

尼泊尔西部代莱克(Dailekh)地区石油地质条件分析

谭富文, 杨平, 王正和, 占王忠, 杜佰伟, 李再会

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:分析尼泊尔石油地质条件对于促进尼泊尔油气的勘探开发具有重要意义。本文通过全面搜集尼泊尔油气地质及相关资料,结合实地考察和部分样品分析结果,报道了尼泊尔区域地质特征、油气勘探现状、区域构造特征和地层发育特征;分析了 Dailekh 地区出露的油气苗特征、烃源条件、生储盖和油气圈闭条件,认为 Dailekh 地区发育四套烃源岩层,多个生储盖组合,具有较好的油气勘探前景;油气苗为高成熟烃源岩裂解的产物,可能来自变质岩推覆体下伏沉积岩层;断层和逆冲相关的背斜、突起构造和倾斜断块等是找油气的重要构造。

关键词:油气苗;油气地质;勘探现状;尼泊尔

中图分类号:TE122

文献标识码:A

前言

尼泊尔经济落后,是世界上较为落后的国家之一,其石油消耗更是全部依赖从印度进口,即使是经济规模较小的油藏发现与成功生产也可能彻底改变国家的经济^[1]。区域上,尼泊尔与富含油气的巴基斯坦 Potwar 盆地和印度 Assam 盆地具有相似的石油地质条件。在尼泊尔西部的代莱克(Dailekh)地区还发现了45处气苗点,初步分析其为石油裂解气,因此,尼泊尔具有一定的油气勘探前景。但是,由于尼泊尔大部分位于喜马拉雅山的南部,地质构造复杂,除南部平原区,其余地区的石油地质调查近乎空白,相关的油气地质资料十分少见。本文依托2019年开展的中国援尼泊尔油气资源调查项目的初步考察成果,结合在尼泊尔地质矿产局搜集的一些资料,通过与巴基斯坦的 Potwar 盆地对比分析,对尼泊尔的地质特征和油气勘探工作进行分析,重点对尼泊尔西部代莱克(Dailekh)地区的石油地质条件进行研究,以此促进对尼泊尔地质的了解和油气藏勘探开发。

1 油气勘探现状

1973年,中国石油考察组最早在尼泊尔南部特莱(Terai)平原对尼泊尔南部的石油地质条件进行

了考察与初步评价。1978~1979年,在国际开发署、世界银行的援助下,尼泊尔地质矿产局(DMG)在特莱(Terai)平原和西瓦利克(Siwalik)带进行了航空磁测,面积达4.8万平方千米。在此基础上,以该区作为石油远景区从西至东划分为10个勘探区块,每个勘探区块面积约5000km²(图1)。

1982年,尼泊尔政府以尼泊尔地质矿产局(DMG)为依托,成立了石油勘探促进项目部(PEPP),负责吸引国内和国际石油勘探领域的投资者。1982~1984年,DMG与地球物理总公司(Compagine General de Geolophysique,简称CGG)开展了1230km CDP地震测量。1984年,狩猎地质与地球物理有限公司(Hunting Geology and Geophysics LTD)在尼泊尔南部地区完成了60000km²的影像地质学研究。1985年,PEPP组织对上述所有区块面向全球公开招标。壳牌尼泊尔BV公司(Shell Nepal B. V.)于1986年获得区块10的探矿权,于1987~1988年对该区块进行了约2000千米的地震勘探,并于1989年实施了一口3520m的勘探井,但该井与预测的地质情况差异较大,钻穿西瓦利克(Siwalik)群后直接见到了结晶基底,井中并未见到预期古生代—中生代地层,也未见到烃源岩,更未获得油气发现,公司于1990年离开。与此同时,1987~1989年,DMG与PCIAC公司在尼泊尔特莱平

收稿日期:2020-01-06;改回日期:2020-04-10

作者简介:谭富文(1963-),男,研究员,构造地质与石油地质学专业。E-mail:307327001@qq.com

资助项目:商务部援外项目《援尼泊尔油气资源调查》(CGSA001)

