

桥梁工程  
检测手册

刘自明 主 编  
王邦楣 副主编

人民交通出版社  
China Communications Press



Qiaoliang Gongcheng Jiance Shouce

# 桥梁工程检测手册

刘自明 主 编  
王邦楣 副主编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

桥梁工程检测工作是保证在建桥质量、成桥安全运营和旧桥承载力评估的必要技术手段。本书就桥梁工程检测的内容进行了全面、系统地论述,共4篇计24章。内容包括:工程材料检测,地基基础检测,上部结构检测,以及桥梁工程检测使用的主要元件、仪表、仪器设备。

本书可供桥梁工程技术人员参考,可作为从事检测工作人员的指导性参考书,亦可作为高等院校有关工程专业的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程检测手册/刘自明主编.-北京:人民交通出版社,2001.12  
ISBN 7-114-04162-4

I.桥… II.刘… III.桥梁工程-检测-技术手册 IV.U446-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第098278号

### 桥梁工程检测手册

刘自明 主编

正文设计:王静红 责任校对:戴瑞萍 责任印制:张凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:47 字数:1182千

2002年4月 第1版

2002年4月 第1版 第1次印刷

印数:0001—5000册 定价:78.00元

ISBN 7-114-04162-4

U·03045

# 《桥梁工程检测手册》

## 编写委员会

主    编	刘自明		
副  主  编	王邦楣		
编写组成员	党志杰	陈开利	蔡登山
	林亚超	汪双炎	荆秀芬
	刘  宏	李兴华	汪正兴
	欧阳华林		

# 前 言

近 50 年来,特别是改革开放 20 余年来,我国兴建了许多各种类型的公路桥梁、铁路桥梁、铁路公路两用桥梁、城市桥梁及立交桥等。这些桥梁在建设和运营管理期间都需要进行大量的检测工作,以保证建设质量和运营安全。

实践证明,对桥梁工程进行客观、准确、及时的检测,是保证在建桥工程质量的重要技术手段,有时甚至是施工必不可少的步骤之一;同时也是了解成桥(特别是病害桥)健康状况、查清病害程度与原因的重要手段。

本书编著者们的所在单位——铁道部大桥工程局桥梁科学研究院自 1959 年建院以来,曾先后为南京长江大桥、成昆铁路、枝城长江大桥、九江长江大桥、长东黄河大桥、天津永和斜拉桥、钱塘江二桥、孙口葵河大桥、深圳大沙河桥、武汉长江二桥、广东虎门大桥、广东汕头海湾大桥、南昆铁路清水河大桥、宜昌西陵长江大桥、武汉白沙洲长江大桥、武汉军山长江大桥、武汉江汉五桥和芜湖长江大桥等近 100 座各类桥梁工程进行过一系列的试验、检测和研究工作,在钢结构、预应力混凝土结构、钢筋混凝土结构、地基基础、建筑材料和桥梁科技信息等方面均有所成就。本书的编著者们曾长期从事相关工作,既有相当的理论水平,又有丰富的实践经验。本手册有理论、有实例,全面系统地讲述了桥梁工程检测工作,具有较强的实用性和可操作性,能较好地满足桥梁工程检测工作的实际需要。

笔者认为,系统地分析和总结国内外桥梁工程检测的经验和方法,可以促进桥梁结构检测理论和技术的发展,是进一步发展桥梁建设事业的需要,是确保桥梁安全运营的需要,也是从事桥梁设计、施工、检测和管理工作人员的愿望。

本书共 4 篇,计 24 章。第一篇讲述工程材料检测,第二篇讲述地基基础检测,第三篇讲述上部结构检测,第四篇讲述检测使用的主要元件、仪表和仪器设备等。笔者在介绍检测方法的同时,一般都在理论上作了一些论述,力图将理论与实践相结合的原则贯穿于本书的始终。

