

金矿床中“绿化”——含铬绢云母化及其找矿意义

鲁安怀 陈光远

(中国地质大学·北京·100083)

详细研究了胶东金矿中含铬绢云母的颜色、粒径、形态、化学成分、晶体结构、光性等标型特征,提出了“红化”与“绿化”相结合的金矿找矿方法。探讨了含铬绢云母的形成机理,利用Cr元素的示踪性,揭示了胶东金矿成矿作用与成岩作用乃至矿源层的继承关系。

关键词 含铬绢云母 “绿化” 胶东金矿



图1 矿工作

近年来,在胶东金矿中发现了大量的含铬绢云母,其主要产于主成矿阶段的富矿体中,与石英、黄铁矿、铁白云石和银金矿等矿物共生,主要呈浸染状、网脉状构造,局部呈团块状、脉状构造。在贫矿及近矿围岩中含铬绢云母含量较少,并渐变为绢云母。

含铬绢云母化的形成机理及其在金矿成矿理论与找矿中的意义,在国内外一直被忽略。陈光远等(1985)首先在胶东金矿中发现了含铬绢云母,并指出它是胶东群成分特征的继承,也是强烈蚀变矿化的标志^[1]。

本文重点对胶东金矿中含铬绢云母的颜色、粒径、形态、化学成分、晶体结构、光性等进行了详细研究,总结了含铬绢云母的标型特征。提出了金矿床中“绿化”的概念,阐明了“绿化”即含铬绢云母化的形成机理及其在金矿找矿方面的意义。

1 标型特征

1.1 颜色

Cr^{3+} 属于过渡型离子,为 $3d^3$ 组态,在八面体晶体场中, Cr^{3+} 基态谱项分裂的能级顺

序由高到低为 ${}^4\text{T}_{1g}$ 、 ${}^4\text{T}_{2g}$ 、 ${}^4\text{A}_{2g}$ 3个态(马尔富宁,1979)^[2],因此在八面体晶体场中,含铬绢云母中的 Cr^{3+} 能产生两个吸收谱,即 ${}^4\text{A}_{2g} \rightarrow {}^4\text{T}_{2g}$ 、 ${}^4\text{T}_{2g} \rightarrow {}^4\text{T}_{1g}$ 跃迁。图1为铬白云母解理面上 Cr^{3+} 吸收谱特征^[3],这两个吸收谱位置分别为 16700cm^{-1} 和 24000cm^{-1} ,前者吸收橙色光,补色为蓝色,后者吸收紫色光,补色为绿色。很明显 24000cm^{-1} 位置吸收谱强度大,为主要吸收谱,故含铬绢云母主要为绿色,常呈翠绿色、绿色、苹果绿色,Cr含量的高低直接影响到绿色色调。

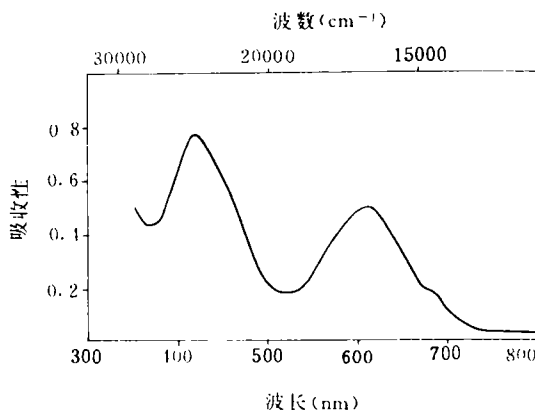


图1 铬白云母解理面上 Cr^{3+} 吸收光谱

(据 Rossman, 1984)

各种绿色色调的含铬绢云母,常被作为装饰材料 and 玉石原料,如加拿大把含铬绢云

本文 1994 年 8 月收到,范若芬编辑。

母组合的斑杂状鲜艳绿色岩石称为 Virginite, 用作装饰材料。我国也把含铬绢云母与长石、石英组合作为绿色玉石开采, 含铬绢云母与长石组合被称为南阳玉, 含铬绢云母与石英组合被称为东陵玉, 其工艺品享誉海内外。

本文根据含铬绢云母在金矿成矿与找矿中的重要意义以及其特征的绿色, 并参考金矿成矿理论与找矿实践中被广泛应用的“红化”概念, 特将金矿化过程中出现的含铬绢云母化命名为“绿化”。

