

高等学校教学用书

机械零件

下 册

B. A. 多布罗沃尔斯基 著

大連工学院机械零件教研室 譯

冶金工業出版社

高等学校教学用书

机 械 零 件

下 册

B. A. 多布罗沃尔斯基 著

大連工学院机械零件教研室 译

冶金工业出版社

本書系根據蘇聯多布羅沃爾斯基 (В. А. Добровольский) 教授著“機械零件” (Детали машин) 增訂第七版譯出。原書經烏克蘭社會主義共和國文化部高等及中等專業教育司審定為高等技術學校教學用參考書，一九五四年由烏克蘭國家技術書籍出版社 (Государственное издательство технической литературы УССР) 出版。

В. А. 多布羅沃爾斯基教授的著作“機械零件”在1928—1951年期間出版了六次，其中兩次是用烏克蘭文出版的，四次是用俄文出版的。與前几版比較起來，原書第七版根本上改寫過，一方面補充了新的材料，同時也縮減了篇幅。

原書第六版曾由楊長騷、楊曾霖、徐灝、張世鈞等四同志翻譯出版。本書則由大連工學院機械零件教研室全體同志參考第六版譯本重新譯出，並由楊長騷、余夢生二同志校訂。

本書暫分上、中、下三冊出版；上冊包括緒論和第一篇聯接機件；中冊包括第二篇傳動裝置；下冊包括第三篇轉動用機件。

В. А. Добровольский: ДЕТАЛИ МАШИН

Гостехиздат УССР (Киев—1954)

機械零件 (下冊)

大連工學院機械零件教研室 譯

1956年7月第二版 1953年12月北京第四次印刷 3,015冊 (累計35,555冊)

$850 \times 1168 \cdot \frac{1}{32} \cdot 154,000$ 字 • 印張 $5 \frac{28}{32}$ • 定價 (10) 0.90元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0458

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

下 冊 目 錄

第三篇 轉動用機件

心軸	(5)
一般知識及分類	(5)
心軸的計算	(6)
轉軸	(8)
轉軸的材料及其製造	(8)
轉軸的分類	(8)
轉軸的計算	(9)
轉軸的強度計算	(9)
端曲拐軸和中曲拐軸	(16)
中曲拐軸	(18)
裝配條件和支點數目對中曲拐軸的影響	(24)
傳動軸	(25)
轉軸的剛度計算	(28)
轉軸的振動及其臨界轉速	(33)
端軸頸、中軸頸、止推軸頸及軸的支承	(38)
基本概念和分類	(38)
端軸頸及中軸頸的構造形狀	(39)
端軸頸及中軸頸的強度計算和單位壓力計算	(44)
止推軸頸	(49)
同時受徑向載荷和軸向載荷的軸頸	(57)
心軸與轉軸的支承	(58)
一般特性和分類	(58)
簡單的滑動軸承	(59)
改良型式的滑動軸承	(61)
特殊用途的滑動軸承	(62)
摩擦及潤滑的一般知識	(66)
滑動軸承計算	(72)
軸承襯的材料及形狀、油溝、潤滑裝置	(81)

關於滑动軸承磨損的簡單知識.....	(90)
滚动軸承.....	(102)
安裝軸承和懸置軸承用的机件.....	(135)
联軸器	(140)
一般知識.....	(140)
可移性联軸節.....	(148)
离合器.....	(158)
安全离合器.....	(179)
安全离合器的構造.....	(181)
操縱离合器的离合裝置.....	(185)
参考文献.....	(188)

第三篇 轉動用機件

在本篇中所要討論的機件，仍是傳動裝置中的一個組成部分。這類機件就是：心軸和轉軸；心軸和轉軸的支承和止推部分——普通軸頸和止推軸頸；和這些部分相配成對的機件——普通軸承和止推軸承；把軸的幾段联接起來或加以分離的機件——叫做联轴器；最後還有裝設傳動軸用的機件——托架、吊架等等。

