灾害导致的地面位移地段,其设防位移应为预测的最大位移。

4.1.5 场地勘察和稳定性评价应采用基本地震动参数。

4.2 地震安全性评价

4.2.1 场地地震安全性评价应包括下列内容:

- 1 管道沿线场地地震活动性评价;
- 2 管道沿线近场区主要断层发震能力及其对管道的影响;
- 3 管道沿线地震动峰值加速度和峰值速度;
- 4 重要工程场地地震动反应谱和时程曲线;
- 5 地震地质灾害的类型、程度及其分布。

4.2.2 管道通过活动断层或位于其附近时,应调查活动断层特征,并应给出下列参数:

- 1 断层的性质和产状、最新活动年代、滑动速率、破裂带的宽度和断层(段)长度;
- 2 断层与管道交汇的位置和交角,或断层与管道的并行距离;

3 断层覆盖土层厚度,以及断层两侧和破裂带的土体黏聚力、内摩擦角和平均剪切波速;

4 断层在地表引起的最大、平均同震水平和竖向位错量。

5 工程勘察及场地参数

5.1 工程勘察

5.1.1 对于管道线路场地,应在初步勘察和详细勘察阶段开展地震及地震效应、活动断层的勘察评价工作。

5.1.2 对于一般区段中的线路,可利用搜集已有地质资料、踏勘和适当的补充钻探工作,确定岩土의剪切波速和场地类别。

5.1.3 对于重要区段中的线路,初勘阶段可按一般区段的管道场地进行勘察,详勘阶段应结合前期勘察成果布置勘探点,勘探点间距宜为 200m~300m,勘探深度不宜小于 15m,应查明场地土的工程地质特性,确定场地类别。

5.1.4 对于场地勘察中识别的潜在地震地质灾害应进行包括地震工况在内的稳定性评价,并应明确其对管道的影响。

5.1.5 当场地的基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.10g$,且初步判定可能存在液化土层时,应按本规范附录 B 的规定对液化土层分级,并应评价其对管道的危害。经判定场地为中等或严重液化土层时,应查明液化土层的空间位置以及覆土类型等参数。

5.1.6 对基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.20g$ 的厚层软土分布区,宜判别软土震陷的可能性和估算震陷量,并应评价对管道的危害。

5.1.7 当线路通过或并行活动断层时应对活动断层进行勘察,并应符合下列规定:

1 勘察范围不宜小于拟交叉位置向外半径 500m 或管道轴线两侧各 500m;

2 查明活动断层展布位置、类型、产状、覆盖土层厚度、岩性和沉积相特征,平面误差宜小于 10m;

3 查清活动断层的位错性质、破碎带宽度和影响带宽度,当管道线路与活动断层相交时,应明确管道与断层交角,断层未来发生的最大、平均水平和竖向位错量;

4 查清活动断层与管道相交位置及附近场地的地形地貌特征、地质特征、地震特征、场地岩土剪切波速、黏聚力和内摩擦角;

5 预测断层活动诱发的崩塌、滑坡、地面塌陷、泥石流等地质灾害对管道可能造成的影响。

5.1.8 管道工程的地震及地震效应、活动断层勘察评价,尚应符合现行国家标准《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568、《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

5.2 场地类别和地震动参数调整

5.2.1 管道场地类别应根据岩土层剪切波速和覆盖层厚度按表 5.2.1 的规定划分。

表 5.2.1 管道场地类别划分

岩石剪切波速 V_s 或 土层等效剪切波速 V_{se} (m/s)	场 地 类 别				
	I ₀ 类	I ₁ 类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类
$V_s > 800$	$d = 0$	—	—	—	—
$800 \geq V_s > 500$	—	$d = 0$	—	—	—
$500 \geq V_{se} > 250$	—	$d < 5$	$d \geq 5$	—	—
$250 \geq V_{se} > 150$	—	$d < 3$	$3 \leq d \leq 50$	$d > 50$	—
$V_{se} \leq 150$	—	$d < 3$	$3 \leq d \leq 15$	$15 < d \leq 80$	$d > 80$

注: d 为覆盖层厚度(m)。

5.2.2 岩土层剪切波速的测量应符合下列规定:

1 重要区段,每段用于测量岩土层剪切波速的钻孔数量不宜少于 2 个,数据变化较大时可适量增加;

2 一般区段,当无实测剪切波速时,岩土的类型划分和剪切波速范围可按表 5.2.2 确定。

表 5.2.2 岩土的类型划分和剪切波速范围

岩土的类型	岩土名称和性状	岩土层剪切波速范围(m/s)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$V_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石,密实的碎石土	$800 \geq V_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土,密实、中密的砾、粗、中砂, $f_{ak} > 150$ 的黏性土和粉土,坚硬黄土	$500 \geq V_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂,除松散外的细、粉砂, $f_{ak} \leq 150$ 的黏性土和粉土, $f_{ak} > 130$ 的填土,可塑新黄土	$250 \geq V_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土,松散的砂,新近沉积的黏性土和粉土, $f_{ak} \leq 130$ 的填土,流塑黄土	$V_s \leq 150$

注: f_{ak} 为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值(kPa), V_s 为岩土层剪切波速(m/s)。

5.2.3 管道场地覆盖层厚度应按下列规定确定:

1 应按地面至剪切波速大于 500m/s,且其下卧各层岩土的剪切波速均不小于 500m/s 的土层顶面的距离确定;

2 当地面 5m 以下存在剪切波速大于其上部各土层剪切波速 2.5 倍的土层,且其下卧岩土层的剪切波速均不小于 400m/s 时,可按地面至该土层顶面的距离确定;

3 剪切波速大于 500m/s 的孤石、透镜体,应视同周围土层;

4 土层中的火山岩硬夹层应视为为刚体,其厚度应从覆盖土层中扣除。

5.2.4 场地土层的等效剪切波速应按下列公式计算:

$$V_{se} = d_0 / t \tag{5.2.4-1}$$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}} \quad (5.2.4-2)$$

式中： V_{se} ——场地土层等效剪切波速(m/s)；

d_0 ——场地土层计算深度(m)，取覆盖层厚度和 20m 二者的较小值；

t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间(s)；

d_i ——场地土层计算深度范围内第 i 土层的厚度(m)；

V_{si} ——场地土层计算深度范围内第 i 土层的剪切波速(m/s)；

n ——场地土层计算深度范围内土层的分层数。

5.2.5 场地的设计地震动参数应根据场地类别，按现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的规定调整。罕遇地震的设计特征周期应大于相应的基本地震动特征周期，其增加值不宜低于 0.05s。

6 管道抗震设计

6.1 一般埋地管道抗震设计

6.1.1 对位于基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.20g$ 地区的管道,应进行抗拉伸和抗压缩验算。

6.1.2 地震作用下管道轴向的组合应变应包括地震动引起的管道最大轴向应变和内压、温差等操作荷载引起的轴向应变,并按下列公式进行组合计算:

1 当 $\epsilon_{\max} + \epsilon_a \leq 0$ 时,

$$|\epsilon_{\max} + \epsilon_a| \leq [\epsilon_c]_v \quad (6.1.2-1)$$

2 当 $\epsilon_{\max} + \epsilon_a > 0$ 时,

$$\epsilon_{\max} + \epsilon_a \leq [\epsilon_t]_v \quad (6.1.2-2)$$

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_a}{E} \quad (6.1.2-3)$$

式中: $\epsilon_{\max}$ ——地震动引起管道的最大轴向拉、压应变,按第 6.1.4 条计算,对于直埋弯管,按式 6.1.5-1 计算;

ϵ_a ——由于内压和温度变化产生的管道轴向应变;

$[\epsilon_c]_v$ ——埋地管道抗震设计轴向容许压缩应变,按第 6.1.3 条计算;

$[\epsilon_t]_v$ ——埋地管道抗震设计轴向容许拉伸应变,按第 6.1.3 条计算;

σ_a ——由于内压和温度变化产生的管道轴向应力(Pa),应按现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 或《输气管道工程设计规范》GB 50251 的有关规定计算;

E ——管道材料的弹性模量(Pa)。

6.1.3 埋地管道轴向容许应变应按下列规定确定。

1 直管段容许拉伸应变可按表 6.1.3 选取。

表 6.1.3 直管段容许拉伸应变

钢 级	设计容许拉伸应变	校核容许拉伸应变
L450(X65)及以下	0.5%	1.0%
L485(X70)和 L555(X80)		0.9%
L625(X90)		0.8%

2 直管段容许压缩应变可按下列公式计算：

1)设计容许压缩应变：

$$\text{L450(X65)及以下钢级: } [\epsilon_c]_v = 0.28 \times \frac{\delta}{D} \quad (6.1.3-1)$$

$$\text{L485(X70)、L555(X80)及 L625(X90): } [\epsilon_c]_v = 0.26 \times \frac{\delta}{D} \quad (6.1.3-2)$$

2)校核容许压缩应变：

$$\text{L450(X65)及以下钢级: } [\epsilon_c]_v = 0.35 \times \frac{\delta}{D} \quad (6.1.3-3)$$

$$\text{L485(X70)、L555(X80)及 L625(X90): } [\epsilon_c]_v = 0.32 \times \frac{\delta}{D} \quad (6.1.3-4)$$

式中： $[\epsilon_c]_v$ ——容许压缩应变；

δ ——管道壁厚(m)；

D ——管道外径(m)。

3 弯管容许应变应采用直管段的校核容许应变。

6.1.4 埋地直管道在地震动作用下的最大轴向应变可按下列公式计算,并应取较大值。

$$\epsilon_{\max} = \pm \frac{aT_g}{4\pi V_{se}} \quad (6.1.4-1)$$

$$\epsilon_{\max} = \pm \frac{v}{2V_{se}} \quad (6.1.4-2)$$

式中: a ——地震动峰值加速度 (m/s^2);

T_g ——地震动反应谱特征周期 (s);

V_{se} ——场地土层等效剪切波速 (m/s), 可按表 5.2.2 或实测数据选取;

v ——地震动峰值速度 (m/s)。

6.1.5 埋地弯管在地震动作用下的最大轴向应变可按下列公式计算:

$$\epsilon_{\max}^b = \epsilon_n + \epsilon_m \quad (6.1.5-1)$$

$$\epsilon_n = \epsilon_{\max} - \frac{t_u L}{AE} \quad (6.1.5-2)$$

$$\epsilon_m = \frac{\epsilon_n AD}{6\lambda I} \quad (6.1.5-3)$$

$$L = \frac{4AE\lambda}{3K_s} \left[\sqrt{1 + \frac{3K_s \epsilon_{\max}}{2t_u \lambda}} - 1 \right] \quad (6.1.5-4)$$

$$t_u = \frac{\pi}{2} D \rho_s g H (1 + k_0) \tan \phi \quad (6.1.5-5)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s}{4EI}} \quad (6.1.5-6)$$

$$K_s = \frac{p_u}{0.15y_u} \quad (6.1.5-7)$$

$$\text{软弱场地: } y_u = 0.07 \sim 0.10 (H + D) \quad (6.1.5-8)$$

$$\text{中硬、中软场地: } y_u = 0.03 \sim 0.05 (H + D) \quad (6.1.5-9)$$

$$\text{坚硬场地: } y_u = 0.02 \sim 0.03 (H + D) \quad (6.1.5-10)$$

$$p_u = \rho_s g H N_q D \quad (6.1.5-11)$$

$$N_q = 0.38 \frac{H}{D} + 3.68 \quad (6.1.5-12)$$

式中: $\epsilon_{\max}^b$ ——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弯曲应变;

t_u ——土壤作用在管道单位长度上的摩擦力 (N/m);

