

# 机 修 手 册

(第 3 版)

第 8 卷  
设备润滑

机械工业出版社

## 第 8 章 典型机械零部件的润滑

陈家靖 李文哲

### 第 1 节 齿轮传动的润滑

#### (一) 序言

##### 1. 齿轮的分类

依靠连续啮合的齿传递运动和动力的机械零件叫做齿轮。一对齿轮分别装在主动轴和从动轴上,利用两齿轮轮齿的相互啮合,以传递运动和动力,叫做齿轮传动。

齿轮和齿轮传动的分类方法较多,如按齿轮的齿廓曲线、齿轮的外形、两个齿轮轴线间的相对位置和齿轮传动的外部结构分类等。

按齿轮的齿廓曲线来分类,可分为渐开线齿轮、圆弧齿轮和摆线齿轮。所谓渐开线齿轮,就是齿廓呈渐开线的齿轮,它的瞬时传动比是恒定的,是目前应用最广泛的齿形。圆弧齿轮是轮齿的齿廓为凹凸圆弧的齿轮,它是随着提高齿轮承载能力的要求而出现的一种新型齿轮。它在传递同样的圆周力时,比渐开线齿轮的齿面压应力低。同时它的轮齿没有根切现象,因此圆弧齿轮广泛应用于冶金、矿山等重负荷机械上。摆线齿轮主要用于钟表行业。

齿轮按其外形可分为圆柱齿轮、锥齿轮、非圆齿轮、齿条和蜗杆蜗轮。齿轮按其齿线形状可分为直齿轮、斜齿轮、人字齿轮和曲线(如准双曲面)齿轮。

此外,齿轮还可按两个齿轮轴线的相对位置来进一步分类;若按齿轮传动装置的工作条件分为闭式、开式和半开式三类。

##### 2. 齿轮的损坏类型与润滑的关系

(1) 轻微磨损 轻微磨损对齿轮装置是有利的。在齿轮磨合时间,通过表面上微凸体逐渐磨

平,出现较为光滑的表面,由于轮齿在再次进入接触之前和许多齿有接触,这样将普遍地均匀地减少齿廓误差。如果两个啮合齿的动态对中轻微偏离,那么最初磨损是由于去除最硬接触面而产生。由于更多的接触面积未承受负荷,来自轻微最初磨损的这些齿形经轻微修正,将使其齿轮在满负荷操作下能正常运转和减少出现损坏的机会。在跑合期间,有意采用低粘度润滑剂来润滑齿轮,然而粘度控制还依赖于最初的负荷和令人满意的磨损值。在跑合期间应经常检查齿面,以防止过多磨损而导致破坏性磨损。当齿轮表面达到足够的啮合一致性后便能承受额定工作负荷,最初的磨损出现后应自动地及时终止最初的磨损。

(2) 中等磨损 中等磨损是由于齿轮表面的更大不规则、齿轮齿形的误差大、有负荷变化、润滑剂粘度不足或在某种条件下使齿轮工作在混合膜润滑的边界润滑条件等原因所造成。润滑剂中的磨料也能产生这类型磨损,这类型磨损不会自动停止,而是慢慢地延续比较长的时间,根据齿轮寿命的不同要求,按实际情况决定何时停止使用。

(3) 严重磨损 严重磨损将迅速去除齿面材料、破坏齿的形状和齿轮装置的平稳运转,在完全没有润滑剂的条件下或严重超载或接触齿表面的严重偏移都会发生这种磨损,如果破坏原因没有找到并纠正,则齿形的破坏将导致齿轮装置的短寿命,由于润滑问题容易考虑到和改变,所以过载是引起这种类型磨损的最普遍原因。

检查齿轮过度磨损或失效原因,不是一件简单的任务,最后的失效模式可能与过去已知的磨损机理完全不同,讨论若干种常见磨损类型有助于按一定程序分析导致齿轮装置过度磨损或失效的大致原因。

(4) 断裂 当轮齿承载时,弯曲应力超过材

料疲劳极限, 将会出现毁灭性失效, 破坏齿的一部分或整个齿。这种断裂开始时出现裂纹, 随着重复的负荷循环扩展而显示为典型的疲劳失效。有时可能在一个负荷循环中损坏一个齿, 这并不属于疲劳失效。断裂经常是由于冲击负荷、强烈振动引起的负荷、大块的磨屑通过啮合区或者由于齿轮偏移造成齿宽上局部小面积来承受负荷而引起。很明显, 润滑不是一个因素, 必须找出机械缺陷并加以改进。

(5) 点蚀 齿表面在交变接触应力重复作用下发生表面疲劳, 随后在次表面产生微观裂缝, 分离出磨粒或屑片而剥落, 形成小凹坑或麻点, 故称为点蚀。当机加工留下来的凸点去除之后, 小凹坑在新齿轮上也形成。一旦接触的表面足以支撑负荷时, 点蚀可能停止, 而其表面开始抛光, 此时的点蚀可认为是最初的和无害的。如果点蚀不断扩展, 由较少的表面来承受负荷, 则可以认为这种点蚀是发展的。如果不能及时纠正, 齿面的材料将逐渐减少, 最后导致齿破裂。这种现象往往是由齿轮齿的偏移而产生, 由于由齿面的局部小面积来承受负荷而导致高应力, 或使用的齿轮材料太软或运转中使用了大于设计值的负荷也都会产生点蚀。采用高精度油有利于在较大面积内传递负荷, 但调整润滑油, 其作用不大, 油中采用某些极压添加剂可以延长齿轮寿命, 但还不能真正解决问题。

(6) 剥落 剥落机理和点蚀相同, 从硬齿面或表面硬化齿面上去除由于热处理不当而引起的应力或由于次表面裂痕产生的较大金属屑, 形成剥落。它是由材料缺陷、过载或其它使用问题而引起。

(7) 塑性流动 这是由于重载而使表面应力超过齿轮材料的弹性极限而引起轮齿表面变形。通常在较软材料中出现这种情况, 表面材料可能沿齿端面和齿顶挤压, 最后在齿面上形成毛刺。节线起皱突起或齿根凹陷也属于这个范畴。如果这类破坏现象是由强烈振动或冲击负荷引起的话, 则高粘度润滑油有缓冲负荷的作用, 然而, 这种破坏现象使材料失效, 所以改变润滑油不能解决这类问题。

(8) 擦伤 这是磨料磨损的一种类型, 当硬颗粒尺寸大于隔开轮齿表面的油膜厚度时, 并进入齿轮啮合区域时, 齿表面在滑动方向就会出现擦伤, 这些颗粒可能是灰尘、沙、铸造氧化皮、齿轮或轴承材料或任何其它磨屑, 以各种方式进入润滑

系统。上述这些杂质可以在空气中并通过密封不严的罩或敞开的检视孔进入, 也可能是没有认真清洗箱体或旋转零件而混入杂质造成; 磨屑也可能是齿轮磨损的产物。通过实验分析可指出这些颗粒材料的类型, 加大润滑油粘度能提高油膜厚度, 这样能减轻擦伤, 但不能根治它。最好的解决办法是对润滑油进行精密的过滤和改善维护条件等以除掉磨粒。一旦这些问题得以解决, 齿轮表面的损伤也会停止。

(9) 胶合 当齿面上的局部凸点或微凸体破坏油膜产生金属接触后, 金属可能熔接在一起, 以后又随着齿面的相对运动使金属从材料较软的齿面上撕裂下来, 熔化到另外的齿面上, 同时沿滑动方向犁削啮合面并留下沟痕, 导致材料的迅速去除, 降低齿轮传动的平稳性。

(10) 腐蚀磨损 轻微点蚀或齿表面生锈或暴露的无油漆的金属表面会出现腐蚀和腐蚀磨损。腐蚀可能由于油中的冷凝水或者热交换器中漏出的水而引起, 也可能由于润滑油中的酸或腐蚀添加剂而引起。某些润滑油添加剂可以防止齿轮表面生锈, 从而达到防止腐蚀的作用。另外一些则是阻止油氧化而生成酸。如果知道产生腐蚀的原因来自外部, 还是可以纠正的。

