

# 影响油气管道 安全性的材料因素

冯耀荣 等著

© Material Factors  
Affecting the Safety  
of Oil and Gas  
Pipeline

石油工业出版社

# 影响油气管道安全性的材料因素

Material Factors Affecting the Safety of Oil and Gas Pipeline

冯耀荣 等著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书系统介绍了影响油气管道安全性的材料因素,包括材料的断裂韧性、动态断裂韧性及止裂韧性、疲劳裂纹扩展抗力,管材强度和极限承载能力及在湿  $H_2S$  环境中的腐蚀行为,探讨了不同服役条件下管道的安全分析与评价方法及管材性能要求。研究结果对高钢级管线钢工程应用中止裂韧性预测、DWT 异常断口评判、管材选用、安全分析与评价、技术标准制定等具有重要参考价值。

本书可供油气管道工程、材料科学与工程、工程力学、安全工程等相关专业工程技术人员和管理人员参考,也可作为有关大专院校师生的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

影响油气管道安全性的材料因素/冯耀荣等著.

北京:石油工业出版社,2007.2

ISBN 978-7-5021-5935-1

I. 影…

II. 冯…

III. 石油管道-安全性-材料-因素分析

IV. TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 011803 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

---

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:15.5

字数:280 千字 印数:1—1000 册

---

定价:50.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究



**冯耀荣** 中国石油天然气集团公司机械专业石油钢管高级技术专家，应用基础研究重点领域首席专家。西安交通大学材料科学与工程专业博士研究生毕业。现任中国石油天然气集团公司管材研究所总工程师、博士后科研工作站站长、中油集团石油管力学和环境行为重点实验室主任。西安交通大学、中国石油大学兼职教授、博士生导师。一直从事石油管材与装备的应用基础研究、技术开发与重大工程技术支持工作。主持、负责或作为骨干成员完成了20余项国家、中油集团公司科研项目，在油气输送管材选用、管道安全可靠、西气东输工程用大口径输气管材国产化、提高石油钻柱安全可靠性和使用寿命等方面取得了一系列创新性成果，有19项成果获得国家性和省部级科技奖励，主编、合编《油气输送管道工程技术进展》等著作或研究文集10部。发表论文160余篇，其中SCI/EI检索论文30篇（次）。曾获“全国先进失效分析专家”，陕西省有突出贡献专家，中油集团跨世纪学术和技术带头人、杰出科技工作者、西气东输工程科技攻关优秀项目长，第三届孙越崎能源科学技术奖“优秀青年科技奖”、第十五届孙越崎“能源大奖”。

# 序

随着世界经济的飞速发展,对石油天然气的需求日益增加。预计在未来10~15年内,石油天然气的需求量将增加一倍。作为石油和天然气的一种经济、安全、不间断的长距离输送工具,油气输送管道在近40年取得了巨大的发展。目前,全世界石油、天然气管道的总长度已超过 $2.30 \times 10^6$  km,并以每年 $2 \times 10^4 \sim 3 \times 10^4$  km的速度增加。在近10年内,我国已建成陕京管线、涩宁兰管线、兰成渝管线以及西气东输管线等十几条重大长输管线,预计今后10~15年内,我国共需各类油气输送干线用钢管约 $1000 \times 10^4$  t。

油气管道的安全性与经济性是对管道的基本要求,必须从管道的设计、建造、运行和维护等环节进行全过程、全寿命周期的完整性控制和管理。一方面,在役管线的完整性管理,需要对管线进行定期检测、安全评价、风险评估和维修管理。我国现有油气长输管道约 $3 \times 10^4$  km,油田内部输送管网和城市管网遍布全国各地。在这些管道中,60%以上已运行多年,有的已运行二三十年,爆管事故时有发生。对这些老管道的安全评价工作迫在眉睫,对其进行剩余强度评价和剩余寿命预测,具有重大技术经济意义和社会效益。另一方面,由于油气管道工程技术的进步,新建油气管道的设计和建造已逐步走上科学发展的道路。从管道的安全可靠性与经济性高度兼顾和统一的原则出发,必须对管道建设的各环节如设计、选材、生产制造、现场施工、质量控制及检测评价等进行优化管理与控制,同样具有重大现实意义。大量管道失效事故分析表明,建造质量是管道早期失效的一个主要原因。这充分说明管道建造过程中进行安全可靠性与控制的重要性。特别是随着大口径高压输气管线建设及高钢级管材的应用,有很多影响管道建设质量和安全可靠性的因素需要研究和解决。

