

T/XJPCIA

团

体

标

准

T/XJPCIA 0002—2023

油气集输非金属管道不动火（带压）抢维修工艺技术规范

Technical specification for non-hotwork repairing (with pressure) of oil and gas gathering and transportation non-metal pipelines

2023 - 06 - 01 发布

2023 - 06 - 20 实施

新疆维吾尔自治区石油和化学工业协会

发 布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 不动火（带压）抢维修作业范围	3
5 卡具通用要求	3
6 施工前的准备	3
6.1 施工单位	3
6.2 书面计划	4
6.3 施工工具及器材	4
6.4 人员劳动安全防护	4
7 不动火带压堵漏工艺	4
7.1 确定卡具类型	4
7.2 确定卡具长度	4
7.3 计算施工距离和安全施工压力	4
7.4 确定卡具空腔高度	4
7.5 安装卡具	4
7.6 注剂密封	5
8 不动火带压开孔工艺	5
8.1 玻璃钢管道	5
8.2 钢骨架聚乙烯塑料复合管道	6
9 不动火连接工艺	6
9.1 玻璃钢管道	6
9.2 钢骨架聚乙烯塑料复合管道	8
10 合格判定	8
10.1 判定方法	8
10.2 施工后处理	8
附录 A（资料性） 密封注剂成分及性能特点	9
附录 B（规范性） 卡具设计及相关计算	10
B.1 卡具结构设计	10
B.2 卡具结构设计准则	14
B.3 卡具的计算	14
附录 C（规范性） 安全施工压力设计	18
C.1 一般规定	18
C.2 安全系数	18
C.3 失效准则确定	18

C.4 施工距离及安全施工压力设计计算..... 18

C.5 注剂操作压力计算..... 21

参考文献..... 22

前 言

本文件按照GB/T 1.1—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。

本文件由克拉玛依红山油田有限责任公司、新疆维吾尔自治区标准化研究院提出。

本文件由新疆维吾尔自治区石油和化学工业协会归口。

本文件起草单位：克拉玛依红山油田有限责任公司、新疆维吾尔自治区标准化研究院、新疆润霖新能源技术有限公司、新疆维吾尔自治区计量测试研究院。

本文件主要起草人：梁爱国、刘冬冬、胡小明、郭娟、姚璐、张亚明、马平、黄伟强、杨旭东、芦学惠、热娜·艾尔肯、贺芙蓉、于倩、朱秋波、史涛、牛国辉、鲍新。

油气集输非金属管道不动火（带压）抢维修工艺技术规范

1 范围

本文件规定了油气集输非金属管道不动火（带压）抢维修工艺的术语和定义、不动火（带压）抢维修作业范围、卡具通用要求、施工前的准备、不动火带压堵漏工艺、不动火带压开孔工艺、不动火连接工艺和合格判定的要求。

本文件适用于设计压力不大于16 MPa、设计温度为-20℃～120℃的陆上油田集输非钢质管道新建、改建和扩建的工程施工。

2 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/T 13927 工业阀门 压力试验
- GB/T 50484 石油化工建设工程施工安全技术标准（附条文说明）
- SY/T 6524 石油天然气作业场所劳动防护用品配备规范
- SY/T 6554 石油工业带压开孔作业安全规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

油气集输 oil and gas gathering and transportation

在油气田内，将油气井采出的油、气等加以汇集、处理和输送的全过程。

[来源：GB 50350—2015,2.0.1]

3.2

注剂槽式密封卡具 injecting groove sealing fixture

卡具

双弧面结构，分上、下两盘，利用注剂槽实现卡具与管道密封的金属构件。

注：卡具加装在油气集输管道待抢维修部位。

3.3

密封 seal

流体介质在泄漏状态下或者为预防泄漏进行有效密封的技术手段。

3.4

注剂法密封 injecting leak sealing

通过向包容泄漏点的卡具注剂槽内，注入专用密封注剂，阻止或预防泄漏的方法。密封注剂成分及性能特点见附录A。

[来源：GB/T 26467—2011,3.2,有修改]

3.5

安全施工压力 safety operation pressure

对油气集输管道中的缺陷管道进行注剂法密封工程时，管道所能承受的最大弹性压力。

3.6

注剂操作压力 injecting operating pressure

在进行注剂法密封工程的过程中，注剂压力表所显示的压力。

3.7

密封比压 sealing pressure

作用在注剂槽面单位有效面积上实现有效密封的最低压力。

3.8

缺陷管道 defective pipeline

存在断裂、开裂、孔洞或裂纹等缺陷的管道。

3.9

环形注剂槽 annular injecting groove

位于卡具本体端部的环形凹槽,卡具扣合后与油气集输管道形成环形密封腔,注入专用密封注剂后,实现卡具与油气集输管道密封。

3.10

条形注剂槽 strip injecting groove

位于卡具螺栓连接孔内侧的条形凹槽,卡具扣合后形成条形密封腔,注入专用密封注剂后,实现卡具上、下盘之间的密封。

3.11

注剂装置 injecting sealant tools

在压力作用下,将密封剂注入到特定注剂槽,实现有效密封的专用器械。

3.12

注剂阀 injection valve

实现注剂孔与注剂装置连接,起到接通和关闭注剂通道的专用旋塞阀。

[来源:GB/T 26467—2011,3.7,有修改]

3.13

注剂接头 injection adaptor

转向、加长注剂孔道,实现注剂孔与注剂阀及注剂装置刚性连接的管件。

3.14

卡具空腔 fixture cavity

卡具内弧面内径大于管道外径时,卡具与管道外壁产生的密封空间。

3.15

注剂孔 injection hole

连接注剂阀、注剂接头,形成注剂通道的螺纹孔。

[来源:GB/T 26467—2011,3.11]

3.16

快换接头 hydraulic quick adaptor

能快速接通油路通道的装置。

3.17

内衬卡瓦 internal kava

用于管道的不动火带压堵漏,分上、下两盘交错搭接,扣合后呈管状结构,卡在待抢维修部位外部。

注:卡具需将内衬卡瓦与待抢维修部位整体包裹,用于提高待维修部位的强度。

3.18

固定卡瓦 fixed kava

用于管道不动火连接、开孔,分上、下两盘扣合后将管道包裹呈管状结构,固定连接、加固管道的卡瓦。

3.19

定位垫片 locating gasket

在钢骨架复合管的不动火带压开孔作用中,与卡具的密封凹槽配合固定,防止管道及卡具蠕动的装置。

3.20

不动火带压堵漏 non-hotwork online leak sealing

油气集输管道在流体介质泄漏状态下,利用卡具将泄漏部位进行有效密封的抢维修作业。

3.21

不动火带压开孔 non-hotwork hot-tapping

利用卡具对油气集输管道进行的带压开孔并更换缺陷管道、加装支线、局部改道等抢维修作业。

3.22

不动火连接 non-hotwork connection

油气集输管道在发生断裂、严重变形、破损面太大等情况下，利用卡具进行的抢维修作业。

3.23

初始注剂压力 initial injection pressure

密封注剂流变性难易程度的技术指标，单位为兆帕（MPa）。

4 不动火（带压）抢维修作业范围

4.1 适用于不动火（带压）抢维修作业非金属管道的压力、温度条件如下：

- 陆上油田集输非金属管道设计压力不大于 16 MPa、设计温度为-20 ℃~120 ℃；
- 不动火带压开孔压力小于 10 MPa；
- 不动火连接适用于常压状态。

4.2 施工前应进行项目危险性分析，评估是否能不动火（带压）抢维修操作。不宜进行不动火（带压）抢维修作业的条件如下：

- 现场不具备安全施工条件的泄漏点，如下：
 - 极度有毒有害介质的泄漏；
 - 作业空间不能满足抢维修要求；
 - 泄漏点危险性分析评估不具备施工条件要求。
- 管道强度达不到施工注剂操作压力要求，如下：
 - 因腐蚀和冲刷形成蜂窝状管道；
 - 管道内外壁减薄，最薄处低于原壁厚的 1/5；
 - 管道使用寿命超期。
- 管道缺陷超过维修施工界限，管道缺陷维修施工界限见表 1。

