

雅鲁藏布江缝合带南侧古近纪海相地层的发现及其构造意义^{*}

李国彪^{①**} 万晓樵^① 刘文灿^① 梁定益^① H. Yun^②

(①中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083;

②国立忠南大学校, 韩国大田 305-350)

摘要 甲查拉组为本次新建的一个岩石地层单元, 它是新发现于雅鲁藏布江缝合带南侧江孜盆地的一套古近纪海相地层, 其中含有丰富的沟鞭藻及孢粉化石. 根据甲查拉组所含微体化石组合特征及其分布层位, 建立 3 个沟鞭藻组合 (*Apectodinium quinquelatum*-*Apectodinium hyperacanthum* 组合、*Canningia chinensis*-*Palaeoperidium pyrophorum* 组合、*Cymatiosphaera reticulosa*-*Samlandia chlamydophora* 组合) 和 3 个孢粉组合 (*Arliaceipollenites baculatus*-*Anacolosidites subtrudens* 组合、*Aglaoreidia cyclops*-*Pinuspollenites microinsigis* 组合、*Elaeagnacites asper*-*Ilexpollenites iliacus* 组合). 在此基础上, 将甲查拉组的时代确定为古新世-始新世早期. 研究认为, 甲查拉组是在印度板块与欧亚板块碰撞期间, 形成于印度被动陆缘欠补偿周缘前陆盆地体系的前渊带沉积. 根据前陆盆地演化所提供的地层学标志, 认为研究区内碰撞的启动时间为白垩纪/古近纪之交. 藏南前陆盆地体系的形成和演化受控于印度-亚洲板块之间的俯冲碰撞应力场及基底构造格局. 特提斯在江孜盆地的消亡时间应在早始新世以后, 而在整个藏南地区的封闭时间应在晚始新世 Priabonian 期以后.

关键词 甲查拉组 微体化石 古近纪 欠补偿周缘前陆盆地 碰撞启动时间 江孜

西藏特提斯的最终封闭意味着海水完全退出西藏境内, 这一事件的最直接标志无疑就是区内的最高海相层. 因此, 讨论西藏特提斯的封闭时间, 实际上也就是寻求对境内最高海相层位的确定. 由于其在特提斯晚期演化史研究中占有重要地位, 藏

南地区最高海相层的研究, 一直是广大地学工作者, 尤其是地层学及沉积学工作者极为关注的问题. 前人在这方面已做过大量的工作, 并有诸多成果发表^[1~10].

西藏江孜地区位于雅鲁藏布江缝合带南侧. 以

2003-06-23 收稿

^{*} 国家自然科学基金项目(批准号: 40272007)和中国地质调查局项目(批准号: H45C004004)资助

^{**} E-mail: jxu@mail.hust.edu.cn

往对该区最高海相层的认识只限于深海沉积的宗卓组,时代限于晚白垩世^[7,11~14]。本次在江孜甲查拉山附近发现一套整合于宗卓组之上的海相地层,并将其命名为甲查拉组。据其中所含的丰富沟鞭藻及孢粉化石,确定甲查拉组的时代为古新世-始新世早期。由于这套地层的发现,新特提斯在本区的消亡时间被推迟到始新世早期以后。这对于我们重新认识新特提斯的演化历史及印度与亚洲板块之间的碰撞过程,具有深远的意义。同时,这套新发现的最高海相沉积,对于我们通过对前陆盆地的演化过程来标定板块碰撞启动的时间,也具有重要的作用。

李曰俊等^[15]根据大陆造山带演化规律认为,印度大陆北部被动大陆边缘(喜马拉雅地块)与亚洲大陆南部活动大陆边缘(冈底斯地块)开始陆-陆拼接的时间可能是晚白垩世晚期,在特提斯喜马拉雅带中生代大陆边缘沉积之上可能存在早期(晚白垩世晚期到古近纪早期)前陆盆地沉积。只是这一直接由印度大

陆被动大陆边缘与亚洲大陆活动大陆边缘碰撞而形成的、在被动大陆边缘基础上发展起来的周缘前陆盆地及其沉积,由于后期的构造破坏和剥蚀而长期未被识别出来。刘宝珺等^[16]的沉积学研究、Gansser等^[17]的古生物研究、Beck等^[18]的地层学和沉积学研究为该盆地的可能存在提供了重要依据。

对冈底斯构造带以南的藏南地区白垩纪至古近纪沉积特征的综合分析表明,晚白垩世~古近纪,在雅江缝合带南侧存在一欠补偿的周缘前陆盆地体系——藏南前陆盆地(图1)。

江孜盆地是藏南前陆盆地体系的重要组成部分,但以往对该盆地最高海相层的认识只限于深海沉积的上白垩统宗卓组,未能展示盆地演化的全过程。此次在该盆地新发现一套整合于宗卓组之上的厚度近2000 m的古近纪海相碎屑岩沉积——甲查拉组,为我们研究藏南前陆盆地的演化历史及板块俯冲碰撞过程提供了新的资料。

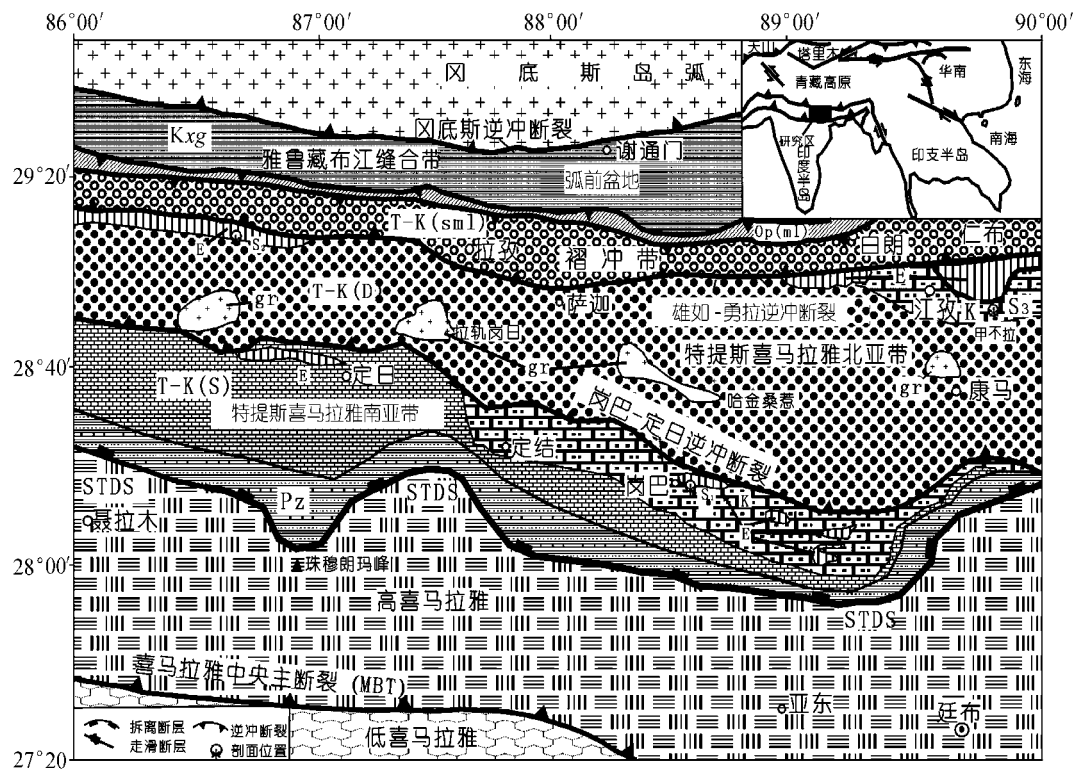


图1 藏南及邻区构造地质略图

E, 古近纪沉积; Kxg, 白垩纪日喀则复理石沉积; T-K(D), 三叠纪至白垩纪深水相沉积; T-K(S), 三叠纪~白垩纪浅水相沉积; gr, 花岗岩; Op(ml), 蛇绿质混杂岩; T(ml), 三叠纪混杂岩; Pz, 古生代陆棚沉积序列; STDS, 藏南拆离系

1 剖面描述

本次工作发现的一套古近纪海相沉积分布在雅鲁藏布江混杂带南侧的江孜-萨迦赛区一带, 主要为一套含凝灰质的碎屑岩沉积, 含丰富的沟鞭藻及孢化石, 其岩性组合及古生物特征与下伏的上白垩统宗卓组具有显著区别. 宗卓组是一套以含大量岩块为特征的砂页岩夹硅质岩、灰岩透镜体, 产浮游有孔虫、放射虫及菊石. 因此, 拟将这套新发现的海相

地层命名为甲查拉组, 该组与下伏宗卓组整合接触, 未见顶.

