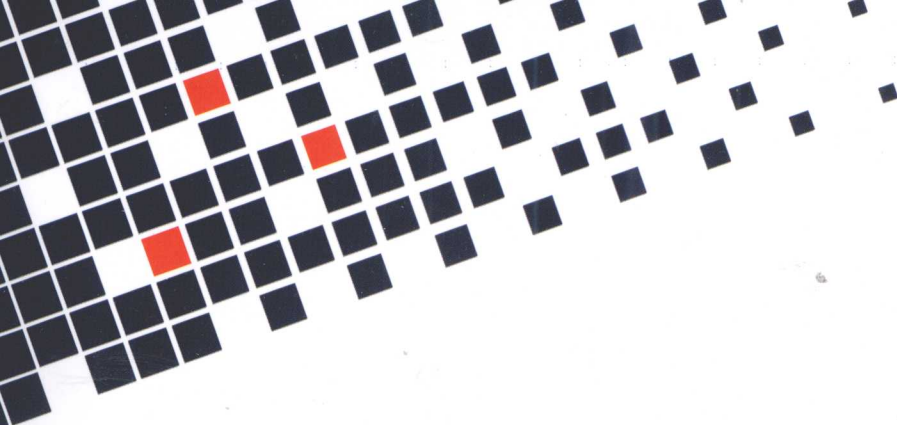




混凝土结构 复习与解题指导

张庆芳◇编著

中国建筑工业出版社

.. 013032880

TU37
85

混凝土结构复习与解题指导

张庆芳 编著



中国建筑工业出版社

TU37
85



北航

C1640633

088980810

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构复习与解题指导/张庆芳编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2013. 3
ISBN 978-7-112-15169-1

I. ①混… II. ①张… III. ①混凝土结构-高等学
校-教学参考资料 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 035904 号

混凝土结构复习与解题指导

张庆芳 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 300 千字

2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月第一次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978-7-112-15169-1

(23175)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书是对结构工程专业研究生考试复试必考课程之一的《混凝土结构》课程内容的提炼、总结。全书共分 10 章，介绍了混凝土结构所用的材料、设计方法，受弯、受压、受拉、受扭构件的截面承载力，挠度、裂缝宽度验算与耐久性，预应力以及公路桥涵等。每章大致分为复习思路、主要内容、疑难解答、知识拓展、典型例题和练习题 6 部分。还提供了 8 套模拟试题，部分题目来源于同济大学、天津大学、浙江大学等重点高校的往年考研真题。专业词汇部分包括混凝土结构和钢结构的常用专业词汇。

本书适合结构工程研究生考试复习使用，也可作为《混凝土结构》课程教学辅导用书。

* * *

责任编辑：武晓涛 李天虹

责任设计：张 虹

责任校对：肖 剑 王雪竹

前 言

《混凝土结构》是土木工程专业重要的学位课，也是结构工程专业研究生考试复试必考课程之一。由于本课程概念多、公式多、构造多，所以，需要科学地将主要内容进行提炼、归纳和总结，才能事半功倍，考试时得心应手。本书正是基于这一目的精心编写的。

编写依据

本书依据最新的国家标准、规范编写，包括：

- (1) 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153—2008；
- (2) 《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012；
- (3) 《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（本书简称为《混凝土规范》）；
- (4) 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62—2004（本书简称为《公路混凝土规范》）。

此外，混凝土、钢筋材料均按照最新版的国家标准介绍。

本书内容

(1) 每章大致分为复习思路、主要内容、疑难解答、知识拓展、典型例题和练习题 6 部分。复习思路阐述大致框架，从整体上把握主要内容；主要内容较详细地介绍本章的计算原理和公式；知识拓展开阔视野，增长见识，对研究生入学面试极有帮助；疑难解答详尽回答初学者具有代表性的困惑；典型例题给出详细的解题步骤，并对题目中可能遇到的问题做出解释；练习题是供读者检验所学知识的小测试。

