

「側方觀測」探由 On the Origin of Flank Observation

史天元¹

摘 要

在測量工作中，應用到各種不同的幾何條件，因時適地底達成定位目的，「側方交會」是其中一個基本的方法。回顧其英文名詞，除直觀的「side intersection」外，另有一個名詞：「flank observation」。於究論名詞之際，了解到其由來與軍事作業有關。謹此介紹如下，以為參考。經探究文獻中之描述，「flank observation」應對應「側方觀測」，但不是「側方交會」。就數學面而言，「flank observation」是典型前方交會之一種應用。

Abstract

Utilizing different geometric constraints for obtaining the position of a location, frequently in coordinates, is a typical work for surveying. Among all these methods, “side intersection” is one considered as among the basics. Besides the term “side intersection”, this method is also known as “flank observation”. Tracking the origin of this term, it is found that this term is originated from military operation. This is introduced in this note for readers’ reference. Based on the literatures, “flank observation” is observing from side, geometrically, it is a typical case of “space intersection”, not “side intersection”.

一、前 言

史惠順(1978)第一章第三節介紹測量原理時，其圖 7 即為「側方交會」，依其描述，在由兩個已知點與一個待定點所組成之三角形中，觀測以其中一個已知點與待定點為頂點之夾角，求定待定點之方法。類同該圖，繪製如圖 1。

¹ 國立交通大學土木工程系 教授 ; tyshih@mail.nctu.edu.tw

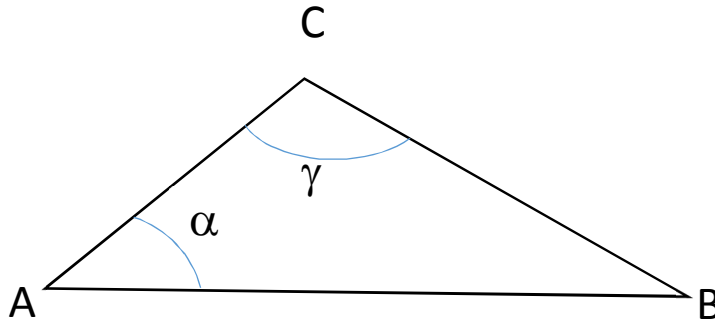


圖 1：側方交會

史惠順(1978)第六章第三節介紹交會法測定三角補點時，除重述其圖形外，並對應用時機，做了進一步完整的描述：「已知 A、B 兩點若 AC、BC 之距離同為不可測量時，測量 $\angle CAB$ 、 $\angle CBA$ 兩角度，可定得 C」。同時，註記其英文名詞為「side intersection」。原則上，這些交會法的觀測量均為角度，依據張芝生等(2003)所編著之「測繪學辭典」，「flank observation」雖然對應之譯名為「測方觀測」，但是詞條註解卻為「同側方交會」，亦即與「side intersection」同義。這個名詞的來源又是如何？本文即以此為標的，予以探討。

二、字義的解釋

Merriam-Webster (2014)定義「flank」為：

1. the area on the side of an animal (such as a horse) between the ribs and the hip (動物 (如馬) 之側邊，肋和臀部之間的區域)
2. the right or left side of a military formation (軍事陣形之右側或左側)
3. the side of something (某物的兩側)

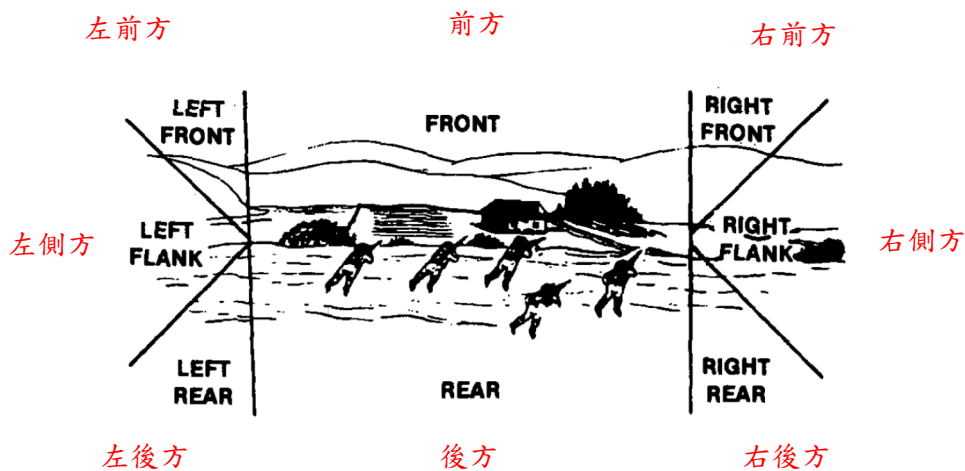


圖 2：美國槍兵手冊一般方向說明(US Marine Corps, 2002, Figure 2-12)

