

# 轧辊轴承

( 下 册 )

机 械 工 业 部  
洛 阳 轴 承 研 究 所

一 九 八 三

# 轧 辊 轴 承

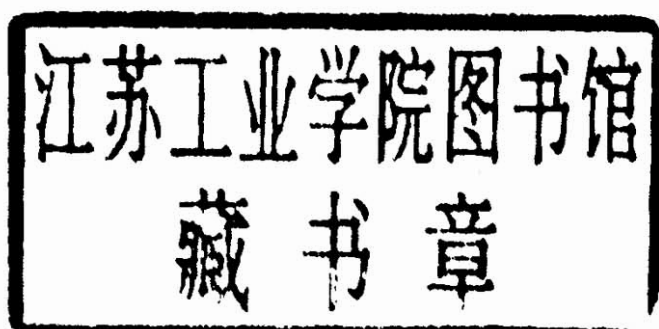
编译 温守怡 (洛阳轴承厂)

校对 费刚 (洛阳轴承厂)

审核 陈心耀 (洛阳轴承厂)

徐培孝 (洛阳轴承研究所)

邢镇寰 (洛阳轴承研究所)



机械工业部洛阳轴承研究所

一九八三

336页

345页

## 目 录

### 九、轧辊轴承设计的基本原则和一般技术特性

( 9.1 ) 设计的基本原则.....214页

( 9.2 ) 一般技术特性.....223页

### 十、轧辊轴承的额定负荷,当量负荷和寿命

( 10.1 ) 额定负荷..... 242页

( 10.2 ) 当量负荷..... 246页

( 10.3 ) 寿 命..... 248页

### 十一、轧辊轴承的配合和游隙

( 11.1 ) 轴承的配合..... 255页

( 11.2 ) 轴承的游隙..... 271页

### 十二、S K F 四列圆锥滚子轴承

( 12.1 ) 设计特性..... 299页

( 12.2 ) 材质和热处理..... 303页

( 12.3 ) 滚子凸度..... 305页

### 十三、冷轧机轧辊轴承实例..... 311页

### 十四、轧辊轴承的润滑

( 14.1 ) 润滑方法..... 336页

( 14.2 ) 弹性流体动力润滑 ( E H D )..... 345页

## 十五、轧辊轴承的安装和检查

( 15.1 ) 安装前的准备.....	356页
( 15.2 ) 四列圆柱滚子轴承的安装.....	359页
( 15.3 ) 四列圆锥滚子轴承的安装.....	362页
( 15.4 ) 轴承的检查.....	365页

## 九、轧辊轴承设计的基本原则和一般技术特性

轧辊轴承的设计、结构及其技术特性都必须满足轧制程序、安装条件以及装卸简便等要求。

### (9.1) 设计的基本原则

为使轧辊轴承能适应于工作条件，设计轧辊轴承时必须考虑到下列几项主要因素：<sup>(5)</sup>

- 1、在有限的安装容积内，应使轴承能以尽可能大的负荷能力来承受强大的轧制力。
- 2、能承受冲击负荷，因轧制过程中有强大的冲击负荷。
- 3、要适应高的轧制速度。
- 4、由于轧辊装卸频繁，在设计上务必使轴承装卸简便。
- 5、要密封良好，防止外界杂质进入轴承，且防止润滑剂由轴承泄漏出去。密封件装配要简便。

在滚动轴承中，滚动体与滚道以线接触的滚子轴承，比之同样大小的球轴承，具有更大的负荷能力。用以承受辊颈的径向负荷，则圆柱滚子轴承，球面滚子轴承，以及圆锥滚子轴承，都能适合。至于这些轴承，能在多大程度上满足上述要求，将分别讨论于次。

