

92211/39

建筑结构基本知识丛书

032722

钢结构构件计算

西安冶金建筑学院

《钢结构构件计算》编写组



中国建筑工业出版社



建筑结构基本知识丛书

钢结构构件计算

西安冶金建筑学院《钢结构构件计算》编写组

中国建筑工业出版社

本书是建筑结构基本知识丛书之一，主要介绍钢结构的构造和计算基本原则。书中首先叙述钢材的性能和选材标准，然后介绍钢结构杆件的设计计算，以及钢结构连接的构造和计算，并着重介绍钢屋盖的结构设计方法。

这套《建筑结构知识丛书》包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的基本知识，按专题分册出版，每册力求重点突出，并有一定的独立性，以便读者根据需要选读。

本书可供具有初中以上文化水平的基本建设战线职工和上山下乡知识青年自学建筑结构知识参考。

建筑结构基本知识丛书

钢结构构件计算

西安冶金建筑学院《钢结构构件计算》编写组

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 4 1/2 插页: 1 字数: 101千字

1978年6月第一版 1978年6月第一次印刷

印数: 1—100,680册 定价: 0.34元

统一书号: 15040·3270

目 录

第一章 概述	1
1-1 钢结构的应用	1
1-2 钢结构用材	8
第二章 钢结构杆件的设计计算方法	20
2-1 轴心拉杆的计算原理和计算方法	20
2-2 轴心压杆的稳定计算	21
2-3 格构式轴心压杆的稳定计算	29
2-4 轴心压杆截面选择的计算举例	32
2-5 梁的强度计算	36
2-6 梁的挠度计算	38
2-7 焊接工字形截面梁的设计计算	39
2-8 工字形截面梁的截面选择与强度和挠度核算举例	43
2-9 梁的整体稳定和防止失稳的构造措施	46
2-10 梁的局部稳定和在腹板上配置加劲肋的方法	49
2-11 吊车梁上作用着的荷载和它的受力特点	52
2-12 吊车梁的组成	55
2-13 偏心拉杆的强度计算	59
2-14 偏心压杆的稳定计算	60
2-15 偏心压杆计算举例	64
第三章 钢结构连接的构造和计算	66
3-1 焊接、铆接和螺栓连接在钢结构中的应用情况	66
3-2 焊缝的形式和构造	70
3-3 焊缝的计算方法	73
3-4 焊缝的计算举例	75

3-5	普通螺栓连接的受力情况和计算方法	76
3-6	螺栓连接的计算举例	81
第四章	钢屋盖结构设计	83
4-1	屋盖结构的方案和屋架形式的选择	83
4-2	怎样决定钢屋架的主要尺寸	85
4-3	为什么要设置支撑	87
4-4	屋架上的荷载计算	90
4-5	屋架各杆的内力计算	94
4-6	怎样确定屋架压杆的计算长度	97
4-7	角钢屋架的杆件截面怎样选择	99
4-8	角钢屋架的节点构造有哪些要求	106
4-9	钢屋架节点的连接计算	108
4-10	屋架弦杆带拼接的节点构造	110
4-11	屋架支座节点设计	112
4-12	屋架施工图	115
4-13	屋架吊装的加固	117
附录		120
(一)	热轧钢材的容许应力	120
(二)	焊缝的容许应力	120
(三)	普通螺栓连接的容许应力	121
(四)	3号钢轴心受压构件的稳定系数	121
(五)	型钢规格表	122
一)	热轧等边角钢	122
二)	热轧不等边角钢	130
三)	热轧普通槽钢	136
四)	热轧普通工字钢	138

第一章 概 述

1-1 钢 结 构 的 应 用

1. 钢结构和钢筋混凝土结构比较

在基本建设的工程中，经常遇到各种不同类型的钢筋混凝土结构、砖石结构、钢结构和木结构。在一般中小型工业企业的厂房建筑中，钢筋混凝土结构和砖石结构用的较多，钢结构用的较少；在大型重工业企业中，则经常要采用钢结构。钢结构用得不如钢筋混凝土结构普遍，这是什么原因呢？什么时候用钢结构才是合理的？要正确地回答这个问题，必须遵循党的路线、方针、政策，并对钢结构的特点有所了解，才能作出具体的分析。

