

中华人民共和国石油天然气行业标准

原油和天然气输送管道
穿跨越工程设计规范
穿越工程

Design code for oil and gas transportation
pipeline crossing engineering—
Underground crossing engineering

SY/ T 0015.1—98

主编单位：中国石油天然气管道勘察设计院
批准部门：中国石油天然气总公司

石 油 工 业 出 版 社

1998 北 京

目 次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(3)
3.1	基础资料	(3)
3.2	材料	(3)
3.3	水域、冲沟穿越	(5)
3.4	铁路、公路穿越	(7)
3.5	勘测要求	(7)
3.6	其他	(8)
4	水域、冲沟穿越设计	(9)
4.1	穿越位置选择	(9)
4.2	敷设和要求	(9)
4.3	水下管段稳定	(11)
4.4	荷载与组合	(13)
4.5	结构设计	(14)
4.6	防护工程	(16)
5	铁路、公路穿越设计	(18)
5.1	一般要求	(18)
5.2	荷载与组合	(18)
5.3	结构设计	(19)
6	检验要求	(20)
6.1	焊接	(20)
6.2	试压	(20)
6.3	防腐	(21)
	标准用词和用语说明	(22)
附件	原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范 穿越工程 条文说明	(23)

中国石油天然气总公司文件

[98] 中油技监字第 237 号

关于批准发布《石油射孔和井壁取心用 爆炸物品储存、运输和使用的安全规定》 等八项石油天然气行业标准的通知

各有关单位：

《石油射孔和井壁取心用爆炸物品储存、运输和使用的安全规定》等八项石油天然气行业标准(草案),业经审查通过,现批准为石油天然气行业标准,予以发布。各项行业标准的编号、名称如下：

一、强制性标准

序号	编 号	名 称
1	SY 5436—1998	石油射孔和井壁取心用爆炸物品储存、运输和使用的安全规定(代替 SY 5436—92)
2	SY 6348—1998	地质录井作业安全规程
3	SY 6349—1998	地震勘探钻机作业安全规程

- 4 SY 6350—1998 油气井射孔用多级自控安全起爆器安全技术规程

二、推荐性标准

序号	编 号	名 称
1	SY/T 0015.1—98	原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范 穿越工程(代替 SYJ 15—85)
2	SY/T 0015.2—98	原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范 跨越工程(代替 SYJ 15—85)
3	SY/T 6347—1998	钻柱减震器(代替 SY 5214—87)
4	SY/T 5022—1998	钻井泵用锥柱螺纹量规(代替 SY 5022—80)

以上标准于 1998 年 8 月 1 日起实施。

中国石油天然气总公司
1998 年 4 月 26 日

前 言

根据 1992 年中国石油天然气总公司标准项目制修订计划的安排,由中国石油天然气管道勘察设计院和四川石油管理局勘察设计院共同对《原油长输管道穿跨越工程设计规范》SYJ 15—85 进行修订。由于“穿越工程”和“跨越工程”设计是两种不同类型的设计,所以在 1993 年 8 月编制大纲讨论会中决定将 SYJ 15—85 改名并按两部分修订编制,即修订成为《原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范 穿越工程》SY/T 0015.1—98 和《原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范 跨越工程》SY/T 0015.2—98 两部分。由 SY/T 0015.1—98 和 SY/T 0015.2—98 共同代替 SYJ 15—85。

本规范是“穿越工程”部分,修订中,在借鉴国内外先进作法的基础上,除将适用范围扩大为原油和天然气输送管道的穿越工程外,还增补了对材料、勘察和检验方面的规定,对其他章节条文也作了补充和修改。

本规范由中国石油天然气管道勘察设计院(地址:河北省廊坊市金光道 22 号,邮政编码:065000)负责解释。

本规范由油气田及管道建设设计专业标准化委员会提出并归口。

本规范主编单位:中国石油天然气管道勘察设计院。

本规范参编单位:四川石油管理局勘察设计院。

本规范主要起草人 张怀法 陈向新 俞乐群 谭明星

本规范于 1985 年 6 月首次发布。

1 总 则

1.0.1 为了在原油和天然气输送管道穿越工程设计中贯彻执行国家的有关方针政策,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于陆上原油和天然气输送管道穿越人工或天然障碍的新建工程设计。

1.0.3 穿越工程设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术 语

2.0.1 管道穿越工程 pipeline crossing engineering

原油和天然气输送管道从人工或天然障碍下部通过的建设工程。

2.0.2 穿越管段 cross section

穿越人工或天然障碍地段的管道。

2.0.3 水域 waters

天然形成或人工建造的河流、湖泊、水库、沼泽、鱼塘、水渠等区域。

2.0.4 冲沟 gully

水流冲刷形成的沟壑。

2.0.5 水下管段稳定 marine section stabilization

水下管段不产生漂浮或移位。

2.0.6 定向钻穿越 crossing by directional drilling

用定向钻机敷设穿越管段。

2.0.7 裸露敷设 to lay bare

穿越管段直接敷设于水域底床上。

3 基本规定

3.1 基础资料

3.1.1 穿越工程设计前,必须取得所输介质物性资料及输送工艺参数。其要求应按现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 和《输气管道工程设计规范》GB 50251 的规定执行。

3.1.2 穿越工程设计前,必须根据设计阶段取得工程测量和工程地质所需资料。

工程测量资料包括 1/200~1/2000 平面地形图(大、中型工程)与断面图。

工程地质报告包括 1/200~1/2000 地质断面图、柱状图、岩土力学指标、水文地质与地震基本烈度等资料。

3.1.3 穿越水域工程设计前,必须取得水域主管部门同意及水文资料。上游建有水库时,必须取得水库防洪调度资料与水库对下游冲刷分析资料。

3.1.4 穿越铁路或公路工程设计前,必须取得铁路或公路主管部门同意。

3.2 材 料

3.2.1 穿越工程选用的国产钢管,应符合现行国家标准《石油天然气工业输送钢管交货技术条件 第 1 部分: A 级钢管》GB/T 9711.1 的规定,并应根据钢种等级与设计使用温度提出韧性要求。

3.2.2 穿越工程所用的其他钢材,应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《桥梁建筑用热轧碳素钢 技术条件》GB/T 714 和《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499 的规定。

3.2.3 穿越工程所用的水泥,应符合现行国家标准《中热硅酸盐水泥 低热矿渣硅酸盐水泥》GB 200 的规定。

3.2.4 符合本规范第 3.2.1 条的钢管,其许用应力按式(3.2.4)计算。

$$[\sigma] = F\phi\sigma_s \quad (3.2.4)$$

式中 $[\sigma]$ ——输送油气钢管的许用应力(MPa);

ϕ ——钢管的焊缝系数,按表 3.2.4-1 选用;

σ_s ——钢管的规定屈服强度(MPa);

F ——设计系数,按表 3.2.4-2 选用。

表 3.2.4-1 钢管焊缝系数与规定屈服强度

钢管标准	钢种或钢号	屈服强度 (MPa)	焊缝系数	备 注
GB/T 9711.1	L205	205	1.0	
	L240	240	1.0	
	L290	290	1.0	
	L315	315	1.0	
	L360	360	1.0	
	L385	385	1.0	
	L415	415	1.0	
	L450	450	1.0	
	L480	480	1.0	

