

钢铁的机械性能鑑定

鄧定庆 編著

冶金工业出版社

本書對鋼鐵的各種機械性能試驗（抗張試驗、硬度試驗、沖擊韌性試驗、壓力試驗、扭轉試驗、疲勞試驗及工藝試驗）作了比較詳細的敘述。除第一章對應力與應變作理論上的簡要介紹外，其餘各章均對實際操作、試驗要點、現象解釋、數據處理、取樣及試驗機的安裝維護校正等作了詳細的討論。書中列有實際的應用數據。

本書適合從事鋼鐵廠及機械廠試驗工作的機械性能檢驗人員閱讀。

鋼鐵的機械性能鑑定

鄧定庚 編著

編輯：陳 略

設計：魯芝芳、朱駿英

校對：李慧英

1959年六月第一版

1959年六月北京第一次印刷

精裝 2,120 冊
平裝 10,420 冊

開本 850×1168·1/32·159000字·印張 6⁸/₃₂·定價 精裝 1.50 元
平裝 0.80 元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 1422

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲 45 號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

作者的話

在党的正确领导和总路线的光辉照耀下，我国冶金工业正以高速度向前跃进。我国的钢铁，不仅产量大大增加，而且品种迅速增多，质量显著提高。为了检定钢铁质量，给改进冶炼工艺和钢铁用户提供可靠依据，各地新建钢铁厂纷纷设立试验室，进行分析检验工作。新参加检验的广大工作人员迫切要求这方面的参考资料，特别是钢铁机械性能试验方面比较实际的书籍。为了适应大跃进需要，特编写这本“钢铁的机械性能鉴定”。由于能力所限，而且写作时间短促，缺点和错误难免。希读者指出，以便再版时更正。

编写过程中，承张麟经工程师，以及廖乾初同志提供意见。书成之前，承曾昭满、张广纯、閻志学、李万亨、姜淑媛、于小飞、张克兰、帅仁杰以及傅莉等同志的协助，笔者在此表示深切感谢。

谨以此书作开国十周年的1959年元旦献礼。

邓定庆

1958.12.6

目 次

概述	1
第一章 应力和应变	5
1. 应力	5
2. 正应力和剪应力	7
3. 二向受力状态下的剪应力和正应力	8
4. 三向受力状态及其标号	10
5. 任意截面上的应力及主应力	11
6. 在弹性范围内应力与应变之间的关系	13
7. 变形时体积的变化及其变形能 (应变能)	16
8. 应变 (变形)	20
(1) 弹性变形	21
(2) 范性变形	23
9. 冷加工硬化	28
第二章 抗张試驗	30
1. 負荷—伸长图及眞应力—应变綫	30
2. 物理降服点 (σ_s)	35
3. 細頸的出現及其应力分布	37
4. 抗张試驗各項結果的測定及若干現象的說明	39
(1) 弹性系数 (E) 的概念及其測定	39
(2) 比例极限 (σ_P) 的定义及其測定, 弹性极限 (σ_E) 測定介紹	40
(3) 标准降服强度 ($\sigma_{0.2}$) 的定义及其測定	43
(4) 物理降服点 (σ_s) 的确定及影响降服点的因素	48
(5) 抗张强度 (σ_b) 的測定、几种非标 准試样面积的确定和若干影响抗张强度的說明	50
(6) 伸长率 ($\delta\%$) 的測定	53
(7) 断面收縮率 ($\psi\%$) 的測定	57
5. 断口的类型及其識別	58
6. 試驗数据的处理	60
7. 原始記錄及試驗報告	63

