

文章编号:1009-6248(2011)01-0130-60

英吉苏凹陷英南2气藏天然气成因判识

时保宏¹, 赵靖舟¹, 张艳²

(1. 西安石油大学油气资源学院, 陕西 西安 710065; 2. 长庆油田分
公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710021)

摘要: 依据英南2井天然气组分特征、碳同位素特征及成藏时间等方面的研究, 对英南2气藏成因进行了探讨, 认为英南2气藏为一经后期调整的次生气藏。天然气为奥陶纪晚期—志留纪早期生成并保存在志留系和奥陶系上部储层中的凝析气、原油伴生气和加里东末期生成的干气的混合气, 也可能有一些原油裂解气的混入。石油伴生气和凝析气是英南2井天然气高氮、富集重烃的根本原因。后期裂解干气的注入是英南2井天然气碳同位素较重的主要原因之一。扩散作用在华力西—印支期这一漫长地质时间内为奥陶系和志留系气藏保持其湿气藏特征和氮气的富集起到了重要作用。喜马拉雅晚期, 古生界气藏沿断层运移到侏罗系聚集成藏, 并在进入侏罗系储层后有少量的煤成气混入, 进一步使天然气碳同位素变重。

关键词: 英南2; 天然气; 英吉苏凹陷; 塔里木盆地

中图分类号: TE121 **文献标识码:** A

英南2气藏位于塔里木盆地东部英吉苏凹陷英南构造带的英南2号构造上。英南2号构造平面上为一近北西—南东向的完整背斜, 圈闭面积为60 km², 幅度为420 m(图1)。2001年12月对英南2井进行第五次试油, 用6.35 mm油嘴求产, 折日产气69 568 m³/d、油4.72 m³/d, 发现了英南2井工业气藏。该气藏的发现是塔里木盆地东部地区的重大突破。自该气藏发现以来, 诸多学者对该气藏天然气成因进行了分析(王红军等, 2001; 刘金林等2004; 张水昌等, 2004), 但得出结论并不统一。笔者根据英南2气藏天然气的地球化学特征及其与和田河气田玛4井天然气地球化学特征的对比, 进行英南2气藏天然气成因分析。

1 天然气地球化学特征

天然气全组分分析表明, 英南2气藏天然气为富氮湿气。烃类气体含量为81.85%~85.91%, CH₄含量为69.65%~83.18%, 干燥系数主要为0.82~0.90, 只有3 695.6~3 707.9 m井段的2个样品干燥系数为0.95。乙烷和其他重烃含量大于9%, 最高达15.40%。N₂含量为12.33%~21.14%, 大部分样品N₂含量为13%~17%。根据天然气碳同位素分析结果, $\delta^{13}\text{C}_2$ 平均值为-33.0‰, 最小值为-30.9‰。

根据英南2井气组分特征及碳同位素特征, 英南2井天然气为海相油型气(王红军等, 2001)。同

收稿日期: 2010-04-14; 修回日期: 2010-12-15

基金项目: 国家“十五”重点攻关专题《塔里木盆地天然气成藏特征与分布规律》(2001BA605A-02-01-06)