笔者在此对支持本书出版的人民交通出版社表示感谢。

限于水平,本书内容如有错误和不妥之处,恳请读者指正。

笔 者

2001 年 9 月于武汉

# 目 录

## 第一篇 工程材料检测

<b>第一章 钢材的力学性能测试</b> .....	3
第一节 桥梁工程用钢材及其物理力学性能.....	3
第二节 拉伸试验.....	9
第三节 压缩试验.....	12
第四节 硬度试验.....	12
第五节 冷弯试验.....	14
第六节 冲击试验.....	17
第七节 疲劳试验.....	18
第八节 有关线材的几项试验.....	20
<b>第二章 砂、石、水及水泥的检测</b> .....	23
第一节 砂的检测.....	23
第二节 石的检测.....	34
第三节 水质的检测.....	46
第四节 水泥的检测.....	54
<b>第三章 砂浆及混凝土的检测</b> .....	65
第一节 砂浆的检测.....	65
第二节 一般混凝土的检测.....	68
第三节 泵送混凝土的检测.....	93
第四节 混凝土的收缩与徐变.....	95
<b>第四章 断裂参数的测试</b> .....	100
第一节 线弹性断裂力学的概念.....	100
第二节 断裂韧性及 $K_{IC}$ 的测试.....	102
第三节 疲劳裂纹扩展速率的检测.....	111
第四节 弹塑性断裂力学概念.....	118
第五节 临界 $J$ 积分( $J_{IC}$ )的测试.....	120
<b>第五章 损伤力学参数的测试</b> .....	132
第一节 损伤力学概念.....	132
第二节 损伤变量与有效应力.....	134
第三节 金属材料的损伤.....	135
第四节 损伤力学参数的测试.....	137

## 第二篇 地基基础检测

<b>第一章 地基承载力检测</b> .....	147
第一节 浅平基的特点及设计原则.....	147
第二节 土及碎石地基承载力检测.....	148
第三节 荷载板试验.....	150
第四节 触探试验法.....	153
<b>第二章 沉井下沉时的检测</b> .....	158
第一节 沉井基础的特点.....	158
第二节 沉井侧面摩阻力检测.....	169
第三节 沉井正面阻力检测.....	173
第四节 沉井下沉现场检测实例.....	176
<b>第三章 基桩检测</b> .....	206
第一节 预制钢筋混凝土桩质量控制和检测.....	206
第二节 钻(挖)孔灌注桩质量控制和检测.....	224
第三节 基桩承载力检测.....	236
第四节 基桩负摩阻力检测.....	246
第五节 基桩承载力检测实例.....	247
<b>第四章 管柱检测</b> .....	258
第一节 管柱基础的几个问题.....	258
第二节 管柱震动因素分析.....	259
第三节 管柱震动下沉时的应力检测.....	263
第四节 管柱钻孔岩石承载力检测.....	265

## 第三篇 上部结构检测

<b>第一章 钢结构检测</b> .....	281
第一节 桥梁钢的牌号和性能要求.....	281
第二节 板梁、箱梁及桁梁的制造和架设.....	287
第三节 斜拉桥及悬索桥钢箱梁制造与安装.....	305
第四节 钢管拱制造质量与吊装检测.....	321
第五节 高强度螺栓制造质量与施拧检测.....	346
<b>第二章 钢筋混凝土与预应力混凝土结构检测</b> .....	363
第一节 预制结构的质量检验与安装检测.....	363
第二节 现浇混凝土结构检测.....	373
第三节 预应力锚具、夹具和连接器检测.....	397
第四节 张拉设备校验.....	406
第五节 张拉工艺和张拉力控制.....	409
第六节 成品梁试验.....	417

