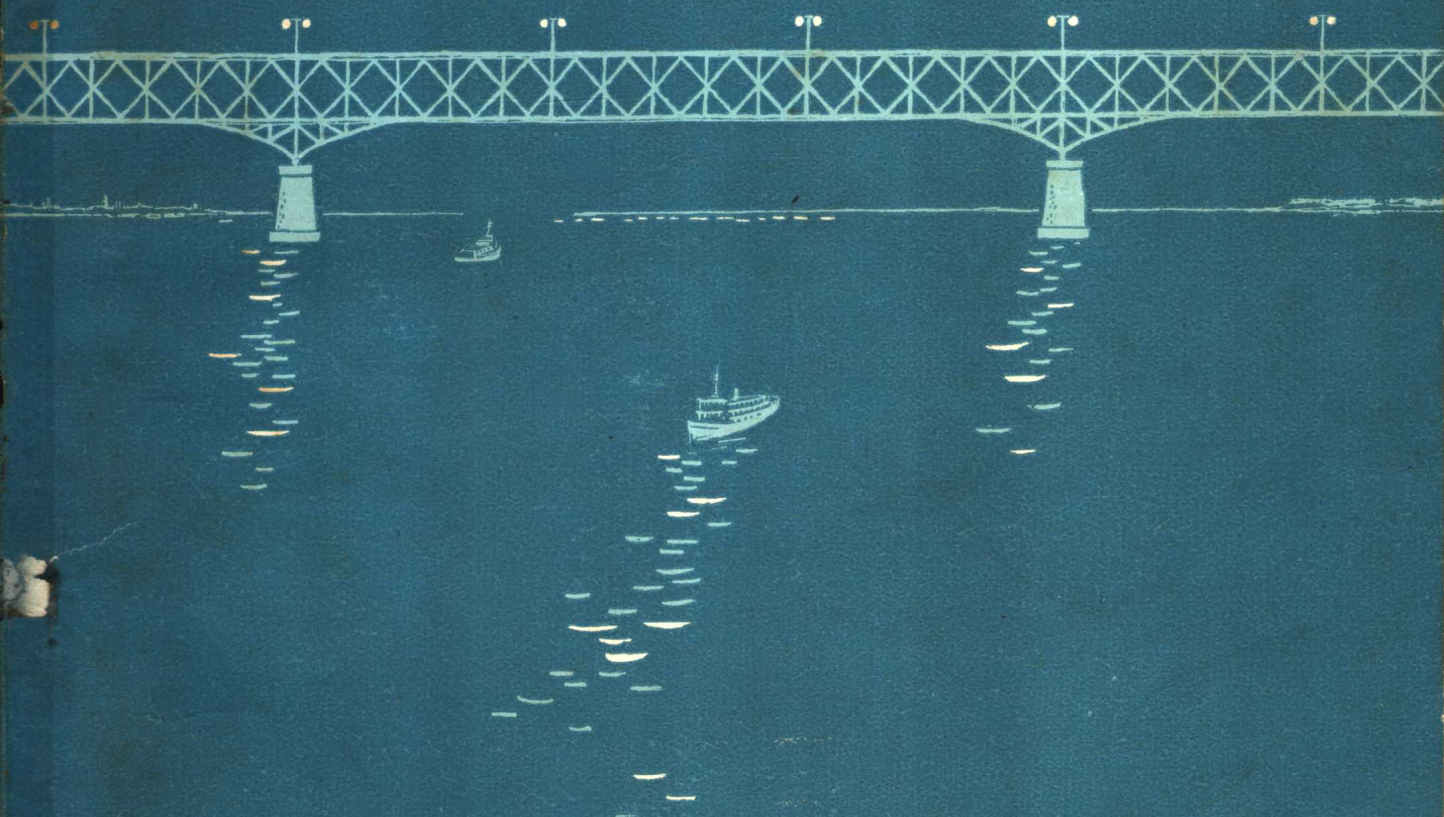


铁道部西南交通大学铁路桥  
梁专业《铁路钢桥》编写组

# 铁 路 钢 桥

TIE LU GANG QIAO



36

人 民 铁 道 出 版 社

# 铁 路 钢 桥

铁 道 部 西 南 交 通 大 学  
铁路桥梁专业《铁路钢桥》编写组

人 民 铁 道 出 版 社

1978年·北京

## 内 容 提 要

本书内容包括铁路钢桥的设计理论和钢梁的制造工艺及安装方法。全书共分八章，并加附录。第一至四章主要介绍钢材、连接方法、板梁桥和简支栓焊桁架桥的设计，并附详细的算例；第五章主要讲述连续桁架桥设计中的若干特殊问题；在第六章中对其他类型的大跨度钢桥作了扼要的叙述；书中第七章介绍钢梁制造工艺的基本知识；第八章介绍常用的几种钢梁安装方法。附录中除纳入若干常用的设计参考资料外，并对箱形梁及斜拉桥的计算作了简要的介绍。

本书可供桥梁有关专业的师生和工程技术人员参考。

## 铁 路 钢 桥

铁道部西南交通大学

铁路桥梁专业《铁路钢桥》编写组

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 20.5 插页 2 字数 498千

1978年9月第1版 1978年9月第1次印刷

统一书号：15043·6119 定价：1.95 元

# 编者说明

《铁路钢桥》原是为我校铁路桥梁专业学员编写的教材，曾由我校铅印，内部发行。这次出版时，在原书基础上又作了一些修改和补充。

解放以来，我国在钢桥的设计和施工方面取得了重大的成就，积累了十分丰富的经验。为了反映这些新经验和新成就，我专业有关教师曾深入现场，向有实践经验的工人和工程技术人员学习，广泛听取他们对本书编写的意见。初稿完成后，又请他们协助审阅了其中大部分手稿，以期使书的内容能反映我国钢桥建设的实际，使理论密切地与生产实践相结合。

