

1 doi:10.3799/dqkx.2025.045

2 张扭型菱形地堑构造特征及其控藏作用:以珠江口盆地惠州凹陷为例

3 刘培^{1,2} 彭光荣^{1,2} 李洪博^{1,2} 杜晓东^{1,2} 罗明^{1,2} 宋朋霖^{1,2}

4 1.中海石油(中国)有限公司深圳分公司,广东深圳 518054; 2.中海石油深海开发有限公司,广东深圳 518054

5 **摘要:** 拉分盆地又称菱形盆地,一般在强走滑构造环境中发育,但惠州凹陷在喜山早期
6 张扭背景下发育了珠江口盆地独具特色的菱形地堑。本文基于三维地震、钻井等资料,并结
7 合区域构造背景,对惠州凹陷这一类张扭背景下发育的菱形地堑的构造特征、成因机制及其
8 控藏作用进行研究。惠州凹陷发育 NE-SW 走向拉张型、近 E-W 走向扭-张型及 NW-SE 走
9 向张-扭型 3 类主干断裂,3 类主干断裂在文昌组沉积期差异活化,联合控制惠西地区张扭
10 型菱形地堑 4 个演化阶段:复式半地堑发育期、菱形地堑雏形期、菱形地堑拓展期、菱形地
11 塹定型期。惠州-北卫滩隐伏断裂带在印支-燕山期形成和发育,喜山期左行活化影响范围基
12 本覆盖整个惠西地区。惠西地区在珠琼运动 I 幕 NW-SE 向拉张背景及惠州-北卫滩隐伏断裂
13 带左行活化共同控制下,发育为张扭型菱形地堑。同时,菱形地堑发育及演化控制了惠西地
14 区烃源岩发育规模、大型圈闭群形成及断层封堵、油气运移等成藏条件,相关古近系圈闭油
15 气勘探潜力大。

16 **关键词:** 菱形地堑; 惠州凹陷; 断裂特征; 构造演化; 惠州-北卫滩隐伏断裂带; 油气成藏
17 中图分类号: P548 收稿日期: 2024-12-30

18 Structural Characteristics of Tensional-shear Rhomb Graben and Its Control on 19 Hydrocarbon Accumulation: A case Study of Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin

20 Liu pei, Peng Guangrong, Li Hongbo, Du Xiaodong, Luo Ming, Song Penglin

21 1.Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen 518054, China;

22 2.CNOOC Deepwater Development Limited, Shenzhen 518054, China;

23 **Abstract:** The pull apart basin, also known as the diamond basin, typically forms in strong strike-slip tectonic
24 setting. However, Huizhou Sag of Pearl River Mouth Basin developed the distinctive diamond-shaped graben
25 during the Eocene rifting period under tensional-shear setting. Base on three-dimensional seismic and drilling data,
26 along with regional tectonic context, This study investigates the structural characteristics, genesis mechanism, and
27 oil and gas accumulation of tensional-shear rhomb graben. Huizhou Sag developed three types of primary faults:
28 NE-SW trending extensional faults, nearly E-W trending shear-tensional faults, and NW-SE trending

基金项目: 中国海洋石油有限公司前瞻基础研究项目“珠一坳陷隐伏断裂带特征及其控洼控藏作用研究
(KJQZ-2023-2001)、中国海洋石油有限公司科研项目西江 23 洼构造沉积特征及有利烃源展布研究
(SCKY-2024-SZ-06)。

作者简介: 刘培(1986-),男,高级工程师,从事石油地质勘探与研究工作。E-mail:
liupei4@cnooc.com.cn, ORCID: 0000-0002-7381-5871。

通讯作者: 杜晓东, E-mail: duxd5@cnooc.com.cn

29 tensional-shear faults. Three types of major faults activated differently during the deposition of the Wenchang
30 Formation and jointly controlled the four evolution stages of the transtensional rhombohedral graben in the Huixi
31 area:the development phase of the compound half graben, the embryonic stage of the rhomb graben, the
32 expansion phase of the rhomb graben, and the definitive stage of the rhomb graben. The Huizhou Beiweitan
33 hidden fault was formed and developed in Indosian-Yanshanian period, and its left-lateral activation area
34 basically covered the whole Huixi area in the Himalayan period. Controlled by the NW-SE trending extensional
35 setting of the first episode of the Zhuqiong Movement I and the sinistral activation of Huizhou-Beiweitan hidden
36 fault, Huixi sag developed a basin style of tensional-shear rhomb graben. At the same time, the development and
37 evolution of diamond shaped graben control the development scale of source rocks, the formation of large trap
38 groups, fault sealing, oil and gas migration. The NW-SE trending Paleogene trap group has great potential for oil
39 and gas exploration.

40 **Key words:** rhomb graben; Huizhou sag; fault characteristics; tectonic evolution; Huizhou Beiweitan hidden fault;
41 hydrocarbon Accumulation

42 0.引言

43 拉分盆地，是与强走滑断裂相伴生的一类盆地，一般是在走滑断裂带的不连续部分或雁
44 行式走滑断裂带（左行左阶或右行右阶）之间相互叠置部位，由于走滑断裂带的水平移动而
45 引起的横向拉伸作用所产生的负向地形，平面形态多表现为菱形样式，因此又称菱形地堑、
46 菱形裂陷等，受主控走滑断裂的断距、叠置长度等影响，具体形态呈现出一定差异（刘庆，
47 1986；Mouslopoulou et al., 2007）。典型的拉分盆地主要由边界走滑断裂、边界正断层以及
48 盆地内部的张性或张剪性断裂等构成，可以在板块边缘和板内不同的走滑构造环境中发育，
49 构造运动以水平移动为主，横向拉张为伴生作用，具有双重力学性质，通常具有沉积速率快、
50 沉降厚度大等特点，有利于烃源岩、储层、圈闭等油气成藏要素的发育，是油气勘探的有利
51 区（蔡东升等，2001；陈海云等，2005；陈红汉，2023）。

52 珠江口盆具有“南北分带、东西分块”构造格局，其中位于盆地最北侧的珠一坳陷自西
53 向东依次发育恩平凹陷、西江凹陷、惠州凹陷及陆丰凹陷等，除惠州凹陷外，其余凹陷均为
54 NE-NEE 或 EW-NWW 走向断裂控制的地堑或复式半地堑，而惠州凹陷则为上述两组走向断
55 裂共同控制的多洼分布的菱形地堑，在凹陷形态上表现出明显的特殊性（施和生等，2009；
56 于水明等，2009）（图 1）。惠州凹陷主力烃源岩为文昌组半深-深湖相沉积，四十余年勘
57 探贡献了珠江口盆地约一半的油气探明储量及产量，为名副其实的富生烃凹陷。现阶段珠江
58 口盆地勘探领域已由浅层向深层转变，并在多个富生烃凹陷的古近系取得规模发现，惠州凹
59 陷也在古近系文昌组、恩平组相继取得多个商业突破，近年来古近系已成为重点勘探层系（刘
60 杰等，2021；高阳东等，2024；徐长贵等，2024），如何在古近系寻找油气规模富集区带是
61 制约勘探的关键点。NW-SE 走向惠州-北卫滩隐伏断裂带发育于惠州凹陷、北卫滩一线，但

62 其在惠州凹陷具体发育位置、影响范围、对菱形地堑形成的作用等尚无针对性研究，惠州凹
63 陷的烃源岩发育、深层圈闭形成及油气运聚是否受该隐伏断裂带影响亦需进一步探讨。

64 因此，本文基于三维地震、钻井等资料，以控凹、控洼及部分主干断裂带为主要研究
65 对象，对惠州凹陷发育菱形地堑的结构特征、演化模式和惠州-北卫滩隐伏断裂带成因及演
66 化进行研究，并简要探讨其对古近系烃源岩发育、圈闭形成、油气运移等成藏条件的影响，
67 为该地区的基础地质研究及油气勘探提供参考。