表 3.2.4-2 设计系数

穿越管段条件	输气管道地区等级				输油管道
	一	二	三	四	
Ⅲ、Ⅳ级公路有套管	0.72	0.6	0.5	0.4	0.72
Ⅲ、Ⅳ级公路无套管	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6
I、Ⅱ公路,高速公路,铁路有套管	0.6	0.6	0.5	0.4	
冲沟穿越	0.6	0.5	0.5	0.4	
小型冲沟、水域穿越	0.72	0.6	0.5	0.4	0.72
大、中型水域穿越	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6

3.2.5 结构工程所用钢材的许用拉应力和许用压应力不应超过其最低屈服强度的 60%,许用剪应力不应超过其最低屈服强度的 45%,支承应力(端面承压)不应超过其最低屈服强度的 90%。

3.3 水域、冲沟穿越

3.3.1 选择的穿越位置应符合线路总走向。对于大、中型穿越工程,线路局部走向应按所选穿越位置调整。

3.3.2 大、中型穿越工程的方案与位置,应根据水文、地质、地形、水土保持、环境、气象、交通、施工及管理条件进行技术经济论证确定。

3.3.3 穿越工程应按表 3.3.3-1 和表 3.3.3-2 划分工程等级。

3.3.4 大型穿越工程应按百年一遇洪水设计,中型穿越工程应按五十年一遇洪水设计,小型穿越工程应按二十年一遇洪水设计。

水库下游穿越工程设计时,应考虑水库调节的影响。

桥梁上游 300m 范围内的穿越工程不应低于该桥的设计洪水频率标准。

3.3.5 穿越河流或冲沟时,应注意两岸自然演变冲刷。若穿越工程改变了自然状态,尚应分辨一般冲刷、局部冲刷。位于水库下游的穿越工程,必须取得水库泄洪时的局部冲刷与清水冲刷资料。

表 3.3.3-1 穿越水域工程等级

工程等级	穿越水域的水文特征	
	多年平均水位水面宽度(m)	相应水深度(m)
大 型	≥ 200	不计水深
	$\geq 100 \sim < 200$	≥ 5
中 型	$\geq 100 \sim < 200$	< 5
	$\geq 40 \sim < 100$	不计水深
小 型	< 40	不计水深

注:

- 1 当施工期间最大流速大于 2m/s 时, 中、小型工程等级可提高一级。
- 2 有特殊要求的工程, 可提高工程等级。

表 3.3.3-2 穿越冲沟工程等级

工程等级	冲 沟 特 征	
	冲沟深度(m)	冲沟边坡(°)
大 型	> 40	> 25
中 型	$10 \sim 40$	> 25
小 型	< 10	—

注: 冲沟边坡小于表列坡角者, 大、中型工程等级降低一级。

3.3.6 穿越管段与桥梁间的最小距离应满足表 3.3.6 的规定。
若采用爆破成沟, 应经计算增大安全距离。

表 3.3.6 穿越管段与桥梁间距离(m)

桥梁等级	大桥	中、小桥
间距要求	≥ 100	≥ 80

3.3.7 穿越管段与港口、码头、水下建筑物或引水建筑物之间的距离不得小于 200m。

3.3.8 穿越管段位于地震基本烈度 7 度及 7 度以上地区时, 应进

行抗震设计。

3.3.9 在通航河流上的穿越管段埋深,应防止被船锚或疏航机具损坏。穿越工程的各项措施不得影响航道通行,并应征得航道主管部门的同意。

3.3.10 穿越管段若有备用线或复线时,其与备用线或复线的距离;河床部分不宜小于 40m,河滩部分不宜小于 30m。

3.3.11 穿越堤基的管道,且两岸地面低于河水位时,应设止水环或阻水墙。

3.3.12 穿越管段不得在铁路、公路隧道内敷设(专用隧道除外)。

3.4 铁路、公路穿越

3.4.1 管道穿越铁路应符合《原油、天然气长输管道与铁路相互关系的若干规定》[(87)油建第 505 号文、铁基(1987)780 号文]。

3.4.2 管道穿越公路应符合《关于处理石油管道和天然气管道与公路相互关系的若干规定》(试行)[(78)交公路字 698 号文、(78)油化管道字 452 号文]。

3.4.3 管道穿越铁路、公路应避开石方区、高填方区、路堑、道路两侧为同坡向的陡坡地段。

3.4.4 管道严禁在铁路站场、有值守道口、变电所、隧道和设备下面穿越。

3.4.5 在穿越铁路、公路的管段上,严禁设置弯头和产生水平或竖向曲线。

3.5 勘测要求

3.5.1 大型穿越工程,应按初勘、详勘两阶段进行勘测。对于方案明确的大型穿越工程,可在调查研究的基础上采用一次详勘。

3.5.2 标定穿越位置的定位桩,两岸各不得少于两个,应设在稳定可靠、不被水淹和冲刷之处。

3.5.3 工程地质初勘可采用物理勘探方法,详勘应采用钻孔勘探方法,取全取准第一手资料。

3.5.4 勘探钻孔点布置,如采用挖沟埋设穿越,应布置在穿越管段的中线上;如采用定向钻、顶管或隧道敷设穿越,应交叉布置在穿越管段中线两侧,距中线 50m。

3.5.5 钻孔深度应在河床稳定层下 3~5m;若遇基岩,钻入 3~5m。

3.5.6 位于地震基本烈度 7 度及 7 度以上地区的大型穿越工程,应查清下列四种情况,并取得量化指标:

- 1 有无断层及断层的活动情况;
- 2 地震时两岸或滩地是否出现开裂或错动;
- 3 地震时是否会发生砂土液化;
- 4 地震是否会引起两岸塌方或深层滑动。

3.5.7 测量要求应按国家现行标准《长距离输油、输气管道测量规范》SY 0055 的规定执行。

3.5.8 勘察要求应按国家现行标准《输油气管道岩土工程勘察规范》SY/T 0053 的规定执行。

3.6 其 他

3.6.1 穿越管段应按国家现行标准《钢质管道及储罐防腐蚀工程设计规范》SYJ 7 的规定进行防腐绝缘设计。

3.6.2 大型穿越工程应在穿越两端设置截断阀。截断阀室内宜留预留头;若为复线穿越,可不设预留头。穿越截断阀可与线路截断阀相结合。

3.6.3 截断阀室应设置在不被设计洪水淹没处,注意通风。

3.6.4 穿越通航河流时,应按现行国家标准《内河交通安全标志》GB 13851 的规定设置标志。非通航河流可采用线路桩作为穿越标志。

3.6.5 穿越铁路、公路应按铁路、公路部门要求设置标志。

3.6.6 穿越管段的钢管壁厚应按本规范第 3.2.4 条规定的许用应力进行计算,且径厚比不应大于 100。

4 水域、冲沟穿越设计

4.1 穿越位置选择

4.1.1 水域、冲沟穿越位置应根据水文、地形、地质条件选择。

- 1 应选在河道或冲沟顺直、水流平缓地段。
- 2 应选在断面基本对称、两岸有足够施工场地的地段。
- 3 应选在岩土构成比较单一、岸坡稳定的地段。

4.1.2 水库地区穿越位置宜避开库区与尾水区。若在水库下游穿越,应选在水坝下游集中冲刷影响区之外。

4.1.3 穿越管段应垂直于水流轴向;如要斜交时,交角不宜小于 60° 。

4.1.4 穿越位置不宜选在地震活动断层上。

4.1.5 穿越位置不宜选在河道经常疏浚加深、岸蚀严重或浸滩冲淤变化强烈地段。

4.2 敷设和要求

4.2.1 根据水文、地质条件,穿越管段可采用挖沟埋设、定向钻、顶管、隧道敷设方法。有条件的地段,也可采用裸露敷设。

4.2.2 管道采用埋设方式穿越河渠或湖泊时,应敷设在河床或湖床稳定层内。当采用裸露敷设时,应有稳管措施,防止发生振动破坏。

4.2.3 穿越管段在常水位浸淹部位不宜设置弯头和固定墩;大、中型穿越管段,弯头和固定墩宜设在常水位水边线 50m 以外;确需在常水位范围内设弯头或固定墩时,除应进行强度校核外,还应注意管段动水的振动影响。

