

1 概述

- 失效分析和诊断技术
 - (1) 事故检出技术
 - (2) 事故识别技术
- 是指在事故分析中用以诊断事故的形式、原因的识别技术。具体包括传统的材料分析与测试、金相检验、模拟腐蚀试验或疲劳试验与断裂试验等。

1 概述

- 2 失效事故的技术检验
- 2. 1 事故现场处理和调查
- 压力容器及压力管道最容易发生泄漏和爆炸事故并引起灾难性后果，主要表现在：冲击波伤害、火灾、毒性伤害、电击伤害等，这无疑会造成不同程度的人员伤害、建筑物损毁、机械设备与仪表电器的破坏。事故发生后必须立即进行事故现场的紧急处理，包括物料的紧急处理和危险电源的切断。
-

1 概述

- 2 失效事故的技术检验
- 2. 1 事故现场处理和调查
 - (1)现场保护与记录
 - ①首先要收集现场的各种操作记录、仪表损坏时指针位置，安全阀是否有泄放的迹象，爆破片的破坏或完好状况。有计算机控制系统的应封存好各种工况的记录。属爆炸事故的应检查有无碎片飞出，仔细做好碎片的收集，同时记录好每一碎片抛落的才离及秤好每一碎片的质量。

1 概述

- 2 失效事故的技术检验
- 2. 1 事故现场处理和调查
 - (1)现场保护与记录
 - ②断口保护工作极其重要。断口上留下的是事故真实的宝贵资料，在清理断口的污物时切忌用金属也不应用棉纱，而应采用细软的毛刷。不用水而应采用无腐蚀性的有机溶剂。

1 概述

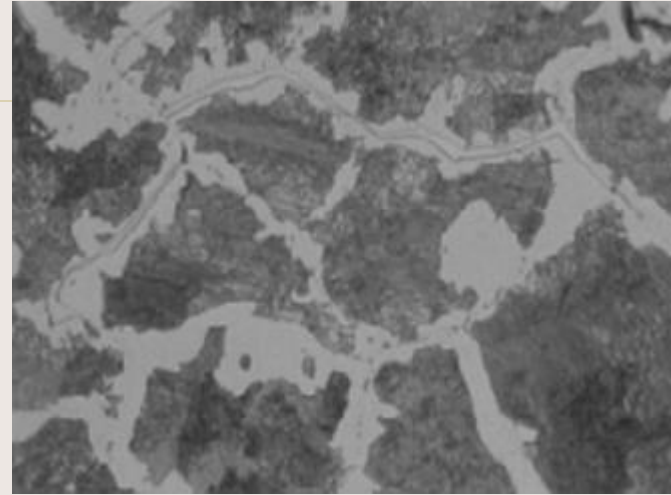
- 2 失效事故的技术检验
- 2. 1 事故现场处理和调查
 - (1)现场保护与记录
 - ③事故后应立即做好现场记录。除时间、地点、装置以外，应包括现场的各种破坏情况

断口有时候已经磨损：开往市内火车驱动轴，到市区减速，此时没有润滑，轴已经严重损坏，滑动轴承也没有保存



1 概述

但通过微观分析：
晶界中有Cu。由于
火车减速，缺少润
滑油，高温导致巴
士合金熔化，同时
高温是轴的温度升
高到奥氏体问题，
熔化的Cu渗入奥氏
体晶界。——液态
金属脆化

