太行山太古代阜平群中的刚玉、砂 线石型矿床的成因

赵秀德 井喜贵 罗相风 陆志军

提要 太行山太古代阜平群中刚玉砂线石型矿床,产于太古界阜平群地层中,矿体顶板围岩是长英质片麻岩。长英质片麻岩系流纹岩的变质岩。刚玉砂线石矿体系沉积变质而成。局部地段刚玉产出,除与原岩铝过饱和程度有关外,并与混合岩过程中钾交代作用有明显关系。含矿岩系的变质强度达到了砂线石角闪岩亚相。

关键词 刚玉砂线石型矿床 太古界阜平群 矽线石角闪岩亚相 太行山

太行山北段太古界变质岩系中的刚玉矽线石矿床,主要分布在河北省的平山县和灵寿县 境内。阜平县虽然也有一些矿点产出,但尚未发现有工业意义的矿床*(*产在该地区的刚玉早在20 年代李学清已有著文论及,以后在50年代清华大学朱上庆,天津地质矿产研究所的陈晋镛和河北省地质局冯修德以及60 年代李兆龙等先后在此进行过研究工作。70年代末河北省地质局综合大队在平山罗圈对砂线石进行踏勘工作。)。

矿床具有小而富、易采、易选等特点。对我国开发利用矽线石矿床资源,填补耐火材料制 品领域中的空白具有重要的现实意义。

为了总结成矿条件,提高找矿效果,本文根据野外观察和室内的测试资料,对矿床成因进 行某些探索性的讨论。

一、区域地质背景

矿床赋存在太古界阜平群地层中。阜平群地层由下而上分为索家庄组、团泊口组、南营 组、宋家口组、文都河组等五个地层组,包括十二个岩段,出露总厚度达4388—5336米(据1: 20万盂县幅说明书,1965年)。地层同位素年令(据1979年刘敦一采自平山县盂家庄附近浅 粒岩中的锆石、铀铅法测得年令)为2343百万年。

本区在大地构造上位于准地台的山西断隆的北段,西部被龙泉关群不整合覆盖,龙泉关群 之上不整合覆盖着五台群地层,北邻内蒙地轴,北东接燕山台褶带,南端覆盖着上元古界和古 生界地层,东邻华北断拗^[1]。

阜平群第一次遭受到区域性构造运动,按照地层关系应为平山运动(桑园口不整合),而后 又经受了铁堡运动(或称阜平运动),为2550-2350百万年(据程裕淇)。铁堡运动使出露在 平山到阜平地区的阜平群地层和龙泉关群地层隆起。五台运动(同位素年令为2000百万 年)⁽³³,有一些基性岩脉呈北西向侵入,对阜平运动的构造方向可能有一定的影响和改造,但由



表,团泊口组地层分为下、中、上三个段,下段为角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩夹少量长英质片麻岩。中段通常下部为长英质片麻岩夹黑云斜长片麻岩,含矽线石球长英质片麻岩,刚玉 矽线石矿体赋存于含矽线石球长英质片麻岩中。上段为白色蛇纹石化镁杆栏石大理岩、金云 大理岩、白云石大理岩等。岩性和厚度变化均较大。

刚玉砂线石矿体与含砂线石球长英质片麻岩的空间关系密切,矿体呈不同规模的透镜体 产出,走向沿长与倾斜延深均与围岩一致,倾角 40°-70°,矿体走向延长由几米到数百米,最大 长度约 500 米。矿体厚度 1 米至数米,最大厚度为 11.6 米。矿体与围岩多呈渐变过渡关系, 由边部向中部矽线石含量逐渐增多。刚玉一般在矿体中部明显富集。

2. 产于宋家口组下段的矿床,以水峪罗圈矿床为代表。宋家口组地层分上、下两个岩段, 下段以巨厚的长(二长)英质片麻岩为主,中部夹黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩,局部地段出现 砂线石石英球状集合体,本段厚 239—361 米。上段以白色纯白云石大理岩、金云大理岩、透闪 大理岩及蛇纹石化镁杆栏石大理 为主,底部夹有玫瑰红色透辉大理岩、斜长角闪岩等。

