

出國報告(出國類別:出席國際研討會)

# **EuroMech 578 國際研討會**

## **出國公差報告**

服務機關：國立虎尾科技大學

姓名職稱：魏進忠 副教授

派赴國家：葡萄牙

出國期間：2017.04.09-2017.04.15

報告日期：2017.05.10

## 摘要

表面接觸力學為探討物體接觸界面間的運動行為與摩擦潤滑關係的科學研究。本次參加的研討會為歐洲機械學會在葡萄牙的馬德拉島所舉辦，總共餐與發表的學者有 45 位。研究領域有滾動接觸力學、軌道接觸研究、輪胎摩擦與接觸性能、軸承與相關元件研究、創意機構應用與乾摩擦基礎研究等領域，研討會發表會場討論熱烈。本次參加發表的題目為” Kinetic and contacting analyses of multi-cycles ball-screw”，其內容主要探討多珠卷滾珠螺桿力學分析模型如何解決其力量分配，發展複數珠卷滾珠螺桿，並探討預壓力下降對於滾珠螺桿傳動性能的影響。近年複合材料射出技術的需求日增，全電式射出機用滾珠螺桿的可靠度要求日益提高，因此發展相關分析與壽命預測的分析方法為不可或缺的技术。藉由參與本次研討會更進一步了解接觸力學在各個方面的發展，對於建立高分子複合材料表面接觸力學與磨潤學模型極有幫助。

**關鍵字：**磨潤，接觸，乾摩擦，壽命，葡萄牙，軸承，傳動理論，表面花樣

# 目次

封面.....	1
摘要.....	2
目次.....	3
目的.....	4
過程.....	4
心得與建議.....	12
附件一 發表論文首頁 .....	13
附件二 論文發表狀況 .....	14

## 一、 目的

表面接觸力學與摩擦分析為磨潤學相關的基礎研究，其分析方法廣泛應用在了解表面受力與對多體運動元件的分析，如軸承、齒輪、輪胎、人工關節...。參加本次研討會之目的在於了解表面接觸力學的最新發展，並發表關於在多珠卷滾珠的發展與應用研究，期望能將相關的基礎知識應用於滾珠與軌道的摩擦潤滑研究，與複合材料的表面接觸力學研究上，故參加此次會議以了解表面接觸力學的最新發展以及未來展望，並應用在傳動元件與複合材料之研究與教學為本此行程之主要目的。

## 二、 過程

本會議議程為四天，共有 9 個場次 45 篇論文進行發表，包含接觸力學的演進歷程、潛變對於接觸力學的影響、輪胎接觸力學研究、軸承力學分析、黏彈材料力學研究、塗層接觸力學、滾動與滑動分析、創意機構應用等主題。由於航班耗時，9 日晚間出發後，經過整天飛行，抵達當地時間為傍晚 6 點，因此無法參加首日的議程。論文發表狀況如圖 1 所示。



(a)

(b)



(c)



(d)



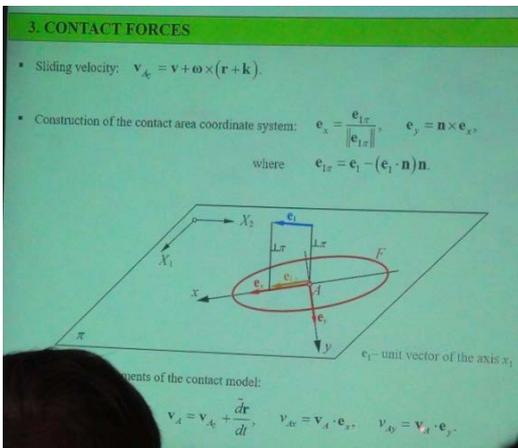
(e)



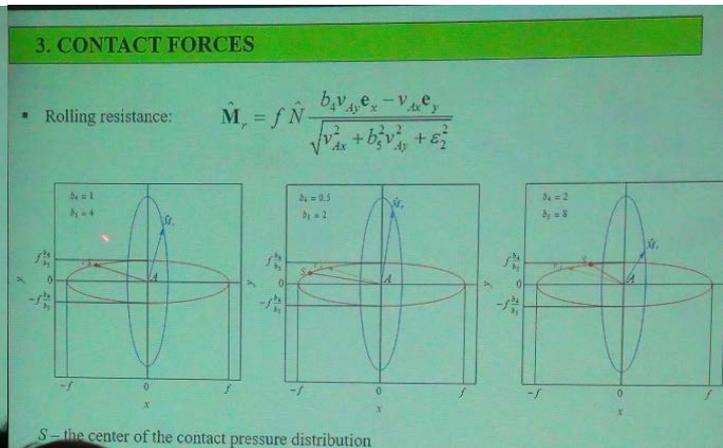
(f)

