

陕西洛南马坡石英岩矿地质特征及工业意义

杨鹏飞¹, 谭兴华², 赵仁夫¹, 温志亮¹

- (1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
2. 西北有色地质勘查局七一二总队, 陕西 咸阳 712000)

摘 要: 综述了马坡石英岩矿区的区域地质、矿区地质、矿体形态及规模、矿石矿物和矿石化学成分等特征, 并对矿床成因进行了分析, 认为该矿是沉积变质型石英岩矿。该矿石质量已符合一级品—二级品平板玻璃用硅质原料的要求, 通过提纯处理可作为太阳能多晶硅的原料。

关键词: 石英岩; 地质特征; 成因分析; 马坡

中图分类号: P619.23 **文献标识码:** A

由于国内市场对多晶硅的需求越来越大, 近年来, 多晶硅的市场价格出现了快速上涨, 从 2010 年 350~650 元/千克, 到 2011 年达到 720 元/千克。作为多晶硅的原料矿石石英岩矿也得到了快速发展。陕西地区有较丰富的石英岩矿产资源, 除满足本地区外, 还远销西北数省(区)。洛南县马坡脉石英岩矿, Si 含量大于 99.23%, 可以作为太阳能多晶硅的优质原料矿石。因此, 对这类石英岩矿的研究具有较好的经济和社会价值。

1 矿区地质背景

研究区位于华北地块与秦岭造山带的结合部位。以雷村-阎穴断裂带(属宝鸡-洛南-栾川深大断裂带的一部分)为界, 该断裂带以北属华北地块, 断裂带以南为秦岭造山带。前者又以柏峪寺-零口断裂带为界, 划分为 2 个次级构造单元, 柏峪寺-零口断裂带以北为华北地块南缘构造带, 断裂带以北为洛南-栾川构造过渡带。马坡石英岩矿位于柏峪寺-零口断裂带以北的华北地块南缘构造带内(陕西省地质矿产局, 1989; 陈衍景, 1991; 马志

和等, 1996; 张国伟等, 2001)。区域构造以近东西向的褶皱和逆冲断裂构造为主, 其次为北东向断裂构造。前者发育时间长, 规模大, 具有多期次活动特征, 后者主要成生于印支—燕山期, 规模相对较小, 常见切割前期近东西向构造。

华北地块南缘构造带内出露地层主要有: 中元古代、新元古代、早古生代以及新生代地层。中元古代地层为长城纪高山河群的陆缘海相碎屑岩沉积岩系; 蓟县纪的海相镁质碳酸盐沉积岩系; 新元古代地层为青白口纪的含 C、Si 的泥质细碎屑岩系和震旦纪罗圈组的冰水细碎屑岩沉积岩系; 早古生代地层以寒武纪为主, 出露齐全。中元古代地层构成华北地块变质结晶基底, 新元古代和早古生代地层则构成基底沉积盖层; 新生代地层主要为河流冲、洪积和坡积。

矿区出露的地层主要为下寒武统三道撞组和三川组沉积地层(图 1), 沉积地层曾经历低级区域变质作用——低绿片岩相的浅变质作用。

下寒武统三道撞组: 主要为一套泥质细碎屑夹碳酸盐岩沉积。岩性主要有浅黄色板岩、灰黑色碳质板岩、灰白色-灰绿色以及紫红色等杂色千枚岩。

收稿日期: 2012-03-20; 修回日期: 2012-04-05

基金项目: 中国地质调查局西安地质调查中心市场项目“陕西省洛南县马坡石英矿普查”(SLI201020001)

