

东天山香山铜镍硫化物矿床 矿石矿物特征及成矿意义

孙 燕 肖渊甫 冯 伟 熊发挥 赵志强

(成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要:著名的东天山黄山—镜儿泉铜镍成矿带中有许多成因相似的铜镍矿床,本文在野外调查和镜下鉴定的基础上通过电子探针成分测试,对香山铜镍矿床矿石矿物成分做了详细研究,将矿石矿物划分为 Fe-S 系列、Fe-Cu-S 系列、Fe-Co-Ni-S 系列、Fe-Co-Ni-As 系列、Fe-Co-Ni-As-S 系列和砷化物。根据矿物共生组合特征,将成矿过程划分为岩浆熔离成矿期、岩浆热液成矿期和表生风化期;通过矿物成分晶体化学式计算,阐述了矿物的赋存状态和成因。香山岩体锆石 U-Pb 年龄(285 ± 1.2)Ma^①,镍黄铁矿 Re-Os 等时线年龄(298 ± 7.1)Ma^②,成岩、成矿年龄具有一致性。

关键词:东天山;香山;铜镍硫化物矿床;矿石矿物;赋存状态;成矿作用

中图分类号: P618.41; P618.63 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)04-0871-07

著名的新疆东天山铜镍成矿带中,分布大量规模不等的铜镍硫化物矿床,矿床与沿康古尔塔格断裂带分布的一系列基性-超基性岩小岩体伴生,构成著名的黄山—镜儿泉铜镍成矿带,从西到东有:土墩、二红洼、香山、黄山、黄山南、黄山东,以及镜儿泉地区的图拉尔根、红石岗、黑石梁、葫芦东、串珠、马碛等多个含矿岩体(图 1)。通过长期大量工作投入现已查明黄山东、黄山为大型矿床,香山、土墩为中型矿床,黄山南、二红洼等为小型矿床,其他岩体均有不同程度的铜镍矿化^[1-2]。近年地质大调查中在该区东部和南部又发现了图拉尔根^[3]和白石泉铜镍矿床^[4]及香山、尾亚钛(磁)铁矿矿床^[5]。该成矿带受到了国内外学者的广泛关注,在成岩成矿年龄^[6-8]、矿床地球化学特征^[9]、成矿大地构造环境^[10]、成矿动力学及成矿预测等方面做了大量工作,并取得了许多成果^[9-13]。笔者根据香山铜镍矿床野外调查和室内研

究,从矿石矿物特征及成分方面进行较为系统和详细的工作,由此探讨成矿意义,进一步补充和完善该成矿带的研究。

1 成矿地质背景

香山铜镍硫化物矿床位于觉罗塔格构造带北缘,康古尔断裂带南侧次一级断裂——大草滩断裂中(图 1)。香山基性-超基性杂岩体长轴方向为北东 55°,与断裂构造体系延伸方向一致,其断续延长 10 km,宽 300~400 m。由辉长岩和 13 个分布其中或边缘的超基性岩体组成,其中 9 号辉长岩岩体规模最大,其锆石 U-Pb 年龄为(285 ± 1.2)Ma^①,香山基性-超基性杂岩体岩体侵位于下石炭统干墩组和梧桐窝子组中。干墩组为一套海相深灰色硅质岩、硅质板岩、石英岩和灰岩;梧桐窝子组为一套海相基性火山熔岩、石英角斑岩和中基性火山碎屑岩组合。

收稿日期:2009-03-09;改回日期:2009-04-20

基金项目:国家科委科技攻关项目(96-915-05-04-01B)、矿物学岩石学矿床学国家重点(培育)学科建设项目(SZD0407)资助。

作者简介:孙燕,女,1957年生,硕士,副教授,主要从事矿床地质和矿床地球化学研究工作;E-mail:sunyan@cdu.cn。

①秦克章.新疆中亚造山带与成矿作用.北京:中国科学院地质与地球物理研究所博士后研究报告,2005.

