

KẾT NỐI ĐỘ CAO CHUẨN XÁC ĐỊNH TỪ ĐỘ CAO THỦY CHUẨN TRUYỀN THỐNG VÀ TỪ ĐỘ CAO GPS

PHẠM HOÀNG LÂN

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ý tưởng về độ cao chuẩn được M. S. Mohodenski đề xuất năm 1945 [5], sau đó được phát triển thành cơ sở lý thuyết cho một hệ thống độ cao chặt chẽ, hoàn chỉnh được thừa nhận rộng rãi trong việc xây dựng các mạng lưới độ cao quốc gia ở nhiều nước trên thế giới [9]. Vào thời kỳ đầu, những năm 60 của thế kỷ trước cho đến gần đây, độ cao chuẩn được tính ra trên cơ sở đo cao thủy chuẩn truyền thống kết hợp với việc sử dụng số liệu trọng lực. Song từ cách đây khoảng 30 năm cùng với sự ra đời của hệ thống định vị toàn cầu GPS NAVSTAR đã xuất hiện một khả năng mới cho việc xác định độ cao chuẩn, đó là đo cao GPS [3]. Kết quả là ở nhiều quốc gia trong đó có Việt Nam, bên cạnh các điểm mốc độ cao thuộc các lưới thủy chuẩn các cấp hạng khác nhau còn có các điểm có độ cao được xác định từ đo cao GPS với số lượng ngày càng nhiều, cả ở trên đất liền và trên biển. Việc kết hợp sử dụng kết quả đo cao nhận được từ hai công nghệ độc lập như thế trở nên vấn đề thời sự cấp bách vừa có ý nghĩa lý thuyết, vừa có ý nghĩa thực tiễn cao. Trong bài báo này chúng tôi đề cập đến một số khía cạnh kỹ thuật chính của vấn đề kết nối hai loại số liệu độ cao nói trên.

II. BẢN CHẤT LÝ THUYẾT CỦA VẤN ĐỀ

Một số khái niệm cơ bản về độ cao chuẩn và hai nguyên tắc xác định cơ bản đã được trình bày trong [4]. Bây giờ, ta hãy xem xét kỹ hơn về sự khác biệt giữa chúng.

Với bản chất là đoạn pháp tuyến với mặt ellipsoid chuẩn tính từ mặt này lên tới mặt teluroid, trong phương pháp sử dụng kết quả đo cao thủy chuẩn truyền thống, độ cao chuẩn được tính thông qua hiệu thế trọng trường chuẩn giữa điểm N nằm trên mặt teluroid và mặt ellipsoid chuẩn, được thay thế

bằng hiệu thế trọng trường thực giữa mặt đẳng thế thực đi qua điểm xét M trên mặt đất thực (hình 1) và mặt đẳng thế thực đi qua điểm gốc độ cao O (được coi là mặt geoid), tức là theo biểu thức [9] :

$$h_M^{\gamma} = \frac{U_O - U_N}{\gamma_m^M} = \frac{W_O - W_M}{\gamma_m^M} = \frac{\int_O^M g dh}{\gamma_m^M} \quad (1)$$

Đoạn pháp tuyến MM_0 giữa điểm xét M và hình chiếu M_0 của nó trên ellipsoid chuẩn được gọi là độ cao trắc địa của M. Ta có :

$$\begin{aligned} H_M &= \frac{U_O - U_M}{\gamma_m^M} = \\ &= \frac{W_O - W_M + W_M - U_M + U_O - W_O}{\gamma_m^M} \quad (2) \\ &= \frac{W_O - W_M}{\gamma_m^M} + \frac{T_M + U_O - W_O}{\gamma_m^M} \end{aligned}$$

trong đó $T_M = W_M - U_M$ được hiểu là thế nhiễu [9].

Thành phần thứ nhất ký hiệu là h_M^{γ} (xem (1)).