本书围绕影响油气管道安全性的材料因素进行了系统研究,从油气管道材料强度、管道极限承载能力、管材韧性(包括动态断裂韧性和止裂韧性)、疲劳性能、腐蚀性能、环焊缝强韧性合理匹配、管材性能指标优化等不同方面比较全面地介绍了作者近年来在这一领域的研究成果,取得了大量翔实的试验数据、理论分析结果和新的认识,反映了在这一领域的技术创新。这些研究成果对在役管道安全分析评价和新建管道质量及安全可靠性的控制具有重要参考价值。当前,我国油气

管道建设仍处于高速发展时期,在管道建设和运营管理中还有很多热点问题和技术难题需要解决或深化,希望广大科技工作者共同努力,为我国油气管道建设及管道工程技术发展做出新的更大的贡献。

中国工程院院士



2006年10月

# 前 言

到2005年底,我国已相继建成长距离大口径油气输送干线管道超过35100多km,预计“十一五”期间我国将建设油气输送干线12000km。至2020年,新建油气管道干线将达35000km。

油气管道的安全与经济运行不但是对在以管道的基本要求,而且也是新建管道的基本出发点。随着在役管线运行年限的增加和新建管道的大量建设,特别是大口径高压输气管线的建设及高钢级管材的大量应用,有很多影响管道建设质量和安全可靠性的关键问题和技术难题需要研究和解决。

管道的安全性取决于材料因素、力学因素(服役条件)及管道的几何尺寸(包括缺陷的影响),管道材料因素是确保管道安全运行的基本条件。本书拟介绍围绕影响油气管道安全性的材料因素进行的研究工作和所取得的创新成果,这些成果一方面可用于管道的安全分析,另一方面,这些研究成果对于优化管道设计、合理选材、技术条件确定等会很有帮助,特别是对于解决高钢级管线钢管工程应用中的技术问题提供参考,使管道达到安全性和经济性的有机结合与统一。

本书是在中国石油天然气集团公司(简称集团公司)“九五”课题“油气输送管断裂、疲劳与残余应力的研究”、“长距离输气管道材质选用研究”、“十五”课题“西气东输用大口径高压输气管线的安全可靠性研究”、“高钢级管线钢的几个关键应用基础问题研究”、“高钢级管材落锤撕裂试验断口分析与评判技术研究”、“管线钢的动态断裂及其与止裂韧性的关系”等的基础上,针对“影响油气管道安全性的材料因素”这一主题,选择部分内容进行了加工提炼。本书分十一章从油气管道材料强度、管道极限承载能力、管材韧性(包括动态断裂韧性和止裂韧性)、疲劳性能、腐蚀性能、环焊缝强韧性合理匹配、管材性能要求等不同方面比较全面地介绍了作者近年来在这一领域的研究成果,取得了大量翔实的试验数据、理论分析结果和新的认识,反映了在这一领域的技术创新。

本书由中国石油管材研究所总工程师冯耀荣教授负责编写,参加课题研究和编写工作的主要人员还有管材研究所李鹤林院士、霍春勇高级工程师、马秋荣高级工程师、庄传晶高级工程师、陈宏达高级工程师、吉玲康高级工程师、熊庆人高级工程师,西安交通大学柴惠芬教授、郭生武副教授、杜百平教授、朱维斗教授、马宝钿教授、李年教授、柳永宁教授、宋小龙副教授、杨政副教授,清华大学庄茁教授、由小川博士,西安石油大学高惠临教授,西北工业大学刘道新教授等。本书实

