



中等专业学校教学用书

# 煉油厂設備的 結構及計算

上册

撫順石油学院煉厂机械教研室編

石油工业出版社

中等专业学校教学用书

---

# 炼油厂设备的 结构及计算

上册

抚顺石油学院炼厂机械教研室編

石油工业出版社

## 內 容 提 要

這本書是為石油中等專業學校石油煉廠機械專業編的教材。書內主要介紹石油煉廠及人造石油廠主要設備及其另件的結構、性能、用途、材料選擇、強度計算和腐蝕與防腐等問題。

全書共有十二章，分上下兩冊出版。上冊內容包括緒論、煉廠設備常用的材料、煉廠設備腐蝕與防腐、容器、管綫及配件、設備支座及穩定計算。

本書除了作石油中等學校教材以外，還可供石油煉廠、人造石油廠，及化工廠的工程技術人員及有關專業的中等學校和高等學校學生參考。

統一書號：15037·747

煉油廠設備的結構及計算

上 冊

撫順石油學院煉廠機械教研室編

\*

石油工業出版社出版（地址：北京六鋪炕石油工業部內）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

\*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 開本 \* 印張7 $\frac{1}{2}$  \* 176千字 \* 印1—2,500冊

1959年9月北京第1版第1次印刷

定價（10）1.25元

## 前 言

很久以来，我們在教学上感到困难的是国内还没有一本适合中等專業学校煉厂机械專業“煉厂設備結構与計算”課程的教学用書。过去我們也曾按照教学計劃的要求，零星的編写了某些章节，但不够系統，在內容方面也結合中国实际不够。现在看来，远远不能滿足教学要求，学生在課后复習也感到很多不便。因此，在教材問題上就显得特別突出，教研組指定几位同志分头到石油煉厂、設計院、研究所等單位搜集材料，参考了有关兄弟学院及其他方面的有关資料，最后編写成这本书。

在編写过程中，既考虑了中專学生現有的水平，又适当的將某些內容作了較深入的闡述，以便于学生自学。

在煉油厂中采用了多种工艺过程，因而采用了各种各样的，用途、構造以及性能不同的設備，要在本書中全部加以闡述是不可能的，根据本專業培养的目标和要求，在本書中只講述几种最常用的典型的設備，其它內容学生可在今后學習和工作中参考其他專業書籍。

由于参加編写的几位同志缺乏生产实践知識、受業務水平低、教学經驗不足的限制以及編写時間倉促，故內容方面不妥和錯誤之处在所难免，我們恳切希望讀者給予严格的批評和指教，以便进一步改进我們的工作。

