

金屬礦床工業類型目錄

1. 緒論……………(馮景蘭稿)
2. 鐵……………(馮景蘭稿, 祁思敬補充实例)
3. 錳……………(祁思敬、邓熾昌稿, 馮景蘭校補)
4. 鎳……………(祁思敬、金景福編, 馮景蘭校補)
5. 鈦……………(祁思敬、霍承禹編, 馮景蘭校)
- ✓ 6. 錳……………(祁思敬、趙鳳池、馬新興集稿, 馮景蘭校編)
- ✓ 7. 鈷……………(祁思敬、趙鳳池資料, 馮景蘭改編)
8. 釩……………(馮景蘭編)
9. 銅……………(馮景蘭編)
- ✓ 10. 鉛、鋅、銀……………(馮景蘭稿, 白士魁、熊曾熙、丰淑庄補充实例)
11. 鋁……………(霍承禹編, 馮景蘭校)
12. 錫……………(馮景蘭編, 胡祖桂、黃茂新、卫冰洁補充实例)
13. 鎢……………(馮景蘭稿, 蔡时玉補充实例)
14. 鉬……………(蔣明霞稿, 馮景蘭校補)
15. 鉍……………(祁思敬稿, 馮景蘭校補)
16. 鈹……………(夏宏远稿, 馮景蘭校補)
- ✓ 17. 汞……………(朱文清編, 馮景蘭校補)
18. 鎘……………(馮景蘭編, 朱文清補充实例)
- ✓ 19. 金……………(馮景蘭編)
- ✓ 20. 鉑……………(馮景蘭編)
21. 放射性金屬……………(司幼东稿, 馮景蘭校補)
22. 稀土及分散金屬……………(司幼东稿, 馮景蘭校補)

第 九 章 銅

(馮 景 蘭)

銅是很早就被人类广泛应用的金属，除了它本身具有許多优良性質之外，自然銅的存在，和某些銅矿之易于冶煉，也是它早被应用的主要原因之一。近代电工业及合金工业的发展，又給銅开辟了更多的用途。

工 概 論

(1) 銅的地球化学：銅是地壳内分佈很广的一种元素，平均含量約为万分之一，(0.01%)；在火成岩中，銅佔 0.006—0.02%；基性火成岩含銅可达 0.2%。

在岩漿結晶各阶段中都有銅出現；在风化沉积物中，也有銅；隕石平均含銅 0.06—0.9%。

銅傾向于硫，而不傾向于鉄，所以在冶煉时，容易离开爐渣，沉淀下来。假如把岩漿分成矽酸鹽和硫化物兩种，則銅的絕大部分，可归到硫化物中去。在母岩漿中，含銅矿物很少；在岩漿液态分离时，銅跑到硫化物中；矽酸鹽中，含銅极少；岩漿矿床中的銅是与鎳共生；岩漿結晶初期矿物中，含銅很少；岩漿主要結晶时期，也沒有造成大量銅矿，因銅不參與矽酸鹽，不和長石輝石等在一起，而主要是在岩漿后期分出来的；偉晶岩中，含銅很少，只有在偉晶輝長岩中，有时含銅較多；接触交代矿床和热液矿床中，往往有很多的銅。

銅質滲入圍岩中，可形成斑銅矿；有时侵入火成岩内，在玄武岩及輝綠岩中，成浸染体；在风化帶中，易被溶解帶走，并沉淀在有鉄的地方；所以銅在任何时期，都能形成；因之找銅的范围，非常广泛。

(2) 含銅矿物，不下 170 种，較重要的十六种銅矿列如下表：

号碼順序	矿物名称	化学成分	含銅量%
1	自然銅	Cu	100
2	黃銅矿	Cu_2S_2 (Cu_2FeS_2)	34.5
3	斑銅矿	Cu_3FeS_3	63.3
4	輝銅矿	Cu_2S	79.83
5	銅 藍	CuS	66.44
6	黝銅矿	$4Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	52.3
7	砷黝銅矿	$4Cu_2S \cdot As_2S_3$	57.5
8	斜方硫砷銅矿	$3CuS \cdot As_2S_3$	48.3
9	砷銅矿	Cu_2Os	71.71
10	赤銅矿	Cu_2O	88.8
11	黑銅矿	CuO	79.86
12	孔雀石	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	57.4
13	藍銅矿	$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	55.3
14	矽孔雀石	$CuO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$	36.1
15	水胆矾	$CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$	56
16	氯銅矿	$CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$	59.4

在世界年产量 200—250 万吨中，約 80% 得自硫化物，其中多半是来自輝銅矿；其余

来自黄铜矿，斑铜矿，黝铜矿，和铜蓝等。全部产量的 10% 来自自然铜，5% 来自孔雀石，蓝铜矿，孔雀石，水胆矾，铜矿等氧化及氯化产物。

(3) 铜的性质和用途：从很古时候，人们就知用铜；在现代国民经济中，铜是除铁以外，最普通，最重要的金属；铜及其合金，在电气工业上，机械工业上，化学工业上，和建筑工业上，都有无穷无尽的用途。

最近一百年来，铜的应用，日益高涨，主要是因为铜有很多优良性质：如 (i) 导电率高。铜的导电率，仅次于银，而铜的价值，仅及银的 1/70，加以铜有比银更高的韧性，使铜成为电工上最重要的金属，电机、输电线、和电讯线的制造，均非铜不可。(ii) 传热性好，和化学稳定性强。这就决定了，它在有机化学制造工业中的广泛应用。例如制糖真空器，制酒蒸馏锅，酿造锅，冷藏器，加热器，及各种管子等。(iii) 铜有与其他金属 (Zn, Pb, Al, Ni, Au, Ag) 等，熔成各种合金的能力。兹将常见的铜合金，列如下表：

铜 的 合 金 表

合金名称	含 量 %					其他成分
	Cu	Zn	Ni	Sn	Al	
纯 铜	90—80	10—20	—	—	—	
黄 铜	70—59	30—40	—	0—1.5	—	Pb 0—3.0
含锡青铜	95—75	0—6	—	3—11	—	Pb 0—1.2
含铝青铜	95—85	—	0—10	—	5—11	Si 0—2.0
白铜 (锌镍铜合金)	80—65	0—18	13—20	—	—	
德国银 (锌镍铜合金)	65—50	20—25	10—25	—	—	Pb 0—1.2
康铜 (铜，镍合金)	59	—	40	—	—	Mn 1.0
镍铜合金	67	—	32	—	—	Mn 1.0
锰铜 (锰铜镍合金)	84	—	4	—	—	Mn 12

在工业上铜分三级：(i) 粗铜含 Cu 85—99%；(ii) 精铜含 Cu 99.6%，(iii) 电(解)铜含 Cu 99.95%。

电工制品，对于铜的品质，要求很高。因为铜中如含少量杂质，导电率即大为减低；并且能严重地影响铜的机械性质；同时又降低了铜在加热冷却情况下的可塑性。例如铋是最有害的杂质，有铋存在，铜就产生脆性，因而增加压薄和延长的困难，甚而不能压延，并且只要含有十万分之几的铋，就会发生不良影响；但如含有万分之几的铝，也会引起同样的后果；又如硫的存在，可增加铜在冷却时的易碎性。

(4) 铜矿的质量，主要取决于矿石中铜的含量。由于科学技术的发展，采选，冶炼方法的提高和铜在工业上需要量之日益增加，对于工业类型含铜量的要求，就日益降低。例如：在 19 世纪初叶，工业铜矿的含铜量，不能少于 10%；19 世纪 80 年代，含铜量的要求为 5.2%；90 年代，3.8%；1910，2.06%；1920，1.64%；1930，1.44%。现在对于矿铜含铜量的要求为 1%，或者更可少到 0.5%，因之以前认为不能开采的铜矿，现在只要储量，加工处理容易，有些都可开采。但一般所谓富矿，含铜品位应大于 2%，中等矿 2—1%，贫矿小于 1%，而最贫矿可小于 0.7%。

(5) 铜矿的规模：由于铜的价值，比铁贵得多，所以对铜储量的要求，比铁小得多。一般储铜几千百吨者为小矿，几万吨者为中矿，几十万吨者为大矿，几百万吨者为极大矿。

(6) 铜的储量：全世界每年产铜约 250 万吨，已知储量约 15,000 万吨；主要产铜国家和储铜国家，(括弧内数字为储量佔全世界储量%，括弧外为产量%) 为美国 (20)

