

# 用 MOD 法评价齿轮精度指标的测量效率

裴玲 李峰 冯佩兰

湖北汽车工业学院

**摘要:**介绍了模特排时法(MOD)的基本原理,用MOD法测定和评价了各项齿轮精度检测项目的测量效率,提出了合理选择齿轮精度检测项目的原则和方法。

**关键词:** 齿轮, 精度指标, 模特排时法, 测量效率, 评价

## Evaluation of Measuring Efficiency of Gear Accuracy Item by MOD

Pei Ling Li Feng Feng Peilan

**Abstract:** The basic principle of Modular Arrangement of Predetermined Time Standard(MOD) is introduced. By using MOD, the measuring efficiency of inspection items about gear accuracy are determined and evaluated. The principle and method of reasonably selecting inspection items about gear accuracy are presented.

**Keywords:** gear, accuracy item, MOD, measuring efficiency, evaluation

### 1 引言

精益生产方式的特点是消除一切浪费,追求精益求精和不断改善。“精简”是精益生产的核心原则之一,要精简产品开发、设计、生产、管理中一切不产生附加值的工作,旨在以最优品质、最低成本和最高效率对市场需求作出最迅速的响应。

从质量角度来讲,精益生产追求高品质,要求不良产品为“零”,而且“零”废品不是在检验工位检测出来的,而应在不良产品产生的源头就予以消除。从某种意义上来说,质量检验以精益生产方式的理

念看来是一项不增加价值的生产活动。当出现不良产品时,临时的补救措施是治标不治本的行动。所以,加工完毕后的被动检验本身就是一种浪费。

在齿轮的精益生产方式中,在保证质量稳定的前提下,实现高标准、高可靠性、低成本的齿轮精度检验,是进一步降低生产成本、保证按时交货需要解决的问题。

运用工业工程(IE)的方法,研究齿轮各项精度指标的作业标准与测量效率,是减少废品、降低各种质量成本(如材料的损失、设备和人工工时的损失、额外的修复、挑选和追加检查、额外的检查员及检查工位等)的科学而有效的途径。

收稿日期 2004年8月

偿动作,自动记录补偿值,对测量读数进行补偿修正,回显在自动补偿对话框中。

直径的误差曲线图是根据传感器测得的数据转换成直径误差值后,再结合工件转动的相位形成的图形。在该图形中,可根据出现正弦波的个数来判断出所测截面的棱边数,这对采用3S90°这种测量方法来说是很重要的,因为要采用这种方法测量圆度时必须知道圆的棱边数。

### 4.2 评价

#### (1) 圆度误差

圆度误差  $f$  的评价采用的是

$$f = \frac{\sum \Delta_i}{n}$$

其中  $\Delta_i = r_i - r_0$

式中  $r_i$ ——各测量点所在处的半径值

$r_0$ ——理论半径值

$n$ ——测量点的个数

#### (2) 径向圆跳动误差

径向圆跳动误差  $f$  的评价采用的是

$$F = \max(r_i) - \min(r_i)$$

式中  $r_i$ ——各测量点所在处的半径值

$\max(r_i)$ ——各测量点所在处的最大半径值

$\min(r_i)$ ——各测量点所在处的最小半径值

#### 参考文献

- 1 机电一体化技术手册编委会. 机电一体化技术手册. 北京: 机械工业出版社, 2004
- 2 成大先. 机械设计手册. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 3 于汶. 零件尺寸的自动检测. 河北: 中国计量出版社, 1989
- 4 曾宪铮. 形位误差测量. 北京: 国防工业出版社, 1979
- 5 卢文祥, 杜润生. 工程测试与信息处理. 武汉: 华中理工大学出版社, 1994

