

第貳章 3D 電腦動畫的發展

過去幾十年來，電腦動畫一直是電腦圖學研究的熱門議題，在全球的電腦圖學盛會 SIGGRAPH 大會上，幾乎每年都有電腦動畫的論文和專題。電腦動畫一年一度的學術會議「Computer Animation」和學術期刊《Journal of Visualization and Computer Animation》為專業人士觀摩和交流這方面的研究成果提供了許多機會。因此使得電腦動畫的發展有了更多支持及理論背景。

而 3D 電腦動畫發展二、三十年來，從觀眾訝異於液態金屬人的變幻莫測，到栩栩如生的恐龍朝觀眾走來，電腦繪圖領域發生了巨大的變化。如今觀眾對於穿梭在電視、電影的 3D 效果早已習以為常，充分說明 3D 動畫技術已深入群眾日常生活。推動電腦動畫發展的一個重要原因是影視特效的需要，影視特效有助於將編劇腦中天馬行空的想像予以視覺化。例如《哈利波特》(Harry Potter)一作，使用大量的 3D 動畫技術來製作幻想中的場景、特效，以達到滿足觀眾視覺刺激的效果，從而創造商業價值。

目前電腦動畫已形成一個巨大的產業，並有進一步壯大的趨勢。運用在電視、電影、動畫、遊戲、設計…應用面不斷加深、加廣，全球產值難以估算。隨著電腦硬體性能價格比的快速提高，商用動畫軟體公司適時地推出了動畫軟體的個人電腦版本，以往僅能運行於專業工作站上價格昂貴的動畫軟體目前已有許多可以運行在個人電腦上。這些優勢使得 3D 電腦動畫的製作人口大增，更加帶動了整個產業鏈。

本章將自界定 3D 電腦動畫的定義開始，逐步探究 3D 電腦動畫的發展過程、特性、製作等，企圖對 3D 動畫有一全面性了解。並探討在文化全球化現象下，對於 3D 動畫所產生的影響。

一、3D 電腦動畫

在開始討論 3D 電腦動畫之前，必須先釐清何謂 3D 電腦動畫？3D 電腦動畫具有哪些特徵？3D 電腦動畫與 2D 形式的動畫之間的差別為何？清楚定義 3D 電腦動畫有助於本研究之後對於表現風格的討論。

(一) 3D 電腦動畫的定義

3D 電腦動畫是運用電腦軟體在電腦中所製作的立體空間動畫，D 是

“Dimension”(維度)的簡稱，因此 3D 即是指具有長、寬、高三個維度的立體造型，而 3D 動畫是運動的立體造型，牽涉到「時間」問題，雖然名為 3D 動畫，實際上卻是一種 4D 形式的藝術。經彙整《電腦動畫基礎與實作》(江振瑞，1991)、《3D 電腦動畫學習方法》(Michael O'Rourke, 2000)、《3D 電腦動畫技術、視覺語言與特質之探討》(林珮淳、陳啓耀，2004)等相關文獻及個人實際經驗，歸納出這種基於電腦演算法構成的動畫至少具有以下特徵：

1. 模型(Model)

當進行 3D 空間中的動畫製作時，就必須在 3D 的環境中建立立體的模型，才能對它進行各種方向的操作。電腦中的 3D 模型以點、線、面架構而成，並表現出空間性的立體感，這些模型的外形是基於幾何形狀(Geometry)的，即數學思考的外型。基本上塑形的方法大致可分為精細尺寸造形、視覺造形與程式性造形。精細尺寸造形方面，如工業產品模型，是以片面(Patch)的造形組合為主，它可以產生如精確的物件邊緣導角與物體曲線弧度等。如〔圖 2-1〕即是精細尺寸造形的模型。視覺造形方面，如基本幾何體造形，是以多邊形(Polygon)或網面結構(Mesh)構成，塑形方法類似於黏土雕塑，將各個物件結構以體的方式加以堆疊來完成整體造型的表現，講求造型的完整性而非精確性。程式性造形方面，主要利用已撰寫完成的程式語言為電腦運算架構，製作出無限擴展的隨機圖形，如碎形(Fractal)。這種塑型方式的特徵是不受電腦像素(pixel)的限制，且具有自我重覆、衍生與隨機等特徵。原則上透過此三種類型的塑模方式，幾乎可以建構出創作者自我想像或模擬的任何物件，創造獨特的視覺性造型。

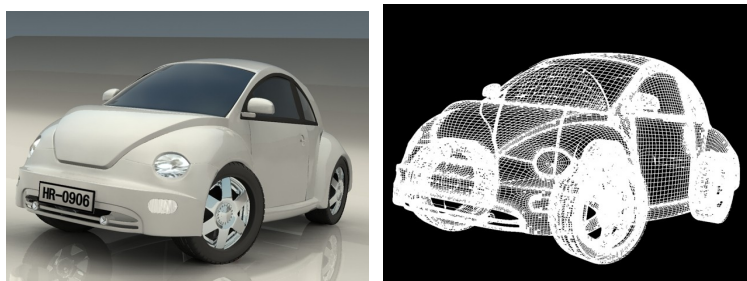


圖 2-1 以點線面架構的 3D 模型

2. 表面特徵(Surface Characteristic)

表面特徵指的是物體的顏色與光澤等質感〔圖 2-2〕，現實生活中不同的物件具有不同的表面特徵，如玻璃、金屬、木材…各自有其不同屬性，這些屬性通常被稱做“shader”，一個 shader 給予物體表面顏色定義，光澤定義…。在 3D 軟體中，

除了可以計算折射(refraction)、反射(reflection)、透明(transparency)等質感，還可以利用數位化後的真實照片或在 2D 軟體中繪製的平面圖像貼附於在 3D 環境中製作的模型上，據以模擬某種材質特性或使某種圖樣出現於模型上，這種方法稱之為材質貼圖(texture mapping)，許多 3D 軟體中也自帶一些由程式生成的程式式貼圖(procedural mapping)。透過這些方式所建構出來的質感，創造了許多令人嘆為觀止及信以為真的影像。



圖 2-2 各種質感的 3D 材質

3. 燈光(Lights)

真實的世界裡必須有光及陰影才能使物體可視，3D 電腦動畫中亦然。燈光也是用來定義整體環境與色彩的主要工具，並且可以任意改變燈光、陰影的強度(intensity)、顏色、數量以產生製作者所欲創造的效果或企圖模擬不同類型的真實光源。一般常見 3D 繪圖軟體中提供的光源有點光源(omni/point light)、聚光燈(spotlight)、平行光(directional light)、體積光(volume light)、區域光(area light)。點光源是 3D 電腦繪圖系統中最普遍的光的類型，模擬裸露燈泡的效果，位於空間中特定的點，向 360 度的方向發散。聚光燈則會發射光線在一個確定的方向上，基本上它的範圍形成一個圓錐形。平行光通常用來表示從無限遠處發射來的光，如陽光，它的範圍為一圓柱形，同樣具有方向性，時常用以照亮整個環境但卻不會花費太多的計算時間。體積光的特性在於清楚描述一個光的體積，位於這個燈光照明體積外的所有物體不會接受任何體積光的光線。常見的體積光形狀有圓球、方柱、圓錐、圓柱。區域光是一種非單一光點而是以一個面區域放出光的效果，如螢光燈或電視機的螢幕，這種效果需要比點光源、聚光燈、平行光花費更多的計算時間。

4. 攝影機(Camera)

在 3D 電腦動畫中，決定場景被看到的物件和被看到的部分的是攝影機。電腦繪圖中的虛擬攝影機包含兩個要素，一是攝影機的位置(camera location)，一是攝影機的視點(camera interest)，再加上攝影機的運動方式，成為創作者傳達故事或訊息的重要因素。攝影機鏡頭的運動方式一般可分為橫搖鏡頭(pan)、旋轉鏡頭

(tumble)、推軌鏡頭(track)、直搖鏡頭(tilt)、伸縮鏡頭(zoom in/out)、升降鏡頭(crane shot)等。橫搖鏡頭是固定攝影機位置而攝影機視點上下或左右移動。旋轉鏡頭是在移動攝影機時始終保持所攝影的目標中心不變。推軌鏡頭是在相同時間內同時改變攝影機位置及目標中心的運鏡方式。直搖鏡頭則是攝影機固定，鏡頭沿著 Z 軸移動的運鏡方式。而伸縮鏡頭是改變攝影機的焦距以達成影像移進移出的感覺。升降鏡頭則是攝影機垂直上下移動拍攝的方式。3D 電腦動畫常使用與攝影機有關的運動還有攝影機路徑動畫及改變焦距(focus)及景深(depth of field)兩種技巧，前者可藉由設定路徑(path)的方式使攝影機沿著路徑運動；後者則是藉改變焦距及景深來限制觀者的視覺焦點與營造某種情境氣氛。

