

利用 GPS-RTK 加密航測控制點 提高空三高程精度之研究¹

GPS-RTK Positioning in Control Point Densification for Promoting Vertical Accuracy in Aerotriangulation

陳俊男² 高治喜³ 蔡榮得⁴
Chun-Nan Chen Jr-Shih Kao Victor J. D. Tsai

摘 要

在航空攝影測量中，為重建攝影當時攝影機、像空間及物空間的關係，空中三角測量往往是重要一環，而控制測量為首要且基礎之工作，其目的在賦予航測資料之地理空間意義。本文以彰化地區航測作業為例，以全球定位系統即時動態測量技術施測航空標控制點及自然特徵點，實際探討全球定位系統即時動態控制測量作業對提昇空中三角測量高程精度之效益。

關鍵字：航空攝影測量、空中三角測量、即時動態測量技術

ABSTRACT

Aerotriangulation plays an important role in photogrammetry for establishing the relationships among the camera, the image, and the object space at the time of photo

¹ 本論文初稿部份成果發表於第二十四屆測量學術及應用研討會，國立政治大學，2005 年 9 月。

² 群鷹翔測量科技有限公司地測部經理

³ 群鷹翔測量科技有限公司總經理

⁴ 國立中興大學土木工程學系副教授

exposure. Control survey is the primary and fundamental work in photogrammetry to provide the means for relating aerial photographs to the ground. This paper examines the effectiveness in vertical accuracy promotion of employing the real-time kinematic GPS positioning in artificial targets and natural points surveying for aerotriangulation in a photogrammetric project at Changhua County.

Keyword: Photogrammetry, Aerotriangulation, Real-time kinematic surveying

一、前言

航空攝影測量為遙感探測中最普遍、多用途、最經濟型式之一[Lillesand & Kiefer, 2004]。相對於衛星遙測資料，航攝資料可提供高空間解析力及幾何較真實之資料，除此之外，航攝資料省略大量實地調查，取得資料可作為進一步分析的基礎，例如土地利用調查、變遷分析等，對台灣地區土地利用而言，由於地小人稠，丘陵、山地地形所佔比例大，平坦地區有限，土地使用情況複雜，尤以山坡地濫墾、濫伐嚴重，往往對於現今人類生活、後代子孫及生態保育、自然環境等皆有所衝擊。因此，藉由航空攝影測量快速取得高解析力、高精度之空間資料，將有助於長期環境管理、資源監測與與土地永續利用。

在航空攝影測量領域中，為重建攝影當時之攝影機、像空間及物空間的關係，空中三角測量往往是重要一環，而控制測量為首要且基礎之工作，此即賦與航測資料之地理空間意義。在整個航測作業程序中，地面控制點的作用在於連接像空間坐標系和地空間坐標系，在空中三角測量平差中具有重要地位。地面控制測量作業過程通常先經由建立測區控制網，實地測量，再以控制網內之地面控制點為基礎，建立航空影像連接點的地面位置與高程。因此，物空間控制點之精確度通常皆高於像空間連結點。

航測控制點可分為平面控制點及高程控制點，其先決條件是在航空影像中可清晰辨認。為了達到此一目的，常用方式為在航空影像拍攝前，事先選擇適宜標的，如造標點、或為明顯人工、自然地物點。若原先所選標的於航空影像上分佈不適宜，攝影後，可於控制較弱地區增選明顯人工或自然地物點作為控制點[Wolf & Dewitt, 2000；何維信，1995]。本文以彰化縣溪州附近地區航測作業為例，探討應用全球定位系統(Global Positioning System; GPS)即時動態(Real-Time Kinematic; RTK)測量方式加密控制點作業，評估其在空中三角測量高程精度之效益。

二、全球定位系統即時動態測量

GPS 衛星測量且具高精度、作業方便快捷及全天候觀測特性[Leick, 1995]，不受傳統測量須通視、天候等條件限制，只需點位對空通視良好，即可求得點位之三維坐標，故已廣泛應用於國家級衛星控制網、區域性控制網之建立、圖根及戶地等測量、及航測地面控制測量[Wolf & Dewitt, 2000; 曾清涼、儲慶美，1999；林頌富，1998]。茲簡述 GPS 衛星測量原理與即時動態測量作業如下。

