

前 言

本标准是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,由中国石油工程建设有限公司西南分公司会同有关单位编制而成的。

本标准在编制过程中,编制组总结了多年来油气管道跨越工程建设、生产、科研和管理方面的经验,借鉴了国内外的相关标准,吸收了近年来国内油气管道跨越工程的科研成果和生产管理经验,广泛征求了全国各相关单位的意见,经多次研究、讨论,最后经审查定稿。

本标准共分 13 章,主要内容包括:总则,术语,基本规定,测量与勘察,材料,结构分析,作用分类和作用组合,结构设计,桥墩设计,构造要求,抗震设计,跨越管段焊接、试压及防腐,施工监控与健康监测。

本标准修订的主要技术内容是:

1. 增加术语缆索、缆索索体、锚具、补偿器;
2. 增加油气输送管道跨越设计的有关规定;
3. 增加作用和作用组合的计算方法;
4. 增加混凝土桥塔设计的有关规定;
5. 修改了锚具及连接件的设计要求;
6. 增加检修平台的设置要求;
7. 增加第 13 章“施工监控与健康监测”。

本标准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,由中国石油工程建设有限公司西南分公司负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中,如发现需

要修改和补充之处,请将意见和建议反馈给中国石油工程建设有限公司西南分公司(地址:四川省成都市高新区天府三街升华路6号,邮政编码:610051),以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中国石油工程建设有限公司西南分公司

参 编 单 位:中国石油天然气管道工程有限公司

华东管道设计研究院

上海浦江缆索股份有限公司

柳州欧维姆机械股份有限公司

主要起草人:胡道华 杨晓秋 谢 健 严 鹏 陈 旭

詹胜文 唐 昕 朱晓峰 张海亮 彭春阳

吴克信 李 鹏 郑 会 付开伟 杨成刚

雒定明 王晓峰 吴 浙 李如海 夏成宓

马红昕 李国辉 马晓成 左雷彬 明士涛

吴志勇

主要审查人:廖柯喜 闫庆华 杨申武 邓 文 于跃洋

庞鑫峰 曹 力 张文红 彭守文 王亚林

吴 刚 刘晓莲 张新敏 王小林

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	基本规定	(4)
4	测量与勘察	(8)
4.1	测量	(8)
4.2	勘察	(8)
5	材 料	(10)
5.1	一般规定	(10)
5.2	耐久性	(12)
5.3	设计指标	(12)
6	结构分析	(14)
6.1	一般规定	(14)
6.2	设计方法	(14)
6.3	线弹性分析法	(15)
6.4	非线性弹性分析法	(15)
6.5	结构动力响应分析	(16)
7	作用分类和作用组合	(18)
7.1	作用分类、代表值和作用效应	(18)
7.2	永久作用	(24)
7.3	可变作用	(24)
7.4	偶然作用和地震作用	(32)
8	结构设计	(33)
8.1	一般规定	(33)
8.2	结构变形	(33)

8.3	管道强度及稳定性计算	(33)
8.4	温度补偿及桥面设施	(35)
8.5	缆索	(36)
8.6	锚具及连接件	(37)
8.7	钢塔架和钢桁架	(38)
8.8	混凝土塔架	(38)
8.9	锚碇设计	(39)
9	桥墩设计	(42)
9.1	一般规定	(42)
9.2	桥墩地基基础设计	(43)
9.3	桥墩基础构造要求	(48)
10	构造要求	(50)
10.1	一般规定	(50)
10.2	结构防护	(50)
10.3	缆索、锚具及连接件	(50)
10.4	结构防腐	(51)
11	抗震设计	(53)
12	跨越管段焊接、试压及防腐	(55)
12.1	焊接、检验	(55)
12.2	清管、测径和试压	(55)
12.3	防腐和保温	(56)
13	施工监控与健康监测	(58)
13.1	施工监控	(58)
13.2	健康监测	(58)
	本标准用词说明	(59)
	引用标准名录	(60)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirements	(4)
4	Measurement and investigation	(8)
4.1	Measurement	(8)
4.2	Investigation	(8)
5	Materials	(10)
5.1	General requirements	(10)
5.2	Durability	(12)
5.3	Design index	(12)
6	Structural analysis	(14)
6.1	General requirements	(14)
6.2	Design method	(14)
6.3	Linear elastic analysis	(15)
6.4	Non-linear elastic analysis	(15)
6.5	Structural dynamic response analysis	(16)
7	Classification and combination of actions	(18)
7.1	Classification of actions, representative values of actions and effects of actions	(18)
7.2	Permanent action	(24)
7.3	Variable action	(24)
7.4	Accidental action and earthquake action	(32)
8	Structural design	(33)
8.1	General requirements	(33)

8.2	Structural deformation	(33)
8.3	Calculation of pipe strength and stability	(33)
8.4	Temperature compensation and deck installation	(35)
8.5	Cable	(36)
8.6	Anchorage and coupler	(37)
8.7	Steel tower and truss	(38)
8.8	Concrete tower	(38)
8.9	Anchor block design	(39)
9	Pier design	(42)
9.1	General requirements	(42)
9.2	Pier ground and foundation design	(43)
9.3	Pier foundation detailing requirements	(48)
10	Detailing requirements	(50)
10.1	General requirements	(50)
10.2	Structural protection	(50)
10.3	Cable, anchorage and coupler	(50)
10.4	Structural anticorrosion	(51)
11	Structural seismic design	(53)
12	Welding, pressure test and anticorrosion of aerial crossing pipe section	(55)
12.1	Welding and inspection	(55)
12.2	Pigging, diameter calibration and pressure test	(55)
12.3	Anticorrosion and thermal insulation	(56)
13	Construction supervision and health monitoring	(58)
13.1	Construction supervision	(58)
13.2	Health monitoring	(58)
	Explanation of wording in this standard	(59)
	List of quoted standards	(60)

1 总 则

1.0.1 为在油气输送管道跨越工程设计中贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、安全适用、质量可靠、经济合理,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于基本地震动峰值加速度值小于或等于 $0.40g$ 地区油气输送管道跨越工程的设计。

1.0.3 当基本地震动峰值加速度大于 $0.40g$ 时,应进行专题设计。

1.0.4 管道跨越工程设计除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 管道跨越工程 pipeline aerial crossing engineering

输送管道从天然或人工障碍物上部架空通过的建设工程。

2.0.2 梁式直跨 girder pipeline aerial crossing

用输送管道或套管作为梁的跨越结构型式。

2.0.3 桁架式跨越 truss type pipeline aerial crossing

桁架作为管道承重结构的跨越结构型式。

2.0.4 悬索跨越 suspension cable type pipeline aerial crossing

输送管道结构吊挂在承重主索上的跨越结构型式。

2.0.5 斜拉索跨越 obliquely-cable stayed type pipeline aerial crossing

输送管道结构用多根斜向张拉钢索联结于塔架上的跨越结构型式。

2.0.6 单管拱跨越 single-line arch type pipeline crossing

用单根输送管道做成拱形的跨越结构型式。

2.0.7 组合管拱跨越 pipe-build up arch type pipeline aerial crossing

用输送管道及其他构件组成拱形的跨越结构型式。

2.0.8 轻型托架跨越 light truss type pipeline aerial crossing

用管道作为上弦杆,与钢索或型钢构成的下撑式组合梁的跨越结构型式。

2.0.9 “Π”形刚架跨越 “Π” type frame pipeline aerial crossing

用输送管道构成“Π”形刚架的跨越结构型式。

2.0.10 悬缆跨越 suspended cable type pipeline aerial crossing
ing

输送管道以悬垂形状吊挂在承重主索上的跨越结构型式。

2.0.11 主跨 main span

跨越工程中跨距最大的桥段。

2.0.12 缆索 cable

跨越工程中承受拉力或连接主梁(桥面结构)的构件,包括缆索索体和锚具。

2.0.13 缆索索体 wire cable

由多根高强钢丝、钢丝绳等组成的丝股,是缆索的主要组成部分。

2.0.14 锚具 anchorage

缆索索体两端与连接件的连接部件,缆索索体张力通过其传递给连接件。

2.0.15 连接件 coupler

缆索与结构间或缆索间的连接部件,包括连接螺杆、索夹、散索鞍、索鞍等。

2.0.16 锚碇 anchor block

锚固缆索,承受缆索拉力,支承于地基上或嵌固于岩体中的结构。

2.0.17 补偿器 temperature compensator

具有温度补偿能力的管段或装置。

3 基本规定

3.0.1 管道跨越工程应划分为甲类和乙类。甲类应为通航河流、电气化铁路和高速公路跨越；乙类应为非通航河流及其他障碍跨越。

3.0.2 管道跨越工程等级应按表 3.0.2 划分。

表 3.0.2 管道跨越工程等级

工程等级	总跨长度 L_1 (m)	主跨长度 L_2 (m)
大型	≥ 300	≥ 150
中型	$100 \leq L_1 < 300$	$50 \leq L_2 < 150$
小型	< 100	< 50

3.0.3 跨越管道强度设计系数应符合表 3.0.3 的规定。

表 3.0.3 跨越管道强度设计系数

工程分类	工程等级	输气管道				输油管道
		一级地区	二级地区	三级地区	四级地区	
甲类	大型	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	中型	0.45	0.45	0.45	0.40	0.50
	小型	0.50	0.50	0.50	0.40	0.55
乙类	大型	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50
	中型	0.55	0.55	0.50	0.40	0.60
	小型	0.60	0.60	0.50	0.40	0.65

3.0.4 在管道跨越工程设计文件中,应注明结构工程的设计使用年限,并应说明结构工程钢结构的焊缝形式、焊缝质量等级与焊缝检测标准。

3.0.5 永久性跨越主体结构的设计使用年限不应低于 50 年,可

更换构件的设计使用年限不宜低于 25 年。

3.0.6 跨越主体结构的设计安全等级不应低于现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 规定的二级。

3.0.7 管道跨越位置的选择应符合下列规定：

1 应处理好与油气输送管道线路工程的衔接，以及与铁路、公路、河流、电力、城市及水利规划等的相互关系。

2 应符合线路总体走向，线路局部走向可根据跨越位置进行调整。

3 应避开地面或地下已有重要设施的地段。

4 宜避开环境敏感区、文物保护单位、机场净空区。

5 宜避开冲沟沟头发育地段、活动地震断裂带、滑坡、泥石流、岩溶，以及其他不良地质发育的地段。

6 宜避开河道经常疏浚加深、岸蚀严重或侵滩冲淤变化强烈地段。

7 宜选择在河流较窄、两岸有山嘴或高地、侧向冲刷及侵蚀较小并有良好稳定地层的地段。当河流有弯道时，宜选择在弯道的上游平直河段。

8 宜选在闸坝上游或其他水工构筑物影响区之外。

9 附近宜具有一定的施工安装场地及较方便的交通运输条件。

10 跨越位置和方案应满足管道工程的相关评估报告的要求。

3.0.8 跨越管段与埋地管道相连接时，应符合下列规定：

1 跨越管段的管径应与埋地管道的管径匹配，所用弯管的曲率半径应符合清管设备通过的要求。

2 大型管道跨越工程宜在两端设置截断阀。

3 跨越管段与埋地管道在入土连接点处加绝缘接头时，应符合现行行业标准《阴极保护管道的电绝缘标准》SY/T 0086 的有关规定。

4 跨越管道与线路段管道连接点宜在跨越管道入土点的支墩或者锚固墩外 10m 处。

5 应采取防止埋地管道和跨越管道间相互影响的措施。

3.0.9 跨越工程的设计洪水频率(重现周期)应根据不同跨越工程等级按表 3.0.9 选用,并结合当地水文资料确定设计洪水位。

表 3.0.9 设计洪水频率

跨越工程等级	大型	中型	小型
设计洪水频率	1%(100 年一遇)	2%(50 年一遇)	2%(50 年一遇)

