



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103308309 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201210062865. 1

查全 等. 滚动轴承寿命预测计算新方法.

(22) 申请日 2012. 03. 09

《轴承》. 2001, (第 4 期),

(73) 专利权人 上海欧际柯特回转支承有限公司  
地址 201906 上海市宝山区富联三路 368 号

审查员 徐丽华

(72) 发明人 邱润峰 黄筱调 高学海

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司  
31002

代理人 胡美强

(51) Int. Cl.

G01M 13/04(2006. 01)

(56) 对比文件

- SU 805103 , 1981. 02. 15, 全文 .
- CN 1818599 A, 2006. 08. 16, 全文 .
- JP 特开 2002-148148 A, 2002. 05. 22, 全文 .
- CN 101957261 A, 2011. 01. 26, 全文 .
- CN 1900674 A, 2007. 01. 24, 全文 .
- CN 101699242 A, 2010. 04. 28, 全文 .

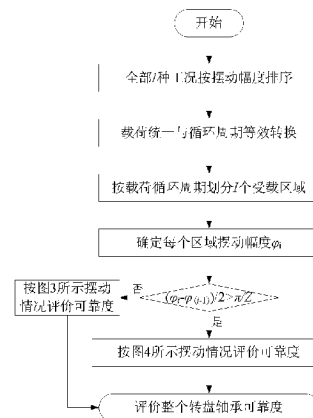
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

回转支承滚动接触疲劳可靠性评价方法

(57) 摘要

本发明涉及一种回转支承滚动接触疲劳可靠性评价方法, 是通过以下技术步骤实现的: 步骤 1: 将全部 I 种工况按摆动幅度排序; 步骤 2: 载荷统一和循环周期等效转换; 步骤 3: 按载荷循环周期划分 I 个受载区域; 步骤 4: 确定每个区域内滚珠摆动循环的次数和摆动幅度; 步骤 5: 判断每个区域内滚珠摆动幅度和  $\pi/Z$  的关系, 分别计算各相互独立区域可靠度; 步骤 6: 计算回转支承的可靠度; 本发明的有益效果是: 可以准确估计出复杂工况下回转支承运行的可靠度。



1. 一种回转支承滚动接触疲劳可靠性评价方法,是通过以下技术步骤实现的:

步骤 1:将全部 I 种工况按摆动幅度排序;

步骤 2:将每种工况的载荷作统一处理,使得每种工况具有相等的统一等效载荷,并且对每种工况下回转支承的摆动循环次数在确保可靠度不变的前提下作等效转换,最终使得回转支承每种工况在统一载荷和等效摆动循环次数下与实际工况下可靠度保持不变;摆动循环次数的等效算法如式 (1) 所示:

$$N_{\text{equi}} = \sum_{i=1}^I \left( \frac{Q_i}{Q_{\text{uni}}} \right)^3 N_{\text{osci}} \quad (1)$$

式中: $N_{\text{equi}}$ 为第 i 种工况下载荷统一后保持可靠度不变的等效摆动循环次数; $Q_{\text{uni}}$ 为统一载荷, $N_{\text{osci}}$ 代表摆动循环次数, $Q_i$ 为第 i 种工况下回转支承的载荷;

步骤 3:将每个滚珠对滚道作用区域划分为 I 个相互独立的区域,并将 I 种工况按照摆动幅度从小到大排序;

步骤 4:确定每个区域内滚珠摆动循环的次数和摆动幅度;

步骤 5:判断每个区域内滚珠摆动幅度和  $\pi/Z$  的关系,分别计算各相互独立区域可靠度;根据滚珠摆动幅度是否大于  $\pi/Z$ ,分别用式 (2) 和式 (3) 描述:

$$\frac{\varphi}{2} < \frac{\pi}{Z} \quad (2)$$

$$\frac{\varphi}{2} = H \frac{\pi}{Z} + \frac{\gamma}{2} \quad (H = 1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

式中: $\varphi$ 为 2 倍摆动幅度, $Z$ 为转盘轴承单排滚珠数目, $H$ 为任意整数, $\gamma$ 为摆动重叠区域角度范围;