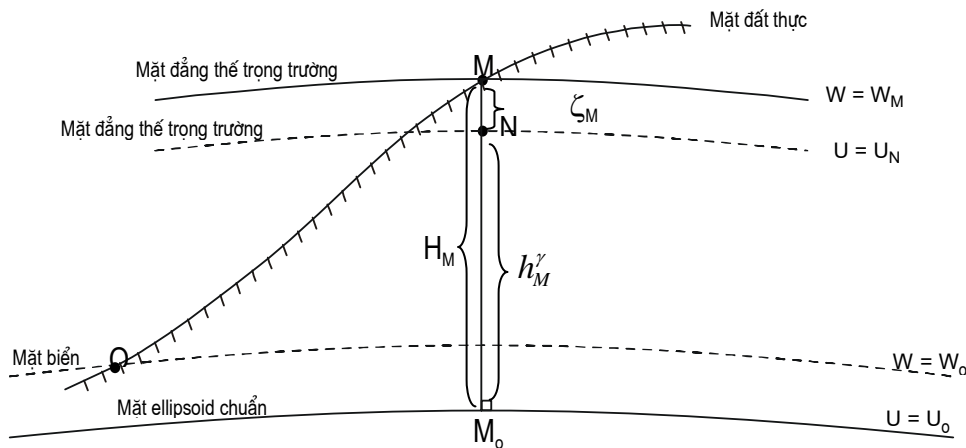
Thành phần thứ hai gọi là dị thường độ cao và ký hiệu là ζ_M . Tương ứng ta có :

$$\zeta_M = \frac{T_M + U_O - W_O}{\gamma_m^M} \quad (3)$$

và

$$H_M = h_M^{\gamma} + \zeta_M \quad (4)$$

Vào năm 1948 khi lý thuyết M.S. Molodenski mới ra đời và chưa được hiểu đầy đủ và chuẩn xác, bằng cách liên hệ lý thuyết của mình với lý thuyết Stokes đã ăn sâu trong khái niệm của các nhà trắc địa đương thời để cho nó trở nên dễ hiểu hơn, chính M.S. Molodenski đã đưa ra khái niệm về mặt quasigeoid [6] và giải thích độ cao chuẩn có thể hiểu



Hình 1. Các mặt cơ bản của hình dạng Trái Đất

là đoạn pháp tuyến với ellipsoid chuẩn tính từ điểm xét đến mặt quasigeoid, tương tự như độ cao chính tính theo đường sức trọng trường thực (đường dây dọi) từ điểm xét đến mặt geoid. Nhiều nhà trắc địa kể cả ở Liên Xô và nhiều nước trên thế giới đã tiếp nhận cách giải thích này theo cách hiểu không đúng của mình và từ đó đã gọi độ cao chuẩn là độ cao so với mặt quasigeoid, còn dị thường độ cao là độ cao của quasigeoid so với ellipsoid chuẩn. L.V. Ogorodova đã đề cập đến sự nhầm lẫn về bản chất cội nguồn của độ cao chuẩn và dị thường độ cao chúng ta thường gặp cho đến nay trong các tài liệu trắc địa [8]. Chỉ với cách hiểu đúng sau khi đã được chấn chỉnh như thế chúng ta mới có thể giải quyết thỏa đáng các bài toán trắc địa lý thuyết hiện đại đang được đặt ra trong đó có vấn đề kết nối độ cao chuẩn chúng ta đang xem xét trong bài báo này.

Quay trở lại với biểu thức (1), ta có thể nhận thấy độ cao chuẩn của một điểm xét cho trước sẽ có các giá trị khác nhau, nếu dẫn từ các điểm gốc độ cao lấy theo các mức nước biển trong bình khác nhau. Đây là một thực tế tồn tại khách quan. Do không thể chỉ ra bề mặt trung bình của các đại dương trên phạm vi toàn bộ Trái Đất, nên điểm gốc độ cao quốc gia ở các nước khác nhau, thậm chí ở cùng một nước có bờ biển rất dài, sẽ lấy theo mặt biển trung bình cục bộ cụ thể khác nhau. Đây cũng chính là nhược điểm của cách tính độ cao chuẩn dựa theo số liệu đo cao thủy chuẩn truyền thống.