作者简介: 杨鹏飞(1978-), 男, 本科, 工程师, 从事地质矿产研究工作。Email: xaypengfei@136.com

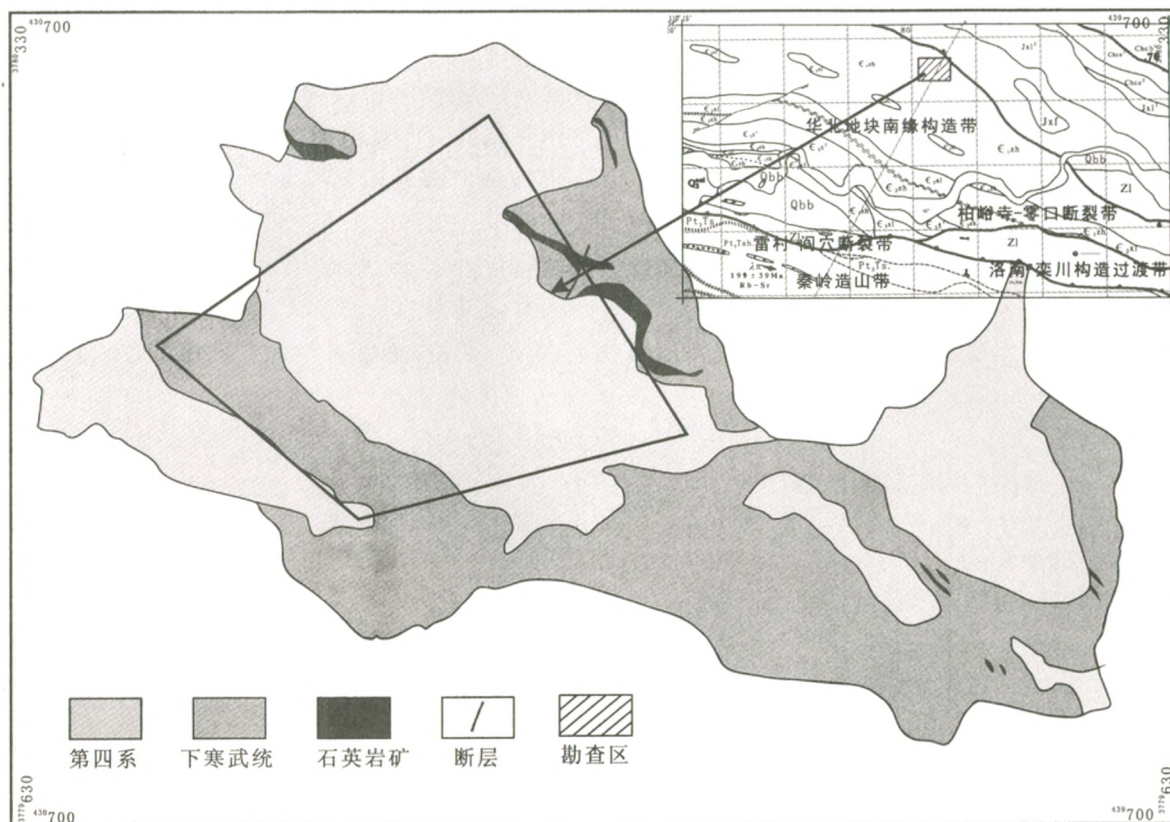


图1 马坡石英岩矿地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of Mapo quartzite mining area

地层产状向南西方向缓倾, 倾角为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。受构造作用, 局部地段产状变化较大, 与上覆三川组为整合接触关系。

下寒武统三川组: 主要为一套碳酸盐岩沉积夹硅质、泥质细碎屑沉积岩系。其主要岩性为灰黑色-灰色(硅质、泥质)石灰岩、灰白色白云质灰岩, 夹硅质岩、石英砂岩及千枚岩等。硅质岩层厚度一般为 $10 \sim 30$ cm。受构造作用影响, 硅质岩层变形强烈, 呈香肠状或长透镜状断续产出。

第四系(Q): 第四系坡积、冲、洪积和现代耕土覆盖较普遍。

研究区位于北西西向延伸的楼村向斜的北翼, 区内地层总体呈向南倾的单斜构造, 倾向 $210^{\circ} \sim 240^{\circ}$, 倾角 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$, 受构造作用影响, 北部三道撞组局部地段产状变化较大。区内断裂构造较发育, 有东西向、北西西向和北北东向断裂, 东西向断裂构造沿本区南部南坡—孙家村一线穿过, 倾向北, 倾角 60° , 属正断层, 北西西向逆冲断裂从测区北部穿过。北北东向—近南北向断裂规模较小,