心軸和轉軸是用來承裝機械上的轉動部分的各种形狀的棒狀體。心軸主要是在彎曲下工作，而轉軸則同時在彎曲和扭轉下工作。

下面，我們就來討論靜可定的心軸和轉軸。

心 軸

一般知識及分類

心軸可以分為兩類：1) 不轉動的心軸（固定不動的），它用來支承松松裝於其上的機件（例如滑輪的心軸）；2) 轉動的心軸，它（例如車軸）和緊緊裝於其上的機件一道在軸承中轉動。

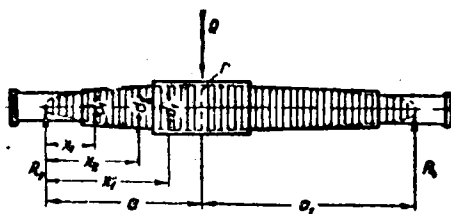


圖 513

根據載荷情況，心軸可以分為三類：第一類心軸，即普通心軸，其特征為心軸具有兩個端軸頸，載荷的位置在兩個支點之間

(圖 513)；**第二类心軸**即所謂“自由支承”的心軸。其特征为心軸具有一个懸臂端，載荷就作用在該懸臂上（圖 514），**第三类心軸**即承受对称載荷的心軸，載荷作用在两个支点之間或者作用在支点的外面（圖 515）。其他心軸都是这些型式的变化样式或組合。

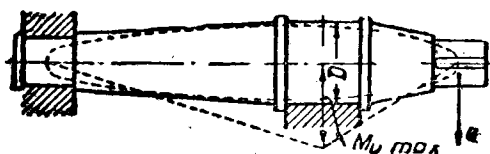


圖 514

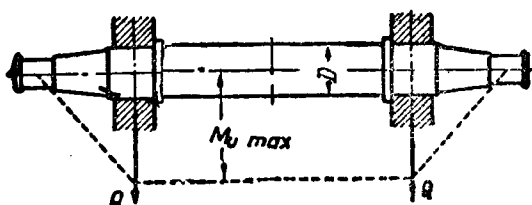


圖 515

最后，心軸可以分为：**二支点的（靜可定的）**和**多支点的（靜不定的）**；还可以分为**实心的**和**空心的**。

心軸主要是用鋼來制造，對於重要的心軸必須用滿足一定技術条件和規範的鋼。

心軸的計算

心軸的断面尺寸根据弯曲計算來決定。

例如，設心軸（圖 513）在二支点間承受力 Q （公斤），其作用点距二支点的距离分别为 a, a_1 。

再設：支点的反力为 R_1 和 R_2 ；与左方軸承中部相距 $x_1, x_2, \dots, x_i$ 的断面 I, II, ……， i 的直徑分别为 $d_1, d_2 \dots$

... d_i .

这时，對於断面 I, II, ..., i 可以寫出如下的强度公式：

$$M_1 = R_1 x_1 = 0.1 d_1^3 [\sigma]_n;$$

$$M_2 = R_1 x_2 = 0.1 d_2^3 [\sigma]_n \dots$$

一般地就寫为：

$$M_i = R_1 x_i = 0.1 d_i^3 [\sigma]_n.$$

由这些公式可得一系列的比例式：

$$\frac{d_1^3}{d_2^3} = \frac{x_1}{x_2}; \quad \frac{d_1^3}{d_3^3} = \frac{x_1}{x_3}; \quad \dots; \quad \frac{d_1^3}{d_i^3} = \frac{x_1}{x_i},$$

由此可得：

$$d_2 = d_1 \sqrt[3]{\frac{x_2}{x_1}}; \quad d_3 = d_1 \sqrt[3]{\frac{x_3}{x_1}}; \quad \dots; \quad d_i = d_1 \sqrt[3]{\frac{x_i}{x_1}}.$$

这样，把直径 $d_1, d_2, \dots, d_i$ 决定之后，就可以求出心軸的理論外形，它是三次拋物線旋轉面。

心軸的实际外形应当是这样的，即理論外形应包於实际外形之内。

中空心軸的計算按下面的公式進行：

$$M_{\text{net}} = 0.1 \frac{d_1^4 - d_2^4}{d_1} [\sigma]_n = 0.1 d_1^3 (1 - \beta^4) [\sigma]_n,$$