五十年代以来，国外在钢桥方面也获得了较大的进展。本着“洋为中用”的精神，对国外的新技术我们也在书中作了适当的介绍。

在编写本书时，我们注意到以下几个方面：

1. 我国铁路钢桥的设计、制造和安装规程已重新制订，因此，本书按新颁规程进行编写。
2. 学习简支板梁桥和桁架桥的设计是掌握钢桥设计理论的基本环节，为此，我们在第一、二章中介绍了钢材和连接方法后，在第三、四两章中，用了较大的篇幅详细叙述了简支板梁桥和桁架桥的设计。为加深读者对设计理论的理解和应用，并考虑到栓焊结构日益取代铆接结构的发展趋势，书中以 32 米全焊板梁桥和 64 米栓焊桁架桥的设计为例，结合各部分内容讲授的顺序，逐次编写了详细的算例。我们的教学实践证明：对不熟悉钢桥设计的初学者来说，算例的这种编法也是较好的。
3. 连续桁架桥在我国的铁路建设中已日益广泛采用，因此，我们将连续桁架桥另列一章，较为详细地介绍了它在设计中的一些特殊问题。
4. 为使读者对钢桥的各种结构形式有一个概括的了解，在第六章中扼要地介绍了悬臂桁架桥、拱桥、联合系桥及斜拉桥等大跨度钢桥。
5. 钢桥的设计、制造和安装三者是密切相关的，因此，我们将钢梁制造及钢梁安装各列一章，编入本书。
6. 我们将一些常用的设计参考资料和不宜于取作教材编入正文的一部分计算内容，均作为附录放在本书的后面，以便读者查阅和学习参考。

在本书编写过程中，我们得到了铁道部大桥工程局、第三设计院、宝鸡桥梁工厂、山海关桥梁工厂等兄弟单位的积极支援。他们热情地帮助我们搜集资料，讨论编写提纲，并帮助审阅了其中的大部分底稿。同时，为我们在现场进行教育革命提供了许多方便条件。对此我们谨向这些兄弟单位表示衷心的感谢。本书的插图承大桥工程局勘测设计处和我校印刷厂绘图组的同志协助描绘，顺此一并致以深切的谢意。

由于我们政治思想水平不高，理论和实践知识有限，错漏之处在所难免。热忱地希望各兄弟单位的同志们提出宝贵意见。对本书的意见请寄：四川峨眉西南交通大学桥梁专业《铁路钢桥》编写组。

