

天线测试转台传动链回差的修正计算^{*}

肖万选

(南京船舶雷达研究所, 江苏南京 210003)

摘要:在《天线测试转台传动链回差的控制与计算》一文的基础上,以带内齿轮的特大型轴承的有关参数和摆线针轮减速器回差的测量结果为依据,用峰值综合法对传动链的回差进行修正计算。计算结果表明,在采用化学镀镍使齿轮副中心距可视为可调中心距时,传动链回差的最大值为 $2.6'$,能满足设计要求。

关键词:天线测试转台;带内齿轮的特大型轴承;摆线针轮减速器;回差

中图分类号:TN82 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-5300(2002)05-0046-03

The Corrected Computation of Backlash of Drive Chains of Antenna Testing Pedestal

Xiao Wanxuan

(Nanjing Marine Radar Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract:On the basis of the paper "The Control and Computation of Backlash of Drive Chains of Antenna Testing Pedestal" and measured results of related parameters of backlash huge bearing with internal gear and backlash of cycloidal pin-wheel reducer, backlash of drive chains is computed correctively by means of peak synthesis in this paper. The computational results indicate that on condition that using chemical nickel plating to make centre-to centre distance of gear set adjustable, maximum value of backlash of drive chains is $2.6'$, and it can satisfy design requirement.

Key Words:Pedestal for testing antenna; Huge bearing with internal gear; Cycloidal pin-wheel reducer; Backlash

1 引言

在《天线测试转台传动链回差的控制与计算》一文(即参考文献[1])中,笔者用统计计算法对回差进行了综合。指出齿轮可以采用化学镀镍来控制齿厚,以消除公法线平均长度偏差和中心距偏差所引起的回差。对于7级精度的齿轮,在采用化学镀镍使齿轮副中心距可视为可调中心距时,传动链回差的最大值不大于 $2.37'$,均方根值不大于 $1.53'$ 。由于多种原因,传动链中带内齿轮的特大型轴承,实际上按8级精度(8GJ GB10095—88)制造的。另外,实际采用的摆线针轮减速器,精度较高,其回差

小于 $8.58'$ 。因此,本文在参考文献[1]的基础上,以带内齿轮的特大型轴承的有关参数和摆线针轮减速器回差的测量结果为依据,用峰值综合法对传动链的回差进行修正计算。由于内齿轮的公法线平均长度偏差较大,为了将齿轮化学镀镍的镀层厚度控制在较小的范围内,文中还对内齿轮传动副的中心距进行修正计算。

2 带内齿轮的特大型轴承的有关参数的测量结果

表1给出了带内齿轮的特大型轴承的有关参数的测量结果。对于轴承的轴向间隙和内齿轮的公法

线平均长度,分别给出了 3 个和 3 组测点的测量值。

齿圈径向跳动和内齿轮公法线平均长度的测量值将

用于传动链回差和内齿轮传动副中心距的计算。

表 1 带内齿轮的特大型轴承的有关参数的测量结果

轴承型号	013.30.630(用于极化转台)	013.30.1000(用于方位转台)
齿圈径向跳动(mm)	0.1	0.1
轴向跳动(mm)	0.07	0.04
轴向间隙(mm)	0.10、0.09、0.07	0.05、0.07、0.06
内齿轮公法线平均 长度(mm)	176.94、176.92、176.90 (取均值 176.92)	286.40、286.38、286.40 (取均值 286.39)
外径(mm)	731.92	1121.90
齿面粗糙度(μm)	3.2	3.2
静摩擦力矩(kg · m)	2.4	3.0

3 摆线针轮减速器回差的测量结果

器回差的测量结果。可以看出,减速器 1、2 和 3 的最大回差分别为 $3'$ 、 $5'$ 和 $6'$ 。为简便起见,取最大回差为 $6'$ 。

表 2 列出了 CWV-4155-87 型摆线针轮减速

表 2 CWV-4155-87 型摆线针轮减速器回差的测量结果

减速器 编号	测 点 编 号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1'	2'	3'	3'	1'	2'	2'	3'
2	1'	2'30"	1'30"	20"	20"	20"	5'	4'30"
3	2'	1'30"	5'	3'	6'	4'	6'	6'

4 转台传动链回差的计算

4.1 极化转台

极化轴上的回差 $\Delta\varphi$ 主要是由内齿轮传动机构的回差 $\Delta\varphi_1$ 与摆线针轮减速器的回差 $\Delta\varphi_2$ (由第 3 节得 $\Delta\varphi_2=6'$) 综合而成的。根据参考文献 [1] 中的图 1 和上面的分析,设齿轮 6($Z_5=20, m=5, 7$ 级精度) 和内齿轮 7($Z_6=100, m=5, 8$ 级精度) 的齿圈径向跳动公差分别为 F_{r1} 和 F_{r2} (根据表 1 和参考文献 [2], 取 $F_{r1}=40, F_{r2}=100$), 传动比为 i_1 , 喷合角为 α (取 $\alpha=20^\circ$), 法向齿隙为 j_{n1} , 那么

$$i_1 = Z_6/Z_5 = 100/20 = 5$$

$$j_{n1} = 2(F_{r1} + F_{r2}) \sin\alpha = 2(40 + 100) \sin 20^\circ = 96$$

$$\Delta\varphi_1 = \frac{7.32 j_{n1}}{m Z_6} = \frac{7.32 \times 96}{5 \times 100} = 1.4'$$

