|  |  |
| --- | --- |
| **ICS** | 27.120 |
| **CCS** | **F** 48 |

**T/****XXX**XXXX—XXXX

核电厂消防水系统管道腐蚀管理导则

**Guideline for corrosion management for fire protection systems pipes in nuclear power plants**

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中国核学会  发布

团体标准

目次

[前言 II](#_Toc12995)

[1 范围 1](#_Toc31614)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc7653)

[3 术语、定义和缩略语 1](#_Toc14426)

[4 管理组织 2](#_Toc15787)

[5 一般要求 2](#_Toc25241)

[6 管道腐蚀敏感性分级 2](#_Toc31839)

[7 腐蚀管理策略 2](#_Toc24524)

[8 检查与监督 3](#_Toc1012)

[9 适用性评价 3](#_Toc18976)

[10 质量保证 4](#_Toc17888)

[附录A（资料性附录） 最小设计壁厚的计算 5](#_Toc5862)

[附录B（资料性附录） 管道分析评估 6](#_Toc7055)

[附录C（资料性附录） 腐蚀速率计算 17](#_Toc20478)

1. 前言

本文件按照GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国核学会提出。

本见由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：海南核电有限公司、苏州热工研究院有限公司、福建福清核电有限公司。

本文件主要起草人：薛翔，刘洪群，方可伟，吴小亮，李海涛，万璟，林健康，黄其州，卢裕夫，廖善苇。

核电厂消防水系统管道腐蚀管理导则

* 1. 范围

本标准规定了核电厂消防水系统管道腐蚀管理的基本内容、方法及通用技术要求。

本标准适用于核电厂消防水系统管道的腐蚀管理工作。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T22158 核电厂防火设计规范

GB/T25314 核电厂机械设备腐蚀管理大纲内容要求

GB50745 核电厂常规岛设计防火规范

* 1. 术语和定义

预防性腐蚀管理 **preventive corrosion management**

为控制或减缓构筑物、系统和部件腐蚀而开展的计划性、主动的腐蚀管理活动的总和。



纠正性腐蚀管理 **corrective corrosion management**

为控制或减缓设备腐蚀而开展的非计划性的被动腐蚀管理活动的总和。



最小设计壁厚 minimum design wall thickness(tmin)

指按照设计规范计算得出的设备及管道最小设计壁厚。

初始壁厚 intial wall thickness(tinit)

指设备投入运行前的初始壁厚值。

名义壁厚 nominal wall thickness(tnom)

指管道部件标准规范中给定的壁厚公称值。

最小实测壁厚 minimum measured wall thickness(tmeas)

指实施壁厚测量时得到的最小值。

最小许用壁厚 minimum allowable wall thickness(taloc)

指经相应计算得出的局部允许壁厚值。

* 1. 管理组织

核电厂应结合实际情况建立消防水系统管道腐蚀管理的组织机构，应确定该组织机构的职责分工及其与其他组织机构的接口，为消防水系统腐蚀管理提供资源保证。该机构一般由设备管理、在役检查、材料、腐蚀、化学控制、维修、运行等方面的人员构成，专门负责消防水系统管道腐蚀管理工作。

* 1. 一般要求

核电厂应按照GB/T25314编制消防水系统管道腐蚀管理大纲。

核电厂应根据编制的消防水系统管道腐蚀管理大纲开展定期腐蚀检查、评估工作。

消防水系统管道的维修、更换应根据管道类型合理选材，并采取适当防腐措施，应符合GB/T22158、GB50745的要求。

* 1. 管道腐蚀敏感性分级
     1. 消防水系统介质运行状态

消防水系统运行工况与内部介质流动状态关系，如表1所示。

1. 消防管道流动状态分类表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分级 | 流动状态描述 | 流动频率 |
| 频繁流动 | 消防泵和补压泵相关管道 | 至少1次/月 |
| 偶尔流动 | 消防水分配主管道 | 少于1次/月，多于1次/换料周期 |
| 少量流动 | 到各厂房或区域的消防水分配管道 | 少于1次/换料周期 |
| 不流动 | 消防水分配管道某端支管道，疏水管道，喷淋管道，消防栓管道 | 不流动 |
| 不流动但存在混合扰动 | 流动频繁或者偶尔流动的管道上的支管 | 不流动 |

