

# 团 体 标 准

T/CASEI ×××—××××

## 埋地钢质管道环焊缝质量风险排查和评估 方法

Quality Hazard Investigation and Assessment Method of Girth Welds for  
Underground Steel pipeline

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国特种设备检验协会 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 总则 .....	2
4.1 一般要求 .....	2
4.2 评估人员组成和评估单位的基本要求.....	2
5 数据收集.....	2
6 环焊缝质量风险排查.....	3
6.1 焊口质量排查 .....	3
6.2 地质条件排查 .....	6
6.3 高后果区排查 .....	6
6.4 应力应变风险排查 .....	6
7 环焊缝质量风险评估.....	7
7.1 基本流程 .....	7
7.2 失效可能性评估 .....	8
7.3 环焊缝失效后果评估 .....	9
7.4 环焊缝风险等级划分 .....	10
7.5 风险表示方法 .....	10
7.6 开挖复检规则 .....	10
7.7 降低风险措施的建议 .....	10
7.8 风险再评估 .....	10
8 超标缺陷适用性（合于使用）评价.....	11
8.1 评价方法 .....	11
8.2 评价参数的确定 .....	11
8.3 适用性（合于使用）评价结果及处置建议.....	12
9 报告和记录.....	12
9.1 报告 .....	12
9.2 记录 .....	12

**T/CASEI ×××—××××**

附录 A（资料性附录） 埋地钢质管道失效可能性评分细则.....	13
附录 B（资料性附录） 开挖复检规则 .....	21
附录 C（资料性附录） 环焊缝修复方法及响应计划推荐表.....	24
附录 D（资料性附录） 现场检测数据记录模板 .....	26
参 考 文 献.....	27

## 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编写规则》的规定起草。

本文件由中国特种设备检验协会提出并归口。

本文件起草单位：略。

本文件主要起草人：略。

本文件为首次发布。

# 埋地钢质管道环焊缝质量风险排查和评估方法

## 1 范围

本文件规定了埋地钢质管道环焊缝质量风险排查与评估涉及的术语、定义、基本流程、主要内容及基本要求。本文件涉及的风险评估从发生事故的可能性和事故的后果两方面综合评估埋地钢质管道环焊缝在其实际使用工况和环境下的风险程度，是一种适合于工程实际的半定量风险评估方法。

本标准适用于在役埋地钢质管道环焊缝的质量风险排查、开挖检测、风险评估等，不适用于非钢质管道、站内工艺管道或者其它架空管道。

## 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 32167 输气输送管道完整性管理规范
- GB 50369 油气长输管道工程施工及验收规范
- GB/T 19624 在用含缺陷压力容器安全评定
- GB/T 9711 石油天然气工业管线输送系统用钢管
- SY/T 4109 石油天然气钢质管道无损检测
- SY/T 6151 钢质管道金属损失缺陷评价方法
- SY/T 6477 含缺陷油气输送管道剩余强度评价方法

## 3 术语和定义

### 3.1

**隐患排查** hazard investigation

找到、列出和描述危险源的过程。

### 3.2

**焊口对齐** weld alignment

通过管体特征、坐标等将多来源或多批次的焊口相关数据按照线性参考系统进行对齐。

### 3.3

**黑口** undocumented weld

竣工档案中没有相关记录、没有合法有效检验底片和报告的焊口。

### 3.4

#### 疑似黑口 suspected undocumented weld

数据对齐发现可能为黑口的焊口后，发函通知施工单位，施工单位无法补充缺失资料或补充资料不满足销项要求的，确定为疑似黑口。

### 3.5

#### 特殊焊口 special weld

底片存疑口、疑似黑口、内检测严重异常口、三口（金口、连头口和返修口）、变壁厚口和弯头（弯管）连接口。

### 3.6

#### 不合格焊口 unqualified weld

采用一种或多种无损检测方法对焊口进行检测时，任意一种无损检测方法检出缺陷超出标准要求的焊口，即综合评定为不合格焊口。

### 3.7

#### 两高焊口 welds in HCA or high risk areas of geological hazards

位于高后果区或地灾高风险段的焊口。

### 3.8

#### 虚口 empty weld

管道建设期间，由于某种原因在存档资料中可查，但实际不存在的焊口。

### 3.9

#### 公片 common radiograph

多个不同焊口的射线底片影像完全相同。

## 4 总则

### 4.1 一般要求

4.1.1 采用本标准进行埋地钢质管道环焊缝质量风险排查和评估时除应遵循本标准的规定外，还应遵守国家有关部门颁布的相关法律，法规和规章。

4.1.2 本标准对环焊缝的质量风险进行排查，以风险值的大小对管道各环焊缝质量风险进行综合评估。

### 4.2 评估人员组成和评估单位的基本要求

#### 4.2.1 评估人员组成

应由熟悉本标准、有经验的检验人员、管道工艺专业人员、使用管理人员等技术人员组成环焊缝专项评估团队，对埋地钢质管道环焊缝质量风险进行排查和评估。

#### 4.2.2 评估单位的基本要求

进行埋地钢质管道环焊缝质量专项评估的单位，应根据评估对象的实际工况和环境，对所评估的环焊缝给出明确的风险值，并对高风险的环焊缝，明确给出降低风险措施的建议。

## 5 数据收集

环焊缝质量风险排查和评估过程至少需要收集以下数据：

- (a) 设计数据：设计压力、设计温度、材质、管径、壁厚、输送介质、设计图纸、管道竣工图、设计变更等资料。
- (b) 建设期数据：
  - 参与单位：施工单位、监理单位、管材供应商、焊材供应商、无损检测单位等；
  - 焊接记录：焊接工艺评定文件、焊接工艺规程、焊接施工标准及验收规范、组对记录、施焊记录、焊接工序卡、消氢记录、热处理记录、返修记录、金口焊口统计表、监理单位“三口”旁站检查记录表、焊接机组的割样测试报告等。
  - 无损检测记录：无损检测报告、射线底片。
- (c) 运维数据：运行温度、运行压力、介质成分分析数据、泄露失效数据、维修维护数据、应力监测数据。
- (d) 内检测数据：内检测里程、环焊缝编号、环焊缝定位数据、管节长度、几何变形、环焊缝异常数据等。
- (e) 环境数据：高后果区报告、地灾报告、气象数据、地震活动记录。

注：建设期数据应包括但不限于：《管道施工记录》、《管道安装施工记录》、《管道焊接工作记录》、《焊口返修记录》、《金口焊口统计表》、《管道防腐补口、保温施工记录》、《管道竣工测量成果表》、《管道焊缝射线检测报告》、《管道焊缝射线检测报告（附页）》、《管道焊缝超声波检测报告》、《管道焊缝超声波检测报告（附页）》、《管道焊缝全自动超声波检测报告》、《管道焊缝全自动超声波检测报告（附页）》、监理单位“三口”旁站检查记录表、管道焊接工艺规程、焊接工艺评定报告、焊条牌号及生产厂家、焊丝牌号及生产厂家、焊材检测报告、焊工资质证书等。

## 6 环焊缝质量风险排查

### 6.1 焊口质量排查

#### 6.1.1 竣工资料排查和焊口对齐

基于内检测数据与竣工资料对齐结果，对沿线虚口、黑口、连头口、异常焊口等进行分级排查，并统计不同类型焊口占比。

6.1.1.1 收集焊口相关的竣工资料和内检测资料，排查竣工资料中施工记录、监理记录、无损检测报告的符合性和一致性，识别竣工资料中存在的问题，并与内检测管节列表、高后果区、地质灾害风险段对齐，识别两高焊口、三口、变壁厚口、弯头连接口等特殊焊口，统计不同类型焊口的占比。针对资料排查发现的问题，要求参建单位对其进行说明并补充缺失的资料。

6.1.1.2 将每道焊口的施工、检测、监理等信息进行对齐并复核其一致性，重点排查不同资料中焊口编号的一致性，不同属性信息之间的逻辑关系符合性，可能发现的问题主要包括：施工记录和底片上的焊口编号不一致、有施工记录无检测报告、有检测报告无施工记录、检测日期早于施工日期等。对于已完成内检测的管道，进一步将焊口竣工资料与内检测管节列表、特征列表进行对齐。对齐发现疑似黑口后，对疑似黑口进行临时编号。

