

齿轮动态设计分析研究的现状及展望

常山, 闻雪友, 徐振忠

(哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘要: 比较全面地介绍了国内外动力传动齿轮的动态设计分析研究现状, 并结合我国的实际情况, 提出了今后齿轮装置综合传动性能研究的主要研究目标及关键技术。

关键词: 齿轮传动; 动态设计; 可靠性设计; 模态实验技术

中图分类号: TH132.41

文献标识码: A

1 引言

随着齿轮传动装置的高负荷、高速化趋势的增强, 齿轮传动装置的振动研究已成为一个重要而迫切的热点研究课题^[1]。运用现代设计方法建立系统在工作状态下的动力学分析模型并计算所设计的对象在内外激励下的动态响应, 进而修改设计参数改善其动态性能。经过不断地预测、评价和修改使动态性能满足设计要求达到动态优化设计, 有利于提高设计质量、缩短设计周期、保证设计可靠性的目的。本文比较全面地介绍了国内外动力传动齿轮的动态设计分析研究现状, 提出了今后齿轮装置综合传动性能研究的主要研究目标及关键技术。通过关键技术攻关, 可以迅速缩短与发达国家先进水平的差距, 建立和完善多级齿轮传动系统的动态优化设计的理论和方法, 具有十分重要的理论意义和广泛的

应用价值。

2 齿轮传动副动态特性分析研究现状

多年来, 建立在单自由度扭转振动动力学模型基础上的齿轮传动副动态特性研究在轮齿时变啮合刚度、轮齿误差等激励因素的分析 and 确定, 参数激励方程的求解等方面做了较多的研究工作。同时也涉及了齿侧间隙、脱齿、摩擦、润滑等非线性因素的影响。1996年, P. Velez 和 M. Maatar^[2]对轮齿误差和安装误差对齿轮副振动和噪声研究表明, 轮齿齿廓误差的幅值和相位对齿轮副振动影响很大, 而且齿轮基节误差、压力角误差和安装偏心及齿向误差的影响亦很显著。文献^[3]考虑传动轴的扭转刚度、动力及负载元件的惯性, 讨论了以四自由度扭转振动动力学模型的平行轴齿轮传动的动载荷。Paciot^[4]对齿轮转子系统扭转振动和横向振动的耦合做了一系列研究, 分别考察了单级、两级传动及轴承弹性支承的影响。研究结果表明, 由于轴的横向柔度与非耦合状态相比系统的固有频率和模态将发生变化, 即使不考虑陀螺效应或轴为刚性、轴承为弹性支承都将产生横向振动与扭转振动

的耦合。1988年, Umezawa^[5]利用轴的长度和齿轮在轴上安装位置, 研究了轮齿刚度对齿轮振动的影响。认为轴的刚度仅影响振动的频率, 而振幅取决于重合度平面上齿轮的振动性能。只有当轴的弯曲刚度转化到啮合线上至少比轮齿的刚度大十倍以上时, 根据单自由度扭转振动模型的振动分析才是可靠的。1991年, Kahraman^[6]考虑时变啮合刚度和直齿轮传动的间隙非线性因素, 用三自由度的弯—扭耦合模型分析了非线性时变振动系统的响应。Neriya^[7]考虑轴和轴承的刚度建立了八自由度的弯曲—扭转—轴向—摆动振动耦合的斜齿轮传动副的动力学分析模型, 求解了静态传动误差作用下的系统动态响应。1993年, Kahraman^[8]考虑同样的问题建立了相应的斜齿轮副的线性动态模型, 并着重分析了轴向振动对齿轮副动态特性的影响。

综上所述, 单对齿轮副的动力学研究已经较为成熟, 今后的研究热点将集中在以下方面: (1) 研究齿轮副弯曲、扭转的耦合振动; (2) 研究齿轮振动的稳定参数范围; (3) 研究齿轮参数、轮齿误差、修形参数对齿轮振动的影响规律; (4) 齿轮振动参数的确定和识别等; (5) 脱齿、摩擦和润滑等非线性因素影响规律。