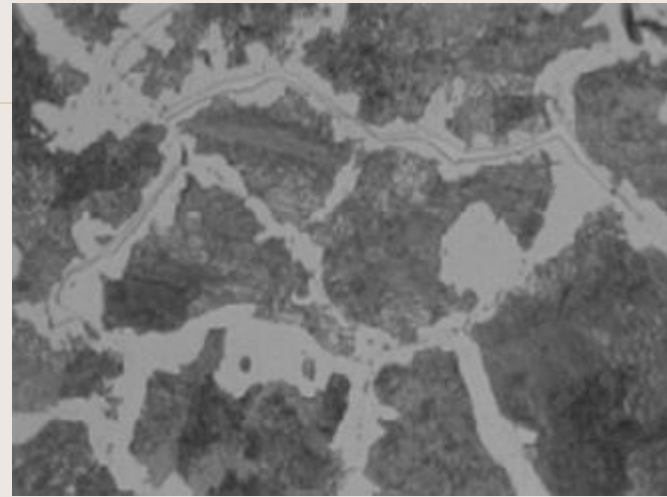


原奥氏体晶界有
网状Cu

1 概述

但如何确认Cu：最初的分析是制备了2个轴向金相试样交给了扫描电镜操作人员，然而没有发现Cu.

后来放到光学显微镜分析，立刻发现彩色的晶界，证明是Cu(使用正确的工具)



原奥氏体晶界有
网状Cu

1 概述

- 2 失效事故的技术检验
- 2. 1 事故现场处理和调查
- (2)事故调查分析的要求和内容
 - 事故调查应由按法规组成的事故调查组主持进行。
 - ①明确划定事故现场的范围，做好现场保护工作。

1 概述

- 2 失效事故的技术检验
- 2. 1 事故现场处理和调查
 - ②了解事故过程的有关情况
 - ③设备发生失效或事故往往不是某一原因产生的，常涉及到设计、制造、原材料、检验到使用，以及使用后历次检验与维修的情况。
 - ④进行必要的技术检验与鉴定工作。由调查组确认事故的过程、性质、原因、破坏形式、事故责任等。
 - ⑤提出事故处理意见和必要的整改要求与措施，杜绝事故的再次发生。

1 概述

- 2 失效事故的技术检验
- 2, 2 失效状况的外观检查
 - 外观检查的重点是变形情况和断裂情况。若涉及腐蚀与磨损时重点还有表面状况。
- 2. 2. 1 变形情况检查
 - ①对于容器类构件，主要视其有无碎片，总体有无鼓胀
 - ②对于没有碎片的爆炸容器还应视其有无明显鼓胀变形

1 概述

- 2 失效事故的技术检验
- 2, 2 失效状况的外观检查
 - 2. 2. 1 变形情况检查
- ③对轴类、杆类零件的失效变形表现为是否有明显的弯曲
- ④对于高温炉管、高温管道或高温容器，是否发生了明显的鼓胀(蠕胀)变形，

2、 root-cause analysis

- 为什么会失效：
- 服役或操作条件
- 不适当的维护
- 不适当的试验和检查(水压实验水)
- 安装错误
- 制造缺陷
- 设计错误

失效调查

- 四步法解决问题
- 问题是什么
- 什么是根本原因
- 什么是潜在的解决方法
- 什么是最好的解决方法

失效调查

- 失效分析调查的九步法
- 理解调查的目的
- 理解发生的失效
- 所有可能的根本原因
- 每个根本原因的可能性
- 找到最可能的根本原因
- 找到所有可能的相关行动
- 客观评估每个相关行动
- 选择最优的相关行动
- 评估选择的相关行动的有效性

失效调查

失效分析调查的九步法

1: 理解调查的目的

- 调查的优先性
- 现有资源
- 任何限制条件
- 调查目的

• 调查的优先权觉得调查的步调、有时决定资源和限制条件（钱、人事和时间），此外限制条件还包括不允许破坏设备进行测试。

最后决定失效调查的目标：有时候不需要找到根本原因，只是给出简单原因。例如客户只要给出应力分析看是否符合要求，然后真正问题可能是热处理或材料问题。要说服客户进行根本原因分析。