* + 1. 消防水管道腐蚀敏感等级

消防水管道腐蚀敏感等级，见表2。

1. 消防管道流动状态与腐蚀等级对照表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 腐蚀敏感等级 | 可能达到的腐蚀速率 | 流动状态 | 管腐蚀等级 |
| 严重腐蚀 | ≥0.2mm/a | 频繁流动/不流动但有混合扰动 | C3 |
| 较严重腐蚀 | 0.1-0.2mm/a | 偶尔流动/不流动但有混合扰动 | C2 |
| 一般腐蚀 | 0.01-0.1mm/a | 少量流动 | C1 |
| 良好 | ≤0.01mm/a | 不流动且无混合扰动 | C0 |
| 1. 泄漏水会影响功能性的电气设备及其它设备上方的消防水管道列为C3级； 2. 有抗震要求的消防管道列为C3级。 | | | |

* 1. 腐蚀管理策略
     1. 分级管理

消防水管道应根据腐蚀敏感性进行分级，按照表3进行腐蚀分级管理。

1. 消防水管道腐蚀分级管理策略表

|  |  |
| --- | --- |
| 腐蚀级别 | 腐蚀管理策略 |
| C3 | （1）定期检查；（2）定期检测 |
| C2 | （1）定期检查；（2）定期检测 |
| C1 | （1）定期检查；（2）定期检测 |
| C0 | 纠正性管理 |

* + 1. 内部检查

针对C2/C3级管道，根据维修窗口（设备开口）定期执行内部检查，如关键设备无解体计划，应主动申请设备解体定期执行内部检查，C1级管道执行适时检查。

针对C1级管道，根据维修窗口（设备开口），适时执行管道内部检查，关注其内部腐蚀情况。

* + 1. 定期检测
       1. 检测周期的制定

管道壁厚检测主要针对碳钢管道进行，并对检测结果进行分析，对于抗震管道，应进行抗震评估。

1. C3级管线检查周期为3年，在一个检查周期内，选取25%的代表性管段开展定期壁厚检测；
2. C2级管线检查周期为5年，在一个检查周期内，选取25%的代表性管段开展定期壁厚检测；
3. C3级管线检查周期为10年；在一个检查周期内，选取5%的代表性管段开展定期壁厚检测。
   * + 1. 检测部位的选取

在选取抽查部件时应遵守如下原则：

1. 尽量抽取不同的部位，保证抽取的全面性，如抽取管线中有弯头、三通、变径管、设备后管段，宜保证每次抽查都包含这几种部件；
2. 优先选择失效后会对周边设备造成影响部位。
   1. 检查与监督

根据检查计划，明确检查对象、方法、位置、范围，按照检查规范实施现场检查。现场检查发现测量异常，应实施补充检查或扩大检查。

* + 1. 壁厚检测

在选择壁厚测量检查区域和测点布置时应遵守如下原则：

1. 弯头、三通、大小头、变径等管件需整体布点测厚。
2. 对于直管，长度小于两倍管径时，只检查该管件；直管件长度大于等于两倍管外径时，则只需要检查两倍管外径长度；
3. 测点的网格线应垂直或者平行于流体方向。用字母代表周向位置，用数字代表轴向位置；
4. 测点的网格尺寸应不大于πD/12（D为管道外径）或150 mm；
5. 如被检管件下游直接连接直管，且壁厚有减薄趋势或发现剩余壁厚小于87.5%名义壁厚，则补充检查区应延伸至壁厚恢复至87.5%名义壁厚的区域；
6. 如发现剩余壁厚小于87.5%的名义壁厚，应缩小网格尺寸充分检查减薄区，以便于确定减薄区大小；
   * 1. 扩大检查范围

检测结果确认后，应对以下部件进行扩大检查：

1. 在明显减薄管件下游两倍管径范围内的任何部件；
2. 对于直接位于管道部件上游的直管，如发现管道部件壁厚减薄时，对其上游的直管段两倍的管径长度范围内进行检查；
3. 检查同一管线中，最接近该减薄管件的至少两个部件；
4. 在多列管系中，每一列布局类似的情况下，如管线中某一部件减薄明显，则需检查其他列管线中对应的部件。
   1. 适用性评价
      1. 评价内容及原则

适用性评价过程包括检测数据评价、局部减薄评价(见附录B)、抗震性能评价(见附录B)、剩余寿命评价。

在检测数据分析整理和减薄区域确定的基础上，评估管道最小设计壁厚、最小许用壁厚及剩余寿命，以此确定管道的可用状况（继续使用、跟踪监督、修复或更换）。

如管道状态为继续使用或跟踪监督，应计算管道腐蚀速率（见附录C），并依据最小检测壁厚及最小允许壁厚，计算管线剩余使用寿命，判断到下个检查周期时管道是否可用，并依此对检测周期进行优化。