4.2.4 采用挖沟埋设穿越管段,挖深应根据工程等级与冲刷情况

按表 4.2.4 的规定确定。

表 4.2.4 穿越水域管顶埋深(m)

类 别	大型	中型	小型	备 注
有冲刷或疏浚水域,应在设计洪水冲刷或规划疏浚线以下	≥ 1.0	≥ 0.8	≥ 0.5	注意船锚或疏浚机具不得损伤防腐层
无冲刷或疏浚水域,应在水床底面以下	≥ 1.5	≥ 1.3	≥ 1.0	
河床为基岩时,嵌入基岩深度(在设计洪水时不被冲刷)	≥ 0.8	≥ 0.6	≥ 0.5	用混凝土覆盖封顶,防止淘刷

4.2.5 水下管沟的沟底宽度和边坡应根据土壤性质、水流速度、回淤情况及施工条件确定;若缺乏水文、地质资料,并采用水下机具挖掘时,可按表 4.2.5 的规定确定;若采用挖泥船,应根据挖泥船类型、斗容、定位方法等确定。

表 4.2.5 水下管沟尺寸

土壤类别	沟底最小宽度 (m)	管沟边坡	
		沟深小于 2.5m	沟深不小于 2.5m
淤泥、粉砂、细砂	$D+2.5$	1:3.5	1:5.0
亚砂土、中砂、粗砂	$D+2.0$	1:3.0	1:3.5
砂土、含卵砾石土	$D+1.8$	1:2.5	1:3.0
亚粘土	$D+1.5$	1:2.0	1:2.5
粘土	$D+1.2$	1:1.5	1:2.0
岩石	$D+1.2$	1:0.5	1:1.0

注:

- 1 管沟底宽指单管敷设所需净宽,不包括回淤。
- 2 在深水区,管沟底宽还应包括潜水员潜水工作的距离。
- 3 若遇流砂时,沟底宽度和边坡应根据施工方法另行确定。
- 4 D 为管身结构外径。

4.2.6 水下穿越管段沟埋敷设,如采用自然回淤或勘察资料不能确定冲刷范围和冲刷深度时,应按本规范第 4.3.2 条的规定进行

设计核算。

4.2.7 岩石管沟的挖深应超过本规范表 4.2.4 所列值 20cm;管段入沟前,应先填 20cm 厚的砂类土或细土垫层。

4.2.8 裸露敷设可采用压石笼、加重块、复壁管灌浆或打桩等稳管措施。

4.2.9 盐沼地穿越管段稳管措施所用材料应有较强的抗盐碱腐蚀性能。

4.2.10 对粘土、亚粘土、砂质河床,宜采用定向钻敷设;对岩石、流砂、卵砾石河床,不宜采用定向钻敷设。定向钻穿越工程,一岸应有钻机与泥浆池、蓄水池场地,另一岸应有管线组装场地。

4.2.11 采用定向钻敷设,应根据钻机的性能选择入土角和出土角。埋深除应满足本规范表 4.2.4 的规定外,且不宜小于 6m。穿越管段敷设的最小曲率半径应大于 $1500D_N$ 。

4.2.12 顶管宜在砾石、砂、砂土、粘土、泥灰岩等土层中采用,不宜用于流砂、淤泥、沼泽及岩石层中。

4.2.13 顶管管内径不宜小于 800mm。工作坑应有足够施工操作场地,并应注意排水。

4.2.14 采用隧道穿越宜用多管敷设,并应注意管段的稳定与变形补偿。隧道内应采取堵排水措施。

4.2.15 隧道设计应按国家现行标准《铁路隧道设计规范》TBJ 3 或《公路隧道设计规范》JTJ 026 的规定执行。

4.2.16 穿越沼泽地区,应根据不同的沼泽类别采用支架法、换土法、砂桩加固法、填石法、预压法或筑堤法等敷设穿越管段。

4.3 水下管段稳定

4.3.1 水下穿越管段敷设后,不得产生漂浮和移位。如有可能发生漂浮或移位时,必须采用稳管措施。

4.3.2 裸露敷设的管段应按下列公式进行抗漂浮和抗移位计算。

$$W \geq K(F_s + F_{dy}) \quad (4.3.2-1)$$

$$W \geq K \frac{F_{dx}}{f} + F_s + F_{dy} \quad (4.3.2-2)$$

$$F_{dy} = C_y \gamma_w D v^2 / (2g) \quad (4.3.2-3)$$

$$F_{dx} = C_x \gamma_w D v^2 / (2g) \quad (4.3.2-4)$$

式中 W ——单位长度管段的总重力(包括管身结构自重、保护层重、加重层重,不含管内介质重)(N/m);

F_s ——单位长度管段静水浮力(N/m);

F_{dy} ——单位长度管段动水上举力(N/m);

C_y ——浮力系数,取 0.6;

F_{dx} ——单位长度管段动水推力(N/m);

C_x ——推力系数,取 1.2;

D ——管身结构的外径(m);

γ_w ——所穿水域水的重度(N/m³);

v ——管段处设计水流速度(m/s);

K ——稳定安全系数,大、中型工程取 1.3,小型工程取 1.2;

f ——管段与河床的滑动摩擦系数,根据试验或经验确定;

g ——重力加速度,取 9.8m/s²。

若是裸露弹性敷设时,还应计算弹性抗力。

4.3.3 穿越管段按本规范第 4.2.4 条和第 4.2.7 条沟埋敷设时,应按式(4.3.3)进行抗漂浮核算。

$$W \geq K F_s \quad (4.3.3)$$

式中 K ——稳定安全系数,对大、中型工程取 1.2,小型工程取 1.1。

4.3.4 采取定向钻敷设或顶管敷设穿越管段,埋深超过本规范第

4.2.4 条的规定,且在设计冲刷线以下 3m,可不进行抗漂浮核算。

4.3.5 采用隧道敷设穿越管段,不需计算水下稳定问题。

4.4 荷载与组合

4.4.1 穿越管段应根据下列荷载组合后设计:

1 永久荷载(恒荷载)包括:

- 1) 输送介质的内压力;
- 2) 管段自重(包括管身结构自重、保护层重和加重层重);
- 3) 输送介质重;
- 4) 横向和竖向土压力;
- 5) 静水压力和水浮力;
- 6) 动水压力(裸管敷设时);
- 7) 温度应力。

2 可变荷载(活荷载)包括:

