

# 向心关节轴承设计

FZF 系列自润滑关节轴承由于其具有自动调心、对偏斜不敏感、轴承受力均匀、承载能力高、可同时承受径向和轴向载荷、摩擦系数小、使用温度范围宽、自润滑无需维护、使用寿命长等特点，已广泛应用于水工机械的弧形闸门（支铰轴承）、平面闸门（定轮轴承）、人字门（底枢轴承即轴承巢球衬）、液压启闭机和水轮发电机组（贯流式水轮机导水机构），以及起重运输设备、港口机械（岸桥）、冶金设备（推焦机）、工程机械等行业。随着市场开发力度的加大，自润滑关节轴承的应用领域将会不断扩大。

FZF 系列自润滑关节轴承自上世纪末投放市场至今，已为国内水利工程和各种机械设备提供了不同规格型号的自润滑关节轴承接近两万套，经众多水利工程实际使用证明，三环公司研制生产的自润滑关节轴承性能稳定可靠，在国家重点水利工程上逐步替代进口。

FZF 系列自润滑关节轴承在水工机械上的设计选用原则如下：

## ■轴承种类的选择

### 1. 弧形闸门支铰

弧形闸门的使用条件是载荷较大，而速度很低，特别是门板与支铰有很长的距离，反应在轴承摩擦面上的滑动速度更低（一般线速度在 0.001m/s 以下）。在如此低的线速度条件下，轴承的承载能力完全可以用许用静载指标来校核，因此对轴承材料的强度要求较高。所以弧形闸门支铰关节轴承宜选用 GEW...FZF053 和 GEW...FZF056。GEW...FZF053 为铜合金镶嵌自润滑关节轴承，其静承载能力、耐磨性能较高，但价格较贵。GEW...FZF056 为双金属镶嵌自润滑关节轴承，其性能与 GEW...FZF053 相当，可节约大量铜合金，具有较高的性价比，因此宜优先选用。

### 2. 平面闸门定轮

平面闸门定轮轴承使用条件是承载相对较小，但为了降低启闭力，摩擦系数要求较低，所以应首先选用 GEW...FZF02、GEW...FZF056。由于 GEW...FZF056 轴承其独特的产品结构提高了材料的刚性，改善了表面材料的受力条件，提高了承载能力，改善了表面摩擦状态，降低了摩擦系数，因此推荐优先选用。

GEW...FZF053、GEW...FZF06 自润滑关节轴承亦适用于平面闸门定轮轴承。

### 3. 液压启闭机

液压启闭机支座轴承一般选用 GE...HFZF01、GE...HFZF02、GE...HFZF06 系列轴承。GE...HFZF01、GE...HFZF02 轴承具有较低的摩擦系数，GE...HFZF06 具有很高的承载能力和很好的耐磨性能。推荐优先选用 GE...HFZF02 和 GE...HFZF06。

## ■轴承规格的选择

### 1. 当量载荷的确定

弧形闸门支铰轴承、平面闸门滚轮轴承在承受径向载荷的同时，还承受轴向载荷。弧形闸门支铰轴承的轴向载荷主要是由于支臂的斜角布置及变形引起的，平面闸门滚轮轴承的轴向载荷主要是由于门的变形引起的。在有轴向载荷时，应先求出当量载荷，然后再进行选择计算。

当量载荷即为径向载荷与轴向载荷同时作用时与之效应相当的单一径向载荷。当量载荷可由下式求得：

$$P=X \cdot Fr \quad (1)$$

当  $Fa/Fr < 0.117$  时，

$$X = \cos\theta + 5.142 \sin\theta (Fa/Fr) \quad (2)$$

$$\theta = \arctg(5.13Fa/Fr)$$

当  $Fa/Fr \geq 0.117$  时，

$$X = 0.857 + 2.648Fa/Fr \quad (3)$$

以上式中：P—当量载荷、Fr—径向载荷、Fa—轴向载荷、X—当量载荷系数。

对于一项具体工程来说，径向载荷 Fr、轴向 Fa 是确定的，先由式 (2) 或式 (3) 求出当量载荷系数 X，当量载荷 P 即可由式 (1) 求得。为了方便当量载荷的计算，Fa/Fr 不同比值下的当量载荷系数 X 可由表 1 查得。