3.0.10 在通航河流上跨越时,跨越净空尺度应满足通航影响评价的要求。管道架空结构的最下缘净空高度应符合现行国家标准《内河通航标准》GB 50139 的有关规定。

3.0.11 在无通航、无流筏的河流上跨越时,管道架空结构的最下缘,大型跨越工程应高于设计洪水位 3m,中小型跨越工程应高于设计洪水位 2m。当无准确的水文资料时,宜加大架空高度,并应满足相关部门对净空的要求。

3.0.12 当跨越铁路或道路时,架空结构的最下缘净空高度不应低于表 3.0.12 的规定。跨越工程两侧应设置限高标志,宜设置限高构筑物。

表 3.0.12 跨越铁路或道路净空高度

类 型	净空高度(m)
人行道路	3.5
等级公路与城市道路	5.5
铁路	12.5
电气化铁路接触网的带电体	4.0

3.0.13 跨越管道与桥梁之间的最小距离应符合表 3.0.13 的规定。

表 3.0.13 跨越管道与桥梁之间的最小距离 (m)

管道类型	特大桥		大桥		中桥		小桥	
	铁路	公路	铁路	公路	铁路	公路	铁路	公路
输油管道	100	100	100	100	80	50	40	10
输气管道	100	100	100	100	100	100	50	50

注:1 特大桥、大桥、中桥和小桥的判别应分别按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 和《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1 的规定执行。

2 当位置受限时,在采取一定的保护措施,并征得相关部门的同意后,可适当减小距离。

3.0.14 跨越管道与架空电力线路之间的最小距离应符合现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 和《输油管道工程设计规范》GB 50253 的有关规定。

3.0.15 通航河流上的管道跨越工程应按现行国家标准《内河交通安全标志》GB 13851 的有关规定设置标志。

3.0.16 管道跨越的安全防范应符合现行行业标准《石油、天然气管道系统风险等级和安全防范要求》GA 1166 的有关规定。

3.0.17 管道跨越应根据相关评估和岩土工程勘察报告进行水工保护,并应符合现行行业标准《油气输送管道线路工程水工保护设计规范》SY/T 6793 的有关规定。

3.0.18 跨越工程应定期进行检查及维护。

4 测量与勘察

4.1 测 量

4.1.1 跨越工程的平面控制测量等级和高程控制测量等级应符合现行国家标准《油气输送管道工程测量规范》GB/T 50539 的有关规定。

4.1.2 跨越位置地形图可根据设计阶段、工程性质及地形等具体情况按 1:200~1:2000 的比例进行地形图测量。所测范围应满足设计布置和施工场地的要求,跨越工程需要在水中设立桥墩和进行水文计算时,还应测上下游适当范围内的水下地形。

4.1.3 纵断面图的水平比例尺应与地形图一致,纵、横比例尺宜相同。

4.1.4 桥墩间距测量精度应小于跨越主跨跨度的 1/10000。

4.1.5 管道跨越工程测量应统一采用国家坐标高程系统,并应与线路段相同。

4.1.6 测量成果应包括下列内容:

- 1 技术说明;
- 2 跨越位置控制点成果;
- 3 跨越位置地形图;
- 4 跨越位置纵断面图。

4.2 勘 察

4.2.1 跨越工程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 的有关规定。

4.2.2 跨越位置的水文地质评价应包括下列内容:

- 1 地层含水情况及地下水位变化情况,地下水水质分析,渗透

系数和涌水量；

2 上下游有无水工设施或规划,储水能力,最高水位及坝顶标高等及对拟建工程的影响；

3 设计洪水频率下最高洪水位、流速、流量及枯水期水位标高；

4 跨越河流的冰凌资料；

5 设计洪水频率下的一般冲刷深度和局部冲刷深度。

4.2.3 跨越岩土工程勘察报告应包括下列内容：

1 当地极端最高气温、最低气温、最高月平均气温、最低月平均气温、标准冻深、最大风速、基本风压、积雪厚度和覆冰厚度等；

2 河流的类型、特征、河流两岸河漫滩及河床断面特征,一般和局部的冲淤程度,河道变迁情况,相应设计洪水频率的洪水位标高和最大流速,河流通航等级；

3 桥墩和锚固墩区地层岩性、地质构造、不良地质作用与地质灾害的分布和工程地质特性；

4 跨越位置岩土的物理力学特性,水和土的腐蚀性评价,提供地基基础和桩基设计参数；

5 边坡及地基的稳定性、不良地质的危害程度和地下水对基础的影响程度；

6 应对跨越工程的地基基础及锚固方案提出建议。

4.2.4 勘察资料应提供地震设计参数、场地类别等,并应查明有无不良地震地质情况。

4.2.5 地质复杂的地基或大型跨越的基础,宜进行施工地质勘察。

5 材 料

5.1 一 般 规 定

5.1.1 输送钢管选择应符合现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 和《输油管道工程设计规范》GB 50253 的有关规定。

5.1.2 钢材和混凝土应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

5.1.3 钢丝绳应符合现行国家标准《重要用途钢丝绳》GB 8918 的有关规定,密闭钢丝绳还应符合现行行业标准《密封钢丝绳》YB/T 5295 的有关规定;钢丝拉索应符合现行国家标准《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》GB/T 18365 的有关规定;主缆采用预制平行钢丝索股应符合现行行业标准《悬索桥预制主缆丝股技术条件》JT/T 395 的有关规定;钢绞线应符合现行国家标准《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823 或《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定,钢绞线拉索应符合现行国家标准《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》GB/T 30826 的有关规定。

5.1.4 预制平行钢丝索股和热挤聚乙烯高强钢丝拉索采用的钢丝各项性能应符合现行国家标准《桥梁缆索用热镀锌钢丝》GB/T 17101 的规定。环氧钢丝应符合现行国家标准《缆索用环氧涂层钢丝》GB/T 25835 的有关规定。

5.1.5 高密度聚乙烯护套料的各项性能指标应符合现行行业标准《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》CJ/T 297 的规定。

5.1.6 跨越工程中承重结构采用的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格证明,对焊接结构尚应具有碳含量的合格证明及冷弯试验合格证明。

5.1.7 锚具及连接件的选材应符合下列规定：

1 锚具及连接件的选材应根据结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、连接方法、钢材厚度和工作环境等因素确定。

2 锚具及连接件的原材料应采用优质碳素结构钢或合金结构钢，应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699 和《合金结构钢》GB/T 3077 的规定，对于需要进行疲劳验算部件的原材料还应按标准规定的高级优质钢要求进行低倍组织和非金属夹杂物检测。

3 锚具及连接件宜采用钢锻件。当采用钢锻件时，应符合现行行业标准《大型碳素结构钢锻件 技术条件》JB/T 6397 和《大型合金结构钢锻件 技术条件》JB/T 6396 的规定，对需要进行疲劳验算和不能更换的锚具和连接件，锻件组别应为标准规定的Ⅳ级及以上，并在设计温度下进行夏比 V 形缺口冲击试验，冲击值应满足相应标准的要求；当采用铸钢件时，宜采用 ZG20Mn 或 ZG35Cr1Mo 铸钢件，应符合现行行业标准《大型低合金钢铸件》JB/T 6402 的规定。

4 锚具及连接件用钢锻件应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 和《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》NB/T 47013.4 的规定进行超声检测和磁粉检测，超声检测合格等级不应低于Ⅱ级，磁粉检测合格等级不应低于Ⅰ级。锚具及连接件用铸钢件应按现行国家标准《铸钢件 超声检测 第 1 部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1 的规定进行超声波探伤，合格指标不应低于 2 级；应按现行国家标准《铸钢件磁粉检测》GB/T 9444 的规定进行磁粉探伤，合格指标不应低于 2 级。

5.1.8 管道用锚固法兰宜采用碳素钢和合金钢锻件，并应符合现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008 的有关规定。

5.1.9 钢结构焊接材料应根据被焊材料的机械性能、化学成分及

焊接工艺要求等因素选择,并应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定。

5.2 耐 久 性

5.2.1 管道跨越工程混凝土基础、混凝土塔架应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的有关规定。

5.2.2 管道跨越工程钢结构部分应采用耐环境腐蚀、耐日晒、耐寒的防腐涂层。

5.3 设 计 指 标

5.3.1 管道跨越工程采用的输送钢管材质应与线路采用的钢管相同,常用输送钢管的主要力学性能指标应按表 5.3.1 采用。

表 5.3.1 常用输送钢管的主要力学性能指标

钢 级		管 体 (无缝和焊接钢管)	
国家标准	API 标准	屈服强度 $R_{0.5}$ (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)
L245	B	245	415
L290	X42	290	415
L360	X52	360	460
L415	X60	415	520
L450	X65	450	535
L485	X70	485	570
L555	X80	555	625

5.3.2 钢芯钢丝绳的最小破断拉力应符合现行国家标准《重用途钢丝绳》GB 8918 的有关规定,钢丝绳弹性模量不宜小于 $1.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$; 密闭钢丝绳的最小破断拉力应符合现行行业标准《密封钢丝绳》YB/T 5295 的有关规定,钢丝绳弹性模量不宜小于 $1.6 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$; 钢丝拉索的公称破断索力应符合现行国家标准《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》GB/T 18365 的有关

规定,成品拉索的弹性模量不应小于 $1.9 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$;钢绞线的最大力应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定,弹性模量宜取为 $1.85 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \sim 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

5.3.3 钢丝绳的表面状态、公称抗拉强度及强度允差应符合现行国家标准《重要用途钢丝绳》GB 8918 和《粗直径钢丝绳》GB/T 20067 的有关规定,密封钢丝绳还应符合现行行业标准《密封钢丝绳》YB/T 5295 的有关规定。

5.3.4 钢丝绳索采用的钢丝物理力学性能指标应符合现行国家标准《桥梁缆索用热镀锌钢丝》GB/T 17101 的有关规定,环氧钢丝应符合现行国家标准《缆索用环氧涂层钢丝》GB/T 25835 的有关规定。钢绞线拉索采用的钢绞线的物理力学性能指标应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 或《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823 的有关规定。

5.3.5 当斜拉索结构的成品拉索长度小于或等于 100m 时,误差应小于或等于 20mm;当成品拉索长度大于 100m 时,误差应小于或等于 $1/5000$ 成品拉索长度。

5.3.6 悬索结构的成品主缆索股测长精度应在 $1/12000$ 以上。

5.3.7 钢材的物理性能指标应按表 5.3.7 采用。

表 5.3.7 钢材的物理性能指标

弹性模量 $E(\text{N/mm}^2)$	剪变模量 $G(\text{N/mm}^2)$	线膨胀系数 $\alpha(1/^\circ\text{C})$	质量密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850

6 结 构 分 析

6.1 一 般 规 定

6.1.1 跨越结构在不同阶段的多种受力状况应分别进行跨越结构分析,并应确定跨越结构最不利的作用效应组合。

6.1.2 跨越结构分析所需的各种几何尺寸,以及所采用的计算简图、边界条件、作用的取值与组合、材料性能的计算指标、初始应力和变形状况等,应符合跨越结构的实际工作状况,并应具有相应的构造保证措施。