- 1) 试运行时的水重与压力;
- 2) 清管荷载;
- 3) 施工拖管或吊管荷载。

3 偶然作用:位于地震基本烈度 7 度及 7 度以上地区,由地震引起的活动断层位移、砂土液化、地震土压力等作用。

4.4.2 穿越管段结构计算时,应根据敷设形式、所处环境和运行条件进行荷载组合。

1 主要组合:永久荷载。

2 附加组合:永久荷载与可变荷载(按实际可能发生的进行组合)之和。

3 特殊组合:主要组合与偶然作用荷载之和。

4.4.3 穿越管段钢管荷载组合的许用应力,应为按本规范第 3.2.5 条计算所得值再乘以表 4.4.3 中的许用应力提高系数。

表 4.4.3 许用应力提高系数

荷载组合	许用应力提高系数
主要组合	1.0
附加组合	1.3
特殊组合	1.5

4.5 结构设计

4.5.1 穿越管段应根据所选壁厚核算强度、刚度及稳定性;若不满足要求时,应增加钢管壁厚。

4.5.2 核算穿越管段的强度应考虑轴向应力、环向应力和弯曲应力,各单项应力均应小于钢管许用应力。

1 内压产生的环向应力按式(4.5.2-1)计算:

$$\sigma_h = \frac{pd}{2\delta} \quad (4.5.2-1)$$

式中 σ_h ——管段钢管的环向应力(MPa);

p ——输送介质的设计内压力(MPa);

d ——钢管内径(mm);

δ ——钢管壁厚(mm)。

2 穿越管段的轴向应力分别按下列公式计算:

1)当管段轴向变形受约束时:

$$\sigma_a = E_s \alpha (t_1 - t_2) + \mu \sigma_h \quad (4.5.2-2)$$

2)当管段轴向变形不受约束时:

$$\sigma_a = \frac{pd}{4\delta} \quad (4.5.2-3)$$

式中 σ_a ——管段钢管的轴向应力(MPa);

E_s ——钢材的弹性模量,取 2.0×10^5 (MPa);

α ——钢材的线膨胀系数,取 1.2×10^{-5} [m/(m·℃)];

t_1 ——管道安装闭合时环境温度(℃);

t_2 ——管道内输送介质的温度(℃);

μ ——钢材的泊松比,取 0.3。

3 穿越管段弹性敷设产生的弯曲应力按式(4.5.2-4)计算:

$$\sigma_b = \frac{E_s D}{2R} \quad (4.5.2-4)$$

式中 σ_b ——管段弯曲时钢管的轴向弯曲应力(MPa);

E_s ——钢材的弹性模量, 2.0×10^5 (MPa);

D ——钢管的外径(mm);

R ——弹性敷设半径(mm)。

4 其他荷载引起的环向应力、轴向应力及弯曲应力,应根据实际可能发生的情况进行计算。

4.5.3 穿越管段的当量应力按式(4.5.3)计算:

$$\sigma_e = \sum \sigma_h - \sum \sigma_a \leq 0.9 \sigma_s \quad (4.5.3)$$

式中 σ_e ——穿越管段钢管的当量应力(MPa);

$\sum \sigma_h$ ——各荷载产生的环向应力代数和(MPa);

$\sum \sigma_a$ ——各荷载产生的轴向应力代数和(MPa)。

4.5.4 穿越管段的钢管壁厚满足本规范第 3.6.6 条的规定时,可不计算管子径向变形引起的局部屈曲。

4.5.5 当输送介质温度与穿越管段敷设闭合时环境温度的温差较大时,应按下列公式验算其轴向稳定。

$$N \leq nN_{cr} \quad (4.5.5-1)$$

$$N = [\alpha E_s(t_2 - t_1) + (0.5 - \mu)\sigma_h]A \quad (4.5.5-2)$$

式中 N ——由温差和内压力产生的轴向力(MN);

n ——安全系数,对于大型穿越工程, $n = 0.7$; 中型穿越工程, $n = 0.8$; 小型穿越工程, $n = 0.9$;

N_{cr} ——管道开始失稳时的临界轴向力(按 GB 50253 — 94 附录 H 的规定计算)(MN);

A ——钢管的横截面积(m^2)。

其余符号与本规范第 4.5.2 条的规定相同。

4.5.6 采用定向钻敷设的穿越管段,可不验算其轴向稳定。

4.6 防护工程

4.6.1 穿越工程中的护岸工程应满足水流顺畅、不淘刷穿越管段的要求。穿越较深的冲沟边坡应设截水墙或截水沟等其他措施。

4.6.2 用于护岸及调治构筑物的建筑材料,应因地制宜就地取材。护岸构筑物的回填土应进行分层夯实或压实,但不宜用重粘土、粉砂、淤泥、盐渍土或有机质土填筑。

4.6.3 浆砌或干砌片石(混凝土或钢筋混凝土板)护坡下,应有 10~20cm 厚的级配良好的砂砾石垫层,坡脚下应设浆砌片石(或混凝土)基础。若为干砌片石,垫层还应考虑起反滤层作用。

4.6.4 浆砌护坡较长时,每隔 10~20m 应设置伸缩缝,在对应的基础上设置沉降缝。缝宽 2~3cm,以沥青麻筋或沥青板条填塞。

4.6.5 浆砌护坡应设计适当数量的排水孔,并在排水孔处设置反滤层。

4.6.6 护岸顶高出设计洪水位(包括浪高和壅水)不得小于 0.5m。护岸长度应根据实际水流条件及岸坡地质情况确定,并不应小于 5m。护岸基础埋深应符合下列要求:

1 当基础设置在无冲刷处,除岩石地基外,基底在河床下不得小于 1m,且在冰冻线下不得小于 0.3m;

2 当基础设置在有冲刷处,基底在冲刷线下不得小于 1m;

3 当基础设置在岩石地基上,应清除强风化层,根据基岩抗冲能力嵌入岩石一定深度。

4.6.7 护岸工程应核算沿坡面滑动与沿弧面(或折线面)滑动的抗滑稳定性。根据工程的重要程度,抗滑稳定安全系数可取 1.15~1.30。

护坡与坡脚处水平线的夹角小于或等于堤岸土的休止角时,可不核算护坡的抗滑稳定性。

4.6.8 护岸砌体尺寸应根据设计洪水流速,按照《公路桥位勘测设计规程》JTJ 062 的要求计算确定。

5 铁路、公路穿越设计

5.1 一般要求

5.1.1 管道穿越铁路或Ⅱ级以上高等级公路时,宜采用顶管或横孔钻机穿管敷设。穿越Ⅲ级以下的公路或一般道路时,可采用挖沟埋设。

5.1.2 管道穿越Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级铁路或Ⅱ级以上高等级公路时,应设置保护套管。穿越铁路专用线或Ⅲ级以下公路时,可根据具体情况采用保护套管或增加管壁厚度。保护套管可用钢管或钢筋混凝土管。

5.1.3 保护套管内径应比输送管外径大 100~300mm,套管与输送管之间应设绝缘支撑,保持良好的绝缘性能。套管两端使用耐久的绝缘材料密封,套管端部伸出路基坡脚外不得小于 2m。