表 1 Fa/Fr 不同比值下的当量载荷系数 X

Fa/Fr	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
X	1.033	1.124	1.254	1.387	1.519	1.651	1.784	1.916

对于平面闸门滚轮轴承，轴向载荷主要是由于门变形，滚轮发生横向位移而引起的。因此该轴承轴向载荷与径向载荷的比值应为滚轮外缘与轨道之间的滑动摩擦系数，即  $Fa/Fr = \mu$ ，可取  $\mu = 0.20 \sim 0.25$ 。

### 2. 轴径的确定

当量载荷确定后，即可确定轴径，轴径的确定应满足以下条件：

$$P_0 \geq n \cdot P \quad (4)$$

$P_0$  为选用轴承的许用径向载荷，FZF 系列自润滑关节轴承尺寸表中已给出了各种轴承的许用径向载荷值，P 为当量载荷，n 为安全系数，取  $n = 1.4 \sim 1.6$ 。

对于液压启闭机支座轴承，该轴承不承受轴向载荷，轴颈的确定条件为：

$$P_0 \geq n \cdot F \quad (5)$$

F 为最大启闭力， $n \geq 2$ 。

一个重要的问题需要明确，弧形闸门支铰轴承、平面闸门滚轮轴承、液压启闭机支座轴承均为典型的低速重载工况条件，而且累计滑动距离很短，如弧形闸门支铰轴承，50年累计滑动距离不超过1000m。因此，轴承的选择计算应按静载考虑，式(4)、式(5)中的 $P_0$ 为选用轴承的许用静载。

另外，以上的选择计算是以正常载荷为基础的。

## ■轴承的润滑与密封

### 1.轴承的润滑

FZF系列自润滑关节轴承具有良好的自润滑性能，但在有润滑的条件下，性能会有较大提高。因此，在可能的情况下，应尽可能改善润滑条件，以利于提高性能，延长使用寿命。

GEW...FZF02轴承具有理想的边界润滑特性，有效的脂润滑更是非常必要的，润滑脂应采用含有MoS<sub>2</sub>的锂基润滑脂，该轴承脂润滑周期可达10~12年。其他FZF系列关节轴承装配时必须涂含有MoS<sub>2</sub>的锂基润滑脂，FZF053、FZF056、FZF06系列关节轴承首次装配时要保证自润滑工作表面的固体润滑膜完好无损，如有缺损必须补涂固体润滑膜，固体润滑膜由三环公司提供。

### 2.轴承的密封

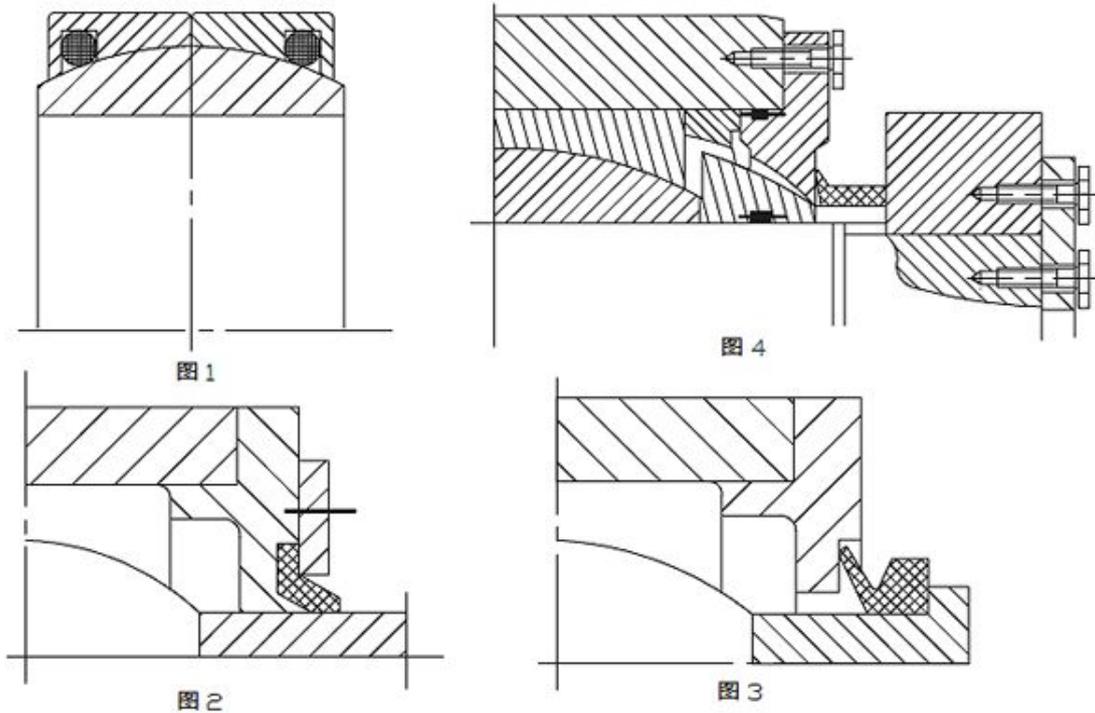
有效的密封可防止水和泥沙进入，防止润滑介质流失，尤其是在水下工作时，是保证轴承正常工作的关键。

