

三坐标测量机的发展趋势

张 国 雄



张国雄 教授

摘要: 三坐标测量机在先进制造技术与科学研究中有广泛应用。从提高精度、效率、探测技术、软件、结构材料、控制系统、进入制造系统、发展非正交坐标测量系统、环境问题、误差检定与补偿等方面对三坐标测量机的发展趋势作了分析。

关键词: 三坐标测量机; 发展趋势; 精度; 效率; 探测技术; 软件; 控制坐标系; 环境; 误差检定; 误差补偿

中图分类号: TH82

文献标识码: A

三坐标测量机作为一种通用性强、自动化程度高、高精度测量系统在先进制造技术与科学研究中有极广泛的应用。它首先将各种几何元素的测量转化为这些几何元素上一些**点集坐标位置的测量**。在测得这些点的坐标位置后,再由软件按一定的评定准则算出这些几何元素的尺寸、形状、相对位置等。这一工作原理,使三坐标测量机具有很大的通用性与柔性。从原理上说,它可以测量任何工件的任何几何元素的任何参数。科技与生产的发展对三坐标测量机不断提出新的、更高的要求^[1]。

1 提高测量精度

精密级的三坐标测量机的坐标测量精度可达到**微米级**。但是现代的超精加工、科学研究往往提出**纳米级**的精度要求。在生产中一般要求测量不确定度小于制造公差 $1/3 \sim 1/5$ 。但目前商品三坐标测量机的精度远低于钻石切削或其它超精加工机床。只能在超精加工后,在原机床上将刀具换成**测头,进行检测**。这在原理上是不合理的,因为有许多共同的因素影响,使许多误差不能被发现。应该对三坐标测量机的精度提出进一步的要求,以适应超精加工与科学技术发展的需要。

为了提高测量机的测量精度,需要采取一系列综合性措施:

(1) **提高标尺精度** 随着廉价、便于使用的半导体激光器的发展,**激光干涉标尺**将在测量机中得到较多应用。特别是对于大型三坐标测量机,这种“无形”标尺更有其独特的优点。在采用激光干涉标尺时,一是不要让激光产生的热影响测量机的精

度,**激光器**常放在隔热舱外;二是要**注意折射率的补偿**。在大气中进行测量的激光干涉仪的综合精度很难优于 1×10^{-7} 。美国劳伦斯利物莫尔实验室采用了让光束在氦气中通过的办法^[2]。由于氦气性能稳定,使温度、气压对折射率的影响仅为大气的 $1/10$ 。诚然,**最理想的是让光束在真空中通过**。许多国家也在进行这方面的研究,但目前还没有成功的例子。问题是**靶标要在密闭光路内移动**,光路内部为真空,外部为大气。当大气压力变化时,滑座会产生附加变形,产生测量误差。

(2) **提高结构精度** 其中包括测量机主机、分度台、测头及其附件的精度。这里尤为重要的是提高它的重复精度。系统误差可以通过**软件补偿**的方法来减小其影响。

(3) **减小环境因素带来的影响** 特别要注意避免复杂力变形与热变形,这要从结构和环境控制两方面采取措施。

(4) **适当的采样策略**^[3] 采样策略对被测参数的测量不确定度有很大影响。应当说,目前对采样策略的研究还很不够。测量机应具有智能功能,能针对被测参数及精度要求,实现最佳采样策略。

2 提高效率

生产节奏不断加快,要求测量机在保证测量精度的同时,还要有较高的效率。为了提高测量机的效率,需从以下几个方面采取措施。

(1) **改进测量机的结构设计,减轻运动部件的质量** 包括采用密度与杨氏模数之比低材料、薄壁空心结构等。铝、陶瓷、人工合成材料在测量机中获得了越来越多的应用。

(2) **提高控制系统性能** 使测量机能以较高速度运动,同时运动平稳,准确定位,不产生振荡。过

收稿日期: 1999- 10- 30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59675083)