68 1. 区域地质背景

69 珠江口盆地位于华南大陆边缘，受太平洋板块、欧亚板块及印度-澳大利亚板块等三大
70 板块围限下的共同作用，具有复杂的构造背景及演化史。印支期-燕山期，多期构造活动使
71 包括珠江口盆地在内的华南陆缘广泛发育 NW-SE 及 NE-SW 走向的逆冲或剪切断裂，两组
72 断裂构成了各盆地的先存断裂体系；喜山期初，由于太平洋板块俯冲速率降低及俯冲带后撤，
73 华南陆缘由挤压转变为 NW-SE 向拉张应力场，与拉张方向近似垂直的 NE-SW 走向先存断
74 裂活化时间早，形成了 NE-SW 走向的裂陷轴，共轭的 NW-SE 走向先存断裂活化时间相对
75 较晚，具有调节和分割作用，两组先存断裂的差异活化控制了珠江口盆地“南北分带、东西
76 分块”的平面格局（图 1a）（陈长民，2000；吴招才等，2011；姚伯初等，2011）。

77 惠州凹陷位于珠江口盆地珠一坳陷中部，南北两侧分别为东沙隆起及北部隆起，东西两
78 侧分别毗邻陆丰凹陷及西江凹陷，主要是在中生界花岗岩基底上发育的新生代断陷盆地，经
79 历了裂陷期、拗陷期及构造活化期等 3 个阶段，具有“下断上拗”、“下陆上海”双层结构。
80 其中始新世裂陷期具有多幕式裂谷的演化过程，文昌组沉积期为裂陷 I 幕，边界断层强烈活
81 动，洼陷内沉积了半深-深湖相主力烃源岩；恩平组沉积为裂陷 II 幕，裂陷作用相对变弱，
82 但洼陷连片发育，具有广盆浅水的沉积特征（施和生等，2009；王维等，2015；施和生等
83 2020；张向涛等，2021）（表 1）。

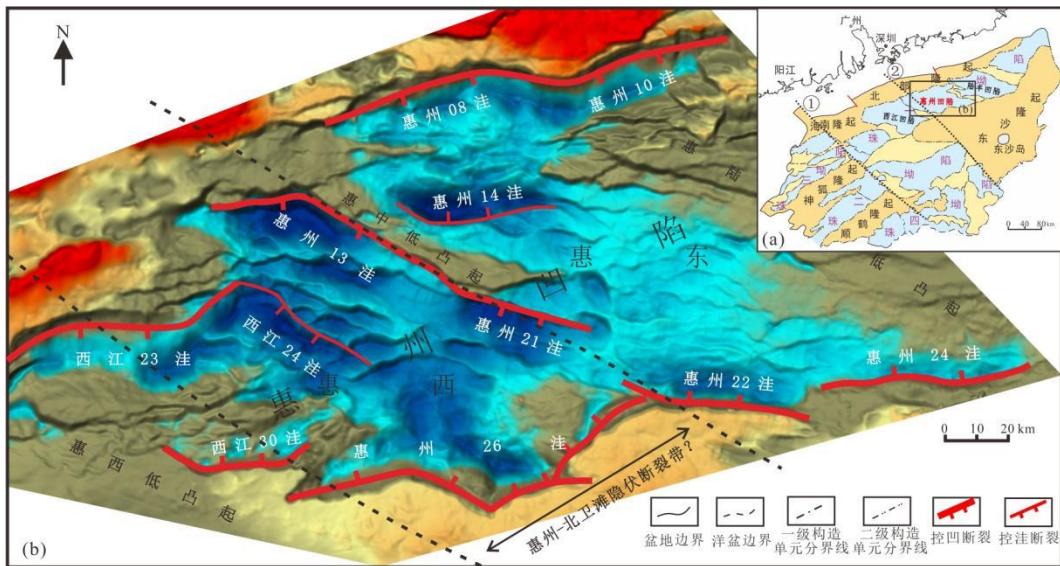


图 1 珠江口盆地构造单元及惠州凹陷构造纲要图

(a)珠江口盆地构造单元图 (b)惠州凹陷构造纲要图

①阳江-一统隐伏断裂带；②惠州-北卫滩隐伏断裂带

Fig.1 Division of tectonic units of Pearl River Mouth Basin and structural outline of Huizhou Sag

表 1 珠江口盆地惠州凹陷地层层序简表

Table 1 Stratigraphy-sequence table of Huizhou Sag, the Pearl River Mouth Basin

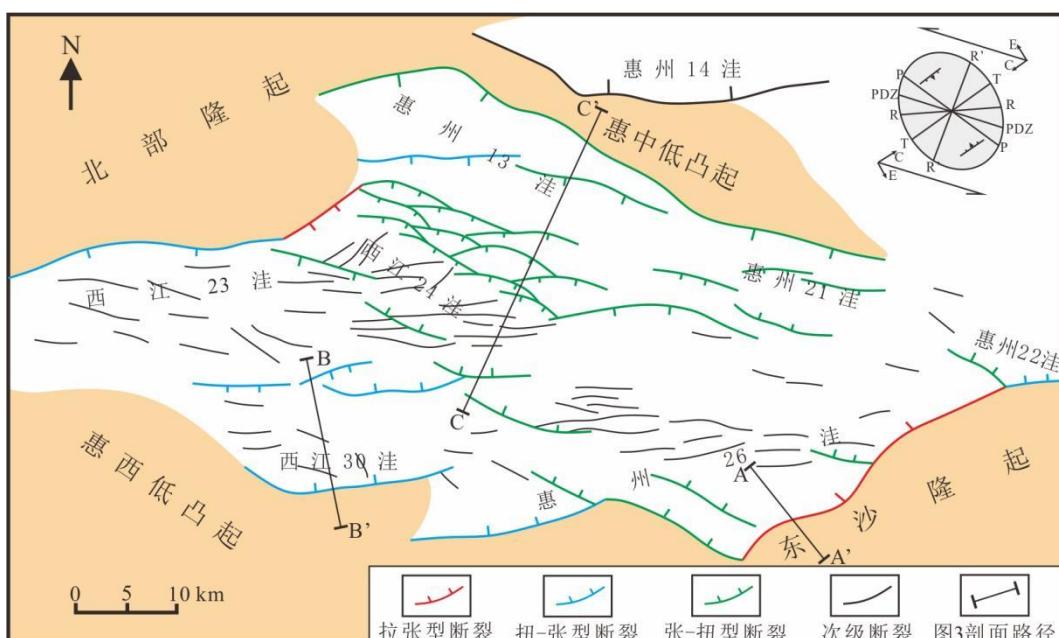
受 NE-SW 及 NW-SE 走向两组先存断裂分段差异活化的控制，惠州凹陷发育多个次级洼陷，并以惠中低凸起为界，以东为勘探程度低的惠东地区，包括惠州 08 洼、10 洼、14 洼、22 洼及 24 洼等 5 个洼陷，以西为勘探成熟区的惠西地区，包括西江 23 洼、24 洼、30

95 洼及惠州 13 洼、21 洼、26 洼等 6 个洼陷。本次研究区为由 6 个洼陷组成、整体呈菱形地堑
96 的惠西地区（图 1b）。

97 2. 主干断裂发育及洼陷结构特征

98 2.1 主干断裂发育特征

99 中生代不同走向的先存断裂在新生代初 NW-SE 向张扭应力场控制下差异活化。NW-SE
100 向伸展方与断裂走向夹角的不同决定了断裂性质的差异，夹角为 90° 的是纯张性断裂，夹
101 角为 0° 的是纯扭性断裂，夹角为 90°~45°、45°~0° 的分别是扭-张性及张-扭性断裂（童亨茂
102 等，2018；任健等，2019）。据此，将惠州凹陷古近系主干断裂划分为 NE-SW 走向拉张型、
103 近 E-W 走向扭-张型及 NW-SE 走向张-扭型等 3 类断裂（图 2）。这些断裂发育和演化特征
104 的不同控制了各洼陷结构的差异性。