5. 動畫(Animation)

幾乎所有的電腦動畫都基於關鍵畫格(key-frame)的應用，由創作者設定關鍵畫格，而電腦程式自動計算其中間畫格(in-between)來產生動態，省去了逐格繪製或設定的時間與步驟。一個關鍵畫格指的是在時間軸上一個時間的參數變化，參數定義物體在該時間上的變化，這些變化可以是空間上的位移、物體形態的改變、顏色的變化…。而影響諸如此類變化的關鍵在於插補(interpolations)，插補藉由曲線形態控制關鍵畫格之間動態變化的速度及方向。例如直線的插補產生等速度變化，曲線的插補可產生如緩入緩出(slow in/out)的效果。一位專業的創作者必須要學習如何控制關鍵畫格之間插補曲線及數值的變化。

另外，階層架構動畫(Hierarchical Animation)在 3D 電腦動畫中也很常被應用。將模型以合宜的方式架構起來，設定各個模型之間的階層關係，就像是一個樹狀結構，當位於最上層的模型運動時，所有列於此物體下層的物件也會隨之運動，不需個別為之設定關鍵畫格。

3D 電腦動畫中還有一些特殊的動畫形式，是基於物理或數學的原理而來的。如模擬(simulation)、分子系統(particle system)及運動力學(motion dynamics)。這些動畫製作方式可以模擬真實物件的動態，如布料、毛髮、流體或煙、火、雲等無實體的微粒的動態。

6. 算圖(Rendering)

從 3D 資源中產生 2D 圖片的過程叫做算圖(rendering)，它可以將在 3D 電腦軟體中所建立的模型、燈光、材質、動畫…等視覺化。目前應用於 3D 電腦動畫的算圖方式有光線追蹤(ray tracing)法及熱輻射(radiosity)法，前者可創造具有反射折射的材質及逼真的光影呈現，後者則以間接漫射(diffuse)光影與材質呈現來模擬真實環境。另外，許多 3D 軟體的協力廠商也各自推出了不同類型的外掛算圖軟體，各

自擁有其算圖引擎，提供了多元的視覺效果。

此外還有非擬真算圖(non-realistic rendering)的演算法，可以模擬傳統繪畫的質感表現。如水墨、水彩、素描、色塊著色等效果〔圖 2-3〕，甚至可為物體設定不同效果的輪廓線，勾勒出具有藝術風格的線條，更加豐富了觀者的視覺內涵。



圖 2-3 各種非擬真算圖的藝術效果

(二) 3D/2D 電腦動畫的區別

動畫的生成是基於視覺暫留(persistence of vision)原理而來，而電腦動畫的原理則還有“key-frame”及“interpolations”的使用。除此之外，電腦動畫還可以提供程式生成動畫的方式。藉由程式語言的編寫來控制物體的建立、運動以及完成一些隨機或複雜規律的效果，如碎形動畫。這類型動畫稱為程序動畫(procedural animation)。

如此說來，似乎電腦動畫的原理不論是 2D 或 3D 都十分相似。如僅以視覺來區分，也就是「看起來」是 2D 或 3D，以目前的情況也容易產生混亂。這是由於現今軟體的發展，許多 2D 軟體也帶有一些虛擬 3D(pseudo 3D)功能。也就是說可以使畫面呈現出來的物體「看起來」像 3D 物件，但是實際上不能在軟體當中做三維的位移、旋轉、縮放，也沒有運用到任何 3D 軟體的多邊形技術。反過來說，非擬真算圖法則是使 3D 畫面呈現類似於 2D 平面圖像的效果。因此以視覺來判斷很容易造成錯誤。

上一節對於 3D 電腦動畫特徵的討論，提供了一些辨別 2D、3D 的思考方向，只要依據這些特徵來判斷，以目前技術的發展來說，比較不容易發生混淆的情況。以模型為例，2D 軟體當中建立的空間、模型，無法任意變換三維座標，因為所有的操作實際是在平面上進行。物體質感不會隨著不同角度的燈光而相應發生變化，特別是多數 2D 軟體當中還沒有燈光的功能，就算具備，也並非真實去計算物體表面，而是以模擬的方式模擬燈光來源、亮面暗面、陰影位置來表現。

2D 中的攝影方式也是一樣，牽涉到空間深度的運鏡方式就無法使用了，但是

我們仍然發現在 2D 動畫中存在這樣的運鏡，實際上是藉由將物體放大縮小來實現。景深則是將設定要在後方的物件利用遮擋、改變物體大小、模糊後方物件、降低後方物件對比等繪畫上常見的手法來體現其前後關係。

最大的分別是在動畫製作方面，運動力學、分子系統及運動捕捉等技術是 3D 軟體特有的動畫製作方式，2D 軟體中沒有相關的功能，也無法達到同樣的效果。

二、3D 電腦動畫的發展

(一) 3D 電腦動畫的歷史

1. 3D 電腦動畫歷史概述

動畫於廿世紀初開始萌芽，而電腦科技在 1950 年後迅速發展，彩色電子影像在 1956 年被發明後，帶動電腦繪圖科技的進步。早期電腦動畫技術用以實施一些科學模擬，如大氣現象等肉眼無法觀察的現象。美國太空總署(NASA)的一些太空站及衛星探測計畫，大多以電腦動畫影片的方式來展現其運作情形。而 1960 年代，互動式電腦藝術的技術逐漸發展成熟且數位化處理儲存資料的技術漸趨穩固，同時加上向量式螢幕技術的發展，以及相對便宜的個人電腦興起等因素。電腦藝術逐漸成為電腦應用的重要發展方向。1963 年，交談式電腦繪圖軟體設計使用後，電腦藝術迅速發展，成為數位科技重要應用的一部份。

1970 年代之後，開始有研究人員嘗試以電腦來製作動畫，一開始只是一些簡單的實驗。到了 1982 年，迪士尼公司的《電子世界爭霸戰》(Tron)中大量運用了電腦動畫。1988 年皮克斯(Pixar)公司的《小錫兵》(Tin Toy)〔圖 2-4〕成為第一部獲得奧斯卡獎的動畫短片，此後電腦繪圖技術在電影特效應用上日漸重要，如《魔鬼終結者 2》(Terminator2)中的液態金屬人、《侏羅紀公園》(Jurassic Park)中鮮明的恐龍形象、《獅子王》(The Lion King)中牛群狂奔的場面…等。1995 年皮克斯的《玩具總動員》是影史上第一部全 3D 電腦動畫的劇情長片。隨後迪士尼、皮克斯、夢工廠等好萊塢公司爭相推出 3D 電腦動畫或以 3D 電腦動畫技術結合 2D 動畫的作品，如《泰山》(Tarzan)、《埃及王子》(The prince of Egypt)〔圖 2-5〕、《蟲蟲危機》…等。在短暫的 3D 動畫歷史中，美國一直處於技術核心及領導地位，世界各國對於 3D 動畫的發展礙於各自國情的不同因素，一直不如美國好萊塢般地蓬勃發展。因此在娛樂事業方面，不能否定商業力量對於 3D 技術成長有著推波助瀾的功效。



圖 2-4 第一部獲得奧斯卡獎的動畫短片《小錫兵》

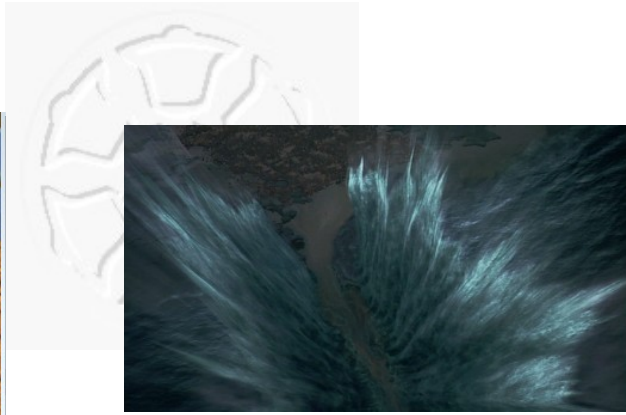


圖 2-5 《埃及王子》中以 3D 技術製作的場面

廿世紀末至廿一世紀初這段時間以來，在動畫領域中最引人注目的即是電腦動畫的發展。由於電腦動畫普遍地被應用於製作電影特效合成於真實影片中造就以假亂真的效果。因此電腦動畫隨著電影工業的推波助瀾下，在技術及美學上的精進與日俱增，不斷地改變動畫及影片的風貌，而 3D 電腦動畫是電腦技術中被應用於動畫、電影方面最複雜也最震撼人心的。