圖 1 會場論文發表狀況

許多研究提出接觸力學基礎分析理論，如圖 2 所示，藉由座標軸的建立，將接觸點在各位置的運動速度以向量方式建立速度向量矩陣，並考慮滾動阻抗，可以將多體接觸運動系統的動態特性建立與求解。



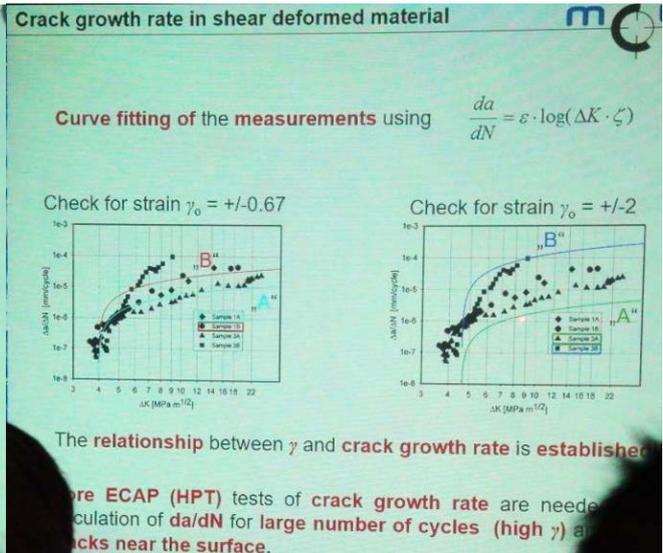
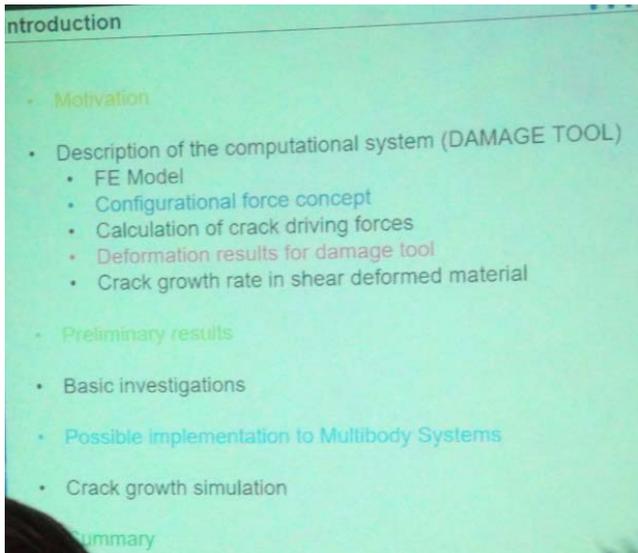
(a)



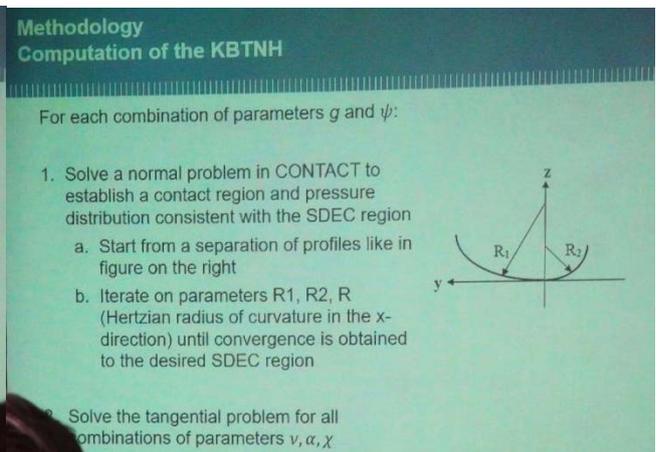
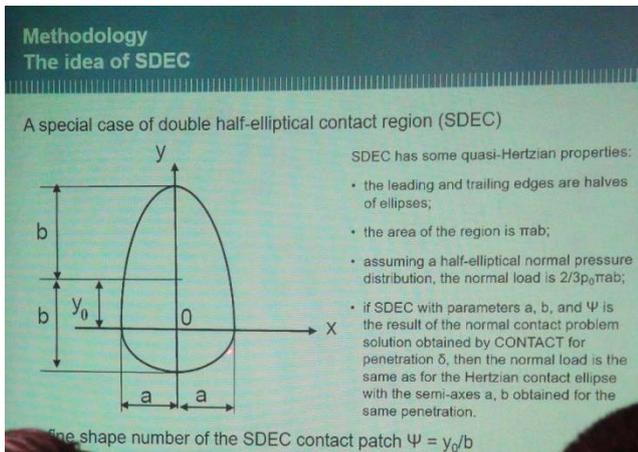
(b)

