

利用油气化探技术评价青藏高原羌塘盆地 海相碳酸盐岩地区构造的含油气性

孙忠军¹, 杨少平¹, 李亚林², 张学君¹, 秦爱华¹, 刘华忠¹

SUN Zhong-jun¹, YANG Shao-ping¹, LI Ya-lin²,

ZHANG Xue-jun¹, QIN Ai-hua¹, LIU Hua-zhong¹

1. 中国地质科学院地球物理地球化学研究所, 河北 廊坊 065000;

2. 中国地质大学, 北京 100083

1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

摘要:用浅表地球化学方法评价青藏高原碳酸盐岩区块的油气资源潜力是盆地勘查阶段的战略问题之一。研究了羌塘盆地托纳木区块的油气地球化学异常特征、异常成因和圈闭的油气属性。研究表明,托纳木背斜是羌塘盆地非常有远景的油气靶区,油气化探能够为区块油气资源评价提供重要的地球化学信息。

关键词:油气化探;羌塘盆地;托纳木背斜;海相碳酸盐岩;油气资源潜力

中图分类号:P618.13;P632

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2009)11-1650-06

Sun Z J, Yang S P, Li Y L, Zhang X J, Qin A H, Liu H Z. The assessment of petroleum resource potential of marine carbonate region using surface geochemical exploration technique in Qiangtang basin, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(11):1650-1655

Abstract: Geochemical assessment of petroleum resource potential in a basin is one of the strategic problems. This paper focuses on the surface geochemical anomalies, diagnostic hydrocarbon and petroleum characteristic of Tuonamu anticlines. Our results show that Tuonamu anticline is one of the perspective petroleum targets, and surface geochemical exploration can provide important oil and gas information in local assessment of petroleum resource.

Key words: surface geochemical exploration for oil and gas; Qiangtang basin; Tuonamu anticline; marine carbonate; petroleum resource potential

海相碳酸盐岩区油气资源丰富,是油气资源战略接替的重要领域。但在中国,受制于找油理论和勘探技术^[1-2],这类地质区的勘探程度低。由于中国的海相碳酸盐岩区较复杂,勘探难度大,采用多种找油气战略可以加快油气勘探开发的速度^[3]。油气化探是一种直接找油气的战略性技术^[4],对于青藏高原海相碳酸盐岩地区的油气资源战略评价来说,

在羌塘盆地试验油气化探技术可以说明技术上的优势^[5]。尽管海相碳酸盐岩地区的一些油气化探成果已显示了该项技术的效果^[6-9],但在青藏高原的永久冻土区这类成果很少^[5,10]。在青藏高原油气资源的战略调查与选区评价中,探索用化探方法评价区块的含油气性是一个重要的课题。

托纳木背斜位于北羌塘南缘和中央隆起带的过

收稿日期:2009-09-16;修订日期:2009-09-21

科技项目:国家油气专项《青藏高原油气资源战略选区调查与评价》之 02 和 14 课题(编号:科油[2004]02 和科油[2004]14)资助

作者简介:孙忠军(1961-),男,博士,教授级高级工程师,从事油气化探和资源潜力定量预测研究。E-mail: iggesun@163.com

渡区,是羌塘盆地的稳定区块。区块的主要生、储、盖组合与整个盆地的中生界侏罗系生储盖组合一致,即以索瓦组碳酸盐岩和泥页岩为烃源岩,索瓦组灰岩和雪山组砂岩为储集层,索瓦组和雪山组上部泥质岩为盖层。托纳木区块背斜圈闭发育。托纳木背斜(S4)位于测区中部,面积 200km²,是区内最好的圈闭,S6 背斜位于测区南部,S1、S3 背斜位于测区西北部。地表发现多处油气显示,主要为裂隙型沥青、“油浸”灰岩和油页岩,表明测区存在大规模的油气生成、运移和聚集过程^①。

