

文章编号: 1004-4051(2023)07-0182-06

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20220898

## 江苏省金红石矿成矿地质特征、 开发利用现状与成矿远景

刘志宏, 肖书明, 张少琴, 王 辉

(江苏省地质调查研究院, 江苏南京 210049)

**摘 要:** 金红石是优质钛的主要来源,也是江苏省的优势矿产资源。江苏省金红石矿集中分布于苏北超高压变质带,已查明的金红石矿品位高、品质好。金红石主要产于榴辉岩体中,岩体主要由石榴子石、绿辉石和金红石组成,榴辉岩体即矿体,综合价值高。江苏省已发现的榴辉岩体可达 2 000 余个,但勘查程度低,仅对其中 8 个榴辉岩体进行过勘查。已勘查的岩体由于受市场、经济、技术等因素制约,往往以岩体中的某一矿种为主,综合勘查、评价程度低,影响了资源的综合利用。因此,全面总结了金红石的区域成矿地质条件、已查明矿产资源状况、开发利用现状,分析了当前资源的可利用状况和资源保障程度。分析认为江苏省产于榴辉岩中的金红石矿成矿条件优越,资源潜力巨大,可利用性好。采用地质体含矿率法评价了江苏省规模较大的 209 个榴辉岩体中金红石及其共伴生的石榴子石、绿辉石的资源潜力。江苏省预计有 30 个榴辉岩体中金红石矿有望达大型规模,可为全省乃至全国新兴产业基地建设提供资源保障。此外,针对存在的问题提出了进一步勘查开发利用建议。

**关键词:** 江苏省; 钛矿; 金红石; 榴辉岩; 成矿规律; 利用现状; 成矿远景

**中图分类号:** TD98; P5 **文献标识码:** A

### **Metallogenic geological characteristics, development and utilization status and metallogenic prospect of rutile ore in Jiangsu Province**

LIU Zhihong, XIAO Shuming, ZHANG Shaoqin, WANG Hui

(Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210049, China)

**Abstract:** Rutile is one of the superior mineral resources in Jiangsu Province, which is the main source of titanium. The titanium ores are concentrated in the ultrahigh pressure metamorphic belt in Northern Jiangsu, that the rutile has better quality and great resource potential. Rutile originated in the eclogite which is composed of garnet, pyroxene, and rutile, the eclogite is also the ore body of rutile which as high comprehensive value. In Jiangsu Province, there are about 2 000 eclogite rocks, but the exploration on them is low, just that eight eclogite rocks are surveyed. Because of the restriction of market, economy and technology, the rocks are usually explored in a certain kind of mineral which has a negative influence on the use of rutile ore. For this reason, summarizes the regional metallogenic geological conditions, the situation of identifies mineral resources, and the current status of development and utilization. And also takes analysis about the degree of resource security, has a conclusion that the rutile

收稿日期: 2022-12-02 责任编辑: 刘硕

基金项目: 2020 年江苏省自然资源发展专项资金资助(编号: 苏财资环〔2020〕20 号); 2021 年省级地质勘查项目资金资助(编号: 苏财资环〔2021〕46 号); 中国矿产地质志项目资助(编号: DD20221695, DD20190379, DD20160346); “中国矿产地质志·江苏(及上海)卷”项目资助

第一作者简介: 刘志宏(1984—), 男, 山西交口人, 硕士, 高级工程师, 主要从事矿产资源勘查工作, E-mail: 287738032@qq.com。

引用格式: 刘志宏, 肖书明, 张少琴, 等. 江苏省金红石矿成矿地质特征、开发利用现状与成矿远景[J]. 中国矿业, 2023, 32(7): 182-187.

LIU Zhihong, XIAO Shuming, ZHANG Shaoqin, et al. Metallogenic geological characteristics, development and utilization status and metallogenic prospect of rutile ore in Jiangsu Province[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(7): 182-187.