矿带长 1000 余米,有 5 个4 《组成,矿体呈层状、似层状产出,其产状与围岩一致。单个 矿体长 50-900 米,平均厚度 1.5-10.5 米*。(*据河北省地质局综合地质大队,1978)

三、矿石、矿物和化学特征

根据矿物组合、结构、构造等,矿石可 划分为:钾长矽线片麻岩矿石、刚玉矽线钾 长片麻岩矿石、云母砂线片岩矿石和含石 英球砾矿石等四个类型,主要为前两类。 矿石一般具纤状、粒状变晶结构,弱片麻状 到片麻状或条带状构造。矿石的矿物组成 主要有矽线石、微斜长石、石英、白云母、黑 云母、斜长石、刚玉和磁铁矿等,付矿物有 锆石、独居石和榍石。

矽线石: 呈白色、灰白色,常以平行结 合集合体,毛发状、束状集合体和针柱状单 晶产出(见照片 1、2),含量 30—70%,一般 40—50%,柱径1毫米左右,长 3—5 毫米。 单晶体横截面呈菱形。矽线石在薄片中无 色,平行消光,最高干涉色二级兰。比重 3.09。

徽斜长石含量 30-40%,他形柱状, 格子双晶有的明显,有的被矽线石交代。 斜长石含量 2-10%,在斜长石晶体中分 布有条纹状钾长石,有的沿晶体延长方向 呈单向条纹,有的呈棋盘格状的反条纹长 石。石英呈他形粒状和长条状两种产出, 长条状者与矽线石排列方向一致,二者相 间组成条带。黑云母和白云母排列多与矽 线石排列方向一致。在无石英矿石组合中 有时见有刚玉产出。刚玉呈褐红色、玻璃 光泽,呈柱状产出,柱面和双锥面上条纹明 显,多产于徽斜长石之间,构成"红眼圈"结 构(见照片 3),柱体截面 1×1-3×3 毫 米,大者长达 135 毫米,截面直径达 35 毫



米。比重 3.9—3.97。镜下观察近于无色不规则柱状,粗面显著,裂理发育,高一极高正突起, 干涉色不均匀,最高 Ⅱ级兰,多数晶体中含有包体。

矿石或近矿围岩(含矽线石)岩石化学特征表现出铝过饱和,且贫钙、低镁,尼格里值 al 大

于 55, C 小于 4.15, 含刚玉的矿石 qz 为负值。在野外能观看到含有刚玉的样品其 qz 值小于 -48。

序	号	1	2	3	4	5	6	T.	8	9	10	11
编	号	B, -3	B, -6	S002	S00.4	S027	S028	S042	S043	S044	L;1	L22
取样	地点	平山白草 坪 B, 剖面	平山白草 坪 B, 剖面	灵寿南洞	灵寿南洞	灵寿南桐	灵寿南洞	南洞可选 性试验样	南洞可选 性试验样	南洞可选 性试验样	平山罗圈	平山罗圈
岩石	百名称	黑云砂 线石片 麻岩	含刚玉 砂线石 片麻岩	含刚玉 砂线石 片麻岩	刚 玉砂 线石片 麻岩	砂线 石 片岩	矽线石 片麻岩	柱状砂 线石片 麻岩	毡状砂 线石片 麻岩	菊 花	砂 线石 片岩	砂线石 片岩
	SíO,	52.12	43.46	43. 47	35.04	64.30	45.70	39. 36	52.33	35. 76	48.68	52.92
	TiO,	1.00	1. 53	1.73	1.91	0.60	1.20	1.80	0.87	1.53	1.02	1.13
化学	P,O,	0.05	0.05	0. 08	0.093	0.05	0.06	0.10	0.06	0.06	0.08	0.10
	Al,O,	29. 90	40. 99	36.87	43.46	25.21	39. 33	37.08	30.49	43. 27	34.01	27.09
	Fe,O,	3.13	5.01	4.41	10.82	2.56	4.96	10.47	3.55	9.84	3.01	5.10
	FeO	1.67	1.74	2.54	4.06	1.18	1.32	4.81	0.63	4.11	0. 98	1.36
成分	MnO	0.05	0.034	0.06	0.075	Q. 043	0.02	0.04	0.02	0.03	0. 02	0. 03
(wt %)	MgO	0.46	0.64	0. 08	0.23	0. 02	0.48	0.31	0.09	0.31	0.48	0.13
	CaO	0.78	1. 41	0. 47	0.15	0.63	0.60	0.66	0.54	0.78	0.15	0.48
	Na,O	2.60	2. 82	1.63	0.01	0.98	1.30	1.30	1.06	0.78	0.94	1.70
	К,О	6. 98	1.86	6. 48	2. 43	3. 08	4.87	3. 47	9.28	2.05	6.94	8.56
	со,	0.33	0.30	0.07	0.21	0.40	0.08	0.07	0.14	0.28	0.07	0.19
尼格里值	al	64.99	66.36	64.76	63.80	73.97	73.64	58.99	76.14	65.53	75.10	65.42
	fm	16.52	17.05	16.72	29.74	14.83	17.69	33. 45	14.19	29.10	16.45	21.28
	c	3.08	4.15	1.50	0.40	3.36	2.04	1. 91	2.45	2.14	0.59	2.11
	alk	15.41	12.45	17.02	6.06	2.84	6.64	5.64	7.22	3. 22	7.86	11.19
	qz	10.26	- 52. 03	- 57. 64	-61.91	159.84	-10.85	-38.22	66.47	-48.02	16.42	49.74

