

目录

第二章 机械设计总论.....	1
简答题.....	1
填空题.....	3
第三章 机械零件的强度.....	5
简答题.....	5
填空题.....	8
第四章 摩擦、磨损及润滑概述.....	10
简答题.....	10
填空题.....	13
第五章 螺纹连接和螺旋传动.....	17
简答题.....	17
填空题.....	21
第六章 键、花键、无键连接和销连接.....	23
简答题.....	23
填空题.....	25
第八章 带传动.....	28
简答题.....	28
填空题.....	33
第九章 链传动.....	36
简答题.....	36
填空题.....	40
第十章 齿轮传动.....	43
简答题.....	43
填空题.....	50
第十一章 蜗杆传动.....	53
简答题.....	53
填空题.....	56
第十二章 滑动轴承.....	58

简答题.....	58
填空题.....	61
第十三章 滚动轴承.....	65
简答题.....	65
填空题.....	68
第十四章 联轴器和离合器.....	71
简答题.....	71
填空题.....	72
第十五章 轴.....	74
简答题.....	74
填空题.....	76

第二章 机械设计总论

简答题

1. 一部机器的基本组成包括？

答：（1）原动机部分：驱动机器完成预定功能动力源；
（2）执行部分：用来完成机器预定功能的组成部分；
（3）传动部分：将原动机的运动、运动形式及动力参数转变为执行部分所需要的运动、运动形式及动力参数。

2. 对机器的主要要求？

答：（1）使用功能要求：机器应有预定的使用功能；
（2）经济性要求：机器的经济性体现在设计、制造和使用中；
（3）劳动保护和环境保护要求：要使机器的操作者方便、安全；改善操作者及机器环境；
（4）可靠性要求：机器的可靠度是指在规定的使用时间内和给定的环境条件下能够正常工作的概率。机器由于某种故障而不能完成预定的功能称为失效。

3. 设计机械零件时应满足的基本要求？

答：（1）避免在预定寿命期内失效的要求：应保证零件有足够的强度、刚度和寿命；
（2）结构工艺性要求：在既定的生产条件下能够方便而经济的生产出来，并便于装配；
（3）经济性要求：零件应有合理的生产、加工和使用维护成本；
（4）质量小的要求：对绝大多数零件都应当减小质量；
（5）可靠性要求：机器的可靠度是指在规定的使用时间内和给定的环境条件下能够正常工作的概率。可为了提高零件的可靠性，就应当在工作条件和零件的性能两个方面使其随机变化尽可能地小。

4. 设计机械零件时，常用设计准则？

答：（1）强度准则：确保零件不发生断裂破坏或过大的塑性变形；
（2）刚度准则：确保零件不发生过大弹性变形；

- (3) 寿命准则：通常与零件的疲劳、磨损、腐蚀相关；
- (4) 振动稳定性准则：在设计时要使机器中受激振作用的各零件的固有频率与激振源的频率错开；
- (5) 可靠性准则：机器的可靠度是指在规定的使用时间内和给定的环境条件下能够正常工作的概率。

5. 提高零件强度和刚度的措施有哪些？

答：(1) 提高机械零件强度的措施：

- ①合理布置零件，减小所受载荷；
- ②降低载荷集中，均布载荷；
- ③采用等强度结构；
- ④选用合理截面，增大惯性矩；
- ⑤减小应力集中；
- ⑥采用高强度材料；
- ⑦采用热处理和化学处理方法提高材料的强度性能；
- ⑧提高零件的制造精度，以减少工作时的动载荷。

(2) 提高机械零件刚度的措施：

- ①采取不同弹性模量的材料；
- ②采用合理的结构；
- ③预紧装置；
- ④增大零件的截面尺寸或增大惯性矩；
- ⑤缩短支承的跨距或采用多点支承。

6. 产品可靠度的定义是什么？计算公式是什么？

答：一大批零件，其工作件数为 N_0 ，在一定的工作条件下，如果 t 时间后仍有 N 件在正常工作，则可靠度 $R=N/N_0$ 。

7. 机械零件表面失效形式、措施？

答：失效形式：整体断裂、过大的残余变形、件的表面破坏、破坏正常工作条件引起的失效。

措施：(1) 尽可能降低零件上应力集中的影响；

(2) 选用疲劳强度高的材料和规定能够提高材料疲劳强度的热

处理方法及强化工艺；

(3) 提高零件的表面质量；

(4) 尽可能地消除零件表面可能发生的初始裂纹的尺寸。

8. 机械零件设计的一般步骤？

答：(1) 选择零件的类型和结构；

(2) 计算零件上的载荷；

(3) 分析零件失效形式，确定设计准则；

(4) 选择材料；

(5) 确定基本尺寸；

(6) 对零件进行结构设计；

(7) 进行校核计算；

(8) 画工作图，写说明书。

填空题

1. 设计机器的一般程序是计划阶段、方案设计阶段、技术设计阶段、技术文件编制阶段。
2. 机械零件不能正常工作称为失效。机械零件的主要失效形式有整体断裂、过大的残余变形、零件的表面破坏、破坏正常工作条件引起的失效。
3. 零件的表面破坏主要是腐蚀、磨损和接触疲劳。
4. 腐蚀、磨损和疲劳是引起零件失效的主要原因。
5. 机械零件的设计准则是强度准则、刚度准则、寿命准则、振动稳定性准则、可靠性准则。
6. 影响寿命的主要因素是腐蚀、磨损和疲劳。
7. 零件和部件的失效率与时间的关系曲线被称为浴盆曲线，第 I 阶段代表早期失效阶段、第 II 阶段代表正常使用阶段、第 III 阶段代表损坏阶段。
8. 表征零件可靠性的另一指标是零件的平均工作时间(也称平均寿命)。
9. 机械零件的设计方法为理论设计、经验设计、模型实验设计。
10. 机械零件材料的选用原则为使用性要求、工艺性要求、经济性要求。
11. 机械零件的三化是标准化、系列化和通用化。

12. 我国现行标准，从运用范围上来讲，分为国家标准(GB)、行业标准和企业标准，从使用的强制性来说，可分为必须执行的和推荐使用的，出口产品般应符合国际标准(ISO)。
13. 大多数通用零件及专用零件的失效都是由疲劳破坏引起的。
14. 设计机器的一般程序分为：计划阶段、方案设计阶段、技术设计阶段、技术文件编制阶段。
15. 从运用范围上来讲，机械零件设计的有关标准可以分为国家标准、行业标准和企业标准，优先数系是按照几何级数关系变化的数字系列。

第三章 机械零件的强度

简答题

1. 影响机械零件疲劳强度的主要因素有哪些？提高机械零件疲劳强度的措施有哪些？

答：（1）因素：零件的应力集中大小、零件尺寸，零件的表面质量以及零件的强化方式。

- （2）措施： ①降低零件应力集中的影响；
②提高零件的表面质量；
③对零件进行热处理和强化处理；
④选用疲劳强度高的材料；
⑤尽可能地减少或消除零件表面的初始裂纹度。

2. 应力循环值什么时候大于 1？什么时候小于 1？

答： $r > 1$ ：使初始裂纹产生和裂纹扩展所需要的应力水平是不同的。递升的变应力不易产生破坏，是由于前面施加较小的应力对材料不但没有初始疲劳裂纹产生，而且对材料起到强化作用，这种情况 $r > 1$ 。

$r < 1$ ：递减的变应力部由于开始作用了最大的变应力，引起了初始裂纹，则以后施加的力虽然很小，但是也能使裂纹扩展，故对材料有削弱作用，这种情况 $r < 1$ 。

3. 弯曲疲劳极限的综合影响系数 K_σ 的含义是什么？它对零件的疲劳强度和静强度各有何影响？

答：在对称循环时，综合影响系数是试件与零件的对称循环弯曲疲劳极限的比值。在不对称循环时，综合影响系数是试件与零件的极限应力幅比值。

综合影响系数使零件的疲劳极限小于材料试件的疲劳极限，而对静强度则无影响。

4. 零件的等寿命疲劳强度与材料试件的等寿命疲劳强度曲线有何区判？在相同的应力度化规律下，零件和材料试件的失效形式是否总是相同的？为什么？

答：区别在于：零件的等寿命疲劳强度曲线相对于试件的曲线下移了一段距离，在相同的应力变化规律下，两者的失效形式通常是相间的。如图 1 中 m'_1 和 m'_2 ，两者的失效形式也可能不同，这是由于 K_σ 的影响。如 n'_1 与 n'_2 ，使得：极限应力线图中零件发生疲劳破坏范围增大。

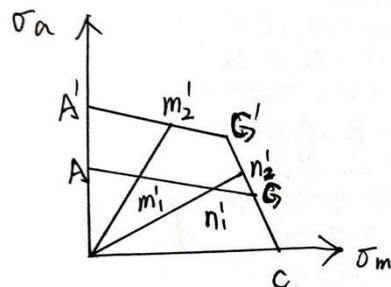


图 1

5. 试写出疲劳损伤累积假说的数学表达式，并且分别说明在按何种顺序加载应力时数学表达式等式号右面数值大于和小于 1？

答：
$$\sum_{i=1}^z \frac{n_i}{N_i} = 1$$

- (1) 递升的变应力不易产生破坏，是由于前面施加的较小的应力对材料不但没有产生初始裂纹，而且对材料起了强化作用，此时上式等号右面数值大于 1；
- (2) 递减的变应力却由于开始作用了最大的变应力，引起了初始裂纹，则以后施加应力虽然较小，但仍能够使裂纹扩展，故对材料有削弱作用，因此使上式等号右面数值小于 1。

6. 影响机械零件疲劳极限的综合影响系数 k_σ ，与哪些因素有关？

答：综合影响系数
$$K_\sigma = \left(\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} + \frac{1}{\beta_\sigma} - 1 \right) \frac{1}{\beta_q}$$

由此可知，影响机械零件疲劳极限的综合影响系数的因素主要有：有效应力集中系数 k_σ 、尺寸系数 ε_σ 、表面质量系数 β_σ 、强化系数 β_q 等。应力集中处裂纹更容易萌生和扩展，明显降低材料的疲劳极限；零件尺寸越大，其疲劳强度越低；表面粗糙度数值越大，零件表面越粗糙，疲劳强度越低。

7. 试举例说明什么零件的疲劳破坏属于低周疲劳破坏，什么零件的疲劳破坏属于高周疲劳破坏？

答：零件上的应力接近屈服极限，疲劳破坏发生在应力循环次数在 $10^3 \sim 10^4$ 范围内，零件破坏断口处有塑性变形的特征，这种疲劳破坏称为低周疲劳破坏，例如飞机起落架、火箭发射架中的零件。

零件上的应力远低于屈服极限，疲劳破坏发生在应力循环次数大于 10^4 时，零件破坏断口处无塑性变形的特征，这种疲劳破坏称为高周疲劳破坏，例如一般机械上的齿轮、轴承、螺栓等通用零件。

8. 试说明承受循环变应力的机械零件，在什么情况下可按静强度条件计算，什么情况下需按疲劳强度条件计算。

答：承受循环变应力的机械零件，当应力循环次数 $N \leq 10^3$ 时，应按静强度条件计算；当应力循环次数 $N > 10^3$ 时，在一定的应力变化规律下，如果极限应力点落在极限应力线图上的屈服曲线 \overline{GC} 上时，也应按静强度条件计算；如果极限应力点落在极限应力线图上的疲劳曲线 \overline{AG} 上时，则应按疲劳强度条件计算。

9. 疲劳损伤线性累积假说的含义是什么？写出其数学表达式。

答：该假说认为零件在每次循环变应力作用下，造成的损伤程度是可以累加的。应力循环次数增加，损伤程度也增加，两者满足线性关系。当损伤达到100%时，零件发生疲劳破坏。疲劳损伤线性累积假说的数学表达式为

$$\sum_{i=1}^z \frac{n_i}{N_i} = 1$$

10. 导致机械结构发生低应力断裂的原因有哪些？

答：结构内部裂纹和缺陷的存在是导致低应力断裂的内在原因。

11. $\sigma - N$ 曲线又叫什么曲线？

答：
材料的疲劳强度曲线分为两个

- $\sigma - N$ 曲线（又称疲劳极限—应力循环次数关系曲线）
- 等寿命疲劳曲线（又称极限应力线图）

填空题

1. 随着表面粗糙度的增加，零件的实际接触面积减小，高副元件表面接触产生的应力是接触应力。
2. 在变应力工况下，机械零件的损坏将是疲劳失效，这种损坏的断面包括光滑区和粗糙区。
3. 在进行零件的疲劳强度计算时，其极限应力应为材料的疲劳极限。
4. 零件的截面形状一定，当截面尺寸增大时，其疲劳极限将随之降低。
(截面尺寸越大，零件内部累积缺陷增多，所以疲劳极限降低)
5. 按照应力随时间变化的情况，应力可分为：静应力和变应力。
6. 机械零件的强度可以分为静应力强度和变应力强度。
7. 影响机械零件疲劳强度的主要因素，除了材料性能、应力循环特性 r 和应力循环次数 N 以外，还主要有应力集中、尺寸效应、表面状态和强化工艺
8. 不随时间变化的应力称为静应力，随时间变化的应力称为变应力，具有周期性的变应力称为循环变应力。
9. 疲劳强度中， σ - N 图指疲劳极限-应力循环图， s - N 图指疲劳极限模型图。
10. 在变应力中，应力循环特性是指最小应力与最大应力的比值。
11. 材料的疲劳特性： σ_{max} 、 N (应力循环次数)、 $r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ /循环特性)。
12. $r=1$: 静应力， $r=0$: 脉动循环应力， $r=-1$: 对称循环应力。
零件疲劳强度设计时，在校核其危险截面处的强度时，发现该截面同时存在几个不同的应力集中源，其有效应力集中系数应按各有效应力集中系数中的最大值选取。
14. 判断机械零件强度的两种方法是判断危险截面处的最大应力是否小于或等于许用应力及判断危险截面处的实际安全系数是否大于或等于许用安全系数，其相应的强度条件式为 $\sigma \leq [\sigma]$ ； $S_\sigma \geq [S]$ 。

$$\left(\text{安全系数} = \frac{\text{极限应力}}{\text{最大工作应力}} \geq \text{许用安全系数} \right)$$

15. 钢制零件的疲劳曲线 (σ - N 曲线) 中，当 $N < N_0$ 时为有限寿命区，而当 $N \geq N_0$

时，为无限寿命区。

16. 静应力下，零件材料有两种损坏形式：断裂或塑性破坏，在变应力条件下，零件的损坏形式是疲劳断裂。
17. 由于绝大多数通用零件都是在变应力下工作的，因此疲劳破坏是其主要破坏形式。
18. 在变应力种类中，稳定循环单向变应力是最基本的变应力，它又按循环特性 r 值的不同，分为对称循环变应力 ($r=-1$)、脉动循环变应力 ($r=0$) 和非对称循环变应力 ($0<r<1, -1<r<0$)。
19. 单向稳定变应力时机械零件的疲劳强度计算，可能发生的典型的应力变化规律通常有下述三种：第一，变应力的应力比保持不变，即 $r=C$ (例如绝大多数转轴中的应力状态)；第二：变应力的平均应力保持不变，即 $\underline{\sigma_m = C}$ (振动着的受载弹簧的应力状态)；第三，变应力的最小应力保持不变，即 $\underline{\sigma_{\min} = C}$ (例如紧螺栓联接中螺栓受轴向变载荷的应力状态)。
20. 零件表面的强化处理方法有表面化学热处理、高频表面淬火、表面硬化加工 等。
21. 机械零件受载时，在截面形状突变处产生应力集中，应力集中的程度通常随材料强度的增大而增大。
22. 在任一给定循环特性的条件下，表示应力循环次数 N 与疲劳极限 σ_{rN} 的关系的曲线称为疲劳曲线 ($\sigma - N$ 曲线)，其高周疲劳阶段的方程为

第四章 摩擦、磨损及润滑概述

简答题

1. 润滑油的黏度是如何定义的？黏度的表示方法通常有哪几种？润滑油的牌号是怎么规定的？

答：（1）润滑油黏度即为润滑油的流动阻力；
（2）黏度通常分为：动力黏度，运动黏度、条件黏度；
（3）我国规定采用润滑油在 40℃时的运动粘度中心值作为润滑油的牌号。

2. 何谓摩擦、磨损和润滑？

答：摩擦：液压力作用下，相互接触的两个物体受切向外力的作用而发生相对滑动或相对滑动的趋势，在接触面上就会产生抵抗这种趋势的阻力，这种现象称为摩擦。

磨损：运动副之间的摩擦会导致零件材料的逐渐丧失或迁移，即形成磨损。

润滑：在摩擦面间加入润滑剂不仅可以降低摩擦，减轻磨损，保护零件不遭锈蚀，而且在采用循环润滑时还可起到散热降温的作用。

3. 何为润滑油的闪点，凝点及润滑性？

答：闪点：当油在标准仪器中加热所蒸发出的油气一遇火焰即能发出闪光时的最低温度，称为油的闪点。

凝点：是指润滑油在规定条件下，不能再自由流动时所达到的最高温度。

润滑性：是指润滑油中极性分子与金属表面吸附形成一层边界油膜，以减小摩擦和磨损的性能。

4. 在机械传动中，润滑剂有何作用？润滑剂有哪几种？

答：（1）润滑剂的作用：降低摩擦功耗和减少磨损，还有吸振、冷却、防锈等作用。

（2）润滑剂分为液体润滑剂——润滑油、半固体润滑剂——润滑脂、固体润滑剂等。

5. 添加剂的作用？

答：（1）提高润滑剂的油性、极压性。

（2）推迟润滑剂的老化变质，延长其使用寿命。

6. 试述弹性流体动压润滑与流体动压润滑的联系与区别

答：流体动力润滑：两个做相对运动物体的摩擦表面，用借助于相对速度而产生的粘性流膜将两摩擦表面完全隔开，由流体膜产生的压力来平衡外载荷，称为流体动力润滑。

弹性流体动压润滑：研究的是点、线接触摩擦副的流体动力和滑动问题。

联系：都是借助摩擦面间的相对运动而形成承载油膜的润滑。

区别：①流体动力润滑研究低副接触零件的润滑问题，而弹性流体动压润滑研究高副接触零件的润滑问题。

②流体动力润滑认为润滑剂粘度不随压力而改变，弹性流体动压润滑认为润滑剂粘度会随压力而改变，产生弹性变形。

7. 零件的磨损过程大致可分为哪几个阶段？每个阶段的特征是什么？

答：零件的磨损过程大致分为三个阶段，即磨合阶段、稳定磨损阶段以及剧烈磨损阶段。

磨合阶段使接触轮廓峰压碎或塑性变形，形成稳定的最佳粗糙面。磨合是磨损的不稳定阶段，在零件的整个工作时间内所占比率很小。稳定磨损阶段磨损缓慢，这一阶段的长短代表了零件使用寿命的长短。剧烈磨损阶段零件的运动副间隙增大，动载荷增大，噪声和振动增大，需更换零件。