1.2 粒度

白云母粒径大于 0.1mm, 而绢云母则小于 0.1mm (Омельяненко, 1982)^[4]。粒径的差异主要受形成温度控制, 细粒绢云母形成温度为 250 ~ 300 °C^[4]、180 ~ 320 °C (Eberl, 1987)^[5], 而粗粒白云母形成温度较高。

胶东金矿中含铬绢云母粒度较细, 其形成温度即为金矿化温度, 大约为 250 °C 左右^[1], 形成于主成矿期。与成矿前不含 Cr 的绢云母比较, 绢云母粒径较大, 如三山岛金矿绢云母粒径为 0.032 ~ 0.240mm, 含铬绢云母粒径仅为 0.002mm。这是由于成矿前环境中溶液浓度未达到饱和, 故发芽数目较少, 而且温度较高, 晶体生长速度较快, 因此形成的绢云母粒度较粗, 在三山岛金矿局部还出现成矿前粗粒白云母, 粒径达 2 ~ 10mm。在成矿期矿化溶液浓度达饱和甚至过饱和时, 使得发芽数目大大增加, 同时温度也有所降低, 晶体生长速度减慢, 故形成的含铬绢云母粒度较细, 它是低温水热系统中特有的产物。

1.3 形态

粒度与形态直接相关, 随粒径减小, 由片状向鳞片状、细鳞片状过渡。在胶东金矿中含铬绢云母呈细鳞片状集合体, 而绢云母往往呈板条状。据此可在显微镜下直接区分绢云母与含铬绢云母。

1.4 化学成分

通过对含铬绢云母化学成分标型性的详

细研究^[6], 含铬绢云母中 SiO₂ 含量变化范围为 46.32% ~ 59.35%, 四面体中 Si 离子数为 3.13 ~ 3.78, 其中 Si > 3.30 的占 37.5%, 不同于高压环境下多硅白云母的形成条件, 它表明与热液蚀变有关的金矿中, 含铬绢云母的形成环境是富 Si 的, 与硅化强烈相对应。因此, 含铬绢云母四面体中 Si 离子数指示蚀变程度, Si 离子数多是硅化强烈的反映。

含铬绢云母中 Cr₂O₃ 含量, 目前统计可达 2%, 多数小于 1%, 并含少量 Ni、V、Ti、Mg、Fe 等, 它们是 Au 沉淀富集的直接标志。Cr 离子数高往往指示金品位高, 但在一些大型、特大型金矿中, 由于受矿化规模大的影响, Cr 和 Au 较分散, 故 Cr 离子数较低, 金品位也不高。因此, 含铬绢云母中 Cr₂O₃ 含量高, 可指示金品位较高, Cr₂O₃ 含量低金品位也较低, 并暗示矿化规模较大。

含铬绢云母中 K₂O 的变化范围 6.42% ~ 11.37%, 层间 K 离子数为 0.45 ~ 0.99, K 不足 1, 往往由 H₂O 替代^[4], 而 H₂O 是水热蚀变作用中主要组分。因此, 含铬绢云母层间 K 离子数越少越有利于蚀变和矿化, 随着矿化规模增大, 含铬绢云母中 K₂O 含量也增高, 是含铬绢云母在破碎蚀变带中不同部位的反映, 从边部到中部, 随破碎、蚀变、矿化程度增高, K 减少, H₂O 增多。

1.5 晶体结构

对含铬绢云母粉晶 X 射线衍射实验, 全部为 2M₁ 多型。已有的资料表明绢云母多型与其水化程度有一定的关系 (表 1)。绢云母化的物理化学条件有利于 2M₁ 多型形成, 水云母则以 1M 多型为主, 至于 1Md、2M₂、3T 变体在绢云母中很少出现或仅以混入物形式出现。胶东金矿富矿体中产出的贫 K 富 H₂O 的含铬绢云母最初便可能以 1M 多型为主, 即可能有一部分 2M₁ 变体是由矿化期形成的 1M 变体经过作用持续时间增加转变而成。

不同金矿含铬绢云母晶胞参数 (表 2),

具有随 SiO₂ 含量增加、K₂O 含量减小而变小的趋势,尤其反映在 a₀ 值上,即 a₀ 值与 SiO₂ 含量呈反比,与 K₂O 含量呈正比(图 2)。因此,含铬绢云母 a₀ 值小可指示 H₂O 含量高,是硅化强烈、水热蚀变程度高的标志,反映矿化程度高。据此 a₀ 值可作为评价含矿性的良好标志,也可作为矿物学填图的有效要素。