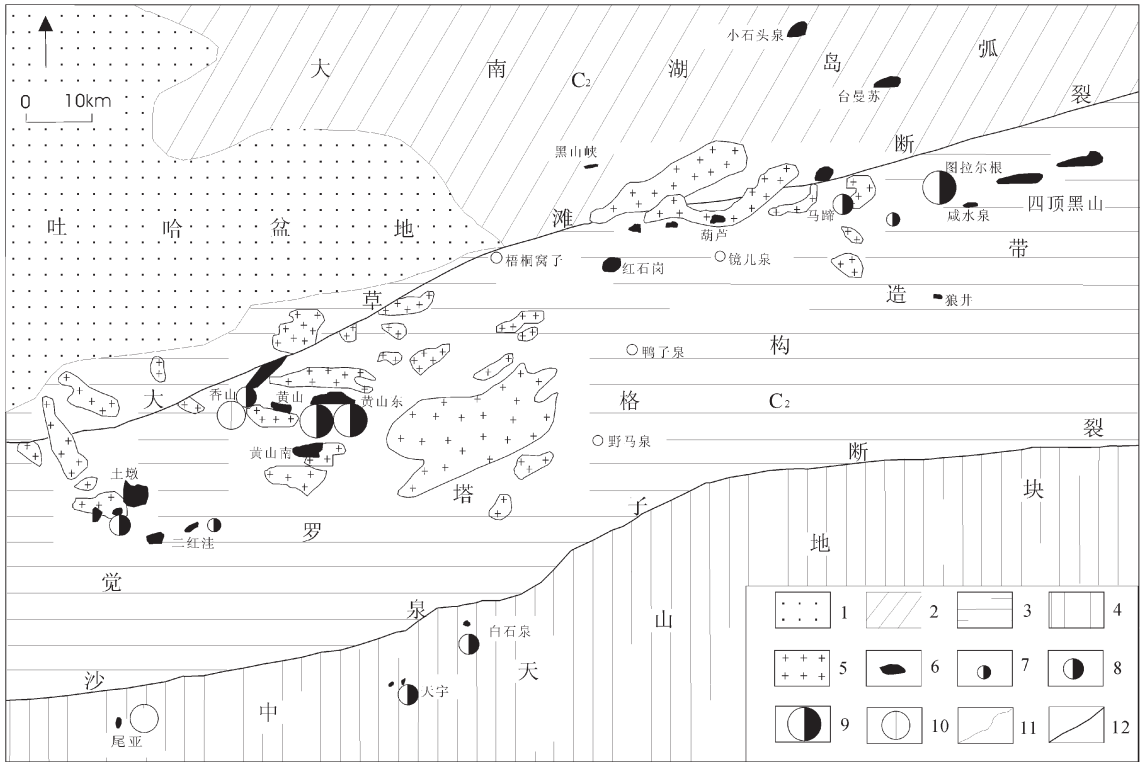


图1 东天山铜镍硫化物矿床构造位置图

1—吐哈盆地(第四纪);2—大南湖岛弧(泥盆纪火山岩);3—觉罗塔格构造带(石炭纪变质火山岩、火山沉积岩);4—中天山地块(前寒武纪变质岩);5—花岗岩类;6—基性—超基性岩;7—铜镍矿点;8—中型铜镍矿床;9—大型铜镍矿床;10—钒(磁)铁矿床;11—地质界限;12—深大断裂

Fig. 1 Tectonic position of Cu-Ni sulfide deposits in East Tianshan region

1-Turpan-Hami basin (Quaternary); 2-Dananhu island arc (Devonian volcanic rock); 3-Jueluotage tectonic zone (Carboniferous metavolcanic sedimentary rocks); 4- Central Tianshan massif (Precambrian metamorphites); 5-Granite; 6-Basic-ultrabasic rocks; 7-Cu-Ni ore spot; 8-Midium-sized Cu-Ni deposit; 9-Large-sized Cu-Ni deposit; 10-Large-sized V-Ti-Fe deposit; 11-Geological boundary; 12-Discordogenic fault

2 矿床特征

矿区中产出铜镍矿体数量众多,有两种矿体类型:一是熔离分异型的底部矿体、上悬矿体,其规模一般较大,但埋藏深且品位较低(Cu+Ni<1%),称之为深部贫矿体,主要受橄榄岩相、辉石岩相及辉长岩相控制;二为熔离贯入型矿体,受各种岩相中构造裂隙控制,其形态与构造裂隙形态基本一致,这类矿体一般埋藏浅且品位较高(Cu+Ni>1%),称之为浅富矿体^[4]。矿石类型可分为浸染状矿石(包括海绵陨铁状矿石)、块状矿石和细脉状矿石3种类型。分异型矿体中以浸染状矿石为主,贯入型矿体中主要为块状矿石、细脉状矿石及角砾状矿石。矿石以各种岩浆熔离结构、乳浊状结构、火焰状结构、结状结构等;热液