Không những thế, giá trị trọng lực thực tế của cùng một điểm sẽ không bằng nhau, nếu được dẫn từ các điểm trọng lực gốc khác nhau. Trên thực tế, các số liệu đo trọng lực có độ chính xác cao đã cho phép phát hiện sai số cỡ 14 mgal trong giá trị trọng

lực tuyệt đối của điểm gốc trọng lực quốc tế Potsdam [7]. Ngay ở nước ta các mạng lưới trọng lực được đo vào các thời kỳ khác nhau và do các đơn vị khác nhau thực hiện cũng lấy theo các giá trị trọng lực gốc khác nhau trong đó rất đáng quan tâm là cho đến bây giờ chưa khẳng định chắc chắn và rõ ràng được giá trị gốc đã sử dụng ở từng vùng cụ thể. Thêm vào đó, sự chênh lệch giữa hệ thống trọng lực quốc tế cũ và mới đã được hiệu chỉnh theo các cách khác nhau: có trường hợp đã hiệu chỉnh cho giá trị trọng lực chuẩn trong công thức trọng lực chuẩn quốc tế của Helmert, có khi lại hiệu chỉnh cho cả hai (và như thế về thực chất hoặc là không hiệu chỉnh gì cả, nếu hiệu chỉnh cùng dấu hoặc là đã hiệu chỉnh hai lần, nếu hiệu chỉnh trái dấu).

Giá trị trọng lực chuẩn γ trong công thức (1) phải được quy về một ellipsoid chuẩn đã lấy cho thế trọng trường chuẩn cụ thể. Tương ứng, ellipsoid đó phải chấp nhận 4 thông số cơ bản của thế trọng trường chuẩn, chẳng hạn là fM , a , α , ω và phải có các yếu tố định vị đã biết, cụ thể là các thành phần tọa độ lệch tâm x_0 , y_0 , z_0 so với tâm quán tính của Trái Đất. Thế nhưng, cả a , x_0 , y_0 , z_0 của ellipsoid chuẩn ứng với công thức trọng lực chuẩn của Helmert vẫn thường dùng trong xử lý tính toán số liệu đo trọng lực ở nhiều nước trên thế giới đều không xác định. Như vậy độ cao chuẩn tính theo (1) không được quy về một mặt ellipsoid chuẩn xác định rõ ràng nào cả. Thực trạng này sẽ là một trở ngại cần khắc phục khi giải quyết bài toán kết nối độ cao chuẩn được tính theo các cách khác nhau.

Bây giờ ta hãy xét trường hợp xác định độ cao chuẩn từ đo cao GPS. Cơ sở của cách xác định này là biểu thức có thể được suy ra từ (4):

$$h^{\gamma} = H - \zeta, \quad (4')$$

trong đó H - độ cao trắc địa xác định theo kết quả đo GPS, ζ - dị thường độ cao xác định theo số liệu dị thường trọng lực trên phạm vi toàn cầu thông qua công thức chặt chẽ của M.S. Molodenski hoặc trong nhiều trường hợp - theo công thức gần đúng của Stokes [6]. Vấn đề mấu chốt ở đây là cả H và đương nhiên cả h^{γ} phải được tính từ cùng một mặt ellipsoid. Điều này có nghĩa là ellipsoid chuẩn tạo ra trọng trường chuẩn với các giá trị trọng lực chuẩn γ có mặt trong giá trị dị thường lực ($g-\gamma$) cần thiết cho việc tính ra ζ và ellipsoid khởi tính cho giá trị H tính ra từ số liệu đo GPS phải là một. Trên thực tế, ellipsoid WGS-84 dùng cho hệ thống GPS NAVSTAR và ellipsoid chuẩn của mô hình trọng trường EGM-96 có chênh khác nhau [2]. Đây là điều cần được tính đến.

Để có thể kết nối hai loại giá trị độ cao chuẩn được xác định độc lập theo các công thức (1) và (4), rõ ràng là cần đặt yêu cầu cho ellipsoid chuẩn tương ứng với trọng lực chuẩn γ tham gia vào việc tính ra ($g-\gamma$) để sử dụng trong (1) và ellipsoid chuẩn tương ứng với γ trong dị thường trọng lực ($g-\gamma$) cần thiết để tính ra ζ trong (4') phải là một. Cụ thể hơn, 4 thông số cơ bản và các yếu tố định vị của ellipsoid chuẩn trong trường hợp sử dụng kết quả đo cao thủy chuẩn truyền thống và trong trường hợp sử dụng kết quả đo cao GPS phải hoàn toàn giống nhau.