表 1 绢云母水化程度与多型

矿 物	$\Delta d(\text{\AA})$	多型
非水化绢云母	0	2M ₁ , (3T)
弱水化绢云母	0.03~0.01	2M ₁ >1M
强水化绢云母	0.1~0.15	1M>2M ₁
水云母	>0.15	1M, (1Md)

$\Delta d = d(001)_{\text{天然}} - d(001)_{\text{乙二醇}}$, 据 Омеляненко, 1982 年资料[4]整理。

1.6 光性

含铬绢云母的水化程度较高,又含一定的 Cr₂O₃,重元素 Cr 会减小八面体层结构单元层平行与垂直两个方向上的折射率差别,(OH)和 H₃O⁺会造成折射率减小,层间氢键与层面垂直,还会造成层间连系加强,即 N_p 增大(叶大年,1988)^[7]。故联合作用的结果会造成重折射率降低。因此,含铬绢云母的干涉色常为浅黄色,低于正常绢云母的红、黄、绿、蓝等鲜艳干涉色。据此在显微镜下可区分含铬绢云母与绢云母。

表 2 含铬绢云母晶胞参数(Å)与化学成分(%)

矿床	样号	a ₀	b ₀	c ₀	β	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	SiO ₂
三山岛	SQ24	5.186	9.001	20.092	95°38'	7.43	0.96	49.31
	SQ3	5.194	9.005	20.094	95°45'			
	SQ22	5.201	9.006	20.131	95°42'	10.75	0.31	48.38
	SQ7	5.203	8.998	20.100	95°46'			
	SQ11	5.204	9.018	20.126	95°49'	10.99	0.25	47.48
焦家	JD1	5.139	8.796	19.981	95°46'	7.23	0.69	50.97
	JY10	5.175	9.003	20.066	95°24'	8.49	0.31	47.67
	JY3	5.202	8.999	20.088	95°51'			
新城	XE6	5.174	9.007	20.094	95°35'	8.80	0.40	51.18
	XE1	5.201	9.005	20.094	95°48'			

中国地质大学 X 光室张建洪测,1989。

1.7 差热分析

含铬绢云母的差热分析曲线如图 3 所示,去羟基化吸热谷较宽,表明脱羟基结构水

是在较大的温度区间内完成的且连续的吸热过程。不同矿区、不同样品的吸热效应为 580~750℃,在 80~120℃还普遍出现弱的脱层间水及吸附水的吸热效应,以上特征均表明含铬绢云母的水化程度较高。水化程度还可从其热失重量分析看出(表 3),其中 WT₁ 为层间水及吸附水含量,WT₂ 为结构水含量,WT 为各种水含量总和。进一步证实含铬绢云母的水化程度与 Cr₂O₃ 含量及矿化强度呈正相关。

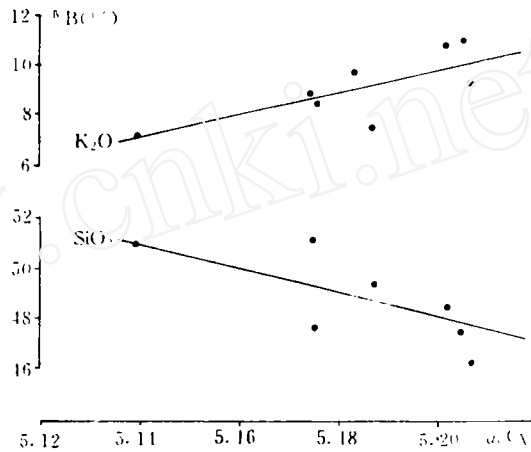


图 2 含铬绢云母 a₀ 值与化学成分关系

2 形成机理

由表 4 可见,在胶东地区矿源层形成阶段,Cr 元素主要赋存于暗色造岩矿物及副矿物中,而浅色造岩矿物中 Cr 含量较少,Cr 元素分异程度较高。

随着重熔型花岗岩类的形成,从矿源层中释放转移出来的 Cr 沉淀于岩浆早期形成的副矿物、暗色甚至浅色造岩矿物中,表明 Cr 较分散;岩浆晚期形成的浅色造岩矿物中 Cr 含量甚少,体现了 Cr 优先在早期结晶相中晶出的特征;在岩浆期后伟晶岩中 Cr 含量又有所增加。Cr 全部集中进入浅色长英质矿物中,使其 Cr₂O₃ 含量升高。