##### a) 疑似黑口

资料排查过程中应重点识别疑似黑口。以内检测管节列表、特征列表和管道安装记录为基础，根

据管节长度、管节特征进行焊口对齐，发现有内检测记录但没有施工记录的焊口后，按照图 1 的流程进行进一步确认。

- 核实是否存在内检测信号错判为焊口的情况，核实是否存在因改线、管体修复、设备更新改造等原因导致新增焊口的情况。
- 对于确认无施工记录的焊口 C，根据其上下游准确对齐的弯头、短节等特征点，统计上游对齐点（A 焊口）和下游对齐点（B 焊口）之间的检测记录（报告）和底片（AUT 扫查图）情况，若无法找到焊口 C 有效的检验报告和底片（AUT 扫查图），将焊口 C 确定为疑似黑口。
- 发现疑似黑口后，要求参建单位补充原始施工记录、无损检测申请（委托单）、无损检测记录（报告）、底片（AUT 扫查图）等相关资料。
- 接收到参建单位补充的资料后，通过核实施工记录、无损检测申请（委托单）、无损检测记录（报告）、底片（AUT 扫查图）上的焊口编号是否一致，不同资料的时间关系是否合乎逻辑并满足建设期施工要求，底片上的制管焊缝间距与内检测信号上的制管焊缝间距是否一致，综合确定是否可消除黑口嫌疑。
- 若施工单位逾期未补充资料或补充资料不能消除黑口嫌疑，则进入现场开挖验证程序。验证现场实际与竣工资料的符合性，明确对疑似黑口进行销项或确认为黑口的结论。

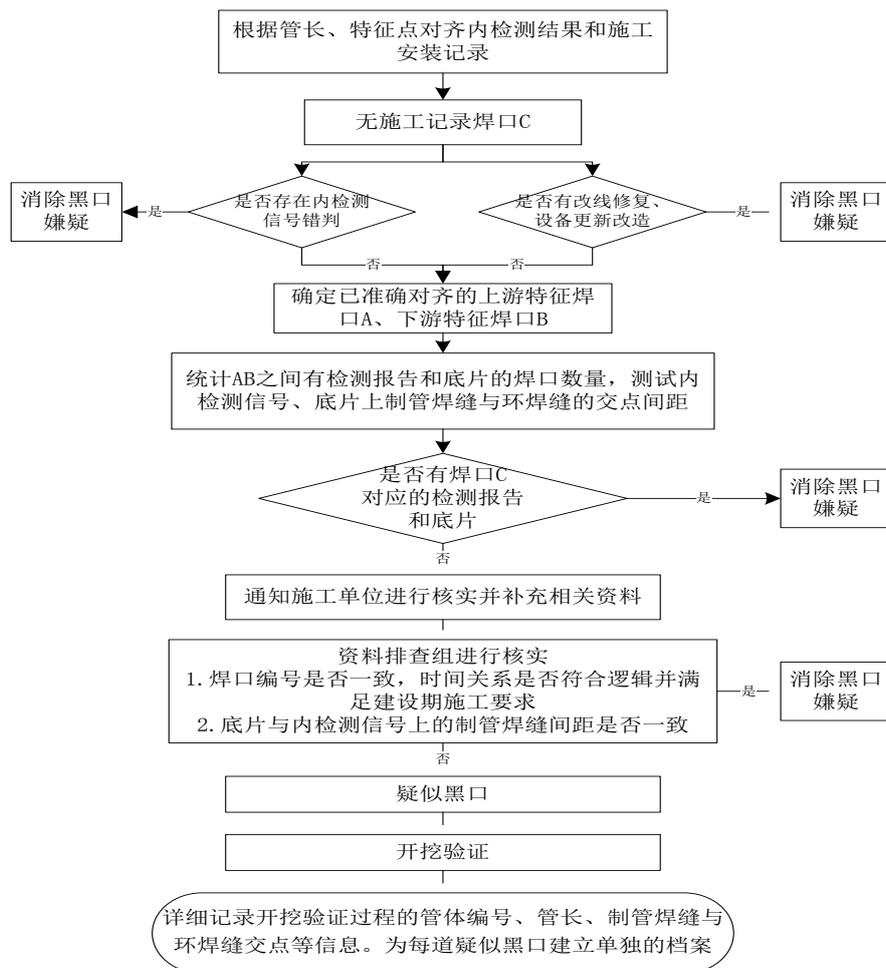


图 1 疑似黑口排查流程

## b) 其他资料问题

- 对于施工、检测等不同资料中焊口编号不一致的问题，要求相关单位提供原始施工记录、检测报告、底片（AUT 扫查图）等，核实是否存在录入错误、桩号变更的情况，根据相关单位出具的说明文件，对排查过程中形成的数字化焊口列表信息进行更正。
- 对于资料中焊口数量大于底片数量，存在底片（AUT 扫查图）缺失的情况，要求检测单位补充提供焊口底片（AUT 扫查图），说明底片（AUT 扫查图）缺失原因。
- 对于检测日期早于施工日期的问题，要求相关单位提供原始施工记录、无损检测申请、无损检测指令、无损检测报告和底片（AUT 扫查图）等资料，核实是否存在录入错误、未按照指令检测的情况。

## 6.1.2 焊口底片复评

对建设期射线底片开展复评工作，关注底片漏评、错评、底片不合格、公片等相关问题，给出处置建议。

6.1.2.1 底片复评应与资料审查相互配合。无损检测结果复评要在竣工资料排查形成的环焊缝列表基础上进行，调取、返还底片和AUT扫查图的工作要有序开展，避免排查工作造成底片丢失的情况。排查发现底片和AUT扫查图编号与竣工资料焊口编号不匹配的问题后，要开展原因分析，确实无法匹配的多余底片要单独形成列表。

6.1.2.2 应择优选择具有相应Ⅲ级资质的人员开展复评。所有底片（AUT扫查图）需由两位持证人员复评并签字确认。Ⅲ级人员不足的情况下，可适量配备Ⅱ级人员，Ⅱ级人员要在Ⅲ级人员的监管和指导下工作，只能复核非特殊焊口、非两高焊口的无损检测结果。

6.1.2.3 底片存疑焊口的复评结果应由两位Ⅲ级人员共同确认，底片存疑口的底片宜进行扫描数字化并妥善保管。

6.1.2.4 对底片存疑焊口进行分类，其中：

- a) 返修焊口：因焊口含有严重超标缺陷需返修的焊口；
- b) 质量关注焊口：焊口含有超标缺陷，可在运行过程中进行关注的焊口；
- c) 复拍验证焊口：因焊口存在疑似缺陷、公片、底片缺失或底片质量不满足评定要求（因保管不善等原因导致底片发黄、无法复评的除外）等情况需开挖复检的焊口。

## 6.1.3 施工管理排查

对管道建设阶段的施工管理进行回顾检查，查找薄弱环节，对存疑焊口进行排查，包括：

- a) 施工单位私割私改管道，隐瞒不报，造成的“疑似黑口”；
- b) 施工与检测方沟通不足，导致焊口漏检；
- c) 施工和检测时间不符合逻辑；
- d) 设计的符合性，即施工与设计的不一致性问题；
- e) 管理方风险排查，施工单位自查确定的问题焊口、问题率较高机组焊口、事故口机组的对应焊口等。

## 6.1.4 焊接机组排查

对全线管道各施工单位的焊接机组进行质量水平评价，通过统计分析各施焊机组的Ⅰ级、Ⅱ级、

Ⅲ级和Ⅳ级口比例，对质量水平低的焊接机组施焊的焊口进行重点排查。

## 6.2 地质条件排查

通过历年地灾报告、沿线探勘等方式开展管道地质灾害隐患排查，重点排查内容包括：

- a) 可视范围动土、修路、削山造地等；
- b) 沿线沼泽地、土质松软、横坡穿越、河沟道敷设段等区域；
- c) 沿线滑坡、不稳定边坡、不稳定斜坡等；
- d) 地面沉降、地面沉降治理工程、高填方路基沉降、岩溶塌陷、护沟挡墙基部下沉悬空等；
- e) 泥石流、崩塌、崩塌（危岩）、危岩等；
- f) 水毁，包括河道水毁、坡面水毁、河沟道水毁；
- g) 地灾防护措施不符合性、完整性；

## 6.3 高后果区/重点区域排查

### 6.3.1 管道高后果区/重点区域识别

a) 长输管道按照 GB 32167 计算管道失效潜在影响半径，也可采用仿真模拟分析管道失效泄漏后果，确定可能的影响范围。基于以上结果，确定高后果区排查范围。

b) 城镇燃气管道按照《城镇燃气输配管道完整性管理规范》进行重点区域识别。

### 6.3.2 高后果区/重点区域分级

a) 长输管道按照确定的管道中心线影响范围开展高后果区排查，按照 GB 32167 对高后果区进行分级。

b) 城镇燃气管道按照《城镇燃气输配管道完整性管理规范》进行重点区域分级。

## 6.4 应力应变风险排查

### 6.4.1 高应力风险口排查

#### a) 环焊缝应力风险因素识别

影响环焊缝应力的因素包括：运行与设计压力比值、地质灾害情况、连头类型、是否为变壁厚、是否为弯头、是否为短节、是否有固定墩、错边量、表面成型质量、是否存在几何变形、是否为返修口、是否存在第三方扰动、是否位于坡面转角较大的地形位置等。