基性火山岩,可能含部分基性侵入岩脉)、大理岩类(原岩为白云质灰岩和石灰岩,局部含黏土岩)、片岩类(有两种产出形态,分布于变质岩表壳岩中的为沉积变质岩,分布于韧性剪切带中的属构造片岩范畴)、蛇纹岩类(为超基性岩变质而成)、榴辉岩类(为碱性或偏碱性拉斑玄武岩经超高压变质而成)等。变质岩经历了多期次的变质作用,以绿片岩相、角闪岩相和榴辉岩相保存较完整,但局部仍保留有麻粒岩相的痕迹,基本保存了榴辉岩相-角闪岩相-绿片岩相的退变质过程<sup>[7]</sup>。区内变质岩不仅遭受了多期次的区域变质作用,更重要的是还遭受了华北板块和扬子板块的碰撞、俯冲、折返运动中的高压变质作用、超高压变质作用。

金红石矿的形成与富集同岩性、构造、变质变形作用等有着密切关系。榴辉岩是区内金红石的成矿母岩及赋矿围岩,榴辉岩体是寻找该类型金红石矿床的重要线索。金红石矿的主成矿期为区域变形变质作用的高峰期。后期区内又经历了多次变形-变质作用的改造,常使榴辉岩体产生分带现象<sup>[8]</sup>,矿体的形态发生改变,矿石类型增多。

## 2 江苏省已查明钛矿产资源状况

江苏省查明资源储量的金红石矿区为 8 个,其中,4 个矿区以金红石为主矿种进行了勘查,石榴子石作为伴生矿产进行了初略评价;另外 4 个矿区以石榴子石矿为主矿种,金红石为伴生矿种。这些矿区榴辉岩中的金红石、石榴子石、绿辉石的综合勘查、评价均存在不足。查明矿区的规模以大型为主,开发利用程度较低,开采量占累计查明量的 1.5%。仅毛北矿区与中国大陆科学钻探工程存在审批压覆,其余矿区未被压覆,压覆资源占比为 9.11%。矿区范围主要与永久基本农田重叠,重叠比例相对较低,为 30%~50%。江苏省已查明的金红石原生矿中未利用部分占比达 78.33%,可供进一步开发利用的资源比例较高(图 2)。

榴辉岩体空间分布具有成群成带的特征,岩石类型以块状榴辉岩、片麻状榴辉岩为主,少量条带状榴辉岩等。榴辉岩体中的金红石、石榴子石、绿辉石矿物互为共伴生矿产,均具有工业利用价值。榴辉岩型原生金红石矿床,可利用性较好,综合利用价值较高,是我国亟需的优质钛资源的重要来源。

矿区总体勘查程度低,资源现状和潜力不清。苏北超高压变质带榴辉岩体数千个,经过勘查的仅 8 个。长期以来,金红石矿、石榴子石一直被视为江苏省潜在优势资源,需要加强找矿勘查,掌握真实资

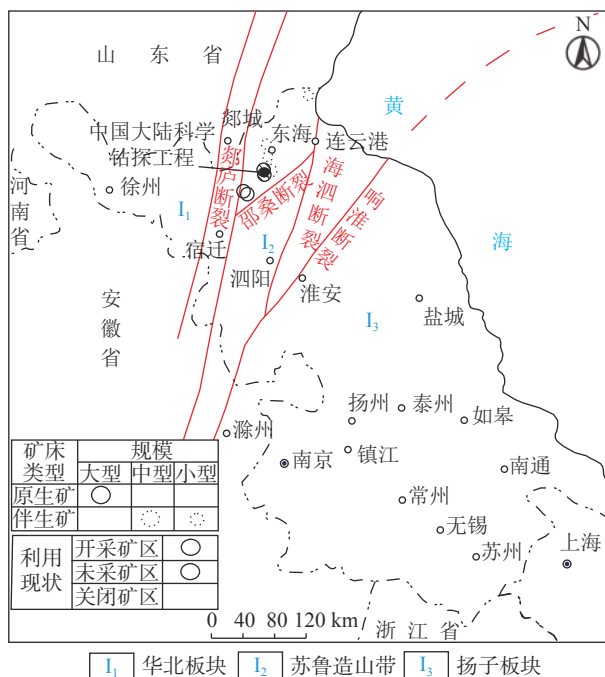


图 2 江苏省钛矿床分布及利用现状图

Fig. 2 Distribution and utilization of titanium deposits in Jiangsu Province

源家底,同时推动资源开发利用,将潜在优势资源转化为真正优势资源,抢占战略性新兴产业先机。

## 3 钛矿产资源开发利用现状

为了提升榴辉岩型金红石矿床的综合利用效率。2018 年,国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心依托可综合回收榴辉岩中金红石、石榴子石及绿辉石的新工艺、新装备和新药剂,与江苏载彤新材料股份有限公司签署了技术服务合作协议。在江苏省东海县联合建立了国家非金属矿综合利用工程技术研究中心东海科技创新基地,致力于提高东海县及周边地区榴辉岩相关非金属矿产资源开发利用技术水平。榴辉岩型金红石原生矿经选矿试验和开采实践,均获得了符合国家标准金红石、石榴子石精矿产品。2018—2020 年平均开采回收率达 99%,金红石的选矿回收率为 47.48%,与金红石共生的石榴子石回收率为 68.49%。金红石选矿后剩余尾矿也全部被用作普通建筑制砂、砖等,综合利用率可达 100%,大大提高了榴辉岩型金红石矿产资源的经济效益和社会效益。