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2/i_1 = 1.4 + 6/5 = 2.6'$$

4.2 俯仰转台

俯仰轴上的回差 $\Delta\varphi$ 主要是由扇形齿轮传动机构的回差 $\Delta\varphi_1$ 、圆柱齿轮传动机构的回差 $\Delta\varphi_2$ 与摆线针轮减速器的回差 $\Delta\varphi_3$ (取 $\Delta\varphi_3=6'$) 综合而成的。设齿轮 16($Z_{13}=17, m=6, 7$ 级精度) 和扇形齿轮 17($Z_{14}=119, m=6, 7$ 级精度) 的齿圈径向跳动公差分别为 F_{r1} 和 F_{r2} (取 $F_{r1}=40, F_{r2}=71$), 传动比为 i_1 , 法向齿隙为 j_{n1} , 利用上面的公式计算得 $i_1=7, j_{n1}=76, \Delta\varphi_1=0.78'$ 。

设齿轮 14($Z_{11}=20, m=5, 7$ 级精度) 和齿轮 15($Z_{12}=70, m=5, 7$ 级精度) 的齿圈径向跳动公差分

别为 F_{r3} 和 F_{r4} (取 $F_{r3}=40$, $F_{r4}=56$), 传动比为 i_2 , 法向齿隙为 j_{n2} , 通过计算得 $i_2=3.5$, $j_{n2}=66$, $\Delta\varphi_2=1.38'$ 。

于是

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \Delta\varphi_1 + \frac{\Delta\varphi_2}{i_1} + \frac{\Delta\varphi_3}{i_1 i_2} \\ &= 0.78 + \frac{1.38}{7} + \frac{6}{7 \times 3.5} = 1.22'\end{aligned}$$

4.3 方位转台

方位轴上的回差 $\Delta\varphi$ 主要是由内齿轮传动机构的回差 $\Delta\varphi_1$ 与摆线针轮减速器的回差 $\Delta\varphi_2$ (取 $\Delta\varphi_2=6'$)综合而成的。设齿轮 24($Z_{19}=20$, $m=6$, 7 级精度)和内齿轮 25($Z_{20}=138$, $m=6$, 8 级精度)的齿圈径向跳动公差分别为 F_{r1} 和 F_{r2} (根据表 1 和参考文献[2], 取 $F_{r1}=40$, $F_{r2}=100$), 传动比为 i_1 , 法向齿隙为 j_{n1} , 通过计算得 $i_1=6.9$, $j_{n1}=96$, $\Delta\varphi_1=0.85'$ 。

于是

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2/i_1 = 0.85 + 6/6.9 = 1.72'$$

5 内齿轮传动副中心距的计算

前面已经讲过, 由于内齿轮的公法线平均长度

偏差较大, 为了将齿轮化学镀镍的镀层厚度控制在较小的范围内, 要对内齿轮传动副的中心距进行修正计算。其基本思路是: 先用峰值综合法求出内齿轮传动副的最小切向齿隙; 然后考虑最小镀层厚度对切向齿隙的影响, 求出实际最小切向齿隙; 最后由实际最小切向齿隙求出实际最小径向齿隙的值, 此值就是内齿轮传动副中心距的增量。内齿轮传动副采用修正计算后的中心距, 可以消除实际最小齿隙, 从而有效地减小齿轮化学镀镍的镀层厚度。

表 3 提供了极化转台和方位转台的内齿轮传动副切向齿隙的计算步骤和计算结果。对于极化转台, 内齿轮传动副的切向齿隙 $\Delta_B=(180.3 \sim 411.3)\mu\text{m}$, 最小切向齿隙为 $180.3\mu\text{m}$ 。现对小齿轮进行化学镀镍, 取最小镀层厚度为 $15\mu\text{m}$, 它使传动副的切向齿隙减小 $31.9\mu\text{m}$ (由 $15 \times 2/\cos 20^\circ$ 得出)。因此, 实际最小切向齿隙 $\Delta_{BS}=180.3-31.9=148.4\mu\text{m}$ 。有了 Δ_{BS} 的值, 可以用下式求出实际最小径向齿隙 Δ_{BS}^r 的值:

$$\begin{aligned}\Delta_{BS}^r &= 0.5\Delta_{BS}/\tan\alpha \\ &= 0.5 \times 148.4/\tan 20^\circ = 0.2 \text{ mm}\end{aligned}$$