第一作者 徐莹, 重庆工商大学机械工程学院, 400067 重庆市

## 2 齿轮精度检测项目的测量效率评价

### 2.1 作业标准与测定原理

齿轮精度指标检测的作业标准与测定方法采用由澳大利亚的海特博士创立的模特排时法( Modular Arrangement of Predetermined Time Standard ,简称 MOD 法)。MOD 法也称为预定动作时间标准,其基本原理来源于对大量人机工程学试验的归纳总结。通过试验可以发现如下规律:在作业条件相同的情况下,不同的人做同一动作所需的时间基本相等。MOD 法根据人的动作级次,选择以一个正常人的级次最低、速度最快、能量消耗最小的一次手指动作的时间消耗值作为时间单位,即

$$1MOD = 0.129s \quad (1)$$

MOD 法把人的动作分成上肢、下肢、其它等动作,分别用符号 M、G、P、F、W 等来代表,符号后赋予数字 1、2、3……表示模特时间值,如 M1 代表 1MOD = 0.129s, M2 代表 2MOD 等,以此类推。

### 2.2 齿轮精度检测项目动作与时间的实际测定

对各齿轮精度指标相应检测项目的检测动作时间标准的分析结果列于表 1~表 3。其中表 1 为公法线长度检测项目;表 2 为径向综合偏差检测项目;表 3 为齿圈径向跳动检测项目。

表 1 用公法线千分尺测量公法线长度检测时间标准

序号	动作内容	动作分析式	MOD 值	时间( s )
1	拿公法线千分尺	M4G1M4P5	14.00	1.81
2	测量第 1 点: 拧粗进给螺母 拧精进给螺母 锁紧千分尺 取下千分尺 判断读数 松开锁紧 松开粗调螺母	M3G1M1 * 2 * 3POD3 M2G1M1 * 2 * 4POD3 M2G1M1PO M4 E2 * 2D3 M2G1M1PO M2G1M1 * 2 * 4PO	57.00	7.35
3	将零件转过 1/3 周	M4G3M2R2P2	13.00	1.68
4	将千分尺放在零件上	M4P5	9.00	1.16
5	测量第 2 点: 拧粗进给螺母 拧精进给螺母 锁紧千分尺 取下千分尺 判断读数 松开锁紧 松开粗调螺母	M3G1M1 * 2 * 3POD3 M2G1M1 * 2 * 4POD3 M2G1M1PO M4 E2 * 2D3 M2G1M1PO M2G1M1 * 2 * 4PO	57.00	7.35
6	将零件转过 1/3 周	M4G3M2R2P2	13.00	1.68
7	将千分尺放在零件上	M4P5	9.00	1.16
8	测量第 3 点: 拧粗进给螺母 拧精进给螺母 锁紧千分尺 取下千分尺 判断读数 松开锁紧 松开粗调螺母	M3G1M1 * 2 * 3POD3 M2G1M1 * 2 * 4POD3 M2G1M1PO > < M4 E2 * 2D3 M2G1M1PO M2G1M1 * 2 * 4PO	57.00	7.35
9	放回千分尺	M4P2	6.00	0.77
10	合计	注: 在圆周均布的三个方位测量	235.00	30.32

表 2 齿轮径向综合偏差检测时间标准

序号	动作内容	动作分析式	MOD 值	时间( s )
1	装表: 取百分表 将百分表固定在检具上	M3G1M3P5 M1 * 2 * 2PO	16.00	2.064
2	对表: 将对表轴套转到对表位置 扳动手柄使检具处于对表位置 调整表盘 校表 [ 扳回手柄 ] 将对表轴套转到测量位置	M3G1M1POE2D3 M3G1M3E2 D3M * 2E2D3 M3G1M1E2D3M1 E2D3PO M3 * 2E2D3M3M3PO M3G1M1E2D3PO	76.00	9.80
3	装上零件: 装上零件 调批零件	M4GaM4LaP5 M1 * 2 * 2P2	29.00	3.74
4	测量中心距极限偏差和测量一齿径向综合误差: 扳动手柄使检具处于测量状态 旋转齿轮判断, 读数, 测量中心距极限偏差 旋转齿轮, 判断读数, 测量一齿径向综合误差	M3G1M3E2D3R2PO M3G1( M2 * 2E2D3 ) * 8PO M3G1( M2E2D3 ) * 5PO	129.00	16.64
5	取下零件	M3GaM2M4LaP2	21	2.71
6	卸下百分表: 松开百分表 取下百分表	M3G1M1 * 2 * 2 * 2PO M3G1M3P2	17	2.19
7	合计	注: 重量因素分别取为 Ga = 4, La = 6	288	37.15