6.1.3 跨越结构分析应符合下列规定:

- 1 应符合力学平衡条件;
- 2 应符合变形协调条件;
- 3 应采用合理的材料或构件单元的本构关系。

6.1.4 跨越结构分析时,线弹性分析方法与非线弹性分析方法宜根据跨越结构类型、构件位置、材料性能和受力特点等选择。刚性跨越宜采用线弹性分析方法,柔性跨越宜采用非线弹性分析方法。

6.1.5 跨越结构分析软件的技术条件应符合本标准和国家现行有关标准的规定,大型跨越结构宜采用两个以上软件进行分析计算,比对计算结果。计算的结果应经判断和校核,并应在确定计算结果合理有效后用于工程设计。

6.2 设 计 方 法

6.2.1 桥面结构、桥塔及桥墩应按下列承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计:

- 1 承载能力极限状态应包括下列计算:

- 1) 构件和连接应进行承载力计算;

- 2)有抗震设防要求时,应进行抗震计算;
 - 3)应进行结构的倾覆、滑移验算。
- 2 正常使用极限状态应包括下列计算:
- 1)对需要控制变形的构件及基础,应进行变形计算;
 - 2)对不允许出现裂缝的混凝土构件,应进行混凝土拉应力计算;
 - 3)允许出现裂缝的混凝土构件,应进行受力裂缝宽度验算。
- 6.2.2 管道、缆索、锚具及连接件应按容许应力法进行强度计算。

6.3 线弹性分析法

- 6.3.1 线弹性分析方法可用于刚性跨越结构在各种荷载作用下的效应分析。
- 6.3.2 杆系结构宜按空间体系进行跨越结构整体分析,并宜分析杆件的弯曲、轴向、剪切和扭转变形对跨越结构内力的影响。跨越结构或杆件的变形对其内力的二阶效应影响较明显时,应分析二阶效应的影响。
- 6.3.3 杆系结构的计算模型应按下列方法确定:
- 1 杆件的轴线宜取截面几何中心的连线;
 - 2 杆件之间的连接应根据构造要求简化成刚接或铰接;
 - 3 杆件的计算跨度或计算高度宜按杆件两端支承点的中心距或净距确定,并应根据支承节点的连接刚度或支承反力的位置加以修正。
- 6.3.4 杆系结构宜采用解析法、有限元法等进行计算,对体形规则的跨越结构,可根据其受力特点和作用的种类采用简化分析方法。

6.4 非线性弹性分析法

- 6.4.1 非线性弹性分析方法可用于柔性跨越结构在各种荷载作用下的效应分析。
- 6.4.2 柔性跨越结构应分析几何非线性对结构的不利影响。

6.5 结构动力响应分析

6.5.1 大型柔性跨越结构应进行结构动力分析,分析内容应包括结构抗风分析、地震分析及清管振动分析。

6.5.2 结构的自振频率及相应的振型分析宜采用有限元方法进行计算。

6.5.3 采用有限元法建模时,结构模型中平动质量可采用集中质量或分布质量方式,转动惯量可根据模型自动生成或按照实际截面的质量分布情况计算后输入。

6.5.4 在进行风荷载结构动力响应分析时,跨越钢结构的阻尼比不宜大于 0.005。

6.5.5 主跨 300m 及以上的柔性跨越宜进行风洞试验,风洞试验应符合下列规定:

1 模型风洞试验宜在模拟大气边界层的风洞中进行,模拟的大气边界层应反映桥址处的平均风速剖面、紊流强度剖面及脉动风功率谱;

2 模型应模拟跨越结构构件的外部轮廓,模型的频率和阻尼比应模拟实际跨越结构的主要模态频率和阻尼比;

3 风洞试验宜考虑紊流特征和风攻角的影响,所考虑的紊流特征以及风攻角应同桥址处的风环境相适宜;

4 风洞试验应根据设计需要,提供体形系数、动力特性等设计参数。

6.5.6 地震作用下结构动力响应分析宜采用时程分析法,动力时程分析采用的地震波应由地震评价单位提供。应根据地震安全性评价结果选择地震加速度记录。

6.5.7 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地震作用。

6.5.8 清管作用下的结构动力响应分析宜将清管荷载作为移动荷载。

6.5.9 清管设备的速度和质量应根据管道直径和清管工艺确定。

6.5.10 当有多条管道共用跨越结构时,应按最不利工况进行分析。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

7 作用分类和作用组合

7.1 作用分类、代表值和作用效应

7.1.1 跨越工程设计采用的作用可分为永久作用、可变作用、地震作用和偶然作用,作用的分类及分项系数应符合表 7.1.1-1 及表 7.1.1-2 的规定。

表 7.1.1-1 桥面结构部分的作用分类及其分项系数

编号	作用分类	作用名称	分项系数	
			对结构承载力不利时	对结构承载力有利时
1	永久作用	管道及钢结构自重	1.1	1.0
2		混凝土结构自重	1.2	1.0
3		管道内输送介质自重	1.1	1.0
4		预加力	1.2	1.0
5	可变作用	风荷载	1.4(见注)	0
6		雪荷载	1.4	0
7		覆冰荷载	1.4	0
8		清管荷载	1.1	0
9		检修荷载	1.3	0
10		充水试压荷载	1.1	0
11		温度作用	1.4	1.0
12	地震作用	地震作用	1.3	0

注:当风荷载计入瞬时风压的影响,且作为非主导荷载时,其分项系数取 1.1。

表 7.1.1-2 桥墩部分的作用分类及其分项系数

编号	作用分类	作用名称	分项系数	
			对结构承载力不利时	对结构承载力有利时
1	永久作用	结构自重	1.2(1.35)	1.0
2		预加力	1.2	1.0
3		土的重力	1.2	1.0
4		土的侧压力	1.2	1.0
5		水的浮力	1.4	1.0
6	可变作用	风荷载	1.4	0
7		水流压力	1.4	0
8		冰压力	1.4	0
9	地震作用	地震作用	1.3	0
10	偶然作用	船舶或漂流物的撞击作用	1.0	0

注:1 验算抗倾覆、滑动稳定时,分项系数应符合各有关章节的规定。

2 括号内的数据用于由永久作用控制的组合。

3 桥面结构传至桥墩部分的作用未在本表表示。

7.1.2 跨越结构工程设计时,对不同的作用应采用不同的代表值,应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定。

7.1.3 跨越结构工程设计应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合,取最不利效应组合进行设计:

1 当结构或结构构件需做不同方向的验算时,应以不同方向的最不利的作用组合效应进行计算。

2 当可变作用的出现对结构或结构构件产生有利影响时,该作用不应参与组合。同时参与组合概率很小的作用,不考虑其作用效应的组合。桥面结构部分的可变荷载参与作用组合的方式及组合值系数见表 7.1.3-1。桥墩结构部分的可变荷载参与作用组

合的方式及组合值系数见表 7.1.3-2。

表 7.1.3-1 桥面结构部分可变作用组合及组合值系数

非主导作用 主导作用	风荷载	雪荷载	覆冰荷载	清管荷载 / 充水 试压荷载	检修荷载	温度作用
风荷载		0.7	0.7	—	—	0.6
雪荷载	0.6		1.0	—	—	0.6
覆冰荷载	0.6	0.7		1.0	—	—
清管荷载/充水试压荷载	0.6	0.7	0.7		—	0.6
检修荷载	0.6	0.7	0.7	—		0.6
温度作用	0.6	0.7	—	1.0	0.7	

- 注：1 清管荷载与充水试压荷载不同时组合。
- 2 在大风、大雪等极端天气下不应进行清管及充水试压。
- 3 走道板位于两管道中间时，当风荷载为主导作用时，雪荷载的组合系数取 0.8。
- 4 多管道敷设的充水试压荷载应根据实际情况取用。

表 7.1.3-2 桥墩结构部分可变作用组合及组合值系数

非主导作用 主导作用	风 荷 载	流水压力/冰压力
风荷载		1.0
流水压力/冰压力	1.0	

注：流水压力与冰压力不同时组合。

- 3 应进行施工阶段作用效应的验算。
- 4 偶然作用与地震作用不同时参与组合。

7.1.4 跨越工程结构的承载能力极限状态下的设计，应采用基本组合或偶然组合，并应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定，作用的分项系数、组合值系数应分别按本标准表 7.1.1 及表 7.1.3 取值，可变作用的频遇值系数、准永久值系数应

按表 7.1.4 取值。

表 7.1.4 常用可变作用的频遇值系数、准永久值系数

作用名称	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q
风荷载	0.4	0
雪荷载	0.6	0.5/0.2/0
覆冰荷载	0.6	0.2
检修荷载	0.5	0
温度作用	0.5	0.4
流水压力	0.4	0.2/0

注:1 雪荷载准永久值系数 0.5/0.2/0 分别为雪荷载分区Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的数值,雪荷载分区见现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009。

2 流水压力准永久值系数 0.2/0 分别为非季节性河流、季节性河流的数值。

3 正常使用极限状态下,不考虑充水试压荷载和清管荷载。

7.1.5 当有地震作用时应采用地震作用组合,桥面地震作用效应和其他荷载效应组合的设计值应符合现行国家标准《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470 的有关规定,其中承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应符合下列规定:

1 油气输送管道、缆索应取 0.75;

2 其余构件应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定;

3 当仅计算竖向地震作用时,各类结构构件抗力抗震调整系数均应采用 1.0。

7.1.6 桥墩地震作用效应和其他荷载效应组合的设计值应按下式计算:

$$S = S_{GE} + \psi_{LK} S_{LK} + \psi_{VK} S_{VK} + \psi_{PK} S_{PK} + \psi_W S_{WK} + \psi_P S_{PK} \quad (7.1.6)$$

式中: S ——桥墩内力组合的设计值,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，取结构、配件以及输送介质标准值和可变荷载(包括雪荷载、覆冰荷载等)组合值之和，此时，可变荷载组合值系数取 0.5；

ψ_{LK} ——横向地震作用组合值系数，见表 7.1.6；

S_{LK} ——横向地震作用标准值的效应；

ψ_{VK} ——竖向地震作用组合值系数，见表 7.1.6；

S_{VK} ——竖向地震作用标准值的效应；

ψ_{PK} ——纵向地震作用组合值系数，见表 7.1.6；

S_{PK} ——纵向地震作用标准值的效应；

ψ_W ——风荷载组合值系数，一般取 0.0，风荷载起控制作用的大型跨越结构采用 0.2；

S_{WK} ——风荷载标准值的效应；

ψ_p ——水流压力或冰压力作用组合值系数，取 1.0；

S_{pK} ——水流压力或冰压力作用标准值的效应。

表 7.1.6 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	0.0	0.0
仅计算竖向地震作用	0.0	1.3	0.0
仅计算纵向地震作用	0.0	0.0	1.3
同时计算横向与竖向地震作用(横向为主)	1.3	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	0.0
同时计算横、竖、纵向地震作用	1.3	0.5	0.5

7.1.7 跨越工程按正常使用极限状态设计时，应采用作用效应的标准组合、频遇组合和准永久组合，并应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。