105
106 图 2 惠州凹陷古近系断裂体系图
107 Fig.2 Fault system map of Paleogene in Huizhou Sag

108 2.1.1 NE-SW 走向拉张型断裂

109 惠州凹陷东南和西北两侧部分控凹断裂为拉张型断裂。以位于东南侧边界的拉张型断裂
110 为例，其平面延伸长度约 30 公里，与西侧张-扭型及扭-张型断裂连接，平面形态整体
111 呈“Z”字形，控制了惠州 26 洼文昌组沉积边界（图 2）；剖面上，该拉张型断裂呈上陡下
112 缓的铲式形态，倾向北西，向下断至中生界，向上活动至粤海组以浅，为长期活动型断层，
113 且裂陷期的伴生及派生断裂不发育，剖面特征单一（图 3a）。该断裂具有西早东晚的拓展
114 和连接过程，西段于文六段沉积期开始发育，东段则在文五段沉积期开始分段发育，东、西

115 两段在文四段沉积期进一步连接为一条断裂（图 5a、b、c）。位于凹陷西北侧的拉张型断
116 裂几何学特征与前者相似，但其活动时间短，向上错断至恩平组顶部即停止活动。

117 2.1.2 近 E-W 走向扭-张型断裂

118 近 E-W 走向扭-张型断裂主要分布于凹陷西部的西江 23 洼、西江 30 洼及惠州 26 洼西
119 段，平面组合整体呈右阶斜列式（图 2）。以西江 30 洼控洼断裂为例，其平面延伸长度约
120 20 公里，平面形态为倾向北的弧形断裂；剖面上，该扭-张型断裂亦为铲式形态且长期活动，
121 但在文昌组沉积期伴生多条近 E-W 走向的次级断裂，剖面组合呈似花状（图 3b）。西江 23
122 洼控洼断裂倾向南，但裂陷期剖面组合亦为似花状；惠州 26 洼西段控洼断裂剖面组合则为
123 多级 Y 字形，上述特征均反映了该类断裂为扭-张成因。

124 2.1.3 NW-SE 走向张-扭型断裂

125 NW-SE 走向张-扭型断裂主要分布于凹陷内部及东侧边界。根据断裂平面组合特征的差
126 异性，自西向东可分为 3 个条带：雁列式组合条带、雁列-侧接式组合条带、线状组合条带
127 （图 2）。雁列式组合条带为多条主干断裂组成的右阶雁列，单条断裂为 NWW-SEE 走向，
128 主要倾向北，其东侧派生的近 E-W 走向次级断裂同样呈现为右阶雁列，主干及派生次级断
129 裂则共同发育为似帚状组合；剖面上，派生断裂搭接到主干断裂，整体组合为似花状样式。
130 雁列-侧接式组合条带平面特征以右阶侧接式为主、雁列式为辅，该条带平面宽度约 4-8 公
131 里，其中南东侧窄，北西侧宽；剖面上，断面形态呈现为铲式。线状组合条带控制了惠西地
132 区北东边界，为倾向南西、平面延伸长度约 45 公里的近直线状断裂，剖面形态亦为铲式。
133 总的来看，这 3 个条带的主干断裂平面组合为右阶排列，剖面组合样式为似花状，指示其为
134 左行、张扭成因（图 2、图 3c）。同时，3 个条带的平面组合样式自西向东从雁列式转变为
135 线状，并结合文昌组各段沉积范围的拓展，认为 NW-SE 走向张-扭型断裂具有分段发育的过
136 程，并且研究区张扭作用具有自南向北拓展、自西向东增强的特征（图 5）。

