

指导性文件
GD07-2007



中国船级社

海底管道结构分析指南

2006



人民交通出版社

China Communications Press



指导性文件
GD07-2007

中国船级社

海底管道结构分析指南

2006

人民交通出版社

书 名: 海底管道结构分析指南

著 作 者: 中国船级社

责任编辑: 董 方

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.chinasybook.com> (中国水运图书网)

销售电话: (010) 64981400, 64960094

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 人民交通出版社交实书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 3.75

字 数: 76 千

版 次: 2007 年 7 月第 1 版

印 次: 2007 年 7 月第 1 次印刷

统一书号: 15114·1057

印 数: 0001~1000 册

定 价: 25.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

目 录

第1章 总则	1
1.1 目的	1
1.2 适用范围	1
1.3 术语及定义	1
1.4 设计方式和原理	4
第2章 环境条件	8
2.1 通则	8
2.2 环境参数	8
第3章 载荷	11
3.1 通则	11
3.2 载荷效应系数与载荷组合	11
3.3 功能载荷	12
3.4 环境载荷	12
3.5 建造载荷	15
3.6 偶然载荷	15
3.7 其他载荷	15
第4章 管道的在位结构强度分析	17
4.1 通则	17
4.2 极限状态下的失效模式和控制条件	17
4.3 强度分析流程	18
4.4 承压（破裂）控制	18
4.5 屈曲	21
4.6 椭圆化	26
4.7 棘齿效应	26
4.8 累积塑性应变	26
4.9 断裂	28
4.10 疲劳	28

4.11 偶然极限状态	30
第5章 铺管作业管道强度分析	31
5.1 通则	31
5.2 铺管强度分析流程和校核准则	31
5.3 不同铺管方式下的强度计算特点	31
第6章 悬跨管道强度分析	33
6.1 通则	33
6.2 筛分疲劳分析	33
6.3 完全疲劳分析	35
6.4 极限状态 (ULS) 分析	37
6.5 安全系数	39
第7章 海床上的稳定性分析	40
7.1 通则	40
7.2 稳定性校核准则	40
7.3 沉降和上浮	41
7.4 稳定性分析方法	41
第8章 腐蚀管道的强度评估	44
8.1 通则	44
8.2 评估流程	44
8.3 分项安全系数	45
8.4 单个腐蚀缺陷的评估	48
8.5 相互作用腐蚀缺陷的评估	50
8.6 复杂形状腐蚀缺陷的评估	53

第1章 总 则

1.1 目的

本指南涵盖了海底管道的铺管分析以及运行状态分析,其中运行状态分析包括在位应力计算及屈曲强度计算、悬跨分析、海床上的稳定性分析以及腐蚀管道强度分析等内容。因此本指南主要是针对海底管道结构方面的计算分析,为海底管道的检验和审图给出一个指导性的文件,并为在役海底管道的状态评定提供可借鉴的程序和步骤。

1.2 适用范围

本指南适用于刚性金属海底管道,不适用于可挠性软管和立管。

1.3 术语及定义

(1) 整体屈曲 (Buckling, global)

指屈曲模式涉及到管道的连续长度,而不是横截面的总变形。

(2) 局部屈曲 (Buckling, local)

指屈曲模式限制在一小段长度,局部屈曲将引起横截面的变形。

(3) 特征载荷 (Characteristic load)

用于确定载荷影响的载荷参考值。特征载荷一般是根据载荷分布函数上端定义的一个分位点确定的。

(4) 特征抗力 (Characteristic resistance)

用于确定设计强度的结构强度参考值。特征抗力一般是根据抗力分布函数下端定义的一个分位点确定的。

(5) 特征强度 (Characteristic strength)

用于确定设计强度的名义值。特征强度一般是根据强度分布函数下端定义的一个分位点而确定的。

(6) 条件载荷效应系数 (Condition load effect factor)

对特定载荷条件进行屈曲计算的载荷影响系数。

(7) 腐蚀裕量 (Corrosion allowance)

在设计阶段为补偿在操作过程中由于腐蚀而使管壁(内、外)变薄而增加的管壁厚度。

(8) 设计寿命 (Design life)

设备或系统从最初安装或使用到永久性停产的时间周期。原设计寿命可经重新评估后予以延长。

(9) 最高设计温度 (Design temperature ,maximum)