#### b) 环焊缝应力风险赋值

对待评估管线的每一道环焊缝进行应力风险赋值，赋值方法可参照附录A.2。

#### c) 应力风险口的确定

对待评估管线的环焊缝应力风险值进行排序，先提取前10个作为高应力风险口进行应力应变仿真模拟和现场开挖验证。若所选的焊口仿真分析结果或应力测试结果大于相关标准的要求，则扩大高应力风险口排查的选取范围。

### 6.4.2 高应变风险口排查

a) 收集所评估管线 IMU 单元测量的经过地面标记点修正后的原始姿态数据，提供的数据须要满足以下要求：

- 未作明确要求时，提供的数据间隔应当是检测器的固有输出频率；
  - 数据必须包括时间、里程、俯仰角和航向角信息；
- b) 对提供的俯仰角和航向角数据进行降噪处理，消除检测器因螺旋焊缝在管道内壁的突起、管道内径变化、环焊缝错边等因素引起的震动噪声；
- c) 对俯仰角和航向角数据进行运算，获得等里程姿态数据。
- d) 按照下述公式计算管线各处的几何应变参量值；

$$k_v = \frac{d\theta}{ds}$$

$$k_h = \frac{d\gamma}{ds} \cos(\theta)$$

$$k = \sqrt{k_v^2 + k_h^2}$$

$$\varepsilon = k \cdot \frac{D}{2}$$

其中： $\theta$ 为俯仰角； $\gamma$ 为航向角； $k_v$ 为垂直方向曲率； $k_h$ 为水平方向曲率； $k$ 为总曲率； $\varepsilon$ 为几何应变参量； $D$ 为管道外径；

e) 通过RTK检测结合内检测环焊缝定位数据，对几何应变参量进行校核。如能获取管道应力应变等监测数据，还应通过综合分析管道重点位置的监测数据，对几何应变参量进行校核。

f) 根据所评估管线弯头和弹性敷设等的曲率和角度范围，基于几何应变参量筛选出高应变风险口。必要时，选择位置开挖进行精度验证。

## 7 环焊缝质量风险评估

### 7.1 基本流程

- a) 埋地钢质管道环焊缝质量风险评估基本工作流程如下：
- b) 基于排查结果进行评估；
- c) 焊接资料审查、底片复评排查、焊接机组能力排查、地质条件排查、高后果区排查、应力应变风险排查；
- d) 对每个环焊缝、确定失效可能性得分；
- e) 对每个环焊缝，确定失效后果得分；
- f) 对每个环焊缝，确定风险值；
- g) 对每个环焊缝，确定风险等级；
- h) 对高风险和较高风险环焊缝，给出开挖检测、降低风险措施的建议；
- i) 对超标缺陷环焊缝，进行合于使用评估；

j) 再评估;

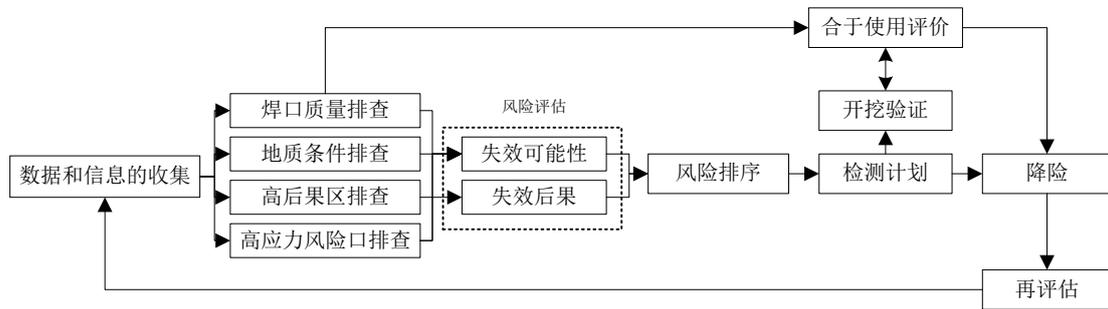


图 2 环焊缝风险评估基本流程

## 7.2 失效可能性评估

7.2.1 本文件提出的埋地钢质管道环焊缝的风险评估模型，是从环焊缝缺陷、材料、载荷、施工质量管理四个方面对埋地钢质管道环焊缝失效可能性进行的半定量风险评估。

7.2.2 每个方面的得分为其下设的一个或多个评分项之和，下设子评分项的评分项的得分为其下设所有子评分项得分之和。从每个评分项或子评分项下设的各列项中单一选择最接近实际情况的列项，从而确定该评分项或子评分项的得分。

7.2.3 根据失效可能性评估方法可按照自己经验验证有效、可靠的模型，也可参照附录 A 执行。

7.2.4 环焊缝失效可能性因素如图 3 所示。

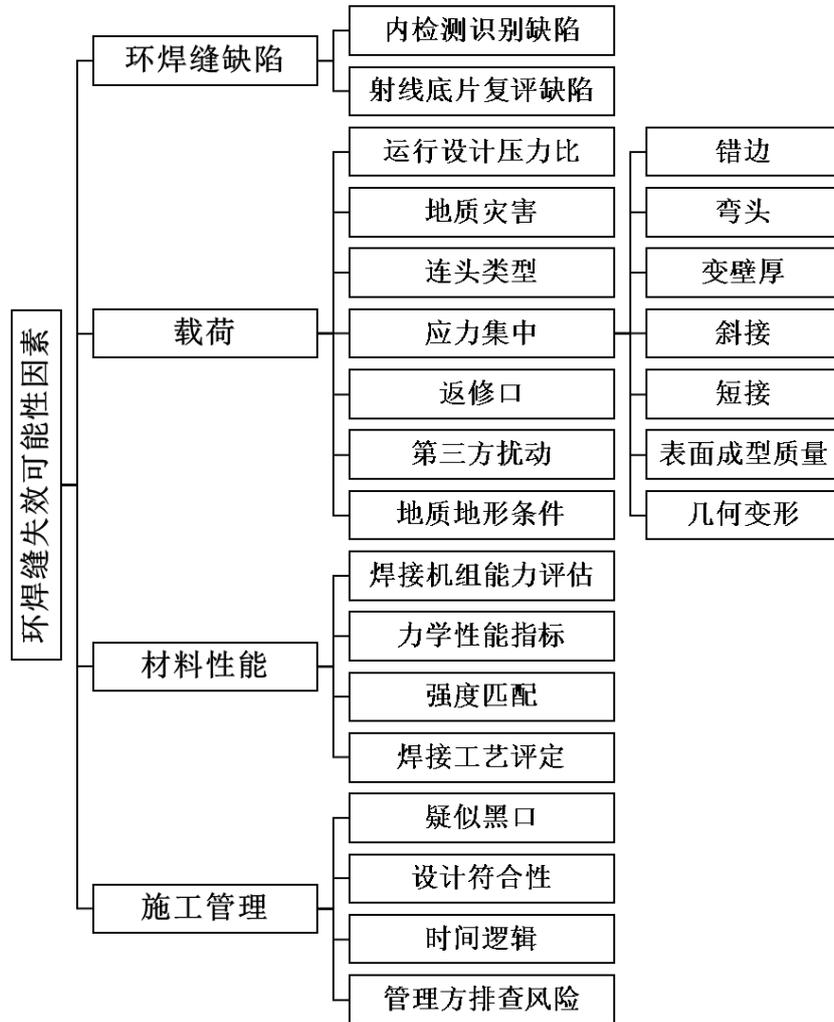


图 3 环焊缝失效可能性因素

### 7.3 环焊缝失效后果评估

本评估方法中，对于失效后果的评估主要采用高后果区/重点区域数据。长输管道参考标准GB 32167中输气管道高后果区的评估方法，燃气管道参照《城镇燃气输配管道完整性管理规范》中重点区域评估方法。根据焊口所处的高后果区/重点区域级别选取系数。

表 1 高后果区/重点区域系数取值表

	赋值(E)
非高后果区/非重点区域	1
I级高后果区/非重点区域	1.1
II级高后果区/非重点区域	1.2
III级高后果区/非重点区域	1.39

#### 7.4 环焊缝风险等级划分

根据风险评估计算结果确定环焊缝的风险等级。将埋地钢质管道环焊缝风险分为四个等级，分别为低风险等级，中风险等级，较高风险等级，高风险等级。根据环焊缝风险等级划分，应满足表3中的风险管控要求。

表 2 环焊缝风险等级划分

风险等级	划分准则与结果
低（Ⅰ级）	风险分值小于 100
中（Ⅱ级）	风险分值 100-225
较高（Ⅲ级）	风险分值 225-270
高（Ⅳ级）	风险分值大于 270