36. 智利(30)20%, 路德西亞(30)10, 加拿大(5)9, 比屬剛果(5)7, 苏联 7, 墨西哥 8。

✓(7) 按銅矿的地理分佈來說, 世界所有銅矿, 約有 90% 分佈在下列六区: (i) 安底斯区, 包括智利, 秘魯等諸大矿床, 主要为斑岩銅矿, 与二長岩侵入体, 有密切的关系; (ii) 美国, 以猶太的斑岩銅矿, 阿利桑那的接触交代銅矿, 蒙州那比納替的脉狀銅矿为最著, 主要与二長岩和花崗岩期岩侵入体有关; (iii) 加拿大东南部, 包括苏德柏利的銅矿矿床与紫苏輝長岩有关; (iv) 非洲中南部, 层狀浸染銅矿, 包括北路德西亞, 及其附近之勘他喀, 与花崗岩(?) 侵入体有关; (v) 苏联烏拉山区, 主要与凝灰岩系及酸性侵入岩体有关; (vi) 日本弧, 包括花山(接触交代矿床) 别子(含銅黃鉄矿床), 和大仙(脉狀矿床), 主要与花崗岩和火山岩有关; 其他另昆矿区如西班牙(含銅黃鉄矿), 曼斯斐尔德(水成矿床), 及中国西南东北各地也都有各式各样的銅矿, 詳后。

(8) 按銅矿的生成时代來說: (i) 寒武紀前是造成銅矿的一个重要时代, 約佔世界現在产銅量的四分之一。如中国的东川銅矿和中条山銅矿, 非洲比屬剛果和北路德西亞的含銅砂岩型銅矿, 美国上湖与自然銅共生的自然銅型銅矿, 加拿大万德伯利銅矿矿床, 都是世界著名大矿。(ii) 古生代, 尤其中古生代和上古生代时期, 也造成了世界許多銅矿, 如中国甘肃白銀和苏联烏拉尔的含銅黃鉄矿型銅矿, 中国东北和長江下游(銅官山) 以及苏联烏拉尔的砂岩型銅矿, 哈薩克与烏茲别克苏維埃社会主义共和国的大型浸染銅矿, 和十分巨大的含銅砂岩型的哲茲卡茲甘銅矿, 都佔有重要的地位。(iii) 中生代——新生代(白堊紀和第三紀) 是世界最重要的銅矿造矿时代, 地中海区(巴尔干, 土耳其, 塞浦路斯, 外高加索, 西班牙南部?) 的巨大含銅黃鉄矿型矿床, 苏联亞美尼亞的浸染銅矿, 太平洋沿岸(加拿大, 美国西部, 墨西哥, 秘魯, 智利等) 的大型細脉浸染銅矿矿床, 含銅石英脉矿床和含銅黃鉄矿型矿床, 以及日本, 菲律宾的含銅黃鉄矿型矿床, 总计产量几佔世界全产量的 2/3。

(9) 世界銅矿开采重心: 起初是在欧洲; 自 19 世紀中期, 逐漸轉移到美洲; 現在开采最盛的是美国和智利; 在煉銅方面, 从 19 世紀末叶起, 美国升佔第一, 智利第二, 苏联在欧洲佔第一。

中国自解放以来, 对于銅矿的勘探已大力开展; 銅矿的主要工业类型, 已逐漸探明; 暫能供給現在的工业需要; 但为滿足将来日益扩大的需要來說, 实有加强普查勘探的必要。

II 銅 礦 床 工 業 类 型

古达林和柯瓦列夫以銅矿的开采特征、技术特征、和地質特点, 为銅矿床工业类型的分类基础。

所謂矿山开采特征, 首先指矿床的形状而言, 如层狀, 脉狀, 浸染狀, 凸鏡狀, 及不規則交代狀又如矿株, 矿筒等, 其次是矿床的产狀, 包括矿层的傾角, 深度, 上下盤性質等。

所謂技术特征, 以品位为确定技术加工的主要因素, 如果銅矿石的品位很高, 且系單金屬矿石, 可不經选矿, 直接熔煉; 如果銅的品位很低, 或矿石成分复杂, 就必须先进行选矿; 品位低而儲量大的矿床, 可用机械采选, 以降低成本; 但因开始投資数目大, 所以开采年限要長; 因此銅矿企业的規模, 应与金属的品位成反比例; 并必須將开采和加工的組合互相配合, 接近, 以免除貧矿远运的消耗; 当然組織这样大企业, 必須有相当大的儲量作保証。

从銅矿主要伴生物質所获得的付产品, 可使冶金工业, 和化学工业联合起来; 除制銅外

还可获得硫、硫酸、锌、镉、金、硒、镍、钴、铜等有用产品。

所谓地質特点，包括矿床成因类型及矿物共生特点。因为矿物成分，对于矿石的技术加工，和区分铜矿的工业类型，都有很大的价值。此外圍岩特性，次生变化，对于铜矿远景评价和决定地質勘探方向，都有重要的意义。

根据上述三方面特征，他們將铜矿床工业类型，分为镍铜矿型，含铜黄铁矿型，含铜多金属矿型，斑岩铜矿型（細脉浸染铜矿型），含铜石英脉型，矽烷岩型，钛钽鉄铜矿型，层状铜矿型，铜钴矿型，含铜砂岩型，輝铜矿脉型，及自然铜矿型等 12 种。其主要特点略如下表：

铜矿床工业类型表（古达林、柯瓦列夫）

編号	矿床类型	矿山开采方面		技术方面		地質方面	
		形状	产状	品位和儲量	金属組合	共生矿物	圍岩
1	镍铜矿型	假层状和脉状	假层状平緩层厚而矿脉則傾斜陡层薄	品位低級至高級儲量中等至大量	Cu, Ni, Co, Pt	磁黄铁矿 镍黄铁矿 及黄铁矿	基性侵入体 (橄欖岩)
2	含铜黄铁矿型	凸鏡状和层状	傾斜陡峻厚度中等至极大	品位低級至高級儲量从小到极大	Cu, Zn, Au, Cb, As	黄铁矿 黄铜矿 閃鋅矿	酸性和基性 噴出岩 (細網角斑岩系)
3	含铜多金属矿型	同上	傾斜从緩至陡頂板常有頁岩	同上	Cu, Zn, Pb, Au, Ag	方鉛矿 閃鋅矿 黄铜矿	酸性和基性 噴出岩及凝灰岩，頂板为頁岩
4	斑岩铜矿型 (細脉浸染铜矿型)	細脉浸染带成厚层状，分佈于寬广地区	位置不深一被可进行露天掘	中級矿至貧矿儲量大至极大	Cu, Mo,	黄铜矿輝铜矿 黄铁矿輝铜矿 钼矿石英絹云母	酸性火成岩
5	含铜石英脉型	矿脉及細脉带	傾斜陡矿脉厚度小	中級矿及富矿儲量小	铜矿石中有时含 Zn, Pb, Au, Ag,	黄铜矿黄铁矿 方鉛矿石英	大多数为噴出岩和凝灰岩
6	矽烷岩型	不規則矿体	决定于灰岩及火成岩的接触性質	中級矿和富矿儲量小或中等	單金属矿石有时含 Co,	黄铜矿磁铁矿 矽酸鹽类矿物	灰岩与酸性 和中性侵入岩接触部
7	钛钽鉄铜矿型	不規則层状	位置不深，有时可进行露天掘	一般为貧矿，儲量由小至大	Cu, Fe, Ti, V,	斑铜矿黄铜矿 磁铁矿钛铁矿	輝長岩
8	层状铜矿型	层状	傾斜平緩，有时可进行露天开采	中等矿及富矿儲量极大	單金属矿石	斑铜矿黄铜矿 及輝铜矿	沉积岩主要为砂岩或灰岩
9	钴铜矿型	层状脉状柱状	傾斜多陡	品位較高儲量由小至大	Cu, Co, U,	斑铜矿黄铜矿 钴黄铜矿	白云岩和砂岩

10	含銅砂(礫)岩型	形狀不規則	产狀水平厚度不大	貧矿儲量小至大	單金屬矿石	孔雀石藍銅矿自然銅	沉积岩主要为砂岩
11	輝銅矿脉型	脉 狀	在灰岩裂隙中傾斜一般陡峭	品位非常富量少	單金屬矿石	輝銅矿斑銅矿黃銅矿	毗鄰基性噴出岩接触帶的灰岩
12	自然銅矿型	层 狀	傾斜平緩	中等矿和貧矿小至极大	單金屬矿石	自然銅赤鉄矿	基性噴出岩及与有关的凝灰質水成杂岩