铁道部西南交通大学铁路桥梁专业  
《铁路钢桥》编写组

1977 年 8 月

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 绪 论 .....              | 1  |
| 第一章 钢桥概说 .....         | 5  |
| 第一节 钢桥的主要特点及适用范围 ..... | 5  |
| 第二节 桥梁用钢的主要性能 .....    | 5  |
| 一、钢的强度性能 .....         | 5  |
| 二、钢的塑性及韧性 .....        | 7  |
| 三、钢的脆性断裂 .....         | 7  |
| 四、钢的疲劳强度 .....         | 9  |
| 五、可焊性 .....            | 14 |
| 六、各种因素对钢材性能的影响 .....   | 15 |
| 第三节 钢桥所用的材料 .....      | 16 |
| 一、国产结构钢的钢号表示方法 .....   | 16 |
| 二、常用桥梁钢的种类 .....       | 17 |
| 三、轧制钢材 .....           | 17 |
| 第二章 钢桥连接 .....         | 19 |
| 第一节 焊接连接 .....         | 19 |
| 一、焊接连接的类型 .....        | 19 |
| 二、焊接连接的强度计算 .....      | 22 |
| 第二节 铆钉连接及普通螺栓连接 .....  | 25 |
| 一、铆钉连接的类型 .....        | 25 |
| 二、铆钉连接的强度计算 .....      | 27 |
| 三、普通螺栓连接 .....         | 31 |
| 第三节 高强度螺栓连接 .....      | 32 |
| 一、高强度螺栓连接的构造 .....     | 32 |
| 二、高强度螺栓连接的计算 .....     | 33 |
| 第四节 各种连接的比较 .....      | 34 |
| 一、焊接 .....             | 34 |
| 二、高强度螺栓连接 .....        | 34 |
| 三、铆钉连接 .....           | 35 |
| 四、普通螺栓连接 .....         | 35 |
| 第三章 板梁桥 .....          | 36 |
| 第一节 常用的几种板梁桥 .....     | 36 |
| 一、上承式板梁桥 .....         | 36 |
| 二、下承式板梁桥 .....         | 37 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 三、结合梁桥              | 39  |
| 第二节 全焊上承板梁桥的构造      | 40  |
| 一、主梁                | 40  |
| 二、联结系               | 42  |
| 三、支座                | 43  |
| 四、构造实例              | 44  |
| 第三节 板梁桥的计算          | 45  |
| 一、设计总说              | 45  |
| 二、板梁桥主要尺寸的拟定        | 45  |
| 三、主梁计算              | 48  |
| 第四节 箱形钢梁桥简介         | 65  |
| 第四章 下承式简支栓焊桁架桥      | 68  |
| 第一节 设计总说            | 68  |
| 一、下承式简支桁架桥各组成部分及其作用 | 68  |
| 二、主桁的几何图式           | 69  |
| 三、主桁的主要尺寸           | 70  |
| 四、桁架桥杆件内力分析的基本原理    | 72  |
| 第二节 主桁杆件的内力计算       | 73  |
| 一、主力作用下的主桁杆件内力计算    | 73  |
| 二、横向附加力作用下的主桁杆件内力计算 | 81  |
| 三、制动力作用下的主桁杆件内力计算   | 85  |
| 四、主桁杆件计算内力的确定       | 87  |
| 第三节 主桁杆件的截面选择       | 87  |
| 一、主桁杆件的截面型式         | 87  |
| 二、主桁杆件的外轮廓尺寸        | 88  |
| 三、下弦杆计算             | 89  |
| 四、上弦杆计算             | 93  |
| 五、端斜杆计算             | 98  |
| 六、腹杆计算              | 102 |
| 第四节 主桁节点及弦杆拼接       | 106 |
| 一、节点设计的原则及构造举例      | 106 |
| 二、腹杆杆端连接            | 116 |
| 三、弦杆拼接              | 118 |
| 四、节点板计算             | 123 |
| 第五节 桥面系             | 128 |
| 一、桥面系的构造            | 128 |
| 二、纵梁、横梁的计算          | 131 |
| 第六节 联结系             | 141 |
| 一、平纵联               | 141 |
| 二、横向联结系及桥门架         | 146 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 三、制动联结系 .....               | 147 |
| 第七节 桁梁挠度、上拱度及横向刚度 .....     | 150 |
| 一、挠度 .....                  | 150 |
| 二、上拱度 .....                 | 150 |
| 三、横向刚度 .....                | 151 |
| 第八节 支座 .....                | 152 |
| 一、支座的构造 .....               | 152 |
| 二、支座的计算 .....               | 153 |
| 三、落梁时活动支座的设置 .....          | 159 |
| 四、支座在墩台上的布置 .....           | 160 |
| 第五章 连续桁架桥 .....             | 165 |
| 第一节 概述 .....                | 165 |
| 一、连续桁架桥的优缺点 .....           | 165 |
| 二、连续桁架桥的几何图式和主要尺寸 .....     | 166 |
| 第二节 连续桁架桥设计中的几个问题 .....     | 167 |
| 一、构造特点 .....                | 167 |
| 二、杆件截面的初步拟定 .....           | 172 |
| 三、弦杆拼接及其计算 .....            | 174 |
| 四、上拱度的设置 .....              | 179 |
| 五、内力调整 .....                | 182 |
| 六、不同强度的钢种选择 .....           | 183 |
| 第三节 公铁两用桥的桥面布置 .....        | 184 |
| 第六章 悬臂桁架桥、拱桥、联合系桥及斜拉桥 ..... | 188 |
| 第一节 悬臂桁架桥 .....             | 188 |
| 一、悬臂桁架桥的优缺点 .....           | 188 |
| 二、悬臂桁架桥的主要尺寸及铰的构造 .....     | 190 |
| 第二节 拱桥 .....                | 191 |
| 一、拱桥的优缺点 .....              | 191 |
| 二、拱桥的类型及主要尺寸 .....          | 192 |
| 三、钢拱桥实例 .....               | 192 |
| 第三节 联合系桥 .....              | 196 |
| 一、联合系桥的几何图式 .....           | 196 |
| 二、112米栓焊刚性梁柔性拱 .....        | 196 |
| 三、刚性梁柔性拱的内力分析 .....         | 197 |
| 四、单片桁和单片拱与箱梁的联合系桥简介 .....   | 200 |
| 第四节 斜拉桥 .....               | 202 |
| 一、概述 .....                  | 202 |
| 二、构造 .....                  | 202 |
| 三、影响斜拉桥的刚度及内力的因素 .....      | 205 |
| 第七章 钢桥制造 .....              | 209 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第一节 栓焊钢梁的制造 .....               | 209 |
| 一、料件加工 .....                    | 209 |
| 二、杆件组焊 .....                    | 213 |
| 三、钢桥的除锈、油漆和装运 .....             | 221 |
| 第二节 铆接钢梁的制造 .....               | 221 |
| 一、铆接钢梁杆件的组装 .....               | 221 |
| 二、铆合 .....                      | 222 |
| 第八章 钢梁安装 .....                  | 224 |
| 第一节 悬臂法安装钢梁 .....               | 224 |
| 一、概述 .....                      | 224 |
| 二、降低钢梁安装应力和伸臂端挠度的措施 .....       | 224 |
| 三、悬臂安装钢梁的施工 .....               | 231 |
| 四、悬臂安装钢梁的计算 .....               | 244 |
| 第二节 拖拉法架设钢梁 .....               | 252 |
| 一、概述 .....                      | 252 |
| 二、常用的几种拖拉架梁的方法 .....            | 253 |
| 三、滑道、滚轴 .....                   | 255 |
| 四、牵引设备 .....                    | 257 |
| 五、拖拉钢梁及钢梁中线控制的施工步骤 .....        | 258 |
| 六、钢梁的横移和落梁 .....                | 260 |
| 七、拖拉钢梁的计算 .....                 | 260 |
| 八、推顶法简介 .....                   | 266 |
| 第三节 浮运法架设钢梁 .....               | 267 |
| 一、概述 .....                      | 267 |
| 二、浮运方法 .....                    | 268 |
| 三、浮运支承 .....                    | 269 |
| 四、浮运法施工 .....                   | 271 |
| 五、浮船计算 .....                    | 272 |
| 附 录:                            |     |
| 附录 1. 偏心连接的计算、销接的计算 .....       | 274 |
| 附录 2. 工形板梁侧向稳定验算公式的解释 .....     | 277 |
| 附录 3. 箱形钢梁的内力计算 .....           | 278 |
| 附录 4. 斜拉桥的计算 .....              | 293 |
| 附录 5. 铁路标准活载的换算均布活载表 .....      | 304 |
| 附录 6. 单线铁路栓焊下承桁梁设计资料表 .....     | 308 |
| 附录 7. 单线铁路焊接板梁设计资料表 .....       | 310 |
| 附录 8. 三跨连续梁支承反力及挠度计算参考资料 .....  | 311 |
| 附录 9. 桥梁常用规格的精制螺栓或冲钉容许承载力 ..... | 313 |
| 附录 10. 钢梁杆件发送号 .....            | 314 |
| 附录 11. 万能杆件有关资料 .....           | 314 |