(2) 提供模拟试题共 8 套，部分题目来源于同济大学、天津大学、浙江大学等重点高校的往年考研真题。

(3) 专业词汇，包括混凝土结构和钢结构的常用专业词汇。

如何使用本书

(1) 本书是对课程内容的提炼、总结，目的在于理清思路，建立知识框架，因此，很详细的规定，需要参看教材。

(2) 依据《公路混凝土规范》复习的读者，可参考第 1~9 章的内容，但须

注意区分两本规范的不同之处。尤其是预应力部分，建议参考建工类的教材对照理解其主要概念。

(3) 限于水平，不当甚至错误之处，欢迎读者指正。可发送电子邮件至 zqfok@126.com，必有答复。

致谢

王克丽教授为本书的架构提出了许多宝贵意见；邓海参加了第1、2、3章的编写；王依群博士、申兆武博士细心阅读了全稿，并提出改进意见。万艺进、袁光辉、陈彦恒等提供了不少的参考资料。作者在此一并表示感谢。

目 录

第 1 章 混凝土结构所用的材料	1
1.1 复习思路	1
1.2 主要内容	1
1.3 疑难解答	5
1.4 知识拓展.....	10
1.5 典型例题.....	13
1.6 练习题.....	13
1.7 习题答案.....	16
第 2 章 混凝土结构设计方法	19
2.1 复习思路.....	19
2.2 主要内容.....	19
2.3 疑难解答.....	24
2.4 知识拓展.....	28
2.5 典型例题.....	31
2.6 练习题.....	33
2.7 习题答案.....	34
第 3 章 受弯构件的正截面承载力	36
3.1 复习思路.....	36
3.2 主要内容.....	36
3.3 疑难解答.....	43
3.4 知识拓展.....	48
3.5 典型例题.....	50
3.6 练习题.....	53
3.7 习题答案.....	55
第 4 章 受弯构件的斜截面承载力	58
4.1 复习思路.....	58
4.2 主要内容.....	58
4.3 疑难解答.....	62
4.4 知识拓展.....	65

4.5	典型例题	67
4.6	练习题	71
4.7	习题答案	74
第5章	受压构件的截面承载力	77
5.1	复习思路	77
5.2	主要内容	77
5.3	疑难解答	89
5.4	知识拓展	92
5.5	典型例题	97
5.6	练习题	105
5.7	习题答案	107
第6章	受拉构件的截面承载力	109
6.1	复习思路	109
6.2	主要内容	109
6.3	疑难解答	112
6.4	典型例题	113
6.5	练习题	113
6.6	习题答案	115
第7章	受扭构件的截面承载力	116
7.1	复习思路	116
7.2	主要内容	116
7.3	疑难解答	120
7.4	知识拓展	121
7.5	典型例题	123
7.6	练习题	127
7.7	习题答案	129
第8章	挠度、裂缝宽度验算与耐久性	131
8.1	复习思路	131
8.2	主要内容	131
8.3	疑难解答	136
8.4	知识拓展	136
8.5	练习题	137
8.6	习题答案	138
第9章	预应力混凝土构件	140
9.1	复习思路	140

9.2 主要内容	140
9.3 疑难解答	153
9.4 练习题	156
9.5 习题答案	158
第 10 章 公路桥涵混凝土结构	160
10.1 复习思路	160
10.2 疑难解答	163
模拟试题一	182
模拟试题二	186
模拟试题三	189
模拟试题四	191
模拟试题五	194
模拟试题六	196
模拟试题七	199
模拟试题八	203
参考答案	207
附录 常用专业英语词汇	232
参考文献	237