8. 润滑油的主要性能指标有哪些？润滑脂的主要性能指标有哪些？

答：润滑油的主要性能指标有：粘度、润滑性、极压性、闪点、凝点、氧化稳定性。

润滑脂的主要性能指标有：锥入度（稠度）、滴点。

9. 流体动力润滑和流体静力润滑的油膜形成原理有何不同？流体静力润滑的主要优点是什么？

答：流体动力润滑是利用摩擦面间的相对运动而自动形成承载油膜的润滑。

流体静力润滑是从外部将加压的油送入摩擦面间，强迫形成承载油膜的润滑。

流体静力润滑的承载能力不依赖于流体粘度，故能用低粘度的润滑油，使摩擦副既有高的承载能力，又有低的摩擦力矩。流体静力润滑能在各种转速情况下建立稳定的承载油膜。

10. 试分别从摩擦状态、油膜形成的原理以及润滑介质几方面对滑动轴承进行分类。

答：从摩擦状态可分为液体润滑轴承、不完全液体润滑轴承；从油膜形成的原理可分为液体动力润滑轴承和液体静力润滑轴承；从润滑介质不同可分为油润滑轴承、脂润滑轴承和固体介质润滑轴承。

11. 试分析流体动力润滑轴承和不完全流体动力润滑轴承的区别，并讨论它们各自适用的场合。

答：液体润滑轴承与不完全液体润滑轴承的区别在于前者有一套连续供油系统，保证轴承间隙中充满润滑油，液体润滑轴承用于重要轴承。不完全液体润滑轴承没有连续供油的系统，不能保证连续供油，不完全润滑轴承用于一般轴承。

12. 滑动轴承润滑的目的是什么（分别从流体润滑和不完全流体润滑两类轴承分析）？

答：液体润滑轴承的润滑油除了起润滑作用外，还起到带走摩擦面间热量的作用；不完全润滑轴承的润滑油主要起润滑作用。

13. 滑动轴承常用的润滑剂种类有哪些？选用时应考虑哪些因素？

答：润滑剂分为润滑脂、润滑油和固体润滑剂。

润滑脂用于要求不高、难于经常供油、或者低速重载以及做摆动运动的轴承中；固体润滑剂只用于一些有特殊要求的场合；其他情况下均可采用润滑油。

14. 解释膜厚比相关参数物理意义及依据膜厚比判断摩擦状态。

答：膜厚比 $\lambda = \frac{h_{\min}}{(R_{q1}^2 + R_{q2}^2)^{\frac{1}{2}}}$

h_{\min} —— 两滑动粗糙表面间的最小公称油膜厚度；

R_{q1} 、 R_{q2} —— 两表面形貌轮廓的均方根偏差，约为算数平均偏差 R_{a1} 、

R_{a2} 的 1.2~1.25 倍， μm ；

状态判定： $\lambda \leq 1$ ，：边界摩擦（润滑）状态；

$1 \leq \lambda \leq 3$ ：混合摩擦（润滑）状态；

$\lambda > 3$ ：流体摩擦（润滑）状态。

备注： $h_{\min} = r\varphi(1-\chi) \geq h=4S (R_{a1}+R_{a2})$

R_{a1} 、 R_{a2} ——分别为轴颈和轴承孔表面粗糙度，单位 μm ；

S——安全系数，S 常取 ≥ 2 ；

h_{\min} 愈小则偏心率 χ 愈大，但是， h_{\min}

它受到轴颈和轴承表面粗糙度、轴的刚性及轴颈与轴承的几何形状误差等的限制。

15. 运动粘度、动力粘度间的关系及它们各自的单位。

答： $\nu = \frac{\eta}{\rho}$

ν ——运动粘度， m^2/s ；

η ——动力粘度， $\text{pa}\cdot\text{s}$ ；

ρ ——液体密度， Kg/m^3

16. 流体润滑分为哪三类？

答：（1）流体动力润滑：两个作相对运动的摩擦表面，用借助于相对速度而产生的粘性流体膜将两摩擦表面完全隔开，由流体膜产生的压力来平衡外载荷，称为流体动力润滑。

（2）弹性流体动力润滑：研究的是在相互滚动（或有滑动的滚动）条件下，两弹性体之间的润滑问题。

（3）流体静力润滑：靠液压泵将加压后的流体送入两摩擦表面间，利用流体静压力来平衡外载荷。

填空题

1. 按建立压力油膜的原理不同，流体润滑主要有流体动力润滑、流体静力润滑。

2. 在表面润滑情况下，将摩擦分为三种状态：边界摩擦、干摩擦、液体摩擦。



3. 按摩擦状态不同，摩擦可分为干摩擦、边界摩擦、流体摩擦和混合摩擦。

(边界摩擦： $\lambda \leq 1$ ，流体摩擦： $\lambda > 3$ ，混合摩擦： $1 \leq \lambda \leq 3$ 。)

4. 流体摩擦是理想的摩擦状态。

5. 运动副之间的摩擦将导致零件表面材料的逐渐丧失，这种现象称为磨损。

(磨损的利弊：精加工的磨削、抛光、机器的“跑合”；影响机器的效率，降低工作的可靠性，甚至使机器提前报废)

6. 磨损通常分为 5 种类型，其中磨粒磨损是干摩擦状态下的主要失效形式。

7. 根据磨损机理，磨损可分为粘附磨损、磨粒磨损、疲劳磨损和流体侵蚀磨损。

8. 根据磨损结果着重对磨损表面外观的描述，磨损分为点蚀磨损、胶合磨损、擦伤磨损。

9. 一个零件的磨损大致可以分为磨合磨损、稳定磨损、剧烈磨损三个阶段，在设计或使用中，应力求缩短磨合期、延长稳定磨损期、推迟剧烈磨损的到来。

(稳定磨损阶段的长短代表了零件使用寿命的长短。磨合阶段包括摩擦表面轮廓峰的形状变化和表面材料被加工硬化两个过程。)

10. 润滑油的油性是指润滑油中极性分子和金属表面吸附形成一层边界油膜，极压性是指润滑油中极性分子在金属表面生成抗磨、耐高压的化学反应边界膜。

(润滑油的油性又叫做润滑性。

润滑油的指标：粘度、润滑性、极压性、闪点、凝点、氧化稳定性)

11. 粘度分为动力粘度 η 、运动粘度 ν 、条件粘度 (在一定条件下，利用某种规格的粘度计，通过测定润滑油通过规定孔道的时间来进行计量)。

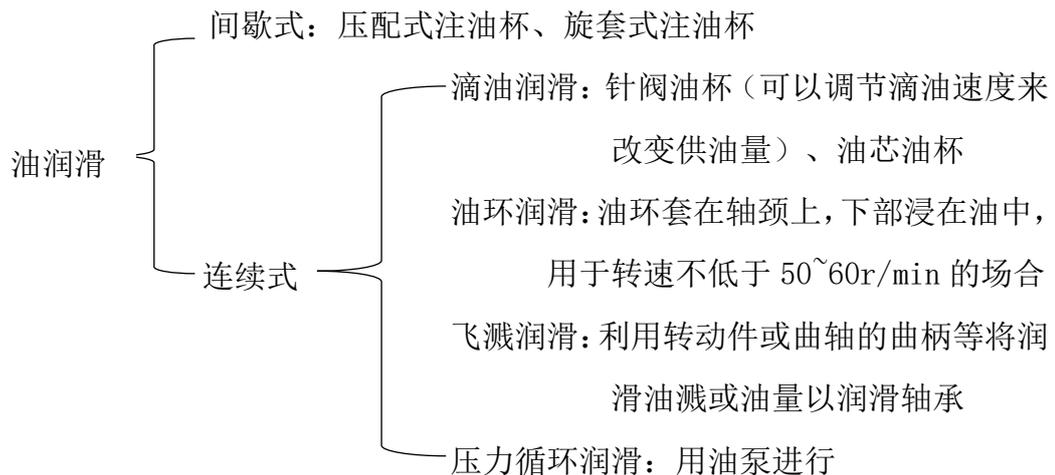
12. 向摩擦表面施加润滑油的方法分为间歇式和连续式两种。

(润滑方法：①油润滑：间歇润滑、连续供油润滑 (滴油润滑、油环润滑、飞溅润滑、压力循环润滑)；②脂润滑：只能间歇供应润滑脂)

13. 向有传动精度要求的滑动摩擦表面加注润滑剂的主要目的是降低摩擦，减轻

磨损。

14. 在流体润滑状态下，磨损可以避免，而在边界及混合润滑状态下，磨损不可以避免。
15. 工业用润滑油的粘度主要受温度和压力的影响。
16. 润滑剂中加入添加剂的作用是改善炼制润滑剂的润滑性能，提高油的品质；常用的添加剂有极压添加剂、油性添加剂、粘度指数添加剂、抗蚀添加剂。
17. 润滑剂可分为气体、液体、半固体和固体。
18. 用做润滑剂的油类可概况为三类：有机油、矿物油、化学合成油。矿物油因来源充足，成本低，适用范围广，性能稳定，故应用最多，但油性差。
19. 不完全流体润滑轴承指润滑表面间处于边界润滑或混合润滑状态，自润滑轴承指工作时不加润滑剂。
20. 润滑脂的锥入度是指一个重 1.5N 的标锥体，于 25℃ 恒温下，由润滑脂表面经 5s 后刺入的深度。
21. 润滑脂的滴点是指在规定的加热条件下，润滑脂从标准测量杯的孔口滴下第一滴液体时的温度。
22. 润滑脂的滴点决定了它的工作温度。
23. 针阀油杯可以调节滴油速度来改变供油量，旋盖式油脂杯只能间歇供应润滑脂。



24. 两相对滑动的接触表面，依靠吸附的油膜进行润滑的状态称为边界摩擦。

25. dn 值大的滚动轴承应采用油润滑，而 dn 值小的滚动轴承可采用脂润滑。

滚动轴承的润滑

- 脂润滑：只用于较低 dn 值
- 油润滑：润滑油的主要性能指标为粘度，转速越高，用粘度越低的润滑油，载荷越大，用高粘度润滑油
- 固体润滑

26. 润滑油是滑动轴承中应用最广的润滑剂。液体动压轴承通常采用润滑油作润滑剂。原则上讲，当转速高、压力小时，应选粘度较低的油；反之，当转速低、压力大时，应选粘度较高的油。润滑油粘度随温度的升高而降低，故在较高温度下工作的轴承(例如 $t > 60^\circ\text{C}$)，所用油时粘度应比常温轴承的高。

27. 流体动力润滑理论的基本方程为雷诺方程。

28. 形成流体动力润滑（即形成动压油膜）的必要条件：相对滑动的两表面间必须形成收敛的楔形空间；被油膜分开的两表面必须有足够的相对滑动速度，其运动方向必须使润滑油由大口流入，从小口流出；润滑油必须有一定的粘度，供油要充分。

第五章 螺纹连接和螺旋传动

简答题

1. 螺纹连接有哪些基本类型？各有何特点？各适用于什么场合？

答：（1）普通螺纹：特点：牙型为等边三角形，牙型角 $\alpha=60^\circ$ ，内外螺纹旋合后留有径向间隙，外螺纹牙根允许有较大圆角，以减小应力集中。同一公称直径按螺距大小分为粗牙与细牙。

应用场合：一般连接多用粗牙螺纹，细牙螺纹常用于细小零件、薄壁套件中，也可作为微调机构的调整螺纹。

（2）管螺纹：特点：牙型为等边三角形，牙型角 $\alpha=55^\circ$ ，内外螺纹旋合后无径向间隙。

应用场合：阀门及其他附件。

（3）矩形螺纹：特点：牙型为正方形，牙型角 $\alpha=0^\circ$ 。传动效率较其他螺纹高，但牙根强度弱。

应用场合：传动螺纹。

（4）梯形螺纹：特点：牙型为等腰梯形，牙型角为 30° 。内外螺纹以锥面贴紧，不易松动，工艺较好，牙根强度高，对中性好。

应用场合：传动螺纹。

（5）锯齿形螺纹：特点：牙型为不等腰梯形，工作面牙侧角为 3° ，非工作面牙侧角为 30° ，外螺纹牙根有较大的圆角，以减小应力集中，内螺纹旋合后，大径处无间隙，便于对中，这种螺纹兼具有矩形螺纹传动效率高，梯形螺纹牙根强度高的特点。

应用场合：只用于单向传动的螺纹连接或螺旋传动。

2. 为什么对于重要的螺栓连接要控制螺栓的预紧力 F_0 ？控制预紧力的方法有哪几种？

答：（1）为了增强连接的可靠性和紧密性，以防止受载后被连接件出现缝隙或相对滑移。

（2）测力矩扳手、定力矩扳手、测量螺栓受力后的伸长量。

3. 提高螺纹连接强度的措施有哪些？

答：（1）降低影响螺栓疲劳强度的应力幅 ΔF ，适当减少螺栓刚度（适当增加螺栓长度或采用腰杆状螺栓和空心螺栓），增加被连接件刚度（不用垫片或采用刚度较大的垫片），适当增加预紧力；

（2）改善螺纹牙上载荷分布不均的影响，如采用钢丝螺套；

（3）减少应力集中的影响；

（4）采用合理的制造工艺方法。

4. 螺栓连接件受力时考虑预紧力要考虑哪些因素？

答：预紧力过小——连接不紧密，不可靠，受载之后有可能出现相对滑移。

预紧力过大——会导致整个连接的结构尺寸增大，也会使连接件在装配

5. 大多数情况下，受拉螺栓连接的强度决定了螺栓强度，提高螺栓强度的措施有哪些？

答：（1）降低影响螺栓疲劳强度的应力幅：减小螺栓刚度；增加被连接件刚度，并适当增加预紧力；

（2）改善螺纹牙上载荷分布不均的影响；

（3）减少应力集中的影响；

（4）减小附加弯曲应力；

（5）采用合理的制造工艺方法。

6. 螺栓组连接的结构设计原则

答：（1）连接结合面的形状通常都设计成轴对称的简单几何形状；

（2）螺栓的布置应使各螺栓的受力合理；

（3）螺栓的排列应有合理的间距边距；

(4) 分布在同一圆周上的螺栓数目，应取 4、6、8 等偶数；

(5) 避免螺栓承受附加弯矩的弯曲载荷。

7. 在重要的紧螺栓连接中，为什么尽可能不用小于 M12~M16 的螺栓？

答：当预紧力 F_0 已知时，可按 $T \approx 0.2F_0d$ 确定拧紧力矩大小，如果用这个拧紧力拧紧 M12 以下的螺栓，很可能出现过载拧断。

8. 试指出普通螺栓连接、双头螺柱连接和螺钉连接的结构特点，各用在什么场合？

答：普通螺栓连接与连接件上的通孔留有间隙，应用广泛，使用时不受被连接件材料的限制，既可承受横向载荷，又可承受轴向载荷。

双头螺柱连接——被连接件之一太厚不易制成通孔，材料又比较软，且需要经常拆卸时，用于结构上不能采用螺栓连接的场合。

螺钉连接——同双头螺柱，但多用于受力不大，不需要经常拆卸时。

9. 提高螺栓连接强度的措施中哪些主要是针对静载荷？哪些主要是针对变载荷？

答：针对静载荷：改善螺纹牙上的载荷分布；

针对变载荷：减小螺栓的应力幅，采用合理的制造工艺，避免附加弯曲应力。

10. 在螺栓连接中，螺纹牙间载荷分布为什么会出现不均匀现象？常用哪些结构形式可使螺纹牙间载荷分布趋于均匀？

答：螺栓所受总拉力都是通过螺栓和螺母的螺纹牙面接触来传递的，由于螺栓和螺母的刚度和变形性质不同，造成螺纹牙上的受力也不同，从而出现螺纹牙上载荷分布不均匀的现象。

采用旋置螺母，减小螺栓旋合段本来受力较大的几圈螺纹牙的受力或采用钢丝螺套。

11. 计算普通螺栓连接时，为什么只考虑螺栓危险截面的拉伸强度，而不考虑螺栓头、螺母和螺纹牙的强度？

答：螺栓头、螺母和螺纹牙的结构尺寸是根据与螺杆的等强度条件及使用经验规定的，实践中很少发生失效，因此，通常不需要进行强度计算。

12. 普通紧螺栓连接所受到的轴向工作载荷或横向工作载荷为脉动循环时，螺栓

上的总载荷是什么循环?

答: 普通紧螺栓连接所受轴向工作载荷为脉动循环时, 螺栓上的总载荷为不变号的不对称循环变载荷 $0 < r < 1$; 所受横向工作载荷为脉动循环时, 螺栓上的总载荷为静载荷, $r=1$ 。

13. 螺栓的性能等级为 8.8 级, 与它相配的螺母的性能等级应为多少? 性能等级数字代号的含义是什么?

答: 螺栓的性能等级为 8.8 级, 与其相配的螺母的性能等级 8 级(大直径时为 9 级), 性能等级小数点前的数字代表材料抗拉强度极限的 $1/100$ ($\sigma_B/100$), 小数点后面的数字代表材料的屈服极限与抗拉强度极限之比值的 10 倍 ($10\sigma_s/\sigma_B$)。

14. 在什么情况下, 螺栓连接的安全系数大小与螺栓直径有关? 试说明其原因。

答: 在不控制预紧力的情况下, 螺栓连接的安全系数与螺栓直径有关, 螺栓直径越小, 则安全系数取得越大。这是因为扳手的长度随螺栓直径减小而线性减短, 而螺栓的承载能力随螺栓直径减小而平方性降低, 因此, 用扳手拧紧螺栓时, 螺栓直径越细越易拧紧, 造成螺栓过载断裂。所以小直径的螺栓应取较大的安全系数。

15. 为什么螺母的螺纹圈数不宜过多? 通常采用哪些结构形式可使各圈螺纹牙的载荷分布趋于均匀?

