

中国脉石英矿成矿特征及成矿区带划分

王波¹, 郝文俊¹, 詹建华¹, 张徐¹, 陈军元², 于海军²

(1. 中国建筑材料工业地质勘查中心安徽总队, 安徽 合肥 230031; 2. 中国建筑材料工业地质勘查中心, 北京 100035)

摘要: 高纯石英广泛应用于半导体、光伏、光通讯、电光源等高新技术产业, 在国家战略性新兴产业、经济安全和国防安全等方面都具有重要地位和作用, 是世界稀缺、我国短缺的资源。脉石英是加工高纯石英砂的理想原料之一, 本文在广泛收集和 research 脉石英勘查成果的基础上, 根据脉石英矿床的大地构造环境、分布特征、成矿特征和控矿因素, 划分了中国脉石英矿床的成矿区带, 并对各个成矿区带的成矿特征做了简述; 总结了脉石英矿床成矿规律。脉石英矿床类型主要以岩浆成因热液型为主, 其次为变质成因热液型和伟晶岩型, 主要成矿期为燕山期, 其次为华力西期、加里东期、晋宁期和印支期。初步划分了脉石英成矿区带 27 个, 提出吕梁、南秦岭、桐柏-大别、东海-赣榆、阿尔泰山共 5 个脉石英成矿区带是我国重要的高纯石英用脉石英成矿区带。本次脉石英成矿规律总结及成矿区带的划分对脉石英找矿勘查部署提供了理论依据。

关键词: 中国脉石英矿床; 矿床成因; 成矿特征; 成矿区带; 成矿规律

中图分类号: P619.23³

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2025)02-0415-23

Metallogenic characteristics and metallogenic zoning of vein quartz deposits in China

WANG Bo¹, HAO Wen-jun¹, ZHAN Jian-hua¹, ZHANG Xu¹, CHEN Jun-yuan² and YU Hai-jun²

(1. Anhui Branch of China National Geological Exploration Center of Building Materials Industry, Hefei 230031, China;

2. China National Geological Exploration Center of Building Materials Industry, Beijing 100035, China)

Abstract: High-purity quartz is widely used in high-tech industries such as semiconductors, photovoltaics, optical communication, and light sources. It plays an important role in national strategic emerging industries, economic security, and national defense security, and is a scarce resource in the world and China. Vein quartz is one of the ideal raw materials for processing high-purity quartz raw materials. Based on extensive collection and research of vein quartz exploration results, this article divides the mineralization zones of vein quartz deposits in China according to their tectonic environment, distribution characteristics, mineralization characteristics, and controlling factors, and briefly describes the mineralization characteristics of each mineralization zone; Summarized the ore-forming laws of vein quartz deposits in China. The main types of vein quartz deposits are magmatic hydrothermal vein type, followed by metamorphic hydrothermal vein type, and pegmatite vein type. The main mineralization periods are Yanshanian, followed by the Hualixi, Caledonian, Jinning, and Indosinian periods. 27 vein quartz mineralization zones have been preliminarily divided, and it is proposed that 5 vein quartz mineralization zones, including the Lüliang, South Qinling, Tongbai-Dabie, East China Sea-Ganyu, and Altai blocks, are important high-purity quartz

收稿日期: 2024-02-28; 接受日期: 2024-11-26; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 中国建筑材料工业地质勘查中心揭榜挂帅项目(建地科[2022]01号); 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2023A03004)

作者简介: 王波(1996-), 男, 工程师, 从事矿产地质勘查工作, E-mail: 2309242306@qq.com; 通讯作者: 郝文俊(1987-), 男, 高级工程师, 从事矿产地质勘查工作, E-mail: haowenjun029@163.com。

vein quartz mineralization zones in China. The summary of the mineralization rules of vein quartz and the division of mineralization zones provides a theoretical basis for the exploration and deployment of vein quartz.

Key words: Chinese vein quartz deposits; ore genesis; metallogenic characteristics; metallogenic zone; metallogenic laws

Fund support: China Building Materials Industry Geological Exploration Center Unveiled and Led the Project (Jiandike[2022]01); Major Science and Technology Special Projects in Xinjiang Uygur Autonomous Region (2023A03004)

硅是自然界中分布很广的一种元素,在地壳中的丰度为 27.72%(汪灵, 2021)。而 SiO_2 在地壳中所占的质量分数高达 60%~65%,地壳中 SiO_2 主要以石英等矿物形式存在,石英是在地壳中分布仅次于长石的矿物,是主要的造岩矿物之一,有着广泛的工业用途和广阔的应用前景(杨晓勇等, 2022)。自然界石英矿床成因多种多样,目前常见可供开发利用的石英矿床工业类型主要有 7 种:天然水晶、石英砂岩、石英岩、脉石英、粉石英、天然石英砂和花岗岩石英(郝文俊等, 2020)。石英的工业应用与高纯石英 SiO_2 纯度关系密切,天然水晶、脉石英、花岗岩石英经过精选和加工提纯而成的 SiO_2 含量 $\geq 99.99\%$ 的高纯石英砂,是石英附加值最高的应用领域(刘国库等, 2007)。20 世纪 80~90 年代,美、日、德等少数发达国家采用脉石英、花岗岩石英加工高纯石英,如日本和美国采用花岗岩石英、俄罗斯和德国用脉石英加工高纯石英(詹建华等, 2020),均取得成果。国内一般选用天然水晶作为原料,经过精选提纯后制备高纯石英砂(詹建华等, 2020),但由于我国水晶资源相对匮乏(焦丽香, 2019),花岗岩石英矿尚处于研究阶段,仅在东秦岭及新疆阿尔泰等少数地区发现(张海啟等, 2022a, 2022b),而脉石英中 SiO_2 含量较高,与天然水晶相比,其资源储量相对比较丰富,所以成为研究的重点。国内少数学者已成功采用脉石英制备出 SiO_2 纯度在 99.99%(4N)以上的高纯石英砂(菲令文等, 2010)。汪灵等(2014)采用脉石英通过煅烧水淬、多种酸配方的酸浸优化工艺,获得了 SiO_2 纯度在 4N5 以上的高纯石英砂,并通过进一步改进工艺,在无氯化焙烧工艺条件下加工制备了 SiO_2 纯度 99.9985%或杂质元素总含量为 15.285×10^{-6} 的高纯石英砂。根据国外成果案例和我国研究实践,脉石英是加工高纯石英原料的理想原料之一(高树学等, 2020)。因此,本文在前人研究的基础上,结合新收集的资料和项目中实地调研情况,对全国脉石英的成因类型、分布情况、地质特征及成矿

规律进行了总结,为后续寻找高纯石英原料用脉石英矿和高效利用脉石英矿提供了依据。

1 中国脉石英资源现状

脉石英是中国优势矿产资源,据《2022 年全国矿产资源储量统计表》(中华人民共和国自然资源部, 2023 年)和全国地质资料馆馆藏资料统计可知,全国累计查明脉石英矿产地(包括矿点)608 处,资源量约 41 000 万吨,以玻璃用、冶金用矿产地为主,少数地区由于缺乏硅质原料,也作为硅质配料用于水泥生产。依据中华人民共和国地质矿产行业标准《矿产资源储量规模划分标准》(DZ/T 0400-2022),脉石英矿床资源量规模划分标准是:大型矿床资源量 ≥ 500 万吨,中型为 100~500 万吨,小型 < 100 万吨。全国脉石英矿产地以小矿或矿点(资源量 < 20 万吨)数量居多,达 338 处;大型矿床 19 处(资源量 > 500 万吨),中型 77 处,小型 176 处(图 1)。其中青海省脉石英资源量约 4 500 万吨居全国第一,约占全国脉石英资源量的 11%,矿产地均为大型(余涛等, 2022)。其次为江西省,脉石英资源量约 4 100 万吨,矿产地多以小型及矿点为主,约占全国脉石英资源量的 10%(图 2)。脉石英矿产地分布广泛,主要分布在江西、福建、新疆等 28 个省或自治区,其中江西矿产地(包括矿点)最多,达 143 处,其次为福建,共 78 处,上海、天津、重庆、西藏等地区未发现脉石英矿床。脉石英矿床主要呈脉状、透镜状、似层状产于变质岩或岩浆岩中,其成矿往往受构造裂隙及层间结构面控制,在区域上往往成群出现。

2 中国脉石英矿床类型划分及典型矿床

脉石英是一种几乎全部是致密石英块体组成的脉体,白色、乳白色,多呈粒状结构, SiO_2 含量通常在 98%左右(詹建华等, 2020),是由岩浆作用或变质作

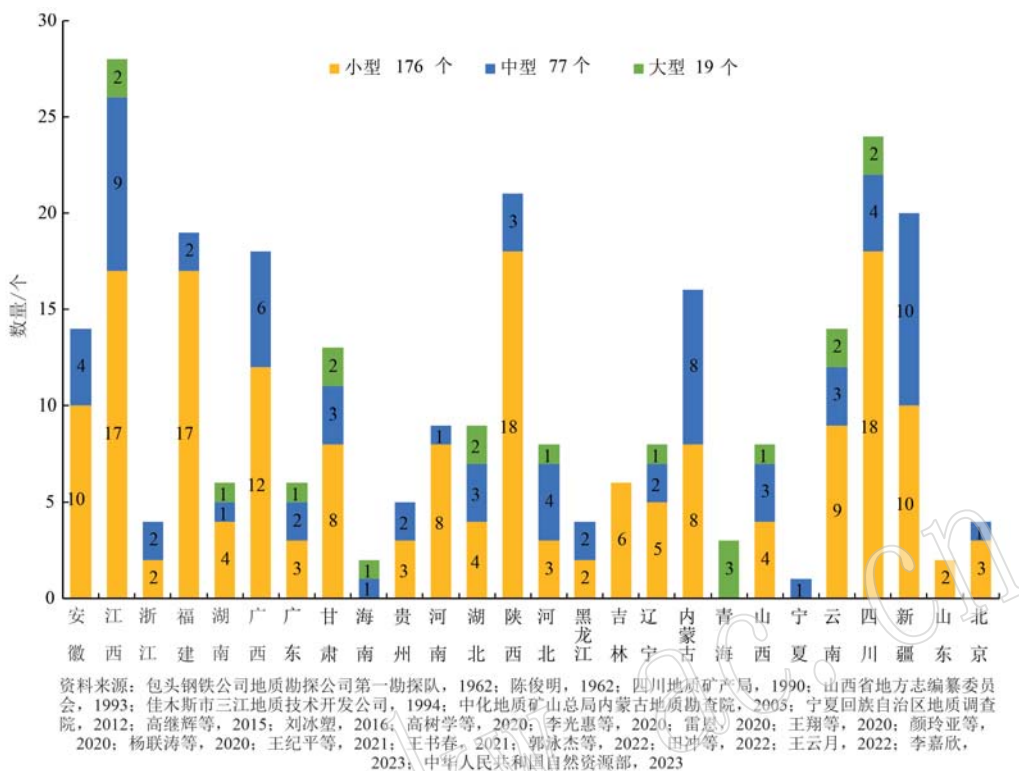


图 1 各地区脉石英矿产地数量分布图

Fig. 1 Distribution map of vein quartz ore production areas in different regions

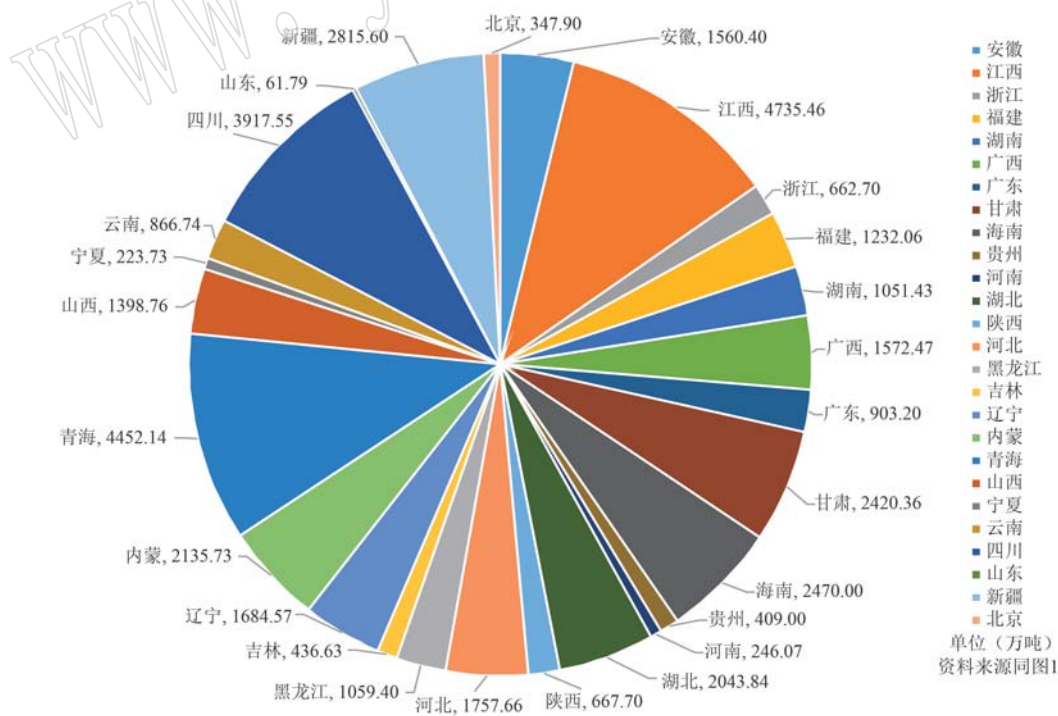


图 2 各地区脉石英资源量分布图

Fig. 2 Distribution map of vein quartz resources in different regions

用(或混合岩化)产生的富硅热液充填于构造裂隙或层间结构面冷却形成的,此外在完全分异的花岗伟晶岩核部形成脉石英常与钾长石、云母伴生(颜玲亚等, 2020)。依据形成过程,普遍认为脉石英的矿床类型可以分为3种:岩浆热液型、变质热液型和伟晶岩型(孙亚东等, 2005; 颜玲亚等, 2020; 杨晓勇等, 2022; 张海啟等, 2022b; 李嘉欣, 2023)。但依据姚凤良等(2006)提出的矿床成因分类方案,岩浆热液型脉石英矿床和变质热液型脉石英矿床均属于热液