交代结构:自形-半自形及他形结构、交代溶蚀结构、反应边结构、文象结构等结构为主;构造应力压碎结构:压碎结构、揉皱结构、重结晶结构等。

3 矿石矿物特征

香山铜镍矿床矿石成分较为复杂。其特点为岩浆期后热液作用形成的金属矿物叠加在早期岩浆作用形成的矿物组合之上,特别是含镍硫化物、砷化物种类的增加及碲化物、铂族矿物的出现,使矿石成分变得更加复杂。通过大量野外和镜下实际工作,结合矿石矿物电子探针成分分析结果,将香山铜镍硫化物矿床中矿石矿物成分划分为Fe-S系列;Fe-Cu-S系列;Fe-Co-Ni-S系列;Fe-Co-Ni-As系列;Fe-Co-Ni-As-S系列及碲化物。文中矿物成分测

定由中国地质科学院成都矿产综合利用研究所电子探针(日本 JXA-733 型)室完成测试。

3.1 Fe-S 系列

该系列中最常见的矿物为磁黄铁矿、黄铁矿;磁黄铁矿在矿石中一般呈他形粒状聚晶,并与黄铜矿、镍黄铁矿紧密共生,磁黄铁矿均系 Co、Ni 的最主要载体矿物^[5]。根据镜下观察磁黄铁矿以单斜晶系为主,其主要是由高温六方磁黄铁矿在成矿温度降低过程中转变而来。根据磁黄铁矿成分分析(表 1),且都含一定量的 Cu、Co、Ni,含 Ni 0.1%~1.3%,含 Co 0.1%~0.06%。其 Co、Ni 含量均不低于金川、红旗岭、喀拉通克等著名矿床中磁黄铁矿中的 Co、Ni 含量^[6]。其中 Co、Ni 的含量具同步增长的特征。磁黄铁矿与国内同类矿床的磁黄铁矿主要成分基本相同,均属于非计量化学配比组成(Fe_{1-x}S)。

3.2 Fe-Cu-S 系列

系列中以黄铜矿为代表,是铜镍矿床中的主要含铜工业矿物。其在各种类型矿石中都有产出,含量为 1%~10%。产出状态有两种:其一为半自形-他形粒状与岩浆期形成的硫化物共生;其二,呈黄铜矿细

脉,充填在早期形成的矿物裂隙中。不同产出状态的黄铜矿成分有所不同(表 2),Cu/Ni 在脉状矿石中最高,在浸染状矿石中较低,同时脉状矿石中 Zn 的含量也高,反映出热液成因与岩浆熔离成因的黄铜矿在成分上的差异。黄铜矿中除了 Ni 含量较高以外,还普遍有 Ag 的存在,显示出贵金属与 Cu 相伴成矿,这对将来矿山资源综合利用会具有一定的实际意义。黄铜矿中主要常量元素 Cu 与 Fe 的含量基本无变化,矿物的 Cu/Fe 原子为 1.05~1.09,与其理论值 Cu/Fe = 1 吻合。

3.3 Fe-Co-Ni-S 系列

该系列矿物是矿石中主要的含镍矿物:镍黄铁矿、紫硫镍矿、针镍矿、辉铁镍矿、硫镍钴矿等。除镍黄铁矿主要由岩浆成矿作用形成外,其余矿物多为岩浆期后热液作用形成。此系列矿物共性较多,除针镍矿外均为等轴晶系矿物,呈均质性;反射色除紫硫镍矿为淡紫色外均为淡黄色;反射率都在 45%~53%,差别较小;硬度均为中等硬度。由于光性上的相似性,给镜下鉴定带来一定困难,在鉴定的同时加上电子探针等成分测试手段方可准确区分此类矿物(表 3)。

表 1 磁黄铁矿化学成分及结晶化学式

Table 1 Chemical composition and crystal-chemical formulae of pyrrhotite

矿物名称	矿石类型	元素含量/%										晶体化学 分子式
		S	Ag	Fe	Sb	Te	Ni	Co	Cu	Zn	Σ	
磁黄铁矿	脉状矿石	40.41	0.10	58.70	0.00	0.02	0.61	0.07	0.00	0.04	99.49	Fe _{0.83} S
	浸染状矿石	41.05	0.07	57.10	0.03	0.07	1.33	0.13	0.05	0.04	99.86	Fe _{0.86} S
	浸染状矿石	41.10	0.07	58.20	0.00	0.02	0.45	0.06	0.02	0.01	99.93	Fe _{0.81} S
	浸染状矿石	41.09	0.05	58.32	0.00	0.01	0.39	0.06	0.12	0.06	100.10	Fe _{0.81} S
	浸染状矿石	42.20	0.01	56.38	0.05	0.01	0.50	0.10	0.05	0.03	99.31	Fe _{0.77} S
	浸染状矿石	40.46	0.01	58.70	0.02	0.04	0.59	0.07	0.01	0.05	99.92	Fe _{0.83} S