表1 管道缺陷维修施工界限表

缺陷形式	缺陷的最大尺寸
圆孔	157.5 mm，缺陷最大处不应超过1/4管径
轴向裂缝	1260 mm，缺陷最大处不应超过2倍管径
环向裂缝	210 mm，缺陷最大处不应超过1/3管径

5 卡具通用要求

5.1 应提供各种卡具出厂试压检测报告及合格证。

5.2 卡具形状（态）应满足管道维修要求。

5.3 卡具强度根据管道的注剂操作压力确定，强度试验压力大于 1.5 倍管道注剂操作压力为合格。

5.4 卡具设计及相关计算应符合附录 B 的规定。

6 施工前的准备

6.1 施工单位

应具备以下条件：

- 施工单位应具有特种设备安装改造维修（压力容器压力管道）资质证明；
- 施工单位的管理人员和作业人员经专业培训并取得有效《特种设备作业人员证》，并应持证上岗作业；
- 施工单位技术负责人应具备大专以上学历和中级以上技术职称；
- 施工作业人员中取得《特种设备作业人员证》资质的不应少于 5 人；
- 施工单位应有健全的相关管理制度和有效的质量保证体系。

6.2 书面计划

合同双方商定对泄漏部位进行现场勘测，生产单位按照GB/T 50484的规定，向施工单位进行安全技术交底。施工单位应编制不动火（带压）抢维修施工方案，主要包括以下内容：

- a) 带压密封施工方法选择；
- b) 卡具选型；
- c) 密封注剂选用及用量估算；
- d) 注剂操作方法及注意事项；
- e) 作业工器具及耗材准备；
- f) 安全和消防防护措施；
- g) 应急处置预案。

6.3 施工工具及器材

6.3.1 施工单位应根据施工方案，准备所需注剂阀、注剂接头和快换接头的规格和数量、密封剂用量及其他耗材配备。

6.3.2 施工单位应提供卡具产品合格证，包括带压密封专用注剂装置、器具及设备，其中计量器具应在检验有效期内使用。

6.3.3 注利用的工具连接装配后，经测试均应处于完好状态。

6.4 人员劳动安全防护

6.4.1 应对施工作业人员进行技术培训及安全教育。

6.4.2 应根据防烫、防冻、防静电、防辐射、防油、防砸、防滑、防沙、防寒、防晒、防刺及有毒有害气体的防护等健康安全要求，结合现场施工风险评估情况，按照SY/T 6524的规定规范人员劳动防护用品佩戴。

7 不动火带压堵漏工艺

7.1 确定卡具类型

7.1.1 现场勘测管道材质、外径、额定压力，管道缺陷位置（如直管段、弯头、三通等）、缺陷形状（如环向裂缝、轴向裂缝、斜缝、点漏、腐蚀变薄等）、缺陷大小（如裂缝长度、漏点大小、管道内外壁发生腐蚀程度等）。

7.1.2 将管道泄漏部位进行预处理，便于后续施工。

7.1.3 按照第4章的要求进行检验，如能进行不动火（带压）抢维修作业，应按照勘测情况确定卡具类型。

7.2 确定卡具长度

确定卡具注剂槽与管道泄漏缺陷的距离，根据该距离确定卡具长度，并对注剂槽与管道接触的位置进行处理，使表面平整光滑，满足卡具注剂槽施工要求。

7.3 计算施工距离和安全施工压力

应符合附录C的规定。

7.4 确定卡具空腔高度

7.4.1 卡具空腔高度不应超过10 mm。

7.4.2 若管线接头或其他表面异物高度（如焊缝、焊疤等）超过10 mm，应加装内衬卡瓦，填充除异物部分的卡具其他空腔部分。

7.4.3 若其卡具空腔高度等于异物高度，应加装内衬卡瓦，使上、下两盘交错搭接，与卡具本体内侧环形凹槽配合包裹待抢维修作业部位。

7.5 安装卡具

- 7.5.1 将卡具上、下盘扣在管道（内衬卡瓦）上，先调整方位，消除对接间隙，通过螺栓连接紧固。
- 7.5.2 安装时，应轻推嵌入，不应采用强力冲击的方法扣合卡具。
- 7.5.3 卡具注剂孔均应装配注剂阀，旋塞处于开启的位置。

7.6 注剂密封

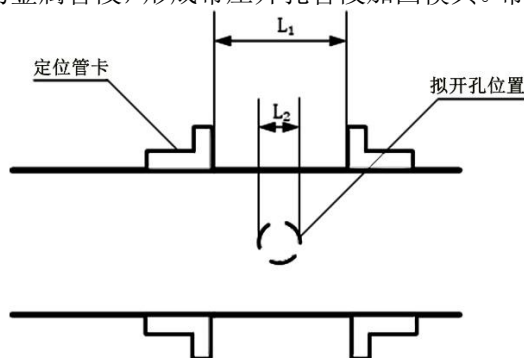
- 7.6.1 用液压油泵和注剂装置将密封注剂注入到注剂槽内，注入顺序沿注剂孔距泄漏点由远到近依次注入。
- 7.6.2 当注入压力稳定时，开始缓慢注入，以免密封注剂泄漏；操作时，注剂操作压力小于等于计算值，注剂操作压力计算见式（C.5），注剂完成后安装螺栓密封注剂孔。

8 不动火带压开孔工艺

8.1 玻璃钢管道

8.1.1 管段加固

- 8.1.1.1 对带压开孔段进行加固，加固管段长度为2倍~3倍开孔孔径，经打磨使管道表面粗糙。
- 8.1.1.2 在带压开孔管段两端加装定位管卡；在带压开孔管段确定预开口位置，加固模具管道外径大于带压开孔孔径5mm~10mm的金属管段，形成带压开孔管段加固模具。带压开孔管段加固结构见图1。



标引序号说明：

L_1 ——加固带压开孔管段长度，单位为毫米（mm）；

L_2 ——拟开孔直径，单位为毫米（mm）。

注： $L_1 = (2 \sim 3) L_2$ 。

图1 带压开孔管段加固结构

- 8.1.1.3 根据模具形态，现场裁剪与玻璃钢管道同型号玻璃纤维布，并在玻璃纤维布上均匀涂抹玻璃钢管道原生产工艺中液态环氧树脂与固化剂混合液，按玻璃钢管道生产工艺要求，围绕金属旁通管，采用螺旋缠绕法，在模具内将玻璃纤维布均匀缠绕在管道上，缠绕厚度大于玻璃钢管道厚度0.2mm~0.5mm，再取出金属管道待其固化。

8.1.2 修整管道

拆除定位管卡，对带压开孔管段加固部分进行修整，应保持端口齐整，加固部分的厚度与原玻璃钢管道厚度一致。

8.1.3 安装卡具

- 8.1.3.1 卡具上盘弧面连接的平板闸阀的金属管段，其内径大于带压开孔直径5mm~10mm，旁通管道中心对准管道预开口中心，卡具长度应大于2倍~3倍管道外径，通过螺栓进行连接紧固。
- 8.1.3.2 卡具注剂孔均应装配注剂阀，旋塞处于开启的位置。

8.1.4 注剂密封

应按照7.6的要求执行。

8.1.5 检测密封性

应按照GB/T 13927的规定对阀座的密封性进行试验。

8.1.6 带压开孔

8.1.6.1 应按照 SY/T 6554 的规定安装带压开孔设备、试压、开孔。

8.1.6.2 开孔结束后，关闭平板闸阀并拆卸开孔设备。

8.1.6.3 在卡具两端的玻璃钢管道上，分别取 200 mm 的长度进行打磨使管道表面粗糙，按 8.1.1 的要求加固管道，缠绕 10 mm 玻璃纤维布定位加固卡具，安装固定支墩固定旁通管道闸门。