答: 在螺纹连接中, 约有 $1/3$ 的载荷集中在第一圈上, 第八圈以后的螺纹牙几乎不承受载荷。因此采用螺纹牙圈数过多的加厚螺母, 并不能提高螺纹连接的强度。

采用悬置螺母, 环槽螺母, 内斜螺母以及钢丝螺套, 可以使各圈螺纹牙上的载荷分布趋于均匀。

16. 采用腰杆状螺栓和悬置螺母为什么能提高螺栓疲劳强度? 各举两种其它措施。

答: 因为采用了腰杆状的螺栓增加了螺栓的长度, 减小了螺栓的刚度, 从而减少了影响螺栓疲劳强度的应力幅, 因而提高了疲劳强度。采用悬置螺母可减少螺栓旋合段初始几圈螺纹牙的受力大小, 可使螺纹牙上所受载荷更均匀, 所以提高了螺栓的疲劳强度。

其他措施：采用刚度较大的垫片，采用内斜螺母。

17. 什么螺纹用于连接？什么螺纹用于传动？各自的理由是什么？

答：（1）连接：普通螺纹、管螺纹。

理由：这类螺纹往往能保证连接的紧密性要求，并且由于其牙型为三角形，若用作传动，其传递的转矩小，因此不适合用于传动场合中。

（2）传动：矩形螺纹、梯形螺纹、锯齿形螺纹

填空题

1. 螺纹的公称直径是指螺纹的大径，螺纹的升角是指螺纹中径处的升角。螺旋的自锁条件为螺纹升角 ≤ 当量摩擦角，拧紧螺母时效率公式为
$$\eta = \frac{\tan \phi}{\tan(\phi + \phi_v)}$$
。
2. 螺纹联接常用的防松原理有摩擦防松、机械防松、永久防松。其对应的防松装置有双螺母，开口销，铆合、冲点。
3. 三角形螺纹主要用于连接，而矩形、梯形和锯齿形螺纹主要用于传动。
4. 联接承受横向载荷，当采用普通螺栓联接，横向载荷靠被连接件的接触面间摩擦力来平衡；当采用铰制孔螺栓联接，横向载荷靠螺栓光杆的剪切和挤压来平衡。
5. 传动用螺纹（如梯形螺纹）的牙型斜角比联接用螺纹（如三角形螺纹）的牙型斜角小，这主要是为了提高传动效率。
6. 六角螺母根据螺母厚度不同，分为标准螺母和薄螺母。
7. 螺纹联接的防松的根本问题在于防止螺旋副受载时发生相对转动；对于重要的防松，特别是机器内部不易检查的连接，应采用机械防松。
8. 就破坏性质而言，约有 90%的螺栓属于疲劳破坏，而且疲劳断裂常发生在螺纹根部。
9. 根据螺旋线绕行方向，螺纹可分为右旋螺纹和左旋螺纹，最常用的是右旋螺纹。
10. 根据螺纹分布的部位，分为外螺纹和内螺纹。

11. 根据螺纹母体形状可分为圆柱螺纹和圆锥螺纹，圆锥螺纹主要用于管连接，圆柱螺纹用于一般连接和传动。
12. 螺纹又有米制和英制(螺距以每英寸牙数表示)之分，我国除管螺纹保留英制外，其余都采用米制螺纹。
13. 根据线数的不同，螺纹又分为单线螺纹和多线螺纹两类。单线螺纹多用于连接，具有自锁性；多线螺纹多用于传动，传动效率要求较高。为便于制造，一般 $n \leq 4$ 。
14. 对于受拉螺栓，其主要破坏形式是螺栓杆螺纹部分发生断裂，因而其设计准则是保证螺栓的静力或疲劳拉伸强度，对于受剪螺栓，其主要破坏形式是螺栓杆和孔壁的贴合面上出现压溃或螺栓杆被剪断，其设计准则是保证连接的挤压强度和螺栓的剪切强度。
15. 标准螺纹联接常用材料有低碳钢、中碳钢和合金钢。普通垫圈的材料，推荐采用 Q235、15 钢、35 钢，弹簧垫圈用 65Mn 制造。
16. 螺纹接的许用应力与载荷性质、装配情况、螺纹连接件的材料、结构尺寸等因素有关。
17. 采用合理制造工艺方法中采用冷镦螺栓头和滚压螺纹的工艺方法。
18. 拧紧螺母时，螺栓的横截面产生拉伸与扭剪应力。
19. 在铰制孔螺栓联接中，螺栓杆与孔的配合为过渡配合。

第六章 键、花键、无键连接和销连接

简答题

1. 为什么采用两个平键（双键连接）时，通常在轴的圆周上相隔 180° 位置布置；采用两个楔键时，常相隔 $90^\circ \sim 120^\circ$ ；而采用两个半圆键时，则布置在轴的同一条母线上？

答：（1）两平键相隔 180° 布置，对轴的削弱均匀，并且两键的挤压应力对轴平衡，对轴不产生附加弯矩，受力状态好。

（2）两楔键 $90^\circ \sim 120^\circ$ ，若夹角过小，则对轴的局部削弱较大；若夹角过大，则两个楔键的总承载能力下降。若夹角为 180° 时，两个楔键的承载能力大体上只相当于一个楔键的承载能力。因此，两个楔键间的夹角既不能过大，也不能过小。

（3）半圆键在轴上的键槽较深，对轴的削弱较大，不宜将两个半圆键布置在轴的同一直径截面上，故可将两个半圆键布置在同一母线上。通常半圆键只用于传递载荷不大的场合，一般不采用两个半圆键。

2. 普通平键连接有哪些失效形式？强度校核判定强度不够时，可采取哪些措施？

答：工作面压溃。

将圆头键改为方头键；采用两个平键，相隔 180° 布置，增大轴的直径以选取较大截面尺寸的键。

3. 圆头、方头和单圆头的普通平键各具有什么特点？为什么平键应用最广？

答：圆头平键在键槽中轴向固定性好，但缺点是键的头部侧面与轮毂上的键槽并不接触，因而键的圆头部分不能充分利用，轴上键槽端部的应力集中较大。

方头平键的轴向固定性较差，宜用紧定螺钉将其固定在键槽中。

单圆头平键其应用特点同圆头平键，但只适用于轴端与毂类零件的连接。

平键包括普通平键和导向平键，靠键和键槽的侧面挤压来传递扭矩，对轴上零件与轴的同轴度没有影响，结构简单，所以应用广泛。

4. 销按照形状可分为哪些类型？各有什么特点？

答：销有多种类型，如圆柱销、圆锥销、槽销和开口销等。

圆柱销靠过盈配合固定在销孔中，经多次装拆会降低其定位精度和可靠性。

圆锥销具有 1:50 的锥度，在受横向力时可以自锁。安装方便，定位精度高，可多次装拆而不影响定位精度。

槽销能承受振动和变载荷，可多次装拆。

销轴用于两零件的铰接处，构成铰接连接，销轴通常用开口销锁定，工作可靠，拆卸方便。

开口销装配时将尾部分开，以防脱出，开口销除与销轴配合外，还常用于螺纹连接的防松装置中。

5. 薄型平键连接与普通平键连接相比，在使用场合、结构尺寸和承载能力上有什么区别？

答：薄型平键的高度约为普通平键的 60%~70%，传递转矩的能力比普通平键低，常用于薄壁结构、空心轴以及一些径向尺寸受限制的场所。

6. 与平键、楔键、半圆键相配的轴和轮毂上的键槽是如何加工的？

答：轴上的键槽是在铣床上用端铣刀或盘铣刀加工的。轮毂上的键槽是在插床上用插刀加工的，也可以由拉刀加工，也可以在线切割机上用电火花方法加工。

花键连接的主要失效形式是什么？如何进行强度计算？

答：静连接花键的主要失效形式是工作面被压溃，动连接花键的主要失效形式是工作面过度磨损，静连接按 $\sigma_p = \frac{2000T}{\psi z h l d_m} \leq [\sigma_p]$ 计算，动连接按

$p = \frac{2000T}{\psi z h l d_m} \leq [p]$ 计算。

8. 在胀紧连接中，胀套串联使用时引入额定载荷系数 m 是为了考虑什么因素的影响？

答：胀套串联使用时，由于各胀套的胀紧程度有所不同，因此，承受载荷时各个胀套的承载量是有区别的。所以，计算时引入额定载荷系数 m 来考虑这

一因素的影响。

9. 一般连接用销、定位用销及安全保护用销在设计计算上有何不同？

答：定位用销的尺寸按连接结构确定，不做强度计算。

连接用销的尺寸根据连接的结构特点按经验或规范确定，必要时校核其剪切强度和挤压强度。

安全销的直径按过载时被剪断的条件确定。

10. 提高键联接强度措施？

答：（1）采用双键时：两个平键沿周向相隔 180° ；两个半圆键在轴的同一条母线上；两个楔键周向相 $90^\circ \sim 120^\circ$ 。在强度计算中对双键按 1.5 个键计算。

（2）增加键长以提高单键联接的承载能力。

（3）适当加大轴径，键的截面尺寸也将随之增加。

11. 花键连接的优缺点？

答：（1）花键的优点：

- ①受力均匀；
- ②应力集中较小；
- ③可承受较大载荷。
- ④对中性好；
- ⑤导向性好；
- ⑥可用磨削的方法提高加工精度。

（2）花键的缺点：

- ①齿根有应力集中；
- ②加工成本高。

1. 销的主要用途是固定零件间的相对位置，传递不大载荷。
2. 平键连接的主要失效形式是工作面压溃（静连接），按工作面上的挤压应力进行强度校核计算。
3. 导向平键和滑键的主要失效形式是和工作面过度磨损（动连接），按工作面上的压力进行条件性的强度校核计算。
4. 半圆键连接的主要失效形式是工作面压溃。

5. 楔键连接的主要失效形式是相互楔紧的工作面被压溃。
6. 花键连接的主要失效形式是工作面被压溃或工作面过度磨损。
7. 键、半圆键、导向平键和切向键四种键中能构成紧连接的两种键是楔键和切向键。
8. 普通平键连接工作时，键的主要失效形式为工作面被压溃。
9. 设计普通平键连接时，键的截面尺寸 $b \times h$ 根据轴的直径选择。
10. 矩形花键连接采用小径定心（特点是定心精度高，定心的稳定性好，能用磨削的方法消除热处理引起的变形），渐开线花键连接采用齿形定心。
11. 普通平键按照构造分圆头（A型）、平头（B型）及单圆（C型）三种。
12. 键的选择包括类型选择和尺寸选择两个方面，键的主要尺寸为其截面尺寸（一般以键宽 b 键高 h 表示）与长度 L ，键的截面尺寸 $b \times h$ 由轴的直径选择。键的长度 L 一般可按轮毂的长度而定，即键长等于或略短于轮毂的长度；而导向平键则按轮毂的长度及其滑动距离而定。
13. 无键联接分为：型面联接和胀紧联接。
14. 销的材料一般选用 35 钢，45 钢，开口销为低碳钢。
15. 胀紧联接是指在轴与毂孔之间装入胀套，在轴向力的作用下，同时胀紧轴和毂孔而构成的一种静连接。
16. 在平键连接中，静联接应验算挤压强度，动连接应验算接触强度。
17. 导向平键的键长按轮毂的长度及其滑动距离而定。
18. 圆锥销大头直径为 D ，小头直径为 d ，在国家标准中其中是 d 标准的，设圆锥销的长度为 l ，则其锥度是 $(D-d)/l$ 。
19. 楔键联接，既可传递扭矩，又可承受单向轴向载荷，但容易破坏轴与轮毂的对中性。
20. 半圆键的侧面为工作面，当需要用两个半圆键时，一般布置在轴的同一条母线上。
21. 平键连接的工作面是键的两侧面。
22. 楔键连接的工作面是键的上下两面。
23. 切向键连接的工作面是一对楔键沿斜面拼合后相互平行的两个窄面。
24. 在进行强度校核计算后，如果强度不够，可采用两个键连接，但是在进一步

的强度校核中只按 1.5 个键计算的原因是考虑两键上载荷分配的不均匀性。

第八章 带传动

简答题

1. 简述带传动和链传动的优缺点。

答：带传动：（1）优点：结构简单，运行平稳，噪声小；
能够缓冲吸振；
有过载保护能力；
制造精度和安装精度不高，利于生产和利用。

（2）缺点：存在弹性滑动现象，降低了使用率；
不能保持准确的传动比；
寿命较短；
需要有张紧装置配合工作。

链传动：（1）优点：与带传动相比，链传动无弹性滑动和整体打滑现象，能保持准确的平均传动比，传动效率高，径向压轴力小，适用于低速情况工作；
与齿轮传动相比，链传动安装精度要求低，成本低廉，远距离传动优于齿轮传动。

（3）缺点：只能实现平行轴间链轮的同向传动，运行时不能保持恒定的瞬时传动比，磨损后易发生跳齿，工作时有噪声，不易在载荷变化很大、高速和急速的反向传动中。

2. 与带传动、齿轮传动相比，链传动有何特点？

答：（1）与摩擦性的带传动相比，链传动无弹性滑动和整体打滑现象，能保持准确的平均传动比，传动效率高；又因链条不需要像带那样张得很紧，所以作用在轴上的径向压力较小；链条采用金属材料制造，在同样的使用条件下，链传动的整体尺寸较小，结构较为紧凑；同时链传动能在高温和潮湿的环境中工作。

（3）与齿轮传动相比，链传动的制造与安装精度要求较低，成本也低，

在远距离传动时其结构比齿轮传动轻便得多。

3. 带与带轮间的摩擦系数对带轮有什么影响？为增加承载能力将带轮的表面做的粗糙些，以增大摩擦系数，这样做合理吗？为什么？

答：由 $F_{ec} = 2F_0 \frac{e^{f\alpha} - 1}{e^{f\alpha} + 1}$ 可知，增大带与带轮之间摩擦系数 f ，则带传动能力

增强；但为增加承载能力，将带轮的工作面加工得粗糙些，以增大摩擦系数，这种做法是不合理的，因为带轮粗糙，会使带的磨损加剧，其寿命大大降低。

4. 带传动中，在输入功率、转速和带型号不改变的情况下，增大传动比时，可采取哪些措施？这些措施将对 V 带传动的承载能力有何影响？为什么？

答：相应增大大带轮的直径和减小中心距，由于小带轮的直径和转速不变，因此带所传动的功率没有太大的变化。因为传动比变大，使小带轮包角减小，因此带所能传动的功率有所下降。

5. 何谓带传动的弹性滑动与打滑？两者有何区别？

答：（1）弹性滑动：由于带的弹性变形而引起带与带轮面间的局部相对滑动称为弹性滑动。

（2）打滑：随着紧松边拉力差的增大带的弹性滑动区域扩展至带与带轮的整个接触面时，即发生整体打滑。

（3）区别：弹性滑动是传动中有拉力差，引起带与带轮面间的相对滑动，局部带在局部轮面上发生微小的相对滑动，是不可避免的；

打滑是由于过载，需要传递的有效力超过最大摩擦力所引起的，整个带在整个轮面上发生显著的相对滑动，是一种相对滑动，必须避免。

6. 在设计带传动时，为什么要限制带的速度 v_{\min} 和 v_{\max} 以及带轮最小基准直径？

答：（1）带速 v 过小，代所能传递的功率也过小（因为 $P=Fv$ ），带的传动能力没有得到充分利用；

带速 v 过大，离心力使得带传动能力下降过大，带传动在不利条件下工作，应当避免。

(2) 小带轮基准直径过小, 将使 V 带在小带轮上的弯曲应力过大, 使带的使用寿命下降, 小带轮基准直径过小, 将使得带传递的功率过小, 带传动能力没有得到充分利用, 是一种不合理的设计。

7. 在 V 带传动设计中, 为什么要限制带的根数? 限制条件如何?

答: $z \leq 10$, 为了保证每根带受力比较均匀。

8. 由双速电动机驱动 V 带传动, 若电机输出功率不变, 则 V 带传动应按哪种传动设计? 为什么?

答: 按低速运行参数设计, 带传动能提供的有效拉力较大, 可以满足高速时对有效拉力的要求, 若按高速运行参数设计, 带传动能提供的有效拉力较小, 不能满足低速时较大有效拉力的要求, 运行时可能因有效拉力不足而打滑, 还会因带中应力超过许用应力而使带的寿命下降。

9. 简述带传动的主要失效形式及设计准则。

答: 打滑和疲劳破坏。

设计准则: 在保证带工作时不打滑的条件下, 具有一定的疲劳强度和寿命, 且带速不能太低或太高。

10. 为什么在一般机械制造业中较少采用平型带, 而广泛采用 V 带传动?