圖 2 多體運動系統動態分析方法 (a) 坐標軸建立 (b) 滾動阻抗與運動分析

電腦計算方法的推演，將複雜的接觸力學分析所需要的計算時間縮短，藉由將接觸區域進行分割計算，再將之結合，此方法雖然會降低計算精度，但是可以大幅減少計算時間，尤其是對於滾子軸承或是齒輪等元件的多體接觸力學分析，可以快速得到分析結果。元件在接觸面間產生裂紋的破壞行為是從事滾動元件設計者所關心的重點，因此很多研究針對裂紋的成長進行探討與分析，並在元件表面製作表面裂紋來進行實驗，與理論分析結果來驗證，如圖 3 所示。計算力學分析模式由早期的赫茲橢圓面分析模型推展至雙半橢圓分析模型，如圖 4(a)所示，橢圓接觸區域由於接觸幾何不同的關係分成兩曲率不同的接觸面積，如圖 4(b)所示，此研究可以設計在不同接觸工況下最佳的幾何外型，適用於軸承滾子設計、軌道車輛車輪設計等。



(a) (b)  
圖 3 表面裂紋成長分析(a)理論架構，(b)實驗結果與理論驗證。



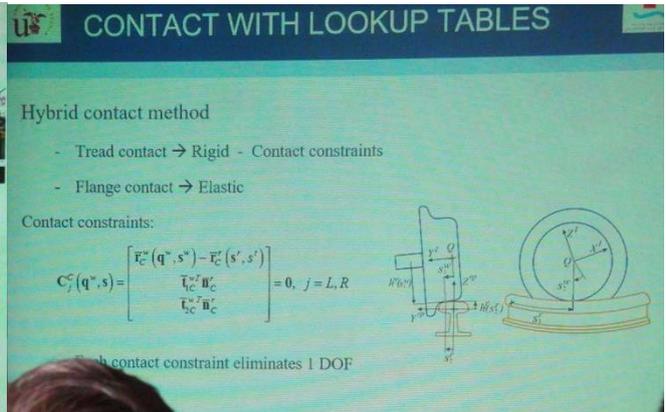
(a) (b)  
圖 4 橢圓接觸面接觸力學計算(a) 理論架構，(b)計算方法。

本研討會約有一半的議程在於軌道車輛的車輪接觸力學分析研究，由於相關論文眾多，因此舉兩例來說明，如圖 5 與圖 6 所示，歐洲大陸軌道車輛為主要交通工具，由於幅員廣大，因此車輪與軌道的動態接觸行為研究十分熱門，此類型的可延伸於滾動元件的接觸力學分析中。圖 5 所示為車輪與軌道接觸分析模型，此研究考慮車輪與軌道接觸行為以及建立運動模型，如圖 5(a)與(b)所示，藉由移動座標建立動態分析座標系，如圖 5(c)所示，在此只考慮等速運動狀況，如果要將加減速所造成之影響進行分析，可以半穩態假設各速度段為不同等速段，並將慣性作用考慮進力學分析系統，即可以得到此系統之動態特性。本研究主要貢獻在於考慮接觸時之力學行為是剛性或是撓性，如圖 5(d)與(e)所示，其計算結果顯示於車輪之運動分析上，分別為與軌道垂直之橫向運動，以及上下之垂直運動，結果顯示剛性接觸時，系統之阻尼效應弱，因此兩方向之運動穩定性差，因此變動大；若是撓性接觸，車輪運動的穩定性提高。此研究可以應用在軌道車輛之阻尼設計上。圖 6 所示為軌道接觸應力計算研究，值得注意的是，為因應

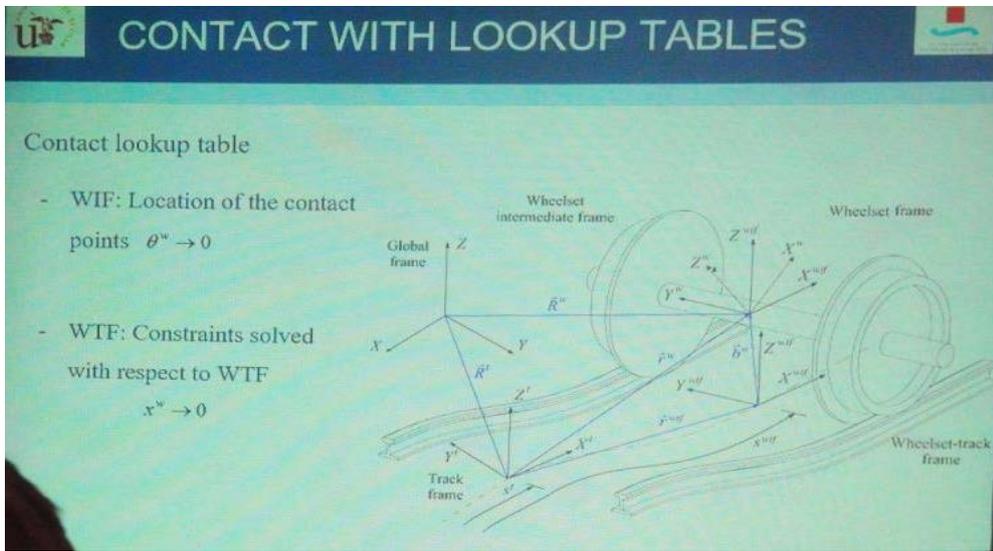
不同區域之接觸幾何，目前的滾動元件分析趨向於將不同區域分離解析，並在計算收斂後整合成單一結果，有助於更快與更精確解析不同接觸行為。