建组的层型剖面位于西藏南部江孜县龙马区甲不拉以北的甲查拉山(89°52'E, 28°55'N)一带(图 1), 其底部与南侧经典的甲不拉剖面顶部地层相接, 顶部因构造破坏和剥蚀作用而未保存. 剖面自南向北测制. 兹将该剖面的岩性及所含古生物特征描述如下(图 2):

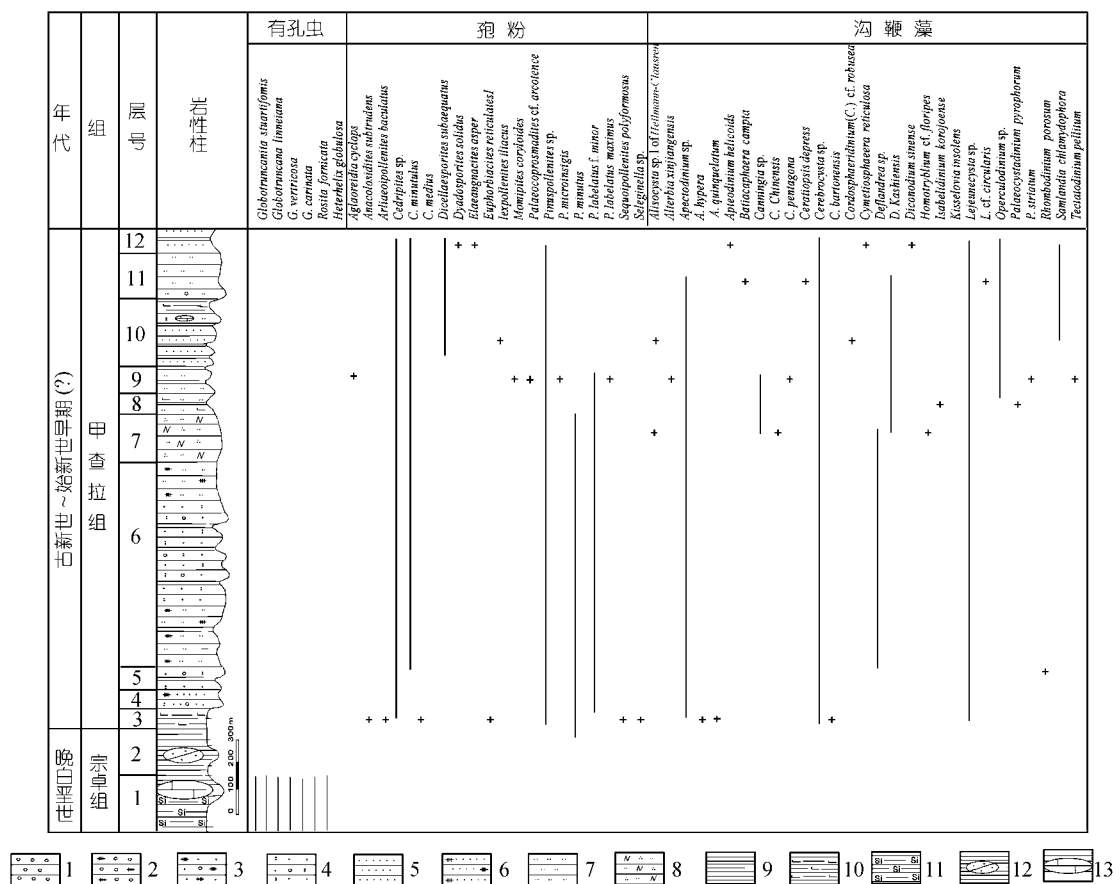


图 2 藏南江孜地区甲查拉组(E₁jc)微古化石分布图

1. 砾岩; 2. 含砾复成分砂岩; 3. 含砾复成分砂岩; 4. 含砾凝灰岩; 5. 细砂岩; 6. 复成分细砂岩; 7. 粉砂岩; 8. 长石石英粉砂岩; 9. 页岩; 10. 钙质砂岩; 11. 硅质页岩; 12. 砂岩岩块; 13. 灰岩透镜体或岩块

古近系甲查拉组(未见顶)

12 青灰色巨厚层细砂岩夹页岩. 产沟鞭藻 *Apteodinium helicoids*, *Areoligeratauloma*, *Cerebrocysta* sp., *Cymbella reticulata*, *Diconodinium sinense*, *Imbatodinium* sp., *Lejeunecysta globosa*, *Meiourougonyaulax* sp., *Operculodinium* sp., *Polysphaeridium* cf. *subtile*, *Samlandia chlamydophora*, *Sirmiodinium grossii*, *Trichodinium castanea*; 孢粉 *Betulaceipollenites* sp., *Betulaepollenites* sp., *Cedripites minutulus*, *Cerebropollenites* find-

- laterebsis*, *Classopollis triangles*, *Cryptomeriapollenites* sp., *Dicellaesporites subaequatus*, *Diporisporites* sp., *Dyadosporites megaporus*, *D. solidus*, *Elaeagnacites asper*, *Euphorbiacites* sp., *Jianghanpollis* cf. *ringens*, *Multicellaesporites* cf. *rentiformis*, *M. subglobosus*, *Polypodiaceasporites ovatus*, *Rugubivesticulites podocarpites*, *Sequoiapollenites polyformosus*, *Taxodiaceapollenites hiatus*, *Tricolpites pedicularidus* 等 110.7 m
- 11 青灰色巨厚层粉砂岩, 局部含砾岩. 产沟鞭藻 *Apectodinium* sp., *Ceratiopsis depressa*, *Batiacasphaera* cf. *compta*, *Copyrophordo sphaeridium fibrospinosum*, *Kisselovia insolens*, *Lejeunecysta* cf. *circularis*, *Palaeoperidinium* sp., *Wetzeliella* sp.等; 孢粉 *Abietinaepollenites renisaccus*, *Pinuspollenites parvisaccatus*, *Podocarpidites jiangdingshanensis* 等 269 m
- 10 青灰色巨厚层状细砂岩夹页岩及少量砂屑灰岩透镜体. 产沟鞭藻 *Apectodinium* sp., *Granodiscus granulatus*, *Cordosphaeridium* (*Cordosphaeridium*) cf. *robustum*, *Samlandia chlamydotheca* 等; 孢粉 *Dicellaesporites subaequatus*, *Diporicellaesporites* sp., *Ilexpollenites iliacus*, *Magnolipollis grandis*, *M* cf. *grandis*, *Pluricellaesporites maximus* 等 334.5 m
- 9 青灰色巨厚层粉砂岩夹深灰色粉砂质页岩. 产沟鞭藻 *Alterbia xinjiangensis*, *A.* cf. *xinjiangensis*, *Apectodinium* sp., *Canningia* cf. *pentagona*, *Homotryblium* cf. *floripes*, *Isabelidium belfastense*, *Lejeunecysta brassensis*, *Microdinium* sp., *Operculodinium* sp., *Palaeoperidinium striatum*, *Phelodinium longicorne*, *Sinocysta* ?*subtilis*, *Sirmiodinium grossii*, *Tectatodinium pellitum*; 孢粉 *Abiespollenites rotundus*, *Aglaoreidia cyclops*, *Betulaceoipollenites* sp., *Betulaepollenites* sp., *Cedripites tenuis*, *Classopollis* sp., *Dacrycarpites* sp., *Dipricellaesporites* sp., *Euphorbiacites reticulatus*, *Palaeocopros madites* cf. *arcotense*, *Pinuspollenites labelacus* f. *maximus*, *P. labelacus* f. *minor*, *P. microinsigis*, *P. longifoliaformis*, *Podocarpites andiniformis*, *Rugubivesculites rugosus*, *Rutaecopollis rotundus*, *Salixipollenites* sp., *Scabiosapollis haianensis*, *Schizaeisporites palaeocenicus*, *Staphlosporites laetevirens* 等 102.7 m
- 8 深灰色页岩夹中薄层状钙质粉砂岩. 产沟鞭藻 *Canningia elongatum*, *Isabelidium korojoenense*, *Laciniadinium* cf. *elongatum*, *Luxadinium* sp., *Palaeoperidinium pyrophorum*, *Teneridinium* cf. *lingualtum* 等; 孢粉 *Cedripites tenuis*, ?*Cryptomeriapollenites* sp., ?*Palaeocoprosmadites* sp.等 34.0 m
- 7 青灰色巨厚层长石石英粉砂岩夹深灰色页岩及凝灰质含砾砂岩、复成分砂岩等. 产沟鞭藻 *Alisocysta* sp., *Apterodinium* sp., *A. heliconides*, *Canningia* sp., *C. chinensis*, *C.* cf. *insignis*, *Ctenodinium sellwoodii*, *Cyclonephelium* cf. *brevispinatum*, *Cymatiosphaera parva*, *Deflandrea kashiensis*, *Diconodinium sinense*, *Gardodinium* sp., *Heibergella* sp., *Histiocysta* cf. *palla*, *Hystriocholpoma* cf. *salacium*, *Kisselovia* ?*insolens*, *Alisocysta* sp.1 of Helimann-Clausen (1985), *Palaeoperidinium* sp., *Planoperidinium gracile*, *Rhombodinium draco*, *Scriboperidinium* sp., *Scrinodinium* sp., *Thalassiphora chinensis* 等; 孢粉 *Pinuspollenites* sp., *P. labelacus* f. *minor*, *Scabiosapollis* sp.等 278.5 m
- 6 灰色巨厚层状复成分粉砂岩夹含砾凝灰质粉砂岩及青灰色页岩 689.8 m
- 5 青灰色-灰绿色巨厚层含砾凝灰质砂岩夹青灰色页岩. 产沟鞭藻 *Rhombodinium porosum*, *Ginginodinium* cf. *ornatum*, *Deflandrea* sp., *Luxadinium* cf. *elongatum*, *Triatriopollenites granilabratius*, *Apectodinium hyperacanthum*, *A. quinquelatum* 等; 孢粉 *Pinuspollenites labelacus* f. *minor*, *Cedripites medius*, *Liquidambar* cf. *formosana*, *Cedripites minutulus*, *Rugubivesculites rugosus* 等 65.9 m
- 4 上部为青灰色巨厚层状复成分粉细砂岩夹页岩. 下部为青灰色块状含砾凝灰质细砂岩 93.3 m
- 3 青灰色块状钙质粉砂岩夹中薄层状页岩. 产沟鞭藻 *Cerebrocysta* cf. *bartonensis*, *Reticulatosphaera* sp. cf. *actinocoronata*, *Samlandia* sp., *Tectatodinium* sp., *Triatriopollenites granilabratius*; 孢粉 *Anacolosidites subtrudens*, *Arliaceoipollenites baculatus*, *Cedripites medius*, *Euphorbiacites* cf. *reticulatus*, *E. reticulatus*, *Momipites coryloides*, *Pinuspollenites labelacus* f. *minor*, *Podocarpidites* sp., *Rugubivesculites rugosus*, *Schizaeisporites* sp., *Sequoiapollenites polyformosus* 等 55.4 m