答: 平带传动结构简单, 传动平稳, 可以吸振和防止过载, 大多数用于传动轴中心距较大的场合, 但是就是因为它在过载时存在打滑现象, 所以传动能力要比 V 型带小。V 型是斜面摩擦, 能产生更大的摩擦力, 所以抗打滑的能力要比平带高得多, 而且其结构可以很紧凑, 并且得到广泛的应用。

11. 带传动的类型及各类型的特点、场合。

答: (1) 按工作原理分为: 摩擦型带传动、啮合型带传动。

(2) 摩擦型带传动按照带的截面形状分为: 平带传动、圆带传动、V 带传动、多楔带传动。

(3) 平带传动: 帆布芯平带用的最多。

特点: 结构简单, 传动效率高。

应用场合: 用于传动中心距较大的情况。

圆带传动: 特点: 结构简单。

应用场合: 用于小功率传动的场合。

V 带传动：特点：V 带两侧面和轮槽接触，可提供更大摩擦力，传动比大，结构紧凑。

应用场合：用于传动功率较大的场合，应用范围广。

多楔带传动：特点：有平带柔性好和 V 带摩擦力大的优点。

应用场合：用于传递功率较大且要求结构紧凑的场合。

(4) 啮合型带传动(同步带传动)

工作原理：通过传动带表面上等距分布的横向齿和带轮上相应的齿槽啮合来传递运动。

优点：无打滑现象，传动比恒定。

缺点：对中心距及尺寸稳定性要求较高。

12. 影响带传动的最大有效拉力的因素。

- 答：(1) 初拉力 F ： F 越大，最大有效拉力越大； F 过大，摩擦力增大，带的磨损加剧，带的寿命下降； F 过小，带的工作能力不能充分发挥，且易打滑。
- (2) 包角 α ： α 越大，最大有效拉力越大； α 越大，带和带轮之间的摩擦力越大，传动能力就越高。
- (3) 摩擦系数 f ： f 越大，最大有效拉力越大； f 越大，摩擦力越大，传动能力越高。

13. V 带轮张紧的措施。

- 答：(1) 定期张紧装置：过定期改变中心距的方法调节初拉力。
- (2) 自动张紧装置：一般利用电动机自重来自动保持初拉力。
- (3) 采用张紧轮的张紧装置：
设置张紧轮应注意：①一般布置在松边内侧，使带只承受单向弯曲；
②尽量靠近大带轮，以免减小小带轮的包角；
③轮槽尺寸与带轮相同，且直径小于小带轮的直径；如果中心距过小，应设置在松边外侧，且靠近小带轮，但这样会使带产生反向弯曲，会降低带的疲劳寿命。

14. 与带传动相比，链传动张紧装置的特点？

- 答：（1）当中心距可调时，可通过调节中心距来控制张紧；
（2）当中心距不可调时，可设置张紧轮，可以是链轮，也可以是滚轮，直径与小链轮相近；
（3）也可去掉 1~2 节链节已恢复原来张紧度。

15. V 带传动的传动比不等于 1 时要引入额定功率的增量 ΔP_0 ，传动比 $i>1$ 为什么会带传递的功率有所增加？

答：因为单根普通 V 带的基本额定功率 P_0 是在 $i=1$ (主、从动带轮都是小带轮)的条件下实验得到的。当 $i>1$ 时，大带轮上带的弯曲应力小，对带的损伤减少，在相同的使用寿命情况下，允许带传递更大些的功率，因此引入额定功率增量 ΔP_0 。

试分析带传动中心距 a 、初拉力 及带的根数 z 的大小对带传动的工作能力的影响。

答：带传动的中心距 a 过小，会减小小带轮的包角，得带所能传递的功率下降。中心距 a 过小也使得带的长度过小，在同样的使用寿命条件下，单根带所能传递的功率下降。中心距小的好处是带传动的结构尺寸紧凑。带传动中心距 a 过大的优缺点则相反，且中心距过大使得带传动时松边抖动过大，传动不平稳。

初拉力 过小，带的传动能力过小，带的传动能力没有得到充分利用。

初拉力 大，则带的传动 能力大，但是，初拉力过大将使得带的寿命显著下降，也是不合适的。

带的根数 z 过少(例如 $z=1$)，这有可能是由于将的型号选得过大而造成的，这使得带传动的结构尺寸偏大而不合适。如果带传动传递的功率确实小，只需要一根小型号的带就可以了，这时使用 $z=1$ 完全合适。带的根数 z 过多，将会造成带轮过宽，而且各根带的受力不均匀(带长偏差造成)，每根带的的能力得不到充分利用，应当改换带的型号重新进行设计。

17. 在两根 V 带传动中，当一根带疲劳断裂时，应如何更换？为什么？

答：应全部更换。因为带工作一段时间后带长会增大，新、旧带的长度相差很大，这样会加剧载荷在各带上分配不均现象，影响传动能力。

18. 带传动一般放在机械传动系统的高速级还是低速级？为什么？

答：高速级。

因为带传动传动平稳，且过载时发生打滑，有利于保护其他零件；在功率一定的条件下，带速越高，带传动的整体尺寸就越小。

19. 斜齿圆直齿轮放在高速级还是低速级？为什么？

答：高速级。

高速级的转速高，用斜齿圆柱齿轮传动，工作平稳，在精度等级相同时，允许传动的圆周速度较高。

20. 带传动在工作时，从动轮的圆周速度 v_2 一定小于主动轮的圆周速度 v_1 吗？为什么？

答：主动轮的圆周速度始终大于从动轮的圆周速度。

在小带轮上，带的拉力从紧边拉力 F_1 逐渐降低到松边拉力 F_2 ，带的弹性变形量逐渐减少，因此带相对于小带轮向后退缩，使得带的速度小于小带轮的线速度 v_1 ；在大带轮上，与此相反。

填空题

1. V 带的型号根据其结构分为包边 V 带和切边 V 带，带有胶帆布、顶胶、芯绳和底胶等部分组成。
2. V 带的名义长度称为基准长度，把 V 带套在规定尺寸的测量带轮上，在规定的张紧力下，沿带的节宽巡行一周，即为 V 带的基准长度。
3. 带传动工作时，带中的应边有拉应力、弯曲应力、离心拉应力，带中可能产生的瞬时最大应生在带的紧边开始绕上小带轮处，此处的最大应力可近似的表示为 $\sigma_{\max} \approx \sigma_1 + \sigma_{b1} + \sigma_c$ 。
4. 带在大带轮上的包角总是大于在小带轮上的包角，所以打滑总是在小带轮上先开始。
5. 带传动的主要失效形式是打滑和疲劳破坏，因此，带传动的设计准则为：保

证带传动不打滑的条件下，使带具有一定的疲劳强度和寿命。

6. 单根普通 V 带的基本额定功率 P_0 是通过试验得的，试验条件为：包角 $\alpha_1 = \alpha_2 = 180^\circ$ (i=1)、特定带上 L_d 、平稳的工作环境。
7. 选择带的型号，是根据计算功率和小带轮转速确定。
8. 常用带轮的材料为 HT150 和 HT200。V 带轮由轮缘、轮辐和轮毂组成，根据轮辐结构的不同，V 带轮可以分为实心式、腹板式、孔板式、椭圆轮辐式。
9. V 带轮的结构形式与基准直径有关。当带轮基准直径为 $d_d \leq 2.5d$ ，(d 为安装带轮的轴的直径，mm)时，可采用实心式；当 $d_d \leq 300$ mm 时，可采用腹板式；当 $d_d \leq 300$ ，同时 $D_1 - d_1 \geq 100$ mm 时，可采用孔板式；当 $d_d > 300$ mm 时可采用轮辐式。
10. V 带轮轮槽的工作面的夹角做成小于 40° 。
11. 带的张紧方法：改变中心距的张紧方法和用张紧轮张紧的方法。
12. 带传动中，打滑是指带与带轮间发生显著相对滑动，多发生在小轮上。刚开打滑时紧边拉力 F_1 与松边拉力 F 的关系为 $F_1 = F_2 = F_{ec} = 2F_0 \frac{e^{f\alpha} - 1}{e^{f\alpha} + 1}$ 。
13. 带传动与齿轮传动一起做减速工作时，宜将带传动布置在齿轮传动之前；当带传动中心距水平布置时，宜将松边安置在上方。带传动一周过程中，带所受应力的大小要发生 4 次变化，其中以弯曲应力变化最大，而离心应力不变化。
14. 普通 V 带传动中，载荷平稳，包角 α 为 180° ，长 L_d 为特定长度，强力层为化学纤维线绳结构条件下求得的单根 V 带所能传递的基本额定功率 P_0 主要与带型、小带轮基准直径和小带轮转速有关。
15. 控制适当的预拉力是保证带传动正常工作的重要条件，预拉力不足，则运转时易跳动和打滑；预拉力过大则带的磨损加剧、轴受力大。
16. 与普通 V 带相比，当高度相同时，窄 V 带的承载能力要高。
17. 当带有打滑趋势时，带传动的有效拉力达到最大值，而带传动的最大有效拉力决定于包角、摩擦系数、张紧力三个因素。

18. 带的离心应力取决于带单位长度的质量 q ，带横截面积和带线速度三个因素。
19. 常见的带传动的张紧装置有定期张紧装置、自动张紧装置和张紧轮张紧装置。
20. 普通 V 带带轮的槽形角随带轮直径的减小而减小。
21. 带传动工作时，带内应力是 $0 < r < 1$ 循环性质的变应力。
22. 在设计 V 带传动中，小带轮包角 α_1 不应小于 120° ，主要是为了增加摩擦力。
23. 带传动正常工作时，紧边拉力与松边拉力应满足的关系式 $F_1 - F_2 = F_f$ 。
24. 带传动中，主动轮圆周速度 v_1 、从动轮圆周速度 v_2 ，带速 v 之间存在的关系是 $v_1 > v > v_2$ 。
25. 带传动工作时产生弹性滑动的主要原因是带的紧边和松边存在拉力差和带为弹性体。
26. 传动中，用增大小带轮直径方法可以使小带轮的包角 α 加大。带传动不能保证精确的传动比，其原因是带传动中带的弹性滑动是不可避免的。

第九章 链传动

简答题

1. 与带传动相比，链传动张紧装置的特点？

- 答：（1）当中心距可调时，可通过调节中心距来控制张紧；
（2）当中心距不可调时，可设置张紧轮，可以是链轮，也可以是滚轮，直径与小链轮相近；
（3）也可去掉 1~2 节链节已恢复原来张紧度。

2. V 带轮张紧的措施。

- 答：（1）定期张紧装置：过定期改变中心距的方法调节初拉力。
（2）自动张紧装置：一般利用电动机自重来自动保持初拉力。
（3）采用张紧轮的张紧装置：
设置张紧轮应注意：①一般布置在松边内侧，使带只承受单向弯曲；
②尽量靠近大带轮，以免减小小带轮的包角；
③轮槽尺寸与带轮相同，且直径小于小带轮的直径；如果中心距过小，应设置在松边外侧，且靠近小带轮，但这样会使带产生反向弯曲，会降低带的疲劳寿命。

3. 链传动的优缺点？

答：优点：能保持准确的平均传动比，传动效率高；不需要像带传动那样张紧，轴上径向压力小，同样条件下，链传动整体尺寸比带小，且能在高温、潮湿环境中工作。

缺点：只能实现平行轴之间的链轮单向传动，工作时有噪声，不能保证准确的瞬时传动比，磨损后易发生跳齿，无过载保护，不适在高速、急速反向传动中。

4. 与带传动、齿轮传动相比，链传动有何特点？

- 答：（1）与摩擦性的带传动相比，链传动无弹性滑动和整体打滑现象，能保持准确的平均传动比，传动效率高；又因链条不需要像带那样张

得很紧,所以作用在轴上的径向压力较小;链条采用金属材料制造,在同样的使用条件下,链传动的整体尺寸较小,结构较为紧凑;同时链传动能在高温和潮湿的环境中工作。

(2)与齿轮传动相比,链传动的制造与安装精度要求较低,成本也低,在远距离传动时其结构比齿轮传动轻便得多。

5. 何谓链传动的多变形效应?

答:在链传动中,链节在链轮上呈多边形分布。链条每转过一个链节,链条的瞬时速度就发生周期性变化。当链节不断啮入链轮时,会发生冲击、振动、噪声,称为链传动的多边形效应。

6. 试述链传动中大小链轮齿数及链节距是如何选取的?

答: 、 不可太大或太小。

(1)太小:小链轮齿数少可减少外廓尺寸,但齿数过少,会增加运动的不均匀性和动载荷;链条在进入和退出啮合时,链节间的相对转角增大;连传动圆周力增大,从整体上加速铰链和链轮色磨损。

(2)太大:在传动比给定时, 大, 也相应增大,不仅增加了传动尺寸,而且易发生跳齿和脱链,从另一方面限制了链条的使用寿命。通过限定链轮的最大齿数 $z_{\max} \leq 150$,一般不大于 114。

节距: ()当速度高、功率大时,宜选用小节距;

(2)当中心距小、传动比大时,应选用小节距;

(3)当中心距大、传动比小时,应选用大节距。

7. 链传动有哪几种失效形式?

答:链条的疲劳破坏;链条铰链的磨损;冲击疲劳破坏;链条铰链的胶合;链条的静力拉断。

8. 链传动中,链节距 p ,链轮齿数 ,链轮转速 n 对链传动的运动特性有何影响?在设计链传动时,怎样考虑这些影响?

答:链节距 p :在一定条件下,链节距越大,承载能力越高,但是传动的多边形效应也要增加,于是冲击、振动和噪声也就越严重;

链轮齿数 :齿数过少,会导致传动的不均匀性和动载荷增加,铰链磨

损加剧，链传动的圆周力增加，但是不能选得过大，否则除了增大传动的尺寸和质量外，链条会易于发生跳齿和脱链现象；

链轮转速 n ：转速越高，传递的动载荷就越大。

9. 链传动为什么会发生脱链？

答：因铰链销轴磨损导致链节距过度伸长，造成脱链。

10. 多列链传动为什么一般不用多于 4 列的链？

答：多排链的承载能力与排数成正比，但由于精度的影响，各排链承受的载荷不易均匀，故排数不宜过多。

11. 链条节距的选用原则是什么？在什么情况下宜选用小节距的多列链？什么情况下宜选用大节距的单列链？

答：链节距越大，链列数越多，则承载能力就越大，其运动不均匀性也越大，附加动载荷也就越大。因此，在满足承载能力的条件下，应尽量选择小节距的多排链。在转速高、载荷大，且要求传动平稳的场合，应尽量选用小节距的多排链，在低速重载，中心距要求大，传动比较小的场合，则宜采用大节距的单排链。

12. 中心距 a 对链传动的影响？

答：中心距过小，使链条在小链轮上的包角减小，轮齿受力增大，同时在一定链速下，单位时间内链条绕过链轮的次数增多，从而加剧链条疲劳和磨损。中心距过大，链条的松边下垂量大，从而使链条易上下颤动。

13. 对链轮材料的基本要求是什么？对大、小链轮的硬度要求有何不同？

答：对链轮材料的基本要求是具有足够的耐磨性和强度。由于小链轮轮齿的啮合次数比大链轮的多，小链轮轮齿受到链条的冲击也较大，故小链轮应采用较好的材料，并具有较高的硬度。

14. 齿形链与滚子链相比有何优缺点？

答：与滚子链相比，齿形链传动平稳，噪声小，承受冲击性能好，效率高，工作可靠，故常用于高速、大传动比和小中心距等工作条件较为严酷的场合。但是齿形链比滚子链结构复杂，难于制造，价格较高。滚子链用于一般工作场合。

15. 国家标准对滚子链齿形是如何规定的？

答：国家标准 GB/T1243-1997 中没有规定具体链轮齿形，仅规定了最小和最大齿槽形状及其极限参数，实际齿槽形状位于最小与最大齿槽形状之间，都是合适的滚子链齿形。

16. 为什么链传动的平均传动比是常数，而在一般情况下瞬时传动比不是常数？

答：链传动为链轮和链条的啮合传动，平均传动比 $i_{12} = z_2 / z_1$ 为常数。由于链传动的多边形效应，瞬时传动比 i_s 是变化的。

17. 若只考虑链条铰链的磨损，脱链通常发生在哪个链轮上？为什么？

答：若只考虑链条铰链的磨损，脱链通常发生在大链轮上。因为由公式 $\Delta p = \Delta d \sin \frac{180^\circ}{z}$ 可知，当 Δd 一定时，齿数 z 越多，允许的节距就越小，故大链轮上容易发生脱链。

18. 链传动有哪几种润滑方式？设计时应如何选择润滑方式？

答：链传动的润滑方式有：定期人工润滑，滴油润滑，油池润滑或油盘飞溅润滑，压力供油润滑。确定润滑方式时是根据链条速度 v 大小以及链号（即链节距）大小，由润滑范围选择教材图 9-14 选取润滑方式。

19. 简述链传动设计的一般步骤。

答：（1）选择链轮齿数 z_1 、 z_2 和确定传动比 i ；
（2）计算当量的单排链计算功率 P ；
（3）确定链条型号和节距 p ；
（4）计算链节数和中心距；
（5）计算链速 v ，确定润滑方式；
（6）计算链传动作用在轴上的压轴力。

20. 链传动张紧的目的。

答：（1）避免链条的松边垂度过大时产生啮合不良和链条振动的现象；
（2）增加链条与链轮的啮合包角。

21. 简述带传动和链传动的优缺点。

答：带传动：（1）优点：结构简单，运行平稳，噪声小；
能够缓冲吸振；
有过载保护能力；

制造精度和安装精度不高，利于生产和利用。

(2) 缺点：存在弹性滑动现象，降低了使用率；

不能保持准确的传动比；

寿命较短；

需要有张紧装置配合工作。

链传动：(1) 优点：与带传动相比，链传动无弹性滑动和整体打滑现象，能保持准确的平均传动比，传动效率高，径向压轴力小，适用于低速情况工作；与齿轮传动相比，链传动安装精度要求低，成本低廉，远距离传动优于齿轮传动。

(2) 缺点：只能实现平行轴间链轮的同向传动，运行时不能保持恒定的瞬时传动比，磨损后易发生跳齿，工作时有噪声，不易在载荷变化很大、高速和急速的反向传动中。

填空题

1. 为了减少链传动的运动不均匀性，小链轮齿数应选择得多，链节距应选择得少。
2. 链传动中心距： $(30\sim 50)p$ ； $a_{\max} = 80p$ 。
3. 多排链排数一般不超过 3 或 4 排，主要是为了使各排受力均匀。
4. 设计时，为改善滚子链传动的运动不均匀性，可减小节距 p 或 增大齿数 z 。
5. 链传动设计时，链条长度的链节数最好取为偶数，其目的是避免使用过渡链节。
6. 链传动能保证平均传动比为定值。
7. 链传动中，链板受到的应力类型属于非对称循环变应力。
8. 链条的磨损主要发生在销轴和套筒的接触面上。
9. 链传动中，限制链轮的最小齿数，其目的是保证链传动的平稳性，限制链轮的最大齿数，其目的是防止跳齿。
10. $v \geq 0.6\text{m/s}$ 的链传动，应按额定功率曲线计算，对于链速 $v < 0.6\text{m/s}$ 的链传动，

主要失效形式是过载拉断，故按静强度设计条件计算，对于 $v \geq 0.6\text{m/s}$ 的链传动，应按考虑了各种失效形式而得出的额定功率曲线计算。

11. 滚子链由滚子、套筒、销轴、内链板和外链板组成，其内链板与套筒之间、外链板与销轴之间分别为过盈配合，而滚子与套筒之间、套筒与销轴分别为间隙配合。
12. 在链传动中，链轮的转速越高，节距越大，齿数越少，则传动的动载荷越大。
13. 链速变化的程度与主动链轮的转速和齿数有关。
14. 滚子链的铰链磨损后，链的实际节距变长，若链轮的磨损可忽略不计，这时链条在传动过程中易在大链轮上发生脱链。
15. 链条按用途不同可以分为传动链、输送链、起重链。
16. 链的使用寿命很大程度上取决于链的材料及热处理方法。
17. 在正常工作条件下，齿数较多的链轮采用的热处理方法为正火。
18. 链轮组成：轮齿、轮缘、轮辐和轮毂。
19. 链条型号根据当量的单排链计算功率、单排链额定功率、主动链轮转速选取。
20. 链传动工作时，其转速越高，其运动不均匀性越严重，故链传动多用于低速传动。
21. 对于高速重载的套筒滚子链传动，应选用节距小的多排链；对于低速重载的套筒滚子链传动，应选用节距大的链传动。
22. 单排滚子链与链轮啮合的基本参数是节距、滚子外径和内链节内宽，其中节距是滚子链的主要参数。
23. 若不计链传动中的动载荷，则链的紧边受到的拉力由有效圆周力 F_r 、离心拉力 F_c 和悬垂拉力 F_f 三部分组成。
24. 链传动一般应布置在平面内，尽可能避免布置在水平平面或倾斜平面内。
25. 链传动中，当两链轮的轴线在同一水平面时，应将紧边布置在上面，松边布置在下面。
26. 在链传动中，当两链轮的轴线不在同一水平面时，应将紧边布置在上面，松边布置在下面。
27. 链轮的结构依据直径的小、中、大分别做成整体式、孔板式和螺栓联接式。
28. 当链节数为偶数时，接口处可用开口销或弹簧卡片来固定；当链节数为奇数