8. 試驗操作中的几个問題	63
9. 試驗机的原理、安裝、維護及其校正	68
10. 取样和制样問題	77
第三章 硬度試驗	82
概述	82
1. 布氏硬度試驗	83
(1) 布氏硬度試驗原理及其硬度的測定	84
(2) 布氏硬度与抗張强度之間的关系	89
(3) 对布氏硬度机的要求	90
(4) 操作上的和制样上的問題	92
2. 洛氏硬度試驗	93
(1) 洛氏硬度机及其試驗	94
(2) 操作及制样問題	96
3. 威氏硬度試驗	97
4. 蕭氏回跳硬度試驗	100
5. 标准硬度块制造工艺	102
(1) 洛氏硬度标准块制造工艺程序	103
(2) 布氏硬度标准块制造工艺程序	104
第四章 冲击韌性試驗	107
1. 概述	107
2. 冲击試驗机的类型和試样分类	108
3. 摆冲式冲击試驗原理及其試驗	110
(1) 試驗原理	110
(2) 应力分布及断口形成和分类	111
(3) 低溫冲击試驗	114
(4) 試样測量及試驗結果計算	116
4. 取样及制样問題	116
5. 試驗机的安裝及校驗	118
第五章 压力試驗 (抗压 試驗)	124
1. 展性材料的压力試驗	125
2. 脆性材料的压力試驗	126
3. 压力試驗注意事項	128
第六章 扭轉試驗, 弯曲試驗	129

1. 綫材扭轉試驗	129
2. 鋼材扭轉試驗	131
3. 弯曲試驗	135
第七章 疲劳試驗	138
1. 弯曲疲劳試驗	138
2. 弯曲疲劳試驗操作	140
3. 疲劳曲綫的描繪	142
4. 疲劳断裂現象的簡單解釋	144
第八章 工艺試驗	146
概述	146
1. 冷弯試驗	147
2. 板材杯突試驗	149
3. 頂鍛試驗	151
4. 綫材的反复弯曲試驗	152
5. 关于管子的各种試驗	153
(1) 管子的冷(热)弯試驗	153
(2) 管子的扩口試驗	154
(3) 管子的縮口試驗	155
(4) 管子的翻口試驗	155
(5) 管子的压扁試驗	156
附表 1. 抗張試驗强度計算表(試样直径 10 毫米的各个强度)	157
附表 2. 抗張試驗断面收縮率計算表 (試样直径为 10 毫米的各个断面收縮率)	173
附表 3. 鋼在固定标距內測定 $\sigma_{0.2}$ 时各个应力下的弹性伸长	185
附表 4. 冲击試样面积計算表	186
附表 5. 冲击韌性試驗結果計算表	187
附表 6. 洛氏、布氏、威氏、蕭氏、釋氏硬度对照表	190
附表 7. 直径 d 的圓面积	192

概 述

在人类使用鋼鐵和鋼鐵生产的发展过程中，从土法炼鋼到轉爐、平爐、电爐，以及正在发展着的氧气炼鋼、真空冶炼和浇注、連續注錠等，其目的除了增大产量，降低成本外，主要还在于提高鋼的质量，使其达到高度的机械性能，以便节约金屬并滿足建筑及机械制造工业上的要求。冶炼普通鋼和合金鋼，通过鑄造，加工鍛軋及各种热处理，主要也是为了使鋼达到一定的尺寸、形状，和同时改善材料的机械性能，物理性能和化学性能，其中主要的应当是机械性能。在当前高速度发展工业，建設我們社会主义的时代里，鋼鐵是带动一切輕重工业的綱。鋼不仅产量大，同时还具有高的强度和展性，通过热处理能大大改善其性能，所以鋼在各种工农业部門中获得广泛的应用。

随着科学技术的飞跃进步，高溫、高速、高压技术的发展（例如噴气机，火箭技术等），对鋼或其它金屬及合金的性能方面提出越来越高的要求。已往的耐热合金或在室溫下还具有优良性能的鋼材，在今天已經远不能滿足要求的了。目前我国已經发明了多种高溫合金，将来还将繼續出現越来越多的高级耐热合金材料。

