

鉚接油罐与管道的 强度和修理

苏联A·C·法尔凯维奇等著

石油工业出版社

內 容 提 要

本書敘述焊接的油罐和管道在其运行时所发现的各种缺陷和损坏情况,产生裂纹、不嚴密处、砂眼以及其他缺陷的原因及預防的方法,銲接油罐和管道的修理方法,以及修理时銲接質量的檢查方法等。

本書适用于油矿、油庫、煉油厂、輸油管 and 輸气管的工程师和技术員,以及其他工业部門从事銲接金屬容器和各种管道的安装、运用和修理工作的工程技术人员閱讀。

А.С.ФАЛЬКЕВИЧ И М.П.АНУЧКИН
ПРОЧНОСТЬ И РЕМОНТ СВАРНЫХ
РЕЗЕРВУАРОВ И ТРУБОПРОВОДОВ

根据苏联国立石油燃料科技書籍出版社 (ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1955年莫斯科版翻譯

統一書号:15037·640

銲接油罐与管道的
强度和修理

周光父譯 陈利华校訂

石油工业出版社出版 (社址:北京六鋪炕石油工業部內)

北京市書刊出版業營業許可証出字第080號

石油工业出版社印刷厂印刷 新华書店发行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 印張5 $\frac{1}{2}$ * 114千字 * 印1—1,200册

1959年9月北京第1版第1次印刷

定价 (10) 0.79元

序 言

苏联人民在共产党领导下所实现的石油和可燃气体开采量的不断增长、炼油工业的蓬勃发展，以及生产人造液体燃料的巨型工厂的建立，使得有必要大大增加石油、石油产品以及天然气和人造气的貯存容器及輸送管道的数量。

因此，正在建造和运用中的油罐和管道的数量正在逐年增加，速度正在加快，銲接安装工作的質量也正在提高。不过，質量虽然是普遍提高了，而在运用石油工业构筑物的实践中，仍然发现油罐和管道強度破坏的情况，以致引起石油产品和气体的损失，个别工程项目发生故障、城市气体供应中断，有时甚至发生火灾，引起严重后果。

可是在我国及外国技术書籍中，几乎完全沒有包括油罐及管道強度破坏情况的詳細分析及其修理方法的資料。因此，本書作者給本書提出以下任务：

- 1) 將貯存及輸送石油和气体的銲接金屬油罐和管道強度破坏情况加以系統的整理；
- 2) 根据分析，搞清油罐和管道产生变形裂紋和破坏的原因，以及拟定提高这些重要构筑物运用的安全措施；
- 3) 敘述油罐和管道最完善的修理法^①。

作者除利用实际經驗以外，还广泛地利用实验研究工作的資料，这些实验研究工作是作者参与在全苏石油工业工程建筑科学研究所进行的；此外，还广泛地利用石油銷售管理总局、石油气体管理总局、石油特种安装管理总局以及苏联

^①本書未載油罐設備、主油气管的泵房和壓縮机站設備的資料。

石油工业部修理油罐及管道的其他单位的資料。

第一、二、三章敘述儲存石油产品的油罐，系由A.C.法尔凱維奇执笔；第四、五、六章敘述管道強度破坏及修理的資料，系由M.П.阿努契金执笔。

作者預先向对本書提出一切批評和希望的讀者們表示感謝，这些批評和希望將使本書趋于完善。

目 录

序 言

第一篇 油罐的强度破坏和修理

第一章 运用和建造油罐时的工作条件以及

典型的强度破坏情况..... 1

第一节 油罐的工作条件..... 1

第二节 油罐上出现裂纹..... 4

第三节 油罐外壳板上鼓泡及凹陷的出现..... 11

第四节 油罐的完全破坏..... 13

第二章 油罐强度破坏的原因和提高其工作

安全的措施..... 21

第一节 油罐的钢料成份、组织及制造方法的影响..... 22

第二节 影响焊接接头强度的因素..... 31

第三节 运用条件对油罐强度的影响..... 37

基础下沉..... 37

石油产品的装卸..... 38

工作温度条件..... 39

油罐罐体的振动..... 41

第四节 金属油罐壳板的腐蚀..... 42

第五节 提高油罐运用安全的措施..... 44

新建油罐..... 44

运用中的油罐..... 49

第三章 油罐的修理..... 54

第一节	缺陷的检查和定位	54
第二节	基础的修理	63
第三节	缺陷部分的去除	66
第四节	修理材料	69
第五节	修理油罐时的装配和焊接工作	71
第六节	油罐罐底的修理	76
第七节	油罐下围边角钢的缺陷修正和罐底的修理	84
	下围边角钢裂纹的修正	84
	焊缝中裂纹的修正	86
	罐体基本金属上裂纹的修正	89
	凹陷和鼓泡的修正	91
	冒汗的修正	92
	油罐罐顶缺陷的修正	93
第八节	焊接安装工作的质量检查及修理方面的文件	94