在成岩成矿过渡阶段,即动力变质与热液蚀变阶段,早期无水硅酸盐及晚期含水硅酸盐形成期,均无 Cr 沉淀,全部暗色矿物及

大部分浅色矿物发生蚀变分解,有利于Cr元素的释放运移。

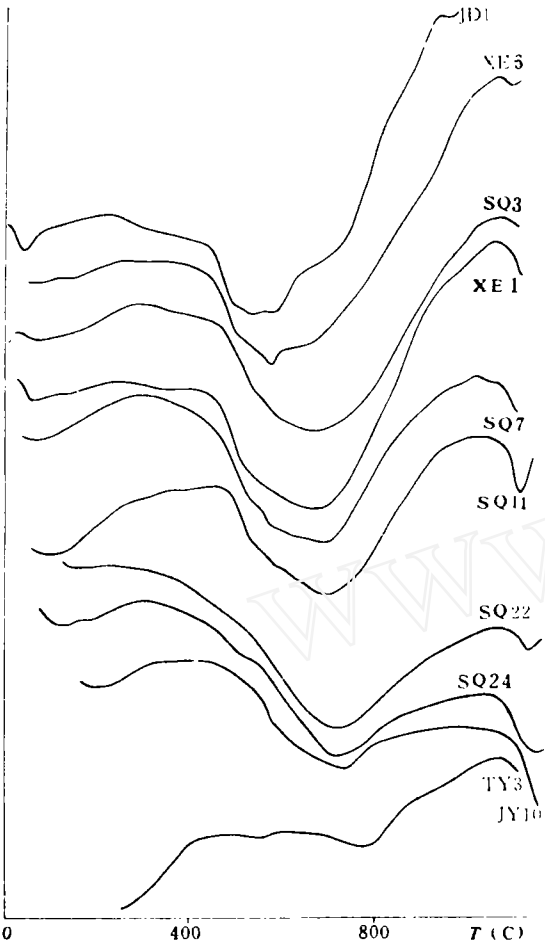


图3 含铬绢云母差热分析曲线

表3 胶东金矿中含铬绢云母热重分析(wt%)

矿床	样号	WT ₁ (80~120℃)	WT ₂ (580~750℃)	WT(80~750℃)	Cr ₂ O ₃ (%)	矿化
三山岛	SQ24	0.63	6.74	7.37	0.96	
	SQ22	0.42	4.08	4.50	0.31	强
	SQ7	0.13	4.00	4.13	+	↓
	SQ3	0.10	3.70	3.80	+	弱
	SQ11	0.12	3.67	3.79	0.25	
焦家	JY3	0.50	9.72	10.22	+	强
	JD1	0.50	7.50	8.00	0.68	↓
	JY10	—	1.92	1.92	0.31	弱
新城	XE1	0.33	4.33	4.66	+	强
	XE6	0.28	2.93	3.21	0.40	↓弱

中国石油大学差热分析室测,1989。

成矿阶段早期,尤其是中期,脉石矿物普

遍含Cr,银金矿及自然金中也含一定量的Cr。充分表明主成矿阶段有利于Cr的沉淀。但大量Cr还是集中于含铬绢云母中,此与其在八面体配位中的晶体场稳定能很高(Bürns, 1970)^[9],易于代替Al进入Al—O八面体有关。

因此,由含铬绢云母的形成过程揭示,Cr来源于胶东群地层,在I型花岗岩类中较分散,在成矿前奏再次得到释放与运移,沉淀于主成矿阶段。故含铬绢云母形成机理表明Cr元素具一定的示踪性特征,可有效揭示胶东金矿矿质来源^[8]。

3 找矿意义

Cr与Au具紧密的地球化学亲缘性,故胶东地区Cr元素的自然历史演化过程也正是Au的演化过程,含铬绢云母的出现,是与基底活化作用有关的胶东金矿矿化的直接标志,其中Cr与Au同源于胶东群地层。

在胶东金矿成矿作用过程中,铬铝云母亚族^[10]矿物出现的先后顺序反映形成环境的规律是^[6]:

在成岩成矿过渡阶段晚期,由于较高的温度与挥发分,出现白云母;

在成矿阶段早期,由于温度降低,出现绢云母;