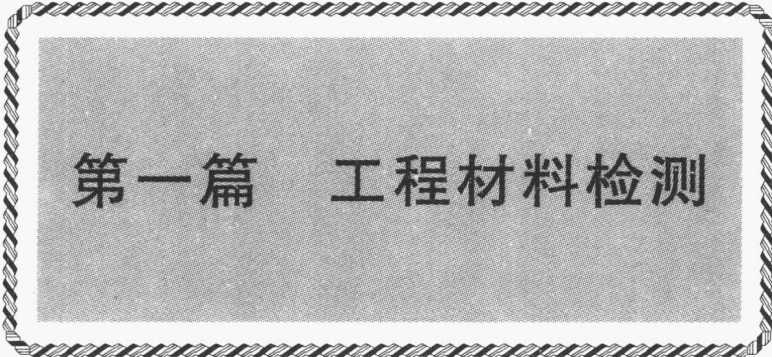
<b>第三章 斜拉桥检测</b> .....	436
第一节 斜拉桥的组成和结构特点.....	436
第二节 斜拉索的检测.....	438
第三节 斜拉桥施工过程中塔梁的检测.....	456
第四节 斜拉桥的施工控制.....	461
<b>第四章 悬索桥检测</b> .....	471
第一节 悬索桥的组成和结构特点.....	471
第二节 主缆制造与安装.....	473
第三节 吊索制造与安装.....	488
第四节 锚碇建筑质量控制.....	497
第五节 主鞍、散索鞍、索夹制造与安装.....	511
第六节 主塔的建造和质量控制.....	522
第七节 钢加劲梁制造和安装质量检测.....	522
第八节 悬索桥的施工控制.....	522
<b>第五章 支座与伸缩装置检测</b> .....	530
第一节 支座检测.....	530
第二节 伸缩装置检测.....	537
<b>第六章 桥面及有关设施检测</b> .....	541
第一节 铺装层检测.....	541
第二节 栏杆与灯柱检测.....	552
<b>第七章 成桥检测</b> .....	553
第一节 静载试验.....	553
第二节 动载试验.....	567
第三节 成桥检测实例.....	573
<b>第八章 旧桥检测与评估</b> .....	583
第一节 检测与评估的意义.....	584
第二节 检查、检测及其分类.....	585
第三节 检测与评估的内容方法.....	586
第四节 检测与评估的依据以及应提交的成果.....	597
第五节 旧桥检测与评估实例 ——介绍杭州钱塘江大桥检测与评估工作情况.....	602
第六节 关于剩余寿命的评估.....	637

## 第四篇 桥梁检测主要元件、仪表、仪器设备

<b>第一章 机械式仪表</b> .....	677
第一节 位移计.....	677
第二节 手持式引伸仪.....	682
第三节 水准管式倾角仪.....	684



<b>第二章 电子仪表</b> .....	685
第一节 电子位移计.....	686
第二节 光电挠度计.....	688
<b>第三章 电阻应变片及电阻应变仪</b> .....	693
第一节 电阻应变片的种类.....	693
第二节 电阻应变片的选择.....	695
第三节 电阻应变片的贴片技术.....	695
第四节 电阻应变仪的原理.....	697
第五节 电阻应变仪的种类及其选择.....	700
第六节 电阻应变仪的操作.....	704
<b>第四章 电阻应变式传感器</b> .....	704
第一节 应变式测力传感器.....	705
第二节 应变式位移传感器.....	706
第三节 差动式应变计.....	708
<b>第五章 动力检测仪器</b> .....	710
第一节 振动传感器概述.....	710
第二节 电动式传感器.....	713
第三节 压电晶体传感器.....	720
第四节 常用记录与分析仪器.....	725
<b>第六章 钢弦式传感器及其接收仪</b> .....	728
第一节 工作原理.....	729
第二节 类型及品牌.....	730
第三节 使用仪器及方法.....	733
<b>第七章 测温元件及其接收仪</b> .....	734
第一节 元件类型与工作原理.....	734
第二节 测温元件的制作及标定.....	736
第三节 使用仪器及方法.....	737



