

〔苏联〕 Г. А. 克鲁托夫 著

钴 矿 床

中国工业出版社

56.57142

56.57/42
259

钻 矿 床

〔苏联〕Г. А. 克魯托夫 著

张予廉 周鐳庭 译 赵福宁 校

中 国 工 业 出 版 社

本书概括了关于钴矿床的現有一切資料，討論了钴矿床的矿物共生关系和地质情况，解释了钴的最主要的性状和钴在自然界中的成矿条件。在这个基础上，提出了可以指导钴矿床的普查与勘探的成因分类方案。

本书可作为野外地质人員的参考书，也可供地质院校的师生閱讀。全书由张予廉和周鍾庭翻譯，赵福宁审校。

Г. А. Крутов
МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КОБАЛЬТА
ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ Москва 1959

* * *
钴 矿 床

张予廉 周鍾庭 譯 赵福宁 校

*
地质部地质书刊編輯部編輯(北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $12^{1/4}$ ·字数255,000

1965年5月北京第一版·1965年5月北京第一次印刷

印数0001—1,890·定价(科五)1.40元

*
統一书号: 15165·3817(地质-316)

目 录

第一部分 总 論

1. 鈷的发现、采掘和应用簡史	1
2. 鈷矿床的研究状况	5
3. 鈷矿物及其一般特征和化学成分的特点	10
砷化物、硫化物以及它們的类似化合物	11
砷化物	18
硫砷化物	27
硫化物	31
銻化物和硫銻化物	40
碲化物和碲化物	41
砷化物、硫化物及其类似化合物成分上的特点	42
氧的化合物	45
氧化物和氢氧化物	45
砷酸盐	51
碳酸盐	56
硫酸盐	58
鉬酸盐	59
亚硒酸盐	59
硅酸盐	59
自然元素和碳化物	62
有机化合物	62
鈷矿物和含鈷矿物成分上的一般特点	63

第二部分 鈷矿床的地质环境和矿物共生

1. 砷化物和硫化物鈷矿床	67
砷鈷矿脉和砷鈷銻矿脉	67
矿床的地质环境	68
砷鈷矿脉的矿物共生組合	78
砷鈷銻矿脉的矿物共生組合	82
鈷矿物和含鈷矿物的总的共生系統	94
鈷的黝矿带	97
鈷黝矿带	98
切割黝矿带的碳酸盐脉	100
鈷矿物和含鈷矿物的共生組合	101
关于黝矿带及切割黝矿带的碳酸盐脉成因方面的概念	102

IV

含鈷矽卡岩	103
硫化物和砷化物矿化期	107
矽卡岩中的矿化顺序以及鈷矿物和含鈷矿物的共生系统	111
矽卡岩、鬃矿带及矿脉中的矿物共生组合和地质环境方面的特征	113
硫化物鈷銅矿脉和矿体	117
含銅黃鉄矿型矿床	117
比属刚果和北罗得西亚的矿床	123
鈷矿物的共生组合系统	127
含銅頁岩中的鈷鐳矿脉	127
含鈷的鉛鋅矿床	129
含有单独的鈷鐳矿物的鉛鋅矿床	129
含有分散状鈷矿体的鉛鋅矿床	132
鈷矿物和含鈷矿物的共生组合系统	132
含鈷硫化物銅鐳矿床	133
矿床地质情况和含鈷条件	133
基性和超基性岩石中其他类型的上升原成鈷矿化和鐳矿化	138
基性和超基性岩石上升原成产物中的鈷矿物共生组合	140
2. 超基性岩石风化而成的鈷矿床	140
硅酸盐鐳矿床	141
蛇紋岩中的风化壳矿床	141
蛇紋岩同碳酸盐类岩石的构造接触带中的矿床	145
产于蛇紋岩岩体附近的石英脉范围以内的淋滤型鈷矿床	146
沉积地层中的錳鈷矿石的矿床	147
鈷在同超基性岩石风化有关的产物中富集的一般特征	148

第三部分 鈷矿体的成因类型

1. 鈷矿物和含鈷矿物共生组合的综合性资料	152
2. 形成鈷矿体的地质环境	161
鈷矿床在区域分布方面的某些规律性	161
矿床的地方性特征和关于矿化来源的概念	168
3. 成因分类概述	173
4. 成因分类的实际应用	176
結束語	179
参考文献	182

第一部分 总 論

1. 鈷的发现、采掘和应用簡史

含鈷矿物和矿石的实际应用很早就已开始。远在古埃及和亚述-巴比伦时代，人們就用它来制造色彩鮮艳的蓝釉和玻璃。这种顏色的玻璃的制备方法，看来是偶然发现的，后来大概是失传了，因为在較晚的亚历山大人、羅馬人和拜占庭人生产的釉和玻璃中，沒有发现过鈷。在印度、中国和日本的产品中，也沒有发现鈷 (Gmelin, 1931)。

在中世紀威尼斯出产的蓝玻璃中，使用了一种名叫“賽弗拉”(саффра)或“賽弗洛尔”(саффлор)的鈷化合物作为染色剂。1540年，用史奈堡矿床的含鈷矿石制造了一种被鈷化合物染成鮮蓝色的玻璃，叫做“施馬尔塔”(шмальта)或“斯馬尔塔”(смальта)，它很快就传遍了西欧。这一发现强有力地促进了薩克森、波希米亚，以及后来的挪威和瑞典矿床的开采。

但是，这类染色化合物的性质依然长期未能了解。只是在1735年，瑞典化学家勃朗特(Брандт)才把鈷从其伴生元素中分离出来。他研究了金属鈷的某些性质，特别是鈷化物能使玻璃变成蓝色的性质。不过勃朗特当时获得的还不是純淨的鈷。勃朗特在发现了金属鈷以后仍然保存了“鈷”的名称(由科巴留斯[коболюс]山神的名字轉化而来)。

