



TỔNG QUAN CÁC ĐẶC ĐIỂM CHÍNH CỦA KIỂU MỎ OXIT SẮT - ĐỒNG - VÀNG (IOCG) TRÊN THẾ GIỚI

Lê Xuân Trường

Trường Đại học Mở - Địa chất

Email: lexuantruong@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu các đặc điểm địa chất - quặng hóa chính của kiểu mỏ oxit Fe - Cu - Au (IOCG) trên cơ sở tổng hợp các kết quả nghiên cứu về vị trí phân bố, đặc điểm địa kiến tạo - địa chất - cấu trúc, đặc điểm quặng hóa - biến đổi đá vây quanh quặng của các mỏ, các đai sinh khoáng IOCG nổi tiếng trên thế giới đã được công bố. Đây là kiểu mỏ nội sinh có các đặc điểm nguồn gốc và mô hình tạo quặng gây nhiều tranh cãi nhất. Kiểu mỏ IOCG có khoáng sản chính là Cu hoặc Cu-Au (\pm Fe, đất hiếm) và các khoáng sản đi kèm khá đa dạng, tùy từng mỏ có thể gồm một hoặc một số các khoáng sản như Au, Fe, đất hiếm, U, F, P, Co, Ni, As, Mo, Ag và Ba. Đặc điểm quặng hóa nổi bật của kiểu mỏ này là hàm lượng sulfides của Cu từ trung bình đến cao, nghèo thạch anh, ít pyrite; quặng được thành tạo chủ yếu trong đới biến dạng giòn - dẻo, từ 2 đến 9 km; thường không xác định được quan hệ nguồn gốc rõ ràng với magma xâm nhập trong mỏ và khu vực lân cận nhưng kết quả nghiên cứu đồng vị bền cho thấy thành phần quặng có nguồn gốc chính từ magma và/hoặc biến chất.

Từ khóa: mỏ IOCG, oxit sắt - đồng vàng/oxit Fe- Cu - Au, Cu-Au (\pm Fe, REE), albite hóa.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các mỏ oxit Fe-Cu-Au (Iron oxide copper gold deposits) còn được gọi là mỏ IOCG, là nguồn tài nguyên Cu-Au (\pm Fe, U) lớn của thế giới. Loại hình mỏ này lần đầu được ghi nhận tại mỏ Cu-Au-U Olympic Dam, Nam Australia năm 1975, một trong số các mỏ IOCG có trữ lượng lớn nhất và hàm lượng Cu cao nhất. Kể từ khi được công nhận là một loại hình mỏ quặng mới vào giữa những năm 1980 đến đầu những năm 1990, kiểu mỏ IOCG có các đặc điểm nguồn gốc và mô hình tạo quặng gây tranh cãi nhiều nhất. Các tranh luận tập trung vào định nghĩa kiểu mỏ, phân loại kiểu mỏ, môi trường kiến tạo, vai trò của dung dịch nhiệt dịch và kim loại, nguồn gốc phi magma và nguồn gốc magma của các thành phần tạo quặng. Nghiên cứu ban đầu [1] ghi nhận những điểm tương đồng giữa (1) mỏ Cu-U-Au Olympic Dam, (2) các mỏ giàu oxit sắt-apatite ở đông nam Australia, khu vực Missouri (Mỹ), Kiruna (Thụy Điển) và (3) mỏ giàu magnetite-REE Bayan Obo ở Trung Quốc. Hitzman & nnk [2] lần đầu tiên đặt tên kiểu mỏ IOCG cho các loại hình quặng hóa oxit sắt-Cu-U-Au-REE và bước đầu đưa ra mô hình thành tạo liên quan đến các đới tách giãn. Sau đó, một số lượng lớn các mỏ Fe-Cu-Au với các đặc điểm rất

đa dạng (bao gồm cả một số mỏ mới được phát hiện và một số mỏ được phân loại lại) đã được xếp vào nhóm mỏ IOCG.

Cho đến nay, trong các tài liệu giảng dạy và tham khảo phục vụ các chương trình đào tạo liên quan đến lĩnh vực khoáng sản đã được xuất bản tại Việt Nam, chưa có tài liệu nào định nghĩa và làm rõ được đặc điểm kiểu mỏ IOCG. Vì vậy, bài báo này tổng hợp các đặc điểm kiểu mỏ IOCG dựa trên các mỏ và các đai sinh khoáng điển hình trên thế giới, làm cơ sở lý thuyết phục vụ cho công tác nghiên cứu, đánh giá và tìm kiếm thăm dò các loại hình quặng hóa IOCG tại Việt Nam, đặc biệt là kiểu quặng Cu-Au-Fe khu vực Tây Bắc Việt Nam. Các đặc điểm địa chất - quặng hóa của mỏ IOCG trong bài báo này được bố cục theo thứ tự gồm các nội dung sau: đặc điểm chung của mỏ IOCG, bao gồm các đặc điểm chung nổi bật nhất của loại hình mỏ này như thời gian thành tạo, hàm lượng quặng và trữ lượng của lượng lớn các mỏ trên thế giới; vị trí phân bố của mỏ, bao gồm vị trí kiến tạo và vị trí cấu trúc của mỏ; đặc điểm quặng hóa của mỏ bao gồm độ sâu, nhiệt độ, áp suất thành tạo quặng, hình thái kích thước thân quặng, cấu tạo quặng, khoáng vật quặng và đặc điểm đá biến đổi trong mỏ; đặc điểm địa hóa quặng và nguồn gốc quặng.