矿床,区别在于含矿热液的不同。因此,结合实地调查和所收集的脉石英矿床数据,本文将中国脉石英矿床划分为伟晶岩型脉石英矿床和热液型脉石英矿床,热液型脉石英矿床依据含矿热液的类型可进一步分为岩浆成因热液型脉石英矿床和变质成因热液型脉石英矿床(表1)。依据不同脉石英矿床类型中矿石质量特征,进一步将中国脉石英矿石类型划分为雪白色砂糖状、烟灰色砂糖状、雪白色致密状和乳白色致密状4种矿石类型,见图3。

表1 中国脉石英矿床类型划分方案

Table 1 Classification scheme of vein quartz deposit types in China

矿床成因	矿石类型	赋矿围岩	典型矿床
伟晶岩型脉石英矿床	雪白色砂糖状、烟灰色砂糖状	伟晶岩	山西省闻喜文家坡、山西省忻州石圪迭、山西省中阳弓阳
热液型脉石英矿床	岩浆成因热液型脉石英矿床	中酸性岩浆岩	安徽省休宁璜茅、江西省崇义鹰洞、安徽省旌德龙川、海南省澄迈南蛇岭、青海省大柴旦行委大头羊西沟、河南省唐河县邓庄、湖北省罗田县花桥河
	变质成因热液型脉石英矿床	板岩、千枚岩、片岩、片麻岩、榴辉岩	河南省新县卡房、安徽省潜山塘梨岩、河北省蕲春灵虬山、安徽省太湖县白石山、江苏省东海县红土山、湖北省十堰黄柿坪、陕西省安康米家沟、江西省兴国田福墩、陕西省宝鸡天宝

资料来源: 陈俊明, 1962; 高继辉等, 2015; 刘冰塑, 2016; 高树学等, 2020; 李光惠等, 2020; 雷恩, 2020; 颜玲亚等, 2020; 杨联涛等, 2020; 王翔等, 2020; 王纪平等, 2021; 王书春, 2021; 郭泳杰等, 2022; 田冲等, 2022; 王云月, 2022; 李嘉欣, 2023。

2.1 伟晶岩型脉石英矿床

伟晶岩型脉石英矿床: 脉石英形成于花岗岩顶

部稳定构造环境中,由周围花岗岩再结晶和组成花岗岩的矿物组分的分异作用而成。矿床多为小型,

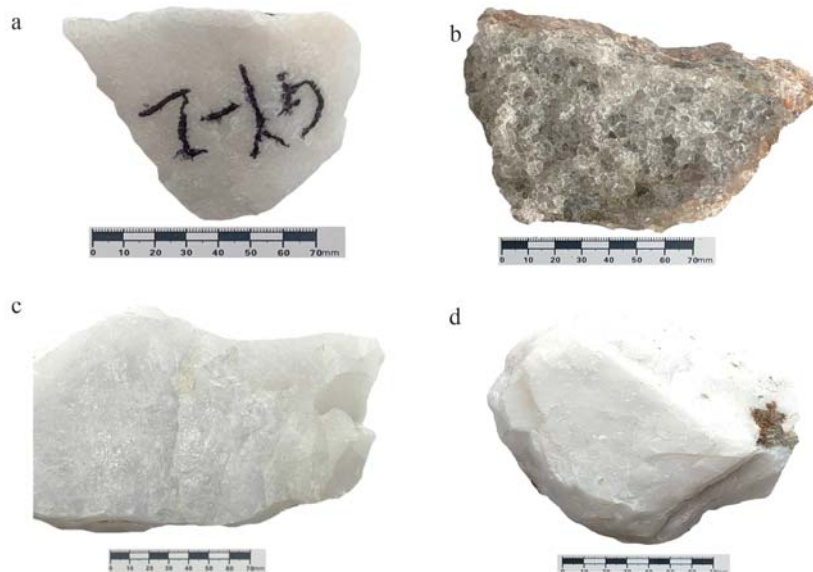


图3 不同脉石英矿石类型

Fig. 3 Different types of vein quartz ores

a—雪白色砂糖状脉石英; b—烟灰色砂糖状脉石英; c—雪白色致密状脉石英; d—乳白色致密状脉石英

a—snow-white, sugar-like vein quartz; b—smoke gray, sugar-like vein quartz; c—snow-white, dense vein quartz; d—milky white, dense vein quartz

分带明确,属完全分异型伟晶岩,核部为脉石英,边部为长石伟晶岩或白云母伟晶岩,伟晶岩脉围岩主要为花岗质片麻岩、片麻岩、结晶片岩、大理岩及角闪岩等。该类型矿床形成温度较高,岩浆体系中挥发组分就少,即使有少量的挥发性组分存在,又优先进入角闪石、云母等矿物,所以从岩浆中缓慢结晶的石英气液包体含量就少。同时由于岩浆中的一些杂质元素如Fe、Ti、Mg、P等,首先结晶形成磁铁矿、钛铁矿、榍石、帘石、锆石、磷灰石等矿物,而岩浆中的Ca、Na、K、Al等元素又优先进入长石,所以最后形成的石英就很纯净(孙亚东等,2005)。如忻州市石屹迭脉石英矿、中阳县弓阳脉石英矿、万田钾长石矿(伴生脉石英)、大悟县刘家冲云母矿(伴生脉石英)等矿床。

典型矿床为山西省闻喜县文家坡脉石英矿床。文家坡脉石英矿床大地构造位置处于华北陆块五台-太行陆块汾渭裂谷(潘桂棠等,2009),属华北(陆块)成矿省华北陆块中条山-王屋山Cu-Au-Fe-铝土矿成矿亚带(徐志刚等,2008)。区域地层为一套经受强烈区域变质作用、混合岩化作用形成的混合岩系,其次为元古界中条群平头岭石英岩组、上玉坡片岩组及部分古生界寒武系,各岩系均呈角度不整合接触。经五台、吕梁等多次构造运动,岩层普遍发生褶皱,形成了一系列的复式背、向斜,构造呈北北东-南南西向。主要构造运动都伴随有岩浆活动,尤其在五台期和吕梁期均有花岗伟晶岩产出,其中吕梁期形成的伟晶岩数量多、规模大、分异好,脉石英核最发育。矿区出露地层为条痕状混合岩,呈灰白色,细中粒花岗变晶结构,似片麻状构造,主要为钾微斜长石(40%~50%),斜长石(15%~20%),石英(25%~30%)组成,是区域混合岩作用的产物,构造简单,为单一的背斜构造,断层不发育,节理以北东 0° ~ 20° 为主,伟晶岩的形成与节理关系密切。矿区内伟晶岩脉规模较大,分带明确,属完全分异型伟晶岩,可分为3个带:①边缘带:细粒花岗结构、文象结构、变文象结构伟晶岩组成外部带;②中间带:块状-巨块状微斜长石组成中间带;③单矿物石英组成的核部(脉石英矿体)。由3个脉体组成,西脉南北长275 m,宽20~25 m,向东倾斜,倾角上部陡(55° ~ 75°),下部缓,呈透镜状沿倾向尖灭;东脉南北长550 m,宽35~40 m,走向基本为南北向,在地表及深部有分枝现象,局部收缩和膨胀,沿走向尚还稳定,下部沿倾向变缓尖灭。中脉连接东西两脉,脉为

110° 方向,长70 m,宽8~10 m,向北东倾斜,倾角在 60° ~ 75° 。西脉、中脉未见有石英组成的核部(脉石英矿体),见图4。伟晶岩东脉分为两个矿体,形状及特征与脉体大致相似。I矿体连续,长131 m,宽4~5 m;II矿体长112 m,宽10~12 m。矿石呈白色,少部分带玫瑰色,致密块状,性脆,质纯,矿石的化学成分为 SiO_2 ($> 99\%$)、 Fe_2O_3 ($< 0.1\%$)、CaO(0.42%)、MgO(微量)、 TiO_2 (0.01%)、烧失量(0.1%)。矿石类型主要为雪白色砂糖状、烟灰色砂糖状脉石英,成因类型属花岗伟晶岩脉石英矿床。

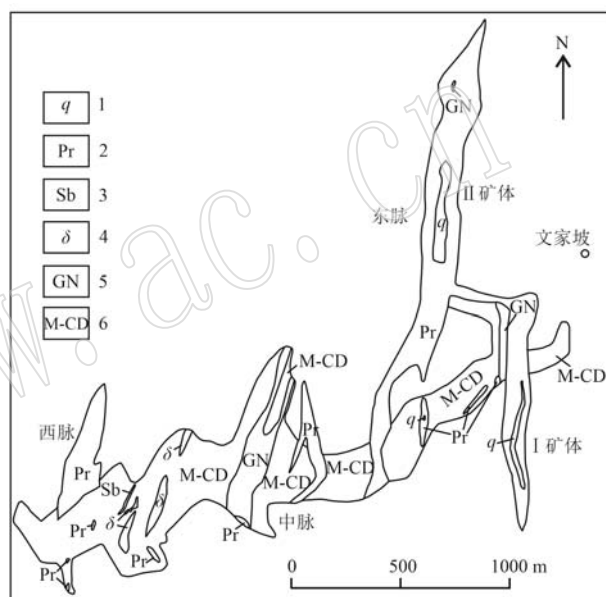


图4 山西省闻喜县文家坡矿区地质简图(据陈俊明,1962)

Fig. 4 Geological map of Wenjiapo mining area in Wenxi County, Shanxi Province (modified after Chen Junming, 1962)

1—石英核;2—伟晶岩脉;3—黑云母绿泥片岩;4—斜长角闪岩;
5—片麻岩、片岩;6—条痕状混合岩

1—quartz core; 2—pegmatite veins; 3—biotite chlorite schist;
4—plagioclase amphibolite; 5—gneiss and schist; 6—streaky
migmatite

2.2 岩浆成因热液型脉石英矿床

岩浆成因热液型矿床:以花岗岩浆为主,主要为岩浆结晶过程中从岩浆中释放出来的热水溶液,在某些特殊的环境下,产生富 SiO_2 流体,并伴有大气降水和地壳中的物质(姚凤良等,2006;张海啟等,2022b;李嘉欣,2023),在断裂膨大、交叉、交汇转弯或岩性发生变化的接触界面等有利部位充填就位,最终沉淀结晶,形成形态各异的脉石英矿体。矿体围岩的颜色为浅红色、灰红色、灰白色,主要岩性有花岗质岩类。矿体呈脉状,规模大小不等,长度一

般几百米,厚度几米至几十米。矿石呈乳白色、灰白色。乳白色矿石质量较好,主要分布于矿脉的中心部位,靠近围岩部位杂质较多,质量较差。在脉体与围岩的接触部位围岩易发生蚀变,形成了一条蚀变带,在石英中有较多的白色绢云母呈小团块状分布,有时可见有长石残体。如崇义鹰洞、旌德龙川、澄迈南蛇岭、青海大柴旦行委大头羊西沟、唐河县邓庄、罗田县花桥河等脉石英矿床。

典型矿床为安徽省休宁县璜茅脉石英矿床。大地构造位置处于扬子陆块下扬子陆块江南古岛弧(潘桂棠等,2009),属扬子成矿省下扬子成矿亚省萍乡-德兴 Cu-Pb-Zn-Ag-Au-W-Mn-海泡石-硅灰石成矿亚带(徐志刚等,2008),出露地层主要为新元古代青白口纪井潭组,岩性主要为浅变质火山-碎屑岩系。岩浆活动主要为两期:一期为新元古代岩浆活动,形成井潭组火山岩系和灵山岩体,且灵山岩体时代稍晚,侵位于井潭组中;另一期为中生代岩浆活动,侵位于井潭组中。矿区具有浅变质、强变形的特征。矿体主要赋存于浅变质流纹岩及浅变质花岗岩类中,主要受断裂构造控制,总体上呈脉状及似层状。共圈定了29个矿体(图5),其中q2-1、II、IV为主要矿体,其特征见表2。

矿石平均化学成分为: SiO_2 (97.00%)、 Al_2O_3 (0.76%)、 Fe_2O_3 (0.39%), 矿物成分主要为石英,含少量云母、长石,矿石类型主要为雪白色致密状、乳白色致密状。该矿床成因类型属岩浆成因热液脉石英矿床。由中生代燕山期花岗质岩浆分异出富含 SiO_2 的热液,沿构造作用形成的断裂侵入于井潭组中,冷却结晶形成脉石英矿体,并在过程中有大气降水的混入(王云月,2022)。

2.3 变质成因热液型脉石英矿床

变质成因热液型脉石英矿床:以区域变质或混合岩化作用产生的热液为主。强烈的岩浆活动及构造运动为变质作用提供动力和热源,含水的火成岩和基底原岩发生变质作用,释放出大量的水而形成变质热液,这些含矿溶液受构造应力作用沿韧性剪

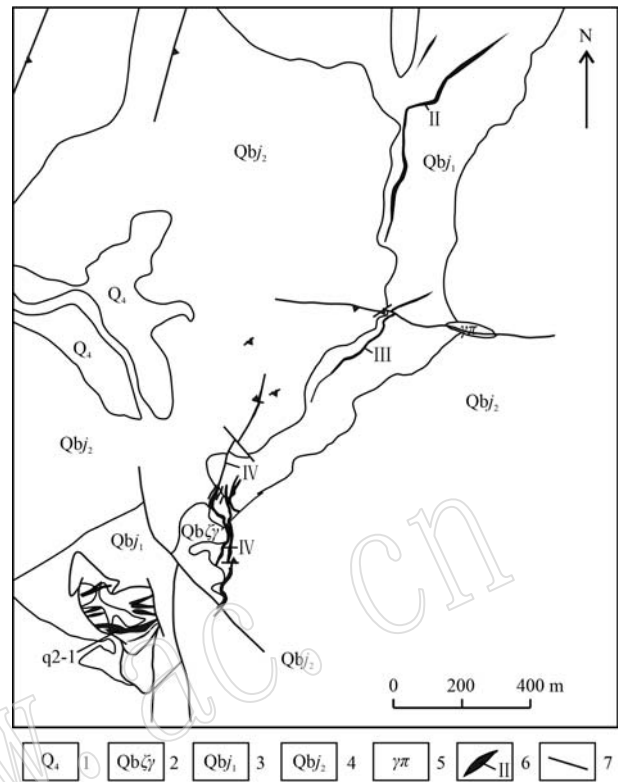


图5 安徽省休宁县璜茅矿区地质简图(据王云月,2022)

Fig. 5 Geological map of Huangmao mining area in Xiuning County, Anhui Province (after Wang Yunyue, 2022)