截至 2020 年底,江苏省有效期内钛矿采矿权有 2 个,均位于连云港市东海县毛北矿区,归 2 家公司所属<sup>[9-10]</sup>。毛北矿区毛北矿段采矿权隶属于连云港金红矿业有限责任公司,该企业为民营企业,年采选矿石量 60 万 t 左右,属大型矿山,2017 年 11 月竣工投产,从业人员 212 人,2019 年审计报告营业收入

16 796.60 万元,营业利润 3 981.42 万元,经济效益显著;开采的矿种有金红石、石榴子石,开采深度为 31~50 m。毛北矿区中北矿段采矿权隶属于江苏载彤新材料股份有限公司,2019 年 2 月与东海县政府签订 21.1 亿元投资合同,项目设计年采选矿石量 60 万 t,属大型矿山,同时设计深加工产品(主要生产超低压渗透膜等环保材料和设备制造),目前正处于矿山基建阶段;开采的矿种有金红石、石榴子石,开采深度为 31~200 m。根据自然资源部《2020 年全国矿产资源储量统计表》数据,江苏省金红石储量居全国第二位。

另有矿山企业正在申请小焦金红石矿等 4 个矿区的采矿权,正在利用和准备利用的钛矿均为榴辉岩型金红石原生矿。如新沂市城市投资发展有限公司正在申请新沂市小焦金红石矿区的采矿权。2020 年 5 月由西安建筑科技大学建筑设计研究院编制了

《新沂市城市投资发展有限公司小焦金红石矿采选工程可行性研究报告》,设计年采选矿石量 60 万 t,属于大型矿山,从业人员 200 人,投资 6 亿元。随着江苏省金红石矿床开发利用程度的稳步提高,金红石储量有望攀升至全国第一位。

#### 4 钛资源保障程度

使用静态保障年限和宏观储采比两个指标计算反映正在开发利用的钛矿产资源的保障程度<sup>[10]</sup>。其中,静态保障年限反映矿山当前可用资源的保障程度,计算见式(1)。

$$\text{静态保障年限} = (\text{证实储量} + \text{可信储量}) \div \text{设计产能} \quad (1)$$

根据式(1)和表 1 可知,江苏省正在开发利用的两个矿山中,东海县毛北金红石矿的静态保障年限为 3.17 a,东海县毛北矿区中-北矿段的静态保障年限为 9.88 a;江苏省钛矿的静态保障程度较好,总体静态保障年限 6.52 a。

表 1 江苏省钛矿资源静态保障年限

Table 1 Static guarantee period of titanium resources in Jiangsu Province

矿区名称	证实+可信储量/(矿石/千 t)	产能/(万 t/a)	静态保障年限/a
东海县毛北金红石矿	1 901.62	60	3.17
东海县毛北矿区中-北矿段	5 925.24	60	9.88
江苏省钛矿储量	7 826.86	120	6.52

宏观储采比反映整个矿区(矿种)近期可利用资源的保障程度,计算见式(2)。

$$\text{宏观储采比} = \text{近期可利用资源量} \times \text{回采率} \div \text{产能} \quad (2)$$

根据式(2)和表 2 可知,在当前产能条件下,江

苏省正在开发利用的两个矿山中,东海县毛北金红石矿的宏观储采比为 8.78 a,东海县毛北矿区中-北矿段的宏观储采比为 38.37 a;江苏省钛矿的保障程度较高,总体宏观储采比 46.96 a。

表 2 江苏省钛矿资源宏观储采比

Table 2 Macro reserve-production ratio of titanium resources in Jiangsu Province

矿区名称	近期可利用资源/(矿石/千 t)	回采率/%	设计产能/(万 t/a)	宏观储采比/a
东海县毛北金红石矿	5 401.92	97.5	60	8.78
东海县毛北矿区中-北矿段	23 609.64	97.5	60	38.37
全省可利用钛矿资源	56 569.84	97.5	120	45.96