收稿日期: 2000-03-09; 修订日期: 2000-10-09

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(1998-23)

作者简介: 常山(1965-)男, 黑龙江阿城人, 哈尔滨·第七〇三研究所高级工程师, 博士生导师

3 多级齿轮传动系统动态特性分析研究概况

齿轮传动系统动态特性研究是齿轮传动装置动态设计的重要一环。由于在实际工作状态下, 齿轮传动不可避免地产生动载荷, 为保证可靠的传动性能必须较为准确地确定动载荷及其激励因素。同时, 齿轮系统的振动水平直接关系到齿轮传动装置辐射出的噪声^[9]。为了设计高质量的齿轮传动装置或改进现有的设计需要深入地研究和了解齿轮传动系统的动态特性。实际齿轮传动系统是由多个弹性元件组成的连续系统。若要考虑各元素的质量和转动惯量的分布以及传动轴的振型等因素, 即使采用离散化处理也将变为自由度较多的集中参数系统。对于多级齿轮传动系统, 除了势必进一步增加动力学模型的自由度数量外, 各级齿轮轴之间也存在耦合, 这些都给系统的动态分析带来了困难。1991年, Kahraman^[10] 比较了由简单的三自由度弯—扭振动模型与有限元模型计算的结果, 讨论了两者在无阻尼特征值方面的误差。两者在固有频率值上是不同的, 认为这主要是轴的质量和转动惯量以及连续轴的动态特性引起的, 尤其是在高频范围内。1993年唐增宝等^[11] 仅考虑系统的扭转振动用多自由度的扭转振动模型分析了三级齿轮传动的动态特性。1997年, Tordion 和 Gouvin^[12] 研究了考虑时变啮合刚度的两级齿轮传动系统的动态参数的稳定特性。

近年来, 人们将传递矩阵法、有限元法和模态分析法等应用到齿轮传动系统的动态分析中。

1984年, Iwatsubo^[13] 将传递矩阵法用于其弯曲振动和扭转振动耦合的分析模型, 计算了在常啮合刚度下由于质量不平衡引起的受迫响应, 进一步考虑了周期变化啮合刚度和齿廓误差的影响, 并进行了实验研究。1984年, Neriya^[14] 将有限元法引入解决齿轮—轴系统的弯曲—扭转耦合振动问题, 分析了在常刚度下线性系统的固有特性、质量不平衡和几何偏心引起的受迫振动响应以及无阻尼和模态阻尼下的齿面动载荷。Takatsu^[15] 的研究则是将整个齿轮箱分为箱体和齿轮传动轴系两部分, 用有限元法分别获得箱体的传递函数和齿轮传动轴系的传递函数, 再用 BBA 耦合获得齿面啮合到箱体任一点的传递函数。对于齿轮传动轴系, 也是先分别获得每一齿轮轴对于扭转振动和横向振动的传递函数, 再用齿轮轮齿刚度耦合两根轴。1989年, Choy^[16] 将模态分析法用于多级齿轮传动系统的动态分析, 每一齿轮轴用多质量转子—轴承离散模型模拟, 用传递矩阵法分析其横向振动和扭转振动, 通过齿轮的啮合将它们耦合。沈允文等^[17] 从建立齿轮系统的动力学模型出发, 采用现代化矩阵摄动理论研究了齿轮系统特征值灵敏度分析方法, 并通过计算实例论述了齿轮系统减振设计结构灵敏度分析的具体应用。唐增宝等^[18] 建立的系统动力学模型考虑了多对齿轮的转动惯量、时变啮合刚度、误差、阻尼以及轴的转动惯量和刚度, 采用模态分析法与状态空间法相结合的方法对运动微分方程进行了求解, 并以系统在一个周期内的三对齿轮沿啮合线方向的振动加速度均方根值加权 and 作为齿轮系统动态性能最

