

第十三章 轴

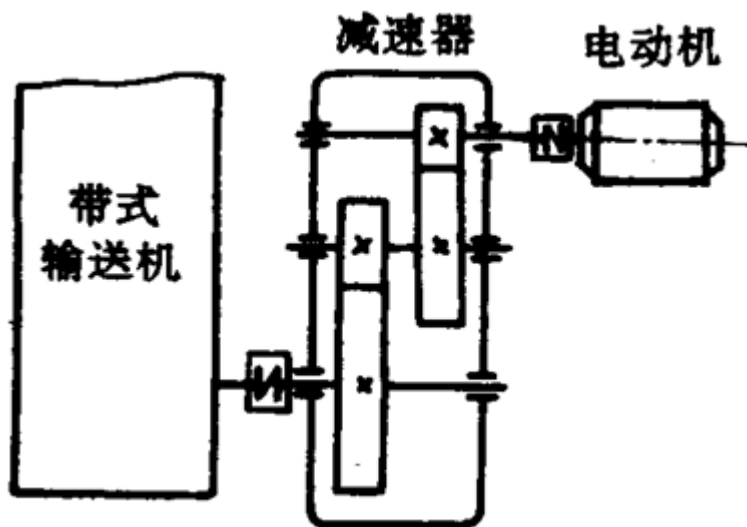
13.1 概述

轴是组成机器的重要零件之一，用来支承旋转的机械零件。

轴的功用：支承回转零件及传递运动和动力。

(1) 转轴

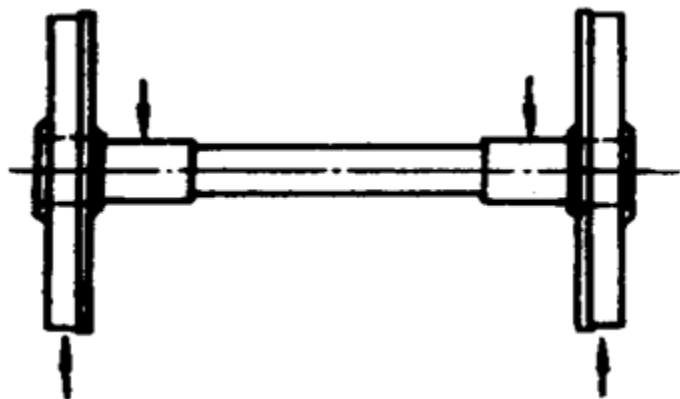
工作时既承受弯矩又承受转矩。



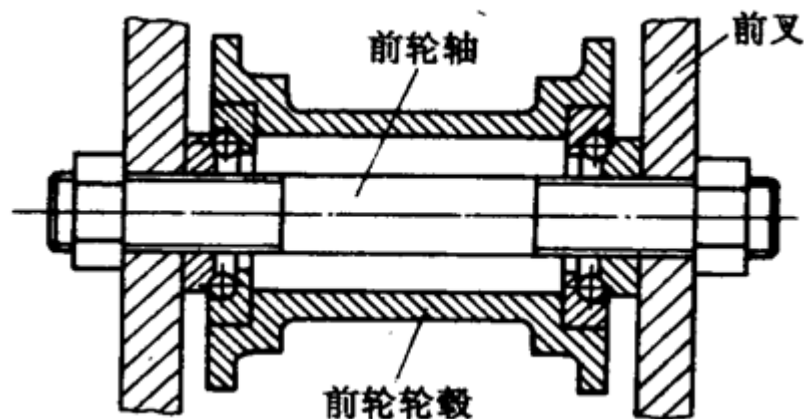
减速器中的转轴

(2) 心轴

用来支承转动零件，只承受弯矩而不传递转矩。



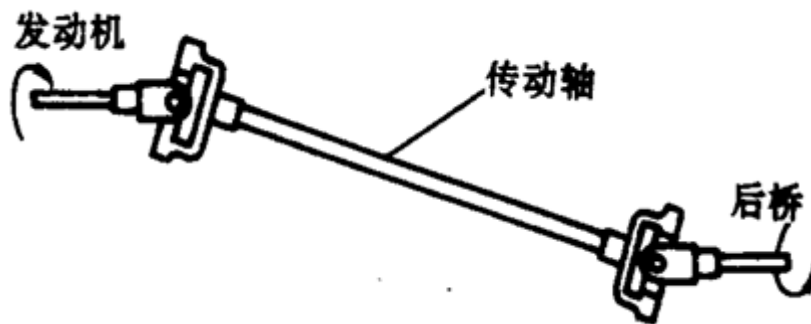
转动心轴



固定心轴

(3) 传动轴