2.1 GPS 定位原理

GPS 衛星定位測量原理係依空間向量關係，應用後方交會法，解算衛星訊號接收儀所在地之空間坐標值。實施衛星定位測量，當衛星訊號接收儀收到第一顆衛星廣播之訊號時，由衛星訊號的廣播星曆計算出該衛星的坐標及與接收儀之間的距離。若以此距離為半徑，可在空間劃構出一球面；當接收到二顆衛星之訊號時，構成二個球面，並交叉成一個圓；當接收到三顆衛星訊號時，構成三個球面，並交叉於二個點，其中一個交叉點即為衛星訊號接收儀所在位置，可經由後級處理軟體解算其緯度、經度及高程坐標。但因衛星傳播的訊號係依據各衛星內部之時鐘震盪時所產生之標準頻率，而接收儀時鐘與衛星時鐘有不同步之時間差，欲解算此項誤差，則至少要接收到第四顆以上衛星訊號，才可以精確計算地面測站位置。因此一般衛星定位測量作業，要求接收儀最少需接收四顆以上衛星訊號，才能解算定位地點坐標[曾清涼、儲慶美，1999]。

2.2 GPS-RTK 動態測量

隨著接收儀之精進，可同時接收更多 GPS 衛星的訊號，以及衛星訊號相位未定值求解理論的進步，GPS 衛星定位測量方法亦不斷的演進，從靜態(Static)、快速靜態(Rapid Static)、虛擬動態(Pseudo-Kinematic)、半動態(Semi-Kinematic)測量，一直到目前結合無線電通訊設備之即時動態(Real-Time Kinematic; RTK)測量[Wolf & Brinker, 1994; Leick, 1995; 曾清涼、儲慶美，1999]，GPS 定位效率已大幅提昇。

相較於 GPS 靜態測量需要較長的觀測時間以及後續資料平差計算的時間，GPS-RTK 即時動態測量經由架設基站(Base station)，移動站接收儀(Rover receiver)只要在點位上觀測幾分鐘，就可依差分定位原理直接即時解算點位坐標，更提昇了

GPS測量定位的效率，在控制測量方面已經證實可以達到內政部對三、四等衛星控制點所訂定的規範精度要求，同時作業有效範圍最遠可以達到約二十公里；而在戶地測量方面的應用亦可以在數筆觀測資料內解出定位精度在公分級的點位坐標，使施測的效率大為提升[孫連水，1997]。

三、實驗成果與分析

3.1 實驗地區及控制測量

本文以群鷹翔測量科技有限公司於彰化縣溪州附近的航空攝影地形測量作業進行 GPS-RTK 動態測量加密控制點實驗，實驗區域航拍範圍像片索引圖、空標點及加測自然點分佈如圖 1 所示。

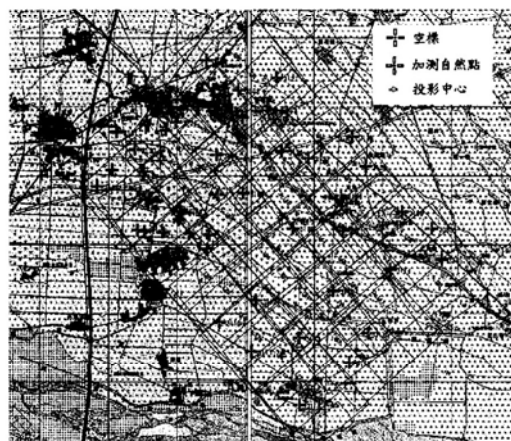


圖 1 實驗區域及佈標圖

控制測量作業於 2004 年 11 月進行傳統精密導線測量及直接水準測量作業，2004 年 12 月 1 日進行 35 個空標控制點之 GPS 靜態測量與 GPS-RTK 動態測量作業、加測自然點 GPS-RTK 動態測量作業、及 GPS-RTK 導線測量作業，使用設備包括美國 Trimble 603 全站儀、瑞士 Leica DNA03 精密水準儀、瑞士 Leica System 530 GPS 衛星定位儀及 RTK 設備等。控制點導線測量作業如圖 2 所示，空標控制點 GPS 靜態測量作業如圖 3 所示、GPS-RTK 動態測量作業如圖 4 及圖 5 所示，加測自然點 GPS-RTK 動態測量作業如圖 6 及圖 7 所示。各項測量成果分別解算點位之三維地面座標(X, Y, H)，對 GPS 定位測量而言，各點之高程值(H)係由橢球高轉換得到；對導線測量而言，各點之高程值(H)係由直接水準測量得到。