优设计的目标函数, 以三对齿轮副的螺旋角和变位系数作为设计变量, 经优化设计的齿轮, 其动态性能有明显的改善。

综上所述, 对多级齿轮传动的动力学研究已经取得了众多成果。但对于船用大功率齿轮传动装置, 多数采用功率分支的布置方式, 在国内外很少见到这方面的研究报导。

4 齿轮传动装置动态设计研究的发展

随着现代齿轮传动技术向高速重载方向发展, 对其动态性能提出了愈来愈高的要求, 对齿轮传动的强度、振动和噪声的要求更加严格, 促使人们在齿轮动力学方面进行深入的研究。近几十年来, 在齿轮传动装置内部的齿轮传动副乃至齿轮传动系统为对象的动态特性分析方面取得了不少的研究成果, 并逐步运用到齿轮副的动态设计中。日本学者 Umezawa^[19] 提供了斜齿轮振动特性曲线图以设计低振动和低噪音的齿轮。1991年, Nonaka^[20] 通过齿轮副的精度及安装误差计算振动激励, 根据激励力的水平修改设计参数和齿轮精度以使振动激励达到足够小。许多研究业已表明^[21], 齿轮传动装置的振动和噪音基本上是由于动载荷激励的齿轮箱的振动引起的。对于齿轮传动装置这一复杂弹性结构振动系统, 不仅应从分析和改善其内部传动件的动态特性着手, 更应从动力系统的角度研究其综合动态性能, 进而进行低噪声、低振动的齿轮传动装置的动态设计。文献 [22] 进行了齿轮箱的实验模态分析, 以识别箱体模态参数及动力学分析模型的修正。通过试验研

究了减速箱的固有频率、振型和结构灵敏度,为低噪声齿轮箱设计奠定基础。

系统全面地分析齿轮传动装置的动态性能已成为齿轮动力学研究的新趋向。有如下几个重要方面:(1)实验模态分析技术用于齿轮传动装置动态性能分析可识别系统动态特性参数、修改系统动力学模型等,作为动态设计的重要一环;(2)用有限元等方法进行箱体结构的动力分析,并通过修改有限元参数进行结构优化设计;(3)在充分研究单对齿轮传动副的动态性能的基础上,以整个齿轮传动系统为对象全面分析其整体综合动态性能;(4)以预估齿轮传动装置的振动和噪声为目的的动态特性分析方法不尽相同,对于复杂的齿轮传动装置的动态设计,还应从其各组成部分的相互联系上寻求适当的分析方法。总之,从事齿轮传动装置的动态设计还有待于对其动态设计方法进行深入研究以及其内部复杂齿轮传动系统动态特性的分析。

5 齿轮传动系统动力学方程的求解方法研究现状

由于轮齿啮合刚度是随时间变化的,即使不考虑其它非线性因素的影响,齿轮传动系统也是参数激励的受迫振动系统。通常,齿轮系统动力学方程是一个多自由度的二阶微分方程,根据动力学模型的不同,动力学方程主要有四种类型:(1)线性时不变系统动力学方程;(2)线性时变系统动力学方程;(3)非线性时不变系统动力学方程;(4)非线性时变系统动力学方程。此外,根据分析目的不同,又可分为齐次和非

齐次方程。前者属自由振动方程,主要用于分析系统的固有特性即固有频率、模态及稳定区。后者则用于分析系统在内、外激励因素下的动态响应。线性时不变系统也即线性振动系统,其动力学问题可以运用常规的线性振动理论及方法来分析、求解。线性时变系统即系统动力学方程具有线性的时间变化的系数,它主要是考虑齿轮随时间变化的啮合刚度引起的时变刚度系数。由于时变啮合刚度的周期性,系统是具有周期系数的参数激励振动系统。此类系统动力学方程从本质上都可归为具有周期性参数激励的 Mathieu 方程和 Hill 方程^[23]。