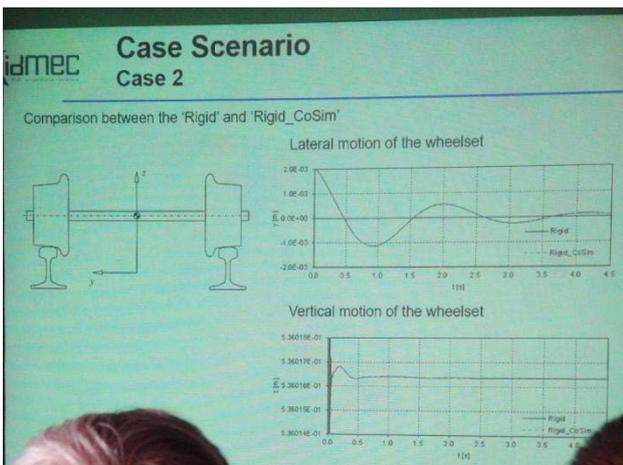
(a) 車輪與軌道接觸狀況與測試平台



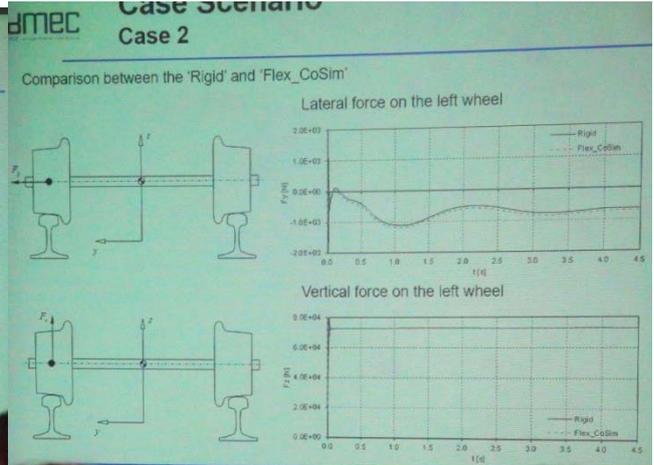
(b) 接觸力學坐標系



(c) 接觸移動座標



(d) 剛性接觸模型分析車輪在橫向與垂直方向的運動



(e) 撓性接觸模型分析車輪在橫向與垂直方向的運動

圖 5 車輪與軌道接觸與運動分析



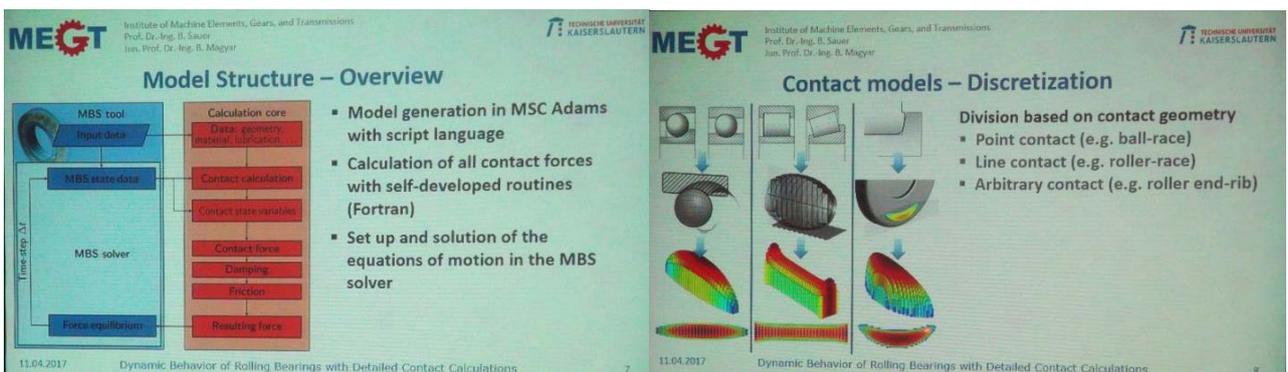
(a) (b)