实际上是集体智慧的结晶。

本书的出版得到集团公司应用基础研究项目基金的资助,得到集团公司科技发展部和管材研究所领导的大力支持,特此致谢。

由于作者水平所限,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2006年10月



# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
1.1 油气输送管道发展概况 .....	(1)
1.2 油气管道的失效分析 .....	(2)
1.3 管道安全分析与评估技术的研究概况 .....	(5)
1.4 油气管道安全性的影响因素及安全分析与评价的技术思路 .....	(12)
1.5 主要研究进展 .....	(15)
参考文献 .....	(18)
<b>第二章 管道材料断裂韧性及其对安全性的影响</b> .....	(25)
2.1 试验材料与方法 .....	(26)
2.2 试验结果与分析 .....	(27)
2.3 关于断裂韧性和阻力曲线试验结果的讨论 .....	(30)
2.4 实物爆破试验验证 .....	(32)
2.5 小结 .....	(35)
参考文献 .....	(36)
<b>第三章 管道材料强度与极限承载能力及其对管道安全性的影响</b> .....	(38)
3.1 试验材料及方法 .....	(39)
3.2 拉伸试验结果与讨论 .....	(41)
3.3 水压爆破试验结果及讨论 .....	(45)
3.4 小结 .....	(50)
参考文献 .....	(51)
<b>第四章 管道材料动态断裂韧性及其对安全性的影响</b> .....	(54)
4.1 试验材料与方法 .....	(55)
4.2 试验结果 .....	(57)
4.3 试验结果分析及讨论 .....	(60)
4.4 小结 .....	(65)
参考文献 .....	(65)
<b>第五章 输气管线的止裂判据与止裂韧性预测</b> .....	(68)
5.1 Battelle 双曲线模型及 leis 修正 .....	(69)
5.2 止裂韧性试验结果分析、M 判据及讨论 .....	(72)

5.3	裂纹嘴张开角( <i>CTOA</i> )及在输气管线止裂预测中的应用	(76)
5.4	小结	(86)
	参考文献	(87)
<b>第六章</b>	<b>管道材料落锤撕裂性能试验评价及对安全性的影响</b>	<b>(89)</b>
6.1	DWTT 断口分类及特征	(90)
6.2	应力应变分析	(107)
6.3	材料组织性能的影响	(112)
6.4	试验方法和条件的影响	(125)
6.5	异常断口产生原因综合分析	(129)
6.6	异常断口的评判	(132)
6.7	小结	(135)
	参考文献	(136)
<b>第七章</b>	<b>管线钢焊接热影响区的局部脆化及其对安全性的影响</b>	<b>(137)</b>
7.1	试验材料与方法	(137)
7.2	试验结果及分析	(140)
7.3	小结	(153)
	参考文献	(154)
<b>第八章</b>	<b>管道环焊缝强度与韧性匹配及其对安全性的影响</b>	<b>(156)</b>
8.1	试验材料和计算分析方法	(157)
8.2	试验分析结果	(161)
8.3	小结	(179)
	参考文献	(180)
<b>第九章</b>	<b>管道材料的疲劳特性与寿命预测</b>	<b>(182)</b>
9.1	小试样疲劳试验	(183)
9.2	实物疲劳试验	(188)
9.3	小结	(196)
	参考文献	(197)
<b>第十章</b>	<b>油气输送焊管在湿 H<sub>2</sub>S 环境中的腐蚀行为</b>	<b>(199)</b>
10.1	实验取样与实验方案	(199)
10.2	实验结果	(202)
10.3	分析讨论	(205)
10.4	小结	(208)
	参考文献	(209)

第十一章 油气管道性能要求探讨 .....	(211)
11.1 均匀延伸率与形变硬化指数及屈强比的关系 .....	(213)
11.2 屈强比对管线钢裂纹启始扩展阻力的影响 .....	(218)
11.3 管道的主要失效抗力指标与性能要求 .....	(224)
11.4 小结 .....	(231)
参考文献 .....	(233)