8.2 钢骨架聚乙烯塑料复合管道

8.2.1 安装卡具

8.2.1.1 开孔完成后，通过工作筒下入内补强密封橡胶复合筒，将开孔后的 PE 母管与介质有效隔离，见图 2。

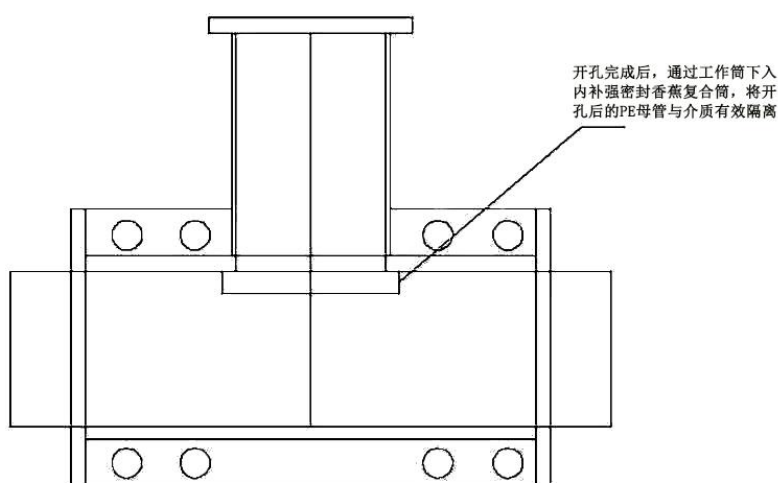


图2 工作筒下入结构

8.2.1.2 卡具上盘卡具弧面连接的平板闸阀的金属管段，其内径大于带压开孔直径 5 mm~10 mm，旁通管道中心对准管道预开口中心，卡具长度应大于 2 倍~3 倍管道外径。

8.2.1.3 根据卡具对应弧面定位垫片槽的位置，在带压开孔管段上标识出定位垫片槽与管道接触的位置，再用定位销钉固定定位垫片，防止管道偏移。

8.2.1.4 对应定位垫片的位置，将卡具上、下盘扣在带压开孔管段上，卡具上盘旁通管道对准管道预开口位置，通过螺栓进行连接紧固。

8.2.1.5 卡具注剂孔均应装配注剂阀，旋塞处于开启的位置。

8.2.2 注剂密封

应按照7.6的要求执行。

8.2.3 检测密封性

应按照8.1.5的规定执行。

8.2.4 带压开孔

应按照8.1.6.1和8.1.6.2的要求执行，并安装固定支墩固定卡具及旁通管道闸门。

9 不动火连接工艺

9.1 玻璃钢管道

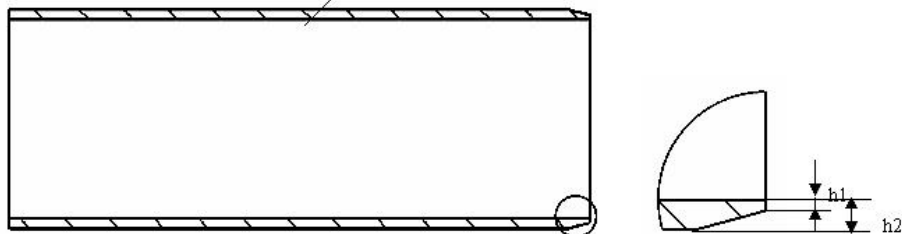
9.1.1 确定卡具类型

根据管道材质、外径和额定压力确定卡具类型。

9.1.2 修整管道

9.1.2.1 操作前，试验确定玻璃钢管道失稳的外压（临界压力），并检查确认与密封注剂接触管段的完好情况。

9.1.2.2 切除管道破损部分，使断口端面齐整完好，断口两端间距差 ≤ 20 mm，用工具将管道断口两端分别修出 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 锥角的外锥面，同时 h_1/h_2 应不小于 $1/2$ ，管道端面修整结构见图3。



标引序号说明：

h_1 ——修后保留厚度，单位为毫米（mm）；

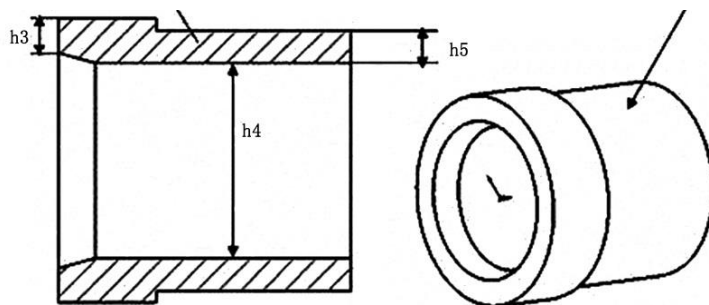
h_2 ——修整后厚度，单位为毫米（mm）。

图3 玻璃钢管管道端面修整结构

9.1.3 制作密封接头

9.1.3.1 选择同材质、同管径（内径）的玻璃钢管，壁厚增加10 mm，制作长200 mm的环形短节。

9.1.3.2 一侧用工具在管道内壁修出与管道外锥面同锥角同长度的内锥面；另一侧管壁打薄6 mm，沿管道轴向延伸150 mm，端面齐整形成对接短节， h_3 应 ≥ 10 mm，玻璃钢管密封接头管道端面修整结构见图4。



标引序号说明：

h_3 ——密封外侧接头厚度，单位为毫米（mm）；

h_4 ——管道内径，单位为毫米（mm）；

h_5 ——密封内侧接头厚度，单位为毫米（mm）。

注： $h_5 = h_2 + h_3 - 6$ mm。

图4 玻璃钢管密封接头管道端面修整结构

9.1.4 粘接

清理管道与密封接头的接触面（端面），均匀涂刷粘接剂，用加热设备加热粘接面，加热温度 $\leq 70^{\circ}\text{C}$ ，直到粘接剂完全固化。管道切口两端与密封接头粘接完成后，修整另一侧接头端面，进行对接。接头端面应齐整完好，形成环形凹槽。

9.1.5 安装卡具及内衬卡瓦

9.1.5.1 按环形凹槽规格尺寸选择合适的内衬卡瓦，卡具应包裹内衬卡瓦进行安装。

9.1.5.2 卡具安装应按照7.5的要求执行。

9.1.6 注剂密封

应按照7.6的要求执行。

9.2 钢骨架聚乙烯塑料复合管道

9.2.1 确定卡具类型

根据管道材质、外径和额定压力确定卡具类型。

9.2.2 修整管道

对于管道接头破损，发生形变的管道，管道椭圆度 $>5\%$ 时，应采用槽边扩展型卡具对变形管道进行归圆扶正。方法是沿管道横截面最大横轴方向扣装槽边扩展型卡具，通过夹板螺栓进行连接紧固，紧固过程中将变形管道及接头进行归圆，恢复其圆度，使其与未发生形变的管道同心，保证管道及接头与卡具之间的配合间隙。