第 1 章 混凝土结构所用的材料

1.1 复习思路

本章的复习思路见图 1-1。

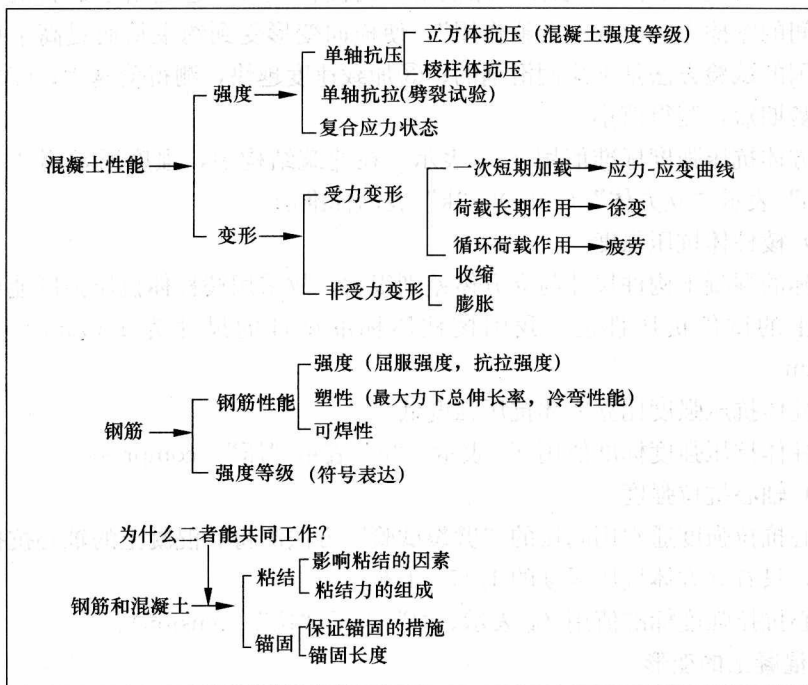


图 1-1 第 1 章复习思路

1.2 主要内容

1.2.1 混凝土

1. 混凝土的力学性能

混凝土的抗压强度分为立方体抗压强度与棱柱体抗压强度（又称轴心抗压强

度)。均应按照标准的试验方法测得。

(1) 立方体抗压强度与强度等级

由于立方体试件的强度比较稳定,立方体抗压强度为混凝土强度的基本指标。考虑到测得结果的离散性,取平均值减去 1.645 倍的标准差作为强度的标准值 ($\mu_f - 1.645\sigma_f$),此时,若认为统计数据符合正态分布,则可知保证率为 95%。

混凝土强度等级以英文 concrete 的首字母“C”后跟立方体抗压强度标准值(单位为 N/mm^2)表示,形如 C25、C30 等。

立方体抗压强度的测得值与以下因素有关:①试件尺寸越小,测得值越大,该现象称“尺寸效应”。我国标准试件尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$,对于边长为 100mm 或 200mm 的立方体试件,则应将测得值分别乘以尺寸效应系数 0.95 和 1.05;②试件上下表面不涂润滑油时测得值大,这是由于试验机与试件接触面间的摩擦力会形成“套箍作用”,使横向变形受到约束从而提高了抗压强度,我国的试验方法是不涂润滑剂的;③加载速度越快,测得值越大;④加载时混凝土龄期短,测得值小。

立方体抗压强度标准值用 $f_{\text{cu},k}$ 表示。在建筑结构中,强度通常用“ f ”表示,“cu”表示“立方体”(cube),“k”表示标准值。

(2) 棱柱体抗压强度

实际的混凝土构件尺寸与立方体差别很大,故采用棱柱体抗压强度能更好反映混凝土的试件抗压性能。我国棱柱体标准试件的尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 。