7.1.8 当缆索和油气输送管道采用容许应力法设计时，应根据缆索和油气输送管道上可能发生的工作状况，按主要组合、附加组合、特殊组合进行运营、施工各阶段不同设计工况的作用组合，取

最不利工况组合进行设计,并应符合下列规定:

1 主要组合应为运营阶段永久作用与可能发生的可变作用的组合,其作用组合的效应应按下式确定:

$$S_k = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{ej} S_{Qjk} \quad (7.1.8-1)$$

式中: S_k ——作用组合的效应;

S_{Gik} ——永久作用标准值 G_{ik} 的效应;

S_{Qjk} ——可变作用标准值 Q_{jk} 的效应,其中 S_{Q1k} 为诸可变作用效应中起控制作用者,当 S_{Q1k} 无法明显判断时,轮次以各可变作用效应为 S_{Q1k} ,选其中最不利作用组合的效应设计值;

ψ_{ej} ——可变作用 Q_j 的组合值系数,应按表 7.1.3-1、表 7.1.3-2 采用。

2 附加组合应为施工阶段永久作用与可能发生的可变作用的组合,其作用组合的效应应按下式确定:

$$S_k = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + S_{Qek} + \sum_{j=2}^n \psi_{ej} S_{Qjk} \quad (7.1.8-2)$$

式中: S_{Qek} ——施工荷载(试压充水荷载、充水压力或清管水重、清管设备重等)的效应。

3 特殊组合应为运营阶段永久作用与地震作用及可能发生的可变作用的组合,应符合现行国家标准《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470 的有关规定。

7.1.9 油气输送管道按容许应力法设计,强度验算应符合下式规定:

$$\sigma \leq \eta F \sigma_s \quad (7.1.9)$$

式中: σ ——当量应力(MPa);

η ——缆索的许用拉力和钢管的许用拉应力提高系数,应按表 7.1.9 选取;

F ——强度设计系数,油气输送管道按表 3.0.3 采用;

σ_s ——钢管的屈服强度(MPa)。

表 7.1.9 许用拉应力(拉力)提高系数 η

作用组合	许用拉应力(拉力)提高系数 η		
	钢丝绳缆索	高强钢丝绳索	跨越管道
主要组合	1.0	1.0	1.0
附加组合	1.1	1.25	1.4
特殊组合	1.15	1.3	1.5

7.2 永久作用

7.2.1 管道、管道内输送介质及桥面结构的自重应为材料的重力密度与体积的乘积。

7.2.2 缆索预加力应通过对结构的应力及变形分析确定。

7.2.3 土的重力、土的侧压力及水的浮力宜按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的有关规定进行计算。

7.3 可变作用

7.3.1 跨越上部结构应计算横向风荷载,宜计算竖向风荷载。

7.3.2 垂直于跨越结构表面上的风荷载标准值应按下式计算:

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (7.3.2)$$

式中: ω_k ——跨越结构表面单位投影面积上的风荷载标准值(kN/m²);

β_z ——高度 z 处的风振系数;

μ_s ——风荷载体型系数;

μ_z ——风压高度变化系数;

ω_0 ——基本风压(kN/m²)。

7.3.3 基本风压应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定,基本风压的重现期应为 50 年。对于刚性跨越,风压不应小于 0.30kN/m²;对于柔性跨越,风压不应小于

0.35kN/m²。

7.3.4 全国各城市的基本风压值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 重现期为 50 年的值采用。当建设地点的基本风压值在现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中没有给出时,或者当地没有风速资料时,应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的计算公式确定。

7.3.5 跨越工程各构件风压计算高度可按表 7.3.5 取用。

表 7.3.5 风压计算高度(m)

结 构	计 算 高 度
主 梁	主跨桥面距水面或地表面或海面的最大高度(河流以枯水位为基准面)
吊杆、索、缆	跨中主梁底面到塔顶的平均高度处
桥塔	水面或地面上塔高 65% 高度处

7.3.6 对于平坦或稍有起伏的地形,风压高度变化系数应根据地面粗糙度类别按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定。

7.3.7 对于山区的跨越工程,风压高度变化系数应根据地形条件进行修正,采用的修正系数应符合下列规定:

- 1 对于山间盆地、谷地等闭塞地形,应取 0.75~0.85;
- 2 对于与风向一致的谷口、山口,应取 1.20~1.50。

7.3.8 当跨越结构的基本自振周期大于或等于 0.25s 时,应考虑脉动风引起的风振影响。跨越结构构件在风压计算高度 z 处的风振系数应符合下列规定:

1 对于桥面结构、缆索和管道,风压计算高度 z 处的风振系数可取 $\beta_z = 2.0$ 。

2 对于桥塔,可仅考虑结构第一振型的影响。桥塔高度 z 处的风振系数 β_z 可按下列公式计算:

$$\beta_z = 1 + 2gI_{10}B_z \sqrt{1 + R^2} \quad (7.3.8)$$

式中： g ——峰值因子，可取 2.5；

I_{10} ——10m 高度名义湍流强度，对应 A、B、C 和 D 类地面粗糙度，可分别取 0.12、0.14、0.23 和 0.39；

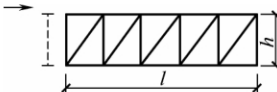
B_z ——脉动风荷载的背景分量因子，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 取值；

R ——脉动风荷载的共振分量因子，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 取值。

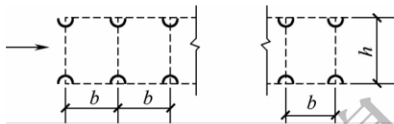
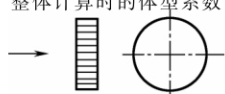
3 对于栏杆、附属设施，高度 z 处的风振系数 β_z 可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 取值。

7.3.9 桥面结构的风荷载体型系数 μ_s 可按表 7.3.9 采用。

表 7.3.9 风荷载体型系数 μ_s

项次	类别	体型及体型系数 μ_s	备注
1	桥面结构各种截面的杆件	 $\mu_s = +1.3$	适用于平面桁架桥面结构
2	桥面结构桁架	 (a) 单榀桁架的体型系数 $\mu_{st} = \phi \mu_s$ 式中：μ_s 为桁架构件的体型系数，对型钢杆件按第 1 项采用， 对圆管杆件按第 3 项采用； $\phi = A_n / A$ 为桁架的挡风系数； A_n 为桁架杆件和节点挡风的净投影面积； $A = hl$ 为桁架的轮廓面积。	适用于空间桁架桥面结构

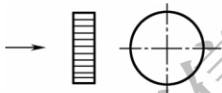
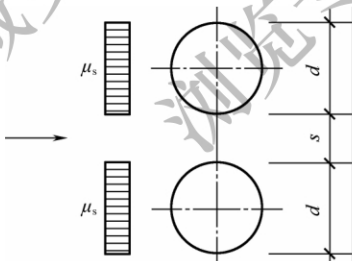
续表 7.3.9

项次	类别	体型及体型系数 μ_s	备注																																			
2	桥面结构桁架	 (b) n 榀平行桁架的整体体型系数 $\mu_{stw} = \mu_{st} \frac{1 - \eta^n}{1 - \eta}$ 式中: μ_{st} 为单榀桁架的体型系数; η 按下表采用。 <table><tr><th>ϕ \ b/h</th><th>≤ 1</th><th>2</th><th>4</th><th>6</th></tr><tr><td>≤ 0.1</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td></tr><tr><td>0.2</td><td>0.85</td><td>0.90</td><td>0.93</td><td>0.97</td></tr><tr><td>0.3</td><td>0.66</td><td>0.75</td><td>0.80</td><td>0.85</td></tr><tr><td>0.4</td><td>0.50</td><td>0.60</td><td>0.67</td><td>0.73</td></tr><tr><td>0.5</td><td>0.33</td><td>0.45</td><td>0.53</td><td>0.62</td></tr><tr><td>0.6</td><td>0.15</td><td>0.30</td><td>0.40</td><td>0.50</td></tr></table>	ϕ \ b/h	≤ 1	2	4	6	≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.2	0.85	0.90	0.93	0.97	0.3	0.66	0.75	0.80	0.85	0.4	0.50	0.60	0.67	0.73	0.5	0.33	0.45	0.53	0.62	0.6	0.15	0.30	0.40	0.50	适用于空间桁架桥面结构
ϕ \ b/h	≤ 1	2	4	6																																		
≤ 0.1	1.00	1.00	1.00	1.00																																		
0.2	0.85	0.90	0.93	0.97																																		
0.3	0.66	0.75	0.80	0.85																																		
0.4	0.50	0.60	0.67	0.73																																		
0.5	0.33	0.45	0.53	0.62																																		
0.6	0.15	0.30	0.40	0.50																																		
3	桥面结构圆截面的杆件	整体计算时的体型系数  <table><tr><th>$\mu_s \omega_0 d^2$</th><th>$H/d \geq 25$</th><th>$H/d = 7$</th><th>$H/d = 1$</th></tr><tr><td>≥ 0.015</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr><tr><td>≤ 0.002</td><td>1.2</td><td>0.8</td><td>0.7</td></tr></table> 注:1 中间值按线性插值法计算。 2 H 为杆件长度, d 为杆件直径。	$\mu_s \omega_0 d^2$	$H/d \geq 25$	$H/d = 7$	$H/d = 1$	≥ 0.015	0.6	0.5	0.5	≤ 0.002	1.2	0.8	0.7	适用于单根钢管桥面结构																							
$\mu_s \omega_0 d^2$	$H/d \geq 25$	$H/d = 7$	$H/d = 1$																																			
≥ 0.015	0.6	0.5	0.5																																			
≤ 0.002	1.2	0.8	0.7																																			

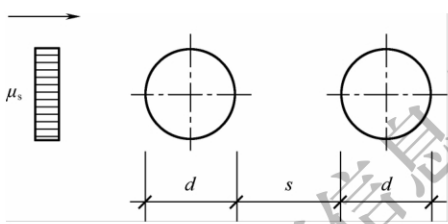
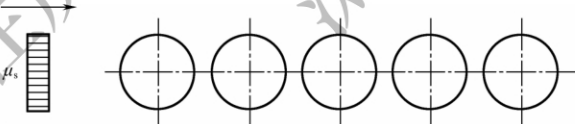
续表 7.3.9

项次	类别	体型及体型系数 μ_s	备注													
4	钢结构桥塔	(a)角钢桥塔的整体体型系数 μ_s 值: <table><tr><th>ϕ</th><th>方形</th></tr><tr><td>≤ 0.1</td><td>2.6</td></tr><tr><td>0.2</td><td>2.4</td></tr><tr><td>0.3</td><td>2.2</td></tr><tr><td>0.4</td><td>2.0</td></tr><tr><td>0.5</td><td>1.9</td></tr></table> 注:挡风系数 $\phi = \frac{\text{迎风面杆件和节点净投影面积}}{\text{迎风面轮廓面积}}$,均按桥塔迎风面的一个塔面计算。 (b)管子及圆钢桥塔的整体体型系数 μ_s 值: 当 $\mu_s \omega_0 d^2 \leq 0.003$ 时, μ_s 值按角钢桥塔的 μ_s 值乘以 0.8 采用; 当 $\mu_s \omega_0 d^2 \geq 0.02$ 时, μ_s 值按角钢桥塔的 μ_s 值乘以 0.6 采用; 当 $0.003 < \mu_s \omega_0 d^2 < 0.02$ 时, μ_s 值按插入法计算。 当桥塔结构由不同类型截面组合而成时,应按不同类型杆件迎风面积加权平均选用 μ_s 值。	ϕ	方形	≤ 0.1	2.6	0.2	2.4	0.3	2.2	0.4	2.0	0.5	1.9	—	
ϕ	方形															
≤ 0.1	2.6															
0.2	2.4															
0.3	2.2															
0.4	2.0															
0.5	1.9															
5	混凝土桥塔	整体计算时的体型系数 μ_s 值: <table><tr><th rowspan="2">截面</th><th rowspan="2">风向</th><th colspan="3">H/d</th></tr><tr><th>25</th><th>7</th><th>1</th></tr><tr><td>正方形</td><td>垂直于一边</td><td>2</td><td>1.4</td><td>1.3</td></tr></table> 注: H 为塔柱高度, d 为塔柱宽度。	截面	风向	H/d			25	7	1	正方形	垂直于一边	2	1.4	1.3	—
截面	风向	H/d														
		25	7	1												
正方形	垂直于一边	2	1.4	1.3												