主要用于传递转矩而不承受弯矩，或所承受的弯矩很小的轴。



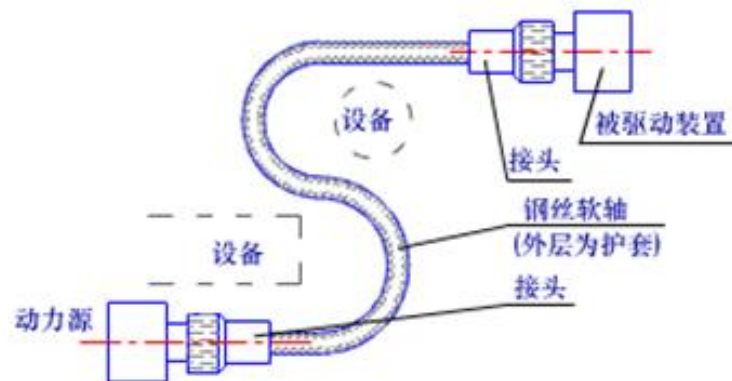
传动轴

按照轴线形状的不同，轴可分为直轴、曲轴和挠性轴。

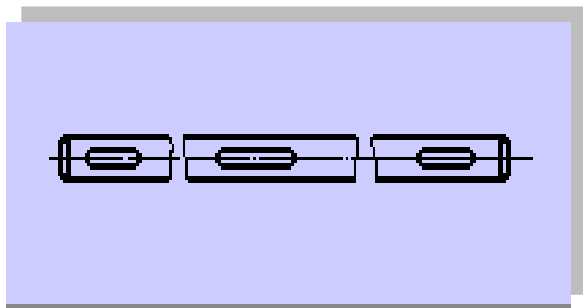
直轴根据外形的不同，可分为光轴、阶梯轴、实心轴和空心轴等。



曲 轴



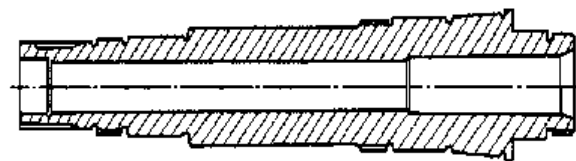
挠性轴



光 轴



阶梯轴



空心轴

轴的材料:

(1) 碳素结构钢(45、Q235A、Q275A)

特点: 对应力集中的敏感性小、价格较便宜、可热处理, 应用广泛

(2) 合金钢(20Cr、40Cr、20CrMnTi)