失效调查

- 失效分析调查的九步法

- 2: 理解失效

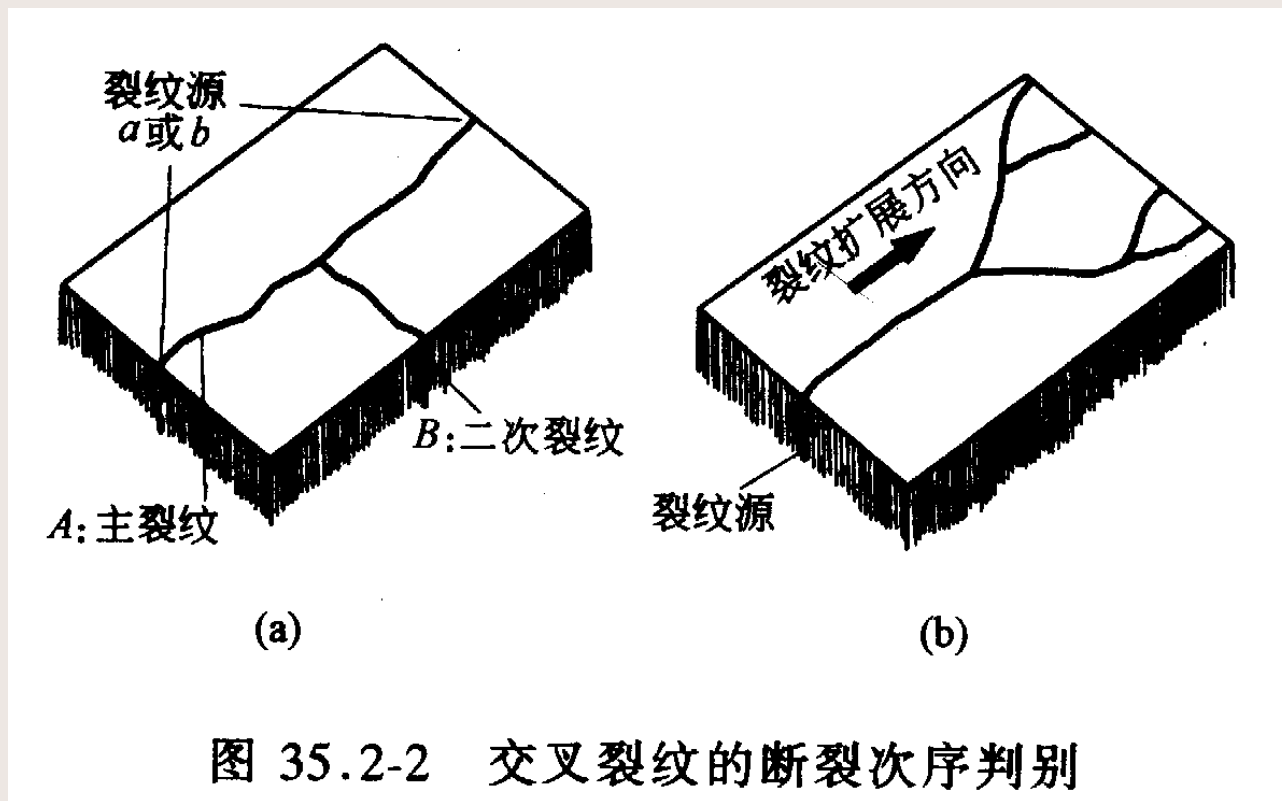
- 这是失效调查的第一步。发生什么了？
- 调查人员需要更专业了解系统和过程。
- 头脑风暴