如果摆动幅度  $((\varphi_i - \varphi_{(i-1)})/2) < \pi/Z$ ,在这种摆动情况下转盘轴承每摆动一次,受载区域任意位置受一个滚珠作用 2 次,参照 Lundberg-Palmgren 理论滚道受载区域滚动接触疲劳可靠度按式 (4) 评价:

$$\ln \frac{1}{S} = A \frac{(2N_{\text{osci}})^e \tau^c V}{z^h} \quad (4)$$

式中: $S$ 为滚珠作用区域可靠度, $A$ 、 $e$ 、 $c$ 、 $h$ 为取决于滚道材料与热处理性能的常数, $\tau$ 为接触区域正交剪应力, $z$ 为正交剪应力深度, $V$ 为作用应力区域体积;

如果摆动幅度  $((\varphi_i - \varphi_{(i-1)})/2) > \pi/Z$ , $\varphi_i/2$ 为第 i 种工况下回转支承滚珠相对

内外圈的摆动幅度,  $\varphi_{(i-1)/2}$  为第  $i-1$  种工况下回转支承滚珠相对内外圈的摆动幅度, 在这种摆动情况下每个滚珠对滚道的作用区域可分为 E 区域和 F 区域, 转盘轴承每摆动一次, E 区域任意位置受一个滚珠作用 2 次, F 区域任意位置受一个滚珠作用 4 次, 参照 Lundberg-Palmgren 理论, E 区域滚动接触疲劳可靠度按式 (4) 评价, F 区域滚动接触疲劳可靠度可按式 (5) 评价:

$$\ln \frac{1}{S} = A \frac{(4N_{\text{osc}})^e \tau^c V}{z^h} \quad (5)$$

步骤 6: 根据  $S_{\text{total}} = \prod_{i=1}^l S_i$  计算复杂工况下回转支承的可靠度; 其中: 滚珠在第  $i$  个区

域内摆动时回转支承的可靠度为  $S_i$ ,  $S_{\text{total}}$  为回转支承运行可靠度; 回转支承运行可靠度为回转支承在各区域内摆动可靠度的乘积。

## 回转支承滚动接触疲劳可靠性评价方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种回转支承,尤其涉及一种回转支承滚动接触疲劳可靠性评价方法。

### 背景技术

[0002] 回转支承一般可以看作是一个巨型内圈或外圈带传动齿的轴承,是几乎所有需要相对回转装备中不可或缺的一部分,广泛应用于港口机械、矿山机械、风力发电、雷达等大型装备。与普通轴承相比,回转支承工作环境更为恶劣、载荷情况更复杂,运行寿命和可靠性要求更高,一旦失效导致的经济和社会效益损失更大。

[0003] 实践证明要保证回转支承长寿命、高可靠性地工作,减少因为不可预知失效带来的效益损失,除了在设计 and 加工时提高回转支承的固有质量外,设计和选型时也应该准确预测回转支承在复杂工况下运行的可靠性。

[0004] 目前轴承设计多按照相关标准计算轴承 90%可靠度时的寿命,取一定安全余量,但是并不能评估出回转支承在设计工况下的运行可靠度,对于风力发电等可靠性要求较高的应用场合,采用可靠性设计理论,准确评估出回转支承运行可靠性,对于回转支承的设计和维护有重要的指导意义。

### 发明内容

[0005] 本发明需要解决的技术问题是提供了一种回转支承滚动接触疲劳可靠性评价方法,旨在解决上述的问题。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明是通过以下技术步骤实现的:

[0007] 步骤 1:将全部 I 种工况按摆动幅度排序;

[0008] 步骤 2:将每种工况的载荷作统一处理,使得每种工况具有相等的统一等效载荷,并且对每种工况下回转支承的摆动循环次数在确保可靠度不变的前提下作等效转换,最终使得回转支承每种工况在统一载荷和等效摆动循环次数下与实际工况下可靠度保持不变;摆动循环次数的等效算法如式 (1) 所示:

$$[0009] \quad N_{\text{equi}} = \sum_{i=1}^I \left( \frac{Q_i}{Q_{\text{uni}}} \right)^3 N_{\text{osci}} \quad (1)$$