式中， d_1 和 d_2 ——心軸断面的外徑和內徑，而 $\beta = \frac{d_2}{d_1}$ 。

對於鑄造的心軸， β 的值受到工藝条件的限制。

当壁厚为

$$\delta = 0.5(d_1 - d_2) = 20 \sim 25 \text{ 公厘}$$

时，則制型和澆鑄都有困难，因为型心有偏移的可能。当壁厚为 $\delta = 60 \sim 75$ 公厘时，則用普通鑄造方法是难以獲得密質的鑄件的。因此，只有当 $20 \text{ 公厘} < \delta < 60 \text{ 公厘}$ 时，才可以取 $\beta = \text{常数}$ 。如果 δ 不在 $20 \sim 50$ 公厘的範圍內，則需要改变 β 的大小。

为了減輕机件的重量，应当尽可能更廣泛地採用中空心軸。

轉 軸

轉軸的材料及其制造

制造轉軸时，最常採用的材料是号碼为 25, 30, 35, 40, 45 (ГОСТ 1050—52) Ст.3; Ст.4; Ст.5 (ГОСТ 380—50) 的碳鋼和合金鋼；在个别情形下，採用鑄鋼，鑄鉄和木材。

断面不变的傳动軸是軋制的；重型的曲拐軸和断面变化的轉軸是鍛制的；小的曲拐軸是用冲压或澆鑄的方法制造出來的。重要的原动机和某些机床上的轉軸需要經過热处理。

轉軸最后要在金屬切削机床上進行加工。

轉 軸 的 分 类

最通用的分类方法是把轉軸分为三类：1) 重載荷的轉軸，2) 輕載荷的轉軸，3) 特殊的轉軸。

还有下面这些大家熟悉的分类方法：**根据支点个数**——分为二支点的（靜可定的）和多支点的（靜不定的）；**根据形狀**——分为断面不变的和断面变化的；**根据制造方法**——分为鍛制的，冲压的，澆鑄的和軋制的等等；**根据軸線形狀**——分为直軸和曲軸；**根据断面**——分为实心的和中空的。