非线性时不变系统即一般的常系数非线性振动系统,它主要考虑了各种非线性因素而将啮合刚度作为常数,以着重考虑非线性因素对系统动态特性的影响。考虑到时变啮合刚度以及非线性因素对系统动态特性的影响,还需要运用非线性振动的理论和方法来分析。非线性振动系统的解法往往因问题而异,至今无一个统一的通用解法,在齿轮系统非线性研究中,主要采用以下几种解法:(1)求振动周期解的数值积分法;(2)非线性振动的定量分析;(3)状态空间法;(4)求系统动力响应的直接积分法。

对于多自由度非线性系统,数值方法是很有用的。直接积分法即逐步数值积分法,它无须将动力学方程变换成另一种形式,是分析非线性系统动力响应行之有效的方法^[24]。

6 齿轮传动装置可靠性设计的研究现状

可靠性设计是机械设计的一

个重要的发展趋势,机械可靠性设计在短短的 20 几年来的广泛应用,说明了它在生产实际中有十分重要的价值。总的来说,机械可靠性在我国的应用和研究仍然处于初级阶段,无论是实验数据的收集及分析、可靠性设计理论方法的研究、零部件的可靠性设计模型和系统的可靠性建模分析,都还有大量的工作要做^[25]。

(1)零件的可靠性试验数据严重不足,目前有关材料的可靠性数据相对多一些,而齿轮和轴承等重要元件由于寿命试验成本高,虽然有一些文献发表了一些数据,但由于数量太少而难以普遍推广应用。因而,开展元件的可靠性试验是最需要、最艰巨的基础工作。

(2)由于可靠性设计理论产生的时间不长,因而一些在实际中遇到的重要问题尚未得到很好的解决,如复杂零件力的概率分布函数的确定,可靠性的计算、复杂系统可靠性分析和具有非独立实效模式的系统可靠度的计算等,这些都是进行可靠性分析亟待解决的问题。

(3)随着高精度硬齿面齿轮的广泛应用,齿轮装置正向着体积小、重量轻、传递功率大、以及振动和噪声低的方向发展,对可靠性提出了更高的要求。过去,在机械可靠性设计的资料中为了便于应用,大量的计算和分析方法是作了大量的假设和近似处理的手工计算和分析方法,精度有限。在计算机已普遍应用的今天,研制一种通用、高效、高精度和便于应用的可靠性计算程序显得十分重要。

(4)在建立轴承系统可靠性计算模型、齿轮传动系统可靠性模型、离合器或联轴器可靠性模

型、齿轮箱体的可靠性模型的基础上,开展齿轮传动装置的整体可靠性研究。

7 齿轮修形技术的发展趋势

自从 1938 年, Walker 首先提出对直齿轮进行修形必要性以来,作为提高齿轮承载能力、减振降噪的重要手段,齿轮修形研究一直是齿轮研究领域的重点、难点和热点问题^[26]。国内较有代表性的研究可归为三类:(1)以运动微分方程为基础,从实现最小动载荷角度进行动力学修形设计;(2)以齿面载荷积分方程为基础,从改善接触线载荷、齿面应力、齿根应力分布的角度进行提高强度的修形设计;(3)以齿轮热弹流理论为基础,从降低齿面闪温的角度进行齿轮抗胶合修形设计。齿轮修形针对不同用途的齿轮传动有各种各样的修形形式,主要有齿廓修缘(齿高方向的齿顶修缘或齿根修缘),齿向修形(鼓形修形,螺旋线修形,齿端修薄);对上述两种或两种以上的组合修形有时称为三维修形。