* + 1. 检测计划优化

按照以上原则制定的检查计划应根据如下要求进行定期审查与升版：

1. 根据管道壁厚检查、分析与评价结果对检查周期、检查内容等及时进行调整；
2. 根据内外部经验反馈分析结果，对检查周期、抽查比例等及时进行调整。
   * 1. 修复与更换

对评估需修复的管段，应在发现缺陷后立即对缺陷管段进行处理，如采取外部焊补的方式进行修补；对评估需更换的管段，应将管线相应的管部件全部进行更换。

缺陷管部件的修补更换是在不改变原始设计的条件下实施的，必须保证不改变和不影响管线原始的功能、压力等级、连接方式、管系布置、支撑等要求。

* 1. 质量保证
     1. 管理过程的质量控制

核电厂应按照HAF 003和核电厂运行质量保证大纲的要求组织开展消防水管道腐蚀管理工作，保证各环节管理工作实施过程中的质量。

* + 1. 记录管理

核电厂应按照HAF 003和核电厂运行质量保证大纲的要求保存和管理消防水管道腐蚀管理过程中的各类数据和记录，对于数据库中的数据与文件应建立系统的存档规范，保证数据处于专用文件体系中。数据的分类与存档应具有规范性与统一性，便于与其他核电厂相比较。

1. （资料性）  
   最小设计壁厚的计算

可根据以下几类不同的部件进行最小设计壁厚的计算：

1. 管道所要求的最小壁厚(包括机械强度的裕量)，不应小于下面以下公式确定的厚度值：



 (A.2)

** (A.3)

式中：

*t*m——所需的最小壁厚，单位为毫米（mm）；

管道壁厚按公称壁厚*t*n定义。公称壁厚至少应等于由上述公式确定的*t*m值加上制造公差。

*P*=设计内压。

*D*0=管道外径。计算*t*m时，应取各种标准表给出的外径值。当计算现有的或贮备的管道的许用压力时，应使用减薄一端的实测外径和实测最小壁厚。

*d*=管道内径，应取供货商规格书所允许的最大可能值。

*S*=设计温度下材料的基本许用应力。

*A*=附加厚度，应考虑：

* 1. 补偿装配前攻螺丝和切削机加工所需的深度。
  2. 对管道在安装、运行和维修过程中可能遇到的机械损伤，使管道具有足够的强度裕量。
  3. 补偿预计的腐蚀或侵蚀损耗。

y=系数，其值为0.4，但对D0/*t*m小于6的管道，其值由下式确定：

 (A.4)

1. 弯曲后的最小壁厚不应小于直管所要求的壁厚乘以下面的系数：

 (A.5)

 (A.6)

式中：

n为内腹区系数。

b为外腹区系数。

K为弯管的弯曲半径与管道内径之比。

2. （资料性）  
   管道分析评估

B.1检测要求

* + 1. 通用要求

完成检测后，对需评估的管道，应计算下一次计划检查时的预测剩余壁厚*t*p，以作为判断管道是否可继续服役的依据。预测剩余壁厚*t*p是整个管件的剩余壁厚的空间分布，并且在任何给定位置具有特定值。此外，最小预测壁厚*t*p,min被应用于评估管道是否可继续服役。

* + 1. 验收准则
       1. 检测验收准则

检测评估结果显示*t*p满足建造规范或管道壁厚验收准则的管道，是可接受的。当此条件未被满足时，则应满足维修/更换活动验收准则、工程评估验收准则及缩短检测周期的验收准则。

* + - 1. 维修/更换活动验收准则

壁厚低于管道壁厚验收准则、工程评估验收准则及缩短检测周期的验收准则要求的管件，应采取维修/更换措施进行修正。

* + - 1. 工程评估验收准则

对检测评估结果不满足检测验收准则的管件，若工程评估结果合格，则可继续服役使用。

* + - 1. 缩短检测周期的验收准则

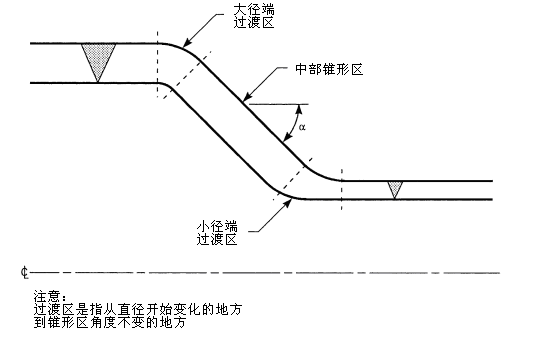
对检测评估结果不满足检测验收准则的管件，若缩短检查周期，使得*t*p值满足检测验收准则或工程评估验收准则的要求，则管道可继续使用。