然而所有的金屬和鋼的一切机械性能和其它性能，在目前人們还不能凭现有的科学理論和实际經驗来正确判断，或定量地計算出材料的机械性能或其它的性能，因此为了彻底了解鋼鐵或其它金屬的性能，就必须进行实际的試驗。如所周知，人們在很早以前就已經知道用简单的办法来判断鋼鐵的质量，例如在中世紀以前就利用在鋼条上刻痕击断法，在断口上研究鋼的质量及內部結構情况，同时也用将鋼条打弯的办法来估計是否生鉄已經“百炼成鋼”。这些古老的断口及弯曲試驗方法，一直到现在还保存

下来，在鋼鉄性能的檢定上還繼續在使用。

但是随着机器制造工业的发展，这些简单的定性的試驗，显然不能滿足日益严格的要求。于是金屬試驗設備及儀器也逐漸发展，由簡而繁，由小而大，由粗糙而精密。现时仅以材料的机械性能試驗机而論，就已經有很多种了。但是其中最主要的，要算是抗张、硬度、冲击、弯曲、压力、剪切、扭轉等机械及工艺試驗項目，因为它们不仅能試驗鋼鉄的最基本的机械性能，而且也是比較簡單而有效的試驗。但是这并不意味着上述試驗項目就能滿足鋼鉄厂及制造业以全部要求，在特殊要求或对于特殊合金，还要进行其它方面的試驗，例如高低溫試驗，长时期試驗，反复受力状态或复杂受力状态試驗等等。此处必須指出的，在鋼鉄或其它金屬試驗的发展趋势，是实际机件和构件以及摹拟使用状态的試驗，因为只有这样才能进一步正确地估价某一鋼材是否能胜任某一制品之用。可是这并不是說上述各項試驗已經沒有用途了。相反地在鋼鉄厂及机械厂为了鑑定鋼材的性能及質量，上述各項試驗还是必需的，而且还要严格遵守标准操作方法中的规定，才能得出正确的可靠的数据，作为設計师和用戶的使用依据。

在现时建筑及机械制造的設計中，除了根据多年积累的实际經驗作为参考外，主要还是以試驗的数据为依据，例如設計一座沒有勁負荷的建筑物，就需要知道鋼筋的抗张强度或降服点，然后根据安全系数計算出使用应力及使用鋼材的数量。假定我們不知道鋼的机械性能而盲目設計及使用，則可能发生下述两个恶果，对社会主义建設造成巨大的損失。这些恶果是：

(1) 把性能好的鋼材当作一般鋼材用，也就是在設計上沒有使鋼材發揮其最大的潛力，这样就造成过多的浪費材料或使机器构件的尺寸加大，这是和“省”的原則相违背的。

(2) 把低性能的鋼材作为高性能鋼材来应用，以致产生事故，造成生命財產上的損失。

由上述可見鋼的机械性能試驗，不但是在鋼鉄厂的生产上是

最后检查鑑定鋼材是否符合标准规格或用戶要求的必要步驟，同时在制造厂也是檢定材料性能保証产品质量的重要措施。在研究工作中，不管是在探索新金屬或合金的基本性能，或者是研究一些针对国家資源的新鋼种，机械試驗都是不可缺少的一种試驗工具。另外在生产及試驗研究工作中，利用机械試驗和其它試驗（如金相热处理等），就能分析試驗結果，找出缺陷发生的原因，从而对生产上提出改进質量，保証質量的建議。因此从事机械試驗的工作人員，除了应当明确認識到自己所担負的工作的重要意義外，而且还須要正确而严格地执行国家頒布的各种試驗标准方法，这是試驗人員必須作到而履行的職責。因为只有各試驗人員都采取相同的試驗方法，其結果才能相互比較，及根据結果判定鋼的質量，同时违反操作規程会得到錯誤的試驗結果，甚至給国家造成損失，这是不容許的。当然严格地执行国家标准方法，并不会束縛每个工作人員的創造性，相反地工作人員应努力鑽研，根据經驗，提出建議，从而使国家标准能日趨完善，以便多快好省地执行檢驗任务。