第一篇 工程材料检测



# 第一章 钢材的力学性能测试

## 第一节 桥梁工程用钢材及其物理力学性能

### 一、桥梁工程用钢材的分类

按照钢的化学成分、品质、冶炼方法和用途的不同,可对桥梁工程用的钢材进行不同的分类。

#### 1. 按冶炼方法分类

按冶炼设备的不同,即炼钢方法不同,分为平炉钢、转炉钢和电炉钢三大类。

我国大量的碳素钢和低合金结构钢都是在转炉和平炉中炼制的。

#### 2. 按化学成分分类

按化学成分可以把钢分为碳素钢和合金钢(低合金结构钢实际是属于合金钢)两大类。

在钢的化学成分中,碳元素对钢的性能起主要作用,而其它元素(如硅、锰、硫、磷等)因含量不多,不起决定性作用的称为碳素钢。

碳素钢分为普通碳素钢和优质碳素钢两种。按其含碳量优质碳素钢又分为低碳、中碳、高碳钢。普通碳素钢则分为甲类、乙类和特类钢。优质碳素钢按含锰量分为普通含锰量和较高含锰量两种。

优质碳素钢中,低碳钢的含碳量小于 0.25%,中碳钢的含碳量在 0.25%~0.26%之间,高碳钢的含碳量在 0.6%以上。优质碳素钢必须同时保证钢的化学成分和机械性能的要求。

普通碳素钢按照所保证的技术条件,甲类钢保证机械性能,也保证一定的化学成分;乙类钢保证标准规定的化学成分含量,但不保证机械性能;特类钢既保证机械性能,也保证化学成分的符合标准要求。

钢的机械性能通常是指屈服强度、抗拉强度、伸长率和冷弯四项。

低合金结构钢是在普通碳素钢中加入少量(除铁以外的其它元素的总量不超过 3%)合金元素(如锰、硅、钒、钛、银、硼、稀土等)而成。这些元素的加入既改善了钢的综合性能,有时还可以使钢具有某些特殊性能。用它代替普通碳素钢,可以大大节约钢材。

含有一种或多种适量的合金元素,具有较好的或特殊性能的钢称为合金钢。按其合金元素的总含量分为:

低合金钢(合金元素总含量小于 5%);

中合金钢(合金元素总含量为 5%~10%);

高合金钢(合金元素总含量大于 10%)。

#### 3. 按品质分类

根据钢中所含杂质的多少可分为普通钢(包括甲类、乙类、特类)、优质钢和高级优质钢三类(高级优质钢是在优质钢后面加“A”表示)。高级优质钢主要是将硫控制在 0.020% ~ 0.030%,磷含量控制在 0.035%以内,对其它混入杂质限制更严。

#### 4. 按用途分类

钢的用途与其形状有关,所以按用途分类时实际上是按形状来分类。

桥梁用钢按其形状分类可分为型材、棒材(或线材)和异型材(特种形状)等三类。

型材主要包括型钢和钢板,主要用于大跨度钢桥。

线材主要包括钢筋、预应力钢筋(丝)、高强钢丝(包括桥梁缆索用镀锌钢丝)和钢绞线等,它是钢筋混凝土桥梁建筑中使用的重要材料之一。

异型材是为特殊用途而制作的,如预应力混凝土桥梁中的锚具、夹具和大变形伸缩件中使用的异型钢梁等。

## 二、桥梁用钢材的有关力学标准

我国的公路桥梁工程用钢,按其用途主要分钢桥用钢和钢筋混凝土桥梁用钢两大类。

### 1. 钢桥用钢

钢桥上使用的钢材主要是低合金钢,如 16 锰(16Mn)、16 锰桥(16Mnq)钢均属低合金钢,现在 16Mnq 钢已成为建造钢桥主体结构的基本材料,最近几年,15 锰钒氮桥(15MnVNq)、14 锰钒桥(14MnNbq)等钢种也得到了应用。