註： 加。者为比較重要，本篇將略加敘述的銅矿床类型。

茲依照銅矿床在工业上比較重要性之次第，分述如下：

〔一〕 斑岩銅矿型：（热液細脉浸染銅矿型）（中条山式）。

此型矿床，大都位于遭受石英岩化，和絹云母化的花崗斑岩和花崗輝綠斑岩中，但不一定以斑岩为限（例如美国亞利桑那州的賴伊矿床，即系例外）。

斑岩銅矿的矿物成分相当复杂，大約硫化物，佔 5—10%，其中黃銅矿和黃鉄矿約各佔 2—5%，在次生富集帶中还加上輝銅矿；矽酸鹽类佔 90—95%，其中主要是石英(90—95%)，其次为絹云母，及其他少量矿物，如白云母，高嶺土，蛋白石，綠泥石，电气石等、表列如下：

斑狀銅矿（細脉浸染銅矿）矿物成分表

矿	金 屬 矿 物		非 金 屬 矿 物
	硫 化 物	氧 化 物	
主 要 的	黃鉄矿、輝銅矿、黃銅矿、	孔雀石、藍銅矿、褐鉄矿、赤鉄矿、	石英、絹云母、白云母、高嶺土、
次 要 的	斑銅矿、銅藍、輝銅矿、	矽孔雀石、水胆矾、赤銅矿、黑銅矿、磁鉄矿、	蛋白石、綠泥石、
稀 少 的	硫砷銅矿、閃鋅矿、	自 然 銅、	电 气 石

此类矿床的形狀不規則，一般接近于細脉狀，但浸染矿物，較細脉狀矿物更多。在花崗閃長岩暴露于地表的矿化地段，往往呈橢圓形；在垂直方向很淺，断面好象一水平矿层；一般深自数公尺至数十公尺，宜于露天采掘。

✓ 細脉浸染銅矿的工业价值，主要靠含銅硫化物的次生富集，因为这样，銅的品位才能提高；其次，細脉浸染銅矿，常与輝銅矿共生，鉬的含量，虽然不大，但也常可綜合利用，以增加此类矿床的总价值。有些矿床，則含有相当的黄金。

✓ 細脉浸染銅矿，常保持其原来岩石的構造特性，常見原生斑狀結構的痕跡，即在非晶質石基中，多少有石英和長石的次生斑晶，長石顆粒，被絹云母所代替，而石基則为絹云母和石英所代替。次外次生石英，組成網狀細脉，許多金屬矿物，产于網狀細脉中，由于石英化

作用，和脱色作用，这些岩石，常称为次生石英岩。与次生石英岩有关的細脉浸染銅矿，即次生石英岩的矿化带。次生石英岩含游离石英不过 40—60%，而富含石英的矿石分佈很广，如果石英含量增高，岩石原生構造消失，即转变为角岩構造。

細脉浸染銅矿的技术品种及可分为：(i) 氧化矿石，其中主要含銅矿物为孔雀石、藍銅矿等。一般比硫化物矿石多，而含銅量略少，矽孔雀石现在尚不能浮选，所以須确定不能精选的含銅量；(ii) 混合矿石，含有輝銅矿、孔雀石、及藍銅矿等，輝銅矿矿石是最貴重的技术品种，其含銅量，因次生硫化物富集作用而增高；(iii) 原生矿石，是此类矿床的底层，含銅量贫乏的矿石，銅含于黄鉄矿中，无銅的次生硫化物。

此类銅矿的典型范例，有苏联的科恩拉德，美国猶他州的冥汉谷，和智利的朱魁卡馬他，分别而述如下：

(1) 苏联科恩拉德 (Коунрад) 銅矿：位于苏联哈薩克斯坦巴尔喀什沙漠区，沿巴尔喀什湖北岸分佈着，矿床是显著地高于小丘陵草原的山块，面积约 20 平方公里。

区内，有巨大的花崗岩类，侵入于志留紀和泥盆紀的沉积和噴出的岩层中。后者在接触处变为石英—長石角岩，其中富含白云母和紅柱石。这些角岩化的砂岩和砂頁岩，有一部分，接近科恩拉德山的北麓。在南方和两南方，科恩拉德的山麓，被白堊紀（或第三紀）的礫石和礫岩所圍繞。

山块大体是酸性火成岩受热液交代作用的产物，即次生石英岩。这些次生石英岩，在此区是絹云母和絹云母——紅柱石类型，成自各种火成岩。第一种是从花崗閃長斑岩的侵入岩株变来，而第二种是从这些岩株，圍岩的斑岩变来。絹云母次生石英岩，在地势窪下部分，而絹云母紅柱石次生石英岩，出現于地形較高部分。前者被微細石英脉所密穿，由石英和絹云母組成，常有黄鉄矿和金紅石（有时有电气石）。后者无石英細脉，但有絹云母，石英，并富含金紅石（有时达 50—80%）。此外还有水鋁石，鋼玉，叶臘石，明矾石，重晶石和黃玉。这七种矿物，尤其是紅柱石，全集中在与由花崗閃長斑岩变成的次生石英岩的接触带内。

原生銅矿的矿化作用，与次生石英岩的生成，关系密切。呈现在岩株上部蝕变的花崗閃長斑岩（絹云母石英岩）中的是石英黄銅矿細脉和黄銅矿細脉所構成的網狀带。原生矿化带，在 300—400 公尺深处，逐漸变为新鮮的花崗閃長斑岩侵入岩株，其中不再有小石英脉，黄鉄矿和銅矿物。

科恩拉德的原生矿极貧，目前无工业价值。黄鉄矿和黄銅矿是该地主要金属矿物，間有碘黝銅矿和輝鉛矿。矿床次生带非常显著，即自上而下为氧化带，淋濾带和膠結带。氧化带平均厚 20 公尺，淋濾带 30 公尺，次生硫化物富集带 110 公尺。所謂工业矿床，即在次生硫化物富集带及氧化带中；总厚度由 4—200 公尺。

次生硫化物带的金属矿物是輝銅矿，帶有銅藍和斑銅矿的混合物。这些矿物是与黄銅矿，紳黝銅矿，有时与黄鉄矿起交代作用而产生的。

淋濾带中几乎没有銅，而养化带中有褐鉄矿，孔雀石，藍銅矿，矽孔雀石，和黃鉀鉄矾。

氧化带和淋濾带中，高嶺土和蛋白石的存在，是其主要标志。岩石的高嶺土化有賴于地表硫酸溶液的作用。科恩拉德矿床的原生矿化，是因花崗閃長斑岩热液自变作用的结果。含矿热液將花崗閃長斑岩的長石晶体，蝕变为絹云母，而因此所造成多余的矽氧，便沿着微細裂隙，重新沉淀为細脉。与此同时，銅成黄銅矿沉淀出来。至于黄鉄矿的发生，显見是从暗色矿物中得到鉄質。

絹云母紅柱石次生石英岩的形成，是由于侵入体的岩漿蒸餾对于噴出岩所发生的影响，

紅柱石的集聚，是 Al_2O_3 重結晶的結果。

屬於同一浸染類型的，在蘇聯還有，東北哈薩克斯坦的波舍——庫爾，中央亞西亞塔什干南 80 公里的阿爾馬雷克，和阿爾明尼亞黑格林區的阿加拉克等。

(2) 美國西南部斑岩銅礦：美國西及西南部斑岩銅礦甚多，造成美國最重要的產銅地區，其中以猶他州之賓漢銅礦為最著，產量最多。

此區所有銅礦，都有共同特點：他們都是低級的儲量很大的銅礦，只有大規模機械采選，才有價值；和他們共生的岩石，都是二長斑岩岩株，他們都在斑岩內，或被侵入之片岩內成浸染交代礦體；他們一般呈被狀，水平分佈廣而上下分佈有限；他們的原生礦物相似，並都有劇烈的矽化及絹雲母化作用；他們上面都復有遭受淋濾的蓋層，其下又都有或多或少的表生硫化物富集帶；他們都很易開采和精選。侵入岩主要為中生代或第三紀初期之二長岩，石英二長岩，或閃長斑岩，成徑約數千公尺之不規則岩株，經後來的侵蝕而露出，礦帶生在侵入岩上部破裂部分，受礦化作用而蝕變甚劇，將原岩變為絹雲母綠泥石片岩（次生石英岩），長石外緣不明，暗色礦物褪色呈乳白色，加以表生變化，發生高嶺土，與次生硫化物共生。