棱柱体抗压强度比立方体抗压强度低。

棱柱体抗压强度标准值用 f_{ck} 表示。“c”表示“压”(compress)。

(3) 轴心抗拉强度

轴心抗拉强度通常用间接的“劈裂试验”方法测得。混凝土的轴心抗拉强度值很小,只有立方体抗压强度的 $1/17 \sim 1/8$ 。

轴心抗拉强度标准值用 f_{tk} 表示。“t”表示“拉”(tension)。

2. 混凝土的变形

混凝土的变形分为受力变形和非受力变形。受力变形又可细分为一次短期加载、荷载长期作用和多次重复荷载作用 3 种情况。非受力变形包括收缩和膨胀。

(1) 一次短期加载下的变形

我国用棱柱体测定一次短期加载下的应力-应变曲线。一个典型的 $\sigma\epsilon$ 曲线如图 1-2 所示。

混凝土强度越高,下降段越陡,即下降相同幅度时变形小,这表明混凝土强度越高延性越差。

表示混凝土变形的模量(modulus)有:弹性模量(原点切线模量)、切线

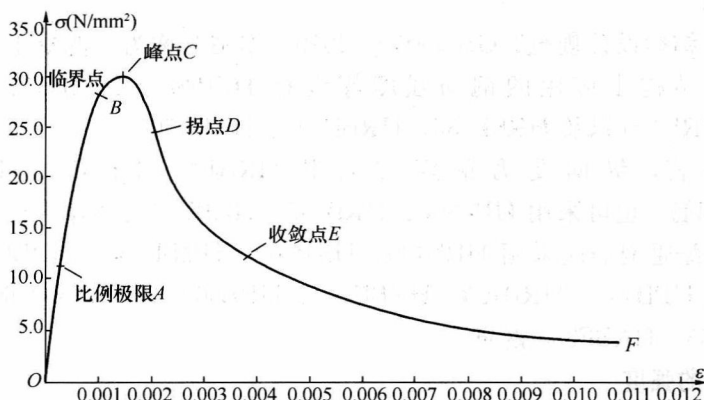


图 1-2 混凝土棱柱体受压应力-应变曲线

模量和割线模量。常用的是弹性模量 E_c (下角标“c”表示混凝土)。切线模量 E_t 用于弹塑性阶段 (“t”是切线 tangent 的首字母)。确定切线模量比较复杂, 实用上可采用割线模量 E'_c 代替。

(2) 荷载长期作用下的变形

混凝土构件在荷载或应力不变的情况下, 随着时间的增长变形会增大, 该现象称为徐变。也就是说, 混凝土构件在荷载长期作用下的变形包括两部分: 一次短期加载引起的变形和徐变引起的变形。

根据试验, 卸载瞬间恢复的应变比加载时的瞬时应变略小, 此后经过一个徐变的恢复过程, 该段时间内恢复的变形称“弹性后效”。绝大部分徐变变形不可恢复。

影响徐变的因素, 有以下几个方面: ①混凝土的组成成分与配合比; ②混凝土养护条件与使用环境; ③应力大小。故徐变有线性徐变 (发生于应力较小时) 与非线性徐变之分; ④构件的体表比。

徐变对混凝土构件受力性能的影响, 包括: ①梁受压区的徐变会使挠度增大; ②会引起截面应力的重分布; ③对于预应力构件, 徐变会导致预应力损失。徐变有时也是有利的, 例如, 受拉徐变会使混凝土拉应力减小, 从而延缓收缩裂缝的出现。

(3) 重复荷载作用下的变形

混凝土重复荷载作用下的 $\sigma-\epsilon$ 曲线用来确定混凝土的疲劳抗压强度。

(4) 混凝土的收缩与膨胀

混凝土凝结硬化时, 在空气中会体积收缩, 在水中会体积膨胀。若混凝土收缩时受到约束则可能产生裂缝。对于预应力构件, 混凝土收缩会引起预应力损失。

1.2.2 钢筋

《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（本书简称为《混凝土规范》）规定，混凝土结构中应用的钢筋强度等级有 HPB300、HRB335、HRB400、HRB500、RRB400 以及 HRBF335、HRBF400、HRBF500。

具体而言，纵向受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋，也可采用 HPB300、HRB335、HRBF335、RRB400 钢筋。梁、柱纵向受力普通钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋。箍筋宜采用 HPB300、HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500 钢筋，也可采用 HRB335、HRBF335 钢筋。