[0010] 式中: $N_{\text{equi}}$ 为第 i 种工况下载荷统一后保持可靠度不变的等效摆动循环次数; $Q_{\text{uni}}$ 为统一载荷, $N_{\text{osci}}$ 代表摆动循环次数;

[0011] 步骤 3:将每个滚珠对滚道作用区域划分为 I 个相互独立的区域,并将 I 种工况按照摆动幅度从小到大排序;

[0012] 步骤 4:确定每个区域内滚珠摆动循环的次数和摆动幅度;

[0013] 步骤 5:判断每个区域内滚珠摆动幅度和  $\pi/Z$  的关系,分别计算各相互独立区域可靠度;根据滚珠摆动幅度是否大于  $\pi/Z$ ,分别用式 (2) 和式 (3) 描述:

[0014]

$$\frac{\varphi}{2} < \frac{\pi}{Z} \quad (2)$$

$$[0015] \quad \frac{\varphi}{2} = H \frac{\pi}{Z} + \frac{\gamma}{2} \quad (H = 1, 2, 3, \dots)$$

$$[0016] \quad (3)$$

[0017] 式中： $\varphi$ 为2倍摆动幅度， $Z$ 为转盘轴承单排滚珠数目， $H$ 为任意整数， $\gamma$ 为摆动重叠区域角度范围。

[0018] 如果摆动幅度 $((\varphi_i - \varphi_{(i-1)})/2) < \pi/Z$ ，在这种摆动情况下转盘轴承每摆动一次，受载区域任意位置受一个滚珠作用2次，参照Lundberg-Palmgren理论滚道受载区域滚动接触疲劳可靠度按式(4)评价。

$$[0019] \quad \ln \frac{1}{S} = A \frac{(2N_{osci})^e \tau^c V}{z^h} \quad (4)$$

[0020] 式中： $S$ 为滚珠作用区域可靠度， $A$ 、 $e$ 、 $c$ 、 $h$ 为取决于滚道材料与热处理性能的常数， $\tau$ 为接触区域正交剪应力， $z$ 为正交剪应力深度， $V$ 为作用应力区域体积。

[0021] 如果摆动幅度 $((\varphi_i - \varphi_{(i-1)})/2) > \pi/Z$ ，在这种摆动情况下每个滚珠对滚道的作用区域可分为E区域和F区域，转盘轴承每摆动一次，E区域任意位置受一个滚珠作用2次，F区域任意位置受一个滚珠作用4次，参照Lundberg-Palmgren理论，E区域滚动接触疲劳可靠度按式(4)评价，F区域滚动接触疲劳可靠度可按式(5)评价。

$$[0022] \quad \ln \frac{1}{S} = A \frac{(4N_{osci})^e \tau^c V}{z^h} \quad (5)$$

[0023] 步骤6：根据 $S_{total} = \prod_{i=1}^I S_i$ 计算复杂工况下回转支承的可靠度；其中： $S_i$ 为滚珠在第*i*个区域内摆动时回转支承的可靠度， $S_{total}$ 为回转支承运行可靠度；回转支承运行可靠度为回转支承在各区域内摆动可靠度的乘积。

[0024] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：可以准确估计出复杂工况下回转支承运行的可靠度。

## 附图说明

[0025] 图1是本发明的流程示意图。

[0026] 图2是将回转支承每个滚珠受载区域划分为若干个相互独立的区域示意图，图中只示意了每个滚珠摆动的半个循环周期，图中A代表内圈，B代表外圈。

[0027] 图3是摆动幅度 $((\varphi_i - \varphi_{(i-1)})/2) < \pi/Z$ 的摆动情况示意图。

[0028] 图4是摆动幅度 $((\varphi_i - \varphi_{(i-1)})/2) > \pi/Z$ 的摆动情况示意图。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步详细描述：