作者简介: 时保宏(1971-), 男, 副教授。主要从事油气成藏地质学及天然气地球化学方面的研究工作。E-mail: bh.sh@163.com

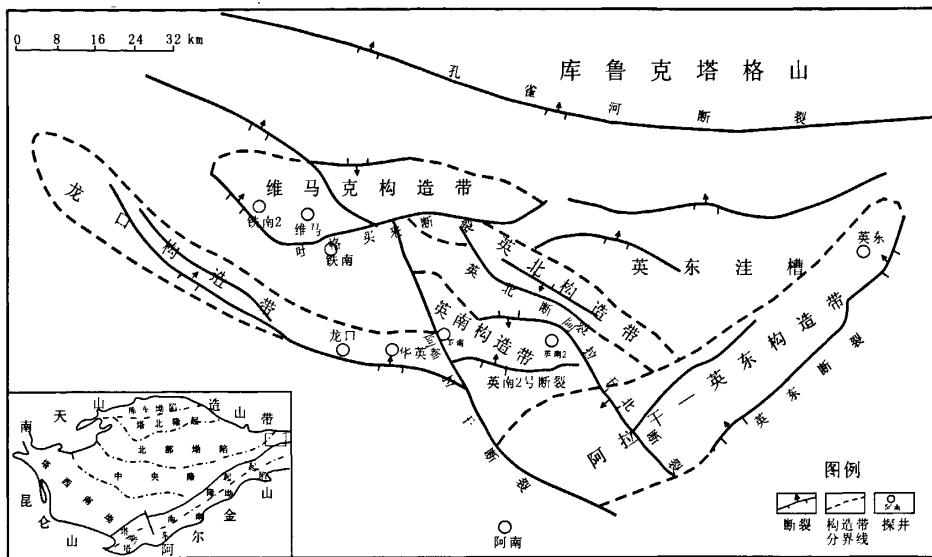


图 1 英吉苏凹陷区域位置及中生界构造纲要图

Fig. 1 The tectonic and location map of Yingjisu Sag

时,据本区的烃源岩研究成果,该区主要发育寒武系一下奥陶统和中生界侏罗系2套烃源岩。其中,寒武系一下奥陶统烃源岩在英吉苏地区热演化程度较高,烃源岩 R_o 值达到 $2.44\% \sim 3.30\%$,多处于过成熟阶段。对中生界侏罗系烃源岩热演化史研究表明,英吉苏凹陷中下侏罗统烃源岩的成熟度普遍较低,烃源岩 R_o 值主要为 $0.5\% \sim 0.7\%$,烃源岩多处于低成熟成熟阶段。据此综合判断英南2气藏天然气主要来源于寒武系一下奥陶统烃源岩(张水昌等,2004)。

2 天然气藏成因探讨

目前, 虽然对英南 2 井气态烃的来源(寒武系一下奥陶统烃源岩)没有什么异议, 但气藏的成因还存在疑问, 主要是因为英吉苏凹陷的寒武系一下奥陶统烃源岩在侏罗系沉积前就已经达到过成熟生干气阶段, 与英南 2 井所获得的湿气之间存在着矛盾。同时, 对天然气高氮气的成因也没有较好的解释。

据英南 2 井天然气与玛 4 井天然气组分特征对比分析,二者之间虽然在 N_2 含量方面具有相似性,但差异性仍然是二者组分特征对比结果的主要特征。首

先表现在：英南2井为湿气，玛4井为干气（赵孟军等，2001，2002）（图2）。其次，在碳同位素、CO₂含量、 iC_4/nC_4 等方面均存在不同程度的差异。

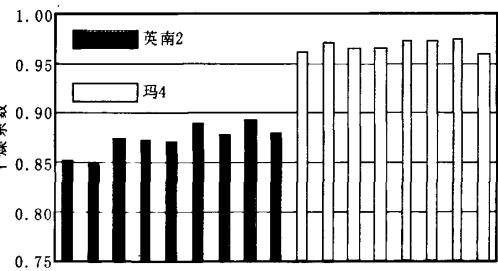


图 2 英南 2 井和玛 4 井天然气干燥系数对比图

Fig. 2 The natural gas dryness coefficient comparison diagram between Yingnan 2 well and Ma 4 well

在英南 2 井天然气组分参数关系图中, 英南 2 井和玛 4 井天然气 $\text{Ln} (C_1/C_2)$ 与 $\text{Ln} (C_2/C_3)$ 关系图 (图 3-c 和图 3-d) 有点相似, 说明可能有原油裂解气的混入成分。但 $\text{Ln} (C_2/C_3)$ 与 $(\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_3)$ 关系图却大相径庭, 不符合原油裂解气模式。根据干酪根裂解气和原油裂解气判识模式图 (图 3-a) (Alain A et al, 1995; 陈世加等, 2001, 2002) 英南 2 井天然气组分参数与甲烷系列碳同位素之间关

系 ($\ln(C_2/C_3)$ 与 $(\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3)$) 关系图 (图 3-f) 的特征显示, 英南 2 井天然气的成因与堪萨斯州盆地的原油裂解气 (图 3-b) 及和田河气田玛 4 井原油裂解气 (图 3-e) 变化趋势明显不同, 具有以干酪根

