

中国の希有金属資源とその生産の概況

孫鴻儒（岸本文男訳）

訳者のまえがき

本文は中国金属学会副理事長の孫鴻儒という人が1982年11月8—11日に杭州で開かれた第1回国際“希有金属の生産と応用”会議で行った報告の完訳である。原文は雑誌《希有金属》の第2巻第1期（1983）に掲載され中国文と英文で著わされている。その内容は学術的にレベルが高いといったものではないが、今まで発表がさしひかえられてきた中国のタングステン、チタン、希土類など軍需上重要な鉱物資源の主な産地や鉱量・生産量について取り扱っていることに大きな特徴がある。中国文と英文では表現内容に小さな、あるいはかなりの違いがみられるので、本文は主に中国文に拠った。

講演

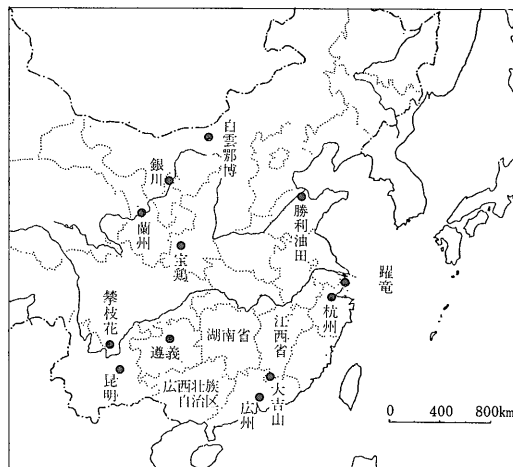
座長および参会の皆さん。

この盛大な集まりの席で皆さんに中国の希有金属の資源と生産について概略お話しする機会を得たことは身にあまる光栄と存じます。

まづ最初に中国の鉱物資源から始めましょう。中国は数多くの種類の希有金属資源をもっていますが、そのうちの大部分は重要な戦略上の価値を備えていて、中国の「四つの近代化」の発展に重要な働きをするものといえます。これらの豊富な希有金属資源は国内の需要を満たすだけでなく、世界各国の需要と供給に大きく貢献するであります。

タングステン

中国のタングステンの埋蔵量は世界の総埋蔵量の半分以上を占めています。このことはすでに周知の事実であります。中国の主なタングステン鉱床は江西省、湖南省、広東省といった南部のいくつかの省に集中し、その主要な鉱山の数は30をこえています。主な鉱石鉱物はいづれも鉄マンガン重石ですが、比較的少量の灰重石、輝蒼鉛鉱、黄銅鉱、輝安鉱も伴っています。そのほか2・3の地方では中規模な灰重石を主体とする鉱床もみつかっています。このことからすると、中国では多くのタングステン鉱石が多種の金属鉱物の共生する複