第二篇 管道的强度破坏和修理

第四章	管道运用时发现的缺陷	97
第一节	概述	97
第二节	横向接口上的缺陷	100
第三节	管子纵缝中的缺陷	102
第五章	管道接口强度破坏的原因以及获得 等强焊接接头的方法	106
第一节	产生缺陷的条件分析以及破坏接口的研究	106
	运用时间长短对管道焊接接头强度破坏的影响	106
	温度的影响	108
	破坏接口的研究	111
第二节	各种因素对接口强度破坏的影响	115
	内应力大小的影响	115

弯曲应力的影响	116
拉应力的影响	117
焊接时所引起的内应力的影响	119
焊接质量的影响	122
第三节 接口破坏原因的结论	125
第四节 提高管道可靠性的措施	126
改善焊接管子的质量	127
提高管道焊接接口的强度	129
建造管道时减少管道上拉应力的方法	133
第六章 修理方法和提高管道运用可靠性的措施	137
第一节 查明产品的漏处和修理作业的組織	137
修理作业的組織	139
第二节 土方工程、清理和絕緣	142
土方工程	142
吊起及放下	144
絕緣作业	145
第三节 修理管道时的焊接作业	149
修理作业中对焊工、焊条和金属的要求	149
发生事故时不严密处的消除	150
缺陷焊补方法的选择	153
第四节 加强焊接接口的合理方法	157
第五节 运用时预防事故的措施	164
参考文献	168

第一篇 油罐的強度破坏和修理

第一章 运用和建造油罐时的工作

条件以及典型的強度破坏情况

第一节 油罐的工作条件

銲接的圓筒形金屬油罐是目前貯存石油产品最常用的貯油罐。这些油罐如加以合理的和简单的配置，能够在金屬耗量最少以及費用比較低的条件下可靠地貯存大量燃料。

金屬油罐属于在严重运用条件下工作的重要銲接結構之列。

由于对貯油罐結構的重要性以及复杂的运用条件估計不足，在实际工作中不止一次地引起了石油产品的損失，有时甚至使油罐完全破坏，致引起严重后果。

使油罐工作复杂化以及增加其重要性程度的条件如下：

1. 具有剛性銲接結構的金屬油罐，在不同的地区运用，周圍气温从 $+50^{\circ}\text{C}$ 到 -50°C 。

外壳壳板金屬受热到 $+50^{\circ}\text{C}$ 並不致于引起其性質有任何严重的改变，可是冷却到 -20 — -30°C 就能使金屬轉变到脆性状态。

油罐上有剛性的銲接接头，它們能引起巨大內应力和零下温度时使金屬轉变到脆性状态，这就造成应力无法再分配

的条件，而引起裂紋的产生，有时甚至使油罐完全破坏。

註：很显然，这些情况就是在运用鉚接油罐的实践中极少发现产生裂紋和破坏的原因。看来，沒有鉚接結構所具有的巨大內应力，以及鉚接接头中有某些“移动性”，就使得鉚接油罐的应力可以再分配。

2. 在貯存原油、重油以及在低溫時極其稠厚的其他暗色石油产品的油罐中，冬天的燃料进行定期加热，达 $+70-80^{\circ}\text{C}$ ，这时，罐体的壁板和罐底边板，一边环绕着冷空气，而另一边则接触加热的产品，受着巨大的温度应力的影响；此外，定期加热，能够加速外壳和罐底金属的时效硬化，並使其性質变坏。

3. 在夏天儲存尤其是灌进透明石油产品时，油罐中經常产生高于大气压的压力，在外壳内部造成很大的应力。

如果安全閥（呼吸閥）有毛病，或者泵入产品的速度超过規定标准，則在油罐上部罐圈及頂部常常发生凸起，有时甚至爆裂。

4. 放空石油产品时，如果呼吸閥有毛病或者超过許可的放油速度，則使油罐中产生高度的真空。在这种条件下，在外壳的上部罐圈、罐頂結構以及頂板上，就造成巨大的应力，並产生凹陷。在某些情況下，真空的产生引起油罐外壳和罐頂的破坏（图1）。