本文主要目的是用地球化学方法评价托纳木区块的含油气性。

1 工作方法

测区面积 623km²,采样密度 1 个样/km²。根据孙忠军等^[10]的试验成果,在野外于 40cm 深度处采集土壤样品。

取-40 目的样品先进行脱气,然后用色谱仪检测 CH₄、C₂H₆、C₃H₈、iC₄H₁₀、nC₄H₁₀、iC₅H₁₂、nC₅H₁₂ 等指标的含

量。取-80 目样品用石油醚萃取,萃取液用荧光仪在发射波长 λ_{em} 为 320nm、360nm 和 405nm 处测定荧光强度。

取-40 目样品 50g 进行脱气,将气体用气相色谱仪分离,通过 CuO 氧化成 CO₂,将 CO₂ 收集密封

保存,用质谱仪分析天然气的碳同位素。取-160 目样品 0.1g,用热解炉热释出汞蒸气,用 XG-4Z 型塞曼测汞仪分析汞的含量。

2 分析结果

图 1 是托纳木区块甲烷地球化学异常图。甲烷的区域异常(>800μL/kg)面积约 300km²,有 2 片异常,一个是沿托纳木背斜带北西西向分布的片状区域异常,另外一个

是第四系覆盖区近东西向的区域异常。局部异常(>1379μL/kg)主要分布在 S1、S2、S4 和 S6 的构造圈闭上,尤以托纳木背斜(S4)上的异常最为显著,甲烷异常呈椭圆状位于背斜的西南翼。

图 2 是托纳木区块重烃地球化学异常图。重烃的区域异常(>210μL/kg)面积较甲烷大,大面积成片分布,约有 400km²,主要位于托纳木背斜带和南部第四系覆盖区。局部异常(>498μL/kg)较甲烷异常向南移,主要分布于托纳木背斜和南部第四系覆盖区,面积较大。

图 3 是托纳木区块土壤热释汞地球化学异常图。有趣的是,土壤热释汞的异常与甲烷非常相似。区域异常(>12.5ng/g)呈北西西向带状分布,与托纳木背斜带吻合。局部异常(>38.8ng/g)比较集中,主要分布于 S4 和 S1 背斜上,S4 背斜上的异常与甲烷相似,也位于背斜的西南翼。