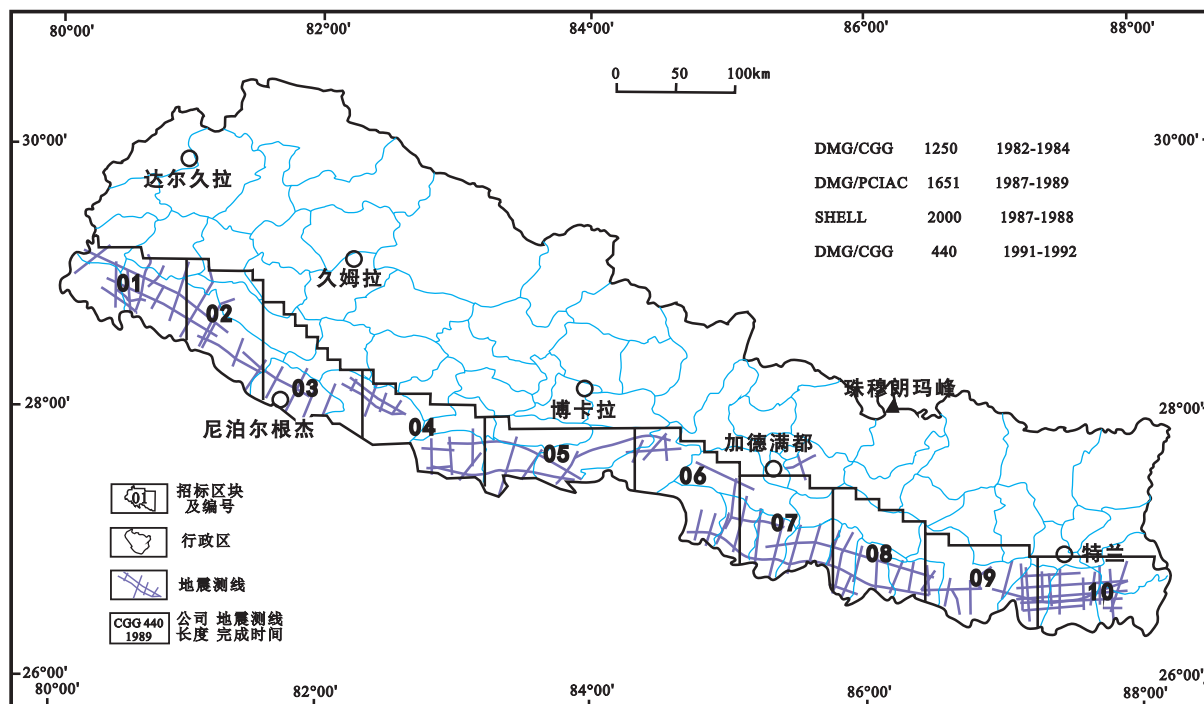


图1 尼泊尔油气招标区块及已经实施的地震测线分布图

Fig.1 Bidding blocks of oil and gas and seismic survey lines implemented in Nepal