撫順石油学院煉厂机械教研組

1959年6月30日

# 目 录

## 前言

## 第一章 緒論 ..... 7

## 第二章 石油煉厂設備常用的材料 ..... 7

### 第一节 概述 ..... 7

#### 一、机械性能 ..... 8

#### 二、耐蝕性 ..... 13

#### 三、物理性能 ..... 13

#### 四、工艺性 ..... 14

#### 五、材料的組織及成份 ..... 14

#### 六、材料的价值及来源 ..... 15

### 第二节 石油煉厂中常用的主要材料 ..... 15

#### 一、金属材料 ..... 16

#### 二、非金属材料 ..... 35

## 第三章 石油煉厂設備的腐蝕与防腐 ..... 41

### 第一节 研究腐蝕的意义 ..... 41

### 第二节 腐蝕机理及一般防腐方法 ..... 41

### 第三节 腐蝕速率与耐腐蝕性等級 ..... 46

### 第四节 影响腐蝕的因素 ..... 48

#### 一、压力的影响 ..... 48

#### 二、温度影响 ..... 48

#### 三、腐蝕性介質的濃度及組成的影响 ..... 48

#### 四、介質运动速度的影响 ..... 49

#### 五、無定电流的影响 ..... 49

#### 六、設備上某些結構的影响 ..... 49

### 第五节 煉油厂中常見的腐蝕介質及其防腐的方法 ..... 51

#### 一、硫和硫化物 ..... 51

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 二、氯化氢 .....                | 53  |
| 三、硫化氢与氯化氢联合作用 .....        | 55  |
| 第六节 高压加氢设备的氢腐蚀 .....       | 56  |
| 第七节 炼厂中主要设备的防腐方法 .....     | 58  |
| 一、爐管及其它另件的防腐 .....         | 58  |
| 二、换热设备的防腐 .....            | 59  |
| 三、塔类及容器防腐 .....            | 59  |
| 四、油罐的防腐 .....              | 59  |
| 五、硫铵塔、硫铵槽的防腐 .....         | 60  |
| 第四章 容器 .....               | 60  |
| 第一节 容器的一般介绍 .....          | 60  |
| 一、容器在石油炼厂的意义 .....         | 60  |
| 二、容器的分类 .....              | 61  |
| 第二节 薄壁壳体的基本理论 .....        | 63  |
| 一、薄壁壳体的无力矩理论 .....         | 63  |
| 二、壳体微体平衡方程式 .....          | 64  |
| 三、拉普拉斯方程式的具体应用 .....       | 65  |
| 四、經連續弯曲折曲时的受力情况 .....      | 67  |
| 五、液体静压和设备自重对壳体的影响 .....    | 68  |
| 第三节 受内压薄壁圆筒外壳的强度计算 .....   | 71  |
| 一、计算公式的选择 .....            | 71  |
| 二、薄壁圆筒壁厚计算中某些数值的选择方法 ..... | 74  |
| 第四节 容器的頂盖与底盖 .....         | 81  |
| 一、半球形盖 .....               | 81  |
| 二、碟形盖 .....                | 83  |
| 三、椭圆形盖 .....               | 91  |
| 四、錐形盖 .....                | 95  |
| 五、平板形盖 .....               | 98  |
| 六、受外压的头盖 .....             | 99  |
| 七、有关設計头盖的指示 .....          | 104 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第五节 受外压容器的計算         | 106 |
| 一、穩定性的概念             | 106 |
| 二、外压力作用下鋼質圓筒設備穩定性的計算 | 107 |
| 三、加強圈的計算             | 114 |
| 四、計算外压容器的步驟          | 119 |
| 第六节 容器器壁的开孔加强        | 124 |
| 一、开孔加强的必要性           | 124 |
| 二、开孔加强的方法            | 125 |
| 三、开孔加强的計算            | 130 |
| 第七节 設備联結、檢查及修理用的配件   | 133 |
| 一、設備上联結管子用的配件        | 133 |
| 二、手孔与人孔              | 138 |
| 第五章 管綫及配件            | 143 |
| 第一节 概述               | 143 |
| 第二节 管子               | 144 |
| 一、金屬管                | 146 |
| 二、非金屬管               | 152 |
| 第三节 管的联接与管件          | 155 |
| 一、管的联接               | 155 |
| 二、管件                 | 170 |
| 三、閥件                 | 172 |
| 第四节 內部受压管道的强度計算      | 181 |
| 第五节 管路的热膨脹及其补偿       | 184 |
| 一、概論和补偿原理            | 184 |
| 二、补偿方法               | 186 |
| 第六节 管路的支架            | 196 |
| 第七节 架空管綫的允許跨度与挠度     | 200 |
| 第六章 設備的穩定及支座的計算      | 202 |
| 第一节 直立設備的耳式支座        | 203 |
| 第二节 直立設備的裙式支座        | 208 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第三节 水平设备的支座                      | 210 |
| 第四节 直立设备的稳定计算                    | 212 |
| 一、直立设备风载荷的计算                     | 212 |
| 二、地基圈的计算                         | 215 |
| 三、地脚螺栓的计算                        | 218 |
| 四、支座焊缝的强度验算                      | 220 |
| 五、立式设备的稳定计算                      | 220 |
| 六、考虑风载荷及塔身自重及附加载荷时直立内压塔的<br>壁厚计算 | 222 |
| 第五节 水平设备弯曲应力稳定性的计算               | 229 |
| 一、受弯曲应力的卧式壳体临界应力的计算和稳定条件         | 230 |
| 二、由重力弯曲力矩引起的弯曲应力的计算              | 231 |
| 三、圆筒形卧式壳体支座处的稳定计算                | 233 |

## 第一章 緒 論

石油工業是國民經濟中重要部門之一，石油和人造石油的產品廣泛地應用到各個部門，如工業、農業、交通運輸業等，並且在鞏固國防方面具有重大的意義和作用。我國工業和農業的飛躍發展和其他各項社會主義事業大躍進的形勢，對石油產品提出了迫切的要求，必須在有利的形勢下高速度發展石油工業。