至十八世紀末，对于鈷的認識才比較全面，知道它是許多种化合物的一种元素成分，并且研究了它的一些最重要的性质。其中特别是研究了“隱显墨水”的性质(1781年)；描述了金属鈷的磁性(1792年)；确定了鈷蓝(“騰哪蓝”[тенаровая синь])的特性(1805年)。后来还研究了鈷元素的絡合能力，为研究三价鈷的胺化物奠定了絡合物理論的一系列重要原理。

在前四个世紀到二十世紀的二十年代这一段时期中，鈷的基本用途在于制造耐久、漂亮、色彩繽紛的矿物顏料。其中流传最广的有：鈷蓝、鈷天蓝、鈷佛青、鈷紫、鈷綠等，还有陶瓷生产中应用的塞佛拉(севрские)蓝色顏料和蓝施馬尔塔。

十九世紀末和二十世紀初，鈷的世界总需要量每年約为300—500吨，主要用来制造顏料，少量用于其他方面，例如化学工业、金属的鍍鈷以及鈷鉄生产。

第一次世界大战以后，由于鈷用于制造特种用途的合金和鋼，大大改变了金属鈷的工业消費結構。在1923年到1953年的30年中，鈷在陶瓷工业、染料工业及其它輕工业部門中的用量大大地降低了：降到30%，以后又降到10—15%。

近来，鈷大部分(約70—90%)用于制造各种合金，以及在合金生产中用作附加剂。在合金中有：用途广泛的鈷鉻型超硬合金(含鈷約50%)，含鎳和鉄的鈷合金(含鈷約

25%)，含鈷的碳化鎢（鈷占5—13%），鋁、鎳、鈷含量大致上相等的磁合金（鋁鎳鈷齊〔альнико〕），以及其他等等。在合金鋼中，最有價值的是含鈷量从百分之几到24%的高速切削鋼和磁性鋼。

含鈷的合金和合金鋼在許許多多工業部門中都有用途，例如：金屬加工工業（高速切削鋼，製造鈷頭及其他工具的硬質合金和超硬合金），采礦工業（鑲合金釐子、鈷頭）、電動機製造業和儀表製造業（摩擦部件的鈷鉻合金被覆層、耐熱鋼零件、不銹鋼被覆層、反射器的蓋層和拋光層），無線電工業和電氣工業（永久磁鐵）等。

除上述工業部門和陶瓷製造業外，近來在合成工業、石油工業和基本化學工業中，還廣泛應用鈷作催化劑。最近，鈷還得到了最新的用途：在醫學上利用人工放射性同位素 Co_{60} ，治療糖尿病，製造放射性青霉素和維生素 B_{12} ；在農業上用來改良土壤和牧場，作為動物的礦物質補充飼料（Виноградов, 1928; Ковальский, 1952; 等等）。

鈷的生產無論就金屬鈷的絕對開采量或各個國家的相對開采量而言，都有極大的變化。表1所列的數據是1893—1953年間各國的鈷產量。

十九世紀末以前，鈷的主要來源是薩克森的富礦山脈和波希米亞的礦床（史奈堡、阿納貝克、亞希莫夫等），其他還有德國、挪威、瑞典、法國以及西歐其他國家一系列較小的礦床。當時，德國的鈷產量在世界總產量中的比重不少於90%。

1893—1953年鈷的開采量(噸金屬)
(Gmelin, 1931—1932; More, 1938; Perrault, 1946年;
礦物年鑑〔Mineral Yearbook〕, 1940—1953, 等等)

表 1

國 別	1893	1903	1923	1933	1939	1943—1946 (年平均)	1947—1949 (年平均)	1950	1951	1952	1953
德國	(90)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
挪威和瑞典	(10)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
新喀里多尼亞	110	414	—	—	—	—	—	—	—	—	—
加拿大	—	82	403	212	332	45	414	265	432	645	796
澳大利亞	—	—	100	6	13	11	10	10	8	11	11
比屬剛果	—	—	—	618	1080	2222	4078	5148	5715	6831	8278
緬甸	—	—	—	117	229	—	—	—	—	—	—
北羅得西亞	—	—	—	118	1598	837	396	670	678	585	677
摩洛哥	—	—	—	40	680	190	263	420	680	1000	600
芬蘭	—	—	—	—	136	88	(40)	—	—	—	—
美國	—	—	—	—	—	352	292	299	343	379	805
意大利	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—
其他國家①	—	(4)	(17)	(89)	(232)	(320)	(237)	(388)	(444)	(549)	(833)
總 計	210	500	520	1200	4300	4075	5730	7200	8300	10 000	12 000

① 德國、挪威、瑞典、新喀里多尼亞（從1911年開始）、緬甸（從1942年開始）、芬蘭（從1948年開始）、日本、墨西哥、智利、南非、西班牙、巴西、玻利維亞、秘魯。括弧內為開采量的概算數字。

1880年發現了新喀里多尼亞礦床，其中有不少鈷土礦的富礦段。在1890年到大約1911年這段時間內，新喀里多尼亞礦床成為世界主要的鈷供應地。它的年產量達400—500噸金屬鈷，而當時西歐各礦床的總產量還沒有超過100噸。

1903年，在加拿大的安大略省发现了高品位的钴银矿石。这一新发现的矿床在钴产量方面很快就上升到主要地位，并且一直保持到二十世纪的二十年代。1903—1913年的十年中，该矿床的钴产量平均为每年470吨，1913—1923年为每年320吨。而当时新喀里多尼亚矿床的产量则下降至160吨，以后甚至下降到10吨，再往后几年实际上就失去价值了。

到了二十世纪二十年代，开始从比属刚果* 加丹加省的高品位钴铜矿石中提取钴。在1926—1928年间，总产量已经达到加拿大的水平（300—400吨），后来很快又超过了它。同时，在二十年代中，澳大利亚昆士兰地方的克朗克里区的矿床成为纯质富钴矿石的小规模供应地。最高产量为1923年的100吨，但是，后来很快就下降了。从1928年起缅甸的多金属矿床（巴乌得温-马因矿山[Бодвинн-Майн]）开始顺便生产钴，可是产量却相当高。