B.2管道壁厚验收准则

B.2.1 焊管、弯头、连接支管或异径管道壁厚验收准则

对焊管、弯头、连接支管或异径管预测壁厚*t*p满足以下要求时，可继续使用，无需开展进一步评估：

1. 对于允许公差小于12.5%的直管和弯管，*t*pp值不小于87.5%*t*nom。
2. 对同心及偏心异径管的小端，*t*p值不小于小端管道的87.5%*t*nom；对于大端、大端过渡段及锥形部分，*t*p值不小于大端管道87.5% *t*nom；对于小端过渡段，壁厚应逐渐从大端要求的壁厚降低至小端要求的壁厚，如图B.1所示。



图B.1 异径管分区

1. 对于三通及连接支管，评估规范中规定的强化范围外的区域，*t*p应不小于同尺寸管道87.5% *t*nom；对于强化范围内的区域，*t*p应不低于满足建造规范中支管强化要求的壁厚值。
2. 对于管道部件有特殊壁厚设计要求的区域，包括设计的焊接沉孔及整体加固的区域，*t*p应不小于最小设计壁厚，包括原始设计分析的偏差，但不包括腐蚀裕量。
3. 作为b)和c)的替代方案，对于已测量基准安装厚度的异径管、三通或连接支管，*t*p应不小于管道87.5% *t*nom外，*t*p还不应小于基准安装厚度的87.5% *t*nom。

B.2.2 管件壁厚验收准则

对管件，任何位置*t*p小于0.2 *t*nom或0.5 *t*nom时，更进一步的评估不在本准则范围内。其中，*t*nom应满足管件分析评估的要求。

B.3管件抗震分析评估

**B.3.1 通用要求**

1. 应基于下次检测时的预测管道壁厚*t*p，进行分析评估。
2. 当管件的最小管道壁厚、支管加固要求及应力评估，在所有特殊载荷的条件下都满足评估应用的建造规范要求时时，管件被认为可继续使用。
3. 作为b)的替代方案，对接焊管、弯管、连接支管以及异径管，可参考管道、弯头、连接支管及异径管的评估方法进行评估。
4. 对不满足管道壁厚验收准则，但满足3级管件分析评估方法评估要求的，应进行持续监测。

**B.3.2 管道、弯头、连接支管及异径管的评估方法**

**B.3.2.1 通用要求**

1. 评估结果应满足壁厚评估及管道应力评估要求。
2. 对于连接支管或三通，建造规范要求强化范围内的区域应满足支管连接评估的要求。
3. 评估应该使用应用规范中要求的近似的管道方程、载荷、耦合载荷、可接受的材料性质，除非有特殊要求。
4. 当R/*t*p大于50时，应考虑减薄区域弯曲的可能性。

**B.3.2.2 壁厚评估**

B.3.2.2.1最小壁厚评估

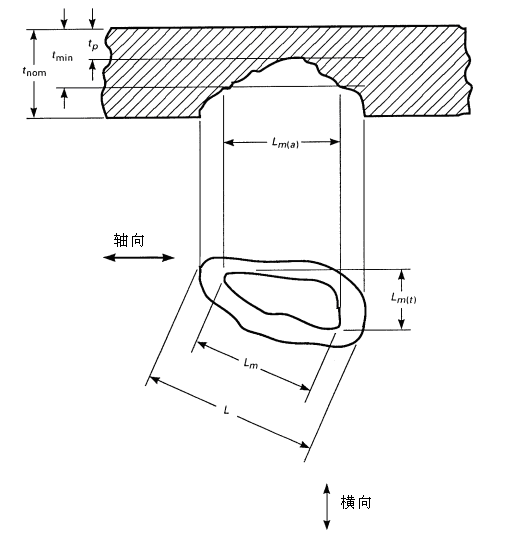
1. 管件任何位置的*t*p应不小于设计压力下的管件最小设计壁厚90% *t*min，不包含任何腐蚀裕量；

1）对于直管，弯管及弯头：

2）对于同轴或非同轴大小头，两端的*t*min应同与其相匹配的直管的*t*min相等，大端过渡区与圆锥区的*t*min应与大头的*t*minn相等，小头过渡区的*t*min应由圆锥区的*t*min平滑过渡到小头区的*t*min。