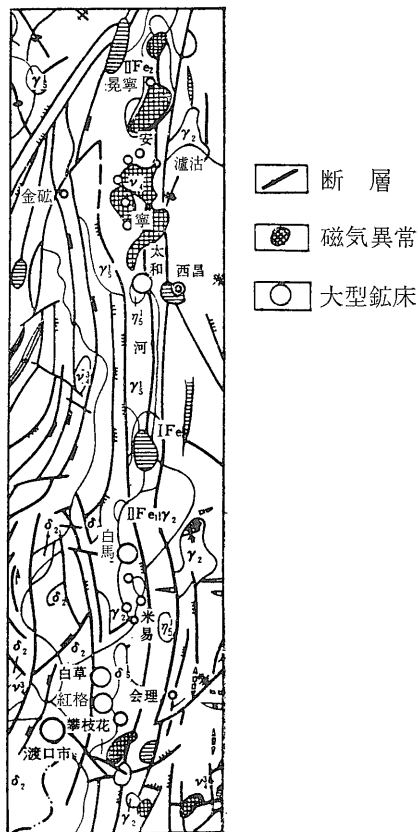
第1図 本文中にてでくる地名の位置

合鉱石であり、この鉱石からいくつかの有用金属を取り出すためには近代的選鉱・製錬技術を用いなくてはならないことはいうまでもありません。

チタン

チタン鉄鉱がチタンの主な原料鉱物です。中国には2種のタイプのチタン鉱床があります。そのなかでもっとも重要な鉱石が四川省の攀枝花 (Pan-zhi-hua) 鉄鉱床中のチタン鉱で、そのチタン鉱石は高チタン型含チタン磁鉄鉱 (Ti 平均品位 12-14%) に属するものです。このように、攀枝花鉄床ではそのチタン鉱物はチタン鉄鉱と含チタン磁鉄鉱からなっています。チタン鉄鉱は弱磁磁力選鉱法でまづ含チタン磁鉄鉱を回収したのちに近代的総合選鉱法を用いて回収されています。攀枝花地区のチタン埋蔵量 (金属量) は 4.2 億 t です。

チタンのもう一つの重要な原料鉱物供給源は、広東省と広西壮族自治区の沿岸の海浜漂砂鉄床で、これはチタン鉄鉱を主とし、ジルコンとモナズ石、そして少量の金紅石も共生する鉱石です。この海浜漂砂鉄床から不純分の比較的少ないチタン鉄鉱精鉱が得られ、攀枝花鉄石からのチタン精鉱はカルシウムとマグネシウムなどの不純分が比較的多く、その純度をさらに一歩高めて回収す



第2図 四川省攀枝花チタン—鉄鉱床を含む西昌地域のチタン—鉄鉱床の分布状況 (姚培慧・王可南(1980):《地質論評》第26巻 第3期 251頁)

の希土類鉱石中の Eu_2O_3 と Sm_2O_3 の含有率はアメリカのマウンテンパス鉄床の場合の2倍に達しています。ニオブ埋蔵量は78万tです。しかしながら非常に微細なニオブ鉱物が鉄鉱石中に散在する場合があります。そのような鉄石から普通の選鉱法によって価値あるニオブ精鉱を得ることはできませんが、製錬のスラッグからは回収できます。

もう一つのタイプはイオン吸着型希土類鉄床とよばれるもので、中国では江西省や広東省で発見されています。現在のところ、この種の鉄床が外国にもあると報道されたことはありません。このタイプの希土類鉄床はルーズな地層中の表成鉄床(浅成鉄床)で簡単に採掘できます。この種の鉄床のもう一つの特徴といえることはその鉄石から希土類元素をリーチングによって簡単に抽出できること、イットリウム族の希土類元素含有率が高いこと、放射能が比較的低いことです。

希土類を濃集させた生産物は重希土類を抽出する原料となり、国際市場ではきわめて優秀な売れゆきをみせています。

そのほかの希有金属

江西省で埋蔵量の非常に多いタンタル鉄床が発見されましたが、その主な鉄石鉱物はタンタライトで、リシア雲母を伴っています。そのほかに、コロンバイトも広く分布するので、この鉄床の鉄石は主にタンタルとニオブの原料資源になります。

西南中国と西北中国できわめて規模の大きいリチウム・ベリリウム・タンタル・ルビジウム・セシウムのベグマタイト鉄床が発見されています。

さらにもう一つ、中国では有色金属硫化物中にしばしばインジウム、ゲルマニウム、ガリウム、タリウム、レニウムといった希有金属元素が伴われていることは価値のあることといえます。