2001 年的《太空戰士》以大量的動態捕捉技術及逼真的材質貼圖將 3D 電腦動畫的擬真技術提升到一個新境界，後續市場上不斷有新的 3D 動畫技術被開發出來並應用於動畫電影工業，如《怪獸電力公司》中逼真的毛髮〔圖 2-6〕、《海底總動員》中的海水〔圖 2-7〕、《史瑞克》中角色的皮膚與布料動態…。



圖 2-6 《怪獸電力公司》角色的毛髮



圖 2-7 《海底總動員》中逼真的海底環境

技術的發展永無止境，但技術並非成就一部優秀 3D 動畫作品唯一或最重要的元素。根據短暫的電腦動畫歷史來看，《太空戰士》及韓國耗費鉅資完成的《晴空戰士》(Wonderful Day)〔圖 2-8〕，這兩部電影純以技術面來探究，在當時已是登峰造極，但票房收入卻沒有獲得相對正比的收益。反觀《史瑞克》這一類由詼諧角色搭配幽默情節的動畫電影反而成爲賣座冠軍〔圖 2-9〕。由此可知一部受觀眾歡

迎的動畫影片最重要的是整體的搭配。從故事內容、角色造型、動作設計、情節編排…環環相扣，對於角色的體現才能更加完備。



圖 2-8 韓國重金打造的《晴空戰士》



圖 2-9 《史瑞克》的角色

2. 世界著名動畫影展簡介

(1) 荷蘭動畫展(Holland Animation Film Festival)

荷蘭動畫展為兩年一次的雙年展，目的在介紹高品質動畫給成年人欣賞，同時提升這些影片在戲院和電視上的播放頻率。此外影展也希望讓商業界注意到獨立和委託動畫作品。影展希望藉由放映不同類型的動畫、舉辦應用動畫和獨立動畫製片競賽，以及提升動畫知名度，來達到此目的。

荷蘭動畫展在競賽項目的分類較為特殊，除了分為獨立製片動畫及應用類動畫，在獨立製片類中又分為非敘事類(non-narrative)及敘事類(narrative)，應用類動畫則有音樂錄影帶(music videos)、宣傳促銷影片(publicity and promotional films)、教育資訊影片(educational and information films)、片頭(station calls and film leaders)幾類。這種分組方式提供參賽者更專精、公平的評審機制。

(2) 加拿大渥太華國際動畫影展(Ottawa International Animation Festival)

渥太華動畫影展是加拿大電影協會在 1975 年所創立的，主要目的為宣揚動畫藝術。渥太華動畫節是北美最大、全球第二大的動畫節。自 2005 年起，由原來的兩年舉辦一次改為一年一次。渥太華影展並提供學生動畫獎學金(TELETOON Canadian Student Animation Scholarship)，以鼓勵學生創作動畫。該影展強調，評審

注重的是作品技術、概念或美學的創新和卓越(technical, conceptual or aesthetic innovation and excellence)。希望入選的作品是誠實、原創且具個人風格的作品。

(3) 法國安錫動畫影展(Annecy International Animated Film Festival)

成立於 1960 年代初期，早期法國動畫影展的前身是隸屬於坎城（Cannes）影展，在政治等因素的考量下，逐漸將動畫類轉移至位於瑞法邊界的安錫（Annecy）。安錫是一個擁有山川湖泊等美麗天然資源的小城鎮。在歷經長達四十多年的影展歷練，不但使安錫成為國際動畫影人每年的朝聖之地，觀光客所帶來的周邊經濟利益，也讓原本以農作經濟為來源的安錫市發展出巨大的商業獲利。

在國際影展逐漸成熟穩定之後，安錫國際動畫影展於八〇年代晚期開始舉辦市場展。起初以雙年展的概念執行，以規模很小的露天攤位的方式推廣。隨後規模漸次擴大，受到國際動畫影壇的注意及支持，安錫影展於是自 1994 年起正式每年舉辦國際市場展（MIFA: International Animated Film Market），並逐年增設攤位，其規模之大，已被視為全世界最重要的動畫市場展。

(4) 美國 ACM SIGGRAPH 電腦動畫展(ACM SIGGRAPH Computer Animation Festival)

SIGGRAPH 是由 ACM SIGGRAPH(the ACM - Association for Computer Machinery - Special Interest Group on Computer Graphics)組織的電腦繪圖年度會議。ACM 是一個世界性的電腦從業人員專業組織，創立於 1947 年，並且是全球歷史最悠久、組織最龐大且具教育性及科學性之電腦組織。專注於電腦軟、硬體相關資訊、想法及新發現。

每年舉辦的 SIGGRAPH 研討會中最受期待與矚目的項目是電腦動畫展(Computer Animation Festival, CAF)，全球數以萬計之觀眾專程赴美觀摩。入選作品水準極高，被公認為電腦動畫界之最高殿堂。

(二) SIGGRAPH 發展概況

ACM 每年都出版大量電腦科學的專門期刊，並就每項專業設有興趣小組。興趣小組每年亦會在全世界（但主要在美國）舉辦世界性講座及會談，以供各會員分享他們的研究成果。SIGGRAPH 是 ACM 最重要的一個分支，也是全世界最重要的電腦圖形處理組織，對於全世界電腦動畫之影響既深且廣，舉凡任何電腦圖形處理之最新理論、演算法至後續軟、硬體之研發以及尖端電腦科技在動畫產業上的實際應用幾乎都可追溯自 SIGGRAPH 研討會論文。目前全球電腦動畫與特效

電影之蓬勃發展應該歸功於 SIGGRAPH 所提供的科學與技術交流平台。近年 ACM 積極開拓線上學習的管道，以供會員可隨時隨地地提升自己的專業技能。第一屆 SIGGRAPH 會議於 1974 年召開。該會議有上萬名電腦從業人員參加，過去的 SIGGRAPH 曾經在全美各地舉辦，最近一次(2006)在美國波士頓舉行。成立三十多年的 SIGGRAPH，不斷致力於促進會員間對於電腦繪圖的理論、設計、施行與應用方面資訊及意見之取得、交換及互動技術之加速交流與了解，運用其各項研討會課程以及教育委員會活動介紹有關電腦繪圖之最新主題，提供各專業領域(如電腦繪圖、藝術、科學等)之研究者與科技研發者互相交流的平台。

SIGGRAPH 每年舉辦的動畫節吸引了全球各地的動畫創作者參與競賽，由七位專業評審依據三項指標(分別為“*Innovation*”、“*Creativity*”、“*Technical Achievement*”)評定每一部動畫作品。評定符合三項指標的作品可入選電子劇院 (“*ET*”，*Electric Theater*)；符合兩項，入選動畫劇院 (“*AT*”，*Animation Theater*)；符合單項或不符任一項則代表落選 (“*NT*”，*No Theater*)。電子劇院是 SIGGRAPH 動畫節的最高榮譽，也代表對動畫創作者的肯定與鼓勵，入選電子劇院的作品為當年度最佳動畫，並在洛杉磯的奧斯卡金像獎頒獎典禮大廳播放。

歷年入選電子劇院作品大多來自於美國，其餘來自於歐洲及日本。許多參賽為知名動畫工作室或頂尖公司團隊、著名學校相關科系學生所創作。SIGGRAPH 入選動畫沒有名次之分，但動畫展結束時會由所有觀眾票選最佳影片 (*People's Choice Award*)，並頒發獎牌。2005 年的觀眾票選最佳影片是來自台灣的《*Cubic Tragedy*》，2006 年則是美國的作品《*One Rat Short*》。SIGGRAPH 台北分會於 2000 年正式成立，每年固定辦理研討會及各項數位圖像研習活動。

三、3D 動畫的製作

(一) 3D 電腦動畫的原理

除了一般的電腦動畫原理如「關鍵畫格」、「內插值」的使用外，3D 電腦動畫的原理牽涉到許多資訊相關技術。前述研究限制中已經做出規範，以下僅就動畫製作的原理原則，以適合 3D 動畫的方向及應用，論述如下：