L ——摩擦力 t_u 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 ——地基反力模量(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_u ——土壤屈服位移(m);
 N_q ——计算管道法向土壤压力的参数。

6.2 通过活动断层的埋地管道抗震设计

6.2.1 通过活动断层的埋地管道应采用应变设计方法进行抗拉伸和抗压缩验算。

6.2.2 管道抗震验算应获得下列资料:

1 管道轴向力学性能参数,包括应力-应变曲线,可根据本规范附录 C 的规定确定;

2 本规范第 4.2.2 条和第 5.1.7 条规定的断层、场地等参数;

3 防腐涂层的类型;

4 管道焊接接头参数。

6.2.3 通过活动断层的管道抗震计算应符合下列规定:

1 对通过活动断层的管道,当符合下列情况时应采用有限元方法进行抗震计算:

1) 位于设计地震动峰值加速度大于或等于 $0.30g$ 地区的管道;

2)通过重要区段的管道；

3)在断层错动作用下管道受压缩的情况，包括管道通过逆冲断层和管道与断层交角大于 90° 两种情况。

2 对不符合本条第 1 款规定的情况，可按本规范第 6.2.5 条对通过活动断层的管道进行抗震计算。

6.2.4 管道通过活动断层的容许应变应符合下列规定：

1 管道轴向容许拉伸应变应按下式计算：

$$[\epsilon_t]_F = \varphi_{et} \epsilon_t^{\text{crit}} \quad (6.2.4-1)$$

式中： $[\epsilon_t]_F$ ——埋地管道抗断的轴向容许拉伸应变；

$[\varphi_{et}]$ ——拉伸应变承载系数，当环向应力小于或等于标准屈服强度的 40% 时，取 0.9，当环向应力大于标准屈服强度的 40% 时，取 0.7；

ϵ_t^{crit} ——管段的极限拉伸应变，应根据断裂力学分析和物理试验确定，并应分析裂纹、缺欠、焊缝和热影响区性能，以及温度、应变速率、初始应变、应变时效等因素的影响。当资料缺乏时，可按本规范附录 D 的公式估算。

2 管道轴向容许压缩应变应按下式计算：

$$[\epsilon_c]_F = \varphi_{ec} \epsilon_c^{\text{crit}} \quad (6.2.4-2)$$

式中： $[\epsilon_c]_F$ ——埋地管道抗断的轴向容许压缩应变；

$[\varphi_{ec}]$ ——压缩应变承载系数，取 0.6；

$[\epsilon_c^{\text{crit}}]$ ——管段的极限压缩应变，应根据有效的分析方法或物理测试确定，或二者同时采用，当资料缺乏时，可按本规范附录 D 的公式估算。

6.2.5 满足本规范第 6.2.3 条第 2 款条件的管道抗震计算宜按下列步骤进行分析。

1 沿管轴方向土壤与管道外表面之间单位长度上的摩擦力可按下列公式计算：

$$f_s = \mu(2W + W_p) \quad (6.2.5-1)$$

$$W = \rho_s DHg \quad (6.2.5-2)$$

$$W_p = \left[\pi(D - \delta)\delta\rho_m + \frac{\pi}{4}(D - 2\delta)^2\rho \right]g \quad (6.2.5-3)$$

式中： f_s ——沿管轴方向土壤与管道外表面之间单位长度上的摩擦力(N/m)；

μ ——土壤与管道外表面之间的摩擦系数，应按实测值或经验确定；

W ——管顶至管沟上表面之间的土壤单位长度上的重力(N/m)；

W_p ——管道和内部介质的自重(N/m)；

ρ_m ——管道材料的密度(kg/m³)；

ρ ——输送介质的密度(kg/m³)。

2 由断层错动引起的管道几何伸长 ΔL_1 应按下列公式计算：

1) 当 $\epsilon_{\text{new}} \leq \epsilon_1$ 时，

$$\Delta L_1 = \Delta X + \frac{(\Delta Y^2 + \Delta Z^2)f_s}{4\pi D\delta E_1 \epsilon_{\text{new}}} \quad (6.2.5-4)$$

2) 当 $\epsilon_{\text{new}} > \epsilon_1$ 时，

$$\Delta L_1 = \Delta X + \frac{(\Delta Y^2 + \Delta Z^2)f_s}{4\pi D\delta [E_1 \epsilon_1 + E_2 (\epsilon_{\text{new}} - \epsilon_1)]} \quad (6.2.5-5)$$

$$\Delta X = \Delta H \cos \beta \quad (6.2.5-6)$$

$$\Delta Y = \Delta H \sin \beta \quad (6.2.5-7)$$

式中： ϵ_{new} ——管道内的拉伸应变；

ϵ_1 ——管道应力-应变简化折线中弹塑性变形起点处的应变，按本规范附录 C 选取；

ΔL_1 ——断层位错引起的管道几何伸长(m)；

ΔX ——平行于管道轴线方向的断层位移(m)；

ΔY ——管道法线方向的断层位移(m)；

ΔZ ——垂直方向的断层位移(m)，应由地震地质工程勘察确定；

E_1 ——管道应力-应变简化折线中弹性区的材料模量(Pa),按本规范附录 C 选取;

E_2 ——管道应力-应变简化折线中弹塑性区的材料模量(Pa),按本规范附录 C 选取;

ΔH ——水平方向的断层位移(m),应由地震地质工程勘察确定;

β ——管道与断层交角($^\circ$),应由地震地质工程勘察确定。

3 管道轴向应变引起的物理伸长 ΔL_2 可按下列公式计算:

1) 当 $\epsilon_{\text{new}} \leq \epsilon_1$ 时,

$$\Delta L_2 = \frac{\pi D \delta E_1 \epsilon_{\text{new}}^2}{f_s} \quad (6.2.5-8)$$

2) 当 $\epsilon_{\text{new}} > \epsilon_1$ 时,

$$\Delta L_2 = \frac{\pi D \delta [E_1 \epsilon_1^2 + E_2 (\epsilon_{\text{new}}^2 - \epsilon_1^2)]}{f_s} \quad (6.2.5-9)$$

式中: ΔL_2 ——管道轴向应变引起的物理伸长(m)。

4 管道拉伸应变可采用迭代法按下式计算:

$$\Delta L_1 = \Delta L_2 \quad (6.2.5-10)$$

5 由断层位错引起的管道最大拉伸应变应按下式计算:

$$\epsilon_{\text{max}}^{\text{Ft}} = 2\epsilon_{\text{new}} \quad (6.2.5-11)$$

式中: $\epsilon_{\text{max}}^{\text{Ft}}$ ——断层位错引起的管道最大拉伸应变。

6 计算的管道最大拉伸应变 $\epsilon_{\text{max}}^{\text{Ft}}$ 应小于或等于容许拉伸应变 $[\epsilon_t]_F$, 且应明确相应的抗震措施。

6.2.6 当采用有限元方法进行通过活动断层的管道抗震计算时,应符合下列规定:

1 应反映几何大变形和材料非线性。

2 可采用梁单元、管单元、弯管单元或者壳单元建立有限元模型,可能发生大变形的管道部分,管道单元的长度不应大于管道的直径。

3 有限元模型分析管道的长度应满足下列要求:

- 1) 当采用固定边界时,分析管道的长度应满足管道在两个固定端的应变接近于 0;
- 2) 当采用等效边界时,应对在断层附近发生大变形、长度不小于 60 倍管径的管段进行有限元分析,可按本规范附录 E 中的公式建立等效非线性弹簧替代离断层较远的管道变形反应。

4 管土之间的相互作用宜采用管轴方向土弹簧、水平横向土弹簧和垂直方向土弹簧进行模拟。土弹簧的参数宜根据土的力学特性通过现场试验或采用计算方法确定,初步计算时可采用本规范附录 E 中的公式。当采用其他管土作用模型时,应经过相应的验证。

5 抗震计算应包括无内压和有内压(设计压力)两种工况。

6 有限元分析得到的管道轴向最大拉伸应变 $\varepsilon_{\max}^{F_t}$ 和最大压缩应变 $\varepsilon_{\max}^{F_c}$ 应分别小于或等于管道容许拉伸应变 $[\varepsilon_t]_F$ 和容许压缩应变 $[\varepsilon_c]_F$,且应明确相应的抗震措施。

6.3 液化区埋地管道抗震设计

6.3.1 当管道穿越场地在设计地震动参数下具有中等或严重液化趋势时,宜通过计算液化场地中管道的上浮反应及其引起的管道附加应变对管道的抗液化能力进行校核。当液化场地位于坡地时,还应进行侧向位移作用下的管道应变校核。

6.3.2 管道抗液化上浮校核应符合下列规定:

1 当通过液化区的管段长度小于或等于 30m 时,可不采取措施;当通过液化区的管段长度大于或等于 180m 时,应采用抗漂浮措施;当通过液化区的管段长度为 30m~180m 时,应根据第 4 款和第 5 款的校核结果,采取相应措施。

2 液化土层中管道的最大上浮位移 Δ 可按式计算:

$$\Delta = -1.0545 + 0.0254L_y + 0.00327\sigma_a^L + 0.13(L_y - 85)\tan(10D - 4.20) \quad (6.3.2-1)$$

式中: Δ ——管道在液化土层中最大上浮位移(m);

L_y ——管道在液化区中的长度(m),若管道一端或两端与建(构)筑物相连接,应将实际管道长度[至建(构)筑物外表面]分别乘以修正系数 0.9 或 0.8;

σ_a^L ——管道由压力和温度变化引起的初始轴向压应力(MPa),应按现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 或《输气管道工程设计规范》GB 50251 的规定计算,当初始轴向应力为拉应力时, σ_a^L 取值为 0。

3 液化区管道附加应变应按下式计算:

$$\epsilon_{\max}^L = [-1422.7 + 7835.5L_y / (0.167L_y^2 - 8.36L_y + 282.4) + 1465D + 6.16\sigma_a^L] \times 10^{-6} \quad (6.3.2-2)$$

式中: $\epsilon_{\max}^L$ ——管道在上浮位移反应最大时的附加应变。

4 将管道附加应变与本规范第 6.1.2 条由地震动、内压和温度变化引起的轴向应变组合后,应按下列公式校核管道的应变状态,当不满足下列公式时,应采取抗震措施:

$$\begin{aligned} &\text{当 } \epsilon_{\max} + \epsilon_a + \epsilon_{\max}^L \leq 0 \text{ 时,} \\ &\quad |\epsilon_{\max} + \epsilon_a + \epsilon_{\max}^L| \leq [\epsilon_c]_v \end{aligned} \quad (6.3.2-3)$$

$$\begin{aligned} &\text{当 } \epsilon_{\max} + \epsilon_a + \epsilon_{\max}^L > 0 \text{ 时,} \\ &\quad \epsilon_{\max} + \epsilon_a + \epsilon_{\max}^L \leq [\epsilon_t]_v \end{aligned} \quad (6.3.2-4)$$