以上、中国の希有金属鉱物資源の状況について簡単に述べましたが、ここで私の報告の第2部 すなわち中国における希有金属の生産の現状と見通しに移りたいと思います。

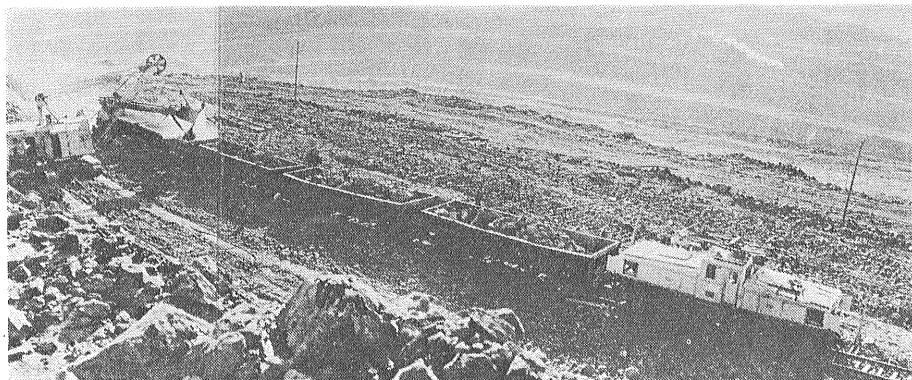
中国の希有金属の生産は中華人民共和国の成立後、1950年代の後期から発展し始め、現在すでに採鉱・選鉱・製錬から合金加工にいたる一連の施設、タングステン・モリブデン・タンタル・ニオブ・チタン・ジルコニウム・希土類・リチウム・ベリリウムなどの採鉱—冶金—加工の工場、鉱業企業、さらにそれらを発展させた一貫工場(連合金属公司)が建設されています。そのうちの主な希有金属工場としては、陝西省の宝鸡有色金属加

ることはかなり困難です。

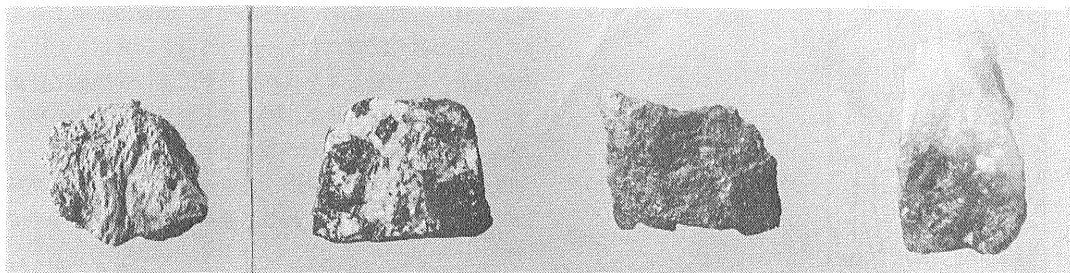
攀枝花の含チタン磁鉄鉱にはバナジンとさらに少量のコバルトが含まれています。このように複雑な鉱物の組成は回収工程に多くの困難をもたらしてきましたが、多年にわたる技術改善への努力によって、そのいくつかの困難もすでに克服されるにいたりました。

希土類

中国の希土類の埋蔵量は世界一の地位を占めています。すでに2種のタイプの希土類鉄床が発見され、そのうちのひとつが内蒙古自治区の白雲鄂博(Bayan Obo)の鉄床で、これは多くの金属成分が共生する鉄床です。その希土類を含有する主な鉱物はバストネサイトとモナズ石、それにニオブ鉱物と螢石、そして磷灰石です。この白雲鄂博鉄床の鉄埋蔵量(金属量、以下同じ)は11.5億t、希土類埋蔵量は3,500万tとなっています。そ



第3図
白雲鄂博鉄山の露天掘
（《中国画報》1982年
8月号）



第4図 白雲鄂博鉄床産の希土類鉱石（《中国画報》1982年8月号）

工公司 上海市の躍電化工廠 貴州省の遵義チタン工廠
寧夏回族自治区の寧夏有色金属冶金精鍊工廠（訳注：銀川
？）甘肅省の第一冶金精鍊工廠（蘭州？）があります。

これらいくつかの専門工場のほかに 多くの有色金属
連合会社が希有金属の生産に従事し 希有金属を副産し
ています。

また 希有金属の生産・加工の長期にわたる研究に従
っている研究機関として 東北工学院 中南探鉄冶金学
院 冶金工業部の有色金属研究総院 広州有色金属研究
院 昆明貴金属研究所 宝鷄有色金属研究所 寧夏有色
金属研究所があります。

これらの研究機関のいくつかは冶金工業部に付属して
いますが そのほかにも中国科学院化工冶金研究所 華
東化工学院などがあり 主として理論的な研究と応用的
な研究に従事しています。工業の実際の需要を満足さ
せるため 応用性の研究に非常に大きな関心が払われ
それと同時に主な研究内容の理論性の追求も長期的な研
究テーマとなっています。