原中、东部地区完成了 1640km 的二维地震和重力测量。1991 ~ 1992 年,CGG 公司在尼泊尔特莱平原西部完成了 440km 的二维地震测量。

1989 年、1990 年和 1995 年的第二、第三和第四轮投标未能吸引国际投资者。1992 ~ 1993 年,他们又与加拿大石油公司合作,接受加拿大国际发展署(Canada International Development Agency)的资助,实施了“尼泊尔南部油气远景评价”项目,重点对前期勘察资料进行了系统分析,并对尼泊尔南部油气烃源和盖层条件进行了调查研究。1998 年,美国德克萨斯石油公司(Texona Resources Company)中标 3、5 号区块,获得勘探开发矿权;2004 年,英国凯恩能源公司(Cairn Energy Private Limited)获得了 1、2、4、6 和 7 号共五个区的勘探权;2012 年,阿联酋联合商务集团(Emirates Associates Business Group)登记了 8、9 区块。但是,这些公司并没有开展实质性的工作,因未能实现协议中所规定的任务而宣告失败。据 2014 年 10 月 17 日尼泊尔最大英文媒体报道,这些勘探权已被尼泊尔政府强制撤销。总体而言,1993 年以后,尼泊尔没有进行任何进一步的油气勘探工作。但是,尼泊尔石油勘探促进项目部(PEPP)自 1982 年成立以来,在低喜马拉雅带的一些重点地区围绕油气调查目的不间断地开展了一些

些地表地质调查和研究工作。

2 区域构造特征

尼泊尔地处青藏高原和印度半岛之间,东西长 885km,南北宽 145 ~ 241km 之间,国土面积约 14.72 万平方千米。尼泊尔地势北高南低,且地势变化剧烈,自北部与中国交界的崇高山脉在海拔 4000m 以上,包括珠穆朗玛峰(在尼泊尔称的萨加玛塔峰)在内,世界 10 大高峰有 8 个在尼泊尔境内;中部为海拔 1000 ~ 4000m 的山谷地带;南部为靠近印度的平原地区,海拔仅 100 ~ 1000m。

造成尼泊尔特殊地貌特征的原因与北部喜马拉雅造山过程和南部恒河前陆盆地的形成演化密切相关。在构造上,尼泊尔位于喜马拉雅造山带中段,夹持于拉萨地块与印度板块之间,北以印度-雅鲁藏布江缝合带与拉萨地块相隔,南以恒河前陆盆地与印度板块相连。受印度板块向欧亚板块俯冲的影响,境内发育了一系列北倾的、北西—南东向逆冲断裂带。主要包括:藏南拆离带(STD)、主中央冲断带(MCT)、主边界冲断带(MBT)和主前缘冲断带(MFT)等(图 2)。自北向南,这些断裂带的形成时间依次变新,即藏南拆离带(STD)最老,主前缘冲断带 MFT 带最新。

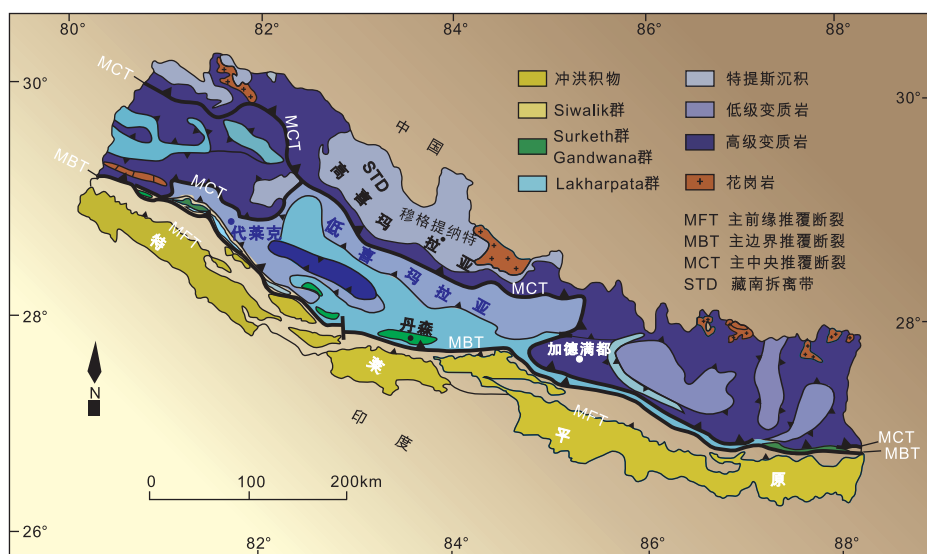


图2 尼泊尔地质与构造格架图(据尼泊尔地矿局与加拿大石油公司,1993)