3）对于三通和连接支管，除了评估应用规范要求提供开口强化要求的区域外，其*t*min应同与其相匹配的直管的*t*min相等。

1. 满足c中限制条件的管件，当任何位置*t*p低于0.9*t*minn时，应该执行额外的评估以确定可接受的局部壁厚，*t*aloc；减薄区域以及定义深度及横向范围的参数如图B.2所示。许用的局部壁厚应满足3.2.2.2、3.2.2.3、3.2.2.4、3.2.2.5、3.2.2.6的相应要求。



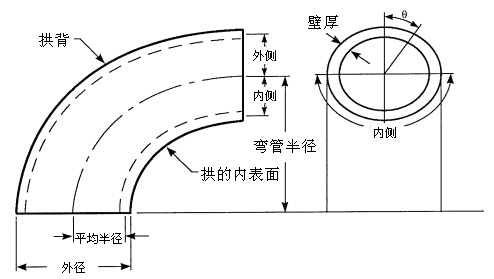
**图B.2 减薄区域示意图**

1. 以下情况不允许开展局部减薄评估：

1）与主管道上任何连接支管相邻的区域，除非连接支管中心与预测壁厚*t*p小于*t*min的减薄区域边缘之间的距离超过Di，其中Di是连接支管的标称内径，*L*m是壁厚小于*t*min的减薄区域最大跨度。

2）在异径管的小端过渡区；

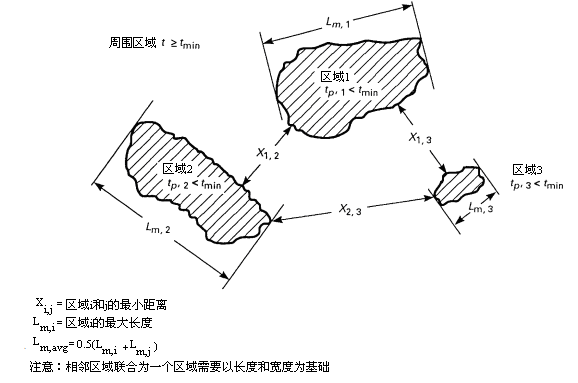
3）弯管的内侧部分及弯管(如图B.3所示)，不包括对接焊缝1.5范围以内的区域，除非在3.2.2.2、3.2.2.3、3.2.2.4*t*min被替代：



**图B.3 弯管示意图**

B.3.2.2.2局部减薄——横向范围有限

1. 评估过程应考虑受影响区域的深度及横向范围，并要求对于距离为2.5或2Lm，avg中较大值的两个相邻减薄区域的部分壁厚超过*t*min，其中*R*nom是基于名义壁厚的管件平均半径，*L*m，avg是指低于*t*min相邻减薄区域的横向宽度*L*m的平均值（如图B.4所示）。否则，相邻的减薄区域应被视为一个减薄区域。



**图B.4 相邻减薄区域示意图**

1. 如果减薄区的横向宽度小于*t*min，*L*m(t)小于或等于，则可接受的壁厚*t*aloc，应根据表B.1确定，其中*R*min是基于最小壁厚*t*min的平均半径。对直管而言，若Lm(t)超过，表B.1也可适用，但应加上额外的厚度*t*b。

表B.1 *t*aloc的值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **允许的最小壁厚taloc/tmin** | |
| **有限横向长度** | **无限横向长度** |
| 0.00 | 0.100 | 0.100 |
| 0.20 | 0.100 | 0.261 |
| 0.23 | 0.100 | 0.300 |
| 0.36 | 0.100 | 0.375 |
| 0.32 | 0.100 | 0.477 |
| 0.38 | 0.100 | 0.551 |
| 0.45 | 0.100 | 0.616 |
| 0.50 | 0.100 | 0.651 |
| 0.60 | 0.100 | 0.703 |
| 0.70 | 0.182 | 0.742 |
| 0.83 | 0.300 | 0.778 |
| 0.85 | 0.315 | 0.782 |
| 0.90 | 0.349 | 0.794 |
| 1.00 | 0.410 | 0.813 |
| 1.20 | 0.505 | 0.841 |
| 1.40 | 0.572 | 0.860 |
| 1.60 | 0.622 | 0.873 |
| 1.80 | 0.659 | 0.883 |
| 2.00 | 0.687 | 0.891 |
| 2.25 | 0.714 | 0.897 |
| 2.50 | 0.734 | 0.900 |
| 2.75 | 0.750 | 0.900 |
| 3.00 | 0.763 | 0.900 |
| 3.50 | 0.787 | 0.900 |
| 4.00 | 0.811 | 0.900 |
| 4.50 | 0.834 | 0.900 |
| 5.00 | 0.858 | 0.900 |
| 5.50 | 0.882 | 0.900 |
| 6.00 | 0.900 | 0.900 |
| ＞6.00 | 0.900 | 0.900 |

