

福建长乐—南澳变质带演化的 PTtd 轨迹

孔 华

(中南工业大学地质系, 410082)

袁奎荣 郭福祥

(桂林工学院)

摘 要 长乐—南澳变质带变质矿物的共生组合, 主要变质矿物角闪石、长石、石榴子石的成分和环带以及变形构造等的研究表明, 该带遭受了3期变形变质作用, 每一期变形均有对应的变质作用。变质作用的温压条件、构造变形时间分别是: 525~580℃, 0.47~0.58GPa, 165Ma; 450~550℃, 0.2~0.5GPa, 120Ma; 170~350℃, 0.1~0.2GPa, 90Ma。变质带演化的 PTtd 轨迹为逆时针方向, 反映在区域变质达到变质顶峰后, 隆起剥蚀, 产生减压效应, 并遭受晚期退化变质的叠加。

关键词 变质作用; 中生代; 矿物组合; PTtd 轨迹; 福建; 长乐—南澳
中图分类号 P588.3

研究区位于福建沿海, 中生代强烈的构造-岩浆-变质活动在该区产生一条北东走向, 狭长带状的低压-高温变质带。泥质变质岩中的残碎斑晶、矿物反应、矿物组合、环带结构特征以及丰富的构造形变证据均为模拟该区变质演化的 PTtd 轨迹提供了良好的条件。

1 变质相带组成及其矿物学特征

1.1 变质相带划分及空间展布

长乐—南澳变质带, 北起福建长乐, 南延至广东南澳岛。北东走向, 狭长带状, 由沿海到内陆, 根据矿物共生组合可划分为低角闪岩相带、高绿片岩相带及低绿片岩相带(图1)。值得说明的是, 苏峰山剖面中出现的钾长石+石英+白云母+矽线石的组合不能作为划分高角闪岩相带的依据^[1]。

变质带内出露的岩石类型有片岩类、粒岩类、斜长角闪岩类及大量的混合岩及混合花岗岩。原岩恢复为: 片岩类原岩以层状富铝质泥质岩为主夹部分火山碎屑岩; 粒岩类原岩部分为中性火山岩, 部分为火山岩就地崩解的低成熟度沉积物; 斜长角闪岩的原岩为钙碱性高铝玄武岩。^①

1.2 变质矿物学特征

1.2.1 石榴子石 是区内变质泥质岩中广泛出现的特征变质矿物之一, 按其成分可分为2个系列: 铝质系列和钙质系列。角闪岩相带主要出现铁铝榴石, 其端元组分见表1。高绿片岩相带则以钙铁榴石为主。本区的环带石榴子石在角闪岩相带常见, 苏峰山剖面的石榴子石环带组分的变化趋势是由核心向边缘 Mn, Fe, Ca 增加, 导致边缘富 Fe, Mn, 而贫 Mg,

1994年12月12日收稿, 1995年4月26日改回。

第一作者简介: 孔 华, 男, 1968 年出生, 博士生, 岩石学及构造地质专业。

福建省地质矿产局. 福建省长乐—东山断裂带、平潭—南澳褶皱带性质意义的研究, 1988

K₂O, Na₂O。成分的变化反映了石榴子石生长过程中外部环境的变化, Miyashiro 研究认为石榴子石中 Mn²⁺ / Fe²⁺ 可以作为温度计, 并指出在变质程度升高时, 比值降低, 并认为 MnO 含量随压力增加而减少。电子探针分析结果⁽²⁾ 表明, 环带石榴子石的生长有 3 个阶段: 第 1 阶段是 Fe²⁺ ⇌ Mn²⁺, 随着温度的升高, Fe²⁺ 在石榴子石边缘积累, 而 Mn 量相应降低, 反映的是递增变质阶段; 第 2 阶段中 Mn²⁺ ⇌ Fe²⁺ ⇌ Mg²⁺, 当 Fe²⁺(Mn) 增加时, Mg 急剧下降, 由于 MgO 的下降, 导致环带的形成; 第 3 阶段表现为 Ca ⇌ Fe(Mg), Mn, Ca 对 Fe, Mg 的置换, 导致 Mn²⁺ / Fe²⁺ 值升高, 显示环境温度呈下降趋势。