现场

- ○

2 失效事故的技术检验

2.2.2 裂纹检查



2 失效事故的技术检验

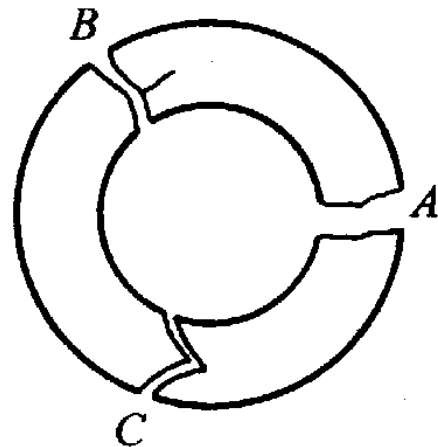


图 35.2-3 销孔三个断口的断裂
顺序为 A 先于 B 和 C

2 失效事故的技术检验

• 2. 2. 3 表面状况检查

- 构件表面在运行中最易引起的失效是腐蚀与磨损。

• 2. 3 材料的检验和鉴定

- 材料的检验和鉴定的目的是鉴别与确认材料有否错用，性能是否正常。

- (1)化学成分检验

- (2)力学性能检验

- (3)金相检验

2 失效事故的技术检验

• 2. 4 断口宏观检验和鉴定

• (1) 宏观分析内容

• 裂纹方向，裂纹源，断裂类型

• (2) 断口三要素

• ①起裂源区是放射纹及人字纹所指向的地区，
• 这些纹路的收敛区。

• ②起裂源区一般在韧性良好的状态下就是纤维
• [状区。

• ③起裂源区不存在剪切唇

2 失效事故的技术检验

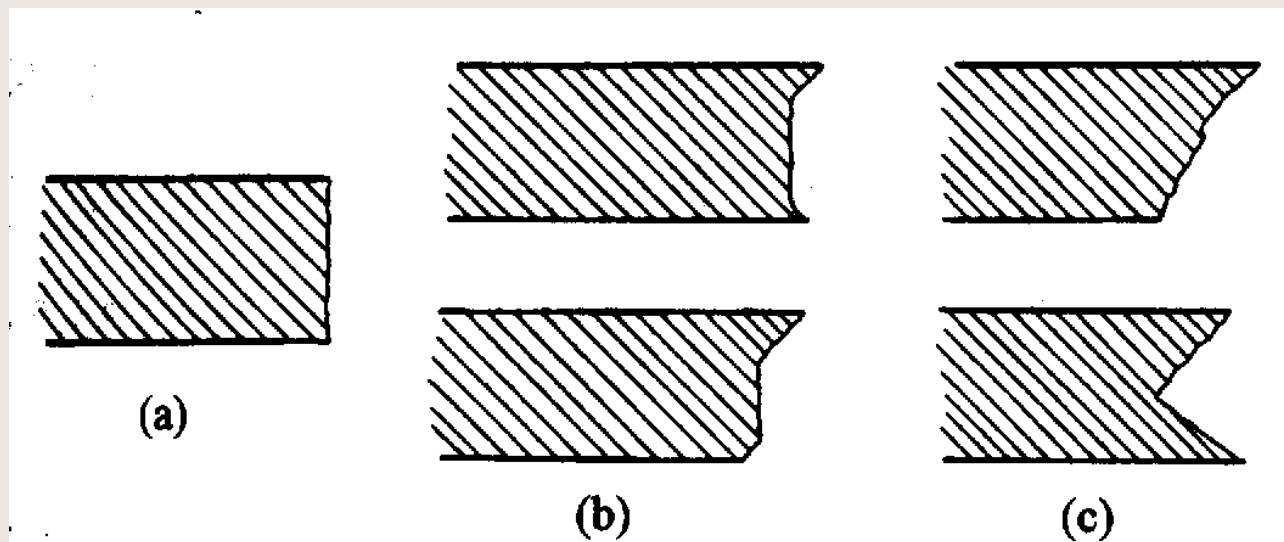


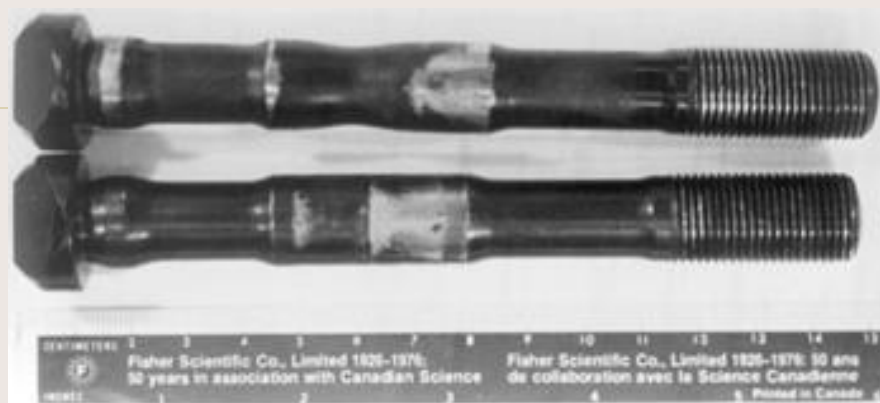
图 35.2-4 断口的断裂方向

(a) 完全正断口 (脆断); (b) 混合断口
(韧断); (c) 剪切断口 (韧断)

2 失效事故的技术检验

断口宏观检验

螺栓服役初期伸长。在截面不是最小的地方发生颈缩，一定这个地方材料有问题。放大看小裂纹内部氧化，结论：在服役前存在裂纹，实际上是热处理之前存在裂纹（SCC）



(a)



(b)

~5 mm

2 失效事故的技术检验