时，须采用过渡链节；由于过渡链节的链板要受附加弯矩的影响，所以一般情况下不用奇数链节。

29. 链传动张紧的目的主要是使松边不至过松，以免出现链条的不正常啮合、跳齿或脱链。

第十章 齿轮传动

简答题

1. 为什么闭式齿轮传动的最主要失效形式是疲劳点蚀？一般情况下点蚀首先出现在齿廓的什么部位？为什么？提高齿轮抗点蚀的措施主要有哪些？

答：（1）因为闭式齿轮传动的齿轮具有良好的工作环境，载荷平稳且润滑条件良好时，齿轮不易发生磨损、胶合及轮齿折断等失效。齿轮面正常工作时，齿面受脉动循环变化的接触应力随着载荷次数的增加，将在齿面表层以下产生微小裂纹，裂纹进一步扩展便形成了疲劳点蚀。

（2）疲劳点蚀一般出现在齿轮节线靠近齿根处，因为：该处是单齿啮合区，轮齿承受载荷较大；该处接近截线，摩擦力大，不易形成油膜；该处轮齿的相对运动有助于将润滑油带入缝隙中，形成高压油，加速点蚀。

（3）措施：提高齿面硬度，降低齿面粗糙度，合理选择润滑油粘度等，都有利于提高齿面抗点蚀能力。

2. 齿轮的油润滑及使用场合。

答：（1）开式及半开式齿轮传动通常采用人工周期性加油润滑；

（2）闭式齿轮传动的润滑方法与圆周速度有关，当 $v < 12\text{m/s}$ 时，大齿轮采用浸油润滑，浸油深度大于 10mm ，小于 1 个齿高；当 $v > 12\text{m/s}$ 时，通常采用喷油润滑。

3. 在机械传动中，润滑剂有何作用？润滑剂有哪几种？

答：（1）润滑剂的作用：降低摩擦功耗和减少磨损，还有吸振、冷却、防锈等作用。

（2）润滑剂分为液体润滑剂——润滑油、半固体润滑剂——润滑脂、固体润滑剂等

4. 润滑良好的闭式齿轮传动，通常齿轮的疲劳折断发生在什么部位？为什么？为提高齿轮的抗弯疲劳折断能力可采取哪些措施？

答：轮齿和疲劳折断通常发生在齿根危险截面处。因为轮齿受载后齿根处产

生的弯曲应力较大,且受齿根过渡部分的形状突变及加工刀痕等引起的应力集中作用。提高轮齿的抗弯疲劳折断能力的措施有:

- (1) 采用正变位齿轮,增大齿根弯曲强度;
- (2) 用增大齿根过渡圆角半径及消除加工刀痕的方法减小齿根应力集中;
- (3) 增大轴及支承的刚性使轮齿接触线上卸载较为均匀;
- (4) 采用合适的热处理方法使齿芯具有足够的韧性;
- (5) 采用喷丸、滚压等工艺措施对齿层进行强化处理。

5. 齿轮传动中的载荷系数 K 由哪几部分组成? 各考虑什么因素的影响?

答: 由 K_A 使用系数、 K_v 动载系数、 K_α 齿间载荷分配系数、 K_β 齿向载荷分布系数组成。

K_A : 用于考虑齿轮传动所受到传动链两端原动机和工作运转平稳因素的影响;

K_v : 用于考虑齿轮本身啮合时产生的附加动载荷的影响;

K_α : 用于考虑载荷在两对(或多对)齿上分配不均匀的影响;

K_β : 用于考虑载荷沿齿轮接触线长度方向上分布不均匀的影响。

6. 要提高轮齿的抗弯疲劳强度和齿面抗点蚀能力有哪些可能措施?

答: (1) 提高轮齿的抗弯疲劳强度: 增大齿根过渡圆角的半径及消除加工刀痕的方法来减小齿根应力集中; 增大轴及支承的刚性, 使轮齿接触线上卸载均匀; 采用合理的热处理方法使齿芯材料具有足够的韧性; 采用喷丸、滚压等工艺措施对齿根表层进行强化处理。

(2) 提高齿轮抗点蚀能力: 提高材料的硬度; 在啮合的轮齿间加注润滑油以减小摩擦, 减少点蚀; 适当增加传动中心距。

7. 齿轮的主要失效形式与设计准则各是什么?

答: (1) 轮齿折断: 按齿根弯曲疲劳强度设计, 校核接触疲劳强度;

(2) 齿面磨损: 只按齿根弯曲疲劳强度设计, 并通过增大模数和降低许用应力来考虑磨损的影响;

(3) 齿间点蚀: 按齿面接触疲劳强度设计, 校核弯曲疲劳强度;

(4) 齿面胶合: 按齿面胶合能力设计;

(5) 塑性变形：按静强度准则设计。

8. 一对直齿圆柱齿轮传动，若载荷、齿轮材料、齿宽、传动比及中心距等都不改变，试分析当增大小齿轮（主动轮）齿数 z_1 时，将对齿轮传动的平稳性、齿根弯曲强度、齿面接触疲劳强度等各有何影响？为什么？

答：（1）增大小齿轮齿数，能增加重合度，改善传动的平稳性；
（2） d 不变，齿数增加，齿根弯曲应力增大，齿根弯曲疲劳强度降低；
（3）中心距不变， d 不变，齿面接触疲劳强度不变。

9. 一对标准圆柱齿轮传动，传动比为 2，问哪一个齿轮的齿根应力大？为什么？

答：小齿轮齿根弯曲应力大，小齿轮齿根厚度小，齿宽系数小， $Y_{Fal} \cdot Y_{sa1}$ 大，所以齿根弯曲应力大。

10. 与带传动相比，齿轮传动有哪些优缺点？

答：优：传动比精确，传动比范围大，速度和传递功率范围大，结构紧凑；。
缺：制造成本较高，无过载保护。

11. 直齿圆柱齿轮与斜齿轮区别？并比较二者的弯曲疲劳强度。

答：（1）区别：直齿轮啮合时是该齿轮啮合齿的一条线接触；而斜齿轮啮合面，是该齿轮啮合面上的点逐渐接触。
（2）斜齿轮弯曲疲劳强度高于直齿轮。

12. 齿轮传动设计中，为什么引入动载系数 K_v ？减小动载荷的措施有哪些？

答：（1）考虑到齿轮制造与装配误差及啮合刚度变化所引起齿轮传动误差的影响。
（2）提高制造精度；减小齿轮直径以降低圆周速度；齿顶修缘。

13. 如何提高齿轮抗折断能力？

答：（1）采用正变位齿，增大齿根强度；
（2）使齿根过渡曲线更为平缓及消除加工刀痕，减小齿根应力集中；
（3）增大轴及支承的刚性，使轮齿接触线上的受载较为均匀；
（4）采用合适的热处理方法使齿芯材料具有足够的韧性；
（5）采用喷丸、滚压等工艺措施对齿根表层进行强化处理。

14. 减小齿轮齿向载荷分布不均措施？

- 答：（1）采取增大轴及轴承、支座的刚度，对称的配置轴承；
（2）适当限制轮齿宽度；
（3）把齿轮齿做成鼓形。

15. 为什么齿面点蚀一般先发生在靠近节线的齿根面上？在开式齿轮传动中，为什么一般不出现点蚀破坏？如何提高齿面抗点蚀能力？

- 答：（1）在节线附近通常为单对齿啮合，齿面接触应力大；在节线附近齿面相对滑动速度小，不易形成承载油膜，润滑条件差，因此易出现点蚀。
（2）在开式齿轮传动中，由于摩擦损失较快，在点蚀发生之前，表层材料已被磨出，因此，很少在开式齿轮传动中出现点蚀。
（3）提高齿面硬度，可以有效地提高齿面抗点蚀能力；润滑油可以减少点蚀。

16. 在什么工况下工作的齿轮容易出现胶合破坏？胶合破坏通常出现在轮齿的什么部位？如何提高齿面的抗胶合能力？

- 答：（1）高速重载的齿轮传动容易出现热胶合；有些低速重载齿轮有时会发生冷胶合。
（2）胶合通常发生在轮齿相对滑动速度较高的齿顶和齿根部位。
（3）采用抗胶合能力强的润滑油，在润滑油中加入极压添加剂。

17. 圆柱齿轮设计中，齿数和模数的选择原则是什么？

答：在保证接触疲劳强度前提下，增加齿数，能够增加重合度，改善齿轮传动的平稳性，还能降低齿高，减小齿坯尺寸，但是模数小了，齿轮的弯曲疲劳强度有所下降；对于闭式传动小齿轮 z_1 可取 20~40，开式 17~20，为使磨损均匀，一般 z_1 和 z_2 互质。

18. 为什么斜齿圆柱齿轮传动的承载能力要比直齿圆柱齿轮传动的承载能力高？

答：斜齿圆柱齿轮的重合度系数大，同时参加啮合的齿数多。

19. 造成轮齿折断的原因有哪些？疲劳裂纹首先发生在轮齿的哪一侧？为什么？

答：原因：齿轮折断主要有：疲劳折断和过载折断。

疲劳折断是由于齿轮受多次重复的弯曲应力和应力集中造成的，过载折断是由于齿轮短时过载或冲击而产生的，主要发生于脆性材料。

疲劳裂纹：齿轮折断一般先发生于受拉应力的一侧；齿宽较小的直齿圆柱齿轮齿根裂纹一般是从齿根横向扩展，发生全齿断裂。

- 20. 一对圆柱齿轮的齿宽为什么做成不相等？哪个齿轮的齿宽大些？在强度计算公式中齿宽 b 应以哪个齿轮的齿宽代入？为什么？圆锥齿轮齿宽是否也这样？**

答：若大小齿轮宽度相同，装配时，大小齿轮难免有轴向“错位”，接触线就比实际齿宽小了，当小齿轮齿宽做得比大齿轮宽一些，就可以保证接触线等于大齿轮宽度，不会减少接触线长度；而小齿轮直径小，增加齿宽，增加的尺寸、体积、重量最小，最为有利。

应该代入大齿轮齿宽，因为大齿轮齿宽是实际接触长度。

不是，锥齿轮的齿宽 b 啮合时齿宽相同。

- 21. 斜齿圆直齿轮放在高速级还是低速级？为什么？**

答：高速级。

高速级的转速高，用斜齿圆柱齿轮传动，工作平稳，在精度等级相同时，允许传动的圆周速度较高。

- 22. 带传动一般放在机械传动系统的高速级还是低速级？为什么？**

答：高速级。

因为带传动传动平稳，且过载时发生打滑，有利于保护其他零件；在功率一定的条件下，带速越高，带传动的整体尺寸就越小。

- 23. 设计齿轮时，什么情况下必须将齿轮与轴设计成一体，做成齿轮轴？**

答：对于直径很小的钢制齿轮，当为圆柱齿轮， $e < 2m_f$ ，对于锥齿轮， $e < 1.6m$ ，这时应将齿轮与轴做成一体而成为齿轮轴。

- 24. 设计一对轮齿面齿轮传动时，一般应使小齿轮齿面硬度大于大齿轮齿面硬度，这是为什么？**

答：当小齿轮与大齿轮齿面有较大硬度差时，且速度较高，较硬的小齿轮对较软的大齿轮有明显的冷作硬化，从而提高了大齿轮的疲劳极限。

- 25. 在设计外啮合渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的过程中，当出现满足齿根弯曲**

疲劳强度条件而不满足齿面接触疲劳轻度时，可考虑从哪几个方面改善齿面接触疲劳强度？

答：齿根弯曲强度主要与模数有关，模数越大弯曲强度越高。影响接触疲劳强度的因素主要是小齿轮的直径，直径越大，模数越大，弯曲强度越高。所以，可以通过改善小齿轮直径来提高接触疲劳强度。

改善措施：提高齿轮加工精度；进行热处理；齿面修形；提高润滑油的质量。

26. 一对齿轮传动，如何判断大、小齿轮中哪个齿轮容易产生疲劳点蚀？哪个齿轮容易产生弯曲疲劳折断？并简述其理由。

答：（1） $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$ ，则 $z_1 < z_2$ ，又 Y_{Fa} 、 Y_{sa} 与齿数 z 成反比，则 $Y_{Fa1} \cdot Y_{sa1} >$

$Y_{Fa2} \cdot Y_{sa2}$ ，由齿轮弯曲疲劳计算公式和小齿轮的齿根弯曲应力大，容易发生弯曲疲劳折断。

（2）通常小齿轮调质，大齿轮正火，大齿轮接触强度较弱，容易出现疲劳点蚀。

27. 两级圆柱齿轮传动中，若有一级为斜齿另一级为直齿，试问斜齿圆柱齿轮应置于高速级还是低速级？为什么？若为直齿圆锥齿轮和圆柱齿轮所组成的两级传动中，圆锥齿轮应置于高速级还是低速级？为什么？

答：在二级圆柱齿轮传动中，斜齿轮传动放在高速级，直齿轮传动放在低速级。

原因：（1）斜齿轮传动平稳，在与直齿轮精度等级相同时允许更高的圆周速度，更适于高速；

（2）将工作平稳的传动放在高速级，对下级的影响较小，如将工作不很平稳的直齿轮传动放在高速级，则斜齿轮传动也会不平稳；

（3）斜齿轮传动由轴向力，放在高速级由于转速较小，因此轴向力较小。

由锥齿轮和斜齿轮组成的二级减速器，一般应将锥齿轮传动放在高速级。

原因：低速级的转矩较大，齿轮的尺寸和模数较大。当锥齿轮的锥距 R

和模数 m 大时，加工困难，制造成本提高。

28. 齿轮传动的类型。

答：（1）按传动轴相对位置：平行轴齿轮传动、相交轴齿轮传动、交错轴齿轮传动；

（2）按齿形：渐开线、摆线、圆弧线等；

（3）按轮齿的布置方式：直齿、斜齿、人字齿、曲齿等；

（4）按工作条件：开式、半开式、闭式；

（5）按齿面硬度：硬齿面齿轮（齿面硬度 $HB > 350$ 或 $HRC > 38$ ）、软齿面齿轮（齿面硬度 $HBS \leq 350$ ）。

29. 直齿圆柱齿轮的强度计算中引入重合度系数 Y_ϵ 的原因。

答：当轮齿在齿顶处啮合时，处于双对齿啮合区，两对齿共同分担载荷，因此齿根处的弯曲应力不是很大。但当载荷作用在单对齿啮合区的最高点时，齿根产生的弯曲应力最大。为简化计算且保证一定的精度，采用让载荷作用于齿顶，并由一对轮齿承担时，在齿根产生弯曲应力的计算方法。由此产生的误差，引入重合度系数 Y_ϵ 来修正。

30. 直齿圆柱齿轮的强度计算中引入应力修正系数 Y_{sa} 的原因。

答：载荷 F_n 作用于齿顶时可以分解为 $F_n \cos \gamma$ 和 $F_n \sin \gamma$ 两个分量，其中，前者在齿根处产生弯曲应力和剪应力，后者在齿根产生压应力。由于剪应力和压应力相对较小，故忽略不计，只计算齿根弯曲应力，并把此应力作为齿根弯曲疲劳强度计算的基础应力，由此造成的误差，引入应力修正系数 Y_{sa} 。

31. 一对圆柱齿轮传动，大齿轮和小齿轮的接触应力是否相等？如大、小齿轮的材料及热处理情况相同，则其许用接触应力是否相等？

答：在任何情况下，大、小齿轮的接触应力都相等。若大、小齿轮的材料和热处理情况相同，许用接触应力不一定相等，这与两齿轮的接触疲劳寿命系数 K_{HN} 是否相等有关，如果 $K_{HN1} = K_{HN2}$ ，则两者的许用接触应力相等，反之则不相等。

32. 配对齿轮(软对软，硬对软)齿面有一定量的硬度差时，对较软齿面会产生什么影响？

答：当相互啮合的两齿轮之一为软齿面齿轮时，或两齿轮均软齿面齿轮时，较硬齿面的齿轮将会对较软齿面的齿轮的齿面造成冷作硬化效应，从而使较软齿的齿面硬度得以提高，即提高了较软齿面齿轮的疲劳极限。

33. 对齿轮进行正、负变位修正，轮齿的抗弯能力有何变化？

答：对齿轮进行正变位修正，轮齿的抗弯能力有所提高；对齿轮进行负变位修正，轮齿的抗弯能力有所降低。

填空题

1. 为防止失效，选择齿轮材料的基本要求：齿面要硬，齿芯要韧，并符合技术经济要求。
2. 直齿圆锥齿轮传动中，国家标准中规定以大端参数为标准值；在强度计算时，国家标准以齿宽中点处的当量齿轮作为计算模型。
3. 齿轮的结构大致分为整体式、腹板式和轮辐式。
4. 润滑方式主要有三种：人工定期润滑、浸油润滑和喷油润滑。开式、半开式齿轮传动通常用人工定期加润滑油或润滑脂。闭式齿轮传动的润滑方式要根据齿轮的圆周速度来定。当圆周速度 $v < 12\text{m/s}$ 进行浸油润滑，利用浸入油池中的大齿轮的轮齿，或借带油轮将油带到齿轮的啮合面上进行润滑。当圆周速度 $v > 12\text{m/s}$ 采用喷油润滑。当 $v \leq 25\text{m/s}$ 时，喷嘴位于啮入侧或啮出侧，当 $v > 25\text{m/s}$ ，喷嘴位于啮出侧。
5. 齿轮传动齿面接触应力计算式中，区域系数 Z_H 系数与变位系数有关。
6. 齿轮传动时，如大、小齿轮的材料不同，则大、小齿轮的齿面接触应力 $\sigma_{H1} \neq \sigma_{H2}$ ，齿根弯曲应力 $\sigma_{F1} \neq \sigma_{F2}$ ，许用接触应力 $[\sigma]_{H1} \neq [\sigma]_{H2}$ ，许用弯曲应力 $[\sigma]_{F1} \neq [\sigma]_{F2}$ 。
7. 直齿圆柱齿轮作接触强度计算时取了节点处的接触应力为计算依据，其载荷由一对轮齿承担。
8. 在齿轮传动中，主动轮所受的切向力与啮合点处速度方向相反；而从动轮所受切向力则与啮合点处速度方向相同。