FZF系列自润滑关节轴承自身可带密封（见图1），这种密封的特点是简单、可靠，但将减少承载面积。

我们建议将密封加在结构上，结构密封可分为简单密封和球面密封两种方式。简单密封是靠密封件的跟随性来达到密封效果（见图2、图3），适用于在大气中或在水下摆动倾角极小的工作条件。当在水下摆动倾角较大或在大气中倾角很大，简单密封不能满足时，我们建议采用球面密封（见图4）。该结构两端需增加球形密封环，结构较复杂，但可靠性很高。

对于重要的轴承或对密封要求很高的场合，可采取双密封结构。

密封结构与密封件的种类很多，应根据具体使用要求进行设计，以达到最佳效果。



向心关节轴承密封

## ■轴承设计说明

◇设计时，应采用标准型号、规格和尺寸。尽量避免使用非标关节轴承。

◇设计时，应依据不同的使用条件选用适当的材质和型号，以便调高机械性能，延长关节轴承的使用寿命。

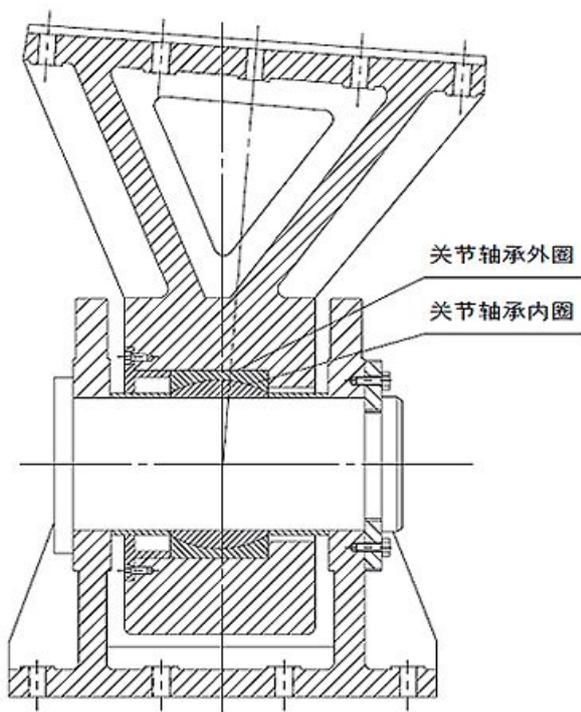
◇设计时，所选关节轴承应能够支撑或传递工作环境所要求的载荷，并有适当的过载能力，具有摆动、倾斜和回转运动的功能。