# Contents

<b>1 Introduction</b>	(1)
1.1 Development state of oil and gas pipeline	(1)
1.2 Failure analysis of oil and gas pipeline	(2)
1.3 Research state for safety analysis and assessment of pipeline	(5)
1.4 Factors affecting the safety and technical thought for safety analysis and assessment of pipeline	(12)
1.5 Research progress of pipeline Material factors affecting safety	(15)
<i>References</i>	(18)
<b>2 Fracture Toughness and its Effect on Pipeline Safety</b>	(25)
2.1 Test materials and methods	(26)
2.2 Test results and analysis	(27)
2.3 Discussion on the test results of fracture toughness and resistance curves	(30)
2.4 Full scale hydrostatic burst proof test	(32)
2.5 Summaries	(35)
<i>References</i>	(36)
<b>3 Strength and Limit Loading Bearing Capacity and its Effect on Pipeline Safety</b>	(38)
3.1 Test materials and methods	(39)
3.2 Tensile test results and discussion	(41)
3.3 Hydrostatic burst test results and discussion	(45)
3.4 Summaries	(50)
<i>References</i>	(51)
<b>4 Dynamic Fracture Toughness and its Effect on Pipeline Safety</b>	(54)
4.1 Test materials and methods	(55)
4.2 Test results of dynamic fracture toughness	(57)
4.3 Analysis and discussion on the test results of dynamic fracture toughness	(60)

4.4	Summaries .....	(65)
	<i>References</i> .....	(65)
<b>5</b>	<b>Crack Arrest Criteria and Toughness Prediction of Gas Pipeline</b> .....	(68)
5.1	Battelle Two – Curve Model and Leis’ modification .....	(69)
5.2	Crack arrest toughness measurement and analysis, <i>M</i> criteria and discussion .....	(72)
5.3	CTOA and its application in crack arrest prediction of gas pipeline .....	(76)
5.4	Summaries .....	(86)
	<i>References</i> .....	(87)
<b>6</b>	<b>Drop Weight Tearing Test and its Effect on Pipeline Safety</b> .....	(89)
6.1	DWTT fracture appearance classification and features .....	(90)
6.2	Stress – strain analysis for DWTT .....	(107)
6.3	The effect of materials’ microstructure and properties .....	(112)
6.4	The effect of test condition and methods .....	(125)
6.5	Comprehensive analysis for causes of abnormal fracture .....	(129)
6.6	Evaluation of abnormal fracture .....	(132)
6.7	Summaries .....	(135)
	<i>References</i> .....	(136)
<b>7</b>	<b>Local Brittleness in Weld Heat Affected Zone and its Effect on Pipeline Safety</b> .....	(137)
7.1	Test materials and methods .....	(137)
7.2	Test results and analysis .....	(140)
7.3	Summaries .....	(153)
	<i>References</i> .....	(154)
<b>8</b>	<b>Girth Weld Strength and Toughness Match and its Effect on Pipeline Safety</b> .....	(156)
8.1	Test materials and research methods .....	(157)
8.2	Test results, analysis and discussion .....	(161)
8.3	Summaries .....	(179)
	<i>References</i> .....	(180)
<b>9</b>	<b>Fatigue Properties and Life Prediction of Pipeline</b> .....	(182)
9.1	Specimen fatigue test .....	(183)
9.2	Full scale inner pressure fatigue test .....	(188)

9.3	Summaries .....	(196)
	<i>References</i> .....	(197)
<b>10</b>	<b>Corrosion Behavior of Welded Pipes in Wet H<sub>2</sub>S Environment</b> .....	(199)
10.1	Test specimen and methods .....	(199)
10.2	Test results .....	(202)
10.3	Analysis and discussion .....	(205)
10.4	Summaries .....	(208)
	<i>References</i> .....	(209)
<b>11</b>	<b>The Property Requirement of Oil and Gas pipeline steels and pipes</b> .....	(211)
11.1	The relationship among $\frac{\sigma_y}{\sigma_b}, n$ 与 $\varepsilon_b$ (或 $\delta_b, \psi_b$ ) .....	(213)
11.2	The effect of yield to tensile ratio on $J_i$ .....	(218)
11.3	The main anti - failure index and property requirement of pipeline .....	(224)
11.4	Summaries .....	(231)
	<i>References</i> .....	(233)

# 第一章 绪 论

## 1.1 油气输送管道发展概况

管道输送是油气运输中最便捷、经济和可靠的方式。早在公元前 900 年,我们的祖先即利用竹筒输送天然气。后来英国人用木管和铅管输送天然气。19 世纪,铸铁管技术在欧洲逐渐发展,使天然气能够在较长的距离安全输送。输送油气的大口径钢管,19 世纪末首先在美国发展起来,并于 1926 年列入美国石油学会发布的 API SPEC 5L 标准。美国 1891 年建成第一条天然气长输管线(约 200km),1925 年建成第一条焊接钢管天然气管线<sup>[1]</sup>。