石油是一種獲得能量的來源，也是提煉各種各樣化學產品的原料。從石油中可以煉出內燃機燃料，各種機器用的潤滑油和潤滑脂、鍋爐燃料和在工業及日常生活方面使用的許多其他產品。

所有國民經濟部門都需要大量的油品，其數量也在日益增長着。機械化的農業是燃料和潤滑油料的主要需用部門之一。星際飛行、航空、航海和汽車運輸也需要大量優良的油品。隨着油品消費量的增長，同時對油品的質量和品種的要求也提高了。

解放以前由於帝國主義的侵略和國民黨反動派的賣國政策，石油工業的基礎十分薄弱。解放前我國石油最高年產量是1943年，產量是32萬噸，1949年全國產石油僅12萬噸。解放以後由於黨的英明領導和蘇聯的無私援助，石油工業從國民黨留下的破爛攤子上迅速恢復並得到飛速發展。1958年原油產量達到226萬噸。1958年鑽井進尺173萬公尺，超過解放8年來鑽井進尺的總和。解放後歷年來在全國進行了大規模的石油地質探勘工作，證明我國是石油埋藏量豐富的国家，到1958年為止我國油氣田已擴大到41處之多。甘肅的玉門、新疆的克拉瑪依、烏爾禾、青海的柴達木、川中已證明為四大高產油區。在廣闊的祖國大地上必將有更多的油田被發現。我國是煤和油母頁岩埋藏量極為豐富的国家，這對發展人造石油工業具有十分便利的條件。在黨的社

会主义建設总路綫的照耀下和党所指出的發展石油工業必須采取“天然石油与人造石油并举”“大中小相結合”的方針指导下，石油工業正在迅速地發展着。規模巨大的机械化自动化的石油和人造石油煉厂和大量的中小型石油厂正在迅速地兴建起来。

石油工業的迅速发展需要大量的技术人才，石油煉制和机械的中等專業人才担负着石油及人造石油煉厂机器及設備的安裝、維護、修理和設備制造方面的任务。本門課程“煉厂設備的結構与計算”在培养專門人才中具有重要的地位。

石油及人造石油煉厂的設備是为工艺过程服务的，产品的質量和成本决定于机械設備的完善程度及其運轉的正确程度，因此这些設備必須适应生产工艺过程的特点，并且要操作起来最經濟。

本課程的內容就是要全面地研究石油及人造石油煉厂的主要設備，闡明采用各种不同結構的原因，給予学生关于煉厂設備基本設計計算和材料選擇方面的知識，这是本課程的基本任务。

設備的裝置和外廓尺寸首先决定于它們在工艺过程中的用途，和操作条件（被加工的物料的溫度、压力、物态、腐蝕性、濃度等）。因此，为了学好這門課程，必須具备“物理”“化学”“热工学”“水力学”“石油工学和过程設備”等課程的知識。設備的各部分尺寸是由各部分所受的作用力和机械載荷来决定的。因此必須对“理論力学”“材料力学”“机械另件”有足够的了解。設備本身和它的另件的形狀在很大程度上决定于構造材料的强度、物理性質、工艺性能、及其他性質，而且还决定于它們的制造方法和裝配方法；这显然就需要对“制圖”“金屬工艺学”，“煉厂設備制造”“安裝修理”等課程有深刻的了解。任何設備都是由人来使用的，因此对設備的運轉、安裝、修理、制造的工作人員来講，都要求安全、方便；此外無論是設備的本身或是由它生产出来的产品都应该很便宜，因此必須掌握企業組織經濟，了解决定产品成本的因素和安全技术方面的知識。由前面可以看到許多原因和因素都影响着

设备的結構；这些原因和因素往往實質上是互相矛盾的，要能够正确的分析原因以及由它們所产生的結果，將其基本的，首要的因素和次要的因素分开，闡明并克服主要矛盾。由此可見掌握辯証唯物主义理論和党的各項方針政策就会帮助我們解决許多复杂的和原則性的問題，并得出正确的結論。

随着石油及人造石油加工工業的發展，对石油设备設計和制造業的要求也提高了。各种不同的石油和人造石油加工过程中需用的設備構造也愈来愈复杂了。石油及人造石油煉厂中主要設備分类如下：