◇关节轴承在淡水、海水中或海上作业等环境下使用，设计时，对非自润滑部分建议使用不锈钢或表面镀铬处理。

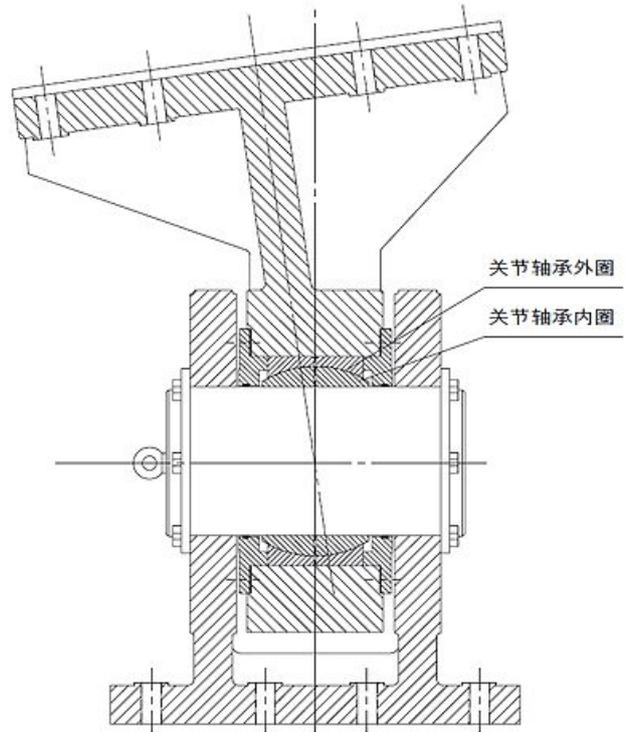
◇关节轴承的倾角（倾斜角）系指轴承内、外圈（或轴圈与座圈）轴线之间相互倾斜的角度。内、外圈（或轴圈与座圈）倾斜时其理论接触面积不小于轴承套圈轴线相互平行时所具有的理论接触面积。

◇当一套关节轴承安装于轴颈和座孔中后，轴承所能倾斜的角度会受到相邻零件结构上的限制，设计时需充分予以考虑。

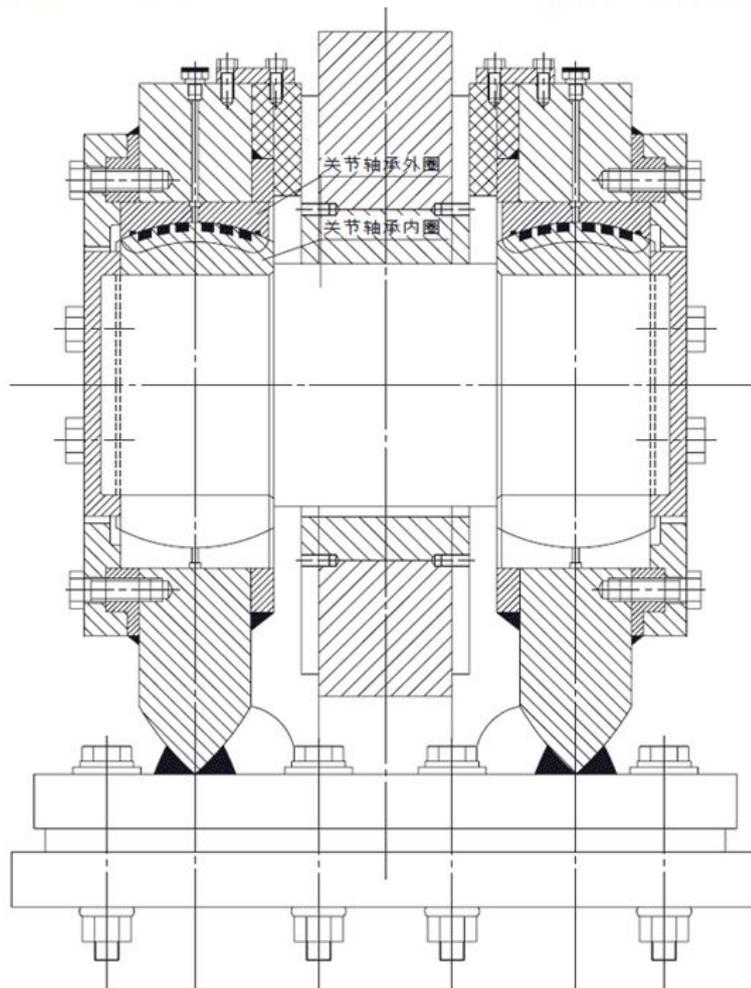
## ■轴承设计实例图



实例图 1 (弧形闸门上使用)



实例图 2 (弧形闸门上使用)



实例图 3 (岸桥上使用)

■ 关节轴承的径向游隙

FZF 系列自润滑向心关节轴承的径向游隙值见表 2。

表 2 FZF 系列自润滑向心关节轴承的径向游隙值

轴承公称内径 d (mm)		轴承径向游隙值(μm)			
		GEW...FZF 系列		GE...FZF 系列	
超过	到	最小	最大	最小	最大
30	35	100	150	100	136
35	60	120	180	120	164
60	90	142	212	142	193
90	120	165	245	165	222
120	180	192	284	192	258
180	240	214	318	214	289
240	300	239	353	239	321
300	380	261	387	261	353
380	400	285	425	285	385
400	480	285	425	—	—
480	600	320	480	—	—
600	750	350	530	—	—
750	950	405	615	—	—
950	1000	470	720	—	—