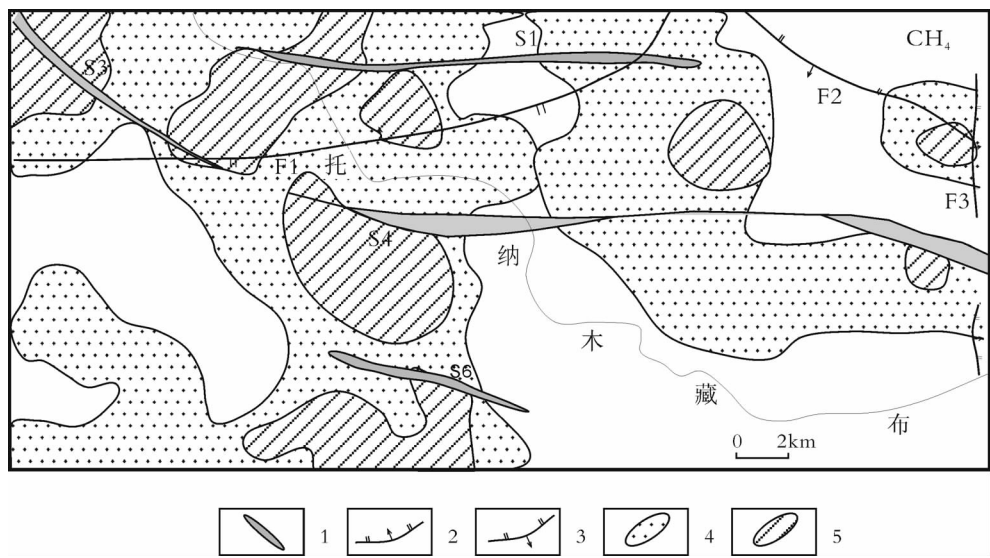


图 1 托纳木区块甲烷地球化学异常图

Fig. 1 Methane geochemical anomalies in Tuonamu anticline

1—背斜轴迹;2—正断层;3—逆断层;4—大于 800μL/kg;5—大于 1379μL/kg

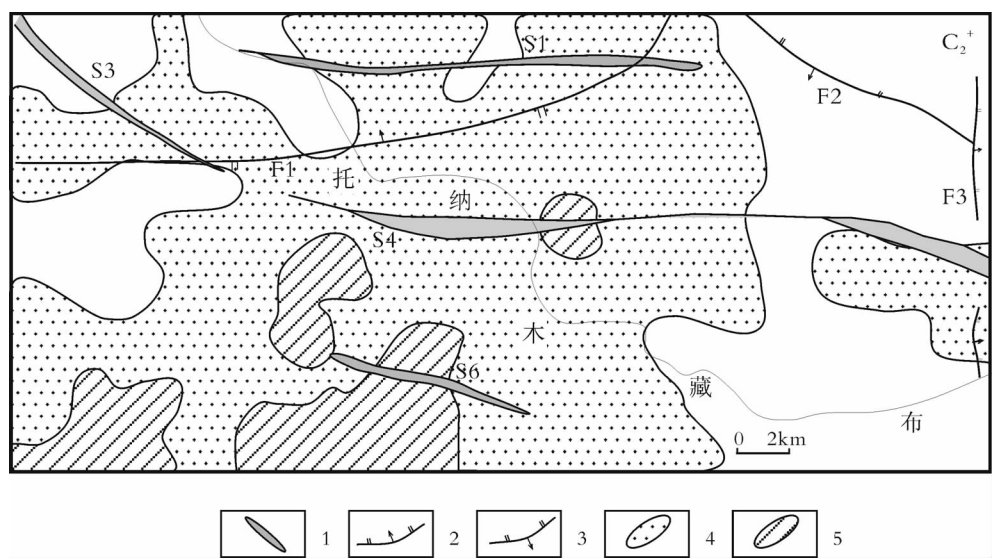


图 2 托纳木区块重烃地球化学异常图

Fig. 2 Heavy hydrocarbon geochemical anomalies in Tuonamu anticline
1—背斜轴迹;2—正断层;3—逆断层;4—大于 210 μ L/kg;5—大于 498 μ L/kg

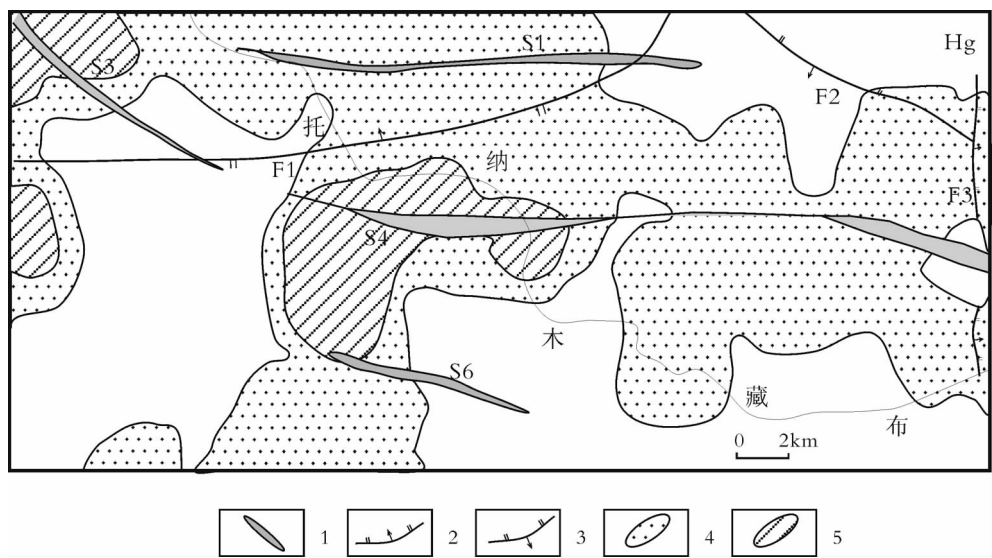


图 3 托纳木区块土壤热释汞地球化学异常图

Fig. 3 Thermal released mercury geochemical anomalies in Tuonamu anticline
1—背斜轴迹;2—正断层;3—逆断层;4—大于 12.5ng/g;5—大于 38.8ng/g