1. 钢筋的强度

包括极限抗拉强度和屈服强度两个指标。

2. 钢筋的塑性

包括最大力下总伸长率和冷弯性能两个指标。

3. 钢筋的冷拉与冷拔

冷拉只能提高钢筋的抗拉强度，冷拔则可同时提高钢筋的抗拉和抗压强度。

1.2.3 钢筋和混凝土的粘结

钢筋与混凝土之所以能够很好的共同工作，其原因是：①钢筋与混凝土之间存在粘结力，这是二者能够共同工作的基础；②钢筋与混凝土的温度线膨胀系数接近，不致由于温度的变化而破坏二者间的粘结力；③混凝土将钢筋包裹起来，提高了结构的耐久性。

1. 粘结力的组成

- (1) 钢筋与混凝土之间接触面上的化学胶着力；
- (2) 混凝土收缩握裹钢筋而产生的摩阻力；
- (3) 钢筋表面凸凹不平与混凝土之间产生的机械咬合力。

2. 影响粘结强度的因素

粘结强度通过拔出试验测定。影响粘结强度的因素包括：

- (1) 随混凝土的强度等级提高而提高；
- (2) 变形钢筋较光圆钢筋的粘结强度高；
- (3) 钢筋间的净间距越小，粘结强度越低；
- (4) 沿横向布置的钢筋可以提高粘结强度；
- (5) 横向压力可以提高粘结强度。

3. 保证可靠粘结的构造措施

- (1) 要保证必要的搭接长度与锚固长度；
- (2) 搭接接头范围内要加密箍筋；
- (3) 钢筋净间距和保护层厚度应不小于规定的最小值；

(4) 相同钢筋截面积情况下采用细直径钢筋, 光圆钢筋端部加弯钩。

4. 钢筋的锚固

受拉钢筋的基本锚固长度 l_{ab} 按下式计算:

$$l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d \quad (1-1)$$

式中, α 为锚固钢筋的外形系数; f_y 为钢筋抗拉强度设计值; f_t 为混凝土抗拉强度设计值, 当混凝土强度等级高于 C60 时, 按 C60 取值; d 为钢筋直径。

考虑锚固条件的不同, 对 l_{ab} 加以修正, 形成锚固长度 l_a , 公式表达为

$$l_a = \zeta_a l_{ab} \geq 200\text{mm} \quad (1-2)$$

式中, ζ_a 当符合多项条件时可以连乘, 但 ≥ 0.6 。

受压钢筋的锚固长度不应小于相应受拉锚固长度的 70%。

1.3 疑难解答

1. 问: 我国测定混凝土性能指标的国家标准是哪个? 试件的标准情况是怎样的? 弹性模量如何测定?

答: 原《普通混凝土力学性能试验方法》GBJ 81—85 已经废止, 现行的国家标准是《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081—2002。该标准规定的立方体抗压强度的测试条件是, 标准试件为边长 150mm 的立方体, 在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的温度和相对湿度 95% 以上的空气中养护 28d。在试验过程中应连续均匀地加荷, 混凝土强度等级 $< \text{C}30$ 时, 加荷速度取每秒钟 $0.3 \sim 0.5\text{MPa}$; 混凝土强度等级 $\geq \text{C}30$ 且 $< \text{C}60$ 时, 取每秒钟 $0.5 \sim 0.8\text{MPa}$; 混凝土强度等级 $\geq \text{C}60$ 时, 取每秒钟 $0.8 \sim 1.0\text{MPa}$ 。

棱柱体标准试件为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 。

测定混凝土弹性模量时, 需制备 6 个棱柱体试件, 3 个用于测定轴心抗压强度, 3 个用于测定弹性模量。加荷至 0.5N/mm^2 并持荷 60s, 再以与立方体抗压强度测定时同样的加荷速度, 加荷至 $f_c^0/3$ (此处 f_c^0 为棱柱体试件抗压强度) 并持荷 60s, 然后以同样的速度卸载至 0.5N/mm^2 , 恒载 60s。如此反复加载卸载至少两次。在最后一次预压完成后, 在基准应力 0.5MPa (对应 F_0) 持荷 60s, 并在以后的 30s 内记录每一测点的变形读数 ϵ_0 ; 再用同样的加荷速度加荷至 F_a , 持荷 60s, 并在以后的 30s 内记录每一测点的变形读数 ϵ_a 。卸除变形测量仪, 以同样的速度加荷直至破坏。若测得的轴心抗压强度与对照组相比差别在 20% 以上, 应注明。