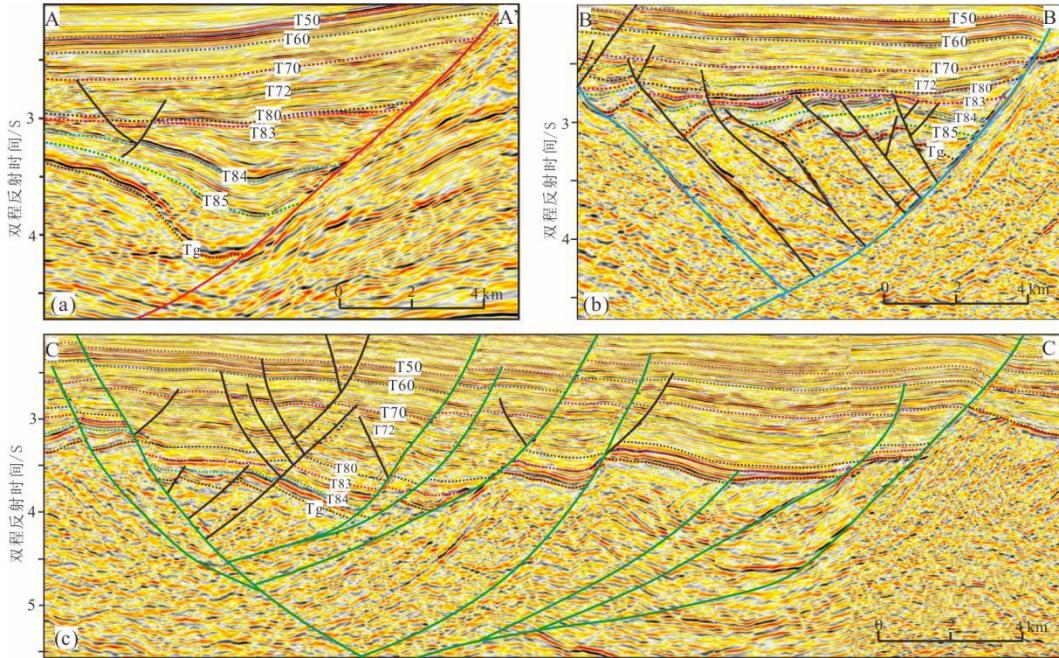


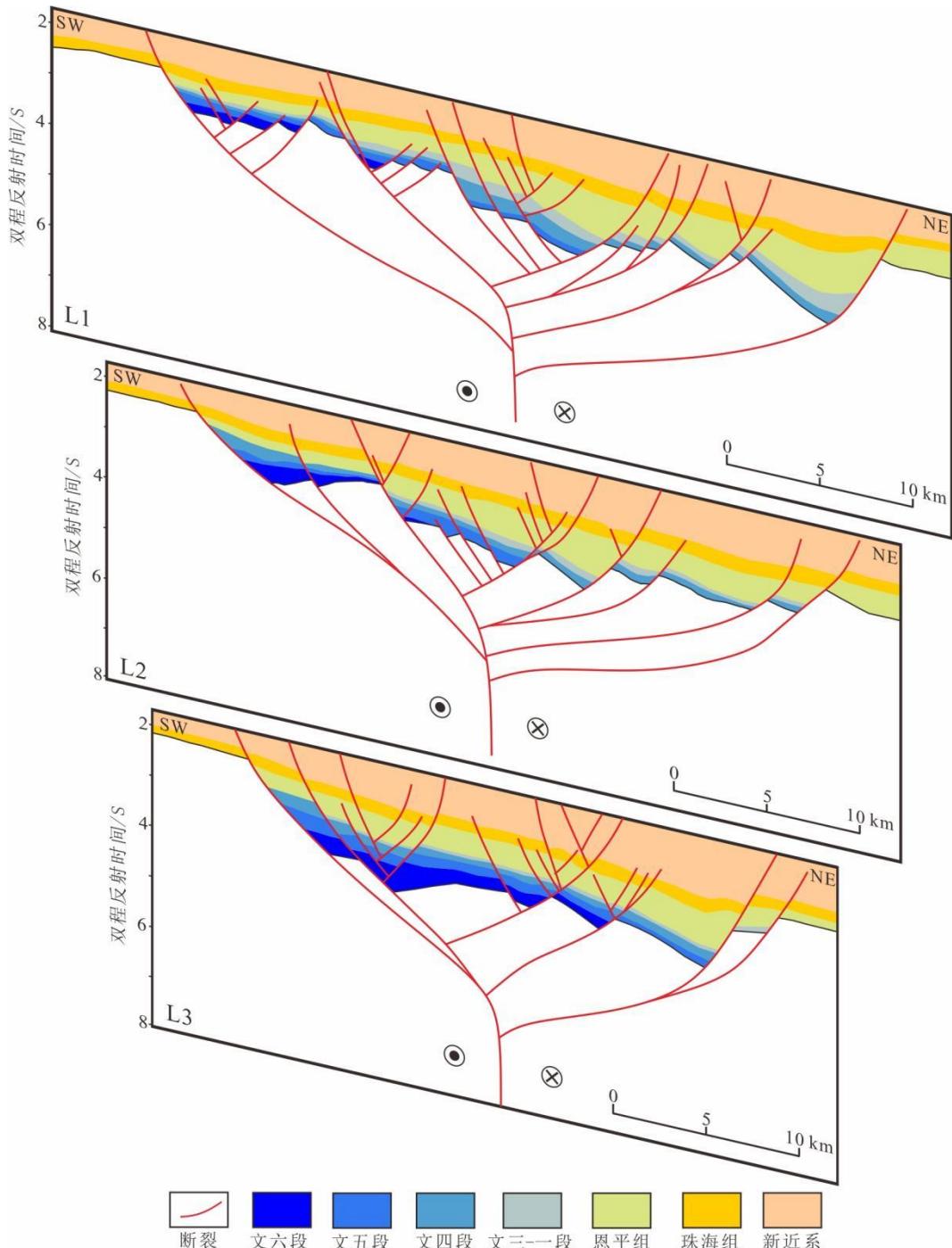
图 3 惠州凹陷断裂样式剖面图（剖面路径见图 2）

A: 拉张型断裂 B: 扭-张型断裂 C: 张-扭型断裂

Fig.3 Fault style profile of Huizhou Sag (path shown in Figure 2)

2.2 洼陷结构特征

受不同类型的边界断裂控制，惠西地区整体呈现多洼发育的菱形地堑特征。西段主要由三条右阶排列的近 E-W 走向扭-张型控洼断裂组成，控制了惠州 26 洼西段及西江 30 洼南断北超半地堑、西江 23 洼北断南超半地堑的单个洼陷主体形态（图 2），整体组合则为南北双断复式地堑结构。中段主要由南北两条倾向相反的 NE-SW 走向拉张型断裂控制，南侧北倾断裂文六段沉积期开始活动，控制了惠州 26 洼主体部位沉积边界，北侧南倾断裂文五段沉积期开始发育，控制了西江 24 洼北侧边界，在 NW-SE 走向张-扭型断裂叠合影响下，这两个洼陷断陷深度更大。东段由 NW-SE 走向线状张-扭型断裂控制，发育惠州 21 洼及惠州 13 洼两个特征相似的洼陷，但受断裂分段活化、由南向北拓展的控制，惠州 21 洼文五段沉积期开始裂陷发育，惠州 13 洼则在文四段沉积期才开始裂陷发育（图 2、4、5）。综上所述，在 NE-SW 走向拉张型及左行右阶雁列式扭-张型、张-扭型等多组主干断裂联合控制下，惠西地区发育为多洼分布的菱形地堑形态（图 2）。



153

154

155

图 4 惠州凹陷构造特征剖面栅状图 (剖面路径见图 5d)

Fig.2 Structural profile grid map of Huizhou Sag (path shown in Figure 5d)

156 3. 菱形盆地演化模式

157 根据主干断裂的发育时间、沉积范围、洼陷结构等差异性，将惠西地区的演化划分为 4
 158 个阶段：复式半地堑发育期、菱形地堑雏形期、菱形地堑拓展期和菱形地堑定型期（图 5）。

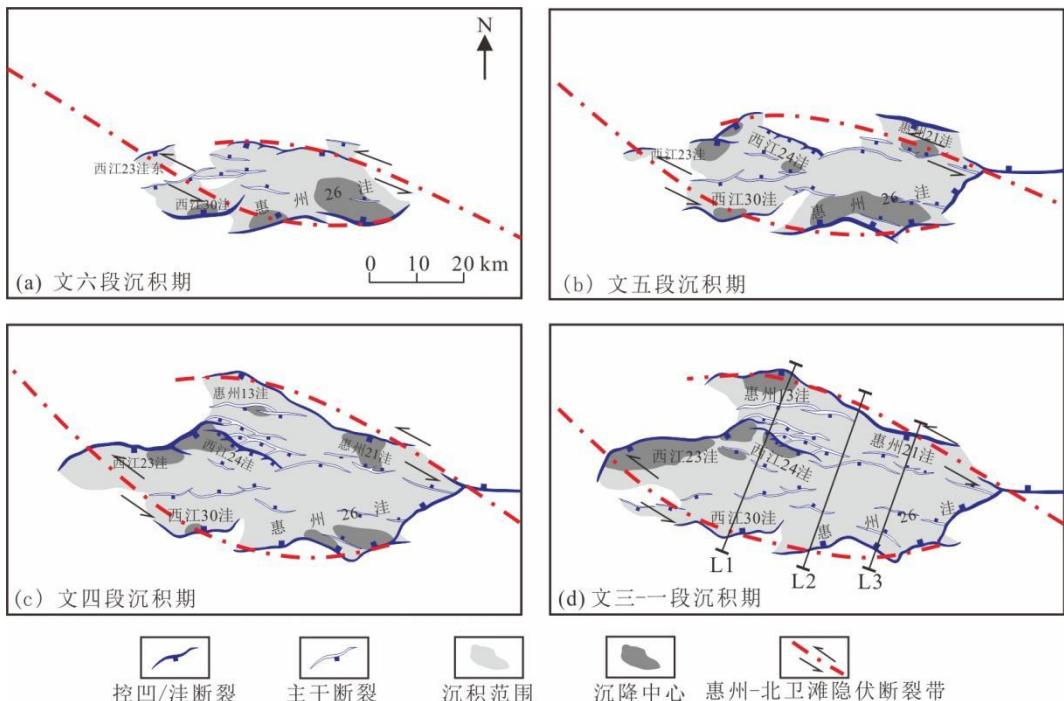


图 5 惠西地区文昌期构造演化模式图

Fig.6 Structural evolution model of Wenchang, Huixi Sag

(1) 复式半地堑发育期（文六段沉积期）：受 NW-SE 向拉张背景及惠州-北卫滩隐伏断裂带初始活化影响，凹陷南侧 NE-SW 和近 E-W 走向断裂活化为主、NW-SE 走向断裂活化为辅，控制了惠州 26 洼及西江 30 洼文六段地层发育及该时期的沉降中心分布。受隐伏断裂带差异活化影响，北侧 23 洼东段也形成局部裂陷。但总的来看，该时期凹陷形态整体呈现为南侧边界断裂控制的复式半地堑，各洼陷、次洼为右阶斜列式展布（图 5a）。

(2) 菱形地堑雏形期（文五段沉积期）：随着裂陷作用及隐伏断裂带左行活动增强，凹陷南侧边界断裂持续活动，北侧近 E-W 和 NE-SW 走向边界断裂开始发育，前者控制了西江 23 洼西段的裂陷，后者联合 NW-SE 走向断裂共同控制了西江 24 洼的沉积。凹陷北东侧的 NW-SE 走向断裂开始发育，控制了惠州 21 洼的形成。该时期凹陷平面整体形态已近似为菱形地堑，只是沉积范围相对局限（图 5b）。