上白垩统宗卓组(K₂z)

- 2 深灰、灰绿色页岩夹长石岩屑砂岩、角砾状硅质岩透镜体或岩块. 产孢粉 *Araliaceoipollenites sanduoensis*,

Pinuspollenites minutus, *Piceites flavidus* 等

110.3 m

- 1 杂色硅质页岩夹灰岩透镜体. 灰岩中产有孔虫 *Globotruncanita stuariformis*, *G. stuarti*, *Globotruncana linneiana*, *G. vertricosa*, *G. carinata*, *Contusotruncana fornicana*, *H. globulosa* 等

> 180.0 m

2 样品及处理方法

所有样品均采自甲查拉剖面甲查拉组及宗卓组顶部的页岩和粉砂质页岩中. 样品的处理及化石的初始鉴定皆在韩国国立忠南大学校地质系实验室进行. 样品处理过程为: 碎样至 2 mm; 用 36% 的浓 HCl 热处理去钙, 充分反应后水洗至中性; 在塑料桶中用 HF 去硅, 充分反应后, 将残留物水洗至中性; 用 3% 的 NaClO 除去不需要的有机物; 将处理后的样品制作活动片. 样品处理好后, 对其中的沟鞭藻及孢粉化石进行扫描电子显微镜照相及鉴定. 扫描电子显微镜照相在中国地质大学(北京)化石鉴定中心扫描电子显微镜上完成. 所有样品均保存在中国地质大学(北京).

本次研究获得大量古近纪沟鞭藻及孢粉化石, 但由于研究区处于强烈构造变形区, 甲查拉组化石多因热变质作用而保存较差. 限于篇幅, 本文仅对其部分重要分子进行介绍(图 2, 3).

3 地层古生物特征及时代讨论

3.1 浮游有孔虫组合特征及时代

本剖面浮游有孔虫主要见于剖面第 1 层, 即宗卓组的近顶部, 主要分子有 *Globotruncanita stuariformis*, *Globotruncana linneiana*, *G. vertricosa*, *G. carinata*, *Contusotruncana fornicana*, *Heterohelix globulosa*, *H. sp.* 等, 均是晚白垩世晚期浮游有孔虫的代表性分子, 属于晚白垩世在整个特提斯海域广泛分布的截球虫 (*Globotruncana*) 动物群的常见分子. 其中 *G. stuariformis* 的时代为晚白垩世三冬末期至马斯特里赫特晚期, 相当于 Caron^[19] 白垩纪浮游有孔虫 *D. asymetrica* 带顶部至 *A. mayaroensis* 下部; *G. linneiana* 的时代为晚白垩世三冬末期至马斯特里赫特中期, 相当于 Caron 的 *D. asymetrica* 带顶部至 *G. gansseri* 带底部; *G. vertricosa* 是 Caron 有孔虫带 *G. ventricosa* 的带化石, 其时代为晚白垩世坎潘期至马斯特里赫特早中期, 相当

于 Caron 的 *G. ventricosa* 带底部至 *G. aegyptiaca* 带近顶部; *C. fornicana* 的时代为晚白垩世三冬中期至马斯特里赫特中晚期, 相当于 Caron 的 *D. concavata* 带顶部至 *G. gansseri* 带中部; *H. globulosa* 的时代为晚白垩世坎潘期至马斯特里赫特早中期, 相当于 Caron 的 *G. elevata* 带底部至 *G. aegyptiaca* 带下部; *G. stuarti* 的时代为晚白垩世坎潘末期至马斯特里赫特末期, 相当于 Caron 的 *G. calcarata* 带上部至 *A. mayaroensis* 带顶部. 综合上述, 本有孔虫组合的时代应为晚白垩世坎潘期至马斯特里赫特中期.

3.2 藻类组合特征及时代

本剖面沟鞭藻类较为丰富, 其组合特征见图 2 及图 3 所示. 通过与国内外其他地区^[20-24] 古近纪沟鞭藻进行对比, 兹对其组合特征及时代分布作如下讨论:

(1) *Apectodinium quinquelatum*-*Apectodinium hyperacanthum* 组合

该组合主要分布于甲查拉剖面的第 3~5 层, 即甲查拉组的下部(近底部), 代表性分子为 *Apectodinium quinquelatum*, *Apectodinium hyperacanthum* 等, 其他主要分子有 *Cerebrocysta cf. bartonensis*, *Rhombodinium porosum*, *Tectatodinium sp.* 等; 次要分子有 *Gingidinium cf. ornatum*, *Triatriopollenites granilabratus* 等. 其中 *C. bartonensis* 和 *R. porosum* 是古近纪的常见分子^[20]; *A. hyperacanthum*, *A. quinquelatum* 分布于欧洲晚古新世~始新世, 如比利时晚古新世~始新世, 西班牙、英国北海盆地晚古新世^[20,22]. 综合上述, 本沟鞭藻组合的时代大致为古新世.