1. 時間、空間及運動

時間、空間及運動是物理學所關注的問題，在現實的空間中，時間沒有實體，卻統轄所有有機體的活動。人類用以度量時間的單位是年、月、日、時、分、秒，而所有的生物也受到「生理時鐘」的支配，鳥類遷徙；花開花謝即是如此。科學

上時間是難以被定義的一個概念。這樣的矛盾源於另一個更基本的矛盾：時間對空間及運動的關係。時間是靠空間的運動而度量的，例如地球的自轉及公轉。反之運動也以時間來度量，如描述行星的運動，即是以確定其位置的改變與時間的關係。除此之外，空間又是以時間和運動來度量，如古波斯人以一個人在一小時內在平地上能走的路程來度量距離。時間基本上可以稱為是一種連續性的現象，亞里斯多德(Aristotle, 384B.C.~322B.C.)指出「時間呈現週期性的律動，沒有開始也沒有結束。我們了解時間，不僅是因為我們以時間度量運動，而且因為我們以運動度量時間；它們必須此根據對方才能為本身下定義」。希臘哲學家芝諾(Zeno of Elea, 495 B.C.~430 B.C.)認為運動是每個時間點的結合，其理論指出，一個運動在每個時間點都是靜止的動作，這些靜止動作的連結構成了運動。法國哲學家柏格森(Henri Bergson, 1859~1941)則認為時間是一種持續的連續運動，運動之間是不可分割的。雖然柏格森的理論不同於芝諾的觀點，但芝諾提出的概念與視覺暫留的理論有相似性，也和電腦動畫中關鍵畫格和中間畫格的原理不謀而合，動畫中每一格的畫面是靜止的，而時間存在於連續的瞬間凝結的「現在」。3D 電腦動畫是一種與時間、空間及運動有關的藝術形式，3D 動畫不僅可以突破傳統 2D 動畫的空間限制，而能有更大的表現空間外，其無所不能的虛擬特質更能發揮藝術家的想像力並傳達給觀眾。

動畫是由連續圖像所形成的動態影像藝術，時間具有重大意義。動畫中用以度量時間的基本單位稱為畫格(frame)，畫格分為「關鍵畫格」及「中間畫格」。這個概念來自於迪士尼公司發展出來的動畫製作技術，其原理在於先界定出關鍵畫格所在的位置並畫出該位置的動作，再將關鍵畫格之間的畫格動作完成。關鍵畫格間的畫格稱之為中間畫格。在電腦中設定好關鍵畫格，關鍵畫格之間的動作則交由電腦計算。傳統動畫稱中間畫格為 in-betweens，電腦動畫中稱為 interpolations(亦稱內插)，依表現方式的不同可選擇不同的內插法，如線性內插(Linear interpolation)或曲線內插(Curve interpolation)，前者會造成等速度的運動，適合表現機械性運動；後者則可藉由調整曲線造成加速度、減速度、緩入緩出等多種運動變化，較符合自然規律。動畫的藝術為間距(between)的藝術，就是透過兩個影像間間距，藉由前後影像間些微的差異使影像動起來(陳素麗，1998)。在電影當中，每秒需播出 24 格畫面，電視則基本可分為 NTSC 及 PAL 兩種系統，台灣使用的 NTSC 每秒播出 29.97 格畫面，而 PAL 則是每秒 25 格，低於該系統每秒應播出畫格數會導致畫面播出不流暢。

吳佩芬(2004)在《3D 動畫中美式卡通角色運動視覺語言之時間元素建構－以分析《玩具總動員》動畫電影為例》中提及所謂「主觀時間」(subjective time)及「客觀時間」(objective time)的概念。其研究指出，主觀時間指的是人類心理層面對於

周圍環境的感受，無法被量化及數據化，如「度日如年」的感覺；客觀時間則是可以利用時間工具測量出時間單位的時間，可以被觀察及量化，如鐘錶所測量出來的時間。動畫即是利用客觀時間中的經驗而令觀者產生主觀時間感受的一種藝術形式。動畫劇情和畫面帶給觀者的感受程度，是無法用儀器去測量的，雖然動畫的客觀時間有其一定，但主觀時間卻因人而異。鐘世凱(2005)曾以角色動作節奏速度來分析插入不同長度的中間畫格可以表現不同的動作意義，其研究認為中間畫格影響的不只是動作的速度，還能用以傳達角色物件的特性，如重量、質感…等。

因此在劇情呈現方面，不同的時間長度存在著不同的表現意涵。同樣在動畫中表現角色搬起地上的石頭如此簡單的動作時，極短的時間使觀者感覺石頭的重量很輕，而較長的時間搭配角色的表情，會令觀眾立即聯想到所搬的石頭十分沉重。儘管在動畫中不存在現實物理空間的各種力學原理，動畫師仍能透過時間控制及角色演出使觀眾了解其表現意圖。

不同的運動及運動時間將造成不同的視覺印象，這種節奏的變化可以引導觀眾的情緒隨畫面視覺效果或劇情而起伏。虛擬的動畫空間中，更可以因劇情需要而對時間做中斷、延長、加速，時空顛倒等各種控制。


在愛因斯坦的相對論中，空間不能獨立存在，需依附時間，兩者合一構成了真實世界。從古至今的許多藝術作品中，可以發現藝術家試圖以感知來描繪他們心中「真實」的世界，以西方古典繪畫作品而言，畫家希望將其所見的三維空間表現在平面上，因此產生了如空氣遠近法、透視法等表現方式，科學的方法使得外在的空間得以精確表現在畫面上，文藝復興時期的巨匠達文西(Leonardo da Vinci, 1452~1519)即是其中的佼佼者。

3D 動畫本身能創造自己的時間與空間，來適應任何劇情的情勢。在動畫中，時間可以壓縮或延伸，加速或放慢；在過去、現在、未來中進行，甚至可以停止。空間可以緊縮擴張、拉近推遠、顯示真實或虛擬的透視，甚或重製。因此在 3D 動畫中可以在任何時刻前往任何地點，這種虛擬的特質提供創作者及觀眾無限的想像空間。

藝術著重的是感官及心靈的體驗，因此在藝術的表現上，內在的空間概念比起外在空間的真實來得更加重要，經由內在空間的呈現使人體驗到愉悅、悲傷、歡樂、罪惡…等內在情感，使觀者融入精神的感覺，經由觀賞解釋而成為藝術品的一部分。此時，外在空間是否趨向真實世界的表現變得不再重要，因為觀者已經感受到內在空間所給予的，不僅止於視覺所見。

2. 動畫法則

動畫法則(Principle of Animation)是迪士尼的動畫師累積數十年的手繪動畫經



驗所整理出來的十二條規則，嘗試系統化的將動畫的表現手法條列以供新進動畫師依循。在《The Illusion of Life》(Frank Thomas, Ollie Johnston, 1995)一書中，Frank Thomas 與 Ollie Johnston 列舉了這些規則：

(1) 壓縮與伸展(Squash and Stretch)

藉由動作扭曲物體外型，做出壓縮與伸展的表現，表現出物體的質感與量感。同時透過扭曲的位置與形變量，可傳遞出壓縮與伸展的力量來自物體本身或所受外力(力的大小、方向、位置)訊息。

(2) 動作節奏速度(Timing)

動作速度的重要性在於它賦予動作的意義，以傳統動畫製作的角度而言，所指的意思便是在兩個主要動作畫格之間，插入多少中間畫格。不同數目的中間畫格可表現出不同的動作意義。例如同樣的一個角色轉頭的動作，不同的動作時間長度可以表現從目送他人離去到遭外力撞擊的效果。

(3) 預期動作(Anticipation)

角色動作的表演依其發生先後次序，可分成三個階段：準備動作，主要動作本身、動作的結束，而預期動作所指的是發生於主要動作之前的準備動作。預期動作的重要性在於協助動畫師說故事，它讓觀眾對主要動作更明瞭，也使主要動作更具說服力。例如動畫中角色奔跑前會先做出誇張的起跑動作並暫停一、二秒給予觀眾心理準備的時間，此起跑動作即為預備動作。

(4) 佈局(Staging)

動畫演出的整體架構，多個動作構成一個完整的鏡頭表現，動畫架構由多鏡頭構成，清楚簡單的表達是動畫架構的基本要求，如此才能明確故事並使觀者注意集中。

(5) 跟隨與重疊動作(Follow through and overlapping)