表 2 黄铜矿化学成分及结晶化学式

Table 2 Chemical composition and crystal-chemical formulae of chalcopyrite

矿物名称	矿石类型	元素含量/%										晶体化学 分子式
		S	Ag	Fe	Sb	Te	Ni	Co	Cu	Zn	Σ	
黄铜矿	浸染状矿石	35.40	0.03	29.17	0.02	0.00	0.05	0.05	35.01	0.07	99.80	Cu _{0.997} Fe _{0.94} S ₂
	浸染状矿石	34.95	0.02	29.09	0.10	0.02	0.03	0.00	35.38	0.08	99.63	Cu _{1.01} Fe _{0.95} S ₂
	浸染状矿石	34.92	0.12	29.12	0.01	0.13	0.03	0.04	35.67	0.06	100.10	Cu _{1.02} Fe _{0.95} S ₂
	脉状矿石	35.17	0.11	28.76	0.09	0.07	0.01	0.01	34.40	0.28	98.89	Cu _{0.99} Fe _{0.94} S ₂
	脉状矿石	36.07	0.09	28.83	0.04	0.00	0.01	0.04	34.28	0.15	99.49	Cu _{0.96} Fe _{0.92} S ₂

表 3 镍黄铁矿化学成分(%)及结晶化学式
Table 3 Chemical composition and crystal-chemical formulae of pentlandite

序号	S	Fe	Ni	Co	Cu	Zn	Ag	Te	As	结晶化学式计算
1	33.63	26.84	37.40	1.17	0.02	0.06	0.01	0.11		(Ni _{4.86} Co _{0.15} Fe _{3.67}) _{8.68} S ₈
2	33.57	31.46	33.31	0.03	0.21	0.03	0.78	0.11		(Ni _{4.34} Co _{0.004} Fe _{4.30}) _{8.64} S ₈
3	33.71	29.19	35.97	1.47	0.05	0.06	0.01	0.05		(Ni _{4.66} Co _{0.19} Fe _{3.98}) _{8.83} S ₈
4	33.48	27.36	37.24	1.62	0.04	0.00	0.04	0.12		(Ni _{4.86} Co _{0.21} Fe _{3.75}) _{8.82} S ₈
5	32.84	29.75	36.12	0.85	0.15	0.00	0.05	0.04	0.10	(Ni _{4.86} Co _{0.11} Fe _{4.21}) _{9.18} S ₈
6	33.08	29.77	34.32	1.16	0.11	0.04	0.10			(Ni _{4.536} Fe _{4.1349} Co _{0.1520}) _{8.85} S ₈
7	33.52	29.77	34.32	1.28	0.08	0.07	0.18			(Ni _{4.5168} Fe _{4.0819} Co _{0.1654}) _{8.78} S ₈
8	32.98	29.29	34.99	1.29	0.06	0.01	0.05			(Ni _{4.6396} Fe _{4.0684} Co _{0.1704}) _{8.88} S ₈
9	33.14	29.18	35.36	1.02	0.07	0.01	0.07			(Ni _{4.6661} Fe _{4.0472} Co _{0.1348}) _{8.86} S ₈
10	34.10	27.47	35.71	1.16	0.09	0.00	0.09			(Ni _{4.5785} Fe _{3.7005} Co _{0.1482}) _{8.444} S ₈
11	33.01	26.51	37.28	1.06	0.06	0.05	0.14			(Ni _{4.9347} Fe _{3.6884} Co _{0.1399}) _{8.775} S ₈
12	33.18	28.75	35.31	1.16	0.05	0.05	0.17			(Ni _{4.6535} Fe _{3.9806} Co _{0.15}) _{8.811} S ₈

注:6~12 数据来源文献[12]。

① 镍黄铁矿:镍黄铁矿为矿石中最重要的镍金属矿物,与磁黄铁矿紧密共生,镜下反射色较磁黄铁矿更浅,无多色性,正交偏光下为均质性,可与磁黄铁矿相区别。最先晶出的多呈自形、半自形晶,粒度细,一般为 5~10 μm,数量较少,且被包裹在磁黄铁矿中,形成包含结构,表明其生成早于磁黄铁矿。中期的镍黄铁矿粒度增大,多为他形晶并且形态各异,与磁黄铁矿连生,较常见者呈火焰状结构、结状结构等岩浆熔离作用形成的结构,在块状矿石中尤为多见,该特点同于国内其他著名的铜、镍矿床。

经电子探针成分分析显示(表 3),镍黄铁矿晶体化学分子式与标准分子式相似,其中普遍含银、锌,这与热液阶段成矿物质叠加有关。李月臣^[4]运用高分辨电感耦合等离子体质谱仪,对香山铜镍矿床的块状矿石、团块状矿石、浸染状矿石、脉状矿石中