(2) *Canningia chinensis*-*Palaeoperidinium pyrophorum* 组合

该组合主要分布于甲查拉剖面的第 7~9 层, 即甲查拉组中部, 代表性分子为 *Canningia chinensis*, *Palaeoperidinium pyrophorum* 及 *Tectatodinium pellitum* 等. 其他主要分子有 *Alterbia xinjiangensis*, *Canningia cf. pentagona*, *C. cf. insignos*, *C. elongatum*, *Deflandrea kashiensis*, *Homotryblium cf. floripes*, *Planop-*

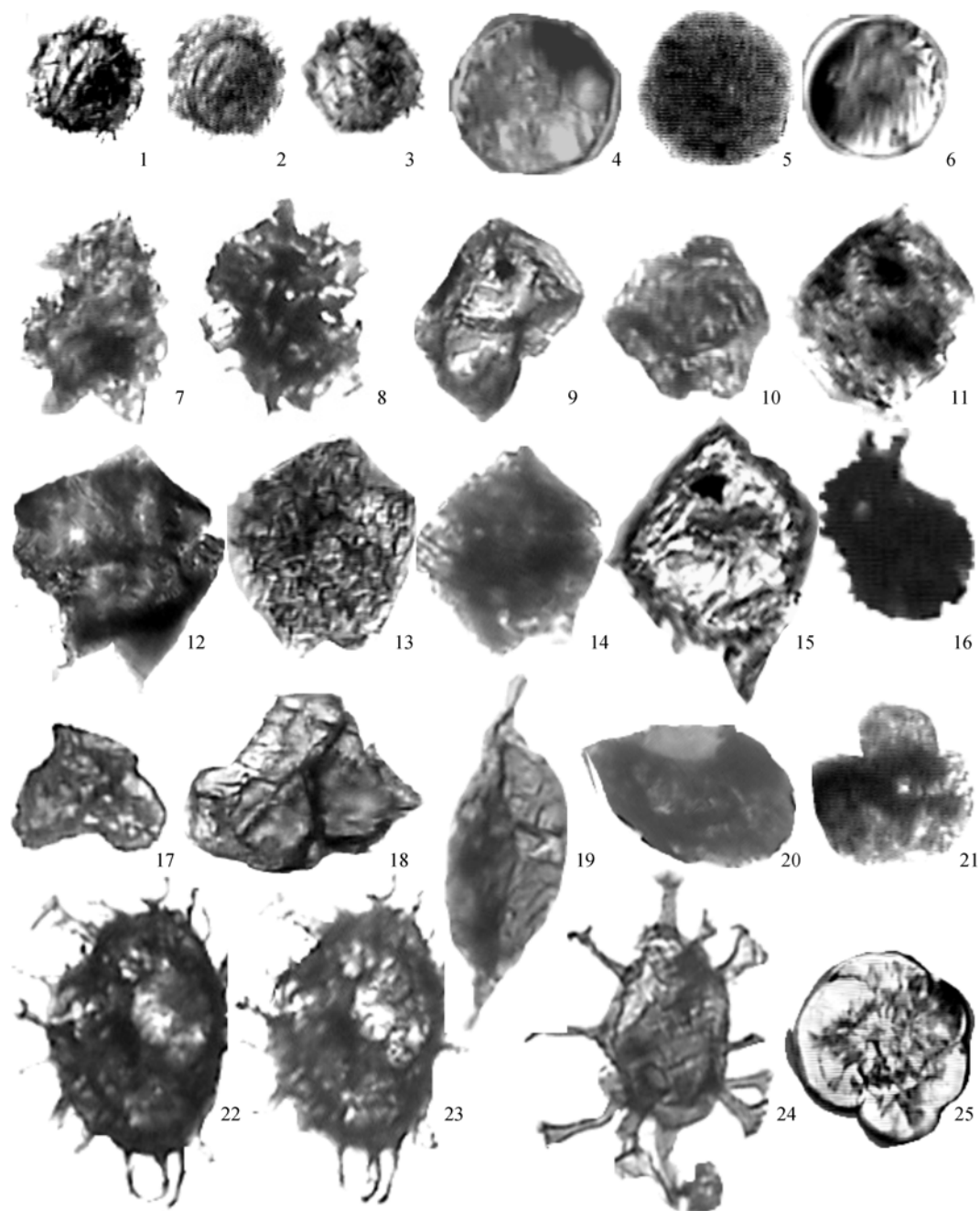


图 3 西藏雅鲁藏布江缝合带南侧古近纪代表性沟鞭藻

1~3. *Operculodinium* sp.; 4~6. *Tectatodinium pellitum* Wall; 7,8. *Apectodinium* sp.; 9. *Diconodium sinense* He; 10. *Lejeunecysta* cf. *circularis* He; 11. *Apectodinium* cf. *subtile* He; 12. *Selenopemphix nephroides* Benedek; 13. *Kisselovia insolens* Eaton; 14,15. *Palaeoperidinium pyrophorum* (Ehrenberg) Sarjeant; 16. *Samlandia chlamyphora* Eisenack; 17,18. *Sirmioidinium grossii* Alberti; 19. *Ceratiopsis elegans* He; 20,21. *Batiacasphaera compta* Drugg; 22,23. *Fibrocysta axialix* (Eisenack) Sover et Evitt; 24. *Oligosphaeridium* cf. *prolixispinosum* Davey & Williams; 25. Microforaminifer lining. 所有图像均为电子显微镜扫描图片, $\times 500$, 其中标本 21~23 产于岗巴始新统遮普惹组, 其余均产于江孜甲查拉组

eridinium gracile, *Palaeoperidium striatum*, *Alisocysta* sp.1 of Heilmann-Clausen, *Rhombodinium draco*等; 次要分子有*Apterodinium heliconides*等. 其中*A. xinjiangensis*, *C. chinensis*, *C. cf. insignos*, *C. elongatum*, *D. kashiensis*, *P. striatum*等分子是塔里木盆地古近系的常见分子^[24]; *A. sp.1* of Heilmann-Clausen的时限为古新世Thanetian期^[20]; *Homotryblum floripes*的时限为始新世~中新世, *K. insolens*是始新世的常见分子, *P. pyrophorum*的分布时限为Cenomanian中期~Thanetian期, *Tectatodinium pellitum*的分布时限为始新世~第四纪^[20]. 本组合以*Canningia*等属种的相对富集为特征, 时代可能为古新世晚期至始新世初期.

(3) *Cymatiosphaera reticulosa*-*Samlandia chlamydophora* 组合

该组合分布于甲查拉剖面第10~12层, 即甲查拉组上部, 代表性分子为*Cymatiosphaera reticulosa*, *Samlandia chlamydophora*等. 其他主要分子有*Aptero-dinium helicoids*, *Batiacasphaera compta*, *Ceratiopsis* cf. *depressa*, *Cordosphaeridium* (C.) cf. *robustum*, *Diconodinium sinense*, *Lejeunecysta* cf. *circularis*, *Operculodinium* sp., *Sirmiodinium grossii*, *Kisselovia insolens*等; 次要分子有*Cerebrocysta* sp.等. 其中, *B. compta*的时代为始新世中晚期^[23]; *A. helicoids*及*C. reticulosa*是塔里木盆地始新世常见分子^[24]; *C. depressa*的时限为晚古新世Thanetian期~早始新世Ypresian期^[20], 见于塔里木盆地始新统; *C.(C.) cf. robustum*见于欧洲晚古新世~渐新世, 广布于西北欧始新统; *S. chlamydophora*的时限为早始新世~早渐新世; *K. insolens*的时限为晚古新世~早始新世^[22]. 综合分析, 本组合的时代应为早始新世.

3.3 孢粉组合特征及时代

甲查拉组所含孢粉组合特征(见图2, 4)与岗巴古近纪孢粉组合面貌(另文讨论)非常相似. 根据其优势及特征类型的出现规律, 并与邻区及世界各地古近纪的孢粉资料^[25-35]进行对比, 本文将甲查拉组的孢粉自下而上分为如下3个组合.