1—第四系; 2—片麻状钾长花岗岩; 3—井潭组(变质流纹岩); 4—井潭组(变质碎屑岩); 5—花岗斑岩; 6—脉石英矿体及编号; 7—断层

1—quaternary; 2—gneiss like potassium feldspar granite; 3—Jingtang Formation (metamorphic rhyolite); 4—Jingtang Formation (metamorphic clastic rock); 5—granite porphyry; 6—vein quartz ore body and numbering; 7—fault

切带运移,由于温压条件的变化, SiO_2 过饱和形成沉积,形成脉石英矿(颜玲亚等,2020)。

矿体围岩为板岩、千枚岩、千枚状砂岩、片岩、片麻岩和榴辉岩等,常有混合岩化。矿体呈整体脉状,有的呈中间大两端小的规则脉状,有的呈不规则状、囊状、鸡窝状等,矿体规模不等。矿石色白质纯,是

表2 休宁县璜茅脉石英矿体特征

Table 2 Characteristics of Huangmao vein quartz ore body in Xiuning County

矿体编号	形态	长/m	宽/m	倾向	走向	矿石类型	$w(\text{SiO}_2)/\%$	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\%$
q2-1	花生状	190	9.42	107°	100°		98.22	0.55	0.25
II	似层状	643	5.48	120°	20°	雪白色致密状	96.86	0.80	0.43
IV	脉状	296	3.64	120°	350°		97.05	0.96	0.43

生产高纯硅的良好材料。矿石的矿物组成以石英为主,呈雪白色、乳白色,油脂光泽,贝壳状断口,矿体中偶夹围岩团块捕虏体,近矿围岩常呈黑云母化和片理化,普遍变为黑云母片岩和黑云母石英片岩。如潜山塘梨岩、蕲春灵虬山、东海县红土山、娄烦县阳坡、太湖县白石山、新县方岗、铜鼓县白石角、兴国县田福墩、安康市宋家煊、安康市火石梁、十堰市黄柿坪、乐安县玉华山等矿床。

典型矿床为河南省新县卡房脉石英矿床。矿床大地构造位置处于秦-祁-昆造山系大别苏鲁地块大别高压-超高压变质折返带(潘桂棠等, 2009),属秦岭-大别成矿省华北陆块桐柏-大别 Ag-Au-Cu-Zn-MoFe-金红石-董石-珍珠岩-天然碱-石膏成矿亚带(徐志刚等, 2008)。经历了多次造山作用,印支期是大别山的主要变形期和高压动力变质时期,燕山期是主要的造山期,基底剪切引起地壳重熔(陈毓川等, 2007),导致大范围的热流变质作用,强烈的造山运动、多期次的变质作用、构造运动和岩浆活动为石英脉的形成提供了丰富的物质来源和运移沉淀

通道(李光惠等, 2020)。矿区内脉石英赋存于下元古界卡房组下段,岩性主要为混合质白云二长片麻岩为主,夹白云二长(斜长)片麻岩、浅粒岩、白云石英片岩、榴闪岩和斜长角闪岩。卡房穹窿的形成产生一系列的成矿构造和成矿结构面,构造和广泛发育的张性裂隙为富含 SiO_2 的流体提供了运移通道。为脉石英的充填就位提供了良好的赋矿场所。矿区发育大型石英脉一条,长约 6 km,宽 40~70 m,总体走向 $335^\circ\sim 340^\circ$,倾向北东,倾角 80° ,埋深 >100 m。石英脉呈山脊地貌出露,岩石由石英-玉髓组成,为断层破碎带热液填充。共发现宽度 1~3 m 的脉石英 16 条(王纪平等, 2021),见图 6,分布于下元古界卡房组下段构造裂隙中,脉石英产状受褶皱和断层构造影响,呈北北西和北东东向断续延伸。主要矿体为 q1、q4、q7、q12,其特征见表 3。矿物主要成分为石英,部分矿石含少量云母,矿石类型主要为雪白色砂糖状致密状、雪白色致密状脉石英,成因类型属变质成因热液型脉石英矿床。

表 3 新县卡房脉石英矿体特征

Table 3 Characteristics of Kafang vein quartz ore body in Xinxian County

矿体编号	形态	长/m	宽/m	走向	矿石类型	$w(\text{SiO}_2)/\%$	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\%$
q1	脉状	150	2.5	58°		98.39	0.95	0.17
q7	脉状	120	2	175°	雪白色砂糖状	98.52	0.77	0.11
q12	脉状	100	2.5	45°		98.76	0.62	0.17
q4	脉状	100	2.5	3°	雪白色致密状	98.52	0.93	0.11

3 中国脉石英矿成矿区带划分及其特征

脉石英作为主要的高纯石英原料之一,其成矿规律及成矿区带的划分十分重要。高树学等(2020)对我国脉石英成矿区带进行了初步划分,但由于脉石英矿数据的相对较少,脉石英成矿区带的划分存在部分地区的空白。因此,在高树学等(2020)对脉石英成矿区带划分的基础上,结合本次收集到的大量数据,本文对我国脉石英矿床成矿区带进行了补充和修改。

3.1 脉石英Ⅲ级成矿区带划分原则及分级

3.1.1 成矿区带划分原则

本次脉石英区带划分遵循《全国重要矿产和区域成矿规律研究技术要求》成矿区带划分原则,充分

考虑Ⅲ级构造单元和全国三级成矿区带划分方案(陈毓川等, 2006, 2007; 徐志刚等, 2008),同时结合前人研究成果,划分的脉石英成矿区带原则上不跨越Ⅰ级构造单元和成矿省。

3.1.2 成矿区带分级、命名及划分结果

脉石英矿所在Ⅰ、Ⅱ级成矿区带名称及编号采用全国统一的构造单元、成矿区带名称予以命名编号,Ⅲ级成矿区带以地理要素为主进行命名。根据以上划分原则,全国共划分出 27 个脉石英矿Ⅲ级成矿区带,其在Ⅰ级成矿区带(成矿域)和Ⅱ级成矿区带(成矿省)的分布情况见图 7、图 8,中国 27 个脉石英矿(点)Ⅲ级成矿区带见图 9、表 4、表 5。

3.2 成矿区带主要地质特征

通过对 27 个脉石英矿Ⅲ级成矿区带区域地质背景和典型矿床研究(表 5),本文总结出每个成矿



图6 河南省新县卡房矿区地质简图(据王纪平等, 2021)

Fig. 6 Geological map of Kafang mining area in Xinxian County, Henan Province (after Wang Jiping *et al.*, 2021)

1—下元古界卡房组下段; 2—下元古界卡房组上段; 3—地质界线;
4—断层; 5—卡房穹窿; 6—脉石英

1—lower section of the lower Proterozoic Kafang Formation; 2—upper section of the lower Proterozoic Kafang Formation; 3—geological boundary; 4—fault; 5—Kafang vault; 6—vein quartz

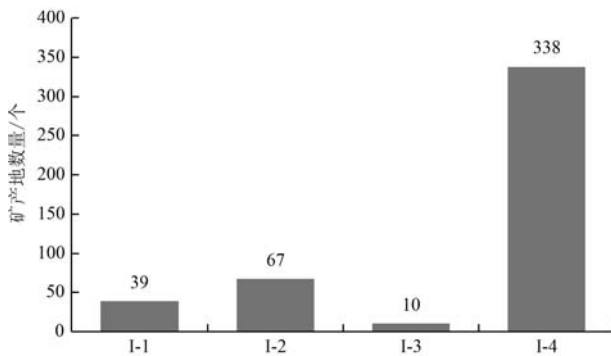


图7 中国脉石英矿产地数量在I级成矿区带分布图

Fig. 7 Distribution map of the number of quartz vein deposits in China in the first level mineralization zone

区带的主要地质特征。

3.2.1 Hi-1 阿尔泰地块脉石英成矿区带

位于阿尔泰-兴蒙造山系阿尔泰弧盆系阿尔泰南缘增生弧,属古亚洲成矿域(I)阿尔泰成矿省。成矿区带经历了古生代双向增生和中新生代陆内造山作用(滕宇翔等, 2019)构造活动和造山作用复杂,岛弧岩浆活动频繁,花岗质岩石分布广泛,尤其集中于奥陶纪-侏罗纪时期(杜超辉, 2015; Cui *et al.*, 2022; 宋帅华, 2023),花岗质岩浆侵入寒武-石炭系凝灰岩、片岩、片麻岩、砂岩地层中,形成大量的花岗岩体、岩脉,花岗伟晶岩脉及伴生的石英脉等。成矿区带发现脉石英矿床(点)6处,累计查明脉石英资源量705.42万吨, SiO_2 含量为97.5%~99.89%。该成矿区带已发现与美国 Spruce Pine 伟晶岩型石英矿床类似的矿床,经提纯 SiO_2 纯度达到99.9983%的4N8级高端高纯石英砂(张海啟等, 2022b)。典型矿床:可可托海伟晶岩型脉石英矿,为伟晶岩型脉石英矿,保有资源量427.3万吨, SiO_2 平均品位97.5%,为印支晚期黑云母花岗岩侵入哈巴河群片岩、变质角砾凝灰岩中形成的伟晶岩型脉石英矿(任宝琴等, 2011; 秦克章等, 2021)。

3.2.2 Hi-2 觉罗塔格-黑鹰山脉石英成矿区带

位于天山-准噶尔-北山造山系北山弧盆系,属古亚洲成矿域准噶尔成矿省塔里木成矿省。成矿区带出露地层主要以石炭系、二叠系、侏罗系为主,岩浆岩主要为奥陶-二叠时期的花岗质侵入岩,以石炭系岩浆活动最为活跃,岩性主要为钾长花岗岩、黑云母花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩等。成矿区带发现脉石英矿床(点)11处,累计查明脉石英资源量1103.45万吨, SiO_2 含量为97.47%~99.01%。典型矿床:额济纳旗白龙山脉石英矿床,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明资源量303.34万吨, SiO_2 96.52%~99.34%,赋存于斜长流纹岩中,矿体地表出露形态为透镜体。

3.2.3 Hi-3 伊犁微板块脉石英成矿区带

位于天山-准噶尔-北山造山系伊宁-中天山地块,属古亚洲成矿域(I)伊犁成矿省伊犁微板块北东缘、伊犁微板块南缘(造山带)成矿区带(III-11)。成矿区带为古老基底早元古界片麻岩、片麻状混合岩、片岩及斜长角闪岩,之后奥陶系-石炭系时期,花岗岩类岩石侵入及火山岩的发育,形成火山岩地层及岩体(吴世敏等, 1996)。成矿区带内发现脉石英矿床(点)7处,累计查明资源量为591.78万吨, SiO_2

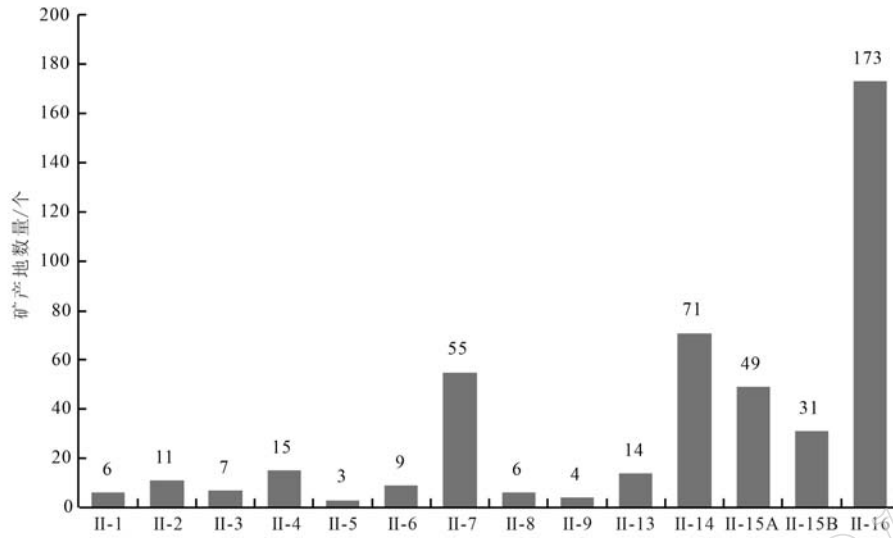


图 8 中国脉石英矿产地数量在Ⅱ级成矿区带分布图

Fig. 8 Distribution map of the number of quartz vein deposits in China in the second level mineralization zone

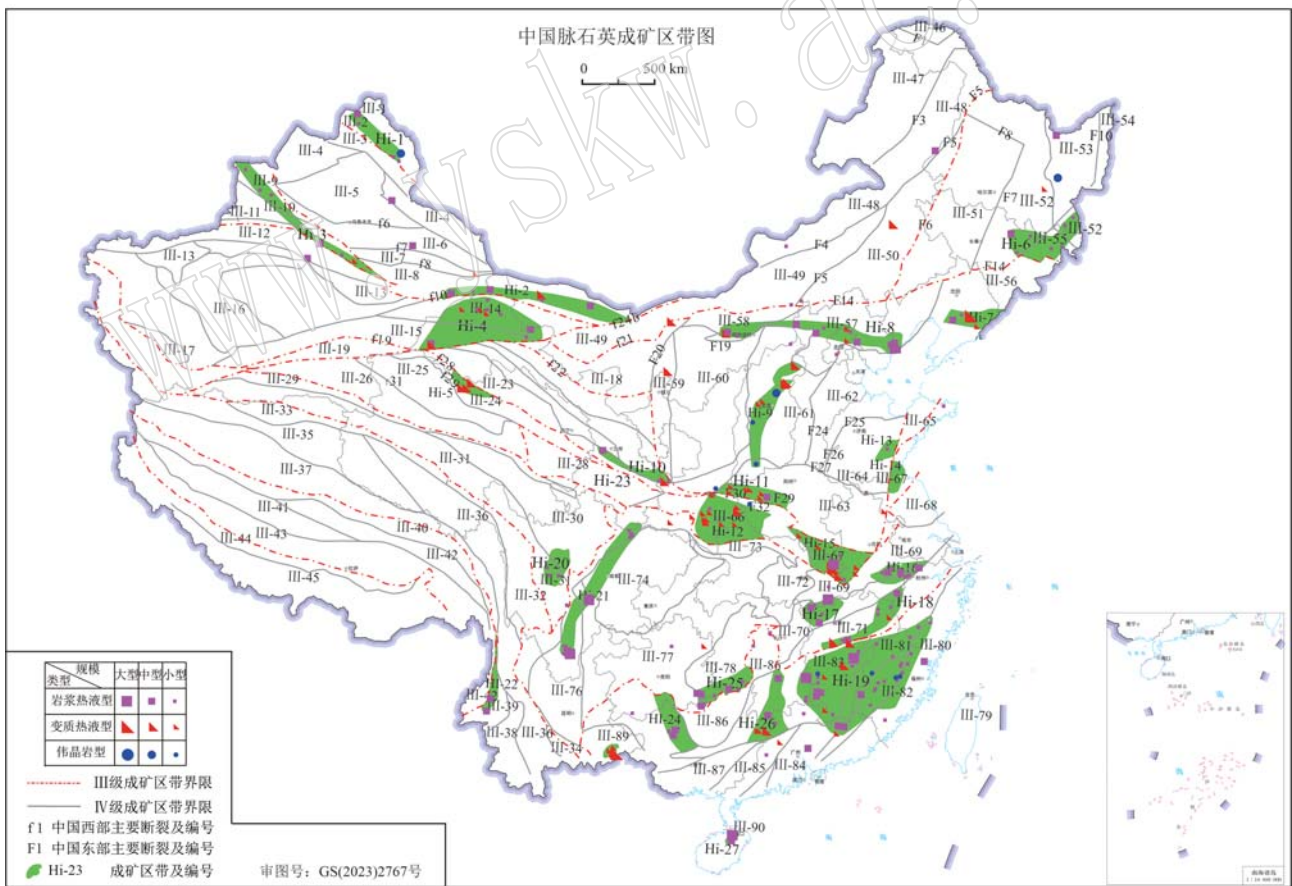


图 9 中国脉石英矿成矿区带图

Fig. 9 Map of the mineralization zones of vein quartz deposits in China

含量为 93.74%~98.58%。典型矿床:新疆和静县措尔奥脉石英矿,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明