矿石化学成分表

表 1

测试单位:冶金工业都天津地质研究院化验室

四、矿床成因讨论

(1)含矿地层的原岩建造

通过对团泊口组的原岩恢复得知,斜长角闪岩在 Ti O, 与 Zr 和 P,O, 与 Zr 以及 Ti O, 与 Zr / P,O, 关系图(图 2, 投图号 1、9、10)中均落入拉斑玄武岩区,据稀土图谱对比,相当于太古 代 T H, 拉斑玄武岩(图 3)。辉石二长岩、黑云二长片麻岩,在综合三轴投影图中则都落入安山 岩区及其边缘(图 4,投图号 6、7)。长英质片麻岩在综合三轴投影图中落入流纹岩区内及其边 缘(图 4,投图号 5、13、17、31),稀土图谱对比相当于太古代 F_{II}型流纹岩(图 5)。其原岩为一 套由基性到中酸性的火山岩,构成了一个完整的火山喷发旋回,即由玄武岩一安山岩一英安岩

					~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~							<b>x</b> 4		
产地	矿名	物称	SiO,	Al,O,	TiO,	CaO	MgO	Fe,0,	MnO	к,о	Na,O	H,O	Cr,0,	备注
南 洞 选矿样	矽线	石*	35.65	61.10	0. 03	0. 032	0.06	0.78	0. 009	0.41	0. 11	0.74	<0.002	化学 分析
	砂约	<b>戈</b> 石		62.16	0.01	0.005	0. 005	0. 47△	0.04				0.035	探针分析
"	刚	Ŧ	5.07	91.53	<0.04	<0.02	<0.01	1. 20	<0.01	0. 02	0.04	0.53	0.003	化学分析
"	刚 (具3	玉 不带)		98.90	0.15	0.008	0.008	0.78△	0. 008				0. 056	探针分析 5 个点
瓦泉沟	刚	Ŧ		99. 64	0.02	0.015	0. 01	0. 99△	0. 03				0. 33	<b>探针分析</b> 2 个点
	* 4	5冷ま	酸洗过		 △为 Fe	:0	测试」	单位,冶金	工业部天	津地质	研究院化			

一流纹岩组成的火山喷发旋回,尔后逐渐进入稳定阶段,出现了碳酸盐岩类沉积,间或有基性 火山岩喷发,这些岩石构成了中基性火山岩建造、酸性火山岩夹基性火山岩一沉积岩建造和碳 酸盐偶而夹基性火山岩建造。



(2) 富铝地质体的形成

矿区内刚玉砂线石片床岩、二云刚 玉砂线石片麻岩、二云砂线石片麻岩和 砂线石片麻岩等,在原岩恢复的各种图 解中均落入粘土质沉积岩区(图 6,投图 号为 2、3、4、11、12、15、19、20、21、22、 23、24、25、26、28)。