## 绪 论

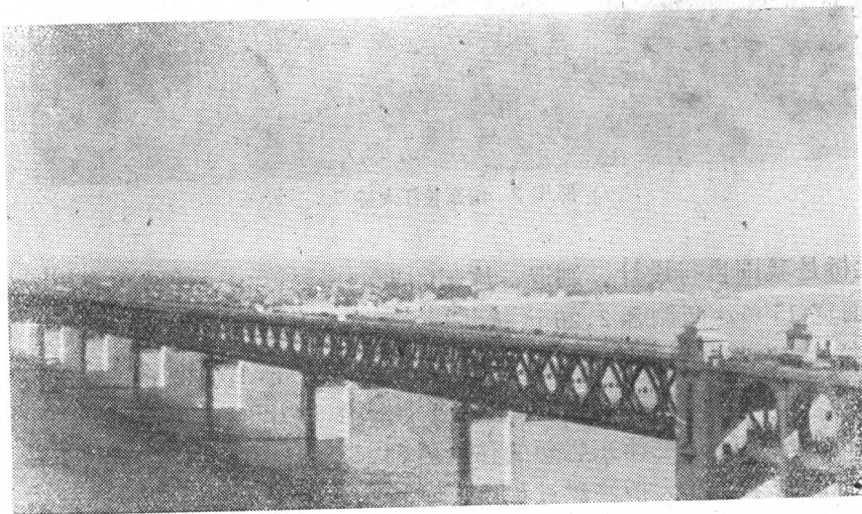
钢结构和钢桥是随着社会生产力的发展而逐步发展并完善起来的。

我国是一个具有悠久历史和丰富文化遗产的国家。我们勤劳的祖先最早发明了生铁并将铁金属用于结构和桥梁。据历史资料记载，早在秦代(公元前 221~前 207 年)时，我国已能用铁制桥墩作为桥梁的承重结构。到了汉代时，铁结构已发展为较复杂的形式，在我国出现了铁索桥。据《云南略考》记载：“……兰津桥，为本省第一桥梁，两堤峭壁竦立，俯映沧江……以铁为锁，系南北为桥。为汉明帝建。”不难看出，我国至晚在汉明帝(公元 220~265 年)时，铁索桥就已经采用。举世闻名的红军二万五千里长征途中经过的四川大渡河上的泸定铁索桥，为公元 1676 年所建。净长百米，至今完好无损。然而，封建制度的长期统治，大大束缚了生产力的发展。1840 年鸦片战争后帝国主义列强的侵入，更使广大劳动人民处于水深火热之中。从 1886 年中国第一个铁路公司(开平铁路公司)建立以来，试看旧中国少有的几条铁路，那一条不是外资投建？那一条不是劳动人民血汗的积累？在旧中国仅有的几座铁路钢桥中，又有那一座没有留下帝国主义、垄断资本强取豪夺的烙印？！

历史在发展，人民在前进。近百年来，中国人民英勇斗争、前仆后继，终于在中国共产党和毛主席的英明领导下，于一九四九年迎来了中华人民共和国的诞生。

新中国成立后，政治上争得了独立和解放的我国人民，在毛主席革命路线指引下，以大无畏的英雄气概，迅速地医治了战争的创伤，恢复了经济。随着社会主义革命和社会主义建设的向前发展，交通运输、桥梁建筑都取得了巨大的成绩。我们英雄的建桥工人、铁道兵战士、桥梁工作者高举红旗，奋战在祖国的大江大河上。他们以“不管风吹浪打，胜似闲庭信步”的雄壮气魄，为祖国的桥梁事业做出了重要的贡献。

一九五七年，武汉长江大桥(照片 1)的建成，结束了我国万里长江无桥的历史。大型钢梁的制造和施工、深水管柱基础等，对发展我国现代桥梁技术开辟了新路。



照片 1 武汉长江大桥

大桥通车后，我们伟大领袖毛主席亲笔题词：“一桥飞架南北，天堑变通途。”毛主席的光辉题词，表达了无产阶级的雄心壮志，给了我们巨大的鼓舞和力量。

武汉长江大桥，正桥钢梁为三联  $3 \times 128$  米的连续桁梁，铁路为双线，上层为六车道的公路桥面（宽 18 米，两侧各设有 2.25 米的人行道），全桥总长为 1670.4 米，其中正桥长 1155.5 米。

继武汉长江大桥竣工后，于一九五九年我国又修建了长江上游的重庆白沙沱大桥。这是长江上的第二座铁路钢桥。桥全长 820.3 米，共 16 孔，主流为  $4 \times 80$  米下承连续钢桁梁，其余 12 孔为 40 米简支上承钢板梁。

湖北枝城长江大桥是我国自行建造的长江上的第四座公铁两用桥。桥全长为 1742.3 米，正桥共九孔，由  $4 \times 160$  米 +  $5 \times 128$  米连续钢桁梁组成。铁路为双线，公路设于铁路的两侧。本桥所采用的吊索塔架的施工方法，既节省钢材，又解决了水深流急安设托架的困难。从而为我国大跨度钢梁的安装提供了极其有益的经验。

在我国桥梁建筑事业中需要特别指出的是：在无产阶级文化大革命中于 1969 年建成并通车的南京长江大桥（照片 2）。



照片 2 南京长江大桥

南京长江大桥是我国自行设计、制造、施工的大型桥梁。正桥部分为双层钢桁梁。上层为公路桥面（桥面宽 15 m，两侧各 2.25 m 人行道）、四车道，下层为双线铁路。铁路桥全长 6772 米（其中正桥 1577 米，引桥 5195 米）。正桥钢梁为 10 孔，靠北岸第一孔为 128 米简支钢桁梁，其余九孔共三联，每联为  $3 \times 160$  米连续钢桁梁（照片 3）。

南京长江大桥的建成，是毛泽东思想的伟大胜利，是我国建桥工人认真贯彻执行独立自主、自力更生方针的结果。在大桥修建过程中，英雄的中国工人阶级，战胜了一个又一个的困难，与帝国主义争速度，和苏修社会帝国主义抢时间。充分表现了中国人民的志气、毅力