iii. Thực trạng cân nhắc phức tạp và cách giải quyết

- Do cho đến nay vẫn song hành tồn tại hai giá trị trọng lực gốc quốc tế là hệ thống trọng lực Potsdam cũ và Potsdam mới, nên cần thống nhất sử dụng một hệ thống, cụ thể là hệ thống trọng lực Potsdam mới. Với những trường hợp đã tính giá trị trọng lực đo được theo hệ thống Potsdam cũ, cần hiệu chỉnh về hệ thống mới và chỉ hiệu chỉnh một lần cho giá trị g đo được ngoài thực địa. Khi tính giá trị trọng lực chuẩn, giữ nguyên các hằng số trong công thức Helmert (1902-1909). Nếu sử dụng giá trị đã hiệu chỉnh của γ_c , cần hiệu chỉnh trả lại.

- Do các mạng lưới trọng lực cục bộ đo vào các thời kỳ khác nhau và do các đơn vị khác nhau phụ trách, nên cần rà soát cụ thể, chi tiết để phát hiện sự chênh khác giữa các giá trị gốc đã sử dụng, để rồi quy chuyển theo một giá trị gốc thống nhất lấy trên cơ sở đo nối với mạng lưới trọng lực quốc gia hiện đại sẽ được hoàn thành.

- Do giá trị trọng lực chuẩn tính theo công thức Helmert không thể quy về ellipsoid chuẩn với các thông số hình học và các yếu tố định vị xác định cụ thể, nên ta cần cân sử dụng công thức khác để tính trọng lực chuẩn tương ứng với 4 thông số xác định nào đó của thể trọng trường chuẩn, chẳng hạn, hệ thống các hằng số cơ bản của Trái Đất như GRS-80 hay PZ-90. Thêm vào đó, cần bảo đảm cho thể trọng trường chuẩn đó cũng chính là thể trọng trường chuẩn sử dụng trong đo cao GPS, cụ thể là trong việc tính dị thường trọng lực để từ đó tính ra dị thường độ cao.

- Việc kết nối hai loại độ cao chuẩn có thể thực hiện thông qua dị thường độ cao như sau :

Gọi dị thường độ cao xác định theo số liệu GPS và thủy chuẩn là $\zeta_{GPS-Thủy chuẩn}$, dị thường độ cao xác định theo số liệu trọng lực là $\zeta_{Trọng lực}$, ta có hiệu giữa chúng là :

$$\delta\zeta = \zeta_{GPS-Thủy chuẩn} - \zeta_{Trọng lực} \quad (5)$$

Đại lượng $\delta\zeta$ được biểu diễn qua các thành phần tọa độ lệch tâm x_0, y_0, z_0 , hiệu bán trục lớn Δa và hiệu độ dẹt $\Delta\alpha$ giữa hai ellipsoid tương ứng với mỗi loại dị thường độ cao theo công thức [4] :

$$\begin{aligned} \delta\zeta = & \cos B \cos L x_0 + \cos B \sin L y_0 + \\ & + \sin B z_0 - N(1 - e^2 \sin^2 B) \frac{\Delta a}{a} + \\ & + M(1 - e^2 \sin^2 B) \sin^2 B \frac{\Delta a}{1-a} \end{aligned} \quad (6)$$

trong đó M, N - các bán kính cong của vòng kinh tuyến và vòng thẳng đứng thứ nhất, B và L - độ vĩ và độ kinh của điểm xét.

Biểu thức (6) có thể biến đổi về dạng :

$$\begin{aligned} \delta\zeta = & \cos B \cos L x_0 + \cos B \sin L y_0 + \\ & + \sin B z_0 - w \Delta a + \frac{a(1-\alpha) \sin^2 B}{w} \Delta \alpha \end{aligned} \quad (7)$$

trong đó

$$w = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$$

Lưu ý tới (5), ta có phương trình số hiệu chỉnh :

$$\begin{aligned} v = & \cos B \cos L x_0 + \cos B \sin L y_0 + \sin B z_0 - w \Delta a + \\ & + \frac{a(1-\alpha) \sin^2 B}{w} \Delta \alpha + (\zeta_{GPS-Thủy chuẩn} - \zeta_{Trọng lực}) \end{aligned} \quad (8)$$