裂解气为主的特征。同时, 从天然气干燥系数与氮气含量的关系图 (图 4) 上看, 英南 2 井天然气与和田河气田玛 4 井原油裂解气有很大的差别。

侏罗系煤系烃源岩生成的煤型气的混入是英南

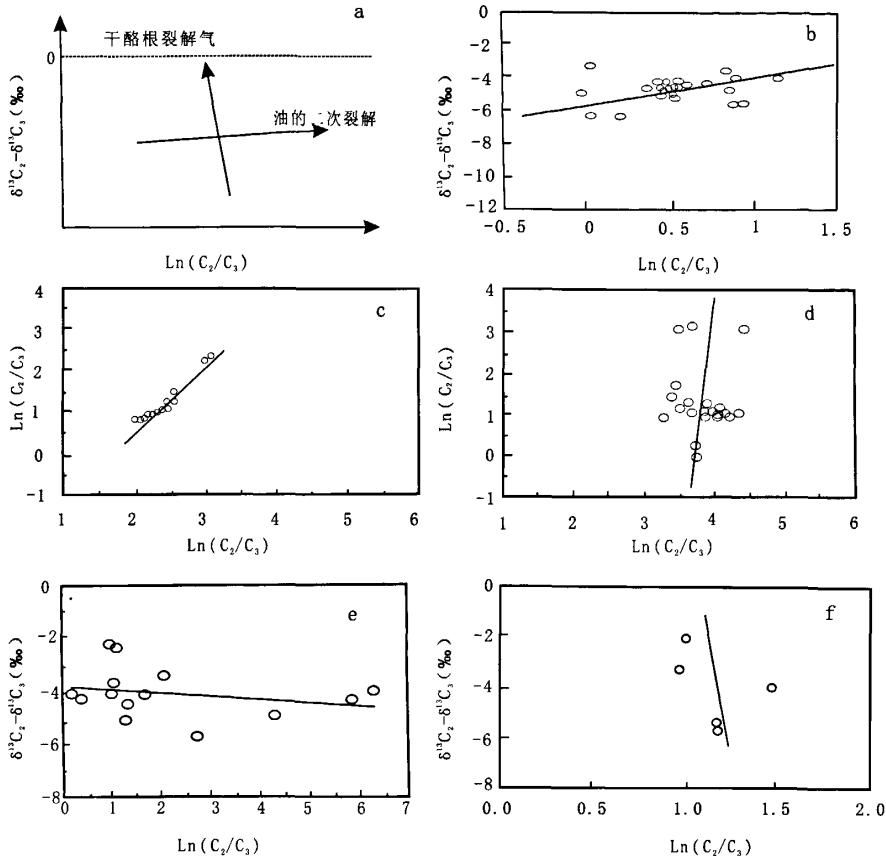


图 3 英南 2 井天然气成因判识图

Fig. 3 Distinguishing plate for gas generation in Yingnan 2 well

- a. 干酪根裂解气和原油裂解气判识模式图 (Alain A 等, 1995); b. 堪萨斯州盆地的天然气 (原油裂解气) 成因判识图 (Alain A 等, 1995); c. 玛 4 井天然气 $\ln(C_1/C_2)$ 与 $\ln(C_2/C_3)$ 关系图 (赵孟军等, 2002); d. 英南 2 井天然气 $\ln(C_1/C_2)$ 与 $\ln(C_2/C_3)$ 关系图; e. 玛 4 井天然气 $\ln(C_2/C_3)$ 与 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3$ 关系图 (赵孟军等, 2002); f. 英南 2 井天然气 $\ln(C_2/C_3)$ 与 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3$ 关系图

2 井天然气的 $\delta^{13}C_2$ 较重的原因之一, 但煤型气的混入不是造成英南 2 井重烃含量高的主要原因。根据简单的计算, 要使原来的干气变为重烃含量达 9% 以上湿气, 煤型气的混入量应该是很大的, 英南 2 天然气也应该显示为煤型气为主的特征。但是英南 2 井天然气资料却表明其来源于海相的油型气。