屬於重載荷的轉軸，有原动机曲軸和傳动主軸，后者或者通过中間傳动裝置直接从原动机上接受动力，或者是用凸緣或聯軸器与原动机曲軸联接在一根中心線上。

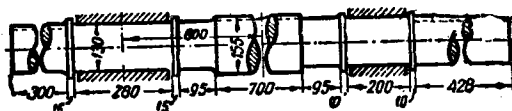


圖 516

屬於輕載荷的轉軸有傳动軸，它由主軸上接受动力，然后再

分配到各个車間、机床群、各个机床或其他工作机、机器上的各个部分等等。

屬於特殊的轉軸有凸輪軸、偏心軸、联鎖裝置上的轉軸等等。



圖 517

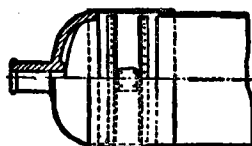


圖 518

所有的轉軸上都有安放軸承的部分。

这个部分叫做軸頸：它分为端部軸頸（或称端軸頸）和中部軸頸（或称中軸頸）。關於它們的詳細情况將在下面叙述。

某些直軸的構造形狀示於圖 516~518。

轉軸的計算

轉軸是非常重要的机件。它的破坏一般总是会同时引起其他机件的破坏，有时甚至要引起整部机器的破坏。轉軸上的很大的挠度也可能使机器的工作受到嚴重的破坏。

当轉軸的尺寸与其所裝載的机件的質量之間处于某一定的关系时，該轉軸就要發生振动，以致破坏机器的正常工作，威脅机器的强度。

根据上述对轉軸的要求，轉軸应当从**强度、剛度和振动（共振）**等方面進行計算。

轉軸的强度計算

轉軸这个机件不僅要承受弯曲力矩，同时也要承受扭轉力矩。在轉軸上还常常要承受軸向載荷。把軸分成下面几种情形。

只受扭轉力矩的轉軸 这种轉軸包括：傳动軸，水力机械的直立軸，一切类型的中間軸等。

在所有这些情形下，弯曲应力和压应力主要是由軸的自重所

引起的，可以略去不計，而只按扭轉力矩計算轉軸。这个力矩可能是不变的、脉动的和反复的。

实际上最常遇到的多半是后两种情形。

受扭轉力矩 $M_{\text{кп}}$ 和弯曲力矩 $M_{\text{кр}}$ 的轉軸 这种轉軸包括各种曲拐軸（端曲拐的，中曲拐的，混合式的）和主驅動軸（也就是重載荷的軸，它們通常是断面变化的，在这种轉軸的溝槽、錐度及其他类似的地方要引起局部应力）。断面的剧烈变化和溝槽對於受变化力矩作用的轉軸具有特殊的意义。

因此，在这类轉軸的一切計算公式中都要導入应力集中系数（表 4, 5, 6, 7, 8）。

安全系数最好用部分系数法按公式 (19) 來求出。

决定許用应力的查表法 在用查表法計算时，由於在应力計算的方法中是取弯曲作为原始变形的，所以基本許用弯曲应力 $[\sigma]_{\text{н}}$ 要按照表 113，根据轉軸的工作情况來决定。

在表 113 中，分为下列載荷情况：第 I 类情况——載荷的大小和符号都是不变的；第 II 类情况——載荷的大小由零变到最大值，但符号不变；第 III 类情况——載荷的大小和符号都变化（对称循环）。

当基本許用弯曲应力为 $[\sigma]_{\text{н}}$ 时，則對於鋼來說，其基本許用扭轉应力 $[\tau]_{\text{н}}$ 平均可以取为：

$$[\tau]_{\text{н}} \approx 0.70 [\sigma]_{\text{н}}, \quad (330)$$

式中，0.70——扭轉时的应力换算系数。

因此，按照这个应力，根据下面的公式來進行轉軸的扭轉計算：

$$11620 \frac{N}{n} = 0.2 d^3 [\tau]_{\text{н}}. \quad (331)$$

作用於轉軸上的弯曲力矩和扭轉力矩由材料力学中的公式來求得。

如果是多跨度的轉軸（圖 519），其跨距为 $L_1, L_2, \dots$ ，各个跨度內的載荷为 $Q_1, Q_2, \dots$ ，則实际上在根据跨度和載荷算出轉軸直徑之后，还需要再按中間支点發生沉降和破坏的情形加以驗算。

對於圖 519 的情形，則应假定支点 B 要遭到破坏和沉降來進

行驗算。这时，可以取跨距为 $L_1 + L_2$ 、载荷为力 Q_1 、 Q_2 及自重的二支点梁的力矩來作为弯曲力矩。在这种驗算当中，轉軸材料的应力应当根据载荷特性和轉軸工作情况的不同，分別在屈服限 σ_s 或耐久限 σ_{-1} 的附近。

表 113

許 用 应 力

〔根据机械工程师手冊 (Справочник машиностроителя)

第Ⅲ卷, 521 頁, 莫斯科, 1951〕

材 料	强 度 限 (公斤/公分 ²)	在各类载荷情况下的轉軸和軸心的許用弯曲应力 $[\sigma]_n$ (公斤/公分 ²)		
		I	II	III
碳 鋼	4000	1300	700	410
	5000	1700	750	450
	6000	2000	950	550
	7000	2300	1100	650
合 金 鋼	8000	2700	1300	750
	10000	3300	1500	900
鑄 鋼	4000	1000	500	300
	5000	1200	700	400
鑄 鋼	4000①	650	350	250