(3) 菱形地堑拓展期（文四段沉积期）：文四段为珠琼运动 I 幕鼎盛期，同时惠州-北卫滩隐伏断裂带左行活化进一步增强。西江 23 洼控洼断裂也连接、形成统一洼陷；西江 24 洼北东侧边界右阶展布雁列-侧接式断层的数量进一步增加，构成了前文所述的 NW-SE 走向雁列-侧接式组合条带；凹陷北东侧边界断裂由惠州 21 洼向北侧惠州 13 洼拓展，演化为长约 50 km 的线状断裂。该时期凹陷南北两侧均发育沉降中心，沉积了厚度较大的文四段地层，并且已演化为较完整的菱形地堑（图 5c）。

(4) 菱形地堑定型期（文三-一段沉积期）：惠州运动控制下的构造转换和迁移作用（施

179 和生等, 2020) 使惠西地区沉降中心由南侧惠州 26 洼完全迁移至北侧西江 23 洼、西江 24
180 洼和惠州 13 洼, NW-SE 走向张-扭型断裂控沉积作用进一步增强, 惠西地区菱形地堑结构
181 特征基本定型(图 5d)。

182 4. 惠州-北卫滩隐伏断裂带成因及演化讨论

183 4.1 成因机制

184 珠江口盆地 NW-SE 走向隐伏断裂形成演化过程较为复杂, 受古特提斯洋俯冲闭合及印
185 支地块与基梅里陆块拼贴控制, 其最初形成于印支期, 并在华南陆内形成早期的 NW-SE 走
186 向逆冲断裂带 (Andrew et al, 2001; 栾锡武, 2022); 后在燕山期受古太平洋板块俯冲转
187 向及华南陆内挤压-伸展转换等作用形成 NE-SW 走向断裂, 并与 NW-SE 走向断裂相互切割
188 改造 (Wang et al, 2013; Li et al, 2014); 在前新生代先存断裂体系下, 喜山早期伴随东
189 南亚陆缘俯冲带后撤, 太平洋和欧亚板块间的水平挤压应力传递性减弱, 南海北部陆缘应力
190 场由压扭向张扭的转变, 使得先存断裂反转活化。另外, 印支地块与欧亚板块碰撞造成地幔
191 向东南方向蠕动, 相应的挤出效应为西快东慢, 同时太平洋俯冲部位距离华南东南缘具有西
192 远东近的特征, 东侧受到的俯冲作用影响较西侧更强 (陈汉宗等, 2005; 刘海伦, 2018; 詹
193 诚等, 2022), 推测两者为 NW-SE 走向隐伏断裂带左行活化的构造背景。研究区文昌组沉
194 积期发育的 NW-SE 走向断裂呈右阶雁列式组合, 应为隐伏断裂带活化所控制而发育的里德
195 尔剪切, 进一步反映该隐伏断裂带新生代为左行活动。上述构造背景可能为包括阳江-一统、
196 惠州-北卫滩等 NW-SE 走向隐伏断裂带印支-燕山期形成、发育及喜山期左行活化的原因。

197 4.2 发育位置

198 现有研究表明, 惠州-北卫滩隐伏断裂带在海域大致沿惠州凹陷、北卫滩一线发育 (孙
199 晓猛等, 2014; 张远泽等, 2019; 高阳东等, 2022), 但具体发育位置或主要影响范围尚未
200 进行针对性研究。本文综合以下证据认为惠州-北卫滩隐伏断裂带在珠一坳陷的主体发育位
201 置在惠州 21 隆起、西江 23 洼东段一线, 影响范围基本覆盖整个惠西地区: (1) 基底锆石
202 年龄差异: 惠西低凸起及西侧西江凹陷基底岩性以二长花岗岩为主, 锆石 U-Pb 年龄分布为
203 140~160 Ma, 而惠西地区基底岩性虽然同以二长花岗岩为主, 但锆石 U-Pb 年龄主要分布于
204 100~130 Ma (曾智伟, 2020; 阙晓铭等, 2024), 推测是隐伏断裂带造成两者锆石年龄差
205 异。(2) 古新统火山岩发育及西江 23 洼东段裂陷时期早: 惠州 26 洼内的惠州 21 隆起发育
206 迄今为止珠江口盆地唯一钻遇的古新统火山岩, 钻井揭示岩性以中性安山岩、粗安岩为主,
207 喷发时间约为 56~60 Ma, 具有高硅、高钾、碱含量偏低等特征, 结合微量元素及稀土元素

特征，认为其属于下地壳成因的埃达克岩，并且火山通道呈 NW-SE 走向串珠状、带状展布（李思伟，2020；贾培蒙等，2021；李康，2023）。另外，文六段沉积期为初始裂陷期，惠西地区的裂陷作用始于南侧的惠州 26 洼及西江 30 洼，但该时期凹陷北侧的西江 23 洼东段也发生局部裂陷，沉积了一定厚度的文六段地层（图 5a）。上述现象指示惠州-北卫滩隐伏断裂带主体沿惠州 21 隆起、西江 23 洼东段一线发育，使地层更加破碎、软弱，为深部岩浆喷发至地表及凹陷北侧洼陷文六段沉积期裂陷提供有利条件。（3）NW-SE 走向主干断裂于文昌组沉积期规模发育：珠琼运动 I 幕 NW-SE 向伸展背景下，NW-SE 走向隐伏断裂带新生代活化可促进同走向先存断裂的早期活化，与其他走向边界断裂共同控制凹陷形成和演化（图 5）；同时，惠东地区 NW-SE 走向主干断裂未规模发育，指示惠州-北卫滩隐伏断裂带未影响至惠东地区（图 1）。综合上述地质现象，认为惠州-北卫滩隐伏断裂带主体位于惠州 21 隆起、西江 23 洼东段一线，影响范围基本覆盖整个惠西地区、东西方向宽度约 35 公里（图 1、图 6）。

4.3 控凹作用

珠江口盆地基底广泛发育前新生代 NE-SW 和 NW-SE 走向先存断裂体系，在新生代初期 NW-SE 向拉张应力场控制下，NE-SW 走向先存断裂优先活化，形成了珠一坳陷如恩平凹陷和西江凹陷 NE-SEE 走向控凹断裂所控制的复式半地堑。前人研究表明，位于珠三坳陷的阳江东凹受阳江-一统隐伏断裂带影响，呈现出 NEE-SWW 走向断裂为主、NW-SE 走向断裂为辅的复式地堑特征，揭示了 NW-SE 走向隐伏断裂带新生代活化可促进同走向先存断裂的早期活化，与 NE-SEE 走向断裂共同控制凹陷形成和演化（刘欣颖等，2021；沈梦蓉等，2024）。因此，推测惠西地区在珠琼运动 I 幕 NW-SE 向拉张背景及惠州-北卫滩隐伏断裂带左行活化共同控制下，NE-SW、近 E-W 及 NW-SE 等多个走向的先存断裂差异活化，发育为张扭型菱形地堑（图 5、图 6）。

230

231

232

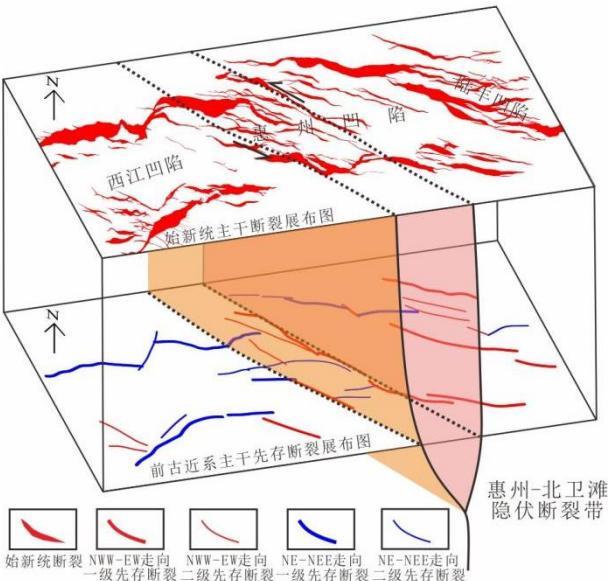


图 6 惠州-北卫滩隐伏断裂带新生代活化模式图

Fig.2 Activation model map in Cenozoic of Huizhou Beiweitan hidden fault

233 5. 对油气成藏的控制作用

234 惠西地区菱形地堑与其他洼陷相同的地方为 NE-SW 走向拉张型断裂控制洼陷的整体走
235 向, 最大的差异则是惠州-北卫滩隐伏断裂带控制下的 NW-SE 走向张-扭型断裂的规模发育。
236 这类张-扭型断裂使凹陷具有区别于其他地区的石油地质条件及油气成藏特征, 主要体现在
237 烃源岩发育、圈闭形成及油气运移等 3 方面。

