什麼是「設計」

顏鴻森*

國立成功大學機械工程學系暨研究所

摘要

設計的意義何在？工程設計、機械(工程)設計、機器(系統)設計以及機械設計之間的關聯性為何？設計和合成、分析以及反分析之內涵有何不同？本文乃作者針對以上有關設計之問題提出個人的看法，並以設計樹的哲理加以闡釋。

前言

設計這個名詞，在日常生活中常被提及。在各種專業領域內亦常被用到。因此，大家對設計皆有著不同程度的了解，但是對它的解释則不盡相同，於是在溝通上就產生了認知的差異而造成困難甚至誤解。

本文的目的在於提出作者對於「設計」的看法，解釋「設計」的意義，說明「工程設計」、「機械(工程)設計」、「機器(系統)設計」以及「機械設計」的關聯性，區別「設計」、「合成」、「分析」以及「反分析」的內涵，並以「設計樹」的哲理來申論設計之道理。希望藉此使大家對「設計」的認知有著程度的共識，以增進有關設計的教育和研究活動在機械工程領域的發展。

設計的意義

人的一生是活在一個不斷變化的大環境中，變化的過程產生了問題，而這些問題絕大多數是未曾有過的。去了解並且想出解決問題方法的過程就叫設計(Design)。

顧名思義，設是施設，計是策畫，設計即足施設策畫。有關設計的定義，在不同的領域中有著不盡相同的說法。一個可以通用的定義是相當困難且不需要的，但為了方便說明起見，設計的意義可分為以下四種層次：
1. 設計是一種行為過程。
2. 設計是一種產生結果的行為過程。
3. 設計是一種產生所需求結果的行為過程。
4. 設計是一種創造性的決定行為過程，用來產生有用且新的結果，以符合人類的需要。

人類的任何活動，都是廣義的設計行為。基本上，只要具有行為能力的人，即具備設計的能力，無論他是否先知先覺，後知後覺，或是不知不知。然而，有些是有結果的，有些是沒有結果的；有些結果是符合所需的，有些結果是不合所需的；有些符合需求的結果是全新的，有些是改進的，有些則是已有的。因此，一部人類文明史，就是一部設計史。

* 教授
機器的設計


機構設計

機構 (Mechanism) 是組成機器的主要單元，用以使機件產生確定的相對運動。因此，機構設計 (Mechanism Design) 的主要目的在於傳遞和轉換機器所需的運動，而不考慮質量和力量等因素。例如自動變速箱之機構設計的重點在於齒輪類型和齒數的決定以及輸入系統的安排，以便在要求傳動並得到所需的轉速比，但不牽涉到力量的傳遞和功率問題。

有關機構設計的研究，是理論推導，可用電腦模擬運動狀態以驗證設計結果；由於它是一種運動理論學，不考慮機件的質量和受力情況，因此不需進行實驗工作。而有關機器設計、機構設計、乃至於工程設計之

研究，由於設計理論之推導皆有個理想的假設條件，因此常需進行必要的測量和實驗，以驗證設計原理的正確程度。

設計的內涵

除了「設計」之外，「分析」這個名詞亦常常被提及；再者，某些研究領域常用「反分析」或「合成」這個術語。到底這四者有何關係，有何不同呢？本節在工程設計的範圍內加以說明。

一個設計問題的解決，就是要研究出一套方法（Methodology）：系統（System）、裝置（Device）、程序（Process）……等，據以利用科學法則（物理、化學、數學……等）及既有的資源轉化，以得到所需要的结果。因此，設計的行為包括四個基本要素：方法、輸入、輸出以及科學法則，它們之間的關係如圖2所示。以下根據這四個要素的關聯性，並以科學法則為已知，說明設計的內涵，表1。

![設計的要素](image)

表1 合成、分析以及反分析

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>輸入</th>
<th>方法</th>
<th>輸出</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>合成</td>
<td>輸入，輸出</td>
<td>方法</td>
<td>不唯一</td>
</tr>
<tr>
<td>分析</td>
<td>輸入，方法</td>
<td>輸出</td>
<td>唯一</td>
</tr>
<tr>
<td>反分析</td>
<td>輸出，方法</td>
<td>輸入</td>
<td>不唯一</td>
</tr>
</tbody>
</table>

合成

合成（Synthesis）乃是把不同的要素組合成一個整體，它是一個系統化程序，用以直接求出合乎設計要求和限制的答案，而不須經過迭代求解的步驟。若「輸入」和「輸出

...為已知，則「合成」就是要找出這三者間之關係的「方法」。圖3所示為一個四連桿組，桿2為輸入桿，桿4為輸出桿。若問題是找出四桿之桿長，使得桿2旋轉Δθ角度時，桿4旋轉Δθ角度，則是屬合成問題。這在機構設計領域中，乃屬尺寸合成（Dimensional Synthesis）問題。解決這個問題的「方法」有多種。例如相對極法（Relative Pole Method）和倒置法（Inversion Method）即是圖解法中常用的兩種。合成所得到的答案，往往不是唯一的。以圖3之機構為例，若沒有任何限制條件，則理論上有無窮大的四種方程答案。

分析

分析（Analysis）是用來驗證一個已經存在
的設計是否符合所求，它的答案是唯一的。若「輸入」和「方法」為已知，則「分析」乃是根據這三者來找出「輸出」。以圖3所示之機構為例，若問題是當四桿之桿長為已知且桿2旋轉Δθ角度時桿4是否旋轉Δθ角度，則屬分析問題。解決這個問題可用的方法亦有多種，直接作圖求解就是一種，亦可利用解析法求得閉合解。但是無論用那種方法來分析問題，只要方法正確，所得到的答案只有一種。