9.2.3 安装卡具

对于管道接头破损，未发生形变的管道，应按照7.5的要求执行。

9.2.4 注剂密封

应按照7.6的要求执行。

10 合格判定

10.1 判定方法

施工作业点连续24 h无泄漏，判定为合格，并填写施工验收记录。

10.2 施工后处理

施工完成后，用塑料膜将卡具完全包裹，内附黄油防腐。清理现场，恢复原貌，确保“工完、料净、场地清”。

附 录 A
(资料性)
密封注剂成分及性能特点

表A.1给出了密封注剂成分及性能特点。

表A.1 密封注剂成分及性能特点

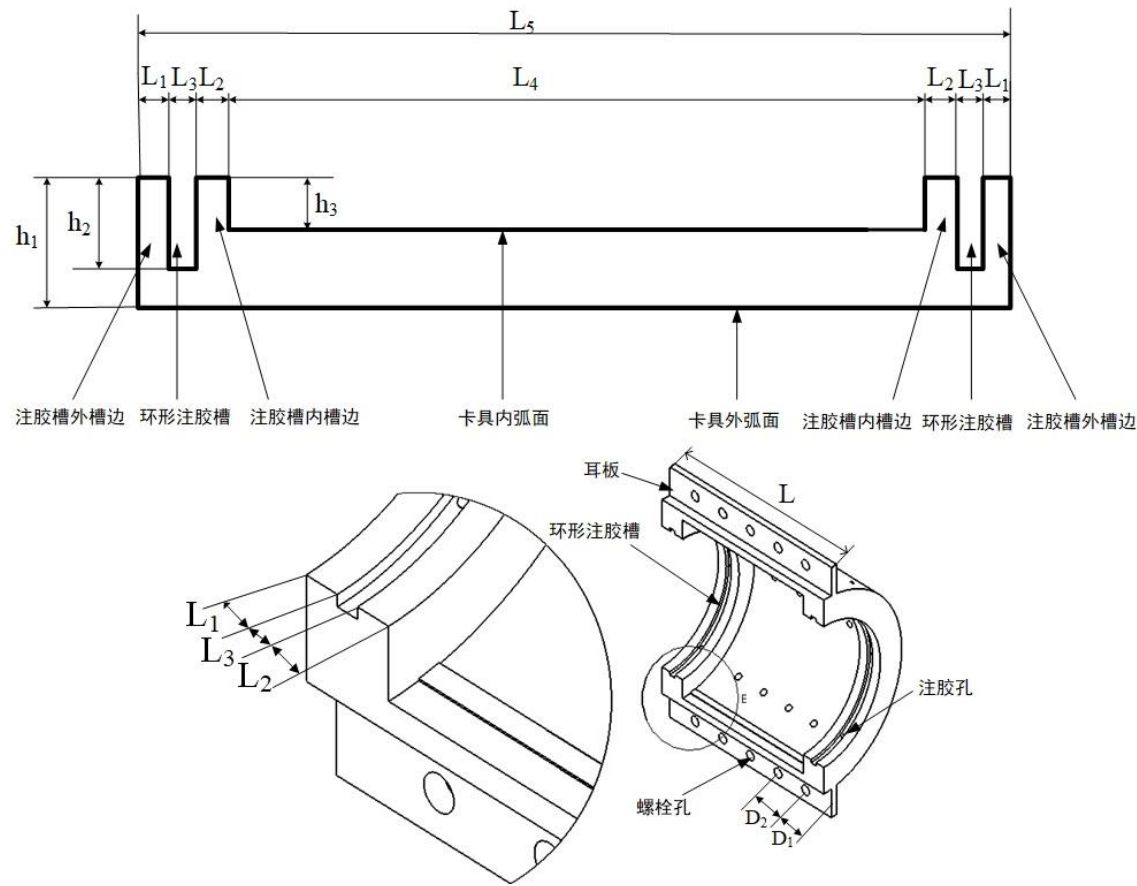
序号	类型	适用温度/℃	适用介质	性能特点
密封胶1	遇热塑性形变密封胶体	80~350	原油、污水、蒸汽	具有较好的注入工艺流动性，可产生较好的填充效果，性能稳定，高温非固化
密封胶2	遇热塑性形变密封胶体	80~800	水、水蒸汽、重油、导热油	耐温耐介质性能优异，且可在泄漏严重的情况下较快地建立起承压能力，适用于高温、高压、泄漏严重部位，高温热固化
密封胶3	弹性非塑性密封胶体	-180~260	有机溶剂、各类气体及化学介质	无固化过程，具有较好的化学稳定性和低温冷流性，可在低温情况下产生较好的填充效果
密封胶4	弹性非塑性密封胶体	<600	各类油品、水、水蒸汽及各种热载体	具有良好的注入工艺流动性和可塑性

附录 B
(规范性)
卡具设计及相关计算

B.1 卡具结构设计

B.1.1 常规型双槽卡具

B.1.1.1 应设计为双弧面结构，分上、下盘两部分，上、下盘通过带有螺栓的条形耳板相连形成管状结构，常规型双槽卡具结构见图 B.1。



标引序号说明：

- h_1 ——卡具厚度，单位为毫米（mm）；
 h_2 ——注剂槽的槽深，单位为毫米（mm）；
 h_3 ——卡具空腔高度，单位为毫米（mm）；
 L ——耳板长度，单位为毫米（mm）；
 L_1 ——注剂槽外槽边宽，单位为毫米（mm）；
 L_2 ——内槽边宽，单位为毫米（mm）；
 L_3 ——注剂槽宽，单位为毫米（mm）；
 L_4 ——管道接头长，单位为毫米（mm）；
 L_5 ——卡具总长度，单位为毫米（mm）；
 D_1 ——螺栓孔中心与近侧边距离，单位为毫米（mm）；
 D_2 ——螺栓孔间距，单位为毫米（mm）。

注1: $L_5 = L_4 + 2(L_1 + L_2 + L_3)$ 。

注2: L_1 、 L_2 、 L_3 为15 mm~30 mm， h_1 为8 mm~25 mm。

图B.1 常规型双槽卡具结构

B.1.1.2 卡具空腔高度 $h_3 \leq 10 \text{ mm}$ ，若安装内衬卡瓦（固定卡瓦），则 h_3 等于内衬卡瓦（固定卡瓦）厚度。

B.1.1.3 卡具上、下盘均设有条形耳板，根据卡具耳板的不同长度加工相应螺栓孔，具体为：

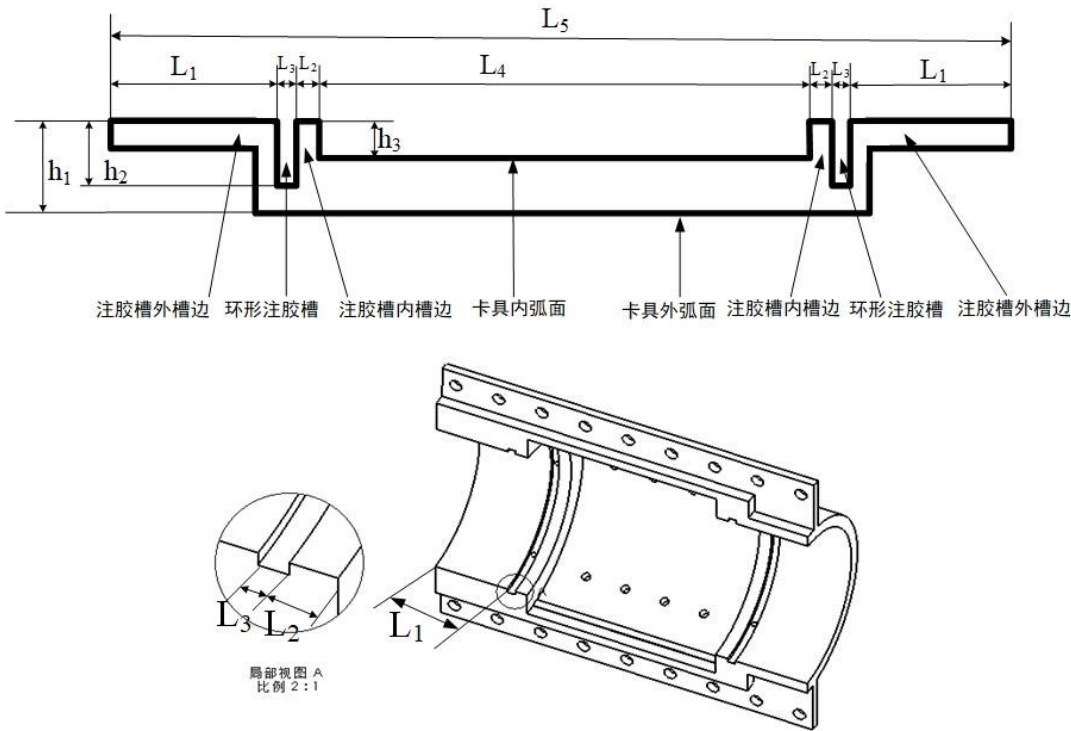
- a) 当耳板长度 $L \leq 200 \text{ mm}$ 时，耳板设置两条螺栓孔，螺栓孔中心与近侧边距离 D_1 为 $20 \text{ mm} \sim 40 \text{ mm}$ ；
- b) 当耳板长度 $200 \text{ mm} < L \leq 300 \text{ mm}$ 时，螺栓孔以“三分法”布置，螺栓孔中心与近侧边距离 D_1 为 $2 \text{ mm} \sim 4 \text{ mm}$ ，中心孔在横向中心位置设置；
- c) 当耳板长度 $L > 300 \text{ mm}$ 时，螺栓孔中心与近侧边距离 D_1 为 $2 \text{ mm} \sim 4 \text{ mm}$ ，螺栓孔间距 D_2 取 $10 \text{ mm} \sim 15 \text{ mm}$ 均匀分设置。

B.1.1.4 上、下盘耳板内侧设有条形注剂槽，条形注剂槽呈长方体结构，注剂槽长度根据卡具耳板长度确定，宽度应设置为 $15 \text{ mm} \sim 30 \text{ mm}$ 、深度应设置为 $8 \text{ mm} \sim 25 \text{ mm}$ ，条形注剂槽两端与环形注剂槽连通。条形注剂槽外侧加工注剂孔，注剂孔设置于螺栓孔间距中心位置均匀分散布置，注剂孔直径应设置为 $8 \text{ mm} \sim 12 \text{ mm}$ ，加工完毕后安装注剂阀。