资源量 283.98 万吨, SiO₂ 含量为 96.17%~98.19%, 赋存与中酸性侵入岩-次火山岩,成矿时代为华里西

表4 中国脉石英成矿区带划分
Table 4 Classification of vein quartz mineralization zones in China

成矿域 (I级)	成矿省(II级)	成矿区带(III级)	脉石英成矿区带编号及名称	矿床规模	查明资源量/万吨	
I-1 古亚洲成矿域	II-1 阿尔泰成矿省	III-1, III-2	III-1 阿尔泰地块脉石英成矿区带	中型2处、小型3处、小矿1处	705.42	
			III-8-①, III-8-②, III-12-①	III-2 觉罗塔格-黑鹰山脉石英成矿区带	中型5处、小型3个、小矿3个	1 103.45
			III-7-①, III-7-②, III-11-②	III-3 伊犁-板垣脉石英成矿区带	中型2处、小型4处、小矿1处	591.78
			III-14-①, III-14-②, III-15	III-4 公婆泉-敦煌地块脉石英成矿区带	大型2处、中型1处、小型8处、小矿4处	2 221.42
			III-24	III-5 柴达木北缘脉石英成矿区带	大型3处	4 452.14
I-2 秦祁昆成矿域	II-5 阿尔金-祁连成矿省	III-21, III-23	III-10 祁连脉石英成矿区带	中型3处、小型1处、小矿5处	470.12	
			III-66-②	III-12 南秦岭脉石英成矿区带	中型1处、小型13处、小矿11	393.82
			III-67-①	III-13 桐柏-大别脉石英成矿区带	3处大型、1处中型、小型7处、小矿12处	2 212.72
I-3 特提斯成矿域	II-8 巴颜喀拉-松潘成矿省	III-30-②, III-31	III-14 东海-藤椅脉石英成矿区带	小矿7处		
			III-39	III-20 金川-雅江脉石英成矿区带	小型3处、小矿3处	
I-4 滨太平洋成矿域	II-9 喀喇昆仑-三江成矿省	III-52-①, III-52-②, III-55-①, III-55-②	III-22 保山地块脉石英成矿区带	大型1处、中型1处、小型2处		
			III-56-③	III-6 吉中-延边活动陆缘脉石英成矿区带	小型6处、小矿8处	420.84
I-4 滨太平洋成矿域	II-14 华北陆块成矿省	III-57-①, III-57-②, III-57-③, III-58-②, III-58-③, III-61-②, III-63-①, III-63-②, III-63-③, III-64	III-7 营口-长白次级隆起脉石英成矿区带	大型1处、中型2处、小型5处、小矿7处	1 627.37	
			III-8 华北陆块北缘脉石英成矿区带	大型1处、中型8处、小型5处、小矿3处	2 727.39	
			III-9 山西吕梁脉石英成矿区带	大型1处、中型3处、小型1处、小矿5处	1 398.76	
			III-11 小秦岭-豫西脉石英成矿区带	中型1处、小型8处、小矿5处	202.90	
			III-13 鲁西断隆脉石英成矿区带	小型1处、小矿4处	37.19	
			III-16 宁芜-九华山脉石英成矿区带	中型3处、小型4处	1 429.09	
			III-17 江南隆起东段脉石英成矿区带	大型1处、中型2处、小型3处、小矿5处	1 724.54	
			III-18 武功山-玉山脉石英成矿区带	中型3处、小型7处、小矿21处	1 367.12	
			III-76-①, III-73	III-21 大巴山陆缘拗陷-康滇隆起脉石英成矿区带	大型2处、中型5处、小型11处、小矿3处	3 825.35
			III-78	III-25 江南隆起西段脉石英成矿区带	中型4处、小型5处、小矿1处	501.84
I-16 华南成矿省	II-15B 上扬子成矿亚省	III-80, III-81, III-82, III-83-①, III-83-③, III-88, III-89, III-90	III-19 南岭东段(赣南隆起)-浙闽粤沿海脉石英成矿区带	大型3处、中型9处、小型22处、小矿115处	5 022.37	
			III-26 南岭西段脉石英成矿区带	中型3处、小型3处	992.02	
			III-24 桂西-黔西南脉石英成矿区带	中型2处、小型5处、小矿1处	524.99	
			III-23 滇东南南部脉石英成矿区带	大型1处、中型1处、小型6处	750.92	
			III-27 海南脉石英成矿区带	大型1处、中型1处	2 482.88	

期(张闾,2007)。

3.2.4 Hi-4 公婆泉-敦煌地块脉石英成矿区带

位于塔里木陆块区敦煌陆块,属古亚洲成矿域塔里木成矿省磁海公婆泉成矿带、敦煌(地块)成矿区。成矿区带太古代-中元古代敦煌岩群-第四系地层均有出露,区域构造方向以近东西向、北西向为主,严格控制着地层和岩浆岩的产状、形态及矿体的产状、规模、形态(牛亚卓等,2018),黄草滩、青石沟以及萨尔哈布塔勒一带有少许华力西中期中酸性侵入岩体,岩性为黑云母钾长花岗岩及英云闪长岩。成矿区带内发现脉石英矿床(点)15处,累计查明脉石英矿2 221.42万吨。典型矿床:阿克塞县黄草滩脉石英矿床,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明资源量874.80万吨, SiO_2 含量为96.02%~99.96%,矿床赋存于黑云母钾长花岗岩中。

3.2.5 Hi-5 柴达木北缘脉石英成矿区带

位于秦-祁-昆造山系-南祁连弧盆系南祁连岩浆弧,属秦祁昆成矿域昆仑成矿省柴达木北缘成矿带。成矿区带岩浆活动强烈,尤其是加里东期和印支期形成大规模的花岗质岩石,主要为加里东期晚奥陶世-早志留世中细粒二长花岗岩和印支期粗粒花岗岩。伴随着强烈的岩浆活动,区域内构造以断裂构造为主,主体构造线方向为北西-南东向(余涛等,2022)。成矿区带共发现脉石英矿床3处,均为大型,累计查明资源量4 452.14万吨。典型矿床:青海大柴旦行委大头羊西沟脉石英矿床,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明资源量927.06万吨(余涛等,2022), SiO_2 含量96.58%,赋矿围岩为印支期花岗岩体。

3.2.6 Hi-6 吉中-延边活动陆缘脉石英成矿区带

位于额尔齐斯-西拉木伦对接带索伦山-西拉木伦结合带和包尔汗图-白乃庙弧盆系,属滨太平洋成矿域吉黑成矿省小兴安岭-张广才岭(造山带)成矿带、吉中-延边(活动陆缘)成矿带。成矿区带岩浆活动较为强烈,尤其是晚二叠世-早侏罗世花岗质岩石、新生代船底山玄武岩最为发育(于宏斌等,2009;刘兴桥等,2010),仅有少数地区出露元古代古老基底和中生代地层,北部主要为中生代侵入岩花岗质岩类。成矿区带共发现脉石英矿床(点)14处,累计查明脉石英矿420.84万吨, SiO_2 含量97.87%~99.23%。典型矿床:蛟河市白石砬子脉石英矿床,为岩浆成因热液型矿床,查明资源量71.6万吨, SiO_2 含量为96.02%~99.96%,由二叠纪中细

粒花岗岩浆分异出富含 SiO_2 的热液,呈岩枝状侵入到似斑状花岗岩的张裂带中,成矿时代为早二叠世。

3.2.7 Hi-7 营口-长白次级隆起脉石英成矿区带

位于华北陆块渤海东陆块龙岗古岩浆弧北部和胶-辽-吉陆缘裂谷盆地西部交汇处,属滨太平洋成矿域华北陆块成矿省。成矿区带出露地层主要为元古代变质岩,燕山早期岩浆活动较为强烈,断裂构造较发育,为脉石英成矿提供了来源及动力。成矿区带共发现脉石英矿床(点)15处,累计查明脉石英矿1 627.37万吨, SiO_2 含量92.53%~99.58%。典型矿床:凤城市四门子镇扈家村硅石矿,保有资源量730.9万吨, SiO_2 含量为99.19%~99.37%,由多条矿体组成,赋存于古元古界辽河群变质岩系盖县岩组,中粗粒黑云母片岩、二云石英片岩中。

3.2.8 Hi-8 华北陆块北缘脉石英成矿区带

位于华北陆块冀北-阴山陆块、鄂尔多斯陆块、五台-太行陆块东北部和冀辽陆块,属滨太平洋成矿域华北陆块成矿省。成矿区带出露地层主要为太古代-元古代等古老地层,经历了元古代、加里东期、华力西期等多期大地构造运动,形成大量花岗质岩体和褶皱断裂,燕山期岩浆活动较为活跃,由燕山期岩浆活动提供物质来源,燕山期构造提供容矿空间。成矿区带共发现脉石英矿床(点)17处,累计查明脉石英资源量2 727.39万吨。典型矿床:固阳县公义明脉石英矿,保有资源量205万吨, SiO_2 含量为92.24%~98.97%,为岩浆成因热液型脉石英矿床,赋存于黑云母花岗岩体中,呈透镜状,尚未开采利用。

3.2.9 Hi-9 山西吕梁脉石英成矿区带

位于华北陆块五台-太行陆块,属滨太平洋成矿域华北陆块成矿省。成矿区带出露地层主要为中太古界河口群及上太古界吕梁超群、绛县超群,以中高级变质岩为主,经历多次构造运动,多期变质作用,普遍遭受不同程度的混合岩化作用,伟晶岩发育,残存有片麻岩及少量浅粒岩、斜长角闪岩。构造主体呈南北向的长方形纵贯山西南北,岩浆岩从超基性岩、基性岩到中性岩、中酸性岩、酸性岩、碱性岩等均有分布,侵入岩、火山岩均较发育,构成了多旋回的岩浆活动,形成了较丰富的矿产(山西省地方志编纂委员会,1993)。成矿区带共发现脉石英矿床(点)10处,累计查明脉石英资源量1 398.76万吨,脉石英 SiO_2 纯度较高,是重要的高纯石英原料产区之一。典型矿床:山西省闻喜县文家坡脉石英矿。

3.2.10 Hi-10 北祁连脉石英成矿区带

位于秦-祁-昆造山系北祁连弧盆系走廊南山岛弧和中南祁连弧盆系中祁连岩浆弧中祁连湟源地块,属秦祁昆成矿域阿尔金-祁连成矿省。成矿区带出露地层主要为古元古代陇山岩群、中-新元古代宽坪岩群、奥陶系葫芦河组,岩浆活动较为发育,主要为寒武纪石英闪长岩、三叠纪黑云母花岗岩岩体及燕山期花岗岩,强烈的岩浆活动导致近东西向的断裂发育(任军锋,2004;张志华,2020)。成矿区带共发现脉石英矿床(点)9处,累计查明矿产资源量470.12万吨。典型矿床:宝鸡市凤阁岭大岭山脉石英矿床,为岩浆成因热液型脉石英矿床,保有资源量204.40万吨, SiO_2 含量为92.74%~97.20%,矿体赋存于三叠系二长花岗岩岩体。

3.2.11 Hi-11 小秦岭-豫西脉石英成矿区带

位于华北陆块陕豫皖陆块熊耳裂谷南部,秦岭-伏牛山和熊耳山之间,属滨太平洋成矿域华北陆块成矿省。成矿区带共发现脉石英矿床(点)24处。成矿区带出露地层主要为中元古代古老基底,受北秦岭北缘逆冲推覆断裂带的影响,中新元古代-中新元古代存在多期岩浆活动,尤其是中元古代熊耳群及燕山期岩浆活动较为强烈。典型矿床:卢氏县鲁家嘴脉石英矿,查明资源量28.67万吨, SiO_2 含量为97.03%~97.34%,为变质成因热液型脉石英矿床,赋存于巡检司组燧石条带白云岩中,由4个矿体组成,呈脉状、条带状。

3.2.12 Hi-12 南秦岭脉石英成矿区带

位于秦-祁-昆造山系秦岭弧盆系和武当-随南陆缘裂谷交汇处,南秦岭中部,属秦祁昆成矿域秦岭大别成矿省。成矿区带出露地层主要中低级变质岩及中寒武统岳家坪组、上寒武统-中奥陶统石翁子组、中奥陶统白龙洞组碳酸盐岩(Dong *et al.*, 2013)。沿北西-南东走向,南秦岭地区分布着佛坪、小磨岭、陡岭等一系列地体,南秦岭地区结晶基底中花岗片麻岩侵位时间2.51~2.47 Ga,佛坪岩体主体结晶时代稍晚于秦岭造山带主碰撞期,位于佛坪岩体南部的花岗岩-花岗闪长岩侵入年龄为新元古代(徐林刚等,2022)。成矿区带共发现脉石英矿床(点)27处,主要赋存于震旦系-泥盆系等地层中,赋矿围岩为片岩、板岩、千枚岩等低级变质岩系。典型矿床:商南县下小川脉石英矿,查明资源量55.76万吨, SiO_2 平均含量98.95%,为变质成因热液型脉石