(11) 烧焦 如果齿轮的齿遭受强热, 材料硬度将降低。软化的材料将迅速被去除, 因为它不能承受相应负荷, 这种现象的特点是齿轮表面由于温度高而使其变色, 如果热源来自外部, 就必须予以纠正, 如果是摩擦问题, 则要重新考虑润滑油类型和润滑方法。

## (二) 闭式齿轮传动润滑的特点和作用

(1) 齿轮润滑的特点 齿轮润滑与一般零件的润滑(例如轴承的润滑)相比较, 有以下特殊性:

1) 与滑动轴承相比较, 多数齿轮的齿廓曲率半径小, 一般为几十毫米, 因此形成油楔的条件差。

2) 齿轮的接触压力非常高, 例如轧钢机的主轴承压强一般为20MPa, 而轧钢机减速器齿轮压强一般为500~1000MPa。

3) 齿面间同时有滚动和滑动, 而且滑动的方向和速度急剧变化, 从表8-1-5的资料看出, 其很大一部分齿轮, 它们的滑动速度与节线速度的比值大于0.3。

4) 润滑是断续性的, 每次啮合都需重新建立油膜, 形成油膜的条件较轴承相差很多, 例如轧钢机主轴承的  $\eta n/P$  值 ( $\eta$ —油的粘度,  $n$ —主轴的每分钟转数,  $P$ —单位面积压力) 一般为 140, 而轧钢机减速器齿轮为 20 左右。

5) 齿轮的材料、热处理、机械加工、装配等条件, 对润滑状态也有所影响, 尤其是齿面形貌和表面粗糙度对其润滑状态影响最为明显。

(2) 齿轮润滑剂的作用 研究齿轮润滑剂的作用是为研究满意的齿轮润滑剂所需具备的特性和怎样实现这些作用。用途不同, 齿轮润滑剂的作用也不同。下面列出齿轮油的作用:

- 1) 减少齿轮和相邻运动零件的磨损。
- 2) 减少摩擦力和功。
- 3) 散热, 即起冷却剂的作用。
- 4) 减少噪声、振动和齿轮齿间的冲击。
- 5) 排除脏物。
- 6) 起结构材料的作用。

润滑剂可改善抗胶合性, 是防止齿轮破裂、点蚀、胶合的齿轮强度的一个因素。

以上结论可从下列数据得到证实: 在 IAE 齿轮试验机中的齿轮转速为 4000r/min 条件下, 三种不同类型的润滑油 (其中有 L-AN 全损耗系统用油、低负荷工业齿轮油、中负荷工业齿轮油) 和每种类型有四种不同的粘度 (N68、N100、N220、N460) 在齿轮条件不变下具有明显不同的承载能力。其中 L-AN 全损耗系统用油承载能力最低, 即 L-AN68 全损耗系统用油在载荷为 1021MPa, 其齿轮完全失效。而 N68 中负荷工业齿轮油却在 2152MPa 的条件下, 它才完全失效; 同一类油品, 其高粘度油品其承载能力高, 如 L-AN68 全损耗系统用油失效载荷为 1021MPa, 而 N460 重负荷工业齿轮油却为 1665MPa。

(3) 对齿轮润滑剂所要求的特性 在讨论齿轮润滑剂时, 其中一些特性能帮助这些产品良好地应用, 具体如下:

- 1) 粘附性。
- 2) 配伍性。
- 3) 对机构的其它部件例如密封件等的最小影响。
- 4) 良好的极压抗磨性。
- 5) 氧化安定性好。
- 6) 良好的抗乳化性。

- 7) 良好的洗净性。
- 8) 良好的抗泡沫性。
- 9) 良好的粘温特性。
- 10) 良好的抗剪切安定性。
- 11) 不高的成本。

在这里着重讨论配伍性, 其它性能请参看第 3 章及有关文献。

齿轮油的配伍性: 齿轮油的配伍性好是指齿轮油的基础油与不同品种、含量的各种添加剂掺合时的最佳组合, 其复合效果最好, 不产生相互间的对抗作用。配伍性好的齿轮油, 可发挥各种添加剂的复合相加作用而不会在使用中产生过量胶泥和沉淀。

### (三) 选择齿轮润滑油的几种典型方法

#### 1. AGMA 标准规范“工业闭式齿轮传动的润滑”

利用规范数据来选择齿轮所用的齿轮油类型的粘度, 在这方面典型的例子是美国齿轮制造者协会 AGMA 标准规范中关于工业闭式传动润滑的有关表格:

从表 8-1-1 看出, 在一定操作条件下, 直齿轮、斜齿轮、锥齿轮的润滑要求是一样的, 由于蜗杆副的速度高而且接触面积大, 要求油有特殊的添加剂。极压油和复合油都可能提供满意的结果。大部分蜗轮制造厂推荐使用复合油, 因为脂肪酸添加剂能减少摩擦和稍微提高蜗杆副所固有低的传动效率。双曲线齿轮必须使用极压油, 因为它承受重负荷和很高的滑动速度。

表 8-1-2 和表 8-1-3 分别为美国 AGMA 润滑剂类型、粘度等级和根据各种类型齿轮的中心距和环境温度来选油品的粘度。

这种选油方法, 表 8-1-1 只是选择油品的大致分类, 不够准确, 如果齿轮生产厂没有推荐采用齿轮油的类型时, 其用户就难以正确选用。

#### 2. 我国专业标准 ZBJ17003—89: “工业齿轮润滑油选用方法”

和“工业齿轮润滑油选用规范”(草案)大致相同, 是由广州机床研究所、郑州机械研究所、洛阳矿山机械研究所及有关单位共同对我国工业齿轮应用技术进行系统、大量的研究、理论计算及试验应用并参照国外有关标准规范, 结合我国国情提出的。从一些例子可知, 采用该标准选用工业齿轮油的设备, 可延长齿轮使用寿命, 换油期可比使用

表8-1-1 各种类型齿轮应用的润滑剂类型

齿轮类型	直 齿 轮	斜 齿 轮	蜗 杆	锥 齿 轮	准双曲面齿轮
润滑剂类型					
抗氧化和抗腐蚀的矿物油	正常负荷	正常负荷	轻负荷低速	正常负荷	不推荐使用
极压油	重负荷或冲击负荷	重负荷或冲击负荷	对于大多数应用场合能满足要求	重负荷或冲击负荷	大多数应用场合可满足要求
复合油 (约加脂肪 5%)	通常不推荐使用	通常不推荐使用	对大多数齿轮生产厂家可优先选用	通常不推荐使用	只用于轻负荷下
高粘度的开式齿轮油	低速开式齿轮传动	低速开式齿轮传动	低速 (需要使用加极压剂的开式齿轮油)	低速开式齿轮传动	低速 (需要使用加极压剂的开式齿轮油)
润滑油					不推荐

表8-1-2 美国AGMA润滑剂的粘度范围

(R + O)型齿轮油 (AGMA润滑剂牌号)	ASTM2422①粘度范围 (40°C), (mm <sup>2</sup> /s)	相应的ISO3448② 粘度等级	EP型齿轮油(AGMA 润滑剂编号)③	AGMA④以前的粘度 系统(100°F), SSU
1	41.4~50.6	46	—	193~235
2	61.2~74.8	68	2EP	284~347
3	90~110	100	3EP	417~510
4	135~165	150	4EP	626~765
5	198~242	220	5EP	918~1122
6	288~352	320	6EP	1335~1632
7 comp⑤	414~506	460	7EP	1919~2346
8 comp⑤	612~748	680	8EP	2837~3467
8A comp⑤	900~1100	1000	8AEP	4171~5098

① ASTM2422为工业液体润滑剂的粘度系统: 它与英国标准 B. S. 4231相同。

② ISO3448为工业液体润滑剂——ISO粘度等级分类。

③ EP型齿轮油只在齿轮制造厂的推荐下使用。

④ AGMA250.03制订于1972年5月, 而AGMA251.02制订于1974年10月。

⑤ 符号comp, 是表明在基础油中加入3%~10%脂肪油或合成脂肪油。

L-AN全损耗系统用油延长50%以上, 经济效益显著, 简介如下。

### (1) 工业齿轮润滑油的使用要求

1) 应考虑使用时的环境温度和选用油品的低温性能(环境温度一般不低于-5°C)。在寒冷地区工作的齿轮传动装置必须保证润滑油能自由循环流动及不引起过大的起动扭矩。这时, 可以选择一合适的低凝工业齿轮油或配备油箱加热器。