圖 6 軌道接觸應力分析，(a)軌道接觸簡介；(b)軌道接觸應力分區計算模型

多體動力學研究中最重要應用在於滾動元件的研究，尤其以軸承為最主要，本次研討會對於滾子軸承分析有多篇重要研究發表，圖 7 所示為滾子軸承接觸力學分析模型，作者在圖 7(a)將軸承失效分析相關研究領域標示，並指出其研究重點在於軸承失效分析。圖 7(b)所示為滾子軸承研究歷程，由早期滾珠軸承的研究，進展到系統彈性結構研究，建立全軸承效能與壽命精準評估。圖 7(c)與(d)為分析方法，可應用於滾動元件或是切削力學分析上。



(a) (b)



(c) (d)

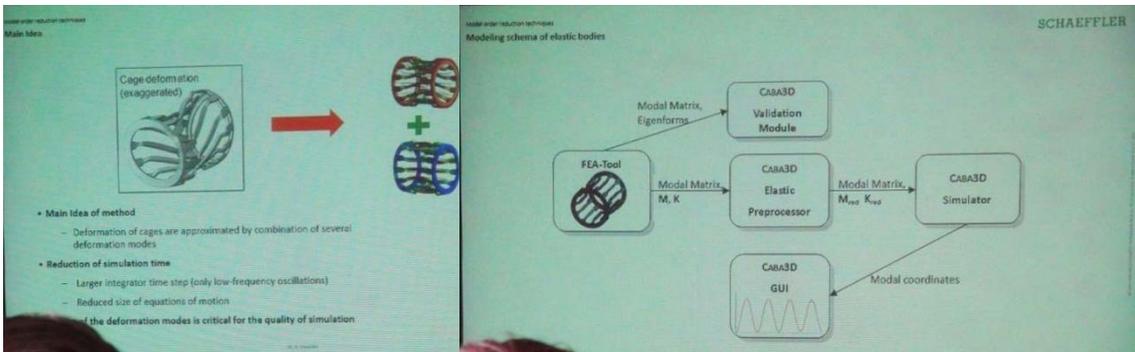
圖 7 滾動軸承失效分析

圖 8 所示為風力發電機所使用之轉向軸承分析，本研究探討軸承中間隔環的變形。風力發電機發展趨勢為朝向大型化發展，因此風機日益沉重，其轉向裝置的軸承需承受巨大扭力，因此間隔環變行為造成故障的原因之一，所以本研究可以協助風機軸承間隔環的破壞分析與安全