本書讀者的主要对象是中技和高中毕业后从事試驗室的工作人員，除第一章以外，各章节所叙述的內容，都是試驗室日常的业务和試驗設備簡單原理介紹，以及試驗現象的淺略解說。因为机械試驗的項目繁多，而一些工艺性試驗尚屬业务范围，因此不可能一一列举加以詳細介紹。用机械的方法来鑑定鋼鉄的性能計有：

（1）力学方面：弹性，强度（单位面积上所承受的力），疲劳，硬度，磨損，韌性（断裂时所吸收的功），蠕变，延展性等。

（2）工艺方面：冷弯，杯突，反复弯曲，展平，纏繞，冷热頂鍛，鋼絲扭轉等等。

而本書仅能择其首要者加以比較詳細介紹，例如抗张、硬度、冲击等試驗。其它的叙述得較簡短些。如讀者对某一專門試驗較多，而且欲知其詳，作進一步試驗研究，可择閱其它專門叙

述某一試驗的書籍，以提高业务知識，提高工作效率。

大跃进的号角响彻了祖国的每一个角落，冶金工业遍地开花，中小型企业星罗棋布。作为工业之網的冶金工业，在党的领导下，将在祖国社会主义的建設事业中發揮巨大的作用。在迈向新的时代的进程中，我們从事机械試驗的工作人員，亲手試驗的每一根試棒，都紧密地連系祖国鋼鉄事业的发展，讓我們为社会主义建設事业作出最大的貢獻。

第一章 应力和应变

在这一章，主要是将应力应变的基本概念，及其在弹性范围内相互之间的关系，范性变形后的效应，给以一般的简短的叙述。因为在许多材料力学的教本中，以及金属学的教本中，均有其详尽的讨论，这里只择其少许且与金属机械试验有关的一些知识加以介绍，以便说明问题。例如抗张试验中，从开始的弹性变形到范性变形，直至细颈出现（非脆性金属或试样），最终断裂，就外力作用的结果来说，它是由单向正应力到出现剪应力，继而出现复杂应力（三向应力）作用的结果所造成（当然还有更重要的物理因素）。因此未正式介绍试验原理之前，先对应力应变作一介绍。

1. 应 力

什么是力？在物理学的教本中，力的定义是“力是产生加速度的原因”。在一篇专题讨论性的文章中^①将力定义为“力是产生变形的原因”。然而应力的意义又是甚么呢？

在实验中可以见到这样的现象，设一金属丝A、B，其长度为 l ，截面积为 S ，在外力 P 作用下产生变形（伸长），如图1(a)

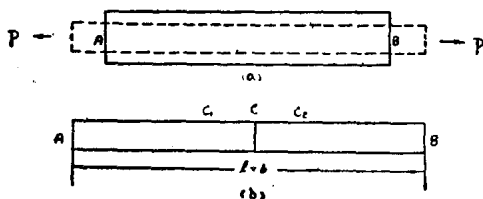


图 1

① 徐行：什么是力？物理通报：1955年8月号。

所示。假定外作用力 P 將金屬絲拉長 $AB=l+b$ ，如图 1(b) (在彈性範圍內)。將金屬絲在 C 處割斷，則 C 處的两个斷端分別向 A 、 B 兩端彈回，最后回復到沒有伸長的位置 C_1 及 C_2 。因此；

$$AC_1 + BC_2 = l \text{ (原長)}$$

$$C_1C + C_2C = b \text{ (拉長時的彈性伸長)}$$

實驗的結果指出①：

$$\frac{CC_1}{CC_2} = \frac{CA}{CB} = \frac{C_1A}{C_2B} \quad (1.1)$$

假設作用在 AC 段的 C 端截面積 S 上的力為 P_1 ，作用在 BC 段的 C 端截面積 S 上的力為 P_2 ，按照虎克定律得；

$$E = \frac{P_1}{S} / \frac{CC_1}{O_1A} \quad (1.2) \quad E = \frac{P_2}{S} / \frac{CC_2}{O_2B} \quad (1.3)$$