5.1.4 采用保护套管穿越铁路、公路时,输送管宜采用带状牺牲阳极保护。

5.2 荷载与组合

5.2.1 穿越铁路、公路的输送管段或套管所应考虑荷载,除应符合本规范第 4.4.1 条的规定外,在可变荷载中应考虑车辆荷载,在偶然作用中应考虑地基沉降的影响。

5.2.2 穿越铁路或公路管段结构计算时,应根据实际可能发生的情况进行荷载组合。

- 1 主要组合:永久荷载与车辆荷载之和。
- 2 附加组合:主要组合与某种可变荷载之和。
- 3 特殊组合:主要组合与偶然作用荷载之和。

5.2.3 铁路、公路穿越管段的许用应力根据不同的荷载组合,应

符合本规范第 4.4.3 条的规定。

5.3 结构设计

5.3.1 穿越管段应根据所选壁厚核算强度、刚度及稳定性；若不满足要求时，应增加钢管壁厚。

5.3.2 穿越管段的强度验算应符合本规范第 4.5.2 条和第 4.5.3 条的规定。

5.3.3 钢套管或者无套管穿越管段，应按无内压状态验算在外力作用下管子径向变形，其水平直径方向的变形量不得超过管子外直径的 3%。变形量按现行国家标准 GB 50253 — 94 附录 G 的规定计算。

5.3.4 穿越铁路、公路的管段，当管顶最小埋深大于 1m 时，可不验算其轴向稳定。

6 检验要求

6.1 焊 接

6.1.1 穿越管段焊接应按现行国家标准 GB 50253 或 GB 50251 的规定执行。

6.1.2 大、中型水域、铁路、Ⅱ级以上公路的穿越管段对接接头焊缝应作 100% 射线探伤检查,射线探伤应按现行国家标准《钢管环缝熔化焊对接接头射线透照工艺和质量分级》GB/T 12605 的规定执行,Ⅱ级为合格。小型水域穿越管段或Ⅲ级以下公路穿越管段对接接头焊缝的检验标准,与线路所在工程地段的要求相同。

6.2 试 压

6.2.1 大、中型水域、铁路及Ⅱ级以上公路的穿越管段,必须独立进行强度试压和严密性试验,合格后再同相邻管段连接。小型水域穿越或Ⅲ级以下公路穿越可不独立进行试压,与干线连接后一同进行试压。

6.2.2 输油输气管道的穿越管段试压介质、试验压力和试压时间,分别按现行国家标准 GB 50253 和 GB 50251 的规定执行。大、中型穿越管段的强度试验压力应按式(6.2.2)计算,严密性试压采用设计压力。

$$p_1 = \frac{1.8\delta\sigma_s}{D} \quad (6.2.2)$$

式中 p_1 ——强度试验压力(MPa);
 δ ——钢管设计壁厚(mm);

σ_s ——钢管规定的屈服极限(MPa);

D ——钢管外径(mm)。

6.2.3 用水作试压介质时,在稳压时间内压降不大于 1% 试验压力为合格。

6.2.4 用气体作试压介质时,在稳压时间内压降率 Δp 按式(6.2.4)计算,强度试验时压降率应不超过 2%。当 $D_N > 300\text{mm}$ 时,严密性试验 $\Delta p \leq (500/D_N)\%$ 为试验合格;当 $D_N \leq 300\text{mm}$ 时,允许压降率为 1.5%。

$$\Delta p = \left(1 - \frac{p_z T_s}{p_s T_z}\right) 100\% \quad (6.2.4)$$

$$p_s = p_{s1} + p_{s2}$$

$$p_z = p_{z1} + p_{z2}$$

式中 Δp ——压降率(%);

T_s ——稳压开始时管内气体的热力学温度(K);

T_z ——稳压终了时管内气体的热力学温度(K);

p_s ——稳压开始时气体的绝对压力(MPa);

p_z ——稳压终了时气体的绝对压力(MPa);

p_{s1} 、 p_{z1} ——稳压开始和终了时的压力表读数(MPa);

p_{s2} 、 p_{z2} ——稳压开始和终了时的当地大气压(MPa)。

注: p_z 、 p_s 、 T_z 、 T_s 均指全线各测点的平均值。

6.3 防 腐

6.3.1 设计文件必须标明穿越管段选用的防腐材料名称、性能和指标要求。

6.3.2 穿越管段应根据所选防腐涂层材料按相应的标准、规范进行检验。

6.3.3 同一穿越管段不应分段采用不同的防腐涂层和涂层等级。

标准用词和用语说明

执行本规范条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待:

1 表示很严格,非这样做不可的用词:

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用词:

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用词:

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

附件

原油和天然气输送管道 穿跨越工程设计规范 穿 越 工 程

条 文 说 明

修 订 说 明

根据 1992 年中国石油天然气总公司标准项目制修订计划的安排,由中国石油天然气管道勘察设计院和四川石油管理局勘察设计院共同对《原油长输管道穿跨越工程设计规范》SYJ 15—85 进行修订。由于“穿越工程”和“跨越工程”是两种不同类型的设计,所以在 1993 年 8 月编制大纲讨论会中决定将 SYJ 15—85 改名并按两部分修订编制,即中国石油天然气管道勘察设计院负责主编《原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范 穿越工程》SY/T 0015.1—98,四川石油管理局勘察设计院负责主编《原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范 跨越工程》SY/T 0015.2—98。由 SY/T 0015.1—98 和 SY/T 0015.2—98 共同代替 SYJ 15—85。

为便于广大设计、施工、科研、学校等有关人员在使用本规范时能正确理解和执行本规范条文的规定,本规范修订组根据编制标准、规范条文说明的统一规定,按本规范的章、节、条的顺序,编制了本条文说明,供本规范使用者参考。在使用中,如发现本条文说明中有欠妥之处,请将意见函寄中国石油天然气管道勘察设计院总工办(地址:河北省廊坊市,邮编:065000)。

中国石油天然气管道勘察设计院
1998 年 6 月

目 次

1	总则	(26)
3	基本规定	(27)
3.1	基础资料	(27)
3.2	材料	(27)
3.3	水域、冲沟穿越	(28)
3.4	铁路、公路穿越	(30)
3.5	勘测要求	(30)
3.6	其他	(31)
4	水域、冲沟穿越设计	(32)
4.1	穿越位置选择	(32)
4.2	敷设和要求	(32)
4.3	水下管段稳定	(33)
4.4	荷载与组合	(35)
4.5	结构设计	(36)
4.6	防护工程	(37)
5	铁路、公路穿越设计	(39)
5.1	一般要求	(39)
5.2	荷载与组合	(39)
5.3	结构设计	(39)
6	检验要求	(41)
6.1	焊接	(41)
6.2	试压	(41)
6.3	防腐	(41)

1. 总 则

本章所列三条是阐明本规范编制的目的、目标、适用范围及其与国家标准、有关行业标准的关系。

3 基本规定

3.1 基础资料

3.1.1 穿越工程是管道工程的重要组成部分,必须满足管道输送的各种要求,因此对输送介质的物性资料与输送工艺参数应取全、取准,作为设计基础资料。

3.1.2~3.1.3 只有取得准确的地形测量、工程地质和水文资料,才能确保穿越工程设计的科学性。据此,本规范规定了测量、地质、水文的资料内容。水文资料不准确,影响管道的安全运行。在水文资料中应包括设计洪水流量、流速、水位与水面宽度、河道平面变迁、深泓线摆动与自然冲刷数据、常水位与多年平均水位、枯水流量与流速。

3.1.4 设计穿越铁路、公路的工程,往往涉及与主管部门的关系,甚至要满足主管部门提出的要求。因此本条规定要取得主管部门的同意信函作为基础资料,这也是设计的依据之一。