二次世界大战后,天然气管线输送发展迅猛,对管材的要求不断提高。输送压力从 20 世纪初的 0.25MPa 上升到 90 年代的 10MPa 以上,管线钢的屈服强度则从 170MPa 提高到 500MPa 以上。1958 年 TransCanada 建成由 Alberta 到 Ontario 的 3000km 的天然气长输管线;1967 年第一条高压、高钢级(X65)跨国天然气管线(伊朗到阿塞拜疆)建成;20 世纪 70 年代初期,在北美开始将 X70 级管线钢用于天然气管线;1994 年德国开始在天然气管线上使用 X80 钢级;1995 年加拿大开始使用 X80 钢级;2000 年开始开发玻璃纤维/钢复合管用于高压天然气管线<sup>[2-6]</sup>。目前,全球石油、天然气管线的总长度已超过 230 万 km,并每年以 4~5 万 km 的速度递增<sup>[7]</sup>。

随着我国东部油田和四川油气田的开发与发展,在 20 世纪 70 年代初形成了一个油气管道建设的高潮。90 年代以来,随着西部油气田的勘探开发,又相继建成了多条油气输送管线。截至 2006 年底我国已建成投运的原油、天然气和成品油输送管线约 35000km。预计到 2010 年,我国油气输送管线的总长度将达到 4~5 万 km<sup>[7]</sup>。

目前,国外天然气高压输送采用高钢级钢管呈强劲的发展趋势。20 世纪 50~60 年代最高压力为 6.3MPa,70~80 年代最高压力为 10MPa,90 年代已达 14MPa。国外新建天然气管道的设计工作压力都在 10MPa 以上。随着输气管道输送压力的不断提高,输送钢管也相应地迅速向高钢级发展。60 年代一般采用 X52 钢级,70 年代普遍采用 X60~X65 钢级,近年来以 X70 为主,X80 也已开始试用。采用

高压输送和选用高强度管材,可大幅度节约管道建设成本<sup>[1-7,9-16]</sup>。

中国从 20 世纪 50 年代到 70 年代管线钢主要采用 A3、16Mn;70 年代后期和 80 年代则采用从日本进口的 TS52K(相当于 X52);“六五”和“七五”期间,在管线钢方面进行了科技攻关,但由于种种原因未批量使用;“八五”期间,通过冶金和石油系统的联合攻关,成功研制和开发了 X52~X70 高韧性管线钢,并逐步得到广泛应用;我国现有输气管道最大直径为 660mm,最高钢级为 X60,最大工作压力为 6.4MPa<sup>[7]</sup>。涩宁兰管道采用 X60 钢级的管线钢,并进行了 10 余千米的 X70 试验段。基于国内外情况和发展趋势及管道安全性与经济性的全面考虑,经专家论证确定西气东输管道直径为 1016mm,壁厚 14.6~26.2mm,钢级为 X70,输气压力为 10MPa。随后,在西气东输—陕京二线联络线上成功敷设了 7.71km 的 X80 工程应用段。

21 世纪,天然气管道总的发展趋势是<sup>[1,7,14,16]</sup>:(1) 进一步提高输送压力。发达国家近年来新敷设的天然气管道输送干线,工作压力达 15MPa。1999 年刚建成的一条加拿大—美国输气管线,压力为 20.4MPa。有人正在论证建造工作压力为 55MPa 输气管道的商业可行性。(2) 采用高钢级钢管。与提高压力相匹配,输送管道的强度级别也将持续提高。工业发达国家普遍把 X80 列为 21 世纪初天然气管道的首选钢级。一些著名的石油公司和管道公司计划在 21 世纪初进行 X100 钢级管道的工业性试验,甚至越过 X100 直接进行 X120 钢级的工业性试验。(3) 研究、开发和使用复合材料增强管。