由 (1.1) 式

$$\frac{CC_1}{O_1A} = \frac{CC_2}{O_2B}$$

因此得

$$P_1 = P_2$$

如果將 (1.2)，(1.3) 式化為；

$$E \cdot S \cdot CC_1 = AC_1 \cdot P_1$$

$$E \cdot S \cdot CC_2 = BC_2 \cdot P_2$$

$$\text{相加得} \quad E \cdot S \cdot (CC_1 + CC_2) = P_1 (AC_1 + BC_2)$$

$$\text{或者} \quad E \cdot S \cdot (l' - l) = P_1 \cdot l. \quad l' = l + b$$

因此

$$E = \frac{P_1}{S} / \frac{b}{l}, \quad (1.4)$$

(1.4) 式指出： P_1 和 P_2 二力均等於拉長整個金屬絲所需的力 P ， P_1 力和 P_2 力顯而易見在金屬絲未被割斷前這二力便已經存在了，只不過因為它們彼此相等而方向相反，相互抵消而看不出它們存在罷了。因此，應力是指物體內部保持平衡的“作用”和“反作用”的力。

上面是從實驗的結果加以證明的，但也可以這樣來說明應力的存在。

① 莫姆斯著。葛延燧譯：“力學”第五章 5-1-4 節。

計XY 是金屬絲 ABCD 的一個截面，如图 2 (a) 就整个來說金屬絲是处于平衡状态，而它的任一部份，如图 2 (b) 的 ABXy 也是靜止平衡的，当 ABXy 部份受到拉向右方的外作用力

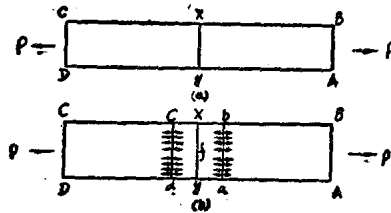


图 2

P 时，这时 ab 截面上（实际上 ab 是与 XY 重合的）必有大小相等方向相反的反作用力 f 同时存在，并保持平衡。同样地 CDcd 部份受到拉向左方的外作用力 P 时，这时在 cd 截面上（实际上 cd 也是与 XY 重合的）必有大小相等方向相反的反作用力 f 同时存在，并保持平衡。ab 和 cd 两截面，只不过是通過 XY 截面想像地將它分为两段，它們都是重合在一起的。因此我們可以見到由 XY 截面將金屬絲划分为两个部份时，这两部份确实通过这个 XY 面相互作用着，以保持平衡，从而存在着大小等于 P 的应力。当金屬絲受到拉力时，我們叫这种力为张应力；压縮时，叫做压应力。

2. 正应力和剪应力

設有一柱形体，其截面积为 F，如图 3 (a)、其軸向方向受一单一作用力（拉力） P_x ，AB 为任意的截面，并与水平成 θ 角。則外力作用在 AB 截面上的力可分为垂直和平行于 AB 截面的两个分力。垂直的法向应力叫正应力 P_n ，平行的叫剪应力 P_t 。正应力和剪应力的大小可按下法計算。

因任意截面积 $AB = F / \cos \theta$ ，由图 3 (b) 看出：

$$\begin{cases} P_t = P_x \sin \theta & (a) \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_n = P_x \cos \theta & (b) \end{cases}$$

$$\begin{cases} AB = F / \cos \theta & (c) \end{cases}$$

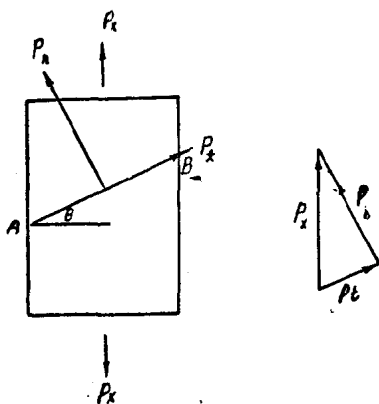


图 3

故作用在 AB 截面上的单位面积上的剪应力和正应力分别为

$$\begin{aligned}
 (a) \div (c) \quad \tau &= \frac{P_t}{AB} = \frac{P_x}{F} \sin \theta \cos \theta = \frac{\sigma_x}{2} 2 \sin \theta \cos \theta \\
 &= \frac{\sigma_x}{2} \sin 2\theta
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

$$\begin{aligned}
 (b) \div (c) \quad \sigma_n &= \frac{P_n}{AB} = \frac{P_x}{F} \cos \theta \cdot \cos \theta \\
 &= \sigma_x \cos^2 \theta
 \end{aligned} \tag{1.6}$$