反分析

反分析（Inverse Analysis）乃是將分析問題
中的已知「輸入」變為所求，而原來所求的「輸出」變為已知。反分析所得到的答案，常常不是唯一的。以圖3所示之機構為例，若四連桿之桿長為已知，欲求桿4在θ1位置

![四連桿組](image)

中國機械工程學會第九屆全國學術研討會，高雄市，民國81年11月
設計

設計（Design）則是包括合成和分析，先利用「合成」來找出答案，再利用「分析」來驗證答案。因此，設計所得的答案，大都不是唯一的。

在工程領域中，絕大多數的問題都有相當多的設計變數與限制，而不存在直接合成的理論和方法。因此解決問題之道，大多是參考已存在的設計或者是依據經驗去推納出一個初步答案，再利用分析方法來判斷這個答案是否可以接受。若不行，則修正答案再進行分析；一直反覆進行，直到找出可接受的答案為止。所以，分析方法配合最佳方法，亦可取代合成方法來進行設計。機構設計乃是極少數具有合成理論的學門之一，但亦僅限於極少數的極少機構。

設計樹

以上所言有關設計的種種，可用以下作者所提之「設計樹」來加以闡釋，圖4。

這是一棵非常大的果樹，它枝幹複雜且葉片茂盛，因此無論是在地土或樹上人們皆難以窺其全貌。這棵樹是活的，且在成長也在老化，有新的枝幹、樹葉、果實長出，也有舊的枝幹、樹葉、果實掉落。它的變化是有些種因系統關係，但人們並不完全了解。這樣樹果實的多寡、品質的優劣，取決於它先天的品種和後天的環境。

設計之道，就如爬樹採果。人的一生，就是在爬樹找尋果實。爬樹是一種行為過程，但有些人在樹上卻不知道他們為什麼在樹上為什麼要爬樹。有些人知道爬樹的目的在於採果，但卻於其一生採不到果實。有些人在樹下，但其行為過程產生了果實，但不一定是所需要的结果。有些人採到了可接受的果實，然而是跟隨前人的路徑找到了相同或類似的果實；這種行為過程產生了所需要的結果，但其行為過程不具有創造性且所得的结果不具新穎性。最好作採果（設計）行為乃是每爬到一個岔點時，皆能做出最正確的決定，並在適當的時間內以及有限的人力和經費之限制下，採到所需要的果實（答案）。

正確的決策可使設計者很快的找到所需要的果實；不正確的決策則使設計者經歷挫折、失敗，但亦因而產生經驗。有些錯誤的決策，將令設計者走入一片沒有答案的黑洞，無論花多少時間、人力以及經費，還是一無所獲。工程設計如此，機構設計以及機構設計亦是。

設計中的合成，就如往上爬樹，也許採到不少果實，也許採到一兩個，也許採不到，它的結果不是唯一的。設計中的分析，就如由樹梢往下走，無論是由那一個樹梢為起點皆可到達果實，它的結果是唯一的。因此，如何好好的了解果樹的生長哲理，並找出一套有系統的方法，以求在必要的限制條件下，得到所需的果實，即是設計。
結語

設計和每個人都有極密切的關係，它不但發生在日常生活中，亦存在於專業領域中。每個人都對設計都有些認知，但當我們嘗試去了解它時，卻又發現設計是那麼地難深難以窮其全貌、那麼地複雜難以推理出頭緒。

在機械工程領域中，設計是一種創造性的決策行為過程，它必須在時間、人力、經費以及其它種種限制條件下，產出人們可以接受的新產品。分析是設計的一部份，基本上它是一種科學，答案是唯一的。合成是設計的主體，它是一種工程，必需做很多判斷，答案不是唯一的。設計乃機械工程設計之簡稱，而機器設計當然是機器系統設計。

設計猶如爬樹採果，設計者若能找到自己喜歡的果實，並领悟出爬樹的方法，必能成功的找到豐碩且甜美的果實。

科學所追求的是發現宇宙的真理，工程的目的在於利用這些真理來造就人類更美好的未來，而設計即是達成這個目的的工具和關鍵。機械乃工程之根工業之母，因此如何使大家對設計有正確的認知，以增進機械工程領域中有關設計的教學和研究活動，進而創造出更多新的且更好的機械產品，以改善生活品質，乃是一個值得深入探討的問題。

關鍵字：設計、合成、分析、反分析、設計樹

參考文獻

1. 顏鴻森，"機械設計之定義與課程," 機械工程，中國機械工程學會，第18期，1992年8月，45-51頁。
2. 顏鴻森，"為「機械學」正名," 機械工程，中國機械工程學會，第17期，1990年6月，45-46頁。
3. 顏鴻森，機械原理(一)，國立成功大學機械工程學系，1992年，1-1至1-6頁。

WHAT IS DESIGN?

Hong-Sen Yan

Department of Mechanical Engineering
National Cheng Kung University
Tainan 70101, TAIWAN, R.O.C.

ABSTRACT

This paper presents the author's concepts on design for the following issues: What is the meaning of design? What are the correlations among engineering design, mechanical (engineering) design, machine (system) design, and mechanism design? What are the differences of design, synthesis, analysis, and inverse analysis? The philosophy of Design Tree is also introduced for explaining what is design.

Keywords: Analysis, Design, Design Tree, Synthesis, Inverse Analysis