在軍事上的意涵，可由圖 2 獲得一種狀況的說明。所以，「flank observation」之意應為「由側方觀察」或「觀察側邊」。由網際尋求解釋，Answers (2014)與 The Free Dictionary (2014)，均引用根據 McGraw-Hill (2003)的定義：

flank observation: (ordnance) Observation of fire from a place on, or near, the flank of the target; the angle at the target between the gun and the observer is between 75 and 105°.

從射擊目標側面的一個地方觀察，該觀察位置至射擊目標與射擊方向之角度為 75°至 105°之間。

由其他網際詞條，如 Академик (2013)、US Marine Corps (1940)等觀察，此一詞條應源自於軍事上火砲射擊時由標的物側方觀測，在火網分布時，分為前、左、右、三區，左、右均為側方。所以「flank observation」之原意為「側方觀察」，由而衍生至「側方觀測」。根據 US (1910)，此一詞條說明如下：

Flank observation.-Observation of fire from a point on or near the flank. A flank station is one from which the angle battery-target-station is greater than 1,300 mils.

由側方之一點觀測射擊，該點與射擊目標及陣地之夾角大於 1300 密位。

由 US (1910)所述可以演繹得，火砲射擊時，由前方觀測員配合側方觀測員，得以修正砲彈落點，前方觀測員與火砲同位置，所以觀測的就是火砲射擊方向，側方觀測員在左側或右側，與射擊方向成一夾角。所以就實際幾何圖形而言，並不符合圖 1 與史惠順(1978)之「側方交會」描述。實質上，這是一個「前方交會」，只是規範了一個交會角度，而這個角度便是圖 1 中的 γ 。實際上觀測的是三角形中的另外兩個角。但是由於是由「側方」觀測，以輔助「前方」觀測，修正射擊方向，故而稱為「側方觀察(測)」十分適當。如何由「側方觀察(測)」而成為「側方交會」呢？推論由於語意之延伸，以至逐漸與「側方交會」語意相通。

三、角度的探討

在前述的定義中，所謂之側邊，有著明確的角度定義，這「75°至 105°之間」之原由又為何？另一個角度定義值是 1300 密位。密位(Mils)有多種不同定義方式，根據大西洋公約國組織的定義，一圓周為 6400 密位。因此，1300 密位為 $(1300/6400) \times 360$ ，相當於 73°.125。所以 US (1910)規範兩個觀測方向間夾角大於 73°.125 即可，沒有規範上限，推想在實際戰場上，除非射擊目標已遭圍起，這一角度是不容易任意選擇的，如圖 3 所示，雖然圖 3 為針對槍兵陣形排列說明。