表 3 环焊缝风险可接受准则

风险等级	风险管控要求
低（Ⅰ级）	风险水平可接受，当前应对措施有效，可不增加技术、管理等方面的风险管控措施。
中（Ⅱ级）	风险水平有条件接受，综合考虑治理成本与治理效果，论证采取措施的必要性。
较高（Ⅲ级）	应制定计划采取有效应对措施降低风险。
高（Ⅳ级）	风险水平不可接受，应尽快采取有效应对措施降低风险。

#### 7.5 风险表示方法

风险可以用数值或者风险矩阵图来表示。

#### 7.6 开挖复检规则

对于底片复核建议返修、质量关注、复拍验证的含超标缺陷或疑似缺陷的焊口、通过焊口对齐发现疑似黑口，且参建单位无法对缺失资料进行补充或逾期未进行反馈的，内检测严重异常口焊口、风险评估结果为高的焊口、以及所属企业分析认为其他需要开挖的焊口进行现场开挖复检，具体方法可参照附录B执行。

#### 7.7 降低风险措施的建议

对于风险等级为高或较高的环焊缝，应分析其风险的主要来源，并针对其风险的主要来源提出相应的降低风险措施的建议。

#### 7.8 风险再评估

当出现下列情况之一时，宜对埋地钢质管道环焊缝质量风险进行再评估。

- a) 采取降低风险措施；
- b) 管道进行了重大修理改造；
- c) 对环焊缝缺陷进行修复处置或更换；

- d) 开挖验证后风险有所降低的；
- e) 运行工况发生重大变化的；
- f) 管道所属业主的管理制度发生重大变化的。

## 8 超标缺陷适用性（合于使用）评价

### 8.1 评价方法

在开展环焊缝风险评估基础上，针对较高风险以上且超标缺陷的环焊缝开展适用性（合于使用）评价。通过缺陷尺寸量化、材料性能参数获取以及载荷分析，根据相关标准的要求进行评价。基本流程如图 4 所示。

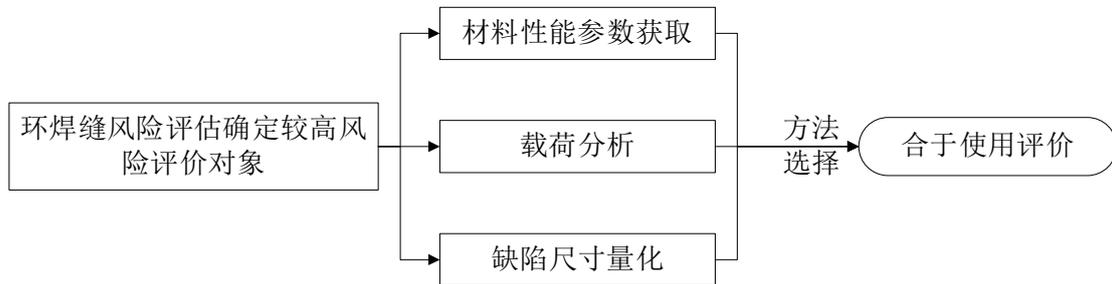


图 4 适用性（合于使用）评价基本流程

针对环焊缝存在的不同缺陷类型，按照表 4 中推荐标准的现行版本进行评价。

表 4 推荐的环焊缝缺陷评价标准

缺陷类型	标准名称
裂纹、未熔合、未焊透、内凹、内咬边、条缺、圆缺、未焊满等焊接缺陷	GB/T 19624、SY/T 6477、BS 7910
单纯错边、斜接等几何缺陷	API 579、BS 7910、SY/T 6477
金属损失缺陷	SY/T 6151

### 8.2 评价参数的确定

8.2.1 管道基础信息及缺陷信息主要参照管道设计参数、运行参数及无损检测报告中相关数据。

8.2.2 关于材料性能，如有可用的实测数据，优先采用实测的理化性能数据。当实测理化性能数据不可获取时，其管材和焊缝力学性能可依据设计文件、焊接工艺评定结果、GB/T 9711 标准要求等综合确定。

8.2.3 关于应力状况，需根据焊口的具体情况确定一次应力和二次应力。一次应力应综合考虑内压及其引起的轴向应力、温差应力和弹性敷设引起的轴向应力、土体移动等引起的附加载荷等。二次应力应考虑错边或斜接引起的弯曲应力以及焊接残余应力等。

8.2.4 评价过程中的相关安全系数的选取参照 GB/T19624，具体如表 5 所示。

表 5 安全系数选取推荐值

失效后果	缺陷尺寸	韧性	一次应力	二次应力

失效后果	缺陷尺寸	韧性	一次应力	二次应力
非高后果区	1.0	1.1	1.1	1.0
高后果区	1.1	1.2	1.25	1.0

8.2.5 适用性评价过程中，需计算并明确缺陷的临界扩展应力，为焊口修复方法的选择提供依据。

### 8.3 适用性（合于使用）评价结果及处置建议

根据适用性（合于使用）评价结论，对环焊缝采取修复措施。

在选择修复方法的过程中，可采用适用性评价确定的临界应力值和实际应力状况的比值作为度量指标。根据评价结果和缺陷危险度等信息综合确定修复方法，制定响应计划，也可参照附录 C 执行。

## 9 报告和记录

### 9.1 报告

埋地钢质管道环焊缝的质量风险排查与评估报告应包含以下主要内容：

- a) 概述
- b) 管道信息统计分析
- c) 焊口质量排查分析
- d) 地质条件排查分析
- e) 高后果区排查分析
- f) 应力应变风险排查分析
- g) 环焊缝质量风险评估
- h) 管线载荷和应力分析
- i) 环焊缝适用性（合于使用）评价
- j) 开挖验证结果分析
- k) 再评估
- l) 评估结论，风险减缓措施及处置建议

### 9.2 记录

埋地钢质管道环焊缝质量风险排查与评估的数据必须具有可追溯性，记录内容应不少于报告内容，记录模板可由评估人员的单位制定，现场检测数据记录模板可参照附录 D。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**埋地钢质管道失效可能性评分细则**

**A.1 一般要求**

本附录将所有影响管道环焊缝安全的 14 个指标分为环焊缝缺陷、载荷、材料性能、施工管理等四类指标，并分析各个指标之间的逻辑关系，对每个指标进行赋值评分，综合分析其引起管道泄漏的可能性，并对位于高后果区的环焊缝风险分值，乘以安全系数来考虑泄漏后的事故严重程度，最终得到每个环焊缝的风险分值。

管道环焊缝质量风险评估推荐模型如图 A.1 所示。企业可根据实际环焊缝质量隐患排查整治的数据和经验积累，采取机器学习等有效方法进行改进和修正。

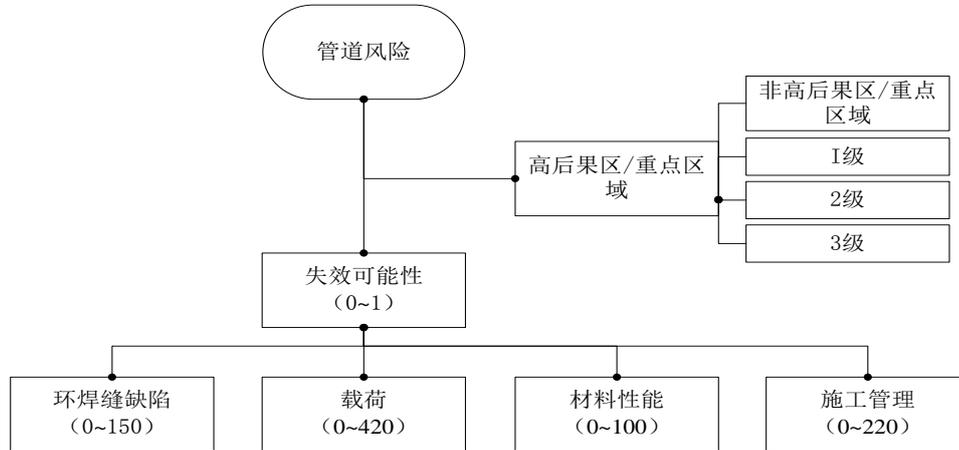


图 A.1 管道环焊缝质量风险评估模型

评分过程应注意以下事项：

- (1) 假设评估风险时要考虑到最坏的情况，若某一项数据缺失时，按照该项指标最高风险值打分。
- (2) 评估的风险值只是一个相对的概念，例如，单道环焊缝所评估的风险值与另外一环焊缝的风险值相比，其分数较高，这表明其风险相对较高，分值不代表其绝对风险。