■ 公差与配合

FZF 系列自润滑向心关节轴承内圈公差见表 3，外圈公差见表 4，铰轴与座孔的公差带见表 5，铰轴与座孔的极限偏差见附表。

表中符号说明：

d—轴承公称内径

$\Delta d_{mp}$ —单一平面平均内径偏差

$V_{dp}$ —单一径向平面内内径变动量

$V_{dmp}$ —平均内径变动量

B—内圈公称宽度

$\Delta B_s$ —内圈单一宽度偏差

D—轴承公称外径

$\Delta D_{mp}$ —单一平面平均外径偏差

$V_{Dp}$ —单一径向平面内外径变动量

$V_{Dmp}$ —平均外径变动量

C—外圈公称宽度

$\Delta C_s$ —外圈单一宽度偏差

表 3 向心关节轴承内圈公差

单位：μm

内径 d(mm)		$\Delta d_{mp}$		$V_{dp}$	$V_{dmp}$	$\Delta B_s$	
超过	到	上差	下差	最大	最大	上差	下差
—	10	0	-8	8	6	0	-120
10	18	0	-8	8	6	0	-120
18	30	0	-10	10	8	0	-120
30	50	0	-12	12	9	0	-120
50	80	0	-15	15	11	0	-150
80	120	0	-20	20	15	0	-200

120	150	0	-25	25	19	0	-250
150	180	0	-25	25	19	0	-250
180	250	0	-30	30	23	0	-300
250	315	0	-35	35	26	0	-350
315	400	0	-40	40	30	0	-400
400	500	0	-45	45	34	0	-450
500	630	0	-50	50	38	0	-500
630	800	0	-75	75	56	0	-750
800	1000	0	-100	100	74	0	-1000
1000	1250	0	-125	190	125	0	-1250

表 4

向心关节轴承外圈公差

单位:  $\mu\text{m}$ 

外径 D(mm)		$\Delta D_{mp}$		$V_{Dp}$	$V_{Dmp}$	$\Delta C_s$	
超过	到	上差	下差	最大	最大	上差	下差
10	18	0	-8	10	6	0	-240
18	30	0	-9	12	7	0	-240
30	50	0	-11	15	8	0	-240
50	80	0	-13	17	10	0	-300
80	120	0	-15	20	11	0	-400
120	150	0	-18	24	14	0	-500
150	180	0	-25	33	19	0	-500
180	250	0	-30	40	23	0	-600
250	315	0	-35	47	26	0	-700
315	400	0	-40	53	30	0	-800
400	500	0	-45	60	34	0	-900
500	630	0	-50	67	38	0	-1000
630	800	0	-75	100	56	0	-1100
800	1000	0	-100	150	100	0	-1200
1000	1250	0	-125	190	125	0	-1300
1250	1600	0	-160	240	160	0	-1600

表 5

向心关节轴承铰轴与座孔的公差带

铰轴	座孔
h6、g6	K7、H7

附表

轴 h6、g6 和孔 K7、H7 的极限偏差

单位:  $\mu\text{m}$ 

基本尺寸 (mm)		轴的极限偏差		孔的极限偏差	
大于	至	h6	g6	K7	H7
10	18	0 -11	-6 -17	+6 -12	+18 0
18	30	0 -13	-7 -20	+6 -15	+21 0
30	50	0 -16	-9 -25	+7 -18	+25 0
50	80	0 -19	-10 -29	+9 -21	+30 0

80	120	0 -22	-12 -34	+10 -25	+35 0
120	180	0 -25	-14 -39	+12 -28	+40 0
180	250	0 -29	-15 -44	+13 -33	+46 0
250	315	0 -32	-17 -49	+16 -36	+52 0
315	400	0 -36	-18 -54	+17 -40	+57 0
400	500	0 -40	-20 -60	+18 -45	+63 0
500	630	0 -44	-22 -66	0 -70	+70 0
630	800	0 -50	-24 -74	0 -80	+80 0
800	1000	0 -56	-26 -82	0 -90	+90 0
1000	1250	0 -66	-28 -94	0 -105	+105 0
1250	1600	0 -78	-30 -108	0 -125	+125 0