冲等现象

(3)采用飞测与扫描测量方式 在触测情况下,由于工件与测头的接触速度不能太大,这就给探测速度带来很大限制。扫描测量方式虽比点位测量方式效率高得多,但仍受触测的限制。采用非接触测头,特别是在测量机连续运动过程中实现“飞测”,可避免频繁加速、减速、碰撞等,可大大提高效率。

(4)对动态误差进行补偿^[4] 动态误差与测量机的结构参数和运动规程有关。在研究这些特性的基础上,既可以改进测量机的结构设计,又可以按照测量机的结构参数与运行规程进行动态误差补偿。在实现高效率同时保证高精度。

(5)提高软件的运行速度 一般情况下软件运行速度不是限制测量机效率的主要因素,但对高速运动的三坐标测量机,必须同时提高软件运行速度,使它不影响测量机效率。

(6)对可靠性与安全保护提出更高的要求 从保护看,非接触测头有很大优越性。

3 发展探测技术,完善测量机配置

探测技术在三坐标测量机中占有重要位置。从原理上说只要测头能触及,三坐标测量机就能测量。三坐标测量机的测量效率也首先取决于探测速度。为了完善测量机功能,还必须发展各种附件。

探测技术发展的第一个重要趋势是,非接触测头将得到广泛的应用。非接触测头具有许多优点:
① 允许高的探测速度,还可以用摄像头或莫尔条纹形成的等高线等,对一个面进行测量;
② 它与工件不接触,没有测量力,从而可以测量各种柔软的、易于变形、划伤的工件;
③ 它可以形成很小的光斑,对一些接触测端不易伸入的部位或细节进行测量;
④ 在不少情况下,它具有较大的量程。

十分重要的是,在微电子工业中有许多二维图案,如大规模集成电路掩模,它们是用接触测头无法测量的。近年来国外光学三坐标测量机发展十分迅速。光学三坐标测量机的核心就是非接触测量。

正因为非接触测头具有这样一些突出的优点,欧洲共同体已专门立项对非接触测头的性能检定方法进行研究,以期在短期内制订相应标准和规程^[5]。他们将非接触光学测头分为一维测头(包括三角法、离焦法、自聚焦法、反射强度法、干涉法等),二维测头(包括像面扫描法、物面扫描法、光学图像识别法、光学富里叶分析法等)和三维测头(莫尔条纹法、体视显微镜等)。

在光学非接触测头开发中最大的问题是轮廓

边缘的定义。在不同照明下测得的边缘位置不同^[6],工件表面状况也对它有影响。还要求光学轮廓边缘应与机械轮廓边缘一致。

与发展非接触测头的同时,具有高精度、较大量程、能用于扫描测量的模拟测头,以及能伸入小孔、用于测量微型零件的专门测头也将获得发展。

不同类型的测头同时使用或交替使用,也是一个重要发展方向,例如,工件上不同特征的元素需用不同形式的测头,或者先用摄像头大体找到某一元素(如小孔)的位置,再用接触测头去探测。这种思路,也可用于自动生成测量路径。

测头的功能在很大程度上取决于它的附件。各种形式的测端和探针、接长杆、回转体、自动更换测头系统近年来获得很大发展,并将进一步发展。

为了增强三坐标测量机功能,还将发展计算机数控的分度台与回转台。配置一维或二维分度台(能绕两个相互垂直轴回转的分度台),使三坐标测量机变为四坐标或五坐标测量机。精密回转台还使三坐标测量机具有圆度测量功能。

4 采用新材料,运用新技术

近年来,铝合金、陶瓷材料以及各种合成材料在三坐标测量机中得到了越来越广泛的应用。

铝合金特别适合于制作高速运行的三坐标测量机。它导热好,不易产生复杂热变形。尽管它线膨胀系数较大,但简单热变形比较容易补偿。它耐磨性差,可在其表面涂覆一层耐磨的陶瓷材料,德国Zeiss公司的CARAT技术就是一例^[7]。