B.1.1.5 环形注剂槽设置在卡具本体内侧，环形注剂槽宽度应设置为 $15 \text{ mm} \sim 30 \text{ mm}$ 、深度设置为 $8 \text{ mm} \sim 25 \text{ mm}$ 。环形注剂槽与条形注剂槽连通，注剂孔直径应设置为 $8 \text{ mm} \sim 12 \text{ mm}$ ，加工完毕后安装注剂阀。

B.1.2 槽边扩展型双槽卡具

B.1.2.1 如管道及管道接头变形较大，与常规卡具达不到要求配合间隙时，应采用槽边扩展型卡具，其具体尺寸按管道未变形时的标准外径制作，作用是对注剂槽外槽边进行扩展。槽边扩展型双槽卡具结构见图 B.2。



标引序号说明：

- h_1 ——卡具厚度，单位为毫米（mm）；
- h_2 ——注剂槽的槽深，单位为毫米（mm）；
- h_3 ——卡具空腔高度，单位为毫米（mm）；
- L_1 ——注剂槽外槽边宽，单位为毫米（mm）；
- L_2 ——内槽边宽，单位为毫米（mm）；
- L_3 ——注剂槽宽，单位为毫米（mm）；

L_4 ——管道接头长，单位为毫米（mm）；

L_5 ——卡具总长度，单位为毫米（mm）。

注1： $L_5 = L_4 + 2(L_1 + L_2 + L_3)$ 。

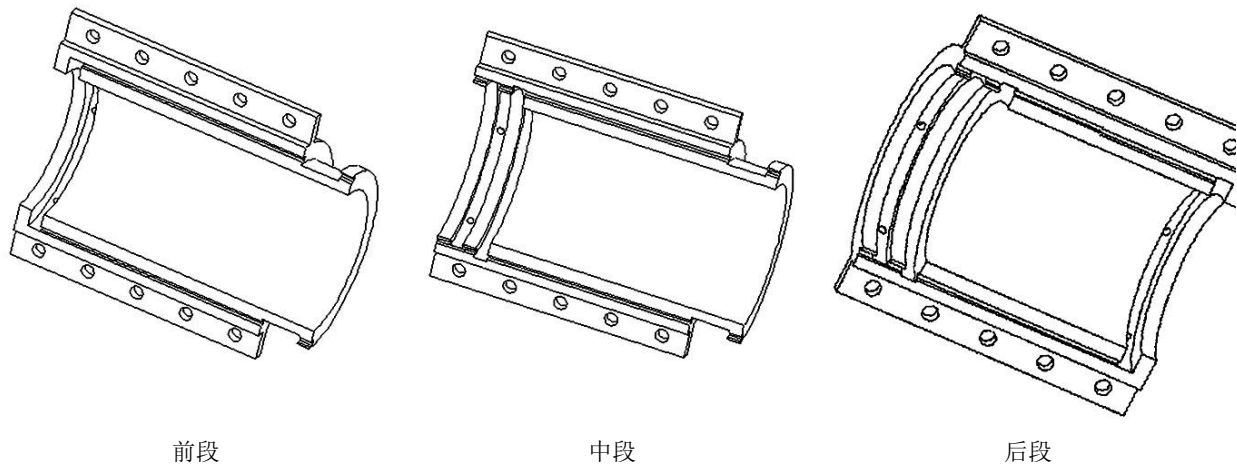
注2： $L_1 = (3 \sim 5)L_2$ ， L_2 、 L_3 为15 mm～30 mm， h_2 为8 mm～25 mm。

图B.2 槽边扩展型双槽卡具结构

B.1.2.2 耳板、注剂槽等卡具其余参数的设计与常规性卡具相同。

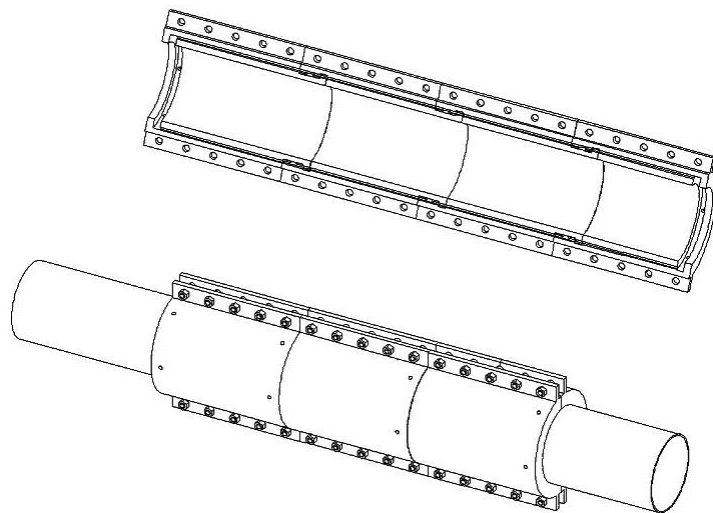
B.1.3 密封搭接卡具

B.1.3.1 管道密封搭接卡具由3个部分相互搭接而成，分别是前段、中段和后段。前段的前部与常用管道卡具相同，前段的后部为搭接母槽与中段相连；中段的前部为搭接注剂槽与前段相连，中段的后部与前段的后部相同，为搭接母槽与后段的前部相连；后段的前部与中段的前部相同，为搭接注剂槽与中段的后部相连，后段的后部与常用管道卡具相同。密封搭接卡具结构见图B.3。



图B.3 密封搭接卡具结构

B.1.3.2 前段、中段和后段都由上、下盘构成，扣合形成密封结构，上、下盘接合面彼此相贯通两个长条形密封腔，注满胶后卡具上、下盘之间密封。前段和后段的注剂槽与上、下盘接合面的条形密封腔相连通，注满胶后卡具与管道之间密封，中段和后段的搭接注剂槽注满胶后卡具前段、中段、后段之间密封，各搭接部位配合间隙应 <0.2 mm。密封搭接卡具连接结构见图B.4。