2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Đặc điểm chung

Mặc dù có rất nhiều nghiên cứu về loại hình mỏ IOCG ([3, 4, 5, 6, 7, 8]) nhưng nhiều vấn đề tồn tại về đặc điểm quặng hóa, môi trường địa kiến tạo và mô hình nguồn gốc của mỏ vẫn chưa được giải đáp một cách thỏa đáng. Tên IOCG của loại hình mỏ này chỉ thành phần khoáng vật quặng mà chưa thể hiện được nguồn gốc của kiểu mỏ như các loại hình mỏ nội sinh khác (vd: mỏ porphyry, nhiệt dịch nông, skarn, VHMS, Au tạo núi,...). Vì vậy, công tác nghiên cứu và tìm kiếm - thăm dò quặng hóa IOCG gặp nhiều khó khăn hơn hẳn so với các loại hình mỏ nội sinh được thống kê ở trên.

Cho đến nay, tuy chưa có định nghĩa rõ ràng và mô hình nguồn gốc chung cho kiểu mỏ IOCG nhưng đa số các mỏ IOCG đều có nhiều điểm trong số 20 đặc điểm đặc trưng dưới đây [4, 5, 7, 9, 10, 11]:

- Khoáng sản chính: Cu hoặc Cu-Au (\pm Fe, đất hiếm);
- Khoáng sản đi kèm: F, P, Co, Ni, As, Mo, Ag, Ba, U;
- Khoáng vật quặng chính: Magnetite hoặc hematite; chalcopyrite, bornite, chalcocite, pyrrhotite; ít pyrite, Au tự sinh;
- Các khoáng vật nhóm đất hiếm nhẹ (LREE) phổ biến trong mỏ;
- Giàu magnetite và/hoặc hematite;
- Không có nhiều thạch anh trong quặng;
- Giá trị Fe/Ti trung bình trong oxit Fe lớn hơn giá trị Fe/Ti trung bình trong đá xâm nhập và trong vỏ trái đất;
- Yếu tố cấu trúc là bẫy quặng hóa quan trọng trong loại hình mỏ IOCG. Quặng hóa phát triển trong các mạch nhiệt dịch, đới dăm kết, đới biến đổi/ biến dạng trong những cấu trúc địa chất nhất định;
- Cấu tạo quặng chính: dăm kết, xâm tán, ổ, đám, ít hơn là cấu tạo mạng mạch, mạch;
- Biến đổi nhiệt dịch sớm: albite hóa (Na hóa) hoặc albite-amphibole (Na-Ca hóa). Khoáng vật biến đổi phổ biến của amphibole trong là actinolite $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ và grunerite $\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$;
- Biến đổi muộn hơn gồm: Biến đổi trước hoặc đồng tạo quặng k-feldspar (\pm sericite-chlorite), amphibole hóa, Fe hóa (oxit/ sulfide của Fe) và calcite/ carbonate hóa muộn;

- Bao thể thường giàu muối và CO_2 ;
 - Trong phạm vi bán kính khoảng vài km, thường không có mối quan hệ không gian rõ ràng với đá xâm nhập như mỏ porphyry hoặc mỏ skarn;
 - Trong trường hợp có liên hệ về không gian với các mỏ skarn và porphyry trong vùng, cũng không xác định được quan hệ nguồn gốc rõ ràng với các mỏ trên;
 - Có các khối xâm nhập đồng sinh trong khu vực nhưng rất hiếm khi xác định được mối liên quan nguồn gốc rõ ràng với quặng hóa;
 - Thường phân bố trong các thể magma phân dị cao (nhóm felsic);
 - Có liên quan đến magma kiềm trong nhiều mỏ, nhất là cả mỏ có hàm lượng đất hiếm cao;
 - Mối quan hệ với mỏ magnetite-apatite không rõ ràng;
 - Phần lớn các mỏ được thành tạo ở dải độ sâu trong khoảng 2.5-9 km, trong đới biến dạng gion đến gion-dẻo; và
 - Môi trường kiến tạo của mỏ không rõ ràng nhưng nhiều mỏ IOCG được thành tạo trong giai đoạn muộn của quá trình tạo núi.
- Các mỏ IOCG có các đặc điểm quặng hóa cũng như thành phần khoáng vật quặng có ích rất đa dạng. Trên cơ sở đó, Williams & nnk [5] chia kiểu mỏ này thành một số phụ nhóm như sau:
- Mỏ IOCG điển hình (oxit Fe-Cu-Au, chiếm đa số các mỏ IOCG);
 - Mỏ IOCG giàu P và oxit Fe (vd: Mỏ Kiruna);
 - Mỏ IOCG giàu F, REE và oxit Fe (vd: Mỏ Bayan Obo);
 - Mỏ IOCG skarn Fe hoặc Cu-Au (vd: Mỏ Grasberg);
 - Mỏ IOCG Au \pm Cu trong đá giàu oxit Fe (các mỏ IOCG Cu-Au khu vực Cloncurry, Mt Isa, Queensland, Australia); và
 - Mỏ IOCG kiểu porphyry (vd: Mỏ Yerington, Nevada, US).