(1) *Arliaceipollenites baculatus*-*Anacolosidites subtrudens* 组合

本组合产于剖面第3~5层, 即甲查拉组下部. 以

Arliaceipollenites baculatus, *Anacolosidites subtrudens*的产出为特征; 以裸子花粉占绝对优势, 计有属7种: *Cedripites medius*, *Sequoiapollenites polyformosus*, *Pinuspollenites labelacus* f. *minor*, *Podocarpidites* sp., *Rugubivesculites rugosus*, *R. sp.*, *Sequoiapollenites polyformosus*等. 其中, 气囊与本体分化完善的无肋两气囊花粉*Cedripites*和*Pinuspollenites*常见于古新世~早始新世, 如它们是苏北盆地古新统及冀中坳陷早古近纪孢粉组合的常见分子^[26, 27]. *Cedripites medius*及*S. polyformosus*是苏北盆地、新疆塔里木盆地西部、东海陆架古新统的常见分子^[25]. 其次有被子花粉, 计6属6种: *Anacolosidites subtrudens*, *Arliaceipollenites baculatus*, *Anacolosidites subtrudens*, *Momipites coryloides*, *Euphorbiacites* cf. *reticulatus*, *Ilexpollenites iliacus*等. 其中, *Anacolosidites*与*Arliaceipollenites*均只见于古近系; *A. subtrudens*见于苏北盆地三垛组、东海陆架灵峰组; *A. baculatus*见于苏北盆地、西藏班戈、南海北部陆架等地古近系; *Momipites*分布于北半球新生界, 是东海南部陆架晚古新世亚热带湿生孢粉类型的代表性分子^[29], *M. coryloides*见于中国各地下古近系^[31], *Anacolosidites*分布于全球古近系^[25]. 还见有少量蕨类孢子如*Schizaeoisporites* sp.及未能鉴定的孢粉. 根据上述孢粉组合的特征, 结合其产出的层位及与之共生的沟鞭藻组合的时代, 本孢粉组合的时代大致应为古新世.

(2) *Aglaoreidia cyclops*-*Pinuspollenites microinsigis* 组合

本组合产于剖面第7~9层, 即甲查拉组的中部. 本组合以*Aglaoreidia cyclops*与*Pinuspollenites microinsigis*的独特存在与集中产出为特征. 以裸子植物花粉为主, 计有10属13种: *Abiespollenites rotundus*, *Classopollis* sp., *?Cryptomeriapollenites* sp., *Euphorbiacites reticulatus*, *Cedripites tenuis*, *Pinuspollenites* sp., *P. labelacus* f. *minor*, *P. microinsigis*, *Podocarpites* cf. *minutes*, *P. longiforliaformis*, *Rugubivesculites rugosus*, *?Selagosporis* sp., *Dacrycarpites* sp.等; 其中又以类型多、含量高的具气囊松柏类花粉占突出位置. 其次为被子花粉, 计7属8种: *Aglaoreidia* cf. *cyclops*, *Betulaepollenites* sp., *Betulaceipollenites* sp., *Palaeocoprosmadites* cf. *arcotense*, *Rutaceopollis rotundus*,

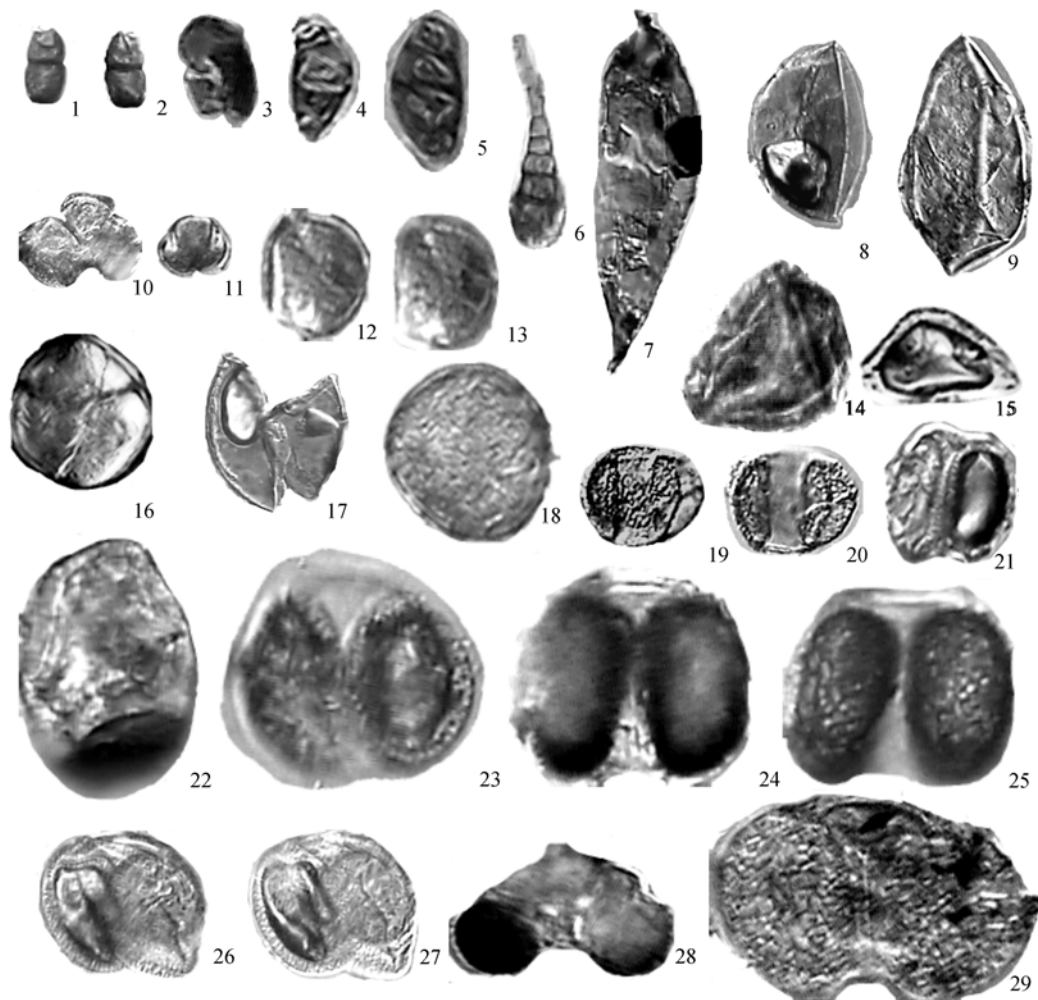


图4 西藏雅鲁藏布江缝合带南侧古近纪代表性孢粉

1,2. *Dicellaesporites subaequatus* Zhang; 3. *Dyadosporites solidus* (Ke et Shi) Song; 4. *Multicellaesporites* cf. *rentiformis* Ke et Shi; 5. *Multicellaesporites* cf. *ovata* Sheffy et Dilcher; 6. *Diporicellaesporites* sp.; 7. *Pluricellaesporites maximus* Ke et Shi; 8. *Magnolipollis grandus* Song et Zheng; 9. *Magnolipollis* cf. *grandus* Song et Zheng; 10. *Ilexpollenites iliacus* (Pot) Thiergot et Potonie; 11. *Palaeocoprosmadites* cf. *arcotense* Rumanujan; 12,13. *Polypodiaceasporites ovatus* (Wilson et Webster) Sun et Zhang; 14. *Anacolosidites subtrudens* (Pflug) Zhang et Zhen; 15. *Elaeagnacites asper* Zheng; 16. *Tricolpites pedicularidus* Wang; 17. *Taxodiaceapollenites hiatus* (Potonie) Kremp; 18. *Aglaoreidia* cf. *cyclops* Erdtman; 19,20. *Podocarpidites jiandingshanensis* Wu; 21. *Abietinaepollenites renisaccus* Sung et Tsao; 22. *Arliaceopollenites baculatus* Song et Zhang; 23. *Pinuspollenites microinsigis* (Kruttsch) Song et Zhong; 24.,25. *Pinuspollenites longiforliaformis* (Zakl.) Xi Ping; 26,27. *Pinuspollenites parvisaccatus* Zhang et Zhan; 28. *Pinuspollenites labdacus* f. *minor* R. Potonie; 29. *Pinuspollenites labdacus* f. *major* R. Potonie. 所有图像均为电子显微镜扫描图片, $\times 500$

Scabiospollis haianensis, *S. sp.*, *Tetracolpites* sp.等. 并有少量蕨类孢子*Schizaeoisporites palaeocenicus*及菌孢*Staphlosporites laetevirens*等. 其中, *Euphorbiacites reticulatus*分布于中国各地下古近系^[25]. 在广东南雄盆地^[35], 单囊松粉*Abiespollenites*是古新统的代表性分子; 三沟类花粉*Salixipollenites*分布于古新

统上部~始新统下部; *Aglaoreidia*分布于欧亚大陆下古近系^[25], 被子花粉三孔沟类型*Palaeocoprosmadites*见于印度古近系与中国苏北盆地三垛组等层位^[25]. 故本孢粉组合的分布时限大致应为古新世晚期~始新世初期.