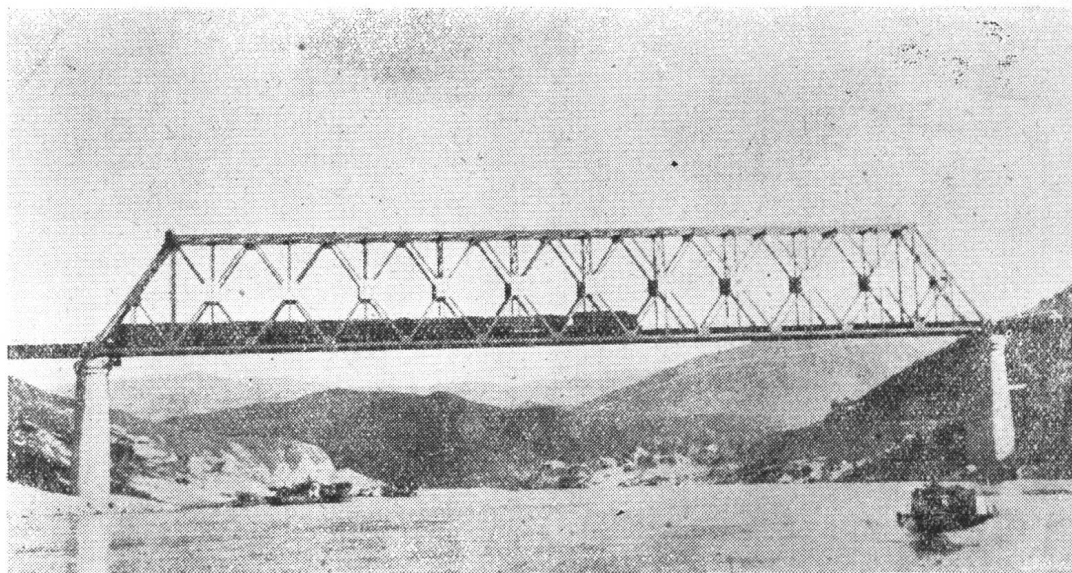


照片 3 南京长江大桥钢桁梁

和勇敢精神，质量良好地完成了大桥的建设任务。南京长江大桥的建成是我国桥梁史上又一个重要标志。它充分说明了我国的桥梁事业蒸蒸日上，从一个胜利走向一个胜利。

西南三线建设对于发展我国桥梁建筑起了很大的推动作用。

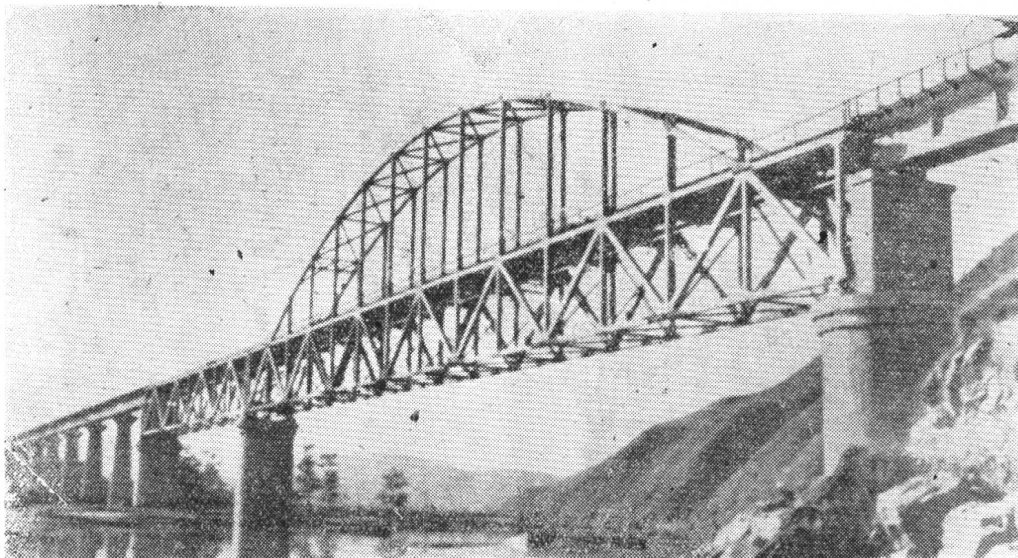
成昆线上的金江大桥(照片 4)是跨度为 192 米的简支铆接钢桁梁。它是目前我国通车运营线上跨度最大的钢桥。



照片 4 金江大桥

从 1966 年开始，我国铁路采用了大量的栓焊钢梁。广西柳州浪江桥是我国采用 16 Mn 低合金钢制造的第一孔铁路栓焊桁梁，跨度为 61.44 米。

为了推动栓焊结构的发展，在成昆线上我国第一次修建了 16 Mn 低合金钢的栓焊系杆拱桥多座，跨度为 112 米。照片 5 为拉旧大桥，就是其中的一座。



照片 5 拉旧大桥

总结过去，瞻望未来，交通运输事业在飞速发展，我国的桥梁建设也在不断地前进。在英明领袖华主席和党中央领导下，我国各族人民正满怀信心地为实现二十世纪内把我国建成伟大的社会主义现代化强国而英勇奋斗。在这个新的历史发展时期内，铁路建设必将以空前的规模迅速发展，这就要求我们加快桥梁建设的速度，提高桥梁建设的质量。让我们高高举起毛主席的旗帜，紧跟以华主席为首的党中央，独立自主，艰苦奋斗，以革命加拼命的精神，充分发挥自己的才干，为在我国实现四个现代化，为发展我国铁路运输事业努力去谱写桥梁史上的新篇章。

# 第一章 钢 桥 概 说

## 第一节 钢桥的主要特点及适用范围

钢材是一种抗拉、抗压和抗剪强度均较高的匀质材料。由于钢材的强度高，所以钢桥具有很大的跨越能力。世界上已建造的钢筋混凝土桥(拱桥)最大跨度为 305 米，而钢拱桥的最大跨度为 518 米，悬索桥为 1410 米。

钢桥的构件最适合用工业化方法来制造，便于运输，工地安装的速度快，因此，钢桥的施工期限较短。

钢桥在受到破坏后，易于修复和更换。从战备方面考虑，钢桥也较其他材料所造的桥梁优越。

但是，钢材易于锈蚀，需要经常检查和按期油漆，故钢桥的养护费用要比石桥和钢筋混凝土桥高。

我国的社会主义建设事业正在日新月异地向前发展，国民经济各部门都需用大量钢材，在建设中合理使用和节约钢材具有重要意义。对跨度较小的桥梁(40 米以下)，应尽可能采用钢筋混凝土桥或石拱桥来代替钢桥。对中等跨度和大跨度的桥梁，则应根据技术经济条件和战备方面的要求，进行方案比较，决定是否采用钢桥方案。现今我国已建成的钢筋混凝土铁路拱桥，其最大跨度达 150 米，铁路石拱桥的最大跨度为 54 米。在一般情况下，大、中跨度的桥梁，以采用钢桥为主。

## 第二节 桥梁用钢的主要性能

### 一、钢的强度性能

桥梁用钢的强度有三个主要指标，见图 1-2-1，第一个指标是弹性极限  $\sigma_e$ ，拉伸试件在卸载后没有残余变形，加载过程中出现的应变也很小(例如 16 锰桥钢，当应力达到  $\sigma_e$  时，其应变只有 0.15% 左右)。第二个指标是屈服强度  $\sigma_s$ (或称屈服点)，当应力在弹性极限与屈服强度之间时，试件开始出现塑性变形，卸载后有残余变形。当应力达到屈服强度  $\sigma_s$  时，应力即使不再增大，应变却会继续扩大到一定程度(约为 2%)。第三个指标是极限强度  $\sigma_b$ ，当应力达到  $\sigma_b$  时，试件就被拉断。