圖 2 導線測量

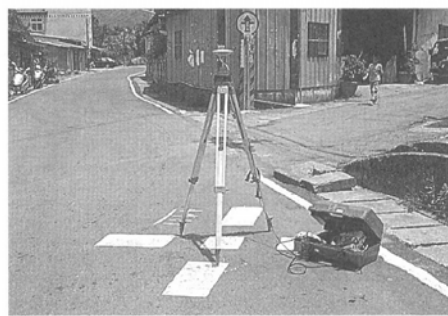


圖 3 空標控制點 GPS 靜態測量



圖 4 GPS-RTK 參考站



圖 5 GPS-RTK 移動站(空標點)



圖 6 GPS-RTK 加測自然點(T 形)



圖 7 GPS-RTK 加測自然點(十字形)

3.2 控制測量成果比較

GPS-RTK 動態測量成果與 GPS 靜態測量成果比較如表 1 所示，二者較差之均方根誤差(Root-Mean-Squared Error; RMSE)在平面控制為 0.022 公尺，在高程控制為 0.071 公尺。而 GPS-RTK 動態測量成果與精密導線測量及水準測量成果比較如表 2 所示，二者較差之均方根誤差在平面控制為 0.017 公尺，在高程控制為 0.057 公尺。由表 1 及表 2 成果比較分析，可得知 GPS-RTK 動態測量在平面控制測量應用上可達公分級精度，而在高程控制測量應用上之精度約為平面控制測量精度之 3-4 倍。

表 1 GPS-RTK 動態測量與 GPS 靜態測量成果比較表 (單位:公尺)