設計。圖 9 為齒輪嚙合分析，作者考慮了潤滑、乾摩擦、滑動等對於摩擦係數的影響，並提出摩擦係數分析理論，可應用於各種摩擦行為分析中。



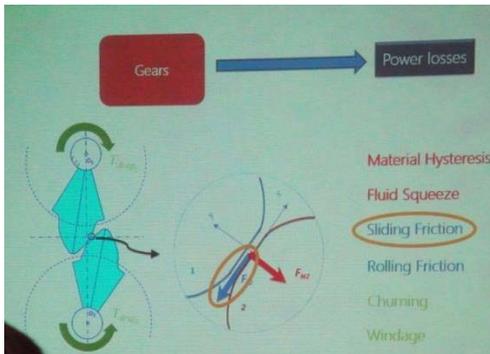
(a) 背景說明



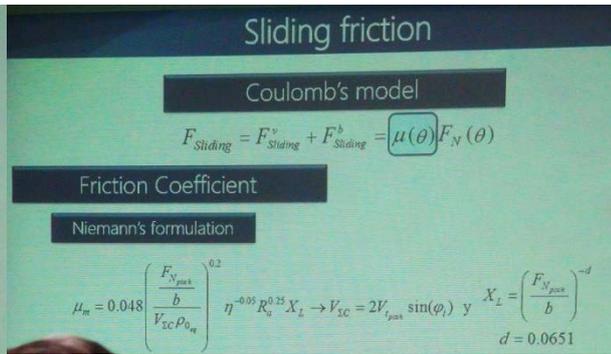
(b) 間隔環變形影響

(c) 分析方法

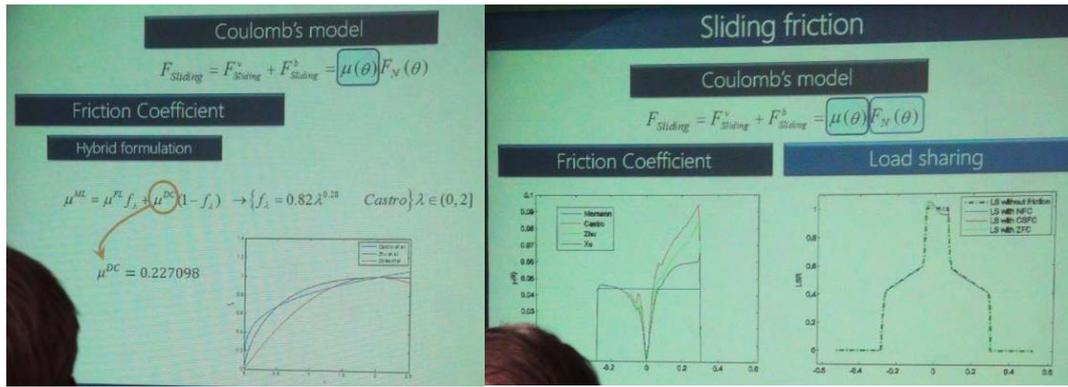
圖 8 風機轉向軸承力學分析



(a) 齒輪嚙合受力關係圖



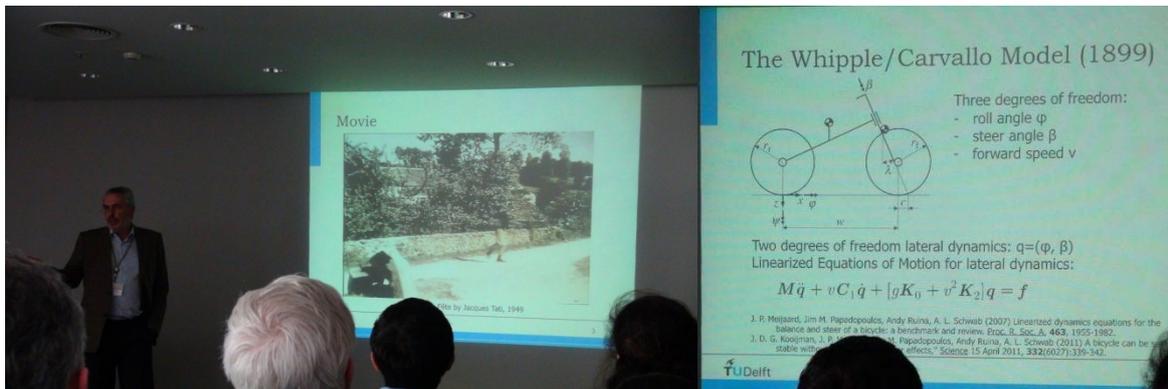
(b) 滑動摩擦分析



(c) 潤滑對於摩擦係數影響 (d) 摩擦力分析

圖 9 齒輪嚙合摩擦分析

歐洲各國近年環保意識的興起，因此綠色交通工具的相關研究十分盛行，例如引擎效能的提升、綠色燃油與潤滑油的研究、電動車輛、自行車開發等。圖 10 所示，本研究由腳踏車動力學與運動學建立分析模型，考慮車輪與地面摩擦所產生的不穩定現象，探討自行車結構設計對於騎乘穩定性的影響。本研究亦有歐洲自行車公司的產學合作，提高騎乘安全性。