随着齿轮加工机床技术发展的新趋势,齿轮修形技术被广泛应用到动力传动齿轮装置中并发挥着越来越重要的作用。拓扑轮齿修形的计算方法已较完善,加工和检验技术也日臻成熟。当今,轮齿修形是现代齿轮设计不可缺少的先进技术。现代工业的发展给齿轮设计人员和齿轮加工企业提出更高要求,所设计和制造的齿轮装置传递功率更大、尺寸更小、振动和噪声更低。为了达到上述目标,国外研制出了展成磨齿机,使得对展成修形技术研究更加重要和紧迫。

对于大功率齿轮来讲,只以单一优化目标来进行修形优化设计是不全面的,也是不合理的^[27]。因为这种传递动力的齿轮,其接触强度、弯曲强度、胶合强度以及低噪声要求具有同等的重要,不能低估某一方面。因此,以齿面接触线载荷分布系数最小、齿根应力最小,齿面瞬时闪温最低,齿轮啮合过程中啮合刚度波动最小等多目标综合修形具有十分重要的理论和工程实际应用价值。

8 传动齿轮动态设计研究的发展方向及关键技术

从齿轮传动系统动力学研究的现状来看,围绕动力学模型的建立、激励因素的分析 and 确定、动力学方程的求解等方面取得了一些重要研究成果。研究齿轮传动系统的整体动态特性已成为当前的热点和前沿课题,主要研究内容包括:(1)内、外激励因素的分析 and 确定;(2)系统动力学分析模型的建立和用于预估系统动态响应的计算机软件的研制;(3)用于动态性能评价的目标函数和参数优化设计的方法研究;(4)实验模态分析技术在齿轮传动装置动态设计中的广泛应用;(5)齿轮装置综合的减振和降噪技术研究与应用。

今后 5~10 年,我国在动力传动齿轮研究的关键技术主要有:(1)齿轮传动系统的动力学分析及设计;(2)齿轮传动装置的减振和降噪综合技术;(3)齿轮的展成修形设计及展成磨齿加工技术;(4)大功率齿轮传动装置小型化优化设计研究;(5)传动装置振动和噪声的测试及分析技术;(6)传动齿轮、滑动轴承、

离合器和联轴器等关键传动元件的可靠性设计;(7)全硬齿面齿轮试验分析及设计;(8)高速大功率同步离合器综合技术。

通过开展以上关键项目的研究,可以迅速缩短与发达国家先进水平的差距,建立和完善我国多级齿轮传动系统的动态优化设计的理论和方法,进一步提高齿轮传动装置的综合传动性能水平。

参考文献:

- [1] DUDLEY D W. Gear technology past, present and future[C]. Proceedings of International Conference on Gearing, China: Zhengzhou, 1988.
- [2] VELEX P, MAATAR M. A mathematical model for analyzing the influence of shape deviations and mounting errors on gear dynamic behavior[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1996, 191: 629-660.
- [3] OGUVEN H N, HOUSER D R. Mathematical models used in gear dynamics—A Review[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1988, 121: 383-411.
- [4] PACLOT J P, VELEX P. Simulation of the dynamic behaviour of single and multistage geared systems with shape deviations and mounting errors by using a spectral method[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1998, 220(5): 861-903.
- [5] UMEZAWA K, HOUJOH H. The effect of shaft stiffness on the gear vibration[J]. *Transaction of JSME*, 1988, C54: 699-705.
- [6] KAHRAMAN A, SINGH R. Interactions between time-varying meshing stiffness and clearance non-linearities in a geared system[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1991, 146: 135-156.
- [7] NERIYA S V. On the dynamic response of a helical geared system subjected to a static transmission error in the form of deterministic and filtered white noise inputs[J]. *Journal of Vibration, Acoustic Stress and Reliability in Design*, 1988, 110: 501-506.
- [8] KAHRAMAN A. Effect of axial vibration on the dynamic of a helical gear pair[J].

Journal of Vibration and Acoustics, 1993, **115**: 33—39.

[9] 王统. 齿轮技术进步梗概及未来发展趋势[J]. 机械制造, 1993, (4): 10—14.