随着钛相关产业的发展,保障程度势必逐年下降,因此有必要掌握江苏省金红石矿的资源潜力和开展系统的勘查工作,为我国新兴产业的发展做好钛矿产资源保障。

#### 5 远景分析

苏北超高压变质带已发现榴辉岩体 2 000 余个<sup>[11-12]</sup>。岩体形态多呈长条状、似层状、透镜状、扁豆状等拉长形态。规模大小各异,大者长达数千米、宽数百米,小者长不足 1 m,宽仅数厘米。规模较大,宽度超过 50 m,面积超过 0.02 km<sup>2</sup> 的岩体为 209 个,0.2 km<sup>2</sup> 以

上的岩体 50 个,3 个岩体超过了 1 km<sup>2</sup>。

江苏省金红石矿床的控制深度一般在 100 m 以内,毛北矿区控制深度相对较大,一般为 200 m,最深处接近 600 m。中国大陆科学钻探工程位于江苏省毛北金红石矿区中部,主孔 0~2 038 m 钛矿化最好,厚度最大,矿化累计视厚度 1 320 m,矿化视厚度率达 65%;2 038 m 以后钛矿化减弱<sup>[13]</sup>,说明矿区榴辉岩型金红石矿的找矿深度可达 2 000 m,找矿潜力巨大。综合考虑经济和技术条件,以当前控制的浅部钛矿资源为基础,估算江苏省已发现榴辉岩体浅部的钛

矿及其共伴生矿产的成矿远景。

截至目前,江苏省较系统地控制了8个榴辉岩体,岩体大小为0.15~0.75 km<sup>2</sup>,其中4个岩体以金红石矿为主要矿种,另外4个岩体以石榴子石为主要矿种。依据已查明的8个榴辉岩体的面积含矿率,概略估算了江苏省榴辉岩型金红石及其共伴生的石榴子石和绿辉石的资源远景。经计算,已控制岩体平均含矿率金红石为77×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,石榴子和绿辉石为4 600×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。据此估算了江苏省0.02 km<sup>2</sup>以上榴辉岩体中原生金红石型钛资源潜力达0.29×10<sup>9</sup> t,石榴子石和绿辉石的资源潜力均可达17.5×10<sup>9</sup> t。

按此含矿率估算,本次评价的209个榴辉岩体中,30个榴辉岩体中金红石矿有望达大型,140个榴辉岩体中石榴子石矿可能达大型。由此可见,江苏省榴辉岩体的资源潜力巨大,具有形成金红石、石榴子石矿产相关产业基地的资源基础,服务我国新兴产业的布局和发展(图3)。

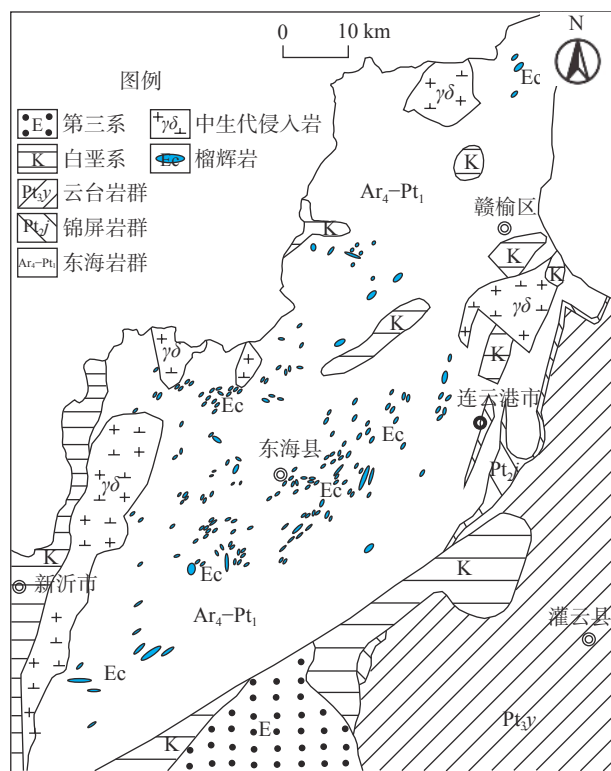


图3 苏北超高压变质带地质简图

Fig. 3 Geological sketch of ultrahigh pressure metamorphic belt in North Jiangsu

## 6 开发利用建议

榴辉岩体中的金红石和石榴子石均已列为我国的战略性矿产资源,未来需求势必越来越旺盛。《江苏省地质调查“十四五”规划》要求“突出苏北、兼顾苏南”的布局原则,以国家重要矿产及金红石(钛)、