**A.2 赋值权重**

表 A.1 环焊缝缺陷因素赋值权重表

指标	打分项	权重分数
环焊缝缺陷 (A)		150
内检测识别缺陷(A.3.1)(50)	环焊缝无缺陷	0
	环焊缝轻度缺陷	15
	环焊缝中度缺陷	30
	环焊缝重度缺陷	50

射线底片复核结果 (A.3.2) (100)	底片复核 I 级片	0
	底片复核 II 级片	30
	底片复核 III 级片	75
	底片复核 IV 级片	100
	底片缺失或底片质量无法复评	50-100

表 A.2 载荷因素赋值权重表

指标	打分项	权重分数
载荷 (B)		420
运行压力/设计压力比值 (A.4.1) (35)	0.8-1	35
	0.6-0.8	20
	0.6 以下	10
地质灾害对管道影响 (A.4.2) (95)	滑坡、不稳定边坡、不稳定斜坡	80
	地面沉降、地面沉降治理工程、高填方路基沉降、岩溶塌陷、护沟挡墙基部下陷悬空	60
	泥石流、崩塌、危岩	40
	水毁 (包括河道水毁、坡面水毁、河沟道水毁)	20
	地灾防护措施符合性	0-15
	无	0
连头类型 (A.4.3) (40)	金口	40
	连头口	30
	普通口	0
应力集中位置 (A.4.4) (120)	斜接	25
	短接	10
	固定墩	10
	变壁厚	20
	弯头连接口	30
	几何变形	15
	表面成形质量	0-10
返修口 (A.4.5) (30)	是	30
	否	0
第三方扰动 (A.4.6) (30)	是	30
	否	0
地形地质条件 (A.4.7) (70)	坡面转角大小	0-50
	位置 (峰、谷)	20

表 A.3 材料因素赋值权重表

指标	打分项	权重分数
材料性能 (C)		100
焊接机组能力评估 (A.5) (100)	高	30
	中	70
	低	100

表 A.4 施工管理因素赋值权重表

指标	打分项	权重分数
施工管理 (D)		220
疑似黑口 (A.6.1) (80)	是	80
	否	0
设计符合性 (A.6.2) (45)	根据发现的一致性问题和评估人员的经验,对相应施工单位的所有焊口赋值	0-45
施工和检测时间不符逻辑 (A.6.3) (25)	无不符合为 0 分	25
管理方排查风险 (A.6.4) (70)	是	70
	否	0

表 A.5 失效后果系数取值表

高后果区类别	赋值(E)
非高后果区	1
I 级高后果区	1.1
II 级高后果区	1.2
III 级高后果区	1.39

### A.3 风险值计算

按下式计算风险值:

环焊缝缺陷得分计算:

$$A.3 = A.3.1 + A.3.2$$

载荷得分计算:

$$A.4 = A.4.1 + A.4.2 + A.4.3 + A.4.4 + A.4.5 + A.4.6 + A.4.7$$

材料性能得分计算:

$$A.5 = A.5.1$$

施工管理得分计算:

$$A.6 = A.6.1 + A.6.2 + A.6.3 + A.6.4$$

高后果区得分系数:

$$E = (E.0 \square E.1 \square E.2 \square E.3)$$

风险值得分计算:

$$R = (A.3 + A.4 + A.5 + A.6) \times E$$

### A.4 环焊缝缺陷 (150 分)

## A.4.1 内检测识别缺陷（50 分）

单选指标，根据内检测结果数据确定该指标的评分。环焊缝存在多处缺陷的，按照最严重缺陷进行评分。

表 A.6 内检测结果为缺陷严重程度时评分表

指标分类	分值
内检测识别环焊缝无缺陷	0
内检测识别环焊缝轻度缺陷	15
内检测识别环焊缝中度缺陷	30
内检测识别环焊缝重度缺陷	50

表 A.7 内检测结果为缺陷深度时评分表

指标分类	分值
缺陷深度为 0	0
缺陷深度小于 20%wt	15
缺陷深度为 20%~40%wt	30
缺陷深度大于等于 40%wt	50

表 A.8 内检测结果显示管体缺陷深度时评分表

指标分类	分值
缺陷深度小于 20%wt	0
缺陷深度为 20%~40%wt	15
缺陷深度大于等于 40%wt	30
注：内检测结果显示管体缺陷深度时，两边焊口同时打分	

## A.4.2 射线底片复核结果（100 分）

单选指标，依据射线底片复核结果进行评分，复核结果为“空白、0、/”等未知符号时，按照无复核结果处理。

表 A.9 射线底片复核结果评分表

指标分类	分值
环焊缝排查底片复核 I 级片	0
环焊缝排查底片复核 II 级片	30
环焊缝排查底片复核 III 级片	75
环焊缝排查底片复核 IV 级片	100
无复核结果(缺少底片或底片质量无法复评)	50-100
注：（1）若底片全部缺失或者部分缺失但是不能评估，赋值 75 分； （2）若底片部分缺失且能够给出等级评定，评级 I 级或 II 级，按 50 分计算，若评级为 III 级或 IV 级，按评级结果打分。	

## A.5 载荷（420 分）

## A.5.1 运行压力/设计压力比值（35 分）

单选指标，用运行压力和设计压力做除法运算，根据计算结果区间评分：

表 A.10 运行压力/设计压力评分表

指标分类	分值
比值 0.8~1	35
比值 0.6~0.8	20
比值 0.6 以下	10

#### A.5.2 地质灾害（95 分）

单选指标，根据地质灾害类型进行评分，重点考虑滑坡、地面沉降等土体类地质灾害，没有地质灾害数据按照“无”赋值：

表 A.11 地质灾害结果评分表

指标分类	分值
滑坡、不稳定边坡、不稳定斜坡	80
地面沉降、地面沉降治理工程、高填方路基沉降、岩溶塌陷、护沟挡墙基部下沉悬空	60
泥石流、崩塌、崩塌（危岩）、危岩	40
水毁包括河道水毁、坡面水毁、河沟道水毁	20
无	0
地灾防护措施不符合性、完整性（评估人员根据经验打分）	0-15

#### A.5.3 连接头类型（40 分）

单选指标，根据连接头的具体情况进行评分：

表 A.12 连接头类型评分表

指标分类	分值
金口	40
连头口	30
普通口	0

#### A.5.4 应力集中（120 分）

复选指标，根据焊缝应力集中情况进行评分，总分为下述评分项的加和：

表 A.13 应力集中因子评分表

指标分类	分值
弯头	30
斜接	25
变壁厚	20
几何变形	15
3 米以下的短节	10
固定墩	10
表面成形质量	0-10

注：（1）关于“短节”的评分说明，短节上、下游的环焊缝都要作为应力集中环焊

缝，长度小于 3 米，且不是弯管的按照短节评分。  
 (2) 关于“几何变形”的评分说明，根据内检测数据结果进行应变解析，距离环焊缝上下游一根管节内存在几何变形，则为焊缝赋予该项数值。

**A.5.5 返修口 (30 分)**

单选指标，按照是否为返修口评分：

表 A.14 返修口评分表

指标分类	分值
是	30
否	0

**A.5.6 第三方扰动 (30 分)**

单选指标，按照是否存在第三方扰动评分：

表 A.15 第三方扰动评分表

指标分类	分值
存在第三方扰动 (包括人类工程活动、重车碾压)	30
否	0

注：(1) 关于“第三方堆载扰动”的评分说明，是指管道周边附近 50 米内存在堆土、堆渣、边坡开挖等工程活动或重车碾压，可能对管道产生外载力的区域。  
 (2) 第三方扰动：根据评估时管道沿线第三方活动情况进行评估，第三方活动实际影响管线长度向上下游扩大 10% 以确定受第三方扰动影响焊口。

**A.5.7 地质地形条件 (70 分)**

综合指标，根据地质地形条件进行评分，总分为下述评分项的加和：

表 A.16 地质地形条件评分表

指标分类	分值
坡面转角大小	0-50
位于山峰、山谷位置	20
不是山峰、山谷位置	0

注：(1) 坡面转角计算：  
 计算每个焊缝两侧的坡面转角  $\alpha$ ，按照如下方式对坡面转角进行风险赋值：

$$f = \text{基础分} 50 \times \frac{\alpha}{90}$$

(2) 焊缝是否位于山峰、山谷位置的判断：  
 结合内检测数据和竣工图等提取焊缝取高程数据，根据高程数据选取极值点，极值点则为位于山峰、山谷的位置。

**A.6 材料性能 (100 分)**

**A.6.1 参建单位焊接机组能力评估水平 (100 分)**

公式计算指标，以焊接机组为评估单元，采用存疑口比例、II 级片比例、III 级片和 IV 级片比

例这三个指标综合评估焊接机组水平：

表 A.17 焊接机组能力水平评分表

指标分类	分值
焊接机组 $M \geq m + \delta$ ，焊接机组水平高	30
焊接机组 $m - \delta \leq M < m + \delta$ ，焊接机组水平中等	70
焊接机组 $M < m - \delta$ ，焊接机组水平较低	100
注：任意机组 $M$ 的焊接能力水平采用下式进行计算： $M = 1.0 \times (1 - X) + 0.5 \times (1 - Y) + 1.5 \times (1 - Z)$ 式中： $M$ ——参建单位焊接机组能力评估水平； $X$ ——存疑焊口比例； $Y$ ——II级片比例； $Z$ ——III级片和IV级片的比例； $m$ —— $M$ 的均值； $\delta$ —— $M$ 的标准差；	