在三十年代中，钴产量普遍迅速增长，而中非的矿床稳居主要地位。从1933年开始，北罗得西亚** 的矿床同加丹加的矿床平起平坐，成为主要供应地之一。这两个地区在1939年总共生产了2678吨金属钴，占钴总产量的60%左右。1932年，摩洛哥也成为主要钴产地之一，摩洛哥矿床的特点是钴和金的品位都很高。这里的钴产量发展很快，在1938—1939年中就达到700吨左右。在同一时期，芬兰开始由欧托孔普铜矿床的含钴黄铁矿中提炼钴。这一矿床的规模很大，矿石中的含钴量又高，所以很快就达到每年开采约100吨金属钴的水平。从1939年开始，智利阿塔卡马省的一些新恢复的矿山也生产少量的钴。

在1923—1933年的十年中，钴产量增加一倍多，而1939年则达4300吨，同1923—1933年的平均产量（约860吨）相比，增加了4倍①。

第二次世界大战根本地改变了各个国家的钴生产状况。缅甸和摩洛哥矿山的钴产量锐减，同时，在北罗得西亚，由综合性钴铜矿石提炼出的钴产量也减少了。相反，比属刚果的产量不仅保持原有的水平，而且大大提高了，在1945年，达到了战时生产2800吨钴的最高水平。从1940年起，绝大部分产品都以钴合金的形式运往美国，而不再是运往比利时了；为了加工这些产品，美国改建了一些旧工厂，还新建了一些工厂。

此外，在许多国家中出现这样一种趋向，即开发小型的纯钴矿石类型的矿床，同时也开发含钴贫乏的其他金属矿石的矿床。特别是美国，它恢复了从宾夕法尼亚州康沃耳磁铁矿矿床的黄铁矿石中提炼钴，从密苏里州东南部含钴的铅锌矿石中以及从爱达荷州的工厂电解锌所得废料中提炼钴。战时，美国钴的年产量总计达到300—500吨。同时，在美国还进行了勘探工作和研究工作，准备利用爱达荷州布累克比尔特(Блекбирд)地区含钴的金铜矿石，以及其他许多地区钴品位低的综合矿石。在德国、意大利、挪威、瑞典、西班牙、玻利维亚、巴西、日本，以及其他许多国家，都曾经开采过一些小型的钴矿床，特别是含钴黄铁矿矿床。

因此，尽管许多国家（摩洛哥、缅甸）的产量剧烈下降，战时世界钴的总产量大致上仍然保持着1939年的水平。

除了1946年有所下降(降到3500吨以下)以外，战后钴生产的特征是显著而稳定地增

* 即现在的刚果（利奥波德维尔）。下同——中译本编者注。

** 已于1964年10月独立，改名赞比亚共和国。下同——中译本编者注。

① 钴产量的增长速度约比铜、铬、镍、锰高出1—2倍，而仅次于铝，当时铝的生产提高了7倍以上。

长，特别是1950年以后。根据矿物年鉴的资料（参看表1），1950—1953年间，每年产量的平均增长速度不低于20%，在这四年中，产量翻了一番。根据采矿杂志（Mining Journal）年鉴的初步资料，1954年、1955年和1956年产量的概算数字分别为1万3千吨、1万2千7百吨和1万4千5百吨，可见产量的变动不大，但是从总的方面看，钴的产量还是一直上升的。

总而言之，由于钴的消费性质起了根本的变化，金属钴的产量便急剧增长，同1923年相比，增加到30倍，战后十年（1946—1956年）又增加了3倍左右。

到目前为止，在金属钴的产量方面，比属刚果的矿床依然占据主导地位，提供着世界总产量的70%左右。其次是位于同一非洲大陆的北罗得西亚和摩洛哥。于是，非洲大陆就供应了80—85%的钴。加拿大和美国占12—13%，其他资本主义国家约占5—6%。

根据现有资料（Mineral Yearbook），美国工业上消费的钴每年为2—4千吨之间。其他资本主义国家总共也大约消费这么多钴。算了这笔账以后，就知道有一部分钴是作为战略后备物资被贮存起来。在这方面，首先是美国，它从非洲和加拿大大量地进口钴。

钴的储量。国外的钴储量只可能作一个概略的估计，因为刊物上公布的数字往往残缺不全，有时并且互相矛盾。根据这些资料，钴的总储量估计约为90—100万吨，同时矿石中的钴含量相差悬殊，从万分之几到2—3%以上。总储量可分为几类：（1）金属钴含量不低于4—5%的较富矿石，储量达20万吨，这种矿石可在开采时进行分选或通过精选制取精矿（比属刚果、北罗得西亚和摩洛哥的矿床，加拿大、美国、墨西哥、缅甸、澳大利亚、智利等国的一部分小型矿床）；（2）非富矿石，储量约为50万吨，可从中选取钴含量为0.5—1.5%的精矿（比属刚果和北罗得西亚的一部分矿床，芬兰、美国等国的矿床）；（3）只能在综合冶炼加工过程中提炼出钴的矿石，储量约为20万吨（加拿大、新喀里多尼亚、巴西，等等）。

在最后一类型中，还应列入古巴的硅酸盐镍矿石中的巨大钴储量（参看 Mining Journal, Annual review, 1953 和 1955）。钴含量为0.07—0.10%，金属钴储量估计约为100—130万吨。这样，迄今已知的世界总储量就应增加一倍多。

在苏联，钴工业象其他许多稀有金属工业部门一样，是在第一和第二个五年计划期间建立起来的。

沙皇时代，在俄国的整个疆土内，只发现过一个钴矿化点，它位于南高加索的达什克散。在那里，私营企业主曾用原始的方法开采过极少量的砷钴富矿石。从1884年到1915年，总共获得约700吨分选过的块状精矿，钴含量为10—18%。精矿被送到德国加工。沙皇俄国对钴的少量需要（主要用作钴染料）全靠进口解决。