续表 7.3.9

项次	类别	体型及体型系数 μ_s	备注																
6	缆索	当 $\mu_x \omega_0 d^2 \leq 0.003$ 时, $\mu_s = 1.2$; 当 $\mu_x \omega_0 d^2 \geq 0.02$ 时, $\mu_s = 0.7$; 当 $0.003 < \mu_x \omega_0 d^2 < 0.02$, μ_s 按插入法计算。	—																
7	单根管道	 <table><tr><th>$\mu_x \omega_0 d^2$</th><th>$L/d \geq 25$</th><th>$L/d = 7$</th><th>$L/d = 1$</th></tr><tr><td>≥ 0.015</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr><tr><td>≤ 0.002</td><td>1.2</td><td>0.8</td><td>0.7</td></tr></table> 注:表中的中间值按线性插值法计算。L 为管道长度, d 为管道直径。	$\mu_x \omega_0 d^2$	$L/d \geq 25$	$L/d = 7$	$L/d = 1$	≥ 0.015	0.6	0.5	0.5	≤ 0.002	1.2	0.8	0.7	—				
$\mu_x \omega_0 d^2$	$L/d \geq 25$	$L/d = 7$	$L/d = 1$																
≥ 0.015	0.6	0.5	0.5																
≤ 0.002	1.2	0.8	0.7																
8	上下双管	 <table><tr><th>s/d</th><th>≤ 0.25</th><th>0.5</th><th>0.75</th><th>1.0</th><th>1.5</th><th>2.0</th><th>≥ 3.0</th></tr><tr><th>μ_s</th><td>+1.20</td><td>+0.90</td><td>+0.75</td><td>+0.70</td><td>+0.65</td><td>+0.63</td><td>+0.60</td></tr></table> 注:1 本表适用于 $\mu_x \omega_0 d^2 \geq 0.015$ 的情况;当 $\mu_x \omega_0 d^2 \leq 0.002$ 时, $\mu_s = 1.7$; 当 $0.002 < \mu_x \omega_0 d^2 \leq 0.015$ 时,采用内插法计算。 2 当上下双管中的管径不一致时,以最大管径计算体型系数。	s/d	≤ 0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	≥ 3.0	μ_s	+1.20	+0.90	+0.75	+0.70	+0.65	+0.63	+0.60	—
s/d	≤ 0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	≥ 3.0												
μ_s	+1.20	+0.90	+0.75	+0.70	+0.65	+0.63	+0.60												

续表 7.3.9

项次	类别	体型及体型系数 μ_s	备注																		
9	前后双管	 <table data-bbox="248 566 823 652"><tr><td>s/d</td><td>≤ 0.25</td><td>0.5</td><td>1.5</td><td>3.0</td><td>4.0</td><td>6.0</td><td>8.0</td><td>≥ 10.0</td></tr><tr><td>μ_s</td><td>+0.68</td><td>+0.86</td><td>+0.94</td><td>+0.99</td><td>+1.08</td><td>+1.11</td><td>+1.14</td><td>+1.20</td></tr></table> 注:1 本表适用于 $\mu_z \omega_0 d^2 \geq 0.015$ 的情况;当 $\mu_z \omega_0 d^2 \leq 0.002$ 时, $\mu_s = 1.7$; 当 $0.002 < \mu_z \omega_0 d^2 \leq 0.015$ 时,采用内插法计算。 2 前后双管的 μ_s 值为前后两管之和,其中前管为 0.6。 3 当前后双管中的管径不一致时,以最小管径计算体型系数。	s/d	≤ 0.25	0.5	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	≥ 10.0	μ_s	+0.68	+0.86	+0.94	+0.99	+1.08	+1.11	+1.14	+1.20	—
s/d	≤ 0.25	0.5	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	≥ 10.0													
μ_s	+0.68	+0.86	+0.94	+0.99	+1.08	+1.11	+1.14	+1.20													
10	密排多管	 $\mu_s = +1.4$ 注:1 本图适用于 $\mu_z \omega_0 d^2 \geq 0.015$ 的情况;当 $\mu_z \omega_0 d^2 \leq 0.002$ 时, $\mu_s = 1.7$; 当 $0.002 < \mu_z \omega_0 d^2 \leq 0.015$ 时,采用内插法计算。 2 密排多管的 μ_s 值为各管的总和。	—																		
11	栏杆	同项次 2	—																		
12	附属设施	1.3~2.0	—																		

7.3.10 雪荷载标准值应按下式计算：

$$S_k = K\mu_r S_0 \quad (7.3.10-1)$$

$$K = \gamma_a A_b / A_1 \quad (7.3.10-2)$$

式中： S_k ——雪荷载标准值(kN/m²)；

K ——桥面的镂空系数；

μ_r ——积雪分布系数，取 1.0；

S_0 ——基本雪压(kN/m²)，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 重现期 R 为 50 年的值采用，当无实测资料时，山区按当地临近空旷平坦地面的雪荷载值乘以系数 1.2 取用；

γ_a ——镂空折减系数，当管道投影面积 $A_b \leq 0.8$ 时， γ_a 取 0.9，双层桥的下层桥面 γ_a 取 0.5，走道板位于两管道之间时，取 $\gamma_a = 1$ ；

A_b ——型钢、管道及走道板在计算桥面的投影面积；

A_1 ——计算桥面轮廓总面积。

7.3.11 覆冰荷载应符合现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 的有关规定。

7.3.12 清管荷载应根据动力分析确定，结构计算时应分析清管作用对桥面和缆索的整体及局部的影响。

7.3.13 对于不设置检修通道的跨越，检修荷载宜取 4kN 的集中荷载布置在桥面的最不利位置；对于设置检修通道的跨越，当检修通道宽度大于或等于 1m 时，检修荷载宜取 0.8kN/m²，当检修通道宽度小于 1m 时，检修荷载宜取 1.0kN/m²。均布荷载的分布长度宜为 20m~30m，分布在桥面的最不利位置。

7.3.14 对于有多条检修通道的情况，最多可同时考虑两条检修通道的检修荷载。

7.3.15 对于运营期间管道换管或更换吊索等工况，施工荷载应单独计算。

7.3.16 温度作用应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB

50009 的有关规定计算。

7.3.17 流水压力应按本标准第 9.2.8 条执行。

7.3.18 冰压力应按本标准第 9.2.9 条执行。

7.4 偶然作用和地震作用

7.4.1 船只、漂流物的撞击作用标准值应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的有关规定。

7.4.2 地震作用标准值应符合现行国家标准《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

8 结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 结构形式及跨度布置应根据受力条件、基础形式、水文特征和地质条件等,进行技术经济比较确定。

8.1.2 跨度确定应符合下列规定:

1 跨度应符合防洪、泄洪、通航及疏浚整治规划规定,并应考虑跨越上下游已建或拟建建(构)筑物对河床的影响;

2 对于通航河流,跨度应符合现行国家标准《内河通航标准》GB 50139 的有关规定。

8.1.3 跨越结构传力途径应简洁、明确,并宜采用对称结构。

8.1.4 河床中设计洪水位以下的支承结构宜采用钢筋混凝土结构。

8.1.5 大型跨越的锚固墩宜采用重力式混凝土或钢筋混凝土结构,可同时辅以锚杆等措施。

8.2 结构变形

8.2.1 在永久作用和可变作用标准值作用下,刚性跨越主梁跨中挠度不应大于受弯构件的跨度的 $1/400$ 。

8.2.2 在永久作用和可变作用标准值作用下,管道跨越工程中固定钢塔架、桅杆式钢塔架平面外方向的最大水平位移不应大于塔架高度的 $1/200$ 。

8.2.3 在永久作用和可变作用标准值作用下,管道跨越工程中钢筋混凝土塔架最大水平位移不应大于塔架高度的 $1/200$ 。

8.3 管道强度及稳定性计算

8.3.1 管道输送介质内压引起的环向应力应按下式计算:

$$\sigma_h = \frac{Pd}{2\delta} \quad (8.3.1)$$

式中： σ_h ——管道输送介质内压引起的环向应力(MPa)；

P ——管道输送介质内压(MPa)；

d ——管道内径(mm)；

δ ——管道壁厚(mm)。

8.3.2 管道的轴向应力应符合下列规定：

1 管道输送介质内压引起的轴向应力应按下列公式计算：

$$\sigma_{a1} = 0.5\sigma_h \quad (8.3.2-1)$$

式中： σ_{a1} ——管道输送介质内压引起的轴向应力(MPa)。

2 桥面荷载效应组合引起的弯曲应力应按下列公式计算：

$$\sigma_{a2} = \frac{M}{W} \quad (8.3.2-2)$$

式中： σ_{a2} ——桥面荷载效应组合引起的弯曲应力(MPa)；

M ——桥面荷载效应组合产生的弯矩(N·mm)；

W ——管道净截面抵抗矩(mm³)。

3 管道弯曲引起的轴向应力应按下列公式计算：

$$\sigma_{a3} = \frac{4EDf}{L^2 + 4f^2} \quad (8.3.2-3)$$

式中： σ_{a3} ——管道悬垂引起的轴向应力(MPa)；

E ——钢材弹性模量(N/mm²)；

D ——管道外径(mm)；

f ——矢高(mm)；

L ——跨度水平长度(mm)。

4 跨越结构应进行温度补偿，补偿后的温度应力应按下列公式计算：

$$\sigma_{at} = \frac{F_t}{A} \quad (8.3.2-4)$$

式中： σ_{at} ——温度变化引起的轴向应力(MPa)；

F_t ——温度变化引起的弹性力(N)；

A ——管道截面面积(mm^2)。

5 两端固定管道的温度应力应按下式计算：

$$\sigma_{at} = \alpha E \Delta t \quad (8.3.2-5)$$

式中： σ_{at} ——温度变化引起的轴向应力(MPa)；

α ——钢管线膨胀系数($1/^\circ\text{C}$)，可按表 5.3.7 采用；

E ——钢材弹性模量(N/mm^2)；

Δt ——温差($^\circ\text{C}$)。

8.3.3 管道最大剪应力应按下式计算：

$$\tau_{\max} = \frac{2V}{A} \quad (8.3.3)$$

式中： $\tau_{\max}$ ——管道剪切引起的最大剪应力(MPa)；

V ——管道剪力(N)；

A ——管道截面面积(mm^2)。

8.3.4 当量应力应按下式计算：

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (8.3.4)$$

式中： σ ——当量应力(MPa)；

σ_x 、 σ_y —— x 、 y 方向的应力(MPa)；

τ_{xy} —— xy 平面上的剪应力(MPa)。

8.3.5 强度验算应符合本标准第 7.1.9 条的规定。

8.4 温度补偿及桥面设施

8.4.1 管道跨越应进行温度补偿设计，管段宜利用自身补偿能力；当不能满足热变形要求时，应采用补偿器，补偿器宜水平设置，并应满足清管设备及检测仪器能顺利通过的要求。