點號	RTK-X	RTK-Y	RTK-H	靜態-X	靜態-Y	靜態-H	ΔX	ΔY	$\Delta X-Y$	ΔH
F3305	201711.473	2637234.793	38.213	201711.477	2637234.781	38.190	-0.004	0.012	0.013	0.023
F3131	201855.041	2636783.946	40.339	201855.039	2636783.920	40.292	0.002	0.026	0.026	0.047
F3130	201281.608	2637473.102	37.478	201281.602	2637473.086	37.486	0.006	0.016	0.017	-0.008
F3124	197985.320	2638777.495	32.436	197985.318	2638777.494	32.512	0.002	0.001	0.002	-0.076
F3123	197386.120	2638385.110	31.194	197386.105	2638385.117	31.278	0.015	-0.007	0.017	-0.084
F3122	196837.637	2637845.522	30.470	196837.635	2637845.518	30.532	0.002	0.004	0.004	-0.062
F3119	198621.773	2635869.761	33.170	198621.799	2635869.764	33.268	-0.026	-0.003	0.026	-0.098
F3117	199082.980	2635446.144	34.298	199083.002	2635446.135	34.396	-0.022	0.009	0.024	-0.098
F3116	200513.907	2635281.831	37.685	200513.915	2635281.831	37.638	-0.008	0.000	0.008	0.047
F3115	200795.452	2635729.508	39.091	200795.460	2635729.495	39.043	-0.008	0.013	0.015	0.048
F3114	201102.754	2636643.224	39.016	201102.758	2636643.216	38.986	-0.004	0.008	0.009	0.030
F3113	199781.209	2635647.455	35.802	199781.226	2635647.451	35.831	-0.017	0.004	0.017	-0.029
F3112	199148.026	2636187.741	35.693	199148.032	2636187.733	35.775	-0.006	0.008	0.010	-0.082
F3111	200411.114	2637198.863	37.160	200411.120	2637198.854	37.192	-0.006	0.009	0.011	-0.032
F3110	200280.517	2636329.223	36.835	200280.524	2636329.220	36.847	-0.007	0.003	0.008	-0.012
F3109	199690.614	2637237.548	35.129	199690.607	2637237.551	34.982	0.007	-0.003	0.008	0.147
F3108	198968.619	2637747.324	35.675	198968.611	2637747.320	35.626	0.008	0.004	0.009	0.049
F3105	198577.747	2638307.962	33.946	198577.729	2638307.957	33.933	0.018	0.005	0.019	0.013
F3101	197120.945	2638635.981	30.471	197120.937	2638635.986	30.592	0.008	-0.005	0.009	-0.121
F3100	196560.156	2638254.760	30.071	196560.153	2638254.756	30.177	0.003	0.004	0.005	-0.106
F3313	202632.340	2637653.162	38.024	202632.314	2637653.136	37.953	0.026	0.026	0.037	0.071
F3304	202896.979	2636967.681	41.717	202896.980	2636967.661	41.595	-0.001	0.020	0.020	0.122
F3138	202075.646	2638438.216	35.524	202075.639	2638438.196	35.501	0.007	0.020	0.021	0.023
F3137	202113.807	2639121.298	34.880	202113.797	2639121.262	34.839	0.010	0.036	0.037	0.041
F3136	201393.879	2638906.967	34.247	201393.865	2638906.932	34.298	0.014	0.035	0.038	-0.051
F3135	200557.906	2638569.684	35.976	200557.908	2638569.678	36.067	-0.002	0.006	0.006	-0.091
F3134	201183.674	2637983.553	37.569	201183.683	2637983.537	37.579	-0.009	0.016	0.018	-0.010
F3133	200389.667	2637713.815	37.186	200389.677	2637713.782	37.273	-0.010	0.033	0.034	-0.087
F3132	199915.152	2638258.345	35.736	199915.164	2638258.314	35.856	-0.012	0.031	0.033	-0.120
F3128	200751.143	2638136.950	37.197	200751.146	2638136.914	37.259	-0.003	0.036	0.036	-0.062
F3127	199458.897	2639427.845	33.601	199458.872	2639427.846	33.578	0.025	-0.001	0.025	0.023
F3126	198899.564	2639242.117	32.260	198899.540	2639242.127	32.270	0.024	-0.010	0.026	-0.010
F3125	199530.488	2638357.263	34.589	199530.474	2638357.301	34.522	0.014	-0.038	0.040	0.067
F3106	198062.710	2637475.321	32.271	198062.706	2637475.328	32.222	0.004	-0.007	0.008	0.049
F3103	198428.826	2639675.561	30.365	198428.817	2639675.547	30.447	0.009	0.014	0.017	-0.082
RMSE							0.012	0.018	0.022	0.071

備註：GPS 定位測量之高程值皆為橢球高轉換而來。

表 2 GPS-RTK 動態測量與導線測量及水準測量成果比較表 (單位: 公尺)