刚玉砂线石矿体赋存于含石英球砾 长英质片麻岩或长英质片麻岩中,其产 状基本一致,多呈新变过渡关系(图7)。 不同的砂线石矿体的微量元素含量极为 近似,这表明它们之间具有相同的物质 来源和相同的成矿演化过程。长英质片 麻岩、砂线石片麻岩、石英球砾的微量元 素曲线形态(图8)表明,三者有相似性,

这种相似关系显示着它们可能具有某种内在的联系。矽线石片麻岩 Ga、B 的含量最高,这反映着 Ga、B 同 Al 在地球化学上的密切关系。长英质片麻岩中 Ba、Sr, Rb 含量最高,这反映着 Ba、Sr, Rb、Zn、Ga 和 B 等元素的含量最低,这是由于硅和这些元素亲和力相对较小所致。上述特征说明三者既具有同源性,又表明矽线石片麻岩和石英球砾可能是由长英质片麻岩的原岩物质(流纹质)经受改造的产物,它们既表现着继承性特征,又表现出在生成过程中微量元素的再分配关系。

矿石的稀土元素图谱曲线与石英球砾的图谱曲线具有相似性(图9),Eu的亏损程度一致,

表 2





但石英球砾在稀土总量和 轻、重稀土分量上同矿石 相比均明显偏低,重稀土 尤为显著。矿石的稀土总 量 1000.93ppm,轻重稀土 比值 4.91, Eu/Eu*(* Eu*为球粒矿石标准值。)为 0.48。石英球砾的稀土总量 为 242.57ppm,轻重稀土比为 8.09,Eu/Eu*为 0.48。

矿石与近矿长英质片 麻岩中铁元素具有相同的 氧化率(图 10),这显示着 它们经历的成矿和变质作 用的环境是相同的。

上述资料表明,富铝地质体 的形成可能是在火山喷发区内, 流纹质火山物质受到火山气液作 用,铝硅酸盐物产生分解,铝再沉 积而成。从矿体总的产出形态分 析,富铝地质体多是经过短距离. 的搬运,沉积在以流纹质火山物 质为背景的局部低洼部位,形成 规模不同的扁豆体。

(3) 矿体的形成过程

基于对富铝地质体的形成认 识,将刚玉砂线石矿床形成的过 程分为以下三个阶段。

第一.火山喷发一沉积阶段。阜平群划分组段的主要依据 以化学沉积的碳酸盐岩类为界面,每个组即为一个大的火山喷

发旋回,总的演化趋势是以基性岩浆喷发开始到酸性岩浆结束,火山喷发活动逐渐减弱,沉积物质增多,最后阶段出现以 Ca、Mg 质物质为主的沉积。火山喷发物为富铝地质体的形成提供 了物质基础。

第二、火山物质分解再沉积阶段。火山喷发物质由于遭受火山气液作用,使原来的物质产 生分解再沉积。根据地层剖面分析,当时火山气液为爆发式喷发的氯质火山射气为主^[4]。这 c+alk]

100

N·默卡曼

0 I I

VB

300

图6 [al+fm]-[c+alk]~Si 图解

VR

400

500

(据西蒙南,1953)

·火山岩 Ca: 钙重沉积物

60.0

20.0

14 × 种射气作用使原来的铝硅酸盐矿物产生 分解,钾、钠、铝、硅分离。钾、钠元素则 呈氯化物溶解在水中,铝和硅在海水动 力作用下,被运移到相对低洼的部位按 着各自的理化特点沉积下来。富铝物质 沉积以流纹质火山物质为背景的局部低 洼部位,形成了规模不同的扁豆体。Si Q,在搬运沉积过程中,由于受潮汐或地 震作用,使呈胶体凝团或半固态的SiO, 产生摆动或滚动,结果形成了球形体散 布在流纹质岩层之上的沉积物中,单独 或与富铝物质混杂堆积。根据统计,在 这一过程中,常量元素Al,O,增加了1 一3倍,TiO,增加了3-7倍,SiO,减少