表 3 齿圈径向跳动检测时间标准

序号	动作内容	动作分析式	MOD 值	时间( s )
1	取磁力表架, 放在合适位置	M4G1M4P2M3G1M2PO	17.00	2.19
2	擦拭齿面, 将滚柱放到齿面间	M3G1M3M2 * 2M3PO M3G1M3E2P5D3R2D3	36.00	4.64
3	调整表架: 松开旋钮 先调整到合适位置	M3G1M1PO M2G1M2R2D3M2G1M1POM3G1M1PO M2G1M2R2D3POM2G1M1PO * 2	76.00	9.80
4	调整表盘对表: 右手轻微转动零件, 左手微调表盘	M3G1 ( M3G1M2 * 2E2D3R2D3 ) * 3PO	58.00	7.48
5	擦拭齿面, 将滚柱放到齿面间	M3G1M3 M2 * 2M3PO M3G1M3E2P5D3R2D3	36.00	4.64
6	测量	M3G1M2E2D3 * R2D3 * 3M2PO	21.00	2.71
7	松开表架, 放回表架, 放回滚柱: 松开旋钮	M3G1H1PO M2G1M2POM2G1M1PO M3G1M2POM3P2 M3G1M3P2	34.00	4.39
8	合计	注: 仅为单齿检测时间	278.00	35.86

### 表 3 补充说明:

- (1) 盘类零件采用以下检具: 顶尖平板, 磁力表架, 百分表, 锥度芯轴, 量棒。
- (2) 测量时检具、零件均放在 450mm 范围以内。
- (3) 测量总时间为装卸时间与检测时间累加值。
- (4) 测量盘类零件齿圈径向跳动实例:

已知:零件质量为 3.00kg,芯轴质量为 3.00kg,齿轮齿数为 33。则总的 MOD 值为

$$T = T_{\text{装卸}} + T_{\text{检测}} \quad (2)$$

根据零件质量,可得装卸总时间为: $T_{\text{装卸}} = 316$  (MOD)

根据齿数查表 3,可得检测总时间为: $T_{\text{检测}} = 1133.00$  (MOD)

总的 MOD 值为: $T = T_{\text{装卸}} + T_{\text{检测}} = 1449.00$  (MOD)

再由式(1)可得检测作业时间为: $1449.00$  (MOD)  $\times 0.129 = 186.92$  (s)。

### 2.3 各检测项目的测量效率分析

由以上测定结果可知,齿圈径向跳动检测项目的测量时间随齿数的增多而增加,测量时间相对较长。公法线长度的测量与测量方位有关,表 1 仅为选取沿圆周均布的 3 个测量方位的测定结果,如果测量时选取沿圆周 60°均布的 6 个方位,则测量时间值将增加一倍。齿轮径向综合偏差的测量与齿数基本无关,测量效率最高。此外,除公法线长度的测量外,其余两项检测需要考虑零件重量,即需要计算零件在检测中的装卸时间。

