

苏北元古界海州群变质作用

孙竟雄 宗淳虎 曹德民 吕恩茂

(江苏省地矿局区调队)

主题词: 海州群; 绿片岩相; 高压相系; 区域动力变质作用

提 要: 苏北东海一连云港一带的前震旦变质地层, 据近年来的研究重新定为上太古界东海群和元古界海州群。本文主要是对海州群的变质作用进行讨论。

近年来对分布在苏北东海一连云港一带的前震旦变质岩进行了专题研究^①; 变质地层层序的重新厘定(表1); 变质构造、变质作用和混合岩化作用以后的变质建造和原岩建造的研究。本文就海州群的变质作用据新资料作些讨论, 并对其区域地质背景作一简要介绍。

表 1 苏北前震旦系变质地层简表

Table 1 Presinian stratigraphical table in Northern Jiangsu

同位素年龄 (Ma)	地 层			构造运动	变质、变形		
1000	上	元古界	震旦系 (Z)	晋宁运动	↑ 元古变质期 ↑ 晋宁构造旋回		
1800	中					断层	吕梁(中条)运动
	下					云台组 二段 (pt ₂₋₃ y ²) 一段 (pt ₂₋₃ y ¹)	
2500		上太古界	东海群 (Ar _{2dn})	~ 海州(大别)运动	↓ 晚太古变质期 ↑ 海州构造旋回		
			海州群 (Ar _{2h})				
			锦屏组 (pt _{1j})				
			胸山组 (Ar _{2q})				
			墩尚组 (Ar _{2d})				
			阿湖组 (Ar _{2a})				
			演写场组 (Ar _{2y})				

一、区域地质背景

区内海州群和下伏东海群呈不整合接触(图1)。而东海群是从胶南群^②中解体出而重新厘定的地层单位。通过广泛的区域性研究和对比认为, 东海群可以与大别群(大于24亿年⁽¹⁾)对比, 海州群锦屏组(大于19亿年⁽²⁾)与宿松群(大于18亿年⁽³⁾)可以对比, 云台组(大于9亿年)与张八岭群(大于10亿年⁽³⁾)可以对比。

① 专题研究成果名称为“苏北变质地质”, 即将出版。
② 山东区调队, 1982, 1/20万赣榆幅区调报告。

海州群变形复杂，叠加褶皱发育。第一世代褶皱属弯褶皱机制，轴向北东，第二世代褶皱属滑褶皱机制，轴向北北东，两者近共轴叠加。叠加褶皱从区域、露头及手标本都可见到(图2)。

海州群变质岩种类较多，根据变质岩岩性组合和相应的原岩组成，自下而上可划分为三个变质建造和原岩建造。

磷灰岩—片岩变质建造 其分布和锦屏组相当。以各种类型的大理岩和片岩为主，夹白云母钠长变粒岩、石英岩、磷灰岩等，最底部为含砾石白云母石英片岩夹石墨片岩，局部夹有石膏层。恢复原岩主要为含磷镁质碳酸盐岩，或钙镁质磷块岩。其次为石英砂岩、泥质长石砂岩、粘土质页岩、含砾石泥质砂岩、碳质页岩及石膏层等。故原岩建造可称含磷镁质碳酸盐—砂泥质沉积建造。属近陆缘浅海相产物。

变粒岩变质建造 其分布和云台组一段相当。以巨厚的(含)白云母钠长变粒岩、二云

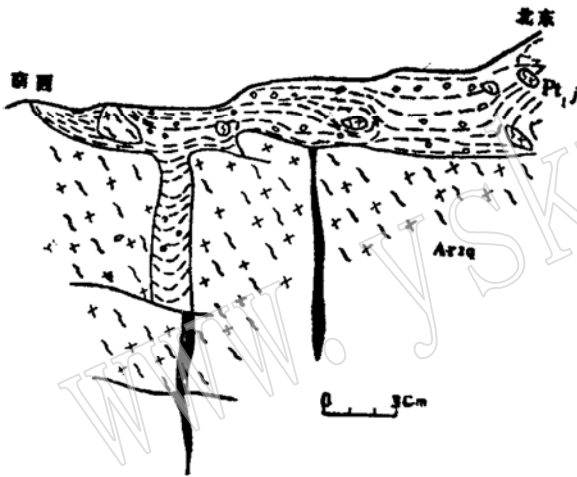


图 1 不整合接触关系素描

Fig. 1 Sketch of unconformable contact relation

东海群胸山组(Ar_{2q})裂隙中的锦屏组底部含砾石的白云石英片岩“脉”，砾石以混合花岗岩为主



图 2 叠加褶皱标本素描(1:1)