钢材是国民经济各个部门都很需要的重要物资。在确定结构采用什么材料时，必须从全局出发，凡能采用钢筋混凝土结构的地方，就不用钢结构。这里用得着一句俗话：“钢要用在刀刃上”。钢材应该在用其它材料不能合理代替时才采用。

下面通过同一跨度的两种不同的屋架进行比较，说明钢结构和钢筋混凝土结构所具有的不同特点。表 1-1 给出了跨长24米、屋面用 6×1.5 米钢筋混凝土大型屋面板的钢屋架和预应力钢筋混凝土屋架的技术经济指标。这种跨长和间距的屋架，是一般中型厂房常见的。从表 1-1 的对比可以看出：

(1) 在一般条件下，钢结构的造价比钢筋混凝土结构

的高，

- (2) 钢结构比钢筋混凝土结构消耗钢材多；
- (3) 钢结构比钢筋混凝土结构轻得多；
- (4) 钢结构用料单纯。

24米跨屋架及预应力钢筋混凝土屋架的技术经济指标

表 1-1

类 别	每榀屋架材料的用量		造价(元)	重量(吨)
	混 凝 土 (立方米)	钢 (吨)		
预应力钢筋混凝土屋架	2.6~4.5	0.65~1.05	800~1300	6.4~11.3
钢 屋 架	0	2.1~2.7	1400~1800	2.1~2.7

注：造价未包括吊装费用，通常钢筋混凝土屋架的吊装费用比钢屋架高。

此外，钢结构和其它结构相比，还有以下特点：

(1) 可靠性较高，最适宜于在有特殊重要意义的建筑物中应用；

(2) 承受动力荷载的性能较好；

(3) 制作简便，不需要模板，因而节省木材。

在大多数情况下钢结构的造价较高，消耗钢材多，因此，用的不如钢筋混凝土结构普遍。但钢结构也有很多优点，所以具有一定的适用范围。

2. 在房屋结构中什么时候用钢构件

钢结构的重量较轻，这是一个显著的优点。屋盖的承重结构——屋架，承受着两方面的荷载：

- (1) 屋面荷载，包括屋面的重量和屋面上的活荷载；
- (2) 屋架自身的重量。

通常前者是主要的，后者即使有一些增减，对荷载的总值影响不大。然而这种情形不是固定不变的，因为主要因素和次要因素是可以互相转化的。在每平方米屋面上，屋面荷载的大小只和屋面做法有关，与屋架跨度无关，而屋架自重却随着跨度的增大而增加得很快。钢筋混凝土屋架自重的变化尤其明显。对于大跨度的屋盖结构，减轻屋架自重会使荷载总值降低很多，有很大的经济意义。但跨度大到什么程度应该采用钢结构，还要看各方面的具体条件。一般说来，跨度超过30米的屋盖，就可以考虑采用钢屋架。如果屋面材料特别轻（例如采用石棉水泥瓦），活荷载也较小，则跨度较小时采用薄壁型钢屋架或其它类型的轻钢屋架，也很可能比采用钢筋混凝土屋架经济合理。

钢结构的重量轻，对吊装是个有利条件，可采用吨位较小的起重设备，有时还可以采用简易的土扒杆。因此，在一些中小城镇建设工厂时，往往由于吊装设备的限制，不得不舍钢筋混凝土结构而采用钢结构。

钢结构的重量轻，对于需要远距离运输的工程以及运输条件受限制的山区建设也是一个有利的因素。因此，在山区建设和援外工程中，钢结构往往相对地用得更多一些。

钢结构重量轻，便于用螺栓连接，易装易拆，故也适宜于用作活动房屋的骨架。如工地的生产用房和生活用房，都可采用轻型的钢屋架和钢柱。

钢结构重量轻的原因是钢材的强度高，构件断面尺寸小。建筑结构用的钢材，从力学性能来说，不仅强度高，而且塑性和韧性都较好。塑性好，是说材料在受拉时要经受比较大的变形后才会拉断，能保证结构在使用期间不会发生突然破坏。韧性好，是说材料在受冲击作用时不很容易脆断，对有

动力作用的荷载适应性强。因此，钢结构是一种性能优良的结构。在重型工业的厂房中，吊车的吨位大，运行频繁，产生的动力作用很大，柱的间距也可能较大。在这种厂房中，它的吊车梁由于荷载和动力作用大或跨度大，经常采用钢的（图 1-1），