英矿床,赋存于寒武-奥陶统石瓮子组白云岩和白云质灰岩中(杨联涛等,2020)。该区域脉石英大部分处于远景调查阶段, SiO_2 纯度较高,其中兴坪狮子背、韩家沟、李家沟等多处脉石英 SiO_2 可提纯至99.995%以上(田冲等,2022),是高纯石英砂原料的重要产区,具有较大的成矿潜力。

3.2.13 Hi-13 鲁西断隆脉石英成矿区带

位于华北陆块鲁西陆块泰山古岩浆弧,属滨太平洋成矿域华北陆块成矿省。成矿区带受新太古代后期(2.7~2.5 Ga)构造旋回的影响,区域内多为新太古代傲徕山序列早期的弱片麻状花岗岩及更早期的泰山序列、峰山序列闪长岩,几乎覆盖整个区域。该成矿区带共发现脉石英矿床(点)5处。典型矿床:沂南县青杨行脉石英矿,查明资源量34.49万吨, SiO_2 平均含量98.6%,赋存于新太古代傲徕山序列条花峪单元弱片麻状中粒含黑云二长花岗岩中。

3.2.14 Hi-14 东海-赣榆脉石英成矿区带

位于秦-祁-昆造山系大别-苏鲁地块苏鲁超高压变质折返带,属秦祁昆成矿域秦岭大别成矿省。成矿区带位于华北板块与扬子板块之间,是秦岭-大别造山带在郯庐断裂以东的东延部分,属苏鲁造山带,是整个秦岭造山带中折返抬高部位。该区域经历了多次的大地构造作用,导致榴辉岩形成和分层以及花岗质岩石的片麻岩化。印支运动至燕山期区域构造活动依然较强,地壳活动以断裂构造为主,但构造层次已上升到中上地壳。板块俯冲折返过程中,在高压、超高压变质作用下岩石面理化、片理化,产生大量 SiO_2 流体,韧性剪切作用使韧性剪切带内岩石产生 SiO_2 流体,为高纯石英(脉石英)的形成提供了物质基础。受郯庐断裂的影响,该区域形成大量北北东向,北东向、北西向断裂构造,为脉石英的形成提供了大量的容矿构造。该区域脉石英矿赋存形式为原生石英脉和次生脉石英,原生脉石英主要产于片麻岩、榴辉岩之中或片麻岩、榴辉岩之间裂隙或韧性剪切带中,次生脉石英赋存在第四系残坡-坡冲积泥沙堆积的底部,基岩侵蚀面之上,呈层分布,属次生砾石型石英。成矿区带共发现脉石英矿床(点)5处,目前已被禁采,此处脉石英 SiO_2 纯度较高,以往已被作为高纯石英原料开采。

3.2.15 Hi-15 桐柏-大别脉石英成矿区带

位于秦-祁-昆造山系大别-苏鲁地块大别超高压变质折返带,属秦祁昆成矿域秦岭大别成矿

省。成矿区带是华北与扬子陆块最终完成敛合形成的造山带,其北以六安断裂、南以襄樊-广济断裂分别与华北和扬子陆块相邻向西逾越南阳盆地与秦岭造山带相连,东部因郊庐断裂带巨大的左行平移运动影响而与苏鲁造山带相对应(童劲松, 2008; 汤家富等, 2016)。本区域位于为晓天-磨子潭断裂和桐柏-青山断裂之间,由桐柏-大别变质杂岩带、新县-潜山超高压变质带、红安-宿松构造带3个区域组成(汤家富等, 2016),以中高级变质作用为主。桐柏-大别变质杂岩带为变质变形侵入岩和变质表壳岩两部分。变质侵入岩出露面积占变质岩系的80%以上,为浅色片麻岩和灰色片麻岩两类,相互之间均具明显的侵入接触关系。变质表壳岩主要以大小不等、形态不一的包体形式出现,受后期早白垩世大规模的花岗质岩浆事件而呈现出不同程度的混合岩化,带内燕山期花岗岩发育多呈面积较大的复式岩体。新县-潜山超高压变质带内变质表壳岩可以分为片麻岩组合和大理岩组合两部分,含有榴辉岩透镜体或条带状块体。红安-宿松构造带主要为宿松群,为一套含磷大理岩和角闪片岩、斜长角闪片麻岩。区域内已知脉石英矿主要集中于桐柏-大别变质杂岩带和新县-潜山超高压变质带。成矿区带共发现脉石英矿床(点)23处,查明脉石英资源量2 212.72万吨,赋矿围岩主要为上太古代-中新元古代片麻岩及燕山期花岗质岩石。典型矿床:罗田县杜家塆脉石英矿床,查明资源量559.9万吨, SiO_2 平均含量96.22%,为岩浆成因热液型脉石英矿床;新县卡房地区脉石英矿,查明资源量29.89万吨, SiO_2 含量为98.52%~98.76%,为变质成因热液型脉石英矿床,赋存于混合质白云二长片麻岩中。该地区 SiO_2 纯度较高,是重要的高纯石英原料产区,具有较大的成矿潜力。

3.2.16 Hi-16 宁芜-九华山脉石英成矿区带

位于扬子陆块区下扬子陆块下扬子被动陆缘和江南古岛弧北东部交汇处,属滨太平洋成矿域下扬子成矿亚省。成矿区带受太平洋板块俯冲的影响,区内构造从印支期到喜山期,运动频繁、强烈,总体构造形态表现为北东向,断层主要为北东、北西向两组,其中最主要的断裂为晚中生代北东向的赣东北-五城-歙县-绩溪-宁国断裂带(余心起等, 2007)。区内中生代的火山活动,表现为强烈的陆相喷发堆积。成矿区带共发现脉石英矿床(点)10处,累计查明脉石英资源量1 429.09万吨。与晚侏罗世

-早白垩世岩浆热液密切相关。典型矿床:旌德县龙川脉石英矿,为岩浆成因热液型脉石英矿床,累计查明脉石英资源273.83万吨, SiO_2 平均含量98.83%,矿体赋存于旌德岩体黑云母花岗闪长岩中,呈脉状产出。

3.2.17 Hi-17 江南隆起东段脉石英成矿区带

位于扬子陆块区下扬子陆块江南古岛弧,江西省西北部和湖北省东南部交汇处,属滨太平洋成矿域下扬子成矿亚省。成矿区带花岗质岩体广泛分布,新元古代时期到喜马拉雅时期岩浆活动期次频繁,尤其是喜马拉雅时期的幕阜山岩体,燕山时期的沙店岩体,早新元古代形成的九宫山岩体。区内早新元古代时期和燕山期均处于后造山伸张应力环境,伴随着花岗岩侵入,不仅为脉石英的成矿提供了充足的物质来源,同时为矿液的运移提供了通道和赋存空间,是脉石英成矿的有利时代。但是,早新元古代形成的脉石英经过后期多次构造运动,石英经历再结晶和重组过程导致缺陷愈合和微量元素的排出,从而降低杂质浓度,形成的脉石英杂质含量较低,有作为高纯石英原料的潜力,如通山县付家山脉脉石英矿床;燕山期形成的脉石英矿床未经过多期的构造运动,未经历较强的变质变形作用,其杂质含量一般较高,如通山县一盘丘脉石英矿床(王翔等, 2020; 张福神等, 2020; Wang *et al.*, 2022; 谢泽峰等, 2022)。成矿区带共发现脉石英矿床(点)11处,累计查明脉石英资源量1 724.54万吨。典型矿床:通山县付家山脉脉石英矿床,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明脉石英资源484.3万吨, SiO_2 含量可达99.95%,矿体赋存于九宫山岩体片麻状中粒含斑黑云二长花岗岩中,呈脉状产出(王翔等, 2020; Wang *et al.*, 2022; 谢泽峰等, 2022);通山县一盘丘脉脉石英矿,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明脉石英资源779.64万吨, SiO_2 含量为92.45%~98.50%,矿体赋存于沙店岩体黑云二长花岗岩中,呈脉状产出(王翔等, 2020; Wang *et al.*, 2022)。

3.2.18 Hi-18 武功山-玉山脉石英成矿区带

位于扬子陆块区下扬子陆块和华夏造山系交界处,属滨太平洋成矿域下扬子成矿亚省。成矿区带经历了大量构造运动,与成矿相关的主要为印支期-燕山期-喜马拉雅期的岩浆活动,导致该区域北部形成了大规模逆冲推覆构造,南部形成了岩浆核杂岩伸展滑覆构造,为成矿提供了良好的物质来源及赋矿构造(刘细元, 2003; 姜杨等, 2020)。成矿区带

共发现脉石英矿床(点)31处,累计查明脉石英资源量1 367.12万吨。典型矿床:休宁县璜茅脉石英矿,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明脉石英资源量147.03万吨, SiO_2 平均含量为97.00%,矿体赋存于浅变质流纹岩及浅变质花岗岩类中。

3.2.19 Hi-19 南岭东段(赣南隆起)-浙闽粤沿海脉石英成矿区带

位于华夏造山系武夷-云开弧盆系、丽水-政和-大浦结合带和东南沿海岩浆弧,属滨太平洋成矿域华南成矿亚省。成矿区带经历了多次大地构造演化,较为重要的是加里东期和燕山期岩浆活动,尤其是燕山期岩浆活动使整个区域内广泛分布中生代岩浆岩和火成岩地层(姜杨等,2020;刘欢等,2021;Li *et al.*,2021)。强烈的燕山期岩浆活动为成矿提供了较好的物质来源,矿床基本受燕山期-喜马拉雅期岩浆活动影响成矿(陈柏林等,2022)。成矿区带共发现脉石英矿149处,累计查明资源量5 022.37万吨,矿点分布较多,具有较大成矿潜力。典型矿床:崇义县鹰洞脉石英矿床,为岩浆成因热液型脉石英矿床,累计查明资源量373.12万吨, SiO_2 含量为95.98%~97.31%,矿体赋存于燕山早期中-细粒斑状黑云母花岗岩中,呈脉状产出,由两个矿体组成。唐春花等(2024)在该成矿区发现了白云母伟晶花岗岩矿床,提纯后石英纯度达到 SiO_2 99.99%以上,是优质高纯石英矿物原料,预测资源规模为大型。

3.2.20 Hi-20 金川-雅江脉石英成矿区带

位于北羌塘-三江造山系巴颜喀拉地块,属特提斯成矿域巴颜喀拉-松潘成矿省。炉霍-道孚构造带使得该区域内褶皱和裂隙发育,为脉石英成矿提供了良好的地质条件,大型造山运动和岩浆活动为脉石英成矿提供了较好的物质来源(杨军等,2015),成矿区带共发现脉石英矿床(点)6处。

3.2.21 Hi-21 大巴山陆缘拗陷-康滇隆起脉石英成矿区带

位于扬子陆块区上扬子陆块龙门山-米仓山-大巴山被动大陆边缘、川中前陆盆地、扬子陆块南部碳酸盐岩台地和盐源-丽江陆缘裂谷盆地,属滨太平洋成矿域上扬子成矿亚省。成矿区带稳定的沉积环境使该地区寒武系-二叠系时期形成稳定的沉积地层,一直持续至前晚三叠纪时期,之后印支期-喜马拉雅期强烈的构造运动使其褶皱断裂发育,强烈的韧性剪切带变形为脉石英矿的形成提供物质来源及上升通道(陈安清等,2020)。成矿区带共发现脉石英矿

22处,累计查明资源量3 825.35万吨。典型矿床:德昌县杉树坪脉石英矿,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明资源量213.3万吨, SiO_2 含量为98.47%,矿体赋存于花岗岩中,呈脉状产出,由3个矿体组成。

3.2.22 Hi-22 保山地块脉石英成矿区带

位于冈底斯-喜马拉雅造山系保山地块潞西被动陆缘盆地、保山陆表海盆地,属特提斯成矿域喀喇昆仑-三江成矿省保山(地块)成矿带。成矿区带主要出露为元古代高黎贡山群,形成于新元古代,在古生代、中生代以及新生代经历了多期变质作用与岩浆作用再造,岩性复杂多样,主要为石英岩、石英片岩、黑云变粒岩,混合岩、混合花岗岩(李再会等,2012)。从元古代-新生代,区域上发生持续的大地构造运动,形成南北向的高黎贡山剪切带,并且形成了大量的花岗质岩体(李再会等,2012;崔晓琳等,2017;张华等,2020)。成矿区带共发现脉石英矿床(点)4处。典型矿床:象达乡白石头山硅石矿,为岩浆成因热液型脉石英矿床,查明资源量385.3万吨, SiO_2 含量为97.02%~99.75%,矿体赋存于加里东晚期-华力西中期中粒黑云二长花岗岩张性裂隙中,呈脉状产出,矿体长1 930 m。

3.2.23 Hi-23 滇东南南部脉石英成矿区带

位于扬子陆块区上扬子陆块都龙变质基底杂岩,属滨太平洋成矿域华南成矿亚省。成矿区带出露地层主要为寒武系中统龙哈组白云岩,燕山期二长花岗岩发育,经后期断裂构造变质为二长花岗片麻岩。成矿区带共发现脉石英矿床(点)8处,累计查明资源量750.92万吨,均赋存于二长花岗片麻岩中或与地层的接触处的断裂破碎带中。典型矿床:麻栗坡县漫嘎硅石矿,为变质成因热液型脉石英矿床,累计查明资源量143.06万吨, SiO_2 含量为98.49%~99.18%,矿体呈似层状产出。

3.2.24 Hi-24 桂西-黔西南脉石英成矿区带

位于扬子陆块区上扬子陆块南盘江-右江陆缘裂谷盆地东部,属滨太平洋成矿域华南成矿亚省。成矿区带共发现脉石英矿床(点)8处,累计查明资源量524.99万吨。典型矿床:羌圩村班之脉石英矿,查明资源量118.6万吨,赋存于华力西期辉绿岩岩基中。

3.2.25 Hi-25 江南隆起西段脉石英成矿区带

位于扬子陆块区上扬子陆块西南缘湘黔桂三省交界处,属滨太平洋成矿域上扬子成矿亚省。新元古代时期的构造运动为脉石英的形成提供了良好的

表5 中国脉石英矿成矿区带典型矿床特征
Table 5 Typical deposit characteristics of vein quartz deposit zones in China