[0030] 由图1-图4可见：本发明是通过以下技术步骤实现的：

[0031] 步骤1：将全部I种工况按摆动幅度排序；

[0032] 步骤2：将每种工况的载荷作统一处理，使得每种工况具有相等的统一等效载荷，

并且对每种工况下回转支承的摆动循环次数在确保可靠度不变的前提下作等效转换,最终使得回转支承每种工况在统一载荷和等效摆动循环次数下与实际工况下可靠度保持不变;摆动循环次数的等效算法如式(1)所示:

$$[0033] \quad N_{\text{equi}} = \sum_{i=1}^I \left( \frac{Q_i}{Q_{\text{uni}}} \right)^3 N_{\text{osci}}$$

[0034] (1)

[0035] 式中: $N_{\text{equi}}$ 为第*i*种工况下载荷统一后保持可靠度不变的等效摆动循环次数; $Q_{\text{uni}}$ 为统一载荷, $N_{\text{osci}}$ 代表摆动循环次数;

[0036] 步骤3:将每个滚珠对滚道作用区域划分为*I*个相互独立的区域,并将*I*种工况按照摆动幅度从小到大排序;

[0037] 步骤4:确定每个区域内滚珠摆动循环的次数和摆动幅度;

[0038] 步骤5:判断每个区域内滚珠摆动幅度和 $\pi/Z$ 的关系,分别计算各相互独立区域可靠度;根据滚珠摆动幅度是否大于 $\pi/Z$ ,分别用式(2)和式(3)描述:

$$[0039] \quad \frac{\varphi}{2} < \frac{\pi}{Z} \quad (2)$$

$$[0040] \quad \frac{\varphi}{2} = H \frac{\pi}{Z} + \frac{\gamma}{2} \quad (H = 1, 2, 3, \dots)$$

[0041] (3)

[0042] 式中: $\varphi$ 为2倍摆动幅度, $Z$ 为转盘轴承单排滚珠数目, $H$ 为任意整数, $\gamma$ 为摆动重叠区域角度范围。

[0043] 如果摆动幅度 $((\varphi_i - \varphi_{(i-1)})/2) < \pi/Z$ ,按图3所示摆动情况评价可靠度,在这种摆动情况下转盘轴承每摆动一次,受载区域任意位置受一个滚珠作用2次,参照Lundberg-Palmgren理论滚道受载区域滚动接触疲劳可靠度按式(4)评价。

$$[0044] \quad \ln \frac{1}{S} = A \frac{(2N_{\text{osci}})^e \tau^c V}{z^h} \quad (4)$$

[0045] 式中: $S$ 为滚珠作用区域可靠度, $A$ 、 $e$ 、 $c$ 、 $h$ 为取决于滚道材料与热处理性能的常数, $\tau$ 为接触区域正交剪应力, $z$ 为正交剪应力深度, $V$ 为作用应力区域体积。

[0046] 如果摆动幅度 $((\varphi_i - \varphi_{(i-1)})/2) > \pi/Z$ ,按图4所示摆动情况评价可靠度,在这种摆动情况下每个滚珠对滚道的作用区域可分为如图所示的E区域和F区域,转盘轴承每摆动一次,E区域任意位置受一个滚珠作用2次,F区域任意位置受一个滚珠作用4次,参照Lundberg-Palmgren理论,E区域滚动接触疲劳可靠度按式(4)评价,F区域滚动接触疲劳可靠度可按式(5)评价。

$$[0047] \quad \ln \frac{1}{S} = A \frac{(4N_{\text{osci}})^e \tau^c V}{z^h} \quad (5)$$

[0048] 步骤6:根据 $S_{\text{total}} = \prod_{i=1}^I S_i$ 计算复杂工况下回转支承的可靠度;其中:滚珠在第*i*个区域内摆动时回转支承的可靠度为 $S_i$ , $S_{\text{total}}$ 回转支承运行可靠度;回转支承运行可靠度为回转支承在各区域内摆动可靠度的乘积。

[0049] 本发明的实施方案如下:

[0050] 假设一只回转支承,根据载荷、摆动幅度的不同可以分为 I 种工况,在这 I 种工况复合作用下估计回转支承的使用可靠度。

[0051] 估计回转支承的使用可靠度时,首先按各种工况下的摆动幅度从小到大,将各种工况如表 1 所示排序,在表 1 中,  $LDC_i$  表示第 i 种工况,  $N_{osc i}$  为第 i 种工况下回转支承的摆动循环次数,  $\varphi_i/2$  为第 i 种工况下回转支承滚珠相对内外圈的摆动幅度,  $Q_i$  为第 i 种工况下回转支承的载荷,这里的载荷是一个泛义的概念,可以是一组复合载荷,也可以是复合载荷等效转换后的等效载荷。

[0052] 表 1 对回转支承 I 种运行工况按摆动幅度排序

	工况	摆动循环次数	摆动幅度	载荷
	$LDC_1$	$N_{osc1}$	$\varphi_1/2$	$Q_1$
	$LDC_2$	$N_{osc2}$	$\varphi_2/2$	$Q_2$
[0053]	$LDC_3$	$N_{osc3}$	$\varphi_3/2$	$Q_3$
	...	...	...	...
	$LDC_I$	$N_{oscI}$	$\varphi_I/2$	$Q_I$

[0054] 为实现各种工况下回转支承运行可靠度的累积,如表 2 所示,将各种工况下的载荷统一,同时等效转换回转支承的摆动循环次数,载荷统一和摆动循环次数等效转化的基本原则为确保在统一载荷和等效摆动循环次数作用下回转支承的运行可靠度不变,摆动循环次数的等效算法如式 (1) 所示。

[0055] 式中:  $N_{equi}$  为第 i 种工况下载荷统一后保持可靠度不变的等效摆动循环次数;  $Q_{uni}$  为统一载荷,在表 2 中,统一载荷设为  $Q_1$ 。

[0056] 表 2 载荷统一和摆动周期等效转化

	工况	等效摆动循环次数	摆动幅度	统一载荷
[0057]	$LDC_1$	$N_{osc1}$	$\varphi_1/2$	$Q_1$
	$LDC_2$	$\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^3 N_{osc2}$	$\varphi_2/2$	$Q_1$
[0058]	$LDC_3$	$\left(\frac{Q_3}{Q_1}\right)^3 N_{osc3}$	$\varphi_3/2$	$Q_1$
	...	...	...	...
	$LDC_I$	$\left(\frac{Q_I}{Q_1}\right)^3 N_{oscI}$	$\varphi_I/2$	$Q_1$

[0059] 各种工况下滚珠相对于内外圈的摆动幅度都不相同,各种工况下的受载区域可能存在一定重叠区域,导致计算各种工况下回转支承的可靠度时发生相互干涉,为方便计算回转支承运行可靠度,将各种工况下的受载区域分成相互独立的若干区域  $REG_1 \sim REG_I$ ,如图 2 所示,每个区域内,滚珠摆动的摆动幅度和摆动循环次数如表 3 所示,同时设滚珠在第  $i$  个区域内摆动时回转支承的可靠度为  $S_i$ 。

[0060] 表 3 受载区域划分和各受载区域摆动循环次数及幅度

	受载区 域	摆动周期	摆动幅度	载荷	轴承载 可靠性
	$REG_1$	$\sum_{i=1}^I \left(\frac{Q_i}{Q_1}\right)^3 N_{osci}$	$\varphi_1/2$	$Q_1$	$S_1$
[0061]	$REG_2$	$\sum_{i=2}^I \left(\frac{Q_i}{Q_1}\right)^3 N_{osci}$	$(\varphi_2 - \varphi_1)/2$	$Q_1$	$S_2$
	$REG_3$	$\sum_{i=3}^I \left(\frac{Q_i}{Q_1}\right)^3 N_{osci}$	$(\varphi_3 - \varphi_2)/2$	$Q_1$	$S_3$
	...	...	...	...	...
[0062]	$REG_I$	$\sum_{i=I}^I \left(\frac{Q_i}{Q_1}\right)^3 N_{osci}$	$(\varphi_I - \varphi_{(I-1)})/2$	$Q_1$	$S_I$