为了克服陶瓷导热性能差、难以加工的缺点,正在开发各种人工合成陶瓷。可以按需要做成各种所需形状。还可以通过适当的材料“设计”,使它具有所需的性能。

还有一些材料将在制作一些有特殊要求的测量机部件中得到应用,例如,在超高精度的三坐标测量机中,采用零膨胀系数的微晶玻璃制作一些关键部件;利用膨胀系数小、具有高的弹性模量与密度小的碳纤维制作探针与接长杆等。

其它一些新技术,例如磁悬浮技术也会在测量机及其测头中获得应用。

5 发展软件技术,发展智能测量机

测量机的功能主要由软件决定。三坐标测量机的操作、使用的方便性,也首先取决于软件。

测量机软件所覆盖的范围越来越大。它不仅包括坐标系的转换、测端半径补偿、控制软件、数据处理软件,还包括误差补偿软件, CAD/CAM 软件与

网络通信软件等。从每一类软件的内容看,也越来越丰富。

随着数值计算算法的发展,从评定准则上看,已从目前多数测量机只有按最小二乘条件进行评定的软件,向同时具有按最小二乘条件、最小区域、最小外接与最大内接等各种准则进行评定的软件发展。

按样条函数、NURBS 等进行拟合^[8]、建模以及各种仿真软件也在不断发展。还有与生产系统的网络进行通信,按测量结果实现 CAD/CAM 及反向工程的各种软件。

对测量结果进行统计分析,给出统计参数。按统计参数反馈的软件也在迅速发展。它们不仅用于产品质量的评定,而且用于对生产系统的监控。

测量机每一项新技术的发展,都必须有相应配套的软件技术跟上。为了将三坐标测量机纳入生产线,需要发展与网络通信、建模、CAD 实现反向工程的软件。为了发展非正交坐标系三坐标测量机,也要发展一系列新的三坐标测量机软件。

可以说测量机软件是三坐标测量机中发展最为迅速的一项技术。软件的发展将使三坐标测量机向智能化的方向迈进。很难对智能三坐标测量机下一个定义,因为它在不断地发展,但它至少应包含下述内容:

(1)能进行自动编程 三坐标测量机软件的发展使编程日益简化,但总还需要编程。自学编程首先需要人工操作一遍。自动编程分两种情况:有图纸与没有图纸。对于前者,首先需要读入图纸,然后按照图纸的要求,利用存储在计算机内的知识库与决策库确定测量策略,自动选择配置,安排测量路径,编排测量程序。目前对有 CAD 图纸的情况,相对来说有一些成功的经验。对没有 CAD 图纸的情况,基本上还是空白。对于后者,就要利用若干个摄像头,大致地测出工件形状,然后在此基础上实现自动编程。

确定测量策略包括基面的选择、测量项目和采样点的安排等。配置的选择,包括测头的选择,附件如接长杆、回转体与测端的选择,分度台的选用等。测量路径的选择包括防止碰撞的计算机仿真检验、测量路径优化等。这里还包括工件安放位置的自动识别,否则就无法实现无碰撞的测量路径规划。

(2)按测量任务对测量机进行优化 智能测量机能够按照测量任务,提示工件最佳安装位置,并针对被测参数进行优化。

(3)在测量前对测量不确定度作出评定 并按此确定采样策略与测量速度。

(4)故障自动诊断 自动化程度越高、运行速度越高的测量机,对可靠性的要求越高,对故障自动诊断的要求越高。故障自动诊断不仅包括在发生使测量机无法正常工作的故障,而且包括出现其它一些不正常现象,例如室温偏高,测得数据明显不合理(如超差太大)时发出提示。也可以在发现有超差(或临近公差带边缘)时,发出重测指令。