Fig. 2 Geological and structural framework of Nepal(after DMG of Nepal and Petro-Canada, 1993)

藏南拆离带(STD)位于尼泊尔西北部,为一个向北倾斜的正断裂系统,由一系列近平行断层或韧性剪切带组成,活动方式复杂,活动时限约23~13Ma,滑动距离达34km以上;中央主冲断带(MCT)位于尼泊尔中北部,为一个2~10km宽的剪切带,呈断坪—断坡几何特征,上、下盘变质程度差异很大,主要活动时间分别为23~20Ma、5~3Ma,滑动距离大于100km^[2];边界主冲断带(MBT)位于尼泊尔南部,在航空照片和卫星图片上非常清晰,地震层析图像上表现为向北倾斜的速度变化带,埋深超过10km,活动时间分别为12~10Ma、<5Ma,滑动距离大于100km^[3];前缘主冲断带(MFT)也位于尼泊尔南部,基本与边界主冲断带平行展布,通常表现为褶皱和隐伏逆冲断裂带,它将北部新近系西瓦里克群和南部恒河盆地第四系隔开。

以这些断裂带为界,可将尼泊尔划分为5个地质构造带,自北向南分别为:特提斯喜马拉雅带、高喜马拉雅带、低喜马拉雅带、西瓦里克带和特莱平原带。这5个构造带向南依次逆冲到南侧相邻构造带上。

特提斯喜马拉雅带:在尼泊尔境内仅限于西北部,北以印度—雅鲁藏布江缝合带(ITS)与拉萨地块相邻,南以藏南拆离带(STD)逆冲到南侧的高喜马拉雅带上。除了接近高喜马拉雅带附近地区外,该构造带主要为未变质的元古界—始新统的硅质碎屑岩和碳酸盐岩,夹古生代和中生代火山岩,自下而上,分为4个次级沉积序列:(1)元古宙—泥盆

纪裂谷前序列,为一横向稳定、垂向连续的克拉通沉积单元;(2)石炭纪—早侏罗世裂谷和裂谷后沉积序列,地层厚度和岩相向北变化明显;(3)侏罗纪—白垩纪被动大陆边缘沉积序列;(4)白垩纪—始新世碰撞沉积序列。

高喜马拉雅带:位于主中央断裂(MCT)以北,藏南拆离带(STD)以南,其北坡为特提斯喜马拉雅带,在整个带内,前寒武纪变质岩广泛分布,包括各种片麻岩、片岩、混合岩,夹少量大理岩,变质相达高角闪岩相到麻粒岩相,顶部广泛存在早中新世到中中新世变形和未变形的淡色花岗岩。

低喜马拉雅带:位于主边界逆冲断裂(MBT)和主中央逆冲断裂(MCT)之间,由东向西逐渐变宽,主要为前寒武纪变质岩及古生代和中生代的未变质岩组成一系列向南逆掩的推覆体。低喜马拉雅带北部出露片岩、千枚岩,石英岩、变质砂岩和少量板岩等;南部主要出露元古代—中生代的白云岩、灰岩、砂岩和砂泥质碎屑岩。低喜马拉雅带发育一系列走向为东西向、北西—南东向,倾向向北的逆冲断裂和背斜构造。

西瓦里克带:呈窄条状北西—东南向展布于尼泊尔南部,北以边界主冲断带(MBT)与低喜马拉雅带相邻,南以前缘主冲断带(MFT)逆冲到莱特平原之上。为尼泊尔境内较小的地质构造单元。此带地势较低缓,地形高差也较小。主要出露地层为西瓦里克(Siwalik)群,代表中新世—上新世喜马拉雅前陆盆地的磨拉石沉积,主要为砾岩、砂岩和泥岩,