图 4 是托纳木区块荧光地球化学异常图。F 360nm 荧光强度的区域异常($>15.6\times10^{-6}$)的带状分布不明显,呈片状位于背斜带和第四系覆盖区。局部异常($>59.4\times10^{-6}$)也很有特征,在 S4 背斜的北翼和测区的西南部集中分布,这与甲烷、汞的异常分布不同。

总之,油气化探指标的分布指示托纳木背斜带发生过油气的运移和聚集。

3 结果讨论

3.1 地球化学异常与构造圈闭的关系

通过研究油气化探异常与构造圈闭的关系得出

地球化学模式,是区块评价的主要方法^[11-15]。托纳木构造可以总结出以下地球化学模式。①顶部模式,局部异常位于背斜圈闭的顶部,如 S3 背斜甲烷异常(图 1)和 S4 背斜相态汞异常(图 3)。②环状或半环状模式,异常高值围绕背斜圈闭,类似环状分布,如

S3 背斜上的重烃异常(图 2)。③片状异常,异常呈现大面积片状分布于构造上方,如 S6 断背斜的重烃和荧光异常(图 2 和图 4)。

表1 显示了羌塘盆地托纳木区块异常模式与构造的关系。从表中可以看出,3 个主要构造圈闭

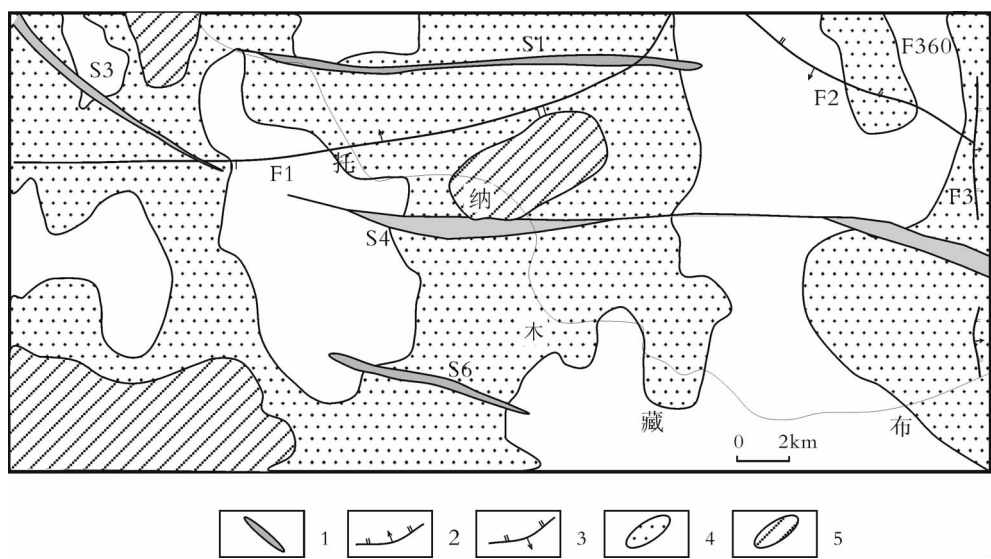


图 4 托纳木区块荧光地球化学异常图

Fig. 4 Fluorescence-intensity geochemical anomalies in Tuonamu anticline
1—背斜轴迹;2—正断层;3—逆断层;4—大于 15.6×10⁻⁶;5—大于 59.4×10⁻⁶

表 1 托纳木区块异常模式与构造圈闭的关系

Table 1 The relation between geochemical anomalies and structural traps in Tuonamu anticline						
构造圈闭	指标	异常模式	衬值	NAP 值	ΣNAP	保存条件 ^①
背斜圈闭 (S3)	CH ₄	顶部	1.49	87.92	248.77	较差
	C ₂ ⁺	半环状	2.01	17.67		
	F320	半环状	1.67	41.03		
	F360	半环状	2.14	64.13		
	Hg	顶部	1.55	38.02		
背斜圈闭 (S4)	CH ₄	顶部	1.65	96.33	591.21	好
	C ₂ ⁺	碎块状	2.11	127.33		
	F320	偏移顶部	1.64	85.44		
	F360	偏移顶部	2.04	107.08		
	Hg	顶部	2.01	175.03		
断背斜 (S6)	CH ₄	顶部	1.53	47.75	433.54	中等
	C ₂ ⁺	片状	1.83	152.12		
	F320	片状	1.74	74.02		
	F360	片状	2.25	130.33		
	Hg	半环状	1.37	29.32		