## A.7 施工管理（220 分）

### A.7.1 疑似黑口（80 分）

单选指标，按照是否为疑似黑口进行评分：

表 A.18 疑似黑口评分表

指标分类	分值
是	80
否	0
备注：如果发现疑似黑口，对相应焊接机组的所有焊口进行赋值。	

### A.7.2 设计符合性（45 分）

单选指标，根据设计符合性排查结果进行评分，由评估人员根据排查过程中发现的设计不一致问题及相关经验，在 0-45 分范围内进行风险赋值。对相应施工单位的所有焊口进行赋值。

表 A.19 设计符合性评分表

指标分类	分值
存在设计符合性问题	0-45
不存在设计符合性问题	0

### A.7.3 施工和检测时间不符合逻辑（25 分）

单选指标，根据是否存在施工和检测时间不符合逻辑结果进行评分。

表 A.20 设计符合性评分表

指标分类	分值
是	25
否	0
注：“施工和检测时间不符合逻辑”指标评分说明，检测日期比施工日期大 1 天及以上，为否，其余为是。	

A.7.4 管理方排查风险（70 分）

单选指标，根据管理方风险排查是否存在问题焊口结果进行评分。

表 A.21 管理方风险排查评分表

指标分类	分值
是	70
否	0

注：“管理方排查风险”指标评分说明，施工单位自查确定的问题焊口、问题率较高机组焊口、事故口机组的对应焊口、射线底片复评结果为疑似裂纹、根部未融合等平面型缺陷的相邻焊口等。

## 附录 B

### (资料性附录)

### 开挖复检规则

#### B.1 开挖规则

##### B.1.1 开挖选点原则

B.1.1.1 底片复核建议返修、质量关注、复拍验证的含超标缺陷或疑似缺陷的焊口（不包括因制管焊缝间距小于 100mm 而建议质量关注的焊口），按照 100%比例进行开挖复检。因底片复核发现制管焊缝间距小于 100mm 而建议质量关注的焊口应进行重点关注，当该焊口同时叠加其他特殊属性时，可参照 B.1.1.4 条，按照特殊焊口进行抽查复检。

B.1.1.2 通过焊口对齐发现疑似黑口，且参建单位无法对缺失资料进行补充或逾期未进行反馈的，按照 100%比例开挖复检疑似黑口，同时开挖复检上下游相邻的各一道焊口，用于辅助判断黑口形成原因及相邻焊口的缺陷情况。

B.1.1.3 内检测严重异常口按照 100%比例开挖复检。内检测严重异常口开挖复检完成后，若发现问题较多，可进一步对较严重异常焊口进行抽查复检。内检测较严重异常焊口抽查复检也可参考 B.1.1.4 条，对与其他属性叠加的特殊焊口优先抽查复检。

B.1.1.4 X70、X80 钢级管道高后果区内特殊焊口按照不低于 20%比例抽查复检。选择开挖点时，要根据环焊缝风险评估模型或其他经验证有效、可提高含裂纹口识别检出比例的模型、算法，对焊口进行排序，对排序靠前的焊口或具有多个特殊属性叠加的焊口优先开挖复检。

B.1.1.5 根据 B.1.1.1~4 条的选点原则和前期工作进展，确定开挖选点具体规则，明确开挖数量和预期效果后，组织行业专家开展审查，通过专家审查后方可进入现场实施阶段。

#### B.2 检测规则

##### B.2.1 防腐层检测

在拟开挖的焊口总数中，选择不低于 20%比例数量的焊口，在拆除防腐层的过程中对补口性能进行调查。结合防腐层类型，需调查和记录的内容主要包括：

a) 调查时间、土壤类型、地下水情况、补口防腐层类型。

b) 目视检查防腐层外观情况并拍照留存，如：防腐层有无破损、有无剥离、破损处有无粉末状物质（辅助判断是否存在局部应力腐蚀环境）、整体粘结密封状况是否良好、固定片粘结状况是否良好等。

c) 选择一个截面上均匀分布的 4 个点，测试热收缩带厚度，并记录最薄点厚度值。

d) 选择热收缩带直接与管体粘结的区域、热收缩带与钢管防腐层搭接部位，按照有关标准中关于防腐层剥离强度检测方法的要求，分别测试剥离强度，观察剥离状态。

e) 将热收缩带整体剥离后，目视检查底漆粘结情况并拍照留存，如：补口区域热熔胶粘结状况、环氧底漆完整情况，当热收缩带下有液体时，要进行 pH 值测试。目视检查管体腐蚀状况、有无浮锈，测试阴极保护电位，发现明显腐蚀时，要对腐蚀区域尺寸进行详细测试。

## B.2.2 无损检测方法

### B.2.2.1 输气管道环焊缝

焊口表面处理满足无损检测相关要求后，先进行外观检查，然后进行射线（RT）、超声（UT）和磁粉（MT）检测，检测结果满足以下三个条件中的任一条件时，需补充相控阵超声（PAUT）和超声衍射时差法（TOFD）检测：

- a) 检测结果不合格，且焊缝中含有裂纹、黑度大于薄侧母材的内凹和烧穿缺陷的，增加 PAUT 和 TOFD 检测；
- b) 射线检测发现非受控返修或根部缺陷的，增加 PAUT 和 TOFD 检测；
- c) 射线检测发现返修位置存在超标缺陷的，增加 PAUT 和 TOFD 检测。

检测完成后，存在任意一种检测结果不合格时，则综合评定为不合格口。缺陷定性主要依据 RT 和 MT 检测结果，缺陷定量主要依据 PAUT、TOFD 和 UT 检测结果。

### B.2.2.2 输油管道环焊缝

焊口表面处理满足无损检测相关要求后，先进行外观检查，然后按照以下原则进行无损检测：

- a) 壁厚 $\geq 12\text{mm}$ 的焊口，采用 UT+PAUT+TOFD+MT 的方法进行检测；
- b) 壁厚 $< 12\text{mm}$ 的焊口，采用 UT+PAUT+MT 的方法进行检测。

### B.2.2.3 B 型套筒纵焊缝和环角焊缝

B 型套筒修复过程中焊接的纵焊缝和环角焊缝，先进行外观检查，然后在焊接完成并缓慢冷却后、焊后 24 小时各进行一次 MT+UT+PAUT 检测。角焊缝缺陷多在根部，根焊完成后增加一次表面检测。

## B.2.3 无损检测技术要求

a) 按照项目施工验收规范或 GB 50369 进行外观检测。外观检测前要去掉防腐层，避免因表面残留物掩盖表面缺陷。检测过程中重点记录上下游壁厚、环焊缝余高、宽度、错边量、管道斜接角度，外咬边、外部金属损失以及未焊满等缺陷位置、长度、深度等信息，在管体上添加时钟位置标记后，记录留存整道焊口的外观影像。

b) 按照 SY/T 4109 对外表面裂纹、外部金属损失缺陷底部裂纹进行磁粉检测和质量分级。检测过程中重点记录表面裂纹方向、环向长度、轴向长度及起始钟点位置。

c) 按照 SY/T 4109，采用双壁单影的透照方式，进行 RT 检测。检测过程中重点记录缺陷类型、轴向长度、环向长度、起始钟点位置和焊瘤、焊接均匀性等焊缝成型情况。检测完成后，将复拍底片与建设期底片进行对比，确定建设期底片与焊口的一致性，分析原有缺陷是否发生了扩展，是不是产生了新的缺陷。

d) UT 检测需与 RT 检测配合使用，宜在 RT 检测之后按照 SY/T 4109 执行，对于 RT 检测以及内检测发现缺陷部位要重点进行 UT 检测。检测过程中重点记录缺陷类型、长度、深度、自身高度以及起始钟点位置。

e) PAUT 检测按照 SY/T 4109-2020 相关要求执行。要结合 B 型显示、扇扫描、A 扫描及 TOFD 等显示对缺陷的位置、波幅、长度、高度及深度进行测量。对于 RT 检出的主要缺陷位置要重点关注，即使检出缺陷信号不超标，也要记录缺陷位置、深度、尺寸等信息，其它检测手段检出缺陷而 PAUT 未检出该缺陷时，要根据缺陷及检出情况调整检测参数设置，并对关键部位补充检测。

f) TOFD 检测按照 NB/T47013.10-2015 相关要求执行。对于射线及其它检测方法检出的主要缺陷位置要重点关注，即使检出缺陷信号不超标，也要记录缺陷位置、深度、尺寸等信息。当其它检测手段检出缺陷而 TOFD 未检出该缺陷时，要根据缺陷及检出情况调整检测参数，对关键部位补充检测。

g) 无损检测完成后，及时记录无损检测相关过程信息，检测发现不合格口后，如实记录相关缺陷信息，并形成每道不合格口的缺陷信息档案。

h) 复检底片均需进行回收和集中保管。复检发现含裂纹口后，还要将建设期射线底片、复检射线底片进行数字化，并组织无损检测专家现场或在线开展复评，对该焊口是否为含裂纹口进行最终确认。