點號	RTK-X	RTK-Y	RTK-H	導線-X	導線-Y	水準-H	ΔX	ΔY	$\Delta X-Y$	ΔH
L124	199919.510	2638248.393	36.024	199919.516	2638248.397	35.953	-0.006	-0.004	0.007	0.071
L528	201207.471	2637269.787	37.567	201207.461	2637269.775	37.568	0.010	0.012	0.016	-0.001
L532	201313.286	2637281.033	37.725	201313.273	2637281.022	37.709	0.013	0.011	0.017	0.016
W105	198586.710	2637346.390	33.004	198586.721	2637346.375	32.996	-0.011	0.015	0.019	0.008
W11	197625.466	2638247.780	31.166	197625.472	2638247.789	31.196	-0.006	-0.009	0.011	-0.030
W111	199034.263	2637324.168	33.958	199034.271	2637324.177	33.880	-0.008	-0.009	0.012	0.078
W113	199258.788	2637380.326	34.213	199258.788	2637380.331	34.136	0.000	-0.005	0.005	0.077
W114	199287.777	2637493.269	34.289	199287.770	2637493.272	34.228	0.007	-0.003	0.008	0.061
W121	199437.628	2638020.605	34.679	199437.625	2638020.605	34.645	0.003	0.000	0.003	0.034
W139	198613.152	2637978.543	33.326	198613.149	2637978.543	33.290	0.003	0.000	0.003	0.036
W243	201133.089	2637297.552	37.615	201133.066	2637297.544	37.619	0.023	0.008	0.024	-0.004
W47	198058.179	2637872.540	32.505	198058.182	2637872.535	32.510	-0.003	0.005	0.006	-0.005
W66	197889.859	2637380.543	31.598	197889.865	2637380.544	31.579	-0.006	-0.001	0.006	0.019
W78	198455.691	2637488.973	32.767	198455.699	2637488.970	32.727	-0.008	0.003	0.009	0.040
W79	198519.179	2637349.578	33.071	198519.178	2637349.581	33.013	0.001	-0.003	0.003	0.058
W93	198137.177	2638002.843	32.588	198137.185	2638002.841	32.560	-0.008	0.002	0.008	0.028
W159	199167.714	2636892.719	34.777	199167.743	2636892.701	34.896	-0.029	0.018	0.034	-0.119
W164	199108.607	2636566.955	35.041	199108.618	2636566.950	35.148	-0.011	0.005	0.012	-0.107
W167	199112.704	2636351.167	35.043	199112.727	2636351.170	35.136	-0.023	-0.003	0.023	-0.093
W170	199250.218	2636235.412	35.834	199250.252	2636235.411	35.898	-0.034	0.001	0.034	-0.064
W175	199610.015	2636213.208	36.334	199610.028	2636213.201	36.396	-0.013	0.007	0.015	-0.062
W180	199977.168	2636196.570	37.190	199977.169	2636196.580	37.239	-0.001	-0.010	0.010	-0.049
W183	200205.319	2636095.374	37.826	200205.322	2636095.379	37.821	-0.003	-0.005	0.006	0.005
W187	200461.696	2635932.258	38.245	200461.700	2635932.271	38.219	-0.004	-0.013	0.014	0.026
W190	200654.869	2635813.256	38.666	200654.876	2635813.253	38.635	-0.007	0.003	0.008	0.031
W194	200955.360	2635713.785	39.441	200955.368	2635713.798	39.399	-0.008	-0.013	0.015	0.042
W196	201046.682	2635855.043	39.390	201046.702	2635855.061	39.349	-0.020	-0.018	0.027	0.041
W198	201055.396	2636004.466	39.145	201055.413	2636004.487	39.117	-0.017	-0.021	0.027	0.028
W234	201117.973	2637013.934	38.398	201117.979	2637013.949	38.378	-0.006	-0.015	0.016	0.020
W240	201093.505	2636603.163	39.337	201093.517	2636603.177	39.329	-0.012	-0.014	0.018	0.008
W247	201164.988	2637785.088	38.241	201165.000	2637785.086	38.245	-0.012	0.002	0.012	-0.004
W465	200925.917	2637916.236	37.747	200925.922	2637916.226	37.796	-0.005	0.010	0.011	-0.049
W472	200625.427	2637718.381	36.443	200625.442	2637718.371	36.496	-0.015	0.010	0.018	-0.053
W476	200371.491	2637899.276	35.633	200371.497	2637899.264	35.700	-0.006	0.012	0.013	-0.067
W479	200331.776	2638087.603	35.398	200331.790	2638087.597	35.483	-0.014	0.006	0.015	-0.085
W482	200311.936	2638254.806	35.303	200311.952	2638254.786	35.393	-0.016	0.020	0.026	-0.090
W485	200187.726	2638364.119	35.088	200187.743	2638364.099	35.185	-0.017	0.020	0.026	-0.097
W487	200084.815	2638502.426	34.903	200084.821	2638502.400	35.023	-0.006	0.026	0.027	-0.120
W522	201317.915	2637476.283	37.680	201317.923	2637476.249	37.683	-0.008	0.034	0.035	-0.003
W31	197505.947	2638064.019	31.149	197505.948	2638064.021	31.169	-0.001	-0.002	0.002	-0.020
W30	197440.110	2638056.051	31.082	197440.107	2638056.040	31.095	0.003	0.011	0.011	-0.013
RMSE							0.012	0.012	0.017	0.057