#### A、有限的安装容积

轧辊轴承的安装容积，在径向是受到限制的。故轴承的外径应根据辊体的直径，辊体修磨量和辊颈直径而定。设计的目标，应该

把辊颈的弯曲应力，轴承的负荷能力，及其计算寿命协调一致，使它们得到平衡。

轧辊所承受的径向负荷很大，而轴向负荷则比较小。为此，应该利用给定的安装容积，以承担尽可能多的径向负荷。

多列滚子的轧辊轴承，在给定的安装容积范围内，若其中全部滚子的总长度，以及滚子的直径都能得到尽可能大的数值，则该轴承即可具有最高的径向负荷能力。（滚子轴承的负荷能力，与滚子的长度和直径成比例，但只随滚子数量的 $0.667$ 次方而增长。另一方面，对于轴承套圈，应保持其壁厚不小于为强度所必需的最小厚度）。根据上面所述的条件，则圆锥滚子轴承，球面滚子轴承和圆柱滚子轴承三者中，唯圆柱滚子轴承能具有较大的滚子总长度。从套圈壁厚不能低于一定的最小厚度来说，圆柱滚子轴承，比之球面滚子和圆锥滚子轴承，可得到更大的滚子直径。

在选定轴承结构型式时，除负荷能力外，还应注意 到轴承所能得到的精度，由此，则套圈和滚子都以设计成圆柱体为宜。至于圆柱滚子轴承的运转精度，如果基于同样的加工费用和同等的精心制作，就可高于球面滚子和圆锥滚子轴承的运转精度。但是，圆柱滚子轴承不能承受轴向负荷，必须同时在轧辊上配装以其他轴承来承受轴向负荷。幸而安装容积通常只是在径向方面受到限制，在轴向方面却有较多余地的。可补装上一套推力轴承，使两种轴承，各自

发挥其固有的特性，这是很有效的办法。

在一些轧辊的轴向引导会影响到产品公差の場合中，应保持尽可能小的轴向间隙。例如轧制型钢时，就是这样的。纯推力轴承，比之同时又要承受轴向负荷的径向轴承，能够配合到小得多的轴向间隙。至于用在轧辊上的球面滚子和圆锥滚子轴承，若要得到高的径向负荷能力，则其滚子轴心线必须尽可能平行于轴承的轴心线。但是，由于轴承需要有径向间隙，这些轴承就必须产生相应的轴向间隙。

图(9.1 A)所示为几种轴承径向间隙和轴向间隙的示意图。其中a图表示同时承受径向和轴向负荷的圆锥滚子轴承，其轴向间隙最大。b图表示只供承受轴向负荷的向心推力球轴承，其轴向间隙则比较小。若采用如双向推力圆柱滚子轴承之类的纯推力轴承时其轴向间隙，实际上可调整到零。

### B. 高的轧制速度

轧辊轴承所能抵受的最大转速，根据轴承的设计结构及其工作条件而定。所能获得的工作速度，随滚道对滚子离心力承受能力的增长而提高；而且随滚子、滚道和保持架间滑动摩擦的减少而增高

在中等和高的轧制速度下，滚子必然要在保持架中串动。保持架的作用，就在把滚子隔离开，并使滚子能在保持其转动轴处于正确方向的情况下，进入轴承负荷区。至于像圆锥滚子轴承，或带有不对称球面滚子的球面滚子轴承，由于负荷中轴向分力的作用，其滚子紧紧地压向挡边，发生滑动摩擦，这些滑动摩擦就会导致轴承中的摩擦增大和温度升高。采用圆柱滚子轴承或带有对称滚子的球面滚子轴承，则可以避免这种情况。