多呈张性或张剪性质断层, 断层带宽度 $1 \sim 3$ m, 断层带内构造角砾岩发育, 并且有后期的硅质岩充填, 并胶结角砾, 断层面可见断层擦痕。该组方向的断层多横截地层和脉石英矿层。

2 矿床特征及成因

沿地表勘探线共施工槽探 5 个, 大体控制并圈定出脉石英矿体 3 个, 矿体主要赋存在寒武系三川组内。矿体与围岩界线清楚, 矿体顶底板均为浅黄色薄层钙质粉砂岩和浅黄色钙质板岩(表 1), 局部为千枚岩。脉石英矿体与围岩地层为顺层侵入关系, 矿体受地层控制明显。由于地表覆盖, 矿体在地表断续出露。

通过实测地质剖面及填图工作可知, 马坡矿区地层从老到新依次为: 一套深灰色细晶灰岩, 灰岩上部为灰白色粉砂质板岩(Ⅱ号矿体赋存于该层中)、灰-深灰色细晶灰岩夹砾状灰岩、浅黄色粉砂岩加板岩(Ⅲ号矿体赋存于该层中)、深灰-灰黑色

表 1 马坡矿区地层单元简表
Tab. 1 Stratigraphic unit for Mapo mining area

系	统	组	层号	代号	岩 石 组 合	柱状图
寒 武 系	下 统	三 道 撞 组	(24)	GLLs	灰-深灰色薄层状灰岩	
			(23)	BTSiLs	深灰-灰黑色中厚层状硅质条带灰岩	
			(22)	YSI	浅黄色钙质板岩	
			(21)	GTLs	深灰色中厚层状灰岩	
			(20)	WMLs	浅灰-灰白色块状结晶灰岩	
			(19)	RMSiLs	棕红色块状硅质条带灰岩	
			(18)	GTLs	深灰色中厚层状结晶灰岩	
			(17)	BTSiLs	深灰-灰黑色厚层状硅质条带灰岩	
			(16)	RTLs	浅灰-肉红色中厚层状灰岩	
			(15)	BTSiLs	深灰-灰黑色厚层状硅质条带灰岩	
			(14)	GMLs	浅灰色块状结晶灰岩	
			(13)	YSI	浅黄色钙质板岩	
			(12)	YLSs	浅黄色薄层钙质粉砂岩	
			(11)	WLLs	灰白色薄层灰岩	
			(10)	RZLs	浅肉红色中层状结晶灰岩	
			(9)	RTLs	浅肉红色厚层状砾状灰岩	
			(8)	WTLs	浅灰-灰白色中厚层细晶灰岩	
			(7)	GTLs	深灰色中厚层细晶灰岩	
			(6)	RZLs	浅肉红色薄-中厚层细晶灰岩	
			(5)	WTLs	浅灰-灰白色厚层结晶灰岩	
			(4)	WZLs	灰白色薄-中厚层灰岩	
			(3)	GTLs	深灰色中厚层灰岩	
			(2)	WSI	灰白色钙质粉砂质板岩	
			(1)	GTLs	深灰色中厚层细晶灰岩	

硅质条带状灰岩夹浅灰-肉红色中厚层灰岩。

矿区脉石英矿主矿层空间上分布于矿区西北部，主矿体地表出露长 425 m，出露海拔高度 850 ~900 m，矿体厚度 3~6 m，平均厚度 4.5 m，厚度稳定，矿体总体产状 205°∠38°，与地层产状基本一致。由于北北东向断层影响，矿体东段被反时针错断，断距约 5 m。矿区主要圈出 2 个矿体（图 2），其特征如下。