礦體呈巨大之被狀，大致與地形相平行，上面與蓋層相接，微有起伏，代表現在或以前的地水面。蓋層厚自十數公尺至百餘公尺，礦體厚數十至百餘公尺，縱橫各達數百至數千公尺。礦體由石英硫化物礦物，浸染或分散在斑岩或斑岩外之圍岩內所構成。全部硫化物含量，約達岩石體積 5—18% 而含銅礦物，約佔硫化物 3—4%。

礦物成分，比較簡單。原生硫化物包括黃鐵礦，黃銅礦，斑銅礦，及較少之閃鋅礦，輝銅礦。蓋層中的硫化物大部或全部已被移去，其殘余孔穴充填物上具有特殊的色彩和格式。蓋層下面，次生硫化物富集帶中，黃色原生硫化物，大部或全部被輝銅礦及銅藍所代替。輝鉬礦一般不受影響，並經過選礦，可大量生產。

斑岩銅礦的產額約佔美國銅產額 $\frac{2}{3}$ 。以上，各礦床間相似之點比相異之點更多。茲舉數例：

猶他賓漢銅礦，(Bingham, Utah) 該地由二長斑岩組成高約 500 公尺的山嶺侵入到上石炭系內。銅、鋅、鉛交代礦床圍繞在侵入體周圍之灰岩中成帶狀分佈。點散狀斑岩銅礦，主要生在蝕變的斑岩中，成橢圓體，長 2,000，寬 1,300，深 800 公尺，儲礦約 6 億噸以上，平均含銅 1.07%。以前所采的銅有 40% 是來自次生硫化物中，現已減少到 16%。采礦工程是在巨大的露天掘中用巨大的電鏟進行每日除去廢石 150,000 噸，運入選廠處理礦石 100,000 噸，過去曾產銅五百萬噸以上。

內華達，義利銅礦 (Ely, Nevada)，沿着主要斷層系統，有數個漏斗狀的二長斑岩侵入體，大都礦化；現在開采最盛的，有路斯 (Ruth) 礦體，長約 530 公尺，寬 400 公尺，深達 60—70 公尺；皮替 (Pit) 礦體，長 1,300，寬 830，深 200 公尺。只此兩處已產平均含銅 1.4% 的礦石 8,000,000 噸。上部為次生硫化物富礦，下部為原生黃銅礦貧礦，選廠每天處理礦石達 2 萬噸以上。

亞利桑那，阿久礦山 (Ajo, Arizona)，斑岩銅礦體，佔有 $1,200 \times 870$ 公尺的面積是在侵入到安山——流紋岩的二長斑岩內。由於黃鐵礦的缺乏，阻礙了很深的次生富化。只在地面下 18 公尺內，氧化成碳酸銅礦石，可用硫酸淋濾、加以處理；其下原生銅礦包括黃銅礦，斑銅礦，及少量黃鐵礦，向下延深平均達 140 公尺以上，現在也用露天采掘。

米亞米—因斯派來勳 (Miami—Inspiration) 礦山的斑岩銅礦，產生于斑岩，及寒武紀前的片岩內。高級富礦，生于一個傾斜的復蓋層內，局部被後來的岩體所埋沒。礦層上部，

多氧化为碳酸鹽类矿物。矿体長3公里，寬500公尺，現用坑道开采。

此外亞利桑那新开发的“粘土矿山”(Clay Mine, Morenci, Arizona)是一个含銅1%的露天采掘的大斑岩銅矿，矿石儲量約四亿吨(含銅4,000,000吨)。含銅矿物主要为輝銅矿，每天采掘矿石量达50,000吨以上。又亞利桑那之三曼牛額尔矿山(San Manuel, Tiger, Arizona)斑岩銅矿，儲矿量460,000,000吨，平均含銅0.78%；同时尚有輝銅矿，及少量之黄金及白銀共生。此矿与石英二長岩共生，原生矿物有黃鉄矿，黃銅矿，斑銅矿等，被盖有輝銅矿薄层，埋沒深达570公尺的礫岩下，此处地下水深达200公尺以上，有1/3以上的矿石为氧化物矿石，含有大量的矽孔雀石。

(3) 智利朱魁卡馬塔矿山(Chuquicamata Mine, Chile)：这是世界儲量最大的斑岩銅矿，位于安底斯山的西坡，距太平洋岸約135公里，海拔約3,100公尺；是一个广大的露天采掘場。矿石主要为品位較低而儲量极大的氧化矿石。地質情况主要为白堊紀末侵入到剧烈褶皱断层之中生界內的閃長岩和花崗閃長斑岩的岩漿，后經安山岩漿的噴发，長期的侵蝕，上新期的隆起和礫石的沉积、以及近代的上升，和气候的变干燥后的氧化。矿体为一梨状斑岩体，長3公里，寬1,200深500公尺。圍岩受剧烈絹云母化和矽化。矿石矿物成散点状，和球状，分佈在剧烈蝕变的岩石內。現在探矿大都限于氧化帶，但据鑽探的結果，在640公尺的深处、发見硫化物矿体。原生矿化作用，显見是热液代替斑岩，造成石英、絹云母、赤鉄矿、黃鉄矿、砷黝銅矿、及少量的黝銅矿、黃銅矿、閃鋅矿、斑銅矿、及輝銅矿。此外尚有銅藍及明矾石等系表生产物。

由于該地气候的異常干燥，淋濾帶不是到处都有，氧化矿体下面，經過氧化物和硫化物混合帶，即到硫化物帶。但此理想的深帶，除少数鑽探資料外現在知道的还很少。在該地非常干燥的气候条件下形成了許多特殊氧素化合物，包括銅、鉄、鎳、鉀、鈉等的硫酸鹽类及石膏，岩鹽等。此矿山現正进行大規模的淋濾电解法提取精銅。

据說朱魁卡馬塔矿山的平均品位为2.15% 年产銅20万吨以上，-矿石儲量約10.亿吨以上，此外智利的 Braden 矿山，Potrerillos 矿山，規模都很大，也都属于斑岩銅矿类型。

中国中条山銅矿的大部，也属于斑岩銅矿型，詳后。

(二) 热液浸染层状銅矿型：层状銅矿，是被銅硫化物所矿化的沉积岩，主要是砂岩，其次是礫岩、灰岩等。銅的硫化物，就造成砂岩或礫岩的膠結物，儲存于岩石的裂隙和孔洞中，或置換早先的石灰質膠結物，石灰岩礫石，或長石。由于矿化作用程度之不同，几乎从致密矿石到浸染矿石，都可看到，其矿物成分如下：

层状銅矿矿物成分表

矿物	金属矿物		非金属矿物
	硫化物	氧化物	
主要的	黃銅矿、斑銅矿、輝銅矿	孔雀石、藍銅矿、矽孔雀石、褐鉄矿、赤鉄矿	方解石、
次要的	方鉛矿、閃鋅矿、黃鉄矿	水膽矾	石英、重晶石、
稀少的	黝銅矿		

在原生矿石中，上列矿物的比例大致为：硫化物 3—15%，斑銅矿和黃銅矿甚多，原生輝銅矿也有，黃鉄矿很少見，其余 85—97%，主要是造岩矿物。

矿石結構特点，主要是膠結型，金屬矿物，組成膠結物質，并殘留有未被交代的非金屬矿物角粒。各种硫化矿物，互相窄插，如斑銅矿和黃銅矿混合生成的文象結構，斑銅矿和黃銅矿混合生成的格狀結構，次生輝銅矿，置換斑銅矿等。

此类矿石的技術品級，也分为硫化矿石，氧化矿石，和混合矿石三种。原生硫化物成分，已見上表。氧化矿石，是鉄的含水氧化物，石膏及高嶺土相結合的孔雀石藍銅矿，矽孔雀石及水胆矾等，含銅比原生矿石高。混合矿石，是銅的氧化矿物和次生的輝銅矿及斑銅矿的混合产物，这是由于潛水面降低时次生富集的銅矿石，未及完全氧化的結果。