镍黄铁矿直接进行了 Re-Os 同位素测定,获等时线年龄为(298±7.1)Ma,此年龄代表了成矿年龄。此年龄与秦克章^[1]所做的香山基性-超基性杂岩体单颗粒锆石年龄测年所获得的(285±1.2) Ma 成岩年龄十分接近,表明成矿作用与岩浆分异成岩有着成因上的联系,成矿作用发生在岩浆分异的早期。

② 紫硫镍矿:该矿物是矿石主要的含镍矿物之一,紫硫镍矿有原生和交代两种成因^[17]。香山矿床中的紫硫镍矿主要由镍黄铁矿经热液交代蚀变而来,常保留镍黄铁矿的假象,如分布在磁黄铁矿边缘呈等轴半自形晶、他形粒状假象,尤以在磁黄铁矿中保持镍黄铁矿的火焰状假象最为典型。交代中释放出的 Fe⁺²形成的菱铁矿常充填在紫硫镍矿微裂隙中,是在氧化条件相对增高的条件下形成的,深部矿石中紫硫镍矿少见。矿物成分(表 4)与镍黄铁矿

表 4 紫硫镍矿化学成分(%)及结晶化学式
Table 4 Chemical composition and crystal-chemical formulae of violarite

序号	S	Fe	Ni	Co	Cu	Te	Sb	Bi	As	结晶化学式计算
1	42.32	23.92	31.86	0.15	0.08	0.00	0.03	0.07	0.00	(Ni _{1.64} Fe _{1.30}) _{2.94} S ₄
2	40.93	22.45	34.31	1.88	0.07	0.00	0.08	0.00	0.18	(Ni _{1.83} Co _{0.10} Fe _{1.26}) _{3.19} S ₄
3	42.61	20.83	36.86	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	(Ni _{1.89} Co _{0.05} Fe _{1.12}) _{3.06} S ₄
4	42.52	21.58	34.01	1.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	(Ni _{1.75} Co _{0.10} Fe _{1.17}) _{3.02} S ₄
5	38.43	24.08	35.74	0.99	0.08	0.08	0.00	0.00	0.04	(Ni _{2.03} Fe _{1.44}) _{3.47} S ₄

① 秦克章. 新疆中亚造山带与成矿作用. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所博士后研究报告, 2005.

相比,明显高硫、钴,低铁,反映出热液作用的特点。

除此之外矿石中还有辉铁镍矿、针镍矿、硫镍矿等含镍矿物,镜下由于光学性质相近难以区分,电子探针单矿物成分分析(表 5),通过晶体化学式计算能够准确鉴定。

3.4 Fe-Co-Ni-As 系列

该系列矿物中仅发现红砷镍矿(表 6),在矿石中含量很少,是岩浆期后高温热液阶段的产物,属交代成因,在铜镍矿床中较少见。

3.5 Fe-Co-Ni-As-S 系列

矿石中有辉砷钴矿、辉砷镍矿、辉砷镍钴矿及辉砷钴镍矿。在矿石中此系列矿物占主导地位的是辉砷钴镍矿和辉砷镍钴矿,光学性质相似,其差别在于 Ni 和 Co 成分含量变化。镍含量一般为 6.43%~19.69%,原子数变化于 0.18~0.60,钴含量在 8.53%~23.51%,原子数为 0.26~0.6;当镍原子数>0.5 时,定

名为辉砷钴镍矿,钴原子数>0.5 时则为辉砷镍钴矿,此二种矿物的确定主要依靠成分分析(表 7)。此类矿物普遍含 Sb、Ag,当 Sb 含量增高,可出现锑硫镍矿,均为热液早期阶段的产物。

3.6 碲化物

在 ZK2401 钻孔中 141 m 处稠密浸染状矿石中发现叶碲铋矿(表 8),含量较少。镜下为细粒他形晶粒状,主要分布在黄铜矿中呈亮白色,反射率高于黄铜矿,非均质性清楚,抗磨硬度小于黄铜矿。叶碲铋矿在铜镍硫化物矿床中较少见,通常出现在热液矿床中,此矿物为重要的载金矿物。香山岩体附近发现大量含金石英脉,此矿物的存在无疑对今后香山矿床伴生金研究有着重要的启示意义。

矿石中除上述各类矿石矿物外,还存在其他矿石矿物:方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铁矿等硫化物;磁铁矿、铬磁铁矿、钛铁矿、钛铁尖晶石等原生氧化

