

## 滑差离合器传动摩擦副设计

陈 宁

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院,杭州 310023)

**摘 要:**滑差离合器因其无级调速和高效节能等性能优势已开始应用于各工业领域。针对传统滑差离合器技术借用普通湿式离合器摩擦副的设计方法来设计传动摩擦副,现已无法完全满足实际工程需要的问题,对滑差离合器传动摩擦副的设计方法进行了专门的理论和实验研究,得到其物理尺寸、表面沟槽、摩擦材料等参数的设计方法和热平衡校核的计算公式。试验研究表明:按此新方法和公式进行设计和校核的传动摩擦副,完全能够满足调速离合器的实际性能要求。

**关键词:**液体黏性传动;离合器;传动;摩擦副设计

**中图分类号:**TK223.7;TH137.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-8798(2006)02-0086-04

## Design of the Friction Pairs of Hydro-Viscous Drive Set

CHEN Ning

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** Hydro-viscous Drive Set(HVD) has been widely applied in many industries for its advantages of efficiently energy-saving, stepless speed regulation, and so on. Traditional design of HVD usually uses the friction pairs of damp clutch indiscriminately. But this method for designing friction pairs hasn't met the practical applications now. Thus, based on the correlative theoretic analyses and experimental researches, this paper concluded the method of how to design the friction pairs, including dimension parameters, grooves on the faces, material types, and so on, specially for HVD. Withal, the paper put forward the expressions to check out whether it was a thermal balance or not between friction pairs. Test results indicated that the friction pairs according to the design method aforesaid have wholly adapted to the requests of engineering.

**Key words:** hydro-viscous drive; clutch; transmission; design of friction pairs

滑差离合器是一种利用传动摩擦副之间的油膜剪切力来传递动力的新型传动装置,在大功率风机、

水泵调速节能和特种车辆、工程机械无级调速方面有着广泛的应用前景。传统滑差离合器传动摩擦副

**收稿日期:**2006-03-06

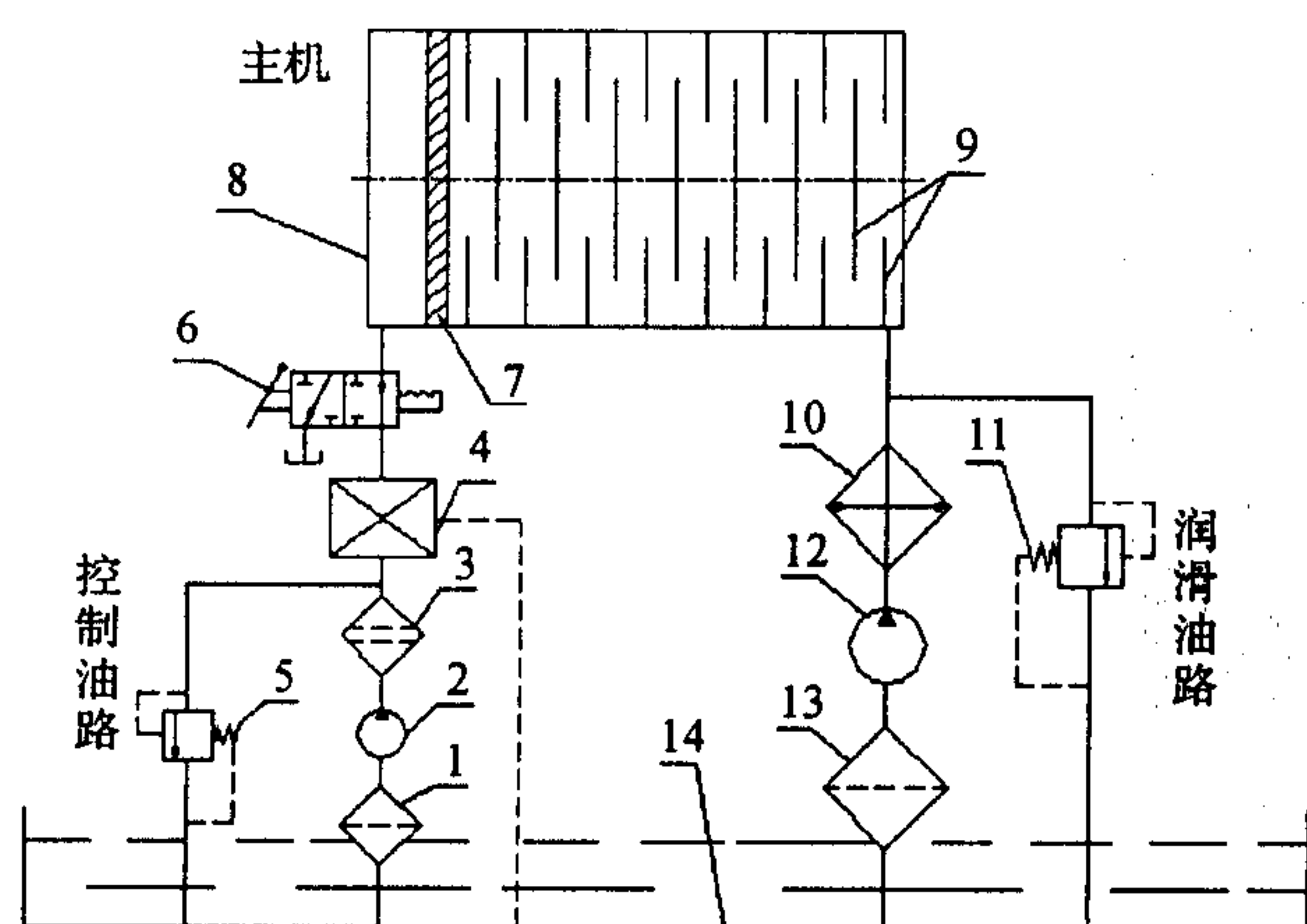
**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(50475106)