此类矿层的面积可达数平方公里；矿层厚度，可从数公尺至十公尺；矿体常存在于穹层構造中，傾斜平緩，傾角不过 5—30°；氧化帶深自数公尺至十余公尺。

层狀銅矿的范例，見于苏联的哈薩克斯坦和非洲的北路得西亞，及比屬剛果。

(1) 哲茲卡茲甘矿山，位于中央哈薩克斯坦，矿体分佈在烏魯塔夫 (Улутаський) 花崗岩体之南的半沙漠性小丘陵草原中。哲茲卡茲甘区共有 16 个矿床，包括 22 个矿体，分佈面积达 100 平方公里。矿化作用，发生在石炭紀砂頁岩中，其下是下石炭紀灰岩，再下是泥盆紀紅色礫岩和長石砂岩，不整合地盖在下古生界碧石层，灰岩，玢岩和元古界片岩之上。該砂頁岩，总厚 900 公尺，可分三組，包括七个矿层。适于矿化地层总厚达 200—220 公尺。矿区構造，为一南北向大向斜，在此大向斜褶皺中，有許多二級的穹狀突起，及短軸褶皺而使構造复杂化。通常傾斜甚緩，只 10°—25°。不甚大的放射狀裂隙，和較大的断层，穿过这些褶皺。矿化作用，具有交代特征，分佈在灰色砂岩中，礫岩中較少，紅色砂岩中更少。这种选择交代，主要是决定于灰色砂岩內的石灰質膠結物，及長石砂粒。

哲茲卡茲甘矿体，具有两种不同类型。第一类型是扁豆形层狀矿体，順岩石层理分佈，边界不清，由含矿带渐变为无矿砂岩。这型矿体共有 14 个，主要在褶皺翼內，或褶皺弯曲处，厚自 1.5—4 公尺。其中最大的一个矿体，面积达 200,000 平方公尺，平均厚 18 公尺。第二种类型，即所謂「帶角礫岩的矿脉」，生于砂岩破裂帶內，是砂岩中的裂隙充填物和交代物。本区最大矿床之一的彼得罗巴夫洛夫斯基 (Петеровавлововский) 断层矿床，即屬此种，它具有最复杂的形狀，矿体沿走向延長达 500 公尺。

原生矿床的主要成分是黃銅矿，其次是斑銅矿，黃鉄矿和黝銅矿；方鉛矿和閃鋅矿很少；共生的非金屬矿物有石英，方解石和重晶石。氧化帶和次生硫化物富集帶，非常显明。氧化帶中有孔雀石，藍銅矿，矽孔雀石，水胆矾和赤銅矿等。次生硫化物帶中有輝銅矿和銅藍。氧化帶深度平均只 10—15 公尺。

哲茲卡茲甘的原生成矿作用，显見与上升热液有关。其上升通道即砂岩中的裂隙和灰質膠結的粒間孔隙。其金屬矿物組合，和伴生的非金屬矿物石英、重晶石、絹云母和碳酸鹽类等，表示出該矿床是在中温热液白条件下所造成的。

哲茲卡茲甘矿山面积广大現經詳細勘探过的，只是一部分，前途发展，希望很大。

(2) 中非含銅地区地面广大，儲量丰富，是层狀銅矿中所希有的。这一銅帶自东北而西南，仅在北路得西亞，長約 400 公里的矿区中，含銅总量就在 2,700 万吨以上。

路德西亞銅矿帶的开发，始于 1927 年，矿区地質包括厚約 1,700 公尺的長石砂岩及頁岩被盖在寒武紀前的片岩及花崗岩系上，而复被 4,300 公尺厚的水成岩系所盖复。含矿的長石砂岩頁岩系褶皺成傾伏的向斜和背斜，被花崗岩和基性岩片所穿插。

在該矿田長約 100 公里的窄狹地帶，由已經証明有 8 个有价值的矿床，分組为 4 个

山, 进行开采, 每个矿床常包含有一或数个矿层, 其中有点散的銅硫化物, 矿化程度, 非常一律而稳定, 分佈于广大的地面, 含矿层厚 8—10 公尺。在有些地方露头延長达 2,700 公尺。鑽探証明, 延深能达 1000 公尺, 主要構造为数个傾伏的向斜层。

矿石主要为微小而分散的銅硫化物, 在長石砂岩內, 成網狀細脉者甚少。矿石矿物, 主要有輝銅矿, 斑銅矿, 黄銅矿, 間有黄鉄矿, 銅藍, 硫鉛矿 (Linnaeite) 閃鋅矿, 硫銅鉛矿 (Carrollite) 的痕跡, 深生輝銅矿及表生輝銅矿都有, 鉄成分甚低。深生沉淀次第为鉄硫逐漸減少, 最后产生輝銅矿。因之在深处, 黄銅矿, 斑銅矿較多, 而淺处輝銅矿較多。

氧化及淋濾, 在地下水面以上, 普遍地进行着, 深达 70 公尺。在氧化帶中普通含有銅的氧化矿物, 及褐鉄矿的特殊結構, 表征原来硫化物的存在。特殊部分的氧化深度, 有达六百余公尺者, 代表早期更干燥气候的沉积。由于硫鉄矿数量不多, 所以表生輝銅矿的分佈, 不如原生輝銅矿分佈的广泛。

因此此矿床均匀地分佈在一个地层上, 所以很早就有人认为是同生的水成矿床。后經显微鏡下的詳細研究, 发見矿床形成, 是在褶皺以后, 受水热交代矽酸鹽类的影響, 而生在可以讓矿液通过的岩层中。矿液来源, 可能与后期的侵入体有关。

丰富的加卡頓 (Katanga) 銅矿帶; 实际是上述路德西亞矿床的延長部分, 一切情况, 大致与路德西亞的矿床相似。在此矿化帶中, 有世界聞名的欽叩老威 (Shinkolobewe) 銅矿床, 含銅、鉛、鋅、硫化物、甚有价值。

和查茲卡茲甘, 或路德西亞相同的层狀銅矿, 在中国尚未发見。云南东川灰岩层內似层狀銅矿, 或者可提出作为此种类型的代表, 詳后。

(三) 热液含銅黄鉄矿型 (Rio Tinto 式), (白銀厂式)。

含銅黄鉄矿型矿石的主要組分黄鉄矿, 約佔 95% 以上。此外, 尚含有数量不一的, Au, Ag, Zn, Cd, Pb, As, Se 等。經常是鋅較銅多。其氧化帶常成褐鉄矿层含金。脉石为絹云母, 綠泥石和石英。

含銅黄鉄型矿石的矿物成分表

矿物	金 属 矿 物		非 金 属 矿 物
	硫 化 物	氧 化 物	
主要的	黄鉄矿、黄銅矿、閃鋅矿、	褐鉄矿、赤鉄矿、孔雀石、藍銅矿、	絹云母、綠泥石、石英、
次要的	磁黄鉄矿、白鉄矿、輝銅矿、斑銅矿、砷黝銅矿、	磁鉄矿、黑銅矿、赤銅矿、矽孔雀石、胆礬、鉄藍礬、	重晶石、方解石、碳酸鹽类鉀黄鉄礬、
稀少的	毒砂、方銅矿、紅錦銅矿、輝銀矿、	白鉛矿、自然銅、	角閃石、

原生矿石的矿物含量, 硫化物佔 50—100%; 其中黄鉄矿最多可达 95% 以上, 黄銅矿 0—10%, 砷黝銅矿 0—5%, 閃鋅矿 0—10%; 非金属矿物 0—50%, 絹云母, 綠泥和石英的集合体分佈甚广, 可达 50%。

純黄鉄矿型矿石的另一特征, 是由細脉所組成的粒狀構造, 由含銅黄鉄矿, 閃鋅矿, 及其他矿物的細脉, 膠結而成。在方鉛矿, 砷黝銅矿, 及其他硫化物中, 由于一些矿物, 被另一些矿物所置換, 所以常成文象結構; 发育在次生硫化物富集帶中的次生硫化矿物, 常呈纖維狀和網狀結構。

含銅黃鐵礦型礦床，常與細碧岩及鈉長斑岩等火山岩及其凝灰岩互層相伴生；它們在廣大範圍內，呈強烈的絹雲母片和片岩化；礦體一般為凸鏡狀礦層，沿走向及向深處尖滅；礦層每逐漸分歧；致密礦石，可漸過渡為黃鐵礦浸染體。

許多含銅黃鐵型礦床是由一系列的礦層所構成；層與層間，每被貧礦帶，或硫化物浸染岩層所分開，其厚度從幾公尺到幾十公尺。有時在同一斷面上，急劇分開的礦體，沿斜向或走向延長，可能又合而為一。它們又常成脈狀分佈或連鎖狀排列。