三十年代初，曾进行了有计划的研究工作，以查明首要的工业开发对象，同时拟定由国产矿石提取钴的工艺过程。在这些研究工作中，全苏矿物原料研究所起着主导作用，它所进行的研究工作是综合性的。地质勘探机构和工业部门的研究所也积极协助解决了个别问题。

研究的方向是全面性的，它既研究具有明显优越性的纯钴矿石的矿床，也研究成分比较复杂的综合性含钴矿石（含镍、铁、铜和其他金属）的矿床。在后一种情况下，为了在

提取主要金属时順便获得鈷，需要作一些專門的研究，以便制訂出技术上可能、經濟上又合算的方案。

在短时期內，就詳細調查了达什克散矿床和其他許多地区的砷鈷矿点，接着又詳細調查了含鈷的硅酸盐鎳矿床、含鈷的硫化銅鎳矿床、含鈷的磁鉄矿床、銅矿床和多金属矿床。根据所得資料，在建立大型矿山冶金联合企业时，設立了專門的設備和車間，以加工各种类型的矿石、精矿和冶炼加工所得的含鈷产品。

战后时期，鈷的生产迅速发展，这一方面是由于改进了加工綜合原料的工艺过程，另一方面是由于开发了新发现和新探明的純鈷矿石的矿床。

尽管如此，繼續扩大鈷原料产地，以便更充分地滿足日益增长的国民經济的需要，依然是科学研究机构和地质勘探机构的最重要任务之一。

2. 鈷矿床的研究状况

十九世紀末以前，西欧实际利用的几乎完全是鈷的砷化合物矿石（包括一部分氧化物矿石），所以当时的主要注意力也集中在这类最著名的矿体上。在描述各种类型的含鈷砷化合物矿床方面，德国人写了很多著作，挪威人和瑞典人也有过一些論著。当时还发表了关于意大利、西班牙、德兰士瓦、智利、印度、苏格兰、高加索矿床的較詳細的資料，二十世紀最初，还报导了加拿大安大略省发现的大型矿床。

但是，在原生和氧化砷鈷矿石及砷鈷鎳矿石的矿物成分和共生組合方面，即使多少談得上一点系統性的資料，当时也是沒有的。在矿物名目中存在大量的同义詞，对許多未提純的混合物給予了特殊的地方称呼，而定名又沒有充足的理由。

由于矿床的成分和矿物共生关系十分复杂，光怪陆离，所以沒有把它們划分为亚型或变种。二十世紀初，在关于金属矿床的大部分綜合性著作和手册中(Stelzner u. Bergeat, 1904—1906; Beck, 1909; Beyschlag, Krusch, Vogt, 1913—1921; 等等)，砷鈷矿床統称为“貴重的銀鈷鎳建造”、“Ag-Co-Ni-Bi-U 建造”等等，可是一部分矿床不仅不含銀、鉍或鈹，甚至还不含鎳。只是在个别場合中，才分出石英鈷矿脉和碳酸盐鈷鎳矿脉；在研究其他类型的矿床时，曾附帶对某些銅矿床和鉛鋅矿床黝矿带的含鈷性作了一般性的报导。此外，在一部分手册中（例如 Stelzner und Bergeat），曾認為鈷含于各种矽卡岩矿床和銅电气石矿脉中是一种規律性。

其他类型的矿床，其中包括硅酸盐鎳矿床和硫化銅鎳矿床的含鈷程度研究得更不完全。例如，几乎是同时发现的上述矿床两个最重要的代表——新喀里多尼亚和加拿大薩德貝里地区的矿床就是这样。值得特別提出的是福特写的两篇論著(J. Vogt, 1893, 1923)，他十分詳細地研究了鎳在基性岩中的富集条件，并且順便地闡明了鈷的性狀問題。

因此，在二十世紀初，关于鈷矿床的分类只能作出很籠統的結論和指出鈷的一些最重要的天然富集类型。

鉴于上述情况，德·洛奈完成的一项著作(L. de Launay, 1913)是很有价值的，他

利用了当时已积累起来的全部实际资料，对钴矿床进行了分类。为了便于同以后的分类法进行比较，这里简单地介绍一下洛奈分类法的内容以及划分大类和亚类的基本原则(表2)。

洛奈的钴矿床分类法 (1913)

表 2

矿 床 类 型	实 例
A. 基性岩中的钴矿体 (风化时在地表形成钴土矿)	新喀里多尼亚橄欖岩, 迪伦布克橄欖岩
B. 基性岩中的含镍磁黄铁矿床	加拿大, 挪威, 瑞典
C. 矿脉:	
1. 含镍、钴, 有时还含铜的碳酸盐脉 (菱铁矿、方解石、菱铁矿)	多勃申纳, 沙兰什, 希拉特明, 瓦耳德安尼维耶尔, 济根, 克鲁维诺, 卡夫雷腊, 绍林吉亚, 曼斯费耳特, 日斯登, 哥齐克, 杰波尔
2. 含多量铜、少量镍和铋的方解石钴银矿脉	科博耳特 (安大略), 瓜达耳卡纳耳
3. 含钴、铜, 有时含铋、银、锡和少量镍 (有时不含镍) 的石英矿脉	斯库特鲁特和斯纳隆, 尼科宾格-佛斯特维克, 克维尔巴赫和吉伦, 达什克散, 巴耳莫拉耳, 圣胡安
4. 含钴、银、铋、钼和少量镍的石英矿脉	史奈堡, 圣玛丽奥明和其他
5. 含钴和金的石英矿脉	拉特瑟德里弗特和克鲁依斯里维尔 (德兰士瓦)
D. 由岩石和矿脉地表蚀变而形成的钴富集	新喀里多尼亚, 智利, 弗林特郡