图B.4 密封搭接卡具连接结构

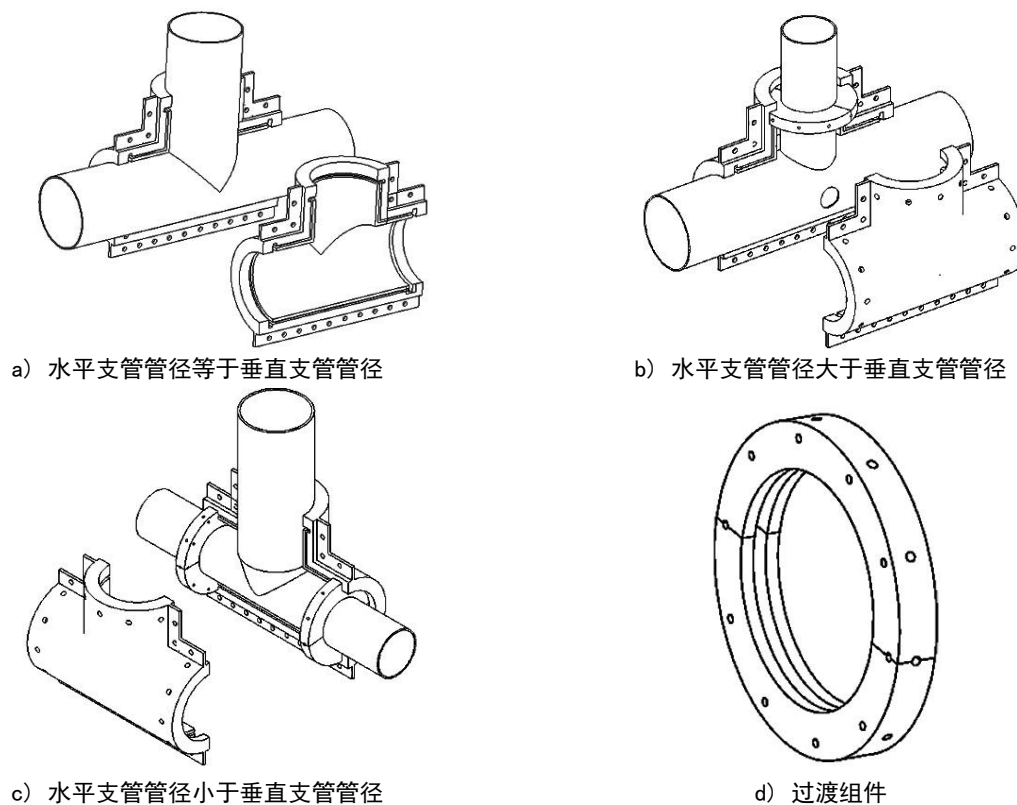
B.1.4 密封异形卡具

B.1.4.1 密封异形卡具适用于具有多个支管的复杂管道维修问题，能在施工现场调制加工卡具与管道的配合间隙。

B.1.4.2 当水平支管管径等于垂直支管管径时，可使用的卡具见图 B.5 中的 a)。

B.1.4.3 当水平支管管径大于垂直支管管径时，可使用的卡具见图 B.5 中的 b)，可在小管径支管上添加过渡组件，见图 B.5 中的 d)。

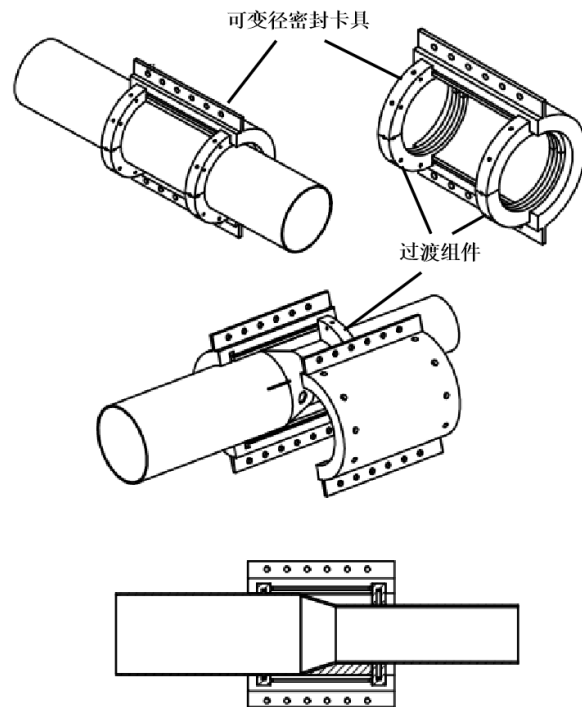
B.1.4.4 当水平支管管径小于垂直支管管径时，可使用的卡具见图 B.5 中的 c)，可在小管径支管上添加过渡组件，见图 B.5 中的 d)。



图B.5 密封异形卡具及过渡组件结构

B.1.5 可变径管道卡具

可变径管道卡具适用于变径管道的维修，可按适用维修管径系列的最大管径设计、安装或现场调制不同尺寸的活动注剂槽及相应尺寸的管道内衬，实现一套卡具维修多管径、不同壁厚的管道。可变径管卡具结构见图B.6。



图B.6 可变径管道卡具结构

B.2 卡具结构设计准则

B.2.1 承受注剂压力和泄漏介质压力的卡具部位的金属材料壁厚应满足刚度条件，使用中不应出现变形，卡具的连接部位的结构应满足强度条件，使用中不应发生断裂。

B.2.2 选择卡具结构形式时，不应产生对泄漏缺陷部位形成拉应力的受力状态，卡具注剂槽槽边与管道外表面接触部位的密封间隙符合表B.1的要求。

表B.1 卡具槽边与管道外表面接触的密封间隙

泄漏介质压力/MPa	0.1~2.9	3~4.9	5~6.9	7~9.9	>10
配合间隙/mm	<0.5	<0.4	<0.3	<0.2	<0.1

B.2.3 卡具空腔的宽度应大于泄漏缺陷实际尺寸15 mm，卡具空腔高度<10 mm，使用内衬卡瓦（固定卡瓦）的卡具，卡具空腔的高度不小于内衬卡瓦（固定卡瓦）的厚度。

B.2.4 注剂孔的数量和分布应确保密封注剂能注满整个密封剂槽。考虑带压堵漏作业时应排出卡具注剂槽内的气体，同时排放尚未停止泄漏的压力介质，卡具上、下盘应各加工n个注剂孔，沿上、下盘外弧面均匀分布，两孔间直线及弧面间距<100 mm，注剂孔直径应设置为8 mm~12 mm。当管径≤100 mm，分布4孔；当管径为100 mm~300 mm，分布6孔；当管径>300 mm，分布8孔。

B.2.5 卡具所用的材质强度及性能参数不低于修复管道的材质参数。

B.3 卡具的计算

B.3.1 卡具本体厚度计算

卡具的壁厚按式（B.1）计算：

$$S = \frac{PD}{2[\sigma]t\varphi - P} + C \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

S ——卡具强度计算壁厚，单位为毫米（mm）；

P ——卡具设计压力, 单位为兆帕 (MPa);
 D ——卡具计算直径, 单位为毫米 (mm);
 $[\sigma]^t$ ——泄漏介质温度下卡具材料的许用应力, 单位为兆帕 (MPa);
 φ ——焊缝系数, 一般取0.7; 当卡具采用整体材料制作时, $\varphi=1$;
 C ——附加厚度, 单位为毫米 (mm)。

注1: 卡具设计压力 P 修正为: $P=P_L+5$ MPa; P_L 为系统压力, 经现场测量得出。

注2: 式中的 D , 对法兰用卡具是指法兰外径, 对管段卡具是指卡具圆筒壳体的内直径, $D=\text{管段外径}+(2\times\text{卡具空腔高度})-\text{热膨胀量}$; 热膨胀量计算公式见B.6。

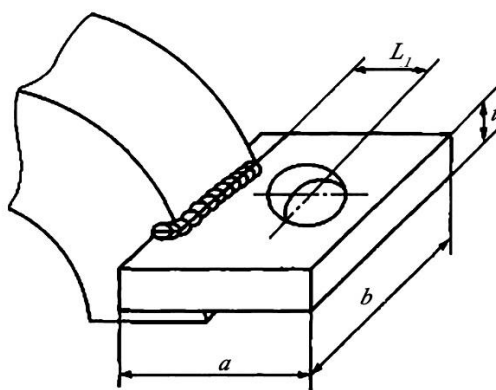
注3: 卡具设计不考虑材料腐蚀余量。

注4: 卡具最小厚度宜 >14 mm。

注5: 在式 (B.1) 计算厚度值的基础上, 为满足刚性需求, 应适当增加卡具厚度。

B.3.2 耳板厚度的计算

B.3.2.1 单螺栓耳板结构见图 B.7。



标引序号说明:

L_1 ——耳板螺栓孔中心线至卡具外壁与耳板连接 (焊接部位) 处距离, 单位为毫米 (mm);

t ——卡具耳板厚度, 单位为毫米 (mm);

a ——卡具耳板宽度, 单位为毫米 (mm);

b ——卡具耳板长度, 单位为毫米 (mm)。

图B.7 单螺栓耳板结构

B.3.2.2 单螺栓连接耳板的厚度按式 (B.2) 计算:

$$t = \sqrt{\frac{3BL_1PD}{b[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

t ——卡具耳板厚度, 单位为毫米 (mm);

B ——卡具密闭空腔宽度, 单位为毫米 (mm);

L_1 ——耳板螺栓孔中心线至卡具外壁与耳板连接 (焊接部位) 处距离, 单位为毫米 (mm);

P ——卡具设计压力, 单位为兆帕 (MPa);

D ——卡具计算直径, 单位为毫米 (mm);

b ——卡具耳板长度, 单位为毫米 (mm);

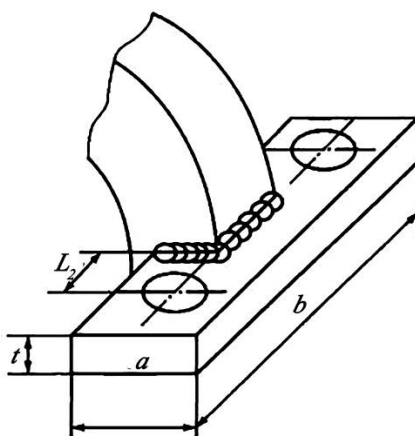
$[\sigma]^t$ ——泄漏介质温度下卡具材料的许用应力, 单位为兆帕 (MPa)。