6 控制系统更开放

三坐标测量机的测头在整个控制中起重要作用,随着测头类型与信号形式的不同,在控制上产生一些特殊性。然而从整个发展趋势来看,加快发展开放式的控制系统是必然的。在现代制造系统中,测量的目的越来越不能仅仅局限于成品验收检验,而是向整个制造系统提供有关制造过程的信息,为控制提供依据。三坐标测量机越来越多地成为现代制造系统的一个有机组成部分,能与其它生产机器联网、通信,完成计算机辅助设计、制造、工艺规划。从这一要求出发,必须要求测量机具有开放式控制系统,具有更大的柔性。

7 成为制造系统的组成部分

从发展趋势来看,三坐标测量机将越来越多地用于生产线,成为制造系统的一个组成部分。没有其它任何测量仪器,具有三坐标测量机这样的柔性、万能性,能在计算机控制下完成各种复杂测量,能与加工机床交换信息,完成保证质量、控制加工的任务;或根据测试结果,构成 CAD/CAM 软件,实现反向工程。为了使测量机能更好地用于生产环境,进入制造系统,需在下述方面进一步提高测量机的性能。

(1)进一步提高测量机的工作可靠性 增强其安全保护性能,避免由于测量机的故障影响整个制造系统的工作。

(2)增强其环境适应能力 一般地说在车间条件下,温度、温度变化、温度梯度、振动、电气干扰等情况都要比计量室恶劣,测量机应能适应这些条件。

(3)测量机应有较完善的软件功能 能与制造系统的网络交换数据,有建模与生成 CAD/CAM 软件的功能。

(4)具有开放式的控制系统 能与制造系统中的其它机器统一控制、协调工作。

(5)能有较高的运行速度与测量节拍 能符合生产节拍的需要。

8 发展非正交坐标系测量系统

非正交坐标系测量系统从原理上说基于三角测量法。三角测量法可以基于长度测量或角度测量,基于长度测量的方法可以达到更高的精度,特别对大尺寸测量更是如此。

非正交坐标系三坐标测量机很重要的应用是对大尺寸测量。测量头是临时安装的,要对测头相对位置标定后才能进行测量。标定的方法有两类:一类是利用一些标准件来进行标定,另一类是通过冗余测量来实现自标定。后一种方法避免了大型实物基准,使用方便,也能达到较高精度,是一个发展方向。

近年来,也出现了一些中小型非正交坐标系三坐标测量机,它们的优点是不需要精密的导轨和标尺,测量空间开阔,操作方便,但精度一般不很高。作为车间用的测量仪器,这类测量机会有有一定发展,但正交坐标系仍将占主要位置。

9 加强环境问题的研究

三坐标测量机的测量精度不仅取决于机器本身的精度,而且依赖于环境条件。在许多情况下,环境条件的影响往往成为制约因素^[9]。这与下述情况有关:

(1)尺寸测量的精度对温度十分敏感。包括标尺和工件的线膨胀,电气元件的温漂,大气折射率变化等。减小温度误差主要有2条途径:温度控制与温度误差补偿。为了实现误差补偿,不仅要精确测量温度,而且要精确知道测量机标尺与工件的线膨胀系数,还要不让机器有复杂变形。

除了温度误差以外,还有振动等的影响。可以说振动是无处不在的,振动对测量结果可能产生相当大的影响,而且不好补偿。

(2)减小环境条件影响方面所取得的进展缓慢。产生这一情况的主要原因如下:①对环境问题的重要性、严重性认识不足。②环境影响研究非常艰难。环境因素很多,以温度而言,不仅仅是一个温度值,温度变化的规律,热传播的途径,测量机零部件的结构、材料等都有影响。③这是一项跨学科的研究。无论如何,环境影响问题到了非解决不可的时候了。

(3)制造系统的发展提出更高的要求。三坐标测量机正向在车间使用,进入制造系统的方向发展,这更加重了环境问题的复杂性与环境研究的迫切性。

近年来,在这一领域取得较好成效的成果有,

采用油淋的方法使机器得以恒温;采用多层恒温,即恒温楼加恒温室加恒温罩等多层恒温方法;与此相似的是多层隔振的方法,厂房实验室远离振源,机器采用单独地基再加防振台;采用高导热材料,减小温度梯度;采用低膨胀系数与热平衡结构;利用神经网络等建立热变形模型,进行温度误差补偿;让光束在氦气中通过,减小环境条件对介质折射率的影响等。有的综合采用上述措施。