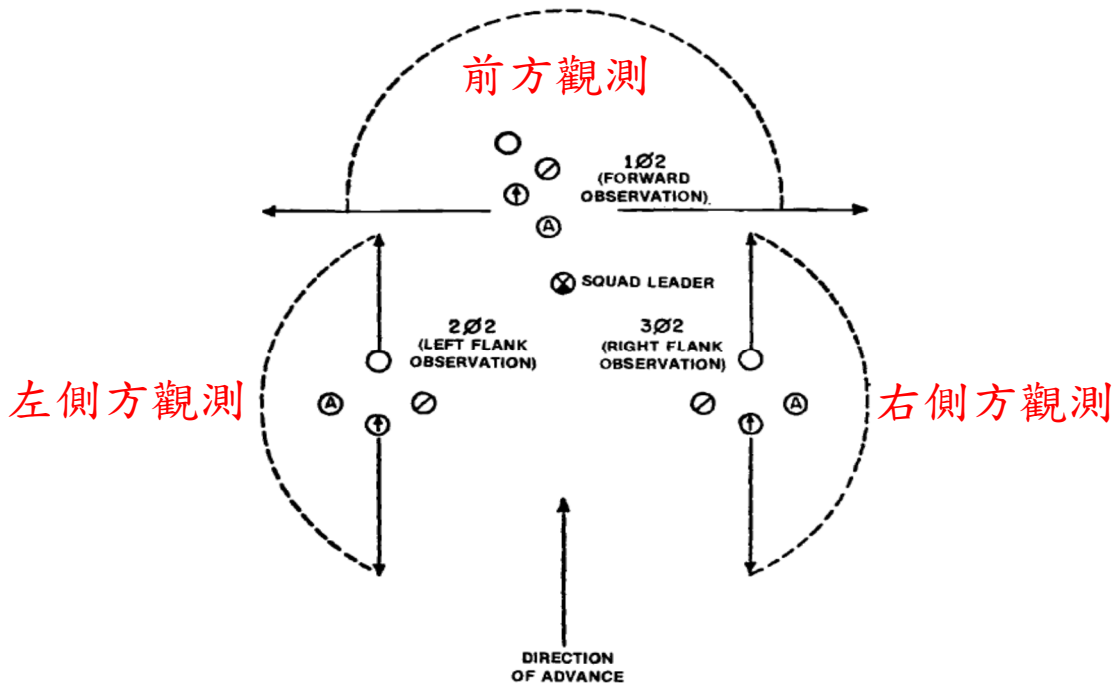


圖 3：美國槍兵手冊觀測方向說明(US Marine Corps, 2002, Figure 4-3)

兩個方向線交會時，最好的交會角是彼此正交，亦即相互間夾角為 90° 。根據 McGraw-Hill (2003)的定義，「角度為 75° 至 105° 之間」，正分別是 $(90^\circ - 15^\circ)$ 與 $(90^\circ + 15^\circ)$ 。 73.125° 與 105° 夾角如圖 4 所展示。

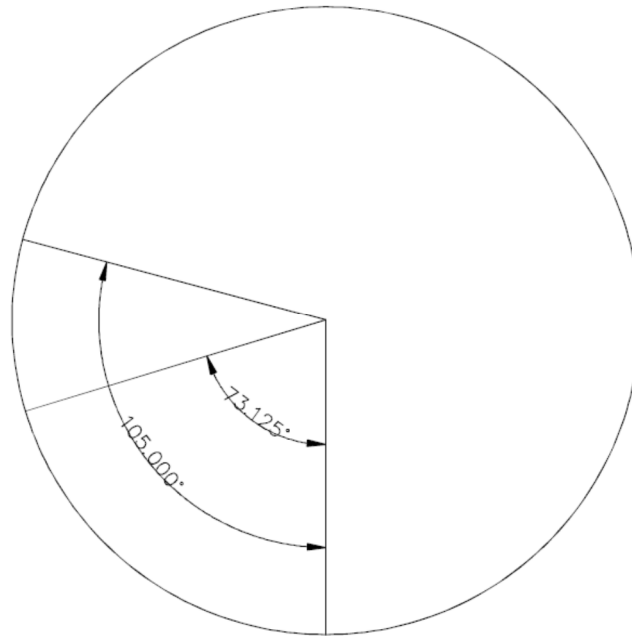


圖 4：側方交會角度規範

一個平面三角形其內角和為 180° ，由圖一可見，目前的定義僅規範 $\angle ACB$ ，另外兩個角度影響如何？若只以確定 C 點位置為目的，由前方與側方角度觀測精度若相同