[10] KAHRAMAN A, SINGH R. Error associated with reduced order linear models of a spur gear pair[J]. **Journal of Sound and Vibration**, 1991, **149**: 495—498.

[11] 唐增宝, 钟毅芳. 多级齿轮传动系统的动态仿真[J]. 机械传动, 1993, **17** (1): 37—41.

[12] TORDION G V, GOUVIN R. Dynamic stability of a two stage gear train under the influence of variable meshing stiffnesses [J]. **ASME Journal of Engineering for Industry**, 1997, **99**: 785—791.

[13] IWATUSBO N, ARIIS, KAWAI R. Coupled lateral torsional vibration of rotor system trained by gears (Part I Analysis by transfer matrix method)[J]. **Bulletin of JSME**, 1984, **27**: 271—277.

[14] NERIYA V, BHAT R B, SANKER T S. Coupled torsional flexural vibration of a geared shaft system using finite element analysis[J]. **The Shock and Vibration Bulletin**, 1984, **55**: 13—25.

[15] TAKATSU N, KATO M, ISHIKAWA M, et al. Building block approach of the vibration transmission in a single stage gearbox (Transfer characteristics of gear mesh induced vibration to the gear housing) [J]. **Transactions of JSME**, 1991, **C57**: 2126—2131.

[16] CHOY F K, LU Y K, SAVAGE M. Vibration signature analysis of multi-stage gear transmission[A]. Proceedings of the 1989 International Power Transmission and Gearing Conference [C]. Chicago: ASME, 1989, **1**: 383—386.

[17] 沈允文, 李树庭, 蔺天存. 齿轮系统减振设计的灵敏度分析[J]. 机械工程学报, 1996, **32**(50): 13—18.

[18] 唐增宝. 提高多级齿轮传动系统动态性能的优化设计[J]. 机械工程学报, 1994, **30**(5): 65—75.

[19] UMEZAWA K, SUZUKI T, HOUJOH H. Estimation of vibration of power transmission helical gears by means of performance diagrams on vibration[J]. **JSME International Journal**, 1988, **31**: 598—605.

[20] NONAKA T, KUBO A, KATO S. Design of silent gears considering the scattering in tooth form accuracy of mass production gears[J]. **Transactions of JSME**, 1991, **C57**: 3969—3974.

[21] 何韞如, 宋福堂. 齿轮与齿轮箱振动噪声机理分析及控制[J]. 振动、测试与诊断, 1998, **18**(30): 221—226.

[22] VINAYAK H, SINGH R. Multi-body dynamic and modal analysis of compliant gear bodies[J]. **Journal of Sound and Vibration**, 1998, **210**(2): 171—214.

[23] 朱因远, 周纪卿. 非线性振动和运动稳定性[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1992.

[24] 陈学东. 斜齿圆柱齿轮传动的固有振动特征[J]. 武汉工业大学学报, 1998, **20**(1): 75—79.

[25] 徐灏. 机械强度的可靠性设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.

[26] 常山. 高速重载宽斜齿渐开线齿轮瞬时刚度和综合修形的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1997.

[27] 朱传敏, 宋孔杰, 田志仁. 齿轮修形的优化设计与试验研究[J]. 机械工程学报, 1998, **34**(4): 63—68.

(何静芳 编辑)

汽轮机控制与安全系统

改进再热式汽轮机的控制与安全系统

据《ABB Review》1999年3月号报道, 利用现代电子系统更换老式汽轮机的液压涡轮控制和安全系统能延长机组的使用寿命、改进部分负荷性能、改进机组的利用率和可靠性。

电子式涡轮控制器被区分成下列逻辑独立的软件模块:

- 基本控制器
- 自动控制器
- 热应力计算器(Turbomax)

基本控制器被设计成手动操作, 并具有汽轮机安全手动控制所要求的全部功能。这些功能包括手动启动、同步、负荷运行、阀门特性线性化、初压减少的限制和加速限制、手动高压和中压微调(对于具有旁路的汽轮机)、截流控制阀的控制等。