1. 大力加热設備：各种管式加热爐、蒸餾釜、焦化釜、加热瓦斯和空气用的爐子。

2. 热交换設備：各种形式的热交换器（管壳式、套管式），各种形式的冷凝冷却器（浸入式、水淋式）、结晶器。

3. 干餾設備：如頁岩干餾爐和煤的低溫干餾爐等。

4. 分餾設備：在加压下操作的精餾塔，減压塔，常压直餾塔，人造液体燃料用塔（如硫銨塔等），丁烷、丙烷、乙烷、甲烷的气体分餾塔。

5. 反应設備：裂化裝置的反应器，高压加氢的反应器，催化裂化裝置的反应器和再生器，叠合反应器，人造液体燃料反应塔。

6. 直立設備：汽化器、吸收器、稳定塔、洗滌塔、分离器（油气的和油水的分离器），人造液体燃料之分离器。

7. 受压容器：球形容器、立式及臥式容器，液化石油气及輕汽油槽車。

8. 過濾和液体分离設備：如压濾机、過濾机、离心机等。

9. 輔助設備：气体及液体容器、油罐、沉降器、泥水分离器、电气脫水器、攪拌器、空气預热器等。

10. 管綫及配件：主要加工过程和人造液体燃料的管綫及各种配件（如法蘭、各种閥、管件等……）。

11. 处理固体的设备：例如破碎机、皮带运输机、翻板运输机、斗式提升机、鑿岩机等。

本課程对第 8 和 11 类设备沒有講解，这二类设备以及上述其他设备的过程工艺部分則在“石油工学过程设备”課中講解。本書着重研究結構分析和强度計算。

石油及人造石油煉厂设备的种类繁多，而且石油及人造石油加工工業又在不断的發展，时刻都有新的过程和实现这些过程的设备。因此不必要对所有设备都去研究，只要我們掌握了最基本的方法和适用于各种设备的基本原則之后，并且通过对若干主要设备类型的領会和細致分析，就可以順利地运用它們去理解其他未知的裝置，不仅会懂得它們，并能进一步創造出新的类型和結構。正因为如此，才把我們的研究范围限制在大多数石油及人造石油厂生产上最普遍应用的，最典型的和最常見的设备上。

煉厂设备具有以下一些特点：

1. 操作条件特別繁重。多数设备是在高溫高压下工作，处理的介質帶有腐蝕性。可以看出大多数设备是在恶劣复杂的条件下操作的。因此必須保証设备的强度、抗蝕性和安全性。

2. 设备的龐大和笨重。随着煉油工業的机械化自动化，采用了大尺寸的设备。例如干餾爐、加氫工厂的反应器，原油加工过程中的管式加热爐及各种塔等。这些设备的体积大、重量大，在車間內的裝置很集中，这些都是設計和安裝工作中需要考虑的問題。

3. 设备的整体性。現代化的石油厂设备都是机械化自动化連續生产的，它們之間不是孤立的，而是彼此相互联系的，一个设备或部件發生了故障，那么就会影响到全套设备不能操作，在設計計算維護修理工作中必須充分估計到这个特点。

4. 设备应用材料的多种多样性。煉厂设备应用的材料很多，除去黑色金屬和有色金屬的各种合金之外，还有非金屬材料，如

石棉、水泥、耐火磚、混凝土和各种有机的与無机的材料。必須根据設備操作的条件正确地进行选择。

下面談談对石油厂設備結構上的主要要求：

1. 强度 强度是任何机器設備必須滿足的最基本的条件，所以設備的各种結構必須保證有足够的强度，并且不允許有残余变形出現，否則会影响机器正常操作，甚至导致設備破坏，造成事故。由此看出，設備的强度同結構的耐久性和安全性都是有密切关系的。

但是强度也不能过高，只要另件中的应力比允許应力低的不多就行，否則結構的重量和价格都会增大，而不合乎經濟上的要求。

2. 刚度 对于受压載荷的另件或設備，它們結構的剛性比强度还要重要。这时产生破坏是由于丧失原来形狀和强度極度降低所造成的。例如縱向弯曲的压杆和受外压的容器、受風載荷很大的薄壁塔等都是例子。所謂刚度就是在外部載荷作用下，結構維持自己形狀的性能。而穩定性則为剛度的極限值。