表 5 辉铁镍矿、针镍矿电子化学成分(%)及结晶化学式

Table 5 Chemical composition and crystal-chemical formulae of polydymite

矿物	S	Fe	Ni	Co	Cu	Te	Sb	Ag	结晶化学式计算
辉铁镍矿	41.18	9.55	49.25	0.29	0.54	0.08	0.07	0.00	(Ni _{2.62} Fe _{0.52}) _{3.10} S ₄
辉铁镍矿	41.92	21.33	32.74	2.40	0.32	0.06	0.04	0.00	(Ni _{1.71} Fe _{1.17} Co _{0.13}) _{3.01} S ₄
针镍矿	37.24	25.98	35.47	0.91	0.04	0.12	0.03	0.02	(Fe _{0.4} Ni _{0.52} Co _{0.01}) _{0.93} S

表 6 红砷镍矿化学成分(%)及结晶化学式

Table 6 Chemical composition and crystal-chemical formulae of niccolite

序号	S	Fe	Ni	Co	Te	Sb	Bi	Ag	As	Pb	Σ	晶体化学分子式
1	0.42	2.14	42.25	0.17	0.10	0.25	0.13	0.17	54.06	0.17	100.01	(Ni _{0.996} Fe _{0.053}) _{1.008} As
2	0.78	1.37	42.97	0.00	0.10	0.41	0.11	0.01	53.98	0.10	99.85	(Ni _{1.02} Fe _{0.03}) _{1.05} As

表 7 辉砷钴镍矿-辉砷镍钴矿化学成分(%)及结晶化学式

Table 7 Chemical composition and crystal-chemical formulae of gersdorffite

矿物	S	Fe	Ni	Co	Cu	Te	Sb	Bi	Ag	As	结晶化学式计算
辉砷钴镍矿	19.18	5.25	16.20	13.27	0.07	0.00	0.31	0.00	0.00	45.71	(Ni _{0.47} Co _{0.38} Fe _{0.16}) _{1.01} As _{1.03} S
	18.14	7.40	19.69	8.74	0.07	0.11	0.00	0.38	0.03	45.44	(Ni _{0.60} Co _{0.27} Fe _{0.23}) _{1.10} As _{1.07} S
	17.84	7.31	19.24	8.50	0.05	0.00	0.02	0.15	0.12	46.76	(Ni _{0.59} Co _{0.26} Fe _{0.13}) _{1.08} As _{1.12} S
辉砷镍钴矿	19.28	6.86	10.83	16.85	1.85	0.04	0.00	0.12	0.13	44.04	(Co _{0.48} Ni _{0.31} Fe _{0.21}) _{0.99} As _{0.98} S
	19.98	5.23	6.43	23.51	1.76	0.03	0.03	0.00	0.11	42.92	(Co _{0.64} Ni _{0.18} Fe _{0.13}) _{1.08} As _{1.12} S

表 8 叶碲铋矿化学成分及结晶化学式

Table 8 Chemical composition and crystal-chemical formulae of galena and pilsenite

矿物	矿石类型	元素含量/%												Σ	晶体化学分子式
		S	Fe	Cu	As	Ag	Te	Co	Ni	Bi	Pb	Sb			
叶碲铋矿	浸染状矿石	0.26	0.51	2.12	0.34	0.13	34.48	0.01	0.03	59.94	1.39	0.28	100.5	Bi _{1.06} Te	

物;孔雀石、蓝铜矿、黄钾铁矾、镍矾、镍绿高岭石等次生矿物^[18]。

4 成矿意义

①从野外地质特征、矿石结构构造及矿物共生组合研究,可知香山铜镍矿床的形成经历了岩浆熔离成矿期、岩浆热液成矿期和表生风化期。岩浆熔离成矿晚期形成矿物组合:磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿-黄铁矿-钛铁氧化物;岩浆期后热液形成典型矿物组合:各种钴镍铜铁硫化物、砷化物、碲化物等。

②通过研究查明了矿床中 Co、Ni、Cu 诸元素的赋存状态,上述元素所形成的主要工业矿物磁黄铁矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿、黄铜矿、针镍矿、红砷镍矿、辉砷钴镍矿-辉砷镍钴矿等均属于易选、易炼的镍钴硫化物。此研究成果对今后矿山选矿、冶炼方案的优化制定有所裨益。

③表生矿物中出现镍矾、镍绿高岭石,因此选冶性质良好的风化型镍矿有可能是今后应注意的找矿方向。

④首次在香山铜镍矿床矿石中发现载金碲化物叶碲铋矿,结合香山岩体附近发现大量含金石英脉(金山金矿床),此矿物的存在无疑对香山矿床今后伴生金研究有着重要的启示意义。

⑤香山杂岩体锆石 U-Pb 谐和年龄为 (285±1.2) Ma, 矿石矿物镍黄铁矿 Re-Os 等时线年龄 (298±7.1) Ma, 成岩年龄与成矿年龄具有很好的吻合性,成矿作用发生在基性岩浆分异的早期,这与主矿体和超基性岩浆岩有关相一致,矿床形成于晚石炭世末—早二叠世初。矿床成因类型为典型的岩浆熔离铜镍硫化物矿床。