3.2 材 料

3.2.1~3.2.3 在穿越工程中,所用的钢管、钢材、钢筋和水泥等建筑材料应有严格的要求,才能确保工程的优良质量。这三条规定了所用材料应遵循的相关标准,不符合这些规定标准的材料,穿越工程不得采用。国内外管道发生过多起断裂事故,根据有关报导,事故原因是多方面的,其中因为韧性不足是重要的因素。报导中,分析断裂时管道使用应力多在 60% 屈服限左右,说明并非强度破坏,而往往是裂纹扩展发生断裂。因此提出管材韧性要求是近年来国内外极为重视的问题,特别是低温环境或低温使用条件,易使管材发生脆性断裂。本条提出设计时应考虑韧性要求,但目

前国内外缺少统一规定,除在 API Spec 5L《管线管规范》中推荐的基本指标外,英国、西欧、加拿大在其各自的管道工程中均提出超过基本指标的要求,可供设计人员参考。

3.2.4 本条规定的钢管许用应力是依据 GB 50253 和 GB 50251 的有关规定,并参照 ANSI/ ASME B 31.4《液体输送管线系统》和 B 31.8《输气和配气管线系统》的有关规定制定的。

穿越工程的设计系数较埋地管道设计系数小,相应增大了安全系数。这是考虑了以下两种因素:

- 1 穿越工程一旦发生事故,管道泄漏对环境造成的污染,比一般埋地管道事故污染要严重得多,特别是水源污染;

- 2 由于天然或人工障碍物在穿越管道之上,发生事故后抢修困难。

因此在国内外的有关标准中,均要求相应增加管壁厚度或减小设计系数。对于有套管的Ⅲ、Ⅳ级公路穿越及小型水域穿越,为避免过多变更管壁厚度,设计系数与线路管道相同。

本条所列钢管的规定屈服强度是引用本规范第 3.2.1 条中的相关标准中规定的屈服强度。

3.2.5 本条规定了结构工程所用钢材的许用拉应力、压应力、剪应力及支承应力。这是依据 GB 50253 的规定,并参照 ANSI/ ASME B 31.4 的有关规定制定的。

3.3 水域、冲沟穿越

3.3.1 由于穿越工程是管道工程的一部分,因此穿越位置选择应与线路总走向相结合。但是大、中型的穿越工程,由于受客观地形、地质、水文、交通、施工等多方面影响,穿越位置不能随意选定,因此线路局部走向应按所选穿越位置调整。

3.3.2 穿越工程要选用正确合理的方案,就必须考虑所处位置的各种客观条件。为此,本条规定了确定方案与位置时应考虑的条件。

3.3.3 穿越工程等级是依据我国近四十年的设计经验,并结合水

利与水土保持部门的要求制定的,符合我国技术水平,将施工难易程度、工程规模、河流特征及地质条件等因素包含于等级中。但是有以下两点对 SYJ 15—85 作了修改:

1 管径大小不能决定该管道的重要程度,故取消 SYJ 15—85 中的备注;

2 SYJ 15—85 按枯水期水面宽度考虑,这在水文中概念模糊,没反映出保证率多少,很难确定;现改为多年平均水位水面宽度,是水文资料中可查出或可调查出的,当然比原规定提高了准确性。

3.3.4 洪水设防标准是关系到工程安全与工程造价的关键因素。考虑到管道使用年限一般是 30—50 年,为防止在这期间发生破坏事故,造成环境污染,又考虑到工程大小对检修造成的难度不同,因此本条将洪水设防标准按大、中、小型工程分别规定,大型穿越工程按百年一遇洪水设计,中型按五十年一遇洪水设计,小型按二十年一遇洪水设计。

为避免因管道事故给下游桥梁带来的灾害影响,规定管道与桥梁洪水设防同等标准。

3.3.5 水流冲刷危及穿越工程安全,在天然状态下,河流、冲沟存在着自然演变冲刷;当人工改变自然沟、河的地貌时,将引起一般冲刷与局部冲刷。因此本条规定穿越河流或冲沟时,应考虑冲刷。

位于水库下游的穿越工程,由于水库的拦沙及调节分配水量的作用,将对其下游产生冲刷,并可能影响河型改变。如丹江口水库蓄水后,下游水流平均含沙量降低,枯水期流量比天然时增加,使其下游产生清水冲刷,游荡型河流变成稳定型河段,造成汉江穿越工程露管,重新更改为跨越工程。故本条规定水库下游的穿越工程,必须考虑水库泄洪时的局部冲刷与清水冲刷。

3.3.6 本条是依据 JTJ 062—82 第 3.2.12 条的规定,并考虑铁路桥及施工影响制定的管桥间安全距离。

3.3.7 港口、码头、水下建筑物或引水建筑物周围经常有作业活动,为避免穿越施工的干扰及港口、码头、建筑物的安全,本条规定

他们之间的安全距离不得小于 200m。

3.3.8 本条规定了穿越管段的抗震设防标准。考虑到管段的柔性,设防烈度由土建工程规定的 6 度提高到 7 度。

3.3.9 在通航河流上,会出现船只抛锚、河道疏浚等问题,在设计穿越管段埋深时应防止其损坏管段。穿越工程中的各种措施,如护底、稳管桩、石笼等,规定不得影响航运,并应征得主管部门的同意。

3.3.10 本条规定了穿越管段与复线间的距离。为便于施工或检修,根据以往经验,确定河床部分不宜小于 40m,河滩部分不宜小于 30m。

3.3.11 当穿越管段穿过堤基,而河水位高于两岸地面时,河水会顺着钢管渗流至两岸地面,并可能形成管涌,破坏大堤。本条为防止发生此类事故,规定应设止水环或阻水墙。

3.3.12 铁路或公路设置隧道穿山或过河是目前常采用的形式,如上海黄浦江隧道。隧道是交通咽喉,为保证交通安全,本条规定油气管道不得在铁路、公路隧道内敷设。

3.4 铁路、公路穿越

3.4.1~3.4.2 这两条规定了穿越铁路或公路应执行的相关部门标准。

3.4.3 如果铁路或公路建在石方区、高填方区、两侧为同坡向陡坡地段、路堑等处,为了安全与方便,管道不宜在此处穿越。本条规定了应避开这些地区穿管。

3.4.4 本条是从安全与施工方便角度规定管道严禁在铁路站场、有值守道口、变电所、隧道和设备下穿越。

3.4.5 由于弯头易受损或曲线施工困难,为了施工与维修的方便,本条规定穿越铁路、公路的管段严禁设置弯头或曲线。

3.5 勘测要求

3.5.1 为了取全取准穿越处的第一手资料,使穿越设计做到技术

先进、经济合理,本条规定了大型工程应采用初勘、详勘两阶段工作。但方案已明确的大型穿越工程,可采用一阶段勘测工作。

3.5.2 标定穿越位置的定位桩,过去往往因施工而遭到破坏,工程完工后也未补桩,造成管理不便。本条在吸收以往经验的基础上,规定两岸不得少于两个定位桩,并应敷设在土质坚实、稳定可靠、不被水淹和冲刷之处。