## 1.2 油气管道的失效分析

### 1.2.1 典型管道失效事故

随着管道的大量敷设和长期运行,管道事故时有发生。例如:1960 年美国 TransWestern 公司的一条 X56 钢级的  $\phi 762\text{mm}(30\text{in})$  输气管线破裂事故,破裂长度达 13km<sup>[17]</sup>。1989 年 6 月在苏联乌拉尔山隧道附近由于对天然气管道维护不当造成天然气泄漏,随后引起大爆炸,烧毁了两列铁路列车,死伤 800 多人,成为 1989 年震动世界的灾难性事故<sup>[18]</sup>。美国从 1985—1992 年,共发生天然气管道失效事故 1906 起,其中包括 146 起灾害事故和 721 起伤害事故。在同一时期发生液体管道失效事故 1591 起,其中包括 24 起灾害事故和 18 起伤害事故。直接经济损失超过 3500 万美元<sup>[20]</sup>。加拿大每年发生油气管道失效事故 30~40 起<sup>[27]</sup>。欧洲陆上输油管线在 1971—1994 年间,平均每年发生油气管道失效事故 13.8 起,1994



年发生 11 起泄漏事故,到 1995 年底,清理泄漏石油费用超过 970 万美元<sup>[21]</sup>。1986—1990 年苏联发生输气管线事故 235 起,其中着火 130 起。1981—1996 年,苏联发生输气管线失效事故 752 起<sup>[23]</sup>。

我国油气输送管线事故也曾多次发生<sup>[8,24,25]</sup>。1974 年,大铁复线嫩江穿越段用气体试压时发生爆炸,爆裂长度达 2km。铁岭—秦皇岛管线(巨流河跨越段)在水压试验时由于高点有气而发生爆裂。1971—1976 年间东北境内曾发生过 3 次油气管线破裂事故。四川石油管理局南干线在 1971—1990 年的 20 年内,发生失效事故 108 起,每次事故停输处理时间超过 24h,经济损失约达 1 亿元。塔里木轮南—库尔勒输油管线在建成后的试压过程中发生爆裂和泄漏事故 14 次。新疆油田采—石输油管线在建成后的试验过程中发生爆裂事故 12 次。

### 1.2.2 管道失效的主要原因

造成管道失效的原因很多,常见的有材料缺陷、机械损伤、各种腐蚀(包括应力腐蚀和氢脆)、焊缝裂纹或缺陷、外力破坏等。管道的断裂失效通常是由于各种因素如原始缺陷或腐蚀、疲劳、应力腐蚀等首先形成裂纹,缺陷或裂纹的扩展导致管道局部泄漏,当裂纹扩展到一定尺寸时发生失稳扩展而断裂。

苏联 1981—1990 年输气管线失效原因和频率统计表明<sup>[23]</sup>,其中外部腐蚀、外部干扰和管材缺陷排在失效原因的前三位。焊接缺陷也是仅次于管材缺陷的第四大失效原因。

美国输送管线的失效原因和频率与苏联基本相同,美国管道运输安全办公室(OPSO)对 5872 起事故的统计结果表明<sup>[8]</sup>,外力造成的管道失效占第一位,其次是材料缺陷和腐蚀。

欧洲输油管线失效事故统计结果表明<sup>[22]</sup>,第三方活动(Third-party activity)在 1971—1994 年间占 32.6%,各种机械失效占 25.4%,腐蚀占 30.4%。

根据加拿大能源局(NEB)的调查报告<sup>[19]</sup>,加拿大 TransCanada 自 1977 年以来,天然气和液体管线系统发生应力腐蚀破坏事故 22 起,其中包括 12 起破裂和 10 起泄漏事故。这些应力腐蚀为近中性应力腐蚀,是由于聚乙烯外防护层剥离和管线与水分接触造成的。

我国四川油气田输气管线事故统计结果表明<sup>[24,25]</sup>,焊缝开裂占 72%,母材缺陷占 11%,二者之和达 83%。主要失效机理是  $H_2S$  应力腐蚀破坏和氢致开裂。主要原因有两点:其一,输送介质中  $H_2S$  含量普遍较高,有的达到  $580mg/m^3$ ,远远高于国际上要求介质中  $H_2S$  含量  $\leq 20mg/m^3$  的要求;其二,早期管线材质不良,螺旋焊缝制造质量差,现场焊接质量不过关,焊缝存在未熔合、噉嘴、补焊产生的未回火