Giải hệ phương trình (8) theo nguyên lý bình phương nhỏ nhất với điều kiện $\Sigma v^2 = \min$, ta sẽ tìm được các ẩn số $x_0, y_0, z_0, \Delta a$ và $\Delta \alpha$. Các ẩn số này đặc trưng cho sự khác biệt về vị trí, kích thước và hình dạng giữa ellipsoid WGS-84 dùng trong việc xử lý số liệu đo GPS và ellipsoid trọng lực tương ứng với số liệu trọng lực cục bộ dùng trong khu vực đang xét để tính ra đại lượng $\zeta_{\text{Trọng lực}}$. Khi đã biết 5 thông số trên, sẽ tính được giá trị $\delta\zeta$ cho bất kỳ điểm nào trong khu vực đang xét để chuyển giá trị $\zeta_{\text{Trọng lực}}$ tương ứng thành $\zeta'_{\text{GPS-Thủy chuẩn}}$ trên cơ sở đó sẽ có giá trị độ cao chuẩn theo biểu thức :

$$h_{\text{Chuan}} = H_{\text{GPS}} - \zeta'_{\text{GPS-Thủy chuẩn}} \quad (9)$$

Như ta thấy, độ cao chuẩn xác định cho điểm xét bất kỳ bằng đo cao GPS đã được quy nhập về hệ thống độ cao chuẩn xác định bằng thủy chuẩn truyền thống. Cách giải quyết đang xét thường gọi là phương pháp làm khớp.

Việc kết nối giữa hai loại độ cao chuẩn còn được thực hiện bằng cách nội suy (hoặc cả ngoại suy) đại lượng $\delta\zeta$ từ các điểm đã biết sang cho điểm xét bất kỳ trên cơ sở sử dụng các phương pháp suy đoán khác nhau như phương pháp Spline, phương pháp Collocation.

Chúng tôi đã sử dụng cả ba phương pháp kết nối nhắc tới ở trên cho hai khu vực thực nghiệm trên lãnh thổ nước ta. Khu vực thứ nhất nằm ở vùng Nam Bộ - Nam Trung Bộ, giới hạn bởi các độ vĩ, độ kinh :

$$\begin{aligned} \varphi_N &= 12^\circ 02', \varphi_S = 9^\circ 15', \\ \lambda_W &= 104^\circ 29', \lambda_E = 108^\circ 00' \end{aligned}$$

Dị thường độ cao GPS - Thủy chuẩn biến đổi trong khoảng $-0,7 \text{ m} \div +10,3 \text{ m}$, còn dị thường độ cao trọng lực - trong khoảng $-11,8 \text{ m} \div +2,9 \text{ m}$.

Khu vực thứ hai nằm ở vùng trung du Bắc Bộ với các giá trị độ vĩ, độ kinh giới hạn như sau :

$$\begin{aligned} \varphi_N &= 22^\circ 32', \varphi_S = 20^\circ 41', \\ \lambda_W &= 103^\circ 51', \lambda_E = 106^\circ 18' \end{aligned}$$

Dị thường độ cao GPS - Thủy chuẩn có giá trị trong khoảng từ $-2,2 \text{ m}$ đến $+3,4 \text{ m}$, còn dị thường độ cao trọng lực từ $-27,3 \text{ m}$ đến $-31,6 \text{ m}$.

Các giá trị dị thường độ cao trọng lực được lấy theo mô hình trọng trường toàn cầu mới nhất là EGM-2008.

Ở mỗi khu vực thực nghiệm có xấp xỉ 150 điểm tại đó có giá trị độ cao trắc địa xác định bằng GPS chính xác, có cả giá trị độ cao thủy chuẩn từ hạng III trở lên và giá trị dị thường độ cao trọng lực. Độ cao nội suy được đem so sánh với độ cao chuẩn đã biết tại các điểm xét. Giá trị trung phương của đại lượng chênh lệch giữa hai loại độ cao như thế cho trong *bảng 1* :

Bảng 1. Giá trị trung phương chênh lệch giữa hai loại độ cao sau khi kết nối

Vị trí khảo sát	Phương pháp		
	Làm khớp	Spline	Collocation
Khu vực 1	0,437 m	0,171 m	0,191 m
Khu vực 2	0,747 m	0,283 m	-

Như ta thấy, việc ghép nối hai loại độ cao chuẩn đã được thực hiện khá tốt trong đó phương pháp Spline cho kết quả tốt nhất ; ở khu vực Nam Bộ - Nam Trung Bộ đại lượng chênh lệch trung phương của độ cao sau khi kết nối chỉ là $0,17 \text{ m}$, còn ở khu vực trung du Bắc Bộ là $0,28 \text{ m}$.