参考文献(References):

[1] 李月臣, 赵国春, 屈文俊, 等. 新疆香山铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定[J]. 岩石学报, 2006, 22(1):245-251.
Li Yuechen, Zhao Guochun, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotopic dating of the Xiangshan deposit, East Tianshan, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(1):245-251 (in Chinese with English abstract).

[2] 吴华, 李华芹, 莫新华, 等. 哈密白石泉铜镍矿区基性-超性岩的形成时代及其地质意义[J]. 地质学报, 2005, 79 (4):498-502.
Wu hua, Li huaqin, Muo Xinhua, et al. Age of the Baishiquan maficultramafic complex, Hami, Xinjiang and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 9 (4):498-502 (in Chinese with English abstract).

[3] 三金柱, 惠卫东, 秦克章, 等. 新疆哈密图拉尔根全岩矿化岩浆铜-镍-钴矿床地质特征及找矿方向. 矿床地质, 2007, 26(3): 307-316.
San Jinzhu, Hui Weidong, Qin Kezhang, et al. Geological characteristics of Tulargen magmatic Cu-Ni-Co deposit in eastern Xinjiang and its exploration direction[J]. Mineral Deposits, 2007, 26 (3):307-316(in Chinese with English abstract).

[4] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆尾亚矿区 3 期岩浆混合作用的初步研究[J]. 中国地质, 2007, 34(2):289-299.
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Three-stages magma mixing in the Weiya ore district, Xinjiang [J]. Geology in China, 2007, 34(2):289-299(in Chinese with English abstract).

[5] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 岩浆铜镍矿床与钒钛磁铁矿床的过渡类型——新疆哈密山西矿床. 地质学报, 2006, 80(1):61-73.
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. A intermediate type of Cu-Ni sulfide and V-Ti magnetite deposit: Xinjiang Xiangshanxi deposit, China [J]. Acta Geologica Sinica. 2006, 80(1): 61-73(in Chinese with English abstract).

[6] 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 等. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义[J]. 矿床地质, 2002, 21(4):323-330.
Mao Jingwen, Yang Jianmin, Qu Wenjun, et al. Re-Os dating of Cu-Ni sulfide ores from Huangshandong deposit in Xinjiang and its geodynamic significance [J]. Mineral Deposit, 2002, 21 (4) : 323-330(in Chinese with English abstract).

[7] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社, 1998:1-246.
Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang, et al. Study on Metallogenetic Chronology on Nonferrous and Precious, Metallic Ore Deposits in North Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998:1-246(in Chinese).

[8] 芮宗瑶, 王龙生, 王义天, 等. 东天山土屋和延东铜矿时代讨论[J]. 矿床地质, 2002, 1(1):16-22.
Rui Zhongyao, Wang Longsheng, Wang Yitian, et al. Discussion on the mineralogical epoch of the Tuwu and Yandong porphyry copper deposits in eastern Tianshan, Xinjiang [J]. Mineral Deposit, 2002, 21(1):16-22(in Chinese with English abstract).

[9] 孙赫, 秦克章, 李金祥, 等. 东天山图拉尔根铜镍钴硫化物矿床岩相、岩石地球化学特征及其形成的构造背景[J]. 中国地质, 2006, 33(3):606-617.
Sun He, Qin Kezhang, Li Jinxiang, et al. Petrographic and geochemical characteristics of the Tulargen Cu-Ni-Co sulfide Deposit, East Tianshan, Xinjiang, and its tectonic setting[J]. Geology in China, 2006, 33(3):606-617(in Chinese with English abstract).

[10] 王京彬, 王玉往, 何志军. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. 中国地质, 2006, 33(3):461-469.
Wang Jingbin, Wang Yuwang, He Zhijun. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountains, NW China[J]. Geology in China, 2006, 33(3):461-469(in Chinese with English abstract).