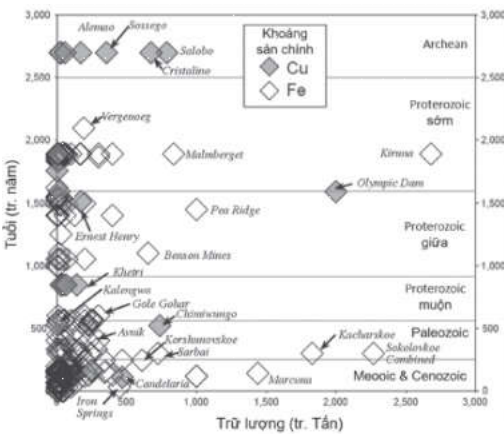
Gần đây, đặc điểm của các mỏ IOCG từ hàng chục đại sinh khoáng IOCG nổi tiếng trên thế giới đã được nghiêm túc tổng hợp, đánh giá dựa trên các đặc điểm địa kiến tạo, quặng hóa - biến đổi quanh quặng và đặc điểm địa hóa của quặng và đá liên quan. Kiểu quặng hóa Cu-Au-Fe được [10] đặt tên lại là CGI (copper-gold-iron) và tách thành 2 phụ nhóm chính, gồm IOCG (oxit Fe-Cu-Au) và ISCG (sulfide Fe-Cu-Au). Các kiểu mỏ



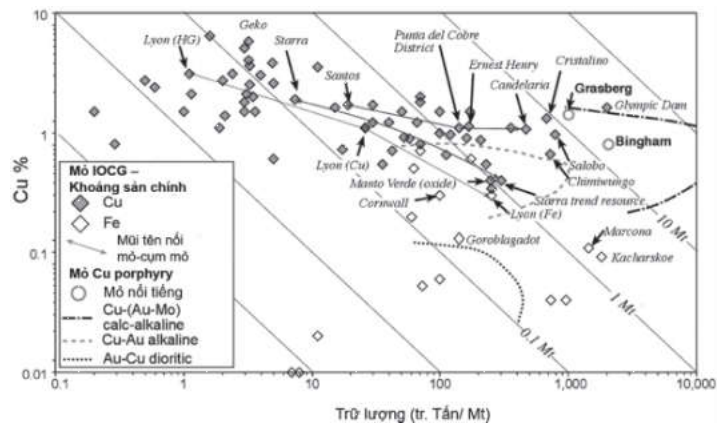
này tuy có tổ hợp khoáng sản kim loại Cu-Au-Fe tương tự như các mỏ Cu-Au porphyry, Fe-Cu (-Au) skarn và oxit Fe-apatite (IOA) nhưng khác biệt về đặc điểm địa kiến tạo, khoáng vật quặng, đặc điểm quặng hóa, đá biến đổi quanh quặng và địa hóa quặng.

Các mỏ Cu IOCG trên thế giới được thành tạo có tuổi từ cổ (Archean) đến trẻ (Cenozoic; Hình H.1), trong đó mỏ Cu Olympic Dam được coi là một ví dụ mỏ Cu IOCG điển hình, có trữ lượng lớn nhất và hàm lượng quặng Cu cao nhất (Hình H.2). So với loại hình mỏ porphyry - một trong những kiểu

có nguồn tài nguyên Cu lớn nhất trên thế giới, nhìn chung các mỏ IOCG có trữ lượng quặng tương đương nhưng hàm lượng kim loại Cu trong quặng giàu hơn hẳn (Hình H.2). Đây là một yếu tố nâng cao giá trị công nghiệp của kiểu mỏ Cu IOCG so với kiểu mỏ Cu porphyry. Các mỏ IOCG được thành tạo ở rất nhiều nơi trên thế giới, trong đó các đai sinh khoáng IOCG chính thường cũng là các đai tạo núi, trùng khớp với các đai sinh khoáng vàng tạo núi và đai sinh khoáng Cu-Au-Mo porphyry. Vị trí địa chất kiến tạo của loại hình mỏ này được trình bày trong mục dưới đây.



H.1. Tuổi và trữ lượng của các mỏ IOCG (bao gồm cả phụ kiểu mỏ oxit Fe-apatite, IOA; [5]).



H.2. Biểu đồ hàm lượng và trữ lượng quặng Cu kiểu mỏ IOCG so với kiểu mỏ porphyry [5].

2.2. Vị trí phân bố

2.2.1. Vị trí địa kiến tạo

Các mỏ IOCG được thành tạo trong 3 môi trường địa kiến tạo: đồng tạo núi, sau tạo núi và rìa lục địa liên quan đến các quá trình tách giãn [10]. Mỏ IOCG đồng tạo núi được hình thành trong các đai sinh tạo núi, có quy mô khu vực, tại các độ sâu từ nông đến trung bình và liên quan đến các biến dạng giòn, giòn-dẻo. Phần lớn các mỏ IOCG đã biết được hình thành ở giai đoạn cuối của quá trình tạo núi, khi hoạt động kiến tạo khu vực thay đổi từ va chạm sang tách giãn, với magma liên quan có thành phần từ mafic đến felsic [10]. Các mỏ IOCG thành tạo sau giai đoạn tạo núi còn được gọi là các mỏ IOCG phi tạo núi (Anorogenic IOCG deposits), ít gặp hơn rất nhiều nhưng đặc trưng bởi mỏ siêu lớn Olympic Dam, Nam Australia. Mỏ IOCG được thành tạo trong môi trường địa kiến tạo thứ 3, tại rìa lục địa liên

quan đến hoạt động tách giãn còn được là kiểu mỏ Andean [10].