3.3 空中三角測量成果分析

將控制點 GPS 靜態測量成果作為航空影像空中三角測量之已知控制點資料，利用 PAT-B 進行光束法平差計算，結果之精度分析及後驗變方如圖 8 所示，整體可達到 0.026 公尺之精度，而在 X、Y、Z(H)各方向之後驗變方標準差平均值分別為 0.023、0.023、0.054 公尺。再者，將控制點加測自然點之 GPS-RTK 動態測量成果代入航空影像空中三角測量 PAT-B 光束法平差計算，結果之精度分析及後驗變方如圖 9 所示，同樣的整體可達到 0.026 公尺之精度，而在 X、Y、Z(H)各方向之後驗變方標準差平均值分別提昇為 0.022、0.021、0.049 公尺。由此可知，利用 GPS-RTK 動態測量控制點加測自然點，可增加航空影像空中三角測量之可靠度，且在高程控制之精度提昇並較平面控制之精度提昇來得多。

STATISTICS			
1-fold points	=	2	
2-fold points	=	159	
3-fold points	=	169	
4-fold points	=	52	
5-fold points	=	29	
6-fold points	=	47	
number of block points	=	458	
number of observations	=	2966	
number of unknowns	=	1494	
redundancy	=	1472	
number of outliers for image observations	=	0	
number of outliers for control observations	=	0	
ROOT MEAN SQUARE VALUES AND CHECK VALUES OF RESIDUALS OF PHOTOGRAMMETRIC OBSERVATIONS			
	image system	terrain system	image system
image points			
obs x = 1462	rms x = 3.35	rms x = 0.017	chv vx = 10.05
obs y = 1462	rms y = 3.87	rms y = 0.019	chv vy = 11.62
ROOT MEAN SQUARE VALUES AND CHECK VALUES OF RESIDUALS OF NON-PHOTOGRAMMETRIC OBSERVATIONS			
	image system	terrain system	terrain system
control points with sds-no. 1			
obs x = 14	rms x = 2.02	rms x = 0.010	chv vx = 0.03
obs y = 14	rms y = 1.82	rms y = 0.009	chv vy = 0.03
obs z = 14	rms z = 7.22	rms z = 0.036	chv vz = 0.11
SIGMA NAUGHT	5.14	=	0.026
後驗變方：			
mean value of standard deviation of terrain points			
in units of terrain system			
in x		0.023	
in y		0.023	
in z		0.054	

圖 8 利用 GPS 靜態測量施測控制點之 PAT-B 光束法空三平差成果

3.4 成本分析

以本次實驗區域共測 35 點空標點，加二點已知點，共 37 點，GPS 靜態測量使用八部 GPS 接收儀同時觀測，而 GPS-RTK 動態測量用三部 GPS 接收儀及 RTK 無線電通訊配備（1 固定站+2 移動站），均於同一天內施測完成，比較以 GPS 靜態觀測及以 GPS-RTK 動態測量之各種成本差異，如表 3 所示，可知以 GPS-RTK 動態測量方式可節省人工、儀器、時間等成本。

STATISTICS			
1-fold points	=	3	
2-fold points	=	161	
3-fold points	=	176	
4-fold points	=	53	
5-fold points	=	29	
6-fold points	=	50	
number of block points	=	472	
number of observations	=	3104	
number of unknowns	=	1536	
redundancy	=	1568	
number of outliers for image observations	=	0	
number of outliers for control observations	=	0	
ROOT MEAN SQUARE VALUES AND CHECK VALUES OF RESIDUALS OF PHOTOGRAMMETRIC OBSERVATIONS			
image system	terrain system	image system	
image points			
obs x = 1510	rms x = 3.36	rms x = 0.017	chv vx = 10.07
obs y = 1510	rms y = 3.86	rms y = 0.019	chv vy = 11.59
ROOT MEAN SQUARE VALUES AND CHECK VALUES OF RESIDUALS OF NON-PHOTOGRAMMETRIC OBSERVATIONS			
image system	terrain system	terrain system	
control points with sds-no. 1			
obs x = 14	rms x = 2.28	rms x = 0.011	chv vx = 0.03
obs y = 14	rms y = 2.36	rms y = 0.012	chv vy = 0.04
obs z = 14	rms z = 6.85	rms z = 0.034	chv vz = 0.10
control points with sds-no. 2			
obs x = 14	rms x = 5.80	rms x = 0.029	chv vx = 0.09
obs y = 14	rms y = 5.18	rms y = 0.026	chv vy = 0.08
obs z = 14	rms z = 10.71	rms z = 0.054	chv vz = 0.16
SIGMA NAUGHT	5.13	=	0.026
後驗變方：			
mean value of standard deviation of terrain points			
in units of terrain system			
in x			0.022
in y			0.021
in z			0.049