**作者简介:**陈 宁(1975— ),男,陕西汉中人,讲师,博士,主要从事机械电子工程、电液比例控制技术、液体黏性传动技术等方面的科研与应用工作。

的制造均直接借用湿式离合器摩擦副的设计、加工方法,在实际工程应用中,在小功率、调速精度不高的条件下,这种设计方法尚能基本满足工程需要;但随着滑差离合器的大型化、高精度化发展,完全借用湿式离合器的摩擦副已经不能满足滑差离合器的需要。因此,有必要根据滑差离合器的实际工况和特点,对滑差离合器传动摩擦副的设计、校核方法进行专门的研究<sup>[1]</sup>。

## 1 滑差离合器工作机理

滑差离合器的工作原理如图1所示<sup>[1]</sup>。



1,13—粗滤器;2,12—供油泵;3—精滤器;4—转速调节阀;5,11—溢流阀;6—换向阀;7—控制活塞;8—主机体;9—传动副(主、被动摩擦片);10—冷却装置;14—油箱

图1 滑差离合器工作原理简图

图1中,主动轴与传动摩擦副的主动片相连,被动轴与传动摩擦副的被动片相连。主动片和被动片之间的微小间隙充满一定动力黏度的黏性流体。工作时,电机驱动主动轴带动主动片旋转;传动摩擦副间的黏性流体油膜将产生一定大小的牛顿剪切力,该力的大小与传动摩擦副间隙即油膜厚度成反比;油膜的牛顿剪切力驱动被动片同向旋转,但存在一定的转速差;被动片通过被动轴把扭矩传递给负载。通过改变控制油路的输出油压可以对控制活塞的行程进行调节,从而控制主、被动摩擦片的间距即油膜厚度,最终控制传递扭矩的大小。

根据牛顿流体剪切定理,摩擦片上在半径为 $r$ 处由于流体黏性而产生的切应力为(如图2所示):

$$\tau_r = \mu \cdot \frac{r\Delta\omega}{h} \quad (1)$$

式(1)中: $\mu$ 为油液动力黏度; $\Delta\omega$ 为相对转速差; $h$ 为油膜厚度。

$$\begin{aligned} T_\omega &= \int_{R_1}^{R_2} \mu \cdot \frac{r\Delta\omega}{h} \cdot r \cdot 2\pi r dr \\ &= \frac{1}{2} \mu A (R_1^2 + R_2^2) \frac{\Delta\omega}{h} \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中: $T_\omega$ 为传动扭矩; $R_1, R_2$ 为摩擦副有效内外半径; $A$ 为摩擦副有效工作面积。