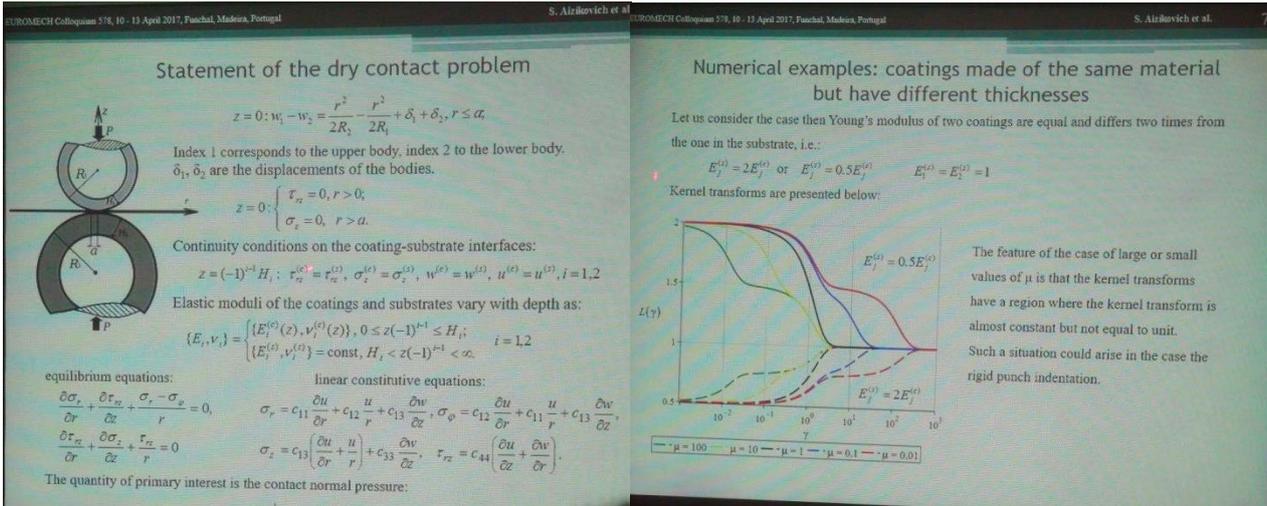
(a) 前言 (b) 腳踏車運動方程式

圖 10 腳踏車運動分析

鍍層在原件上的功用在於保護元件材料、降低摩擦與磨耗。圖 11 所示為滾動元件考慮鍍層對於元件接觸力學分析影響，研究建立鍍層厚度對於楊氏模數的影響，探討摩擦係數的變化。本研究建立鍍膜性質對於楊氏模數影響關係式，對於複合材料的研究可藉由相似的分析方法建立不同材料厚度與添加物對於機械性質影響，並得到摩擦係數，可由實驗來驗證，有助於發展複合材料性能與破壞分析。

圖 12 所示的研究探討潛變對於接觸力學之影響，適用在高分子材料，如輪胎與碳纖維複合材料之分析上。本研討會亦有如圖 13 所示之創意性機構設計，研究者利用機構學的創新機構設計，應用在機械手臂的夾爪設計，可以發展多功能夾具，減少換爪機會。作者亦利用其研究在英國街道河川進行造景，利用河川水的流動讓此大型化後的機構進行仍擲重物再回收的動作，吸引市民的目光，增加河川與人的互動。

本次研討會由第一天的議程至最後一天，與會者均全程參與，如圖 14 所示，顯示研討會經由妥善的規劃，可使與會者樂於參與。最後閉幕由本次主辦者歐洲機械學會主席 Prof. João Pombo 致詞與閉幕。