我国常用桥梁钢的力学性能如表 1-1-1 所示,主要是各种不同型号的钢板。

常用桥梁钢的力学性能

表 1-1-1

钢号		钢材厚度 (mm)	力学性能					冷弯试验 180°
			极限强度 $\sigma_b$ (MPa)	屈服强度 $\sigma_s$ (MPa)	延伸率 $\delta_5$ (%)	低温冲击韧性 $\alpha_k(-40^\circ)$	时效后冲击韧性 $\alpha_k$ (时效后)	
型号	代号		不小于					
16 桥	16q	板 8~20 条 8~40	380	230	26	—	3.5	$d = 1.5a$
		$\leq 16$	520	350	21	3	3	$d = 2a$
16 锰桥	16Mnq	17~25	500	330	19	3	3	$d = 3a$
		26~36	480	320	19	3	3	$d = 3a$
		38~50	480	300	19	3	3	$d = 3a$
15 锰钒氮桥 - A	15MnVNq - A	10~25	600	450	18	3	3	$d = 3a$
		26~38	560	420	17	3	3	$d = 3a$
		40~50	540	400	17	3	3	$d = 3a$
15 锰钒氮桥 - B	15MnVNq - B	$\leq 25$	580	430	19	4	4	$d = 3a$
		26~60	560	420	19	4	4	$d = 3a$

续上表

钢号		钢材厚度 (mm)	力学性能					
			极限强度 $\sigma_b$ (MPa)	屈服强度 $\sigma_s$ (MPa)	延伸率 $\delta_5$ (%)	低温冲击 韧性 $\alpha_k(-40^\circ)$	时效后 冲击韧性 $\alpha_k(\text{时效后})$	冷弯试验 180°
型号	代号		不小于					
15 锰 钒氮桥 -C	15MnVNq -C	≤25	580	430	19	7	7	$d = 3a$
		26~60	560	420	19	7	7	$d = 3a$
14 锰 铌桥	14MnNbq	6~16	530~685	370	20	4	4	$d = 2a$
		17~25	510~665	355	19	4	4	$d = 3a$
		26~36	500~645	350	19	4	4	$d = 3a$
		37~60	490~625	340	19	4	4	$d = 3a$

## 2. 钢筋混凝土桥梁用钢

钢筋混凝土桥梁用钢可分为钢筋、预应力混凝土用冷拉钢筋、冷拔钢丝、高强钢丝、钢绞线和精轧螺纹粗钢筋。

### 1) 钢筋

钢筋混凝土结构用钢筋按其外形可分为光圆钢筋和带肋(螺纹)钢筋两类,螺纹钢筋又分为人字形和螺旋形两种。

钢筋按力学性能分为四个等级,划分标准如表 1-1-2 所示。

钢筋的机械性能(GB 13013—91, GB 1499—98)

表 1-1-2

品 种	强度等级 代号	公称直径 (mm)	屈服点 $\sigma_s$	抗拉强度 $\sigma_b$	伸长率 $\delta_5$	冷弯 $d = \text{弯心直径}$ $a = \text{钢筋直径}$
			(MPa)	(MPa)	(%)	
光圆钢筋	R235	8~20	235	370	25	180° $d = a$
带 肋 钢 筋	HRB335	$\frac{6 \sim 25}{28 \sim 50}$	335	490	16	$\frac{180^\circ d = 3a}{180^\circ d = 4a}$
	HRB400	$\frac{6 \sim 25}{28 \sim 50}$	400	570	14	$\frac{180^\circ d = 4a}{180^\circ d = 5a}$
	HRB500	$\frac{6 \sim 25}{28 \sim 50}$	500	630	12	$\frac{180^\circ d = 6a}{180^\circ d = 7a}$

注:参见《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》(GB 13013—91)和《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB 1499—98)。

### 2) 预应力混凝土用冷拉钢筋和冷拔钢丝

冷拉是钢筋在常温下受外力拉伸超过屈服点,以提高钢筋的屈服极限、强度极限和疲劳极限的一种加工工艺。但冷拉后会降低钢筋的延伸率、断面收缩率、冷弯性能和冲击韧性。

冷拔是用直径 6~8mm 的普通碳素钢筋条,把钢筋用强力拉过比它本身直径还小的硬质合金拉丝模,这时钢筋同时受到纵向拉力和横向压力的作用,截面变小长度拉长,经过几次拉丝,其强度比原来有极大提高。