各礦層沿走向的長度，從幾十公尺到幾百公尺，有時長達四、五千公尺。礦層沿斜向延深可從數十到數百公尺。一般走向長度，超過傾向深度。

黃鐵礦型礦層厚度，一般在 20—30 公尺左右，個別可達 200—300 公尺。大多數凸鏡狀礦體或礦層傾斜很陡，且往往與圍岩片理一致。

由於黃鐵礦的氧化，和殘餘褐鐵礦的堆積，造成顯著的鐵帽。同時易溶成分銅和鋅，被淋濾而下降；不易溶解的，石英，重晶石和自然金，存留在鐵帽中。氧化帶深度，可從 1—40 公尺或更多。鐵帽可作鐵礦開采。

凡有砂和黃鐵礦散粒淋濾帶的存在，是大多數黃鐵礦型礦床的特徵；砂由石英，長石，重晶石和其他由機械富集的礦物所組成，並常含有高品位的自然金；黃鐵礦散粒，係由銅鋅礦石淋濾溶解時所放出來的；砂和黃鐵礦散粒淋濾帶的上下厚度，通常不過幾公尺。

次生硫化物，出現在含銅黃鐵礦型礦床的深度，有時超過 200 公尺，但因此形成大規模富礦很少。原生礦石中的銅和富集礦石中的銅的比例，常為 1:1.5。

就儲量言，許多含銅黃鐵礦型礦床是不大的，但有些也儲量很大。

世界含銅黃鐵礦型銅礦，最著名的有西班牙的利歐亭頭，蘇聯的烏拉爾，美國亞利桑拉的尤奈替德維爾德 (United Verde) 等，分別簡述如下：

(1) 利歐亭頭礦山：位於西班牙葡萄牙交界之許爾瓦 (Huelva) 區，是世界最老，最大和最著名的含銅鐵礦床，開采迄今已 3000 年，首先采金，以後采銅和硫，根據生產記錄，已采出黃鐵礦兩億噸以上，含銅約 500 萬噸；而現在尚存留在地下的儲量，至少仍有已采的那樣多，可能達 20 億噸以上，儲銅 200 萬噸以上。

該礦床與古生代板岩，受擠壓的石英斑岩及輝綠岩脈等共生，礦體可以在斑岩內，在板岩內或在斑岩和板岩的接觸帶。已經露天開採的有五十個礦體，其中有八個大礦體，都集聚在利歐亭頭附近。礦體一般為塊狀黃鐵礦所構成的巨大凸鏡體，其旁被分散的硫化物和絹雲母化的圍岩所環繞。由於硫化物的減少，逐漸遇到正常圍岩。最大之三當泥沱 (San Dionisio) 礦體長達 1000，寬 280，深 500 公尺；如與其附近礦體連合計算，長寬尚三倍於此數。

礦石主要為塊狀黃鐵礦，矽酸鹽類礦物只佔 1—5%，附帶有黃銅礦，閃鋅礦，方鉛礦及更少量的黝銅礦，神黝銅礦，砷化物類及碲化物類，少量輝鉬礦和銅藍，生于淺薄的表生富化帶中。此礦產物有硫，銅，鉛，鋅，金，銀，銻，銻等可分為熔煉礦 (Cu 2%+)，淋濾礦 (0.5—2%) 銅硫礦及硫礦等類。

利歐亭頭礦的成因，尚系一爭論的問題。有人說是正岩漿礦床，有人說是熱液礦床，也有人說是海底噴發時所形成的似層狀礦床，與蘇聯烏拉爾區的含銅黃鐵礦床，可相比較。

(2) 烏拉爾礦山：蘇聯烏拉爾含銅黃鐵礦型礦山，延展於烏拉爾山東坡，北緯 52°—60° 之間。礦區總數約 30 處，個別礦體，不下數百。它們統分佈在綠岩帶內，而這一地帶，所代表的是志留泥盆紀具有片理的噴出岩（輝綠岩，輝綠玢岩，正長斑岩，正長斑岩和鈉長斑岩）及凝灰岩系。這些岩石與灰岩，矽質片岩，粘土質片岩及石英岩成互層。在許多地方，整個岩系，都被花崗斑岩，閃長斑岩，長英岩等岩所貫穿。烏拉爾中部火山岩片

理最发达，向南向北，逐渐减弱，而綠岩地带，扩大分支，宽达 40 公里。

含銅黃鐵矿床，集中成几个矿組，沿片理方向，南北延長，即扁豆狀或复扁豆狀矿体，沿片理分佈，經常与被黃鐵矿所浸染的石英綠泥石片岩，和石英絹云母片岩相伴生。这些片岩，在綠岩地带，南北兩端的矿区中，亦即动力变質現象微弱的地区中，或少，或缺，而這些矿区的特征是扁豆矿体不大，圍岩矿化作用微弱。

根据这些特点和其他理由，查瓦里茨基院士在 1936 年发表过他的意見。他認為烏拉尔黃鐵矿床的生成，是由于岩流和凝灰岩，受噴气孔和疏質噴气孔的变化作用所产生的，而矿体的扁豆形状，与圍岩片理，是以后經区域变質所产生的。

我們可將喀拉塔 (Калата)，和布里亞瓦 (Блява) 两个矿床，作为两种类型的含銅黃鐵矿 (烏拉中部型及动力变質微弱区域型) 的例子，分述如下：

(i) 喀拉塔矿区：位于涅佛揚斯克 Невьянск 城西南，矿床生于鈉長斑岩的片岩內，該片岩与噴出的石英鈉長斑岩及其凝灰岩成互层。直接包圍矿体的岩石，是由鈉長斑岩片岩所变成的石英綠泥石絹云母片岩。

矿床由許多扁豆狀矿体組成，断續沿西北东南向的片理分佈延長达 2 公里，并与片岩一致向东傾斜甚陡 ($80^{\circ}-85^{\circ}$)。主矿体略成不規則的复扁豆狀，被片岩夾层，分割为几个扁豆体。旁边更圍繞有很多小扁豆矿体和細脉，与主矿体不連，但相平行。矿体周圍形矿的片岩，已被黃鐵矿所浸染。主要矿体長 70，厚 25 公尺，1946 年用鑽探确定的最大深度，为 270 公尺，但在此深处的厚度，已显著减小。

矿体由于沿节理裂隙的剧烈风化，在 150 公尺的深处，才出現原生矿帶，即块狀細粒黃鐵矿体，其中含有黃銅矿，閃鋅矿，石英，絹云母和綠泥石。在很多地方，矿石呈帶狀構造，是由于黃鐵矿夾层和富含黃銅矿夾层互相更替而生成的。在矿体边部，特别是尖灭地方，出現磁鐵矿，与石英一起，形成急剧尖灭的夾层。

(ii) 布里亞瓦矿床：距含銅黃鐵矿型矿床的主要地带很远，位于南烏拉尔。矿床生在古生代細碧角斑岩傾斜緩和的地层中。該地火山岩，查瓦里茨基認為不象水底噴出物，而象陆上噴出物。岩流来源，就是这些岩石中細碧岩質輝綠岩和石英角斑岩岩牆。火山岩和矿体 (鉄帽) 都被中生代古新統的粘土，泥灰岩，礫岩和石英岩所盖复。

矿床由两个大的向西傾斜的矿脉所組成，即北部及中部扁豆体，其位置由圍岩破碎带所决定，主要的北部扁豆体沿走向延展 500 公尺，平均厚 50—60 公尺；次要的中部扁豆矿体長 250，厚 10 公尺。黃鐵矿为主要金属矿物，其中杂有黃銅矿和較罕見的閃鋅矿。矿石成分与烏拉尔其他黃鐵矿型矿床有别，即白鉄矿很多。在硫化富集帶內有銅藍和輝銅矿，伴生矿物有石英，間有方解石和重晶石。矿石結構不一，有块粒狀的，有非晶質膠狀的。圍岩原生蝕变为矽化和綠泥石化；次生蝕变，为蛋白石化，黃鐵鉀礬化。氧化帶深 65 公尺，矿床有显著鉄帽，鉄帽組分，除氢氧化鉄和銅外，还有黃鉀鉄礬，石膏，蛋白石，高嶺土及碱。在原生帶中，銅品位不高；而在次生富集帶中，可能达百分之几。