注: NAP 值是指标的异常衬值与其异常面积的乘积

表 2 托纳木区块土壤酸解烃碳同位素

Table 2 Carbon isotopic composition of acidolysis hydrocarbon in Tuonamu anticline

异常	样品数	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$				
		CH_4	C_2H_6	C_3H_8	iC_4H_{10}	nC_4H_{10}
S3 背斜异常	7	-43.86	-31.21	-27.93	-26.46	-25.28
S4 背斜异常	6	-43.46	-30.91	-28.23	-26.84	-25.72
S6 背斜异常	5	-44.18	-32.22	-29.01	-27.70	-26.32

有不同的油气异常模式组合。托纳木西部 S3 圈闭甲烷和汞是顶部模式,其他指标为半环状。托纳木中部 S4 圈闭,甲烷和汞是顶部模式,重烃是碎块状,而荧光指标是偏移的顶部异常模式。托纳木西南部 S6 圈闭,甲烷是顶部异常,汞是半环状,而重烃和荧光指标为片状异常。这些模式组合均反映了含油气的特征。

3 个圈闭的油气远景,可以借助于异常的 NAP 值及构造的保存条件来进行评价。尽管 3 个构造异常指标组合相同,但是模式组合不尽相同,NAP 值相差也较大。从表 1 可以看出,S4 背斜圈闭具有异常强度高、NAP 值大的特点,其次是 S6 断背斜,S3 背斜异常最弱。从地质上的保存条件看,也是 S4 背斜圈闭好,S6 断背斜中等,S3 背斜较差。推断托纳木背斜油气资源最好。

3.2 化探异常的成因特征

碳同位素是油气化探的一种新技术,得到油气化探工作者的广泛重视。在油气形成、运移和富集成藏的过程中,由于碳同位素的分馏作用,不同成因的烃类具有不同的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值。国内外大量分析资料的一般规律是:生物成因气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-55\text{‰} \sim -100\text{‰}$,石油伴生气为 $-35\text{‰} \sim -55\text{‰}$,热裂解气大于 -35‰ ,煤系气为 $-22\text{‰} \sim -30\text{‰}$,深源成因甲烷气大于 -20‰ 。这为应用 $\delta^{13}\text{C}_1$ 判断地表烃类异常的成因提供了重要依据。本文用天然气碳同位素判别油气化探异常的成因。

表 2 列出了托纳木区块酸解烃碳同位素的分析结果。从表中可以得出:①托纳木区块 3 个圈闭上的化探异常甲烷碳同位素值域在 $-43.46\text{‰} \sim -44.18\text{‰}$ 之间,说明甲烷气为石油伴生气。②托纳木区块土壤异常甲烷到丁烷碳同位素呈现非常规律的序列: $\delta^{13}\text{CH}_4 < \delta^{13}\text{C}_2\text{H}_6 < \delta^{13}\text{C}_3\text{H}_8 < \delta^{13}\text{iC}_4\text{H}_{10} < \delta^{13}\text{nC}_4\text{H}_{10}$,揭示出酸解烃组分碳同位素分馏的规律性,也是油田气

表 3 托纳木区块化探异常烃类特征比值

Table 3 Diagnostic hydrocarbon ratios in Tuonamu anticline

异常	$\text{C}_1/\Sigma\text{C}_n$	$\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$	C_1/C_2	$(\text{C}_3/\text{C}_1) \times 100$
S3 圈闭上异常	0.79	10.72	6.7	6.2
S4 圈闭上异常	0.76	6.43	5.94	7.2
S6 圈闭上异常	0.72	3.1	4.78	8.86
判气	0.95		20~100	0.2~2.0
别油和气	0.75~0.95		10~20	2~6
值油	0.5~0.75		4~10	6~50