5. 油罐中儲存液体石油产品，其黏度極小，且甚至在微孔中亦能迅速透过。因此，如果在油罐金属或鉚縫中有不严密处，則油罐失其气密性，常使石油产品大量損失。油罐在运用中，有时出現給运用人員带来許多麻煩的缺陷，如冒油珠及砂眼等。在油罐中儲存某些腐蝕性較強的石油产品（尤



图 1 由于真空太大而发生的油罐外壳凹陷

其是在某些东部地区开采的含硫石油) 时, 也发现气密性的破坏。

6. 圓筒形油罐有擱在砂質地基上的平底。油罐的底是不計算的构件, 全部負載都應該轉移到地基上。因此, 罐底应当很平, 且与地基表面密接。但是, 由于建造的地基質量差, 因而下沉不均匀, 鋸接罐底时有收縮应力以及罐底鋼板凸起, 罐底常有未擱置在地基上的部份。自然, 在底上的这些部份, 可产生巨大的应力, 並可能发生強度破坏的情况。

7. 除开上述因素以外, 在給油罐灌注油料时, 在外壳壁板上产生环形拉伸应力, 应力水平地与油罐圓周成切綫的方向。罐体壁板上拉伸应力 σ_x , 可按方程式 (1) 計算:

$$\sigma_x = \frac{\gamma r x}{\delta}, \quad (1)$$

式中 γ ——石油产品单位体积重量;

r ——外壳半径；

x ——与油罐罐体顶部的距离；

δ ——罐体壁板厚度。

計算时，罐体壁板上的应力采用1300—1400公斤/公分²。因此，对于建造油罐所用的MGr.3号鋼，計算应力超过屈伏点的60%，如果在鐸縫或在外壳金屬中有較大的缺陷（例如未鐸透或有裂紋）时，則可能促成油罐的強度破坏。

裂紋以及引起鼓泡及凹陷的变形，是建造及运用过程中在油罐上发现的最普遍和最危险的缺陷；此外，还有过油罐完全毁灭的強度破坏情况。

以下列述最有代表性的缺陷，並分析形成这些缺陷的条件。

第二节 油罐上出現裂紋

在建造圓筒形鋼質油罐的实践中，以及在其运用时，都有过出現裂紋的情况，裂紋破坏了壳板的气密性，並造成中断石油容器連續使用的危险；其中最有代表性的情况如下：

1. 在油罐罐底上，靠近圓形鐸縫处，在扇形板的接口与边板上出現裂紋。图2所示即为这些部位上的裂紋分布情况。至于中間部份，即罐底的平板，則較少发现裂紋。

2. 在下部圍边角鋼环圈上（图3），在鐸接質量差的接口以及在角鋼本体上，都出現过裂紋。角鋼上的这些裂紋每每延伸到油罐底部和外壳的金屬上去。

3. 在油罐外壳的下部壳节上，裂紋或者位于鐸接接头上（順着或橫过鐸縫中綫——見图4a及图4b），或者在基本金屬上——在鐸縫聚集的区域（見图4b）。

4. 在完全用对接
 焊成的油罐外壳中部
 罐圈及上部罐圈，主
 要在对接焊缝交叉的
 地方出现裂纹（在十
 字焊缝上，见图5）。

对很多焊接的立
 式油罐体和罐底产生
 的大量裂纹加以分
 析，得以确定以下情
 况：

（1）在絕大多
 数情况，油罐上的裂
 纹是在冬天出现的。
 夏天发现的少数裂
 纹，看来也是在冬天
 出现的，不过是后来
 在夏季运用油罐用水
 进行试验时才发现。

可以作为特征的
 是在稳定的零下温度
 地区，例如巴什基里
 亚、中部伏尔加河流
 域、西伯利亚、烏拉
 尔等地安装的油罐
 上，通常都发现裂

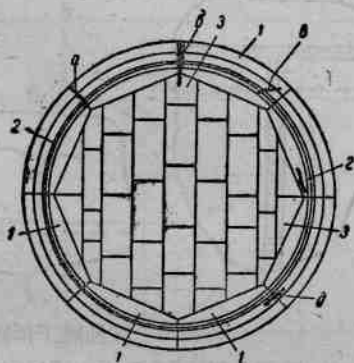


图2 扇形板接口和边板上的裂纹
 а—在无垫板的扇形板焊接接口上的
 纵向裂纹；б—在有垫板的扇形板焊
 接接口上伸展到边板的纵向裂纹；
 в—扇形板基本金属上的裂纹；г—油
 罐内部扇形板上的裂纹；д—横过焊
 缝的裂纹；1—扇形板；2—围边角钢；
 3—边板。