烏拉尔含銅黃鐵矿，在苏联有重大的工业意义，全苏銅产重的大部，由此区取得，即按金属儲量言，該处也是主要产地之一。

(3) 尤奈替德維尔德矿山：(United Verde, Jerome, Arizona, U.S.A.) 位于美国亞里宗那州，吉隆木附近，为美国第七个主要产銅矿山，自开办迄今所产銅，金总值，已达 80 万万美元以上。附近地質为寒武紀前綠石片岩，被閃長岩株所穿插，而此火成岩，即形成矿体的上層；上下移距約 570 公尺的断层，將古生代以后的岩层与此片岩相接触。

矿体呈圓柱狀，深 1,000，徑 250 公尺，在綠石片岩內，造成此大断层之下層，包括鉄

及銅的硫化物，石英，白云石，綠泥石等代替了片岩，平均含銅 5—6% 及相当的白銀。上部，氧化成高級銅礦，深達 50 余公尺，而表生輝銅礦，可向下延深至 200 公尺。尤奈替德維爾德延長部礦體原為尤奈替德維爾德礦體之一部，經寒武紀前斷層下移而分離復經詳細勘探而獲得。此礦段的地質歷史，正如 圖所示，在寒武紀前斷層和侵蝕以後，兩截礦體在泥盆紀岩層沉積之前都被養化富集。玄武岩流後的新錯動使下移的部分，埋沒更深，而上升部分再度侵蝕在寒武紀前的准平原上 新成一层養化富集帶。因之所謂延長部分上面的養化富集帶實際是寒武紀以前的風化壳，其鉄帽頂部在現地面下 230 公尺，底部在現地面下 280 公尺。在此鉄帽下有表生輝銅礦富礦體厚達 50 公尺，平均含銅 25% ，其下，還有厚達 100 公尺的部分富集的硫化物帶才到原生硫化物帶。未斷開的礦柱至少長達 1700 公尺。

我國甘肅白鉄礦銅礦，屬於含銅黃鉄礦型，詳后。

〔四〕 熱液脈狀銅礦型：（含銅石英脈型及輝銅礦脈型）。（標特式和肯涅考特式）

含銅岩英脈型，為摻雜有其他脈石的石英體，其中含有銅，鋅和鉄的硫化物，脈狀，截穿各種岩石，主要是噴出岩，其礦物成分，如下表：

含銅石英脈礦物成分表

礦 物	金 屬 礦 物		非 金 屬 礦 物
	硫 化 物	氧 化 物	
主要的	黃鉄礦、黃銅礦、	孔雀石、藍銅礦、褐鉄礦、	石英、方解石、重晶石、
次要的	閃鋅礦、方鉛礦、銅藍、斑銅礦、黝銅礦、金磁黃鉄礦、輝銅礦、	矽孔雀石、赤銅礦、	菱鉄礦、絹雲母、綠泥石、
稀有的	硫砷銅礦、		菱錳礦、

礦物的比例，大致是硫化物佔 10—15% 或稍多（其中黃銅礦佔 8—40% ，其餘為黃鉄礦）；一般，閃鋅礦實用價值不大，但在某些情況下，又成主要的金屬礦物，而且超過黃銅礦 1—2 倍；其餘 50—90% 為脈岩英；硫化物常不規則地介於石英之間。因各種礦物的顆粒較大，此種礦石，容易精選。

此類型脈，傾斜很陡，沿走向長度，可從數十至五百公尺，一般為二、三百公尺；銅品位高；在脈的兩旁，以及離開脈以外的地方，往往分佈有細脈浸染礦體。

此類礦床很多，但具有工業價值的較少。

茲舉最著名的蘇聯高加索的贊格祖爾及美國蒙檳那的標特礦床為例：

（1）贊格祖爾脈狀礦區，位於南高加索，沿奧赫查衣河（Р.Олчи-чай）的中游分佈着。該地區為一山地，高自 700—1,100 公尺。成礦作用，集中在幾個地段，其中兩個有工業意義：（i）列寧礦山群，沿喀瓦爾特蘇河（Р.Кавартеу）和（ii）沙烏米亞那（Шаумяна）礦山群，前者主要為銅礦床，後者主要為多金屬礦床，這裡不加敘述。

該區主要岩石為侏羅紀噴出岩，其底部為斜長玢岩，凝灰岩和角礫岩，總厚達 500 公尺；其上整合復蓋着帶有凝灰岩和凝灰角礫岩的石英玢岩，厚 300 公尺，此外又有凝灰玢岩，超復在前兩層上，此凝灰玢岩包括凝灰角礫岩、玢岩凝灰岩、輝綠玢岩和逐漸變為灰岩的泥灰岩。

所有凝灰噴出沉积岩造成了走向西北的背斜，被断层割为数块。在第三紀时該区被花崗閃長岩漿所侵入。这些侵入体的边缘部分，也就是接近含矿地段，逐渐过渡为石英斑岩和鈉長斑岩。矿床生在背斜頂部的断层裂隙中，与花崗閃長岩有关。

矿体为脉状，屬中温型。在本区西北部，矿脉穿过凝灰玢岩及石英斑岩，使圍岩起着剧烈蝕变—褪色作用，碳酸岩化作用和黄鉄矿化作用。褪色作用，是在岩石原来結構的情况下，变为被石英脉所貫穿的石英、絹云母、綠泥石的集合体。

矿脉向西南傾斜甚陡，自 40° — 90° ，沿走向长达 200—300 公尺，厚自数公厘至一公尺。主要矿脉約 40 条，都是構造复杂，常分歧尖灭或破碎成为細脉。

金屬矿物有黄銅矿，黄鉄矿和斑銅矿，間有黝銅矿和閃鋅矿，而在次生硫化物富集作用不强地方，还有銅藍。

(2) 标特矿区，是一个著名的矿区，在 3×6 公里的面积及一公里多的深度中，就有长达 1500 公里長的坑道。它自 1879 年开采以来，只产銅价值已达 25 万万美元，此外并产有相当量的銀、金、鋅、鉛和錳。除了南非得 (Rand) 金矿外，被称为地球上最富的矿山。

本区位于保尔德岩基 (石英二長岩体) 的边缘。此岩基在白堊紀安山岩內，被不含矿的長英岩及石英斑岩等岩脉所割切，而他們又被七个系統的裂縫所割切。最后，被流紋岩所割切。

矿床为三系列的裂隙充填矿脉，傾斜均陡。較老者以交代为主，較新者为断层裂隙充填，而所充填之物質，又大致相似。脉宽自数公分至一、二公尺，长达 2,400 公尺。因为后来矿脉切斷以前的矿脉，就造成一系列非常复杂的矿脉系統。

最老的安那康达 (Anaconda) 矿脉，走向东西，是个正断层的張力裂隙充填矿脉它又宽 (83 公尺) 又深 (1300 公尺)，又富，矿化又均匀，是本区域中最大的生产矿脉。自此向东，断层渐多，現出了所謂馬尾狀構造，形成剧烈的断裂和矿化区，長約 700 宽 150 公尺。三系列矿脉的生成時間，虽然稍有先后，但時間上的差别，并不太久，与以后的断层裂縫，只錯断矿脉而没有矿的，显然有别。盲矿体頗多，有深在 700 公尺以下者。

矿化作用：本区矿脉中主要矿物为輝銅矿、硫砷銅矿、黄銅矿、砷黝銅矿、黝銅矿及銅藍，黄鉄矿、石英很多，閃鋅矿局部很多，方鉛矿少，錳錫矿、錫黝銅矿間見存在，菱錳矿、方解石、蔷薇輝石，重晶石和螢石也有，鋼块状和烟灰狀輝銅矿都有。

金屬及矿物：从中心帶向外，呈显著的帶狀分佈，在同一帶中的矿脉，具有同样的矿物，在一个長矿脉內可具有各帶的矿物。每一脉系的矿化作用，均从石英—黄鉄开始，到輝銅矿銅藍告終。平均含銅 3—4%，銀 1—3 兩/吨。

圍岩蝕变：在中心地帶最显著，很少見新鮮的花崗閃長岩，向外逐渐变弱。后成矿脉系統也比先成的矿脉系統，蝕变較弱。自矿脉向外蝕变递減之次第为絹云母化，高嶺石化，蒙脫石化，及新鮮石英二長岩。此种蝕变次第在所有各矿脉系統，均系如此，但不論矿脉的大小和年代，均由同样温度同样化学性質的含矿热液所造成。

氧化和富化：氧化帶深度，一般为 100 公尺，銅及大部分銀，多已移去，方鉛矿在原地，风化菱錳矿变为氧化錳矿，成为殘集矿床。以烟灰狀輝銅矿为特征的表生富化帶在有些地方深达 300 公尺，而更深坑道中所发見之鋼块狀輝銅矿，已經証明为深生 (原生) 矿物。表生銀矿見于边缘帶內。