3.5.3 本条规定了初勘可用物探方法,这样比较快捷。但要取准资料,详勘应采用钻孔勘探,避免因地质资料不准,造成损失。

3.5.4 本条规定了勘探钻孔点布置。为防止定向钻、顶管或隧洞施工时发生水涌,勘探钻孔点不能布在管道中线上(除封孔者外)。本条规定距中线 50m 交叉布置。

3.5.5 本条规定了钻孔深度,以满足设计所需要的地质资料。

3.5.6 地震不仅造成管道损坏,甚至造成次生灾害,如加利福尼亚大地震造成管道断裂,发生大火。为了管道安全,本条规定要查清四种可能引起管道损坏的地震活动情况。对于地震断层的性质、错动方向、错动量、地基土液化、塌方或滑动务必查清,以保工程安全。

3.5.7~3.5.8 这两条规定了测量与地质勘察应遵守的标准。

3.6 其 他

3.6.1 本条主要规定了管道防腐应遵守的标准。SYJ 7 对各类防腐涂料、各地区防腐等级都有明确要求。

3.6.2~3.6.3 为符合安全与环保要求,这两条规定了设置截断阀室及其要求。

3.6.4~3.6.5 这两条规定了标志设置要求。

3.6.6 本条规定了穿越管段钢管壁厚计算原则。为了保证穿越管段的强度安全及稳定性,结合 ANSI/ASME B 31.4 对穿越管增加壁厚的要求,提出了径厚比不应大于 100 的规定。

4 水域、冲沟穿越设计

4.1 穿越位置选择

4.1.1 水文、地形、地质对穿越工程的安全有重大影响,本条规定了在选择穿越位置时应如何考虑,作为设计人员在正常条件下应执行这些规定。由于弯道处易发生旁蚀,造成凹岸冲淘,危及管道安全,故应选在水流顺直、平缓地段;有足够施工场地,利于施工质量达到设计要求;岩土构成单一、岸坡稳定地段,可防止穿越管段因不均匀沉降造成破坏。当自然条件难达到要求时,可采取相应措施处理。

4.1.2 水库库区宽阔,若选在此处穿管将增大工程量,而且检修不便。尾水区是随洪枯来水量冲淤变化较大的地段,不利管段安全。因此穿越位置不宜选在这些地段。

4.1.3~4.1.5 这三条规定了穿越管段布置要求,不利的支持条件不宜选作穿越位置。因为地震活动造成断层的错动,往往会造成管段断裂,若采取工程措施,将增加投资。经常疏浚的河流或冲蚀严重的河段,易引起管段裸露,不利安全。

4.2 敷设和要求

4.2.1 本条提出了根据水文、地质条件采用不同的穿越管段的敷设方法。

4.2.2 为了防止穿越管段被洪水冲出露管,本条规定了埋设穿越的管段应敷设在床底下稳定层内。

4.2.3 埋设的穿越管段一旦被洪水冲刷裸露出来,由于水流的涡激振动,极易在弯头或固定墩嵌固处断裂。如马惠输油管道工程,在1981年6月20日发生 $1200\text{m}^3/\text{s}$ 流量时,扬旗与寺沟门两处穿

越环江工程在弯头处断裂,而花旗环江穿越工程,由于无弯头与固定墩嵌固,虽将管段冲出,但没发生断管事故。因此本条规定在常水位浸淹部分不宜设弯头和固定墩,如确需在常水位范围内设弯头或固定墩,就应该进行强度、疲劳和共振可能性的校核,以防止发生振动破坏。

4.2.4~4.2.7 这四条是对挖沟敷管的埋深、底宽及边坡、回填设计作出的具体规定,是根据我国多年的施工经验制定的。

4.2.8 裸露敷设要受到自然水流的作用,为避免发生穿越管段失稳,本条规定了稳管措施供设计人员选择。

4.2.9 由于盐沼地腐蚀强,盐沼地穿越的稳管措施所用材料必须有较强的抗盐碱腐蚀,防止因措施工程失效而导致管段失稳。

4.2.10~4.2.11 这两条是根据 RB-5 型定向钻这几年施工的经验,规定了定向钻敷设应考虑的问题及设计参数。

4.2.12~4.2.13 这两条规定了顶管应考虑的问题、设计参数及有关规定。管内径不宜小于 800mm,是为了施工时便于掏挖出土。

4.2.14 如果采用隧道穿越,一般由于隧道施工需要较大的断面,为充分利用空间,本条提出宜用多管敷设。另外,如果管道有补偿变形要求,就应该注意管段的稳定。为施工及维修方便,隧道内规定排水是应该考虑的措施。

4.2.15 本条规定了隧道设计应遵循的标准。

4.2.16 本条规定了穿越沼泽地的管道敷设方法,设计人员应因地制宜采用经济合理的方法。

4.3 水下管段稳定

4.3.1 水下的穿越管段受到水浮力与动力作用,可能引起管段漂浮和移位,甚至发生破损现象。为此,本条要求水下穿越管段不得产生漂浮和移位,如可能发生,必须采取稳管措施,以保安全。

4.3.2 本条所列公式依据如下:

式(4.3.2-1)是抗漂浮计算公式。根据管道总重大于或等于

水漂力要求,则:

$$W \geqslant (F_s + F_{dy})$$

为了确保管道的稳定,应该有一定稳定安全系数,此系数(K)应大于1,故上式便成为式(4.3.2-1):

$$W \geqslant K(F_s + F_{dy})$$

式(4.3.2-2)是抗移位计算公式。根据管道与河床摩擦力必须大于或等于动水推力,且有一定稳定安全系数,推导如下:

管道与河床的摩擦力为管道对河床竖向压力乘以管道与河床摩擦系数,即:

$$f(W - F_s - F_{dy})$$

要求

$$f(W - F_{dy} - F_s) \geqslant KF_{dx}$$

演绎可得式(4.3.2-2):

$$W \geqslant K \frac{F_{dx}}{f} + F_s + F_{dy}$$

上两式中,静水浮力为:

$$F_s = \pi D^2 r_w / 4$$

动水浮力与推力根据水力学得:

$$F_{dy} = C_y \gamma_w D v^2 / (2g)$$

$$F_{dx} = C_x \gamma_w D v^2 / (2g)$$

浮力系数 C_y 和推力系数 C_x , 根据前苏联的实验及我国天津大学海工系的实验, 当雷诺数 $Re = 10^5 \sim 10^7$ 时, $C_x = 1.0$, $C_y = 0.6$; 当雷诺数 $Re = 10^4 \sim 10^5$ 时, $C_x = 1.2$, $C_y = 0.6$ 。

本规范从安全角度考虑, 取 $C_x = 1.2$, $C_y = 0.6$ 。

关于各符号的意义, 详见本规范第 4.3.2 条。

4.3.3 当穿越管段采用沟埋敷设, 且按本规范第 4.2.4 条的要求设计与施工时, 动水对穿越管段就不可能产生动水举力, 因此只需核算抗静水漂浮的能力, 即:

$$W \geq KF_s$$

4.3.4 当穿越管道埋深在冲刷线以下 3m 时, 静水与动水均不可能使管段发生漂浮, 因此可不考虑抗漂浮计算, 更无必要进行抗移位核算。

4.3.5 隧道内敷管, 无水力作用其上, 故不考虑水下稳定问题, 但要考虑温度变化引起的管段纵向屈曲失稳。

4.4 荷载与组合

4.4.1 本条列出了水下穿越工程结构中有可能承受的外力与荷载。对一具体工程, 并非都存在这些外力与荷载, 也存在一些特定荷载。结构分析计算时, 应根据具体情况计算所承受的外力与荷载。