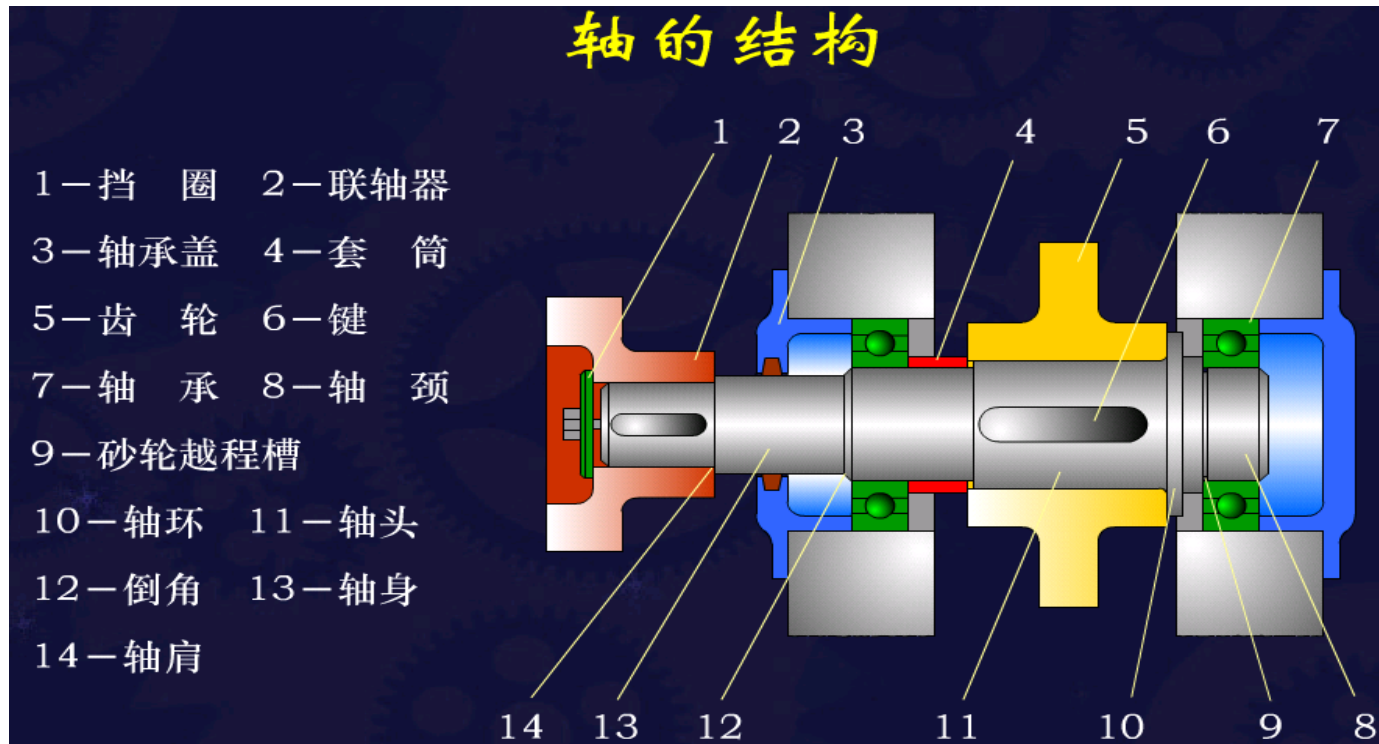
特点: 良好力学性能和热处理工艺性、对应力集中敏感, 价格较贵

(3) 球墨铸铁

特点: 铸造性能好、吸振性好、对应力集中不敏感、价格低。

13.2 轴的结构设计

轴的组成：轴颈、轴头和轴身



轴的结构设计要求：

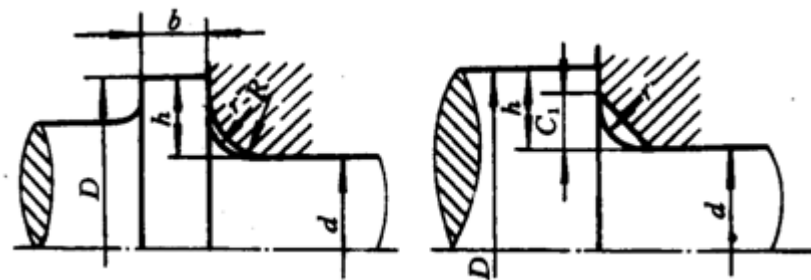
足够的承载能力；准确而可靠的工作位置；良好的制造和装配工艺性；尽量减小应力集中以提高疲劳强度。