的另外一个更为准确的判断指标。③从托纳木西南部→托纳木背斜带,甲烷碳同位素由轻到重,丙烷和丁烷也呈现同样的规律性,也揭示出油气运移的方向性。

3.3 油气属性判别

地球化学异常的成因与构造圈闭的含油气属性也是局部地球化学评价的重要内容^[16-19]。

表 3 是托纳木区块化探异常烃类特征比值表。表中反映 S6 圈闭具有油的属性,S3、S4 圈闭可能以油为主,含有天然气。

4 结 论

羌塘盆地是构造复杂的海相碳酸盐岩地区,石油地质研究和油气勘探程度很低,油气化探不仅能够提供区块含油气性的地球化学信息,而且可以发挥直接找油气的作用。研究结果表明,托纳木背斜是非常有远景的油气靶区。

致谢:在课题执行过程中得到物化探研究所所长朱立新、副所长胡平的指导,得到科技处副处长张振海和化探方法室主任张华的帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] 汤良杰, 吕修祥, 金之钧, 等. 中国海相碳酸盐岩层系油气地质特点、战略选区思考及需要解决的主要地质问题[J]. 地质通报, 2006, 25(9/10): 1032-1035.
- [2] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15-22.
- [3] 张大伟. 中国油气资源战略选区若干问题的思考[J]. 地质通报, 2006, 25(9/10): 1013-1016.
- [4] Xie Xuejing. Local and regional surface geochemical exploration for oil and gas[J]. J. Geochem. Explor., 1992, 42: 25-42.
- [5] 孙忠军, 杨少平, 张学君, 等. 油气资源潜力浅表地球化学评价[J]. 地质通报, 2006, 25(9/10): 1084-1188.
- [6] 孙忠军. 西北干旱区油气化探的一致性问题[M]//贾润胥. 中国塔里木盆地北部油气地质研究物化探和钻井. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 162-168.
- [7] 吴大俊. 浅层土紫外吸收、分子荧光化探技术及其在塔里木盆地北部的应用[M]//贾润胥. 中国塔里木盆地北部油气地质研究物化探和钻井. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 153-161.
- [8] 吴学明, 王福. 浅层酸解烃气地球化学方法在塔北地区的应用效果[M]//贾润胥. 中国塔里木盆地北部油气地质研究物化探和钻井. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 101-109.
- [9] 贾国相, 陈远荣, 姚锦旗, 等. 我国特殊景观区油气综合化探技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 173-182.
- [10] 孙忠军, 秦爱华, 伊海生, 等. 羌塘盆地金星湖区块油气化探试验[J]. 物化探计算技术, 2006, 29(增刊): 211-214.
- [11] Horvitz L. On geochemical prospecting I [J]. Geophysics, 1929, 4: 210-228.
- [12] Duchscherer W. Geochemical hydrocarbon prospecting [M]. Penn Well Publishing Company, Tulsa, OK, 1984: 196.
- [13] Price L C. A critical overview and proposed working model of surface geochemical exploration[C]//Davidson M J. Unconventional Methods in Exploration for Petroleum and Natural Gas. IV. Southern Methodist Univ. Press, Dallas, TX, 1986: 245-290.
- [14] Xie Xuejing. Local and regional surface geochemical exploration for oil and gas[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1992, 42: 25-42.
- [15] 汤玉平, 丁相玉, 龚维琪. 油气藏上置化探异常形态类型及其成因讨论[J]. 石油实验地质, 1998, 20(1): 75-79.
- [16] Schiener E J, Sthahl W. Surface geochemical exploration for hydrocarbon in offshore areas - principles, methods and results[C]//Petroleum Geochemistry in Exploration of the Norwegian Shelf. Norwegian Petroleum Society, 1985: 223-238.
- [17] 杨翔, 花林宝. 油气化探中判别烃异常的简易方法[J]. 矿产地质, 2001, 84(15): 272-274.
- [18] 陈银节, 缪九军, 张宗元. 三维荧光光谱的油气指示意义[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1): 69-72.
- [19] Jones V T, Drozd R J. Predictions of oil and gas potential by near-surface geochemistry [J]. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 1983, 67(6): 932-952.
- ① 王成善, 李亚林, 等. 羌塘盆地托纳木区块 1:5 万石油构造与详查研究报告. 2005.