脉石英成矿区带名称	典型矿床	赋矿围岩/岩性	矿床类型	矿石类型	$w(\text{SiO}_2)/\%$	查明资源量/万吨
Hi-1 阿尔泰山地块	阿尔泰可可托海	哈巴河群片岩、变质角闪凝灰岩	伟晶岩型	雪白色砂糖状	97.5	427.3
Hi-2 觉罗塔格-黑鹰山	额济纳旗白龙山	斜长流纹岩	岩浆热液型	雪白色致密状	96.52~99.34	303.34
Hi-3 伊犁微板块	和静县措尔奥	中酸性侵入岩-次火山岩	岩浆热液型	雪白色致密状	96.17~98.19	283.98
Hi-4 公婆泉-敦煌地块	阿克塞县黄草滩	黑云母钾长花岗岩	岩浆热液型	雪白色致密状	96.02~99.96	874.80
Hi-5 柴达木北缘	大柴旦行委大头羊西沟	花岗岩	岩浆热液型	雪白色致密状	96.58	927.06
Hi-6 吉中-延边活动陆缘	蛟河市白石砬子	花岗岩	岩浆热液型	雪白色致密状	96.02~99.96	71.6
Hi-7 营口-长白次级隆起	凤城市四门子镇扈家村	中粗粒黑云母片岩、二云石英片岩	变质热液型	雪白色砂糖状、雪白色致密状	99.19~99.37	730.9
Hi-8 华北陆块北缘	固阳县公义明	黑云母花岗岩体	岩浆热液型	乳白色致密状、雪白色致密状	92.24~98.97	205
Hi-9 山西吕梁	闻喜县文家坡	条痕状混合岩、片岩、片麻岩	伟晶岩型	雪白色致密状、雪白色砂糖状	99	27
Hi-10 北祁连	宝鸡市凤阁岭大岭山	二长花岗岩	岩浆热液型	乳白色致密状、雪白色致密状	92.74~97.20	204.40
Hi-11 小秦岭-豫西	卢氏县鲁家嘴	燧石条带白云岩	变质热液型	乳白色致密状	97.03~97.34	28.67
Hi-12 南秦岭	商南县长小川	白云岩和白云质灰岩	变质热液型	雪白色致密状	98.95	55.76
Hi-13 鲁西断隆	沂南县长杨行	黑云二长花岗岩	岩浆热液型	雪白色致密状	98.6	34.49
Hi-14 东海-赣榆	东海县红土山	榴辉岩及角闪岩片岩	变质热液型	雪白色致密状、雪白色砂糖状		
Hi-15 桐柏-大别	新县卡房	混合质白云二长片麻岩	变质热液型	雪白色致密状		
Hi-16 宁芜-九华山	旌德县龙川	黑云母花岗岩闪长岩	岩浆热液型	乳白色致密状	98.52~98.76	29.89
Hi-17 江南隆起东段	通山县一盘丘	黑云二长花岗岩中	岩浆热液型	乳白色致密状	98.83	273.83
Hi-18 武功山-玉山	休宁县璜茅	浅变质流纹岩及浅变质花岗岩	岩浆热液型	乳白色致密状、雪白色砂糖状	92.45~98.50	779.64
Hi-19 南岭东段(赣南隆起)-浙闽粤沿海	崇义县鹰洞	中-细粒斑状黑云母花岗岩	岩浆热液型	雪白色致密状、乳白色致密状	97.00	147.03
Hi-20 金川-雅江	丹巴县喀卡	片岩、片麻岩	伟晶岩型	雪白色致密状、雪白色砂糖状	95.98~97.31	373.12
Hi-21 大巴山陆缘拗陷-康滇隆起	德昌县杉树坪	花岗岩	岩浆热液型	雪白色致密状、乳白色致密状	98.47	213.3
Hi-22 保山地块	象达乡白石头山	中粒黑云二长花岗岩	岩浆热液型	雪白色致密状、乳白色致密状	97.02~99.75	385.3
Hi-23 滇东南南部	麻栗坡县漫嘎	二长花岗岩片麻岩	变质热液型	雪白色致密状	98.49~99.18	143.06
Hi-24 桂西-黔西南	羌圩村班之	辉绿岩	变质热液型	雪白色致密状		118.6
Hi-25 江南隆起西段	罗城县拉荣	花岗岩	岩浆热液型	乳白色致密状、雪白色致密状	98.56~99.81	86.23
Hi-26 南岭西段	贺州市真竹口	长石石英砂岩、细砂岩、粉砂岩	变质热液型	雪白色致密状、乳白色致密状	95.86	389.9
Hi-27 海南	澄迈县南蛇岭	花岗岩	岩浆热液型	雪白色致密状、乳白色致密状	97.96	2 208

物质来源及赋矿空间(Peng *et al.*, 2000; 杜秋定, 2021)。成矿区带共发现脉石英矿床(点)10处, 累计查明资源量501.84万吨。典型矿床: 罗城县拉荣脉石英矿床, 为岩浆成因热液型脉石英矿床, 查明资源量86.23万吨, SiO_2 含量为98.56%~99.81%, 赋存于加里东晚期拉荣岩体花岗岩体中, 由3个矿体组成, 呈脉状。

3.2.26 Hi-26 南岭西段脉石英成矿区带

位于扬子陆块区和华夏造山系南岭西段的交界处, 属滨太平洋成矿域华南成矿亚省。成矿区带经历了四堡期、雪峰期、加里东期、燕山期等多期构造演化, 地层及岩浆岩分布都较为复杂, 以寒武系地层和燕山期火成岩为主。成矿区带共发现6处脉石英矿, 累计查明资源量992.02万吨。典型矿床: 贺州市平桂区真竹口矿区脉石英矿, 为变质成因热液型脉石英矿床, 查明资源量389.9万吨, SiO_2 平均含量为95.86%, 赋存于黄洞口组第二岩性段长石石英砂岩、细砂岩、粉砂岩中, 由4个矿体组成, 呈脉状。

3.2.27 Hi-27 海南脉石英成矿区带

位于华夏造山系海南弧盆系江边-邦溪俯冲增生杂岩和五指山岩浆弧交界处, 属滨太平洋成矿域华南成矿亚省。成矿区带以燕山期中酸性岩浆大规模侵入、形成巨型复式岩基为特征。成矿区带共发现2处脉石英矿, 累计查明脉石英资源储量为2482.88万吨。典型矿床: 澄迈县南蛇岭硅石矿, 为岩浆成因热液型脉石英矿床, 查明资源量2208万吨, SiO_2 平均含量为97.96%, 赋存于花岗岩体中, 由两个矿体组成。

4 中国脉石英矿成矿规律

4.1 中国脉石英矿床的空间分布规律

中国脉石英矿床分布广泛。在地理分布上, 除上海、天津、重庆、西藏等省市外, 其余地区均有分布, 但分布不均匀, 主要分布于中国东南部, 其次为中部、西北部及东北部。按行政区划, 主要分布于江西、福建, 其次为河南、陕西、四川、新疆等地区。大中型矿床集中于青海、江西、内蒙、新疆等地区。

从大地构造位置看, 中国脉石英矿主要分布于华夏造山系、秦-祁-昆造山系, 其次为阿尔泰-兴蒙造山系、华北陆块区、扬子陆块区。脉石英矿主要产于板块之间、构造造山带、岩浆活动发育地区、区域变质作用地区。矿床呈脉状、透镜状、似层状产于富

硅的花岗岩、变质岩和沉积岩建造中, 或产于岩浆岩与围岩接触带(颜玲亚等, 2020)。形成的大型脉石英矿床, 成因类型多数为岩浆成因热液型脉石英矿床, 如澄迈县南蛇岭脉石英矿床, 资源量达2200万吨以上, 德令哈市乌兰希勒沟脉石英矿床, 资源量达1500万吨以上。形成的伟晶岩型脉石英矿床, 多数为中小型, 如闻喜县文家坡(10号脉)长石脉石英矿床, 大田县沈岭脉石英矿床。形成的变质成因热液型脉石英矿床, 多为小型, 如新县卡房脉石英矿床、兴国县田福墩脉石英矿, 少数为大型, 是由多条矿体组成, 如凤城市四门子镇扈家村硅石矿, 由多条矿体组成, 资源量达700万吨以上。

伟晶岩型脉石英矿床和岩浆成因热液型脉石英矿床主要分布于华夏造山系武夷-云开弧盆系、丽水-政和-大浦结合带和东南沿海岩浆弧, 阿尔泰-兴蒙造山系阿尔泰弧盆系和天山-准噶尔-北山造山系北山弧盆系、伊宁-中天山地块, 华北陆块区渤海东陆块、冀北-阴山陆块、鄂尔多斯陆块、五台-太行陆块和冀辽陆块, 扬子陆块区上扬子陆块和下扬子陆块。

变质成因热液型脉石英矿床主要分布于秦-祁-昆造山系秦岭弧盆系、大别苏鲁地块、武当-随州陆缘裂谷, 其次为华北陆块陕豫皖陆块熊耳裂谷和扬子陆块上扬子陆块都龙变质基底杂岩。

4.2 中国脉石英矿床的时间分布规律

脉石英是半透明-透明矿物, 各微量元素的含量很低, 其同位素的测定工作偏少(颜玲亚等, 2020), 共统计148处脉石英矿产地(包括矿点)成矿时代(图10)。山西浑源县周家沟(山西省地方志编纂委员会, 1993)、宁夏石嘴山道路沟(宁夏回族自治区地质调查院, 2012)等脉石英矿床形成于五台期。山西省闻喜文家坡、忻州石圪迭(山西省地方志编纂委员会, 1993)、山东沂南青杨行(高继辉等, 2015)等脉石英矿床形成于吕梁期。黑龙江萝北尖山子(佳木斯市三江地质技术开发公司, 1994)、四川会理岔河(四川地质矿产局, 1990)等脉石英矿床形成于晋宁期。内蒙古固阳公义明(包头钢铁公司地质勘探公司第一勘探队, 1962)、江西新干大峰山等脉石英矿床形成于兴凯期。陕西商南县地区(田冲等, 2022)、青海大柴旦行委大头羊西沟地区(雷恩, 2020)等脉石英矿床形成于加里东期。贵州罗甸县逢亭拱里、哈密市尾亚白山脉石英矿床等形成于华力西期。湖南常宁寿竹元、内蒙古化德县三道沟(中化地质矿山总局内蒙古地质勘查院, 2005)等脉石英矿形成于

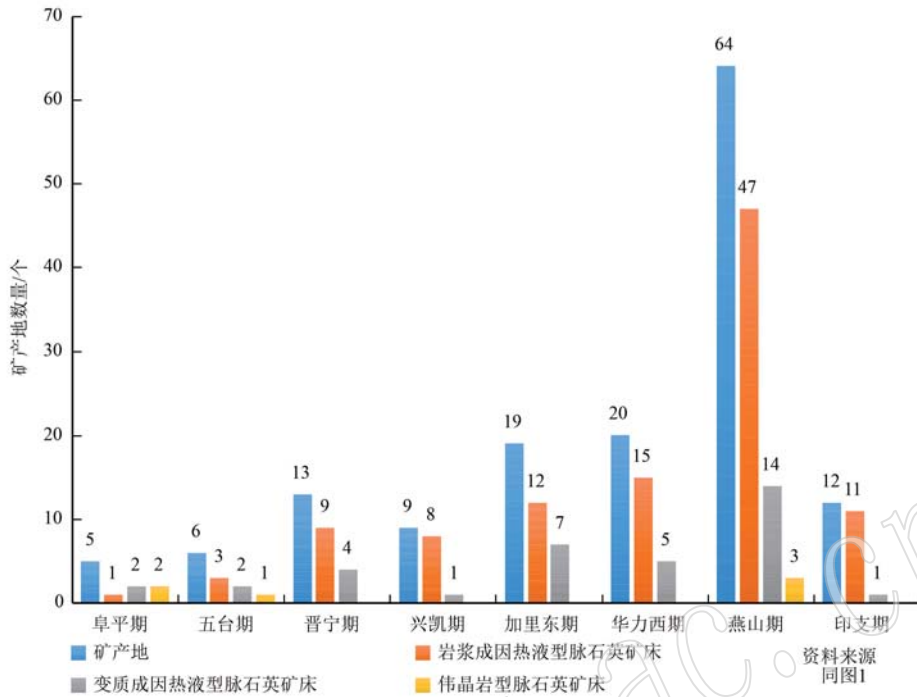


图10 中国脉石英矿成矿时代分布图

Fig. 10 Distribution of metallogenic ages of China's vein quartz deposits

印支期。安徽璜茅脉石英(王云月, 2022)、河南栾川脉石英(刘冰塑, 2016)为燕山期岩浆热液活动的产物。大别山东段地区脉石英矿形成于燕山期(李光惠等, 2020)。根据脉石英矿床研究,我国脉石英矿自太古宙至中生代均有分布,从五台期、吕梁期、晋宁期、兴凯期、加里东期、华力西期、印支期、燕山期各时期均有形成。从矿床类型来看,伟晶岩型脉石英矿床数量较少,主要分布于燕山期、阜平期、五台期,岩浆成因热液型脉石英矿床和变质成因热液型脉石英矿床各时期均有分布,其中主要以岩浆成因热液型脉石英矿床为主,其次为变质成因热液型脉石英矿床。从矿床数量来看,主要形成于燕山期,其次为华力西期、加里东期。

5 结论

(1) 中国脉石英资源较为丰富,分布广泛又相对集中,以玻璃用、冶金用矿产地为主,其中青海、海南矿床规模最大,江西、福建矿床数量分布最多。中国脉石英矿床(点)较多,普遍规模较小,勘查程度相对较低。

(2) 中国脉石英矿床主要划分为伟晶岩型脉石英矿床和热液型脉石英矿床两种,依据含矿热液来

源,热液型脉石英矿床又进一步分为岩浆成因热液型和变质成因热液型两种矿床类型。中国脉石英矿床以岩浆成因热液型脉石英矿床为主。

(3) 中国脉石英矿床在各个构造板块均有分布,主要分布在华夏造山系、秦-祁-昆造山系,其次为阿尔泰-兴蒙造山系、华北陆块区、扬子陆块区。本次初步划分了27个脉石英成矿区带,其中阿尔泰地块脉石英成矿区带、吕梁脉石英成矿区带、南秦岭脉石英成矿区带、东海-赣榆脉石英成矿区带、桐柏-大别脉石英成矿区带,是重要的高纯石英原料产区,具有较大的成矿潜力。