4.4.2 关于荷载组合方式, 设计时应考虑以下三种情况:

- 1 各种荷载同时出现的机率, 对于经常作用的荷载, 按主要

组合考虑;对于荷载作用机率较大,又并非同时存在的,选择性列出附加组合;对偶然出现的荷载作用,加入主要组合,作为特殊组合;

2 地质与水文条件;

3 敷设方式与结构特殊性。

设计人员应根据具体工程情况选择组合。

4.4.3 根据不同荷载组合作用时效长短不一,因此许用应力也应有不同的标准,即采用不同的许用应力提高系数。如果是以屈服强度作为结构强度安全控制条件,在任何组合情况下,许用应力必须小于 σ_s ,并有一定的安全储备(安全系数)。据此,以设计系数 0.6 的输油管道为例,本条所列许用应力提高后的相对许用应力及安全系数见表 1。

表 1 许用应力提高后的相对许用应力及安全系数

荷载组合情况	许用应力提高系数	提高后的许用应力 [σ]	安全系数 $\sigma_s/[\sigma]$
主要组合	1.0	$0.6\sigma_s$	1.67
附加组合	1.3	$0.78\sigma_s$	1.28
特殊组合	1.5	$0.9\sigma_s$	1.11

从表 1 看出,在短暂的偶然荷载作用下,管材使用应力即使达到规定的许用应力,也有 11%的安全储备,结构是安全的。因此,本条规定不同荷载组合为钢管许用应力乘以不同的许用应力提高系数是合理的,作到了经济合理。至于输气管道,由于设计系数安全储备更大,因此许用应力提高系数提高后,安全储备比输油管道还要大。

4.5 结构设计

4.5.1 结构的强度、刚度、稳定性是结构设计的最基本要求,这些

要求当然应该满足。而水下管道一旦裸露,将受到动水作用,因此还应考虑抗涡激振动与疲劳寿命。

4.5.2 本条有两点规定,其一是各单向应力均应小于钢管许用应力,其二是各单向应力计算方法,这些计算公式在材料力学中均可找到推导来源。

4.5.3 由于钢材是弹塑性材料,根据第三强度理论,本条规定了穿越管段的当量应力不得超过钢管屈服强度的 90%。

4.5.4 本条根据管道局职工学院钢管径向稳定试验的结果,当径厚比小于 140 时,埋设管道一般不会发生径向失稳。为了安全,本规范第 3.6.6 条规定径厚比不宜大于 100,因此可不必考虑管子径向变形引起的局部屈曲。

4.5.5 由于安装温度低,而输送介质温度高时,温差将引起管段轴向力,可能发生轴向屈曲失稳。本条规定应验算其轴向稳定,所用公式按照 GB 50253—94 附录 H 的规定,其中 N_{cr} 计算采用 n_c 系数,在水下取 0.25。

4.5.6 定向钻敷设的穿越管段,由于埋设较深,原状土对管段嵌固较好,因此本条规定可不验算其轴向稳定。

4.6 防护工程

4.6.1 护岸的目的是为了保护岸坡,防止冲蚀。但如果在疏导水流时,不注意顺畅,往往保护不了堤岸,而且造成穿越管段被淘刷。因此本条规定必须保证水流顺畅、不淘刷管段。较深的冲沟,边坡有时较陡,雨水顺着边坡下流时,动能逐渐加大,边坡受淘刷会造成塌方或塌坡,因此本条规定应设截水沟等措施。

4.6.2 本条对护岸工程的建设材料作了规定,以保证质量可靠、运行安全。

4.6.3~4.6.5 这三条对护岸工程技术要求、护岸类型及结构尺寸作出具体规定。它是参考我国铁道部门挡土墙、水利部门堤防、美国铁路工程学会手册等资料制定的。

4.6.6 护岸的尺寸与基础埋深是根据管道工程多年经验,结合

《公路路基设计规范》JTJ 013 的有关规定制定的。

4.6.7 护岸工程要保证安全,就应防止滑坡产生,因此本条规定要进行抗滑稳定核算,且有一定的安全稳定系数。当护坡较缓时,护坡水平夹角小于堤岸土的休止角,一般不会发生滑坡,可不核算护坡抗滑稳定性。

4.6.8 护岸砌体尺寸大小与设计洪水时护岸处的洪水流速有关,可依据 JTJ 062 规定的公式计算。如果护坡处流速超过 2m/s 时,平均脉动压力 $\overline{F_p}$ 可按水利部门的护坡试验脉动压力计算: $\overline{F_p} = \xi \frac{\gamma_w v^2}{2g}$, 其中 ξ 最大取值为 0.4。

5 铁路、公路穿越设计

5.1 一般要求

本节是在参照《原油、天然气长输管道与铁路相互关系的若干规定》和《关于处理石油管道和天然气管道与公路相互关系的若干规定》(试行)的基础上,结合我国油气管道二十多年设计、施工经验和国外油气管道设计资料,制定出敷设方法、构造要求和阴极保护。特别是有套管的穿越,由于套管的屏蔽作用,外加电流往往对输送管达不到保护要求。近年国内外对有套管的输送管采用了牺牲阳极带保护,本规范采用了这一新技术。

5.2 荷载与组合

5.2.1 穿越铁路或公路的输送管段不同于穿越水域的管段,它虽然不受动水作用,但应考虑可变荷载中的车辆荷载,也应考虑偶然作用中的地基沉降的影响。

5.2.2 本条规定了应根据实际可能发生的荷载进行组合。设计人员务必要分析穿越管段的受力情况,并根据分析结果进行组合。

5.2.3 本条规定了不同应力组合时,管材的许用应力相对提高系数。

5.3 结构设计

5.3.3 穿越铁路、公路的管段,空管时受到车辆荷载作用管子产生径向变形。根据管道局职工学院实验,当变形量达到外径的5%以上时,管子发生横向屈曲失稳。为了安全,本条规定水平直径方向的变形量不得超过管子外径的3%。

5.3.4 埋深在铁路或公路1m以下的管段,由于其上路基或路面

压力较大且密实,在温差荷载作用下,管子不会发生轴向屈曲。因此本条规定可不验算轴向稳定。

6 检 验 要 求

6.1 焊 接

6.1.1 本条规定了穿越管段焊接应遵循的标准。

6.1.2 考虑到穿越管段的重要性,本条规定穿越管段对接接头应作 100% 射线探伤检查,达到 GB/T 12605 中的 II 级焊缝标准。

6.2 试 压

6.2.1 鉴于穿越工程的重要性,并且考虑到一旦埋设后返工或维修很困难,因此本条规定穿越工程必须进行强度试压和严密性实验,合格后再同相邻管段连接。

6.2.2~6.2.4 这三条是根据相关规范和施工经验制定的试压要求、合格标准。如果试压能达到这些要求,可以保证管道安全平稳运行。

6.3 防 腐

6.3.1 由于穿越管段的防腐涂层往往不同于一般埋地管段防腐涂层,为防止发生施工混淆,本条规定了设计必须标明穿越管段选用的防腐材料名称、性能和指标要求。

6.3.2 本条规定了防腐涂层材料应遵循相应的标准,检验合格才能保证涂层质量。

6.3.3 为了施工方便,组装、布管不发生错误,本条规定了同一穿越管段不应分段采用不同的防腐涂层和涂层等级。