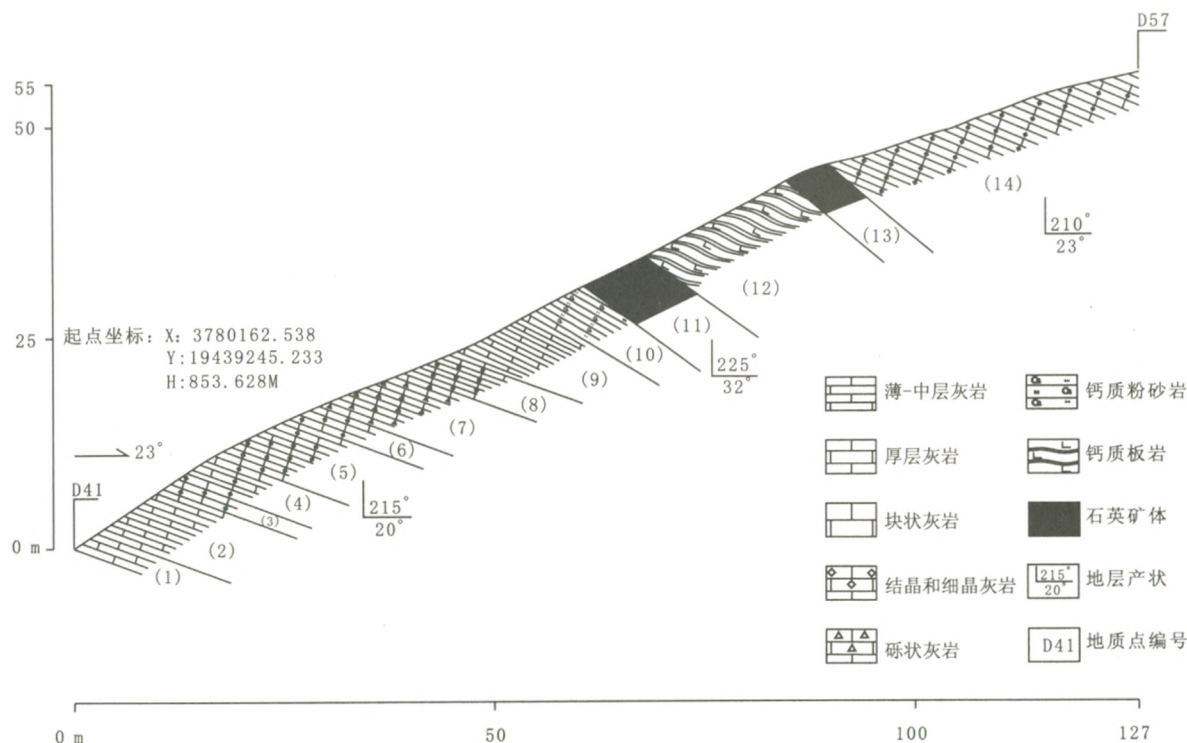


图2 马坡石英矿区实测地质剖面图

Fig. 2 Map of measured geological cross section Mapo quartzite mining area

I号矿体：最小厚度3.2 m，最大厚度5.6 m，平均厚4.24 m，大致呈似层状北西西—南东向展布。工程控制的矿体长度为317 m，出露标高885~900 m。矿体产状 $205^{\circ}\angle 38^{\circ}$ ，矿体沿走向连续性较好，矿体顶底板岩石为浅黄色钙质板岩及浅黄色薄层钙质粉砂岩，受断裂影响小。

II号矿体：与I号矿体平行展布，最小厚度4.4 m，最大厚度6 m，平均厚度5.1 m，工程控制长度130 m，出露标高887~900 m，矿体产状 $205^{\circ}\angle 37.5^{\circ}$ ，矿体沿走向连续性较好，矿体顶底板岩石为浅灰色块状结晶灰岩及浅黄色钙质板岩。

从地层空间分布及古地理环境分析，在早前寒武纪时期，该区地壳活动性不太强，为一浅海盆，原始沉积物为石英砂质-砂-粉砂泥质及富Mg碳酸盐岩等，为一套滨、浅海相沉积建造。该矿区地质构造复杂，演变历史悠久，变质作用强烈。经过后期区域变质作用事件，原岩发生重结晶作用，形成细晶脉石英，在后期的热液活动作用下， SiO_2 矿液对脉石英进行了交代置换、熔融再生、充填等一系列矿化作用，并在有利的沉淀空间——层间断裂或裂隙中（图3B） SiO_2 进一步富集（陶维屏等，