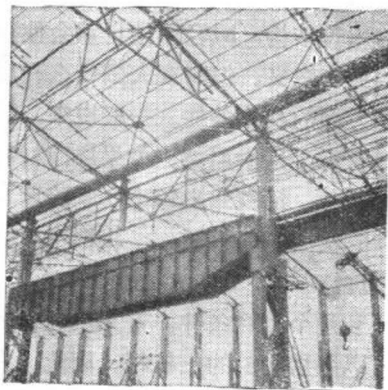


图 1-1 一轧钢车间的钢吊车梁

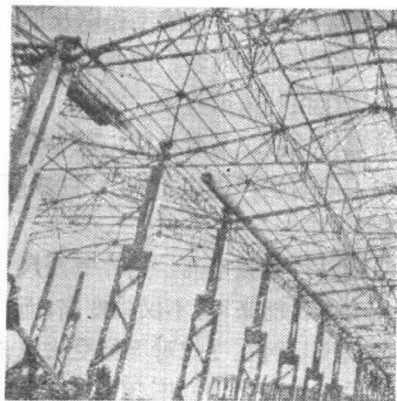


图 1-2 一轧钢车间的钢屋架

它的屋架，由于吊车或锻锤的动力作用大，或有冶金炉和热轧钢材等高温影响，即使跨度小于30米，也经常采用钢结构（图 1-2）。厂房的柱子，一般采用钢筋混凝土的比较普遍，但在一些高度很大、吊车很重的厂房中，如重型机器厂和大型炼钢车间等，也宜采用钢柱。

大跨度民用建筑的屋盖经常采用钢结构（图 1-3），尤其是特别重要的建筑，如人民大会堂、北京和上海等地的体育馆等，都采用了钢屋盖结构。

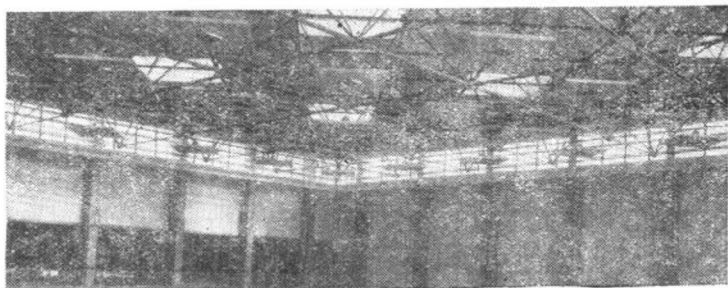


图 1-3 吊装中的上海体育馆钢屋盖结构

钢结构材料单一，它的构件可在工厂利用机械加工制作，有条件时也可在工地加工。钢构件不需要支模，也不需要养护期，必须抢工期的工程，采用钢结构也比较有利。

近年来，在吊车吨位不超过 5 吨的中小型厂房中，采用了钢轨承重吊车梁。这是利用吊车轨作为承重构件，再加一些斜撑和平撑组成的；或者把钢轨和其它少数构件组成简单桁架式吊车梁。这样做不仅重量轻，造价比钢筋混凝土低，而且节省钢材。

根据以上分析，选用钢结构时，要从适用和经济两方面来考虑。适用首先是保证结构的安全可靠和实用性，经济则不仅从造价着眼，还要考虑它的耐久性。此外，要照顾施工、运输各方面的具体条件。以 12 米跨长的吊车梁为例，钢吊车梁和预应力钢筋混凝土吊车梁两者技术经济指标的比较与上述 24 米跨的两种屋架的比较相类似，但在预应力钢筋混凝土施工技术推广得不甚普遍、使用经验不足的地区，目前还是采用钢吊车梁的多，尤其当需要生产的吊车梁根数很少时，更是这样。跨度 18 米和更大跨度的吊车梁，则都用钢来做。

3. 建筑工地用的钢构件

以上分析是针对房屋结构来说的，但它的原则对其它结构也是适用的。由于钢构件强度高，比较可靠而又轻巧，容易加工成满足各种不同要求的构件形式，还便于拆装和多次重复使用，在工地施工设施中采用钢结构的也多起来了。用得比较普遍的首先是钢提升井架和钢脚手架。钢脚手架有不同的形式，图 1-4 是扣件式钢管脚手架。这种脚手架每一吨