最厚可达 6000 余 m^[3]。

特莱平原带:呈条带状北西—东南向展布于尼泊尔南缘,北以前缘主冲断带(MFT)与低喜马拉雅带相邻,南抵尼泊尔边境,实为印度恒河盆地的北缘。主要为更新世以来的冲积物,厚度一般 1500m。粗粒沉积分布于北部山麓地带,构成大型冲积扇体,细粒沉积则多分布于平原南部。

3 代莱克(Dailekh)及邻区地层特征

尼泊尔地层可以分为两个体系,一是特提斯地层系,主要分布在尼泊尔西北部的局部地区(图2);另一个是冈瓦纳地层系,广泛分布于尼泊尔其余地区,代表印度大陆边缘的沉积物,自南向北沉积水

体加深,现今的特莱平原区主要发育陆相、滨岸相沉积,向北至低喜马拉雅带发育浅海、陆棚相沉积(图3)。本文所研究的代莱克(Dailekh)及相邻的丹森(Tansen)地区冈瓦纳地层系出露较齐全,是尼泊尔地层系列的典型代表,自下而上包括:Midland群、Lakharpata群、Gondwana群、Surkhet群和 Siwalik群及第四系(表1)。Midland群代表印度地块的结晶基底,其上发育了前寒武纪—早古生代超过 12km 厚的无化石沉积岩(Lakharpata群),泛非运动在前寒武纪末期造成了广泛的不整合,之后发育含化石的厚度>3 km 的石炭—二叠纪到早—中始新世沉积(Gondwana群、Surkhet群和 Siwalik群)^[4]。

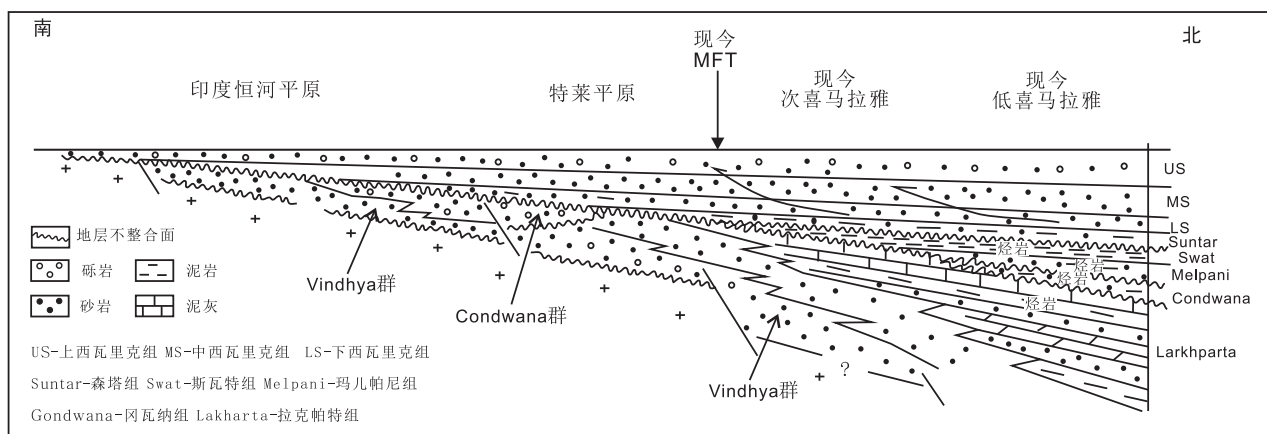


图3 印度地块北缘冈瓦纳地层系沉积模式图(据尼泊尔地质矿产局,1995 修编)

Fig. 3 Asedimentary model of Gondwana type strata in the northern margin of India block (after DMG of Nepal, 1995)