1994），从而形成了该区石英岩矿床。综上所述，依据矿体产出地质特征、矿石特征，推断为沉积变质型石英矿床。

3 矿石特征

3.1 矿石矿物特征

含矿岩石镜下定名为石英岩，呈灰-灰白色，矿物，粒度以隐晶、微晶结构为主（图3A），少数为细粒结构。主要矿物成分为石英，是最主要的有用矿物成分，含量大于99%；脉石矿物含量小于1%，以长石为主，局部可见白云石、绢云母、黑云母等。石英颗粒直径多小于0.1 mm，由较纯净的石英单晶组成了多晶石英，单晶有轻微的压扁定向，具有弱波状消光，裂理不发育。由于地表Fe的氧化作用，露头矿石表面染色呈微弱的褐红色。矿石致密坚硬，锤击之易成棱角状碎块。

3.2 矿石化学成分

I号矿体（图4、表2）： SiO_2 含量一般为96.86%~99.69%，平均为99.23%； Al_2O_3 含量为0.06%~0.33%，平均含量为0.14%； TFe_2O_3

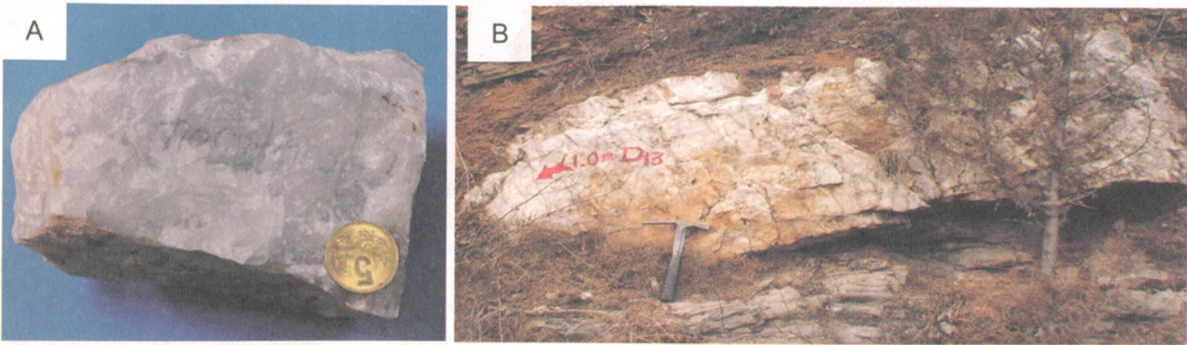


图 3 马坡石英矿矿石宏观特征照片
Fig. 3 Macroscopic photos for Mapo quartzite ore
A. 马坡石英矿矿石标本; B. 马坡石英矿顺层产出