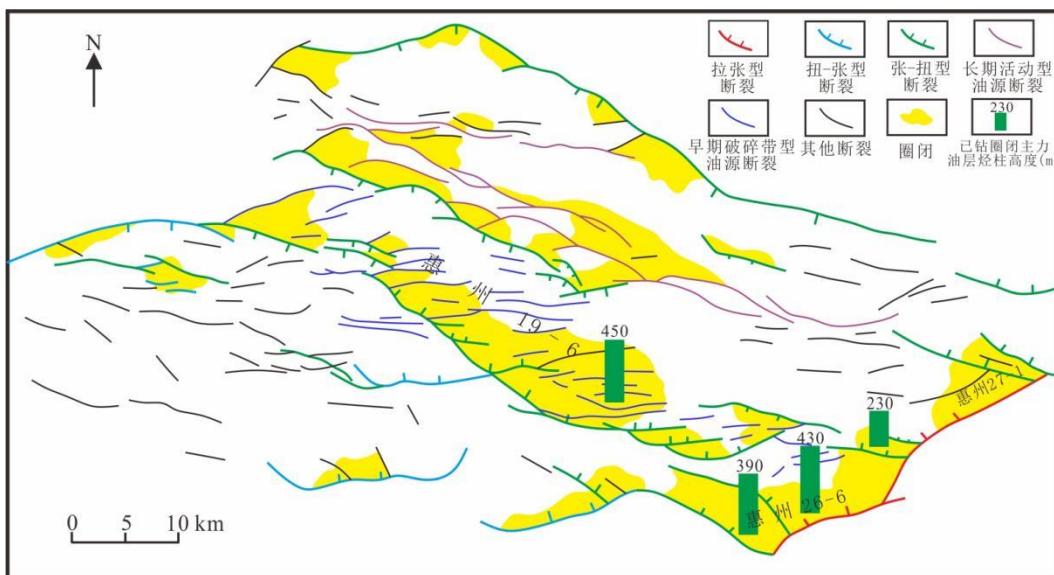
238 5.1 多组边界断裂控制烃源岩发育:

239 珠江口盆地珠江一坳陷不同类型边界断裂对烃源岩发育具有明显的控制作用, 其差异体现
240 在断裂可控制 4 种不同的沉积区带: 陡坡带、缓坡带、长轴入口及转换带, 其中陡坡带及转
241 换带物源供给能力小, 强裂陷背景下利于半深-深湖相烃源岩发育(曾智伟, 2020)。相比
242 主要由单条或单组走向断裂控制的恩平凹陷、西江凹陷等凹陷, 多组走向边界断裂联合控制
243 的菱形地堑不仅沉积范围广、沉降速率大, 而且主要由陡坡带及转换带进行物源供给, 供给
244 量小, 使惠西地区发育的文昌组半深-深湖相烃源岩规模更大、丰度更高(刘阳, 2023)。
245 惠州凹陷为珠江口盆地珠江一坳陷最富的凹陷, 为油气勘探提供充足的物质基础。

246 5.2 张-扭型断裂控制大型圈闭群形成:

247 惠西地区主要发育受 NE-SW 和 NW-SE 走向主干断裂控制的古近系圈闭, 其中由后者
248 主控的圈闭数量多、面积大。前文所提及的 NW-SE 走向张扭型断裂控制了包括惠州 26-6、
249 惠州 19-6 在内的一系列圈闭群, 这些圈闭主要形成时期为恩平组沉积期, 主要控圈断裂与

250 当时的拉张应力方向小角度斜交，张扭性强，具有一定的水平位移分量。这类断层的封堵能
251 力较拉张型断层更好，利于油气规模富集（罗群等，2023），并得到本地区勘探实践证实，
252 主力油层烃柱高度可达 450 m（图 7）。



253
254 图 7 惠西地区恩平组圈闭分布示意图

255 Fig.6 Schematic diagram of trap distribution in Enping Formation of Huixi area

256 5.3.2 类油源断裂控制油气运移

257 研究区油源断裂主要包括长期活动型和早期破碎带型两类。其中，NW-SE 走向雁列-
258 侧接式组合条带的断裂活动时期长、切割深度大，为长期活动型油源断裂，是油气垂向运移
259 的有利通道，可将文昌组半深-深湖相烃源岩生成的油气垂向运移至古近系恩平组-新近系。
260 早期破碎带型油源断裂主要在恩平组-珠海组沉积期形成，是 NW-SE 走向张-扭型断裂的伴
261 生断裂，平面呈近 E-W 走向，两者整体组合为帚状；虽然这类断裂在油气主成藏期不活动，
262 但其以张性特征为主，密集发育使地层更加破碎，并且位于帚状断裂系尾部应力释放区，可
263 将文昌组烃源岩生成的油气垂向运移至恩平组-珠海组圈闭中。勘探实践表明上述两类油源
264 断裂均可有效疏导油气，所对应的圈闭均有富集成藏的潜力（图 7）。

265 6. 结论

266 （1）惠州凹陷发育 NE-SW 走向拉张型、近 E-W 走向扭-张型及 NW-SE 走向张-扭型 3
267 类主干断裂，3类主干断裂在文昌组沉积期差异活化，联合控制惠西地区张扭型菱形地堑的
268 4个演化阶段：复式半地堑发育期、菱形地堑雏形期、菱形地堑拓展期、菱形地堑定型期。

269 （2）惠州-北卫滩隐伏断裂带在印支-燕山期形成和发育，喜山期左行活化影响范围基
270 本覆盖整个惠西地区。惠西地区在珠琼运动 I 幕 NW-SE 向拉张背景及惠州-北卫滩隐伏断裂

271 带左行活化共同控制下，发育为张扭型菱形地堑。
272 (3) 惠州-北卫滩隐伏断裂带影响下的多组主干断裂差异活化控制烃源岩发育条件，使
273 惠州凹陷成为珠江口盆地坳陷最富的凹陷，张-扭型断裂控制大型圈闭群形成，发育的
274 2类油源断裂可有效输导油气，研究区其他未钻古近系圈闭有较大勘探潜力。