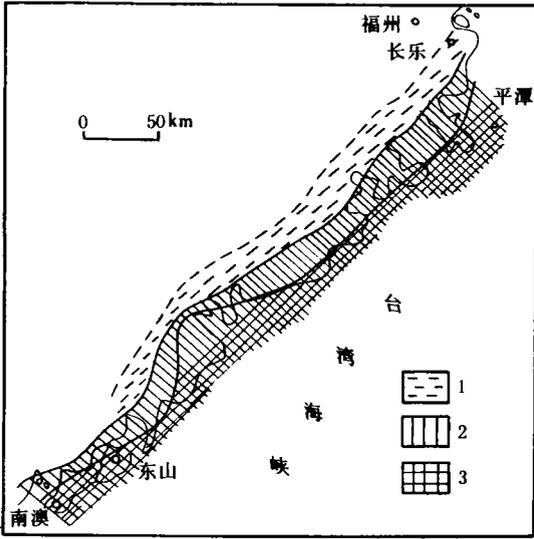


图 1 长乐—南澳变质带变质相分布(据文献[2]修改)

Fig.1 The distributing graph of metamorphic facies of the Changle-Nanao metamorphic belt

1—低绿片岩相带; 2—高绿片岩相带; 3—低角闪岩相带

富集 Al^{VI}, Fe²⁺, Mn, Na, Ti, Mg 为特征; 角闪岩相带则产出钙镁闪石, 角闪石以富 Al^{IV}, Mg, Ti, 贫 Al^{VI}, Fe²⁺, Na 为特征⁽²⁾。

1. 2. 3 长石类矿物 (1) 斜长石 在同一类变质岩中, 斜长石牌号常随温度升高而增大, 长石的结构态决定于结晶温度和随后的热历史。本区环带斜长石的化学成分 (表 2) 显示环带从内环到外环, K, Na 量升高, Ca 量降低, 而最外圈的 K₂O 含量很高, 可能与后期钾长石交代斜长石有关。环带斜长石的化学式计算结果表明, 外环带 Na 增加, 更偏于酸性, An 分别为 24 和 19, Si / Al 值分别为 2.24, 2.31。反映有序度由内到外升高, 显示峰期过后的降温作用。

(2) 碱性长石 该带出现的碱性长石多为微斜长石及少量条纹长石。本区混合岩及混合花岗岩中三斜有序度的测定表明, 从混合岩($\bar{S}_T = 0.65$)到混合花岗岩($\bar{S}_T = 0.90$)有序度升高, 形成温度也由高到低, 同样说明混合花岗岩是在 (减压) 降温条件下产生的。

表 1 长乐南澳变质带石榴子石端元组分
Table 1 The endmember compositions of garnets in the metamorphic belt %

样品号	Alm	Pye	Spe	And
Gt1	79.32	8.65	7.36	4.67
Gt2	79.33	9.19	7.70	3.78
Gt3	79.30	9.20	7.71	3.79
Gt4*	57.73	4.66	32.17	5.64
Gt8	76.23	8.31	13.41	2.05

Alm—铁铝榴石; Pye—镁铝榴石;
Spe—锰铝榴石; And—钙铁榴石;
* 为本次测得, 其余据文献 (2)。

1. 2. 2 角闪石 变质带在高绿片岩相带产出镁绿钙闪石质角闪石及亚铁角闪石, 角闪石以贫 Al^{IV}, 相对

富集 Al^{VI}, Fe²⁺, Mn, Na, Ti, Mg 为特征; 角闪岩相带则产出钙镁闪石, 角闪石以富 Al^{IV},

Mg, Ti, 贫 Al^{VI}, Fe²⁺, Na 为特征⁽²⁾。

表 2 斜长石环带成分
Table 2 The composition of zonal plagioclase %

序号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	CrO ₂	MnO	FeO	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺	An	Si / Al
1(内)	9.62	<0.01	23.49	60.87	0.32	5.60	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.824	0.018	0.265	24	2.24
2(外)	10.72	<0.01	22.55	61.52	0.35	4.78	<0.01	0.07	<0.01	0.02	0.93	0.020	0.230	19	2.31
3	0.88	<0.01	18.20	63.19	16.25	<0.01	0.33	<0.01	0.65	0.07	0.080	0.928			2.95

由中国有色总公司桂林矿产地质研究院电探室庄世杰分析, 1992.