2.2. Vị trí cấu trúc

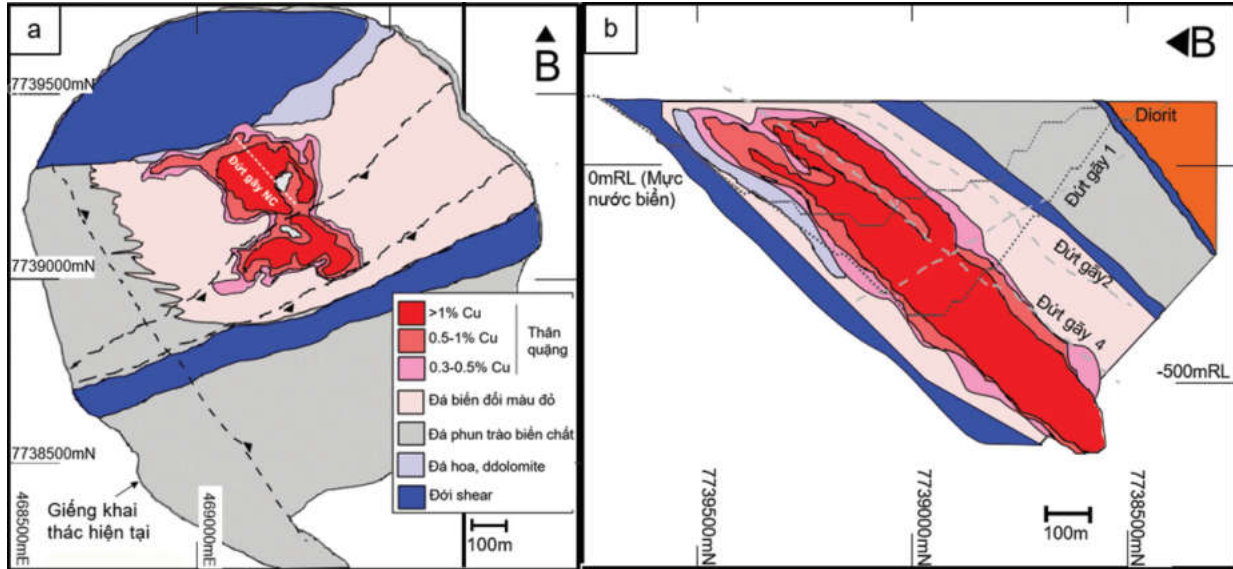
Như trình bày ở trên, các mỏ IOCG thường được thành tạo tại các đai tạo núi, sau tạo núi và rìa lục địa liên quan đến hoạt động tách giãn [10]. Vì vậy, các mỏ IOCG được khống chế bởi các đứt gãy nhánh của các đứt gãy sâu (đứt gãy khu vực/ đứt gãy vỏ), cùng đai sinh khoáng với các mỏ Au tạo núi hay porphyry Cu-Au như tại đai tạo núi Tây Thái Bình Dương, khu vực Chile [12]. Tại đó, các mỏ IOCG (Mantos Blancos, Arizano, Mantos Verde, Candelaria) và các mỏ các mỏ porphyry được cho là có cùng thời kỳ tạo khoáng bị khống chế bởi các đứt gãy nhánh của đới đứt gãy khu vực Atacama phương Bắc-Nam [12]. Ví dụ đặc trưng khác, tại đai sinh khoáng Cu-Au Eastern Fold Belt, Queensland, Australia, các mỏ IOCG bị khống chế bởi các đứt gãy nhánh của các đứt



gây khu vực hoạt động giai đoạn 1500-1600 tr. năm [10],[13].

Ở quy mô nhỏ, các đới quặng hóa trong loại

hình mỏ IOCG cũng bị khống chế chặt chẽ bởi các đới đứt gãy, đới shear (vd: mỏ Earnest Henry, Australia; Hình H.3; [13]).



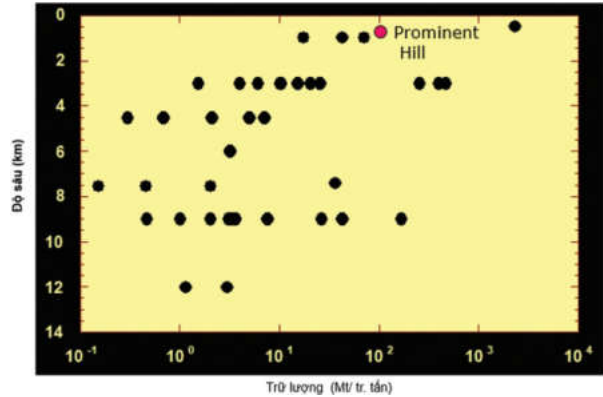
H.3. Bình đồ (a) và mặt cắt địa chất đới quặng hóa mỏ Earnest Henry, Queensland, Australia thể hiện rõ quặng hóa được khống chế trong các đới shear quy mô nhỏ [13].

2.3. Đặc điểm quặng hóa

2.3.1. Độ sâu, nhiệt độ - áp suất

Dựa trên các kết quả nghiên cứu địa chất vùng, thành phần khoáng vật và nhất là kết quả phân tích bao thể của một số khoáng vật đồng tạo quặng (chủ yếu là thạch anh) có thể thấy quặng hóa trong mỏ IOCG diễn ra trong dải độ sâu ~ 0.5-12 km, phổ biến trong khoảng 2.5-9 km ([5, 7, 14]; Hình H.4). Mối quan hệ giữa độ sâu thành tạo và trữ lượng quặng trong mỏ IOCG không thực sự rõ ràng nhưng phần nhiều hơn các mỏ IOCG có trữ lượng lớn được thành tạo ở độ sâu gần bề mặt hơn (Hình H.4). Các mỏ nổi tiếng thành tạo tại độ sâu lớn (~12 km) được thống kê có trữ lượng nhỏ hơn (Hình H.4).

Nhiệt độ và áp suất thành tạo trong các mỏ khoáng nội sinh nói chung thường liên quan chặt chẽ đến độ sâu thành tạo. Với dải độ độ sâu thành tạo phổ biến 2.5-9 km, quặng hóa trong mỏ IOCG diễn ra phổ biến trong dải nhiệt độ 200-450°C và áp suất lên đến 3.7 kb [5],[15]. Với các mỏ có độ sâu thành tạo <2.5 km hoặc lớn hơn 9 km, nhiệt độ thành tạo tương ứng <200°C hoặc >450°C, lên đến 520°C [5, 15].



H.4. Độ sâu thành tạo và mối quan hệ giữa độ sâu quặng hóa và trữ lượng quặng trong các mỏ IOCG điển hình [14].