应注意: 所选用润滑油的倾点至少要比环境温度最小值低5°C。如果环境温度与所选润滑油的倾点接近, 就需要备油箱加热器以帮助起动。

2) 对潮湿、多灰尘、受化学作用影响显著的环境, 应采取措, 以确保润滑的有效、可靠。

3) 润滑油的工作温度是指润滑油能正常稳定

工作的温度(见表8-1-4), 它受润滑油本身性能以及保证润滑功能的限制。在高于或低于规定的工作温度范围时, 必须采取措施以降低或升高润滑油的温度。

### (2) 工业齿轮润滑油的选择原则

1) 根据齿面接触应力、齿轮状况和使用工况选择润滑油的种类。

2) 根据分度圆圆周速度和Stribeck滚动压力选择润滑油的粘度。

3) 根据分度圆圆周速度确定恰当的润滑方式。

### (3) 润滑油种类的选择

1) 渐开线圆柱齿轮齿面接触应力 $\sigma_H$ 按式(8-1-1)计算:

表8-1-3 由美国AGMA推荐关于闭式的斜齿、人字齿、直齿锥齿、螺旋锥齿和正齿轮装置的  
AGMA润滑油牌号

低速级齿轮		AGMA润滑油牌号②③	
装置的类型①	中心距(mm)	环境温度④	
		-10~10℃⑤	10~50℃
平行轴(单级减速)	<200	2~3	3~4
	200~500	2~3	4~5
	>500	3~4	4~5
平行轴(双级减速)	<200	2~3	3~4
	>200	3~4	4~5
平行轴(叁级减速)	<200	2~3	3~4
	200~500	3~4	4~5
	>500	4~5	5~6
行星齿轮箱	壳体外径φ<400mm	2~3	3~4
	壳体外径φ>400mm	3~4	4~5
弧齿锥齿轮或直齿锥齿轮	锥母线<300mm	2~3	4~5
	锥母线>300mm	3~4	5~6
齿轮马达		2~3	4~5
高速齿轮装置		1	2

- ① 由于某些类型的润滑油对包括超越离合器作为止停装置的传动系统有不利影响,因此应向齿轮制造厂指明此点。  
 ② 表中所推荐的润滑油牌号的性能,在工作条件如表面粗糙度、温升、负荷、速度等发生变化时也能满足其要求。  
 ③ AGMA润滑油粘度等级牌号,可以采用(R+O)型齿轮油也可以采用相应粘度等级的极压齿轮油。  
 ④ 如果环境温度超出表中所列的范围,可以向齿轮制造商咨询。某些类型合成润滑油能成功应用于高、低温领域。  
 ⑤ 所选用的油品的凝固点至少低于最低的起始环境温度5℃。如果环境的起始温度接近于润滑油的凝固点,那么就要求油箱装上加热器,以便于启动和保证正确的润滑。  
 ⑥ 所谓高速是指齿速度大于3600r/min或节线速度大于25m/s(5000r/min),对于这种高速运转的齿轮的润滑可参考AGMA421规范:“高速斜齿轮和人字齿轮的实践”一文。

表8-1-4 润滑油的工作温度

润滑油种类	工作温度(℃)
抗氧防锈工业齿轮油	5~80
中负荷工业齿轮油	5~80
重负荷工业齿轮油	5~95

$$\sigma_H = Z_H Z_E Z_\epsilon Z_\beta \sqrt{\frac{F_t}{d_1 b} K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha} \frac{u \pm 1}{u}} \quad (8-1-1)$$

式中的“+”号用于外啮合传动,“-”号用于内啮合传动。

式中具体参数的选择及计算按GB3480。“渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法”。

2) 锥齿轮齿面接触应力 $\sigma_H$ 按式(8-1-2)计算:

$$\sigma_H = Z_H Z_E Z_\epsilon Z_\beta Z_b \sqrt{\frac{F_{m1}}{d_{v1} b_{eH}} K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha} \frac{u_v + 1}{u_v}} \quad (8-1-2)$$

式中  $b$  ——工作齿宽(mm);

$b_{eH}$  ——锥齿轮接触强度计算的有效齿宽(mm);

$d_1$  ——小齿轮的分度圆直径(mm);

$d_{f1}$  ——小齿轮的节圆直径(mm);

$d_{v1}$  ——锥齿轮小轮当量圆柱齿轮分度圆直径



- (mm);
- $F_t$ ——端面分度圆上的名义切向力 (N);
- $F_{mt}$ ——锥齿轮齿宽中点分度圆上的名义切向力 (N);
- $K_A$ ——使用系数;
- $K_V$ ——动载系数;
- $K_{H\alpha}$ ——接触强度计算的齿间载荷分配系数;
- $K_{H\beta}$ ——接触强度计算的齿向载荷分布系数;
- $Z_H$ ——节点区域系数;
- $Z_E$ ——弹性系数 ( $\sqrt{N/mm^2}$ );
- $Z_\epsilon$ ——接触强度计算的重合度系数;
- $Z_\beta$ ——接触强度计算的螺旋角系数;
- $Z_K$ ——锥齿轮接触强度计算的锥齿轮系数;
- $P$ ——功率 (kW);
- $n_1$ ——小齿轮的转速 (r/min);
- $z_1$ ——小齿轮齿数;
- $z_2$ ——大齿轮齿数;
- $u$ ——齿数比,  $u = z_2/z_1$ ;
- $u_g$ ——锥齿轮当量圆柱齿轮齿数比;
- $v$ ——分度圆圆周速度 (m/s);
- $v'$ ——运动精度 ( $mm^2/s$ );
- $\xi$ ——力-速度因子 ( $10^9 \times N \cdot s/m^3$ );
- $K_s$ ——stribeck滚动压力;

$\sigma_H$ ——齿轮的计算接触应力 ( $N/mm^2$ )。  
 式中具体参数的选择及计算按 GB10062:“锥齿轮承载能力计算方法”。

3) 根据计算出的齿面接触应力, 齿轮状况和使用工况, 参考表8-1-5即可确定润滑油的种类。

(4) 润滑油粘度的选择

1) 选择说明

① 对于减速齿轮传动机构, 在二级传动机构中, 以末级传动为基准; 在三级传动机构中, 以第二、第三级所需运动粘度的平均值为基准; 在多级传动机构中, 必须相应处理。对于增速齿轮传动机构, 应以除高速级外的低速级传动为基准。

② 选择粘度时, 应在计算出  $K_t/V$  值之后查图8-1-1即可得出所需的粘度值。图8-1-1是以实际经验为基础列制的, 这些值适宜20℃的环境温度。

③ 精度修正计算时, 应将修正量加到从图8-1-1查到的粘度值上去, 最后得到所需要的粘度值。

④ 对于锥齿轮传动, 式(8-1-3)、(8-1-4)、(8-1-5)的计算应以锥齿轮齿宽中点处当量圆柱齿轮的几何参数为基准。

2) 润滑油粘度的计算

分度圆圆周速度的计算:

$$v = \frac{\pi d_1 n_1}{60000} \quad (8-1-3)$$

表8-1-5 工业齿轮润滑油种类的选择

条 件		推荐使用的工业齿轮润滑油	
齿面接触应力 ( $N/mm^2$ )	齿轮状况	使用工况	
<350		一般齿轮传动	抗氧防锈工业齿轮油
低负荷齿轮 350~500	a. 调质处理, 啮合精度等于8级 b. 各级齿数比 $i < 8$ c. 最大滑动速度与分度圆圆周速度之比: $v_g/v < 0.3$ d. 变位系数 $x_1 = x_2$	一般齿轮传动	抗氧防锈工业齿轮油
	变位系数 $x_1 \neq x_2$	有冲击的齿轮传动	中负荷工业齿轮油
中负荷齿轮	a. 调质处理, 啮合精度等于或高于8级 b. $v_g/v > 0.3$	矿井提升机、露天采掘机、水泥石、化工机械、水力电力机械、冶金矿山机械、船舶海港机械等的齿轮传动	中负荷工业齿轮油
	渗碳淬火、表面淬火和热处理硬度58~62HRC		
重负荷齿轮 >1100		冶金轧钢、井下采掘、高悬有冲击、含水部位的齿轮传动等	重负荷工业齿轮油