设备或系统在安装和运行期间可经受的最高可能温度,要考虑环境和运行温度。

(10) 最低设计温度 (Design temperature ,minimum)

设备和系统在安装和运行期间(不管是否承压)可经受的最低可能温度,应考虑环境和运行温度。

(11) 制造系数 (Fabrication factor)

用于补偿管子制作过程中冷成型造成的材料强度降低的材料强度系数。

(12) 失效 (Failure)

对部件或系统造成以下其中之一或者兼而有之影响的事件:

——部件或系统功能损失;

——功能降低到设施、人员或环境的安全性显著减小的程度。

(13) 疲劳 (Fatigue)

循环载荷引起的材料损伤。

(14) 静水压力试验 (Hydro-test or Hydrostatic test)

在钢管厂进行的静水压强度试验。

(15) 极限状态 (Limit state)

超出这个状态结构物就不再满足要求。对海底管道有以下相关极限状态:

SLS——操作极限状态;

ULS——极端极限状态;

FLS——疲劳极限状态;

ALS——偶然极限状态。

(16) 载荷 (Load)

在设备或系统中引起应力、应变、变形、位移、运动等的任何作用。

(17) 载荷组合 (Load combination)

对 a 、 b 两种载荷组合,应对组合的载荷进行局部屈曲极限状态准则检查。载荷组合 a 是一个系统检查,且只有当系统效应存在时才应适用。

(18) 载荷效应 (Load effect)

单一载荷或载荷组合对设备或系统引起的诸如应力、应变、变形、位移、运动等效应。

(19) 载荷效应系数 (Load effect factor)

分项安全系数,特征载荷乘以该系数后得到设计载荷效应。

(20) 材料抗力系数 (Material resistance factor)

分项安全系数,使特征抗力减小到更低分位点。

(21) 材料强度系数 (Material strength factor)

用于确定材料特征强度的系数,反映屈服应力的可信度。

(22) 名义外径 (Nominal outside diameter)

规定的管子外直径,即应是真实外径。

(23) 名义管壁厚 (Nominal pipe wall thickness)

规定的管子无腐蚀壁厚, 它等于最小的壁厚加上制造公差。

(24) 不圆度 (Out of roundness)

钢管圆周与圆的偏差。可用椭圆度 (%) 或局部不圆度, 即扁率 (mm) 表示。

(25) 椭圆化 (Ovalisation)

圆周与圆的偏差。截面为椭圆形。

(26) 分项安全系数 (Partial safety factor)

用该系数对变量的特征值加以修正给出设计值 (如载荷效应、条件载荷效应、材料抗力或安全等级抗力等)。

(27) 压溃压力 (Pressure, Collapse)

抵抗外部过压的特征抗力。

(28) 设计压力 (Pressure, Design)

对于管道而言, 这是正常运行期间最大的内压, 该压力要指明在设计管道或管道段的哪一高度上。设计压力必须考虑所有流量范围内的稳流状态以及在使用恒定设计压力的管道或管段上可能的堵塞和关闭条件。

(29) 偶然压力 (Pressure, Incidental)

对于管道而言, 指在任何偶然运行状况, 并参照与设计压力相同的参考高度, 管道或管道段被设计可以承受的最大内压。

(30) 起始压力 (Pressure, Initiation)

使已有的局部屈曲或凹陷开始产生扩展屈曲所需的外部过压。

(31) 局部压力 (Local pressure; Local design pressure or Local incidental pressure)

局部压力、局部设计压力或局部偶然压力: 对于管道而言, 在管道系统或管道段任何一点与设计压力或偶然压力相对应的内压。它等于参考点的压力加上参考点与所考虑点的高度差引起的输送介质的静压水头。

(32) 最大允许偶然压力 (Pressure, Maximum allowable incidental, MAIP)

对于管道而言, 它是指管道系统在偶然 (瞬时) 运行期间的最大压力, 最大允许偶然压力定义为最大的偶然压力减去压力安全系统的正误差。

(33) 最大允许操作压力 (Pressure, Maximum allowable operating, MAOP)

对于管道而言, 这是管道系统在正常运行时的最大压力。最大允许操作压力定义为设计压力减去压力调节系统的正误差。

(34) 扩展压力 (Pressure, Propagating)

对扩展屈曲, 要继续扩展所需的最小压力。

(35) 棘齿变形 (Ratcheting)