Fig. 2 Sketch of fold overprint in specimen(1:1)

海州群中第二世代褶皱(HF₂)对第一世代褶皱(HF₁)的叠加

二长变粒岩和二云钠长变粒岩为主，夹浅粒岩及各类片岩。原岩主要为复矿粉砂岩、凝灰质长石砂岩或砂岩、流纹质及英安质火山碎屑岩、含铁粘土质、钙质粘土页岩或砂岩等。原岩建造可称中酸性火山碎屑—砂泥质沉积建造。属远火山活动波及的浅海环境下的产物。

浅粒岩变质建造 其分布与云台组二段相当。以巨厚的浅粒岩为主，夹各类变粒岩及片岩，部分地段见变质很浅的流纹岩或流纹质凝灰熔岩等。恢复原岩主要为流纹质、凝灰质长石砂岩和砂岩、含钙铁质粘土页岩或砂岩，其次为流纹岩、流纹质凝灰熔岩、流纹质熔结凝灰岩或角砾岩以及石英角斑岩等，个别地段可见火山角砾岩和火山集块岩。原岩建造可称夹熔岩的酸性火山—硬砂质沉积建造。属于火山作用强烈时期具喷发相的产物。

上述变粒岩变质建造与浅粒岩变质建造之间，夹一层含蓝晶石白云石英片岩、含硬绿泥石白云石英片岩及石英岩。在空间上比较连续和稳定，可以作为地层划分和研究构造的标

志。这层高铝砂泥质沉积,不仅起到划分建造的作用,而且本身在构造有利部位可形成蓝晶石矿床,如沭阳韩山蓝晶石矿床。

二、变质作用

海州群以变质程度较浅、基本无混合岩化及变形作用强烈为特征。根据变质矿物共生组合及部分变质矿物的初步研究来讨论变质相带及变质相系问题。

(一) 变质相带划分

1. 高绿片岩相^[4] 其分布范围大体相当锦屏组及云台组一段,矿物共生组合如下。

变质泥砂质岩:

白云母+石英+钠长石±微斜长石;

白云母+钠长石+绿帘石+石英+绿泥石;

石英+蓝晶石±白云母±钾长石±黑硬绿泥石。

变质基性岩:

黑云母+绿帘石+角闪石+钠长石±绿泥石;

角闪石+绿(黝)帘石+绿泥石+黑云母+钠长石+石英。

变质钙质、磷质岩:

方解石+白云母+石英+钠长石+石榴石+角闪石;

方解石+透闪石+磷灰石+石榴石;

方解石+阳起石+石榴石;

方解石+白云石+白云母+石英±透闪石±磷灰石。

根据上述矿物共生组合,作出ACF图(图3),变质带属钠长石—角闪石带。

2. 低绿片岩相 其分布范围与云台组二段大体相当。矿物共生组合如下。

变质泥(砂)质岩:

白云母+钠长石+钾长石+石英±黑云母±绿泥石;

白云母+硬绿泥石+钠长石+石英;

白云母+绿泥石+钠长石+微斜长石+石英;

钠长石+钾长石+石英±绿帘石±黑云母±石榴石。

变质基性岩:

白云母+绿泥石+阳起石+钠长石±绿帘石;

白云母+黑云母+绿帘石+绿泥石+阳起石。

变质长英质岩:

钠长石+钾长石+石英+白云母±绿帘石±黑云母。

根据上述矿物共生组合,作出ACF图(图4)。变质带可划入钠长石—阳起石带。

(二) 变质相系的划分

特征变质矿物主要为白云母、石榴石、黑云母、角闪石、蓝晶石、黑硬绿泥石、阳起石、蓝闪石等。为探讨海州群变质作用的温压条件,对上述部分变质矿物进行了初步研究。

1. 白云母

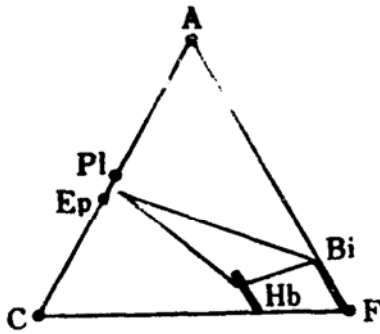


图3 海州群高绿片岩相ACF图

Fig. 3 ACF diagram of high greenschist facies of Haizhou group

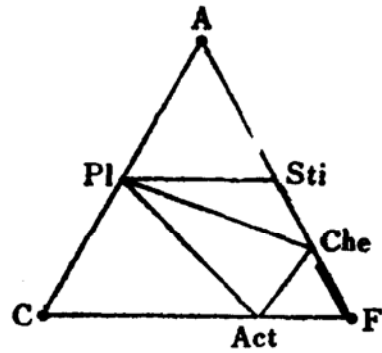


图4 海州群低绿片岩相ACF图

Fig. 4 ACF diagram of low greenschist facies of Haizhou group

分布很广。以12个氧原子为基础进行计算,其结果如表2。主要为多硅白云母,硅值均大于3.20。在多硅白云母的镁含量与压力关系图上(图5),除6、7号样点落于低压区外,其余各样点均落于高压或极高压区。

表2 白云母化学成分和计算结果

Table 2 The chemical compositions and calculation results of muscovites

含量(%) 组分	序号	1 2 3 4 5 6 7							计 算 结 果						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂		49.10	48.10	48.10	48.60	47.60	48.60	49.10	3.35	3.36	3.28	3.40	3.381	3.23	3.26
TiO ₂		0.77	0.91	0.97	0.47	0.53	0.22	0.48	0.04	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01	0.02
Al ₂ O ₃		22.85	22.84	21.69	21.71	22.90	31.70	33.38	Al ^{IV} 0.65	0.64	0.72	0.60	0.62	0.77	0.74
Fe ₂ O ₃		5.67	5.89	6.43	6.60	7.60	1.27	—	Al ^{VI} 1.18	1.24	1.02	1.19	1.30	1.70	1.88
FeO		1.72	2.40	2.08	2.35	2.55	0.65	0.63	0.29	0.31	0.33	0.35	0.41	0.06	—
MnO		0.43	0.051	0.19	0.288	0.34	0.080	—	0.10	0.14	0.12	0.14	0.15	0.04	0.04
MgO		3.15	2.94	3.93	2.82	1.59	0.83	0.26	0.32	0.31	0.40	0.29	0.17	0.08	0.03
CaO		—	0.08	0.45	0.22	0.22	0.08	0.09	—	0.00	0.03	0.02	0.02	0.00	0.01
Na ₂ O		0.11	0.14	0.12	0.06	0.13	0.22	0.36	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04
K ₂ O		11.35	10.60	10.80	10.00	10.68	10.72	9.40	0.99	0.95	0.94	0.89	0.97	0.91	0.80
Li ₂ O		0.03	0.021	0.045	0.033	0.023	0.004	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
H ₂ O ⁺		4.67	5.70	5.26	6.20	5.20	5.40	5.75							
F		0.27													
Σ		100.12	99.672	100.065	99.351	99.363	99.774	99.45							
结 构				2M											
b ₀			9.056	9.077	9.072	9.079	9.011	8.991							