Midland群相当于印度地块的结晶基底,大致可以分为两套地层。一套变质相对较弱(绿片岩相),包括 Nabhisthan 组和 Dubidanda 组,二者整合接触。Nabhisthan 组在代莱克地区以一个背斜的形式广泛出露,主要由铅灰色千枚岩夹条带状灰绿色变质石英砂岩、变质基性岩组成,厚度很大;而 Dubidanda 组位于该背斜核部,出露少,主要为一套白色厚层状变质石英砂岩、千枚岩和绿片岩组成。另一套变质较强(角闪岩相),包括 Gitachaur 组和 Parajul 组,主要由片岩、石英岩组成(表1),它以断层接触的形式自北向南逆冲推覆于 Nabhisthan 组之上。此外,在 Dailekh 地区还发育一套眼球状花岗片麻岩,其分布范围局限,与 Nabhisthan 组伴生,以往认为是飞来峰,来自高喜马拉雅带的深变质岩体^[1],但 Upreti (1999)提出,该套变质岩是侵入于 Nabhisthan 组的花岗岩受后期改造的产物^[4]。

Lakharpata 群呈北西—南东向出露于 MBT 带以北,向南推覆于 Siwalik 群之上,是一套未变质的前寒武纪—早古生代沉积岩,主要由白云岩、灰岩、泥岩、页岩组成,总厚度达 5000m 以上,根据岩性差异,自下而上可分为 Sangram 组、Ramkot 组、Gawar 组、Khara 组、Katwa 组和 Aru 组(表1)。在代莱克(Dailekh)地区仅出露 Gawar 组,但在丹森(Tansen)地区出露齐全,总体为一套浅海台地—陆棚相沉积。

Gondwana 群不整合于 Lakharpata 群之上,化石稀少,时代大致定为石炭纪—早白垩纪^[5]。在代莱克(Dailekh)地区未出露,主要出露于丹森(Tansen)地区,包括 Sisne 组、Taltung 组和 Amile 组(表1),下部发育冰碛岩、黑色页岩、砾岩;中部为灰绿色砾岩、砂岩夹紫红色、灰绿色页岩;上部主要为砂岩、粉砂岩,夹大量黑色页岩。

表 1 代莱克 – 丹森地区地层划分表
Tab.1 Stratigraphic divisions of Dailekh-Tansen area

时代	群	组	岩性组合	出露区
第四纪			冲积物,巨砾,碎石、砂质粉土及黏土。	特莱平原
早更新世—中新世	Siwalik	上 Siwalik	巨砾、中砾、细砾岩夹少量灰色泥岩条带。	西瓦里克带
		中 Siwalik	中—粗粒砂岩,卵石砂岩夹粉砂岩、泥岩。	
		下 Siwalik	中—细粒砂岩夹粉砂岩、泥岩夹层。可见煤线。	
早中新世—晚白垩世	Surkhet	Suntar	浅绿色砂岩及紫红色、泥岩页岩,偶见泥灰岩。	
		Swat	灰—深灰色页岩,有孔虫灰岩及贝壳灰岩。	
		Melpani	灰白色含铁质石英砂岩,灰色至深灰色页岩及底砾岩。	
早白垩纪—早石炭纪	Gondwana	Amile	石英砂岩、岩屑砂岩、粉砂岩和石灰岩,夹大量薄层黑色页岩。	
		Taltung	橄榄绿色砾岩、砂岩夹泥岩,下部含熔岩。	
		Sisne	灰色冰碛岩、砾岩,页岩及砂岩。	
早古生代—前寒武纪	Lakharpata	Aru	灰色叠层石白云岩,夹少量砂岩和页岩。	低喜马拉雅带
		Katwa	灰—深灰色页岩为主,其中上部以灰岩为主。	
		Khara	绿色、灰色、紫色页岩及灰岩。	
		Gawar	灰色叠层石白云岩和白色灰岩,夹灰色砂岩和页岩。	
		Ramkot	粉色砂岩,紫色、灰色页岩。	
		Sangram	灰绿色—灰色炭质页岩。	
前寒武纪	Midland	Nabhisthan	灰色绢云千枚岩,夹变石英砂岩、变质基性岩。	
		Dubidanda	白色厚层状变质石英砂岩、千枚岩岩,含变质的中—基性岩(绿片岩)。	
		Gitachaur	灰色石榴石黑云母片岩、黑云母石英岩。	
		Parajul	乳白、黄白色石英岩、灰色黑云母石英岩、石榴石黑云母片岩。	