对桥梁来说，要使桥梁能正常运营，就必须保证桥梁在荷载作用下不发生较大的变形和破坏。如果桥梁各杆件的应力能在弹性极限  $\sigma_e$  以

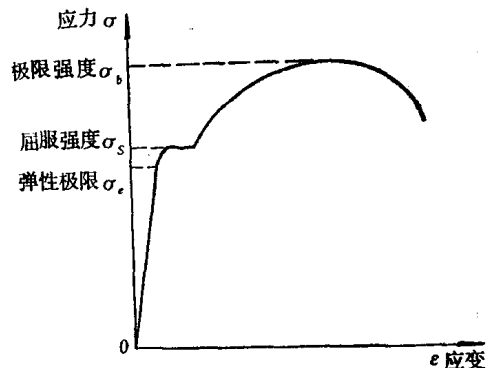


图 1-2-1 拉伸应力应变曲线

内, 则桥梁的正常运营能得到保证。因此, 在设计时应控制应力不超过弹性极限。但是, 由于钢材的弹性极限测量不便, 又不易测准, 而屈服强度与弹性极限很接近, 因此, 过去一直用屈服强度代替弹性极限来作设计桥梁时控制应力的标准。

由于钢材的性能不完全相同, 其实际的屈服强度可能比规范中规定的略低; 由于荷载的大小难于估计精确, 桥梁实际所受的荷载可能比规范中规定的大; 由于桥梁构造的复杂性及制造上的公差, 致使杆件应力难于计算准确, 桥梁杆件实际的应力可能比计算的大; 如此等等。由于上述诸种原因, 尽管计算所得的应力小于规范中规定的屈服强度, 但构件的实际应力仍有超出屈服强度的可能。为了安全起见, 常将屈服强度  $\sigma_s$  除以某常数  $K$  (即  $\frac{\sigma_s}{K}$ ), 作为控制计算应力的标准。此  $\frac{\sigma_s}{K}$  称为容许应力, 用符号  $[\sigma]$  表示,  $K$  称为安全系数。例如 16 锰桥钢的  $\sigma_s$  等于 3400 公斤/厘米<sup>2</sup>, 如果设计中采用安全系数  $K=1.7$ , 则得 16 锰桥钢的基本容许应力  $[\sigma]=3400/1.7=2000$  公斤/厘米<sup>2</sup>。

极限强度  $\sigma_b$  也是衡量钢材强度的重要指标, 当应力达到  $\sigma_b$  时, 桥梁的构件将断裂。虽然在设计时, 将应力控制低于屈服强度, 但桥梁结构的某些部件, 可能出现计算中未曾考虑到的应力, 特别是在动荷载作用下, 如果钢材的极限强度  $\sigma_b$  值与屈服强度  $\sigma_s$  值很接近, 则有可能使桥梁结构发生局部断裂的危险。因此, 屈服强度  $\sigma_s$  与极限强度  $\sigma_b$  之比值  $\left(\frac{\sigma_s}{\sigma_b}\right)$  不宜过大。当然, 这个比值过小也是不合适的, 它会降低钢材强度的利用率。一般最好保持在 0.60~0.75 之间。

铁路钢桥承受的荷载较重, 而其跨度常较大, 杆件内力有的高达几千吨。因此, 要求铁路钢桥的钢材具有较高的强度, 这样不仅可以缩小杆件的截面从而达到节省钢材的目的, 而且还可减少自重, 有利于钢材的有效使用。

常用桥梁钢的力学性能

表 1-2-1

| 钢 号        |            | 钢 材<br>厚 度<br>(mm) | 力 学 性 能                                        |                                                |                            |                                                                 |                                                                 | 冷 弯 试 验<br>180° |
|------------|------------|--------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|
|            |            |                    | 极 限 强 度<br>$\sigma_b$<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 屈 服 强 度<br>$\sigma_s$<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 延 伸 率<br>$\delta_5$<br>(%) | 低 温 冲 击 韧 性<br>$\alpha_k(-40^\circ)$<br>(kg-m/cm <sup>2</sup> ) | 时 效 后<br>冲 击 韧 性<br>$\alpha_k$ (时效后)<br>(kg-m/cm <sup>2</sup> ) |                 |
| 牌 号        | 代 号        |                    | 不 小 于                                          |                                                |                            |                                                                 |                                                                 |                 |
| 16 桥       | 16q        | 板 8~20<br>条 8~40   | 38                                             | 23                                             | 26                         | —                                                               | 3.5                                                             | $d=1.5 a$       |
| 16 锰 桥     | 16 Mn q    | ≤16                | 52                                             | 35                                             | 21                         | 3                                                               | 3                                                               | $d=2 a$         |
|            |            | 17~25              | 50                                             | 33                                             | 19                         | 3                                                               | 3                                                               | $d=3 a$         |
|            |            | 26~36              | 48                                             | 32                                             | 19                         | 3                                                               | 3                                                               | $d=3 a$         |
|            |            | 38~50              | 48                                             | 30                                             | 19                         | 3                                                               | 3                                                               | $d=3 a$         |
| 15 锰 钒 氮 桥 | 15 Mn VN q | 10~25              | 58                                             | 43                                             | 18                         | 3                                                               | 3                                                               | $d=3 a$         |
|            |            | 26~38              | 56                                             | 42                                             | 17                         | 3                                                               | 3                                                               | $d=3 a$         |
|            |            | 40~50              | 54                                             | 40                                             | 17                         | 3                                                               | 3                                                               | $d=3 a$         |

注: 本表系根据国家标准 (GB 714-74) (草案)

## 二、钢的塑性及韧性

荷载作用下的钢材，若在断裂前产生较大的塑性变形，则称此钢材具有延展性，或称此钢材具有塑性。

钢材的塑性常用静力拉伸试验中的延伸率和断面收缩率来衡量。若试件的原标距长度为 $l_0$ ，而 $\Delta l$ 为断裂时的总伸长量，则其延伸率 $\delta$ 可用下式求得：

$$\delta = \left[ \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \right] \%$$

由于延伸率与试件的尺寸有关，除应规定试件的标距长度外，还应规定标距长度 $l_0$ 与试件原直径 $d_0$ 之比值。当 $l_0/d_0=5$ 时，其延伸率以 $\delta_5$ 表示；若 $l_0/d_0=10$ ，则以 $\delta_{10}$ 表示。