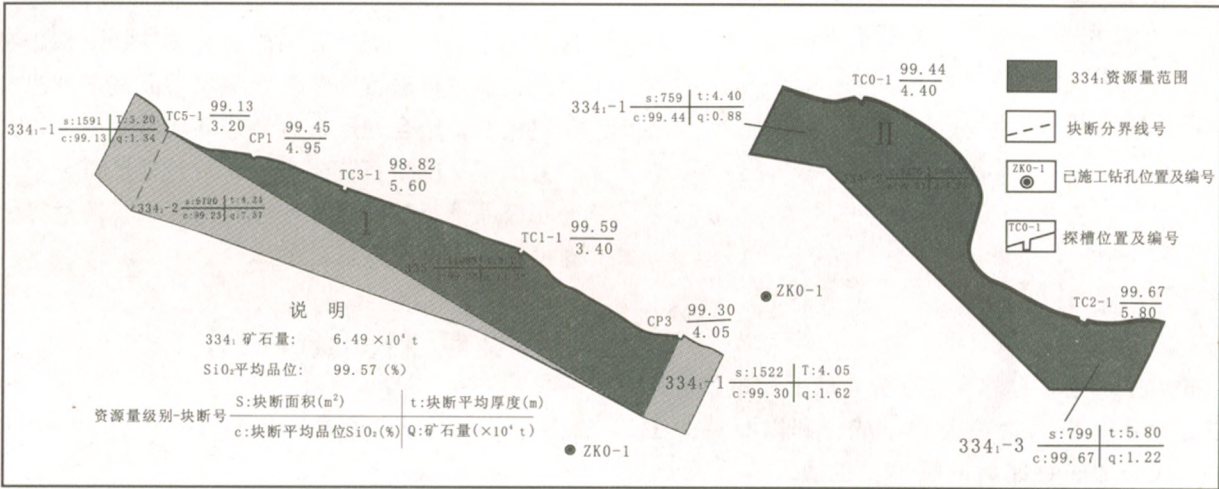


图 4 马坡石英矿矿床 I 和 II 号矿体水平投影图
Fig. 4 Horizontal projection for No. 1 and No. 2 ore-body of Mapo quartzite deposit

表 2 I 号矿体单工程平均品位表
Tab. 2 The average grade of No. 1 ore-body

序号	工程编号	单工程厚度 (m)	单工程平均品位 (10 ⁻²)			
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	灼失	TF _{Fe} O ₃
1	TC1-1	3.40	99.59	0.1	0.09	0.23
2	TC3-1	5.60	98.82	0.19	0.33	0.24
3	Tc5-1	3.20	99.13	0.15	0.22	0.18
4	CP1	4.95	99.45	0.13	0.18	0.2
5	CP3	4.05	99.3	0.09	0.27	0.19
平均品位			99.23	0.14	0.23	0.21

含量为 0.08%~0.56%，平均含量为 0.21%；TiO₂ 含量为 0.010%~0.015%，平均含量为 0.012%；Cr₂O₃ 含量为 0.000 23%~0.000 78%，平均含量为 0.000 44%；矿石有害成分（TiO₂、Cr₂O₃）含量很低。矿体产状 205°∠38°，矿体沿

走向连续性较好（表 1 中的第 11 层），矿体顶底板岩石为浅黄色钙质板岩及浅黄色薄层钙质粉砂岩，受断裂影响小。由于地表覆盖，矿体在地表断续出露。

II 号矿体（图 4、表 3）：SiO₂ 含量一般为

表3 II号矿体单工程平均品位表
Tab. 3 The average grade of No. 2 ore-body

序号	工程编号	单工程厚度 (m)	单工程平均品位 (10^{-2})			
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	灼失	TF ₂ O ₃
1	TC0-1	4.40	99.44	0.17	0.19	0.22
2	TC2-1	5.80	99.67	0.08	0.1	0.19
平均品位			99.57	0.12	0.14	0.20

99.25%~99.78%，平均为99.57%；Al₂O₃含量为0.06%~0.26%，平均含量为0.12%；TF₂O₃含量为0.14%~0.27%，平均含量为0.20%；TiO₂含量为0.010%~0.015%，平均含量为0.012%；Cr₂O₃含量为0.000 23%~0.000 78%，平均含量为0.000 44%；矿石有害成分（TiO₂、Cr₂O₃）含量很低。矿体产状205°∠37.5°，矿体沿走向连续性较好，矿体（表1中的第13层）顶底板岩石为浅灰色块状结晶灰岩及浅黄色钙质板岩。

4 工业应用评价

硅质原料是在自然界广泛分布的一种重要的矿产资源，是以SiO₂为主要化学成分和以石英为主要矿物成分的矿物原料的统称，包括天然石英砂、石英岩、石英砂岩、脉石英和粉石英等。硅质原料是生产玻璃最主要的原料之一，其质量关系着矿石的应用范围及直接的经济效益。通常SiO₂含量愈高、Fe等有害元素愈低，则矿石品质越高。

多晶硅按照纯度可分为：冶金级硅（或者金属硅，一般含Si 95%左右）、太阳级硅（含Si为99.99%~99.99.9 9%）以及电子级硅（含Si大于99.999 9%，超高纯度可达7~9个9）（李江，2011）。多晶硅的用途十分广阔，国际上多晶硅的需求主要来自半导体和太阳能电池，同时也广泛应用于金属陶瓷、宇宙航行、光导纤维通信。