在都城秋穗白云母变质程度和成分关系图解中(图6),各样品点落入或靠近蓝闪片岩相区域。

另外,2—5号样的四个多硅白云母的b₀值分别为9.056、9.077、9.072、9.079,比目前国内外发现的高压变质带中的多硅白云母的b₀值还要高。

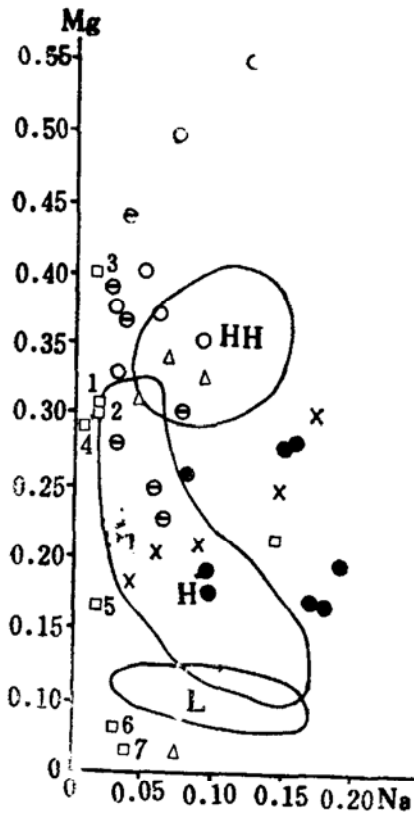


图 5 多硅白云母中Mg含量与压力关系图
(据Cipriani, 1971)

Fig. 5 Relation diagram of Mg content and pressure in phengite

- X—信阳变质带样品;
- 三波川变质带样品;
- 佛兰西斯变质带样品;
- △—新喀里多样品;
- ⊖—阿尔卑斯样品;
- 海州群样品;
- HH—极高压;
- H—高压;
- L—低压;
- 1—7样品编号

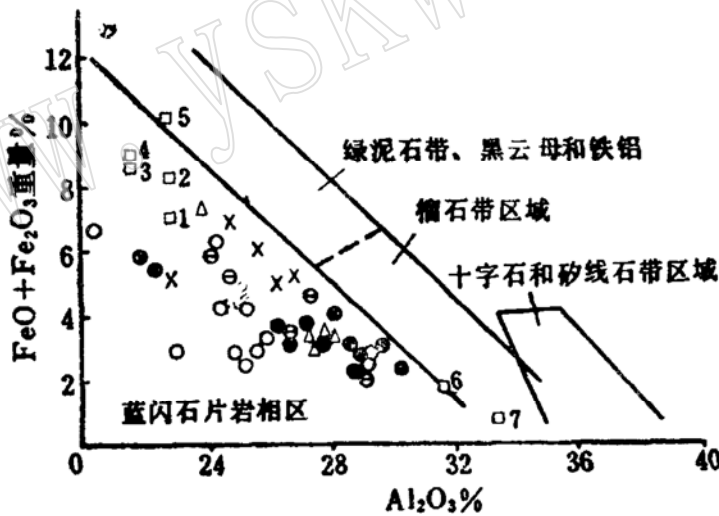


图 6 白云母的变质程度和成分的关系

Fig. 6 Relation diagram of metamorphic grade and composition of muscovite
(图例说明同图5)

2. 石榴石

石榴石以分散粒状出现在各类岩石中。5个石榴石样的化学分析及计算结果列于表3、表4，5个样均富含CaO、MnO，贫FeO、MgO。端员组分锰铝榴石>50%，说明属低温变质，低于南蒂确定的石榴石指标（表5）。5个样中CaO含量较高。一般认为，石榴石中CaO的含量是随压力升高而增加的，故表明变质时的压力较高。这与多硅白云母所反映的高压环境是一致的。

表 3 石榴石化学成分与计算结果

Table 3 The chemical compositions and calculation results of garnets

组分 \ 含量 (%) \ 序号	1	2	3	4	5	计 算 结 果				
						1	2	3	4	5
SiO ₂	36.80	37.00	38.13	38.40	38.00	3.023	3.033	3.179	3.037	3.085
TiO ₂	0.42	0.37	0.48	0.29	0.36	0.025	0.025	0.030	0.190	0.024
Al ₂ O ₃	18.62	18.52	15.15	18.13	18.51	Al ^{IV} 1.805	1.792	1.492		
Fe ₂ O ₃	1.42	2.13	1.60	2.68	2.41	0.089	0.128	0.100	0.162	0.146
FeO	8.60	6.56	9.63	6.80	9.64	0.592	0.448	0.671	0.452	0.654
MnO	25.50	28.05	27.24	26.34	21.95	1.770	1.945	1.922	1.763	1.509
MgO	0.64	0.64	0.13	0.18	0.14	0.079	0.079	0.015	0.024	0.020
CaO	7.06	6.04	6.45	6.24	8.06	0.061	0.532	0.576	0.528	0.703
N ₂ O	0.02	0.02	0.06	0.14	0.108			0.010		0.010
K ₂ O	0.016	0.06	0.00	0.024	0.022					
Cr ₂ O ₃	0.032	0.03	0.05	0.003	0.003					
NiO			0.05					0.005		
CoO			0.01							
P ₂ O ₅	0.84	0.10		0.06	0.09					
H ₂ O ⁺	0.15	0.63		0.12	0.13					
Σ	100.118	100.47	98.98	99.407	99.453					
a _o	11.6755	11.67	11.6792	11.6755	11.6792					