于是极化转台内齿轮传动副的实际中心距 A' 为

$$A' = A + \Delta_{BS}^r = 200 + 0.2 = 200.2 \text{ mm}$$

表 3 内齿轮传动副切向齿隙的计算

转台分系统		极化转台		方位转台	
小齿轮齿数 Z_1	内齿轮齿数 Z_2	20	100	20	138
传动比 i_k		5		6.9	
模数 m (mm)		5		6	
精度等级与侧隙规范		7FH	8GJ	7FH	8GJ
分度圆直径 $a=mZ$ (mm)		100	500	120	828
中心距 $A=m(Z_2-Z_1)/2$ (mm)		200		354	
$\Delta_L=\Delta L/\cos\alpha$ (μ)		76.6~153.2	180.9	76.6~153.2	260.7
$\Delta_a=\pm\tan\alpha \cdot \delta_z a$ (μ)		-14.6~14.6	-36.4~36.4	-14.6~14.6	-36.4~36.4
$\Delta_A=\pm\tan\alpha \cdot \delta A$ (μ)		-26.2~26.2		-32.4~32.4	
$\Delta_B=\Delta_L+\Delta_a+\Delta_A$ (μ)		180.3~411.3		253.9~497.3	

注:(1) α —啮合角, $\alpha=20^\circ$; ΔL —公法线均长偏差; Δ_L —由公法线均长偏差引起的切向齿隙; $\delta_z a$ —齿轮度量中心距变动量的公差, 对于小齿轮取 $\delta_z a \approx Fr$ (齿圈径向跳动公差), 对于内齿轮取 $\delta_z a \approx$ 齿圈径向跳动的实际测量值; Δ_a —由齿轮度量中心距变动引起的切向齿隙; δA —内齿轮传动副中心距的公差; Δ_A —由内齿轮传动副中心距偏差引起的切向齿隙; Δ_B —内齿轮传动副的切向齿隙。

(2)对于极化转台, 内齿轮公法线平均长度 $W=176.750 \text{ mm}$ (取跨测齿槽数 $k=12$), 实际测量值为 176.92 mm , 因此 $\Delta_L=(176.92-176.750)/\cos 20^\circ=180.9 \mu\text{m}$ 。对于方位转台, 内齿轮公法线平均长度 $W=286.145 \text{ mm}$ (取跨测齿槽数 $k=16$), 实际测量值为 286.39 mm , 因此 $\Delta_L=(286.39-286.145)/\cos 20^\circ=260.7 \mu\text{m}$ 。

(3) ΔL 、 Fr 、 δA 的值是通过查表(参考文献[2])和计算得到的。

(下转第 52 页)

但当钻模和天线在不同温度下加工时,孔位偏差可能会更大,因此应尽可能使两者的加工温度一致。

从计算结果还可以看出,温度变化对标记点的Y向(阵面法向)位移影响很小,亦即由标记点构成的平面的平面度变化很小。该平面度误差远小于0.05mm的设计要求。钻模重量4.6吨,重心位置X=-1.502M,Y=-0.3177M,Z=-1.908M,与天线基本一致。

综上所述，该钻模能够满足设计要求。

(上接第 48 页)

对于方位转台,内齿轮传动副的切向齿隙 $\Delta_B = (253.9 \sim 497.3)\mu\text{m}$,最小切向齿隙为 $253.9\mu\text{m}$ 。取化学镀镍的最小镀层厚度为 $15\mu\text{m}$,实际最小切向齿隙 $\Delta_{BS} = 253.9 - 31.9 = 222\mu\text{m}$,实际最小径向齿隙 Δ_{BS}^r 的值为:

$$\Delta_{ps}^r \equiv 0.5\Delta_{ps}/\tan\alpha \equiv 0.5 \times 222/\tan 20^\circ \equiv 0.3 \text{ mm}$$

于是方位转台内齿轮传动副的实际中心距 A' 为

$$A' = A + A_{\text{BS}}^r = 354 + 0.3 = 354.3 \text{ mm}$$

6 结语

根据上面的分析,可以得出下列要点:

(1) 对于天线测试转台来说,在内齿轮采用 8 级精度而其它齿轮仍采用 7 级精度的情况下,如果采用化学镀镍使齿轮副中心距可视为可调中心距的

参考文献

- ² 刘鸿文主编, 材料力学, 北京: 高等教育出版社, 1992.

作者简介:唐宝富,男,工程师,主要从事天线结构设计工作。

王浚海,男,助理工程师,主要从事天线结构设计工作。

话,极化、俯仰和方位传动链在输出轴上回差的最大值分别为 $2.6'$ 、 $1.22'$ 和 $1.72'$,均小 $3'$,能满足设计要求。

(2) 按照实际最小径向齿隙来修正齿轮传动副的中心距,是消除实际最小齿隙、减小齿轮化学镀镍的镀层厚度的有效方法。

参考文献

- 1 肖万选. 天线测试转台传动链回差的控制与计算. 电子机械工程, 2002 (4)
 - 2 成大先等. 机械设计手册. 北京: 化学工业出版社, 1993.

作者简介:肖万选,男,研究员,主要从事舰载雷达结构的研究设计工作

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>