Stribeck 滚动压力的计算:

$$K_s = \frac{F_t}{b d_1} \frac{u \pm 1}{u} Z_1 Z_2 \quad (8-1-4)$$

式中  $K_s$ ——Stribeck 滚动压力 ( $N/mm^2$ )。

式 (8-1-4) 中的 “+” 号用于外啮合传动，“-” 号用于内啮合传动。

力-速度因子的计算:

$$\xi = K_s / v \quad (8-1-5)$$

用求得的  $\xi$  值, 从图 8-1-1 中查出所需的运动粘度。

3) 粘度的修正

① 如果环境温度通常在  $25^\circ C$  以上, 必须选择较大的运动粘度, 温度每提高  $10^\circ C$ , 粘度应相应提高 10%。

② 载荷特性对粘度的修正 (见表 8-1-6)

③ 当齿轮传动的未经硬化的小齿轮和大齿轮都是用同样的材料制造或选用 Cr-Ni 钢制造时, 运

动粘度要提高 35% 左右。

④ 在使用容易粘附的齿轮副时, 如果没有含减磨添加剂的润滑油可用, 运动粘度要适当提高。

⑤ 如果环境温度通常在  $10^\circ C$  以下, 可以选择较小的运动粘度, 温度每降低  $3^\circ C$ , 运动粘度可相应降低 10%。

⑥ 如果齿面经过磷化处理, 硫化处理或镀铜, 运动粘度最大可降低 25%。

(5) 选油举例

例: 有一闭式直齿圆柱齿轮传动, 其功率  $P = 40 kW$ , 小齿轮转速  $n_1 = 970 r/min$ , 模数  $m = 2.5 mm$ ,  $z_1 = 48$ ,  $z_2 = 96$ , 分度圆压力角  $\sigma = 20^\circ$ , 变位系数  $x_1 = x_2 = 0$ ,  $d_1 = 120 mm$ , 齿宽  $b = 72 mm$ , 大小齿轮均用 40Cr 钢, 大齿轮调质处理, 硬度 300 HBS, 小齿轮表面淬火,  $48 \sim 55 HRC$ , 中等冲击, 单向工作。试选择合适的润滑油。

解: ① 选择润滑油的种类

表 8-1-6 载荷特性对粘度的修正 (粘度增加值)

齿面硬度	载 荷 冲 击 程 度①			
	平 稳	轻 微	中 等	严 重
$\leq 350 HBS$	0	增加相邻粘度牌号差值的 30% 以下	增加相邻粘度牌号差值的 60% 以下	增加一个粘度牌号或
$> 350 HBS$	0	增加相邻粘度牌号差值的 20% 以下	增加相邻粘度牌号差值的 40% 以下	更换油类

① 载荷冲击程度的分类可参考齿轮装置的使用系数  $K_A$  来决定。

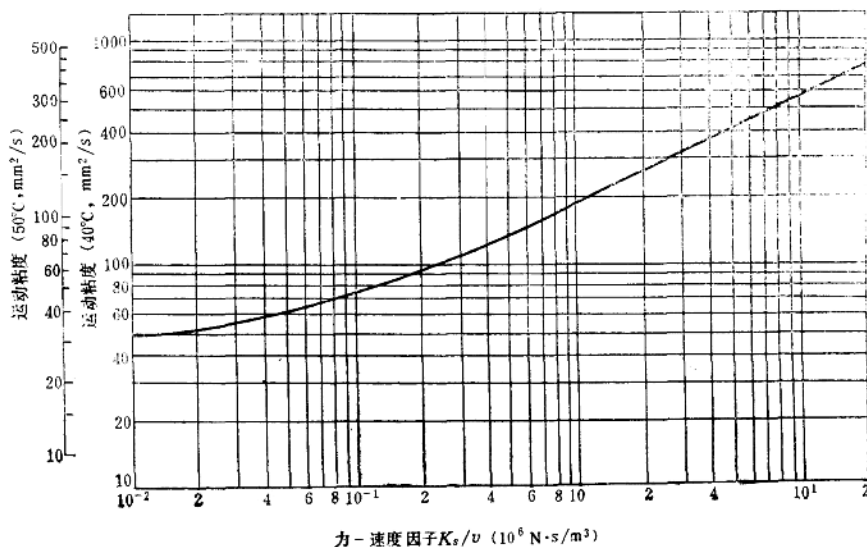


图 8-1-1 渐开线圆柱齿轮和锥齿轮所需粘度的选油



表8-1-7 齿轮箱选油计

设备及变速箱名称	型号	齿轮型式	齿数	模数 (mm)	螺旋角	分度圆直径 (mm)	齿顶圆小直径 (mm)	齿轮分度圆直径 $d_1$ (mm)
卧式车床溜板箱	WSD210-II	斜齿圆柱齿轮	33 41	3	9°5'	120 125	106 131	106
立式车床横梁升降传动箱	DKZ6.3m	斜齿圆柱齿轮(直齿圆锥齿轮)	20 50	6	15°	124 311	136 323	124 160
龙门刨床主传动减速箱	B288	斜齿圆柱齿轮	16 66	5	27°25'	90 372	106 382	90
			17 87	6	30°	118 693	130 615	118
	19 57		5	19°40'	100.9 302.7	111 313	100.7	
	26 78		6	14°53'	151.4 484.2	173 496	161.4	
铸铁床镗头箱	WBF32	斜齿圆柱齿轮	26 126	5	15°	135 652	145 662	135
弧门起闭机Z285 减速箱	2×1601		10 77	7	29°32'	80 620	94 634	80
			13 86	10	8°6'	131 868	151 888	131
2号船闸门启闭机 主轴减速箱			16 49	33		528 1617	591 1637	528
		16 54	40		640 2160	744 2216	640	
高压甲铵泵透平 减速箱	GT2391	斜齿圆柱齿轮	31 248	3	28°14'	106 815	112 851	106
			33 153	7		263 1216	276 1230	262
			38 121	6		237.5 756	250 768	237.5
高压泵泵减速箱	1104 J	斜齿圆柱齿轮	23 75	10	7°51'	232 758	252 778	232
			18 40	6	14°50'	112 248	124 260	112
	14 45		8	19°16'	119 381	135 397	119	
	19 80		8	8°6'	154 616	170 662	154	
	22 77		12	8°6'	267 953	291 957	267	
	36 85		6	16°30'	223 527	235 539	223	
高压液氨泵减速箱	T18S-25030-180	斜齿圆柱齿轮	25 84	9	11°	229 771	247 789	229
			36 105	6	11°22'	220 613	232 655	220
	26 75		10	8°04'	263 758	283 778	263	
	21 79		10		210 790	230 816	210	
石油钻机泥浆泵减速箱		圆弧齿轮	20 107	4.5				
			20 117	7		140 819	154 833	140
			22 112	4.5				
			22 134	7		154 938	168 952	154
凉水塔风机减速箱	JZ9401	曲线齿锥齿轮 斜齿圆柱齿轮	14 56	10	35°		171 482	
					16°	146 582	174 606	146
						75 204	80 208	75
皮带运输机减速箱	WB4105	斜齿圆柱齿轮	26 71	2.5	30°			
			17 71	3.5	21°13'	64 267	71 274	64