表 4 石榴石端员组分含量 (%)

Table 4 The end member components of garnets (%)

含量 (%) \ 序号	铁铝榴石	钙铝榴石	镁铝榴石	锰铝榴石	钙钛榴石	钙铁榴石
1	19.33	14.70	2.58	57.81	1.22	4.36
2	14.91	10.07	2.63	64.75	1.25	6.39
3	21.07	11.97	0.47	60.36	1.41	4.71
4	16.34	10.30	0.87	63.72	1.10	8.78
5	22.66	15.52	0.69	52.29	1.25	7.59

表 5 石榴石化学成分和变质带关系

Table 5 The relation between the chemical compositions of garnets and metamorphic belts

比值 \ 变质带及样号 \ 组分	南带划分变质带的标志		1	2	3	4	5
	石榴石带/蓝晶石带	蓝晶石带/矽线石带					
FeO+MgO	2.81	34.2	9.24	7.20	9.76	6.98	9.78
CaO+MnO	9.90	4.20	32.56	34.09	33.61	32.58	30.01
FeO+MgO / CaO+MnO	4.0	13.5	0.28	0.21	0.29	0.21	0.33
FeO	25	32	8.60	6.56	9.63	6.80	9.64
a _o	11.61 Å	11.538 Å	11.6755	11.67	11.6792	11.6777	11.6792

根据石榴石—黑云母一个矿物共生对计算得出的镁铁分配系数和 KD 值列于表6。根据 $Mg/(Mg+Fe+Mn)$ 比值在别尔丘克相图上估测其温度值约 275°C ，加上修正值 100°C ，约 375°C 。根据乌沙柯娃研究，高绿片岩相的 KD 值为8—4，而角闪岩相的 KD 值为4—2。根据

表 6. 黑云母和石榴石共生对之 KD 值Table 6 The KD value for association of biotite and garnet

矿物	比值 组分	$Mg/(Mg+Fe+Mn)$	X_{Fe}	$1-X_{Fe}$	KD	
黑云母		0.688	0.29	0.31	5.8	$X_{Fe}^{Bt} = Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg+Mn+Ti+Al^{IV})$
石榴石		0.032	0.85	0.15		

$KD = f_{Grt}(1-f_{Bt})/f_{Bt}(1-f_{Grt})$ 乌沙柯娃的公式，求得锦屏组中上述石榴石—黑云母共生对的 KD 值为5.8，属高绿片岩相。

3. 蓝闪石

本区目前只发现于灌云县杨集钻孔^[6]，经长春地质学院张树业教授厘定，我队亦确证存在蓝闪石及其高压矿物组合：蓝闪石（青铝闪石）+ 绿帘石 + 钠长石 + 绿泥石 + 石英 + 硬玉 + 黑云母。在与该孔相当的层位上本区全部为第四系复盖区，且无新钻孔。但在与云台组可以对比的安徽张八岭地区的张八岭群中已发现类似的蓝闪石及其高压组合^[6]。本区蓝闪石及其高压组合，在空间上与反映高压特征的多硅白云母、黑硬绿泥石等云台组露头区比较吻合。

（三）关于变质相系和变质作用类型的讨论

1. 本区白云母属多硅白云母，其 Si 、 Mg 、 Al^{IV} 和 b_0 值均反映出岩石具高压特征。海州群的白云母 b_0 值大于 9.055 \AA ，最高达 9.079 \AA ，比日本典型的三波川高压变质带的多硅白云母 b_0 值 (9.055 \AA ，压力为 7 kb)^[7] 高出许多，表明本区多硅白云母的形成压力约在 $7 \times 10^8 \text{ Pa}$ 以上。