滑差离合器主机的摩擦副若有 $n$ 对,则传递扭矩为:

$$T = \frac{1}{2} \mu n A (R_1^2 + R_2^2) \frac{\Delta\omega}{h} \quad (3)$$

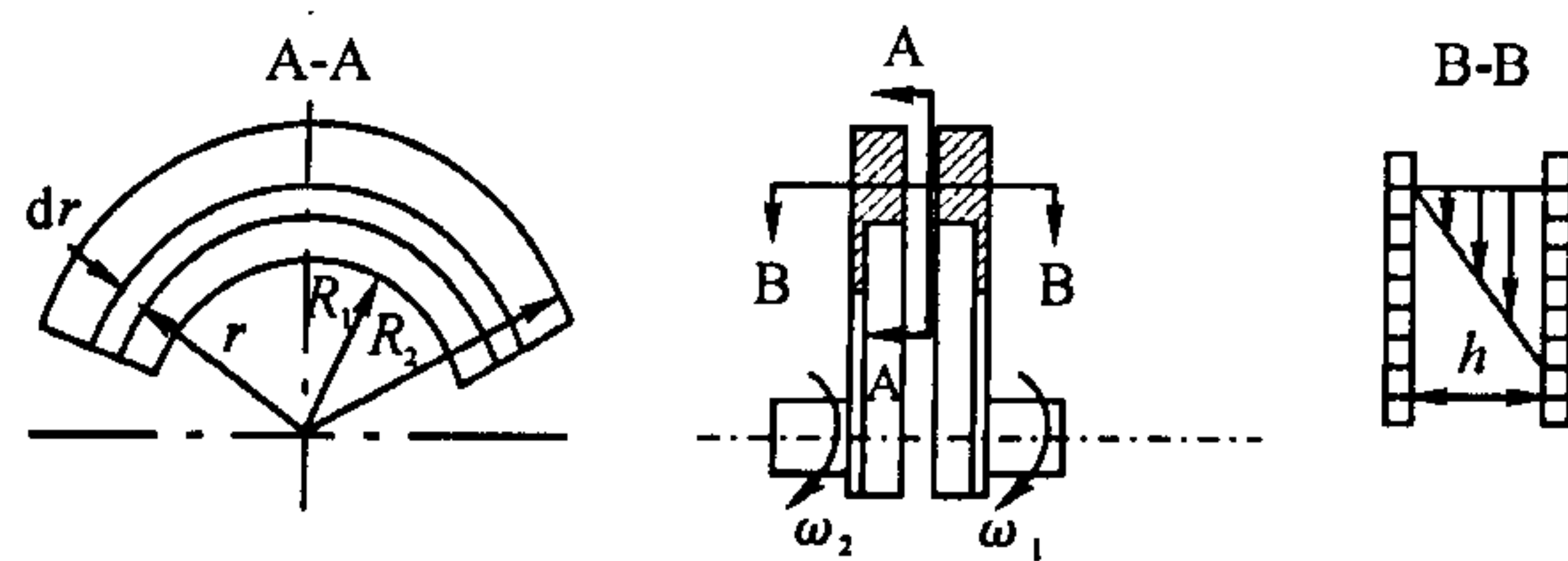


图2 传动摩擦副扭矩计算简图

## 2 传动摩擦副材料选择

传动摩擦副包括摩擦片和对偶片。对偶片是金属制成的光面金属片,一般采用20,45,65 Mn等钢材;摩擦片是在金属芯片上烧结摩擦材料衬面形成的圆盘。摩擦材料衬面用于提高摩擦表面的摩擦系数和耐磨性。