5 管道的上浮反应状态应按下式校核,当不满足下式时应采取抗液化措施:

$$H - D/2 - \Delta \geq 0.5 \quad (6.3.2-5)$$

6.3.3 在侧向位移作用下管道的应变应采用有限元方法进行计算,并应符合本规范第 6.2.6 条的规定。

6.4 震陷区埋地管道抗震设计

6.4.1 当管道穿越的场地具有竖向震陷时,应进行震陷位移作用下的最大附加弯曲应变的校核。

6.4.2 管道在场地竖向震陷位移作用下的最大附加弯曲应变 $\epsilon_{\max}^S$

可按下式计算:

$$\epsilon_{\max}^S = 0.648 y_0 D \sqrt{k_s D / 4 E_1 I} \quad (6.4.2)$$

式中: $\epsilon_{\max}^S$ ——管道在场地竖向震陷位移作用下的最大附加弯曲应变;

y_0 ——场地地震陷量(m);

k_s ——地基弹簧常数(MPa/m),可通过土样实验确定。

6.4.3 管道的应变状态应按本规范第 6.3.2 条的规定校核,当不满足要求时,应采取抗震陷措施。

6.5 管道穿越工程抗震设计

6.5.1 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 $0.10g$ 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。

6.5.2 直埋式穿越管道应采用应变准则验算,其应变应按本规范第 6.1.2 条的规定进行组合。对弹性敷设管道,应计入弹性弯曲应变,并按下式计算:

$$\epsilon_e = \pm \frac{D}{2r} \quad (6.5.2)$$

式中: ϵ_e ——弹性敷设时管道的轴向应变;

r ——弹性敷设的弯曲半径(m)。

6.5.3 直埋式穿越管道的容许应变值应按埋地管道选用,并应符合本规范第 6.1.3 条的规定。

6.5.4 洞埋式穿越中的架空或地面敷设管道应采用应力准则验算,架空时应按跨越梁式管桥进行抗震设计和校核,地面敷设时按连续支撑进行抗震设计和校核,覆土敷设时应按直埋式管道进行抗震设计和校核,穿越套管或箱涵内的管道应按地面敷设进行抗震设计和校核。

6.5.5 洞埋式穿越中的架空和地面敷设管道承受自重、输送介质重量、内压、温差及地震动作用产生的轴向应力、环向应力与剪应

力,应分别进行叠加组合计算,组合应力应按下列式验算:

$$\sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_h^2 - \sigma_N \sigma_h + 3\tau^2} \leq F_a \sigma_s \quad (6.5.5)$$

式中: σ_N ——组合的轴向应力(MPa);

σ_h ——组合的环向应力(MPa);

τ ——组合的剪应力(MPa);

F_a ——抗震工况组合的容许应力系数,对于基本地震动引起的应力组合, F_a 取 0.8,对于罕遇地震动引起的应力组合, F_a 取 1.0;

σ_s ——管道材料的标准屈服强度(MPa)。

6.5.6 洞埋式穿越管道产生轴向压应力时,轴向压应力应小于容许压应力,容许压应力应按下列式计算:

$$[\sigma_c] = \frac{N_c}{A} \quad (6.5.6)$$

式中: $[\sigma_c]$ ——管道在地震等组合荷载作用下的容许压应力(MPa);

N_c ——管道开始失稳时的临界轴向力(MN),应按现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 的规定计算。

6.5.7 管道穿越工程结构应进行抗震设计。水域隧道,当基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.10g$ 时,管道穿越工程结构应进行地震作用计算;山岭隧道,当基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.20g$ 时,管道穿越工程结构应进行地震作用计算。

6.5.8 管道穿越工程结构的抗震结构体系应符合下列规定:

- 1 应有明确、可靠的地震能量耗散部位;
- 2 应有明确、合理的地震作用传递路线;
- 3 结构构件的截面刚度不应有突变而形成薄弱区域;
- 4 应通过合理选择截面尺寸、配置钢筋等措施,增加钢筋混凝土构件的延性,防止剪切先于弯曲破坏和钢筋锚固黏结先于构件破坏;

- 5 应采用有利于提高结构整体性的连接方式,构件连接应合

理、可靠,应适应地震作用下结构产生的应力与变形,避免结构产生破坏或大的裂缝。

6.5.9 管道穿越工程结构地震作用计算应符合下列规定:

1 隧道、圆形竖井应计算横截面的水平地震作用,矩形竖井、管道支墩或支架应计算两个主轴水平方向上的地震作用,当地质条件沿隧道轴向变化较大、软硬不均或遇有液化地层时,还应分析地震对隧道轴向的影响,当管道穿越场址基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.20g$ 时,宜验算竖井与隧道交界处的变形;

2 地震作用可采用静力法或反应位移法计算;

3 在横向地震作用下,管道与管道支墩或支架之间可视为无滑移,在纵向地震作用下,应依据管箍张紧情况分析管道支墩或支架的地震作用,未箍紧的管道宜考虑在管道支墩或支架上纵向滑移的影响;

4 结构抗震计算软件所采用的模型和计算方法,除应满足本规范规定外,尚应对计算结果进行分析判断,并应确认其合理、有效性后用于工程设计。

6.5.10 管道穿越工程结构抗震设计应符合下列规定:

1 结构承载力抗震验算应符合下列规定:

1) 结构应进行弹性抗震计算,并采取相关抗震措施;

2) 地震作用重要性系数应取 1.0 ;

3) 结构水平地震作用效应和永久作用效应的基本组合,应包括各种永久效应的最不利组合并按下式计算:

$$S = \sum_{i=1}^n \gamma_{G_i} S_{G_i k} + \gamma_{Eh} S_{Eh k} \quad (6.5.10-1)$$

式中: S ——结构内力组合的设计值,包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等;

γ_{G_i} ——第 i 个永久作用分项系数,应取 1.2 ,当永久作用效应对构件承载能力有利时,不应大于 1.0 ;

$S_{G_i k}$ ——第 i 个永久作用代表值的效应;

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数,应取 1.3;

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应。

4)结构抗震验算应满足下式:

$$S \leq R/\gamma_{\text{RE}} \quad (6.5.10-2)$$

式中: R ——结构承载力设计值;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,应按表 6.5.10 采用。

表 6.5.10 承载力抗震调整系数

材 料	结 构 构 件	受 力 状 态	γ_{RE}
钢	支架构件、节点板件、螺栓、焊缝 支架构件	强度	0.75
		稳定	0.80
混凝土	支架横梁	受弯	0.75
	支架柱、支墩	偏压	0.80
	隧道结构	偏压	0.85
	各类构件	受剪、偏拉	0.85
—	预埋件锚筋	强度	1.00

2 需要维持检修通道功能的顶管结构、盾构结构应进行抗震变位验算,其验算应按现行国家标准《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032 的有关规定执行,接头位移量不应超过满足接缝防水材料水密性要求的允许值。

3 地基及基础的抗震验算应按现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的有关规定执行,坡体的稳定性应按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定进行验算。

6.6 管道跨越工程抗震设计

6.6.1 跨越工程结构应进行抗震设计,当场地基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.10g$ 时,跨越工程结构应进行地震作用计算。

6.6.2 管道跨越工程的结构体系应根据场地的地震动参数等级、场地类别、水文与工程地质条件、跨度、管径、材料和施工条件等因

素,经技术经济综合比较后确定。管道跨越工程的抗震结构体系应符合下列规定:

- 1 结构应有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径;
- 2 宜设置多道抗震防线;
- 3 应具备必要的强度、良好的变形能力和耗能能力;
- 4 应具有合理的刚度和强度分布,避免局部产生过大的应力集中或塑性变形集中,对可能出现的薄弱部位,应采取相应措施提高抗震能力。

6.6.3 管道跨越工程抗震计算应符合下列规定:

- 1 对悬索、斜拉索等柔性跨越结构进行抗震计算时,应采用考虑几何非线性影响的分析模型;
- 2 在抗震计算中,应考虑非结构构件、介质的附加质量对跨越结构抗震性能的影响;
- 3 跨越结构的地震作用应按沿跨越管道横向、竖向以及纵向三个方向分别计算,对地震动峰值加速度小于或等于 $0.20g$ 的地区,小型跨越结构可不计算竖向和纵向地震作用;
- 4 当管道作为跨越结构的受力构件时,在地震作用下,应对跨越结构整体进行内力和位移计算;
- 5 当跨越结构仅作为管道的支承结构时,管道可视为支承在支座上的多跨连续梁,在横向、竖向地震作用下,管道与支座之间可视为无滑移,在纵向地震作用下,宜考虑管道在支座上纵向滑移的影响;
- 6 跨越结构抗震计算软件所采用的模型和验算方法除应满足本规范及有关标准的规定外,尚应对计算结果分析判断,确认其合理、有效性后方可用于工程设计。

6.6.4 管道跨越工程的抗震计算可采用下列方法:

- 1 一般的跨越结构宜采用反应谱振型分解法;
- 2 小型跨越以及质量和刚度分布比较均匀的中型跨越,可采用单质点简化模型进行计算;

3 复杂的大型跨越结构宜采用时程分析法进行抗震计算,可取多条(至少 3 组实际地震动加速度记录或人工模拟加速度时程曲线)时程曲线计算结果的平均值与反应谱振型分解法计算结果的较大值作为设计依据,设计时程曲线应基于地震安全性评价结果,并将所选地震加速度记录的峰值调整到与场地设防地震动水准相应的设计加速度峰值。

6.6.5 在计算地震作用时,管道跨越工程的重力荷载代表值应取结构、配件以及输送介质自重标准值和可变荷载组合值之和,可变荷载的组合值系数应按表 6.6.5 采用。

表 6.6.5 组合值系数

可变荷载种类	组合值系数
雪荷载	0.5
裹冰荷载	0.5
温度荷载	0.6

6.6.6 管道跨越工程的地震作用效应和其他荷载效应组合,其设计值应按下式计算:

$$S=S_{GE}+\phi_{LK} S_{LK}+\phi_{VK} S_{VK}+\phi_{PK} S_{PK}+\phi_W S_{WK}+\phi_Y S_{YK}+\phi_T S_{TK} \quad (6.6.6)$$

式中:S——管道跨越工程结构内力组合的设计值,包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值;

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应;

ϕ_{LK} ——横向地震作用组合值系数,见表 6.6.6;

S_{LK} ——横向地震作用标准值的效应;

ϕ_{VK} ——竖向地震作用组合值系数,见表 6.6.6;

S_{VK} ——竖向地震作用标准值的效应;

ϕ_{PK} ——纵向地震作用组合值系数,见表 6.6.6;

S_{PK} ——纵向地震作用标准值的效应;

ϕ_W ——风荷载组合值系数,风荷载起控制作用的大型跨越结

构采用 0.2,其他取 0.0;

S_{WK} ——风荷载标准值的效应;

ψ_Y ——内压作用组合值系数,可取 1.0;

S_{YK} ——内压作用标准值的效应;

ψ_T ——温度作用组合值系数,见表 6.6.5;