2. 黑硬绿泥石在某些部位很发育，根据都城的研究，黑硬绿泥石在高压变质岩中分布广泛，而在中、低压变质岩中少见，因而亦是高压的标志矿物，这与本区情况吻合。

3. 蓝闪石及其高压矿物组合在本区确实存在，虽然仅见于杨集一个钻孔，又无露头，但与邻区可以对比，具有区域性意义。

4. 海州群的片状矿物主要为白云母，黑云母很少。都城认为黑云母的贫乏和黑硬绿泥石的出现，乃是高压变质带的一个特征。

按温克勒对变质级的划分，海州群中的蓝晶石是低级变质条件下的产物^[8]。

5. 海州群变质浅，基本无混合岩化，但变形复杂，具二个世代的变形，片理和折劈理非常发育，叠加变形的形态控制海州群各组的展布。

综上所述，海州群属高压绿片岩相区域动力变质作用类型。

三、结 论

1. 元古代海州群是在太古代东海群的基础上发育起来的。早元古代在浅海环境下沉积了含磷岩系(锦屏组),中晚元古代在近于岛弧的环境下形成了中酸性火山—碎屑沉积建造(云台组),经元古变质期的变质变形褶皱回返,固结为前震旦系基底,属高压绿片岩相区域动力变质作用类型。

2. 海州群可以与安徽的张八岭群、肥东群、宿松群、湖北的红安群进行对比,其含磷层位及蓝晶石矿极为相似。尤其应该提出的是,江苏杨集、安徽张八岭、湖北红安甚至更向西,蓝闪石及其高压矿物组合都出现在可以对比的变质地层的同一构造带上,其大地构造位置都属于扬子准地台的北缘。从而提出:秦岭褶皱系被郟庐断裂带切割以后继续东延的部分可能就是苏北—胶南变质地块。所以,对扬子准地台北缘的海州群、张八岭群、宿松群、红安群等变质地层的变质作用和蓝闪石及其高压矿物组合的深入研究,对确定南北大地构造分区、分界线的性质和成矿作用,具重大意义。

本文是在董申保教授的关怀下完成的,沈其韩研究员对初稿提出过宝贵意见,在野外工作中曾得到贺同兴教授的指导,在此一并致谢!

参 考 文 献

- [1] 湖北省地质局区调队,1983,大别群、红安群、应山群的时代问题讨论,中国区域地质, No.3.
- [2] 张秋生等,1984,中国早前寒武纪地质与成矿作用,吉林人民出版社,第88页。
- [3] 安徽省地质矿产局,1987,安徽省区域地质志,中华人民共和国地质矿产部地质专报,区域地质,第5号,地质出版社。
- [4] 董申保等,1986,中国变质作用及其与地壳演化的关系,中华人民共和国地质矿产部地质专报,岩石矿物地球化学,第4号,地质出版社,第5页。
- [5] 叶慧文,1987,中国蓝片岩相的变质作用,岩石矿物学杂志,6卷,2期,总第22期,103—111。
- [6] 安徽省地质矿产局区域地质调查队,1987,安徽省变质地质研究,安徽科学技术出版社。
- [7] 都城秋穗(Akino Miyashiro),1979,变质作用与变质带,地质出版社。
- [8] Helmut G. F. Winkler, 1976, Petrogenesis of Metamorphic Rocks, Fourth Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 204—212.

The Metamorphism of Proterozoic Haizhou Group, Northern Jiangsu

Sun Jingxiong Zong Chunhu Cao Demin Lu Enmao

(Regional Geological Surveying Party, Geology and Mineral Resources
Bureau, Jiangsu)

Key words: Haizhou group; greenschist facies; high-pressure;
regional dynamometamorphism

Abstract

The Proterozoic Haizhou group can be divided into low Proterozoic Jinping and middle-upper Proterozoic Yuntai subgroups. The Jinping subgroup belongs to the metamorphic apatitite-schist formation and the non-metamorphic apatite-bearing dolomitic carbonate-argillo-arenaceous sedimentary and the Yuntai subgroup-metamorphic leptynite formation and nonmetamorphic intermediate acidic volcanic-clastic formation. The metamorphic formations can be divided into high greenschist facies consisting of albite-amphibole zone and low greenschist facies including the albite-actinolite zone. Having study of the metamorphic minerals and their deformations the authors suggest that the Haizhou group belongs to the high-pressure metamorphic series of regional dynamometamorphism.