圖 9 控制點加 GPS-RTK 動態測量施測自然點之 PAT-B 光束法空三平差成果

表 3 GPS 控制測量成本比較分析表(經費單位：新台幣)

項 目	GPS靜態觀測		GPS-RTK動態測量	
	數 量	金額	數 量	金額
儀器成本	八部 GPS 接收儀，每部使用費 2,500 元。	20,000	三部 GPS 接收儀及 RTK 設備（1 固定站+2 移動站），每套使用費 3,000 元。	9,000
人工成本	每台儀器配置一人，共 8 人，工資 1,500 元/人天。	12,000	每台儀器配置一人，共 3 人，工資 1,500 元/人天。	4,500
交通成本	汽車 3 部，租用費 2,500 元/天。	7,500	汽車 2 部，租用費 2,500 元/天。	5,000
合 計		39,500		18,500
時間成本	採蛙跳式觀測，每次固定 2 點當連結點，共需施測 6 測回，每測回施測 40 分鐘加移動時間 40 分鐘，共需 $40 \times 6 + 40 \times 5 = 440$ 分鐘。		每點觀測約 2 分鐘加移動時間 10 分鐘，則 2 固定站 + 2 移動站共需 $12 \times (35/2) + 40 \times 1$ （固定站移動）= 250 分鐘	

四、結論與建議

GPS-RTK即時動態測量之適用性、迅速定位及精確性，取決於測區所在之周圍地物、可接收之衛星顆數與衛星幾何分布狀況等條件而定。本文經由實際航測作業，應用 GPS-RTK 即時動態測量於控制點加測自然點加密作業，比較其與傳統導線及水準測量、GPS 靜態測量等之精度與成本、及於航空影像空中三角測量之精度，可得以後之結論與建議：

1. GPS 衛星定位雖無傳統測量點與點間之通視問題，但是影響 GPS 即時動態測量施測之精度，最主要的原因之一是點位附近之遮蔽情況，即點位之透空性須良好，才適合採用 GPS 即時動態測量方式。
2. GPS-RTK 即時動態測量的範圍與使用之無線電功率大小及傳輸路徑有關，功率強才可將基站之觀測資料傳送到較遠之移動站，同時須選擇位於高處之基站，以利無

線電資料傳輸，如果測區位於市區，建築物較多，不利無線電傳輸，建議改用 GSM 系統。

3. GPS-RTK 即時動態測量所得成果之平面位置與高程的精度是足以媲美 GPS 靜態測量之精度，且較 GPS 靜態測量所需之各項（人工、儀器、交通、時間）成本為低。
4. 與 GPS 靜態測量空三平差成果比較，利用 GPS-RTK 動態測量控制點加測自然點，可增加航空影像空中三角測量之可靠度，且在高程控制之精度提昇並較平面控制之精度提昇來得多。
5. 由空三平差成果比較可得，在市區可減少佈標量，以 GPS-RTK 施測自然特徵點替代，而在郊區自然特徵點較少時，則可以用 GPS 靜態施測部分空標點，而以 GPS-RTK 施測其餘空標點，以節省人工、儀器、時間等成本。

五、參考文獻

1. 林頌富(1998)，GPS 輔助土地複丈，國立成功大學測量工程學系碩士論文。
2. 孫連水(1997)，即時動態 GPS 測量應用於控制測量與戶地測量之研究，國立成功大學測量工程學系碩士論文。
3. 曾清涼、儲慶美(1999)，GPS 衛星測量原理與應用，國立成功大學衛星資訊研究中心，台南，台灣。
4. Leick, A. (1995), GPS Satellite Surveying, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, USA.
5. Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer (2004), Remote Sensing and Image Interpretation, 5th Ed., John Wiley & Sons, New York, USA.
6. Wolf, P. R. and R. C. Brinker (1994), Elementary Surveying, 9th Ed., HarperCollins, New York, USA.
7. Wolf, P. R. and B. A. Dewitt (2000), Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, USA.