275 **References**

- 276 Carter, A., Roques, D., Bristow, C., et al, 2001.Understanding Mesozoic accretion in Southeast
277 Asia:Significance of Triassic thermotectonism(Indosinian orogeny) in Vietnam.Geology,
278 29(3):211–214.
- 279 Cai.D.S., Luo, Y.H., Yao, C.H., 2001.Strike-slip and Pull-apart Structure Study and Its
280 Significance to Petroleum Exploration on Laizhouwan sag, Bohai Area.ACTA Petrolei Sinica,
281 22(02):19-25(in Chinese with English abstract).
- 282 Chen, C.M., 2000.Petroleum Geology and Conditions for Hydrocarbon Accumulation in the
283 Eastern Pearl River Mouth Basin.China Offshore Oil and Gas(Geology), 14(2):73-83(in
284 Chinese with English abstract).
- 285 Chen, H.Y., Yu, J.G., Shu, L.S., et al, 2005.The Structure Style and Their Relation with
286 Petroleum-gas Resources of the Jiyang Depression, Shandong Province, China.Geological
287 Journal of China University, 11(4): 622-632(in Chinese with English abstract).
- 288 Chen, H.Z., Wu X J, Zhou D, et al., 2005.Meso-cenozoic fault in Zhujiang River Mouth Basin
289 and geodynamic background.Journal of Tropical Oceanography, 24(2):52-61(in Chinese with
290 English abstract).
- 291 Chen, H.H., 2023.Advances on Relationship between Strike-Slip Structures and Hydrocarbon
292 Accumulations in Large Superimposed Craton Basins , China.Earth Science ,
293 48(6):2039-2066(in Chinese with English abstract).
- 294 Gao, Y.D., Liu, J., Peng, G.R., et al, 2024.New Fields and Resource Potential of Oil and Gas
295 Exploration in Pearl River Mouth Basin.ACTA Petrolei Sinica, 45(1):183-201(in Chinese
296 with English abstract).
- 297 Gao, Y.D., Zhang, X.T., Zhang, L.L., et al, 2022.Geological Characteristics and Tectonic Settings
298 of Mesozoic Continental Margin Magmatic Arc in Pearl River Mouth Basin.Earth Science ,
299 47(7):2317-2327(in Chinese with English abstract).
- 300 Jia, P.M., Zhang, X.T., Chen, W.T., et al, 2021.Tectonic Evolution of Huizhou 21 Buried Hill
301 and Its Control Over Deep Oil Accumulations in the Huizhou Sag of Pearl River Mouth
302 Basin.Marine Geology Frontiers, 37(12):27-37(in Chinese with English abstract).
- 303 Liu, H.L., 2018.Rift Style Controlled by Basement Attribute and Regional Stress in Zhu I
304 Depression, Pearl River Mouth Basin.China University of Geosciences, Wuhan(in Chinese
305 with English abstract).
- 306 Li, K., 2023.Study on Volcanic Rruption-orogeny Process of Shenhua Formation in Huizhou A/B
307 Structural Belt, Pearl River Mouth Basin.Jilin University, China(in Chinese with English
308 abstract).
- 309 Li, S.W., 2020.Cenozoic Volcanic Rocks in Huizhou Sag of the Pearl River Mouth Basin:from
310 Petrogenesis to Volcanic Reservoir.Jilin University, China(in Chinese with English abstract).
- 311 Li, J.H., Zhang, Y.Q., Dong, S.W., 2014.Cretaceous tectonic evolution of South China:A
312 preliminary synthesis.Earth-Science Reviews ,

- 313 134:98-136.<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.03.008>
- 314 Liu, J., Xu, G.S., Wen, H.H., et al, 2021.Main Factors Controlling the Formation of Buried
315 Hill-Paleogene Reservoirs in 26-6 Structure of Huizhou, Pearl River Mouth Basin.Natural
316 Gas Industry, 41(11):54-63(in Chinese with English abstract).
- 317 Liu, Q., 1986.Important structures in strike-slip fault system:pull-apart basins.Bulletin of
318 Geological Science and Technology, 1986, 5(2):9-16(in Chinese).
- 319 Liu, X.Y., Wu, J., Zhu, D.W., et al, 2021.Superimposition of Strike-slip Faults and Pull-apart
320 Basins in the Pearl River Mouth Basin:A Case Study from the Eastern Yangjiang
321 Sag.Geotectonica et Metallogenica, 45(1):6-19(in Chinese with English abstract).
- 322 Liu, Y., 2023.Hydrocarbon Generation and Expulsion Characteristics of Paleogene Source Rocks
323 and Their Controlling Effects on Hydrocarbon Accumulations in the Southwest of Huizhou
324 Sag.China University of Petroleum, Beijing(in Chinese with English abstract).
- 325 Luan , X.W. , 2022.Tectonic divisions of Southeast Asia.Advances in Earth Science ,
326 37(3):221-252(in Chinese with English abstract).
- 327 Luo, Q., Wang, Q.J., Yang, W., et al, 2023.Internal Structural Units, Differential Characteristics
328 of Permeability and Their Transport, Shielding and Reservoir Control Modes of Strike-Slip
329 Faults.Earth Science, 48(6):2342-2360(in Chinese with English abstract).
- 330 Mouslopoulou, V., Nicol, A., Little, T.A., et al, 2007.Displacement transfer between intersecting
331 regional strike-slip and extensional fault systems.Journal of Structural Geology ,
332 29(1):100-116. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2006.08.002>
- 333 Que, X.M., Shu, Y., Wang, X.D., et al, 2024.Provenance Characteristics and Sedimentary
334 Evolution of Zhu I Depression in Paleogene:Indications from Detrital Zircon Ages.Earth
335 Science, 49(07):2373-2387(in Chinese with English abstract).
- 336 Ren, J.Y., Tamaki, K., Li, S., et al, 2002.Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic
337 setting in Eastern China and adjacent areas.Tectonophysics , 344(3):175-205.
338 [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00271-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00271-2)
- 339 Ren J.Y., Lv D.Y., Chen X.P., et al, 2019.Oblique extension of pre-existing structures and its
340 control on oil accumulation in eastern Bohai Sea.Petroleum Exploration & Development,
341 46(3):530-541.
- 342 Shen, M.R., Shan.X.L., Hao, G.L., et al, 2024.Structural Difference and Control Mechanism
343 of Early Cenozoic Depression in Yangjiang East Sag, Pearl River Mouth Basin.Earth
344 Scienceia, 49(10):3559-3575(in Chinese with English abstract).
- 345 Shi, H.S., Du, J.Y., Mei, L.F., et al, 2020.Huizhou Movement and its significance in Pearl River
346 Mouth Basin, China.Petroleum Eeploration and Developoment, 47(3):447-461(in Chinese with
347 English abstract).
- 348 Shi, H.S., Yu, S.M., Mei, L.F., et al, 2009.Features of paleogene episodic rifting in Huizhou
349 fault depression in the Pearl River Mouth basin.Natural Gas Industry, 29(1):35-37+40+133(in
350 Chinese with English abstract).
- 351 Sun, X.M., Zhang, X.Q., Zhang, G.C., et al, 2014.Texture and tectonic attribute of Cenozoic
352 basin basement in the northern South China Sea.Science China:Earth Sciences ,
353 44(6):1312-1323.
- 354 Tong, H.M., Fan, C.W., Meng, L.J., et al, 2018.Manifestation and Origin Mechanism of the
355 Fault System Complexity in Rift Basin in Eastern-Southern China:Case Study of the Nanbu
356 and Weixinan Sags.Acta Geologica Sinica , 92(9):1753-1765(in Chinese with English