扩散作用是否是造成英南 2 井天然气变湿的原因? 答案也是否定的。主要证据有: ①英南 2 气藏

的成藏期为喜马拉雅晚期 (李艳霞等, 2002; 聂采军等, 2004; 胡剑风等, 2004), 在气藏形成以来的不到 20 Ma 里要扩散掉大量的气体, 其速度是惊人的。燕山晚期英南 2 构造已定型, 如果在英南 2 气藏形成后扩散掉万亿方以上的烃类气体, 必然要在气藏之上的侏罗系储层和白垩系储层中有所聚集 (白垩系储盖组合优于侏罗系), 但目前仅在工业气层之上的侏罗系储层中见到一些差气层和气测显

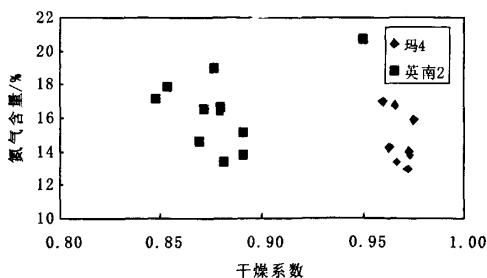


图4 玛4井和英南2井天然气干燥系数与氮气含量关系对比图

Fig. 4 The natural gas dryness coefficient versus nitrogen content comparison diagram between Yingnan 2 well and Ma 4 well

示, 这与扩散量相比极不相称。②根据英南2井区的构造演化史, 寒武系和下奥陶统烃源岩在奥陶世晚期已进入高一过成熟阶段, 而此时中生界地层还没有沉积, 所以也不可能是寒武系烃源岩生成的干气直接进入侏罗系储层, 并经过扩散形成目前的高氮气含量和高重烃含量的英南2气藏。③如果发生了较强的扩散作用, 那么气体的扩散分馏效应也应该表现得很明显。但从英南2井天然气组分特征与深度关系图(图5)可以看出, 甲烷和重烃含量在垂向上的变化并不明显。从以上分析可以看出, 英南2气藏形成之后的扩散作用并不是造成目前气藏高重烃的主要原因。如果扩散作用是造成英南2井富集重烃的原因, 那么它也应该发生在现在的英南2气藏形成之前。

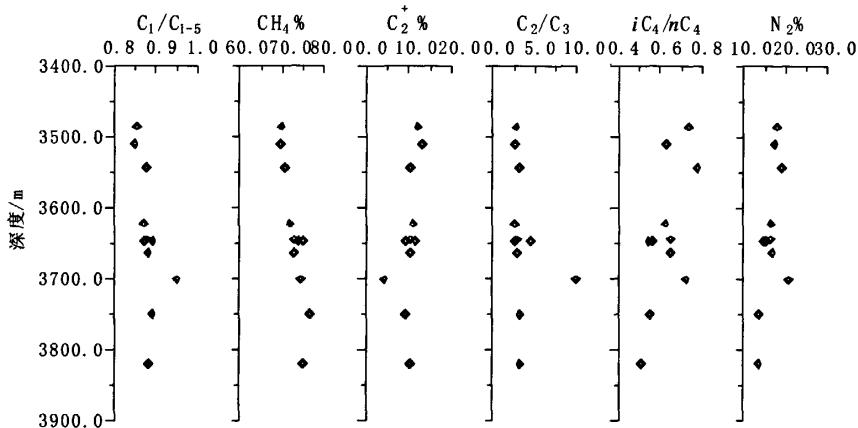


图5 英南2井天然气组分特征与深度关系图

Fig. 5 Relationship showing the basis of the natural gas component versus depth in Yingnan 2 well

另据李先奇等(1997)研究, 塔里木盆地油型气N₂和 $\delta^{13}\text{C}_1$ 有着较好的相关关系。在源岩演化的成熟阶段($R_o=0.6\% \sim 1.3\%$), N₂含量高, 一般大于10%, 这一阶段形成的油型气主要为原油伴生气。高成熟阶段($R_o=1.3\% \sim 2.0\%$), N₂含量一般低于10%, 此阶段由于热催化和热裂解的复合作用而形成大量的凝析油气。到了过成熟演化阶段($R_o > 2.0\%$), 烃源岩开始主要裂解生成干气, 天然气中N₂锐减, 一般小于5%, 大部分为2%~3%。总之, 随着 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值的增重, 即随着热演化程度增加,