13.2.1 轴上零件的轴向固定

轴向定位的目的是**限制轴上零件相对于轴的移动**，使其准确可靠地处在正确的位置上，保证机器正常工作。

(1)轴肩和轴环

结构简单，方便可靠，可承受较大轴向力。



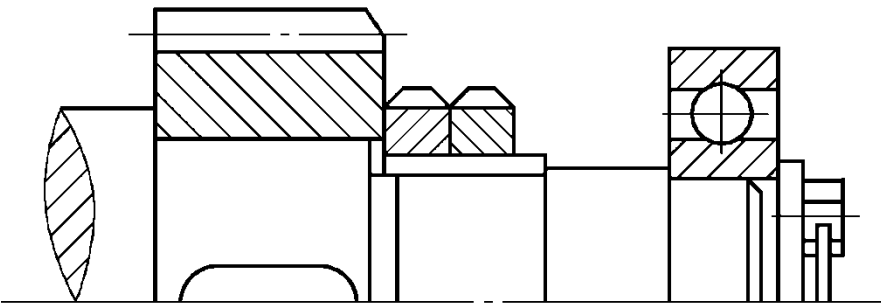
轴环

轴肩

多用于轴上两个零件之间距离不大，或不便于加工出轴肩的地方。此时，应保证套筒与被定位零件可靠接触。

(3)圆螺母

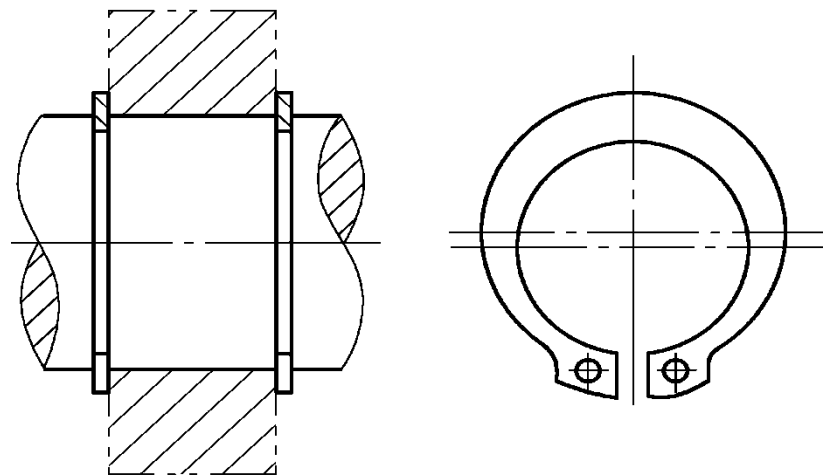
能承受较大的轴向力，轴上须加工螺纹，适用于轴向力较大或两零件间距离较大时的定位。



圆螺母轴向固定

(4)弹性挡圈

结构简单，适用于无轴向力或轴向力较小的情况。



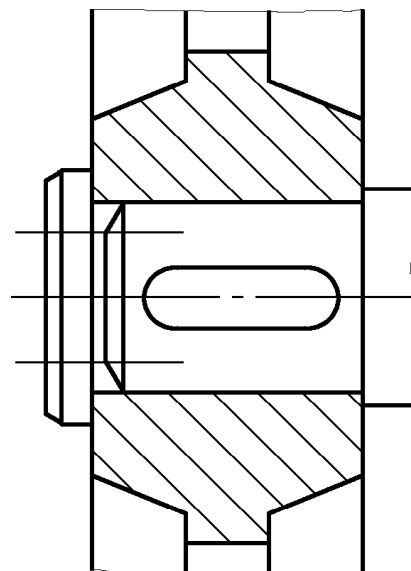
a)

b)

弹性挡圈定位

(5)轴端挡圈

定位可靠，方便，常用。
适用于经常装拆或有冲击的场合。



轴端挡圈定位

13.2.2 轴上零件的周向固定

周向定位的目的是**限制轴上零件相对于轴的转动**，以传递运动和转矩。通常采用键、花键、销、过盈配合及成型联接等。

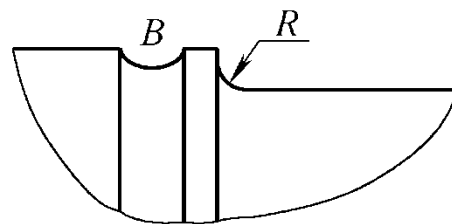
13.2.3 轴的结构工艺性

- (1)轴的结构应简单，轴的台阶数要尽可能少；
- (2)螺纹轴段要有退刀槽、磨削段要有越程槽；
- (3)设置必要的中心孔；
- (4)圆角半径、倒角尺寸尽可能统一；
- (5)同一根轴上各轴段的键槽尽可能布置在同一母线上；
- (6)为了便于装配，轴端应有倒角；
- (7)过盈配合的轴头，在零件装入端应有导向锥面；
- (8)定位轴肩的高度不能妨碍零件的拆卸；
- (9)任一零件装配时，不应触及其他零件的配合表面。