石榴子石等江苏省优势矿产为主要目标,开展重点成矿区带战略性矿产调查评价工作。《江苏省矿产资源总体规划(2021—2025年)》将苏鲁造山带江苏段列为矿产资源重点调查评价区(编号DQ003),主攻矿种为金红石、石榴子石等。江苏省已谋划好榴辉岩中相关矿产资源的开发利用方向,各地勘单位应提前做好资料收集、技术储备,开展综合研究。

### 6.1 开展资源潜力评价和矿产资源调查

江苏省榴辉岩有关的矿产工作程度偏低,建议尽早组织开展较为系统、细致的钛矿产资源潜力评价,圈定找矿靶区,有力指导钛矿产资源的勘查开发和产业规划,助力江苏省乃至全国的新兴产业发展。

配合全面的实地调查,全面掌握江苏省榴辉岩体的数量、范围、规模、成矿性。按当前的工作成果,江苏省苏北超高压变质带榴辉岩可划分出6个榴辉岩体集中分布区,分别为踢球山-高流、阿湖-曲阳、青龙山-郎墩、双店-青湖、欢墩埠-石桥,即进一步工作需重点关注的地区。

### 6.2 开展综合评价、综合应用

依据潜力评价和矿产调查结果,合理布置系统的勘查工作。择优对较大的榴辉岩体进行控制,查明金红石、石榴子石、绿辉石的质量和含量,全面掌握江苏省金红石矿产资源家底。

榴辉岩集石榴子石、金红石、绿辉石于一体,在以往的勘查工作中,综合评价程度不够。重点评价金红石时,对石榴子石的关注不够;对以石榴子石为主要矿产的榴辉岩进行勘查时,对共伴生的金红石评价不足;对榴辉岩体中普遍存在的绿辉石未进行过评价,影响了榴辉岩型矿产资源的综合开发利用。

综合评价合理开发榴辉岩矿时,进一步加强榴辉岩选矿流程研究,更好地提高金红石矿回收率,解决石榴子石、绿辉石的综合利用问题。部分榴辉岩型金红石矿床的原生矿浅部还有金红石砂矿,建议矿山原生矿开采时对浅部金红石砂矿进行开采技术条件评价,尽可能实现矿产资源的充分利用。

### 6.3 产业规划

目前在产、在建和筹建的钛矿资源产能,预期设计年采选矿石量达300万t以上。随着资源的开发利用,产业集群效应和经济效益的提升,将大大促进区域钛矿产资源的勘查,进一步夯实产业基地的资源基础。江苏省钛矿产业基地的建设将有力助推苏北经济发展,对江苏省经济的和谐发展具有重要的现实意义,对支撑战略性新兴产业发展和“制造强国”的实现具有重要作用。

江苏省榴辉岩型金红石矿集中分布于连云港东

海县西部至徐州市新沂市东部,建议以毛北矿区、小焦矿区等大型矿床为资源支撑,在连云港东海县至徐州市新沂市建立金红石、石榴子石综合应用产业基地,带动江苏钛矿资源的深加工。

#### 6.4 政策管理

矿业权设置建议应尽可能考虑到整个矿区资源分布,以便于资源整体开发,确需分割的矿区应尽可能考虑到矿体或控制矿体勘探剖面线,以便于资源储量分割和对资源合理开发利用的监督。

榴辉岩型金红石矿产集中分布区,在行政区上分别属连云港市和徐州市管辖,建议成立江苏钛矿行业管理协会,统一合理规划矿产勘查、矿山布局、产品研发销售等,为省政府矿政管理、资源规划、执法等提供平台。

#### 7 结 语

江苏省金红石矿的可利用性高,品质优良,可满足我国高品质钛的需求,综合经济效益高,可有效降低我国高品位钛矿产国外的依存度。苏北超高压变质带内榴辉岩体众多,找矿潜力巨大,岩体中石榴子石、绿辉石、金红石互为共生矿产,岩体即矿体,具备一定规模的岩体,皆可能成为相应规模的矿床,成矿地质条件优越,找矿潜力巨大。经估算,江苏省0.02 km<sup>2</sup>以上的榴辉岩体中浅部(-200 m以浅)原生金红石型钛资源潜力达0.29×10<sup>9</sup> t,石榴子石和绿辉石资源潜力均可达17.5×10<sup>9</sup> t。