9. 齿轮的齿形系数 Y_{Fa} 的大小与模数无关，主要取决于齿廓形状。
10. 齿轮传动强度计算中，齿形系数 Y_{Fa} 值，直齿圆柱齿轮按齿数选取，而斜齿圆柱齿轮按当量齿数选取。
11. 设计一对圆柱齿轮时，通常把小齿轮的齿宽做得比大齿轮宽一些，其主要原因是防止两齿轮装配后轴向稍有错位而导致啮合齿宽减小。
12. 减小齿轮动载的主要措施有齿顶修缘和提高制造精度，降低圆周速度。
13. 在齿轮强度计算中，节点区域系数 Z_H 是用来考虑节点齿廓形状对接触应力的影响。对 $\alpha=20^\circ$ 的标准直齿圆柱齿轮， $Z_H=2.5$ 。
14. 对于开式齿轮传动，虽然主要失效形式是磨损，但目前尚无成熟可靠的抗磨损计算方法，目前仅以保证齿根弯曲疲劳强度作为设计准则。这时影响齿轮强度的主要几何参数是模数 m 。
15. 圆柱齿轮设计时，齿宽系数中 $\phi_d=b/d_1$ ，当 b 愈宽，承载能力也愈高，但使载荷分布不均现象严重。选择 ϕ_d 的原则是：两齿面均为硬齿面时， ϕ_d 取偏小值；精度高时， ϕ_d 取偏大值；对称布置比悬臂布置取偏大值。
16. 对于齿面硬度 $\leq 350\text{HBS}$ 的齿轮传动，当两齿轮均采用45号钢，一般应采取的热处理方式：小齿轮调质，大齿轮正火。
17. 对齿轮一般的热处理方法：对大齿轮 \rightarrow 调质、常化(正火)；对小齿轮 \rightarrow 淬火。
18. 配对两轮齿齿面的硬度差应保持为30-50HBS。
19. 齿根弯曲应力的危险截面用30°切线法确定。
20. 小齿轮在单对齿啮合的最低点处，首先出现点蚀。
21. 当配对齿轮副中的齿面均属软齿面时，小齿轮的齿面硬度应大于大齿轮的齿面硬度，原因是平衡两齿面的接触疲劳强度。
22. 圆柱齿轮传动的润滑中浸油深度不宜超过一个齿高，但一般不应小于10mm，多级传动采用各级传动圆周速度的平均值来选取润滑油粘度。
23. 在齿轮的轮齿设计中，把轮齿设计成鼓形的目的是降低载荷沿接触线分布不均的程度；在进行齿根弯曲疲劳强度计算时，引入重合度系数的目的是为了修正误差。

24. 齿轮传动中动载荷大小取决于制造精度和圆周速度。
25. 渐开线圆柱齿轮的齿面接触应力在齿廓各处是不同的，在齿轮单对齿啮合的最高点处的接触应力为最大，但一般的计算以节点处的接触应力为计算应力。
26. 材料为 20Cr 的硬齿面齿轮，适宜的热处理方法是渗碳淬火。
27. 将材料为 45 钢的齿轮毛坯加工成为 6 级精度的硬齿面直齿圆柱外齿轮，该齿轮制造工艺顺序应是滚齿、表面淬火、磨齿为宜。
28. 在齿轮传动中，仅将齿轮分度圆的压力角 α 增大，则齿面接触应力将减小。
29. 轮齿的主要失效形式有：轮齿折断、齿面点蚀、齿面胶合、齿面磨损和塑性变形。
30. 当直齿圆柱齿轮、斜齿圆直齿轮和直齿圆锥齿轮的材料、热处理方式及几何参数均相同时，承载能力最高的是斜齿圆柱齿轮传动，承载能力最低的是直齿圆锥齿轮传动。
31. 齿轮的结构形式和毛坯获取方法的选择是按齿轮的外径进行的。

第十一章 蜗杆传动

简答题

1. 为什么在蜗杆传动设计中特别重视发热问题？如何进行热平衡计算？常用的散热措施有哪些？

答：（1）因为蜗杆传动效率低、发热量大、易发生胶合失效，因此特别重视发热问题。

（2）通过计算单位时间内的发热量和单位时间的散热量，可以求得热平衡温度值，要求热平衡温度值在允许范围内。如果热平衡温度过高，就应当加强散热能力。

（3）常用的散热措施有：在箱体上设计散热片以增大散热面积；在蜗杆轴端加装风扇以加速空气流动；在箱体内加装循环冷却管路来降低润滑油温度。

2. 为什么闭式蜗杆传动必须进行热平衡计算？

答：因为蜗杆传动效率低，发热量大，易发生胶合失效，因此特别重视发热问题。通过计算单位时间内的发热量和单位时间的散热量，可以求得热平衡温度值，要求热平衡温度值在允许范围内。如果热平衡温度过高，就应当加强散热能力。

3. 在普通圆柱蜗杆传动中，为什么将蜗杆的分度圆直径规定为标准值？

答：蜗轮滚刀与对应的蜗杆具有相同的分度圆直径，因此，只要有一种分度圆直径的蜗杆，就必须得有一种对应的蜗轮滚刀。为了限制蜗轮滚刀的数目，以及便于滚刀标准化，故将蜗杆的分度圆直径标准化，并与标准模数相对应。

4. 蜗杆的失效形式及设计准则？

答：蜗杆传动的失效形式有：点蚀、齿根折断、齿面胶合及过度磨损。

因为蜗杆螺旋齿部分的强度总是高于蜗轮轮齿的强度，所以失效经常发生在蜗轮轮齿上。由于蜗杆与蜗轮齿面间有较大的相对滑动，从而增加胶合和磨损失效的可能性，因此蜗杆传动的主要失效形式是齿面胶合。

设计准则：在开式传动中多发生轮齿折断，因此保证齿根弯曲疲劳强度作为开式传动的主要设计准则；闭式传动中，多发生齿面胶合和点蚀，通常

按照齿面接触疲劳强度设计,按齿根弯曲疲劳强度校核;由于散热较为困难,还应进行热平衡计算。

5. 设计蜗杆传动时,为提高其传动效率可以采取哪些措施?

答:由蜗杆传动效率公式: $\eta = \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \varphi_v)}$ 知,提高其传动效率可以采取的

措施有:

- (1)增大蜗杆头数或者减小蜗杆的直径系数来增大杆的导程角从而提高效率;
- (2)可以增大蜗轮的相对滑动速度,从而降低接触面的摩擦,减小当量摩擦角进而提高效率;
- (3)可以考虑润滑方法、蜗轮蜗杆的材料、蜗杆副表面粗糙度等方面的措施。

6. 普通圆柱蜗杆主要有哪几种类型?其中哪几种蜗杆不便于磨削,精度较低?

答:普通圆柱蜗杆主要有:阿基米德蜗杆,法向直廓蜗杆,渐开线蜗杆和锥面包络圆柱蜗杆。其中前两种蜗杆不便于磨削,精度较低;后两种蜗杆可以通过磨削的方法提高精度。

7. 采用变位蜗杆传动的目的是什么?变位蜗杆传动与变位齿轮传动相比有何特点?

答:为了配凑中心距,或为了提高蜗杆传动的承载能力及传动效率,常采用变位蜗杆传动。在变位蜗杆传动中,蜗杆的尺寸不进行变位修正(否则需要制作变位蜗轮滚刀),只对蜗轮的尺寸进行变位修正。

对蜗轮的变位修正有以下两种方法,方法之一是:变位前后蜗轮齿数不变,蜗杆传动的中心距发生改变。方法之二是:变位前后蜗杆传动的中心距不变,蜗轮齿数发生变化。

8. 蜗杆传动中为何常以蜗杆为主动件?蜗轮能否作为主动件?为什么?

答:在机械系统中,原动机的转速通常比较高,因此,齿轮传动和蜗杆传动通常用于减速传动,故常以蜗杆为主动件。在蜗杆传动中,蜗杆头数少时通常反行程具有自锁性,这时蜗轮不能作为主动件;当蜗杆头数多时,效率提高,反行程传动不自锁,蜗轮可以作为主动件,但这种增速传动与齿轮传动

相比，齿面相对滑动速度大，对材料要求高，易发生磨损和胶合破坏，因此很少应用。

9. 在动力蜗杆传动中，蜗轮的齿数在什么范围内选取？齿数过多或过少有何不利？

答：在动力蜗杆传动中，蜗轮的齿数范围为 $28 < z_2 \leq 80$ ，蜗轮齿数过少会造成啮合区域显著减小，将影响传动的平稳性。蜗轮齿数过多将使得蜗轮尺寸增大，与其相啮合的蜗杆的支承跨距加长，这将降低蜗杆的弯曲刚度，影响轮齿的正确啮合。

10. 选择蜗杆、蜗轮材料的原则是什么？

答：蜗杆和蜗轮的材料不仅要求具有足够的强度，更重要的是要具有良好的磨合和耐磨性能。蜗杆一般是用碳钢或合金钢制成，常用的蜗轮材料为铸造锡青铜、铸造铝铁青铜以及灰铸铁。

11. 为什么普通圆柱蜗杆传动的承载能力主要取决于蜗轮轮齿的强度，用碳钢或合金钢制造蜗轮有何不利？

答：因为在蜗杆与蜗轮的配对材料中，蜗轮材料的硬度比较低，所以蜗杆传动的承载能力主要取决于蜗轮轮齿的强度。在蜗杆传动中，啮合齿面具有很的相对滑动速度，为了减少磨损，提高抗胶合的能力，要求配对轮齿材料具有良好的减磨性、磨合性和耐磨性。碳钢或合金钢制造的蜗轮虽然强度高，但与碳钢蜗杆配对时减磨性和磨合性差。因此两者配对啮合传动时并不耐磨，同时抗胶合能力差。

12. 蜗杆传动的特点。

- 答：
- (1) 能实现大的传动比，结构紧凑；
 - (2) 冲击载荷小，传动平稳，噪音低；
 - (3) 当蜗杆的螺旋线升角小于啮合面的当量摩擦角时，蜗杆传动具有自锁性；
 - (4) 摩擦损失较大，效率低。

13. 蜗杆传动效率的三部分组成及各自代表什么？

答： $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$

η_1 —— 啮合摩擦损耗；

η_2 ——轴承摩擦损耗；

η_3 ——溅油损耗。

填空题

1. 蜗杆的轴面压力角等于蜗轮的端面压力角，蜗杆的导程角等于蜗轮的螺旋角。
2. 在蜗杆传动中，引进特性系数 q 的目的减少蜗轮滚刀的数量并便于刀具的标准化。蜗杆传动中，齿面节点处的相对滑动速度 $v_s = \frac{v_1}{\cos \gamma}$ 。
3. 蜗轮和蜗杆，哪个采用耐磨材料？蜗轮。
4. 齿轮传动的功率损耗主要包括啮合中的摩擦损耗、搅动润滑油的油阻损耗、轴承中的摩擦损耗。
5. 蜗杆传动用于传递交错轴之间的回转运动和动力，通常两轴交错角为 90°。蜗杆传动的优点是能得到很大的传动比、结构紧凑、传动平稳和噪声较小。
6. 在蜗杆传动中，当其他条件相同时，增加蜗杆头数 z_1 ，则相对滑动速度 v_s 将增大。
7. 蜗杆头数越多，其传动效率越高，其自锁性越差。
8. 对滑动速度 $v_s \geq 4\text{m/s}$ 的重要蜗杆传动，蜗杆的材料可选用 20Cr 进行渗碳淬火处理；蜗轮的材料可选用铸锡青铜。
9. 蜗杆传动的当量摩擦系数 f_v 随齿面相对滑动速度的增大而减小。
10. 蜗杆传动的相对滑动速度 $v_s < 5\text{m/s}$ 时采用油池润滑； $v_s > 10\text{m/s}$ 时应采用喷油润滑。
11. 限制蜗轮最少齿数的原因是为了避免用蜗轮滚刀切制蜗轮时产生根切与干涉。
12. 根据相对滑动速度及载荷类型选择润滑油粘度及给油方式。
13. 开式传动采用粘度较高的润滑油或润滑脂。
14. 如果采用喷油润滑，喷油嘴要对准蜗杆啮入端。蜗杆正反转时，两边都要装

有喷油嘴，而且要控制一定的油压。

15. 对于蜗杆下置式或蜗杆侧置式的传动，浸油深度应为蜗杆的一个齿高。对于蜗杆上置式的传动，浸油深度约为蜗轮外径的 1/3。
16. 蜗轮蜗杆正确啮合的条件：（三者缺一不可） $\underline{m_{a1} = m_{t1} = m}$ 、 $\underline{\alpha_{a1} = \alpha_{t2} = \alpha}$ 、蜗杆导程角 γ = 蜗轮螺旋角 β 且旋向必须相同。
17. 减速蜗杆传动中，主要的失效形式为齿面胶合、疲劳点蚀、磨损和轮齿折断，常发生在蜗轮齿上。
18. 普通圆柱蜗杆传动变位的祖主要目的是凑中心距和提高承载能力及传动效率。
19. 在蜗杆传动中，蜗杆头数越少，传动效率越低，自锁性越好，一般蜗杆头数取 $z_1 = 1 \sim 4$ 。
20. 蜗杆传动中，产生自锁的条件是 $\underline{\gamma \leq \varphi}$ 。
21. 蜗杆传动的滑动速度越大，所选润滑油的粘度值应越高。
22. 为了提高蜗杆的刚度，应采用较大的直径系数 q 。
23. 阿基米德蜗杆传动在中间平面相当于齿轮与齿条相啮合。
24. 蜗杆的材料一般为碳钢或合金钢，蜗轮的材料为铸造锡青铜（用于 $v_s \geq 3\text{m/s}$ 的场合）、铸造铝青铜（用于 $v_s \leq 4\text{m/s}$ 的场合）和灰铸铁（用于 $v_s < 2\text{m/s}$ 的场合）等。
25. 蜗杆的结构形式：蜗杆轴和蜗杆。
26. 蜗轮的结构形式：齿圈式、螺栓连接式、整体浇铸式和拼铸式。

第十二章 滑动轴承

简答题

1. 一般轴承的宽径比在什么范围内？为什么轴承的宽径比不宜过大或过小？

答：一般轴承的宽径比在 0.3~1.5 范围内。

若宽径比过大，润滑油不易排出，油温升高，油的黏度下降，使得轴承的承载能力下降。

若宽径比过小，则润滑油从轴承侧面泄出量大，轴承承载能力过低。

2. 请写出流体动力润滑的基本方程并说明形成流体动力润滑的必要条件。

答：一维雷诺方程：
$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{6\eta v(h-h_0)}{h^3}$$

必要条件：（1）相对滑动的两表面间必须形成收敛的楔形空间；

（2）被油膜分开的两表面必须有足够的相对滑动速度，其运动方向必须使润滑油由大口流入，小口流出；

（3）润滑油必须有一定的粘度，供油要充分。

（充分条件：最小油膜厚度必须大于或等于许用油膜厚度[h]。）

3. 在液体润滑滑动轴承设计中，为什么需要进行热平衡计算？

答：轴承在工作时摩擦功耗将变成热量，使润滑油温度升高。如果油的平均温度超过计算承载能力时所假定的温度时，则轴承的承载能力就要下降，因此要计算油的温升，并将其限定在允许范围内。

4. 试述径向滑动轴承动压油膜的形成过程？

答：（1）当轴颈静止时，轴颈处于轴承孔的最低位置，并与轴瓦接触，此时，两表面间自然形成一收敛楔形空间；

（2）当轴颈开始旋转时，速度较低，带入轴承间隙中的油量较少，这时轴瓦对轴径的摩擦力方向与轴颈表面圆周速度方向相反，迫使轴颈在摩擦力作用下沿孔壁向右爬升；

（3）随着转速的增大，轴颈表面的圆周速度增大，带入楔形空间的油量也逐渐增多，这时，右侧楔形油膜产生了一定的动压力，将轴颈向左浮起。当轴颈达到稳定运转时，轴颈便稳定在一定的偏心位置

上。

5. 在滑动轴承中，滑动传动 $\frac{B}{d}$ 对承载能力的影响？

答： $C_p \propto \frac{B}{d}$ ，故 $\frac{B}{d}$ 越大，承载能力越高。但 $\frac{B}{d}$ 小，承载能力随之减小，有利于提高传动平稳性，增大端泄量以降低温度。

6. 液体摩擦动压滑动轴承的相对间隙的大小对滑动轴承的承载能力、温升和运转精度有何影响？

答：液体动压润滑径向滑动轴承的相对间隙是影响轴承工作性能的重要参数，在一定范围内，当相对间隙增大时，会使 C_p 增加，但超过这个范围在增加相对间隙时，则 C_p 将减小。相对间隙增大时，润滑油流量增加，温升将下降，摩擦功也降低，但相对间隙增大后，轴与轴瓦的间隙增大，运转精度要降低。

7. 设计液体动压润滑滑动轴承时，为保证轴承正常工作应满足哪些条件？

答：（1） $h_{\min} \geq [h] = 4S[R_{a1} + R_{a2}]$ ， R_{a1} 、 R_{a2} 分别为轴颈和轴承孔表面粗糙度；

（2） $p \leq [p]$ ， $pv \leq [pv]$ ， $v \leq [v]$ ；

（3）出口油温 $t_0 = 60 \sim 70^\circ\text{C}$ ，入口油温 $t_i = 30 \sim 40^\circ\text{C}$ ；