成因：标特矿床为典型的热液充填矿脉，含矿热液的来源与侵入岩漿的活动有关。此种热液繼續供給經過三次断錯的时期。各矿脉系統中矿物沉淀的次第，統是先为石英及黄鉄

矿，次为含銅矿物，（最后为輝銅矿）不獨証明热液的性质相似，而且指出矿液通过圍岩裂隙时的发展变化，与圍岩的带状蚀变，有同样重要的意义。如果，中央部及中間部，可以称为中温矿床，則边缘部分，可以属于低温热液矿床。見同一矿脉，可以具有不同时热液类型。

我国安徽中部的廬江式銅矿，可能属于含銅矿石脉类型，詳后。

其次，我們不能不稍提一下热液輝銅矿脉型。

热液輝銅矿脉型矿床比較少見，但从金屬富集的程度言，这是一种非常有价值的工业类型。世界唯一著名的范例，是阿拉斯加的首涅考特（Kenecott）矿田。

首涅考特矿区位于北美西北端銅河流域，曾产銅 12 万万磅，和許多銀。矿石限于三叠紀灰岩系中的下白云岩层中；其下为厚达 1700 公尺受过变化的玄武岩，其上为深厚的頁岩。所有这些岩层，統以和緩的角度向西北傾斜，代表大背的一翼；而此背斜的軸部，被首涅考特冰川所浸蚀。

該区矿床可分四类：（i）寬厚的，傾斜陡峻的替換矿脉，走向与岩层正交；其底为灰岩的层面，下寬上窄，高达 70—170 公尺，長度比高度大九倍，好象一把刃向上的厚背刀子。（ii）板状，沿某岩层中裂隙所充填替換的扁平体。（iii）冰川矿，冻结在冰川内輝銅矿块，从崩南擦（Bpnanza）矿脉的露头，冲刷下来。（iv）滑坡矿，輝銅矿块存在于巨大的場壘堆积中。

矿石中金屬矿物有輝銅矿，銅藍，硫砷銅矿，斑銅矿，黃銅矿，块状硫砷銅矿，斑銅矿，黃銅矿，鉍黝銅矿，閃鋅矿和方鉛矿，黃鉄矿和石英很少，硫化物佔产量的 75% 以下，其中輝銅矿佔 92—97%，銅藍 2—5%，其他硫化物，总共不到 11%；含大量銀，而金完全沒有。数千吨数万吨大块輝銅矿在此地不算稀罕。最大輝銅矿块寬 28 長 50 深 134 公尺，平均含銅 60%。已采矿石的平均品位为 12.5%。現代表生富化可以說是不存在，但冰期前的氧化，可以深达露头下 840 公尺。氧化矿石包括孔雀石，褐鉄矿、銅藍、块銅礬、藍銅矿、胆礬，水胆礬、赤銅矿及銅的砷酸鹽类等。

一般認为此型系低温热液充填交代銅矿脉，他供給了世界最富的銅矿。

我国云南永北米里矿山之一部，可能与首涅考特同属于一个类型。

（五）岩漿分泌錳銅矿型和鈷銅矿型。

錳銅矿床，系致密状或浸染状硫化物矿体，整合于基性或超基性圍岩的假层理中，或产于穿过古基底岩石，而本身含矿杂岩的裂隙中。硫化物中，主要是磁黄鉄矿，其中除銅和錳外，常有鉍族金屬。中国山东桃科，辽宁清源、四川会理力馬河，甘肃小松山等。都有此型矿床，而世界著名的实例，則为加拿大东部的肖德伯里錳銅矿田，詳錳矿床的叙述中。

鈷銅矿床，在白云岩及砂岩内，成层状脉状及網脉状，矿体傾斜陡峻，成分較高，矿石矿物包括黃銅矿、斑銅矿及黃銅矿等，鈷在原生矿石中成硫鈷矿 Linnaeite；在次生矿石中，成氧化鈷产出，鈷的含量，有时可达 4—5%，并兼产鈾和油。非洲中部及加拿大东部，都有这种矿床，詳鈷矿床的叙述中，不贅。

（六）接触交代矽噁岩銅矿型（銅官山式）

此型銅矿，常发育在火成岩与灰岩的接触带内。矿石含有銅的硫化物的矽噁岩，其成分詳見下表。（16 頁上部）

上述各矿物的数量，沒有一定，因为矿石有浸染状与致密状两类，成分不一。

矿石構造特性，由遭受矿化作用的矽噁岩的特性来确定。綠帘石在矿化过程中不起变化，石榴石往往被綠泥石方解石和石英所代替，鈣鉄輝石被石英，纖維状角閃石及方解石所

矽噁岩型矿石的矿物成分表

矿物	金 属 矿 物		非 金 属 矿 物
	硫 化 物	氧 化 物	
主要的	黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、	磁铁矿、孔雀石、蓝铜矿、	石榴石、钙铁辉石、绿帘石、角闪石、绿泥石、石英、方解石、
次要的	砷铜矿、闪锌矿、方铅矿、铜蓝、	自然铜、赤铜矿、黑铜矿、矽孔雀石、	矽灰石

代替。因为硫化物颗粒较大，所以矽噁岩矿石结构，不影响技术加工。

按矿石品级，矽噁岩型矿石，可分为氧化石，混合矿石，致密硫化矿石，和浸染矿石等四级：

氧化物矿石，大部分为磁铁矿铁帽及铜矿物的氧化产物，不宜浮选。

致密矿硫化物矿石，含矽酸盐类矿物，应在 30% 以下，主要为磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿及铜，由于品位较高，适宜于直接熔炼。

浸染矿石中，矽酸盐含量，超过 38%，须经精选。

此型矿床可位于凝灰岩、玢岩、灰岩、凝灰质页岩相交错的岩系中，灰岩最重要。矿床主要产在灰岩与侵入岩的接触带内，而侵入岩主要是花岗岩、石英闪长岩，以及脉状斑岩和玢岩。

按照矿床形式，矽噁岩矿，可分为两种类型：

1. 缓接触矽噁岩型矿床，是受沉积岩，喷出岩层理所控制的绿帘石和石榴石矽噁岩矿层，主要属浸染式，只在有些地方，过渡为致密矿层。矿石以黄铜矿、磁黄铁矿为主，并过渡为磁铁矿磁黄铁矿，含结是此类矿床的特点。

2. 急接触矽噁岩型矿床，产于灰岩与侵入岩的接触带内的矽噁岩中。矿体形状复杂，有筒状，凸镜状，窝子状等，沿垂直方向发展。矿石主要成分是黄铜矿，黄铁矿。在剪裂带内的矿石，也很发达，向下延伸的浸染矿床，可深达 200 余公尺。

氧化带深度，取决于灰岩裂隙水循环的条件，一般赭色矿石，深达 20 公尺，有时可达 100 公尺。某些矿床，在氧化带下的上部，采出致密辉铜矿富矿，也有些矿床，次生富集辉铜矿的『烟灰』状矿石，直接从地面开始。

在苏联，属于矽噁岩型矿床的，有北乌拉尔的土尔耶 (Гурьинский) 矿山；高加索，民奴新斯 (Миусинский) 区的乌林 (Уленьские)，捷米尔 (Гемирские)，爱尔宾 (Ербинские) 和克达别克 (Кедабск) 等矿床。其中最大的土尔耶矿山各矿床，经最近证明，铜矿局限于粗粒花岗岩和碳酸盐类岩石的接触带，而是在接触交代阶段矽噁岩生成后的热液期形的，(中国的铜官山式铜矿，也有这种情况。) 这些矿的特点是储量少，构造复杂，向下延伸不大。

美国西南部矽噁岩型接触交代铜矿床，分佈很广，最著者为亚利桑那州之毕斯毕矿山。

毕斯毕矿山 (Bisbee, Arizona) 发见于 1877 年，此后逐渐发展，变为美国第三个主要产铜矿区，除了产生大量银、金、铅、锰外，已共产铜约 250 万吨。

该区地质，最下为寒武纪前滨那尔 (Pinal) 片岩，在其侵蚀面上，被复盖有 1,300—1,700 公尺的白垩纪沉积岩其底部为砾岩。白垩纪至第三纪初的石英二长岩至花岗二长岩岩片岩脉和岩盘穿插于此沉积岩系中。矿化作用与此火成岩系，有密切的关系。岩层褶皱很轻，微向