注1: 卡具设计压力 P 修正为: $P=P_L+5$ MPa; P_L 为系统压力, 经现场测量得出。

注2: 式中的 B , 对管段用卡具是指卡具空腔的宽度, 对法兰用卡具是指两法兰间隙量。

注3: 式中的 D , 对法兰用卡具是指法兰外径, 对管段卡具是指卡具圆筒壳体的内直径, $D=\text{管段外径}+(2\times\text{卡具空腔高度})-\text{热膨胀量}$; 热膨胀量计算公式见B.6。。

B.3.2.3 双螺栓耳板结构见图 B.8。



标引序号说明:

L_2 ——耳板螺栓孔中心线至法兰卡具外侧面的距离, 单位为毫米 (mm);

t ——卡具耳板厚度, 单位为毫米 (mm);

a ——卡具耳板宽度, 单位为毫米 (mm);

b ——卡具耳板长度, 单位为毫米 (mm)。

图B.8 双螺栓耳板结构

B.3.2.4 双螺栓连接耳板的厚度按式 (B.3) 计算:

$$t = \sqrt{\frac{3BL_2PD}{a[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

t ——卡具耳板厚度, 单位为毫米 (mm);

B ——卡具密闭空腔宽度, 单位为毫米 (mm);

L_2 ——耳板螺栓孔中心线至法兰卡具外侧面的距离, 单位为毫米 (mm);

P ——卡具设计压力, 单位为兆帕 (MPa);

D ——卡具计算直径, 单位为毫米 (mm);

a ——卡具耳板宽度, 单位为毫米 (mm);

$[\sigma]^t$ ——泄漏介质温度下卡具材料的许用应力, 单位为兆帕 (MPa)。

注: 式中的 B 、 D 、 P 与单螺栓连接耳板厚度一致。

B.3.3 连接螺栓的计算

B.3.3.1 法兰卡具连接螺栓的计算见式 (B.4):

$$d = 1.29 \sqrt{\frac{C_K B P D}{n[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

d ——计算最小螺纹直径, 单位为毫米 (mm);

C_K ——预紧和刚度系数, $C_K=1.5$;

B ——卡具密闭空腔宽度, 单位为毫米 (mm);

P ——卡具设计压力, 单位为兆帕 (MPa);

D ——卡具计算直径, 单位为毫米 (mm);

n ——连接螺栓数量;

$[\sigma]^t$ ——泄漏介质温度下卡具材料的许用应力, 单位为兆帕 (MPa)。

注1: 式中的 B 、 D 、 P 与单螺栓连接耳板厚度一致。

注2: 按螺栓小径选用标准规格, 但不宜小于M12; 当温度和压力都较高时, d 不应小于M16。

B.3.3.2 直管段卡具连接螺栓的计算见式 (B.5):

$$d = \sqrt{\frac{1.27 C_K B P D}{n[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

d ——计算最小螺纹直径, 单位为毫米 (mm);

C_K ——预紧和刚度系数, $C_K=1.5$;

B ——卡具密闭空腔宽度, 单位为毫米 (mm);

P ——卡具设计压力, 单位为兆帕 (MPa);

D ——卡具计算直径, 单位为毫米 (mm);

n ——连接螺栓数量;

$[\sigma]^t$ ——泄漏介质温度下卡具材料的许用应力, 单位为兆帕 (MPa)。

注1: 式中的 B 、 D 、 P 与单螺栓连接耳板厚度一致。

注2: 按螺栓小径选用的标准规格, 但不宜小于M12; 当温度和压力都较高时, d 不应小于M16。

B.3.4 热膨胀量

B.3.4.1 卡具承受泄漏介质系统温度作用, 产生伸长变形。卡具热膨胀量按式 (B.6) 进行计算:

$$\Delta = \beta T L \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

Δ ——卡具热膨胀量, 单位为毫米 (mm);

β ——金属材料的热膨胀系数, 单位为百万分之一每摄氏度 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$);

T ——卡具材料所处的温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

L ——卡具长度或内径, 单位为毫米 (mm)。

B.3.4.2 不同金属材料在不同温度下的热膨胀系数应符合表 B.2 的规定。

表B.2 不同金属材料在不同温度下的热膨胀系数

材料	热膨胀系数			
	20 $^{\circ}\text{C}$ ~100 $^{\circ}\text{C}$	100 $^{\circ}\text{C}$ ~200 $^{\circ}\text{C}$	200 $^{\circ}\text{C}$ ~300 $^{\circ}\text{C}$	300 $^{\circ}\text{C}$ ~400 $^{\circ}\text{C}$
碳素钢、碳锰钢、锰钼钢、低铬钼钢	11.53	12.25	12.90	13.58
中铬钼钢 (Cr5Mo~Cr9Mo)	10.91	11.39	11.90	12.38
奥氏钢体 (至Cr19Ni14)	16.84	17.25	17.61	17.99
高铬钢 (Cr13~Cr17)	9.94	10.45	10.96	11.41
Cr25Ni20	15.84	16.05	16.07	16.13

附录 C
(规范性)
安全施工压力设计

C.1 一般规定

安全施工压力与泄漏缺陷部位的材质、缺陷类型及施工工艺等有直接的关系，影响因素较多，其设计计算应遵循仿真模拟和室内实验的综合结果。

针对油气集输管道中的玻璃钢管道、钢骨架塑料复合管道出现圆孔、轴向裂缝、环向裂缝，需要进行注剂法密封作业时，提供其安全施工压力设计计算方法，其他非金属材质的管道安全施工压力设计计算可参考本方法。

C.2 安全系数

C.2.1 卡具设计时应综合考虑材料和受力特性等因素，以确定适宜的安全系数，进而确定允许用于安全设计计算的许用应力。许用应力应按规定的安全系数计算。

C.2.2 卡具本体及耳板的安全系数应符合表C.1的要求。

表C.1 卡具本体及耳板的安全系数

材料	安全系数		
	室温下的抗拉强度	设计室温下的抗拉强度	备注
碳钢、低合金钢	$n_b \geq 2.7$	$n_s \geq 1.5$	—
高合金钢	$n_b \geq 2.7$	$n_s \geq 1.5$	—

C.2.3 连接螺栓的安全系数应符合表C.2的要求。

表C.2 连接螺栓的安全系数

材料	螺柱（螺栓）直径	热处理状态	安全系数
			设计温度下的屈服强度
碳素钢	$\leq M22$	热轧 正火	2.7
	M24~M28		2.5
低合金钢、马氏体高合金钢	$\leq M22$	调质	3.5
	M24~M28		3.0
	$\leq M52$		2.7
奥氏体高合金钢	$\leq M22$	固溶	1.6
	M24~M28		1.5

C.3 失效准则确定

C.3.1 玻璃钢管道

玻璃钢管主要以玻璃纤维及其制品为增强材料，以高分子成分的不饱和聚脂树脂、环氧树脂等为基体材料，经过连续缠绕成型、固化而成。因此，其失效采用保守原则，即所有缠绕层中出现一层失效则认为整个管道发生功能失效，失去承压能力。

C.3.2 钢骨架聚乙烯塑料复合管道

钢骨架塑料复合管是由两种材质，一般是钢丝与塑料复合而成，钢丝为主要承载结构。因此，其失效采用弹性失效准则，即在外力作用下钢丝网层达到弹性屈服则认为管道失去承压能力。

C.4 施工距离及安全施工压力设计计算

C.4.1 施工距离

C.4.1.1 在进行注剂法密封作业前，首先需确定卡具注剂槽与管道泄漏缺陷的距离，再根据实际距离

及卡具长度计算安全施工压力。

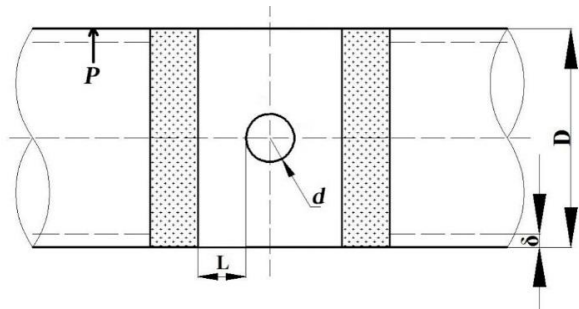
C.4.1.2 按 C.4.2 和 C.4.3 给出的四个安全施工压力计算公式中,假设安全施工压力 P_{safe} 等于管道实际运行压力,将现场勘测得到的 d 、 D 、 P 、 δ 的值,带入相应公式,计算出施工距离 L 。