3. 耐久性 設備的耐久性是指設備使用的期限，也是評定設備質量的基本原則。設備的計算使用期限一般是拟定的，对許多类型的石油化工設備來說，使用期限規定为10—12年。这个数字作为計算折旧費的基础。設備的实际实用年限一般都远比这个数字大得多。对大多数設備來說使用年限是由于化学腐蝕和金屬疲劳以及磨損所决定的。

在科学技术飞速發展的今天，工艺过程和設備都在改进，設備很快就会不适合要求，所以設備使用年限不要太長，但也不能太短，要根据具体情况来确定。

4. 密封性 生产产品、物料一般都是在設備中进行着化学反应或化工过程，它們在設備中的溫度、压力和濃度均应維持在一定的範圍內，此外在設備和管道中常有靜止的或高速的流体，这

些具有压力能够渗透的物料对石油化工设备的密封性提出更高的要求。

如果设备中有毒性或腐蚀性物料，特别是内压设备密封不好，就会造成严重的不幸事故。因此在炼油厂中设备的密封是很重要的。

5. 高效率 机器与设备的效率应当尽量提高，一般高效率的设备可把同样的能量转变成较多的有效的功或提高所处理原料的采油和炼油率。最常见的是通过减少摩擦、减少阻力，减少热量损失、改进设备结构等方面来提高效率。使设备结构满足炼油工艺上的要求。

6. 安全可靠 人是最宝贵的财富，如果设备的功率很高但危险性很大，则我们不能予以采用。我们对设备的要求要安全可靠，可保证人身安全和正常生产。

7. 工艺性 结构的工艺性一般是指制造简单、方便，制造费用低，这就要简化设备形状、减少加工面，正确选择公差等。在成批或大量生产时，工艺性特别重要，因此在设计任何设备时必须考虑制造时的工艺要求。

8. 部件标准化 部件标准化不但对制造过程中的设计、制图、加工工具、检验工具等起了简化作用，而且在更换另件上也有很大方便。

9. 金属用量最小，贵金属材料用量要少 金属用量如果太大，设备制造成本要增加，所以金属用量要尽量减，例如受外压的容器上常有加强圈的装置，就是为了减少壁厚，节省材料。贵金属也尽量少用，可以采用衬里的方法等。

10. 结构简单 便于装配、安装、拆卸、检修及操作。

11. 运输方便 设备的运输必须符合运输机关的规定。对陆路运输来说，设备部件应设计成不超过列车横断面尺寸范围，重量不超过蓬车或敞车的负载重量。若是沿水路运输则外廓尺寸与

重量的限制可以放寬些：

上面的基本要求是互相联系而又互相矛盾的。正确地考虑这些因素是不容易的，我們只能对不同类型的設備力求滿足最主要的要求，而折衷地放棄次要的要求。

要知道絕對好的結構和設備是沒有的，也不可能有，因为科学技术是在不断發展和进步的，今日是較好的結構和設備，明天就可能有更完善的將它代替，这是科学技术發展的必然趨勢。因此我們必須具有敢想敢做的共产主义風格，批判地对待現有的設備和結構，以实事求是的精神，根据工艺过程的要求，掌握煉厂設備的客觀規律，不断地推进技术革新。

## 第二章 石油煉厂設備常用的材料

### 第一节 概 述

在石油煉厂中，操作条件是很复杂的，有的設備是在高溫高压下工作，有的是在低溫負压下工作，压力高的可达100—1000大气压，甚至更高(例如人造液体燃料厂設備)。設備壁溫可至400—500°C，操作介質溫度則更高，溫度低的却至-100—210°C(如冷冻)。有的机械还遭受到强烈的冲击与磨損(如破碎机)。有的設備直接承受火焰加热的情况下工作(如管式加热爐之管)。此外，被加工的物料还有着不同程度的腐蝕性，毒性、易燃性、爆炸性。从不同的濃度和物态，不同的过程性質的机理，可以看出，工艺过程和进行的条件都有着極大的差異。因此，在使用的材料上也呈現出多样性，如有色金屬、黑色金屬、非金屬材料。在主要設備和輔助設備上应用着各种各样的鋼板、型鋼、管子、鑄件和鍛件等等。在这些情况下，我們如何能選擇最合适的材料