## 3 齿轮精度检测项目的合理选择

在新的齿轮精度国家标准中,与轮齿齿面相关的误差项目包括齿廓偏差、螺旋线偏差、齿距偏差、切向综合偏差等。新的齿轮精度国家标准对齿形(齿廓)等项目相应精度等级的公差值放松了 0.5 ~ 1 级,对齿形的齿端部公差的规定也较为合理,在齿顶处 8% 允许负偏差,公差值放松 3 倍(因其不影响并可改善齿轮的传动性能)。这些规定对齿轮制造者是比较有利的,用国产齿轮机床和刀具加工齿轮时,可以协调考虑各项精度指标。此外,当齿形(齿廓)和齿向(螺旋线)均达到相应精度等级的数值时,其齿距精度尚有一定的富余量。因此,齿廓偏差等是关键精度检测项目。

对于齿轮加工工艺过程的控制,剃齿加工是关键工艺。对于一批零件来说,应通过合理选择及调整加工机床和切削刀具来实现其精度要求,应严格执行首件检查和终检抽查规定。设计齿形和设计齿向的精度要求主要通过剃齿刀的修磨来保证。对于有齿廓修形的加工,应根据齿形和齿向检测数据,通过调整机床和刀具来满足加工精度要求。

在齿轮精度检测中,应根据齿轮的 4 项使用要求,分 3 个公差组和侧隙指标来合理选择检测项目,并具备相应的检验组。例如,在第 I 公差组中,切向

综合偏差  $F_i'$  和齿距累积偏差  $F_p$  均可较全面地反映齿轮一转中的转角误差,因此在检验组中只需选用其中一项即可(切向综合偏差  $F_i'$  可作为替代指标,新标准将偏差数值列入标准的附录 A 中);径向综合偏差  $F_1'$  和齿圈径向跳动  $F_r$  均属反映径向误差的项目(两项指标均为齿距累积偏差的替代指标,偏差数值列入标准的附录中),其中,径向综合偏差  $F_1'$  可作为齿圈径向跳动  $F_r$  的替代指标,并可反映齿距偏差、齿廓偏差和齿廓倾斜偏差。公法线长度变动  $F_w$  为切向误差项目,主要由机床分度蜗轮副的运动偏心所导致。随着齿轮加工机床及刀具精度的提高,在使用数控机床及先进切齿工艺进行加工时,可不必再规定公法线长度变动指标  $F_w$  (新标准中已取消了公法线长度变动指标  $F_w$ )。

## 4 结语

齿轮精度检测项目众多,需要进行大量测量操作。

齿距、齿廓和螺旋线是衡量齿轮精度最基本的检测项目,其余指标可不必作详细的逐项检测。选择的检测指标应能正确评估齿轮的质量水平和精度等级,保证满足对齿轮的基本使用要求。

对于某些必须严格保证的齿轮检测项目,也应合理选择检测方式。例如,齿轮的最小侧隙虽然与精度无关,但只有满足非工作齿面的最小法向侧隙,才能保证齿轮的正常工作状态。由于直接测量齿轮中心距和法向齿厚这两个侧隙平面尺寸链的组成环较为困难,因此可通过对检测器具作适当校准后,通过检测径向综合偏差及公法线长度来控制齿轮最小侧隙啮合的中心距和功能齿厚。

随着齿轮加工水平和测量水平的提高,对于齿轮精度的理念也在不断更新。今后,在齿轮检测中应更加注重检测项目的测量效率和可靠性。

### 参考文献

- 1 刘胜军. 精益生产方式. 深圳:海天出版社, 2002
- 2 国家标准:渐开线圆柱齿轮精度(GB10095.1~2—2001 idt ISO1328-1~2:1995~1997). 北京:中国标准出版社, 2002
- 3 国家标准:圆柱齿轮检验实施规范(GB/Z18620.1~4—2002 idt ISO/TR10064-1~4:1992~1998). 北京:中国标准出版社, 2002
- 4 历始忠. 90 应用年代 ISO 1328 新标准提高齿轮产品质量和效益. 标准与质量, 199(9): 18~20  
第一作者 裴玲, 工学硕士, 副教授, 湖北汽车工业学院机械系 A42002 湖北省十堰市