1. 该评估办法不适用于变径管。

B.3.2.2.3局部减薄——有限轴向及横向范围有限

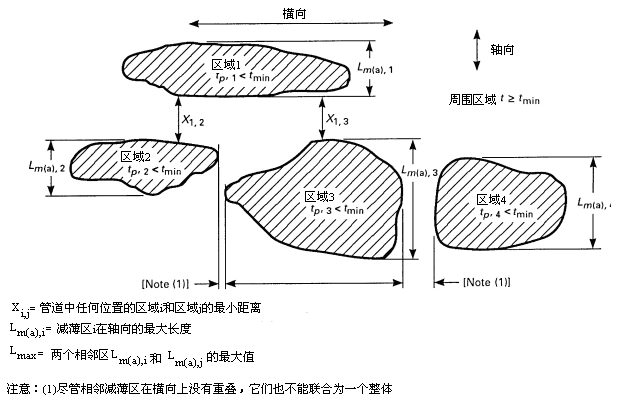
1. 当*t*p小于*t*min减薄区域最大的周向长度*L*m，小于或等于2.65，并且*t*nom＞1.13*t*min，*t*aloc应由b和c或d确定。这种评估方法要求减薄区域附近存在足够的满足条件②或③的强化要求。此方法不适用于以下情况：

* 减薄区域靠近支管连接部位，并且减薄区域要求的强化区域与支管连接部位的强化区域重叠时。
* 减薄区域的任何强化区域部分，位于异径管的锥形区域或小直径过度区域。
* 增强区之间相互重叠的相邻减薄区。

1. 如果满足以下条件，减薄区域的管道剩余壁厚是充足的。
2. 如果周围存在一个各个方向都超过L/2的tp至少为tnom的强化区域，减薄区域的加固应满足以下条件：
3. 作为c的替代方案，减薄区域附件的强化应满足以下条件：

B.3.2.2.4局部减薄——周向范围无限制

1. 评估小于*t*min的受影响区域应考虑减薄深度以及横向长度，在管件任何圆周位置，对于轴向距离为2.5和2*L*ma,max中较大者的管件上任何圆周位置的两个相邻减薄区域(如图B.5所示)，壁厚应大于*t*min。否则，这两个相邻减薄区域应被视为一个减薄区域进行评估。



**图B.5 相邻减薄区的间隔要求**

1. *t*aloc应由表B.1确定。
2. 该评估准则不适用于评估异径管。

B.3.2.2.5局部减薄——弯头与弯管

对于从焊缝到相邻连接管件距离大于的位置，外弯部分的*t*p可能小于直管段的*t*min。任何位置允许的局部壁厚应满足：

其中，*R*b/**R**min为弯头半径与壁厚为基于*t*min的管道平均管径的比值。

B.3.2.2.6局部减薄——同心异径管的中心部分

1. 对于同心异径管锥形区域，小于*t*min区域的最小可接受局部壁厚应满足以下条件：
2. 对于小端的过度区域，可接受的最小局部壁厚应从锥形区域的最小可接受值逐渐减小至小端的*t*min。
3. 该评估准则不适用于偏心异径管。

**B.3.2.3 管道应力评估**

B.3.2.3.1 评估要求

1. 管道应力影响的评估应该与建造规范方程的要求一致。若是针对管道名义壁厚进行管道分析，则许用应力应乘以系数1.143。且应考虑管道金属面积、管道内部面积、截面模量及应力指数或应力强化因子，如3.2.2中3.2.2.2、3.2.2.3、3.2.2.4所述。循环载荷的评估则应满足3.2.5要求。
2. 管道应力评估应基于每个表现出明显的减薄或受应力指数或应力强度因子变化影响的管道部件的截面的预测厚度。否则，评估应依照有限的截面开展。

B.3.2.3.2标称纵向压应力

1. 减薄区域的管道金属面积及内部面积，可能导致实际应力与分析应力不一致。
2. 为了简化分析，可假设管道均匀减薄至*t*p,min，此时，管道标称纵向压应力应满足：