（4）足够的供油量。

8. 液体动压润滑轴承为什么还要选择耐磨性好的材料来制造轴瓦，并验算 p 和 pv 值？

答：（1）验算 p ：保证润滑油不被过大的压力挤出，避免轴瓦工作表面产生过度磨损。

（2）验算 pv ：限制轴承温升，防止胶合。

9. 在那些具体场合，应选用滑动轴承？

答：工作转速特高，特大冲击与振动，径向空间尺寸受限或必须剖分安装等。

10. 轴瓦上的油孔、油沟和油室应开在什么地方？

答：开在轴瓦的非承载区。

11. 试述弹性流体动压润滑与流体动压润滑的联系与区别

答：流体动力润滑：两个做相对运动物体的摩擦表面，用借助于相对速度而产生的粘性流膜将两摩擦表面完全隔开，由流体膜产生的压力来平衡外载荷，称为流体动力润滑。

弹性流体动压润滑：研究的是点、线接触摩擦副的流体动力和滑动问题。

联系：都是借助摩擦面间的相对运动而形成承载油膜的润滑。

区别：①流体动力润滑研究低副接触零件的润滑问题，而弹性流体动压润滑研究高副接触零件的润滑问题。

②流体动力润滑认为润滑剂粘度不随压力而改变，弹性流体动压润滑认为润滑剂粘度会随压力而改变，产生弹性变形。

12. 滑动轴承的主要设计内容？

答：轴承的形式与结构设计；轴瓦的结构和材料选择；轴承结构参数的确定；润滑剂的选择和供应；轴承的工作能力及热平衡计算。

13. 滑动轴承中， $t_i > 35 \sim 45^\circ\text{C}$ 时，说明了什么？ $t_i < 35 \sim 45^\circ\text{C}$ 时，说明了什么？

答： $t_i > 35 \sim 45^\circ\text{C}$ 时：表示轴承热平衡易于建立，轴承的承载能力尚未用尽。此时应降低给定的平均温度，并允许适当地加大轴瓦及轴径的表面粗糙度，再进行计算。

$t_i < 35 \sim 45^\circ\text{C}$ 时：表示轴承不易达到热平衡状态。此时应加大间隙，并适当地降低轴瓦及轴径的表面粗糙度，再进行计算。

14. 简述整体式径向滑动轴承的主要优缺点及适用场合。

答：优点：结构简单，成本低廉。

缺点：轴套磨损后，轴承间隙过大时无法调整；另外，只能从轴颈端部装拆，对于重型机器的轴或具有中间轴颈的轴，装拆很不方便或无法安装。

15. 试分别从摩擦状态、油膜形成的原理以及润滑介质几方面对滑动轴承进行分类。

答：从摩擦状态可分为液体润滑轴承、不完全液体润滑轴承；从油膜形成的原理可分为液体动力润滑轴承和液体静力润滑轴承；从润滑介质不同可分为油润滑轴承、脂润滑轴承和固体介质润滑轴承。

16. 滑动轴承润滑的目的是什么（分别从流体润滑和不完全流体润滑两类轴承分析）？

答：液体润滑轴承的润滑油除了起润滑作用外，还起到带走摩擦面间热量的作用；不完全润滑轴承的润滑油主要起润滑作用。

17. 滑动轴承常用的润滑剂种类有哪些？选用时应考虑哪些因素？

答：润滑剂分为润滑脂、润滑油和固体润滑剂。

润滑脂用于要求不高、难于经常供油、或者低速重载以及做摆动运动的轴承中；固体润滑剂只用于一些有特殊要求的场合；其他情况下均可采用润滑油。

18. 对轴承材料性能的要求？

- 答：
- (1) 良好的减摩性、耐磨性和抗咬粘性；
 - (2) 良好的摩擦顺应性、嵌入性和磨合性；
 - (3) 足够的强度和抗腐蚀能力；
 - (4) 良好的导热性、工艺性和经济性。

19. 为什么滑动轴承要分成轴承座和轴瓦，有时又在轴瓦上敷上一层轴承衬？

答：滑动轴承分成轴承座和轴瓦，一方面是为了节省轴承材料，另一方面是当滑动轴承磨损后，可调整或更换轴瓦，而不必更换轴承座。轴瓦上敷一层轴承衬主要是为了节省贵重金属，并使轴承具有良好的摩擦顺应性和抗胶合能力。

20. 对滑动轴承材料的性能有哪几方面的要求？可用表面淬硬的钢制轴颈和钢制轴瓦配对，以达到耐磨的要求？

答：不能采用钢制轴颈和钢制轴瓦配对。因为，在具有大的相对滑动速度的场合，好的耐磨副材料应当是一软一硬材料配对使用的。

21. 验算滑动轴承的压力 p 、速度 v 和压力与速度的乘积 $p v$ ，是不完全流体润滑轴承设计中的内容，对流体动力润滑轴承是否需要进行此项验算？为什么？

答：液体动力润滑轴承在起动时仍处于不完全润滑状态，因此，仍对轴瓦材料有要求，仍应进行压力 p ，速度 v 和压力与速度的乘积 $p v$ 的验算。

填空题

1. 根据轴承中摩擦性质的不同，可把轴承分为滑动摩擦轴承(简称滑动轴承)和滚动摩擦轴承(简称滚动轴承)两大类。
2. 滑动轴承的类型很多，按其承受载荷方向的不同，可分为径向轴承(承受径向

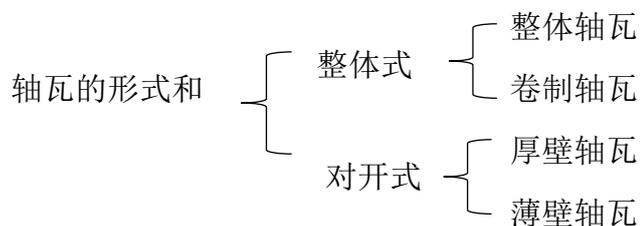
载荷)和止推轴承(承受轴向载荷)。根据其滑动表面间润滑状态的不同可分为流体润滑轴承、不完全流体润滑承(指滑动表面间处于边界润滑或混合润滑状态)和自润滑轴承(指工作时不加滑剂)。根据流体润滑承载机理的不同,又可分为流体动力润滑轴承(简称流体动压轴承)和流体静力润滑轴承(简称流体静压轴承)。

3. 对开式径向滑动轴承是由轴承座、轴承盖、剖分式轴瓦和双头螺柱等组成。轴承盖和轴承座的剖分面常做成阶梯形,以便对中和防止横向错动。
4. 止推滑动轴承由轴承座和止推轴颈组成。常用的结构形式有空心式、单环式和多环式。
5. 滑动轴承的失效形式:磨粒磨损、刮伤、咬粘(胶合)、疲劳剥落和腐蚀。
6. 轴瓦和轴承衬的材料统称为轴承材料。滑动轴承的主要失效形式是磨损和胶合(或称烧瓦)。

轴承衬 { 目的: 有时为了节省贵重合金材料或由于结构的需要, 以及使轴瓦轴颈易跑合, 提高抗胶合能力
 定义: 在轴瓦的内表面上浇铸或轧制一层轴承合金

轴瓦的要求: 应具有一定的强度和刚度, 在轴承中定位可靠, 便与输送润滑剂, 容易散热, 并且装拆调整方便。

轴瓦的定位: 轴瓦两端做出凸缘、紧定螺钉、销钉、轴瓦剖分面上冲出定位



7. 润滑油是滑动轴承中应用最广的润滑剂。液体动压轴承通常采用润滑油作润滑剂。原则上讲, 当转速高、压力小时, 应选粘度较低的油; 反之, 当转速低、压力大时, 应选粘度较高的油。润滑油粘度随温度的升高而降低, 故在较高温度下工作的轴承(例如 $t > 60^{\circ}\text{C}$), 所用油时粘度应比常温轴承的高。
8. 形成流体动力润滑(即形成动压油膜)的必要条件: 相对滑动的两表面间必

须形成收敛的楔形空间；被油膜分开的两表面必须有足够的相对滑动速度，其运动方向必须使润滑油由大口流入，从小口流出；润滑油必须有一定的粘度，供油要充分。

9. 不完全流体润滑轴承指润滑表面间处于边界润滑或混合润滑状态，自润滑轴承指工作时不加润滑剂。
10. 流体动力润滑理论的基本方程为雷诺方程。
11. 轴承运转中达到热平衡状的条件是：单位时间内轴承摩擦所产生的热量 Q 等于同时内流动的油所带走的热量 Q_1 与轴承散发的热量 Q_2 之和。
12. 滑动轴承的半径间隙与轴承的半径之比称为相对间隙，轴承的偏心距与半径间隙的比值称为偏心率。
13. 随着轴转速的提高，液体动压向心滑动轴承的偏心率会低。
14. 对非液体摩擦滑动轴承，为防止轴承过度磨损，应校核 $p \leq [p]$ ，为防止轴承温升过高产生胶合，应校核 $pv \leq [pv]$ 。
15. 滑动轴承的轴瓦多采用青铜材料，主要是为了提高耐磨能力。
16. 滑动轴承的润滑作用是减少摩擦，提高传动效率，轴瓦的油槽应该开在不承受载荷的部位。
17. 润滑油的油性(润滑性)是指润滑油在金属表面的吸附能力。
18. 影响润滑油粘度的主要因素有温度和压力。
19. 油孔及油槽：

油槽分为轴向油槽和周向油槽。

轴向油槽分为单轴向油槽和双轴向油槽。

目的：为了把润滑油导入整个摩擦面间。

对于整体式径向轴承→油槽开在最大油膜厚度位置，因为要保证润滑油从压力最小的地方输入轴承。

对于对开式径向轴承→油槽开在轴承的剖分面处。

通常，轴向油槽要比轴承宽度稍短，目的是便于在轴瓦两端留出封油面，防止润滑油从端部大量流失。

周向油槽一般设在轴承宽度中部。

20. 不完全流体润滑滑动轴承可靠的工作条件是：边界膜不遭破坏，维持粗表面

微腔内有流体润滑存在。

21. 剖分式轴瓦由上、下两半组成，通常是下轴瓦承受载荷，上轴瓦不承受载荷。
22. 对于整体式径向轴承，单轴向油槽最好开在最大油膜厚度位置，目的是保证润滑油从压力小的地方输入轴承。对于对开式径向轴承，常把轴向油槽开在轴承剖分面处。
23. 在滑动轴承中，确定最小油膜厚度 h_{min} 的目的是验算轴承是否获得液体摩擦。
24. 多孔制材料制成的轴承叫含油轴承。
25. 液体润滑滑动轴承中，摩擦阻力的大小取决于轴承的转速。

$$26. F = \frac{\eta \omega d B}{\psi^2} C_p = \frac{2 \eta v B}{\psi^2} C_p$$

C_p 是轴颈在轴承中位置的函数，其值取决于轴承的包角 α 、相对偏心率 ϵ 和宽径比 B/d 。

在 α 给定时， C_p 可表示为 $C_p \propto (\epsilon, B/d)$ 。

第十三章 滚动轴承

简答题

1. 角接触球轴承和圆锥滚子轴承为什么要成对使用，反向安装？

答：因为角接触球轴承和圆锥滚子轴承只能承受单方向的轴向载荷，成对安装时才能承受双向载荷；反向安装使得轴承的支承跨距增大，适用于载荷作用于支承跨距之外的悬臂梁。

2. 何谓滚动轴承的基本额定寿命与基本额定动载荷？

答：一组在相同条件下运转的近似相同的轴承，将其可靠度为 90% 的寿命作为标准寿命，即一组轴承中 10% 的轴承发生点蚀破坏，而 90% 的轴承不发生点蚀破坏前的转数或工作小时数作为轴承的寿命，并把这个寿命叫做基本额定寿命。

所谓基本额定动载荷，就是使轴承的基本额定寿命恰好为所能承受的载荷。

3. 6112/p4/c2 轴承代号的含义是什么？

答：内径为 60mm，的深沟球轴承，尺寸系列为 01 系列，4 级公差，2 组游隙。

4. 6206 轴承在转速一定时，将其当量动载荷由 p 减为 $0.5p$ ，其小时寿命 L_h 将如何变化？

答： $L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^\varepsilon$ ，6 类为深沟球轴承， $\varepsilon = 3$ ，所以

$$L'_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{\frac{1}{2}P} \right)^\varepsilon = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{2C}{P} \right)^3 = 8L_h, \text{ 增大为原来的 8 倍。}$$

5. 滚动轴承的油润滑方式及场合。

答：（1）油浴润滑：适用于中低速；
（2）滴油润滑：适用于定量供应润滑油的轴承部件；
（3）飞溅润滑：常用于闭式齿轮传动中轴承润滑；

(4) 喷油润滑：适用于转速高、载荷大，要求润滑可靠的轴承；

(5) 油雾润滑：适用于轴承滚动体线速度很高时。

6. 说明滚动轴承中的滚动体的作用？

答：每套轴承都配有一组或几组滚动体，装在内圈或外圈之间，起滚动和传递力的作用，滚动体是承受负荷的零件，其形状、大小和数量决定了轴承承受载荷的能力和高速运转的性能。

7. 在设计滚动轴承组合结构时，应如何考虑补偿轴受热后的伸长？

答：将其中一个轴承设计成游动的支点。

8. 与滑动轴承相比，滚动轴承有哪些特点？

答：滚动轴承的摩擦系数比滑动轴承的小，传动效率高；滚动轴承已实现标准化、系列化、通用化，适用于大批量生产和供应，使用和维修十分方便；运转精度高，可以同时承受径向负荷和轴向负荷。

9. 滚动轴承为什么要润滑？润滑的方式有哪些？

答：润滑目的：润滑剂可以降低摩擦阻力；

散热，减小接触应力，吸收振动，防止锈蚀。

润滑方式：油润滑和脂润滑。

10. 轴承内圈固定方法？及用于什么场合？

答：（1）用轴用挡圈嵌在轴的沟槽内主要用于轴向力不大及转速不高时；

（2）用螺钉固定的轴端挡圈紧固，可用于在高转速下承受大的轴向力；

（3）用圆螺母和止动垫圈紧固，主要用于轴承转速较高，承受较大的轴向力情况；

（4）用紧定衬套、止动垫圈和圆螺母紧固，用于光轴上的、轴向力和转速都不大的、内圈为圆锥孔轴承。

11. 滚动轴承轴向紧固的方法。

答：（1）内圈紧固：轴用弹性挡圈；

用螺钉固定的轴端挡圈；

用圆螺母和止动垫圈紧固；

用紧定衬套、止动垫圈和圆螺母紧固。

（2）外圈轴向固定：孔用弹性挡圈紧固；

轴用弹性挡圈；
用轴承盖紧固；
用螺纹环紧固。

12. 为什么要调整轴承游隙？如何调整？

答：（1）调整轴承游隙的原因：若轴承游隙过小，轴承在工作中就会引起异常发热；若游隙过大，则会引起较大的振动和噪声。

（2）调整轴承游隙的方式： ①可通过端盖下的垫片来调整；
②通过轴上的圆螺母来调整。

13. 球轴承和滚子轴承各有什么特点？适用于什么场合？

答：（1）球轴承和滚子轴承的特点：

①球轴承的特点：工作时是点接触，相对转速快，工作噪音小。
②滚子轴承的特点：工作时是线接触，承载能力大，工作噪音较大。

（2）球轴承和滚子轴承各自适用的场合：

①球轴承适用于要求转速较高，载荷较小，且要求经济性好的场合。
②滚子轴承适用于转速不高，载荷较大或有冲击载荷的场合。

14. 滚动轴承的各元件一般采用什么材料及热处理方式？

答：轴承的内圈、外圈和滚动体的材料一般为高碳铬钢或渗碳轴承钢，采用淬火、渗碳淬火，并低温回火。保持架的材料一般为低碳钢、铜合金、铝合金或塑料等。

15. 滚动轴承常见的失效形式有哪些？公式 $L=(C/P)^{\epsilon}$ 是针对哪种失效形式建立起来的？计算出的 L 是什么含义？

答：中速和高速工作条件下的滚动轴承的常见失效形式为点蚀，低速或摆动工作条件下的滚动轴承的常见失效形式为塑性变形。公式 $L=(C/P)^{\epsilon}$ 是针对点蚀失效建立的，计算出的 L 是循环次数，单位为 10^6 转。

16. 你所学过的滚动轴承中，哪几类滚动轴承是内、外圈可分离的？

答：29000、30000、N0000、NU0000、NJ0000、NA0000 型轴承的内外圈是可分离的。推力轴承 51000 和 52000 型轴承的轴圈和座圈是可分离的。

17. 滚动轴承支承的轴系，其轴向固定的典型结构形式有三类：（1）两支点各单

向固定；(2)一支点双向固定，另一支点游动；(3)两支点游动。试问这三种类型各适用于什么场合？

答：两支点各单向固定的支承方式用于工作温度变化较小且支承跨度不大的短轴；一支点双向固定，另一支点游动的支承方式用于支承跨度较大或工作温度变化较大的轴；两支点游动的支承方式用于人字齿轮传动的游动齿轮轴。

18. 在锥齿轮传动中，小锥齿轮的轴常支承在套杯里，采用这种结构形式有何优点？

答：小锥齿轮轴通常采用悬臂支承方式，将轴和轴承支承在套杯里，这种结构可以通过两组调整垫片，方便地调整小锥齿轮的轴向位置以及轴承游隙的大小。

19. 接触式密封有哪几种常用的结构形式？分别适用于什么速度范围？

答：接触式密封可分为毡圈油封、唇型密封圈和密封环。

毡圈油封用于 $v < 4 \sim 5 \text{m/s}$ 或 $v < 7 \sim 8 \text{m/s}$ (轴表面抛光)；

唇型密封圈用于 $v < 10 \text{m/s}$ 或 $v < 15 \text{m/s}$ (轴颈磨光)；

密封环用于 $v < 100 \text{m/s}$ 的场合。

20. 在唇形密封圈密封结构中，密封唇的方向与密封要求有何关系？

答：唇型密封圈的密封唇方向与密封要求有关，如果主要是为了防止润滑剂外泄，密封唇应向里对着轴承；如果主要是为了防止外物进入轴承室，则密封唇应向外背对着轴承。

填空题

1. 滚动轴承一端固定一端游动的固定方式常用在跨距较大且工作温度较高的情况下。
2. dn 值大的滚动轴承应采用油润滑，而 dn 值小的滚动轴承可采用脂润滑。
3. 滚动轴承按照公称接触角不同，可分为向心轴承和推力轴承。
4. 滚动轴承内圈与轴的公差配合为基孔制，而外圈与座孔的配合采用基轴制。
5. 滚动轴承的承载方向与能力皆与接触角有关。
6. 滚动轴承预紧的目的是为了提高轴承的刚性和旋转精度。