C.4.1.3 安全施工压力计算方法如下:

- 当所选用卡具的注剂槽与管道泄漏缺陷的距离小于施工距离时,可使用公式计算安全施工压力;
- 当所选用卡具的注剂槽与管道泄漏缺陷的距离大于施工距离时,以管道能承受的极限外压作为安全施工压力。

C.4.2 玻璃钢管道

C.4.2.1 在满足失效准则的前提下,管道泄漏部位为圆孔形时,见图 C.1。管道的安全施工压力宜按式 (C.1)、式 (C.2) 进行计算:



标引序号说明:

P ——管道运行压力,单位为兆帕 (MPa);

L ——泄漏缺陷边缘距卡具环形注剂槽的距离,单位为毫米 (mm);

d ——圆孔缺陷半径,单位为毫米 (mm);

D ——管径,单位为毫米 (mm);

δ ——壁厚,单位为毫米 (mm)。

注:图中阴影部分为注胶区域。

图C.1 管道圆孔形泄漏部位及卡具注剂槽位置示意图

C.4.2.2 当管道处于高压 (P : 0.4 MPa~4.0 MPa; δ : 3.3 mm~9.24 mm) 状态下,安全施工压力宜按式 (C.1) 进行计算:

$$P_{safe} = -0.15dLD + 5.10D\delta P - 4.38DP^2 + 218.9P^2 + 7.40dL + 1.48dD + 0.74LD + 94.22L\delta - 2.04D\delta - 13.33DP - 255.04\delta P + 666.38P - 347.82L - 1.37D - 840.15\delta - 74.01d + 17607.30 \dots (C.1)$$

式中:

P_{safe} ——安全施工压力,单位为千帕 (kPa);

d ——圆孔缺陷直径,单位为毫米 (mm);

L ——注剂槽距缺陷边缘的距离,单位为毫米 (mm);

D ——管径,单位为毫米 (mm);

δ ——管道壁厚,单位为毫米 (mm);

P ——管道运行压力,单位为兆帕 (MPa)。

注: d 和 D 宜在合适范围内进行计算。其中 d : 5 mm~100 mm; D : 50 mm~400 mm。

C.4.2.3 当管线处于低压 (P : 0.2 MPa~2.0 MPa; δ : 4.62 mm~16.5 mm) 状态下,安全施工压力宜按式 (C.2) 进行计算:

$$P_{safe} = -0.08dLD + 2.25D\delta P + 3.78DL + 0.76dD + 1.43LD + 18.70L\delta - 0.45D\delta - 10.39DP - 112.41\delta P + 519.32P - 158.04L - 12.25D - 164.56\delta - 37.81d + 5669.92 \dots (C.2)$$

式中:

P_{safe} ——安全施工压力,单位为千帕 (kPa);

- d ——圆孔缺陷直径, 单位为毫米 (mm);
 L ——注剂槽距缺陷边缘的距离, 单位为毫米 (mm);
 D ——管径, 单位为毫米 (mm);
 δ ——管道壁厚, 单位为毫米 (mm);
 P ——管道运行压力, 单位为兆帕 (MPa)。
 注: d 和 D 宜在合适范围内进行计算。其中 d : 5 mm~100 mm; D : 50 mm~400 mm。

C.4.3 钢骨架聚乙烯塑料复合管道

C.4.3.1 在满足失效准则的前提下, 管道处于圆孔缺陷状态时, 见图 C.1, 安全施工压力宜按式 (C.3) 进行计算:

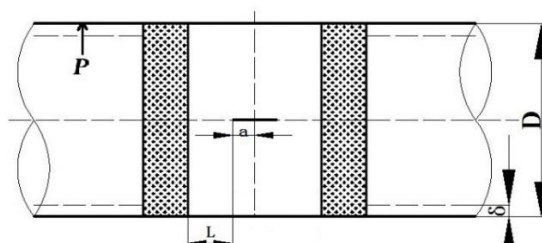
$$P_{safe} = -6.16 \cdot 10^{-3} d^2 L - 2.36 d P^2 + 5.58 D \delta^2 + 0.06 d^2 - 837.13 \delta^2 + 11.80 P^2 + 0.06 d L + 0.94 d P - 133.94 D \delta - 0.71 d - 0.15 L + 803.6 D + 20.09 \cdot 10^3 \delta - 4.72 P - 1.18 \cdot 10^5 \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

- P_{safe} ——安全施工压力, 单位为千帕 (kPa);
 d ——圆孔缺陷直径, 单位为毫米 (mm);
 L ——注剂槽距缺陷边缘的距离, 单位为毫米 (mm);
 D ——管径, 单位为毫米 (mm);
 δ ——管道壁厚, 单位为毫米 (mm);
 P ——管道运行压力, 单位为毫米 (mm)。

注: 每个参数宜在合适范围内进行计算。其中 d : 5 mm~100 mm; D : 90 mm~400 mm; δ : 10 mm~22 mm; P : 0.2 MPa~2.0 MPa。

C.4.3.2 在满足失效准则的前提下, 管道处于裂缝缺陷状态时, 见图 C.2, 安全施工压力宜按式 (C.4) 进行计算:



标引序号说明:

- P ——管道运行压力, 单位为兆帕 (MPa);
 L ——泄漏缺陷边缘距卡具环形注剂槽的距离, 单位为毫米 (mm);
 a ——裂缝的半缝长, 单位为毫米 (mm);
 D ——管径, 单位为毫米 (mm);
 δ ——壁厚, 单位为毫米 (mm)。

注: 图中阴影部分为注胶区域。

图C.2 管道裂缝形泄漏部位卡具注剂槽位置示意图

$$P_{safe} = 13.26 a \delta^2 - 8.23 a P^2 + 4.93 D \delta^2 - 0.52 L D P - 805.76 \delta^2 + 41.13 P^2 - 318.26 a \delta + 0.10 L D + 3.29 a P + 78.18 L P - 118.31 D \delta + 5.2 D P + 1.91 \cdot 10^3 a - 15.64 L + 708.83 D + 19.34 \cdot 10^3 \delta - 798.26 P - 113.76 \cdot 10^3 \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

- P_{safe} ——安全施工压力, 单位为千帕 (kPa);
 a ——裂缝缺陷长度, 单位为毫米 (mm);
 L ——注剂槽距缺陷边缘的距离, 单位为毫米 (mm);
 D ——管径, 单位为毫米 (mm);
 δ ——管道壁厚, 单位为毫米 (mm);
 P ——管道运行压力, 单位为毫米 (mm)。

注：每个参数宜在合适范围内进行计算。其中 a ：5 mm~100 mm； D ：90 mm~400 mm。 δ ：10 mm~22 mm； P ：0.2 MPa~2.0 MPa。

C.5 注剂操作压力计算

在开始注剂密封前，注剂操作压力 $P_{表}$ 宜按式（C.5）进行计算：

$$P_{表} \leq P_{safe}/1000 + P_1 \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：

$P_{表}$ ——注剂操作压力，单位为兆帕（MPa）；

P_{safe} ——安全施工压力，单位为千帕（kPa）；

P_1 ——初始注剂压力，单位为兆帕（MPa）。

注： P_1 的大小与温度 t 有关，表C.3规定了不同温度时 P_1 的值；该温度 t 是指密封剂被注入注剂装置时的温度，单位为摄氏度（℃）；

表C.3 初始注剂压力表

$t/^\circ\text{C}$	20	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	45	50~90
P_1/MPa	16.6	16.5	15.4	14.8	13.9	12.7	11.3	9.7	8.1	6.7	5.6	4.8	4.2	3.3	3.2

参 考 文 献

- [1] GB/T 26467—2011 承压设备带压密封技术规范
 - [2] GB 50350—2015 油田油气集输设计规范（附条文说明）
-