滚动轴承所能使用的速度极限，根据负荷的型式及其大小，润滑情况，轴承内部的形态，及其导热情况而定。

从以上各点来看，在工作条件大体相同的情况下，圆柱滚子轴承所能得到的最高转速，比之相同尺寸的球面滚子和圆锥滚子轴承，至少高出30~50%。

此外，轧制速度提高，势必要以具有较高运转精度的轴承来适应。而轴承精度提高又有助于提高轧制件的精度。

### C、装卸简便

可能的话，轴承箱连同轴承应该像一自持体(或外圈滚子箱体)(Self-contained unit)那样能安装上辊颈，并由辊颈卸下来。对于非分离式轴承来说，只有当轴承以滑配合装于辊颈时，这才有可能做到。不过轴承套圈与辊颈之间若用滑配合，经常导致一定的磨损，其磨损量只能在低轧制速度的情况下，才能把它控制在适当的极限之内。若在中速和高速的情况下，内圈都必须与辊颈成紧配合。配合问题，若采用分离式轴承，便很易解决。在分离式轴承中，内圈以紧配合装于辊颈，其外圈连同滚子则装于轴承箱中。型式和尺寸相同的分离式圆柱滚子轴承，其内圈和外圈—滚子组件可分别做成带互换性的。由此，则变换轧制程序时，可自由选择轧辊和轴承箱的组合，不必把紧配合于辊颈的内圈卸下来，或把外圈从轴承箱卸下来。

对于非分离式轴承，若必须采用紧配合时，主要采用锥度配合。加工锥形辊颈到符合于装配公差(轴承配装入锥形座的距离，和套圈沿轴向各截面的面积虽然不同，但所有几列滚子的径向间隙却



必须一致)是很困难的。故圆柱孔轴承,比之圆锥孔轴承,更为人所乐用。

#### D、良好的密封

轧辊轴承的工作效应,在很大程度上,根据其润滑是否有效而定。轧辊轴承所需的润滑剂只是少量,但却绝不能使其发生缺油或贫油现象。另外,所有的滚动轴承,对附着于滚动表面的杂质都是同样敏感的。

润滑剂丧失其润滑能力,或由于渗入了水分致使润滑剂变坏,这些危险现象,都必须利用装设良好密封来加以防止。湿气侵入到轴承内部,会导致轴承零件锈蚀。而且,在滚动体与滚道表面间若有些微湿气存在,就会造成轴承早期损坏。

另一方面,若密封不好,至使润滑剂由轴承泄漏出去,这是不合适的,甚至是对轧制产品(冷轧钢带表面)有危险的。所以应该使密封件能以简便的方式把轴承内部和外界严密封闭起来。

以上四项,是设计轧辊轴承必须加以考虑的重要因素。除此之外,轴承内外径的配合,以及辊颈的状况,对轧辊轴承的使用性能,也有很密切的关系。

#### E、轴承配合和辊颈

从轴承使用性能的要求来说,径向轴承的内圈,原则上应与辊颈成紧配合。至于外圈,因负荷持续地作用于套圈圆周的某一区域上,则可按滑配合与其壳体相配。而在轴向上,径向轴承的外圈可以或则独自固紧,或则连同推力轴承的活圈一起由壳体盖板来固紧。

至于推力轴承的紧圈,与辊颈可用推合座。其外圈在径向上应与壳体相隔离,留有间隙,以确保径向负荷不会传送到推力轴承上。

来。此外，用于低轧制速度的径向轴承（以及非分离式轴承，如双列球面滚子和四列圆锥滚子），为求装卸简便亦可与辊颈成滑配合

辊颈和轴承内径的不圆度，应在IT6的公差范围内。辊颈表面和轴承箱内孔表面，均不允许有波形划痕之类（Wavy Scores）的加工痕迹。这些加工划痕会导致配合件间出现不同的接触压力。而且这样一类的表面缺陷，就是造成冷焊（Cold Weld），擦伤损蚀的原因。

相对于辊颈来说，轴承套圈壁厚很小，犹如“围绕辊颈的一个淬硬的紧箍”，或“壳座中的一个套管”而已，但要在与滚子的接触点上，吸收非常高的局部表面应力。所以在运转过程中，轴承套圈的形状及其运转精度，就决定于辊颈和轴承箱内孔的几何精度。因此，要注意把套圈配合件在承受负荷状态中的变形量控制在允许范围内。在辊颈与辊体相连接的部位，要修圆匀滑，辊颈上与轴承内径配合的部位，要有良好的圆度。而且，情况可能时，还应把轴承内圈边缘修圆，以把缺口效应降低到最小限度。