在主成矿阶段,随着硅化增强、水热蚀变程度提高、物理化学条件的变化,利于Au与Cr的沉淀,出现含铬绢云母。

即从成矿前奏到主成矿阶段、从围岩到矿体,由白云母、绢云母向含铬绢云母过渡。这一变化过程所反映的形成环境是,矿化原岩中矿物分解彻底、环境富挥发分、由氧化到还原、由碱性到近中性、水热蚀变作用加强、硅化程度增高,标志着金由释放、运移到沉淀、富集的过程。因此,苹果绿至翠绿色的含铬绢云母可作为胶东金矿成矿与找矿的标型矿物。

值得提出的是,绿岩带型金矿中也出现

含铬绢云母,但并不一定指示金矿化,因为该类型矿化直接表现为对结晶基底的继承,缺重熔型花岗岩类形成阶段,即Cr未经历分散与分异过程,结晶基底中Cr较高背景保存较好,即使在较弱的热液蚀变作用下,Cr也能得到浓集,并出现含铬绢云母,而金矿化要在热液蚀变程度足够高的条件下才会发生。Boyle(1979)曾提到在规模较大的基性岩剪切带中,铬云母发育,金矿化却不强^[11]。其原因是基性岩中Cr的背景值较高,易浓集。实际上含铬绢云母化学成分上也有反映,在金矿化不强的情况下出现的含铬绢云母往往其四面体中Si离子数较低、层间K离子数较高即H₂O含量较低,指示硅化弱、水热蚀变程度低。因此,在利用含铬绢云母进行找矿时,要辩证地分析成矿地质背景和详细研究含铬绢云母化学成分特征。

4 结论

(1)胶东金矿中产出的含铬绢云母由于与金矿化有密切的时空关系,呈鲜艳的绿色,在野外易于识别,可作为野外工作中直接的找矿标志。在胶东金矿围岩中常出现的“红化”,即长石、石英中出现赤铁矿化而被染色,有时还含有大量微晶状金红石(陈光远等,1993)^[12]。“红化”与暗色矿物消失释放出Fe³⁺、Fe²⁺、Ti等并与Fe²⁺氧化成Fe³⁺有关,指示氧化环境,Au⁰氧化成Au⁺、Au³⁺形式迁移,是金矿化的前奏。而含铬绢云母化即“绿化”,指示还原环境,Au³⁺、Au⁺还原成Au⁰而沉淀,Fe³⁺还原成Fe²⁺,并以硫化物形式沉淀,为成矿时的产物。因此在野外把“红化”与“绿化”结合起来考虑,是快速、简便、经济、有效地金矿找矿勘探方法。

表 4 胶东地区金矿成岩成矿过程中Cr元素的演化

矿物	成 岩 阶 段				过 渡 阶 段		成 矿 阶 段		
	矿源层	岩浆早期	岩浆晚期	伟晶岩	早	晚	早	中	晚
菱铁矿									0.001(1)
方解石								0.14(1)	0.002(2)
铁白云石								0.09(2)	
自然金								0.23(12)	
银金矿								0.74(19)	
铬绢云母								0.50(32)	
绢云母							0.03(16)		
白云母						微			
绿泥石						0.00(2)		0.05(3)	0.00(2)
金红石						0.00(1)		0.14(1)	
钠长石				0.15(1)	0.02(2)	0.00(1)	0.05(4)		
石 英			0.04(2)				0.01(2)	0.14(2)	
微斜长石		0.04(4)	0.00(4)	0.12(7)	0.03(2)				
磁铁矿		0.13(11)	0.00(1)						
榍 石		0.17(2)							
褐帘石		0.24(11)							
斜长石	0.02(1)	0.04(3)	0.00(2)	0.17(4)					
石榴石	0.03(8)		0.01(1)						
黑云母	0.03(7)	0.07(3)							
角闪石	0.06(14)	0.08(4)							
辉 石	0.12(2)								
磷灰石	0.13(1)								
锆 石	0.13(1)								

括号内数字为样品数;银金矿Cr含量为Crwt%,其余为Cr₂O₃wt%;据陈光远等,1994^[8]。

(2)含铬绢云母颗粒细小,干涉色较低,常呈浅黄色,其化学成分中具有高Si低K特征,是硅化强烈、水热蚀变程度高的产物。Cr₂O₃含量多数小于1%,虽指示金品位不高,但可暗示矿化规模较大。以2M₁型为主,对于含K₂O较低即含H₂O较高的可能由