断口宏观检验

冲蚀或冲蚀腐蚀往往与拉长的方向性的孔洞

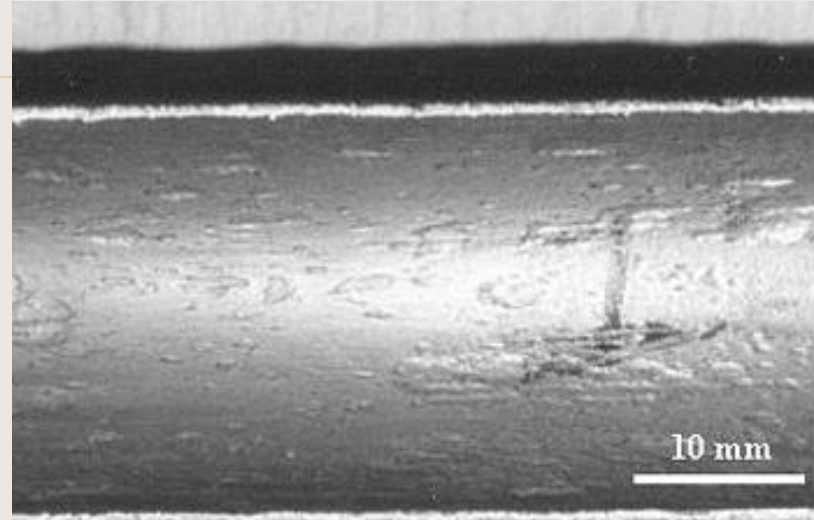


Fig. 8 Elongated surface cavities on the inside surface of a 70-30 cupronickel tube produced by erosion-corrosion. The tube surface is clean, the attack having occurred due to brine flowing through it at 70 ° C (158 ° F) with turbulent flow and an excessive level of dissolved oxygen.

2 失效事故的技术检验

• 2. 4. 2 断口的显微检验和分析

- 在宏观分析的基础上才可进行这一步分析。通过宏观分析可选择几处需要进一步用电镜放大再观察分析的小区域。例如起裂源区、暴露出的原始缺陷区、“结晶状”断口区、贝壳纹区、粒状断口区、放射纹或人字纹区等，都可以用线切割或其他不致损伤断口形貌的方法切割下需放大观察的区域做成扫描电镜的观察试样。

-

2 失效事故的技术检验

• 2. 4. 2 断口的显微检验和分析

• (1)分析断裂的机制

• 主要针对断裂源区，’ 辅以裂纹扩展区进行电镜观察分析。例如主断口(源区)是无金属光泽的灰暗的纤维区，在电镜中呈韧窝状花样，则表示构件是因超载等原因引起了微孔聚集机制的断裂。宏观上呈“结晶状”闪光的断口，在电镜中呈河流状花样，则表示是解理机制的脆性断裂。