10 加强量值传递、误差检定与补偿研究

三坐标测量机作为一种计量仪器,其功用就是将“米”的值按其定义以一定的精确度向被测工件的传递。作为一种计量仪器,三坐标测量机本身必须按量值传递的规程经过严格的检定。

在一段时期内,检定三坐标测量机最常用的方法是单项误差测定的方法,即首先测出定位误差、直线度运动误差、角运动误差、垂直度误差、探测误差、附件误差、力变形与热变形误差、动误差,然后按照一定的数学模型进行合成,得到总误差。这种方法的优点是直观,能直接得到原始误差,精度也较高。缺点是比较复杂,所需仪器比较多,耗时也较长,合成用的模型有一定近似性,测试条件与测量机工作条件不完全相符。

近年来,国际上纷纷推出用实物基准对三坐标测量机进行误差检定的方法,其优点是方法简单,只需用一种标准器具,能在计算机控制下自动完成检测程序,并且比较符合测量机实际工作情况,检测结果包含探测误差。但是多数实物基准只能对测量机进行性能评定,而不能对它进行检定,即不能从这一些测试结果中分解出全部21项机构误差,也不能保证全面反映测量机在整个测量空间的误差情况。

在利用实物基准检定三坐标测量机的各种方法中,最有应用前景的是欧洲共同体推出的球板法(或孔板法)^[10]和天津大学推出的一维球列法^[11]。这两类方法都能给出测量机所有21项机构误差,确定测量整个空间的误差情况。

球板法的不足之处是球板不宜做得太大,从而不便于用于检定行程较大的三坐标测量机,此外球数一般也不宜太多,采得的数据不够密集。德国国家物理技术研究院已注意到这些不足,提出一维半球板,即用两个一维球列构成球板的想法。

美国认为从精度上看,用球板、球列检测精度总是赶不上用激光干涉仪等仪器进行单项检测的精度。但球板、球列有成本低、实用、比较符合测量机工作情况等优点。他们认为,在多数情况下,对于

中小型测量机,应推崇一维球列.对于大型测量机,激光几乎是惟一手段.美国国家标准与技术研究院正在加紧对一维球列的研究

一种优秀的误差检定方法应满足如下要求:① 精度高;② 检测情况与测量机使用条件相符;③ 装置简单,价格便宜,使用方便,检测时间短;④ 能确定误差源;⑤ 能测出测量机在整个测量空间的误差

还需指出,用上述各种方法检出的是测量机的坐标测量精度.为了获得被测参数的测量不确定度,德国国家物理技术研究院提出了虚拟三坐标测量机^[12].在三坐标测量机中,常以 $A+BL$ 的形式给出它的坐标测量不确定度,表达式中的 A 与 B 为常量, L 为被测长度.为了对测量结果有完整的概念,要求在给出测得值的同时,给出被测参数测量不确定度

误差补偿技术是一项能以较低的成本,大幅度地提高测量机测量精度的技术.目前多数计算机数控的三坐标测量机带有误差补偿,但主要限于机构误差与简单热变形误差.误差补偿将用于动态误差与复杂的热变形误差.目前坐标测量机误差补偿主要用于符合准刚体模型的情况下,它也将用于低刚度测量机中.传统的误差补偿方法是针对整个测量范围进行统一补偿,今后将发展对于给定测量范围,给定测量任务进行最佳补偿

误差补偿将作为一种思想体现在测量机的设计上

参考文献

[1] 张国雄.三坐标测量机.天津:天津大学出版社,1999 507~ 523

[2] Bryan J B. Design and Construction of an 84 Inches Diameter Diamond Turning Machine. Precision Engineering, 1979, 1(1): 13~ 16