[11] 马瑞士, 舒良树, 孙家齐, 等. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京:

- 地质出版社, 1997:1-202.
- Ma Ruishi, Shu Shuliang, Sun Jiaqi, et al. Tectonic Evolution and Mineralization of Eastern Tianshan Mts [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997:1-202(in Chinese).
- [12] 秦克章, 丁奎首, 许英霞, 等. 东天山图拉尔根、白石泉铜镍钴矿床钴、镍赋存状态及原岩含矿性研究[J]. 矿床地质, 2007, 26(1):1-14.
- Qin Kezhang, Ding Kuishou, Xu Yingxia, et al. Ore potential of protoliths and modes of Co-Ni occurrence in Tulargen and Baishiquan Cu-Ni-Co deposits, East Tianshan, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2007, 26(1):1-14 (in Chinese with English abstract).
- [13] 侯广顺, 唐红峰, 刘丛强, 等. 东天山觉罗塔格构造带火山岩的铅同位素组成及意义[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 509-515.
- Hou Guangshun, Tang Hongfeng, Liu Congqiang, et al. Lead isotopic composition of volcanic rocks in the Qoltag tectonic belt, East Tianshan, and its significance [J]. Geology in China, 2006, 33(2):509-515 (in Chinese with English abstract).
- [14] 孙燕, 慕纪录, 肖渊甫. 新疆香山铜镍硫化物矿床浅富矿体特征[J]. 矿物岩石, 1996, 16(1):51-57.
- Sun Yan, Mu Jilu, Xiao Yuanfu. The characteristics of shallow-rich ore body in copper-nickel Sulphide deposit in Xiangshan, Xinjiang [J]. Journal of Mineral Petrology, 1996, 16(1):51-57(in Chinese with English abstract).
- [15] 丁奎首, 秦克章, 许英霞, 等. 东天山主要铜镍矿床中磁黄铁矿的矿物标型特征及其成矿意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(1):109-119.
- Ding Kuishou, Qin Kezhang, Xu Yingxie, et al. Typomorphic characteristics and ore forming significance of pyrrhotite in major Cu-Ni deposits, Eastern Tianshan, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2007, 26(1):109-119(in Chinese with English abstract).
- [16] 王志辉, 王润民, 李楚思, 等. 黄山东铜镍硫化物矿床矿石物质成分的研究[J]. 矿物岩石, 1986, 6(3):87-102.
- Wang Zhihui, Wang Runmin, Li Chusi, et al. Study on the ore components of the Huangshandong Cu-Ni sulfide deposit[J]. Minerals and Rocks, 1986, 6(3):87-102 (in Chinese with English abstract).
- [17] 骆华宝. 岩浆型铜镍矿床中紫硫镍矿的成因矿物学研究[J]. 地质与勘探, 1994, (1):38-40.
- Luo Huobao. Study on Genetic Mineralogy of Violarite in Magmatic Cu-Ni Deposits [J]. Geology and Prospecting, 1994, (1):38-40(in Chinese with English abstract).
- [18] 孙燕, 帅德权, 慕纪录, 等. 新疆黄山铜镍成矿带中含镍系列矿物组分特征[J]. 成都理工学院学报, 1996, 23(2):19-20.
- Sun Yan, Shuai Dequan, Mu Jilu, et al. Composition characteristics of the Nickeliferous series in the Cu-Ni mineralization zone, Huangshan, Xinjiang [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1996, 23(2):19-20(in Chinese with English abstract).

Ore mineral characteristics of the Xiangshan copper-nickel sulfide deposits in East Tianshan Mountains and their metallogenic significance

SUN Yan, XIAO Yuan-fu, FENG Wei, XIONG Fa-hui, ZHAO Zhi-qiang

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The well-known Huangshan-Jing'erquan Cu-Ni metallogenic belt in East Tianshan Mountains has lots of genetically similar copper-nickel deposits. Based on field investigation, the authors made electron microprobe analysis of the components and carried out a detailed study of the mineral composition of the copper-nickel ore deposits. The ore minerals can be classified into Fe-S series, Fe-Cu-S series, Fe-Co-Ni-S series, Fe-Co-Ni-As series, Fe-Co-Ni-As-S series and telluride. According to characteristics of mineral associations, the ore-forming process is divided into the magmatic liquation ore-forming period, the magmatic hydrothermal ore-forming period and the epigenetic weathering period. Based on calculating the crystal-chemical formula of these mineral compositions, this paper describes the modes of occurrence and geneses of these minerals. Zircon U-Pb age of (285 ± 1.2) Ma for Xiangshan rocks and and Re-Os isochron age of (298 ± 7.1) Ma for pentlandite suggest the consistency between the rock-forming and the ore-forming ages.

Key words: East Tianshan Mountains; Xiangshan; copper-nickel sulfide deposit; ore minerals; mode of occurrence; mineralization

About the first author: SUN Yan, born in 1957, female, master, associate professor, engages in the study of ore-deposit geology and ore-deposit geochemistry; E-mail: sunyan@cdu.cn.