S_{TK} ——温度作用标准值的效应。

表 6.6.6 不同工况的地震作用组合值系数

地震作用工况	ψ_{LK}	ψ_{VK}	ψ_{PK}
仅计算横向地震作用	1.3(1.0)	0.0	0.0
仅计算竖向地震作用	0.0	1.3(1.0)	0.0
仅计算纵向地震作用	0.0	0.0	1.3(1.0)
同时计算横向与竖向地震作用(横向为主)	1.3(1.0)	0.5	0.0
同时计算横向与竖向地震作用(竖向为主)	0.5	1.3(1.0)	0.0
同时计算横、竖、纵向地震作用	1.3(1.0)	0.5	0.5

注:括号内数值为油气输送管道及缆索抗震计算时选用。

6.6.7 结构抗震验算应符合本规范式(6.5.10-2)的规定,承载力抗震调整系数应按表 6.6.7 选用。当仅计算竖向地震作用时,各类结构构件承载力抗震调整系数均应采用 1.0。

表 6.6.7 承载力抗震调整系数

材 料	结 构 构 件	受力状态	γ_{RE}
钢	梁、柱、支撑、节点板件、螺栓、焊缝	强度	0.75
	柱、支撑	稳定	0.80
混凝土	梁	受弯	0.75
	轴压比小于 0.15 的柱	偏压	0.75
	轴压比不小于 0.15 的柱	偏压	0.80
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

6.6.8 管道在地震工况下的组合应力(内力)应符合本规范第 6.5.5

条的规定。

6.6.9 下列跨越工程结构应进行罕遇地震作用下的弹塑性变形验算：

- 1 主跨长度超过 150m 的悬索、斜拉索跨越结构；
- 2 基本地震动参数为 $0.20g$ 及以上的大型跨越结构。

6.6.10 梁式直跨、桁架式、轻型托架、拱式等刚性跨越结构在罕遇地震作用下的弹塑性变形验算，应按现行国家标准《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 的有关规定执行。

6.6.11 悬索、斜拉索、悬缆等柔性跨越结构在罕遇地震作用下的弹塑性变形验算应符合下列规定：

1 墩柱应按现行行业标准《公路工程抗震规范》JTG B02 和《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02—01 的要求进行塑性变形能力和抗剪验算；

2 索塔截面和桩基础应按现行行业标准《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65—05 的要求进行截面弯矩验算，桥面结构、主索、吊索强度应按现行行业标准《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65—05 的相关要求进行验算；

3 悬索或斜拉索跨越的风索主索和风索拉索，其验算方法和验算内容与主索及吊索一致。

7 抗震措施

7.1 通用抗震措施

7.1.1 管道抗震措施的选用应与抗震验算相结合,优先采用降低计算应变的措施。当抗震验算不满足要求时,可适当增加钢管壁厚或采用大应变钢管。

7.1.2 在需要设防的地面位移地段不应设置三通、阀门、固定墩等部件。当需要设置热煨弯管时,其曲率半径不应小于 6 倍管道外径。

7.1.3 在管道穿过刚性截水墙或水工保护构筑物基础时,穿管处管道周边应预留不小于 25mm 的空隙,并用柔性减振材料填塞。

7.1.4 管道通过地震动峰值加速度大于或等于 $0.40g$ 区段的大中城市、大型穿跨越工程两侧宜结合线路阀室分布情况设置截断阀。

7.1.5 敷设于地震危险地段的管道宜设置报警系统。

7.2 专项抗震措施

7.2.1 对通过活动断层的管道,应采取下列抗震措施:

- 1 宜选择断层位移和断裂宽度较小的地段通过。
- 2 管道与水平走滑为主的断层错动方向的交角宜为 $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。
- 3 对于以水平走滑为主的断层和正断层,应增大断层及其两侧影响范围内的管沟宽度,管沟宽度宜大于沿管道法线方向的断层水平位移,管沟边坡坡度不宜大于 30° ,并应采用疏松材料浅埋。对于逆冲断层应专门研究。

4 三通、旁通、阀门、固定墩等部件与断层的距离应大于 1.5 倍的同侧管道滑动长度 L_t , L_t 宜按下式计算,在滑动长度内,宜采

用相同直径或壁厚的管道。

$$L_t = \frac{\pi D \delta \sigma_2}{f_s} \quad (7.2.1)$$

式中: L_t ——断层一侧的管道滑动长度(m);

σ_2 ——管道应力-应变简化折线中弹塑性区与塑性区交点处的应力(Pa),按本规范附录 C 选取。

5 通过断层的管道采用埋地敷设不能满足抗震要求时,宜将管道敷设于地面或架空,并采取相应的安全保护措施。

6 通过活动断层段管道的对接焊口应进行 100%射线检测和 100%超声波检测,并应达到国家现行标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109 规定的 II 级及以上要求,且应符合应变设计的缺欠尺寸限定要求。

7.2.2 埋设于液化区较长的管道,可分段采取抗液化措施。严重液化区的管道可采用换填非液化土、配重、抗浮桩及衬铺压土等措施。

7.2.3 通过震陷区的管道,有条件时可采用地面或地上(跨越)敷设。

7.2.4 确需在难以绕避的滑坡区内敷设的管道,应采取减载、支挡、锚固或排水等措施控制滑坡。

7.2.5 采用直埋式穿越水域或沟壑的管道,其斜坡角不应大于 30° ,如图 7.2.5 所示。

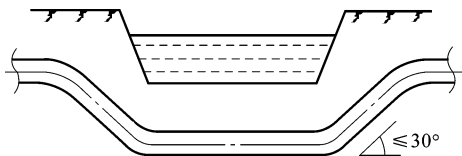


图 7.2.5 直埋式穿越管道示意图

7.2.6 洞埋式穿越管道采用支墩方式敷设时,应设置防止管道侧

向滑落的管卡。

7.2.7 洞埋式穿越管道地面敷设时,应保证地震发生时管道轴向与横向自由位移,并不得失稳。

7.2.8 管道穿跨越工程结构抗震采用的材料应符合下列规定:

1 混凝土强度等级不应低于 C25,且不应高于 C60;

2 纵向受力钢筋选用普通钢筋时,钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25,屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于 1.3,且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不应小于 9%,宜选用符合上述抗震性能指标的不低于 HRB400 级的热轧钢筋,也可选用符合上述抗震性能指标的 HRB335 级的热轧钢筋,箍筋宜选用符合上述抗震性能指标的不低于 HRB335 级的热轧钢筋,也可选用 HPB300 级的热轧钢筋;

3 所选用钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85,应有明显的屈服台阶且伸长率不应小于 20%,应有良好的焊接性和合格的冲击韧性,宜选用 Q235 等级 B、C、D 的碳素结构钢及 Q345 等级 B、C、D、E 的低合金结构钢,当有可靠依据时,可选用其他钢种和钢号;

4 砌筑砂浆强度等级不应低于 M10,片石混凝土的强度等级不应低于 C20;

5 管道穿越工程结构的材料种类和强度等级不应低于表 7.2.8 的要求。

表 7.2.8 管道穿越工程的材料种类和最小强度等级

管道穿越 工程类别	部 位	基本地震动峰值加速度	
		0.20g、0.30g	0.40g
水下钻爆隧道	Ⅲ、Ⅳ级围岩衬砌	混凝土 C25 或 钢筋混凝土 C30	钢筋混凝土 C30
	V、Ⅵ级围岩衬砌,竖井	钢筋混凝土 C30	

续表 7.2.8

管道穿越 工程类别	部 位	基本地震动峰值加速度	
		0.20g、0.30g	0.40g
山岭隧道	洞门墙	混凝土 C25	钢筋混凝土 C30
	洞门挡土墙(翼墙), $H' \leq 10\text{m}$	混凝土 C25	混凝土 C25 或 钢筋混凝土 C30
	洞门挡土墙(翼墙), $H' > 10\text{m}$	钢筋混凝土 C30	
	Ⅲ、Ⅳ级围岩衬砌	混凝土 C25 或钢 筋混凝土 C30	钢筋混凝土 C30
	V、Ⅵ级围岩衬砌	钢筋混凝土 C30	
	明洞	钢筋混凝土 C30	
管道支墩或支架	主体结构	钢筋混凝土 C25	
锚固墩	主体结构	混凝土 C25	

注:表中 H' 为挡土墙或翼墙的高度。

7.2.9 管道穿跨越工程结构地基的抗震措施应符合下列规定:

1 地基为软土、液化土、新近填土或严重不均匀土时,应考虑地震时不均匀沉降、地基失效或其他不利影响对管道穿越工程可能造成的破坏,并应采取相应措施;

2 液化等级为中等和严重时的古河道、现代河滨、海滨,当存在液化侧向扩展或流滑可能时,在距常水位线 100m 以内修建的管道穿越工程,应进行抗滑动验算,必要时应采取防止滑动的措施。

7.2.10 山岭隧道和水下矿山法施工隧道的抗震措施应符合下列规定:

1 洞口不应设在浅薄山嘴处、防治困难的不良地质处及不稳定的悬崖峭壁下,洞口应采取控制边坡和仰坡的开挖高度及其他防止坍塌震害的措施,位于悬崖峭壁下的洞口,宜采取设置明洞或其他防止崩塌、落石的措施;

2 洞门形式不应采用端墙式,采用翼墙式洞门时,基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.20g$ 的地区,洞门端墙与衬砌环框间、端墙与洞口挡土墙或翼墙间的施工接缝处应采取加设短筋或设置榫头等抗震连接措施;

3 隧道洞口、浅埋、偏压地段和断层破碎带地段宜采用带仰拱的曲墙式衬砌断面,设防长度应根据地形、地质条件及抗震情况确定,并不应小于 2.5 倍的结构跨度,基本地震动峰值加速度大于或等于 $0.20g$ 的地区或洞口为 $\text{IV} \sim \text{VI}$ 围岩时,设防长度不应小于 15m ;

4 衬砌结构的设防范围宜根据地质、抗震设防情况向两端围岩质量较好的地段延伸,延伸长度宜为 $5\text{m} \sim 10\text{m}$;

5 明暗洞交界处、软硬岩交界处及断层破碎带地段,宜结合沉降缝、伸缩缝综合设置抗震缝,对于基本地震动峰值加速度为 $0.20g \sim 0.40g$ 的地区,抗震缝的纵向间距可取 $10\text{m} \sim 15\text{m}$;

6 衬砌背后严禁存在空洞,衬砌背后的空洞应压注水泥砂浆进行填充。

7.2.11 顶管结构、盾构结构的抗震措施应符合下列规定:

1 接头构造应有利于减小地震时接头的错动和因地震位移引起的破坏;

2 接头的防水应保证地震后接缝防水性能符合设防要求;

3 在软弱地层或地震后易产生液化的地层,接头宜设置凹凸榫槽;

4 基本地震动峰值加速度大于 $0.20g$ 且穿越土层严重不均匀的地区时,可对隧道周围的土层进行注浆处理;

5 盾构管片间的连接螺栓,在满足常规受力要求的前提下,宜采用小的刚度;

6 盾构管片宜采用错缝拼接方式。

7.2.12 管道支墩或支架、锚固墩的抗震措施应符合下列规定:

1 管道支墩、锚固墩周围回填时应回填粗颗粒土并应夯实,

当基坑为基岩时,宜采用素混凝土原槽浇注;

2 管道支墩的箍筋间距不应大于 100mm,按素混凝土构件设计的锚固墩,其表面应配置构造钢筋;