8.4.2 补偿器与直管段连接最后一个焊口时，应选择在当地最佳温差条件下焊接，当不能满足最佳温差条件下焊接时，应进行补偿器的预拉伸(压缩)。

8.4.3 补偿器弯管宜采用热煨弯管，弯管的曲率半径应大于或等于管道外径的 5 倍。

8.4.4 补偿器采用弯管组焊时,两弯管之间应采用直管段连接,直管段长度不得小于管道外径的 1.5 倍,且不得小于 500mm。

8.4.5 管道热伸长量计算应按下式计算:

$$\Delta L = L\alpha(t_2 - t_1) \quad (8.4.5)$$

式中: ΔL ——管道热伸长量(m);

L ——计算管长(m);

α ——管道的线膨胀系数($1/^\circ\text{C}$),应按表 5.3.7 采用;

t_2 ——管道内介质温度($^\circ\text{C}$);

t_1 ——管道设计安装温度($^\circ\text{C}$)。

8.4.6 补偿器应力计算应综合分析温度变化和管道内压的共同作用。

8.4.7 通航河流上的跨越工程应设置警示装置,配电电缆应选用加强绝缘型,照明灯具应选用防爆防水型,有条件的地区宜采用太阳能灯具。

8.4.8 跨越工程防雷接地应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的有关规定。

8.4.9 大中型跨越工程宜设置人行检修通道,通道应设置栏杆,栏杆高度不应小于 1200mm,横杆与上下构件的间距不应大于 380mm。通道应设置阻断设施,并应设置警示标志。桥面宽度应符合管道和检修通道布置的要求。多层的桥面结构,检修通道的净空高度不宜小于 1900mm。

8.4.10 跨越管段支承点宜做成滑动支座或弹性支座。管道两端预埋入两岸锚固墩时,在锚固墩与管道交接处应采取加强措施。

8.5 缆 索

8.5.1 管道跨越工程采用的钢丝绳应在施工前进行消除非弹性变形的预张拉,预张拉应符合现行行业标准《公路悬索桥吊索》JT/T 449 的有关规定,预张拉荷载应为钢丝绳公称破断荷载的 55%,持荷时间不应小于 60min,预张拉次数不应少于三次,应以

消除非弹性变形为准。判别非弹性变形的标准是最后两次预张拉的非弹性变形量之差不应小于预张拉长度的 0.15%。

8.5.2 跨越工程中采用的钢丝绳索应在设计拉力状态下进行标记,下料宜在工厂进行。

8.5.3 缆索强度验算应符合下式规定:

$$P \leq [P] \quad (8.5.3)$$

式中: P ——缆索设计拉力(kN);

$[P]$ ——缆索许用拉力(kN)。

8.5.4 缆索许用拉力应按下式计算:

$$[P] = \eta F P_b \quad (8.5.4)$$

式中: η ——缆索的许用拉力提高系数,应根据不同的作用组合按本标准表 7.1.9 采用;

F ——缆索强度设计系数,采用 0.40~0.45;

P_b ——缆索的公称破断拉力(kN)。

8.6 锚具及连接件

8.6.1 锚具及连接件应进行强度设计及疲劳分析设计,并应符合现行行业标准《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05 和《钢制压力容器分析设计标准》JB 4732 的有关规定。

8.6.2 锚具及连接件计算采用的安全系数不应低于相连缆索的安全系数。

8.6.3 螺纹连接部件应符合现行国家标准《普通螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角》GB/T 3 或《梯形和锯齿形螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角》GB/T 32537 的有关规定;螺纹表面应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分:磁粉检测》NB/T 47013.4 的规定进行磁粉检测,Ⅰ级合格。

8.6.4 锚具和缆索索体应进行型式检验,型式检验的项目、检验方法和判定规则应符合现行行业标准《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》JT/T 775、《悬索桥预制主缆丝股技术条件》JT/T 395 和《公

路悬索桥吊索》JT/T 449 的有关规定。

8.6.5 锚具及连接件的制造和检验应符合下列规定：

1 锚具及连接件的制造和检验应在具备相应资质证书和类似产品生产经验的制造厂进行；

2 锚具及连接件采用的材料应提供材质证明书；

3 制造厂应按设计文件和相关标准要求对材料进行复验，复验项目应至少包括材料的化学成分、力学性能和无损检测。

8.7 钢塔架和钢桁架

8.7.1 跨越工程的塔架结构形式和高度应根据场地的地形地貌、工程地质、水文地质、通航条件、支承结构本身的高度、受力特征及施工条件确定。

8.7.2 钢塔架和钢桁架的设计应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定。

8.7.3 钢塔架宜采用矩形钢塔架或锥形钢塔架。

8.7.4 钢塔架高度与底部宽度之比宜为 5~7。

8.7.5 钢塔架宜采用“K”形或再分式腹杆体系，在主水平腹杆处应设置横隔。

8.7.6 钢塔架的立柱、塔顶水平腹杆宜采用钢管，其他杆件可采用型钢。

8.7.7 在计算塔架的自振周期时，应分析桥面结构在正常使用状态下垂直荷载的影响。

8.7.8 焊缝连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。

8.7.9 桅杆式钢塔架的设计与施工应考虑桥面永久作用下的位移量。

8.8 混凝土塔架

8.8.1 混凝土塔架结构形式宜选用门式结构。

8.8.2 混凝土塔架应对施工阶段、运营阶段的裸塔状态、成桥状态分别进行纵、横两个方向的结构内力和变形计算。施工阶段的各荷载组合工况应与施工流程的划分一致,并应考虑施工过程中不平衡荷载的作用。

8.8.3 混凝土塔架的计算模型应符合下列规定:

- 1 裸塔状态宜简化为下端固接、顶端自由的悬臂结构;
- 2 成桥状态宜采用有限元进行全桥整体分析。

8.8.4 混凝土塔架的截面设计和构造要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

8.8.5 钢筋混凝土塔架的混凝土强度等级不宜低于 C30,且应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的有关规定。

8.8.6 桥塔塔柱竖向受力钢筋和箍筋应符合下列规定:

- 1 竖向受力钢筋的直径不宜小于 25mm,钢筋接头宜采用机械接头;
- 2 竖向受力钢筋的截面积不应小于混凝土截面积的 1%;
- 3 箍筋直径不应小于 16mm,间距不应大于 200mm。

8.9 锚碇设计

8.9.1 锚碇根据场地地形、地质条件可采用重力式锚碇、隧道式锚碇或岩锚。

8.9.2 重力式锚碇设计应符合下列规定:

- 1 锚碇应进行下列计算:
 - 1) 地基承载力计算,应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定,且锚碇基底前后端不应出现拉应力;
 - 2) 整体抗倾覆和抗滑稳定性计算,应按本标准第 9.2.4 条的规定进行;
 - 3) 锚碇抗剪承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构

设计规范》GB 50010 的有关规定；

- 4) 锚面混凝土局部承压承载力计算,应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

2 锚碇基础设计应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

3 锚碇大体积混凝土应符合现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的有关规定。

8.9.3 隧道式锚碇设计应符合下列规定：

- 1 锚塞体宜设计成前小后大的楔形体的形状,横断面顶部可采用圆弧形,侧壁和底部可采用直线形；

- 2 锚塞体截面尺寸应根据锚固系统类型和索股锚固构造布置确定,锚塞体长度应根据断面尺寸、索股拉力、锚塞体倾角、围岩受力等因素综合确定；

- 3 锚塞体应进行抗拔稳定性计算,洞壁应进行混凝土抗压承载力计算；

- 4 锚塞体宜采用微膨胀抗渗混凝土,混凝土抗渗等级不宜低于 P8；

- 5 隧道洞室的支护、衬砌、洞门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 的有关规定。

8.9.4 岩锚设计应符合下列规定：

- 1 岩孔宜设置为斜孔,孔长应根据索股拉力和孔壁围岩体强度计算确定；

- 2 当岩锚钢绞线直接穿在岩孔内时,应从结构和防护体系两方面采取措施满足耐久性要求。

8.9.5 锚碇设计应符合下列构造要求：

- 1 锚碇设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 规定的耐久性设计要求,锚固系统应采取有效的防腐措施；

- 2 锚面尺寸应根据锚固系统类型和索股锚固构造布置确定，

锚面上的锚固点间距应满足千斤顶布置及操作空间的需要；

3 锚室的大小应满足施工安装及养护维修空间的要求；

4 锚室的防水等级应为一级,防水设计应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关规定；

5 锚室洞门外应布设有效的防、排水系统。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

9 桥墩设计

9.1 一般规定

9.1.1 桥墩应根据工程地质、水文地质、管道跨越结构形式和施工条件等因素确定,宜采用扩展基础桥墩、重力式桥墩以及柱式桥墩。

9.1.2 跨越结构的桥墩基础均应进行强度计算,必要时还应进行抗拔、抗滑移和抗倾覆的验算,同时进行地基承载力验算。

9.1.3 桥墩基础位于地质情况复杂、土质不均匀及承载力较差的地基上时,应进行地基沉降计算。

9.1.4 基础的变形允许值应符合下列规定:

- 1 桥塔基础的倾斜值不应大于 0.004;
- 2 基础的沉降差值应满足上部结构受力的要求。

9.1.5 管道跨越工程的基础埋深应符合下列规定:

- 1 基础的基底应置于冰冻线以下,且不应小于 0.3m;
- 2 除岩石地基外,基底埋置应在设计冲刷线以下,大型跨越工程不应小于 2m,中型跨越工程不应小于 1.5m,小型跨越工程不应小于 1m;

3 当为岩石地基时,基础宜嵌入稳定岩层;

4 当基础置于季节性冻胀土层中时,基础的最小埋置深度应按现行行业标准《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118 的规定进行计算。

9.1.6 在同一桥墩基础中,不宜同时采用摩擦桩和端承桩,不宜采用直径不同、材料不同和桩端深度相差过大的桩。

9.1.7 桩基承台的底面标高应符合下列规定:

- 1 冻胀土地区,承台底面在土中时,埋置深度应符合本标准

第 9.1.6 条的有关规定；

2 有流冰的河流，标高应在最低冰层底面以下不小于 0.25m；

3 当有流筏、其他漂流物或船舶撞击时，承台底面标高应保证桩不受直接撞击损伤。

9.2 桥墩地基基础设计

9.2.1 盖梁的设计应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定进行设计计算。

9.2.2 柱式桥墩的柱身设计应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 或《钢结构设计规范》GB 50017 的规定进行设计计算。

9.2.3 除桩基础外，管道跨越工程各类桥墩地基承载力、基础底面压力及基础沉降量应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行计算。

