



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

钢结构设计原理

钢结构的材料

钢材的破坏形式

主讲：邓海

目录

- 一、脆性破坏
- 二、塑性破坏
- 三、疲劳破坏



•两种破坏形式

钢材的破坏分塑性破坏和脆性破坏两种。

塑性破坏：塑性变形很大，经历时间又较长的破坏称塑性破坏。断裂时断口与作用力方向呈 45° ，且呈纤维状，色泽发暗。

脆性破坏：几乎不出现塑性变形的突然破坏称脆性破坏。断裂时断口平齐，呈有光泽的晶粒状。脆性破坏危险性大，必须加以重视。

塑性破坏与脆性破坏的区别

塑性破坏特点：

- (1) 有明显的**颈缩现象**，塑性变形大
- (2) 断裂时断口与作用力方向呈 45° ，且呈纤维状，色泽发暗不反光。

“剪应力”引起破坏， $\sigma \geq f_u$ 才可能破坏 $\sigma < f_u$ 一定不破坏

脆性破坏特点：

- (1) 破坏前变形很小，没有任何征兆
- (2) 断口平直、呈晶粒状，发亮能反光

“拉应力”引起破坏，破坏时 $\sigma < f_u$ ，甚至 $\sigma < f_y$

•导致脆性破坏的因素

1. 钢材材质
2. 冶金缺陷（偏析、非金属夹杂、裂纹、起层）
3. 温度（热脆、低温冷脆）
4. 冷作硬化和时效硬化
5. 应力集中
6. 同号三向主应力状态

疲劳断裂

疲劳断裂是微观裂缝在连续重复荷载作用下不断扩展直至断裂的脆性破坏。断口可能贯穿于母材，可能贯穿于连接焊缝，也可能贯穿于母材及焊缝。

出现疲劳断裂时，截面上的应力低于材料的抗拉强度，甚至低于屈服强度。同时，疲劳破坏属于脆性破坏，塑性变形极小，因此是一种没有明显变形的突然破坏，危险性较大。

断口形式

光滑区 — 裂纹扩展过程中不断张开闭合，两表面互相碾磨而成。

粗糙区 — 截面削弱，不能承载而拉断形成。



网络精品课程

疲劳分类

高周疲劳 (应力疲劳)

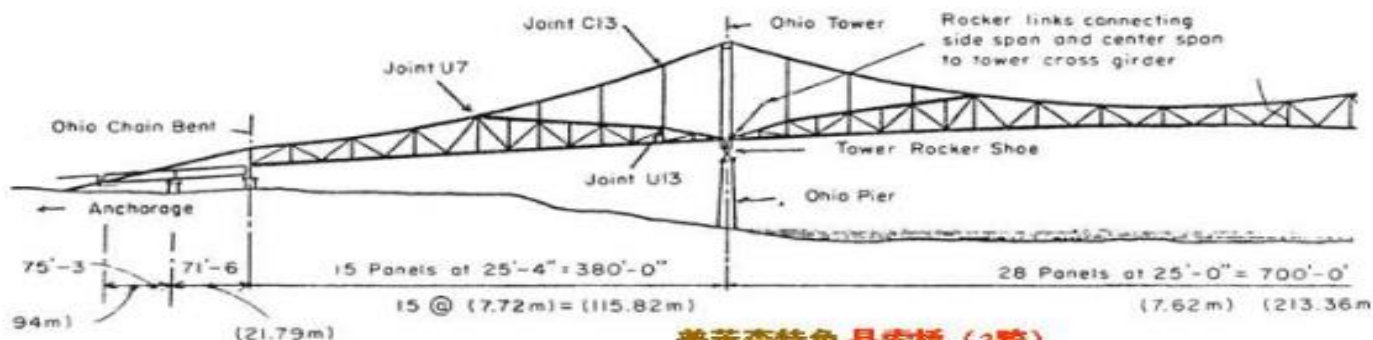
- ✓ 工作应力小于 f_y ，没有明显的塑性变形，寿命大于 10^5 次以上 (本课程讨论对象)。
- ✓ 典型对象：吊车梁、桥梁、海洋平台等在日常荷载下的疲劳破坏

低周疲劳 (应变疲劳)