Surkhet 群不整合于 Gondwana 群之上,北缘以 Ranimata 冲断带与 Midland 群变质岩相隔,该断裂带属 MBT 的次级断裂。Surkhet 群含有双壳类化石,时代大致定为晚白垩纪—中新世^[5],在代莱克(Dailekh)和丹森(Tansen)地区均广泛出露,包括 Melpani 组、Swat 组和 Suntar 组(表 1),为一套滨海、陆棚、浅湖相沉积。

Siwalik 群位于低喜马拉雅带 MBT 断裂南侧,代表了恒河前陆盆地的沉积,是最年轻的地层单元。主要由河湖相的泥岩、粉砂岩、页岩、砂岩和砾岩组成,自下而上沉积物粒度变粗。可进一步分为下 Siwalik 组、中 Siwalik 组和上 Siwalik 组(表 1)。

4 代莱克(Dailekh)及邻区石油地质条件

代莱克(Dailekh)地区大部分为变质岩覆盖,但该区出露大量的油气苗,在其南部和邻区出露有未变质的前寒武纪—新近纪地层。为此,本文从油气苗、油气生储盖、沉积—构造和圈闭条件等方面对该区的石油地质条件进行分析。

4.1 油气苗

油气苗点出露于 Dailekh 镇的西侧,大致沿

Nabhisthan 组千枚岩中一个背斜轴部的断裂带(河沟处)分布,主要见于 Nabisthan、Sristhan 和 Padukasthan 三个寺庙建筑区,在庙中天然气从泄露点用管子导出作为神火供奉,长明不灭(图 4A),已有上百年的历史。在神庙前的河流中可见多处出气点,用切底后的矿泉水瓶罩住可以点燃,长时间不灭。作者于 2016 年采用排水法采集气样(图 4B),达 1 升/9 分钟。

油苗点位于 Padukasthan 庙前,呈轻质油产出,暴雨季节渗出丰富并流入河中(图 4D),当地居民曾采集用于照明多年,后上报政府。Singh(1963)对其进行了考察并采集了样品,部分样品被送到了印度地调局(ISG)实验室,其余样品保存在尼泊尔矿产局(图 4C)。

2016 年作者考察发现,这些油气苗点位于 Nabisthan 组千枚岩出露区,大致沿该变质岩北西—南东向延伸的背斜轴部的逆冲断裂带(河沟处)分布。油苗产自断层面发育的糜棱岩中,糜棱岩呈褐煤状,其中可见断层擦痕。对糜棱岩采集了样品(D050801A),分析显示 TOC 含量为 0.95%(表 2),对该样品薄片进行荧光分析,结果显示,断层泥中石英脉晶间微缝隙中普遍含轻质油,发出浅蓝色的荧光。



图4 Dailekh 地区出露的油气苗
A. Nabisthan 寺庙中燃烧的气苗;B. 河水中多处冒气点;C. 取 Padukasthan 的轻质油;D. 水沟中飘浮的油花

Fig. 4 oil and gas seeds in Dailekh area

表 2 Dailekh 地区烃源岩样品统计表

Tab. 2 Statistical table of source rock samples in Dailekh

序号	样品编号	产地	地层	岩性	Tmax(℃)	TOC(%)	Ro	类型
1	D050801A	Padukasthan	Nabhisthan 组	断层泥	413	0.95	0.712	Ⅱ
2	D05104S2	Surkhet	Swat 组	泥岩	399	0.40	0.806	Ⅱ
3	D05104S4	Surkhet	Swat 组	页岩	435	0.89	0.86	Ⅱ
4	D05116S1	Tansen	Amile 组	页岩	506	0.44	1.098	Ⅱ
5	D05117S1	Dharan	Sangram 组	炭质页岩	463	5.56	0.992	Ⅲ
6	D05172S1	Dharan	Sangram 组	炭质页岩	448	16.51	1.139	Ⅲ