根据我国对硅质原料的质量要求和各行业的工业要求，马坡石英岩矿的矿石工业类型已达到平板玻璃用硅质原料优等品（郑延力等，1992；杨福新等，1998；方应贤等，2011）。该矿石中的杂质矿物（含量一般小于0.7%）可以通过物理方法与石英解离，并且能够从中分离出去，在选矿作业就能够生产出高纯度石英产品，从而可以作为太阳能多

晶硅的原料。

5 结论

位于华北地块南缘构造带内的马坡石英岩矿，含矿的地层为一套泥质细碎屑夹碳酸盐沉积，石英岩矿的顶底板岩石为浅灰色块状结晶灰岩及浅黄色钙质板岩。结合地层、古地理环境等分析，认为该矿为沉积变质型石英岩矿。矿石质量已符合一级品一二级品平板玻璃用硅质原料的要求，通过提纯处理可作为太阳能多晶硅的原料。

参考文献 (References):

- 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shaanxi. Regional geology of the Shaanxi Region [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1989.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinlin Orogenic Belt and Continental dynamics [M]. Science Press, Beijing, 2001.
- 陈衍景, 富士谷, 胡受奚, 等. 华北克拉通南缘的地块差异性及其成矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 1991, 15 (3): 265-271.
- Chen Yanjing, Fu Shigu, Hu Shouxi, et al. The inter-block differences and their metallogenic significances of the southern margin of the North China Craton [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1991, 15 (3): 265-271.
- 马志和, 李海平, 计文化. 华北地块南缘向北的薄皮推覆构造及北秦岭加里东造山作用[J]. 陕西地质, 1996,

- 14 (1): 14-19.
- Ma Zhihe, Li Haiping, Ji Wenhua. Northward thin-skinned nappe structure in the southern margin of North China Landmass and Caledonian orogeny in Northern Qinling [J]. *Geology of Shaanxi*, 1996, 14 (1): 14-19.
- 郑延力, 樊素兰. 非金属矿产开发应用指南[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1992.
- Zheng Yanli, Fan Sulan. Development application of nonmetallic minerals [M]. Shaanxi Science and Technology Press, Xi'an, 1992.
- 杨福新, 牟长林, 陈宏斌. 河南省灵宝市故县石英岩矿化地质特征及其应用 [J]. *西北地质*, 1998, 19 (4): 21-27.
- Yang Fuxin, Mou Changlin, Cheng Hongbin. Geological characters and applications of Guxian quartzite deposit in Linbao city, Henan [J]. *Northwestern Geology*, 1998, 19 (4): 21-27.
- 方应贤, 张洪. 凤阳玻璃用石英岩矿地质特征及成因分析 [J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2011, (6): 52-54.
- Fang Yingxian, Zhang Hong. Geological characteristics and genetic analysis of Fengyang quartzite deposit for glass [J]. *China Non-Metallic Minerals Industry*, 2011, (6): 52-54.
- 张本仁. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.
- Zhang Benren. Qinba Lithosphere tectonic and metallogenic regularities geochemistry [M]. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1994.
- 陶维屏, 高锡芬, 孙祁, 等. 中国非金属矿床成矿系列: 矿床含矿建造、成矿系列、形成模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- Tao Weiping, Gao Xifen, Sun Qi, et al. The minerogenetic series of nonmetallic mineral deposits of China: Ore-bearing formation, minerogenetic series and formation model [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1994.

Geological Characteristics and Industrial Significance of Mapo Quartzite Deposit, Shaanxi

YANG Peng-fei¹, TAN Xing-hua², ZHAO Ren-fu¹, WEN Zhi-liang¹

(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, China; 2. No. 712 Party of Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals in Northwest China, Xianyang 712000, China)

Abstract: In this paper, the regional geological characteristics, ore shape and type, mineral characteristics, ore chemical composition, quality of Mapo quartzite deposit were introduced. The deposit genesis was analyzed and the deposit was believed to be the sedimentary-metamorphic quartzite mine. The ore has complied with the quality of first-second degree of flat glass silicon material and can be used as the solar energy polycrystalline silicon material after purification.

Key words: quartzite; geological characteristics; genetic analysis; Mapo