从表2可以看出, 所有已知的钴矿床区分为四个大类(A、B、C和D)。

在各个大类中, 矿脉类最引人注目。在这里, 一些与镍不同而为钴所特有的性质, 特别充分地表现在酸性岩中常见的矿物共生组合中 (铋、钼、银, 少数情况下有金; 石英、电气石, 等等), 并且有明显的独自构成矿物组的趋向。因此, 所有五种含钴金属矿脉的顺序是按照下列原则排列的: (1) 钴镍比值的高低; (2) 矿物组中伴生金属元素的变化情况; (3) 碳酸盐脉状充填转变为石英质脉状充填的情况; (4) 根据一般规律, 即矿体生于基性岩中的或然率的高低。

整个地说来, 这个分类法的逻辑性是较强的, 是直接建筑在对实际资料分析的基础上的。洛奈分类法中最有意义的是将金属矿脉系统化了, 这是当时企图了解矿脉成分和矿化的可能来源之间存在着复杂关系的第一次尝试。

但是, 下列几个问题仍然是没有弄清楚的悬案: (1) 矿物成分和金属矿脉共生的特点。这些特点对于确定它们之间的相互关系、它们同围岩之间的关系, 以及对于确定矿脉形成的温度条件都是很重要的; (2) 某些类型的矿体在分类表中的位置, 如含钴的含铜黄铁矿型矿床和铅锌矿床、含钴的砂卡岩, 等等; (3) 关于生成在基性岩或酸性岩中的矿脉之间存在着逐渐过渡现象的假说。

此外, A、B、和 D 三大类在这一从总体方面来看算是很严整的分类法中叙述得还不够, 或者十分粗略。

在本世纪二十年代, 特别是三十年代中, 由于钴和其他稀有金属在当代技术上有着巨大的价值, 人们对于钴的兴趣于是大增。当时, 发现了许多新矿床, 其中有早先并不知道的类型。首先必须指出的是: 位于比属刚果的特大型钴铜矿床, 这里有很厚的硫化矿石氧化带; 在原生矿石成分上同比属刚果矿床相近的北罗得西亚矿床; 摩洛哥的大型砷钴镍矿床; 缅甸巴乌得温多金属矿床中的单独的钴镍矿石; 最后, 还有澳大利亚东部、智利、玻利维亚、秘鲁以及其他国家的小型富钴矿床。

在詳細研究新发现矿床的同时，对老矿床也进行了专门的研究，但所用的方法已是现代化的矿相学方法和伦琴射线照相法，这些方法对于校正矿石的矿物成分和矿物共生关系起到了很大的作用。这里应该指出的是，比利时的地质学家和矿物学家在中非矿床的工作，法国地质学家和矿物学家在摩洛哥矿床的工作，德国地质学家和矿物学家在西富矿山脉矿床的工作，以及加拿大地质学家和矿物学家在安大略省科博耳特地区矿床的工作。对美国、墨西哥、德兰士瓦、意大利、阿尔卑斯山脉等地的小型矿床的地质条件和矿物成分也有了比较详细的了解。

三十年代末，各种高温矿床，尤其是含铜黄铁矿型矿床和带有含钴黄铁矿的矽卡岩矿床，获得了特殊意义。这类矿床中最早开采的是芬兰欧托孔普地区的含铜黄铁矿型矿床，稍后是宾夕法尼亚州康沃耳矿床的磁铁矿矽卡岩。详细研究大型的、但含钴较少的综合矿床的趋向，在战时和战后的年代中一直继续着。

通过多年的研究，获得了大量关于各个矿床的成分和特性的确切资料。下面将利用它们来叙述钴矿体的矿物成分和类型。

由貝特爾 (Beutell, 1916) 以及近来由霍耳姆斯 (Holmes, 1947) 完成的、用于法合成砷化物的实验研究结果，也很有价值。

但是，在这一整段时期中，国外文献中关于钴矿床研究的总结和综合性报导是少得可怜的。在当时所有的文献中，具有某种原则性意义的不过只有：(1) 巴斯汀 (Bastin, 1939) 关于镍钴银类型矿床的成因和成分方面的综合资料；(2) 尼格里 (Niggli, 1925, 1941) 和史奈德洪 (Schneiderhöhn, 1932, 1941) 的分类方案。

巴斯汀引证了镍钴银类型矿床的矿物成分和地质条件方面的详细资料，企图解决关于安大略省科博耳特地区的矿化来源这一争论不休的问题。他所研究过的全部矿床，实质上都属于洛奈分类中的“矿脉”类，或属于德国科学家的 Ag-Co-Ni-Bi-U 型。巴斯汀比较了所有已知矿床的资料，从 1907 年开始，他又在加拿大作了实地调查。在这个基础上，巴斯汀强调指出：(1) 同直接生在基性岩和超基性岩中的矿床相比，他所研究过的矿床有较高的钴镍比值；(2) 广泛分布着砷，含有为酸性岩浆所特有而同基性岩浆没有多少关系的元素，如铋和铀；(3) 常可观察到一些与酸性侵入体有关的金属矿脉所特有的非金属矿物，如石英、电气石、角闪石、长石，等等；(4) 在一系列矿床中，金属矿物的树枝状结构和同心结构很普遍，甚至占优势；(5) 根据地质条件，加拿大的银钴镍矿化只可能同花岗岩类成分的岩浆有关。

于是，根据同洛奈的假说相近似的原理，巴斯汀得出如下的结论：镍钴银矿化（以及贫银，但在其他方面与之相似的矿化）非常可能（甚至只可能）同酸性或中性成分的侵入岩有关。

巴斯汀关于矿化来源的结论要比洛奈的确切些，但关于亚类的划分以及矿床合理分类的问题，巴斯汀根本没有提出来解决。

在尼格里 1925 年的文章中 (俄译文, 1933)，把 Ag-Co-Ni-Bi-U 建造看成是金属矿建造中十分特殊的一个建造，并且不属于深成岩浆期后过程的正常演变。根据他的推测，它接近远成低温型的火山矿床，可能与深处未分异的基性岩浆残余溶液的侵入有关。这一观