2 失效事故的技术检验

• 2. 4. 2 断口的显微检验和分析

• (1) 分析断裂的机制

• 宏观断口呈贝壳纹状的，在电镜中又呈海滩状的疲劳辉纹，则表示这是疲劳机制的断裂。若宏观上呈颗粒状，则在电镜中很可能显示出冰糖状或岩石状的沿晶断口，则应结合介质温度及材料类型，再进一步确定是应力腐蚀、高温蠕变或应变时效脆化或回火脆化等原因。不少回火脆化后的断口是沿晶的，但晶界上又有若干韧窝，称为“沿晶韧窝”，

2 失效事故的技术检验

- 2. 4. 2 断口的显微检验和分析
 - (2)分析材料的夹杂物状态
 - 构件的断口在扫描电镜中会反映出材料的冶金状态，例如夹杂物的大小、形状、分布的密集程度。如果夹杂物多，在钢材轧制时出现层状组织，断口上分层明显，且层状组织同时显示出明显的夹杂物也呈层状，会找到块状及长条状的夹杂物。

2 失效事故的技术检验

- 2. 4. 2 断口的显微检验和分析
 - (3)分析材料的固态相变劣化程度
 - 一些耐热钢和用于高温的奥氏体钢构件，长期在高温下服役后出现碳化物相的析出与聚集，口相的析出与长大，不但在金相上有明显的变化，在断口上也有类似的表现。例如发生了沿晶断裂，断口上出现了沿晶析出的新相

2 失效事故的技术检验

- 2. 4. 2 断口的显微检验和分析
 - (4)弄清应力腐蚀的原因
 - 应力腐蚀裂纹的断口，不论是穿晶还是沿晶的，总有不少地方被腐蚀产物所覆盖，有时甚至出现大片的呈泥状花样的腐蚀产物。利用电镜内的能谱分析功能，分析腐蚀产物的成分，就可弄清是什么有害成分造成应力腐蚀的

2 失效事故的技术检验

•2. 6 失效分析中的验证性试验

- 失效分析中遇到疑难问题，或涉及到重大责任认定时，需要进行验证性试验来进一步明确有关问题。

•2. 6. 1 材料的验证性试验

•2. 6. 2 腐蚀失效的验证性试验

- 对于一些重大的可能涉及腐蚀或应力腐蚀引起的事故，当对结论有不同看法时也可以通过模拟试验来帮助下结论。

2 失效事故的技术检验

- 2. 6. 3 模拟应力测试试验和有限元应力分析
- 对于重大失效事故可以进行应力测试。最好是全尺寸结构的测试。测试的重点是发生失效的部位。模拟试验的结构一般不需再预制出失效部位的原始缺陷，只要弄清该部位的应力分布状况和应力集中系数即可。然后采用断裂力学方法进行缺陷的断裂分析或疲劳分析

2 失效事故的技术检验

• 2. 6. 4 模拟爆破试验和安全泄放试验

- 有时为了确切地确定压力容器或压力管道的爆破压力，可以进行模拟压力试验。
- ①安全阀的压力试验
- ②爆破片的爆破试验
- ③、压力容器的爆破试验是较少见的，主要是因成本较高。

2 失效事故的技术检验

- 3.2 失效事故的综合诊断
- 3. 2. 1 综合诊断的基本原则和基本方法
 - ①系统方法
 - ②逻辑方法
- 3. 2. 2 综合诊断的方法
 - (1)经验分析法
 - (2)特征—因素图法
 - (3) 事故树