(4) 中国脉石英矿床自阜平期至印支期均有分布,集中分布于燕山期,其次为华力西期、加里东期、晋宁期、印支期、兴凯期、五台期、阜平期则成矿较少。燕山期是中国脉石英矿形成的最主要时期。

(5) 根据中国脉石英成矿特征,秦岭-大别-苏鲁一带具备形成变质热液型脉石英矿床的成矿要素,山西吕梁、新疆阿尔泰地区具备形成伟晶岩型脉石英矿床的成矿要素,具有很好的高纯石英找矿远景,是优先部署勘查工作的远景区。

(6) 江西、青海、新疆、海南等地侵入岩分布广泛,断裂构造发育,具备形成大型岩浆热液型脉石英矿床的成矿要素,已发现许多中大型脉石英矿产地,

成矿条件好,具有很好的脉石英矿找矿远景。

致谢 感谢合肥工业大学邓宇峰教授及中建材地勘中心陕西总队、四川总队、河南总队、山西总队、湖北总队、江西总队等对本次工作提供的有益帮助。文章成稿后,中建材地勘中心安徽总队教授级高级工程师殷张明、教授级高级工程师王超峰进行了认真审阅,提出了许多宝贵意见,特此致谢。

References

- Baogang Group Company Geological Exploration Company First Exploration Team. 1962. Detailed Geological Survey Report on Gongyi Mingmai Quartz Deposit in Guyang District, Baotou City, Inner Mongolia [R]. Baotou: Baogang Group Company Geological Exploration Company First Exploration Team (in Chinese).
- Chen Anqing, Hou Mingcai, Lin Liangbiao, *et al.* 2020. Cambrian lithofacies paleogeographic characteristics of the Upper Yangtze Block: Implications for the marine basin evolution and hydrocarbon accumulation of small-scale tectonic blocks in China[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40(3): 38~47 (in Chinese with English abstract).
- Chen Bolin, Gao Yun, Shen Jinghui, *et al.* 2022. Characteristics of the Mianhuakeng fault and Youdong fault and their relation to uranium mineralization in the Changjiang uranium ore field, northern Guangdong[J]. *Journal of Geomechanics*, 28(3): 367~382 (in Chinese with English abstract).
- Chen Junming. 1962. Evaluation Report on the 10th Granite Pegmatite Vein in the Wenjiapo Mining Area of Jiuwutou Commune, Wenxi County, Shanxi Province[R]. Yuncheng: Shanxi Provincial Geological Prospecting Bureau 214 Geological Team Co., Ltd. (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong and Zhu Yusheng. 2007. China's Metallogenic System and Regional Metallogenic Evaluation (Volume 1 and Volume 2)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~1 005 (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Zhu Yusheng, Xiao Keyan, *et al.* 2006. Division of orogenic provinces (belts) in China[J]. *Mineral Deposits*, 25(S1): 1~6 (in Chinese with English abstract).
- Cui Xiaolin, Deng Jun, Zhang Duo, *et al.* 2017. Chronological and geochemical characteristics of the Early Silurian metamorphic granites in Tengchong Block, western Yunnan and their implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(7): 2 085~2 098 (in Chinese with English abstract).
- Cui Xing, Sun Min and Zhao Guochun. 2022. Syn-orogenic A-type granites and post-collisional I-type granites in the southern Chinese Altai: Petrogenesis and implications for granite classification[J]. *Gondwana Research*, 111: 20~34.
- Dong Shuwen, Gao Rui, Yin An, *et al.* 2013. What drove continued continent-continent convergence after ocean closure? Insights from high-resolution seismic-reflection profiling across the Daba Shan in central China[J]. *Geology*, 41(6): 671~674.
- Du Chaohui. 2015. Current status of granite research in the Altai Orogenic Belt, Xinjiang[J]. *Xinjiang Nonferrous Metal*, 38(1): 1~3 (in Chinese).
- Du Qiuding. 2020. Evolution and Dynamic Mechanism of Neoproterozoic Basin in Hunan, Guizhou and Guangxi[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Gao Jihui, Ouyang Youhe and Wang Yanwei. 2015. Metallogenic features and prospecting direction of vein quartz in north-central area of Linyi City[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (6): 35~37, 57 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shuxue, Yan Lingya, Chen Zhengguo, *et al.* 2020. Preliminary division of vein quartz metallogenic belts in China[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (5): 5~9 (in Chinese with English abstract).
- Geological Survey Institute of Ningxia Hui Autonomous Region. 2012. Geological Survey Report on 1/50000 Mineral Resources in the North Section of Helan Mountain[R]. Yinchuan: Geological Survey Institute of Ningxia Hui Autonomous Region (in Chinese).
- Guo Yongjie, Li Bin, Cai Xiaobing, *et al.* 2022. Geological characteristics and prospecting prospect of the Zhufotang quartz mine in Ningguo, Anhui Province[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (2): 52~55 (in Chinese with English abstract).
- Hao Wenjun, Feng Shuwen, Zhan Jianhua, *et al.* 2020. Current situation, production, consumption and trade pattern of high-purity quartz in the world[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (5): 15~19 (in Chinese with English abstract).
- Inner Mongolia Geological Exploration Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau. 2005. Geological Survey Report of Sandaogou Silica Mine in Huade County, Inner Mongolia Autonomous Region[R]. Hohhot City: Inner Mongolia Geological Exploration Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau (in Chinese).
- Jiamusi Sanjiang Geological Technology Development Company. 1994.

- Detailed Investigation Report on Jianshanzi Glass Vein Quartz Mine in Luobei County, Heilongjiang Province [R]. Hegang: Jiamusi Sanjiang Geological Technology Development Company (in Chinese).
- Jiang Yang, Zhao Xilin, Li Longming, *et al.* 2020. Neoproterozoic continental margin-arc magmatic activity of the Nanping-Ninghua tectonic belt, South China: Implications for tectonic evolution of the Wuyi orogenic belt[J]. *Geology in China*, 47(4): 1 010~1 024 (in Chinese with English abstract).
- Jiao Lixiang. 2019. Current situation and supply demand analysis of the development and utilization of vein quartz resources in China[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (2): 11~14 (in Chinese with English abstract).
- Lei En. 2020. Geological characteristics and ore-forming laws of quartz deposits in the northern margin of the Qaidam Basin, Qinghai Province[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (5): 55~57 (in Chinese).
- Li Guanghui and Zhang Xu. 2020. Geological characteristics and prospecting potential analysis of vein quartz in the eastern Dabie mountains [J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (5): 25~29 (in Chinese with English abstract).
- Li Jiabin. 2023. Research on the distribution characteristics and metallogenic laws of vein quartz resources in China[J]. *Jilin Geology*, 42 (2): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Li Longming, Lin Shoufa, Xing Guangfu, *et al.* 2021. Identification of ca. 520 Ma mid-ocean-ridge-type ophiolite suite in the inner Cathaysia block, South China: Evidence from shearing-type oceanic plagiogranite[J]. *GSA Bulletin*, 134 (7~8): 1 701~1 720.
- Li Zaihui, Lin Shiliang, Cong Feng, *et al.* 2012. U-Pb ages of zircon from metamorphic rocks of the Gaoligongshan Group in western Yunnan and its tectonic significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (5): 1 529~1 541 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bingsu. 2016. Geological and Geochemical Characteristics and Genesis of Vein Quartz Deposits in Luanchuan, Henan Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Liu Guoku, Zhang Wenjun, Ma Zhengxian, *et al.* 2007. Present situation of researching on purifying silica by mineral processing[J]. *Non-ferrous Mining and Metallurgy*, 23(6): 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Liu Huan, Zhao Xilin, Zhang Jinguo, *et al.* 2021. The properties of Nanhua arc volcanic rocks in the Nanping-Ninghua tectonic belt of the Wuyi terranes and its implications for the integration of multi-microterranes in the Cathaysia block[J]. *Acta Geologica Sinica*, 95(12): 3 629~3 641.
- Liu Xingqiao, Peng Yujing, Yin Changjian, *et al.* 2010. Three genetic-tectonic types and their mineral prospecting significances of Late Triassic-early Cretaceous granites in Jilin Province[J]. *Jilin Geology*, 29(1): 1~4, 8 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiyuan. 2003. Mesozoic-Genozoic tectonic character and its geological meaning in Pingxiang Jiangxi Province[J]. *Geological Survey and Research*, 26 (4): 233~240 (in Chinese with English abstract).
- Mao Lingwen, Gu Cuihong, Wu Jianxin, *et al.* 2010. Experimental study on replacing crystal with vein quartz to produce high-purity quartz sand[J]. *The World of Building Materials*, 31(1): 1~4 (in Chinese with English abstract).
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. 2023. Statistical Table of National Mineral Resource Reserves in 2022[R]. Beijing: Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China (in Chinese).
- Niu Yazhuo, Lu Jincai, Liu Chiyang, *et al.* 2018. Geochronology and distribution of the Upper Carboniferous—Lower Permian Ganquan Formation in the Beishan Region, Northwestern China and its tectonic implication[J]. *Geological Review*, 64(4): 806~827 (in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, *et al.* 2009. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 36(1): 1~28, 255 (in Chinese with English abstract).
- Peng Jun, Yi Haisheng and Xia Wenjie. 2000. Geochemical indication of Sinian bedded siliceous rocks in the Hunan-Guizhou-Guangxi area and their environmental significance[J]. *Acta Geologica Sinica(English edition)*, 74(1): 46~53.
- Qin Kezhang, Zhou Qifeng, Tang Dongmei, *et al.* 2021. The emplacement mechanism, melt-fluid evolution, rare-element metallogenesis and puzzles of the Koktokay No. 3 pegmatite rare elemental deposit, Altai[J]. *Acta Geologica Sinica*, 95(10): 3 039~3 053(in Chinese with English abstract).
- Ren Baoqin, Zhang Hui, Tang Yong, *et al.* 2011. LA-ICPMS U-Pb zircon geochronology of the Altai Pegmatites and its geological significance[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(3): 587~596 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junfeng. 2004. Paleozoic Tectonic Transformation of the north Qinling Mountains in Shaanxi Province[D]. Xi'an: Northwest University (in Chinese with English abstract).

- Shanxi Province Local Records Compilation Committee. 1993. Shanxi Tongzhi (Volume 4) Geological and Mineral Resources Records [M]. Beijing: Zhonghua Book Company (in Chinese).
- Sichuan Bureau of Geology & Mineral Resources. 1990. Summary of Regional Mineral Resources in Sichuan Province [R]. Chengdu: Sichuan Bureau of Geology & Mineral Resources (in Chinese).
- Song Shuaihua. 2023. Research on the Paleozoic accretion collage and multiple convergence processes in Altai and West Junggar [J]. *Xinjiang Geology*, 41(S1): 11 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yadong and Yan Fenglin. 2005. Discussions on bubble defect relationship of quartz and quartz glass of different origins [J]. *Jiangsu Geology*, 29(4): 204~206 (in Chinese with English abstract).
- Tang Chunhua, Zhang Shenghui, Yuan Jing, *et al.* 2024. Deposit characteristics and potential resources of silicon material for high-purity quartz of muscovite-pegmatite-granite type in Ningdu, Jiangxi Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 43(5): 667~679 (in Chinese with English abstract).
- Tang Jiafu and Hou Mingjin. 2016. Re-understanding of some important basic geological issues about Dabieshan and its adjacent regions, China: A further study on the nonplate-collision orogenic process of the Dabie Orogen Belt [J]. *Earth Science Frontiers*, 23(4): 1~21 (in Chinese with English abstract).
- Teng Yuxiang, Xue Xiaofeng, Mu Lixiu, *et al.* 2019. Chronology, geochemical characteristics and geological significance of Burqin Mustarba Mass in Western Junggar Basin, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 37(3): 296~302 (in Chinese with English abstract).
- Tian Chong, Shou Liyong, Cui Yongjun, *et al.* 2022. Characteristics and quality influencing factors of vein quartz deposit for high-purity quartz in Ankang area, South Qinling Mountains [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 41(6): 1 147~1 158 (in Chinese with English abstract).
- Tong Jinsong. 2008. Magmatism and Regional Tectonic Evolution of Orogenic belt [D]. China University of Geosciences Beijing (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiping, Zhang Guangshan, Guo Zhifeng, *et al.* 2021. Orebody characteristics and prospecting direction of vein quartz in Kafang Area, western of Dabie Mountain [J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (2): 30~33, 18 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiuyi, Xie Zefeng, Wang Chunlian, *et al.* 2022. Trace element concentrations and mineralogy of quartz vein deposits from Southeastern Hubei Province, China [J]. *Minerals*, 12(7): 814.
- Wang Ling. 2021. Principles of Mineral Material Science [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~600 (in Chinese).
- Wang Ling, Dang Chenping, Li Caixia, *et al.* 2014. Technology of high-purity quartz in China: Status quo and prospect [J]. *Earth Science Frontiers*, 21(5): 267~273 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shuchun. 2021. Geological characteristics and genesis of Huangshiping vein quartz deposit in Hubei [J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (4): 25~28 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiang, Yi Chengsheng, Tu Bingfeng, *et al.* 2020. Geological characteristics and metallogenic regularity of vein quartz deposit in Hubei Province [J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (5): 46~50 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yunyue. 2022. Study on Quality Evaluation Method of High-purity Quartz Raw Materials in the Huangmao Deposit, Southern Anhui Province [D]. Hefei: Hefei University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Wu Shimin, Ma Ruishi, Lu Huaxia, *et al.* 1996. Paleozoic tectonic evolution of the West Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 16(2): 95~101 (in Chinese with English abstract).
- Xie Zefeng, Wang Jiuyi, Peng Yancong, *et al.* 2022. Impurity characteristics of Fujiashan vein quartz deposit in southeastern Hubei Province and its potential as raw material for high-purity quartz [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 41(6): 1 159~1 168 (in Chinese with English abstract).
- Xu Lingang, Fu Xuerui, Ye Huishou, *et al.* 2022. Geochemical composition and paleoceanic environment of the Lower Cambrian black shale-hosted Qianjiaping vanadium deposit in the southern Qinling Region [J]. *Earth Science Frontiers*, 29(1): 160~175 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, *et al.* 2008. Division Plan for Metallogenic Zones in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2~5 (in Chinese).
- Yan Lingya, Gao Shuxue, Chen Zhengguo, *et al.* 2020. Types and metallogenic regularity of vein quartz deposit in China [J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (5): 10~14 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jun, Peng Dong, Zhang Jianbo, *et al.* 2015. Sedimentary formation and tectonic Mélange in the Luhuo-Dawu structural zone [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 35(3): 330~333 (in Chinese with English abstract).
- Yang Liantao, Cui Yongjun, Zhang Liang, *et al.* 2020. Geological characteristics and genesis of vein quartz deposit in Shangluo Area,