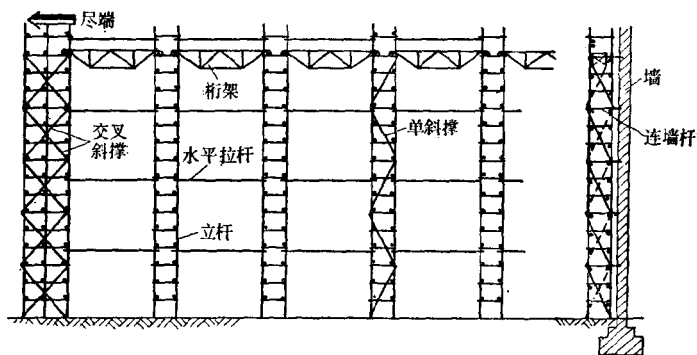


图 1-4 扣件式钢管脚手架

钢材一次可代替木材2.58~4.48立方米，整个使用期间可代替木材6.7~11.19立方米。同时，能节约大量铁丝，当脚手架周转到40次时，所节省铁丝的总数就超过了钢脚手架本身的重量。采用扣件式钢管脚手架摊销的费用比木脚手架低，有利于降低建筑成本。

钢筋混凝土工程的模板支架，也开始采用了钢构件，使支模工具化、装配化、通用化，改善施工操作条件，提高工

效，并节约木材。天津市第二建筑工程公司工人集体创造的工具式支模方法，采用了定型模板、钢管支柱（图 1-5）、三角支架（图 1-6）和钢桁架（图 1-7）等支承构件，比一般的旧支模方法节约木材 50~70%，钉子 70~90%，降低成本 40% 以上。

我国的建筑施工工人在大搞技术革新的过程中，自己动手做出了许多新机具，如自升塔式起重机等，都是些钢结构。在滑模和升板施工的新技术中，也都采用一些钢构件，如滑模提升架和升板的提升环等。随着技术革新和技术革命的不断深入和施工机械化水平的不断提高，施工中将会更多地采用钢构件。

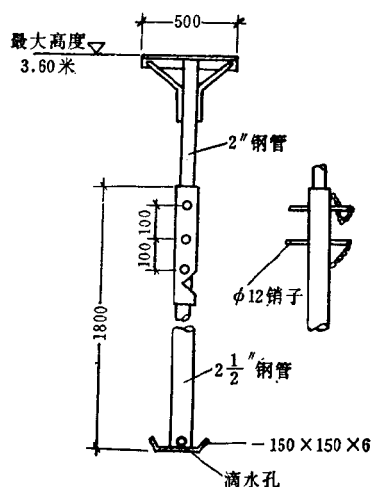


图 1-5 钢管支柱

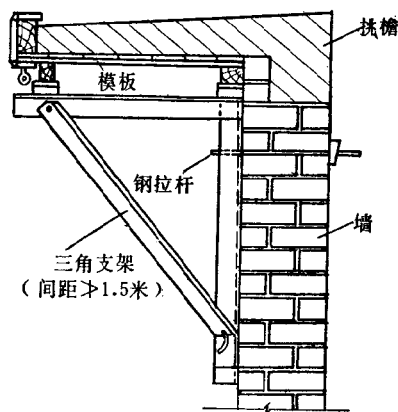


图 1-6 挑檐模板支架

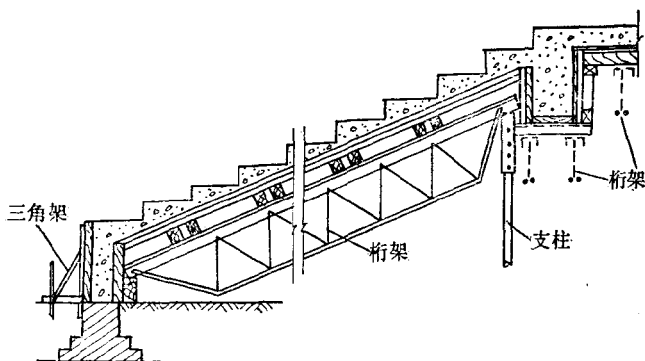


图 1-7 楼梯模板支架

1-2 钢 结 构 用 材

1. 钢结构应该采用低碳钢

在第一节中曾经说过，钢材的力学性能很好，钢结构安全可靠，是一种性能优良的结构。钢材虽是性能很好的材料，但如使用不当，也还有可能造成损失。目前我国常见的钢种牌号大约有四百种。这些不同的钢种各有各的特点，各有各的适用范围。首先要弄清楚哪些钢种适合于做钢结构。