[0063] 计算滚珠在每个区域内摆动时回转支承的可靠度时,首先应根据滚珠的摆动幅度确定回转支承可靠度评价方法,根据滚珠摆动幅度是否大于  $\pi/Z$ ,可分为如图 3 和图 4 所示的两种情况,分别用式 (2) 和式 (3) 描述。

[0064] 在图 3 所示情况 1 下,在一个摆动周期中承载区域任意位置承受两次滚动接触应力循环。

[0065] 在图 4 所示情况 2 下,由于滚珠相对于滚道的摆动幅度大于回转支承相邻两滚珠的夹角,出现相邻受载区域内出现滚动重叠的 F 区域,受载区域含滚动重叠的 F 区域和不重叠的 E 区域。F 区域任意位置在一个摆动周期中承受四次滚动接触应力循环,E 区域在一个摆动周期中承受两次滚动接触应力循环。

[0066] 回转支承的综合可靠度为所有各区域内摆动时回转支承可靠度之乘积,如式 (6) 所示。

$$S_{total} = \prod_{i=1}^I S_i \quad (6)$$

[0068] 其中:滚珠在第  $i$  个区域内摆动时回转支承的可靠度为  $S_i$ ,  $S_{total}$  回转支承运行可靠度;回转支承运行可靠度为回转支承在各区域内摆动可靠度的乘积。