自动控制器被设计成使运行人员能舒适和轻松地完成某些控制任务。它主要由起动程序和加载程序组成。

Turbomax 热应力计算器在汽轮机转子热应力超过允许极限时自动地限制负荷。

利用三表决二的电子保护系统代替机械式超速螺栓可以改进现有汽轮机的安全系统。由专门设计的脉冲计数模块(DP640)提供超速保护。

到目前为止, ABB公司已利用 Turbotrol 电子控制器改进了 50 多台汽轮机的控制与安全系统。

(思娟 供稿)

现代燃煤电站锅炉火焰检测综述 = **A Comprehensive Survey of Flame Detection Techniques Used in Modern Coal-fired Utility Boilers** [刊, 汉] / Hua Yan Ping, Zou Yu, Lu Zhen-zhong (Power Engineering Department, South-eastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 1 ~ 5

A comprehensive review is given of the flame detection techniques employed for modern coal-fired utility boilers, pinpointing some problems involved in their applications. Such problems include a small visual angle of the flame detection probe, a divergence between the static-state set values and actual operation dynamic ones, etc. The present paper focuses on some novel digital and image flame detection methods, which have emerged in recent years. The results of their practical application have confirmed their outstanding performance. After an assessment of their prospects for future development the authors have depicted a flame image detection system designed by them. **Key words:** utility boiler, furnace safety protection, flame detection, flame image, image flame detection

齿轮动态设计分析研究的现状及展望 = **Present Status and Future Prospects of the Analytic Research of Power Transmission Gear Dynamic Design** [刊, 汉] / Chang Shan, Wen Xue-you, Xu Zhen-zhong (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 6 ~ 10

A fairly comprehensive assessment is given of the present status of the analytic research on the dynamic design of power transmission gears both at home and abroad. In the light of the actual situation prevalent in China proposed in this paper are the major study objectives concerning the comprehensive transmission performance of gear units and the related key techniques. **Key words:** gear transmission, dynamic design, reliability design, modal experimental technique

循环流化床流体动力学研究进展 = **Recent Progress in the Study of Circulating Fluidized Bed Hydrodynamics** [刊, 汉] / Zhu Ting-yu, Xiao Yun-han (Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 11 ~ 15
Discussed in this paper is the recent progress in the study both at home and abroad of circulating fluidized bed hydrodynamics. The overview has been focused on a variety of hot topics, such as the problem of circulating fluidized particle flow, particle agglomeration and heat transfer, and a circulating fluidization mathematical model, etc. In addition, some new development trends have been highlighted in the current study of circulating fluidized bed hydrodynamics. **Key words:** progress, hydrodynamics, circulating fluidized bed, mathematical model

城市固体废弃物的燃烧特性实验研究 = **Experimental Study of the Combustion Characteristics of Municipal Solid Waste** [刊, 汉] / Jiang Fan, Pan Zhong-gang, Jiang Shu-qin, Fang Jian-hua (Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 16 ~ 18, 38

Through the use of thermogravimetry technology an experimental study was conducted of several typical components in city municipal solid waste, resulting in the determination of the combustion characteristics of mixed solid waste in a thermogravimeter. Furthermore, a fruitful discussion has been carried out regarding the mechanism of mixed burning of city solid waste. **Key words:** thermogravimetric analysis, municipal solid waste, combustion characteristics

W 型火焰锅炉冷态空气动力特性的测试研究 = **Experimental Study of the Cold-state Aerodynamic Characteristics of a W-shaped Flame Boiler** [刊, 汉] / Che Gang, Xu Tong-mo, Hui Shi-en (Thermal Energy Engineering Department, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 19 ~ 22

A study on a cold-state model of aerodynamic characteristics was conducted of a W-shaped flame boiler equipped with a