在計算力矩时，应当考慮动力载荷的問題而導入动力系数和冲击系数。为了补偿轉軸上有鍵槽部分的强度上的損失，实际上要使轉軸上这些部分的直径大致增大如下②：

4%——只有一个配槽鍵时，

7%——有两个鍵，互成角度 $\leq 120^\circ$ 时，

10%——有两个鍵，互成 180° ，或有三个鍵，互成 120° 时。

花鍵軸 假如在技術条件和规范上沒有其他的指示，則按照花鍵軸的內徑來進行計算。

轉軸直径的最后尺寸，要定得和 OCT 上所載的尺寸相符合。

① 對於鑄鉄，取弯曲强度限。

② 更正确的，应当在計算中把鍵槽的应力集中系数（表 7 和 8）計入。

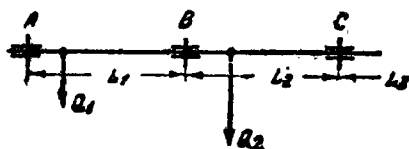


圖 519

二支点直轉軸的強度

計算 作用於轉軸的力通常是在不同的平面內的，而且這些力要使轉軸發生彎曲和扭轉。

如果存在着作用於不同平面內的各個力，則將這些力分解為作用於相互垂直的二平面內的分力，並由此分別算出在該二平面內的總的力矩，最後再找出合成彎曲力矩。

於圖 520 表示了一根轉軸，它經過齒輪把動力由電動機傳到兩根平行的轉軸上。

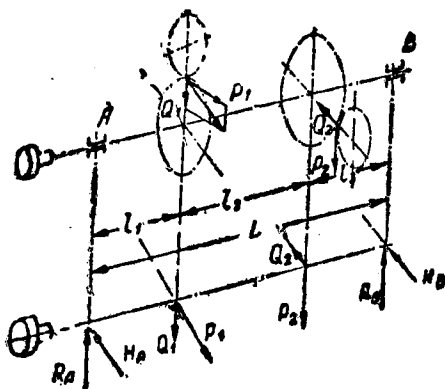


圖 520

把作用於第一個齒輪和第二個齒輪上的力分解為周向力 P_1 、 P_2 和徑向力 Q_1 、 Q_2 ，並把它們移到轉軸的軸線上，則得圖 520（下方）所示的簡圖。

Q_1 、 P_2 二力作用於垂直平面內，而 P_1 、 Q_2 二力作用於水平面內。

根據作用於垂直面內的各個力的大小，可以求出作用於轉軸支點上的反力的垂直分力 R_A 、 R_B ，並畫出垂直面內的彎曲力矩的線圖（圖 521, a）。用同樣方法，在求出由於 P_1 、 Q_2 的作用

而在支点上產生的反力的水平分力 H_A 、 H_B 后，即可画出水平面內的弯曲力矩的線圖（圖 521, 6）。根据水平面內的弯曲力矩（ $M_{\text{роп}}$ ）的線圖和垂直面內的弯曲力矩（ $M_{\text{верт}}$ ）的線圖，画出合成弯曲力矩的線圖（圖 521, 8）：

$$M_{\text{нгр}} = \sqrt{M_{\text{верт}}^2 + M_{\text{роп}}^2} \quad (332)$$

画这个線圖时，也可以完全用圖解法。为此，就沿着相互垂直的两个座标軸（圖 522），按照弯曲力矩線圖中所取的比例尺分别画上刻度，再从两个線圖上取出 $M_{\text{роп}}$ 和 $M_{\text{верт}}$ 的值，分别移到

上述座标軸的刻度上，我們就可以用兩脚規量出合成的弯曲力矩 $M_{\text{нгр}}$ 的值（圖 522）； $M_{\text{нгр}}$ 是一个直角三角形的斜边，該三角形的二直角边就以所取的比例尺表示出 $M_{\text{роп}}$ 和 $M_{\text{верт}}$ 按圖 521, 2 画出扭轉力矩的線圖。这样，利用画線圖的方