それでは次に チタン 希土類 タングステンその他
の希有金属の生産技術に関してえられた主な成果につ
いて紹介したいと思います。

チタンの生産

すでに述べたように 攀枝花鉄鉄床ではチタンがチタ
ン鉄鉱と含チタン磁鉄鉱の2種の鉱物の形で存在し 後
者は一種の非常に特殊な チタン含有率の高い鉄鉱物で
あり そして同時にバナジウムも含んでいます。 “スラ
ッグ”の粘性が大きく 体積も大きいので この種の鉄
鉱石は通常の高炉では処理することができません。 長
い研究の道りを経て 高炉の工学的な技術が改善され
その技術上の難関が解決されて攀枝花鋼鉄公司の高炉に
適用されました。現在のところ この高炉の経済指数
は従来の高炉の場合と似ていますが “スラッグ”中
の TiO_2 含有率が30%に達すると “スラッグ”はスム
ースに流れるようになります。

一方 カルシウムとマグネシウムに富んだ TiO_2 含
有率が46—48%のチタン精鉱を処理する工程も研究され
すでに成功をみえています。現在 そのようなチタン精
鉱の年産量は2万tに達しています。上記の工程は電
気炉によるチタン精鉱の熔融と高チタンスラッグの生産
沸騰・塩化による四塩化チタンの製造を経て 最後にマ
グネシウムを還元して海綿チタンを得るといった内容のも
のです。このようにして生産された海綿チタンはすで
に国際市場にでまわり その品質は外国の同種の産品の

水準に到達しています。

攀枝花鋼鉄公司是鉄—水（霧化法）を採用してバナジンスラッグ製造技術を確立し 年産数万tのバナジンスラッグが生産できるプラントを建設しました。そしてさらにこのバナジンスラッグから回収されているバナジン酸化物の純度は V_2O_5 98%以上で この種の製品の輸出は国際市場の大きな歓迎を受けています。

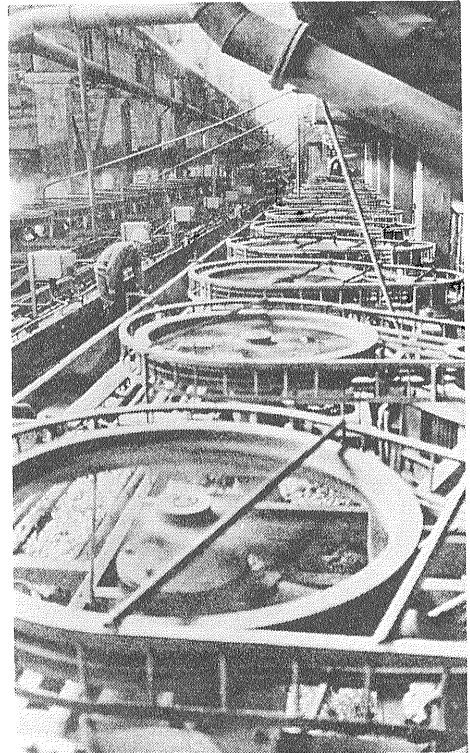
チタンとジルコニウムおよびそれらの合金の製造技術の研究と実際の工業への適用は絶えず新しい発展をとげています。中国が研究・開発したチタン合金 TB2 は準安定性 β 型高硬チタン合金で 固体化時にはすぐれた塑性を備え 成型処理後 ときがたつにつれて強度が高まり 比較的すぐれたウエルダービリティをもっています。すでに工業生産が進み このチタン合金に中国内外の広範な関心がよせられています。

ジルコニウム合金製チューブの等静圧法による成型 各種の難熔融性金属の高圧変形加工の研究は 現在注目のなかで進められ チタン ジルコニウムおよびそれらの合金の応用分野は断えず広がりつづけています。チタンと銅のパイメタルロッドはすでに塩素—アルカリ電解工程の陽極材料として大量に使用されていますし ジルコニウム粉 ジルコニウム—アルミニウム合金 ジルコニウム—グラファイトなどの真空脱ガス材は電子工業部門で広く用いられ それらの品質は外国の同種のものの水準に到達しています。チタンとジルコニウムは冶金・石油化学・化学肥料・農業などの工業部門で耐腐蝕材料に用いられ それらの部門の生産の発展や労働条件の改善に重要な働きをしています。

