

# Design and Analysis of Two-Axis Force Sensor of Tension and Torsion

林郁翔、劉勝安

E-mail: 360458@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

In this study, a strain-gauged type of two axis force sensor that can measure both the axial force and twisting moment was designed. The elastic sensing member is so designed that it can respond to axial force and twisting moment at the same time with specific corresponding deformations. Two full electrical bridges for sensing the axial force and the twisting moment respectively were formed by securely bonded strain gauges on locations of maximum strains to have maximum measurement sensitivity. Excitation is imposed on the Wheatstone bridges and the output voltages from the Wheatstone bridges can then respectively be used to evaluate the axial force and twisting moment by principle of linear proportion. The solid model of the sensing member was built with Solid Works. This sensing member is designed to have a symmetrical beam portion to sense the axial force and a circular hollow bar to sense the twisting moment. In order to maximize the measurement sensitivity, the solid model is then subjected to a finite element analysis and design optimization. The final analysis of the results offers design sizes, strain magnitudes, etc., from which the various theoretical measurement characteristics of the two axis force sensor can be evaluated before a rear sensor is made.

Keywords : Sensing member、Wheatstone bridge、Finite element analysis、Design optimization

## Table of Contents

封面內頁 簽名頁 中文摘要.....	iii	ABSTRACT.....	iii	
..... iv 誌謝.....	v	目錄.....	v	
..... vi 圖目錄.....	viii	表目錄.....	viii	
..... xi 符號說明.....	xii	第一章 緒論.....	xii	
..... 1	1.1 前言.....	1	1.2 研究動機與目的.....	2
..... 2	1.3 研究目標與內容.....	3	第二章 力感測器的基本原理.....	5
..... 5	2.1 感測器的種類.....	5	2.2 基本力學的理論.....	10
..... 10	2.3 力感測器的基本特性.....	15	2.4 力感測器介紹.....	20
..... 20	2.5 應變計的介紹與原理.....	22	2.6 感測彈性體之感測原理.....	31
..... 31	2.7 惠斯頓電橋迴路.....	35	第三章 拉扭二軸向力感測器之實例設計與分析.....	38
..... 38	3.1 工程分析流程.....	38	3.2 有限元素分析技法.....	40
..... 40	3.3 最佳化設計理論.....	48	3.4 拉扭二軸向力感測器之設計分析與性能探討.....	54
..... 54	第四章 結論與建議.....	80	4.1 結論.....	80
..... 80	4.2 建議.....	81	參考文獻.....	81
..... 82	圖目錄	圖 2.1 低碳鋼應力應變圖.....	21	
13	圖 2.2 力感測器六軸定義與對應受力之示意圖.....	21	圖 2.3 應變計外形.....	23
..... 23	圖 2.4 金屬箔式應變計.....	27	圖 2.5 絲繞式應變計.....	28
..... 28	圖 2.6 短接式應變計.....	28	圖 2.7 單軸多柵應變計.....	28
29	圖 2.9.1 特殊感測體形式(一).....	32	圖 2.9.2 特殊感測體形式(二).....	33
..... 33	圖 2.10 惠斯頓電橋電路.....	37	圖 3.1 工程分析流程圖.....	39
..... 37	圖 3.1 工程分析流程圖.....	39	圖 3.2 線性三角形元素.....	43
..... 43	圖 3.3 線性三角元素之形狀函數.....	43	圖 3.4 面積座標形式之三角形元素.....	44
..... 44	圖 3.5 圓形平板受均勻壓力時之應變分布區線圖.....	52	圖 3.6 拉扭二軸向力感測器設計分析流程圖.....	56
..... 52	圖 3.6 拉扭二軸向力感測器設計分析流程圖.....	56	圖 3.7 拉扭二軸向力感測器元件及組合示意圖.....	57
..... 57	圖 3.8 拉扭二軸向力感測器元件組合圖.....	58	圖 3.9 拉扭二軸向力感測器元件組合剖面圖(一).....	58
..... 58	圖 3.10 拉扭二軸向力感測器元件組合剖面圖(二).....	59	圖 3.11 拉扭二軸向力感測器元件上蓋示意圖.....	59
..... 59	圖 3.12 拉扭二軸向力感測器元件本體示意圖.....	60	圖 3.13 拉扭二軸向力感測器元件底板示意圖.....	61
..... 61	圖 3.14 感測器之受力示意圖.....	62	圖 3.15 環向壓力作用示意圖.....	63
..... 63	圖 3.16 十字型彈性體尺寸設計圖.....	63		