跟隨動作指的是在主要動作之後，有一「跟隨」的動作來補足主要動作的完整性或加強動作的戲劇性；重疊動作指的是動作彼此之間在時間軸上的重疊現象。以前後發生的兩個主要動作而言，在第一動作完全結束之前，第二動作已經開始動作，因此不至於有動作表演上的空檔，提高戲劇的節奏性，其中尤以慣性的考量最為重要。



(6) 連續動作與關鍵動作(Straight ahead action and pose-to-pose action)

動畫除了先將各主要部分之間的畫面完成外，連續動作在進行時，由連續畫格串連動作，直到整個動作完成。關鍵動作就如同電腦動畫製作上最常用的關鍵畫格，不管是傳統動畫或電腦動畫，動畫師最重要的工作便是選對恰當的時間畫格。

(7) 緩入與緩出(Slow in and slow out)

物體常見的運動，不論是獨立的單一個體或有上下連結限制的肢體，對於一個從靜止狀態開始運動的動作而言，從動作的開始至結束並不是以等速度運動，而通常是以緩慢的開始，持續的加速至動作的中期，再減速直至動作緩慢的結束。

(8) 弧形動作(Arcs)

真實生活中的人物動作，除非很刻意費力的去操作維持，否則均不是以直線運動，而是以略帶圓弧的動線在進行動作。動畫師必須能確切掌握動作弧形動線的設定。因為只有平滑流暢的弧線，才能產生平順自然的動作。

(9) 誇張表現(Exaggeration)

誇張是動畫很重要的一項特質，對於角色動畫而言，甚至可以說動畫基本上就是誇張的表演藝術。其應用原則便將動畫中可誇張運作的屬性作某種程度的放大，相較於真人電影，以動畫來展現誇張的效果，所能表現的層面較廣也相對簡易。動畫中誇張的表現方式五花八門，如比例、造型、各種變形方式，誇張的臉部表情、反映情緒的誇張動作……。

(10) 次要動作(Secondary action)

次要動作指的是隨著主要動作所產生的附加動作，目的在輔助強化主要動作，使其更為真實具有說服力。次要動作從屬於主要動作，必須以配合性的動作出現，幅度不能過於劇烈。次要動作具有畫龍點睛的作用，需在設定完高階的主要動作後，微調低階細微的次要動作。例如人物角色走動時，頭髮及衣服必須有相應的動態，臉上的表情要符合當時欲表達的情境，以加強真實感及動感。

(11) 吸引力(Appeal)

指的是設計創造吸引觀眾目光的動作或討喜的美術設計乃至於角色的服裝、造型、個性、舉手投足的動作……。使觀眾產生觀看的慾望。在場景的設計與角色

的造型都應避免過於簡單或太過複雜的設定。以免使觀眾興趣缺缺或難以理解。一般而言，不對稱性更能吸引人的目光，達到使人注意的目的。

(12) 扎實的畫技(Solid drawing)

是指結構精準、栩栩如生的繪畫技巧。在角色的動作設計上，迪士尼的動畫師早已明瞭「好的動作設計從角色的輪廓剪影即可看出」這說明了理想的動作設計明確清楚，簡單、乾淨俐落的動作更具吸引力。相對於 3D 動畫的製作上，動畫師可善用造型簡化、低精度的模型，搭配基本的打光效果，重複檢視動作，以最小的成本做最大的修正並可嘗試不同的動作方式、畫面構成。

前人如 John Lasseter, San Rafael(1987)；翁崇基、彭立洲、王佳銘、王年燦(2004)；鐘世凱(2005)等研究中已經討論過此類基於傳統手繪動畫的規則運用於 3D 動畫的可行性及應用方式。就現有的動畫影片分析，這些動畫準則在 3D 動畫上仍有十分廣大的應用空間。動作表演是動畫的靈魂，有賴於動畫師平日的觀察及練習，雖然現在已有運動捕捉技術，可將真人的動作數據複製到動畫角色中，既快速又真實，但是這些技術所複製下來的數據始終令動畫角色的表演顯得僵硬死板。為了使角色的表演達到氣韻生動的境界，完全複製真人的動作顯然並非最佳製作方式。有經驗的動畫師應該在運動捕捉技術的基礎上，依據個人平日觀察、動畫法則復以想像力來添加各種效果，作動作的再加工，使角色動畫可以更加栩栩如生且令人信服。

(二) 3D 電腦動畫的製作流程

經整合《電腦動畫基礎與實作》、《3D 動畫學習方法》、《動畫創作全覽：優質動畫的原理、實務和技術》(Chris Patmore, 2004)、《動畫技巧百科》(Richard Taylor, 2000)及個人創作經驗，將 3D 電腦動畫的製作流程簡述如下：

1. 故事腳本

「動畫並不僅僅是動作及事件的描寫；在其表象之外還有一個邏輯：一種敘事的形式。而這種形式是必要的」(Richard Taylor, 2000)。動畫最大的特點是可以完全不顧現實的時空因素而將一些連續的片段組合起來，創造出一個全新的世界。因而動畫在主題選擇及表現手法上的自由度很高。腳本是創作者對於動畫概念的發想呈現。不論創作者最初設定的是否為敘事體的動畫，故事腳本上必須具備一定的結構，在一連串的结构中，最重要的是在腳本中描述一個情境，經由情境觀眾才得以了解故事。

2. 角色、場景美術設計

角色和故事腳本息息相關，運用比例及風格化的設計來符合腳本的設定是很重要的。但是動畫製作者仍有屬於個人的主觀偏好，也必須獲得表達，角色的設計原則很多，基本上先以文字來敘述一個角色再依據這些背景來發想是比較理想的流程。一個吸引觀眾目光的角色除了合情合理且具有美感外，更重要的是特色，不論是造型、個性或運動方式。場景亦復如此，基本要先符合腳本的設定，再從中運用美學原理及個人藝術觀點來建立富吸引力的場景〔圖 2-10〕。

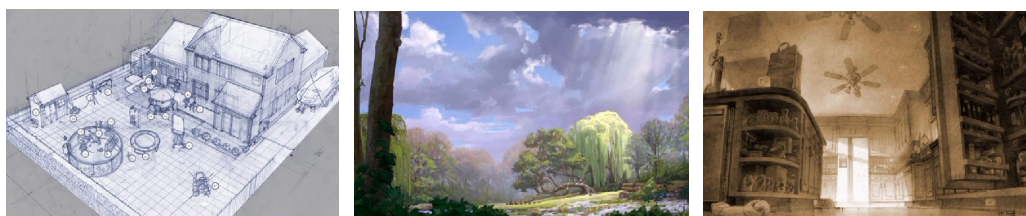


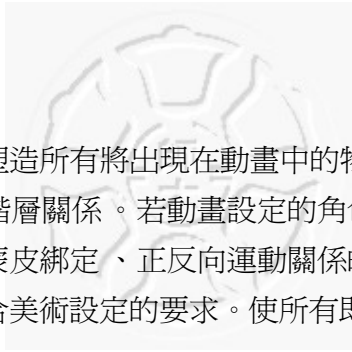
圖 2-10 場景美術設計 - 《森林保衛戰》

3. 分鏡安排

「分鏡表」(storyboards)〔圖 2-11〕是電影所發展出來的一種利用圖畫使導演發展劇情的方式。在動畫中，分鏡表可以視為一種藍圖計畫，便於創作者在創作之初可以概觀整個動畫的全貌並預知可能發生的問題。分鏡表可以表示鏡頭的角度、運行；每個段落的时间，角色的台詞、音效等。雖然分鏡時常與最終成片有差異，但它仍然是剪輯時的依據，而且在團隊共同製作動畫時，分鏡表還可以起到團隊溝通的目的，使每一位製作成員在最短的時間內充分了解如何製作。



圖 2-11 3D 動畫分鏡表 - 《森林保衛戰》



4. 模型製作

這個項目是在電腦中塑造所有將出現在動畫中的物件，並放置到各自被安排的位置，設定物件之間的階層關係。若動畫設定的角色需要以骨骼來控制，還必須設定骨架與模型之間的蒙皮綁定、正反向運動關係的連結。再依據美術設計案加上燈光，使整體氣氛符合美術設定的要求。使所有即將出場的「演員」、「道具」就定位。

5. 技術測試

3D 動畫的技術複雜度相當高，因此在實際開始製作動畫時，進行一些技術測試可以節省許多時間以及減少錯誤發生的機率。對於技術面上非常困難的問題，必須及早解決，或考慮採取替代方案。以免造成耗費大量時間製作的作品面臨必須全盤捨棄的窘境。有經驗的動畫師最具價值的技巧是在不改變動畫原始想法的前提下，避免遭遇技術問題。為了達成這個目標，首先對於整部動畫的結構必須有清楚的想法。越明確的概念越能了解技術的潛在困難度。