希土類の生産

中国の希土類工業は1950年代の末期になってやっと2—3種のものを生産し始め わずかな部門で使用され始めました。それが現在では十数工場で200種以上の産品が生産されており その生産能力は世界第二位です。私たちは 今ではさまざまな品種の高品質の希土類製品を生産することができます。

白雲鄂博鉄鉱床の鉱石には微小なバストネサイトとモナズ石が含有され 両者が共生し あるいはそれぞれ脈石鉱物と共生しています。かつて多くの外国の研究機関が私たちを援助され その希土類の品位と実収率を高めようとされましたが 大きな成功を得るまでには至りませんでした。長期にわたる研究を経て 現在ではその希土類精鉱の品位と実収率が大きく向上し そのことによって次の処理と精製の工程が簡略化でき 生産コストを下げることができました。

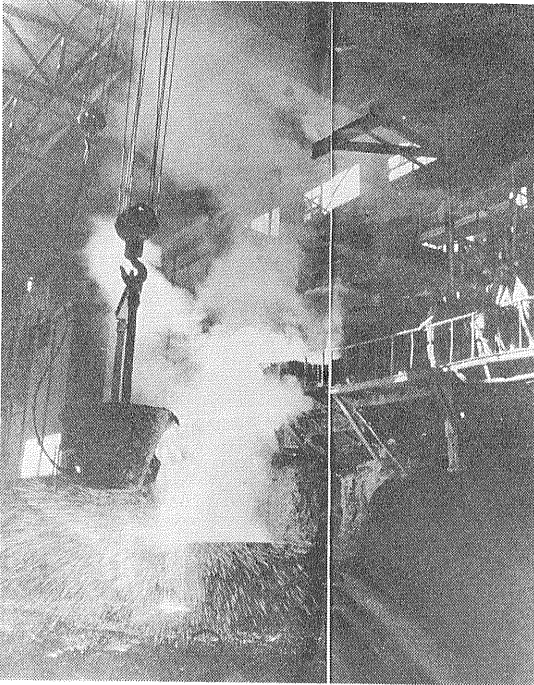


第5図 白雲鄂博ニオープン—希土類—鉄鉱床産の鉱石による包頭鋼鉄公司の希土類浮遊選鉱場（《中国画報》）（1982年8月号）

中国の希土類製品の輸出は年々増加していますが 現在輸出できるものとしては希土類酸化物 希土類珪化物 希土類弗化物 イットリウム濃集物 サマリウム・ユーロピウム・ガドリニウム濃集物 各種希土類の単一化合物 希土類研磨粉 混合希土類金属 単一希土類金属と合金があり ライター石やサマリウム—コバルト永久磁石用合金なども含まれています。

中国希土公司是希土類精鉱 希土類合金 単一希土類化合物を生産し 上海躍電化工廠は各種の単一希土類化合物 希土類金属 希土類合金を生産しています。甘肅希土公司是酸化希土類 研磨粉といくつかの単一希土類製品を 江西希土公司是サマリウム濃集物 各種の単一希土類化合物 さらにイットリウム主体の重希土類—珪素—鉄合金を生産しています。

中国はみずから行なった研究によってカルシウム熱還元法によるサマリウム—コバルト永久磁石合金の生産に成功し すでに上海躍電化工廠に年産30tの生産ラインが建設され その生産物の品質と性能は国際的レベルに達し 日本とイギリスに輸出されています。イギリス



第6図 中国希土公司第1工場（蘭州？）の希土類—珪素鋼冶金部門（《中国画報》1982年8月号）

のプレフォーメーションカンパニーの試験によるとこの合金製の永久磁石は磁気エネルギー積が21.4兆Oeでアメリカや日本、西ドイツの同種の合金の場合をはるかに越えています。