附录 C

(资料性附录)

环焊缝修复方法及响应计划推荐表

宜根据含缺陷环焊缝的应力工况与临界应力之间的关系，按照表 C.1 确定环焊缝缺陷修复方式，制定修复响应计划。

表 C.1 环焊缝缺陷修复方法及响应时限

严重程度 $\Omega^1 = \sigma_{ac} / \sigma_a$	外表面裂纹	埋藏、根部环向裂纹		横向裂纹	未熔合、未焊透、咬边	条缺、内凹、烧穿、圆缺、错边等	轴向腐蚀、金属损失
		发生扩展	未扩展				
不可接受 $\Omega < 0.5$	1、裂纹深度 $\geq 8\%t$ 两个月内 B 型套筒或换管修复； 2、裂纹深度 $\leq 8\%t$ ，打磨 <sup>2</sup>	一个月内 B 型套筒或换管修复	两个月内 B 型套筒或换管修复	两个月内 B 型套筒或换管修复	六个月内 B 型套筒或换管修复	一年内 B 型套筒或换管修复； 主要应力为弯曲应力时，钢质环氧套筒修复	B 型套筒 钢质环氧套筒 复合材料
不可接受 $0.5 \leq \Omega < 0.8$		两个月内 B 型套筒或换管修复	六个月内 B 型套筒或换管修复	六个月 <sup>3</sup> 内 B 型套筒或换管修复			
不可接受 $0.8 \leq \Omega \leq 1$	1、裂纹深度 $\geq 8\%t$ 六个月内 B 型套筒或换管修复； 2、裂纹深度 $\leq 8\%t$ ，打磨 <sup>2</sup>	两个月内 B 型套筒或换管修复	六个月内 B 型套筒或换管修复	六个月 <sup>3</sup> 内 B 型套筒或换管修复	一年内 B 型套筒或换管修复； 主要应力为弯曲应力时， 钢质环氧套筒修复	一年内 B 型套筒或换管修复； 主要应力为弯曲应力时，钢质环氧套筒修复	B 型套筒 钢质环氧套筒 复合材料
可接受 $\Omega > 1$	打磨 <sup>2</sup>	六个月内 B 型套筒或换管修复	一年内 B 型套筒或换管修复	一年内 B 型套筒或换管修复	按普通口管理 必要时增加应变监测	按普通口管理	按普通口管理

1、 $\Omega = \sigma_{ac} / \sigma_a$ ； $\sigma_{ac}$ -适用性评价计算的临界应力； $\sigma_a$ -若进行应力测试，则  $\sigma_a$  可根据应力测试结果和评估计算应力综合确定；若未进行应力测试则依据标准计

算轴向应力数值或者综合考虑附加载荷等评估计算应力。

- 2、若打磨深度 $\leq 8\%t$ （为壁厚）可去除，则按普通口管理；打磨深度达到 8%壁厚，缺陷仍未去除时，B 型套筒或换管修复。
- 3、根据现场焊口应力情况，若运行压力不高于 0.8 倍设计压力，可六个月内修复，否则建议两个月内修复。
- 4、长输管道修复方法和响应计划宜参考本表执行；燃气管道修复方法可参考本表执行，响应计划应根据企业情况自行规定。

附录 D  
(资料性附录)  
现场检测数据记录模板

不合格焊口缺陷信息汇总表														
												检测日期:		
焊口所属公司	管线名称					建设期焊口编号								
内检测标段	阀室区间	内检测编号			内检测里程			焊接方式	公称壁厚mm		钢材			
开挖位置	开挖时间	开挖原因			回填时间			管径mm	弯头弯管情况		上游	下游		
焊口类型	返修位置	是否堵头/盲死口			是否高后果区									
GPS坐标	是否裂纹	设计压力Mpa			运行压力Mpa									
管道地形地貌														
位置	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	底片复核结果	
错边mm													底片复核建议	
余高mm													开挖复拍检测执行标准	
宽度mm														
斜接角度°														
实测壁厚mm	12:00		3:00		6:00		9:00		焊缝交点	内检测	上游/下游			
(上游/下游)										开挖检测	上游/下游			
序号	缺陷编号	缺陷类型	缺陷位置		缺陷尺寸			检测手段	质量分级	备注				
			距0点环向距离	距表面深度	缺陷高度	轴向尺寸	环向尺寸							
			mm	mm	mm	mm	mm							
1														
2														
3														
4														
5														

参 考 文 献

- [1] GB/T 30582 基于风险的埋地钢质管道外损伤检验与评估
  - [2] GB/T27512 埋地钢制管道风险评估方法
  - [3] GB50251 输气管道工程设计规范
  - [4] GB50253 输油管道工程设计规范
  - [5] GB/T 30579 承压设备损伤模式识别
  - [6] GB/T 34275 压力管道规范 长输管道
  - [7] NBT 47013 承压设备无损检测
  - [8] BS 7910 Guide on Methods for Assessing the Acceptability of flaws in metallic structures
  - [9] API 579 Fitness-for-Service
-

《埋地钢质管道环焊缝质量风险排查和评估方法》  
(征求意见稿)

编制说明

标准编制工作组  
2024年10月20日

# 《埋地钢质管道环焊缝质量风险排查和评估方法》编制说明

(征求意见稿)

## 1 工作简况

### 1.1 任务来源

近年来多起油气管道环焊缝失效事故所暴露的问题反映了在油气管道安全保障方面，还存在潜在风险和急需补齐的短板。环焊缝焊接质量不合格，存在超标缺陷、组对不规范、过大的附加应力等。管道除承受内压，还承受其他外部载荷，如施工装配及焊接过程中产生的装配应力、运行过程中地壳引起的位移应力等。施工管理不规范引起的不按照焊接工艺规程进行焊接，焊接质量差，施工单位私割私改管道隐瞒不报，造成“疑似黑口”的存在，施工与检测方沟通不足，导致焊口漏检等。环焊缝质量安全状况不仅直接关系到相关企业的正常运行，而且关系到社会稳定和经济发展，同时严重威胁周边环境和人民生命财产的安全。

在《埋地钢质管道环焊缝质量风险排查和评估方法》团体标准的编制过程中，参考了国家“十一五”到“十三五”重点科技攻关和科技支撑计划课题“城市埋地燃气管道及工业特殊承压设备安全保障关键技术研究”、“城市燃气管道安全保障关键技术研究”、“生命线工程安全保障关键技术与工程示范”的相关成果，结合 10 多年的检测实践经验制定。该标准由中国特种设备检验协会批准立项，并由中国特种设备检验协会团体标准技术委员会归口管理。

### 1.2 起草单位

中国特种设备检测研究院、国家管网集团北方管道公司、国家管网集团西南管道公司、中国石油化工股份有限公司中原油田普光分公司、中国石油集团石油管工程技术研究院、国家管网集团华南分公司、安徽省特种设备检测院、天津市特种设备监督检验技术研究院、中国石油化工股份有限公司茂名分公司、浙江浙能技术研究院有限公司、国家管网集团(徐州)管道检验检测有限公司、广东大鹏液化天然气有限公司、深圳市燃气集团股份有限公司、中国石油化工股份有限公司西南油气分公司(元坝气田)、天华化工机械及自动化研究设计院有限公司化学工业设备质量监督检验中心、厦门市特种设备检验检测院。

## 2 编制原则和主要内容

### 2.1 编制原则

1) 标准的编写格式按国家标准 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》的规定和要求进行编写；

2) 本标准充分考虑埋地钢制管道的安全及持续运行是关系到公共安全和人民群众的日常生活的实际情况，采取相应技术手段确保埋地钢制管道的安全运行。是《压力管道定期检验规则—公用管道》(TSGD7004)和《压力管道定期检验规则——长输管道》(TSG D7005)的补充以及技术上的细化优化。