点同凱耳 (Keil, 1931, 1932)、舒馬赫爾 (Schumacher, 1933)、史奈德洪 (Schneiderhöhn, 1941) 和巴斯汀 (Bastin, 1939) 的材料相矛盾。他們都強調指出, 在西富山脉銀鈷鎳金屬礦脈和其余类型的礦床之間有明显的过渡帶, 而在科博耳特矿区則觀察到了酸性侵入体以及晚于它的礦化都有着猛烈活动的标志。在这方面, 托伊舍尔 (Teuscher, 1936) 提出的假說有很大意义。他認為, 由于基性岩被花崗岩漿所同化, 鈷和鎳以“异常”状态同酸性岩漿特有的元素鉍、鈾、钍等伴存, 并且在以后的岩漿分异和岩漿期后分异过程中逐渐富集起来。

尼格里在 1925 年的那篇文章中指出了下列三种类型的岩漿派生鈷礦床:

- (1) 产于基性岩正岩漿期的硫化物中;
- (2) 气成时期电气石石英脈中分离出的輝鈷矿, 以及矽卡岩型重金属礦床中的輝鈷矿;
- (3) 热液砷鈷鎳礦床組, 有时带有銀、鈾和鉍。

稍晚, 在 1941 年, 尼格里根据自己編制的对比表格, 发表了新的分类方案, 他用下列因素来表示最后一組礦床的基本特征: (1) 主要成矿时期的温度范围, 如低温、中温和局部高温; (2) 溶液的分离地点, 如深成型; (3) 成矿的物理化学体系原始形成过程的温度, 从热液期开始到气成期为止; (4) 矿物质沉淀地点: 根据离地表的距离, 如浅成的; 根据离母岩漿体的距离, 如隐岩漿体类、岩漿緣类。

从以上所列可知, 这組礦床的地质情况和成矿物理化学条件的所有特征, 都带有极为普遍的性质 (这里暂时不对分类表本身进行实质上的评价), 明明白白地需要将本质上互不相同的各种礦化类型划分开来。

史奈德洪 (Schneiderhöhn, 1932, 1941) 也提出了一个岩漿成因礦床的分类表, 他所划分的鈷矿体类型同尼格里的相似, 同德国学者一般的分类法大体上没有多大区别。鈷除了富集在苏长岩和輝长岩的硫化物中 (岩漿熔离礦床組) 以外, 在气成礦床組中还提到了挪威莫杜馬和智利圣胡安的“含电气石鈷礦脈”, 以及南高加索达什克散的“接触气成鈷礦床” (Кругов и др., 1935)。按照脉状充填物的成分和矿石中所含金属的种类, Co-

鈷鎳鉍銀鈾建造的礦床分类表 (根据史奈德洪, 1941)

表 3

矿 床 类 型	实 例
1. 方解石銀礦脈	安德雷阿斯堡 (哈次), 康斯堡 (挪威), 黑林山 (西德), 馬尔基尔赫 (南亚尔薩斯), 等等
2. 碳酸盐銀鈷鎳礦脈	科博耳特 (安大略)
3. 方解石銀鈷鎳鈾鉍礦脈	施密德堡 (巨人山), 下拉姆什塔特 (奥登华耳特), 巴托皮拉斯 (墨西哥契瓦瓦州), 巴拉特斯峯 (新墨西哥)
4. 螢石重晶石鈷鎳鉍銀礦脈和銅鉍礦脈	維齐亨 (黑林山)
5. 重晶石銀鈷鉍礦脈和石英鈷鉍鈾礦脈	薩宾納耳 (墨西哥), 馬里恩貝克, 阿納貝克, 亞希莫夫, 約翰格奥尔根施塔特和史奈堡 (西富山脉)
6. 碳酸盐石英鈷鎳銅礦脈	集格爾兰特 (維斯特法利亚), 多勃申納 (捷克斯洛伐克), 希拉特明 (阿尔卑斯山脉), 布阿泽尔 (摩洛哥), 等等
7. 重晶石鈷礦脈	里赫耳斯多尔夫, 比貝尔以及其他礦床
8. 鈾銀礦床	埃耳德腊多, 康塔卡特, 等等 (加拿大大熊湖)
9. 鈾礦床	欣科洛布韦—卡佐洛 (加丹加)

Ni-Bi-Ag-U 建造的热液矿床分为九个类型，但毫无疑问，同洛奈的分类法比较起来，这种划分方法的逻辑性和可靠性都差一些，因为分类时所采用的任一标志在以后都没有坚持应用（表3）。

上列资料证明，国外对于钴矿床的研究还处于初步总结阶段，并且纯粹是以地质和矿物成分的外部特征为根据。特别是矿物共生以及与之相应的一定的物理化学环境和地质环境研究得更少。因此，尽管早先已经发现很多、而后来又发现很多不但有实际价值，而且对于了解钴的特性有其巨大理论意义的矿化类型，却没有一个合理的分类方法。

苏联在三十年代末进行了钴原料基地的勘探和开发工作。迫切要求最快地解决的实际任务，促进了方向明确的科学研究工作，其中包括评价含钴矿床等重要问题。由于科研工作的进行，保证了在解决所有这些问题方面有了一个正确的方向。前面曾经谈到，在研究钴矿床以及在这种矿床中筹建专门企业的同时，还千方百计地在开采镍和铜的企业中順便提炼钴。

所有这一切为积累大量珍贵的资料创造了良好的条件，使我们有可能解释各种类型的钴矿床和呈矿现象。

在三十年代，从最著名的**砷钴矿床**和**砷钴镍矿床**开始进行了系统的研究工作，研究得最详细的是南高加索的达什克散矿区。这些研究工作为随后在其他地区研究砷钴矿床和硫化物钴矿床积累了必要的经验。