2. 变质作用温压条件

2.1 热力学地质温压计

本区部分矿物化学成分见表 3, 计算的矿物对参数见表 4, 5. 斜长石 (Pl) - 角闪石 (Hb) 矿物对在别尔丘克 (1970) 图解中, $t = 570 \sim 590^\circ\text{C}$; 在李有柱图解⁽³⁾中, $p = 0.5 \sim 0.58 \text{ GPa}$, $t = 550 \sim 570^\circ\text{C}$. 石榴子石 - 黑云母矿物对在别尔丘克 (1970) 图解中, $t = 600 \sim 550^\circ\text{C}$, $p = 0.45 \sim 0.5 \text{ GPa}$. 因此得出本区低角闪岩相变质温压区间为 $t = 550 \sim 600^\circ\text{C}$, $p = 0.45 \sim 0.58 \text{ GPa}$.

此外, 高绿片岩相带石刀山剖面样品测温⁽³⁾表明, 其变质温压条件为 $t = 450 \sim 500^\circ\text{C}$, $p = 0.5 \text{ GPa}$.

2.2 矿物共生组合限定的温压条件

在沿海泥质变质岩中出现的矿物组合:

① 十字石 + 兰晶石 + 铁铝榴石 + 黑云母 + 白云母 + 斜长石 + 石英

其变质反应推测为: 绿泥石

+ 白云母 = 十字石 + 黑云母 + 石英 + H₂O (0.4 ~ 0.7 GPa, 525 ~ 580°C)

② 普通角闪石 + 铁铝榴石 + 斜长石 + 石英 (钙铁泥质岩). 矿物组合显示变质相为低角闪

表 3 共生矿物对电探分析结果
Table 3 The composition of minerals by using electron microprobe %

岩石	黑云斜长变粒岩 (JB ₁)			斜长角闪岩 (JB ₇)			含石榴白云母片岩 (ZD ₉)	
	Hb	Pl	Pl	Hb	Pl	Pl	Gt	Bi
Na ₂ O	1.97	7.52	7.57	1.88	7.45	7.56	0.38	0.78
MgO	7.96	<0.01	<0.01	8.00	<0.01	<0.01	0.75	2.84
Al ₂ O ₃	12.11	25.55	25.54	11.50	26.31	25.18	20.41	18.45
SiO ₂	40.56	57.57	57.20	41.80	56.74	58.09	35.49	32.32
K ₂ O	1.67	0.25	0.15	17.3	0.25	0.23	<0.01	10.01
CaO	12.24	7.72	7.80	12.20	7.85	7.55	1.26	0.15
TiO ₂	1.18	0.05	0.04	0.84	0.02	<0.01	<0.01	2.32
MnO	0.70	0.06	0.18	0.48	<0.01	<0.01	9.08	0.38
FeO	21.65	0.12	0.15	20.54	0.01	0.09	31.62	28.31
Cr ₂ O ₃	<0.01	0.06	<0.01	0.11	0.21	0.18	<0.01	0.07
Na	0.5844	0.66	0.6682	0.55	0.66	0.6648		0.2082
Mg	1.7923			1.8194			0.2251	0.5816
Al	2.1838	1.36	1.3707	2.0678	1.41	1.3461	2.1180	0.9904
Si	6.2500	2.62	2.6049	6.3767	2.58	2.6436	2.9410	4.4436
K	0.3254	0.016	0.0088	0.3354	0.016	0.0130		0.8772
La	2.0064	0.37	0.3806	1.9936	0.385	0.3368	0.0555	0.0224
Ti	0.1360		0.0014	0.0903				0.2398
Mn	0.0901		0.0008	0.623			0.3634	0.0223
Fe ²⁺	2.6930		0.0057	2.3731			0.0033	2.1994
Fe ³⁺								2.3967
Cr				0.0128			0.0022	0.2737
Ca / (Ca + K + Na)	0.6880	0.3537	0.3603	0.6925	0.3629	0.3511	0.0316	0.1498

分析者: 桂林有色矿产地质研究院庄世杰, 1992.

岩相.

在高绿片岩相带出现矿物组合:

①角闪石+斜长石+绿帘石+绿泥石+石英(变质基性岩)

②钠长石+钾长石+黑云母+磁铁矿+白云母+石英(变质酸性岩). 反映的温压条件为450~550℃, 0.2~0.6GPa.