動畫的所有方面都要列入技術測試的考量。模型的製作、材質貼圖、燈光、動畫、算圖…等。例如某個模型在劇情中預定要被拆解成多個部分，各自有其運動，製作模型時就不能一體成型。某個物體需要變形，就要同時考慮其上的貼圖要以何種方式跟隨物體變形。如果要製作一段用力揮舞旗幟的動畫，如何使布料跟隨旗杆做出相應的動態變化，布料屬性的模型又該如何製作？其他如算圖及動作測試亦復如此，當發現某些場景的算圖時間過長或電腦硬體無法負荷，在測試過程中就可以考慮分層算圖或減少一些物件。利用這些測試避免某些問題在實際製作中成爲難以克服的障礙。

6. 動畫製作

動畫製作的方式因人而異，有時還牽涉到個人習慣的問題，比較難以定義。一般常用的方式有兩類，一類是逐個關鍵畫格完成的方式，按照關鍵畫格的順序，在每一個關鍵畫格都將動作調整完畢再進行下一格的調整。另一類則是先調整主要動作，再漸次加入其他細部動作，反覆進行直到動作完成，因此越多主要動作就越多細部動作。這兩種作業方式沒有優劣之分，但在操作上以前者需要較多的經驗。

7. 著色輸出

當要將 3D 的鏡頭輸出成 2D 圖像時，除了動畫部分的最後檢查必不可少之外。還必須考慮到的是輸出圖像的大小。這與解析度(resolution)的概念有關，需要

多大的解析度視乎製作何種影片，VCD、DVD、HDTV 還是視訊串流檔案。目前套裝軟體皆提供方便的選項可供直接套用。較高的解析度會有較佳的畫質，但相對必須付出更高的算圖時間，而且是成倍增加。因此在選擇解析度時要審慎考慮。

輸出的格式也很重要，一個輸出的數位資訊可使用多種方式儲存，視乎創作者的需求而定。各類 3D 軟體中提供不同的格式。視訊檔案如 AVI、MOV、WMV；影像檔案如 BMP、JPG、TIFF、TGA、RPF…。如果想要提高影像品質，主流的作法是將影片輸出連續圖檔，再到後製作軟體進行合成(compositing)剪輯。此時應輸出無壓縮格式的圖檔如 TIFF、TGA 之流，以確保影像品質。如欲進一步進行 3D 特效(3D special effects)合成，如景深效果，就要輸出帶有 Z 通道(Z-buffer)資訊的 RLA 或 RPF 格式。

8. 合成、特效與剪輯

許多影片的最終效果都不是在著色輸出後就確定的，因為在製作上不太可能，也不需要一次將所有效果及畫格算出，而且有些效果其實在 3D 軟體中無法實現或製作上較缺乏效率的。舉景深效果為例，雖然某些 3D 軟體中的虛擬攝影機可以計算這種效果，但耗時甚久，遠比不上輸出帶有 Z 通道(Z-buffer)的圖形格式，再到後製作軟體中進行特效來得有效率。對於著色輸出較有利的方式是將所有的畫格分為幾個部分算圖，再將它們組合起來。這個方式還可以應用到每一個畫格上，來進行分層計算。例如目前有一段 1000 個畫格的影片，可以分為五個部分，每個部分 200 格，然後將背景影像和前景人物動作分別單獨計算，最後在軟體中合在一起產生最後的效果，這種處理影像的過程稱為合成。這種算圖方式不僅可以同時利用多部電腦主機算圖，算圖時間也較為節省。

上述處理過程乍看之下顯得多此一舉，其實可以為創作者帶來許多效益及可操作性。因為在動畫的製作過程中，儘管歷經了許多技術測試，自 3D 軟體著色輸出的成品即為無需修改成片的情況是極少的。一旦發生需要修改的情況，將幾個部分分開來計算的圖檔會比較容易且快速地修正錯誤，避免發生全部重新算圖的情況。也許背景出現錯誤需重新算圖來修正，但是前景的角色動作卻是正確的，此時就可以單獨重算背景部分，而無需整張圖檔都重新著色輸出，在越複雜的場景當中，拆分的層越多，這種優勢更加顯著。同樣地，分層著色對於添加特效亦存在各種優勢，最常見的情況是可針對特定部分添加特效。

剪輯對於動畫製作是重要的一環。剪輯將不同的分鏡片段串連起來增加內容合理性，使觀眾了解創作者的表現意圖。優良的剪輯有助於影片內容的完整性及敘述能力。更可以在軟體中進行配音、配樂、字幕的工作，提高動畫吸引力。

四、當代 3D 動畫現象



(一) 技術革新

對於電腦動畫來說，是否製作出成功的作品，端賴於是否有優良的劇情、設定；然而技術關乎的是能否製作出作品的問題。特別是 3D 電腦動畫對於技術面的要求更高，這也是在製作流程中必須進行技術測試的原因。並非所有天馬行空的創意都可以運用 3D 電腦動畫來完成，雖然目前 3D 動畫常使人感覺無所不能。

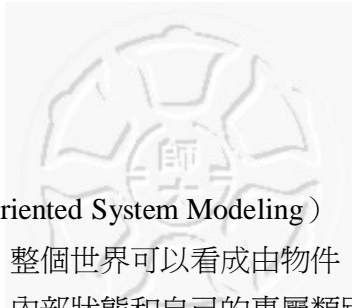
目前全球有許多資訊相關人才致力於 3D 技術及圖學的發展改進，每年世界各地相關的研討會，特別是美國的 SIGGRAPH 都發表了許多新技術及改良技術，有些更已經應用在商業上。陳世昌(2006)在《動畫影片成功的方程式》一文中提及成功動畫影片的六項要素中，「產生一種新技術」是其中的一項條件，文中並舉多部好萊塢的商業動畫為例。認為這些匠心獨具、結合科技與藝術的新創意設計畫面可以令觀眾留下深刻的印象。事實上，有關於 3D 動畫的技術腳步從來沒有停止過。不論是運動捕捉、群體動畫、毛髮、布料、流體、運動力學、各類特效…不斷地被發明或改良，不但為創作者帶來新的工具及製作效率，更為觀眾帶來全新的視覺體驗。3D 動畫在近幾年間，技術突飛猛進，這應歸功於商業動畫的蓬勃發展及影展研討會的論文發表。以下將近年來 3D 動畫重要相關技術革新的項目列舉如下：

1. 模型塑造

(1) 逆向工程(Reverse Engineering)

逆向工程通常是以專案方式進行成品或樣品的仿製。若一件樣品在進行複製或委託時，僅只有實體外型，並無其它圖稿或相關輔助資訊協助設計，或是原始圖稿檔案遺失，無從再製或藉以修改。此時可透過逆向工程取得實體近於相似的模具。此外，其它需求的原因尚包含模型轉換，工件的自由曲面較多、仿製的需求、檢驗的需求等原因。而這種開發方式稱為類比式(Analog type)。而逆向工程在處理方式一般又分為傳統逆向工程與數位化逆向工程。而利用到 3D 技術的是數位化逆向工程。

數位化的逆向工程可以針對樣品，利用 3D 掃描量測儀器，把樣品外型資訊經過掃描量測，並以數位化方式儲存起來，再藉由這些儲存的數位化資訊，進行實體或曲面的繪製，編輯與修改，還可以藉由這些資訊進行產品的再設計，或以所獲資訊為參考標的，設計出其他相關產品。這種建模方式的優點是準確性及可靠



度高。

(2)物件導向塑模 (Object-oriented System Modeling)

在物件導向的觀點裡，整個世界可以看成由物件 (object) 所組成的。每一個物件都有自己的運作行爲、內部狀態和自己的專屬類別 (class)。一個系統則由許多不同物件的組合而成，物件間交互作用產生各式的系統行爲。類別的產生是經由物件的解析，觀察物件的相似性與物件間的共同屬性而產生的。類別產生後，再進行共通性 (generalization) 分析，規劃出具繼承特性的子類別 (subclass) 和父類別 (superclass)，產生系統的類別階層架構。處於下一階層的物件 (子類別物件) 可繼承上一階層 (父類別) 的屬性和行爲。

物件導向塑模在 3D 方面的應用主要在 VRML (Virtual Reality Modeling Language) 方面。VRML2.0 提供了一個以物件為基 (object based) 規格作為三度空間的描述規範，其格式為參考 smalltalk、C++ 和 Java 等程式語言的語言結構，所以它的語法與架構具有物件導向的概念。