塑性良好的钢材，不仅使钢结构在破坏前产生较大的变形，形成结构物破坏的予兆，容易引起人们的注意；而且，塑性与韧性有关，塑性良好的钢材，常常表现其韧性也较好。钢桥的设计理论，也与钢材的塑性有关。因此，对桥梁用钢的延伸率应加以规定。

钢材的冷弯试验，是从另一个方面来揭示钢材的塑性，它反映了钢材的冷加工性能。冷弯试验通常用宽度等于两倍厚度的钢板条作试件，将试件冷弯 $180^\circ$ ，弯心直径 $d$ 等于 $1.5a$ ， $2a$ 或 $3a$ （ $a$ 为试件厚度）。若试件冷弯后，弯曲处的外表及侧面无裂缝或分层现象，则认为合格。冷弯性能较好的钢材，有利于制造，故桥梁用钢需进行冷弯试验。

钢材的韧性是指钢材破坏前所吸收的机械能量。若外载施予钢材的机械能量没有其他方面的损失，则钢材的韧性可以认为是钢材破坏所需要的能量。单向拉伸试验所得出的应力—应变图（见图 1-2-1），在曲线下的总面积，能表达单向拉伸情况下的韧性，但不能反映复杂应力状态下的韧性。目前，我国是以冲击韧性试验中的冲击能量来衡量钢材的韧性。

常用的冲击韧性试验是将带缺口的试件简支于试验架上，然后用摆锤冲断试件，求出试件破坏时所耗费的冲击能量，以此与冲击韧性规定值作比较。冲击试验所用的试件有多种，国外有用 U 形缺口试件（又称梅氏试件），或用 V 形缺口试件（又称却贝氏试件），我国国标 YB 19-64 规定采用 U 形缺口试件。由于试件带有缺口，在冲击荷载作用下，缺口处有应力高峰，且该处应力较为复杂，因此，目前常用这种试验来衡量复杂应力状态下钢材的韧性。

## 三、钢的脆性断裂

钢结构在静力或加载次数不多的动荷载作用下发生断裂，这种断裂简单地可分为两类：一种是断裂前构件有较大的变形，例如单向拉伸试杆的断裂（低碳钢），就是属于这一种。这种断裂称为塑性断裂（或称韧性断裂）；另一种断裂，是断裂前构件变形甚小，裂缝开展速度甚快（可达 1800 米/秒），断裂发生突然，这种断裂称为脆性断裂（简称脆断）。

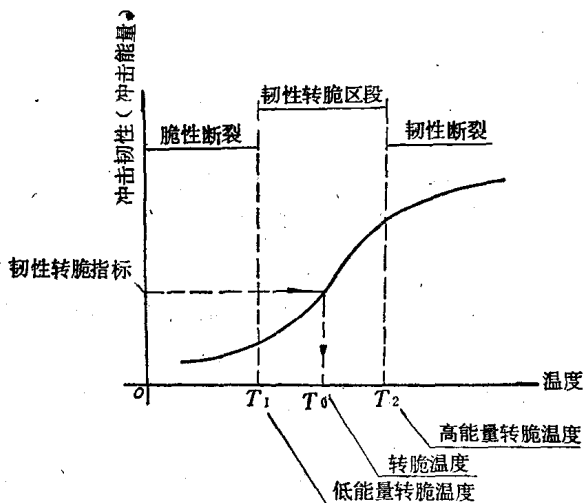
从微观考察及断口外貌观察可知：钢材的塑性断裂表现为材料晶粒内部在剪应力作用下发生永久相对位移以至最后断裂。断口面与剪应力方向平行，断口呈纤维状，色泽灰暗，不能反光。而钢材的脆性断裂表现为材料晶粒在拉应力作用下断裂，断口面与拉应力方向垂直，断口能反光，晶粒状的外观明显。

若从力学观点来分析，钢材的塑性断裂是由于剪应力超过晶粒抗剪能力而产生，而脆性断裂是由于拉应力超过晶粒抗拉能力而产生。故若剪应力先超过晶粒抗剪能力，则将发生塑性断裂；若拉应力先超过晶粒抗拉能力，则将发生脆性断裂。因此，钢材是发生塑性断裂抑或脆性断裂，它和剪应力与拉应力的比值有关。在多向拉应力的情况下，最大剪应力与最大

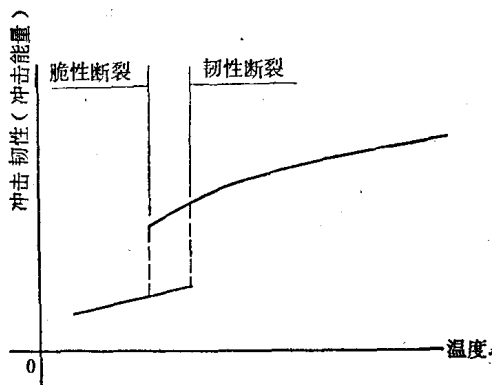
拉应力的比值, 要比受单向拉应力时为小, 因此, 多向拉应力的应力状态是引起脆断的一个重要因素。

钢材的脆断与其韧性有密切关系, 韧性不好的钢材, 在不利的条件下 (例如低温及快速加载等), 有可能使钢材发生脆断, 因此, 常用冲击韧性来判断钢材的脆断倾向。

钢材的冲击韧性与温度有关, 低温时, 冲击韧性将显著下降。图 1-2-2(a) 表示用 V 形缺口试件进行冲击韧性试验所得出的冲击能量与温度的关系曲线, 在图中右侧较高的冲击能量区段, 钢材以塑性断裂为主。在左侧较低的冲击能量区段, 钢材以脆性断裂为主。在这两个区段之间为韧性转脆区段, 在这个区段里, 冲击韧性值不稳定, 变化极大, 试件断口表现部分呈脆性断裂, 部分呈韧性断裂。图 1-2-2(b) 为 U 形缺口试件得出的冲击能量与温度的关系曲线, 高冲击能量与低冲击能量区段均为平缓曲线, 而中间则为韧性转脆区段。为了避免钢结构脆断, 钢结构的使用温度应高于韧性转脆区段的最高温度。