N₂含量呈明显递减趋势。所以塔里木盆地高氮含量的天然气, 大多是在成熟一高成熟演化阶段生成的原油伴生气和凝析气。

3 结论

(1) 基于以上分析, 认为英南2井天然气可能为奥陶纪晚期—志留系早期生成并保存在志留系和奥陶系上部储层中的凝析气、原油伴生气和加里东末期生成的干气的混合气, 也可能有一些原油裂解

气的混入。石油伴生气和凝析气是英南2井天然气高氮、富集重烃的根本原因。后期裂解干气的注入是英南2井天然气碳同位素较重的主要原因之一。扩散作用在华力西—印支期这一漫长的地质时间内为奥陶系和志留系气藏保持其湿气藏特征和氮气的富集起到了重要作用。喜马拉雅晚期，古生界气藏沿断层运移到侏罗系聚集成藏，并在进入侏罗系储层后混入少量的煤成气，使天然气碳同位素进一步变重。

(2) 英南2气藏的成因对该英吉苏凹陷的油气勘探具有重要的意义。笔者认为该区天然气主要为烃源岩在其演化过程中生成的干酪根裂解气。基于这种认识，认为本区不仅在天然气勘探方面就有较大的潜力，而且在原油勘探方面也存在一些值得探索的勘探领域。如，在志留系、侏罗系储层中可能存在一些由寒武系、奥陶系的古油气藏因构造运动（尤其是断裂作用）发生调整而形成的油藏或凝析气藏。

参考文献 (References):

- 王红军, 周兴熙. 塔里木盆地典型海相成因天然气藏成藏模式 [J]. 石油学报, 2001, 22 (1): 14-18.
Wang Hongjun, Zhou Xingxi. Formation modes of typical marine origin gas pools in Tarim Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22 (1): 14-18.
- 刘金林, 冯兴凯, 关辉. 满东—英吉苏地区天然气气源及气藏成藏期分析 [J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26 (2): 48-49.
Liu Jinlin, Feng Xingkai, Guan Hui. Source of natural gas and gas reservoir formation stage in Mandong-Yingjisu area [J]. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 2004, 26 (2): 48-49.
- 张水昌, 赵文智, 王飞宇, 等. 塔里木盆地东部地区古生界原油裂解气成藏历史分析——以英南2气藏为例 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15 (5): 441-452.
Zhang Shuichang, Zhao Wenzhi, Wang Feiyu, et al. Paleozoic oil cracking gas accumulation history from eastern part of the Tarim Basin—a case study of the YN2 gas reservoir [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15 (5): 441-452.
- 赵孟军. 塔里木盆地和田河气田天然气的特殊来源及非烃组分的成因 [J]. 地质论评, 2002, 48 (5): 480-485.
Zhao Mengjun. Special source of the natural gases of the Hetian River gas field and the origin of its non-hydrocarbon gases [J]. *Geological Review*, 2002, 48 (5): 480-485.
- 赵孟军, 曾凡刚, 秦胜飞, 等. 塔里木发现和证实两种裂解气 [J]. 天然气工业, 2001, 21 (1): 35-38.
Zhao Mengjun, Zeng Fangang, Qin Shengfei, et al. Two pyrolytic gases found and proved in Tarim Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2001, 21 (1): 35-38.
- 陈世加, 马力宁, 付晓文, 等. 塔里木海相腐泥型天然气的成因判识 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22 (6): 100-102.
Chen Shijia, Ma Lining, Fu Xiaowen, et al. Genetic discrimination of marine sapropelic type gas in Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22 (6): 100-102.
- 陈世加, 付晓文, 马力宁, 等. 干酪根裂解气和原油裂解气的成因判识方法 [J]. 石油实验地质, 2002, 24 (4): 364-366.
Chen Shijia, Fu Xiaowen, Ma Lining, et al. Genetic identification method of kerogen-cracked gases and oil-cracked gases [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 2002, 24 (4): 364-366.
- 李艳霞, 钟宁宁, 张枝焕, 等. 塔里木盆地英南2气藏成藏机理 [J]. 石油学报, 2005, 26 (2): 53-57.
Li Yanxia, Zhong Ningning, Zhang Zhihuan, et al. Accumulation mechanism of Yingnan 2 gas reservoir in Tarim Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26 (2): 53-57.
- 聂采军, 郑威, 李梅. 塔里木东北部英南2气藏天然气运移和聚集 [J]. 地质科学, 2004, 39 (4): 58-66.
Nie Caijun, Zheng Wei, Li Mei. Gas migration and accumulation of the Yingnan 2 gas pool in Northeastern Tarim, Xinjiang [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2004, 39 (40): 58-66.
- 刘玉魁, 胡剑风, 闵磊, 等. 塔里木盆地英吉苏凹陷成藏机理分析 [J]. 天然气工业, 2004, 24 (10): 6-9.
Liu Yukui, Hu Jianfeng, Min Lei, et al. Analysis of reservoir mechanism in Yingjisu Sag of Tarim Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2004, 24 (10): 6-9.
- Alain A, et al. Genetic and post-genetic molecular and isotopic fractionations in natural gases [J]. *Chem Geol*, 1995, 126: 281-290.