用于制造或修理机械设备上，不仅能满足工艺上的要求而且还要经济和安全，这便是我们的首要任务。因此，我们应对石油炼厂中常用的材料加以研究和熟悉。

由于材料规格繁多，性质也各不相同，对材料提出要求也是多种多样，往往又相互矛盾，因此选择工作相当困难，但我们要透视事物本质，抓着材料的主要性能，便可较为妥当的满足我们的要求，所以在选择材料时应该考虑到它们下列一些主要性能，

### 一、机械性能

说明材料机械性能的最重要的数值是：拉伸、压缩和弯曲的强度极限  $\sigma$ ；屈服极限  $\sigma_T$ ；弹性模数  $E$ ；伸长率  $\delta$ ；断面收缩系数  $\psi$ ；冲击韧性  $\alpha_K$ ；材料的布氏硬度  $H_B$  或洛氏硬度  $H_R$ 。如果知道了这些数值，就可根据设备及其另件受力的情况，操作条件来判断材料应用的可能性。

强度极限和屈服极限对于选择许用应力有很重要的意义，它直接影响到设备的结构，大小和尺寸。在决定设备的刚性、稳定性、温度应力时弹性模数又起着很大的作用，伸长率、冲击韧性、断面收缩系数的数值可以判断材料塑性程度，如某种材料强度极限虽大，但断面收缩系数，伸长率，冲击韧性数值小，那么材料不宜做承受拉应力和受冲击载荷的另件。材料的硬度说明它对于磨损与冲蚀作用的耐磨性，同时，它也决定加工的程序和可能性。

上述一些数值通常是在常温(室温)下测定的，由于在石油炼厂中许多设备是在高温或很低的温度下工作，因此要了解温度变化对上述表示机械性能数值的影响。

一般材料(碳钢、合金钢等)在低温的时候，强度极限，屈服极限，弹性模数并不会下降，仅冲击韧性在到达某一温度时会骤然降低，这就是所谓冷脆现象。必须指出：决非所有金属都具有

冷脆性，研究說明具有体心立方晶格的金属(鉄、鎢、 $\beta$ -黃銅)和六方晶系的金属(多晶状态下的鋅)有冷脆性，而具有面心立方晶格的金属(鋁、銅、鎳、 $\alpha$ -黃銅等)并不呈現冷脆性。

低碳鋼制成零件可用于 $-30^{\circ}\text{C}$ ，18—8型鋼(鉻18%，鎳8%)在 $-180^{\circ}\text{C}$ 下仍能工作。而銅及其合金不仅在低溫時能增高自己的强度，而且会保持很高的冲击韌性，这一特点使銅及其合金成为深度冷冻不可缺少的材料。

与上相反，在高溫下的材料其机械性能也有很大的变化。首先它对强度極限，屈服極限，塑性和彈性都有所影响。我們可以由下表看出溫度对机械性能影响多么大。

碳鋼( $C \leq 0.25\%$ )的机械性能与溫度的关系 表 2-1

| 溫度<br>$^{\circ}\text{C}$ | $\sigma_B$ | $\sigma_T$ | $E$  | $\delta$ | $\psi$ | $\alpha_K$ |
|--------------------------|------------|------------|------|----------|--------|------------|
| 20                       | 100%       | 100%       | 100% | 100%     | 100%   | 100%       |
| 100                      | 100        | 95         | 98   | 80       | 95     | 110        |
| 200                      | 120        | 85         | 95   | 55       | 80     | 115        |
| 300                      | 115        | 70         | 90   | 80       | 90     | 110        |
| 400                      | 90         | 55         | 85   | 100      | 100    | 85         |
| 500                      | 60         | 40         | 75   | 110      | 110    | 60         |

除上述而外，还应考虑在高溫下金属的蠕变和松弛。

近年来不断發現在高溫操作下高压輸送管路的螺栓和管子被破坏的情况，例如在高溫高压下工作的管子，工作一定時間后，直徑逐漸增大，最后导致破裂，虽然設計時是具有足够的强度和适当的安全系数。追其原因乃是蠕变所造成。即使在很低的应力下，高溫时也会产生緩慢的永久变形，这种現象叫蠕变。

蠕变是標誌金属在負荷不变的情况下，在高溫时緩慢的連續的塑性变形的能力，但对有些金属(鉛、黃銅、青銅、鋁等有色金属及其合金)即使在室溫下也可以發生蠕变現象。总之，只有