時，定位的誤差隨距離增加而增。由圖 5 觀察，另兩個角度的影響可以由距離闡述，圖 5 中 $\angle ACB$ 為 $73^{\circ}.125$ 。

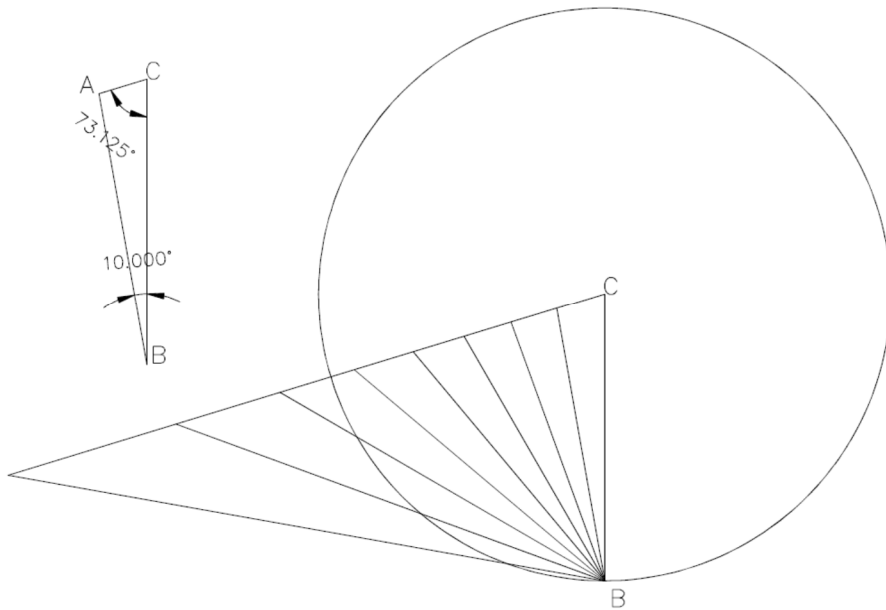


圖 5： $\angle BAC$ 影響

在 $\angle ACB$ 為 $73^{\circ}.125$ ，而且 A 點與 B 點至 C 點間之距離相同時， $\angle ABC$ 與 $\angle BAC$ 為相同，亦即各為 $53^{\circ}.437$ 。 $\angle BAC$ 愈小，表示 AC 距離愈遠，因而由 B 站觀測之誤差影響量亦增加。依據正弦定理，

$$\frac{\sin(\angle ACB)}{AB} = \frac{\sin(\angle BAC)}{BC} = \frac{\sin(\angle ABC)}{AC}$$

若 BC 距離為 1000m，則

$$\frac{\sin(73^{\circ}.125)}{AB} = \frac{\sin(106^{\circ}.875 - \angle ABC)}{1000} = \frac{\sin(\angle ABC)}{AC}$$

據此，可以列出表一之關係。 $\angle ABC$ 與 $\angle BAC$ 為連動，其總合為 $106^{\circ}.875$ 。線性誤差為假定觀測角度誤差為 1° 時，相應距離之值($AC \times \sin(1^{\circ})$)。

表一： $\angle ABC$ 與 $\angle BAC$ 影響

$\angle ABC(^{\circ})$	$\angle BAC(^{\circ})$	$\angle ABC(\text{Radian})$	$\angle BAC(\text{Radian})$	\overline{AC} (m)	線性誤差(m)
10	96.875	0.174533	1.690788	174.9058	3.0525
20	86.875	0.349066	1.516255	342.5295	5.9779
30	76.875	0.523599	1.341722	513.4119	8.9602
40	66.875	0.698132	1.167189	698.9479	12.1983
50	56.875	0.872665	0.992656	914.7014	15.9637
53.4375	53.4375	0.93266	0.93266	1000	17.4524
60	46.875	1.047198	0.818123	1186.557	20.7082
70	36.875	1.22173	0.64359	1565.968	27.3299
80	26.875	1.396263	0.469057	2178.559	38.0210
90	16.875	1.570796	0.294524	3444.894	60.1216

在距離為 1000m 時，相同角度誤差之線性誤差為 17.4524m。因此，當 $\angle ABC$ 與 $\angle BAC$ 均為 $53^\circ.4375$ 時，兩個觀測方向的線性誤差相同。但是，因為兩個觀測方向並非正交，故而 C 點之定位誤差橢圓並非正圓。

由於距離與交會幾何圖形，會產生相互關聯的效果，下階段討論 $\angle ACB$ 角度值時，乃固定距離，讓兩個方向線角度誤差之對應線性誤差相等。如此則三角形簡化為等腰三角形，如圖 6。