脉状类型的矿体曾在不同特点的各种矿床中作过研究，其中包括在铁钴砷硫化物共生关系方面类似于达什克散的矿床，一直到含有钴镍矿物和镍矿物的矿床为止。

属于前一类的是有**馬加丹州**的**謝伊姆昌矿床组**，以及**南烏拉尔**产于蛇纹岩中的**依什基宁諾矿床**。

属于后一类的有为数较多的**砷钴镍矿脉类**，它们是许多小型的，但在成因上很有意义的矿床，其中包括沿云斜煌岩岩墙接触带富集着輝砷镍矿的**南哈萨克斯坦**的**齐姆巴斯塔烏矿床**，同切割含金石英脉的基性岩墙有关的**別里庫耳矿床**，**西薩彥岭**的**阿科耳**含有自然银的**镍矿床**，**土瓦自治州**含有輝砷镍矿以及含钴黝铜矿石的**烏祖諾依矿床**和**齐尔加克矿床**等。属于这一类的还有**土瓦自治州**的一个**砷钴镍矿床**，即**霍烏阿克塞矿床**，它在砷化物钴镍矿脉同矽卡岩围岩的相互关系方面，在偏胶状砷化物的沉积条件以及各种氧化带的发育等方面，都具有特殊意义。

在超基性岩的**砷钴镍矿化地段**中，镍含量常显著超过钴。在这类矿床中，已初步探明的有**北高加索**的**拉宾斯克矿床**以及**南烏拉尔**的**左洛托哥尔斯克（卡腊巴什）矿床**。

矽卡岩中的砷钴矿体。除达什克散矿床外，还在下列矿床中对矽卡岩中的砷钴矿体进行过研究：**北烏拉尔**的**波克罗夫斯克矿床**，**东卡拉馬查尔**的**图兰格雷-薩依斯克矿床**，**东巴尔喀什地区**的**薩亚克矿床**，**阿賴山脉**的**阿克治尔京矿床**，**紹里亚山区**的**奧德拉巴什矿床**以及**哥尔內阿尔泰**的**卡拉肯矿床（“查加特卡”矿床）**。对这些矿床的研究表明：**磁铁矿矽卡岩**中以**輝钴矿矿化**为主，除此以外，**铁钴砷化物**和**钴砷化物的析出**，虽然比较少见，但仍是热液作用高温阶段的较重要特征（例如，**阿克治尔京矿床**的**斜方砷钴矿**和**方钴矿**，**卡拉肯矿床**的**斜方砷钴矿**等）。

对磁鉄矿砂卡岩含鈷程度进行的研究，得到了与达什克散矿床相同的結論，这就是必須特別注意混入到黃鉄矿中去的鈷，这种鈷混入物是恒存的，不过含量的变化很大。

在烏拉尔的維索科哥尔斯克矿床、哥罗布拉哥达特矿床、馬格尼托哥尔斯克矿床，在紹里亞山区和西薩彥的捷米尔套矿床、科丘林矿床、舍列格舍夫矿床、捷依斯克矿床和阿巴坎矿床，以及其他地区，都进行了比較詳細的研究，并且确定了鈷和硫的对比关系。

含銅黃鉄矿型矿床。含銅黃鉄矿型矿床（主要是烏拉尔的）中进行的研究工作表明，有实际价值的鈷富集只是存在于分布着超基性岩的較高溫矿床或“强变质”矿床中。

除了上述类型的矿床以外，某些金、錫、鎢、鋁、鉛、鋅矿床中也含有鈷。

在研究外貝加尔地区和庫茲涅次克山区的金矿床时，曾在低温热液黃鉄矿中发现低品位的鈷。只是在烏拉尔別烈左夫矿床的黃鉄矿中发现过較高品位的鈷，这可能与矿体周围广泛分布着超基性岩石有关。

鎢矿床和鋁矿床的黃鉄矿中实际上完全沒有鈷，这是一个明显的特点，它表明在酸性岩和超酸性岩矿床中，如果混入了这一元素，那只是由外部来的（只有少数例外）。

在各种不同成因的鉛鋅矿床中，也有少量的鈷，例如，在帖提尤賀矿床的毒砂中，在皮特基亞兰塔矿床的鉄质閃鋅矿和黃鉄矿中，在吉尔吉斯的貝尔庫特矿床的含鈷毒砂（鈷毒砂）中。在薩当、納哥耳內山、薩拉伊尔、阿耳滕托普坎等矿床的閃鋅矿以及薩拉伊尔、魯德內阿尔泰等矿床的黝銅矿中，也都发现有少量的鈷杂质。此外，在北高加索超基性岩附近的鉛鋅矿床中，发现有单独的鈷鎳矿物，这在理論上是很有意义的。

一般說来，过去所做的工作已提供了足够的資料，可以用来解释不同特性的热液矿床中的鈷的性狀。

在研究热液矿床的同时，对直接同超基性岩和基性岩有关的鎳矿床（风化壳中的硅酸鎳矿床，原生超基性岩和基性岩中的硫化銅鎳矿床）的含鈷性，也进行了大規模的研究工作。

完成了这些工作以后，便詳細了解了超基性岩发生风化的地质条件和地球化学条件，同时也大体上了解了鈷富集的原因，說明了为什么鈷常同鎳在一起，而偶尔也呈孤独的状态，但却总是出現在成分不稳定的錳的氢氧化物中。

对科拉半島和諾里耳斯克地区的硫化銅鎳矿石的含鈷性进行了研究。定量评价鈷品位的方法与评价磁鉄矿砂卡岩的方法相同，都广泛地利用了鈷鎳的对比关系，因而可以最少地采取矿石样品。

由于有計劃地拟訂和完成了科学研究工作，所以解决了許多相当复杂的实际問題，并且累积了大量关于形形色色的鈷矿床的丰富多采的实际資料。

3. 鈷矿物及其一般特征和化学成分的特点

目前，已經知道有 100 多种鈷矿物和含鈷矿物。但是，其中有一半左右沒有多大价值。这些要不是只分布在个别地方的稀有的天然化合物，就是研究得很不够，甚至还有疑

間的礦物。此外，文獻中記載的鈷礦物和含鈷礦物有一部分是一眼就可以看穿的機械混合物，沒有足夠的理由特別給它們取一個名字。

採用現代化的研究方法，已經逐漸改變了這種混亂景象，確定了實際上的確存在的礦物種和亞種。雖然如此，有很多地方仍然是不清楚的，還需要積累關於各種礦物成分、性質以及產出形式的新資料。