算实例数据

齿 比 u	中心距 a (mm)	齿 宽 b (mm)	分度圆 线速度 v (m/s)	齿 轮 角 度 $\omega$ (°/s)	曲率半径 (mm)				齿 轮 相 对 滑 动 速 度 $v_p$ (m/s)	齿 距 P (mm)	载 荷 系 数 c	电 动 机 功 率 (kW)
					开始啮合点		终止啮合点					
					$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_1$	$\rho_2$				
1.24	112	40	7.5	149.7 120.7	9.3	29	24.5	12.8	$\frac{2.1}{2.0}$	0.94	19.9	5.5
$i_1 = 2.5$ ( $i_2 = 3$ )	217 (253)	60 (75)	6.5 (0.89)	104.6 41.9	5.5	68.7	35	39.2	$\frac{2.3}{2.0}$	1.88	30.6	22
4.15	231	60	4.72	104.6 25.2	2.1	76.9	26.7	52.3	1.7/1.5	1.57	19.9	50
5.1	360	184	2.32	25.2 4.9	3.82	119.3	36.8	86.3	6.5/0.5	1.88	30.6	
3	201.8	60	5.28	104.6 35	73.3	61.9	28.8	109.4	5.4/0.8	1.57	122.6	50
3	322.8	100	2.81	$\frac{35}{11.6}$	120	98.8	41.9	79	3/0.6	1.88	116	
4.85	393	90	12.68	188.4 38.8	9.3	125.1	35	99.4	3.1/2.7	1.57	28	50
7.7	350	88	2.25	60.7 7.88	5.1	124	28.2	91.5	$\frac{1.29}{0.96}$	2.2	92	45
6.6	500	200	0.51	7.88 1.19	-4	175	43.7	127	$\frac{0.16}{0.15}$	3.14	143	
3.06	850	280	0.18									55/77
3.27	1400	520	0.045	0.14 0.04	36	443	218	260	$\frac{0.013}{0.02}$	1.26	1902	
8	475	244	16.57	314 39.3	9.8	152.7	25.6	136.9	2.5/2.7	0.94	90	225
4.63	739	280	5.14	39.3 8.5	25.7	227	62.3	190.4	0.9/0.8	2.2	72	
3.18	509	185	18.27	154 48	25.4	146	55.8	115	3.1/3	1.88	106	660
2.26	509	320	5.6		15	156	63	10.3	1.6/1.5	3.14	120	
1.2	360	63	8.66	155 70.4	65.5	57.6	32.8	90.3	5/1.3	1.88	184	185
3.2	500	95	4.14	70.4 22	85.3	85.7	37.8	133	4.1/0.27	2.5	192	
4.21	409	160	8.44	110 26	5	132	63	74	2.9/3	2.5	51	170
3.5	600	200	2.32	26 7.5	13.2	192	73.6	152	1.1/0.9	3.8	82	
2.36	375	150	10.82	150 64	23.2	106	53.1	75.2	3.3/3.2	1.88	53	250
2.36	500	200	5.24	64 1.9	15.1	156	60.6	110	3/1.8	2.8	62	
2.9	431	250	15.58	141 48.7	21.2	126	52.6	94.8	3.2/2.8	1.88	54	360
2.9	510	300	6.36	48.7 16.8	18.4	156	68.9	106	1.7/1.6	3.14	66	
1.76	225	230	17	155 41	17.9	161.7	59	120	3.9/4.2	3.14	87	1050
3.35										2.2	78	45
3.85	519	260	1.33	101.5 19	18.5	159	40	137.5	1.1/1.5			45
3.09												45
6.09	519	236	1.54	101.5 19	-2	179.5	42.6	134.9	3.8/1.6	22	57	
3.18	251											185
4	370	125	3.57	49 12.2	-3.5	130	53.5	73	1.3/1.7	3.14	135	
2.73	140	30	5.7	157 57.5	9.8	11.6	18.9	28.6	0.9/1.3	0.79	56.2	7.45
4.18	165	70	0.53	10.6 3.96	1.4	55	13.8	37.6	0.2/0.16	1.1	186	

设备及变速箱名称	型号	齿轮型式	电机转速 (r/min)	$T_1$ (mm)	$T_2$ (mm)	$\frac{v_F}{v}$	圆周力 $F_t$ (N)	滚动压力 $K$ ( $10^4$ N)	
卧式车床滑板箱	WSD210-II	斜齿圆柱齿轮	1430	7.6	7.4	0.28	733	1	
立式车床横梁升降传动箱	DKZ6.3m	斜齿圆柱齿轮(直齿圆锥齿轮)	1090	15.5	13.8	0.35	3383	1.9	
龙门刨床主传动减速器	B228	斜齿圆柱齿轮	1000	13.2	11.3	0.39	12707	8.7	
				16.2	17.3	0.22	25852	4.27	
	1000		13.1	17.3	1.02	11316	7.47		
			16	14.4	1.07	20475	5.09		
橙纸床壁头箱	WBF32			710/1800	13.6	11.9	0.24	3942	1.17
弧门起闭机Z285减速箱	2×1604		斜齿圆柱齿轮	580	15	14.5	0.37	19992	9.63
					26	21	0.37	8220	11.78
2号船闸门启闭机主轴减速箱				735/ 1480					14.3
					74	109	0.44	40724	8.2
高压甲铵泵透平减速箱	GT2301			斜齿圆柱齿轮	3000	8.2	7.5	0.18	13573
		19.1				17.5	0.18	43757	2.17
高压泵泵减速箱	1104 J	1470			16.3	15.1	0.17	36110	3.24
					26.4	23.4	0.25	117810	6.2
	P203	1480			15.2	13.6	0.69	21354	13.2
					26.5	17.5	0.99	44668	15.6
3W-22BJ1200/ 220	1050	21.3	19.6		0.59	20134	3.03		
		32.5	27.9		0.47	53858	4.41		
高压液氨泵减速箱	T185-25080-180	1440	16.1		15	0.26	14857	1.9	
			24		21	0.38	47696	2.9	
	U-GA101		1350	16.3	15	0.29	25022	1.8	
				25.4	23.9	0.27	61296	3.13	
石油钻机泥浆泵减速箱		圆弧齿轮	1480	26.6	23	0.25	61740	4.85	
抽油机减速箱	228	斜齿圆柱齿轮	970						
				18.9	16	1.13	23821	4.24	
抽油机减速箱	329	斜齿圆柱齿轮	970						
				19	16	2.47	29209	3.16	
凉水塔风机减速箱	JZ9401	曲线齿锥齿轮 斜齿圆柱齿轮	1485						
				30.5	28.5	0.56	81806	10.64	
皮带运输机减速箱	WB4105	斜齿圆柱齿轮	1500	6.7	6	0.22	1207	2.38	
				9.3	7.9	0.38	14051	11.7	

(续)

力速度因素 $\xi = \frac{K_v}{v}$ ( $10^6 \text{N} \cdot \text{s} / \text{m}$ )	接触应力 $\sigma_H$ ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	由力-速度 关系确定的 润滑油粘度 ( $40^\circ\text{C}$ ) ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	由接触压力和 $v_g/v$ 等条件确 定的用油品种	说明书要求用 油品种及粘度 ( $50^\circ\text{C}$ ) ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	试验用油品种	由 $v$ 和 $c$ 确定用油粘 度 ( $40^\circ\text{C}$ ) ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )
0.13	272	80	抗氧防锈工业齿轮油 L-CKB	MOBIL D. T. ERM 36.5	L-CKC68中负荷工 业齿轮油	68
0.29	359	120	抗氧防锈工业齿轮油 L-CKB	DINO543BRU33.5		68
1.86	809	250	中负荷工业齿轮油 L-CKC	全损耗系统用油 L-AN68	L-CKC100 中负荷工业齿轮油	68
1.84	556				L-CKC68 中负荷工业齿轮油	320
1.4	739					210
1.82	628				250	
0.09	296	70	抗氧防锈工业齿轮油 L-CKB	SHELL VITREA 335		68
4.3	916	400	中负荷工业齿轮油 L-CKC	全损耗系统用油 L-AN68	L-CKC680 中负荷工业齿轮油	150
23	933	700	合成齿轮油 L-CKT		L-CKT460 合成齿轮油	460
317	1032	>700				
45	864					
0.11	364	78	汽轮机油或 L-CKB	SHELL TURBO T37	N68汽轮机油	100
0.42	403	130	中负荷工业齿轮油 L-CKC	SHELL OMALA 69	L-CKC150 中负荷工业齿轮油	150
0.18	449	93	中负荷工业齿轮油 L-CKC	SHELL OMALA71	L-CKC220 中负荷工业齿轮油	320
1.13	681	200				
1.52	993	330	中负荷工业齿轮油 L-CKC	ISOVG320	L-CKC320 中负荷工业齿轮油	150
3.76	1079	360				320
303	409	125	中负荷工业齿轮油 L-CKC		L-CKC100 中负荷工业齿轮油	68
19	574	250				150
0.11	381	78	中负荷工业齿轮油或 L-CKB			100
0.55	465	150	中负荷工业齿轮油 L-CKC			150
0.12	376	79	中负荷工业齿轮油 L-CKC	SHELL MACTOMA R69	L-CKC150 中负荷工业齿轮油	150
0.49	484	145				
0.29	588	120	中负荷工业齿轮油 L-CKC	28号轧钢机油	L-CKC460 中负荷工业齿轮油	100
		350	中负荷工业齿轮油 L-CKC		L-CKC320 中负荷工业齿轮油	320
3.2	564					
		250	中负荷工业齿轮油 L-CKC			320
2.06	458					
		320	中负荷工业齿轮油 L-CKC		L-CKC220 中负荷工业齿轮油	320
2.98	968					
0.42	424	136	L-CKB或L-CKC		L-CKC150 中负荷工业齿轮油	150
22	953	700				