(a) V形缺口试件



(b) U形缺口试件

图 1-2-2 冲击能量与温度关系曲线

效后的钢材的冲击韧性将显著降低, 故桥梁钢也要求做时效后的冲击韧性试验, 以判断钢材在时效后的抗脆断性能。

影响钢材的抗脆断性能的因素很多, 除上面提到的外, 还有:

- (1) 钢材的抗脆断性能与加载速度有关。加载速度愈高, 钢材愈容易发生脆断;
- (2) 钢材的抗脆断性能与钢材的化学成分有关。含炭较多的钢材, 其抗脆断性能将有所降低;
- (3) 试件的大小也影响抗脆断性能。厚钢板比薄钢板较易脆断。
- (4) 残余应力对抗脆断性能也有影响。低温下发生低应力的脆断, 常与残余应力有关。

目前我国对桥梁钢抗脆断性能的检查方法是: 选定一定数值的冲击能量作为指标, 检查在  $-40^{\circ}\text{C}$  低温下钢材的冲击韧性, 以判断钢材的脆断倾向。

冷加工对钢材的抗脆断性能也有影响, 冷加工降低塑性, 因而也降低冲击韧性。钢材经冷加工后, 在室温下放置一段较长的时间, 或在较高的温度 ( $100^{\circ}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ) 放置较短的时间, 钢材的强度与塑性将产生变化, 它的冲击韧性将有所下降, 钢材性质的这个变化过程称为机械时效。表 1-2-1 中的时效, 系指机械时效。常用的机械时效处理方法是: 将钢材拉伸到塑性变形 10%, 然后在  $250^{\circ}\text{C}$  人工时效一小时, 随后在空气中冷却。经过机械时

(5) 焊接工艺也影响钢材的抗脆断性能。离焊缝近的过热区, 其冲击韧性将显著下降。例如, 16 Mn 钢的角焊缝接头的过热区, 其  $-20^{\circ}\text{C}$  的冲击韧性试验得出的冲击能量, 比母材要低得多, 某些试验数据表明其降低值达 30% 左右。

由于影响钢结构脆断的因素很多, 实际的应力状态又与试验的应力状态不符, 因此, 冲击韧性试验很难确切地把钢材的抗脆断性能反映出来, 随着高强度钢的应用, 更加暴露了用冲击韧性试验来判断钢材抗脆断性能的缺点。近几十年来, 在研究钢结构断裂问题方面, 发展了一门新的学科——断裂力学。从断裂力学的观点来看, 钢结构(特别是大型结构与焊接结构)的缺陷或裂纹总是难免的, 有些钢结构带着各种缺陷或裂纹而安全地使用, 有些钢结构则因为缺陷或裂纹的扩展而遭到破坏, 断裂力学就是研究裂纹扩展的条件和规律, 从而有效地防止结构的断裂。目前我国在钢桥方面也正在研究这门科学, 寻求一种合理的判断钢材抗断裂性能的方法, 以弥补冲击韧性试验方法的不足。

## 四、钢的疲劳强度

### (一) 疲劳破坏的概念

前面已经讲过, 拉伸试件在静载作用下, 当应力达到极限强度  $\sigma_b$  时, 试件才会被拉断。若试件所受的荷载是变化的: 时大时小, 或时而受拉, 时而受压, 在这样的荷载多次反复作用下, 即使试件的最大应力低于极限强度  $\sigma_b$ , 甚至低于屈服强度  $\sigma_s$ , 试件也可能破坏, 这种破坏是一种突然的脆性断裂, 通常称为疲劳破坏。

钢构件的疲劳破坏是这样形成的: 首先在构件中开始形成微观裂纹, 由于裂纹根部的应力集中而使其逐渐扩展, 削弱了构件的截面, 在反复荷载作用下, 最后发生突然的断裂。

疲劳破坏既是由于承受多次反复应力而产生, 因此, 它与反复应力的种类(拉、压)、循环特征(见后)、循环次数及应力集中等因素有关。反复应力按其绝对值的大小分最大应力  $\sigma_{\max}$ (上限应力)和最小应力  $\sigma_{\min}$ (下限应力)。当最大应力与最小应力的绝对值不相等时, 如图 1-2-3 中所示, 称为不对称循环; 若  $\sigma_{\max}$  为拉应力, 如图中之(a)、(b), 称为以拉应力为主的不对称循环; 若  $\sigma_{\max}$  为压应力, 如图中之(c), 称为以压应力为主的不对称循环; 当  $\sigma_{\max}$  为拉应力而  $\sigma_{\min}=0$ (图 1-2-4), 这是属于以拉应力为主的不对称循环的一个特殊情况, 称为脉冲循环; 当  $\sigma_{\max}$  为拉应力, 而  $\sigma_{\min}$  为压应力, 且此两应力之绝对值相等, 如图 1-2-5 所示, 称为对称循环; 若  $\sigma_{\max}$  及  $\sigma_{\min}$  均为拉应力, 且大小相等, 则为静力受拉。

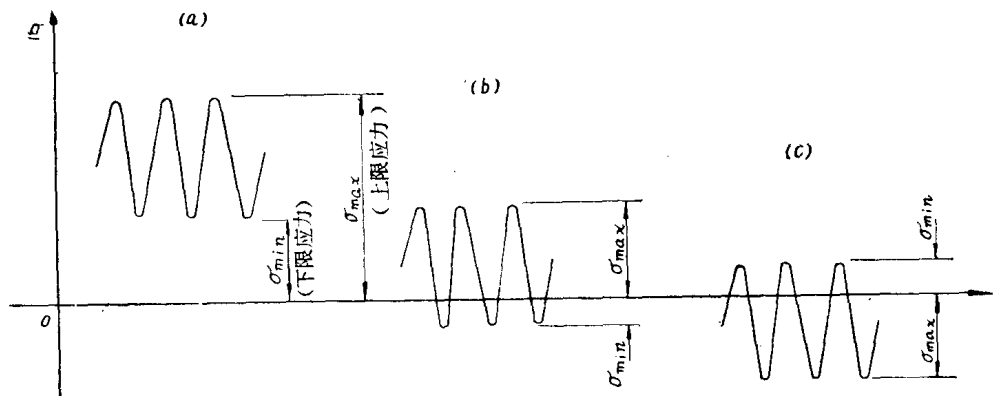


图 1-2-3