此外，若轴承内圈与辊颈成紧配合时，则对辊颈硬度无特殊要求。反之，若内圈与辊颈采用滑配合时，则辊颈最少也要具备有HRC60~65的硬度。对于无内圈的轴承，滚子直接在辊颈表面上滚动，则辊颈表面硬度应约为HRC60，并要有足够的淬硬深度。

#### F、轧辊轴承的 $d/D$ 比

关于辊颈轴承的  $d/D$  比（ $d$ ：轴承内径， $D$ ：轴承外径），国外资料介绍，颇不一致。

据NSK介绍，轧辊轴承的  $d/D$  比，一般为：

工作辊轴承：0.72~0.76

## 支持辊和双辊轧机轴承：0.68~0.72

另据 KOYO 介绍：

1、ISO 系列轧辊轴承的  $d/D$  比：0.59~0.63

2、均衡比 (Balance proportion) 系列轧辊轴承的  $d/D$  比为：0.71~0.75 (他们就是采用这  $d/D$  的)。

下表 (9.1 A) 和 (9.1 B) 分别是日本 KOYO 的四列圆锥与四列圆柱滚子轴承，和所配轧辊辊体的主要尺寸表。由此可看出其  $d/D$  比和辊体直径之间的一般关系。

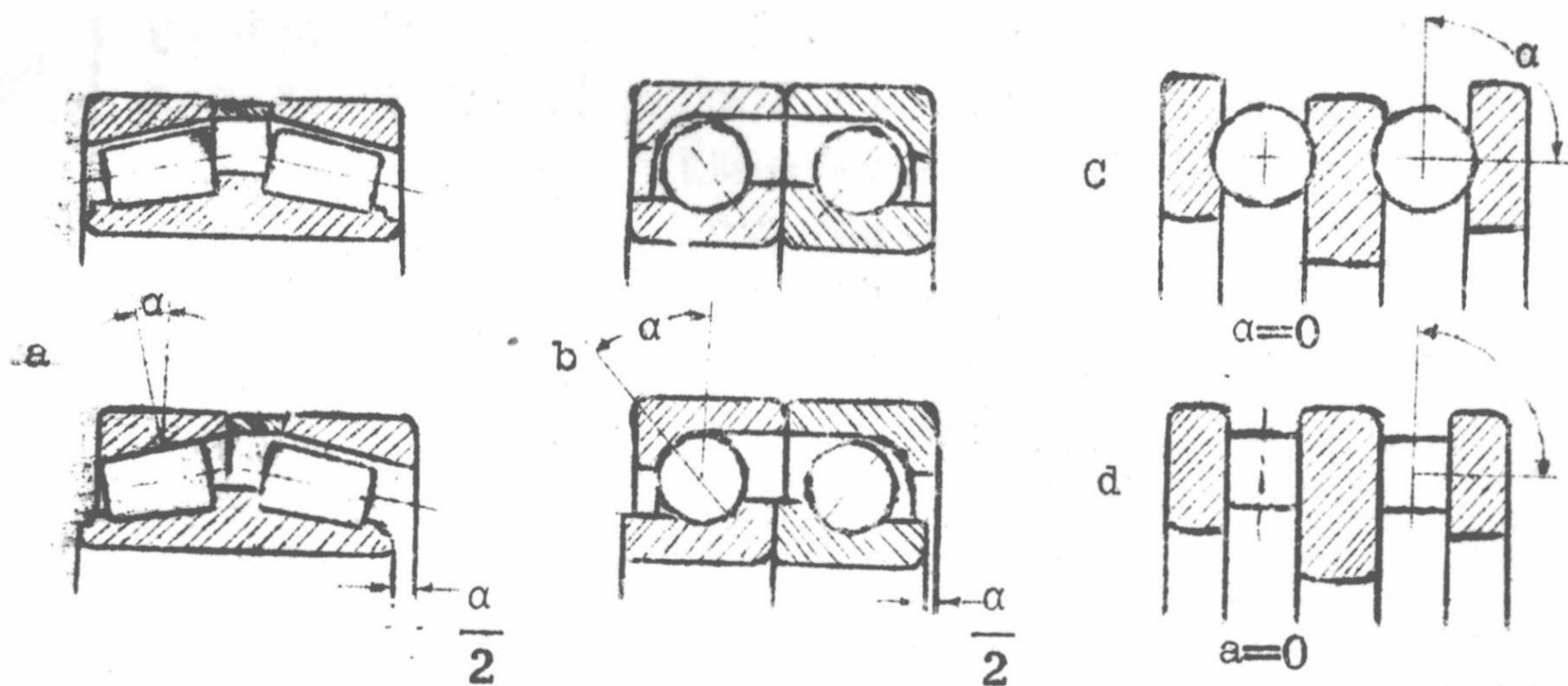


图 (9-1A) 轴向间隙，径向间隙和接触角的关系

表(9.1 A) KoYo 四列圆锥滚子轴承的内、外径和辊体直径

辊体直径(mm)		轧 辊 轴 承 (mm)		
Dimn	Dmax	型 号	d	D
205	225	48290D-48220	127.000	182.562
225	250	48680D-48620	139.700	200.025
250	275	M231649D-M23160	152.400	222.250
275	305	67791D-67720	177.800	247.650
300	330	67885D-67820	190.500	266.700
320	350	67986D-67920	206.375	282.575
350	385	M244249D-M244210	220.662	314.325
390	430	EE127097D-127135	241.478	349.148
400	440	76589D-76520	266.700	355.600
425	460	LM654644D-LM654610	279.578	380.898
460	510	M257248D -M257210	304.902	412.648
510	560	EE133136D-133180	343.052	457.098
530	580	LM763449D-LM763410	355.609	482.600
610	670	LM767749D-LM767710	406.400	546.100
630	690	LM869449D-LM869410	431.800	571.500
660	730	EE244181D-24423	457.200	596.600
700	770	EE243193D-243250	489.026	634.873
740	810	EE641198D-641265	501.600	673.100