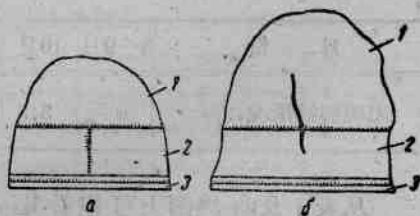


图3 围边角钢上的裂纹
 а—在角钢的焊接接口上的裂纹；
 б—在角钢本体上延伸到基本金属上
 的裂纹；1—外壳第一壳节的钢板；
 2—围边角钢；3—扇形板或边板。

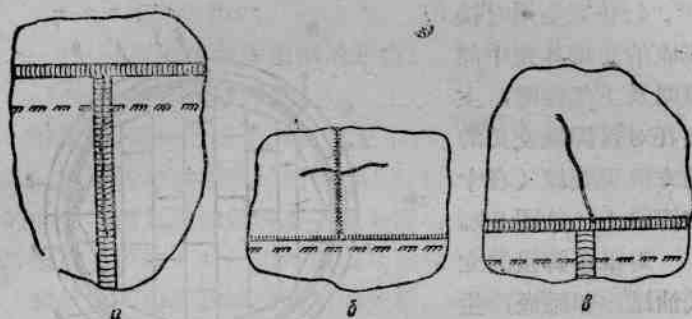


图 4 在油罐下部罐圈上的裂紋

a—順着立鉚縫中綫；b—橫过立鉚縫；c—在基本金屬上鉚縫聚集的区域。

紋。

在巴庫、格罗茲內、克拉斯諾达尔等地建造的很多鉚接油罐，极少产生裂紋的情况。

表 1 及图 6 所載，为一年各月出現裂紋的資料。

表 1

月 份	3—9月	10月	11月	12月	1月	2月
出現裂紋情况，%	0	3.3	13.7	24.0	32.7	26.3

从表 1 及曲綫图上可以看出，一年只有最冷的几个月（10月到 2 月）出現裂紋；同时，12 月、1 月和 2 月，佔所有已經确定的出現裂紋情况的 83%。

同时应当指出，在許多情况下，裂紋都是严寒时在貯油罐受疾风作用的那一部份出現的。

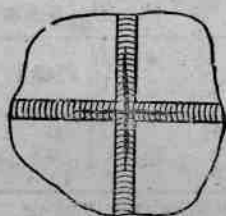


图 5 十字焊缝上
(对接横焊缝和立焊缝交叉处)的裂纹

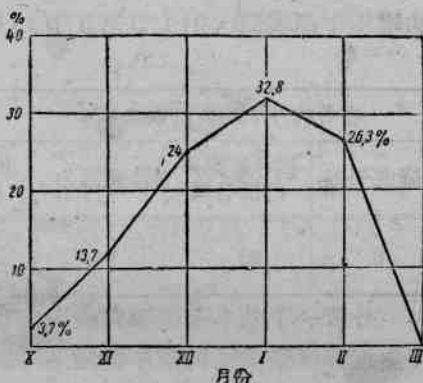


图 6 一年各月油罐上出现裂纹的曲线图

由此可见，油罐上出现裂纹与周围气温的降低有关系，这点可以认为是肯定了的。

(2) 裂纹在油罐各个结构部位的分布情况如下：

产生裂纹的地方	发生裂纹情况的数量, %
扇形板或边板焊接接口上.....	20.1
横过扇形板或边板焊缝的基本金属上.....	12.5
围边角钢的整块钢板上.....	13.3
罐体下部的罐圈立焊缝上.....	11.4
横过立焊缝的基本金属上.....	11.4
靠近焊缝的扇形板或边板的整块钢板上.....	9.5
围边角钢的焊接接口上.....	6.4
横焊缝和立焊缝的交叉焊缝上.....	6.4
靠近焊缝的外壳整块钢板上.....	4.4
罐底平板的接口上.....	4.6

这些资料以及表 2 所载资料证明，绝大多数裂纹是在罐

体与罐底的接合点上（扇形板、边板、下围边角钢等）以及油罐体下部罐圈（第Ⅰ节到Ⅳ节）上出现的。

表 2

在各构件上的裂纹数，%			裂 纹 位 置，%		
罐底平板	罐体与罐底的接合点	油罐罐体	基本金属上	横过焊缝的基本金属上	焊缝上
8	56	36	28	25	47