KẾT LUẬN

Kết nối độ cao chuẩn được xác định từ đo cao thủy chuẩn truyền thống và từ đo cao GPS vừa là bài toán thực tế ngày càng trở nên cấp bách, vừa là vấn đề lý thuyết cần sớm được đề cập tới ở nước ta. Trên cơ sở phân tích đã nêu trong bài báo, có thể nhận thấy những khía cạnh kỹ thuật chính cần được sớm giải quyết thỏa đáng. Bài toán này hoàn toàn khả thi trong điều kiện của nước ta và hiện nay đã có thể đạt tới giá trị chênh lệch trung phương giữa hai loại độ cao chuẩn chỉ ở mức $0,2 - 0,3 \text{ m}$.

TÀI LIỆU DẪN

[1] V.V. BROVAR, V.A. MAGNITSKI, B.P. SIMBIREV, 1961 : Lý thuyết hình dạng Trái Đất. Geodezizdat, Moskva, 256 tr. (Ngã văn).

[2] PHẠM HOÀNG LÂN, 1996 : Công nghệ GPS. Bài giảng dùng cho Cao học ngành Trắc địa. Đại học Mở - Địa chất.

[3] PHẠM HOÀNG LÂN, 2008 : Tiến tới thiết lập một độ cao quốc gia có nhiều điểm gốc và thống nhất cho cả lãnh thổ và lãnh hải ở nước ta. Tạp chí Địa chính, **3-6**, 2-7.

[4] M.S. MOLODENSKI, 1945 : Các vấn đề cơ bản của trọng lực trắc địa. Các công trình nghiên

cứ của Viện nghiên cứu Trung ương về Trắc địa, Đo vẽ ảnh hàng không và Bản đồ, tập 42, Geodezizdat, Moskva, 106 tr. (Nga văn).

[5] M.S. MOLODENSKI, 2001 : Tuyển tập các công trình nghiên cứu. Trọng trường. Hình dạng và Cấu trúc bên trong của Trái Đất, "Nauka", Moskva, 570 tr. (Nga văn).

[6] L.V. OGORODOVA, B.P. SIMBIREV, A.P. YUZEFOVITS, 1978 : Trọng lực. "Nedra", Moskva, 324 tr. (Nga văn).

[7] L.V. OGORODOVA, 2004 : Về bề mặt độ cao và tựa độ cao chính. Tuyển tập báo cáo Hội nghị khoa học kỹ thuật Quốc tế nhân kỷ niệm 225 năm trường đại học Trắc địa Bản đồ Moskva, 25-30 (Nga văn).

[8] L.P. PELLINEN, 1978 : Trắc địa cao cấp. (Trắc địa lý thuyết). "Nedra" Moskva, 1978, 264 tr. (Nga văn).

[9] P.S. ZAKATOV, 1976 : Giáo trình trắc địa cao cấp. "Nedra", Moskva, 511 tr. (Nga văn).

[10] Department of Defense World Geodetic System 1984, NIMA, National Imagery and Mapping Agency, January 2000.

SUMMARY

Integrating the normal heights derived from traditional and GPS - levelling

Based on theoretical background of the normal height, the author points out the necessity to provide the same normal ellipsoid for calculation of the height anomaly and the geodetic height in GPS - levelling, and for receiving the normal gravity in normal height determination by using traditional levelling data. Accordingly the problems to be solved for integrating the normal height values determined by two different methods in Vietnam are also pointed out. Furthermore it is shown that the considered task can be realized now with a mean square difference between two kinds of normal height at level of 0,2 - 0,3 m.

Ngày nhận bài : 17 - 12 - 2008

Trường Đại học Mở - Địa chất