(3)網面最佳化 (mesh optimization)

網面最佳化技術也是研究者一直關切的問題，許多學者發展出各種簡化理論及演算方式來降低模型網面數目，提高電腦運算效能。與此同時，優良的簡化方式必須能維持模型的可辨識性及藝術上的視覺美感。

2. 動畫製作

(1)物體變形動畫

在傳統 2D 動畫中，以形狀變形來強調誇張的效果是很常使用的手法。雖然傳統手繪動畫的某些效果在 3D 動畫上還是很難實現，但電腦動畫的研究者們在 3D 形變方面已有不少研究成果，並在商業上得到了廣泛的應用。早期電影《魔鬼終結者 2》中的「液態金屬人」(T-1000) 的變形動畫即為經典案例。大多數變形方法與物體的表示有密切的關係，如通過移動物體的頂點或控制點來對物體進行變形。為了使變形更好地結合到造型和動畫系統中，後續研究者提出了許多與物體表示無關的變形方法。其中一種優秀的變形方法是“FFD” (“Free-From Deformation”) 變形，可以說是物體變形中最實用的方法之一。FFD 法不對物體直接進行變形，而是對物體所嵌入的空間進行變形。爾後歷經許多改良，FFD 方法更加顯示出其廣泛的應用前景，不僅可以應用於實體變形，還能控制關節動物的肌肉變形。

另一種優秀的變形方法稱為 metaball，用以解決人體造型及肌肉隨運動而形變的問題，metaball 是一個具有密度的特殊的球，一組 metaball 的密度為該簇中所有 metaball 密度之和，對應的 3D 模型可表達為一個由等密度的面所圍成的物體。由於 metaball 的特殊密度分布，多個 metaball 可融合成一個光滑的面，正如兩個原子形成一個分子一樣。通過位置、方向、大小和密度的巧妙控制，metaball 可生成許多複雜的形體，且經常是傳統造型方法很難做到的。

(2)基於物理/數學的動畫

指的是動畫中物體的運動或變形基於一定的數學模型或物理規律。最簡單的例子是以一個數學模型去控制物體的幾何形狀和運動。如水波隨風的運動。較複雜的包括彈性理論、動力學、碰撞檢測在內的物體運動；另一類則為為分子系統和群體動畫。

①分子系統

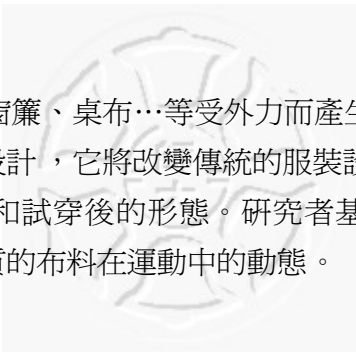
在分子系統中，造型和動畫連成一體。一個物體由一系列的分子來表示，根據各自的動畫。以 Autodesk 公司的軟體 3DS Max 的分子系統為例，每個分子都要經歷「出生」，「運動和生長」及「死亡」三個階段。腳本(script)不僅可控制分子的位置和速度，還可控制粒子的外形參數如顏色、大小、透明度等。分子系統充分體現了不規則物體的動態性和隨機性，使得類比動態的自然景色如火、雲、水…等的實現成為可能。其後分子系統也實現了森林及草地的效果、由風引起的泡沫和濺水的動畫效果，以及閃電、暴風、煙霧、火光等自然現象。分子系統的主要優點在於資料庫放大的功能，例如僅須使用少許基本的腳本語言描述，便可生成由百萬個分子構成的森林景色。

②群體動畫

生物界當中有許多動物如鳥、魚等以某種群體的方式運動，這種運動既有隨機性，又有一定的規律性。群體動畫成功地解決了這個問題，研究人員指出，群體的行爲包含兩個對立的要素，即群體既要相互靠近又要避免碰撞。針對群體動畫的要求，研究人員研究出三項按優先順序遞減的原則來控制群體的行爲：「碰撞避免原則 - 避免與相鄰的群體成員相碰撞」；「速度匹配原則 - 儘量匹配相鄰群體成員的速度」；「群體合群原則 - 群體成員儘量靠近」。

③布料動畫

近年來，布料動畫成為研究者感興趣的研究課題。布料動畫不僅包括人體衣



服的動畫，還包括旗幟、窗簾、桌布…等受外力而產生動態的動畫。布料動畫的一個特殊應用領域為時裝設計，它將改變傳統的服裝設計過程，可讓人們在衣服製作之前看到服裝的式樣和試穿後的形態。研究者基於彈性理論的方程式及原理，成功地模擬出各種材質的布料在運動中的動態。

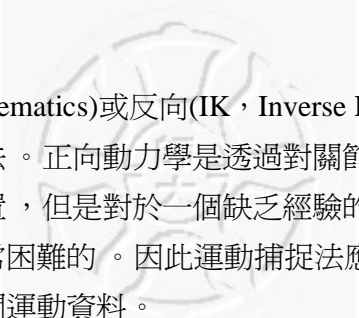
④基於物理模型的動畫

基於物理模型的動畫技術是八十年代後期發展起來的一種新的電腦動畫技術。經過近幾年的發展，它已能逼真地模擬各種自然界物理現象，這是基於幾何的傳統動畫生成技術所無法比擬的，儘管該技術比傳統動畫技術的計算複雜度要高得多。傳統電腦動畫技術要求預先描述物體在某一時刻的幾何位置、方向和形狀，其運動則往往由設置關鍵畫格技術來完成。但是當製作一個逼真的自然運動時，則需要動畫設計者細緻、耐心的調整，此時動畫設計者只能依賴其對真實物理世界的直觀感覺來設計物體在場景中的運動。但真實世界的物體運動往往非常複雜。因而採用傳統的關鍵畫格技術一般來說難以生成令人滿意的動畫。基於物理模型的動畫技術則考慮了物體在真實世界中的屬性，可以設定質量、慣性、彈性、摩擦力等…。並採用動力學原理來自動產生物體的運動。當場景中的物體受到外力作用時，牛頓力學中的標準動力學方程式可以自動生成物體在各個時間點的位置、方向及其形狀。此時，電腦動畫設計者不必著重於物體運動過程的細節，只需確定物體運動所需的一些物理屬性及約束關係，如模擬的精度、公差、外力等。

目前這類動畫的熱門研究大致集中在「剛體運動模擬」、「塑性物體變形運動」以及「流體運動模擬」這三類。「剛體運動模擬」著重在牛頓力學的應用及碰撞檢測運算方式的改良；「塑性物體變形運動」關注在柔體、彈性理論、物體受外力後的形變；「流體運動模擬」除了各種屬性流體的動態，許多研究者更致力於物體融化過程的模擬。

(3)人體及關節動畫

在 3D 電腦動畫中，以人類為角色來製作動畫一直是研究者感興趣的目標，因而關節動畫逐漸成為研究者致力解決的研究課題。近期的電影如《駭客任務》系列、《蜘蛛人》(Spiderman)都有電腦製作的人類模型代替真人演出的部分。雖然 3D 電腦動畫技術發展速度驚人，人體和動物動畫的許多問題仍然尚未解決。人體具有 200 個以上的自由肌和非常複雜的運動，人類的形體不規則，肌肉會隨著人體的運動而變形，人類的個性、表情等千變萬化…。此外人類對自身的運動又非常熟悉，不協調的動作極易為觀者所察覺。因此人體動畫是電腦動畫中最富挑戰性的課題之一。



正向(FK, Forward Kinematics)或反向(IK, Inverse Kinematics)運動學方法是一種設置關節動畫的有效方法。正向動力學是透過對關節旋轉角設置關鍵畫格，得到相關連的各個肢體的位置，但是對於一個缺乏經驗的動畫師來說，運用這個方式來產生逼真的運動是非常困難的。因此運動捕捉法應運而生，它透過即時輸入設備記錄真人各關節的空間運動資料。

反向運動學是由使用者通過指定末端關節的位置，電腦自動計算出各中間關節的位置。雖然較正向運動學簡易，但隨著關節複雜度的增加，反向運動學的複雜度急劇增加，也成為現今極待改良的研究方向。