分析一下基本金属和焊缝上出现裂纹的情况可以断定，在靠近焊缝聚集处的基本金属上，或者直接在焊缝上，最常产生裂纹。

註：应当指出，在搭接焊缝上，极少发现裂纹。

在出现裂纹的对接焊缝中，经常有严重的缺陷存在，特别是有很大的未焊透。

大多数裂纹（67%）是在用Э-34型的白垩焊条（按ГОСТ 2243-51规定）所焊成的对接焊缝上发现的。但是，如果有很大的缺陷（未焊透、咬边）或者焊缝集中在不大一段的金属上时，则在用Э-42型厚焊条及焊条下自动焊成的焊缝中也往往出现裂纹。应当指出，大多数裂纹是出现在单面焊成未在反面底焊的对接焊缝中，在许多情况下，这些焊缝都曾垫盖板加强的。

由此可见，从强度可能破坏这个观点出发，圆筒形油罐上最危险的地方是：

1) 下部支承结点区域，罐体与罐底在该处接合，焊缝聚集于此，施焊时，引起巨大的内应力。

2) 外壳的下部罐圈，该处有许多重要的对接焊缝，且在

大多数情况下是单面焊成的；此外，在布置人孔及貯罐附屬裝置的地方，也积集有大量焊缝，在这些地方的四周造成巨大的内应力。

(3)分析油罐強度破坏情况时，业已确定，完全在冬季低温时安装的油罐上，最常出現裂紋（佔全部已知情况的3%）；頗大一部分裂紋(33%)是在部份在冬季及部份在夏季安装的油罐上出現的。至于完全在零上溫度建造的油罐上，則发现裂紋較少(14%)。

这些資料証明，強度破坏情况往往与进行油罐的安装和焊接时的条件有关系。此外，这些資料还証明，低温时施焊，应当遵守許多特殊的工艺方法（如預热、減小間隙、特殊的焊接规范），如不采用这些工艺方法，則經常产生裂紋。

(4)表3及图7所載为說明运用条件对油罐上产生裂紋情况的影响的資料。

分析一下表3及图7所載資料，必須指出以下情况：

1)在灌注了产品的和空的油罐上，都出現裂紋^①。这种

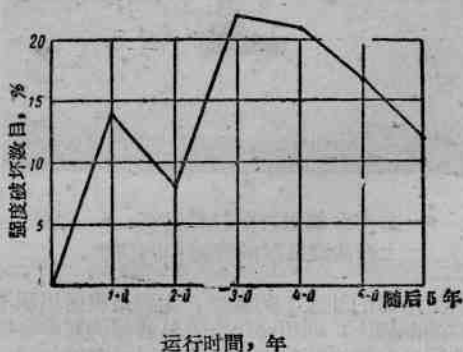


图7 油罐运用时间与裂紋分布关系曲线图

表 3

油罐上产生裂纹的数量, %		随石油产品种类而变的裂纹数量, %	
灌注产品的油罐	未灌注产品的油罐	灌注透明石油产品的油罐	灌注暗色石油产品的油罐
58.7	41.3	54.4	45.6

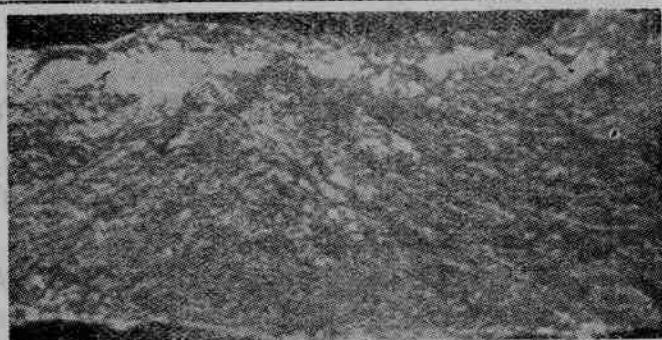


图 8

a—基本金属破坏的脆性特征；*b*—油罐上产生裂纹时的焊缝中的情况。

①在灌注了产品的油罐上的裂纹，主要是根据出现不严密处来发现的，而在空的油罐上，则用将焊缝及其隣接的基本金属进行外观检查的方法来发现。在许多情况下，严寒中出现裂纹，同时产生强烈的声响效应，这种效应可帮助搞清裂纹的位置。