2.3.2. Hình thái - kích thước thân quặng, cấu tạo quặng

Với đặc điểm là phân bố trong các đới đứt gãy nhánh, các đới cắt trượt như nêu trên, hình thái các thân quặng cũng được quyết định bởi hình thái các đới cấu trúc khống chế cũng như cơ chế hoạt động của các đới biến dạng liên quan. Tuy mỗi mỏ có cấu trúc khác nhau, có thể có 1 hoặc nhiều thân quặng, nhưng nhìn chung các thân quặng Cu-Au IOCG có hình thái phổ biến dạng ống [15], dạng vĩa và dạng



thấu kính (Hình H.5; [13]). Kích thước thân quặng tại các mỏ hoặc ngay trong mỏ cũng đa dạng với chiều rộng có thể lên tới 100 m, chiều dài vài trăm mét và chiều sâu theo đường hướng dốc lên tới 500 m (Hình H.5; [13]).

Cấu tạo quặng trong mỏ IOCG cũng phụ thuộc vào độ sâu thành tạo cũng như môi trường biến dạng chung của địa chất khu vực. Ở dải độ sâu lớn, quặng có cấu tạo phổ biến là xâm tán, ổ hoặc uốn nếp và/hoặc vỏ nhàu phức tạp, đặc trưng cho biến dạng giòn-dẻo. Ở các độ sâu nhỏ hơn, quặng có cấu tạo đặc trưng của biến dạng giòn như dăm kết (vd: Hình H.6a), xâm tán, ổ, ít hơn là cấu tạo mạng mạch và mạch.

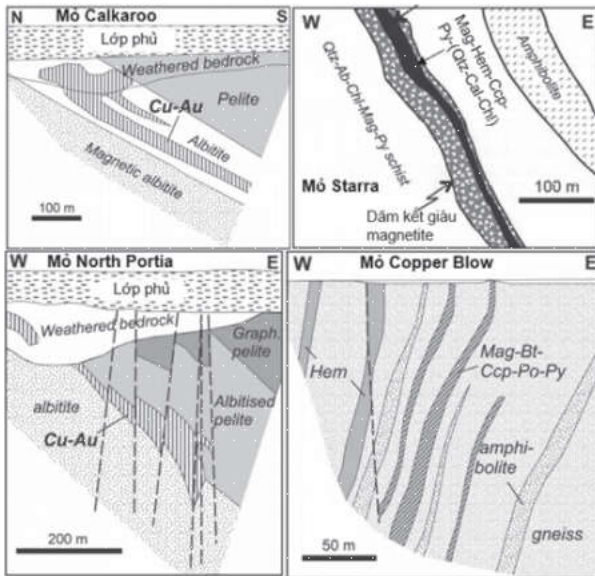
2.3.3. Khoáng vật quặng

Như đã trình bày ở Mục 1, các mỏ khác nhau thuộc loại hình IOCG có nhiều đặc điểm địa chất - quặng hóa khác nhau. Tùy thuộc vào thành phần khoáng vật quặng mà nó có thể chia thành các phụ nhóm khác nhau [5, 10] nhưng nhìn chung phần lớn các mỏ IOCG có thành phần khoáng vật quặng giàu magnetite hoặc/ và hematite (vd: Hình 6a); chalcopryrite (vd: Hình H.6b), bornite, chalcocite, pyrrhotite; ít pyrite (ngoại trừ phụ kiểu ISCG; [10]), Au tự sinh. Các khoáng vật nhóm đất hiếm nhẹ (LREE) cũng khá phổ biến, nhất là tại các mỏ liên

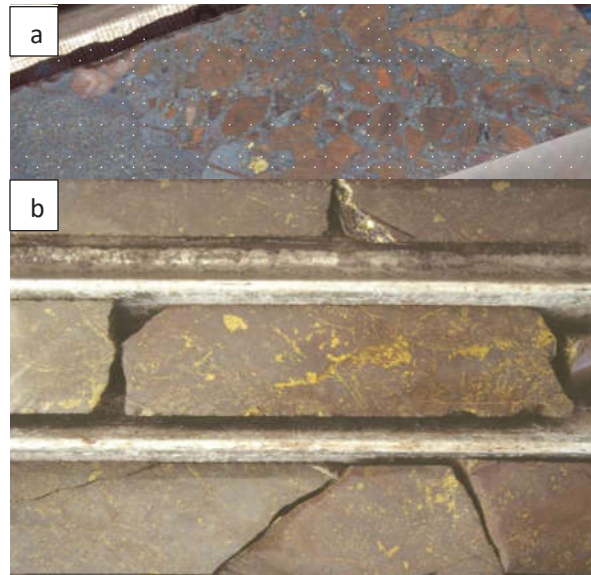
quan đến đá magma kiềm [10]. Một điểm đáng lưu ý trong loại hình mỏ này là hàm lượng thạch anh trong quặng không nhiều [5, 7, 10].