3 失效事故的综合分析与诊断

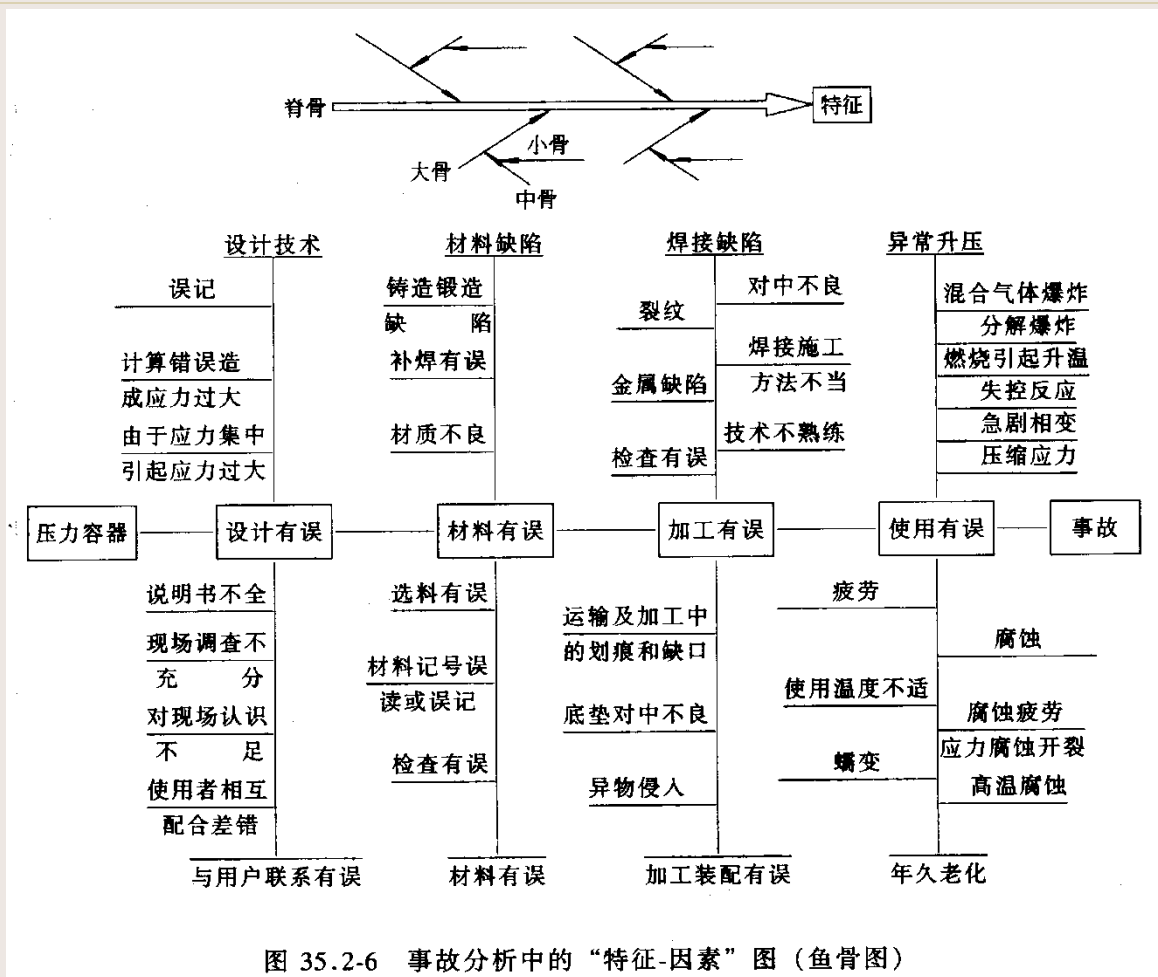


图 35.2-6 事故分析中的“特征-因素”图 (鱼骨图)

4 事故处理

- (1) 类别区分
爆炸，严重损坏，一般，
- (2) 事故灾害程度的区分
- (3) 事故报告规定
- (4) 事故调查和处理的规定
- 5) 事故的结案

介绍完毕 谢谢