表 4 中列出了各種鈷礦物，並且分為：(1)鈷礦物，其中鈷是主要組份之一；(2)其他元素系列的含鈷礦物，通常都含有雜質鈷，但是含量變化很大。

表 4 第一欄中的第一大类就是鈷礦物，共包括 25 種，其中 10 種是很少見的，只在個別地點有所發現。排列的順序依鈷礦物在自然界中分布的多寡為轉移。為了便於比較，同第一大类按同樣順序並列於豎欄中的還有三類，它們是性質上相近的含鈷的鎳礦物和鐵礦物，以及其他元素（鋅、銅、錳、鈣、鎂和其他某些元素）的含鈷礦物。

如果對表 4 作一番全面研究，就可以看出，鈷、鎳和鐵的天然化合物在分布情況和一般特性上有重大的差別。在這三種元素中，鈷的克拉克值最小，這首先表現為鈷的分散程度較高；根據鈷礦物的數目有限，而鈷礦物的種類又比含鈷礦物的種類少，就可以看出這個問題。同性質上與鈷相似的鎳比較，鈷有一個特點，這就是鈷沒有單獨的銻化合物和矽酸鹽化合物。此外，鈷還有一些特異的性質，這表現為鈷有形成富含砷的礦物的傾向，還表現為相當廣泛地分布着三價鈷的氫氧化物和以氫氧化錳為主的成分複雜的礦物群。

下面將按照表 4 所列位置的次序來說明各種鈷礦物的性質，並且將特別注意交代單個礦物或礦物組的組份中三種元素之間的相互關係。

砷化物、硫化物以及它們的類似化合物

屬於這一類型的有分布最廣泛的鈷礦物以及含鈷的鎳礦物和鐵礦物，它們構成最重要的上升原成鈷礦石。

這一類型的鈷礦物有 15 種，占鈷礦物總數的一半以上，其中以 RA_s 和 RA_sS 型的砷化物和硫砷化物（ RA_sS ）居多數。 $R^{2+}R_2^{3+}S_4$ 型的鈷硫化物分布較少，只在個別情況下遇見過鈷的一砷化物（莫鈷砷礦）、一硫化物（六方硫鈷礦）、黃鐵礦類的二硫化物（卡硫鈷礦）、Co-鎳黃鐵礦以及極其少見的鈷的硒化物。與鎳和鐵不同，沒有鈷同銻、鉍、碲的天然化合物，這也是一個很大的特點。

含鈷的鎳礦物數目較多，有很多類型，其中包括同銻、鉍、硒和碲構成的化合物。但是，其中大部分分布不廣泛。在 25 種礦物中，對許多礦床來說，比較有價值的含鈷礦物僅有砷鎳礦、輝砷鎳礦、鎳黃鐵礦，其次是斜方砷鎳礦、紅鎳礦和方硫鎳鈷礦。

在鐵礦物中，最有價值的是含鈷黃鐵礦，它主要大量富集在磁鐵礦砂卡岩的高溫礦床以及某些含銅黃鐵礦型礦床中。含鈷毒砂和斜方砷鐵礦的價值較小。

在其他元素的硫化物中，有意義的還有含鈷閃鋅礦（含鈷量通常不超過萬分之幾），以及分布較少的含鈷黝銅礦類。

在敘述砷化物、硫化物以及同它們類似的化合物時，最好將它們大致上劃分為下列幾類：(1)砷化物；(2)硫砷化物；(3)硫化物；(4)銻化物和硫銻化物；(5)硒化物和碲

表 4

钴 的 矿 物

钴 矿 物	Co 含量 (重量百分比)	含 钴 矿 物				其他元素的含钴矿物	Co 含量 (重量百分比)
		含 钴 的 镍 矿 物	Co 含量 (重量百分比)	含 钴 的 铁 矿 物	Co 含量 (重量百分比)		
砷 化 物							
砷化物、硫化物以及它们的类似化合物							
方钴矿 CoAs_3 等轴晶系	16—20	砷镍矿 $(\text{Ni}, \text{Co})\text{As}_{3-2}$ 等轴晶系	痕量—15				
砷钴矿 $(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_{3-2}$ 等轴晶系	15—21	斜方砷镍矿 NiAs_2 斜方晶系	痕量—4	斜方砷铁矿 FeAs_2 斜方晶系	痕量—6		
斜方砷钴矿 $(\text{Co}, \text{Fe})\text{As}_2$ 斜方晶系	9—23	副斜方砷镍矿斜方晶系	0.4—2				
莫氏钴矿 CoAs 斜方晶系	理论值达44	红镍矿 NiAs 六方晶系	达2				
		假红镍矿 Ni_3As_2 正方晶系	0.2—2				
		白砷镍矿 Ni_3As 等轴晶系	1.29				
硫 化 物							
辉钴矿 CoAsS 等轴晶系	29—34	辉砷镍矿 NiAsS 等轴晶系	痕量—14	钴毒砂 $(\text{Fe}, \text{Co})\text{AsS}$ 单斜晶系	3—10		
铁硫砷钴矿 $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$ 斜方晶系	15—20			毒砂 FeAsS 单斜晶系	达3		
硫 化 物							
卡硫钴矿 CoS_2 等轴晶系	约40	方辉镍矿 NiS_2 等轴晶系	达3	黄铁矿 FeS_2 等轴晶系	达3		
		辉铁镍矿 $(\text{Ni}, \text{Fe})\text{S}_2$ 等轴晶系	达10.5	白铁矿 FeS_2 斜方晶系	达0.35		
硫钴矿 CoCo_2S_4 等轴晶系	36—53	方硫镍钴矿 CoNi_2S_4 等轴晶系	约20				
硫铜钴矿 $\text{Cu}(\text{Co}, \text{Ni})_2\text{S}_4$ 等轴晶系	27—42	粒辉镍矿 NiNi_2S_4 等轴晶系	痕量—4				