在低绿片岩相带, 南园组浅变质火山岩中的矿物组合:

①叶腊石+明矾石+高岭土+水云母+斜长石+磁铁矿

表4 斜长石-角闪石矿物对参数

Table 4 The projection parameters of Pl-Hb

编号	x_{Ca}^{Pl}	x_{Ca}^{Hb}	An	ΣAl_{Hb}	p/GPa	$t/^\circ C$
JB ₁₋₁	0.3537	0.6880	35	2.1838	0.58	550
JB ₁₋₂	0.3603	0.6880	36	2.1238	0.56	560
JB ₇₋₁	0.3629	0.6925	36	2.0678	0.55	560
JB ₇₋₂	0.3511	0.6925	35	2.0678	0.57	550

表5 石榴子石-黑云母矿物对参数

Table 4 The projection parameters of Gt-Bi

编号	x_{Fe}^{Gt}	x_{Mg}^{Gt}	x_{Ca}^{Gt}	x_{Mn}^{Gt}	x_{Fe}^{Bi}	x_{Mg}^{Bi}	x_{Ti}^{Bi}	K	KD
*34-2-(1)	0.9017	0.0928	0.7734	0.0768	0.2613	0.4288	0.0268	0.0613	0.5887
*34-2-(2)	0.8962	0.0955	0.8385	0.08	0.2613	0.4288	0.0268	0.0651	0.5802
*34-2-(3)	0.896	0.0957	0.8385	0.0802	0.2513	0.4288	0.0268	0.0647	0.6802
ZD29	1.1476	0.093	0.1124	0.6417	2.3967	0.5816	0.2398	0.3342	0.2559

②兰晶石+叶腊石+更长石+石英+明矾石化或硅化反映的变质温度为170~350℃, 压力为0.1~0.2GPa.

另外变质矿物学研究表明, 石榴子石环带限定的轨迹趋势为高峰期后的近等压降温.

3 变质相带的变形变质序列

3.1 变形序列

根据不同变质相带的构造变形特征, 划分出3期变形(表7):

第I期: 低角闪岩相带变形强烈, 构造置换彻底. 该相带广泛分布NE向的片麻理及流劈理, 发育NE向b线理及NW向微倾伏的a线理、云母鱼等显微构造⁽⁴⁾. 该期变形与变形的片麻状花岗岩(158.5~186.7Ma)⁽⁵⁾广泛伴生, 指示了该期变形时间在侏罗纪, 该期为主期变形(I₁). 在混合岩、混合花岗岩的残留体中尚保留了部分残留线理及大量无根褶皱、肠状褶皱, 可能反映了主期变形之前的一期变形(I₂).

表6 长乐-南澳变质带温度一览表

Table 6 The temperatures of the Changle-Nanao metamorphic belt

样品号	岩石	共生矿物对	氧同位素测温/ $^\circ C$	共生矿物对	热力学地质温度计/ $^\circ C$
F ₈₄ J ₃	变质基性岩	Q-Am	693	Am-Pl	540
F ₈₄ S ₅	斜长角闪岩	Q-Mt	490	Am-Pl	450
F ₈₄ S ₉	斜长角闪岩	Q-Mt	532	Am-Pl	550
JB ₁ *	斜长变粒岩			Pl-Hb	585
JB ₇ *	斜长角闪岩			Pl-Hb	575
ZD ₉ *	云母片岩			Gt-Bi	575

S-石刀山剖面; J-金牛-石圳剖面; D-苏峰山-亲岩山剖面; * 本次测得, 其余据文献(2).