希土類元素はさまざまな工業分野で使用され、非常によい結果が得られています。たとえばチチハル鋼鉄廠が生産する数種の希土類を添加した油井試すい用ビットが勝利油田で試用されましたが、掘進速度が普通の油井掘進用ビットの場合よりもはるかに早かったのです。また希土類の分子篩を用いて石油のクラッキングの触媒にすれば、ベンジンの回収率が3—4%、軽質油の回収率が5—6%、それぞれ高くなります。

タングステンの生産

解放前の1914年から1949年にいたる36年間に中国は24万tのタングステン精鉱を生産しましたが、そのすべてが輸出にまわされています。新中国の成立後、国は重点タングステン鉱山企業に対する基本建設を進め、生産の機械化を行いました。中国で初めての機械化選鉱工場が江西省の大吉山タングステン鉱山に建設され、1952年から稼動しています。操業開始当時の日産精鉱量は250tでしたが、現在では3,000tに達しています。重力選鉱、テーブル選鉱、浮選、乾式強磁気選鉱、湿式強

磁気選鉱、さらに化学処理など多くの技術を総合したフローシートを採用しましたので、随伴する有用金属成分も十分活用できるようになり、主要鉱石鉱物である鉄、マンガン、重石の総実収率も84—90%に達しています。

1960年代のはじめ頃にはタングステン精鉱の年間輸出量が16,000tでしたが、近年は7,000—10,000tになっていると同時に、フェロタングステン、酸化タングステン、タングステン粉末、炭化タングステンも輸出されるようになりました。

中国はアルミナの生産にバイヤー法と焼結法を組み合わせた工程を採用し、ガリウムの抽出を簡略化して、最近では年々10t以上のガリウムを回収しています。金川有色金属公司是金川銅—ニッケル鉱床（注：本誌第344号参照）産の鉱石から白金族の金属を総合的に回収するテスト工場を建設し、陽極のスラッジからの白金とパラジウムの回収率をそれまでの49%から90%に高め、オスミウムとルテニウムの回収率が65%に達し、ロジウムとイリジウムの回収率が54%に高まりました。

みなさん

これまで私は中国の希有金属の鉱物資源と生産の概況を簡単に紹介申し上げましたが、この報告がこの重要な会議の中で冶金の世界の先進的な科学技術思想の働らきについて語る促進剤になることができれば、喜びこれに優るものはありません。この種の中国で初めて開かれた国際会議は、中国の冶金専門家と全世界の冶金専門家の相互理解と友情を促進するものと、私は信じています。私はこのたびの会議を通じて私たちがわが国の鉱物資源を十分に活用し、中国だけでなく全世界の生産目標に役だつよう緊密な共同を進められることを心から希望するものです。

皆さんの御健康と中国でのとくにこの秀麗な景勝の地、杭州での日々が楽しいものでありますよう切望しております。

どうも有難うございました。

訳者の追記

中国には先カンブリア時代の特殊な鉄鉱床がいくつか存在する。その鉄鉱床の特徴は希土類（とときにはニオブ・マンガ・ヒ素・バリウム）に富むことにある。1977年に涂光燾という人が一つの論文を発表して、この種の鉄鉱床を“希土鉄建造”という名称で一くくりした。英文では“Rare earth elements-iron formation”と著わされている。上述の講演で述べられた白雲鄂博鉄鉱床はその“希土鉄建造”のタイプに属する。このタイ

第1表 中国の希土類—鉄フォーメーションのタイプとその地質学的な特徴 (裘愉卓・王中剛・趙振華, 1981)