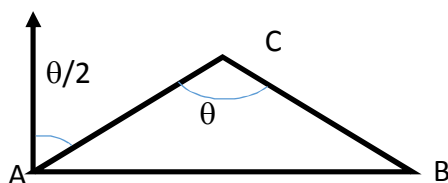


圖 6： $\angle ACB$ 影響

由於只有 45° 時，正弦與餘弦相等，所以 $\angle ACB$ 角度為 90° 時，相對於基線所構成之座標系，縱橫座標相等。不同角度時之誤差影響關係，可以由前方交交會的微分式，經由誤差傳播探討。本文則以簡易式圖解方式說明，如圖 7，為由控制線展現的方式以圖說明。圖 7 左圖之兩個已知點與未知點呈一正三角形，邊長為 3000，誤差線為 $\pm 10^\circ$ ，圖 7 右圖兩個已知點與未知點間為一直角三角形，已知點與未知點間距離亦為 3000，與左圖之正三角形相同，誤差線亦為 $\pm 10^\circ$ 。

本文使用圖解的方式，亦即繪圖後由 CAD(電腦輔助製圖，Computer Aided Drafting)檔案查詢量度，可求得定位誤差圓半徑與面積、定位誤差多邊形面積、頂點間最大距離等。本文使用 QuickArch(築翎科技，2014)製圖及查詢。定位誤差多邊形為由兩個角度誤差線相交而得，定位誤差圓為定位誤差多邊形之內切圓，其圓心即為控制線之交點，亦即未知點正確位置所在。以本例而言，因為只有兩個方向線，所以所形成之誤差多邊形為四邊形，或稱誤差四邊形(誤差鑽石，Error Diamond)。

由於兩個三角形中已知點與未知點間距離相同，斜線區域所展示之誤差圓(Error Circle)半徑均為 520.9445，面積為 852575.4877，但是由誤差多邊形之形態，似乎可以具體觀察到正三角形圖形時並非最佳，而是在交角 90° ，亦即值角三角形時較理想。正三角形時誤差多邊形面積為 1382407.4777，直角三角形圖形之誤差多邊形面積為 1120366.3652。頂點間最大距離，正三角形時為 2333.5857，直角三角形圖形時為 1544.1949。雖然這並不是嚴謹的證明，但是可以用來觀察這一個趨勢，亦即兩個控制線相正交時，定位不確定度是較小的，這亦為「側方觀測」如此規範之理由。至於為何以 $90^\circ \pm 15^\circ$ 為限？還有 1300 密位($73^\circ.125$)？或許是主觀的認定與選擇，亦或許還有其它的理由。