常用的湿式摩擦材料主要有铁基摩擦材料、铜基摩擦材料和纸基摩擦材料。实验结果显示<sup>[1]</sup>,两者相比,在相同工况下,纸基摩擦材料的摩擦系数比铁基和铜基摩擦材料要大许多,即可产生更大的摩擦力矩、可承受更大的摩擦功,同时动、静摩擦系数相差较小。对于有滑差传动、同步传动和完全脱开三种工况的滑差离合器来说,摩擦系数大意味着可以使滑差离合器在同步传动工况下可以承受更大的扭矩,而动静摩擦系数相差小则可以使滑差离合器三种工况切换时的冲击更小。因此对于滑差离合器来说,纸基摩擦材料是比较理想的选择。

## 3 传动摩擦副内外径的计算和校验

传动摩擦副内外径是传动摩擦副设计的重要参数,其大小、比值(即摩擦片无因次参数 $C$ )决定了传动摩擦副的功率传递能力和抗翘曲变形的能力。

在普通湿式离合器的摩擦副设计中,由于摩擦副只在同步工况(即压紧工况)下进行功率的传递,因此,在计算、选择传动摩擦副的几何设计参数



时,只需要考虑在压紧力的作用下,由静摩擦力产生的传递扭矩。即

$$T_w = KnfF_0 \frac{2(R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)} \quad (4)$$

式(4)中: $T_w$ 为传动扭矩; $K$ 为压紧力递减系数; $F_0$ 为摩擦副的控制压紧力; $n$ 为摩擦副数目; $f$ 为摩擦副动摩擦系数。

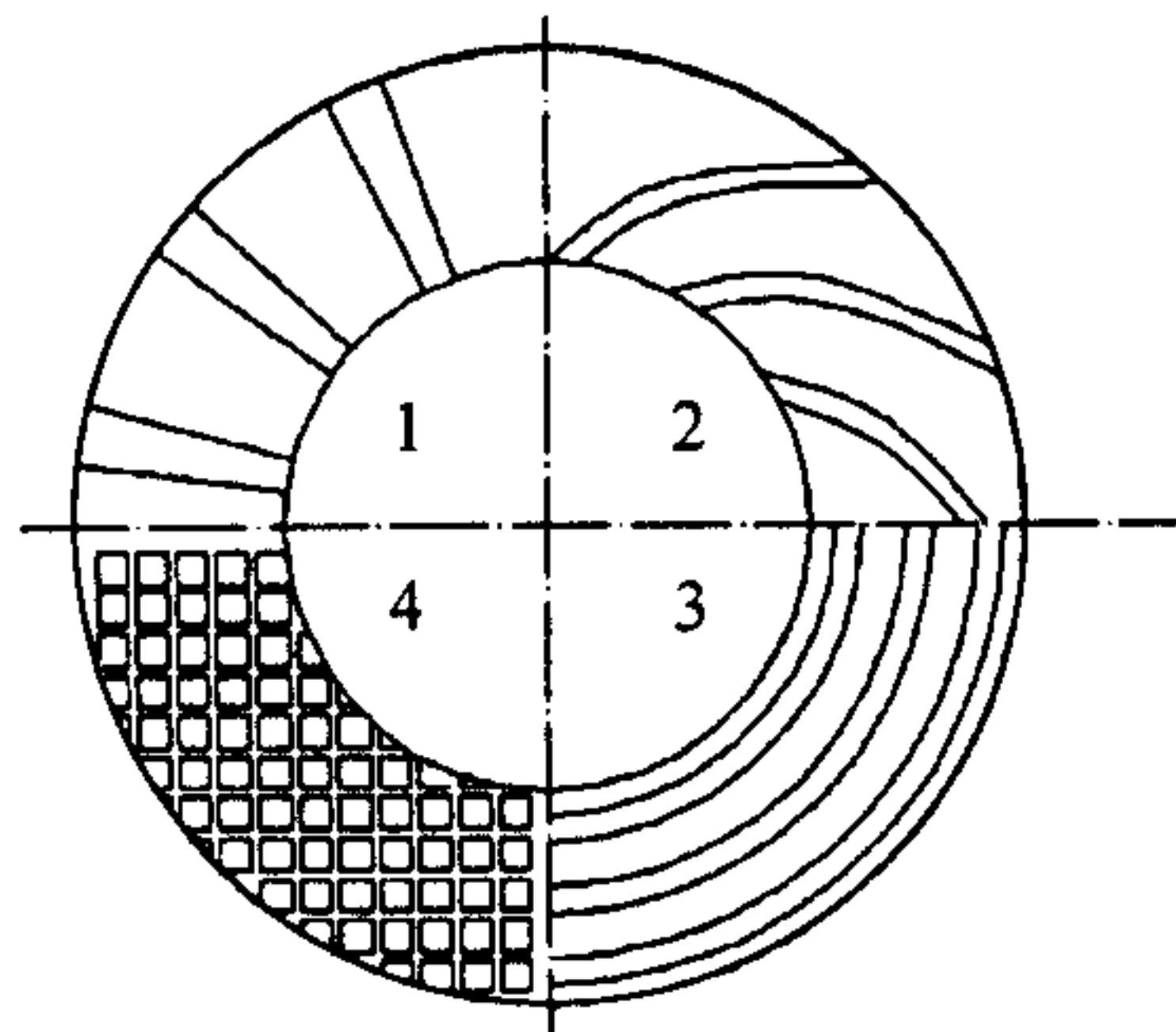
但在滑差离合器中,传动摩擦副必须考虑在滑差传动下工作时的扭矩传递能力。因此,在进行滑差离合器传动摩擦副设计时,必须联立式(3)和式(4)来进行综合计算和校验。