表7 长乐—南澳变质带变形变质序列

Table 7 The deformation-metamorphism series of mtlamorphic belt

变形期次	构造事件		变质事件		岩浆事件	混合岩化事件
	构造类型	变形机制	变质期次	变质特征		
III (K ₁ -K ₂)	(1) 大型断裂构造, 开阔褶皱, 发育片理化带、硅化带 (2) 微观上普遍具晶体碎裂错断、位移、弯曲及波状消光	浅部构造层次, 以脆性变形为主	Me ₃	退级变质作用 碎裂变质, 低绿片岩相, $p = 0.1 \sim 0.2 \text{ GPa}$; $t = 170 \sim 350^\circ\text{C}$	东山亲营山岩体, 南园组火山岩。	
II (J ₃ -K ₁)	(1) 发育韧性剪切带、剪切叶理, 布丁构造、拔丝构造 S ₂ , L ₂ 线理 (2) 微观上, 变晶结构、变余结构、矿物拉伸线理发育	较深部构造层次, 脆韧性剪切	Me ₂	退级变质作用, 高绿片岩相, $p = 0.1 \sim 0.5 \text{ GPa}$, $t = 450 \sim 520^\circ\text{C}$	(1) 变质交代型二长花岗岩的侵入 (2) 中基性岩脉侵入	裂隙中充填石英脉
I ₁₋₂ I ₁₋₁ (T ₃ -J ₃)	中小型尺度构造, 以出现流动褶皱, 层内无根褶皱为特征, 同斜褶皱、肠状褶曲, 倾竖褶皱, 出现 S ₁ 片理, 片麻理	深部构造层次, 韧性剪切流动压扁机制	Me ₁	区域递进变质作用低角闪岩相, $p = 0.47 \sim 0.58 \text{ GPa}$, $t = 550 \sim 620^\circ\text{C}$	中酸性火山活动(流纹岩、英安岩)	(1) 钠长石英质、二长石英质的条带状混合岩, (2) 花岗伟晶质脉

第II期: 主期变形之后, 变质岩中的片柱状矿物出现了晚期的折劈理、膝折等现象。该期变形在石刀山—灵源山—八尺门表现为一条韧性剪切带。在剪切带中, 各种透入性线状构造, 如拉伸线理、矿物线理都很发育。岩石组构研究表明在韧性变形之后尚有脆性剪切的叠加^[6]。该带中发育的鞘褶皱^[4], 则表明其变形机制为略带压偏的简单剪切, 剪切原岩为混合花岗岩、变质交代型二长花岗岩及南园组火山岩, 而 110.3Ma^[8] 的黑云母花岗岩未发生糜棱岩化作用, 所以剪切带的剪切时间可能发生在 120~110Ma 左右。该期变形在角闪岩相带表现为官下一岩雅糜棱片麻岩带。

第III期: 在低绿片岩相带, 中酸性火山岩中则以发育 NE 向短轴褶皱群为特征, 两翼开阔, 褶皱轴走向 NE40~50° 为主, 这种褶皱是在 NW-SE 向挤压压力场作用下, 由弯滑作用形成, 挤压应力为 0.1~0.2GPa^[2]。该期变形未卷入石帽山群。可推知弯滑作用发生在早白垩世。该期变形波及整个变质带, 但对低角闪岩相带和高绿片岩相的构造形迹无重大影响, 只是表现为花岗岩体中节理发育、岩石破碎。

3.2 变质序列

根据变质岩中变质矿物组合特征及其与变形序列的关系, 得出本带演化的变质序列(表7), 每一期变质作用均与相应的变形作用相对应, 在变形作用的同时或稍后均发生了相应的变质作用。

4 变质作用演化的 PTtd 轨迹

综合矿物组合和变形变质序列, 模拟出本区变质演化的 PTtd 轨迹 (图 2), 其中年龄的标定依据对同位素年龄数据^(2,5,7)的分析。

(1) t_{1-1} (231~165Ma) 可能代表最早的一期变质事件。 t_{1-2} (165~120Ma) 区域递进变质达低角闪岩相。原始层理 S_0 被 S_1 片理、片麻理取代, 且 $S_1 \parallel S_0$; 形成片内褶皱、无根褶皱; 黑云母、白云母、红柱石定向排形成结晶片理, 变形为深层次韧性剪切。在 130Ma 左右, 由于变质带东部缓慢隆起, 重熔型混合岩、混合花岗岩上升侵位, 变质仍表现为低角闪岩。

(2) t_2 (120~110Ma) 较深部构造层次, 脆韧性剪切变形, 发育 S_2 叶理, L_2 线理, 表现为高绿片岩相剪切退化变质。

(3) t_3 (110~95Ma) 地壳进一步抬升, 变质带西部发育位于地表浅部的脆性断裂, 在东部则不明显。总之在该期变质带已全面隆起, 共同发生了广泛的碎裂变质, 微观上表现为晶体破裂扭折。