- Shaanxi Province[J]. China Non-metallic Minerals Industry, (5): 42~45, 57 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xiaoyong, Sun Chao, Cao Jingya, *et al.* 2022. High-purity quartz: Research progress and perspective review[J]. Earth Science Frontiers, 29(1): 231~244 (in Chinese with English abstract).
- Yao Fengliang and Sun Fengyue. 2006. Kuangchuanxue Jiaocheng[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~260 (in Chinese).
- Yu Hongbin, Qiao Guohua, Peng Yujing, *et al.* 2009. Correcting name on Cenozoic Chuandishan basalt in Jihei area and its significance[J]. Global Geology, 28(4): 485~490 (in Chinese with English abstract).
- Yu Tao, Zhang Fucang and Wan Haitao. 2022. Survey of Yansenhada Lintuo Vein Quartz Mine in Delingha City, Qinghai Province[R]. Xining: Qinghai Branch of China National Geological Exploration Center of Building Materials Industry (in Chinese).
- Yu Xinqi, Jiang Laili, Xu Wei, *et al.* 2007. Identification and basic characteristics of the Anhui-Zhejiang-Jiangxi fault zone[J]. Earth Science Frontiers, 14(3): 102~113 (in Chinese with English abstract).
- Zhan Jianhua, Wang Yi, Chen Zhengguo, *et al.* 2020. Analysis of current situation of vein quartz resources in China[J]. China Non-metallic Minerals Industry, (5): 15~19 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fushen, Xu Jin, Zhang Juan, *et al.* 2020. Geochemical characteristics, zircon U-Pb age and geological significance of New Proterozoic granites in Jiuling area, Jiangxi Province[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 43(1): 12~20 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Haiqi, Tan Xiumin, Ma Yameng, *et al.* 2022b. Geological characteristics of pegmatite type high-purity quartz in Altai, Xinjiang and preparation technology of 4N8 grade products[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 42(5): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Haiqi, Zhu Likuan, Zhao Haibo, *et al.* 2022a. First discovery of the Longquanping pegmatitic high-purity quartz deposit in the area of Lushi, Henan: Implications for exploration[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 42(4): 153~158 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hua, He Raosheng, Huang Qinhui, *et al.* 2020. The characteristics of neotectonics in Gaoligongshan mts s section, SW Yunnan[J]. Yunnan Geology, 39(4): 461~467 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Tian. 2007. Geological Report on the Production of the Cu'o'er Aomai Quartz Deposit in Hejing County, Xinjiang[R]. Nanyang: The First Institute of Geological Exploration of Henan Geological and Mineral Exploration and Development Bureau (in Chinese).
- Zhang Zhihua. 2020. Geochemistry and Genetic Mechanism of the Paleozoic-Mesozoic Granites in the Western Section of the North Qinling[D]. Xi'an: Northwest University (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 包头钢铁公司地质勘探公司第一勘探队. 1962. 内蒙包头市固阳县公义明脉石英矿床详细地质普查报告书[R]. 包头: 包头钢铁公司地质勘探公司第一勘探队.
- 陈安清, 侯明才, 林良彪, 等. 2020. 上扬子地区寒武纪岩相古地理: 对中国小陆块海相盆地演化特点及其控藏效应的启示[J]. 沉积与特提斯地质, 40(3): 38~47.
- 陈柏林, 高允, 申景辉, 等. 2022. 粤北长江铀矿田棉花坑断裂、油洞断裂特征及其与铀成矿关系[J]. 地质力学学报, 28(3): 367~382.
- 陈俊明. 1962. 山西省闻喜县酒务头公社文家坡矿区10号花岗伟晶岩脉评价报告[R]. 运城: 山西省地质勘查局二一四地质队有限公司.
- 陈毓川, 王登红, 朱裕生. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价(上下册)[M]. 北京: 地质出版社, 1~1 005.
- 陈毓川, 朱裕生, 肖克炎, 等. 2006. 中国成矿区(带)的划分[J]. 矿床地质, 25(S1): 1~6.
- 崔晓琳, 邓军, 张铎, 等. 2017. 滇西腾冲地块高黎贡山群早志留世变质花岗岩体的年代学、地球化学特征及意义[J]. 岩石学报, 33(7): 2 085~2 098.
- 杜超辉. 2015. 新疆阿尔泰山带花岗岩类研究现状[J]. 新疆有色金属, 38(1): 1~3.
- 杜秋定. 2020. 湘黔桂地区新元古代中期盆地演化及动力学机制研究[D]. 成都: 成都理工大学.
- 高继辉, 欧阳友和, 王言伟. 2015. 临沂中北部地区脉石英成矿特征及找矿方向[J]. 中国非金属矿工业导刊, (6): 35~37, 57.
- 高树学, 颜玲亚, 陈正国, 等. 2020. 我国脉石英成矿区带初步划分[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 5~9.
- 郭泳杰, 李斌, 蔡晓兵, 等. 2022. 安徽宁国诸佛堂石英矿地质特征及找矿远景[J]. 中国非金属矿工业导刊, (2): 52~55.
- 郝文俊, 冯书文, 詹建华, 等. 2020. 全球高纯石英资源现状、生产、消费及贸易格局[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 15~19.
- 佳木斯市三江地质技术开发公司. 1994. 黑龙江省萝北县尖山子玻

- 璃用脉石英矿详查报告[R]. 鹤岗:佳木斯市三江地质技术开发公司.
- 姜 杨,赵希林,李龙明,等. 2020. 闽中南平-宁化构造带南华纪陆缘弧岩浆活动:对武夷造山带构造演化的新启示[J]. 中国地质, 47(4): 1 010~1 024.
- 焦丽香. 2019. 我国脉石英资源开发利用现状及供需分析[J]. 中国非金属矿工业导刊, (2): 11~14.
- 雷 恩. 2020. 青海柴达木盆地北缘脉石英矿床地质特征及成矿规律探讨[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 55~57.
- 李光惠,张 徐. 2020. 大别山东段脉石英矿床地质特征及找矿潜力分析[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 25~29.
- 李嘉欣. 2023. 中国脉石英资源分布特征及成矿规律研究[J]. 吉林地质, 42(2): 1~8.
- 李再会,林仕良,丛 峰,等. 2012. 滇西高黎贡山群变质岩的锆石年龄及其构造意义[J]. 岩石学报, 28(5): 1 529~1 541.
- 刘冰塑. 2016. 河南栾川脉石英矿床地质地球化学特征及成因探讨[D]. 北京:中国地质大学(北京).
- 刘国库,张文军,马正先,等. 2007. 硅石选矿提纯工艺研究现状[J]. 有色矿冶, 23(6): 26~30.
- 刘 欢,赵希林,张金国,等. 2021. 武夷地块中南平-宁化构造带南华纪弧火山岩属性及其对华夏板块多微地体拼合的启示[J]. 地质学报, 95(12): 3 629~3 641.
- 刘细元. 2003. 江西萍乡一带中-新生代构造特征及其意义[J]. 地质调查与研究, 26(4): 233~240.
- 刘兴桥,彭玉鲸,殷长建,等. 2010. 吉林省晚三叠世-早白垩世花岗岩类三大成因构造类型及其地质找矿意义[J]. 吉林地质, 29(1): 1~4, 8.
- 茹令文,谷翠红,吴建新,等. 2010. 脉石英替代水晶生产高纯石英砂试验研究[J]. 建材世界, 31(1): 1~4.
- 宁夏回族自治区地质调查院. 2012. 贺兰山北段 1/5 万矿产地质调查报告[R]. 银川:宁夏回族自治区地质调查院.
- 牛亚卓,卢进才,刘池阳,等. 2018. 甘肃北山地区上石炭统-下二叠统干泉组的时代、分布及其构造意义[J]. 地质论评, 64(4): 806~827.
- 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1~28, 255.
- 秦克章,周起凤,唐冬梅,等. 2021. 阿尔泰可可托海 3 号脉花岗岩伟晶岩侵位机制、熔-流体演化、稀有金属富集机理及待解之谜[J]. 地质学报, 95(10): 3 039~3 053.
- 任宝琴,张 辉,唐 勇,等. 2011. 阿尔泰造山带伟晶岩年代学及其地质意义[J]. 矿物学报, 31(3): 587~596.
- 任军锋. 2004. 北秦岭(陕西段)古生代构造体制转换研究[D]. 西安:西北大学.
- 山西省地方志编纂委员会. 1993. 山西通志(第四卷)地质矿产志[M]. 北京:中华书局.
- 四川地质矿产局. 1990. 四川省区域矿产总结[R]. 成都:四川地质矿产局.
- 宋帅华. 2023. 阿尔泰和西准噶尔古生代增生拼贴及多重汇聚过程研究[J]. 新疆地质, 41(S1): 11.
- 孙亚东,严奉林. 2005. 不同成因类型石英与石英玻璃气泡缺陷间关系探讨[J]. 江苏地质, 29(4): 204~206.
- 唐春花,张生辉,袁 晶,等. 2024. 江西宁都白云母伟晶花岗岩型高纯石英用硅质原料矿床特征与资源潜力[J]. 地质通报, 43(5): 667~679.
- 汤家富,侯明金. 2016. 大别山及邻区若干重要基础地质问题的再认识:再论大别造山带非板块碰撞造山过程[J]. 地学前缘, 23(4): 1~21.
- 滕宇翔,薛晓峰,穆利修,等. 2019. 新疆西准噶尔北部布尔津县木斯塔巴岩体年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 新疆地质, 37(3): 296~302.
- 田 冲,寿立永,崔拥军,等. 2022. 南秦岭安康地区高纯石英用脉石英矿特征及质量影响因素[J]. 岩石矿物学杂志, 41(6): 1 147~1 158.
- 童劲松. 2008. 造山带岩浆作用与区域构造演化[D]. 北京:中国地质大学(北京).
- 王纪平,张广山,郭治锋,等. 2021. 大别山西段卡房地区脉石英矿体特征及找矿方向[J]. 中国非金属矿工业导刊, (2): 30~33, 18.
- 汪 灵. 2021. 矿物材料学原理[M]. 北京:地质出版社, 1~600.
- 汪 灵,党陈萍,李彩侠,等. 2014. 中国高纯石英技术现状与发展前景[J]. 地学前缘, 21(5): 267~273.
- 王书春. 2021. 湖北黄柿坪脉石英矿床地质特征及成因浅析[J]. 中国非金属矿工业导刊, (4): 25~28.
- 王 翔,易承生,涂秉峰,等. 2020. 湖北脉石英矿床地质特征及成矿规律探讨[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 46~50.
- 王云月. 2022. 皖南地区璜茅矿床高纯石英原料质量评价方法研究[D]. 合肥:合肥工业大学.
- 吴世敏,马瑞士,卢华复,等. 1996. 新疆西天山古生代构造演化[J]. 桂林工学院学报, 16(2): 95~101.
- 谢泽丰,王九一,彭琰聪,等. 2022. 鄂东南付家山脉石英矿杂质特征及其用作高纯石英原料的潜力[J]. 岩石矿物学杂志, 41(6): 1 159~1 168.
- 徐林刚,付雪瑞,叶会寿,等. 2022. 南秦岭地区下寒武统黑色页岩赋存的千家坪大型钒矿地球化学特征及成矿环境[J]. 地学前

- 缘, 29(1): 160~175.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2~5.
- 颜玲亚, 高树学, 陈正国, 等. 2020. 我国脉石英矿床类型及成矿规律[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 10~14.
- 杨军, 彭东, 张剑波, 等. 2015. 四川炉霍-道孚构造带建造类型和构造混杂特征[J]. 四川地质学报, 35(3): 330~333.
- 杨联涛, 崔拥军, 张亮, 等. 2020. 陕西商洛地区脉石英矿地质特征及成因分析[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 42~45, 57.
- 杨晓勇, 孙超, 曹荆亚, 等. 2022. 高纯石英的研究进展及发展趋势[J]. 地学前缘, 29(1): 231~244.
- 姚凤良, 孙丰月. 2006. 矿床学教程[M]. 北京: 地质出版社, 1~260.
- 于宏斌, 乔国华, 彭玉鲸, 等. 2009. 吉黑地区新生代船底山玄武岩正名及其意义[J]. 世界地质, 28(4): 485~490.
- 余涛, 张福仓, 万海涛. 2022. 青海省德令哈市延森哈达-亚麻图脉石英矿普查[R]. 西宁: 中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队.
- 余心起, 江来利, 许卫, 等. 2007. 皖浙赣断裂带的界定及其基本特征[J]. 地学前缘, 14(3): 102~113.
- 詹建华, 王依, 陈正国, 等. 2020. 我国脉石英资源现状分析[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 1~4.
- 张福神, 徐进, 张娟, 等. 2020. 江西九岭地区新元古代花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 43(1): 12~20.
- 张海啟, 谭秀民, 马亚梦, 等. 2022b. 新疆阿尔泰伟晶岩型高纯石英矿床地质特征及 4N8 级产品制备技术[J]. 矿产保护与利用, 42(5): 1~7.
- 张海啟, 朱黎宽, 赵海波, 等. 2022a. 河南卢氏龙泉坪伟晶岩型高纯石英矿床的首次发现及找矿意义[J]. 矿产保护与利用, 42(4): 153~158.
- 张华, 何绕生, 黄琴辉, 等. 2020. 滇西高黎贡山南段新构造运动特征[J]. 云南地质, 39(4): 461~467.
- 张阆. 2007. 新疆和静县措尔奥脉石英矿生产地质报告[R]. 南阳: 河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院.
- 张志华. 2020. 北秦岭西段古生代-中生代花岗岩地球化学特征及其成因机理探讨[D]. 西安: 西北大学.
- 中化地质矿山总局内蒙古地质勘查院. 2005. 内蒙古自治区化德县三道沟硅石矿地质普查报告[R]. 呼和浩特: 中化地质矿山总局内蒙古地质勘查院.
- 中华人民共和国自然资源部. 2023. 2022 年全国矿产资源储量统计表[R]. 北京: 中华人民共和国自然资源部.