- ✓ 工作应力达到或大于 f_y ，有较大的塑性变形，寿命在 10^5 次以内，甚至几百次、几十次。
- ✓ 典型对象：强烈地震下的一般钢结构疲劳破坏。

疲劳断裂破坏实例

- 1967年12月15日下午美国普莱森特角悬索桥因一吊杆断裂而在60秒内倒塌。
- 46人丧生，37辆各种车辆掉入河中。



普莱森特角悬索桥（3跨）

疲劳断裂破坏实例（续）



吊杆耳环断裂



整桥倒塌



【事故实例 5.2】 比利时阿尔伯特运河上多座钢桥脆性断裂

第二次世界大战前夕，在比利时的阿尔伯特（Albert）运河上建造了约 50 座全焊接拱形空腹式桁架钢桥。材料为比利时 9t42 转炉钢。

(1) 其中跨度为 48.78m 的长里华大桥在 -14°C 时脆断。

(2) 1938 年 3 月，比利时哈瑟尔特全焊拱形空腹式钢桥在交付使用 1 年后，当一辆电车和几个行人通过时，突然断裂为三段，坠入阿尔伯特运河。该桥跨度 74.5m，上下弦均为两根工字钢组成的箱形截面，钢板最大厚度 56mm，节点板为钢铸件。该桥第一条裂缝由下弦开始并发生巨响，6min 后垮塌，当时桥上荷载很小，气温较低，为 -20°C 。

(3) 跨度 60.98m 的亥伦脱尔—奥兰（Herenthals-Olen）大桥在 1940 年 1 月 19 日破坏，当时的气温为 -14°C ，其中有一条裂缝长达 2.1m，宽为 25mm，但此桥未坍塌，且在开裂后 5h，当一列火车通过时此桥竟平安无事。

据统计，自 1938 年至 1950 年在比利时共有 14 座大桥断裂，其中有 6 座桥梁属负温下冷脆断裂，大部分在下弦与桥墩支座的连接处断裂且应力处于极限状态。归结大桥断裂的原因主要有四点：应力集中、残余应力、低温和冲击韧性值 α_k 太小。

防止脆性断裂的方法：

(1) 合理选择钢材

温度——冷脆转变温度低

厚度——薄

钢材通常选用的原则是既保证结构安全可靠，同时又要经济合理，节约钢材。具体而言，应考虑到结构的重要性、荷载特征、连接方法以及工作环境，尤其是在低温下承受动载的重要的焊接结构，应选择韧性高的材料和焊条。另外，改进冶炼方法，提高钢材断裂韧性，也是减少脆断的有效途径。

Q235钢分为A、B、C、D四级，其中，A级：不要求冲击试验；B级：要求 $+20^{\circ}\text{C}$ 冲击试验；c级：要求 0°C 冲击试验；D级：要求 -20°C 冲击试验。**在此说明一点，对于焊接结构至少应选用Q235B。**

(2) 合理设计

合理的设计应该在考虑材料的断裂韧性水平、最低工作温度、荷载特征、应力集中等因素后，再选择合理的结构型式，尤其是合理的构造细节十分重要。

设计时应力求使缺陷引起的**应力集中减少到最低限度**，尽量保证结构的几何连续性和刚度的连贯性。

比如：

把结构设计为超静定结构并采用多路径传力可减少脆性断裂的危险；

接头或节点的承载力设计应比其相连的杆件强20%—50%；

构件断面在满足强度和稳定的前提下应尽量宽而薄。

切记：**增加构件厚度将增加脆断的危机，尤其是设计焊接结构应避免重叠交叉和焊缝集中。**

(3) 合理制作和安装

冷加工——栓孔 钻、扩

焊接——合理工艺、参数，减小焊接残余应力，如厚钢板，焊前预热，焊后保温

安装——减小装配残余应力

就钢结构制作而言，冷热加工易使钢材硬化变脆，焊接尤其易产生裂纹、类裂纹缺陷以及焊接残余应力。就安装而言，不合理的工艺容易造成装配残余应力及其他缺陷。

因此，制定合理的制作安装工艺并以减少缺陷及残余应力为目标是十分重要的。

(4) 合理使用及维修措施——避免突然荷载

钢结构在使用时应力求满足设计规定的用途、荷载及环境，不得随意变更。

还应建立必要的维修措施，监视缺陷或损坏情况，以防忠于未然。

◆疲劳破坏与脆性破坏比较

相同点：突然断裂，断裂时名义应力都低于屈服点

不同点（1）

疲劳破坏 裂纹扩展稳定，缓慢，多次反复加载

脆性破坏 裂纹扩展不稳定，迅速，一次加载就可能破坏

不同点（2）

疲劳破坏 断口分为疲劳区和瞬断区（疲劳区记载了裂缝扩展和闭合的过程，颜色发暗，表面有较清楚的疲劳纹理，呈沙滩状或波纹状。瞬断区真实反映了当构件截面因裂缝扩展削弱到一临界尺寸时脆性断裂的待点，瞬断区晶粒粗亮。）

脆性破坏 闪光的晶粒状

谢谢大家！