亜タイプの名称	臨江式	白雲鄂博式	翁泉溝式	生鉄嶺式
有用元素の組合せ	Mn, RE, Fe	Nb, RE, Fe	B, RE, Fe	Ba, RE, Fe
母岩とその時代	震旦系細河統鈾魚台累層基底層 原生代後期 >6億年	白雲鄂博層群上部層 原生代中期 15億年前後	遼河層群下部層 原生代前期 ≥18億年	遼河層群里爾峪累層 原生代前期 18.6億年
堆積・鉱化作用	希土類を含む鉄・マンガン炭酸塩 珪酸塩 酸化物構成	希土類(モナズ石など)を含む含鉄炭酸塩 含鉄珪岩 珪質—鉄質岩構成	希土類・硼素・鉄・チタンを含むソーダ質海底火山岩構成	希土類・燐・鉄を含む火山源堆積岩構成
重複変質作用	なし	ヘルシニア期花崗岩の接触変成作用と熱水交代作用 ソーダ・弗素交代作用が造鉄元素の濃集を促進した	広域ミグマタイト化によるアルカリ鉱液が造鉄元素を濃集	変成熱水ないしミグマタイト化による熱水の作用
鉱体の形態・産状	層状 側岩の産状と一致する	擬層状 レンズ状 鉱体と側岩の産状は一致する	レンズ状 側岩の産状と一致する	偏豆状 側岩の産状と一致する
鉱石の構造・組織	魚卵状 塊状	縞状 塊状 鉱染状	縞状	縞状 塊状
鉱物共生組合せ	菱鉄鉱 菱マンガン鉱 シヤモサイト 赤鉄鉱など 希土類は主として統成変質生成物の赤鉄鉱中に一部はモナズ石 磷酸イットリウム鉱中に存在する	磁鉄鉱 赤鉄鉱 アンケライト ソーダ輝石 曹閃石など 主な希土類鉱物はモナズ石 バストネサイト コーディライト エシナイトなど 螢石・燐灰石などに富む	ルドウィジャイト 磁鉄鉱 透輝石 電気石など 主な希土類鉱物はスティルウエライト モナズ石など	磁鉄鉱 重晶石 黒雲母 石英など 主な希土類鉱物はモナズ石
代表例	吉林省臨江県大栗子鉱床	内蒙古自治区白雲鄂博鉄床		

プに関しては 裘愉卓・王中剛・趙振華の総括論文“試論希土鉄建造”(1981)《地球化学》第3期 220-231頁)があり その中で彼らはこのタイプの鉱床がフィンランドと中国にしか発見されていないタイプであることを強調しながら さらに4種の亜タイプに細分している。それは 臨江式 白雲鄂博式 翁泉溝式 生鉄嶺式の4種である。この4種のそれぞれの特徴は第1表に示したとおりである。

フィンランドのものは燐灰石に富んだ鉄鉱床で希土類含有率が400ppm前後に達しているが カナダ アメリカ ソビエト オーストラリアなどの主な先カンブリア時代の鉄鉱床の希土類含有率はイットリウムを除けば一般に10ppm前後にすぎない。中国の同じく先カンブリア時代の鉄鉱床も一般的には希土類含有率がそれほど高くはなく 通常は20—30ppm以下である。それが中国独特ともいえる希土類—鉄鉱床となると 一般に希土類が1,000ppmをこえ はなはだしい場合はそれが1%以上という高品位に達している。第1表中の白雲鄂博型を代表する白雲鄂博鉄床はかつてバインボクト鉱床

とよばれていたもので 現在その成因をめぐって中国の専門家が盛んに議論を行っているが ニオブと希土類に関しては世界最大の鉱床といえる。このタイプと同じとされている遼納廠鉄床 松政鉄床と 白雲鄂博鉄床との希土類元素品位を比較してみると 前述の裘愉卓ら(1981)の分析結果によれば RE₂O₃全体の含有率で白雲鄂博鉄床(平均1.4%)>松政鉄床(0.78%)>遼納廠鉄床(0.46%)>であり また希土類元素の中ではセリウムがもっとも多く 白雲鄂博鉄床で平均4,835ppm(最高38,510ppm という鉱石試料もある) 松政鉄床で平均2,183ppm 遼納廠鉄床で平均1,378ppm となっている。あとの2鉱床がどこに賦存するかははっきりしないが 白雲鄂博鉄床ほどの品位でも規模でもないと思われる。

第1表中の臨江式鉄床の実例としては吉林省の大栗子鉄床をあげることができるだろう。しかし同表中の翁泉溝型と生鉄嶺型を代表する鉄床名と位置は残念ながら詳かでない。その母岩の地層名から遼寧省に賦存するらしいと考えるだけである。この地名の存在場所を知っている方があれば 御教示を得たいと願っている。