7. 在保证轴承工作能力的条件下，调心轴承内、外圈轴线间可倾斜的最大角度为 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，而深沟球轴承内、外圈轴线间可倾斜的最大角度为 $8' \sim 16'$ 。
8. 各类滚动轴承的润滑方式，通常可根据轴承的内径与转速的乘积 dn 来选择。
9. 在轴承部件设计中，两端固定的方法常用于温度较低和支承跨距小的轴。为允许工作时少量热膨胀，轴承安装时应留有 $0.25 \sim 0.4\text{mm}$ 的轴向间隙，间隙量常用调整垫片。
10. 轴承的直径系列是结构、内径相同，外径、宽度不同；宽度系列是结构、内径、外径相同，宽度不同。
11. 轴承油浴润滑时，油面应不高于最低滚动体的中心。
12. 根据作条件选择滚动轴承类型时，若轴转速高，载荷小应选择球轴承；在重载或冲击载荷下，最好选用滚子轴承。
13. 滚动轴承的主要失效形式为疲劳点蚀和过大的塑性变形。
14. 滚动轴承的密封形式可分为接触式和非接触式两种。
15. 滚动轴承非接触式密封，常用的有：隙缝密封、甩油密封、曲路密封。
接触式密封：毡圈油封、唇型密封圈、密封环。
16. 滚动轴承的基本额定寿命与基本额定动载荷之间的关系为 $L_{10} = (C/P)^{\epsilon}$ ，其中：对球轴承，指数 $\epsilon = 3$ ，对滚子轴承 $\epsilon = 10/3$ 。
17. 轴承内径代号一般为 5 的倍数，特例内径代号 00、01、02、03 分别代表内径为 10mm、12mm、15mm、17mm。
18. 轴承直径系列代号为 7、8、9、0、1、2、3、4、5，其中 0、1 代表特轻系列，2 代表轻系列，3 代表中系列，4 代表重系列。
19. 后置代号中，接触角为 15° 、 25° 、 40° 的角接触球轴承分别用 C、AC 和 B 表示。

圆锥滚子轴承	角接触球轴承		
$F_d = \frac{F_r}{2Y}$	70000C ($\alpha = 15^{\circ}$)	70000AC ($\alpha = 25^{\circ}$)	70000B ($\alpha = 40^{\circ}$)
	$F_d = eF_r$	$F_d = 0.68F_r$	$F_d = 1.14F_r$

20. 滚动轴承的正常失效形式是其内外圈滚或滚动体上点蚀破坏。
21. 使受载最大的滚动体与滚道接触中心处引起的接触应力达到一定值的载荷，作为轴承静强度的界限，称为基本额定静载荷，用 C_0 表示。
22. 轴承的配置有双支点各单向固定、一支点双向固定，另一端游动、两端游动支撑。
23. 油润滑的方法油浴润滑、滴油润滑、飞溅润滑、喷油润滑和油雾润滑。
24. 1——调心球轴承；2——调心滚子轴承；3——圆锥滚子轴承；5——推力球轴承；6——深沟球轴承；7——角接触球轴承；N——圆柱滚子轴承；NA——滚针轴承。
25. 轴承的配合是指内圈与轴径及外圈与外壳孔的配合。

第十四章 联轴器和离合器

简答题

1. 联轴器的主要类型是什么？各有什么特点？

答：（1）刚性联轴器：结构简单，成本低，可传递较大的转矩，但对于相对位移没有补偿能力，也不能缓冲吸振；

（2）无弹性元件挠性联轴器：具有补偿相对位移的能力，但不能缓冲吸振；

（3）有弹性元件挠性联轴器：具有补偿相对位移的能力，但也可以缓冲吸振；

2. 哪种联轴器可以补偿 y 方向的位移，使用中有什么限制？为什么？

答：十字滑块联轴器可以补偿 y 方向的位移，但选用时其工作转速不得大于规定值，因为两轴间有相对位移的情况下工作时，中间盘就会产生很大的离心力，从而增大动载荷及磨损。

3. 在下列工况下，选择哪类联轴器较好？试举出一两种联轴器的名称。

（1）载荷平稳，冲击轻微，两轴易于准确对中，同时希望寿命较长。

（2）载荷比较平稳，冲击不大，但两轴轴线具有一定程度的相对偏移。

（3）载荷不平稳且具有较大的冲击和振动。

（4）机器在运转过程中载荷较平稳，但可能产生很的瞬时过载，导致机器损坏。

答：（1）选刚性联轴器，如凸缘联轴器和套筒联轴器。

（2）选无弹性元件的挠性联轴器，如十字滑块联轴器和齿式联轴器。

（3）选有弹性元件的挠性联轴器，如弹性柱销联轴器和梅花形弹性联轴器。

（4）选安全联轴器，如剪切销安全联轴器。

4. 在联轴器和离合器设计计算中，引入工作情况系数 K_A 是为了考虑哪些因素的影响？

答：引入工作情况系数 K_A 用于考虑工作机和原动机引起的动载荷影响。

5. 选择联轴器类型时，应当考虑哪几方面的因素？

答：选择联轴器类型时，应考虑以下几方面的因素：传递转矩大小和性质以及缓冲减振要求；工作转速高低和离心力大小；两轴相对位移的大小和方向；可靠性和工作环境；制造、安装、维护和成本。

6. 牙嵌离合器和摩擦式离合器各有何优缺点？各适用于什么场合？

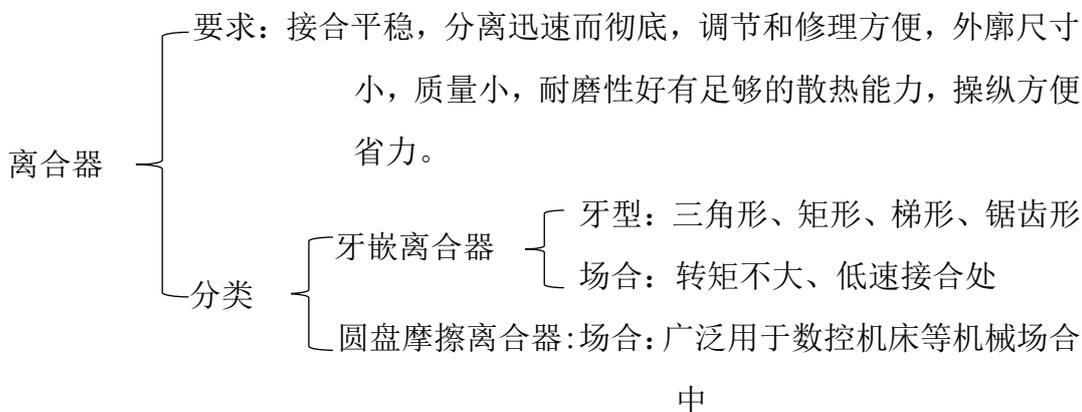
答：牙嵌离合器尺寸小、结构紧凑，一般用于转矩不大，低速接合之处。摩擦离合器外廓尺寸较大，接合过程有滑动摩擦，故发热量较大，磨损也较大。可在各种速度差下接合和分离，过载时发生打滑，具有过载保护作用。

填空题

1. 联轴器用来把两轴连接在一起，机器运转时两轴不能分离：只有在机器停车并将连接拆开后，两轴才能分离。
2. 离合器在机器运转过程中，可使两轴随时接合或分离的一种装置。

联轴器、离合器用途：用来连接轴与轴，以及传递运动和转矩。

安全联轴器及离合器：如果转矩超过规定值，即可自行断开或打滑，以保证机器中的主要零件不致因过载而损坏。



安全联轴器及安全离合器

- 剪切销安全联轴器：单剪式、双剪式
- 滚珠安全离合器：传递较小转矩的装置中

3. 离合器的类型很多，按其接合元件传动的工作原理，可分牙嵌式与摩擦式两大类；按实现离、合动作的过程可分为操纵式和自动式离合器；按离合器的操纵方式，可分为机械式、气压式、液压式和电磁式等离合器。
4. 可移式联轴器能补偿被联接两轴的偏移，这种偏移有四种，即轴向位移 x 、径向位移 y 、角位移 α 、综合位移 x 、 y 、 α 。

5. 联轴器和离合器的功用都是联接两轴，传递扭矩，两者的区别是联轴器联接在机器运转时两轴不能分离，而离合器联接可以。
6. 当受载较大、两轴较难对中时，应选用无弹性元件挠性联轴器来联接；当原动机发出的动力较不稳定时，其输出轴与传动轴之间选用有弹性元件挠性联轴器来联接。
7. 联轴器类型的选择，一般对低速、刚性大的短轴，可选用无弹性元件挠性联轴器；对低速、刚性小的长轴，则选用刚性联轴器。
8. 滚子链联轴器因链条的套筒与其相配件间存在间隙，不宜用于逆向传动、起动频繁或立轴传动等场合。
9. 联轴器的类型确定后，其型号通常根据转矩、转速和轴的直径来选择。
10. 刚性联轴器有：套筒式、夹壳式、凸缘式。
11. 无弹性元件的挠性联轴器有：十字滑块联轴器、滑块联轴器、十字轴式万向联轴器、齿式联轴器、滚子链联轴器。

备注：（1）十字轴式万向联轴器：

优点：可以允许两轴间有较大的夹角；

缺点：当主动轴角速度 ω_1 为常数时，从动轴的角速度 ω_3 并不是常数，将产生附加动载荷（成对使用时可实现输入输出轴等速）。

从动轴 ω_3 的范围：
$$\omega_1 \cdot \cos \alpha \leq \omega_3 \leq \frac{\omega_1}{\cos \alpha}。$$

$\omega_1 = \omega_2$ 的条件：将十字轴式万向联轴器成对使用。安装时必须

保证 O_1 轴、 O_3 轴与中间轴之间的夹角相等。

12. 联轴器确定后，其型号通常根据转矩的大小、转速的高低、两轴相对位移的大小来选择。
13. 有弹性元件的挠性联轴器有：弹性套柱销联轴器、弹性柱销联轴器、梅花形弹性联轴器、轮胎式联轴器、膜片联轴器。

第十五章 轴

简答题

1. 校核轴的疲劳强度时，判断其危险截面的原则是什么？

答：危险截面应选在弯曲应力和扭转剪切应力较大且应力集中系数较大的截面。考虑的因素除了轴上的弯矩、扭矩和轴颈外，还应考虑综合影响系数的影响。

2. 轴按承受载荷的不同，可分为哪几类？

答：转轴（既承受弯矩，又受扭矩）、心轴（只受弯矩）、传动轴（只受扭矩）。

3. 按弯曲合成计算轴的应力时，为什么要引入系数 α ？

答：因为通过弯矩产生的应力与扭矩产生的应力的应力循环特性不同，考虑 σ 、 τ 两者循环特性不同，引入折合系数 α

4. 影响轴的疲劳强度的因素有哪些？在设计轴的过程中，如果疲劳强度不够时，应采取哪些措施使其满足要求？

答：（1）轴结构设计强度、热处理组织和热处理质量、机加工缺陷等。

（2）措施：合理布置轴上零件以减小轴的载荷；改善轴上零件的结构以减小轴的载荷；改进轴的结构以减小应力集中的影响；改进轴的表面质量以提高轴的疲劳强度。

5. 轴的结构工艺性是指什么？轴上切制螺纹时，开退刀槽的目的是什么？轴与轮毂过盈配合时，减少应力集中的措施？

答：轴的结构工艺性是指：轴的结构形式应便于加工和装配轴上的零件，并且生产率高，成本低。

切制螺纹时开退刀槽的目的：一是便于车削螺纹，二是便于螺纹拧到底。

减少应力集中的措施：在轮毂上或轴上开减载槽；加大配合部分的直径。

6. 若轴的强度不足或刚度不足时，可分别采取哪些措施？

答：（1）提高轴的强度的措施：

①增大轴径；

②改变材料类型；

- ③对轴的表面进行热处理和表面硬化加工处理;
- ④提高表面加工质量;
- ⑤用开卸载槽、增大过渡圆角半径等方法改进轴的结构以降低应力集中程度等。

(2) 提高轴的刚度的措施:

- ①增大轴径;
- ②改变轴的外形等。

7. 在进行轴的疲劳强度计算时, 如果同一截面上有几个应力集中源, 应如何取定应力集中系数?

答: 应取该截面上各应力集中源有效应力集中系数中的最大值为该截面的有效应力集中系数。

8. 轴的强度计算方法有哪几种? 各适用于何种情况?

答: 扭转强度条件用于仅(主要)承受扭矩的传动轴的计算, 也用于转轴结构设计时的初步估算轴径。

弯扭合成强度条件用于转轴的强度校核计算。

疲劳强度条件用于校核计算变应力情况下轴的安全程度。

静强度条件用于校核计算轴对塑性变形的抵抗能力。

9. 按弯扭合成强度和按疲劳强度校核轴时, 危险截面应如何确定? 确定危险截面时考虑的因素有何区别?

答: 按弯扭合成强度校核轴时, 危险截面应选在弯曲应力和扭转切应力大的截面, 考虑的因素主要是轴上的弯矩、扭矩和轴径。

按疲劳强度校核轴时, 危险截面应选在弯曲应力和扭转切应力较大且应力集中系数大的截面, 考虑的因素除了轴上的弯矩、扭矩和轴径外, 还应考虑综合影响系数的影响。

10. 为什么要进行轴的静强度校核计算? 这时是否要考虑应力集中等因素的影响?

答: 对于瞬时过载很大的轴, 或应力循环的不对称性较为严重的轴, 会由于静强度不足而发生塑性变形, 对于这种轴应进行静强度条件校核计算。在静强度计算时不需要考虑应力集中等因素的影响。

11. 经校核发现轴的疲劳强度不符合要求时，不增大轴径的条件下，可采取哪些措施来提高轴的疲劳强度？

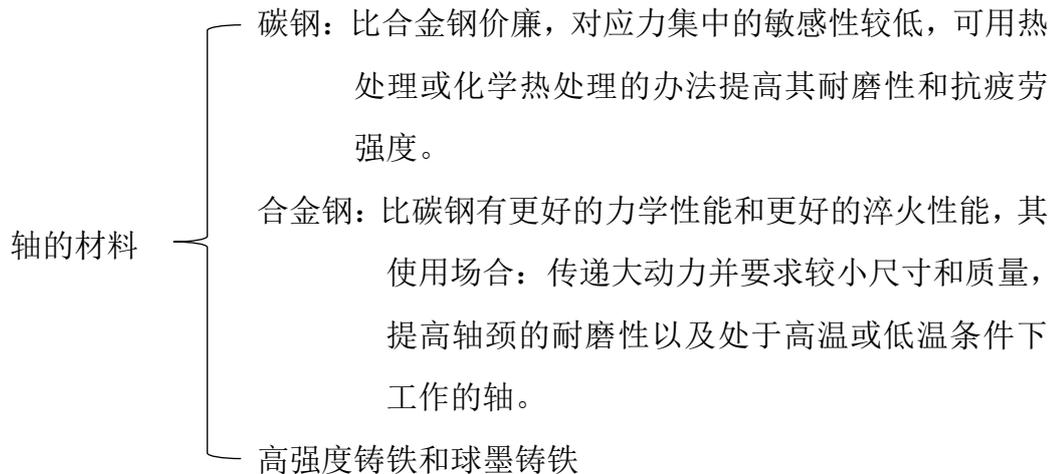
答：可采取的措施有：增大过渡圆角半径；对轴的表面进行热处理和表面硬化加工处理；提高表面加工质量；用开卸载槽等方法降低过盈配合处的应力集中程度；改进轴的结构形状等。

填空题

1. 在轴的结构设计中，轴的最小直径 d_{min} 是按轴所受扭矩初步确定。
2. 轴上零件的轴向固定常用方法有轴肩固定、套筒固定、轴承端盖、圆螺母、轴端挡圈等。
3. 轴的设计一般先进行结构设计再进行工作能力计算。
4. 45 钢轴的刚度不足，可采取增大轴颈措施来提高其刚度。
5. 对轴进行表面强化处理，可以提高轴的疲劳强度。
6. 轴结构设计时应该主要考虑的因素是轴和轴上零件要有准确的工作位置、轴上零件要便于装卸和调整、轴应具有良好的制造工艺性。
7. 自行车的前轮轴是心轴，中间轴是转轴。
8. 轴上零件的周向固定常用的方法有：键、销、紧定螺钉、过盈配合。
9. 一般轴多呈阶梯形，主要是为了易于轴上零件的装配和定位。
10. 按承受载荷的不同，轴可分为转轴、心轴和传动轴三类。工作中既承受弯矩又承受扭矩的轴称为转轴。只承受弯矩而不承受扭矩的轴称为心轴。心轴又分为转动心轴和固定心轴两种。只承受扭矩而不承受弯矩的轴称为传动轴。

{	转矩：原动机→工作机，路线沿该轴线走过一段距离。（注意：末端工作机是否是传动零件（卷轴、齿轮等））
	弯矩：该轴除了联轴器以外，是否还有其他传动零件，如果有，则受弯距。
11. 按轴线形状的不同，轴还可分为直轴和曲轴两大类。
12. 轴的材料主要是碳钢和合金钢。
13. 碳钢比合金钢价格低廉，对应力集中的敏感较低，同时可以用热处理或化学热处理的办法提高其耐磨性和抗疲劳强度，可达到较好的力学性能，故采

用碳钢制造的轴应用尤为广泛，其中最常用的是 45 号钢。



注：选择钢的种类和决定钢的热处理方法时，所根据的是强度与耐磨性，增大轴的截面积来提高轴的刚度。各种热处理：淬火、渗碳等，以及各种表面强化处理：喷丸、滚压等，可以提高轴的疲劳强度。

14. 合金钢比碳钢具有更高的力学性能和更好的淬火性能。因此，可用在需传递大功率并要求减少质量和提高轴耐磨性的场合，也可用在要求高温或低温的工作环境。
15. 轴的结构工艺性是指轴的结构应便于加工和装配轴上的零件，并且生产率高，成本低。
16. 转动心轴的弯矩在轴截面上所引起的应力是对称循环变应力。对于固定心轴，考虑启动、停车等的影响，弯矩在轴截面上所引起的应力可视为脉动循环变应力。
17. 弹簧旋转比太大或太小会怎样？

答：弹簧的旋转比： $C=D/d$ 。

D——弹簧中径；

d——弹簧的直径。

C 的取值范围为：4~16.

C 过大：弹簧偏软，工作时会发生晃动。

C 过小：弹簧丝卷绕时受到强烈的弯曲，疲劳强度下降。