$$v = \frac{\pi d_1 n_1}{60000} = 6.1 \text{ m/s}$$

$$F_t = \frac{2000 \times 9549 \times P}{d_1 n_1} = 6363 \text{ N}$$

$$\sigma_H = Z_H Z_E Z_\beta Z_\epsilon \sqrt{\frac{F_t}{d_1 b} K_\alpha K_\beta K_H K_{H\beta} K_{H\epsilon} \frac{u+1}{u}}$$

$$= 569.4 \text{ N/mm}^2$$

查表 8-1-5 选润滑油种类为中负荷工业齿轮油。

② 选择润滑油的粘度

$$K_s = \frac{F_t}{b d_1} \frac{u+1}{u} Z_H Z_\epsilon^2 = 4.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\xi = K_s / V = 0.77 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{s/m}^3$$

从图 8-1-1 中可查出  $\xi = 0.77$  时的运动粘度值为  $\nu_{40^\circ\text{C}} = 170 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

根据中等冲击, 300HBS 对所选粘度进行以  $F$  修正:

由本书第 3 章查得  $\nu_{40^\circ\text{C}} = 170 \text{ mm}^2/\text{s}$  的相邻粘度牌号差值为  $220 - 150 = 70$ 。

查表 8-1-6 可得粘度增加值为  $70 \times 60\% = 42 \text{ mm}^2/\text{s}$

修正后所选的运动粘度  $\nu_{40^\circ\text{C}} = 170 + 42 = 212 \text{ mm}^2/\text{s}$

③ 按照本书第 3 章, 本例应选润滑油为 N220 中负荷工业齿轮油。

表 8-1-7 是按本标准确定的油品的类型和粘度的实例。

(6) 润滑方式的选择 润滑方式直接影响齿轮传动装置的润滑效果, 必须予以重视。

齿轮传动装置的润滑方式是根据分度圆圆周速度来确定的 (见表 8-1-8)。若采用特殊措施, 分度圆圆周速度可超过表中给出的标准值, 例如使用冷却装置和专用箱体等。

表 8-1-8 分度圆圆周速度与润滑方式的关系

分度圆圆周速度 (m/s)	润滑方式
$v \leq 15$	油浴润滑
$v > 15$	喷油润滑

3. 按德国标准 DIN51509 第 1 部分“齿轮润滑油的选择”

德国标准 DIN51509 第 1 部分中列举了齿轮油品的选择方法, 在标准中也是根据 Stribeck 滚动压力  $K_s$  来选择润滑油, 参看前面式 (8-1-4), 一般取  $Z_H Z_\epsilon^2 = 3$ 。在本标准中推荐, 对于钢对钢的

材料配对的齿轮副, 接触应力的计算式为:

$$\sigma_H = 268.4 \sqrt{K_s} \quad (8-1-6)$$

式中: 当  $K_s = 7.5$  时,  $\sigma_H = 735.04 \text{ MPa}$ 。

因此, 当  $K_s > 7.5 \text{ MPa}$  时, 齿面接触应力大于  $735.04 \text{ MPa}$ , 选用含减摩添加剂的润滑油, 即中负荷工业齿轮油; 而当  $K_s < 7.5 \text{ MPa}$  时, 可使用不含减摩添加剂的润滑油。

在 DIN51509 标准中还规定了一些不使用含减摩添加剂的条件, 见前面表 8-1-5。

选油举例

例 1 某 B2152 龙门刨床的减速箱, 已知: 齿宽  $b = 60 \text{ mm}$ , 齿轮  $z_1 = 20$ , 模数  $m = 5 \text{ mm}$ ,  $n = 1400 \text{ r/min}$ ,  $P = 16.2 \text{ kW}$ ,  $i = 3$

小齿轮分度圆直径  $d_1 = z_1 m = 20 \times 5 = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$

$$\text{圆周速度 } v = \frac{d_1 n}{1910} = \frac{10 \times 1400}{1910} = 7.33 \text{ m/s}$$

$$\text{圆周力 } F_t = \frac{102 P}{v} = \frac{102 \times 16.2 \times 9.8}{7.33} = 2209 \text{ N}$$

根据式 (8-1-4)

$$K_s = \frac{2209}{60 \times 100} \times \frac{3+1}{3} \times 3 = 1.47 \text{ MPa}$$

因  $K_s$  小于  $7.5 \text{ MPa}$ , 故该机床齿轮箱可选用防锈抗氧工业齿轮油。

由于力-速度因数  $\frac{K_s}{v} = \frac{1.47}{7.53} = 0.2 \text{ MPa} \cdot \text{s/m}$ , 由图 8-1-1 中可查得油品粘度 ( $50^\circ\text{C}$ ) 为  $60 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

例 2 某水电水工厂  $2 \times 160 \text{ t}$  弧门起闭机的 Z285 减速箱第二级中, 已知: 齿宽  $b = 200 \text{ mm}$ ,  $i_1 = 7.7$ ,  $i_2 = 6.6$ ,  $z_1 = 13$ ,  $m = 10 \text{ mm}$ ,  $P = 45 \text{ kW}$ ,  $n = \frac{580}{7.7} \text{ r/min}$

小齿轮分度圆直径  $d_1 = z_1 m = 13 \times 10 = 130 \text{ mm} = 13 \text{ cm}$

$$v = \frac{d_1 n}{1910} = \frac{13 \times \frac{580}{7.7}}{1910} = 0.51 \text{ m/s}$$

$$F_t = \frac{102 N}{v} = \frac{102 \times 45 \times 9.8}{0.51} = 88200 \text{ N}$$

$$K_s = \frac{88200}{200 \times 130} \times \frac{7.6}{6.6} \times 3 = 11.7 \text{ MPa}$$

因  $K_s$  大于  $7.5 \text{ MPa}$ , 故该减速器可选用中负荷工业齿轮油。

由于力-速度因数  $\frac{K_v}{v} = \frac{11.7}{0.51} = 23$ , 由图 8-1

-1 可查得油品粘度 (50°C) 为 380 mm<sup>2</sup>/s。

表 8-1-7 是一些设备的齿轮减速箱的选油计算数据。

#### 4. ISO/TC28, SC4/WG I “关于工业齿轮油的系列品种及性能要求”的标准提案

在本标准中标明了两个应力分等级如下表 8-1-9。

表 8-1-9 ISO 标准载荷分类

载荷分类	表面接触应力 (MPa)	$v_{pmax}/v$	说明
中载	<500	<0.3	当齿轮在表面接触应力低于 500 MPa 和齿轮表面最大滑动速度与节线速度比值低于 1/3 下工作时的载荷水平
重载	>500	>0.3	当齿轮在表面接触应力高于 500 MPa 且齿轮表面最大滑动速度与节线速度比值高于 1/3 下工作时的载荷水平