2.3.4. Đặc điểm đá biến đổi

Đá biến đổi trong các mỏ Cu-Au-Fe (CGI, bao gồm kiểu mỏ IOCG và ISCG) đặc trưng bởi biến đổi sớm Na±Ca, Fe (vd: albite-amphibole, magnetite, hematite), diễn ra trên diện rộng [5, 10]. Các biến đổi muộn hơn bao gồm biến đổi Fe, Ca, K (vd: magnetite, amphibole, chlorite, K-feldspar, biotite) diễn ra trước hoặc trong quá trình tạo quặng Cu-Au [5],[10]. Các kết quả nghiên cứu có trước cho thấy các khoáng vật biến đổi khác chứa các hợp phần có thể tạo nên các chất khí bao gồm carbonate (CO₂), apatite (P), fluorite (F), barite (SO₄), tourmaline (B) được thành tạo trong quá trình quặng hóa tại hầu hết các đai sinh khoáng IOCG [10]. Tại mỏ Cu IOCG Ernest Henry, Australia, theo thời gian và không gian, các loại biến đổi nhiệt dịch gồm có [15]: (1) biến đổi sớm Na-Ca trên diện rộng, xa trung tâm thân quặng lên đến 2 km, đặc trưng bởi khoáng vật albite và amphibole (Hình H.7a); (2) biến đổi K hóa trước giai đoạn quặng hóa phát triển xung quanh vị trí thân quặng hiện tại, đặc trưng bởi K-feldspar và biotite thứ sinh, đôi chỗ



H.5. Mặt cắt điển hình của một số mỏ IOCG Cu (-Au-Fe) thuộc đai sinh khoáng Curnamona và khu vực Cloncurry, Australia, thể hiện hình thái, kích thước thân quặng và các đới đá biến đổi quanh quặng [13]. Weathered bedrock = Đá gốc bị phong hóa; Mag=Magnetite; Hem=hematite; Bt=biotite. Ccp=Chalcopryrite; Py=Pyrite; Qtz=quartz; Cal=calcite; Chl=chlorite; Po=Pyrrhotite.

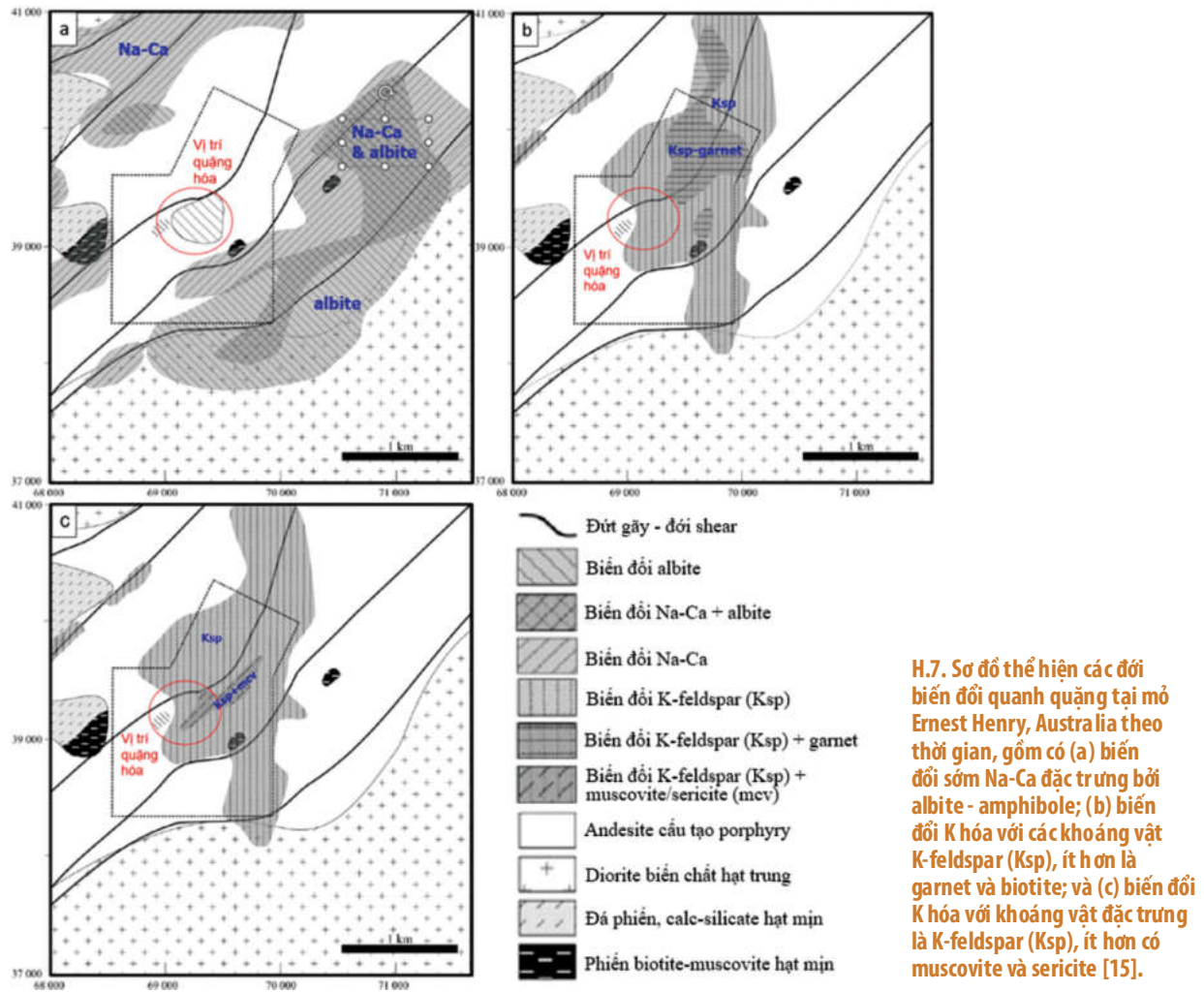


H.6. Quặng Cu-Au giàu Fe cấu tạo dăm kết đặc trưng tại mỏ Prominent Hill, Australia; 119 tr. tấn @ 1.3% Cu & 0.49 g/t Au. Hình 6b. Quặng Cu với tổ hợp khoáng vật quặng chalcopryrite-pyrite-hematite tại mỏ Cu IOCG Olympic Dam, Australia.