800	880	EE843221D-843290	558.800	736.600
840	930	LM778549D-LM778510	584.200	762.000
860	950	EE649241D-649311D	609.600	787.400
900	1000	L 281149D-L281H0	660.440	812.800
960	1000	EE655271D-655345	685.800	876.300

注：摘录自 KoYo； NO. 214E10

表(9.1 B) KoYo四列圆柱滚子轴承的内、外径和辊体直径

辊体直径(mm)		轧 辊 轴 承 (mm)		
Dmin	Dmax	型 号	d	D
450	500	60FC42300	300	420
490	550	66FC46340	330	460
520	580	68FC48350	340	480
560	630	74FC52400	370	520
580	660	76FC54400	380	540
610	680	80FC56410	400	560
650	720	82FC60440	410	600
650	730	84FC60440	420	600
670	750	88FC62450	440	620
700	780	92FC65474	460	650
730	810	96FC68500	480	680
730	820	96FC68500	480	680
780	870	100FC72530	500	720
780	880	100FC72530	500	720
822	910	107FC76559	536.17	762.03
822	920	107FC76559	536.17	762.03
840	930	106FC78570	530	780
872	960	114FC81594	570	815
872	980	114FC81594	570	815
940	1040	120FC87640	600	870
940	1050	120FC87640	600	870
970	1070	127FC90674	634.5	901.87
990	1090	130FC92670	650	920
990	1120	130FC92670	650	920
1050	1160	138FC98715	690	980
1050	1180	138FC98715	690	980
1080	1190	142FC100715	710	1000
1110	1220	146FC103750	730	1030
1160	1280	152FC108787	760	1079
1190	1300	152FC108787	760	1079
1230	1350	160FC115850A	800	1150
1300	1430	173FC122889	862.98	1219.302
1360	1490	180FC128930	900	1280
1450	1600	190FC1361000	950	1360
1510	1660	200FC1421050	1000	1420
1590	1740	212FC1501120	1060	1500
1670	1840	224FC1581150	1120	1580