冷拉钢筋和冷拔钢丝的力学性能要求如表 1-1-3 所示。

冷拉钢筋和冷拔低碳钢丝机械性能 (GB 1499—91)

表 1-1-3

钢筋种类	直径 (mm)	屈服强度	抗拉强度	伸长率 (%)		冷弯		备注
		$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\sigma_3$ (MPa)	$\delta_5$	$\delta_{10}$	弯心直径	弯曲角度	
		不小于						
冷拉 II 级钢筋	≤25	450	510	—	10	3d	90°	—
	28~40	430	490			4d		
冷拉 III 级钢筋	8~40	500	570	—	8	5d	90°	—
冷拉 IV 级钢筋	10~28	700	835	—	6	5d	90°	—
冷拔低碳钢丝甲级	4	—	700	2.5		反复弯曲 180° 4次		伸长率标距为 100mm
	5		650	3				
冷拔低碳钢丝乙级	3~5	—	550	2.0				

注:1.表中  $d$  为钢筋直径,直径大于 25mm 的钢筋,弯心直径增加  $1d$ ;

2.冷弯试验后无裂纹、鳞落或断裂现象;

3.钢筋冷拉后,其表面不应发生裂纹。

### 3) 预应力混凝土用钢丝和钢绞线

钢厂用优质碳素结构钢经过冷加工、再经回火、冷轧或绞捻等加工而成的高强度钢丝或钢绞线,塑性好、无接头,使用方便、专供预应力混凝土结构使用。

按《预应力混凝土用钢丝》(GB/T 5223—95)的规定,钢丝分为冷拉钢丝(代号 RCD)、消除应力钢丝(代号 S)、消除应力刻痕(代号 SI)钢丝 3 种;钢丝直径有 3mm、4mm、5mm、6mm、7mm、8mm 和 9mm 等七种规格。其抗拉强度不小于 1470MPa。

冷拉钢丝的力学性能如表 1-1-4 所示。

冷拉钢丝的尺寸及力学性能

表 1-1-4

公称直径 (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa) 不小于	规定非比例 伸长应力 $\sigma_p$ (MPa) 不小于	伸长率 (%) $L_0 = 100\text{mm}$ 不小于	弯曲次数	
				次数(180°) 不小于	弯曲半径 (mm)
3.00	1 470	1 100	2	4	7.5
	1 570	1 180			10
4.00	1 670	1 250	3	5	15
	1 470	1 100			
5.00	1 570	1 180			
	1 670	1 250			

注:规定非比例伸长应力  $\sigma_{p0.2}$  值不小于公称抗拉强度的 75%。

消除应力钢丝的力学性能如表 1-1-5 所示。

按《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224—95)的规定,钢绞线的直径有 9mm、12mm、15mm 等三种规格,由 7 根钢丝绞捻成。整根钢绞线的破坏荷载可达 259kN,屈服荷载可达 220kN(标准型)。

消除应力钢丝的力学性能

表 1-1-5

公称直径 (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa) 不小于	规定非比例 伸长应力 $\sigma_p$ (MPa) 不小于	伸长率 ( $L_0 = 100\text{mm}$ ) (%) 不小于	弯曲次数		松 弛		
				次数(180°) 不小于	弯曲半径 (mm)	初始应力 相当于公 称抗拉强 度的百分 数(%)	1000h 应力损失, %不大于	
							I级松弛	II级松弛
4.00	1 470 1 570	1 250 1 330	4	3	10	60	4.5	1.0
5.00	1 670 1 770	1 410 1 500						
	6.00	1 570 1 670		1 330 1 420	4	15	70	8
7.00		1 470		1 250				
8.00	20							
9.00	1 570	1 330		25				

注:1. I级松弛即普通松弛, II级松弛即低松弛, 它们分别适用所有钢丝;

2. 屈服强度  $\sigma_{p0.2}$  值为不小于公称抗拉强度的 85%。

预应力钢绞线的力学性能如表 1-1-6 所示。

预应力钢绞线力学性能 (GB/T 5224—1995)