在使用 ISO 标准进行闭式齿轮选油时, 中等负荷的闭式齿轮, 使用相当的抗氧防锈齿轮油或中负荷齿轮油, 而重负荷的闭式齿轮, 则选用中负荷或重负荷齿轮油。

表中的  $v_g$  是接触点的齿面相对滑动速度 (m/s),  $v_g = |v_1 - v_2|$ ;

式中  $v_1$ ——大齿轮的节线速度 (m/s),  $v_1 =$

$$\omega_1 \rho_1;$$

$v_2$ ——小齿轮的节线速度 (m/s),  $v_2 =$

$$\omega_2 \rho_2;$$

$\rho_1$ ——大齿轮的曲率半径 (mm), 在开始啮合点  $\rho_1 = a \sin \alpha - \rho_2$ , 在终止啮合点  $\rho_1 = \sqrt{r_{11}^2 - (r_1 \cos \alpha)^2}$ ;

$\rho_2$ ——小齿轮的曲率半径 (mm), 在开始啮合点  $\rho_2 = \sqrt{r_{12}^2 - (r_2 \cos \alpha)^2}$ , 在终止啮合点  $\rho_2 = a \sin \alpha - \rho_1$ ;

$\alpha$ ——压力角, 20°;

$a$ ——中心距 (mm);

$r_1, r_2$ ——齿顶圆半径 (mm);

$r$ ——分度圆半径 (mm);

$\omega_1, \omega_2$ ——齿轮角速度 (°/s);

$T$ ——齿轮接触点到节点的距离 (mm), 在开始啮合点,  $T = \rho_2 - r_2 \sin \alpha$ , 在终

止啮合点,  $T = \rho_1 - r_1 \sin \alpha$ 。

例: 一台 WSD210—Ⅱ 卧式车床溜板箱一级传动计算;

开始啮合点:

$$\begin{aligned} \rho_2 &= \sqrt{r_{12}^2 - (r_2 \cos \alpha)^2} \\ &= \sqrt{(65.5)^2 - (62.5 \times 0.94)^2} \\ &= \sqrt{4290 - 3452} = 29 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_1 = a \sin \alpha - \rho_2 = 112 \times 0.342 - 29 = 9.3 \text{ mm}$$

终止啮合点:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \sqrt{r_{11}^2 - (r_1 \cos \alpha)^2} = \sqrt{53^2 - (50 \times 0.94)^2} \\ &= \sqrt{2809 - 2209} = \sqrt{600} = 24.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_2 &= a \sin \alpha - \rho_1 = 112 \times 0.342 - 24.5 \\ &= 13.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\omega_1 = \frac{n_1 \times 2\pi}{60} = \frac{1430 \times 2 \times 3.14}{60} = 149.7^\circ / \text{s}$$

$$\omega_2 = \frac{n_1 / i \times 2\pi}{60} = \frac{1430 \times 2 \times 3.14}{1.24 \times 60} = 120.7^\circ / \text{s}$$

开始啮合点:

$$v_1 = \omega_1 \rho_1 = 149.7 \times 9.3 = 1392.2 \text{ mm/s}$$

$$v_2 = \omega_2 \rho_2 = 120.7 \times 29 = 3500.3 \text{ mm/s}$$

$$\begin{aligned} v_g &= |v_2 - v_1| = |1392.2 - 3500.4| \\ &= 2108 \text{ mm/s} = 2.1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= \rho_2 - r_2 \sin \alpha = 29 - 62.5 \times 0.342 \\ &= 7.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

终止啮合点:

$$v_1 = \omega_1 \rho_1 = 149.7 \times 24.5 = 3667.6 \text{ mm/s}$$

$$v_2 = \omega_2 \rho_2 = 120.7 \times 13.8 = 1665.6 \text{ mm/s}$$

$$\begin{aligned} v_g &= |v_1 - v_2| = |3667.6 - 1665.6| \\ &= 2002 \text{ mm/s} = 2.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= \rho_2 - r_1 \sin \alpha = 24.5 - 50 \times 0.342 \\ &= 7.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

由于开始啮合点的滑动速度大于终止啮合点, 所以取开始啮合点的滑动速度  $v_g$  为 2.1 m/s。

其两齿轮的分度圆速度  $v$  计算如下:

$$v = \frac{d_1 n_1}{1910}$$

式中  $d_1$ ——小齿轮分度圆直径 (cm);

$n_1$ ——小齿轮转速 (r/min)。

$$v = \frac{d_1 n_1}{1910} = \frac{10 \times 1430}{1910} = 7.5 \text{ m/s}$$

齿轮相对速度与分度圆速度比值计算如下:

$$\frac{v_g}{v} = \frac{2.1}{7.5} = 0.28$$

其齿轮的接触应力计算如下:

$$\begin{aligned}\sigma_H &= f \sqrt{\frac{F_t}{6d_1} \times \frac{i+1}{i}} \\ &= 1512 \sqrt{\frac{74.8}{4 \times 10^3} \times \frac{2.24}{1.24}} \\ &= 2778 \text{ kgf/cm}^2 = 272.4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

由于接触应力  $\sigma_H < 500 \text{ MPa}$  和  $v_g/v < 0.3$ , 所以 WSD210—Ⅱ 卧式车床滑板箱的齿轮属于中小载荷工作条件, 则推荐用 ISO-L 类型的 CB 型齿轮油。其它设备的减速箱润滑油的选择计算在此从简, 其计算结果见表 8-1-7。

本提案只能解决润滑油的种类的选择问题, 其粘度选用要靠其它办法解决。

### 5. 经验公式和图

齿轮油合适粘度的选择, 从实践经验得出下列结论: 油粘度的确定应根据齿轮的结构形式、金属材料及硬度、负荷(工作压力)、温度和运转速度等条件而定。选用的润滑油粘度过低时, 将会有油膜承压能力低, 齿轮磨损快, 易漏油等缺陷, 但如粘度过大时, 将增加油搅动而造成的功率损耗, 特别用浸入法润滑时, 在啮合区存在过剩油量, 从而使齿间间隔中挤出油而引起的功率损失。在小型机器的齿环润滑系统中采用高粘度油, 则油难于通过小管道, 另外随着油粘度的增加, 将使齿轮齿中散热的速度减慢, 在减速齿轮箱中, 由于齿轮、轴承和摩擦离合器共用一种油, 为此不允许采用太高粘度的油, 为了合理选用齿轮润滑油粘度, 提出用于直齿轮、锥齿轮、人字齿轮、斜齿轮选用油品粘度参数的经验公式如下:

$$S = \frac{HV \times \sigma_H}{10^3 \times v} \quad (8-1-7)$$

式中 HV——啮合齿中软齿面的维氏硬度;

$\sigma_H$ ——齿面接触应力 (MPa);

$v$ ——齿轮分度圆速度 (m/s)。

以后利用图 8-1-2 及图 8-1-3 计算并查出适用的润滑油粘度范围。

在实际齿轮传动的若干特别情况下, 应该按照图 8-1-2 中极限范围的上限或下限来确定其粘度, 具备下列条件应取上限(较高粘度的油):

- 1) 两个啮合齿轮中, 其中一个是钢齿轮, 另外一个为镍钢齿轮或全部硬化铬钒齿轮。
- 2) 在冲击负荷条件下工作的齿轮。
- 3) 当环境温度超过 25°C 时。

具备下列条件应取下限(较低粘度的油):

- 1) 高精度齿轮(按照ГОСТ1643 六级精度以上)。
- 2) 环境的温度低于 10°C。
- 3) 用磷化或硫化处理过的齿轮(覆盖层没有破坏期间)。
- 4) 当采用喷流润滑齿轮时, 若  $S > 100$ 。

参数 S 具有下列物理意义: 按照赫兹计算比压平方与负荷成正比, 因此  $\sigma_H^2$  大小由负荷所决定, 随着负荷的增加, 油的粘度应提高; 在保持油膜承载能力不变条件下, 随着齿轮分度圆速度的增加, 油的粘度应提高; 在保持油膜承载能力不变条件下, 随着齿轮分度圆速度的增加, 齿轮油的粘度应该降低。