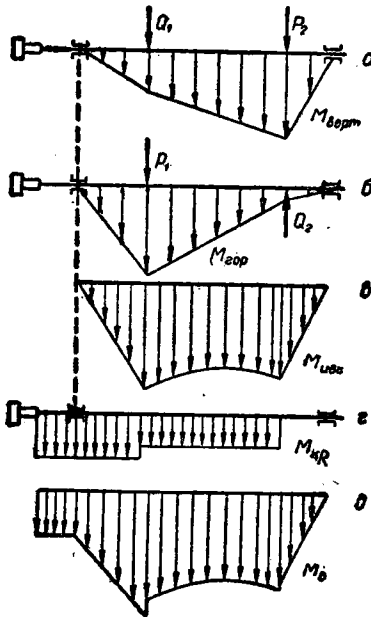


圖 521

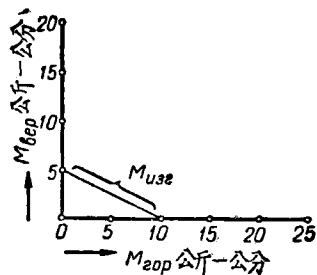


圖 522

法，就可以求出在轉軸任意断面上的 $M_{\text{нгр}}$ 和 $M_{\text{кр}}$ 的值。

根据第三强度理論，計算力矩为：

$$M_p = \sqrt{M_{\text{нгр}}^2 + M_{\text{кр}}^2} \quad (333)$$

而對於实心轉軸的强度条件則为：

$$\left. \begin{aligned} M_p &= 0.1 d^3 [\sigma]_{\text{III}}; \\ \text{對於空心轉軸的強度條件則為:} \\ M_p &= 0.1 \frac{d_1^4 - d_0^4}{d_0} [\sigma]_{\text{III}}. \end{aligned} \right\} \quad (334)$$

式中, d_0 ——轉軸的內徑;

$[\sigma]_{\text{III}}$ ——轉軸的許用彎曲應力。

M_p 的線圖如圖 521, ∂ 所示。畫這個線圖時, 可以使用公式 (333), 或使用圖 522 中的比例尺, 用圖解法來畫。只是在用圖解法時, 要沿着縱橫二座標軸 (圖 522) 分別取 M_{HST} 和 M_{KP} 的值。這時, M_p 就表示為

$$M_p = \sqrt{M_{\text{HST}}^2 + M_{\text{KP}}^2}.$$

根據公式 (334) 求出轉軸直徑 $d_1, d_2, \dots$, 就可以畫出該轉軸的理論外形。轉軸的實際外形, 也像心軸的情形那樣, 根據構造上的考慮把它畫出來。

初步計算時的轉軸許用彎曲應力 $[\sigma]_{\text{III}}$ 可以按表 113 選取。

如果是靜載荷, 則可以根據材料的屈服限 σ_T 來決定許用應力 $[\sigma]_{\text{III}}$:

$$[\sigma]_{\text{III}} = \frac{\sigma_T}{n_I},$$

式中的安全係數 n 在靜載荷時, 對於鋼料, 則依據如下所示的比值大小來選取:

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_B} = 0.5 - 0.6 - 0.7 - 0.8 - 0.9;$$

$$n_I = 1.4 - 1.5 - 1.6 - 1.7 - 1.8.$$

對於鑄鐵, 取 $n_I = 3$; 這時, $[\sigma]_{\text{III}}$ 根據 σ_B 來決定, 即

$$[\sigma]_{\text{III}} = \frac{\sigma_B}{n_I}.$$

在對稱循環載荷時, 許用應力可根據 σ_{-1} 按 $n_{\text{II}} = 2$ 來決定:

$$[\sigma]_{\text{III}} = \frac{\sigma_{-1}}{n_{\text{II}}}.$$

在脈動載荷時, 許用應力為

$$[\sigma]_{\text{нн}} = \frac{[\sigma]_{\text{нI}} + [\sigma]_{\text{нн}}}{2}.$$

轉軸一般在对称循环载荷下受着弯曲的作用；理論上，直軸上的扭轉力矩 $M_{\text{кп}}$ 在工作过程中保持一定，也就是在靜载荷下工作着。但实际上，由於机器的运动的不均匀，以及由於轉軸不可避免地要有些扭轉振动，所以 $M_{\text{кп}}$ 还是有变动。因此，我們假定 $M_{\text{кп}}$ 是在零与最大值之間变动。

这样，在公式（334）中，許用应力 $[\sigma]_{\text{нн}}$ 应当按对称循环來选取。

在轉軸的强度公式

$$M_p = \sqrt{M_{\text{нгр}}^2 + M_{\text{кп}}^2} = 0.1d^3[\sigma]_{\text{нн}} \quad (335)$$