(3) *Elaeagnacites asper*-*Ilexpollenites iliacus* 组合

本组合产于剖面第 10~12 层, 即甲查拉组上部。以 *E. asper* 与 *I. iliacus* 的存在及古近纪常见分子 *Rugubivesticulites podocarpites* 及 *Sequoipollenites polyformosus* 等的产出为特征; 以裸子花粉占绝对优势, 计 13 属 14 种: *Abietinaepollenites renisaccus*, *Cedripites minutulus*, *Classopollis triangles*, *Cryptomeriapollenites* sp., *Jianghanpollis* cf. *ringens*, *R. cf. podocarpites*, *S. polyformosus*, *Magnolipollis grandus*, *M. cf. grandus*, *Pinuspollenites parvisaccatus*, *Podocarpidites jiandingshanensis*, *Taxodiaceapollenites hiatus*, *Tricolpites pedicularidus* 等。其中, *A. renisaccus* 见于渤海沿岸沙河街组等层位; *Magnolipollis* 分布于北半球古近系; *Selagosporis* 分布于中国和欧洲古近系^[25]; 属征非常相似的 *Sequoipollenites* 和 *Cryptomeriapollenites* 分布于北半球上白垩统至古近系, *S. polyformosus* 是渤海沿岸及东海陆架等地古近系的常见分子^[25]; *T. hiatus* 广布于中国各地古近系^[25]。其次为被子植物, 计 6 属 6 种: *Betulaceipollenites* sp., *Betulaepollenites* sp., *Cerebropollenites findlaterensis*, *Elaeagnacites asper*, *Euphorbiacites* sp., *I. iliacus* 等。其中, *Euphorbiacites* 等典型喜热分子在冀中坳陷主要分布于古新统上部~始新统下部^[27]; *Elaeagnacites* 及 *Ilexpollenites* 主要分布于全球古近系^[25]。与前两个孢粉组合相比, 本组合含较为丰富的菌类孢子, 如 *Diporisorites* sp., *Dyadosporites megaporus*, *D. solidus*, *Dicellaesporites subglobosus* 等。其中, *Dicellaesporites* 常见于北半球古近系, *Diporisorites* 及 *Dyadosporites* 分布于北半球, 古近系常见^[25]。尚有少量蕨类孢子如 *Polypodiaceasporites ovatus* 等。 *Polypodiaceasporites* 分布于全球, 以古近系为主; *P. ovatus* 见于南海陆架盆地古近系^[25]。根据其组合特征及产出层位, 本孢粉组合的分布时限大致应为始新世早期。

区域上, 与甲查拉组同层位的地层在雅鲁藏布江缝合带南侧广泛出露。在萨嘎南部桑单林-折巴一带发育着一套^[36,37]与江孜盆地甲查拉组为同期异相的沉积, 皆整合于含晚白垩世晚期截球虫(*Globotruncana*)动物群的宗卓组之上。萨嘎陆棚充填沉积序列中含 6 个古新世放射虫组合带(自下而上): *Am-*

phisphaera aotea 带, *Amphisphaera kina* 带, *Buryella granulata* 带, *Buryella foremana* 带, *Buryella tetradica* 带, *Bekoma campechensis* 带^[37]。

综上所述, 根据甲查拉组中所含大量沟鞭藻和孢粉化石时代及区域地层对比, 并结合地层叠覆律和化石层序律进行综合分析, 甲查拉组的时代应属于古近纪古新世~早始新世。

4 沉积环境分析

根据前人关于沟鞭藻生态的研究, 笔者对江孜甲查拉组所含的沟鞭藻的生态特征进行分析认为, 甲查拉组应形成于一种水体相对较浅的滨浅海环境。再者, 甲查拉组所含孢粉组合的特点说明其沉积环境距离陆地不会太远。

就沉积特征及所处构造部位而言, 甲查拉组应属 Wescott^[38] 扇三角洲分类体系中的碰撞海岸带扇三角洲沉积, 其内部可识别出前扇三角洲、扇三角洲前缘及浅海三种亚环境: 前扇三角洲沉积特征不太明显, 仅见于甲查拉组底部, 系由青灰色粉砂岩、粉砂质页岩、页岩等共同组成的“类复理石”式的韵律层系, 但未见典型的鲍马序列。接受大量的扇三角洲悬移质沉积, 属三角洲前缘的向海部分。扇三角洲前缘见于甲查拉组下部, 由青灰色粉砂岩夹页岩、凝灰质细砂岩、含砾中粗岩屑砂岩组成多套向上变粗的层序。砾石成分复杂, 砾径一般为 1~3 cm, 圆至次圆状。上述砂砾岩可能系水下分支河道充填物, 页岩则代表水道间沉积, 均夹于正常海相沉积内。席状砂-浅海沉积主要见于甲查拉组上部, 由青灰色巨厚层细砂岩夹页岩及浅海相砂屑灰岩组成。该席状砂可能为远岸水下网状沉积, 其水道特点已不明显而呈席状产出。参照 Graham 等^[39] 及 Dickison^[40] 的残留海模式, 甲查拉组的沉积组合及构造特征应反映一种与大陆碰撞有关的大洋关闭残留海三角洲沉积的特征。

综上所述, 根据其所含古生物与沉积特征及所处构造部位, 江孜甲查拉组总体应相当于 Sinclair^[41] “欠补偿周缘前陆盆地构造”模式中紧邻褶冲带前缘逆冲断裂的碰撞型扇三角洲沉积。

甲查拉组在江孜西边的白朗县江公-赛区一线以

北亦有出露,总体岩性与层型剖面所见相似,惟前者含大量重力流沉积,发育较为丰富的鲍马序列等沉积构造,总体表现为Sinclair^[41]“欠补偿周缘前陆盆地构造”模式中前渊带陆棚斜坡相浊积舌(turbidite lobe)沉积特征,推测古近纪该地水体仍然较深。再向西至萨嘎南部,更多放射虫硅质岩的出现反映一种水体更深的沉积环境,推测萨嘎南部在古新世应处于藏南古近纪前陆盆地深渊带。

沿雅鲁藏布江缝合带南侧,古近纪海相沉积在东起江孜、西至萨嘎一线呈断续的带状分布,造成某些中间地带古近系“消失”的主要原因应是褶冲带前缘逆冲断裂(雄如-勇拉断裂)的“断失”作用。这些地段在古近纪应处于同一个沉积盆地——藏南前陆盆地的前渊带,但水体自东向西逐渐加深,即海水应该是自东往西退出本区的。

5 藏南前陆盆地的讨论

5.1 藏南前陆盆地的分布格局

“前陆盆地(foreland basin)”是碰撞构造体系的一个重要单元,通常被定义为形成于线形挤压造山带前缘与相邻稳定克拉通之间的狭长槽谷式(elongate trough)沉积盆地,主要是对造山带内由推覆体负载而引起的曲折沉降的一种响应^[42-44]。对冈底斯构造带(岛弧)以南的藏南地区白垩纪至古近纪沉积特征的综合分析可以认为,晚白垩世至古近纪,由于前期(晚白垩世)印度板块向亚洲板块俯冲及后期(古近纪初期)与亚洲板块发生碰撞,在处于印度大陆被动边缘的藏南地区形成和发育了一个较为完整的前陆盆地体系,即藏南周缘前陆盆地体系。

介于雅鲁藏布江断裂(缝合带)与雄如-勇拉断裂之间的北喜马拉雅构造带仲巴-仁布亚带,基本上为以含大量岩块为特征的三叠系修康群所占据,同时有白垩纪海相碎屑沉积及古新世~始新世近源陆相粗碎屑磨拉石沉积——楔顶沉积带(wedge-top depozone)零星分布,该带大体处于内部发育楔顶沉积的前陆褶冲带,雄如-勇拉断裂即为褶冲带前缘逆冲断裂。