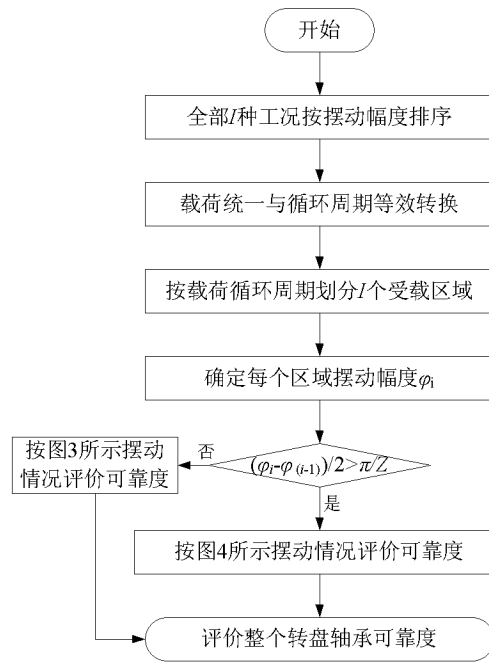


图 1

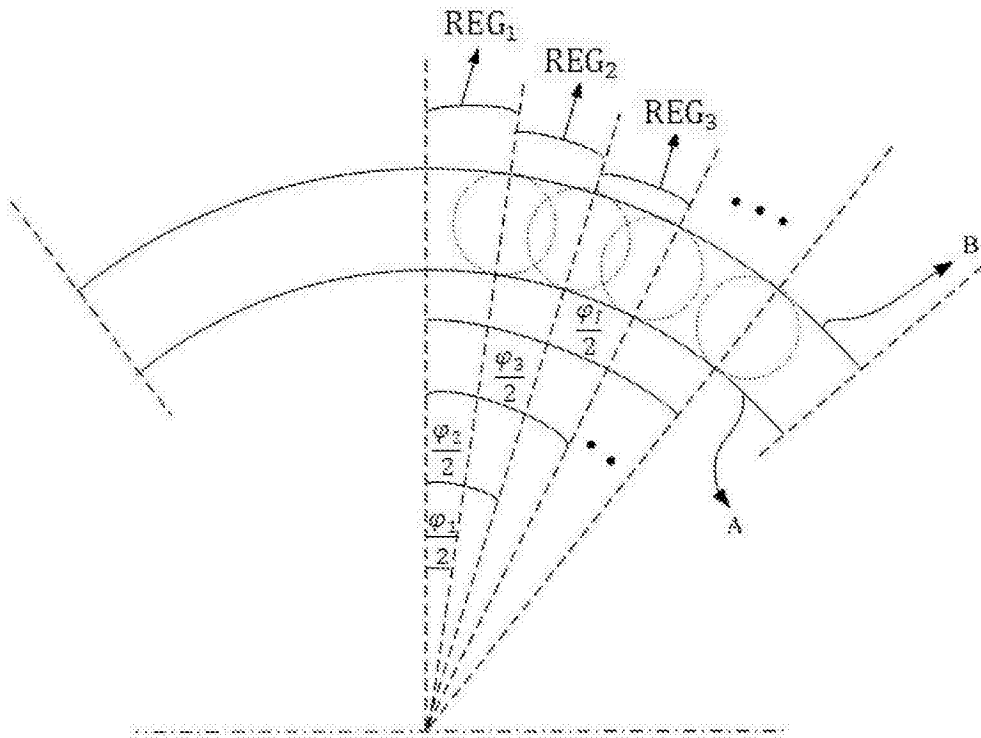


图 2

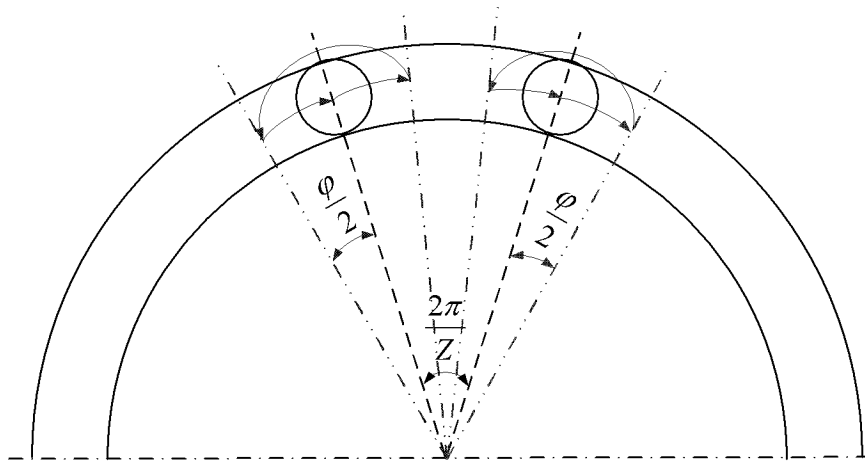


图 3

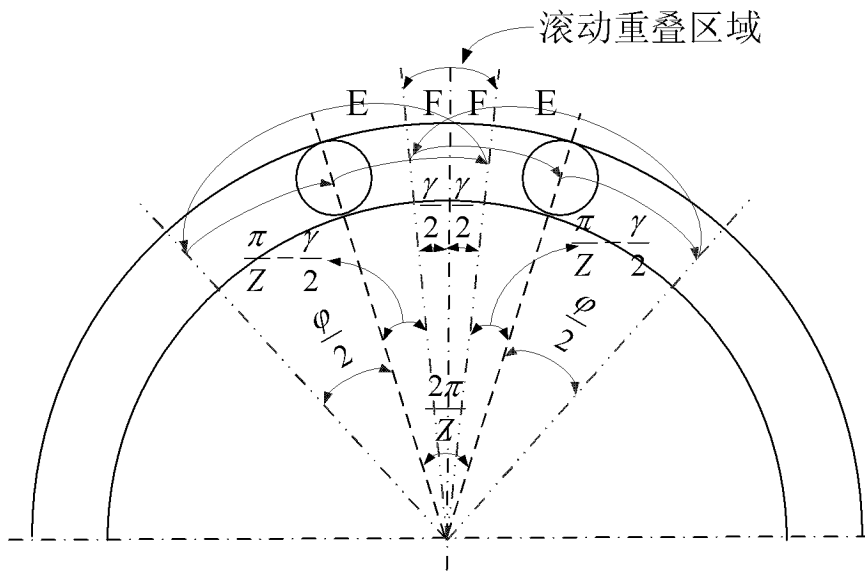


图 4