一).....	64 圖 3.17 十字型彈性體尺寸設計圖(二).....	65 圖 3.18 十字型彈性體分割及受力圖.....
	66 圖 3.19 十字型彈性體前處理之應力分布圖.....	66 圖 3.20 十字型彈性體前處理之應變分布圖.....
	67 圖 3.21 十字型彈性體前處理之位移分布.....	67 圖 3.22 設計變數W1之疊代過程.....
	69 圖 3.23 設計變數W2之疊代過程.....	69 圖 3.24 目標函數(OBJ)之疊代過程.....
	69 圖 3.25 應力限制之疊代過程.....	69 圖 3.26 承受Fz方向負載時之應力圖(一).....
	72 圖 3.27 承受Fz方向負載時之應力圖(二).....	73 圖 3.28 承受Fz方向負載時之應變圖(一).....
	73 圖 3.29 承受Fz方向負載時之應變圖(二).....	74 圖 3.30 承受Mz方向負載時之應力圖(一).....
	74 圖 3.31 承受Mz方向負載時之應力圖(二).....	75 圖 3.32 承受Mz方向負載時之應變圖(一).....
	75 圖 3.33 承受Mz方向負載時之應變圖(二).....	76 圖 3.34 承受Fz負載應變計黏貼位置.....
	77 圖 3.35 承受Mz負載應變計黏貼位置.....	77 圖 3.36 十字型彈性體應變計黏貼示意圖.....
	78 圖 3.37 惠斯頓電橋電路之組合圖.....	78 表目錄表
2.1 各種力感測器之特性.....	20 表 2.2 電阻應變計的應用特點.....	26 表 2.3 絕緣基座材質與接著劑的組合.....
	30 表 3.1 鍛造用鋁合金材料性質表.....	55 表 3.2 各設計變數最佳化前後之尺寸比較.....
	70 表 3.3 十字型彈性體各設計變數最佳化過程之疊代值(一).....	70 表 3.4 十字型彈性體各設計變數最佳化過程之疊代值(二).....
	71 表 3.5 十字型彈性體各設計變數最佳化過程之疊代值(三).....	71

## REFERENCES

- 【1】谷腰欣司原著，趙中興編譯，“感測器”，全華圖書股份有限公司，民100。【2】王建人著，“應變計式壓差感測器之設計與分析”，大葉大學碩士論文，民96。【3】譚小金著，“我國壓力感測器產業概況”，工業材料第90期，pp.134-138，民83。【4】Hordeski M.，“Transducers for Automation”，Van Nostrand Reinhold Company Inc.，1987。【5】李傳亮，“週邊感測器專題製作”，電子技術出版社，民85。【6】丁鴻田，“應變計式壓力感應器”，機械月刊第十五卷第十期，pp.158-162，民78。【7】陳克紹、曹永偉編譯，“感測器原理與應用技術”，全華科技圖書，民77。【8】賴耿陽，“感測器應用技術”，復漢出版社，民81。【9】夸克工作室編著，有限元素分析基礎篇，知城數位科技公司，民90。【10】吳朗，“感測與轉換-原理、元件與應用”，全欣資訊圖書，民84。【11】J.W. Dally and W.F. Riley，“Experiment Stress Analysis”，McGraw-Hill，Inc，1989。【12】Alexander D.k.，“Transducers and Their Element”，PTR Prentice Hall，1994。【13】Lu Yali，“Application of Strain Measurement in Static Strength Experiment”，Journal of Lanzhou Jiaotong University，2005。【14】王志華，“應變計式金屬薄膜壓力感測器之製作”，量測資訊第三十五期，pp.25-38，民83。【15】阮志鳴，“具雙十字型結構之六軸力感測器之設計與最佳化研究”，大葉大學碩士論文，民91。【16】賴豐言，“應變計式壓力感測器最佳化設計”，大葉大學碩士論文，民87。【17】黃仕嘉，“三分量力感測器之設計與分析”，大葉大學碩士論文，民99。【18】許瑞杰，“微極彈性內凹結構波桑比之有限元素法分析”，國立中央大學碩士論文，民89。【19】王勗成、邵敏，“有限元素基本原理與數值方法”，東華書局，民79。【20】T. R. Chandrupatla, and A. D. Belegundu，“Introduction to Finite Element in Engineering”，2nd edit., 1997。【21】黃昆昇，“光碟機機體振動分析與最佳化設計”，大葉大學碩士論文，民94。【22】許原興，“油壓機機體設計之應力分析與設計最佳化”，大葉大學碩士論文，民98。【23】卓進興，“機車車體結構分析與最佳化設計”，大葉大學 碩士論文，民92。