往南,喜马拉雅特提斯沉积北带在古近纪处于由陆棚-大陆坡转化而成的前渊沉积带。在萨嘎南部

发育着一套初始前渊深海-半深海区沉积颗粒向上变粗、沉积环境向上变浅的沉积充填序列;在江孜盆地则发育一套紧邻褶冲带前缘逆冲断裂的前渊带三角洲沉积(甲查拉组)。

前隆带(forebulge depozone)为前陆克拉通上的弯曲隆起,古前隆带的识别相当困难,一般主要依据前隆碳酸盐岩台地沉积和低角度不整合两方面的证据来识别^[45]。Dorobek等^[46]曾提出,在前隆后阶步层序形成早期,即冲断造山作用的早期,在克拉通陆表海台地上引发的前陆挠曲剖面上,发育有台地边缘生物礁(buildups),又称淹没塔礁群(drowning pinnacle reefs)。白垩纪末期,在岗巴-定日一带广泛出现台缘点礁^[47]。这些礁体沉积岩层中未见任何暴露沉积构造,表明形成过程中并未露出水面,应属典型的淹没型塔礁。这些塔礁群的出现,标志着该区已从稳定克拉通陆表海向前陆盆地早期的冲断背斜带(前隆带)台缘塔礁(或岸礁)转变。古近纪,岗巴-定日盆地发育着一套与Sinclair^[41]提出的发育于初始为前隆的前陆盆地的“欠补偿三位一体”(underfilled trinity)充填序列模式基本吻合的沉积序列:1)下部单元,与下伏被动陆缘沉积(上白垩统宗山组上部或遮普惹山坡组^[8]碎屑沉积)不整合接触,底部为厚度分布不均的碎屑岩沉积(基堵拉组),主体由台地碳酸盐岩(宗浦组)组成;2)中部单元,由富含浮游生物的泥岩(遮普惹组^[11,12,18])组成,泥岩中富含钙质、粉砂及生物搅动构造;3)上部单元,主要由厚层深水浊积砂岩和泥岩(朋曲组^[5])组成。这说明,岗巴-定日一带初始(晚白垩世晚期)为一古前隆,后来(古近纪),随着古前隆向南迁移,本区发生曲折下沉成为前渊带的一部分,而隆后盆地可能位于现在喜马拉雅山南坡的尼泊尔及印度北部一带(低喜马拉雅)。岗巴-定日残留海盆(前隆)的演化特征完全可以与经典的瑞士北阿尔卑斯始新世~中新世周缘前陆盆地体系中前隆的演化模式^[48,49]进行对比。从地层的分布情况及沉积特征分析,拉轨岗日-康马隆起在晚白垩世可能为一古前隆,它对晚白垩世的沉积分布起着重要的控岩控相作用,上白垩统宗卓组的分布严格限于该隆起带以北而未能逾越该隆起带。

5.2 藏南前陆盆地的演变历程

藏南前陆盆地体系的形成和发展受控于印度与亚洲板块之间的俯冲-碰撞构造应力场和盆地基底构造格局。

地层学^[3,50,51]、生物古地理学^[50,52]、沉积及地球化学^[53]、古地磁^[54]等多学科的证据表明,西藏境内,印度-亚洲之间的碰撞最初发生的时间可能是白垩/古近纪之交。

作为印度-亚洲大陆碰撞启动的标志,岗巴-定日地区 K/T 界线处的低角度不整合(相当于曲折前隆不整合),是前隆不断向印度克拉通侧向迁移的结果。这种前隆的迁移导致盆地基底的抬升与早期沉积的剥蚀,从而形成低角度的不整合。该不整合面是我们识别岗巴-定日古前隆带存在的两个主要标志之一。以这一不整合为标志,印度与亚洲大陆开始发生碰撞。作为对这一构造事件的响应,印度板块被动北缘的岩石圈由于均衡补偿作用而发生弯曲,藏南地区进入欠补偿周缘前陆盆地演化阶段。岗巴-定日地段由于前隆向印度克拉通板块侧向迁移而形成后阶缓坡碳酸盐岩层序(古新统宗浦组),区内沉积地层的破碎变形和滑塌堆积是持续碰撞与挤压作用的直接结果。同时,处于碰撞前锋地带的喜马拉雅特提斯沉积北带变成前渊带,接受前阶碎屑充填层序。江孜甲查拉组与萨嘎深水沉积序列是发生于前渊带不同部位沉积的典型代表,前者代表前渊带紧邻褶皱带前缘逆冲断裂的三角洲沉积,后者代表前渊带的深水盆地沉积。

随着印度-亚洲大陆的持续碰撞及最终拼合,海水逐渐退出本区,西藏特提斯海逐渐消亡并最终封闭,进入藏南前陆盆地演化的晚期——陆相磨拉石阶段。

5.3 最高海相层

讨论西藏特提斯的封闭时间,实际上也就是寻求对境内最高海相层位的确定。长期以来,人们一直将注意力集中在作为特提斯残留海盆的定日-岗巴盆地,并认为该盆地保存着藏南地区最年轻的海相沉积,目前所得到的海相层最年轻的时间为始新世 Priabonian 期^[5,10]。而对于位于前缘逆冲断裂南侧前

渊带的江孜盆地,以往对该区最高海相层的认识只限于深海沉积的宗卓组,时代限于晚白垩世^[7,11~14]。吴浩若^[13]曾提出在宗卓组顶部有一套石英砂岩,在当时没有发现化石依据的情况下,根据岩性与层位将其与岗巴地区的古新统基堵拉组进行对比,推测其时代可能属古近纪。本次在江孜甲查拉山附近发现一套整合于宗卓组之上的海相地层,其厚度规模大大超过前人的认识,其中含丰富的沟鞭藻及孢粉化石,时代被确定为古新世~始新世早期。在此基础上,将这套新发现的海相地层正式命名为一个新的岩石地层单元——甲查拉组。该组应属紧邻褶皱带前缘逆冲断裂的前渊带三角洲沉积。区内白垩纪/古近纪界线附近所发生的沉积相由克拉通陆表海盆地向内陆盆地的转变,是板块碰撞启动的重要标志。江孜甲查拉组与西部(萨嘎)处于同一构造带的古近纪前渊带沉积,总体属同期异相沉积。

江孜古近纪海相沉积的发现,使新特提斯在本区的消亡时间推迟到早始新世以后。这对于深化和改进对新特提斯演化史及印度-亚洲碰撞过程的认识具有深远意义。同时,这套新发现的最高海相沉积,对于通过对前陆盆地演化过程的分析来标定板块碰撞启动时间,也具有重要作用。

6 结论

通过对藏南江孜地区一个新建的甲查拉组的岩相及古生物特征的分析,可以初步得出如下主要结论:

(1) 新建甲查拉组是一个迭覆于白垩系宗卓组之上的岩石地层单元,它代表着江孜地区时代最新的海相沉积。

(2) 从其所含沟鞭藻及孢粉化石的组合面貌分析,甲查拉组的时代应为古新世~早始新世。

(3) 甲查拉组沉积表明,它是在印度板块与欧亚板块碰撞期间,形成于印度被动陆缘的欠补偿周缘前陆盆地体系的前渊带沉积。

(4) 藏南周缘前陆盆地的演化史表明,印度-亚洲板块碰撞启动的时间可能在白垩纪/古近纪之交;西藏江孜残余海盆的消亡时间应在早始新世以后。

致谢 化石的处理及初始鉴定工作是在韩国国立忠南大学校进行的, 得到该校 Hyesu Yun 教授的悉心指导及 Yue Eun Young 博士、金香淑硕士、李相一、成美仙等同学的大力帮助, 在化石的鉴定过程中还得到茅绍智教授、何成全研究员、魏明建副教授等的指导, 高德臻教授及周至广等一起参加部分野外工作, 笔者在此一并致以诚挚谢意。