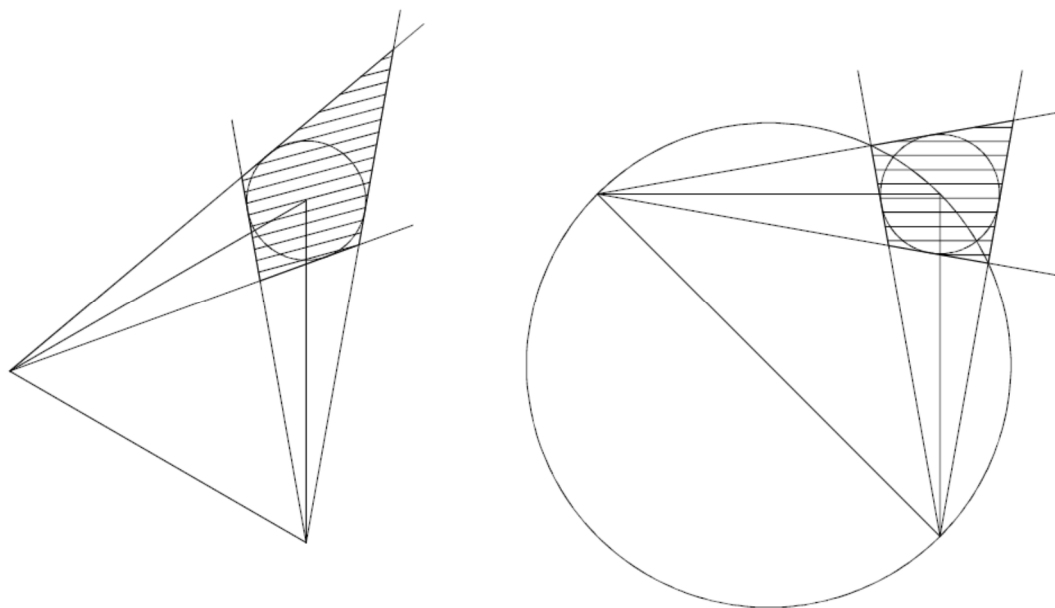


圖 7：以控制線說明 $\angle ACB$ 影響

四、結 語

「測量」是人類探索周遭環境、並進而運用以求生存之基本作為，因此有著相當長久之歷史與典故。對於這些典故有所認知，可以豐富化對該作業方式之理解，或許有助於未來有效的使用。本講義試圖由一個名詞的解說，探討其來源、涵意，盼有助於學者學習。「flank observation」之原意為「側方觀察」，在軍事上針對敵方標的物進行火炮射擊時，採用一個前方陣地的觀察，與兩個側方之一的觀察，可以有效修正火炮射擊方位角與高度。由這兩個方向觀測，可以定位，就圖形而言，由於是由兩個已知點觀測未知點，故為「前方交會」。所以，單就只有「側方觀測」而言，並不足以交會定位。因此，由而衍生至「同側方交會」，是否適當，還有待進一步了解。事實上，經詢問以英語為母語之數個國外大學測量教師後，對於將「flank observation」等同「side intersection」，均持保留或否定之看法。因此，張芝生等(2003)將「flank observation」譯為「側方觀測」，應是正確的。但是註記為「同側方交會」，基本上因為「flank observation」實質上尚未形成交會，而若配合「前方觀測」(forward observation)可以達成交會定位，但是由於兩個角度均是在已知點尚觀測，其圖形是「前方交會」，而且英文語文上尚未查到轉用之情況，故可能是有待斟酌的。

致 謝

本文討論動機源自於雙語學術名詞的探討，謹此向國立台灣大學地理環境資源學系賴進貴教授、國立師範大學地理系王聖鐸教授致謝，謝謝兩位提供意見。有關是否「flank observation」等同「side intersection」，曾蒙加拿大 Prof. Angus Hamilton、Prof. David Coleman、Commander Dave Carney，以及香港理工大學 Prof. Bruce King 指教，

亦謹此致謝。

參考文獻

1. 史惠順，1978。平面測量學(上冊)，國立成功大學。
2. 張芝生、張元旭、曾正雄等，2003。測繪學辭典，鼎文書局出版。
3. 築翊科技，2014。阿基米德 CAD 社群，<http://www.archime.net/>，前次查詢：2014/09/15。
4. Академик (2013), English-Russian military dictionary, http://military_en_ru.academic.ru/48003/flank_observation，前次查詢：2014/08/14。
5. Answers, 2014. Flank Observation, <http://www.answers.com/topic/flank-observation>，前次查詢：2014/08/14。
6. McGraw-Hill, 2003. McGraw-Hill Science & Technology Dictionary, McGraw-Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms, 6E.
7. Merriam-Webster, 2014. Online Dictionary, <http://www.merriam-webster.com/dictionary/flank>，前次查詢：2014/08/28。
8. The Free Dictionary, 2014. Flank Observation, <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/flank+observation>，前次查詢：2014/08/14。
9. US, 1910. Coast Artillery Manual, Seacoast Artillery Fire Control and Position Finding, Prepared under direction of the Chief of Coast Artillery, United States Government. [http://www.6thcorpscombatengineers.com/docs/Field%20Manuals%20to%201940/FM%204-15%20\(%20Coast%20Artillery%20Field%20Manual%20Seacoast%20Artillery%20Fire%20Control%20and%20Position%20Finding%20\).pdf](http://www.6thcorpscombatengineers.com/docs/Field%20Manuals%20to%201940/FM%204-15%20(%20Coast%20Artillery%20Field%20Manual%20Seacoast%20Artillery%20Fire%20Control%20and%20Position%20Finding%20).pdf)，前次查詢：2014/08/14。
10. US Marine Corps, 1940. Small Wars Manual, <http://www.marines.mil/Portals/59/Publications/FMFRP%2012-15%20%20Small%20Wars%20Manual.pdf>，前次查詢：2014/08/28。
11. US Marine Corps, 2002. Marine Rifle Squad, MCWP 3-11.2, <http://www.marines.mil/Portals/59/Publications/MCWP%203-11.2%20Marine%20Rifle%20Squad.pdf>，前次查詢：2014/08/28。