(a) 滾動接觸分析

(b) 鍍層厚度與摩擦係數的關係

圖 11 滾動元件鍍層對與摩擦係數影響分析

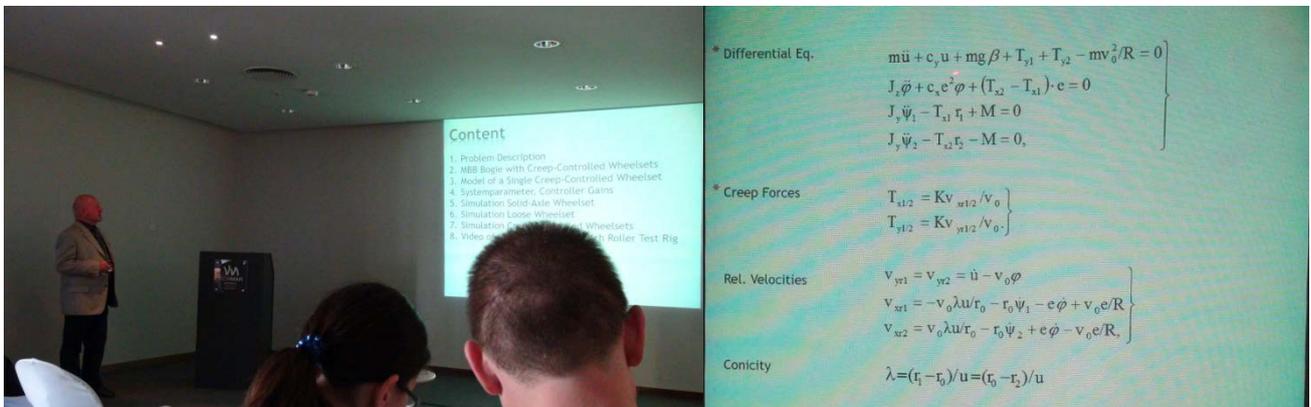


圖 12 潛變對與接觸力學影響分析

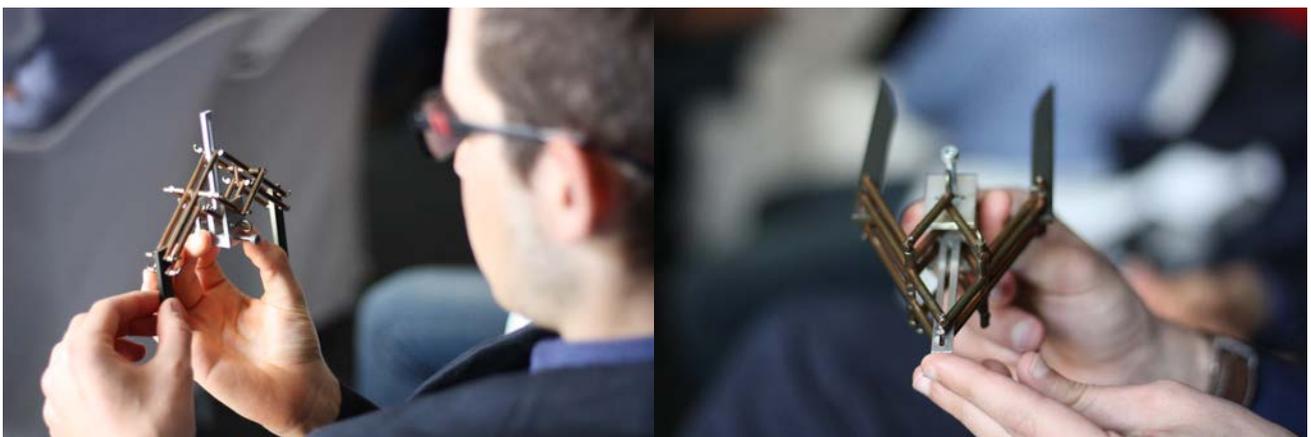


圖 13 創意機構設計



圖 14 研討會閉幕與主席致詞

## 心得與建議

本次參與會議心得與建議條列如下：

1. 本國際研討會之特色在於小型與多樣化主題討論設計，尤其是分段式議程規劃可有助於提升研討效果，未來在規劃具特色之研討會，可以延伸其規劃方法來提高研討效益，同時可以讓較多不同專長學者一同激盪創意。
2. 攜回有助科研的資料以及促進國際交流，國內磨潤與接觸力學領域專家有限，此類研討會有助於連結國際間相關專長學者，有利於國內舉辦國際研討會來連結這些專家的專業成果，提升國內磨潤科技的競爭力。
3. 參加此研討會可發現國際學者對於接觸力學研究之獨到的創意，因此如何在製造創意外提升研究專家的研究創意，我國為腳踏車生產大國，如腳踏車的力學與運動分析，可與國內產業結合，應可開發出具有高度自平衡性的結構設計，以提升腳踏車的騎乘安全性。

## KINEMATIC AND CONTACTING ANALYSES OF MULTI-CYCLES PRELOADED BALL-SCREW

Chin-Chung Wei\*

\*Associate Professor

Department of Power Mechanical Engineering, National Formosa University, Taiwan, R.O.C.

ccwei@nfu.edu.tw

**Key words:** Preload, Multi-cycle, Kinetic, Contact, Friction

**Summary:** *Preloaded ball-screw is widely used as accuracy translation device in many industrial applications. Contacting mechanism of the multi-cycles ball-screw is very important for ball-screw designer in realizing ball's contacting and performance motioning in a ball-screw. The aim of the study is in establishing a detail kinetic and contacting analyses model on the design of two and four cycles in a double nut ball-screw. Contacting forces, friction and kinetic motion at contact areas between ball and raceway are discussed with these two models with different operating conditions. Results shows theoretical model is well conformation with experimental results of surface strain on nut. Four cycle model has more accuracy than two cycle model, and these two models all can used in realizing contact and kinetic behaviors on double-nut multi-cycle ball-screw. Effect of preload decay is revealed in the study for contact forces and transmission torque. Preload decay cannot affect transmission torque, but is very important for contact forces of each ball cycle. Proper applied preload can reduce the difference among contact forces at each ball cycle, and keep high transmission performance.*

### 1 INTRODUCTION

High speed ball-screw is a central component in the fast fabrication equipment. The definition of high speed ball-screw is the linear speed over 90 m/min and acceleration reaching  $9.8 \text{ m/s}^2$ . High positioning accuracy, high axial stiffness, heavy bearing load and low vibration are required at high speed ball-screw. Balls extract between raceways of screw and nut, the contact behavior is a point contact at contact area. Kinetic behavior is combined with rolling and sliding motions. Comparing with ACME screw, friction is thus decreased and positioning accuracy and transmission efficiency are also increased at these kinds contact and motion situation. Multi cycle design is common seen in many kinds ball-screws. It's purpose is in reducing contact force at each contact area and extending the using life of ball-screw. But friction will also be increased due to the increase of numbers of contact areas. The study is based on contact analysis, geometry, kinetic motion of balls and friction analysis. Skidding behavior occurred at ball-screw and ball-nut contact areas is the main reason in affecting positioning accuracy of ball-screw. The skidding motion is produced by the friction and elastic deformation occurred at contact areas [1]. The skidding behavior is a non-linear motion and lubricating condition of contact areas is more often near boundary lubrication condition. High speed transmission brings high friction and thermal deformation, positioning accuracy is thus being affected [2]. Preload is applied in the ball-screw in order to avoid backlash for high positioning accuracy. Axial stiffness is also increased by the applied preload, but the friction is also increased with the preload [7]. Therefore, the applied value of preload is also a key design problem for the

附件二 論文發表狀況

EUROMECH Colloquium 578

國立虎尾科技大學  
National Formosa University

AMSS

# KINEMATIC AND CONTACTING ANALYSES OF MULTI-CYCLES PRELOADED BALL-SCREW

Chin-Chung Wei, PhD  
Associate Professor

Department of Power Mechanical Engineering  
National Formosa University, Taiwan  
Date : 13/04/2017

1