由 (1.5) 及 (1.6) 式得：当 $\theta = 0$ 时， $\tau = 0$ ，正应力 σ_n 最大。

当 $\theta = 45^\circ$ 时， $\sin^2 \theta = \sin^2 45^\circ = 1$ ， $\tau = \frac{\sigma_x}{2}$ 最大。 $\theta = 45^\circ$ 时，剪应力最大。故在做抗张试验时，延展性较好的试样如低碳钢，断口成 45° 角的杯锥状。其原因就在于此。

3. 二向受力状态下的剪应力和正应力

设图 4 (a) 中的 P_x 和 P_y 是作用在一平行六面体上的两个外力， P_x 作用在 AB 截面上的剪应力；正应力照上述分析得；

$$\tau = \frac{\sigma_x}{2} \sin^2 \theta, \quad \sigma_n = \sigma_x \cos^2 \theta.$$

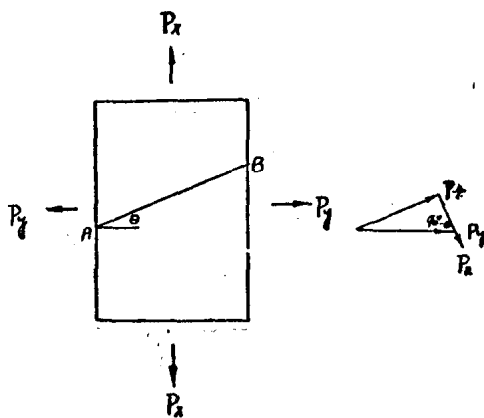


图 4

P_y 作用在AB截面上的剪应力；从正应力图 4 (b) 看出：

$$\begin{cases} P_x' = P_y \sin (90^\circ - \theta) & (a) \\ P_y' = P_y \cos (90^\circ - \theta) & (b) \\ AB = F / \cos (90^\circ - \theta) = F / \sin \theta & (c) \end{cases}$$

因此单位面积上的剪应力 τ 和正应力 σ_n 分别为：

$$\tau = \frac{P_y}{F} \sin (90^\circ - \theta) \sin \theta = \sigma_y \cos \theta \sin \theta = \frac{\sigma_y}{2} \sin^2 \theta \quad (1.7)$$

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{P_y}{F} \cos (90^\circ - \theta) \cos (90^\circ - \theta) = \sigma_y \cos^2 (90^\circ - \theta) \\ &= \sigma_y \sin^2 \theta \end{aligned} \quad (1.8)$$

由力的迭加原理作用在整个六面体上的剪应力和正应力为

$$\tau = \frac{\sigma_x}{2} \sin 2\theta + \frac{\sigma_y}{2} \sin^2 \theta = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \sin^2 \theta, \quad (1.9)$$

$$\sigma_n = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta = \sigma_x \frac{1 + \cos 2\theta}{2} + \sigma_y \frac{1 - \cos 2\theta}{2}$$

$$= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos^2 \theta. \quad (1.10)$$

4. 三向受力状态及其标号

假定在所討論的物体中，取一无穷小的单元体（平行的六面体）。在一般的情况下，这一单元体的六个面上都作用有正应力和剪应力。如图 5 所示，座标軸和六面体的法綫相平行，則六面体上的正应力 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 与 x 、 y 、 z 各軸平行，以座标的零点为准，应力方向与法綫方向相同时，应力为正（张应力），相