在循环载荷下的累积变形, 特别是直径增加。

(36) 抗力 (Resistance)

结构或结构的部分抵抗载荷效应的能力。

(37) 安全等级 (Safety class)

对于管道而言，根据失效后果划分管道系统的重要性所采用的概念。

(38) 安全等级抗力系数 (Safety class resistance factor)

是把较低分位点抗力转换到设计抗力，反映安全等级的分项安全系数。

(39) 规定的最小拉伸强度 (Specified minimum tensile strength, SMTS) :

材料采办期间按规格书或标准规定的最小拉伸强度。

(40) 规定的最小屈服应力 (Specified minimum yield stress, SMYS)

材料采办期间按规格书或标准规定的最小屈服应力。

(41) 极限拉伸强度 (Ultimate tensile strength, UTS)

实测的最终拉伸强度。

(42) 屈服应力 (Yield stress)

实测的拉伸屈服应力。

1.4 设计方式和原理

本指南涉及到的计算方法是建立在极限状态和分项安全系数基础上，即载荷抗力系数法 (LRFD)。对基于工作应力法 (WSD) 所设计管道的结构分析，可参照我社《海底管道系统规范》进行。

1.4.1 流体分类

管道系统输送的流体应根据它们潜在的危害性来进行分类，分类如表1.4.1所示。对于表中没有具体说明的气体或液体，要按照具有相似的潜在危害的物质分类，如果分类不明确，则定为最高危害性的。

流 体 分 类

表1.4.1

类 别	描 述
A	典型的非可燃水基流体
B	易燃的和/或有毒的物质，该物质在常温常压下是液体,典型的例子是石油产品。甲醇也是一种易燃的和有毒的液体
C	非可燃物质，该物质在常温常压下是无毒气体，典型的例子是氮气、二氧化碳、氢气和空气
D	无毒的，单相的天然气
E	易燃的和/或有毒的液体，在常温常压下是气体，被作为气体和/或液体输送。典型的例子是氢气、天然气（不属于D类的）、乙烷、乙烯、液化石油气（如丙烷、丁烷）、天然气液体、氨和氯

1.4.2 位置分区

管道系统应按如下原则定义分区：

1区, 沿着管道没有经常性人类活动的区域;、

2区, 经常有人类活动的区域或平台附近区域。

2区的范围要根据适当的风险分析确定。如果没有进行这样的分析, 要采用至少500m的距离。

1.4.3 安全等级划分

管道设计应基于潜在的失效后果, 这集中体现在安全等级的划分中。安全等级可因阶段、位置以及流体类别的不同而不同, 分为如下三级:

(1) 低安全级

失效对人类伤害风险低, 对经济和环境后果小, 通常是管道安装阶段的级别。

(2) 一般安全级

对于临时条件, 失效对人类有伤害风险, 对环境污染显著, 有非常大的经济和政治影响, 通常这是在平台外部区域进行操作的级别。

(3) 高安全级

对于操作条件, 失效对人类伤害风险高, 对环境污染显著, 有非常大的经济和政治影响, 这通常是在2区进行操作的级别。

通常情况下, 管道所应用的安全等级如表1.4.3所列。

安全等级的一般划分

表1.4.3

阶 段	流体类别A、C		流体类别B、D 和E	
	位置分区		位置分区	
	1	2	1	2
临 时 ^{①②}	低	低	低	低
操 作	低	一般 ^③	一般	高

注: ① 试投产前的安装阶段 (即临时阶段) 一般为低安全级别。

② 对于试运行后的临时阶段, 其安全等级的确定应基于对失效后果的具体考虑。

③ 正常操作情况下的立管为高的安全等级。

1.4.4 分项安全系数设计方法

1.4.4.1 分项安全系数设计方法的基本原理是: 对任何可能的失效模式, 系数化的设计载荷不超过系数化的设计抗力。其中, 系数化的设计载荷是通过特征载荷乘以载荷效应系数获得, 系数化的抗力是通过特征抗力除以抗力系数获得。

1.4.4.2 如果设计载荷 (L_d) 不超过设计抗力 (R_d), 则认为满足规定的安全水平, 即:

$$L_d (L_F, L_E, L_A, \gamma_F, \gamma_E, \gamma_A, \gamma_C) \leq R_d (R_K (f_K), \gamma_{SC}, \gamma_m) \quad (1-1)$$