[3] Caskey G, Hair Y, Hocken R, et al. Sampling Techniques for Coordinate Measuring Machines. Proceedings of the 1991 NSF Design and Manufacturing Systems Conference, Austin, Texas, USA, 1991 779~ 786

[4] DONG Chensong, ZHANG Guoxiong, MU Yuhai. Assesing the Dynamic Errors of Coordinate Measuring Machines. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1998, 11(4): 305~ 311

[5] Garces A, Huser-Teuchert D, Pfeifer T. Performance Test Procedures for Optical Coordinate Measuring Probes. Final BCR Project Report, Brussels European Communities, 1993 6~ 123

[6] Bosch J A. Coordinate Measuring Machines and Systems. New York, USA Marcel Dekker Inc., 1995.

[7] Breyer K H, Pressel H G. Paving the Way to Thermally Stable Coordinate Measuring Machines. In: Progress in Precision Engineering, Braunsweig, Germany, 1991. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1991: 56~ 76

[8] Kruth J P, MA W Y. CAD Modeling of Sculptured Surfaces from Digitized Data of Coordinate Measuring Machines. In: 4th International Symposium on Dimensional Metrology in Production and Quality Control, Tampere, Finland, 1992 1~ 17

[9] Bryan J. International Status of Thermal Error Research (1990). CIRP Annals, 1990, 39(2): 645~ 656

[10] Kunzmann H. A Uniform Concept for Calibration, Acceptance Test, and Periodic Inspection of Coordinate Measuring Machines. CIRP Annals, 1990, 39(1): 561~ 564

[11] ZHANG G X, ZANG Y F. A Method for Machine Geometry Calibration using 1-D Ball Array. CIRP Annals, 1991, 40(1): 519~ 522

[12] Trapet E, Waldele F. The Virtual CMM Concept, Euroconference "Advanced Mathematical Tools in Metrology", Oxford, UK, 1995 1~ 17

(编辑 华 恒)

作者简介:张国雄,男,1936年生.天津大学(天津市 300072)精密仪器与光电子工程学院教授,博士研究生导师, CIRP 会员,曾任生产工程分会主任委员.研究方向为测试计量技术及仪器.获国家级和省部级奖励 5 项.出版专著 12 部,发表论文 220 余篇.

(上接第 179 页)

[8] 杨力,姜文汉.计算机控制抛光大口径高陡度非球面技术研究.光电工程,1999,26(1): 9~ 15

[9] 李全胜.计算机控制光学表面成形驻留时间算法研究.光学技术,1999,5(3): 56~ 59

[10] Zhang G, et al. Error Compensation of Coordinate Measuring Machines, Annals of the CIRP, 1985, 34(1): 445~ 448

(编辑 华 恒)

作者简介:李圣怡,男,1946年生.国防科技大学(长沙市 410073)机电工程与自动化学院院长、教授,博士研究生导师.1988 年后曾赴美国哥伦比亚大学和伦塞勒理工学院为期两年的学习研究工作.享受国家特殊津贴.国家有突出贡献的中、青年专家称号.主要研究方向为精密、超精密加工技术.朱建忠,男,1968 年生.国防科技大学机电工程与自动化学院副教授、博士

ishment of distributed parallel processing system and application of similarity method in numerical simulation of welding process.

Key Words welding process numerical simulation adaptive mesh parallel computing

Rapid Manufacturing Oriented Non-Traditional Machining Technology GUO Dongming (Dalian University of Technology, Dalian, China) WANG Xiaoming ZHAO Fuling JIA Zhenyuan HUANG Yinhei ZHAO Wansheng p 206-211

Abstract Non-traditional Machining is a supplement and extension of existing traditional machining, and the necessary research content in the manufacturing field. Now it is developing towards automation, flexibility, precision, integration, intelligence and optimization. The existing non-traditional machining techniques are improving and new ones are emerging day by day. Their developments are tightly combined with material, control and microelectronics technologies and based on the existing non-traditional machining technologies. A new non-traditional technological system which is used to carry out rapid manufacturing is constructed in order that the products can respond to the market requirements rapidly. In this paper, the composition, current situation and tendency of non-traditional machining are summarized and the rapid manufacturing oriented non-traditional machining technological system and methods are presented.