看一个钢种是否适合做钢结构，不仅要看它的强度高不高，还要看它的塑性和韧性好不好。对于焊接结构，还应该看它的可焊性好不好。如果钢材不能用一般方法牢固焊接，焊接后出现裂缝，或在焊接处材料的塑性、韧性都比较差，就不适用于做焊接结构。

钢是铁和碳的合金。碳在钢中含量的多少，影响钢材的性能极大。因此，按含碳量的多少把钢分成低碳钢（含碳量少于0.25%），中碳钢（含碳量在0.25%和0.60%之间）和

高碳钢(含碳量高于0.60%)。钢的含碳量增大,能够提高它的强度,但却降低它的塑性、韧性和可焊性。因此,在建筑结构中只采用低碳钢。用的最多的是属于“普通碳素钢”的3号钢(含碳量0.14~0.22%)以及属于“普通低合金结构钢”的16锰钢(含碳量0.12~0.20%)。

低碳钢和高碳钢性能上的差别,从拉力试验的拉伸图中就可以看得很清楚。试验时把钢材加工成标准试样(图1-8),然后装在试验机上作拉力试验,使试件受到的

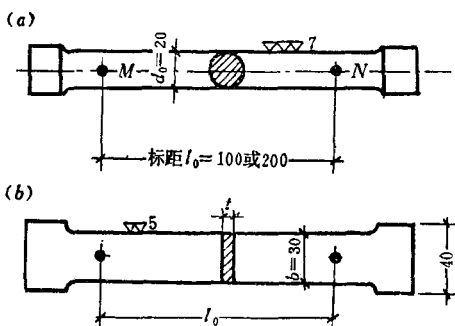


图 1-8 钢材拉力试验的标准试样
(a)标准圆形试样, (b)带头的板状试样

荷载逐渐增加而被逐渐拉长,直到拉断为止。试件上应预先定好标志点 M 和 N ,两点之间的距离即标距 l_0 。拉伸过程中, l_0 逐渐增大,成为 $l_0 + \Delta l$,记下一系列荷载 P 的数值和与之相对应的总伸长值 Δl ,然后按适当的比例,用纵坐标来表示逐渐增加的荷载 P ,用横坐标表示对应的伸长 Δl ,就可以画出一条 P 和 Δl 的关系曲线(图1-9)。这就是钢材的拉伸图。从图中可以看

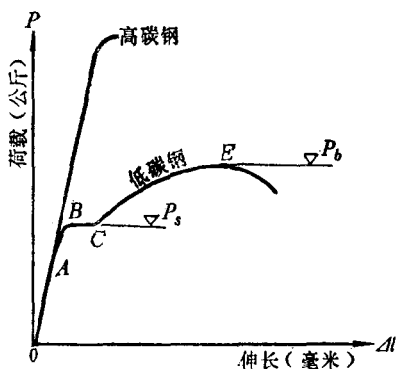


图 1-9 钢材的拉伸图

出：高碳钢在拉断前的最大荷载比低碳钢大很多，但相应的伸长却比低碳钢小很多。这就是说，高碳钢的强度高而塑性差；拉断是突然的，呈脆性破坏。低碳钢在拉断前则有一个相当长的变形过程，用这种钢来建造结构，往往在破坏前有明显的征兆，能及时采取适当的措施来防止。高碳钢不仅拉断时比较突然，而且可焊性又差，不能用作钢结构。中碳钢虽然不如高碳钢那样脆，但可焊性不够好，也不应采用。曾经有过这样的一个事例：有一轻钢屋架，本来准备用3号钢制造，但在制造过程中将部分杆件改用了强度比3号钢高的45号钢和工具钢来代替。因为45号钢属于“优质碳素结构钢”含碳量在0.42~0.52%之间，塑性、韧性和焊接性能都较差，结果使屋架在材料代用的部位发生脆性断裂，造成事故。这种用料不当的事故，应该特别注意从中吸取教训。

2. 钢结构用的钢材牌号

设计钢结构时，必须明确规定所用钢材牌号。国家规定钢铁产品牌号的命名，有时只表现它的某些主要化学元素。如16锰钢的代号16Mn，表示平均含碳量0.16%，并以锰为合金元素。另有一些钢的牌号只涉及冶炼方法和浇注方法。