式中: L_F, L_E, L_A ——分别为功能载荷、环境载荷以及偶然载荷的特征载荷效应;

$\gamma_F, \gamma_A, \gamma_C$ ——分别为功能载荷效应系数、偶然载荷效应系数以及条件载荷效应系数;

R_K ——特征抗力效应;

f_K ——特征材料强度;

γ_{SC}, γ_m ——分别为安全等级抗力系数和材料抗力系数。

1.4.4.3 设计载荷效应是基于或由适用的特定条件载荷效应系数 γ_C 调整的系数化载荷效应的函数。对于特定的失效模式, 系数化载荷效应应按极限状态函数组合。

1.4.4.4 与极限状态有关的载荷效应系数、安全等级抗力系数和材料抗力系数都需要用可靠度方法对不同的安全级别进行校准。

1.4.4.5 载荷效应和抗力的特征值是以各自的概率分布函数的分位点给出的。它们应基于可靠的数据, 并采用公认的统计方法得到。

1.4.5 极限状态与抗力系数

1.4.5.1 极限状态

依据极限状态描述的所有相关失效模式在设计时必须考虑。极限状态分为以下四种类型:

- (1) 操作极限状态 (SLS): 如果超过这种状态, 管道不再适于正常运行。
- (2) 极端极限状态 (ULS): 如果超过这种状态, 管道的完整性将遭到破坏。
- (3) 疲劳极限状态 (FLS): 考虑累积循环载荷效应的极端极限状态。
- (4) 偶然极限状态 (ALS): 由偶然载荷导致的极端极限状态。

1.4.5.2 极限状态形式

如果设计载荷 (L_d) 不超过设计抗力 (R_d), 则认为满足安全要求, 如式 (1-1) 所示。其中设计载荷可以以下面的形式表示:

$$L_d = L_F \cdot \gamma_F \cdot \gamma_C + L_E \cdot \gamma_E + L_A \cdot \gamma_A \cdot \gamma_C \quad (1-2)$$

具体形式有如下的几种:

$$\begin{aligned} M_d &= M_F \cdot \gamma_F \cdot \gamma_C + M_E \cdot \gamma_E + M_A \cdot \gamma_A \cdot \gamma_C \\ \varepsilon_d &= \varepsilon_F \cdot \gamma_F \cdot \gamma_C + \varepsilon_E \cdot \gamma_E + \varepsilon_A \cdot \gamma_A \cdot \gamma_C \\ S_d &= S_F \cdot \gamma_F \cdot \gamma_C + S_E \cdot \gamma_E + S_A \cdot \gamma_A \cdot \gamma_C \\ \Delta p_d &= \gamma_p \cdot (p_{1d} - p_e) \end{aligned} \quad (1-3)$$

其中 $M_d, \varepsilon_d, S_d, \Delta p_d$ 分别代表设计弯矩、设计压应变、设计有效轴力和设计压差, p_{1d}, p_e 分别为局部设计压力和外压。载荷效应系数 $\gamma_F, \gamma_E, \gamma_A, \gamma_p, \gamma_C$ 的取值见表 3.2 (1) 和表 3.2 (2), 这些系数适用于所有的安全等级。设计抗力 R_d , 一般可以表示为如下形式:

$$R_d = \frac{R_K(f_K)}{\gamma_{SC} \cdot \gamma_m} \quad (1-4)$$

其中 f_K 为特征材料强度。材料抗力系数 γ_m 是由极限状态的种类决定的，在下表中给出：

材料抗力系数 γ_m 表1.4.5.2 (1)

极限状态种类	SLS/ULS/ALS	FLS
γ_m	1.15	1.00

安全等级抗力系数 γ_{SC} 则与安全等级有关，见下表：

安全等级抗力系数 γ_{SC} 表1.4.5.2 (2)

安全等级	γ_{SC}		
	低	一般	高
压力控制 ^②	1.046 ^{③④}	1.138	1.308 ^①
其他	1.04	1.14	1.26

注：① 对1区管道，一般安全等级抗力系数可取1.138。

② 给出三位有效数字是为了与ISO使用系数一致。

③ 低安全等级由要求比偶然压力高3%的系统压力试验来控制。因此，对于在低安全等级的运行，抗力系数将会有效提高3%。

④ 对于系统压力试验，材料强度系数应取1.00，因此所有材料的允许环向应力为SMYS的96%。

1.4.6 可靠度分析

在某些情况下，可以用公认的结构可靠度分析方法来代替本指南所用到的LRFD法。此时，管道的目标可靠度要与根据本指南进行分析所得到的相似管道的安全水平进行对比和校准，或者根据表1.4.6给出的失效类别和安全等级来确定相应的目标安全水平。