1M 多型转变而成,反映到晶胞参数 a_0 较小,差热分析去羟基化吸热谷较宽、有脱层间水及吸附水效应、热失重量较大。这些都是金矿化的有利标志。

(3)由含铬绢云母形成机理揭示,从太古代胶东群地层中释放转移出来的 Cr,在中生代重熔型花岗岩类形成过程中产生分异与分散,在成矿前奏的动力变质与热液蚀变过程中得到充分活化运移,进入成矿阶段便产生大幅度集中沉淀。Cr 元素的这一示踪性特征显示,成矿作用对重熔型花岗岩类、重熔型花岗岩类对结晶基底具物质成分上的继承关系,反映胶东金矿成矿与基底活化作用密切相关。

参考文献

1 陈光远、邵伟、孙岱生. 胶东金矿成因矿物学与找矿.

重庆出版社,1989.
2 马尔富宁, A. C. (蔡秀成等译). 矿物的谱学、发光和辐射中心. 北京: 科学出版社, 1984.
3 Rossman, G. R., *Micas Reviews in Mineralogy*, Bailey, S. W., 1984, 13:145~181.
4 Омельяненко, Б. И., Воловикова, И. М., Дриц, В. А., и др. *Серия Геологическая*, 1982, 5: 69~87.
5 Eerl, D. D., Srodon, J., Lee, M., Nadeau, P. H., Northrop, H. R., *American Mineralogist*, 1987, 72: 914~934.
6 鲁安怀、陈光远. 岩石矿物学杂志. 1994, 13: (待刊).
7 叶大年. 结构光性矿物学. 北京: 地质出版社, 1988.
8 陈光远、鲁安怀. 地学前缘, 1994, 1(3).
9 Burns R. G., *Mineralogical Applications of Crystal Field Theory*, Cambridge University Press, 1970.
10 鲁安怀、陈光远. 地质论评, 1994 (待刊)
11 Boyle R. W., *The Geochemistry of Gold and its Deposits*, Geological Survey Bulletin 280, 1979.
12 陈光远、孙岱生、周昀若等. 胶东郭家岭花岗岩闪长岩成因矿物学与金矿化. 北京: 中国地质大学出版社, 1993.

Chromiferous Sericitization in Gold Deposits and Its Significance for Ore Prospecting
Lu Anhuai Chen Guangyuan

In Jiaodong gold ore, typomorphic characteristics of chromiferous sericite, i. e. Color, particle diameter, shape, chemical composition, arystal structure, optical character and DTA etc., have been studied in detail. Gold ore prospecting method which combines reddish alteration with greenish alteration (chromium-bearing sericitization) is discussed. By Cr tracer element, the inherent relationship of Jiaodong gold ore with mineralization and the source bed has been revealed.

Key words: Cr-bearing sericite, Jiaodong gold ore

(上接第 31 页)

表 3 堇青石角岩的物理性能(平均值)

干燥抗压强度		冻循环抗压强度		抗弯曲强度		体积密度	光泽度	吸水率	硬度	耐磨性	热膨胀系数
MPa	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	(g/cm ³)	(度)	(%)	(HS)	(g/cm ²)	(1/°C)
278	2724	>235	>2479	36	353	2.68	83	0.029	107	0.276	1.23×10 ⁻⁵

②颜色呈墨黑色、紫黑色,有的有白色细纹。板材在装饰施工中与玻璃幕墙、铝合金、不锈钢构件组合,能形成格调高雅的高级配套装饰效果。石材配以白底黑边、黑底白边、红底黑边等组合,效果生动,有赏心悦目的装饰性能;

③态体感强,光板色调均匀,特别适合于庄重、肃穆的场合,是纪念馆、墓地最珍贵的石材。现在日本已求购墨玉做墓地装饰材料,可以预见,墨玉的开发利用大有前景;

④永不磨损,堇青石角岩硬度高达 7,耐磨又不怕酸、碱腐蚀,是墙面、地面的高级装

饰材料,优于黑色大理石、黑色花岗石。

3.2 其他用途

①是极好的家俱贴面,如桌面、茶几面等;

②做影雕工艺品。在墨玉底板上,按各种图形雕刻出人物、山水、虫鸟花卉、书法、人像,再杂以金粉,可成极好的工艺品或招牌。;

③工业用途。堇青石角岩热膨胀系数极低,其微粉可烧制工业陶瓷,用作各种机械仪器、仪表、化验室台面、底座。现在中国科技大学师生正在开发研究中。