9.2.4 基础的稳定性计算应符合下列规定：

1 基础的抗倾覆稳定应按下列公式计算：

$$k_0 = \frac{s}{e_0} \quad (9.2.4-1)$$

$$e_0 = \frac{\sum P_i e_i + \sum H_i h_i}{\sum P_i} \quad (9.2.4-2)$$

式中： k_0 ——基础抗倾覆稳定性系数，当采用容许应力法设计时，主要组合作用下 $k_0 \geq 1.5$ ，附加组合作用下 $k_0 \geq 1.35$ ，特殊组合作用下 $k_0 \geq 1.2$ ，当采用极限状态设计法时 $k_0 \geq 1.5$ ；

s ——在界面重心至合力作用点的延长线上，自截面重心至验算倾覆轴的距离(m)；

e_0 ——所有外力的合力在验算截面的作用点对基底重心轴的偏心距；

P_i ——当采用容许应力法设计时,分别对应于 k_0 的主要组合效应值、附加组合效应值和特殊组合效应值的竖向力,当采用极限状态设计法时为不考虑其分项系数和组合系数的作用标准值组合或偶然组合(地震除外)标准值组合引起的竖向力(kN);

e_i ——竖向力 P_i 对验算截面重心的力臂(m);

H_i ——当采用容许应力法设计时,分别对应于 k_0 的主要组合效应值、附加组合效应值和特殊组合下效应值的水平力,当采用极限状态设计法时为不考虑其分项系数和组合系数的作用标准值组合或偶然组合(地震除外)标准值组合引起的水平力(kN);

h_i ——水平力对验算截面的力臂(m)。

2 基础的抗滑稳定性系数应按下式计算:

$$k_c = \frac{\mu \sum P_i + \sum H_{ip}}{\sum H_{ia}} \quad (9.2.4-3)$$

式中: k_c ——基础的抗滑动稳定性系数,当采用容许应力法设计时,主要组合作用下 $k_0 \geq 1.3$,附加组合作用下 $k_0 \geq 1.2$,特殊组合作用下 $k_0 \geq 1.15$,当采用极限状态设计法时 $k_0 \geq 1.3$;

μ ——基础底面与地基土之间的摩擦系数,通过试验确定;

$\sum P_i$ ——当采用容许应力法设计时,分别对应于 k_c 的主要组合效应值、附加组合效应值和特殊组合效应值的竖向力总和,当采用极限状态设计法时为不考虑其分项系数和组合系数的作用标准值组合或偶然组合(地震除外)标准值组合引起的竖向力总和(kN);

$\sum H_{ip}$ ——抗滑稳定水平力总和;

$\sum H_{ia}$ ——滑动水平力总和。

注: $\sum H_{ip}$ 和 $\sum H_{ia}$ 分别为两个相对方向的各自水平力总和,绝对值较大者为滑动水平力 $\sum H_{ia}$,另一为抗滑稳定力 $\sum H_{ip}$, $\mu \sum P_i$ 为

抗滑动稳定力。当采用容许应力法设计时,分别对应于 k_c 的主要组合效应值、附加组合效应值和特殊组合下效应值的水平力总和。当采用极限状态设计法时为不考虑其分项系数和组合系数的作用标准组合或偶然组合(地震除外)标准值组合引起的水平力总和(kN)。

9.2.5 基础底面在标准组合下不应出现零应力区。

9.2.6 桩基应根据具体情况进行承载能力计算和稳定性验算,必要时应进行沉降计算、水平位移计算及抗裂验算,应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

9.2.7 处于河中的桥墩,除应分析恒荷载、活荷载、风荷载和地震效应之外,还应分析流水压力、冰压力、船只或漂流物的撞击作用。在工程设计时,冰压力、船舶或漂流物的撞击作用不应同时计算。

9.2.8 作用在桥墩上的流水压力标准值可按下式计算,流水压力合力的着力点假定在设计水位线以下 0.3 倍水深处。

$$F_w = KA \frac{\gamma v^2}{2g} \quad (9.2.8)$$

式中: F_w ——流水压力标准值(kN);

K ——桥墩形状系数,可按表 9.2.8 采用;

A ——桥墩的阻水面积(m^2),计算至一般冲刷线处;

γ ——水的重力密度(kN/m^3);

v ——设计流速(m/s);

g ——重力加速度,取 $9.81m/s^2$ 。

表 9.2.8 桥墩形状系数

桥墩形状	桥墩形状系数
方形桥墩	1.5
矩形桥墩(长边与水流平行)	1.3
圆形桥墩	0.8
尖端形桥墩	0.7
圆端形桥墩	0.6

9.2.9 具有竖向前棱的桥墩,冰压力应符合下列规定:

1 冰对桩或墩产生的冰压力标准值可按下式计算：

$$F_i = mC_t b t R_{ik} \quad (9.2.9-1)$$

式中： F_i ——冰压力标准值(kN)；

m ——桩或墩迎冰面形状系数，可按表 9.2.9-1 采用；

C_t ——冰温系数，可按表 9.2.9-2 采用；

b ——桩或墩迎冰面投影宽度(m)；

t ——计算冰厚(m)，可取实际调查的最大冰厚；

R_{ik} ——冰的抗压强度标准值(kN/m²)，可取当地冰温 0℃时的冰抗压强度，当缺乏实测资料时，海冰可取 750kN/m²，河冰在流冰开始时可取 750kN/m²，在最高流冰水位时可取 450kN/m²。

表 9.2.9-1 桩或墩迎冰面形状系数

形状 迎冰面	平面	圆弧形	尖角形的迎冰面角度				
			45°	60°	75°	90°	120°
桩或墩迎冰面形状系数	1.00	0.90	0.54	0.59	0.64	0.69	0.77

表 9.2.9-2 冰温系数

冰温(℃)	0	-10 及以下
冰温系数	1.0	2.0

注：1 表中冰温系数可直线内插。

2 对海冰，冰温应取结冰期最低冰温；对河冰，冰温应取解冻期最低冰温。

1) 当冰块流向桥轴线的角度 $\varphi \leq 80^\circ$ 时，桥墩竖向边缘的冰荷载应乘以 $\sin\varphi$ 予以折减；

2) 冰压力合力应作用在计算结冰水位以下 0.3 倍冰厚处。

2 当流冰范围内桥墩有倾斜表面时，冰压力应分解为水平分力和竖向分力，且应按下列公式计算：

$$\text{水平分力 } F_{xi} = m_0 C_t R_{ik} t^2 \tan\beta \quad (9.2.9-2)$$

$$\text{竖向分力 } F_{zi} = F_{xi} / \tan\beta \quad (9.2.9-3)$$

式中： F_{xi} ——冰压力的水平分力(kN)；

F_{zi} ——冰压力的垂直分力(kN)；

m_0 ——系数，可取 $0.2b/t$ ，但不应小于 1.0；

R_{bk} ——冰的抗弯强度标准值(kN/m²)，可取 $0.7R_{ik}$ ；

β ——桥墩倾斜的棱边与水平线的夹角(°)。

3 桥墩受冰作用的部位宜采用实体结构。对于有强烈流冰的河流中的桥墩、柱，其迎冰面宜做成圆弧形、多边形或尖角，并应做 3：1~10：1(竖：横)的斜度，在受冰作用的部位宜缩小其迎冰面投影宽度。

4 对流冰期的设计高水位以上 0.5m 到设计低水位以下 1.0m 的部位宜采取抗冻性混凝土或花岗岩镶面或包钢板等防护措施。同时，对桥墩附近的冰体宜采取使冰体减小对结构物作用力的措施。

9.2.10 通航水域中的桥墩，设计时应考虑船舶的撞击作用，其撞击作用设计值可按下列规定采用：

1 船舶的撞击作用设计值宜按专题研究确定。

2 四至七级内河航道，当缺乏实际调查资料时，船舶撞击作用的设计值可按表 9.2.10-1 取值，航道内的钢筋混凝土桩墩，顺桥向撞击作用可按表 9.2.10-1 所列数值的 50% 取值。

表 9.2.10-1 内河船舶撞击作用设计值

内河航道等级	船舶吨级 DWT(t)	横桥向撞击作用(kN)	顺桥向撞击作用(kN)
四	500	550	450
五	300	400	350
六	100	250	200
七	50	150	125

3 当缺乏实际调查资料时，海轮撞击作用的设计值可按表 9.2.10-2 取值。

表 9.2.10-2 海轮撞击作用设计值

船舶吨级 DWT(t)	3000	5000	7500	10000	20000	30000	40000	50000
横桥向撞击 作用(kN)	19600	25400	31000	35800	50700	62100	71700	80200
顺桥向撞击 作用(kN)	9800	12700	15500	17900	25350	31050	35850	40100

4 规划航道内可能遭受大型船舶撞击作用的桥墩,应根据桥墩的自身抗撞击能力、桥墩的位置和外形、水流流速、水位变化、通航船舶类型和碰撞速度等因素做桥墩防撞设施的设计。当设有与墩台分开的防撞击的防护结构时,桥墩可不计船舶的撞击作用。

5 内河船舶的撞击作用点,可假定为计算通航水位线以上 2m 的桥墩宽度或长度的中点。海轮船舶撞击作用点应视实际情况而定。

6 有漂流物的水域中的桥墩,设计时应考虑漂流物的撞击作用,其横桥向撞击力设计值可按下式计算,漂流物的撞击作用点假定在计算通航水位线上桥墩宽度的中点:

$$F = \frac{Wv}{gT} \quad (9.2.10)$$

式中: F ——漂浮物撞击力(kN);

W ——漂流物重力(kN),应根据河流中漂流物的情况,按实际调查确定;

v ——水流速度(m/s);

g ——重力加速度,取 9.81m/s^2 ;

T ——撞击时间(s),应根据实际资料估计,在无实际资料时,可取 1s。

9.3 桥墩基础构造要求

9.3.1 重力式桥墩的构造应符合现行行业标准《公路圬工桥涵设

计规范》JTG D61 的有关规定。

9.3.2 除桩基础外,桥墩基础的构造应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

9.3.3 桥墩的柱身构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

9.3.4 桩基础桥墩的桩基础及承台的构造应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

10 构造要求

10.1 一般规定

10.1.1 跨越管段在入土点有水流冲击可能的位置,宜采取保护管段的措施。

10.1.2 跨越的桥面构造应能适应各种工况下结构变形的影响。

10.1.3 桥面结构端部应设置竖向支座、横向支座以及纵向限位支座,支座应符合桥面结构纵向水平位移、竖直平面转角及横向水平面转角的变形等要求。

10.2 结构防护

10.2.1 钢塔架的顶部及跨越管道补偿器处宜设置检修平台。检修平台之间的高差大于 20m 时,应增设休息平台,休息平台间距不宜大于 20m。

10.2.2 同桥敷设的管道,管道外防腐层之间的距离不宜小于 500 mm,且应满足管道安装与检修要求。当油管道和气管道同桥敷设时,油管道与气管道的外防腐层之间的距离不宜小于 500mm。

10.3 缆索、锚具及连接件

10.3.1 主缆预制平行钢丝索股构造应符合现行行业标准《悬索桥预制主缆丝股技术条件》JT/T 395 的有关规定。

10.3.2 钢丝拉索构造应符合现行国家标准《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》GB/T 18365 的有关规定。

10.3.3 钢丝和钢丝绳吊索构造应符合现行行业标准《公路悬索

桥吊索》JT/T 449 的有关规定。

10.3.4 挤压锚固钢绞线拉索构造应符合现行行业标准《挤压锚固钢绞线拉索》JT/T 850 的有关规定。

10.3.5 钢绞线斜拉索构造应符合现行国家标准《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》GB/T 30826 的有关规定。