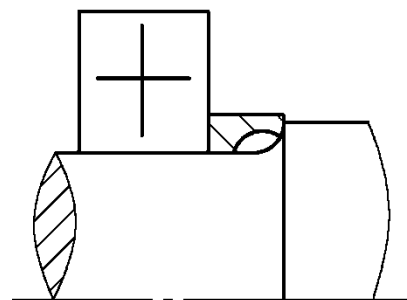
13.2.4 提高疲劳强度的措施

1. 采用合理结构

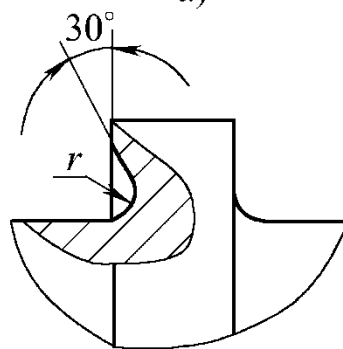
尽量避免在轴上开横孔、切口和凹槽；增大轴肩过渡圆角半径；采用卸荷槽（图a）、过渡肩环（图b）、凹切圆槽（图c）；在轴与轴上零件的过盈配合处，在轮毂上开卸荷槽（图d）。



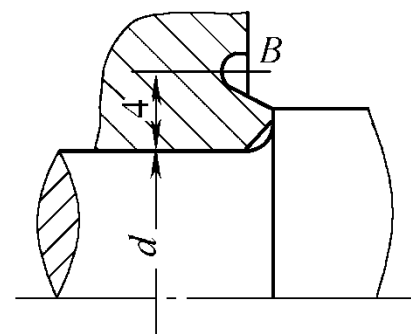
a)



b)



c)



d)

2. 改善轴的表面质量

降低轴的表面粗糙度，对轴的表面渗碳、渗氮及碳氮共渗等化学处理，辗压、喷丸等机械强化处理，可显著提高轴的承载能力。

13.3 轴的强度计算

目的：验算经结构设计初步得出的轴能否满足强度要求

13.3.1 按扭转强度计算

(1) 对于只传递转矩的圆截面轴

强度条件：

$$\tau = \frac{T}{W_T} \approx \frac{9.55 \times 10^6 P}{0.2 d^3 n} \leq [\tau] \quad (\text{MPa})$$

(2) 转轴

可用上式来估算轴的直径，但必须把轴的许用扭转剪应力 $[\tau]$ 适当降低，以补偿弯矩对轴的影响。

将降低后的许用应力代入上式，并改写为设计公式：

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{9.55 \times 10^6}{0.2[\tau]}} \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = C \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (\text{mm})$$

式中 C 是轴的材料和承载情况确定的常数。

应用上式求出的 d 值，一般作为轴最细处的直径。

常用材料的 $[\tau]$ 值和 C 值

| 轴的材料 | Q235, 20 | 35 | 45 | 40Cr, 35SiMn |
|---------------|----------|---------|---------|--------------|
| $[\tau]$ /MPa | 12~20 | 20~30 | 30~40 | 40~52 |
| C | 160~135 | 135~118 | 118~107 | 107~98 |