中存在着誤差，这个誤差就在於在根号內把按对称循环变动的 $M_{\text{нгр}}^2$ 和在零与最大值之間变动的 $M_{\text{кп}}^2$ 相加起來。

因为 $M_{\text{кп}}$ 是在零与最大值之間变动着，它的危害性小於 $M_{\text{нгр}}$ ，所以在計算中就不取 $M_{\text{кп}}$ 的全部，而只取一部分 $\alpha M_{\text{кп}}$ （这里， $\alpha < 1$ ）。最后的强度条件就变为：

$$0.1d^3[\sigma]_{\text{нн}} = \sqrt{M_{\text{нгр}}^2 + (\alpha M_{\text{кп}})^2}, \quad (336)$$

式中，系数 α 为：

$$\alpha = \frac{[\sigma]_{\text{нн}}}{[\sigma]_{\text{нI}}}.$$

当 $M_{\text{кп}}$ 按对称循环变动时（即有反轉的傳动），則 $\alpha = 1$ 。
当 $M_{\text{кп}} = \text{常数}$ 时（这种情形很少見），則

$$\alpha = \frac{[\sigma]_{\text{нн}}}{[\sigma]_{\text{нI}}}.$$

以上所講的方法只適用於轉軸的初步計算，因为这个方法沒有考慮尺寸因素和在圓角部分以及有鍵槽、油孔等部分的应力集中。

这种計算方法可以推荐用於那种沒有应力集中或应力集中很小的、断面不变的轉軸。

在精確計算时，必須按照設計出來的轉軸的尺寸和形狀，求

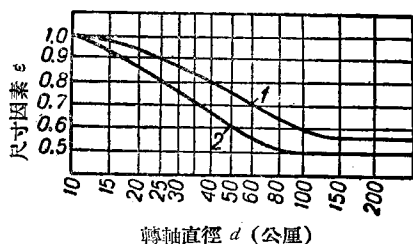
出各个危險断面的实际的安全系数：

$$n = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_{\sigma}}\right)^2 + \left(\frac{1}{n_{\tau}}\right)^2}}, \quad (337)$$

式中， $n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_{\sigma}}{\epsilon} \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_m}$ 和 $n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_{\tau}}{\epsilon} \tau_a + \psi_{\tau} \tau_m}$ 。

式中： $\tau_{-1} = (0.6 \sim 0.7) \sigma_{-1}$ ——扭轉时的耐久限；

$\sigma_a, \sigma_m, \tau_a, \tau_m$ ——分别为弯曲应力和扭轉应力的应力循环中的变动部分和不变部分。



轉軸直徑 d (公厘)

圖 523

尺寸因素 ϵ 可以根据線圖 (圖 523) 求出；在線圖中，曲線 1 表示有中等应力集中 ($K \leq 2$) 时的碳鋼的 ϵ 值，而曲線 2 则表示有很大应力集中时的碳鋼和合金鋼的 ϵ 值。

對於所有的鋼，系数 $\psi_{\tau} = 0.1$ 。碳鋼的 ψ_{σ} 值依其强度限的大小而定，当 $\sigma_b = 35 \sim 55$ 公斤/公厘²时， $\psi_{\sigma} = 0.15$ ；当 $\sigma_b = 65 \sim 75$ 公斤/公厘²时， $\psi_{\sigma} = 0.2$ ；對於鉻鎳鋼， $\psi_{\sigma} = 0.25 \sim 0.30$ 。

有效应力集中系数 K_{σ} 和 K_{τ} 根据本書緒論部分所載的線圖和公式求出。

重型的重要轉軸常常是靜不定的，因为在这种軸上常常有三个以上的支点。

在所有这些情形下，不可避免地都要作兩三次計算：起先是为了选定基本尺寸的粗略計算，接着就進行驗算，以便最后弄清应力大小如何，然后視工作条件的不同还要求出变形。

端曲拐軸和中曲拐軸

端曲拐軸和中曲拐軸用於具有活塞—連桿機構的那种原动机