参 考 文 献

- 1 万晓樵. 西藏第三纪有孔虫生物地层及地理环境. 现代地质, 1987, 1(1): 15~47
- 2 万晓樵. 西藏白垩纪-早第三纪有孔虫与特提斯喜马拉雅海的演化. 微体古生物学报, 1990, 7(2): 169~186
- 3 万晓樵, 丁 林, 李建国, 等. 西藏仲巴地区白垩纪末期-始新世早期海相沉积. 地层学杂志, 2001, 25(4): 267~272
- 4 文世宣. 第三系. 见: 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 (1966~1968), 地质. 北京: 科学出版社, 1974. 184~212
- 5 李祥辉, 王成善, 胡修棉, 等. 朋曲组——西藏南部最高海相层位: 一个新的地层单元. 地层学杂志, 2000, 24(3): 243~248
- 6 郝治纯, 万晓樵. 西藏定日地区的海相地区的海相白垩、第三系. 见: 青藏高原地质文集(17). 北京: 地质出版社, 1985. 227~232
- 7 徐钰林, 万晓樵, 苟宗海, 等. 西藏侏罗、白垩、第三纪生物地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 1~147
- 8 Willems H. Sedimentary history of the Tethys Himalaya continental margin in the South Tibet (Gamba, Tingri) during Upper Cretaceous and Paleogene (Xizang Autonomous Region, PR China). In: Willems H, ed. Geoscientific Investigations in the Tethyan Himalayas. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften, der Universität Bremen, 1993, 38: 49~181
- 9 Rowley D W. Minimum age of initiation of collision between India and Asia north of Everest based on the subsidence history of the Zhepure Mountain section. Journal of Geology, 1998, 106: 229~235
- 10 李国彪, 万晓樵. 藏南岗巴-定日地区始新世的微体古生物与特提斯的消亡. 地层学杂志, 2003, 27(2): 99~108
- 11 吴浩若, 王东安, 王连城. 西藏南部拉孜-江孜一带的白垩系. 地质科学, 1977, 3: 250~261
- 12 王乃文. 中国白垩纪特提斯地层学问题. 见: 青藏高原地质文集(3). 北京: 地质出版社, 1983. 148~180
- 13 吴浩若. 西藏南部江孜地区晚白垩世晚期及早第三纪(?)地层. 地层学杂志, 1987, 11(2): 147~149
- 14 夏代祥, 刘世坤. 西藏自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 1~302
- 15 李曰俊, 陈从喜, 买光荣, 等. 陆-陆碰撞造山带双前陆盆地模式——来自大别山、喜马拉雅和乌拉尔造山带的证据. 地球学报, 2000, 21(1): 7~16
- 16 刘宝珺, 余光明, 徐 强, 等. 雅鲁藏布中新世深水盆地形成和演化(I)——喜马拉雅造山带沉积特征及演化. 岩相古地理, 1993, 13(1): 32~49
- 17 Gansser A, 著. 喜马拉雅山脉的事实及理论. 张秋明译. 科技地质动态, 1994, 4(总 364): 31~32
- 18 Beck R A, Burbank D W, Seroombe W J, et al. Stratigraphic evidence for an early collision between northwest India and Asia. Nature, 1995, 373(5): 55~58
- 19 Caron M. Cretaceous planktic foraminifera. In: Bolli H M, Saunders J B, Perch-Nielsen K, eds. Plankton Stratigraphy, Vol 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 17~86
- 20 Powell A J, ed. Stratigraphic Index of Dinoflagellate Cysts. London: Chapman & Hall, 1992. 1~290
- 21 郝治纯, 茅绍智. 微体古生物学教程. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 1~330
- 22 Williams G L, Bujak J P. Mesozoic and Cenozoic dinoflagellates. In: Cook A H, Harland W B, Hughes N F, et al, eds. Plankton Stratigraphy, Vol 2. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 847~964
- 23 Bujak J P, Williams G L. The evolution of Dinoflagellates. Canadian Jour Botany, 1981, 59: 2077~2087
- 24 何承全. 新疆塔里木盆地西部晚白垩世至早第三纪沟鞭藻及其它藻类. 北京: 科技出版社, 1991. 1~235
- 25 宋之琛, 郑亚惠, 李曼英, 等. 中国孢粉化石. 第一卷. 晚白垩世和第三纪孢粉. 北京: 科学出版社, 1999. 1~910
- 26 钱泽书, 郑亚惠, 宋之琛. 苏北盆地阜安群孢粉. 古生物学报, 1993, 32(1): 49~63
- 27 陶明华, 王开发, 郑国光, 等. 冀中拗陷早第三纪孢粉组合及地质时代讨论. 微体古生物学报, 2001, 18(3): 274~292
- 28 宋之琛, 李曼英, 钟 林. 广东三水盆地白垩纪-早第三纪孢粉组合. 中国古生物志, 新甲种 10 号. 北京: 科学出版社, 1986. 1~170
- 29 张一勇. 中国早第三纪孢粉植物纲要. 古生物学报, 1995, 34(2): 212~227
- 30 Wilson R, Webster M. Plant microfossils from a Fort Union Coal Montana. America Journey of Botany, 1964, 33: 271~278
- 31 Noton N J, Hall W. Palynology of the Upper Cretaceous-Lower Tertiary in the locality of the Hell Creek formation, Montana, USA. Palaeontographica, 1969, B125: 1~64
- 32 Leffingwell H A. Palynology to the Lance(Late Cretaceous) and Fort Union formation(Palaeocene) of the type Lance area. Wyoming Geological Societies American Special Paper, 1970, 127: 1~64
- 33 Rouse G E, Srivastava S K. Palynological zonation of Cretaceous and Early Tertiary rocks of Bonnet Plume Formation, Northeast Yukon, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, 1972, 9(9): 1163~1179
- 34 Russel D E, Singh C. The Cretaceous-Tertiary boundary in south-central Alberta—a reappraisal based on dinosaurian and microfloral extinctions. Canadian Journal of Earth Sciences, 1978, 15(2): 284~292
- 35 李曼英. 广东南雄盆地古新世早期孢粉组合. 古生物学报, 1989, 28(6): 471~479
- 36 万晓樵, 丁 林. 西藏吉隆白垩纪末期浮游有孔虫的发现及其

- 年代意义. 古生物学报, 2002, 41(10): 89~95
- 37 丁 林. 西藏雅鲁藏布江缝合带古新世深水沉积和放射虫动物群的发现及对前陆盆地演化的制约. 中国科学, D 辑, 2003, 33(1): 47~58
- 38 Wescott W A. Fan-delta sedimentary and tectonic setting. AAPG Bulletin, 1980, 64(3): 56~68.
- 39 Graham S A, Dickison W R, Ingersoll R V. Himalaya-Bengal modal for flysch dispersal in Appalachian-Quachita system. GSA Bull, 1975, 86: 273~286
- 40 Dickison W R. Plate tectonics and keypetrologic associations. Geological Association of Canada Special Paper, 1980, 20: 341~360
- 41 Sinclair H D. Tectonostratigraphic model for underfilled peripheral foreland basins: An Alpine perspective. Geological Society of America Bulletin, 1997, 109: 324~346[DOI]
- 42 Dickison W R. Plate tectonics and sedimentation. SEPM Special Publication, 1974, 22: 1~27
- 43 Jordan T E. Thrust loads and foreland basin evolution, Cretaceous, western United States. Bull Am Petrol Geol, 1981, 65: 2506~2520
- 44 Jordan T E. Retroarc foreland and related basins. In: Bushy C J, Ingersoll R V, eds. Tectonics of Sedimentary Basin. Oxford: Blackwell Science, 1995. 331~362
- 45 DeCelles P G, Giles K A. Foreland basin system. Basin Research, 1986, 8: 105~123[DOI]
- 46 Dorobek S L. Synorogenic carbonate platforms and reefs in foreland basin: controls on stratigraphic evolution and platform reef morphology. In: Dorobek S L, Ross G M. Stratigraphic evolution of foreland Basins. Tulsa, Oklahoma: SEPM Special Publication, 1995, 52: 127~147
- 47 刘增乾, 徐 宪, 潘桂棠, 等. 青藏高原大地构造与形成演化. 北京: 地质出版社, 1990
- 48 Lihou J C. A new look at the Blattengrat unit of eastern Switzerland: early Tertiary foreland basin sediments from the Helvetic realm. Eclogae Geologicae Helvetiae, 1995, 88(1): 91~94
- 49 Allen P A, Crampton S L, Sinclair H D. The inception and early evolution of the North Alpine Foreland Basin, Switzerland. Basin Research, 1991, 3: 143~163
- 50 万晓樵, 梁定义, 李国彪. 西藏冈巴古新世地层及构造作用的影响. 地质学报, 2002, 76(2): 155~162
- 51 Wan Xiaoqiao, Luba F J, Massimo S. Cretaceous and Tertiary boundary strata in southern Tibet and their implication for the India-Eurasia collision. Lethaia, 2002, 35(2): 131~146[DOI]
- 52 Jaeger J-J, Courtillot V, Tapponnier P. Paleontological view of the ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary boundary, and the India-Asia collision. Geology, 1989, 17: 316~319[DOI]
- 53 王成善, 李祥辉, 胡修棉. 再论印度-亚洲大陆碰撞的启动时间. 地质学报, 2003, 77(1): 16~24
- 54 Klootwijk C T. A review of Indian Phanerozoic paleomagnetism: implications for the India-Asia collision. Tectonophysics, 1984, 105: 331~353[DOI]