3 预埋件的锚固破坏不应先于连接件,与非抗震设计时相比,预埋件的直锚钢筋截面面积可增加 25%,锚固长度应增加 10%;

4 按压杆设计的钢支架长细比,基本地震动峰值加速度小于或等于 $0.20g$ 时不应大于 150,基本地震动峰值加速度大于 $0.20g$ 时不应大于 120;

5 管道支墩或支架顶面的设计应满足管道抗震计算模型,并应采取防止管道滑落的措施。

7.2.13 管道跨越结构的抗震措施应符合下列规定:

1 梁、桁架等位于墩台上的跨越结构应采取限位措施,在跨越结构上应固定或限制管道的相对位置,可采用挡块、钢夹板、U形螺栓等连接件;

2 位于软弱黏性土层、液化土层和严重不均匀地层上的梁、桁架等刚性跨越结构,不宜采用高次超静定结构;

3 在管道或支承结构与支墩之间可设置隔震部件,该部件应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼,并应便于检查和维护,隔震部件可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定进行设计。

7.2.14 对出入锚固墩部位的管道宜局部加强。

8 管道抗震施工

8.1 一般规定

8.1.1 管道抗震施工除应执行本规范的规定外,尚应满足批准后的抗震设计文件要求。施工中如有变更,应征得原抗震设计部门的确认,并应出具设计更改文件。

8.1.2 管道线路工程施工方案中应明确抗震措施的施工要求。

8.1.3 施工准备工作应包括下列内容:

1 在管道线路工程设计交底及图纸会审工作中,应对抗震设计部分进行专项交底,并做好会审记录;

2 承担管道线路抗震施工的单位应对各级施工人员进行专项作业培训。

8.2 材料检查与验收

8.2.1 管道抗震工程施工所采用的管材、管件等材料的材质、规格应符合设计要求,其质量应符合国家现行标准的规定。

8.2.2 管道抗震工程施工所使用的专项材料需代用时,应经原设计部门复核,经复核符合抗震设计要求后,原设计部门应重新出具抗震设计修改文件,并应按修改后的设计文件进行采购、检查和验收。

8.3 管道焊接安装与试压

8.3.1 焊接施工前,应根据管道抗震设计文件提出的钢管等级、壁厚、焊接材料、焊接方法和工艺要求进行焊接工艺评定,制订焊接及返修工艺规程。

8.3.2 在活动断层、液化引起的侧向位移等地表位移地段,应进

行现场环焊缝拉伸性能测试,测试结果应符合设计要求。

8.3.3 抗震设防管段施工应减少连头焊口数量,连头短管的长度应大于 3 倍管道外径且不应小于 0.5m。

8.3.4 抗震设防管段的对接焊口应逐一进行外观检查。焊缝外观检查合格后应按设计要求进行射线或超声波检测,并满足验收要求。

8.3.5 同一处的非裂纹缺陷的焊缝返修次数不宜超过 1 次。存在裂纹缺陷和超过返修次数的焊缝应割口重焊。

8.3.6 重要区段应单独试压,试压介质宜采用洁净水,并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 的规定。

8.4 埋地管道抗震施工

8.4.1 管道下沟时,管底应与沟底贴合,其缝隙应采用砂土回填。

8.4.2 滑坡地段的施工应满足下列要求:

1 应根据设计要求削坡或卸去坡顶部荷载,采取截排水等措施;

2 应按设计要求设置临时或永久观测点进行观测和记录;

3 抗滑挡墙、抗滑桩、锚固设施等固坡构筑物应按设计要求进行施工,基础工程应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的相关规定,边坡工程应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的相关规定,锚杆喷射混凝土支护工程应符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的相关规定,砌体工程应符合现行国家标准《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 的相关规定,混凝土结构工程应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

8.4.3 液化地段的施工应满足下列要求:

1 管沟下部液化层的地质条件应根据设计要求进行改良。

2 对施工过程应严格进行检查,应按设计要求做好规定的试验,宜换填非液化土,并应取土源土样分析检验,同时应达到抗液化要求。

3 挤压桩、更换土、注泥浆施工后应沿管道方向每 100m 做一次随机抽检,不足 100m 时应做一次随机抽检,抽检要求应符合表 8.4.3-1 的规定。

表 8.4.3-1 挤压桩、更换土、注泥浆的检查要求

序号	检查项目	要求	说明
1	挤压砂桩或碎石桩(震动或震冲型)	钻孔取样检验	$N_{63.5} > N_{cr}$
2	更换非液化土	钻孔取样检验	—
3	注入黏土泥浆	粉土的黏粒(小于 0.005mm)含量大于 16%	土样分析

注: $N_{63.5}$ 为饱和土标准贯入锤击数实测值, N_{cr} 为液化判别标准贯入锤击数临界值。

4 当采用配重抗漂浮时,应符合国家现行标准《油气输送管道线路工程水工保护施工规范》SY/T 4126 的有关规定。

5 在设置抗浮卡桩时应按设计要求设置锚固桩,并应在桩的上部安装管卡,抗浮卡桩的检查项目应符合表 8.4.3-2 的规定。

表 8.4.3-2 抗浮卡桩的检查项目

序号	检查项目	要求	说明
1	桩顶高度偏差	$<0.1\text{m}$	—
2	桩顶位置偏差	$<0.1\text{m}$	—
3	桩的长度偏差	$<1\text{m}$	—
4	桩的垂直度偏差	$<1\%$	—
5	桩径偏差	$<50\text{mm}$	—
6	管卡焊接安装	符合设计	—
7	管道电火花检查	无漏电	根据防腐等级确定检查电压
8	管卡与管道的绝缘衬垫	符合设计	检查材料厚度和尺寸

6 当采用管堤敷设时,应达到设计要求的高度、宽度和几何形状,以及覆土的密实度。当穿越河流或道路时,应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程施工规范》GB 50424 的有关规定。

8.4.4 通过活动断层的管沟回填宜采用不易固结的疏松材料,当采用疏松砂土回填施工时,应符合下列规定:

- 1 应对选用的每处土源进行一次实验室检验;
- 2 疏松砂土的塑性指数应小于或等于 3,且 0.1mm 以下的颗粒不应超过 15 %;
- 3 应在管底下预填 300mm 疏松砂土,二次回填为全部疏松砂土;
- 4 管顶至地面回填高度应符合设计要求,不应超过 1.1m;
- 5 回填的沉陷余量应超过自然地面以上 300mm,宽度应超过管沟上开口宽度 300mm。

8.4.5 管道与断层交角应符合设计要求,施工过程应对交角进行测量、记录、复核和认签,与设计图纸规定的角度偏差应小于 3°。

8.4.6 应对管线上安装的弯管、弹性敷设、固定墩、截水墙,以及水工保护构筑物等进行检查,检查内容应按表 8.4.6 执行,并应符合设计规定。

表 8.4.6 安装检查内容

序号	管 线 设 置	检 查 内 容
1	热煨弯管	位置、方向、角度、壁厚
2	冷弯弯管	位置、方向、角度、壁厚
3	弹性敷设	曲率半径
4	固定墩	开槽位置和尺寸 管件组装焊接 防腐和电火花检测 钢筋混凝土隐蔽工程检查 混凝土墩的防腐绝缘

续表 8.4.6

序号	管 线 设 置	检 查 内 容
5	刚性截水墙穿管处	穿管处保证 25mm 以上的缝隙,填塞柔性减震材料 管线防腐层
6	水工保护构筑物	按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 等检查

8.5 穿跨越管道抗震施工

8.5.1 穿越段管道抗震工程施工除应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程施工规范》GB 50424 的有关规定外,还应符合下列规定:

1 大开挖管道穿越时,穿越前施工单位应对管沟的成型进行一次自检,沟长、沟直、沟深、沟宽、边坡坡度和曲线变化等情况应符合设计和施工组织设计的有关要求。

2 穿越管线管沟回填前,应对回填土质、深度进行检查,并应符合设计要求。

3 当采用套管穿越时,应检查内管的支撑和防腐绝缘是否完好。若使用钢套管,则应检测内管与套管的电绝缘性能。检查或检测合格后,应按设计要求进行填充或密封套管两端。

4 采用洞埋式穿越时,应确保钢筋混凝土施工质量符合设计要求,管线构件应处于正确装配状态,当采用支墩式敷设时,防滑落管卡等结构的施工及验收应符合现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的有关规定。

8.5.2 跨越段管道抗震工程施工除应符合现行国家标准《油气输送管道跨越工程施工规范》GB 50460 的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 当跨越管道与支承结构之间采用隔震部件时,设计应提供

详细的结构安装图纸。采用的隔震部件应附有竖向承载力、侧向刚度、阻尼系数等技术性能指标说明书。

2 跨越工程所有钢结构的材料选择与焊接应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定,管线构件装配应处于正确状态。

3 跨越工程钢结构焊接应制定专项焊接工艺规程,设计应给定焊缝的检测要求,要求全焊透的一、二级焊缝应采用超声波进行内部缺欠的检验,超声波不能对缺欠进行判断时,应进行射线检验。其内部缺欠分级及探伤方法应符合现行国家标准《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345 的有关规定,焊缝射线探伤验收标准应符合现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323 的有关规定,一级二级焊缝的质量等级及缺欠分级应符合表 8.5.2 的规定。对不能采用射线和超声波探伤检验的部位应进行磁粉、渗透检验。一级、二级焊缝探伤比例的计数方法应按下列原则确定:

- 1)对工厂制作焊缝应按每条焊缝计算百分比,探伤长度不应小于 200mm,当焊缝长度不足 200mm 时,应对整条焊缝进行探伤;
- 2)对现场安装焊缝应按同一类型同一施焊条件的焊缝条数计算百分比,探伤长度不应小于 200mm,并不应少于 1 条焊缝。

表 8.5.2 一级二级焊缝的质量等级及缺欠分级要求

焊缝质量等级		一级	二级
超声波探伤	合格等级	Ⅱ	Ⅲ
	探伤比例	100%	20%
射线探伤	合格等级	Ⅱ	Ⅲ
	探伤比例	100%	20%

4 钢结构的 T 形接头、十字接头、角接接头等要求熔透的对接

和角对接组合焊缝,其焊脚尺寸不应小于壁厚 δ 的 $1/4$,如图 8.5.2 所示。

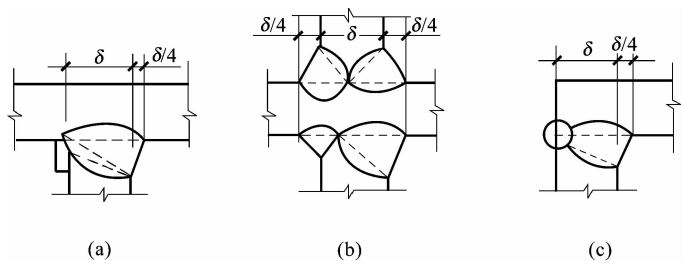


图 8.5.2 焊脚尺寸示意

5 跨越管道用于抗震的柔性连接部件、管道与支承结构之间的隔震部件安装应符合设计和安装技术要求。

6 跨越管线和钢结构的防腐绝缘、管道保温工程应符合现行国家标准《油气输送管道跨越工程设计规范》GB 50459 的相关规定。

9 管道抗震交工

9.0.1 当施工单位按照合同规定的范围完成工程项目后,应由建设单位组织施工单位和设计单位、监理单位共同对管道线路工程进行检查和验收,内容应包括抗震施工验收。

9.0.2 交工技术资料应按现行国家标准《建设工程文件归档规范》GB/T 50328 等的有关规定编制。

9.0.3 管道线路工程场地地震安全性评价的验收资料应包括下列内容:

- 1 管道沿线地震危险性分析结论;
- 2 管道沿线主要断层评价结果;
- 3 非埋地管段的场地地震动反应谱和时程曲线;
- 4 设计地震动参数对管道沿线分区的结果;
- 5 管道沿线地震地质灾害预测结果。

9.0.4 工程交工验收除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 的有关规定外,施工单位的资料尚应包括下列内容:

- 1 图纸会审涉及抗震问题的记录;
- 2 抗震措施实施项目所涉及材料、构配件等的抗震性能检测(试)验结果;
- 3 防滑坡工程检查报告;
- 4 更换液化土施工报告;
- 5 标准贯入试验记录;
- 6 回填疏松砂土施工报告;
- 7 管道柔性接头、管道隔震部件安装记录;
- 8 钢结构和管线构件检查记录;

- 9 通过活动断层的管道与断层交角记录；
- 10 管道线路工程抗震施工竣工图；
- 11 管道线路工程抗震施工检查表，表格样式见本规范附录 F。

附录 A 管道场地地段划分

A.0.1 选择管道场地时,应按表 A.0.1 划分对管道抗震有利、不利和危险的地段。

表 A.0.1 地段的划分

地段划分	地质、地形、地貌
有利地段	一般是指无活动断裂、边坡稳定条件较好、场地属于坚硬场地或密实均匀的中硬场地等地段
不利地段	一般是指地质构造比较复杂,有活动性断裂,场地属于软弱场地、条状突出的山脊、高耸孤立的山丘、非岩质(其中包括胶结不良的第三纪沉积)的陡坡,采空区、河岸和边坡边缘、软硬不均的场地(如故河道、断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷及半填半挖地基等)等地段
危险地段	一般是指地质构造复杂,有活动性断裂及地震时可能发生断裂、滑坡、崩塌、地陷、地裂等的地段

附录 B 饱和砂土和饱和粉土的地震液化判别

B. 0. 1 饱和的砂土或粉土,当符合下列条件之一时,可初步判别为不液化或不考虑液化影响:

1 地质年代为第四纪晚更新世(Q₃)及以前时,Ⅶ度、Ⅷ度时可判为不液化土;

2 粉土的黏粒(粒径小于 0. 005mm 的颗粒)含量百分率,Ⅶ度、Ⅷ度和Ⅸ度区分别不小于 10%、13%和 16%时,可判为不液化土;

注:用于液化判别的黏粒含量应采用六偏磷酸钠作分散剂测定,采用其他方法时应按有关规定换算。

3 当上覆非液化土层厚度和地下水位深度符合下列条件之一时,可不分析液化影响:

$$d_u > d_0^L + d_b - 2 \qquad \text{(B. 0. 1-1)}$$

$$d_w > d_0^L + d_b - 3 \qquad \text{(B. 0. 1-2)}$$

$$d_u + d_w > 1. 5d_0^L + 2d_b - 4. 5 \qquad \text{(B. 0. 1-3)}$$

式中: d_u ——上覆盖非液化土层厚度(m),计算时宜将淤泥和淤泥质土层扣除;

d_0^L ——液化土特征深度(m),可按表 B. 0. 1 采用;

d_b ——管道底部埋置深度(m),不超过 2m 时应采用 2m;

d_w ——地下水位深度(m),宜按设计基准期内年平均最高水位采用,也可按近期年内最高水位采用。

表 B. 0. 1 液化土特征深度(m)

饱和土类别	设 防 烈 度		
	Ⅶ 度	Ⅷ 度	Ⅸ 度
粉土	6	7	8
砂土	7	8	9

B. 0. 2 当饱和砂土、粉土的初步判别认为需进一步进行液化判别时,应采用标准贯入试验判别法判别地面下 7m 深度范围内的液化;当饱和土标准贯入锤击数(未经杆长修正)小于液化判别标准贯入锤击数临界值时,应判为液化土。当有成熟经验时,也可采用其他判别方法。

在地面下 7m 深度范围内,液化判别标准贯入锤击数临界值可按式计算:

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}} \tag{B. 0. 2}$$

式中: N_{cr} ——液化判别标准贯入锤击数临界值;
 N_0 ——液化判别标准贯入锤击数基准值,应按表 B. 0. 2 选用;
 d_s ——饱和土标准贯入试验点深度(m);
 ρ_c ——黏粒含量百分率,当小于 3 或为砂土时,均应采用 3。

表 B. 0. 2 液化判别标准贯入锤击数基准值 N_0

设计地震加速度	0. 10g	0. 15g	0. 20g	0. 30g	0. 40g
标准贯入锤击数基准值	7	10	12	16	19

B. 0. 3 凡经判定为可液化的土层,应探明各液化土层的深度和厚度,并按下列公式计算液化指数:

$$I_{IE} = \sum_{i=1}^{n_t} \left(1 - \frac{N_i^l}{N_{cri}} \right) d_i^l w_i \tag{B. 0. 3-1}$$

$$w_i = \begin{cases} 10 & d_{si} \leq 5 \\ 15 - Z_{0i} & 5 < d_{si} \leq 7 \end{cases} \tag{B. 0. 3-2}$$

式中: I_{IE} ——液化指数;
 n_t ——7m 深度范围内每一个钻孔标准贯入试验点的总数;
 N_i^l —— i 点标准贯入锤击数的实测值(当实测值大于临界值时应取临界值的数值);
 N_{cri} —— i 点标准贯入锤击数的临界值;

d_i^L —— i 点所在土层厚度(m),可采用与该标准贯入试验点相邻的上、下两标准贯入试验点深度差的一半,但上界不小于地下水位深度,下界不大于液化深度,中间的非液化土层应扣除;

w_i —— i 土层考虑单位土层厚度的层位影响权函数(m^{-1}),按式(B.0.3-2)计算;

d_{si} —— 第 i 个标准贯入点的深度(m);

Z_{0i} —— 第 i 层土中点的深度(m)。

B.0.4 存在液化土层的场地,应根据其液化指数按表 B.0.4 划分其液化等级。

表 B.0.4 液化等级划分

液化指数	$0 < I_{LE} \leq 3.5$	$3.5 < I_{LE} \leq 10$	$I_{LE} > 10$
液化等级	轻微	中等	严重

附录 C 管材性能参数和轴向拉伸曲线

C.0.1 管材性能参数和轴向拉伸曲线宜采用工程用管轴向拉伸试验的实际值确定。在确定轴向设计拉伸曲线时,宜采用下式的 Ramberg-Osgood 方程拟合。

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha \frac{\sigma}{E} \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^{n_1-1} \tag{C.0.1}$$

式中: ϵ ——应变;
 σ ——应力(MPa);
 E ——钢管弹性模量(MPa),取 2.1×10^5 MPa;
 α ——屈服偏移量,当无实测数据时,可按表 C.0.1 选取;
 σ_0 ——管材的屈服应力(MPa),当无实测数据时,可按表 C.0.1 选取;
 n_1 ——强化指数,当无实测数据时,可按表 C.0.1 选取。

表 C.0.1 Ramberg-Osgood 方程参数

序号	钢级	σ_0 (MPa)	α	n_1
1	B、X42	350	2.004	17.72
2	X52	389	1.699	14.14
3	X56	417	1.519	17.79
4	X60	437	1.403	15.85
5	X65	459	1.288	19.90
6	X70	470	1.234	14.58
7	X80	530	0.981	20.12

C.0.2 为了简化计算,在初步设计阶段,管材的轴向拉伸曲线可按照本规范第 C.0.3 条或第 C.0.4 条应力-应变简化折线取值;

在详细设计阶段,可按照本规范第 C. 0. 4 条应力-应变简化折线取值。

C. 0. 3 管材的常用钢级 B、X42、X52、X56、X60、X65、X70 和 X80 的材料性能参数如表 C. 0. 3 所示。

表 C. 0. 3 常用钢级的管材的性能参数

序号	钢级	弹 性 区			弹 塑 性 区		
		应变 ε_1	模量 E_1 (MPa)	应力 σ_1 (MPa)	应变 ε_2	模量 E_2 (MPa)	应力 σ_2 (MPa)
1	B、X42	0. 0018	$2. 1 \times 10^5$	370	0. 069	647	414
2	X52	0. 0020	$2. 1 \times 10^5$	419	0. 069	954	483
3	X56	0. 0021	$2. 1 \times 10^5$	438	0. 056	962	490
4	X60	0. 0022	$2. 1 \times 10^5$	453	0. 040	1611	513
5	X65	0. 0023	$2. 1 \times 10^5$	473	0. 040	1325	523
6	X70	0. 0023	$2. 1 \times 10^5$	480	0. 030	2547	550
7	X80	0. 0026	$2. 1 \times 10^5$	541	0. 030	2061	597

注: ε_1 为管道应力-应变简化折线中塑性变形起点处的应变,如图 C. 0. 4 所示, ε_2 为管道应力-应变简化折线中弹塑性区与塑性区交点处的应变值。

C. 0. 4 管材的应力-应变简化折线可由实际的应力-应变曲线等效取得,等效的原则如下:

- 1 E_1 等于实际应力-应变曲线中弹性阶段模量;
- 2 在拉伸应变 ε_2 前,实际应力-应变曲线与坐标轴围成的面积等于应力-应变简化折线与坐标轴围成的面积如图 C. 0. 4 所示。

C. 0. 5 国标管材与 API X 级管材对应关系如表 C. 0. 5 所示。

表 C. 0. 5 国标管材与 API 5L 级对应关系表

API	A	B	X42	X46	X52	X56	X60	X65	X70	X80
GB/T 9711	L210	L245	L290	L320	L360	L390	L415	L450	L485	L555

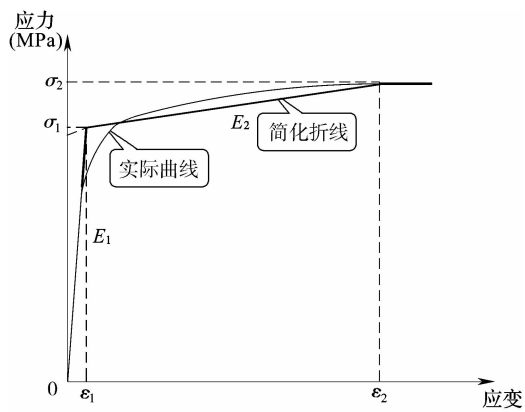


图 C.0.4 应力-应变简化折线示意图

附录 D 通过活动断层埋地管道极限应变计算

D.0.1 管段拉伸极限应变计算应符合下列规定：

1 环焊缝的缺欠类型应分为表面缺欠和内部缺欠,如图 D.0.1 所示。

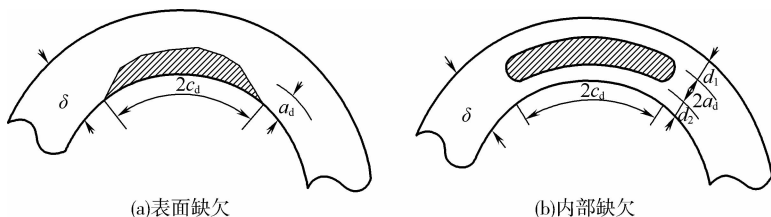


图 D.0.1 环焊缝缺欠类型

a_d ——表面缺欠高度(mm),或内部缺欠高度的一半(缺欠高度等于 $2a_d$)；

c_d ——缺欠长度的一半(mm)