10.3.6 规格相同的锚具及连接件,应具有互换性。

10.3.7 主缆在安装连接件的位置需要剥除防护层时,应在连接件两端与防护层之间的缝隙采取密封措施。

10.3.8 全桥索夹宜采用相同的对合结构形式。

10.4 结构防腐

10.4.1 跨越工程采用的钢构件表面应采用耐环境腐蚀、耐日晒、耐寒、抗紫外线作用的防腐涂层。构件设计中应避免难以检查、清刷,积留湿气或灰尘死角和凹槽。

10.4.2 跨越工程采用的钢丝绳需现场保护时,钢丝绳表面油膜及污泥应清理干净,并应在钢丝绳及锚具表面包扎或热涂防腐保护层,采用的防腐材料应为不含酸、碱的中性材料,与钢丝绳粘结性能应良好,在当地最高温度条件下不应流淌,最低温度条件下不应龟裂。

10.4.3 在缆索体系设计中,应对缆索进行合理的防腐保护,满足缆索整体的设计使用年限要求。

10.4.4 锚具应具有保证锚具内部钢丝或钢绞线不受有害物质侵入的良好密封性能。

10.4.5 成品缆索宜采用热挤聚乙烯防腐,材料及施工方法应符合现行国家标准《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》GB/T 18365 的规定。

10.4.6 螺纹调整式锚具应采用热镀锌或电镀锌防腐,热镀锌锌层厚度应为 $90\mu\text{m}\sim 120\mu\text{m}$,电镀锌锌层厚度应为 $20\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$,电镀锌件在镀后应做脱氢处理。

10.4.7 锚具、连接件、管道锚固法兰等结构构件应进行防锈处理,在运输和储存中应避免锈蚀、污染和机械损伤。

10.4.8 锚具和连接件在施工完成后应进行防腐处理。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

11 抗震设计

11.0.1 管道跨越工程的抗震计算、构造措施和材料要求,应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《构筑物抗震设计规范》GB 50191 和《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470 的有关规定。

11.0.2 跨越结构应按场地地震动参数进行抗震设计,其中大型跨越结构应按 1.3 倍的场地地震动峰值加速度计算地震作用。跨越主体结构应按高于本地区场地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 $0.4g$ 的地段时,应按比 $0.4g$ 地段更高的要求采取抗震措施。

11.0.3 当场地地震动峰值加速度等于 $0.05g$ 时,可不进行抗震作用计算,但应采取抗震措施;当场地地震动峰值加速度为 $0.1g \sim 0.4g$ 时,应进行抗震作用计算和采取抗震措施。

11.0.4 大型管道跨越工程应按地震安全评价报告提供的地震动参数进行计算。

11.0.5 有液化土层的建设场地不宜建设管道跨越工程,无法避开液化土层时,应将基础置于液化土层以下或进行地基处理。

11.0.6 当管道跨越断层时,桥墩基础不应设置在严重破碎带上。

11.0.7 桥面结构端部宜设置纵向限位防撞装置,有条件时,可设置液压缓冲系统或粘滞阻尼器。

11.0.8 质量和刚度分布比较均匀的刚性跨越,可采用单质点简化方法进行抗震计算。

11.0.9 跨越结构宜采用振型分解反应谱法进行抗震计算。

11.0.10 受力复杂的跨越结构宜采用时程分析法进行抗震计算,设计依据可取多条时程曲线计算结果的平均值与振型分解反应谱

法计算结果的较大值。

11.0.11 对柔性跨越结构进行抗震计算时,应采用几何非线性弹性的分析模型。

11.0.12 在抗震计算中,应分析非结构构件、介质的附加质量对跨越结构抗震性能的影响。

12 跨越管段焊接、试压及防腐

12.1 焊接、检验

12.1.1 管道焊接应符合现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253、《输气管道工程设计规范》GB 50251、《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369 和《油气田集输管道施工规范》GB 50819 的有关规定。

12.1.2 跨越管道的对接接头焊缝应进行 100%射线探伤检验和 100%超声波探伤检验。

12.1.3 采用射线探伤检验和超声波探伤检验应按现行行业标准《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T 4109 进行验收,Ⅱ级及以上为合格。

12.2 清管、测径和试压

12.2.1 跨越管道试压前应进行清管。用水清管时,水的流速不得小于 $1\text{m/s} \sim 1.5\text{m/s}$,用空气清管时,出口处空气流速不得小于 20m/s 。

12.2.2 大、中型跨越工程的跨越管道应单独进行试压,单独进行试压的跨越管段试压前应进行清管、测径。

12.2.3 试压介质应用洁净水。试验压力、稳压时间及合格标准应符合表 12.2.3 的规定。

表 12.2.3 试验压力、稳压时间及合格标准

项 目	跨越管道试压	
	强度试验	严密性试验
介质	洁净水	

续表 12.2.3

项 目	跨越管道试压	
	强度试验	严密性试验
试验压力	1.5 倍设计压力	设计压力
稳压时间	4h	24h
合格标准	无异常变形、无渗漏	压降不大于 1% 试验压力值， 且不大于 0.1MPa

12.2.4 严密性试验应在强度试验合格后，将管内压力降到设计压力，并应待管内介质温度和管道周围大气温度均衡后，按表 12.2.3 的规定进行严密性检查。

12.2.5 线路管道内的脏物和积水不得在大、中型跨越管道内通过。

12.2.6 输送热油的管道跨越工程，在通油前应进行热水试验，并应经检查各节点变位正常后通油输送。

12.2.7 跨越管段试压合格后，与两端线路管段连接时，不应出现使跨越管段发生强制变形的连接。

12.3 防腐和保温

12.3.1 跨越管道采用的防腐涂层应符合相应国家现行标准的规定。跨越管道的补口及补伤，应按管道所用防腐涂层的相应国家现行标准执行。

12.3.2 跨越管道的防腐等级不应低于线路管道的防腐等级，并应符合下列规定：

1 不保温跨越管道应采用耐环境腐蚀、耐日晒、耐寒、抗紫外线作用的防腐涂层，可选用高氯化聚乙烯、聚氨酯、氟碳类涂料或环氧涂料、环氧粉末涂层外加铝箔胶带；

2 保温跨越管道的防腐层可选用环氧类涂料、聚乙烯胶粘带、聚乙烯防腐层或环氧粉末防腐层；

3 当采用环氧类涂料时,厚度不应小于 $200\mu\text{m}$;

4 当采用聚乙烯胶粘带、聚乙烯防腐层或环氧粉末防腐层时,结构及厚度应符合国家现行标准的有关规定。

12.3.3 埋地管道设有阴极保护时,大型跨越管道两端宜设置绝缘接头,绝缘接头处宜设置防电涌冲击的火花间隙类保护设施;中、小型跨越管道两端可不设置绝缘接头,管道与管托或其他钢结构应绝缘,跨越管道两端可用电缆跨接。

12.3.4 跨越管道邻近电气化铁路时,应分析电气化铁路对管道阴极保护的影响,并采取相应的防护措施。

12.3.5 输送工艺要求保温时,跨越管道应选用保温性能良好、重量轻的保温材料。防腐保温层应由防腐层、保温层、防水层、防护层组成。

12.3.6 保温层可选用聚氨酯泡沫塑料、玻璃丝棉、岩棉等,厚度应经过技术经济计算,并结合输送工艺要求确定,且不应小于 25mm 。保温层两端的封口应密实、无漏缝。

12.3.7 防水层可选用聚氨酯防水涂料或高性能冷胶防水涂料。

12.3.8 防护层可选用金属薄板或玻璃钢。

12.3.9 管件的防腐等级宜与主管道一致。

12.3.10 跨越管道的防腐与保温设计除应符合本标准外,尚应符合现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447、《输油管道工程设计规范》GB 50253、《输气管道工程设计规范》GB 50251、《油田油气集输设计规范》GB 50350 及《气田集输设计规范》GB 50349 等的有关规定。

13 施工监控与健康监测

13.1 施 工 监 控

13.1.1 对于主缆现场合股的大型悬索跨越,应进行施工监控。

13.1.2 施工监控应对整个施工过程中塔柱线形及应力、缆索系统线形及应力、成桥理论状态线形、变形及应力状态进行监控。

13.2 健 康 监 测

13.2.1 健康监测方案宜与施工图设计同步进行。

13.2.2 健康监测系统应满足跨越运营期间的安全状况评估和预警,并为修正理论计算模型提供依据。

13.2.3 健康监测预警设计宜采用三级预警设计,其中三级预警为结构响应超过设计值 5%,二级预警为结构响应超过设计值 20%,一级预警为主要构件应力达到设计材料强度的 95%。

13.2.4 跨越健康监测系统应包括传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据存储与管理子系统以及数据分析软件和客户端。

13.2.5 跨越健康监测项目应包括外部荷载监测和结构响应监测,其中外部荷载监测应包括风荷载和温度,结构响应应包括结构振动、索系索力、主梁和桥塔位移等。

13.2.6 传感器的数量和布置位置应根据跨越特点、结构计算结果和危险性分析结果确定。

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”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
《建筑结构荷载规范》GB 50009
《混凝土结构设计规范》GB 50010
《建筑抗震设计规范》GB 50011
《钢结构设计规范》GB 50017
《建筑物防雷设计规范》GB 50057
《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068
《地下工程防水技术规范》GB 50108
《高耸结构设计规范》GB 50135
《内河通航标准》GB 50139
《构筑物抗震设计规范》GB 50191
《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
《气田集输设计规范》GB 50349
《油田油气集输设计规范》GB 50350
《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设计规范》GB 50423
《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470
《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
《大体积混凝土施工规范》GB 50496
《油气输送管道工程测量规范》GB/T 50539
《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568
《钢结构焊接规范》GB 50661

《油气田集输管道施工规范》GB 50819
《普通螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角》GB/T 3
《优质碳素结构钢》GB/T 699
《合金结构钢》GB/T 3077
《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
《铸钢件 超声检测 第 1 部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1
《重要用途钢丝绳》GB 8918
《铸钢件磁粉检测》GB/T 9444
《内河交通安全标志》GB 13851
《桥梁缆索用热镀锌钢丝》GB/T 17101
《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》GB/T 18365
《粗直径钢丝绳》GB/T 20067
《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447
《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823
《缆索用环氧涂层钢丝》GB/T 25835
《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》GB/T 30826
《梯形和锯齿形螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角》GB/T 32537
《建筑桩基技术规范》JGJ 94
《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118
《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》CJ/T 297
《石油、天然气管道系统风险等级和安全防范要求》GA 1166
《钢制压力容器分析设计标准》JB 4732
《大型合金结构钢锻件 技术条件》JB/T 6396
《大型碳素结构钢锻件 技术条件》JB/T 6397
《大型低合金钢铸件》JB/T 6402
《悬索桥预制主缆丝股技术条件》JT/T 395
《公路悬索桥吊索》JT/T 449
《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》JT/T 775

《挤压锚固钢绞线拉索》JT/T 850
《公路桥涵设计通用规范》JTG D60
《公路圬工桥涵设计规范》JTG D61
《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62
《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65 - 05
《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008
《承压设备无损检测 第3部分:超声检测》NB/T 47013.3
《承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测》NB/T 47013.4
《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设计规范》SY/T 6793
《阴极保护管道的电绝缘标准》SY/T 0086
《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1
《密封钢丝绳》YB/T 5295