混凝土的弹性模量值应按照下式计算:

$$E_c = \frac{F_a - F_0}{A} \times \frac{L}{\Delta n} \quad (1-3)$$

$$\Delta n = \epsilon_a - \epsilon_0 \quad (1-4)$$

式中 E_c ——混凝土弹性模量 (MPa);
 F_a ——应力为 1/3 轴心抗压强度时的荷载 (N);
 F_0 ——应力为 0.5MPa 时的荷载 (N);
 A ——试件承压面积 (mm^2);
 L ——测量标距 (mm);
 Δn ——最后一次从 F_0 加荷至 F_a 时试件两侧变形的平均值 (mm);
 ϵ_a —— F_a 时试件两侧变形的平均值 (mm);
 ϵ_0 —— F_0 时试件两侧变形的平均值 (mm)。

弹性模量值按 3 个试件测值的算术平均值确定。若有一个试件被注明超范围, 则取另两个试件的算术平均值; 若有两个超出范围, 则此次试验无效。

2. 问: 看到有些教材在介绍混凝土的变形模量时, 包括弹性模量、变形模量和切线模量三种形式, 如何理解?

答: 可以这样理解: 发生单位应变所需的应力值, 称作变形模量。由于混凝土材料本身并非完全的弹性体, 因此, 变形模量有不同的表达方式。原点切线模量称作弹性模量; 按割线求出的, 称作割线模量; 按照某一点切线求出的, 称切线模量。由于割线模量比切线模量容易求得, 所以应用较广, 也被称作变形模量。

3. 问: 对于变形钢筋, 其公称直径既不是内径也不是外径, 是如何得到的?

答: 可以这样理解: 取 1m 长度, 称出其质量, 令其与长度为 1m 截面直径为 d 的圆柱体重量相等, 则此直径 d 就是变形钢筋的当量直径, 或称公称直径。即, 变形钢筋的截面积仍可以利用 $\pi d^2/4$ 计算。

4. 问: 公路桥涵类混凝土教材, 例如叶见曙《结构设计原理》(第二版), 其中的钢筋符号, 与建筑工程类教材, 例如梁兴文、史庆轩《混凝土结构设计原理》(第二版), 竟然不同, 这是什么原因?

答: 叶见曙《结构设计原理》(第二版) 的编写依据, 为《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62—2004 (以下简称《公路混凝土规范》); 梁兴文、史庆轩《混凝土结构设计原理》(第二版) 的编写依据, 为《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 (以下简称《混凝土规范》)。在这两本规范中, 表示钢筋强度等级的符号有差异, 这是问题的根源。

两者的差异表现在: 前者称 R235, 后者称 HPB235; 前者称 KL400, 后者称 RRB400。

事实上, 设计规范中所用到的钢筋, 有专门的国家标准对其加以规定。在国

家标准《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》GB 13013—1991 中，仅规定了一种光圆钢筋，并对钢材的牌号和化学成分给出了表格，如下面的表 1-1 所示：

《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》GB 13013—1991 中的钢材的牌号与成分 表 1-1

表面 形状	钢筋 级别	强度 代号	牌号	化学成分（%）				
				C	Si	Mn	P	S
							不大于	
光圆	I	R235	Q235	0.14~0.22	0.12~0.30	0.30~0.65	0.045	0.050

《公路混凝土规范》中所说的“R235”，即来源于此表格中的“强度代号”。这一点，在该规范 3.2.1 条的注释（2）中也有说明。该规范中的“KL400”，则是来源于《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014—1991（在该标准中称作“强度等级代号”）。