表 1-1-6

钢绞线 结构	钢绞线 公称直径 (mm)	强度级别 (MPa)	整根钢绞 线的最大 负荷(kN)	屈服 负荷 (kN)	伸长率 (%)	1 000h 松弛率(%), 不大于			
						I级松弛		II级松弛	
						初始负荷			
						70%公 称最 大负荷	80%公 称最 大负荷	70%公 称最 大负荷	80%公 称最 大负荷
1×2	10.00	1 720	67.9	57.7	3.5	8.0	12	2.5	4.5
	12.00		97.9	83.2					
1×3	10.80		102	86.7					
	12.90		147	125					
1×7	标 准 型	9.50	102	86.6					
		11.10	138	117					
		12.70	184	156					
		15.20	239	203					
	259		220						
	模 拔 型	12.70	209	178					
15.20		300	255						

注:1. I级松弛即普通松弛级, II级松弛即低松弛级, 它们分别适用所用钢绞线;

2. 屈服负荷不少于整根钢绞线公称最大负荷的 85%;

3. 除非生产厂家另有规定, 弹性模量取为  $195 \pm 10\text{GPa}$ , 但不作为交货条件;

4. 《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224—1995)。



#### 4) 预应力混凝土用粗轧螺纹钢筋

粗轧螺纹钢筋是用热轧方法直接生产的一种无纵肋的钢筋,钢筋的连接是在端部用螺纹套筒进行连接接长,其力学性能如表 1-1-7 所示。

精轧螺纹钢筋力学性能

表 1-1-7

级 别	屈服点 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	伸长率 $\delta_5$ (%)	冷 弯	10h 松弛率 (%), 不大于
	不 小 于				
JL540	540	835	10	$d = 6a$ 90°	1.5
JL785	785	980	7	$d = 7a$ 90°	
JL930	930	1 080	6	—	

注:①  $a$  为钢筋直径(mm),其规格一般为 18mm,25mm,32mm,40mm; $d$  为弯心直径;

② 除非生产厂家另有规定,弹性模量取为  $2 \times 10^6$  MPa;

③ 冷弯指标不作为交货条件。

### 三、桥梁用钢的主要力学性能

钢材的主要力学性能,通常是指钢厂生产供应的钢材在标准条件下均匀拉伸、冷弯、冲击和疲劳荷载等单独作用下,显示出的各种机械性能。

#### 1. 抗拉性能

拉伸作用是钢材的主要受力形式。通过拉伸试验可测定三个主要的强度指标,如图 1-1-1 所示。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。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。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。

#### 2. 冷弯性能

钢材的冷弯性能,是衡量钢材在常温下弯曲加工产生塑性变形时对产生裂纹的抵抗能力的一项指标。钢材的冷弯性能可在材料试验机上通过冷弯试验显示出来。

#### 3. 冲击韧性

钢材的冲击韧性,是指钢材在冲击荷载作用下断裂时吸收能量的能力,它是衡量钢材抵抗脆性破坏的力学性能指标。

#### 4. 耐疲劳性

钢材若在交变应力(随时间作周期性交替变更的应力)的反复作用下,往往在工作应力远小于抗拉强度时发生骤然断裂,这种现象称为“疲劳破坏”。钢材抵抗疲劳破坏的能力称为耐疲劳性。

#### 5. 塑性

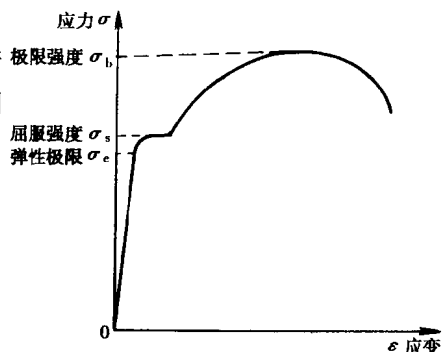


图 1-1-1 拉伸应力—应变曲线