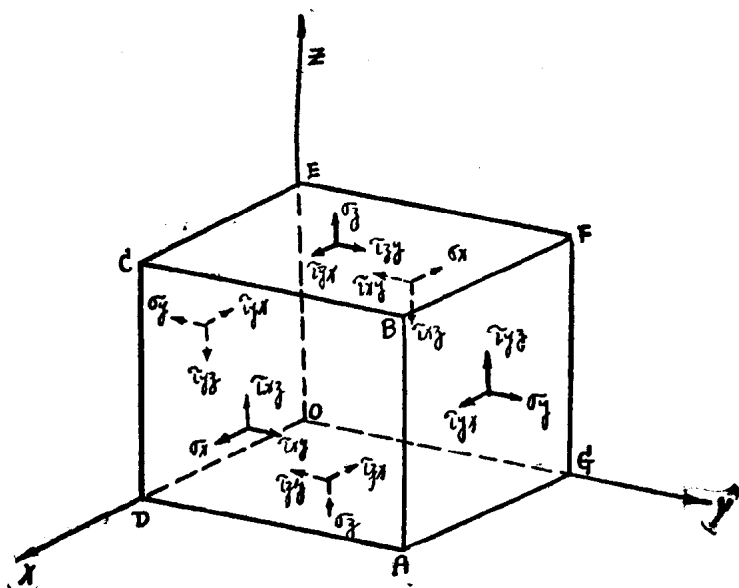


图 5

反时为負。在各个截面上有分成两个互相垂直的剪应力，如垂直于 x 軸的截面 ABCD 有 τ_{xy} 和 τ_{xz} ，因此六个截面上有九个量，它們是 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yx} 、 τ_{yz} 、 τ_{zy} 、 τ_{xz} 、 τ_{zx} ，而各平行的截面上的正应力大小相等方向相反以保持平衡，例如截面 ABCD

上的 σ_x 和截面 OEFG 上的 σ_x 大小相等，方向相反。

假定六面体的边长为 d_x 、 d_y 、 d_z ，则通經法綫分量 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 方向的軸为准的力矩之和为零，故

$$(\tau_{yz}d_xd_z) d_y = (\tau_{zy}d_xd_y) d_z$$

得 $\tau_{yz} = \tau_{zy}$,

同理 $\tau_{xz} = \tau_{zx}$,

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}$$

5. 任意截面上的应力及主应力

如图 6 (a) 所示，設 abc 截面的面积为 F ，分別垂直于 x, y, z 軸的其它三个截面积为 F_x 、 F_y 、 F_z ，則

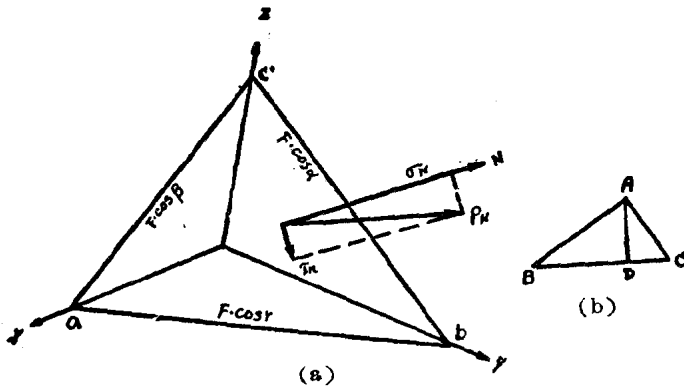


图 6

$$\begin{cases} F_x = F \cos \alpha \\ F_y = F \cos \beta \\ F_z = F \cos \gamma \end{cases}$$

α, β, γ 角系通过原点 O 截面 F 的法綫与 x, y, z 軸所成的角度，由图 6 (b) 可看出， AB 代表 x 軸， BC 、 AC 分別代表任意斜面积 F 及 F_x ， $\angle BAD = \angle ACD = \alpha$ 。

由图 7，斜面上总应力以 P_n 表示，并将 P_n 分解为 x, y, z 方向的分量 P_x 、 P_y 、 P_z ，根据平衡条件則