## ( 9.2 ) 一般技术特性

目前国外轴承制造厂家已经成功地发展了大量具有高度可靠性和在高速运转情况下具有良好性能的轧辊轴承,以满足钢铁工业日益增长的要求。一般来说,目前国外轧辊轴承都具有下述各项技术特性。

### A、高负荷能力

为使轴承在给定的尺寸范围内得到最大的寿命,其最基本的要求就是使轴承具有最大的负荷能力。为了达到这一目的,国外轧辊轴承,广泛采用支柱焊接式保持架。在这种保持架中,滚子与滚子之间的距离可以缩小,因而比一般保持架能多容纳15—20%的滚子,其额定动负荷约可增大10—15%。

采用这种支柱焊接式保持架,其重量比之筐形保持架可减少40%,保持架与滚子的相对滑动速度,大约能降低到1/5。因而适用于高速运转。

不过,由于滚子直径比较小,从滚子和支柱的强度来看,这种结构不宜用于承受较大的冲击负荷。因此,在有些轧辊轴承中仍然采用钢板冲压保持架。

### B、滚子带凸度

轧辊轴承中的滚子,由于偏移,作用力矩,或轧辊弯曲,要承受各式不同程度的边缘负荷。这些边缘负荷,对轴承寿命很有影响。为了减免这些边缘负荷,国外轧辊轴承的滚子都带凸度。至于凸度的型式,和凸度的大小,与轴承负荷的大小,轧机支承的结构及轧机工作情况,都有关系。各轴承厂家均各有其独特的规定,针对各项使用条件来设计其最合适的滚子凸度。一般来说,对于要承受

较大力矩的工作辊轴承，和宽缘钢梁轧机的立式轧辊轴承，其滚子凸度以近似于圆弧形为佳。而且在设计滚子凸度时，都以力求使滚子与滚道成修正线接触为准则。目前SKF的圆锥滚子轴承，全都是从设计上使滚子与滚道成修正线接触的。

### C、采用渗碳轴承钢

国外轴承厂家，为了提高其轴承寿命，对轴承的材质问题，从来都非常重视，把它作为提高轴承质量，增长轴承寿命的基本对策。国外比较大的轴承公司，如SKF、Timken等，历来都自办钢厂，研制并冶炼其专用的轴承钢。例如，Timken本来早就自办钢厂，而在它的从1978年起实施的规划中，就扩充安排二千三百五十万美元作投资兴建无缝钢管厂，并在79年开始投产，可增加钢管产量的30%。此外，也有不少轴承厂家与钢厂合作，以炼制其专用钢种的。

具体到轧辊轴承，由于其工作过程中，冲击震动剧烈，为了提高其耐冲击性，并防止由于轴承内径与辊颈间的爬行所引起的热裂，国外轧辊轴承的内外套圈和滚子，绝大多数都采用渗碳钢。虽有少数厂家所产轧辊轴承并不全都用渗碳钢，但其内圈必用渗碳钢。不过渗碳轴承钢的价格较之高铬轴承钢的价格约高1/3。国外也有些厂家，对于某些特定情况下的轧辊轴承，在一定的容许范围内，采用价格较低的全淬轴承钢以代替渗碳钢，并对其进行特殊的回火，使其适应于轧辊轴承的使用情况。

关于轧辊轴承所用的渗碳钢，各国牌号颇多，大都属于含有Cr, Mn, Ni, Mo等合金元素的低合金钢。日本NSK还创造了一种牌号为HNCM的渗碳轴承钢，含有0.15%以下的钒(V)，使其

内部晶粒结构细微而匀和。同时把钢中Ni含量，保持在一个适宜的低分量（32.5~37.5%），以限制其残余奥氏体不会超量，使能得到足够高的表面硬度，并使表面压缩应力可保持到一定的深度，以增大渗碳层的疲劳强度。Timken, SKF等也都有其各自创制的渗碳轴承钢，用以制造轧辊轴承。至于我们国内的轧辊轴承也采用渗碳钢来制造。