Genesis Recognition of Yingnan 2 Gas Reservoir in Yingjisu Sag of Tarim Basin

SHI Bao-hong¹, ZHAO Jing-zhou¹, ZHANG Yan²

(1. School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an, 710065, China;

2. Changqing Oil and Gas Branch Company, Xi'an, 710021, China)

Abstract: According to the study on components and its isotopes of natural gas in Yingnan 2 gas reservoir and the formation time, the paper discuss the genesis of Yingnan 2 gas reservoir, and reckon that it is a secondary gas pool formed by adjustment in the geologic history. The gas in Yingnan 2 gas pool is commixed by condensate gas, associated gas, kerogen cracking gas, and oil cracking gas. The condensate gas and associated gas are the main components and the key cause of high N₂ and fixed hydrocarbon contents.

Key words: Yingnan 2; nature gas; Yingjisu Sag; Tarim basin

国际地质灾害高级研讨班在西安成功举办

为了把握国际地质灾害最新研究动态,进一步提高我国地质灾害调查与风险管理水平,2011年2月21日~25日,由国际滑坡协会(ICL)与中国地质调查局(CGS)联合主办,西安地质监听调查中心承办的国际地质灾害高级研讨班在西安成功举办。从事地质灾害调查的中国地质调查局直属单位、各省(区)地质环境监测站及高等院校等215名代表参加了本次研讨班。

中国地质调查局地质灾害处张作辰处长主持了开幕式,国际滑坡协会副主席、中国地质调查局水环部主任殷跃平博士在会上致辞,西安地质调查中心李文渊主任做了大会欢迎词。国际滑坡协会主席Sassa教授和副主席殷跃平研究员为“中国勘察设计大师”林在贯教授颁发了2010年度国际滑坡协会最高奖——Varnes奖。研讨班邀请了国际滑坡协会主席Sassa Kyoji教授、印尼Gadjah Mada大学Dwika Ritra Karnawati教授、美国地质调查局Edwin Lynn Harp研究员、挪威岩土工程研究院自然灾害部主任Anders Solheim教授、日本国立岛根大学综合理工学部汪发武教授等5位国际专家,分别就“降雨及地震诱发快速滑坡的风险评价技术”、“基于社区的印尼默拉皮火山泥流早期预警系统”、“地震触发滑坡研究”、“水下或海岸滑坡及挪威地质灾害危险区划及防治”、“高速远程滑坡风险评价及讨论”方面做了精彩的学术报告。通过聆听国际专家丰富精彩的报告,学习收获很大,与会代表们踊跃与专家们进行了交流和探讨。

中国地质调查局水环部主任殷跃平作了大会总结发言,高度肯定了国际地质灾害研讨班的意义。他指出,从参加研讨班的年轻人身上,看到了我国地质灾害调查与研究的希望,同时也期望大家加强地质灾害基础理论的学习、吸收、消化、创新,并希望2014年在北京举办的世界滑坡论坛会议中能看到更多中国人的发言。最后对西安地质调查中心成功承办本次研讨会表示充分地肯定和衷心地感谢。会后代表考察了陕西临潼明圣宫滑坡、延安宝塔山滑坡,使与会代表对黄土滑坡有了更直观的认识和了解。

(西安地质调查中心 程秀娟)