臉部表情的動畫模擬方面，早期使用數位儀器將人臉的各種表情輸入到電腦中，然後用這些表情的線性組合來產生新的臉部表情。該方法的缺點是缺乏靈活性，不能模擬表情的細微變化。近期的研究者則發明了根據真人臉部表情獲取人臉的三維幾何資訊、顏色和繪製資訊的系統，經由獲取的資料可以重建出非常逼真的三維動態表情。其他的研究成果包括依據照片建立人臉三維模型的紋理映射，並採用 **Morphing** 技術生成不同臉部表情間的過渡技術。

3.其他相關技術

色彩嵌入(Chroma Key)

色彩嵌入為一種特殊嵌入效果，其作法是將影像中某種顏色(如藍色)以其他圖像或影片取代，通常運用於電視攝影棚製作中將藍色背景以其他影像取代(Herbert Zettl, 1999)，國內俗稱為藍幕。這種技術在虛擬攝影棚、特效及後製合成方面應用很廣，。Chroma key 技術雖已相當普及，但在使用上仍有諸多限制，如前景不能出現與藍幕或綠幕相同或太相似的顏色，打光不均勻造成去背效果不佳，背景色反光影響前景物件色偏(blue spill)等問題。目前廠商已積極開發新的技術，例如利用圖形識別方式來避免 Chroma key 的藍色和綠色損失，BBC(British Broadcasting Corporation, 英國廣播公司)則嘗試使用一種特殊的材質(the retro-reflective material)取代傳統的藍幕解決反光問題。

(二) 全球化之下的 3D 電腦動畫

全球化(Globalization)的趨勢始於 1980 年代，這個詞彙由哈佛大學教授李維特(Theodore Levitt)所發明。李維特對全球化的解釋很簡單：「隨著新科技的發展，全球通訊成本也告大幅降低，影響所及，全球各地消費者的品味一致化，為標準化產品創造一個前所未有規模之大的全球市場。」也就是說，「全球化」的主張認為

全世界的政治、經濟、價值觀、文化，在商業活動主導下，將出現趨於一致的傾向。但也越來越多學者注意到全球化並不同於同質化(homogenization)，還需關注其異質化(heterogenization)與在地特殊性的問題(陳仲偉，2002)。

如果針對動畫的全球化來討論，不免會先想到美日兩個最大的動畫輸出國。但如針對 3D 動畫而言，日本無疑被排除在外。好萊塢的商業力量無遠弗屆，迪士尼動畫早在 3D 動畫尚未發展之際就已攻佔全球市場，加上皮克斯自《玩具總動員》以來屢次在 3D 動畫領域上大放異采。無可諱言目前美國在 3D 動畫產業上處於獨領風騷的地位。雖然世界各國的 3D 動畫產業並非毫無發展，但是始終缺乏大量且為人熟知的代表作品。例如歐洲許多優秀的創作者致力於實驗動畫及不同媒材的表現方法；而日本一向以 2D 動畫為主流，在 3D 製作的潮流衝擊下，日本仍然保留了自身的特點，並且據此發展出 2D 與 3D 結合的風格，《青之六號》(Blue Submarine Number 6)〔圖 2-12〕、《蘋果核戰》〔圖 2-13〕、《攻殼機動隊 2》〔圖 2-14〕都是深具特色的作品。但是以全球市場的觀點來看，終究還是屬於小眾作品。當然這還牽涉到這些作品的腳本設定，原本就比較偏向成年觀眾。



圖 2-12 2D 與 3D 結合的《青之六號》



圖 2-13 《蘋果核戰》的仿 2D 賽璐璐風格



圖 2-14 大量運用 3D 技術的《攻殼機動隊 2》

2006 年中國大陸推出第一部全 3D 電腦動畫電影《魔比斯環》〔圖 2-15〕，企圖在商業上取得成功，以帶動其 3D 動畫產業的發展。惜在製作經驗不足及劇本、

資金等問題下，使得作品票房慘淡，但是卻顯示出其企圖心。2005 年台灣宏廣公司自製的《紅孩兒 - 決戰火焰山》(Fire Ball) [圖 2-16] 也面臨殘酷的商業考驗，本片雖非全 3D 動畫，但大量運用 3D 技術，其實與全 3D 動畫已相去不遠，在技術層面上，已經是宏廣公司累積多年代工經驗的力作，但在國內的營收卻不到七成。在大陸地區上映更因盜版問題而收入不及成本百分之一，逼使宏廣為了生存，再度走回代工的老路(蔡幸儒，2006)。對於這種情形，香港電影工作者總會會長吳思遠指出：「…盜版光碟滿街都是，好萊塢又打遍各地，把觀眾的胃口養得又大又刁，電影製作路線不調整，根本沒法子競爭。未來之途只有大幅拉高影片的質量與規模，與西方做硬碰硬的對決，要不就得採差異化策略，端上好萊塢做不出來的菜色，才有一博的機會。」(李天鐸，2004)其他地區如歐洲、澳洲、亞洲其他國家，雖有將 3D 技術運用在電影特效及影視合成方面，在全 3D 動畫的商業製作這部分不是仍付之闕如，就是無力攻佔全球市場。於此環節，好萊塢則佔有絕對優勢。好萊塢電影工業挾著強大的商業資本及長久累積的製作經驗及行銷策略，競爭力不言而喻。2006 年以來，不僅老牌的 3D 動畫製作公司如皮克斯、夢工廠、藍天工作室。八大影業也陸續成立動畫部門搶攻全球 3D 動畫市場，有多達八部的 3D 電腦動畫發行，唯歷年之最。可見全球市場已經邁向 3D 動畫一枝獨秀的情況。



圖 2-15 中國首部 3D 動畫電影
《魔比斯環》



圖 2-16 台灣宏廣製作的《紅孩兒 - 決戰火焰山》

文化全球化為 3D 動畫產業帶來許多效應，由於優勢文化有較多的資本及力量來傳播其文化，連帶壓縮在地文化的發展空間。前文所提中國自製 3D 動畫《魔比斯環》為例，摒除中國在自製 3D 動畫的資本、技術、經驗的問題，題材上的選擇就令人感受到這種全球化的影響力。《魔比斯環》的故事設定類似《星際大戰》(Star Wars)的背景，角色也一致的西方化，甚至劇本是向法國購買，音效配樂也請捷克、澳洲協助，因此在中國受到非常大的質疑，認為《魔比斯環》打著中國第一部 3D

動畫電影的招牌，整部影片的內容及形式卻完全沒有任何東方化的傾向。

《魔比斯環》的製作團隊當初的考量就是企圖以所謂「流行」的題材來搶佔市場，希望先在商業上取得成功，累積資本後再發展具自身文化風格的產品，可惜事與願違，不僅在商業收益上一片慘澹，連帶招致大量非議。

反觀迪士尼所製作的《花木蘭》(Mulan)，在故事情節上顯得很西化。即使是在《花木蘭》這樣的東方故事基礎上，也含有許多美式價值觀。但是即便這些故事很不中國，在中國卻得到了一致的認可，票房自然高下立分。這種情況對於在地文化的生存是很危險的，在西方文化主導的文化全球化之下，在地文化能夠發揮的空間十分有限。但是樂觀的來說，這是在地文化發展的契機。透過外來文化的競爭刺激，促使在地文化求新求變，未嘗不是提升在地文化創意的一個機會。

如此對比的案例給動畫創作者的啓示是要摒除大製作、大資本的迷思，「動畫藝術仍然必須回歸其本質，沒有故事題材，數位內容產業就是空幻的」(陳清文，2005)。皮克斯的成功在於其故事內容吸引觀眾，然後才是影片製作精良。皮克斯的靈魂人物 John Lasseter 指出：「成功的動畫電影有三個要素 - 精彩的故事腳本、逼真的動畫場景及打動人心的角色刻畫」(王仕琦，2006)

在世界各項動畫影展的部分，反而可以看到較多的原創性及在地性。以 3D 動畫最為活躍的 SIGGRAPH 動畫節為例，雖然也有商業動畫作品參展，但是從入選電子劇院的作品來看，商業動畫並無能力主宰影展的風格走向。某些優秀的學生作品亦能佔有一席之地。商業動畫受制於商業利益的考量，必須以大眾的口味為依歸，擁有較高美學素養的人相對起來畢竟是少數，只有在純粹創作的立場下才能無所顧忌的發揮創意。因此動畫影展的交流對於全球化的異質化是有特殊貢獻的。動畫影展研討會的交流，除了提供技術上的支持外，也提供展示新美學方向的舞台，而產業界同時也從動畫影展中找尋新創意的契機。自影展作品汲取靈感、技術，運用本身資金、行銷，將好的創意帶到大螢幕上供觀眾欣賞。共同發展 3D 電腦動畫的未來。