2 含表面缺欠的管段的极限拉伸应变应按下式计算：

$$\epsilon_t^{\text{crit}} = \delta_T^{(2.36-1.58\lambda_T-0.101\xi\eta)} (1 + 16.1\lambda_T^{-4.45}) \\ (-0.157 + 0.239\xi^{-0.241}\eta^{-0.315}) \quad (\text{D.0.1-1})$$

3 含内部缺欠的管段的极限拉伸应变应按下式计算：

$$\epsilon_t^{\text{crit}} = \delta_T^{(1.08-0.612\eta-0.0735\xi+0.364\psi)} (12.3 - 4.65\sqrt{\delta} + 0.495\delta)(11.8 \\ - 10.6\lambda_T)(-5.14 + \frac{0.992}{\psi} + 20.1\psi)(-3.63 + 11.0\sqrt{\eta} \\ - 8.44\eta)(-0.836 + 0.733\eta + 0.0483\xi \\ + \frac{3.49 - 14.6\eta - 12.9\psi}{1 + \xi^{1.84}}) \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中： ϵ_t^{crit} ——极限拉伸应变(%)；

δ_T ——表观韧性(mm), $0.1 \leq \delta_T \leq 0.3$ ；

λ_T —— 屈服比, $0.7 \leq \lambda_T \leq 0.9$;

ξ —— 缺欠长度与壁厚比率($2c_d/\delta$), $1 \leq \xi \leq 10$;

η —— 缺欠高度与壁厚比率, a_d/δ (表面缺欠时) 或 $2a_d/\delta$ (内部缺欠时), $\eta \leq 0.5$;

ϕ —— 缺欠深度与壁厚的比率(d_d/δ), $d_d = \min(d_1, d_2)$;

δ —— 管道壁厚(mm), $\delta \leq D/32$ 。

4 公式(D. 0. 1-1)、(D. 0. 1-2)的应用条件如下:

- 1) 材料性能参数屈服比和表观韧性的选取状态应与假定材料失效时的材料状态一致, 应考虑温度、应变速率和应变失效等影响;
- 2) 极限拉伸应变不应超过均匀延伸率的 1/3;
- 3) 不应存在焊缝强度低匹配;
- 4) 最小和平均的夏比冲击功分别不低于 30J 和 45J。

5 采用公式(D. 0. 1-1)、(D. 0. 1-2)计算管道的极限拉伸应变能力时, 尚应考虑下列影响因素:

- 1) 对于小缺欠($\eta < 0.15$ 且 $\xi < 2$), 公式估计的值可能过于保守;
- 2) 输入缺欠尺寸的精度对结果精度有一定影响;
- 3) 应确定实际材料的应力-应变曲线, 不宜采用规定的拉伸参数;
- 4) 应进行足够的试验, 涵盖材料性能可能的变化;
- 5) 热影响区软化可能导致应变集中, 软化区的强度降低不应超过母管强度的 15%, 软化区宽度不应超过管道壁厚的 15%;
- 6) 公式中未考虑管道内压的影响, 内压的影响可通过调整安全系数来体现;
- 7) 当轴向应力与横向应力存在差异时, 屈服比应采用全壁厚轴向应力计算, 在计算屈服比时, 应合理确定屈服强度, 当管材的应力-应变曲线为无明显平台的曲线时, 常

规定的屈服强度 $\sigma_{0.5}$ 可能比实际的屈服强度低, 过低的屈服比可能导致偏危险的应变极限估计, 合理屈服点对应的斜率(即变形模量)应小于 1×10^4 MPa。

6 表观韧性宜通过轴向受拉荷载状态下的低约束试验取得, 也可通过标准三点弯曲试验或夏比冲击试验并按下列要求校正后取得:

- 1) 应在标准三点弯曲试验结果中按式(D. 0. 1-3)规定的条件选取有效样本, 并应确定有效样本的最小值($\delta_{\min}$)和平均值(δ_{avg}), 取 $3\delta_{\min}$ 和 $2\delta_{\text{avg}}$ 中的较小者为表观韧性值。

$$\delta_{\text{Tmax}}^{\text{HC}} \leq 0.04\chi \left[3.69 \left(\frac{1}{n_1} \right)^2 - 3.19 \left(\frac{1}{n_1} \right) + 0.882 \right] \quad (\text{D. 0. 1-3})$$

式中: $\delta_{\text{Tmax}}^{\text{HC}}$ ——标准三点弯曲试验结果中的最大有效裂纹尖端位移(CTOD)值(mm);

χ ——试样厚度和韧带的较小值(mm);

n_1 ——Ramberg-Osgood 应力-应变关系中的强化指数。

- 2) 应确定夏比冲击功的最小值($CVN_{\min}$)和平均值(CVN_{avg}), 并取 $\frac{0.2}{30}CVN_{\min}$ 和 $\frac{0.2}{45}CVN_{\text{avg}}$ 之中的较小值为表观韧性值。

D. 0. 2 管段的极限压缩应变应按下列公式计算:

$$\epsilon_{\text{c}}^{\text{crit}} = \min(\epsilon_{\text{u}}, F_{\text{LD}} \times \epsilon_{\text{r}}) \quad (\text{D. 0. 2-1})$$

当应力-应变曲线有屈服平台时,

$$F_{\text{LD}} = 1 - 0.50 \times (1 - 0.75\epsilon_{\text{r}}^{-0.23}) \left[1 + \tanh(8.0 \frac{\epsilon_{\text{L}}}{\epsilon_{\text{r}}} - 8.2) \right] \quad (\text{D. 0. 2-2})$$

当应力-应变曲线为圆拱形时,

$$F_{\text{LD}} = 1 \quad (\text{D. 0. 2-3})$$

$$\epsilon_{\text{r}} = F_{\text{DP}} \cdot F_{\text{YT}} \cdot F_{\text{GI}} \cdot F_{\text{NF}} \quad (\text{D. 0. 2-4})$$

$$f_{\text{pc}} = 1.8 \times 10^{-4} \times \left(\frac{D}{\delta} \right)^{1.6} \quad (\text{D. 0. 2-5})$$

$$f_p = \frac{PD}{2\delta\sigma_y} \quad (\text{D. 0. 2-6})$$

当 $f_p < f_{pc}$ 时,

$$F_{DP} = 980 \times \left[0.5 \left(\frac{D}{\delta} \right)^{-1.6} + 1.9 \times 10^{-4} \right] \quad (\text{D. 0. 2-7})$$

当 $f_p \geq f_{pc}$ 时,

$$F_{DP} = 980 \times (1.06f_p + 0.5) \left(\frac{D}{\delta} \right)^{-1.6} \quad (\text{D. 0. 2-8})$$

$$F_{YT} = 2.7 - 2.0\lambda_T \quad (\text{D. 0. 2-9})$$

$$F_{GI} = 1.84 - 1.6f_g^{0.2} \quad (\text{D. 0. 2-10})$$

$$f_g = \frac{h_g}{\delta} \quad (\text{D. 0. 2-11})$$

$$f_n = \frac{\sigma_a^c}{\sigma_y} \quad (\text{D. 0. 2-12})$$

当 $f_n \geq 0$ 时,

$$F_{NF} = 1.2f_n^2 + 1 \quad (\text{D. 0. 2-13})$$

当 $f_n < 0$ 时,

$$F_{NF} = 1 \quad (\text{D. 0. 2-14})$$

式中: ϵ_c^{crit} —— 极限压缩应变(%);

ϵ_u —— 钢管的均匀延伸率(%);

F_{LD} —— 极限压缩应变的调整系数;

ϵ_r —— 极限压缩应变的计算值(%);

ϵ_L —— 屈服平台结束时的应变(%), $\epsilon_L \leq 2\%$;

F_{DP} —— 内压调整系数;

F_{YT} —— 应变强化调整系数;

F_{GI} —— 几何尺寸调整系数;

F_{NF} —— 轴向力调整系数;

f_{pc} —— 临界承压系数;

D/δ —— 钢管径厚比, $20 \leq D/\delta \leq 104$;

f_p —— 承压系数, $0 \leq f_p \leq 0.80$;

P ——管内压力(MPa)；

σ_y ——管道轴向屈服强度(MPa),当无法获得时,可取为钢管的规定最小屈服强度；

λ_T ——屈强比, $0.70 \leq \lambda_T \leq 0.96$ ；

f_g ——几何尺寸偏差与壁厚比率, $0.01 \leq h_g/\delta \leq 0.30$ ；

h_g ——钢管表面波浪缺欠的波峰至谷底的高度(mm),无实测资料时,可取 $0.13\% D$ 和 $8\% \delta$ 二者中的较大值；

f_n ——轴向应力与屈服强度的比率, $\sigma_a^c/\sigma_y \leq 0.40$ ；

σ_a^c ——轴向应力(MPa),可通过应力分析获得,当无法获得时,可设置为 0。

附录 E 通过活动断层埋地管道有限元方法的弹簧参数

E.0.1 当有限元方法采用等效边界进行分析时,等效非线性弹簧的外力与伸长量关系式可按下式计算:

$$F = \sqrt{2f_s AE \Delta_L} \quad (\text{E.0.1})$$

式中: F ——作用于等效非线性弹簧的外力(N);

f_s ——管轴方向土壤与管道外表面之间单位长度上的摩擦力(N/m),可按式(6.2.5-1)计算;

A ——管道横截面面积(m^2);

E ——管道材料的弹性模量(Pa),按本规范附录 C 选取;

Δ_L ——在外力作用下等效非线性弹簧的伸长量(m)。

E.0.2 当采用有限元方法进行通过活动断层的管道抗震的初步计算时,土弹簧的设置和模型如图 E.0.2-1 和图 E.0.2-2 所示,其参数可按下列公式计算:

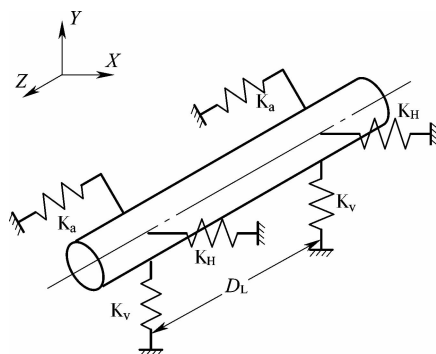


图 E.0.2-1 埋地管道的有限元模型

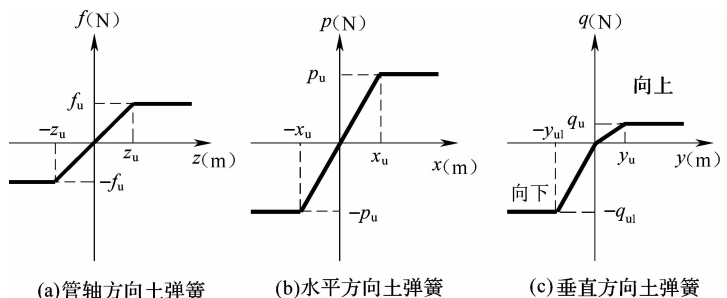


图 E.0.2-2 土弹簧的非线性模型(三个方向)