“普通碳素钢”的3号钢是一个统称。用在建筑结构中的3号钢是甲类钢，是按机械性能（即力学性能）供应的钢，具体牌号有甲3、甲3沸、甲碱3、甲碱3沸等。通常习惯用相应的代号A3、A3F、AJ3、AJ3F来表示。前两种钢是平炉冶炼的，后两种钢是用侧吹碱性转炉冶炼的。平炉3号钢是主要的建筑结构用钢。侧吹碱性转炉3号钢的化学成分和平炉3号钢接近，常温下的机械性能也能够达到平炉3号

钢的水平，但有害气体和非金属夹杂物比平炉钢多，特别是含氮量较高，影响它的低温性能和焊接性能。所以，焊接结构中只能用碱性侧吹转炉镇静钢，且限于制作在 -15° 以上承受静力荷载的构件。近年来我国新建了许多顶吹氧气转炉。这种转炉所炼的钢，化学成分及机械性能和平炉钢基本一致，材质也接近，可以和平炉钢等同使用。顶吹氧气转炉 3 号钢的代号，按规定应是 AD3 和 AD3F，但这种钢是按平炉 3 号钢的技术条件生产和检验的，所以有些钢材在出厂时把代号中的 D 字取消，和平炉钢不加区分。如果在侧吹碱性转炉或顶吹转炉冶炼 16 锰钢，按规定也应在钢号前标上“碱”（J）字或“顶”（D）字。

3. 什么是镇静钢和沸腾钢

按钢水的浇注方法，可把钢材分成镇静钢和沸腾钢两类。牌号不带“沸”字（F）的，属于前一种，带“沸”字（F）的，属于后一种。镇静钢在浇注前掺入脱氧剂，注锭后冷却缓慢，各种有害气体含量少，钢的晶粒微细，组织致密，机械性能比沸腾钢好，尤其韧性较好，焊接性能也好。随着温度降低，钢材有一个向脆性过渡的转变温度。镇静钢转脆时的温度在 $-20 \sim -40^{\circ}\text{C}$ 之间，而沸腾钢则在 -20°C 以上；也就是说，镇静钢冷脆的危险性小。沸腾钢则因有害气体含量比镇静钢多和晶粒粗细不匀，韧性和可焊性都比镇静钢差，尤其低温时韧性较差。但是，沸腾钢的成品率高，成本低，在常温下承受静力荷载的性能不比镇静钢差。所以，承受静力荷载的结构，如屋架，通常都用 A3F 号钢。对于直接承受动力荷载的结构，如吊车梁，当吊车工作不频繁，属于轻级和中级工作制时，也可用 A3F 号钢。但当吊车梁

处于 -20°C 或更低的温度时，或当吊车属于重级工作制时，就应用A3号钢或16Mn钢，个别情况还应用韧性更好的为桥梁结构轧制的16锰桥钢。

4. 钢材在机械性能方面的保证条件

钢材出厂时，都附有出厂证明书，保证产品符合国家规定的质量要求。这些质量要求通过保证条件来体现。钢材的保证条件包括机械性能和化学成分两个方面，每个方面又包括几个项目。这些项目有的属于基本的、必须满足的，有的则是附加的，是根据工程实际需要由用材单位提出的。

抗拉强度和伸长率

根据国家标准，甲类3号钢机械性能的基本保证条件有两项：抗拉强度和伸长率。根据需方要求，可以附加下列保证条件：屈服点、冷弯试验和冲击值。对16锰钢，屈服点和冷弯试验也属于基本保证条件。这些保证条件的意义如下：

图1-9所示低碳钢的拉伸图中，纵坐标代表拉力 P ，它的最大值 P_b 叫做抗拉极限荷载。曲线的 BC 段基本上是一段水平线，即 P 保持一段常数值 P_s 。在这一段中，荷载不变而试样继续伸长，叫做屈服现象， P_s 叫做屈服荷载。把 P_b 和 P_s 分别除以试件原有的横截面面积 $A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$ （或 $A_0 = bt$ ），即可得到

$$\text{抗拉强度} \quad \sigma_b = \frac{P_b}{A_0}$$

$$\text{屈服点} \quad \sigma_s = \frac{P_s}{A_0}$$

把试件拉断时的伸长值 Δl 除以它的标距 l_0 ，则得到伸长