có biến đổi chứa garnet (Hình H.7b); (3) biến đổi đồng tạo quặng K hóa đặc trưng bởi K-feldspar và muscovite - sericite (Hình H.7c) và (4) biến đổi sau tạo quặng gồm có calcite, dolomite, thạch anh và pyrite. Magnetite trong các mỏ chủ yếu được thành tạo trước quặng, giai đoạn (1) và (2) liệt kê ở trên [16, 17]. Tại đai sinh khoáng Eastern Fold Belt, Queensland, Australia, biến đổi

hematite mang tính khu vực tạo thành các đá có màu nâu đỏ, đặc trưng bởi hematite vi hạt đến hạt nhỏ đi kèm với feldspar (chủ yếu gồm albite và K-feldspar) thành tạo trước và trong giai đoạn quặng hóa [16, 17]. Hàm lượng cao các khoáng vật hematite phát triển ở quy mô khu vực cho thấy dung dịch nhiệt dịch liên quan đến quặng hóa trong khu vực này có tính oxy hóa cao.



2.4. Đặc điểm địa hóa và nguồn gốc quặng

Các mỏ IOCG và ISCG đặc trưng bởi tổ hợp kim loại có ích Cu-Au, với hàm lượng Fe cao (thường 15-60% Fe) dưới dạng oxit, sulfide hoặc silicate của Fe [10]. Trong các mỏ phụ kiểu ISCG, hàm lượng các nguyên tố vết Co-Ni-Bi-Se-Te và REE-U-F-Ba-Mo trong một số khoáng vật thường được làm giàu, khác biệt với quặng phụ kiểu IOCG [10]. Ngoài ra, các mỏ IOCG còn có một số đặc điểm

địa hóa và nguồn gốc quặng hóa như được liệt kê dưới đây [15, 16, 17, 18]:

- Tỷ lệ Fe/Ti trong oxit Fe lớn hơn trong đá xâm nhập hoặc vỏ trái đất;
- Đồng vị bền O - H - S - C thể hiện quặng có nguồn gốc chính từ magma nhưng cũng có những nguồn gốc khác (chủ yếu biến chất);
- Các đá magma có liên quan về nguồn gốc với quặng hóa chủ yếu là đá granite kiểu A hoặc kiểu



I (diễn hình ở đai sinh khoáng IOCG Eastern Fold Belt, Australia);

- Dung dịch mang quặng trong nhiều mỏ có tính oxy hóa cao, đặc trưng bởi hàm lượng hematite cao; và

- Quặng lắng đọng do sự hỗn nhiễm của các nguồn dung dịch nhiệt dịch khác nhau trong các đới đứt gãy hoặc đới dập vỡ.

3. KẾT LUẬN

Kết quả thu thập và tổng hợp tài liệu nghiên cứu hiện có về kiểu mỏ IOCG cho thấy đây là loại hình quặng hóa phức tạp nhất trong các kiểu quặng hóa nội sinh. Tên của kiểu mỏ này được đặt dựa theo thành phần khoáng vật chính của quặng gây nhiều tranh cãi. Các nghiên cứu hiện tại về loại hình mỏ này chưa thể hiện được đặc điểm nguồn gốc rõ ràng như các mỏ porphyry, skarn, VHMS. Tên của kiểu mỏ này mới được hiệu đính lại là CGI [10] mặc dù hầu hết các nhà địa chất vẫn đang sử dụng tên cũ IOCG do thói quen. Kiểu mỏ CGI hay "IOCG truyền thống" được một số nhà nghiên cứu tách thành ít nhất là 2 hoặc 3 phụ kiểu gồm IOCG, ISCG và IOA [5, 10] trên cơ sở khoáng sản có giá trị công nghiệp liên quan và thành phần khoáng vật quặng. Các mỏ CGI hoặc/ và IOCG tại các nơi khác nhau có những đặc điểm địa chất quặng hóa khác nhau

và mô hình mỏ riêng. Vì vậy, chưa thể có một hoặc một số mô hình tạo quặng chung thống nhất nào được xây dựng cho loại hình mỏ này. Tuy nhiên các mỏ IOCG có một số đặc điểm chung cơ bản nhất như sau: thường giàu oxit Fe (>10%), nghèo sulfide (<10%) ngoại trừ các mỏ thuộc phụ kiểu ISCG; khoáng sản chính gồm Cu hoặc Cu-Au (\pm Fe, U); khoáng sản đi kèm gồm Au, U, Fe, F, P, Co, Ni, As, Mo, Ag và Ba; khoáng vật quặng chính gồm magnetite (\pm hematite), chalcopyrite, bornite, chalcocite, pyrrhotite; ít pyrite, Au, LREE phổ biến; cấu tạo quặng chính: đám kết, xâm tán, ổ, đám, ít hơn là cấu tạo mạch; không nhiều (mạch) thạch anh trong quặng; có các khối xâm nhập đồng sinh trong khu vực nhưng rất hiếm khi xác định được mối liên hệ nguồn gốc với quặng hóa rõ ràng như trong các mỏ porphyry hoặc skarn; trong trường hợp có liên quan về nguồn gốc với magma trong vùng, mỏ thường liên quan đến các thể magma phân dị cao (nhóm felsic), nhất là nhóm granit kiểu I hoặc kiểu A; quặng được thành tạo ở dải độ sâu phổ biến 2.5-9 km; vị trí kiến tạo chính là các đai tạo núi; thường được thành tạo trong giai đoạn muộn của quá trình tạo núi hoặc sau tạo núi; và yếu tố cấu trúc là một trong những yếu tố khống chế quặng hóa quan trọng và phổ biến nhất \square