5 结 论

(1) 本区在区域递进变质达到低角闪岩相后, 发生退级变质作用, 先后经历了近等压降温 and 降温降压 2 个过程。

(2) 该区主要经历了 3 期变质作用: 165~120Ma 的低角闪岩相变质; 120~110Ma 的高绿片岩相变质; 110~95Ma 的低绿片岩相变质。

(3) 变形变质演化在温压图上表现为一个逆时针的 PTtd 轨迹, 反映的是在活动大陆边缘的环境下, 大洋板块向大陆俯冲, 使得岩浆在地壳中增聚, 导致地热增温率升高, 从而发生区域变质作用, 由于热流及流体作用的不均一性, 导致在局部地区发生较强烈的混合岩化, 产出混合岩及混合花岗岩。

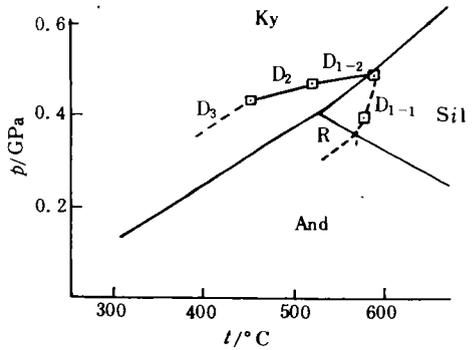


图 2 长乐-南澳变质带演化的 PTtd 轨迹

Fig.2 The PTtd path of Changle
Nanao metamorphic belt

其中 R 为 Al_2SiO_5 三相点(仿 Richardson, 1969)

参 考 文 献

- 1 张兴洲, 贺同兴. 福建省莆田忠门地区硅线石成因. 长春地质学院学报, 1988, 18 (1): 371~380
- 2 谢奕克, 郭坤一. 中国东南大陆岩石圈板块边界变质带. 北京: 地质出版社, 1989. 15~60
- 3 李有柱. 评价角闪岩相变质作用PT条件的最新温度计. 矿物岩石, 1986 (3): 180~189
- 4 高俊. 长乐-东山构造带的变形特征及动力学研究. 地质论评, 1993 (1): 57~63
- 5 福建地质矿产局. 福建省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1984. 214~230
- 6 肖诗兴. 长乐-南澳断裂带的糜棱岩化作用. 华南地震, 1986 (3): 65~74
- 7 朱杰辰, 郑懋公, 王扬德. 福建沿海地区岩浆岩的同位素年代学研究. 中国区域地质, 1988(2):150~157

THE PT-td PATH OF THE EVOLUTION OF THE CHANGLE-NANAO METAMORPHIC BELT, FUJIAN PROVINCE

Kong Hua Yuan Kuirong Guo Fuxiang

(Department of Geology, Central South University of Technology)

Abstract In this paper, according to the regional deformation structure, the metamorphic mineral assemblages, the composition, mineral zoning such as garnet, hornblende, plagioclase, K-feldspar, muscovite and biotite of Changle-Nanao metamorphic belt, studies indicate that this area has gone through three tectonic-metamorphic events the respective P-T conditions of metamorphism are: 525~580 celsius, 450~550 celsius and 170~350 celsius; 0.47~0.58GPa, 0.02~0.5GPa and 0.1~0.2GPa; the ages of the major deformations are 165Ma, 120Ma and 90Ma. The P-T-td path of the Changle-Nanao metamorphic belt evolution is outlined, it is counterclockwise, and it implies that this belt began regional uplifting after reaching the peak of the progressive metamorphism, and suffered the denudation and superimposing of late retrograde metamorphism.

Key words metamorphism; Mesozoic era; mineral paragenesis; P-Ttd path; Fujian; Changle-Nanao

广东梅县发现恐龙蛋化石

广东地矿局 723 地质大队最近在开展 1:5 万区域地质调查工作中, 在梅县某地白垩纪红层中发现了恐龙蛋化石。该恐龙蛋化石在地层中按一定层位呈窝状断续出现, 每窝数枚至十几枚; 蛋壳呈青灰色, 为椭圆形, 有压扁、压裂现象; 最大者 14×12×12cm, 一般为 13×10×9.5cm。这一发现, 大大丰富了粤东北地区的化石群。对确定该产地的地层年代, 研究古气候、古地理、地壳的变化以及恐龙的栖息环境等都具有重大的科学意义。

摘自《中国地质矿产报》