注：当作用在轴上的弯矩比传递的转矩小或只传递转矩时， C 取较小值；否则取较大值。

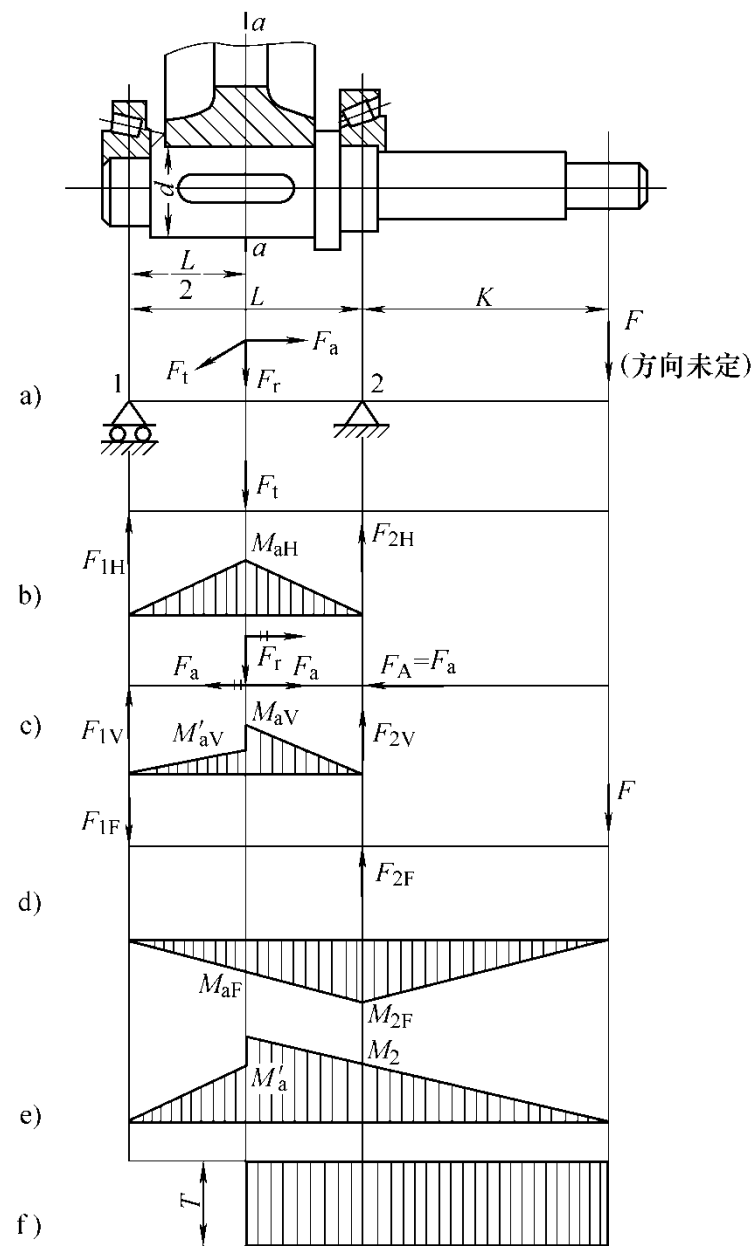
13.3.2 按弯扭合成强度计算

通过结构设计，轴的主要结构尺寸、轴上零件的位置、外载荷及支反力的作用位置等均已确定，这时可按下述步骤进行弯扭合成强度校核计算。

(1) 画出轴的空间受力图

如图a)，把载荷分解到水平面 H 和垂直面 V 上，求出支承处的水平支反力 R_H 、垂直支反力 R_V 。

根据求出的水平面 H 及垂直面 V 上的各力，即可分别作出水平面上的弯矩图 M_H (图b)和垂直面上的弯矩图 M_V (图c)。



(3) 作合成弯矩图 M

计算合成弯矩 $M = \sqrt{M_H^2 + M_V^2}$

(4) 作扭矩图 T

(5) 弯扭合成，作当量弯矩图 M_e

当量弯矩 M_e 的计算公式为：

$$M_e = \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}$$

式中 α 是考虑到弯矩 M 及扭矩 T 所产生的应力的循环特性不同而引入的应力校正系数。当扭转剪应力为静应力时， $\alpha \approx 0.3$ ；当扭转剪应力为脉动循环变应力时， $\alpha \approx 0.6$ ；当扭转剪应力为对称循环变应力时， $\alpha = 1.0$ 。若转矩的变化规律不清楚，一般也按脉动循环处理。

(6) 校核轴的强度（或计算危险截面轴径）

轴的强度校核公式为

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W} = \frac{\sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{W} \leq [\sigma_{-1b}] \quad (\text{MPa})$$

- ❖ 对于实心圆轴，抗弯截面系数 $W \approx 0.1d^3$
- ❖ $[\sigma_{-1b}]$ ——轴的许用弯曲应力，MPa，见下表。

| 轴的许用弯曲应力 | | | | MPa |
|----------|------------|------------------|-----------------|------------------|
| 材料 | σ_B | $[\sigma_{+1b}]$ | $[\sigma_{0b}]$ | $[\sigma_{-1b}]$ |
| 碳素钢 | 400 | 130 | 70 | 40 |
| | 500 | 170 | 75 | 45 |
| | 600 | 200 | 95 | 55 |
| | 700 | 230 | 110 | 65 |
| 合金钢 | 800 | 270 | 130 | 75 |
| | 900 | 300 | 140 | 80 |
| | 1 000 | 330 | 150 | 90 |
| 铸钢 | 400 | 100 | 50 | 30 |
| | 500 | 120 | 70 | 40 |

危险截面轴径可由下式计算：

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_e}{0.1[\sigma_{-1b}]}} \quad \text{mm}$$