图7 南嗣S1矿体地质平面图

30-50%。 K,O, N a, O 减少了 20-60%。微量元素 Ga 增加了 2-3 倍。稀土元素总量平均 增加了 4 倍, 轻重稀土比值由 0.75 增加到 4.91, Eu/Eu*由 0.77 降到了 0.48。在富铝地质体 中 TiO, 同 AI,O, 和 Ga 同 AI,O, 变化呈正相关关系, K,O、Na,O 同 AI,O, 的变化呈负相关关系。

第三、变质成矿阶段。富铝的粘土在上覆沉积物不断增加的压力和地温的作用下,逐渐脱水成岩,在遭受区域变质作用时,随着变质深度的增进,富铝矿物随着温压条件的变化,由含铝 硅酸盐类矿物逐渐脱水形成无水铝硅酸盐矿物。根据矿石中的矽线石,普遍具有平行结合集 合体结构(照片1),在白草坪 B,剖面观察到矿石中平行片理或片麻理排列产出的粗大板状的 假像兰晶石晶体,在镜下观察皆为矽线石平行排列的集合体,具有同一消光方位,对这些粗晶体进行粉晶衍射照相和南洞矿区的矽线石精矿进行 X 衍射检查。d 值 3.19 的衍射线均有显示,并在粉晶照像胶片上强度 b 的 d 值 1.415 的衍射线也有反应。南洞 III 号矿体发现有被矽 线石交代的兰晶石残余体。矿石中兰晶石残留的普遍存在说明,在变质作用达到矽线石发育前,曾出现过兰晶石产出的变质作用条件。

变质作用的温度、压力条件。本区基性变质岩中出现大量的角闪石而未见到阳起石,矿石 中砂线石同钾长石共生等(表 3),这种矿物共生组合与人工模拟试验资料进行对比,其形成温 度可以确定在 500°—750°C之间,其相应压力在 2.2—6 千巴之间。上述温度同南洞砂线石、 刚玉、钾长石液相包体所测得的温度资料基本一致(图 11)。依据兰晶石残留体的存在,白云 母 b。值均大于一般中压带的白云母(表 4),其压力相当高压相区。在高压相区白云母没有被 钾长石完全替代,这说明是刚玉砂线石形成时水的分压(P_{H20})较高。

岩石名称	主要矿物共生组合
透闪石白云母大理岩	白云石+白云母+透闪石
黑云刚玉片麻岩	微斜长石+刚玉+黑云母
二云矽线刚玉片麻岩	钾长石+砂线石十黑云母+白云母+刚玉
二云矽线片麻岩	钾长石+斜长石+砂线石+黑云母+白云母
矽线石片麻岩。	钾长石+斜长石+砂线石+石英
长英质片麻岩	钾长石+斜长石+石英
黑云二长片麻岩	钾长石+斜长石+石英+黑云母
辉石二长片麻岩	钾长石+斜长石+辉石
辉石角闪斜长片麻岩	
斜长角闪岩	角闪石+斜长石

变质岩矿物共生组合特征

表 3

白云母 b 值测定表

表 4

样品号	产出岩石主要矿物组合	b值(Å)
861	白云母、砂线石、钾长石	9. 07759
862	钾长石、砂线石、黑云母、白云母	9. 10251
864 *	白云母、钾长石砂线石	9. 06289
B,14	钾长石、砂线石、白云母	9. 0805

*复测结果 b=9.09614 A 测试者:x 光组

随着变质程度增强,原来岩石中的白云母逐渐转化为钾长石,在白云母转化为钾长石的过

程中,若岩石中有游离的 SiO.存在时多余的铝同硅结合形成矽线石(反应式 I)。在缺硅的条件下则生成刚玉(反应式 II)。其反应过程如下:

KAI₂(Si₃AlO₁₀)(OH), + SiO₂ → KAISi₃O₃ + Al₂SiO₃ + H₂O ↑ ·······(I) 白云母 石英 钾长石 砂线石