可接受的失效概率与安全等级的关系 表1.4.6

极限状态	目标年度失效概率		
	低安全级	一般安全级	高安全级
SLS	10^{-2}	10^{-3}	10^{-3}
ULS	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
FLS			
ALS			

第2章 环境条件

2.1 通则

2.1.1 海底管道结构分析时应考虑与特定位置和操作有关的各种环境条件的影响,主要包括:潮、波浪、海流、地震、海生物、温度、土壤条件、海冰等。

2.1.2 环境数据要能够代表管道所在的地理区域。如果管道所在区域缺乏足够的数据,可以由相关区域的数值进行合理保守地估计来获得。

2.1.3 对于沿管道路由进行的环境条件评价,可以将管道分成几段,每一区段的特征可以由给定的水深、海底地形以及其他影响环境条件的参数来描述。

2.1.4 各种环境数据要用根据统计数据或长期观察的特征值来描述。

2.1.5 在描述具有随机性质的环境参数时要利用统计数据,利用公认的统计方法得到相关参数。

2.2 环境参数

2.2.1 潮

2.2.1.1 当水深是一个重要参数时,比如确定波浪作用、确定管道铺设作业计划、确定最大和最小水压等,潮的影响应给予考虑。

2.2.1.2 潮汐可以分为天文潮、风成潮、压差潮。后两者常组合在一起,称风暴涌。

2.2.1.3 管道所处位置的实际水深等于平均水深加上一个浮动值,该值由天文潮和风暴涌构成。

2.2.1.4 设计潮位应包括设计高/低潮位、平均海平面。

2.2.2 波浪

2.2.2.1 应考虑直接和间接的波浪效应。直接效应指安装期或放置在海床上的管道所受到的波浪直接作用,间接效应的例子如在铺设过程中由于铺管船运动引起的管道运动。

2.2.2.2 所用的波浪理论须能描述管道所在特定水深的波浪运动。

2.2.2.3 要考虑波浪的折射、浅水化、遮蔽和反射效应。

2.2.2.4 如果管道紧靠其他的结构构件,确定波浪作用时要考虑来自流场干扰的可能影响,这种影响可以由流速的增加或减小引起,或者由靠近的结构件产生涡流释放

的动力振动引起。

2.2.3 海流

2.2.3.1 在考虑海流作用时，合成的流速应包括潮流、风成流、风暴增水流、密度流和其他可能的海流现象。对于近岸区域，由波浪破碎产生的沿岸流也要考虑。

2.2.3.2 在管道的施工期间要考虑沿水深分布的流向和流速。

2.2.4 地震

2.2.4.1 若海底管道处于地震活动区域，则需要考虑地震载荷的影响。相关区域的地震活动水平一般由以前的记录或者详细的地质调查结果给出。

2.2.4.2 海底管道设计中，一般将地震水平分为强度水平和韧性水平。管道应能保证在强度水平地震下不发生损害，在韧性水平地震下不发生结构失效。

2.2.4.3 描述地面运动的参数一般包括两个水平分量和一个垂直分量，三个分量同时作用于管道。

2.2.4.4 管道系统应考虑由地震引起的惯性力和流体压力的作用和影响。

2.2.5 海生物

2.2.5.1 海生物对海底管道的影响应给予考虑，并且要考虑特定区域有关的生物和其他环境现象。

2.2.5.2 计算海生物对管道水动力的影响时，要考虑管道的有效直径的增加、表面粗糙度的增加、重量的增加等方面。

2.2.6 温度

应考虑气温、水温和海底泥温以及这些温度变化规律对海底管道的影响。其中安装期和运行期可能的最低和最高温度值是设计要用的重要参数。

2.2.7 土壤条件

应沿管道路由调查提供海床表层和底层土壤的分类、密度、剪切强度、含水量、土粒比重等参数，并结合环境条件参数给出冲刷和液化的可能性及趋势。

2.2.8 海冰

2.2.8.1 在登岸段和极浅海的潮间带，海底管道将受冰载荷的作用。这些作用和影响可能有：

- (1) 在海流和风的作用下，大面积冰原呈整体移动；