HPB 等为英文缩写：HPB 为“hot rolled plain bar”，HRB 为“hotrolled ribbed bar”，RRB 则是“remained heat ribbed bar”。

钢筋已经有了新的国家标准。《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1—2008 规定，热轧光圆钢筋分为 HPB235 和 HPB300 两个牌号。其指标如下：

HPB235 和 HPB300 钢筋的化学成分 表 1-2

牌 号	化学成分（质量分数）（%）不大于				
	C	Si	Mn	P	S
HPB235	0.22	0.30	0.65	0.045	0.050
HPB300	0.25	0.55	1.50		

HPB235 和 HPB300 钢筋的力学性能 表 1-3

牌 号	R_{eL} (MPa)	R_m (MPa)	A (%)	A_{gt} (%)	冷弯试验 180° d —弯芯直径 a —钢筋公称直径
	不小于				
HPB235	235	370	25.0	10.0	$d=a$
HPB300	300	420			

新版的《钢筋混凝土用余热处理钢筋》也将正式采用 RRB 这样的符号。

对表 1-3 中的符号有必要加以解释。

表 1-3 中的符号来自于《金属材料室温拉伸试验方法》GB/T 228—2002， R_{eL} 为屈服强度，相当于 σ_s ； R_m 为抗拉强度，相当于 σ_b ； A 为断后伸长率，相当于 δ_5 ； A_{gt} 为最大力总伸长率（在《混凝土规范》中， A_{gt} 被记作 δ_{gt} ）。 A_{gt} 的测

量方法如下：

选择 Y 和 V 两个标记，这两个标记之间的距离在拉伸试验之前至少应为 100mm。两个标记都应当位于夹具离断裂点较远的一侧。两个标记离开夹具的距离都应不小于 20mm 或钢筋公称直径 d （取二者之较大者）；两个标记与断裂点之间的距离应不小于 50mm 或 $2d$ （二者取较大者），如图 1-3 所示。

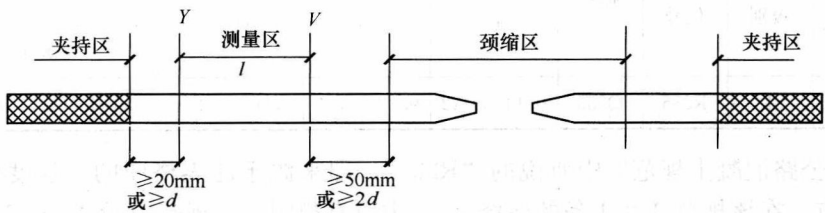


图 1-3 试件断裂后的测量

A_{gt} 按照下式计算：

$$A_{gt} = \left[\frac{l - l_0}{l_0} + \frac{R_m^0}{E} \right] \times 100 \tag{1-5}$$

- 式中 l ——测量区断裂后长度，mm；
 l_0 ——试验前同样标记间的距离，mm；
 R_m^0 ——抗拉强度实测值，MPa；
 E ——弹性模量，可取为 $2 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。

依据《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2—2007，热轧带肋钢筋的强度分为 335、400、500 级，牌号分别是 HRB335、HRB400 和 HRB500，以及 HRBF335、HRBF400 和 HRBF500。这里，“HRBF”是“hot rolled bars of fine grains”的缩写，表示细晶粒热轧钢筋。

热轧带肋钢筋的力学性能以及冷弯性能分别见表 1-4、表 1-5。冷弯性能要求按照表 1-5 规定的弯芯直径弯曲 180° 后钢筋受弯曲部位表面不得产生肉眼可见裂缝。

热轧带肋钢筋的力学性能 表 1-4

牌 号	R_{eL} (MPa)	R_m (MPa)	A (%)	A_{gt} (%)
	不小于			
HRB335 HRBF335	335	455	17	7.5
HRB400 HRBF400	400	540	16	
HRB500 HRBF500	500	630	15	