1 管轴方向土弹簧 K_a 可按下式计算:

$$f_u = f_s \cdot D_L \quad (\text{E.0.2-1})$$

式中: f_u ——沿管轴方向管土之间的滑动摩擦力(N);

D_L ——土弹簧间距(m)。

图 E.0.2-2(a)中管轴方向土弹簧的屈服位移 Z_u , 对于密砂、松砂、硬黏土和软黏土分别取值 0.003m、0.005m、0.008m 和 0.01m。

2 水平横向土弹簧 K_H 可按下列公式计算:

$$P_u = (N_{ch}cD + N_{qh}\rho_{sl}gHD)D_L \quad (\text{E.0.2-2})$$

$$X_u = 0.04(H + D/2), \text{ 且应小于 } 0.10D \sim 0.15D \quad (\text{E.0.2-3})$$

$$N_{ch} = 6.752 + 0.065H/D - \frac{11.063}{(H/D + 1)^2} + \frac{7.119}{(H/D + 1)^3} \quad (\text{E.0.2-4})$$

$$N_{qh} = C_0 + C_1(H/D) + C_2(H/D)^2 + C_3(H/D)^3 + C_4(H/D)^4 \quad (\text{E.0.2-5})$$

式中: P_u ——埋设场地土沿水平横向对管道的压力(N);

N_{ch} ——水平横向考虑土体黏聚力的计算参数, 且 $N_{ch} \leq 9$,
当 $c = 0$ 时, $N_{ch} = 0$;

c ——土的黏聚力(kPa);

D —— 管道外径(m);

N_{qh} —— 水平横向与土体内摩擦角有关的计算参数,系数 $C_0 \sim C_4$ 按表 E.0.2 取值,当 $\phi = 0^\circ$ 时, $N_{qh} = 0$, ϕ 为土的内摩擦角($^\circ$);

ρ_{sl} —— 管道周围场地土的密度(kg/m^3);

H —— 管道中心线的埋深(m);

X_u —— 水平横向土弹簧的屈服位移(m)。

表 E.0.2 N_{qh} 的系数取值表

ϕ	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
20°	2.399	0.439	-0.030	0.001059	-0.0000175
25°	3.332	0.839	-0.090	0.005606	-0.0001319
30°	4.565	1.234	-0.089	0.004275	-0.0000916
35°	6.816	2.019	-0.146	0.007651	-0.0001683
40°	10.959	1.783	0.045	-0.005425	-0.0001153
45°	17.658	3.309	0.048	-0.006443	-0.0001299

注:可以采用插值方法得到其他内摩擦角 ϕ ($20^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$) 的系数值。

3 垂直方向土弹簧 K_v 应按下列公式计算:

1) 垂直向上土弹簧应按下列公式计算:

$$q_u = (N_{cvu}cD + N_{quv}\rho_{sl}gHD)D_L \quad (\text{E.0.2-6})$$

从密砂到松砂: $Y_u = (0.01 \sim 0.02)H$, 且应小于 $0.1D$
(E.0.2-7)

从硬黏土到软黏土: $Y_u = (0.1 \sim 0.2)H$, 且应小于 $0.2D$
(E.0.2-8)

$$N_{cvu} = 2(H/D) \quad (\text{E.0.2-9})$$

$$N_{quv} = \tan(\phi)(\phi/44)(H/D) \quad (\text{E.0.2-10})$$

式中: q_u —— 垂直向上土对管道的压力(N);

N_{cvu} —— 垂直向上考虑土体黏聚力的计算参数, $N_{cvu} \leq 10$;

N_{quv} —— 垂直向上与土体内摩擦角有关的计算参数, $N_{quv} \leq N_{quv}$;

Y_u ——垂直向上土弹簧的屈服位移(m)。

2)垂直向下土弹簧应按下列公式计算：

$$q_{ul} = (N_{cvd}cD + N_{qvd}\rho_{sl}gHD + N_r\rho_{sl}gD^2/2)D_L \quad (\text{E. 0. 2-11})$$

砂土：

$$Y_{ul} = 0.1D \quad (\text{E. 0. 2-12})$$

黏土：

$$Y_{ul} = 0.2D \quad (\text{E. 0. 2-13})$$

$$N_{cvd} = [\cot(\phi + 0.001)] \left\{ e^{\pi \tan(\phi + 0.001)} \left[\tan\left(45 + \frac{\phi + 0.001}{2}\right) \right]^2 - 1 \right\} \quad (\text{E. 0. 2-14})$$

$$N_{qvd} = e^{\pi \tan \phi} \left[\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \right]^2 \quad (\text{E. 0. 2-15})$$

$$N_r = e^{0.18\phi - 2.5} \quad (\text{E. 0. 2-16})$$

式中： q_{ul} ——垂直向下土对管道的压力(N)；

N_{cvd} ——垂直向下考虑土体黏聚力的计算参数；

N_{qvd} ——垂直向下与土体内摩擦角有关的计算参数；

N_r ——垂直向下土弹簧的计算参数；

Y_{ul} ——垂直向下土弹簧的屈服位移(m)。

附录 F 管道抗震施工检查报告表

F.0.1 防滑坡工程检查报告(表 F.0.1)。

表 F.0.1 防滑坡工程检查报告

资料编号:F.0.1		防滑坡工程检查报告				单位工程名称: 单位工程编号:		
施工承包商:		分部工程名称和编号:						
防滑坡地段起止桩号								
抗滑坡措施		检 查 内 容						
削坡工程	削坡前坡度		削坡后坡度		削坡面积		削坡土石方量	
护坡工程	护坡形式		砌筑或喷护质量		护坡面积		砌筑工程量	
抗滑挡墙	挡墙外型尺寸		砌筑或混凝土质量		挡墙数量		砌筑或混凝土工程量	
抗滑桩	混凝土质量		桩的垂直度		桩的尺寸		桩的数量	
锚固设施	锚固结构		锚固段尺寸		拉索规格		锚固设施质量	
排水措施	排水流畅程度		排水沟截面尺寸		砌筑质量		排水沟长度	
防渗措施	防渗结构		防渗效果		砌筑质量		防渗面积	
位移观测	位移观测数量		观测点原标高		施工后观测点原标高:			
主要断面示意图								
平面示意图								
质量评价								
施 工 单 位				监 理 单 位				
记录人: 技术人员: 技术负责人: 年 月 日				现场代表: 年 月 日				

F.0.2 换填液化土施工报告(表 F.0.2)。

表 F.0.2 换填液化土施工报告

资料编号:F.0.2	换填液化土施工报告	单位工程名称: 单位工程编号:
施工承包商:		分部工程名称和编号:
换填液化土 起止桩号和长度		
非液化土土源地点		
非液化土土样试验单位		
分散剂名称		
粉土的黏粒 (小于 0.005mm)含量		
换填土截面尺寸		
换填土数量		
分层夯实状况		
断面示意图		
平面示意图		
质量评价		
施 工 单 位		监 理 单 位
记录人: 技术员: 技术负责人: 年 月 日		现场代表: 年 月 日

F.0.3 标准贯入试验记录(表 F.0.3)。

表 F.0.3 标准贯入试验记录

资料编号:F.0.3		标准贯入试验记录		单位工程名称: 单位工程编号:	
施工承包商:		分部工程名称和编号:			
起止桩号和长度					
标准贯入器型号和规格					
测试深度					
贯入点位置	实测锤击数 (锤进 30cm)	是否合格	贯入点位置	实测锤击数 (锤进 30cm)	是否合格
平面示意图					
质量评价					
施 工 单 位		监 理 单 位			
记录人: 技术员: 技术负责人: 年 月 日		现场代表: 年 月 日			

F.0.4 回填疏松砂土施工报告(表 F.0.4)。

表 F.0.4 回填疏松砂土施工报告

资料编号:F.0.4	回填疏松砂土施工报告		单位工程名称: 单位工程编号:
施工承包商:		分部工程名称和编号:	
回填疏松砂土 起止桩号和长度			
疏松砂土土样试验单位			
疏松砂土土源地点	土的塑性指数 (I_p)	0.1mm 以下颗粒的 含量(%)	是否符合要求
管底疏松砂土回填厚度			
管顶至地面疏松砂土厚度			
地面以上回填宽度和厚度			
管沟断面示意图			
质量评价			
施 工 单 位		监 理 单 位	
记录人: 技术员: 技术负责人: 年 月 日		现场代表: 年 月 日	

F.0.5 管道柔性接头、管道隔震部件安装记录(表 F.0.5)。

表 F.0.5 管道柔性接头、管道隔震部件安装记录

资料编号:F.0.5		管道柔性接头、管道隔震部件安装记录			单位工程名称: 单位工程编号:	
施工承包商:		分部工程名称和编号:				
管道柔性接头						
管道柔性接头生产单位						
柔性接头型号和数量						
管道柔性接头编号	安装位置	压力等级	预强度试验压力(MPa)	预严密试验压力(MPa)	安装检查结果	管线试压时的检查结果
管道隔震部件						
管道隔震部件生产单位						
隔震部件型号和数量						
管道隔震部件编号	安装位置	安装标高偏差(mm)	安装位置偏差(mm)	安装角度偏差(mm)	绝缘检查结果	机械安装检查结果
质量评价						
施 工 单 位			监 理 单 位			
记录人: 技术员: 技术负责人: 年 月 日			现场代表: 年 月 日			

F.0.6 通过活动断层的管道与断层交角记录(表 F.0.6)。

表 F.0.6 通过活动断层的管道与断层交角记录

资料编号:F.0.6		通过活动断层的管道与断层交角记录			单位工程名称: 单位工程编号:	
施工承包商:		分部工程名称和编号:				
管道通过活动断层的位置和里程	断层的名称	断层两侧的场地类型	断层周围的地形情况	断层的方位角	管道的方位角	管道与断层交角
	管道的外径和壁厚	管道的埋设深度	管沟回填土的土性描述	管沟底部的宽度	管沟的深度	管沟的坡度
管沟断面示意图						
管道与断层相交情况示意图						
质量评价						
施 工 单 位			监 理 单 位			
记录人: 技术员: 技术负责人: 年 月 日			现场代表: 年 月 日			

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,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”。

引用标准名录

- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032
- 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086
- 《铁路工程抗震设计规范》GB 50111
- 《构筑物抗震设计规范》GB 50191
- 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《输气管道工程设计规范》GB 50251
- 《输油管道工程设计规范》GB 50253
- 《建设工程文件归档规范》GB/T 50328
- 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369
- 《油气输送管道穿越工程施工规范》GB 50424
- 《油气输送管道跨越工程设计规范》GB 50459
- 《油气输送管道跨越工程施工规范》GB 50460
- 《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568
- 《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323
- 《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711
- 《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345
- 《中国地震动参数区划图》GB 18306
- 《公路工程抗震规范》JTG B02

《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02—01

《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65—05

《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109

《油气输送管道线路工程水工保护施工规范》SY/T 4126