与湿式离合器摩擦副的设计类似,在设计和选取传动摩擦副内外径时,还必须考虑内外径比  $C:C$  值太大则传动摩擦副容易产生翘曲变形, $C$  值太小则单个传动摩擦副的传递扭矩能力太小,造成整机结构过于臃肿庞大。 $C$  值推荐选取  $0.63 \sim 0.75$  为宜<sup>[1]</sup>。

#### 4 传动摩擦副沟槽设计

普通湿式离合器摩擦片衬面上油槽的作用是使润滑油液顺畅流经主、被动摩擦片表面,带走因主、被动摩擦片打滑而产生的大量热量,同时,有利于磨屑等杂质的排出。而滑差离合器传动摩擦副摩擦片油槽除了应具有上述基本功能之外,更需要具备另外一项功能,即合理的油槽形式将有利于在传动摩擦副之间形成润滑传动油膜。

摩擦片油槽的常用形式主要有 4 种,如图 3 所示。



1— 径向槽;2— 螺旋槽;3— 同心圆槽;4— 纵横槽

图 3 传动摩擦副扭矩计算简图

实验结果显示<sup>[1]</sup>:在上述几种沟槽中,径向槽 1 的流动距离最短,且在油槽所产生流体动压推力的作用下容易形成油膜,但过油能力较差,冷却效果不是很好;螺旋槽 2 由于槽的方向与离心力一致,所以在离心力和压力的作用下,冷却油很容易通过传动

摩擦副,因此冷却性能也就最好,但不利于油膜的形成;同心圆油槽 3 的结构简单,能让润滑油和传动摩擦副充分接触,但过油能力较差,且不利于油膜的形成,因此一般不采用;纵横油槽 4 的结构简单,加工方便,过油能力校好,但不利于油膜的形成。

对滑差离合器来说,由于要在长期打滑的工况下工作,对沟槽的冷却性能要求比较高,同时也要求能形成稳定的油膜,因此采用单独的沟槽形状不能完全保证传动摩擦副的正常工作。理想情况是采用复合的沟槽,复合的形式与滑差离合器的额定功率、转速等设计参数有关。

由于沟槽内不能参与传动摩擦副的有效工作,因此沟槽的宽度尺寸和沟槽密度对传动摩擦副的有效工作面积有很大的影响。沟槽宽度过大,传动摩擦副的有效工作面积就小,导致要求传动摩擦副的内外径尺寸比较大,或者增加传动摩擦副的数目,不利于传动摩擦副的正常工作。