齿轮齿工作面的维氏硬度表明对磨合的要求, 硬度越高, 齿的磨合效果就越坏, 要求保护齿轮用油粘度越高。为了防止齿轮的破坏, 高硬度齿轮采用高粘度油。低硬度齿轮采用低粘度油, 关于齿轮硬度对选油的影响, 在国内建材工业水泥生产行业也有类似经验, 并且根据具体应用实践提出水泥设备大型减速器润滑油选择表(表 8-1-10)。

某厂 1104 J 高压气泵减速箱(有关参数见表 8-1-11)

第二级传动计算如下:

已知  $\sigma_H = 694.6 \text{ MPa}$   $v = 5.607 \text{ m/s}$

$$HV = 292$$

$$S_2 = \frac{HV \times \sigma_H^2}{10^3 \times v} = \frac{292 \times 694.6^2}{10^3 \times 5.6} \approx 251$$

根据  $S_2$  的数据从图 8-1-2 查出油品的粘度 (50°C) 为 80~120 mm<sup>2</sup>/s。

从以上公式和图表寻找出的油品粘度与该减速箱说明书要求的牌号粘度比较一致。(原说明书规定用 Shell Omala ≥ (50°C 时粘度约为 100 mm<sup>2</sup>/s)) 后来采用 L-CKC220 中负荷工业齿轮油作为长期考核, 已证明使用性能良好。

采用本方法来选油, 其方法简单使用方便适用性强, 但它只能解决选油的粘度问题, 而选油的类型却无法解决, 还要靠其它方法来解决选油的品种问题, 如果把本方法结合 ISO/TC28/SC4/WG1 提案, 问题就能同时解决。

### 6. 日本常用选油图表

日本润滑手册等资料中的常用选油图表如图 8-1-4 所示。根据小齿轮转速  $n_1$ 、小齿轮分度圆直径



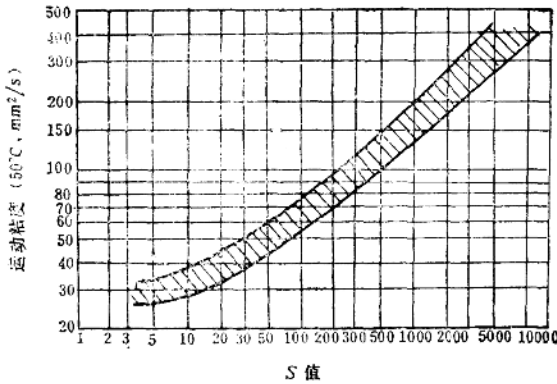


图8-1-2 直齿、锥齿、人字齿及斜齿  
轮用油粘度选择图

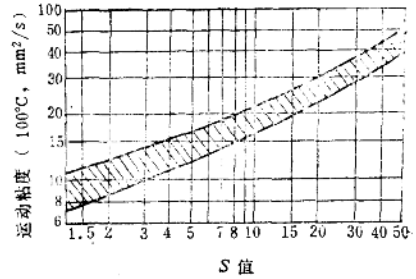


图8-1-3 准双曲面、交错轴斜齿齿轮及蜗轮  
用油粘度选择图

表8-1-10 水泥设备大型减速器润滑油选择表

项目名称	技 术 参 数					
大齿轮硬度 (HB)	180~250		250~350		>350	
减速器级数	单级	双级或叁级	单级	双级或叁级	单级	双级或叁级
润滑油粘度 (40°C) (mm²/s)	135~165		135~165	198~242	198~242	288~351

$d_1$  和给油温度  $T$  三个已知参数来确定。

**例 1** 已知小齿轮转速  $750r/min$   
已知小齿轮分度圆直径为  $25cm$   
已知油池的温度  $40^\circ C$

根据以上三个已知条件从图 8-1-4 的虚线所

示，所选定的油品粘度为  $70\sim 100mm^2/s$  或 L-AN 150。

**例 2** 从表 8-1-7 中石油化工厂的高压甲胺泵透平减速器 GT2301

第一级减速箱：已知小齿轮转速  $n_1 = 3000r/min$

已知小齿轮分度圆直径  $d_1 = 10cm$

已知油池温度  $T = 30^\circ C$

选定的油品粘度为  $30\sim 90mm^2/s$  或 L-AN68。

第二级减速箱：已知小齿轮转速  $n_1 = 1000r/min$

已知小齿轮分度圆直径  $d_1 = 10cm$

已知油池温度  $T = 30^\circ C$

选定的油品粘度为  $50\sim 70mm^2/s$  或 L-AN150。

原说明书规定：第一级减速箱：

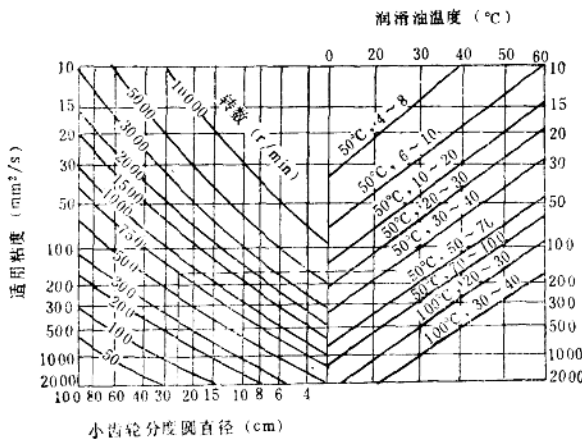


图8-1-4 闭式工业齿轮选用油品粘度图表

表8-1-11 齿轮箱用

设备及变速箱名称	型号	齿轮型式	齿数比 $u$	中心距 (mm)	齿 宽 (mm)	分度圆线 速 度 (m/s)	电动机 功 率 (kW)	电动机 转 速 (r/min)
滚齿机减速箱	Y31500A	斜齿圆柱齿轮	3	198	50	2.6	22	500/1500
龙门刨床传动箱	B2152		3 3	202 323	60 85	7.388 3.96	16.2 16.2	1400 1400
水泥烧成车间减速器	3700		3	339	142	0.73		
主轧机减速器	24min	人字齿轮	1	600	850	7.8	4000	248
轧机人字齿轮座	800	人字齿轮	1	800	1400	5.0	4600	120
	760		1	760	1340	6.4	4600	160
三根轧机人字齿轮座	2500		1	660	1042	2.8	1472	80.5
轧钢机人字齿轮座			1	700	1120	4.8	882	70~130
轧管机主减速机			5.67	1800	880	21.4	882	400~750
球磨机减速箱		四弧齿人字齿轮	4.5	600	306	8.45	380	740
耙式吊主卷减速器		斜齿圆柱齿轮	56.72	300	160	1.6	30	685
斗轮挖掘机			$i_1 = 10.8$ $i_2 = 9$ $i_3 = 5.63$	162 202 227	40 70 130	2.16 0.3 0.032	25	1500
装载机			$i_1 = 4.8$ $i_2 = 5.4$	182 180	60 100	0.13 0.026	7.5	42
船闸门起闭机 主轴减速器	2号	圆锥齿轮	$i_1 = 4.07$ $i_2 =$ 3.375	850 1400	280 320/540	0.045 0.09	55/77	735/ 1480
高压柱塞泵透平减速箱	GT2301	斜齿圆柱齿轮	$i_1 = 8$ $i_2 = 4.63$	475 735	260/244 280	16.58 5.15	225	3000
高压柱塞减速箱	1101J		$i_1 = 3.18$ $i_2 = 3.26$	500	185 320	18.27 5.601	660	1470
弧门起闭机Z285 减速箱	2×1601		$i_1 = 7.7$ $i_2 = 6.6$	350 500	88 200	2.25 0.51	45	580
生料磨减速器			11.37	1000 1600	300 640	2.7	600	250
双筒矿车提升机减速箱	3000	人字齿轮	$i_1 = 3$ $i_2 = 3.70$	600 900	180 220	9.2 3.9	480	500