* 评估异径管时，大、小端应该分别进行。对大端，*t*p,min应决定于大端及锥形区域；对小端，应采用整个异径管*t*p,min。

1. 可根据管道部件减薄区域横截面积全面的测量结果，进行详细的应力分析，管道标称纵向应力应为：

* 为评估附近超出直管连接强化区域的管道，应假设整个强化区域内的壁厚为非加固区域内的壁厚*t*min。如果存在过剩强化区域部分，则过剩的金属面积应被包含在Ap。
* 当评估异径管中心锥形区域的标称纵向压应力时，应力评估应以截面局部半径及待评估截面相邻区域的*t*p为基准，且所得应力值应乘以系数1/cosα。

1. 当使用建造规范要求使用应力指数时，由b、c确定的标称纵向压应力应加倍。

B.3.2.3.3 标称纵向弯曲应力

1. 管道部件横截面减薄的区域可能导致导致实际应力与分析应力不一致，此时，对不同载荷条件及复合载荷下的标称纵向弯曲应力*S*b应满足：
2. 为了简化分析，评估应基于管件截面模量均匀减薄至*t*p,min的基础上。当进行异径管评估时，大端与小端应分开评估。对于大端，*t*p,min应决定于大端及锥形区域；对小端，应采用整个异径管*t*p,min。
3. 详细的应力分析应基于管件减薄区域横截面的全面测量结果。
4. 当对支管连接附近的减薄区域进行评估时，应满足3.2.3.2章节c中的要求。

B.3.2.3.4应力强化因子与应力指数

支管连接附近，局部管件壁厚可能会影响用于确定有效应力的应力强化因子或应力指数。当壁厚减少时，这些因子可能会增大，应通过以下a、b或c确定的管件壁厚减薄评估其影响。

1. 除了b和c的情况外，使用*t*p,min及相应的平均管径确定管件的应力强度因子或应力指数时，应基于管道壁厚是均匀的假设。
2. 作为a的替代方案，这些因子可基于除支管强化区域外的管件平均*t*p进行计算，但位于对接焊缝与相邻连接件两倍名义管径壁厚范围内的部分预测壁厚不必考虑。对于异径管而言，这些因子的确定取决于小端平均*t*p与小端的管径。
3. 作为a和b的替代方案，减薄管件的应力分析，结果可用于表征减薄及应力分布对管件的影响。

**B.3.2.4连接支管的评估**

对评估使用的建造规范规定的加固区域内的连接支管及三通的评估，应满足以下要求：

1. 无需加固的支管连接：
   1. 主管道的评估应满足B.3.2.2及B.3.2.3的要求，无需考虑支管连接，但从支管连接中心起，半径为Di区域内管线tp应不低于*t*min。
   2. 支管的评估亦应满足B.3.2.2及B.3.2.3的要求。
2. 要求加固的支管连接:
   1. 支管连接的强化要求应满足评估使用的建造规范的要求。
   2. 对于提供支管强化的主管道区域，任何位置的*t*p值不应小于主管道的*t*min加上该位置所需要的加固裕量。
   3. 对于提供支管强化的支管区域，*t*p不应小于支管的*t*min加上该位置所需要的加固裕量。

**B.3.2.5循环载荷的评估**

1. 对tp,min不低于0.75*t*nom 并且直到下次检测前，承载不超过150次温度循环载荷的管件，满足评估使用的建造规范要求时，管道应力评估无需包含热膨胀和锚固移动的影响。
2. 对未满足a）要求的管件，当设计考虑热膨胀应力时，应根据评估使用的建造规范确定膨胀应力的许用应力范围；并且 应考虑减薄区域的几何形状对应力增强因子 i 的影响。作为确定修订应力增强因子的替代方案，应力范围的缩减因子可参考表B.2，该系数在部件使用寿命期限内应力增强因子的基础上，乘以系数2。

**表B.2 修正的应力范围缩减因子**

|  |  |
| --- | --- |
| **等效的完整温度循环次数1，N** | **应力范围缩减因子2，f** |
| ≤650 | 1.0 |
| （650, 1100] | 0.9 |
| （1100, 2000] | 0.8 |
| （2000, 3900] | 0.7 |
| （3900, 8500] | 0.6 |
| （8500, 21000] | 0.5 |
| ＞21000 | 0.4 |

注；

1. 直到下次检查或维修/更换活动时的循环次数。
2. 修正的应力范围缩减因子为部件服寿命期限内应力强化因子的2倍
3. 应考虑在最大持续应力与热膨胀应力的组合作用下，减薄区域的局部过度应变的潜在情况。持续载荷包括压力、重量及其他持续机械载荷。