- (2) 自由漂流的流冰冲击；
- (3) 冰的挤压力；
- (4) 冰的磨损作用；

(5) 在铺设、安装作业期间冰对施工的干扰。

2.2.8.2 在考虑海冰作用时，一般需要如下的资料：

(1) 冰的物理力学性能指标，包括：密度、含盐度、弹性模量、单轴抗压强度、弯曲强度以及极限抗压强度与加载速率的关系等；

(2) 流冰冰块的大小、流向、流速；

(3) 流冰期间的气温、水温及冰温；

(4) 冰期的时间和范围等。

4.0.4

第3章 载 荷

3.1 通则

3.1.1 海底管道所受的载荷应按如下分类：

- (1) 功能载荷；
- (2) 环境载荷；
- (3) 建造载荷，又分为功能载荷和环境载荷；
- (4) 偶然载荷。

3.1.2 只要是保守的，简化方法和分析可用来计算载荷效应。模型试验可用以与理论计算相结合，也可代替理论计算。

3.2 载荷效应系数与载荷组合

管道系统的每个部分都要按表3.2（1）给出的最不利载荷组合来校核。其中载荷组合 a 是系统检查，只有系统效应存在时才适用。

载荷效应系数和载荷组合

表3.2（1）

极限状态/载荷组合		功能载荷	环境载荷	偶然载荷	压力载荷
		γ_F	γ_E	γ_A	γ_P
SLS& ULS	a	1.2	0.7	—	1.05
	b	1.1	1.3	—	1.05
FLS		1.0	1.0	—	1.0
ALS		1.0	1.0	1.0	1.0

表3.2（2）给出了条件载荷效应系数的取值。

条件载荷效应系数 γ_C

表3.2（2）

条 件	γ_C
管道被搁在不平坦的海床或处于迂回曲折的状况	1.07
连续刚性支撑	0.82
系统压力试验	0.93
其他	1.00

注：① 不平坦的海床条件是相对于自由悬跨管道而言，甚至当管道在不平坦的海床上处于迂回状

况时都应用同样的系数。

② 连续的刚性支撑表示载荷的主要部分还是由位移条件控制的, 比如管子 在卷筒上时。

③ 可能同时需要几个条件系数, 比如对在不平坦海床上管道的压力试验, 导致条件系数将为:

$$1.07 \times 0.93 = 1.00$$

3.3 功能载荷

3.3.1 由管道系统存在和预期使用所引起的载荷称为功能载荷。要考虑建造和运行期间保证管道完整性的所有载荷效应。当确定功能载荷时, 至少要考虑以下因素所产生的载荷效应:

(1) 重量, 包括管道本身和内含物的重量、浮力、涂层和牺牲阳极重量、海生物以及其他管道附着物的重量;

(2) 外部静水压力;

(3) 介质温度;

(4) 来自部件(法兰、夹具等)的反作用力;

(5) 覆盖物(如土壤、岩石、垫子等);

(6) 正常运行期间的内部压力;

(7) 海床的反作用力(摩擦及旋转刚度);

(8) 预应力;

(9) 支撑结构的永久变形;

(10) 由地面下沉所导致的竖向和横向永久变形;

(11) 由频繁的清管工作所引起的载荷。

3.3.2 特征载荷效应

特征功能载荷效应是指在所考虑的期限内最有可能发生的载荷最大值。当外压增加管道的承压能力时, 采用的外压不能高于相应位置处低潮位时的水压。同样, 当外压减少管道的承压能力时, 采用的外压不能低于相应位置处高潮位时的水压。

除下列两种情况使用正常操作压力和正常操作温度计算外, 其他运行条件下的计算需采用设计压力和最大/最小设计温度(取较保守的)。

(1) 疲劳分析;

(2) 环境载荷起控制作用的情况。

3.4 环境载荷

环境载荷是周围环境作用于管道系统上的载荷, 不属于功能载荷或偶然载荷。这里只叙述海底管道所受的环境载荷, 不包括立管所受载荷。

3.4.1 一般要求

环境载荷实际上属于随机载荷, 原则上以概率统计方法进行计算。对于有可能同时发生的各种不同环境现象, 应按照适当的组合将其作用效果进行叠加。