#### D. 采用真空脱气钢

为了大幅度提高轴承的寿命，防止轧辊轴承工作面的内部源剥落，国外轴承厂家大多数都采用真空脱气钢，以尽量减少钢中的非金属夹杂物。我国轧辊轴承所用渗碳钢也有采用真空脱气的。实践证明用真空脱气钢制造的轴承，其疲劳寿命大大高于一般钢材所制轴承的寿命。

#### E. 控制渗碳层深度

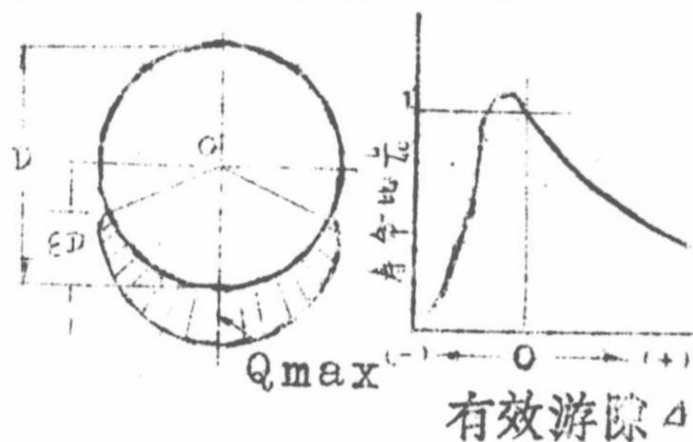
轧辊轴承用渗碳钢制造时，为了保证轴承得到更好的疲劳寿命，必须使轴承得到足够的渗碳层深度，和合适的碳浓度。在进行渗碳热处理时，必须严格控制，使其符合于技术要求。除对各项工艺参数要正确选定，各项具体操作要符合工艺规程外，还应置备必要的仪表装置，进行监测，以保证表面硬度能深达最大剪切应力所达到的深度。

#### F. 选用合适的游隙

轧辊轴承运转过程中的有效游隙与其寿命有密切关系。若有效游隙减少，负荷分布区便增大，单一滚子所承受的负荷便减少，这就有利于增长轴承寿命。但是由于内圈温度比外圈高 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{C}$ （日本一些厂家甚至考虑温差达 $24^{\circ}\text{C}$ ），滚子和滚道发生变形，从



而改变其原始间隙。此外轴承的负荷、转速、润滑和轴承本身内部结构都对其间的温升有很大影响。因而也就影响到轴承游隙的变化。是故，如何通过实际检测分析来确定轴承合适的游隙实属一重要问题。图(9AD1)是游隙与寿命的关系曲线。



$L_0$ : 有效游隙  $\Delta = 0$  时的寿命

图(9AD1) 游隙与寿命的关系

### G、提高滚动面光洁度

一般来说，轧辊轴承是在有冷却水和外界污脏杂物等的恶劣情况下工作的。此外，当高速运转时，轴承还会受热而发生高温。至于滚动体与滚道间的油膜厚度可利用  $EHD$  润滑理论计算出来。从而，滚动体与滚道间接触面的粗糙不平度，必须小于油膜的厚度。同时，若润滑油或油脂含有水分，或者由于高转速时出现高温致使润滑剂精度降低时，势必会减小油膜厚度，造成严重影响。在这样的情况下，滚动接触面上往往会产生表面源剥落，从而降低轴承的寿命。为了消除造成这些严重恶劣情况的因素，国外轧辊轴承的滚动接触面，都加工到很高的表面光洁度。特别是滚动体，它的几何精度和光洁度特别高。有些轧辊轴承滚子精度竟达 1 级，滚子滚动面光洁度也接近于 1 级精度滚子的光洁度。

### H、提高轴承的高速能力