**B.3.2.6名词术语**

*A0=*基于部件外径的管道横截面积。

*Ai=*管道减薄后，预测的内部截面积。

*Am=*管道减薄后，预测的金属截面积。

*Ap=*预测的金属截面积

*Arei*n=基于预测壁厚超过tmin，并且在评估使用的建造规范要求强化范围内的、局部减薄区域内开口长度为Lm的强化区域面积。

*D*0=管件标称外径

*d*0=异径管减薄区域最大外径

*D*1=异径管大端外径

*D*i=支管连接标称内径

*f*=应力范围缩减因子

*i*=应力增强因子

*I*min=考虑所有截面中轴取向后，减薄管道的最小转动惯量

*L*=壁厚小于tnom的局部减薄区域最大长度

*L*m=壁厚小于tmin的局部减薄区域最大长度

*L*m(a)=壁厚小于tmin的局部减薄区域最大轴向长度

*L*ma,max=壁厚小于tmin的两个相邻局部减薄区域的最大轴向长度

*L*m(t)=壁厚小于tmin的局部减薄区域最大横向长度

*L*m,avg=壁厚小于tmin的两个相邻减薄区域的平均长度

*M*b=每种载荷条件下的弯矩

*P*=设计压力

*R*b=弯头圆心到中心轴半径

*R*0=标称外径

*R*max=半径加上弯头中心到中心轴的距离

*R*min=基于标称管道外径及最小壁厚的管件平均半径

*R*nom=基于名义半径及壁厚的管件平均半径

*S*=管件许用应力，包括接头有效系数 E

*S*b=减薄区域最大标称弯曲应力

*S*p=名义纵向压应力

*t*aloc=局部最小许用壁厚

*t*b=建造规范要求的管件均匀壁厚，在没有压力、热膨胀以及锚固移动载荷情况下，承受持续或偶然弯曲载荷

*t*min=建造规范要求的承压的最小壁厚，不包括腐蚀公差及腐蚀裕量

*t*min.l=异径管大端最小壁厚

*t*min,pipe=直管最小壁厚

*t’*min=修正的的内弯最小壁厚

*t*nom=管道或管件的标称壁厚，即设计壁厚，包括公差及腐蚀裕量

*t*p=预测的下次检测前时管道局部壁厚分布情况

*t*p,min=预测的下次检测前时管道局部最小壁厚

*y*=建造规范要求的评估系数

*Z*min=减薄区域预测最小横截面模量，考虑了管道中心轴得偏移，Imin/Rmax

*α*=异径管中心最大锥形角

*θ*=弯头外侧中心线和减薄区形成的最大夹角

*δ*=减薄区域中心到管道中性轴的距离

1. （资料性附录）  
   腐蚀速率计算

一次有效数据的估算

对于仅有一次壁厚检测数据的管道部件，确定每个减薄区域的初始壁厚，初始壁厚（）与最小值（）的差值即为此减薄区域的腐蚀量，腐蚀量和服役时间的比值即为此减薄区域的腐蚀速率，所有减薄区域（1,2,……,i）腐蚀速率的最大值即为部件的腐蚀速率即：

=（- ）/T ……………………………………………

其中：（mm）为减薄区域初始壁厚；

（mm）为减薄区域最小测量壁厚；

（mm/a）为减薄区域i的腐蚀速率；

（a）为部件服役时间。

= max(, ,…….) ……………………………………

（mm/a）为部件腐蚀速率。

两次有效数据的估算

对于有两次检测数据的情况，采用点对点的方法。每个网格点的腐蚀速率是指两次检测数据的差值与检测周期的比值。部件所有减薄区域的腐蚀速率是指所有网格点的最大值。

=(-)/ n=1,2,3…………………………………

=max(,,…….) ………………………………………

其中：（mm/a）为第n个网格点的腐蚀速率；

（mm）为第n个网格点第一次测量壁厚；

（mm）为第n个网格点第二次测量壁厚；

（a）为第n个网格点两次测量间隔时间。

两次以上有效数据的估算

对于有两次以上的检测数据时，采用最小二乘法确定部件腐蚀速率。部件所有减薄区域的腐蚀速率是指所有网格点的最大值。

=(-)/n=1,2,3……. ……………………………

=max(,,……)……………………………………

其中：（mm/a）为第n个网格点的腐蚀速率；

（mm）为第n个网格点第一次测量壁厚；

（mm）为第n个网格点第二次测量壁厚；

（a）为第n个网格点两次测量间隔时间。