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Meyer, C. (1988), Ore deposits as guides to geologic history of the Earth. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 16, 147.
2. Hitzman, M. W., Oreskes, N., Einaudi, M. T. (1992). Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (-Cu-U-Au-REE) deposits. Precambrian Research 58(1-4): 241-287.
3. Sillitoe, R. H. (2003). Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. Mineralium Deposita 38, 787-812.
4. Williams, P.J., Skirrow, R.G. (2000). Overview of iron oxide-copper-gold deposits in the Curnamona Province and Cloncurry district (Mount Isa Block), Australia. In: Porter, T.M. (Ed.), Hydrothermal Iron Oxide Copper-gold and Related Deposits: A z, vol. 1. Australian Mineral Foundation, pp. 105–122.
5. Williams, P.J., Barton, M.D., Johnson, D.A., Fontboté, L., de Haller, A., Mark, G., Oliver, N.H.S., Marschik, R. (2005). Iron oxide copper-gold deposits: geology, spacetime distributions, and possible modes of origin. Econ. Geol. 100, 371–405.
6. Corriveau, L. (2007). Iron oxide copper-gold deposits: a Canadian perspective. In: Goodfellow, W.D. (Ed.), Mineral Deposits in Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication Volume 5, pp. 307–328.
7. Groves, D.I., Bierlein, F.P., Meinert, L.D., Hitzman, M.W. (2010). Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through Earth history: implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits Econ. Geol. 105 (3), 641–654.
8. Barton, M.D. (2013). Iron oxide(-Cu-Au-REE-P-Ag-U-Co) systems. In: Treatise on Geochemistry: second ed., vol. 13. Elsevier Inc., pp. 515–541. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01123-2>.



9. Skirrow, R.G., Murr, J., Schofield, A., Huston, D.L., van der Wielen, S., Czarnota, K., Coghlan, R., Highet, L.M., Connolly, D., Doublier, M., Duan, J. (2019). Mapping iron oxide Cu-Au (IOCG) mineral potential in Australia using a knowledge-driven mineral systems-based approach. *Ore Geol. Rev.* 113, 103011. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103011>.
10. Skirrow, R. G. (2022). Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits – A review (part 1): Settings, mineralogy, ore geochemistry and classification. *Ore Geology Reviews* 140, 104569.
11. Ngo, X. D., Zhao, X.-F., Tran, T. H., Deng, X.-D., and Li, J.-W. (2020). Two episodes of REEs mineralization at the Sin Quyen IOCG deposit, NW Vietnam: *Ore Geology Reviews*, v. 125, p. 103676
12. Haynes, D.W. (2000). Iron oxide copper (-gold) deposits: their position in the deposit spectrum and modes of origin. In: *Hydrothermal Iron Oxide Copper-gold and Related Deposits: A Global Perspective*, vol. 1. Australian Mineral Foundation, pp. 71–90. Hitzman, M. W., Oreskes, N. & Einaudi, M. T. (1992). *Precambrian research* 58, 241-287.
13. Mark G, Oliver NHS, Williams PJ, Valenta RK, Crookes RA. (2000). The evolution of the Ernest Henry hydrothermal system. In: Porter TM (ed) *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits. A Global Perspective*. AMF, pp 123–136.
14. Davidson, G.J. (2013). Introduction to the iron oxide copper-gold deposit style. *Lecturing materials*, University of Tasmania
15. Mark, G., Oliver, N.H.S., Williams, P.J. (2006). Mineralogical and chemical evolution of the Ernest Henry Fe oxide-Cu-Au ore system, Cloncurry district, northwest Queensland, Australia. *Mineralium Deposita* 40 (8), 769–801. <https://doi.org/10.1007/s00126-005-0009-7>.
16. Oliver, NHS. (1995). Hydrothermal History of the Mary Kathleen Fold Belt, Mt Isa Block, Queensland. *Australian Journal of Earth Sciences* 42, no. 3 (1995): 267-79.
17. Oliver, N. H. S., Butera, K. M., Rubenach, M. J., Marshall, L. J., Cleverley, J. S., Mark, G., Tullemans, F., Esser, D. (2007). Constraints on hydrothermal fluid pathways within Mary Kathleen Group stratigraphy of the Cloncurry iron-oxide-copper-gold District, Australia. *Precambrian Research* 163, 108-130.
18. Marshall, L., Oliver, N. (2006). Monitoring fluid chemistry in iron oxide-copper-gold-related metasomatic processes, eastern Mt Isa Block, Australia. *Geosfluids* 6, 45-66.

OVERVIEW OF MAJOR CHARACTERISTICS OF IRON OXIDE - COPPER - GOLD DEPOSITS (IOCG) IN THE WORLD

Le Xuan Truong

ABSTRACT

The paper presents major geological and mineralization characteristics of IOCG deposits including distribution, tectonic - structural - geological setting and mineralization and alteration, on the basis of synthesizing study results in the published domains. This deposit type is considered as the most complex one in term of genetic models as well as the ore genesis. The main economic metal in the IOCG deposits is Cu or Cu-Au (\pm Fe, REE) while the associated metals vary from mine to mine and could be one or some of following metals: Au, Fe, REE, U, F, P, Co, Ni, As, Mo, Ag and Ba. The outstanding characteristics of this deposit type are medium-high sulfides of Cu, poor in quartz, low in pyrite; commonly formed in brittle to brittle-ductile environments, from two to nine km; and having unclear genetic relationship with magma in the area but the stable isotopic studies indicate that the ore components are mainly sourced from magmatic and/ or metamorphic origins.

Key words: IOCG deposits, Iron oxide - copper - gold, Cu-Au (\pm Fe, REE), albite alteration

Ngày nhận bài: 23/3/2023;

Ngày gửi phản biện: 25/3/2023;

Ngày nhận phản biện: 25/4/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 02/6/2023.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.