理论计算以及实验结果均证明<sup>[1]</sup>:摩擦片沟槽的深度对传动摩擦副的扭矩传递能力没有任何影响,因此,在能保证摩擦材料不会剥落的前提下,应该尽可能的增大沟槽的深度。

#### 5 传动摩擦副工作热平衡校核

普通湿式离合器在同步传动时,由于不存在滑动的情况,因此不会产生热量;在完全脱开时,摩擦副不传递功率,因此也不会产生大量热量。

而对于滑差离合器来说,除了上述两种工作状态,还必须在滑差传动工况下稳定工作。此时由于传动摩擦副间存在转速差,油膜黏性摩擦会产生大量热量,传动摩擦副和油膜的温度将迅速升高。过高的温度会导致油液的黏度发生变化并加速油的老化;同时温度的升高会使摩擦材料的摩擦系数下降,减弱传动摩擦副的功率传递能力<sup>[2]</sup>。对传动摩擦副来说,200℃以上的高温会使摩擦材料的有机成分发生热分解,导致摩擦材料的失效。因此在设计传动摩擦副时,必须进行温度校核。

传动摩擦副的热量来源主要是主、被动摩擦片之间黏性油液的滑动摩擦,也可以看成是主、被动摩擦片间转速差产生的功率损失,因此,可以用扭矩传递过程中的功率损失来描述热量来源<sup>[3]</sup>:

$$P = T \cdot \Delta\omega \quad (5)$$

式(5)中: $P$ 为滑差产生的功率损失; $T$ 为摩擦副滑

差传动时的扭矩; $\Delta\omega$ 为摩擦副主、被动片间转速差。

在不考虑油的比热和密度随着温度变化的条件下,根据热量平衡,有:

$$P = cQ\rho(t_2 - t_1)$$

即: 
$$t_2 = t_1 + \frac{P}{cQ\rho} \quad (6)$$

式(6)中: $c$ 为润滑油的比热; $Q$ 为润滑油的流量; $\rho$ 为润滑油的密度; $t_1$ 为摩擦副间润滑油入口温度; $t_2$ 为摩擦副间润滑油出口温度。

通过式(5)(6),可以对传动摩擦副在滑差传动工况下的润滑油温升情况进行估算,进而对摩擦片进行热平衡校验。

## 6 应用实例

笔者自1999年起一直与山东电力研究院合作研究滑差离合器技术,成功开发系列功率等级的新型滑差离合器和柔性启动装置,相关产品已通过山东省科技厅科技成果鉴定(2002年第708号)。下例即为笔者依据上述设计方法,为450 kW级滑差离合器设计的传动摩擦片,如图4所示。