江苏省榴辉岩中的金红石及其共生石榴子石等矿产的勘查工作程度偏低,目前这两种矿产均已列为我国的战略性矿产,有必要加强地质矿产工作。建议开展全面调查,盘清江苏省榴辉岩体的数量,查明岩体的含矿性。综合评价江苏省金红石及其共生的石榴子石、绿辉石资源状况;为进一步推动金红石、石榴子石等矿产资源的高效利用,建议加强产业规划布局,优化政策管理。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 丁建华,张勇,李立兴,等.中国钛成矿地质特征与资源潜力评价[J].*中国地质*,2020,47(3):627-644.  
DING Jianhua, ZHANG Yong, LI Lixing, et al. Metallogenic geological characteristics and titanium resources potential in China[J]. *Geology in China*, 2020, 47(3): 627-644.
- [ 2 ] 赵一鸣.金红石矿床的类型、分布及其主要地质特征[J].*矿床地质*,2008,27(4):520-530.  
ZHAO Yiming. Genetic types distribution and main geological characteristics of rutile deposits[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(4): 520-530.
- [ 3 ] 邱啸飞,彭三国,龚银杰,等.武当-桐柏-大别成矿带金红石矿床成矿规律与找矿前景初探[J].*华南地质与矿产*,2014,30(2):155-161.  
QIU Xiaofei, PENG Sanguo, GONG Yinjie, et al. Metallogenic regularities and prospecting potential of the rutile deposits in the Wudang-Tongbai-Dabie Metallogenic Belt[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2014, 30(2): 155-161.
- [ 4 ] 徐少康,栾俊霞,陈丹.金红石中的包裹体水[J].*化工矿产地质*,2015,37(3):168-170.  
XU Shaokang, LUAN Junxia, CHEN Dan. Inclusion water in rutile[J]. *Geology of Chemical*, 2015, 37(3): 168-170.
- [ 5 ] 蔡剑辉,王立本,李锦平.不同产状和成因类型的金红石矿物学特征及其研究意义[J].*矿床地质*,2008,27(4):531-538.  
CAI Jianhui, WANG Liben, LI Jinping. Mineralogical features of rutile's of different modes of occurrence and genetic types and their research significance[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(4): 531-538.
- [ 6 ] 夏学惠,阎飞,赵玉海.中国金红石矿床地质及成矿远景分析[J].*矿床地质*,2006,25(S1):281-284.  
XIA Xuehui, YAN Fei, ZHAO Yuhai. Geological features of rutile deposits in China and their ore-forming prospects[J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(S1): 281-284.
- [ 7 ] 黄建平,马东升,刘聪,等.苏北超高压变质带榴辉岩型金红石矿床及其成因[J].*南京大学学报(自然科学)*,2022,38(4):531-538.  
HUANG Jianping, MA Dongsheng, LIU Chong, et al. Rutile deposit in eclogite of ultra-high pressure metamorphic belt in the northeast of Jiangsu Province and ore genesis[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 2022, 38(4): 531-538.
- [ 8 ] 刘源骏.变质作用与金红石成矿[J].*资源环境与工程*,2016,30(S1):71-75.  
LIU Yuanjun. Metamorphism and rutile mineralization[J]. *Resources Environment & Engineering*, 2016, 30(S1): 71-75.
- [ 9 ] 江苏省地质调查研究院.江苏省矿产资源国情调查成果报告[R].2022.
- [ 10 ] 江苏省地质调查研究院.江苏省钛矿调查成果报告[R].2022.
- [ 11 ] 江苏省地质调查研究院.苏北超高压变质带金红石矿调查评价报告[R].2004.
- [ 12 ] 江苏省地质矿产局.江苏省东北部原生金红石矿第二轮成矿远景区划报告[R].1994.
- [ 13 ] 徐玉,王登红,陈毓川,等.中国大陆科学钻主孔超高压变质岩中钛的矿化作用[J].*地质学报*,2008,82(5):612-623.  
XU Yu, WANG Denghong, CHEN Yuchuan, et al. Titanium mineralization of the ultrahigh-pressure metamorphic rock: based on the Chinese Continental Scientific drilling 5 158 m main hole[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(5): 612-623.