3) 以国家科研成果为基础，充分考虑工程试应用的结果，以保证标准的适用性；

4) 充分考虑我国对埋地钢制管道环焊缝安全管理的总体要求、我国当代社会价值取向、管道失效

模式及特点、我国企业技术、经济、管理水平和人员素质；

5) 为检验人员和企业安全管理的提供技术支持；

6) 满足标准的科学性、先进性、有效性原则，规范我国埋地钢制管道的检验与评价。

## 2.2 标准主要内容说明

本标准给出埋地钢质管道环焊缝质量风险排查和评估方法，由9个章节和4个附录组成，包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、数据收集、环焊缝质量风险排查、环焊缝质量风险评估、超标缺陷适用性（合于使用）评价、报告和记录、附录A埋地钢质管道失效可能性评分细则、附录B开挖复检规则、附录C环焊缝修复方法及响应计划推荐表、附录D现场检测数据记录模板。其中附录A、B、C、D均为资料性附录。

### 1) 确定本标准的适用范围

本章规定本标准适用于在役埋地钢质管道环焊缝的质量风险排查、开挖检测、风险评估等。

### 2) 总则

主要规定本标准的目的、基本要求及方法和流程概念。

### 3) 数据收集

该部分主要规定了需要收集的设计数据、建设期数据、运维数据、内检测数据和环境数据的主要内容，这些内容是相关法规和标准要求应该具有的。

### 4) 环焊缝质量风险排查

本章规定了环焊缝质量风险排查的基本范围，主要包括焊口质量排查、地质条件排查、高后果区/重点区域排查、应力应变风险排查等。

本章还规定了环焊缝质量风险排查的基本要求、排查内容、排查方法等，对焊口对齐、底片复评、施工管理、焊接机组、地质条件、高后果区/重点区域、高应力风险口、高应变风险口的排查过程进行规定。

### 5) 环焊缝质量风险评估

本章规定了环焊缝质量风险评估的基本流程，主要包括失效可能性评估、失效后果评估、风险等级划分、风险表示方法、开挖复检规则、降低风险措施的建议、风险再评估等。

环焊缝质量风险评估内容是本标准的创新性内容，主要包括从环焊缝缺陷、材料、载荷、施工质量管理四个方面对环焊缝失效可能性进行的半定量风险评估、风险等级划分、环焊缝风险管控要求、开挖复检规则等。失效可能性半定量风险评估按照附录A执行。

### 6) 超标缺陷适用性（合于使用）评价

本章规定了超标缺陷适用性（合于使用）评价的基本流程、评价标准的选取、材料性能、应力状况、安全系数的选取、修复措施等、修复方法和响应计划按照附录C进行。

### 7) 报告和记录

本章规定了埋地钢质管道环焊缝的质量风险排查与评估报告应包含的主要内容、记录内容和模板，模板可参照附录D进行。

## 3 综述报告及预期经济效果

油气管道是长距离输送的线性工程，主要采取焊接方式连接、埋地方式敷设。环焊缝是管道整体

质量的薄弱环节，也是管道安装过程质量管控的核心环节，主要表现在一是我国环焊缝数量庞大，平原地带敷设的管道，平均每公里约有 90 个环向焊缝，在人口稠密地区、地形复杂的区域，环焊缝数量还会增加。以西气东输二线管道为例，工程总长 8 704 公里，线路焊接约 76 万道口，仅主线路（4 978 公里）上的环焊缝长度累计就超过 170 公里。可见，环焊缝数量特别巨大。管道是高压、密闭的输送系统，170 公里焊缝上的任何一点发生泄漏，管道全线运行、上下游生产都会受到影响。二是现场焊接质量控制难度大。长输油气管道建设点多、线长、面广，流动作业性强，管道途经沙漠、戈壁、丘陵、高寒冻土、沼泽、水田、湿地等地区，地形地貌、自然环境复杂多变，很多焊口需要在沟下组对、焊接，作业空间受限，焊接条件比较差，现场管理往往比较粗放。焊接过程对环境温度、风速、湿度等因素又较为敏感，对坡口除污除锈、组对间隙、错边量、预热温度、层间温度、焊接电流电压等过程中众多参数控制都有严格要求，对过程控制要求比较细致，需要克服诸多外界不利因素。另外，国内工程普遍存在抢工期现象，施工高峰期作业人员工作量大、任务紧，监督管理滞后，加大了焊接质量管理难度。总之，管道现场焊接受人、机、料、法、环等方面影响，质量控制难度非常大，成为管道质量最薄弱的环节。三是焊缝开裂的后果严重。环焊缝属于焊接冶金形成的铸态组织，与钢管母材的热轧组织相比，不可避免地带有焊接缺陷和机械性能方面的先天劣势。从事故案例来看，焊缝缺陷往往会导致焊缝开裂，相比腐蚀穿孔等损伤（密闭空间除外），焊缝开裂泄漏孔径更大，泄漏量更多，引发爆燃、爆炸后果危害更大。四是排查整改难度大。管道焊接完成后，要经过焊缝外观检查、无损检测确认合格后，方可进行焊缝补口、回填、试压等后续工序。运行期管道已是隐蔽工程，如要整改，则需要重新检测、定位、开挖、验证、评价、修复，再次检测、补口、回填，面临动火作业、停输等风险，修复质量控制难度大，效果也不一定好。

我国长输管道建设已有 50 多年历史，老旧管道普遍存在施工质量问题多、技术档案不全、缺陷情况不清、具体位置不明等问题。对于企业，安全管理水平普遍处于疲于堵漏抢险、无奈盲目更新的高成本、低成效的被动局面；对于政府，亟待摸清管道安全状况，建立和推行科学合理、经济有效的监管措施和技术规范。实施动态风险管理与控制，变被动抢险、盲目更新为主动预防、科学维护，是科学合理、经济有效地保障聚埋地钢制管道安全生产的必由之路。

本标准为了适应国家有关法规、规章中关于埋地钢制管道环焊缝风险评估和检验检测要求和工程需要，提出对埋地钢制管道环焊缝质量风险排查与评估方法。解决了长期困扰埋地钢制管道环焊缝质量政府安全监察、企业安全生产的瓶颈性技术难题，为我国实施科学、合理、经济、有效的安全监管措施，从根本上扭转安全生产普遍处于疲于堵漏抢险、无奈盲目更新的高成本、低成效的被动局面，提供了必不可少的急需技术和方法手段。本标准的实施，可降低管道环焊缝事故率和运行成本，控制突发事故造成的人员、经济损失，具有显著的经济和社会效益。

#### 4 与国际、国外同类标准水平的对比情况

本标准是对是《压力管道定期检验规则—公用管道》(TSGD7004)和《压力管道定期检验规则—长输管道》(TSG D7005)的补充以及技术上的细化优化。是根据我国油气管道的建设条件和运行管理的工程实际，在对前期研究成果的凝练与整合、工程适用性研究的基础上，充分考虑国内外管道制造、安装、维护、管理、检验水平的差距，充分考虑我国特种设备安全监察的总体要求，与我国的经济水平、社会保障条件以及有关安全技术法规相适宜，是国内外同类方法不能替代的。目前，国内还没有专门针对埋地钢制管道环焊缝质量风险排查与评价的专用标准，《埋地钢质管道环焊缝质量风

险排查和评估方法》标准的制定，可提高埋地钢制管道环焊缝风险排查和完整性管理效率，提升我国油气管道环焊缝的质量安全管理水平，填补了国内环焊缝质量风险排查与评价行业空白。综上，本标准达到国内先进水平。

## 6 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

《压力管道定期检验规则—公用管道》(TSGD7004)和《压力管道定期检验规则——长输管道》(TSG D7005)提出了环焊缝的检验检测要求，但不全面。针对埋地钢制管道环焊缝可能出现的安全质量问题，非常迫切的需要开展环焊缝质量风险排查和评估工作，制定排查和评价标准，解决管道环焊缝质量问题，为环焊缝的安全提供科学的检验方法体系，保障埋地油气管道的安全运行。本标准是《压力管道定期检验规则—公用管道》(TSGD7004)和《压力管道定期检验规则——长输管道》(TSG D7005)的支撑标准，给出了具体明确的管道环焊缝质量风险排查、评价与检验方法。

本标准是为适应国家有关法规、规章中关于油气埋地管道环焊缝评价与检验要求而提出的具体评价与检验方法。

## 7 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 8 本标准属性

建议本标准作为团体标准。

## 9 贯彻国家标准的要求和措施建议

- 1) 标准发布后，应组织对实施标准的单位和技术人员进行宣贯培训；
- 2) 主管部门对标准的实施情况进行检查，发现问题及时反馈，确保本标准的贯彻实施；

## 10 废止现行有关标准的建议

无。

## 11 其他应予说明的事项

无。

《埋地钢质管道环焊缝质量风险排查和评估方法》

标准编制工作组