KAl₂(Si₃AlO₁₀)(OH)₂ → KAlSi₃O₈ + Al₂O₃ + H₂O[↑] …………(II) 白云母 御长石 刚玉



矿床的变质程度。据贾斯的 统计资料和恩格尔(Engel)曾对 阿迪尤达克普通角闪石的研究, 均发现在同类岩石中角闪石的 TiO。含量与变质程度有关。该区 斜长角闪岩中的角闪石在TiO。 同 K.O、Na,O含量关系图中(图 12)相当于角闪岩相,由于矿区普 遍发育有变质作用的特征矿物一 矽线石,该区变质程度已经达到 了矽线石角闪岩亚相。

混合岩化和退化变质作用。 区域内混合岩化作用不同地段强 度差别较大,就团泊口组来说,下 段较强,中、上段较弱,混合岩化 在矿体中的表现多为长英质脉状 体出现,对矿体有一定的破坏作 用,但经常可以见到矽线石和刚 玉重结晶面而形成粗大的晶体。 原星散产出的磁铁矿形成粗大的 磁铁矿团块或脉体,矿石这种重 结晶作用有利于有用矿物的分 选,从这点来说对矿床也有一定 的再造作用。退化变质的主要表 现有角闪石的黑云母化,黑云母 的绿泥石化,斜长石的绢云母、纳

黝帘石化, 微斜长石的高岭土化, 矽线石、刚玉的绢云母化(照片4)等。退化变质现象虽然普遍, 但强度较弱, 对矽线石和刚玉影响比较轻微, 一般不影响矿物的选别和工业利用。综合上述, 该区刚玉矽线石矿床产出在一套火山一沉积岩中的流纹质岩石中。富铝地质矿体的形成

是由 Fn 型流纹岩质的物质遭受火山气液改造,使长石类矿物分解, K, O、N a,O、Si O, 等物质逸散, A l,O, 再沉积而成。刚玉、砂线石形成主要在区域变质阶段。混合岩化作用中的钾交代作用对刚玉、砂线石矿体局部地段的进一步富集有着积极的作用。区域变质的强度已达到了砂线石角闪岩亚相。矿床应属于沉积变质型矿床。



#### 主要参考文献

〔1〕 陈菁鏞 1961 年 太行山北部前寒武 系中的一种根砾岩 地质学报 第41卷3-4期 〔2〕 任纪舜等 1979 年 中国大地构造及 其演化 国际交流地质学术论文集(1)

〔3〕 孙殿卿等 1979年 略论中国主要的 地壳运动 国际交流地质学术论文集(1)

〔4〕 姜齐节等 1980年 论渗流热卤水成 矿作用的意义与成因标志 地质与勘探 第一、 二期

〔5〕 长春地质学院前寒武纪研究室 1981 年 变质地质学的一些基本问题

(6) H. T. LEE 1926 年 Gorundum of Pingshan district, W. Chihli Geological Survey of China.



图11 矿物包体测温曲线





照片1. 矽线石呈带状集合产出, 与石英构成条带状押造。

> Sill: 矽线石. Q 石英 单偏光.×63.

照片2. 矽线石呈斜柱状单晶体分 布于微斜长石中,呈云母与其排列方向一致。 Mic. 微斜长石. Sill: 矽线石 Bi; 黑云母 正交.×63



照片 3. 色于钾长石中的刚玉晶体。



照片4. 矽线石晶体一端边部的绢云母化。 Co刚玉、Ksp钾长石。 正交.×63. Sill. 矽线石, Ms. 绢云母。

# ORIGIN OF CORUNDUM-SILLIMANITE DEPOSIT

Zhao Xiude Jing Xigui Luo Xiangfeng La Zijun

#### Abstract

The wall rocks of corundum-sillimanite deposit in Fuping group is believed to be felsic gneiss. According to the main chemical composition of felsic gneiss, trace elements and REE partition pattern it is determined as Archean  $F_{II}$ -type rhyolite. Corundum and sillimanite are formed predominently during the regional metamorphism. K-metasomatism in migmatitization has played a positive role in the further enrichment of some segments. The ore-forming temperature ranges from  $500^{\circ} - 700^{\circ}$  C, 2.2 - 6 kilobar. The regional metamorphism has reached the grade of sillimanite hornblende subfacies. The authors believe that this deposit belongs to sedimentary-metamorphic one.