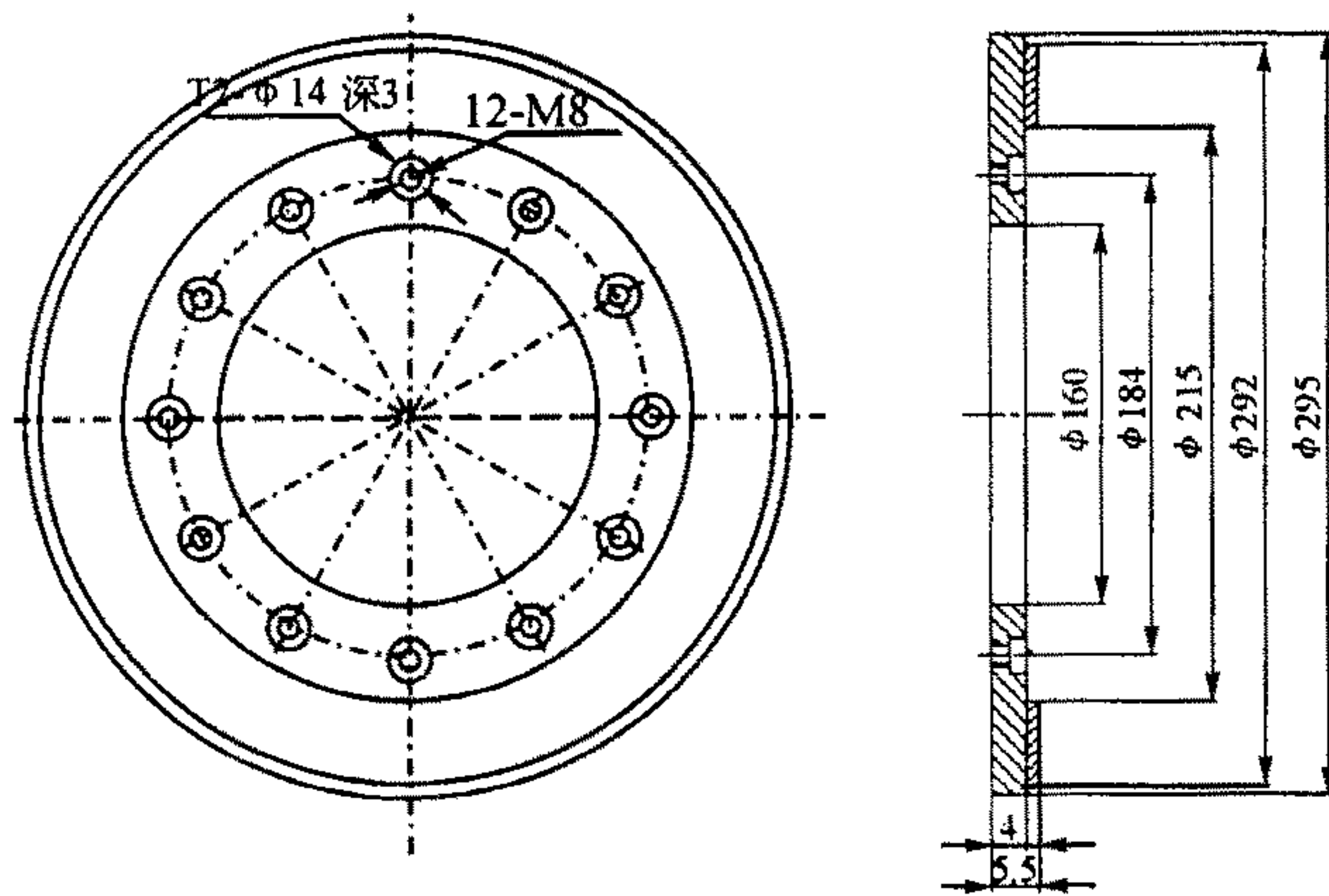


图4 450 kW级滑差离合器传动摩擦副尺寸简图

对应前文所述,本设计选用纸基摩擦材料,表面沟槽采用径向槽1和纵横槽4的复合油槽;摩擦副内半径 $R_1 = 107.5$  mm,外半径 $R_2 = 146$  mm,内外径比 $C = 0.736$ ;摩擦片有效工作面积与油槽面积之比为0.65:0.35;摩擦材料层厚1.5 mm,油槽深度为0.65 mm;摩擦片芯板厚4 mm(油槽相关形状及参数图4中未标出)。

该450 kW级滑差离合器及摩擦副于2002年开始广泛应用于某火力发电厂煤粉送风机、冷却给水泵等的调速节能系统,执行全年全天24小时不停机运转的高强度工作任务,至今工况优良(摩擦副每18个月更换一次)。

## 7 结语

滑差离合器和普通湿式离合器虽然外形相似,但是两者的工作原理和实际工况完全不同。

传统的完全借用湿式离合器摩擦副的设计方法已经不能满足滑差离合器的设计需要。只有在充分考虑滑差离合器的工作原理和实际工况等的前提下,对传动摩擦副进行设计和校核,才能真正适应调速离合器的设计要求。实践证明,本文所提出的滑差离合器摩擦副的设计方法,完全能够满足工程应用的需要。

## 参考文献:

- [1] 陈宁. 液体黏性传动(HVD)技术的研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源工程学院,2003.
- [2] 李海成. 纸基摩擦材料性能影响因素的分析[J]. 矿山机械,1999(6):64-66.
- [3] 洪跃,刘谨,王云根. 液体调速离合器中摩擦副热效应分析[J]. 中国工程科学,2003(9):55-60.