Key words rapid manufacturing non-traditional machining composite machining and intelligence

Some Basic Problems in Machinery Diagnostics QU Liangsheng (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China) ZHANG Haijun p 211-216

Abstract This paper discusses some basic problems in machinery diagnostics. They are the difference of objects and performances between a condition monitoring system and a fault diagnostic system, the certainty of machinery diagnosis and its improvements, the application of statistic simulation technique in machinery diagnosis, and the assessment of machine degradation and long term forecasting. Finally, the intelligent diagnostics and long distance diagnosis are also mentioned.

Key words machinery diagnosis condition monitoring artificial intelligence statistic simulation

Probe into the Enterprises' Design and Diagnosis

LUO Zhenbi (Tsinghua University, Beijing, China) TIAN Qian CAO Zhenzhen LIU Yankai p 217-221

Abstract Design, diagnosis and buildup of enterprises are very important tasks. The mission and principles of the enterprise design, conceptual design architecture, concepts necessary to be transformed, diagnosis and strategies of the enterprises, as well as innovating organization and management were presented in this paper. It is worth noting that the enterprise design and diagnosis can be carried on successfully in terms of systems engineering and analysis, reconfigurability, and enhancing on-the-job training and education on advanced technologies and system integrated management.

Key words enterprise design diagnosis systems engineering and analysis reconfigurability

The Development Tendency of Coordinate Measuring Machines ZHANG Guoxiong (Tianjin University, Tianjin, China) p 222-226

Abstract 3-D coordinate measuring machines have wide applications in advanced manufacturing technology and in scientific researches. The paper discussed the development tendency of coordinate measuring machines in enhancing their accuracy and efficiency, in probing techniques, software, construction materials, control systems, in entering the manufacturing system, in developing non-orthogonal coordinate measuring systems, in solving the environmental problems, and in error calibration and error compensation.

Key words coordinate measuring machine development tendency accuracy efficiency probing techniques environment error calibration error compensation

Machinery Engineering in Sustainable Development

LU Jun (Environment & Resources Equipment Development Center, Beijing, China) p 227-230

Abstract At 21st century, the machinery industry of China is faced with the severe challenge of sustainable development, at the same time with the development of traditional machinery technology, environmental technology should be adopted in the machinery engineering. The comprehensive utilization of machinery technology, biological technology, chemical technology, and multi-subject technology, developing cleaning technique and equipment technology, environmental protection technology of machinery, resources comprehensive utilization equipment technologies, at the same time, expand new field. We should develop the support effect of equipment technology as implementing the national sustainable development strategy, then to keep the sustainable development of machinery industry.

Key words machinery engineering environmental technology sustainable development

Automobile in the Future SONG Yanguang (Dongfeng Motor Corporation, Hubei Shiyan, China) p 231-234

Abstract It is pointed out that the future automotive industry will pay more attention to eliminate automotive pollution, to reduce transport accidents, to save energy and to improve intelligent level in 21st century. In order to approach the purposes, several high technologies will be used in automobile production, such as, electronics, high efficient and clean burning technology, energy saving and solar energy technology. Flexible manufacturing and production automation etc. Automobile in the future will be more comfortable and friendly to the environment.

Key words automobile in the future automotive technology environmental performance electronics

Automotive Airbag Technology and its Application

ZHONG Zihua (Hunan University, Changsha, China) YANG Jikuang p 234-237

Abstract General automotive airbag technology is reviewed firstly. Then several important aspects which must be considered in the design process of an airbag system are discussed. Special emphasis is put on the crash-worthiness of the entire vehicle in which the airbag system is to be applied. Computer simulation techniques and their applications are discussed with numerical examples. Finally, future development of the airbag technology is discussed.

Key Word airbag vehicle crash computer simulation safety technology