- 357 abstract).
- 358 Wang, Y.J., Fan, W.M., Zhang.G.W., et al., 2013.Phanerozoic tectonics of the South China
359 Block:Key observations and controversies.Gondwana Research , (23):1273-1305.
360 <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.02.019>
- 361 Wang, W., Ye, J.R., Yang, X.H., et al, 2015.Sedment Provenance and Depositional Response
362 to Multistage Rifting, Paleogene, Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin.Earth
363 Science-Journal of China University of Geoscience, 40(6):1061-1071(in Chinese with
364 English abstract).
- 365 Wu, Z.C., Gao, J.Y., Li, J, B., et al, 2011.The Characteristics of Magnetic anomalies:Implications
366 for Pre-Cenozoic Tectonics of the Northern South China Sea.Chinese Journal of Geophysics,
367 54(12):3292-3302(in Chinese with English abstract).
- 368 Xu, C.G., Gao, Y.D., Liu, J., et al, 2024.Discovery and inspiration of large- and medium-sized
369 glutenite-rich oil and gas fields in the eastern South China Sea:An example from Paleogene
370 Enping Formation in Huizhou 26 subsag, Pearl River Mouth Basin Petroleum Eeploration
371 and Development, 51(1):14-27(in Chinese with English abstract).
- 372 Yao, B.C., Zhang, L., Wei, Z.Q., et al, 2011.The Mesozoic Tectonic Characteristics and
373 Sedimentary Basins in the Eastern Margin of South China.Marine Geology&Quaternary
374 Geology, 31(3):47-60(in Chinese with English abstract).
- 375 Yu, S.M., Shi, H.S., Mei, L.F., et al, 2009.Analysis of Tense-shearing Characteristics of Huizhou
376 Paleogene Fault Depression in Pearl River Mouth Basin.Petroleum Geology & Experiment,
377 31(5):485-489(in Chinese with English abstract).
- 378 Zeng, Z.W., 2020.Source-to-sink system analysis of the Paleogene in the Pearl River Mouth Basin,
379 northern South China Sea.China University of Geosciences, Wuhan(in Chinese with English
380 abstract).
- 381 Zhang, X.T., Liu, P., Wang, W.Y., et al, 2021.Controlling Effect of Tectonic Transformation
382 in Paleogene WenchangFormation on Oil and Gas Accumulation in Zhu I Depression, Earth
383 Science, 46(5):1797-1813(in Chinese with English abstract).
- 384 Zhang, Y.Z., Qi, J.F., Wu, J.F, 2019.Cenozoic Faults Systems and Its Geodynamics of the
385 Continental Margin Basins in the Northern of South China Sea.Earth Science ,
386 44(2):603-625(in Chinese with English abstract).
- 387 Zhan, C., Lu, S.P., Fang, P.G., 2022.Multiphase rift and migration mechanism in the Pearl River
388 Mouth Basin.Earth Science Frontiers, 29(4):307-318(in Chinese with English abstract).

389 **附中文参考文献**

- 390 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华, 2001.渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义.
391 石油学报, 22(2): 19-25.
- 392 陈长民, 2000.珠江口盆地东部石油地质及油气藏形成条件初探.中国海上油气地质,
393 14(2):73-83.
- 394 陈海云, 于建国, 舒良树, 等, 2005.济阳坳陷构造样式及其与油气关系.高校地质学报, 11(4):
395 622-632.
- 396 陈汉宗, 吴湘杰, 周蒂, 等, 2005.珠江口盆地中新生代主要断裂特征和动力背景分析.热带
397 海洋学报, 24(2):52-61.
- 398 陈红汉, 2023.我国大型克拉通叠合盆地的走滑构造与油气聚集研究进展.地球科学,
399 48(6):2039-2066.
- 400 高阳东, 刘军, 彭光荣, 等, 2024.珠江口盆地油气勘探新领域及资源潜力.石油学报

- 401 45(1):183-201.
- 402 高阳东, 张向涛, 张丽丽, 等, 2022.珠江口盆地中生代陆缘岩浆弧地质特征及构造背景.地
403 球科学, 47(7):2317-2327.
- 404 贾培蒙, 张向涛, 陈维涛, 等, 2021.珠江口盆地惠州凹陷惠州 21 古潜山的形成演化及其对
405 深层油气成藏的控制.海洋地质前沿, 37(12):27-37.
- 406 刘海伦, 2018.珠江口盆地珠一坳陷裂陷结构:基底属性与区域应力联合制约(学位论文).中国
407 地质大学(武汉).
- 408 李康, 2023.珠江口盆地惠州 A/B 构造带神狐组火山岩喷发-成山过程研究(学位论文).吉林大
409 学.
- 410 李思伟, 2020.珠江口盆地惠州凹陷新生代火山岩:从岩石成因到火山岩储层(学位论文).吉林
411 大学.
- 412 刘杰, 徐国盛, 温华华, 等, 2021.珠江口盆地惠州 26-6 构造古潜山——古近系油气成藏主
413 控因素 .天然气工业, 41(11):54-63.
- 414 刘庆, 1986.走滑断裂系中的重要构造——拉分盆地.地质科技情报, 5(2):9-16.
- 415 刘欣颖, 吴静, 朱定伟, 等, 2021.珠江口盆地多期走滑构造与叠合型拉分盆地:以阳江东凹
416 为例.大地构造与成矿学, 45(1):6-19.
- 417 刘阳, 2023.惠州凹陷西南部古近系烃源岩生排烃特征及其控油气作用(学位论文).中国石油
418 大学(北京).
- 419 栾锡武, 2022.东南亚构造分区.地球科学进展, 37(3):221-252.
- 420 罗群, 王千军, 杨威, 等, 2023.走滑断裂内部结构渗透差异特征及其输导控藏模式.地球科
421 学, 48(06):2342-2360.
- 422 阙晓铭, 舒誉, 汪旭东, 等, 2024.珠一坳陷古近纪物源特征及其沉积演化:来自碎屑锆石年
423 龄的指示.地球科学, 49(7):2373-2387.
- 424 任健, 吕丁友, 陈兴鹏, 等, 2019.渤海东部先存构造斜向拉伸作用及其石油地质意义.石油
425 勘探与开发, 46(3): 530-541.
- 426 沈梦蓉, 单玄龙, 郝国丽, 等, 2024.珠江口盆地阳江东凹早新生代洼陷结构差异及其控制
427 机制分析.地球科学, 49(10):3559-3575.
- 428 施和生, 于水明, 梅廉夫, 等, 2009.珠江口盆地惠州凹陷古近纪幕式裂陷特征.天然气工业,
429 29(1):35-37+40+133.
- 430 施和生, 杜家元, 梅廉夫, 等, 2020.珠江口盆地惠州运动及其意义.石油勘探与开发, 47(3):
431 447-461.
- 432 孙晓猛, 张旭庆, 张功成, 等, 2014.南海北部新生代盆地基底结构及构造属性.中国科学:
433 地球科学, 44(6):1312-1323.
- 434 童亨茂, 范彩伟, 孟令箭, 等, 2018.中国东-南部裂陷盆地断裂系统复杂性的表现形式及成
435 因机制:以南堡凹陷和涠西南凹陷为例.地质学报, 92(9):1753-1765.
- 436 王维, 叶加仁, 杨香华, 等, 2015.珠江口盆地惠州凹陷古近纪多幕裂陷旋回的沉积物源响
437 应.地球科学(中国地质大学学报), 40(6):1061-1071.
- 438 吴招才, 高金耀, 李家彪, 等, 2011.南海北部磁异常特征及对前新生代构造的指示.地球物
439 理学报, 54(12): 3292-3302.
- 440 徐长贵, 高阳东, 刘军, 等, 2024.南海东部富砂砾型大中型油气田发现与启示——以珠江
441 口盆地惠州 26 洼古近系恩平组为例.石油勘探与开发, 51(1):14-27.
- 442 姚伯初, 张莉, 韦振权, 等, 2011.华南东部中生代构造特征及沉积盆地.海洋地质与第四纪
443 地质, 31(3): 47-60.
- 444 于水明, 施和生, 梅廉夫, 等, 2009.过渡动力学背景下的张扭性断陷——以珠江口盆地惠

- 445 州凹陷古近纪断陷为例.石油实验地质, 31(5):485-489.
- 446 曾智伟, 2020.南海北部珠江口盆地古近纪源-汇系统耦合研究(学位论文).中国地质大学.
- 447 张向涛, 刘培, 王文勇, 等, 2021.珠一坳陷古近系文昌期构造转变对油气成藏的控制作用.
- 448 地球科学, 46(5):1797-1813.
- 449 张远泽, 漆家福, 吴景富, 2019.南海北部新生代盆地断裂系统及构造动力学影响因素.地球
- 450 科学, 44(2):603-625.
- 451 詹诚, 卢绍平, 方鹏高, 2022.汇聚背景下的多幕裂陷作用及其迁移机制: 以南海北部珠江
- 452 口盆地为例.地学前缘, 29(4): 307-318.