注:样品由核工业地质分析测试研究中心分析(核地分〔2016〕第 2016-1728 号,其中 Ro 测点少,仅供参考)。

2019 年,再次对该糜棱岩取样进行油气抽提分析,显示轻质油含量大于 200×10^{-6} 。为此,推测轻质油是以吸附的形式富存于糜棱岩中,油苗是受水浸而渗漏出来的。

对取自保存在尼泊尔地矿局的原油样品(图 4C)进行分析,其碳同位素值为-29.5‰,总离子流图上存在鼓包,表明原油样品发生了强烈的降解作用,同时检测出金刚烷的系列化合物,表明原油经历了高温裂解。4-甲基双金刚烷与(1-甲基双金刚烷+3-甲基双金刚烷+4-甲基双金刚烷)之比约为 33%,根据成熟度指数与 Ro 的拟合关系式判断,原油成熟度较高($RO > 1.2\%$),油源岩具有较高热成熟度。

对于该区的气苗,加拿大石油公司 1993 年在这里采集了气苗样品,并送往卡尔加里的 ISPG 实验室

进行了分析,认为气样中 C2 和 C5 具高同源比,表明该气体与石油有关,最可能来源于浅层变质岩下方未变质岩储层的破裂。作者于 2016 年分别在 Nabisthan 和 Sristhan 采集了 4 件气苗样品,通过对其烃类组成和碳同位素研究,显示其具有凝析油伴生气和煤成气特征,并具有高温裂解气特征。推测该区的油气苗具有同源性,均来自变质岩下伏的油气藏。

4.2 生储盖条件

对尼泊尔油气条件的研究很少,尼泊尔地质矿产局(1990)认为尼泊尔与巴基斯坦的 Potwar 盆地自前寒武纪结晶基底之上经历了相似的沉积、构造演化,均发育了前寒武系、石炭—二叠系、中生界、新近系等四个“巨层序”,石油地质条件相似,因此提出尼泊尔有四套烃源岩:Siwalik 群、Surkhet 群、

Gondwana 群和 Lakharpata 群。加拿大石油公司(1993)首次对尼泊尔南部开展了较系统的石油地质条件调查,认为尽管 Siwalik 群是 Potwar 盆地的重要烃源层,在尼泊尔南部发育厚度巨大,但从地表调查显示, Siwalik 群并不含有烃源岩,而 Surkhet 群、Gondwana 群和 Lakharpata 群均具有烃源岩发育。

根据沉积与构造条件分析,代莱克地区不发育 Siwalik 群,但 Surkhet 群、Gondwana 群和 Lakharpata 群发育良好,以下分别对其生储盖条件进行分析。

4.2.1 Surkhet 群

2019 年作者考察发现,在 Surkhet 群下部的 Melpani 组的底砾岩和砂岩中普遍含有大量的干沥青,显示曾经有过大规模的油气运移和聚集。

烃源岩主要发育在 Surkhet 群中部的 Swat 组中,为其下部不等厚互层的深灰色页岩与灰色薄层状泥岩,二者的比例为 1:3 左右,厚度 >150m,其中发育豆荚状或透镜状钙质泥岩、石灰岩,可见丰富的腕足和双壳类化石,大小 1~3cm,壳较薄,具有浅海陆棚沉积特征。2016 年分别对泥岩和页岩进行采样分析,TOC 分别为 0.40% 和 0.89%,Ro 分别为 0.806 和 0.86(表 2)。据加拿大石油公司(1993)的报告,对 Swat 组分析了 26 件样品,TOC 为 0.07%~2.80%,平均为 0.57%,其中有 3 件样品 TOC >2%。

对于储集岩, Melpani 组和 Suntar 组发育中—粗粒的石英砂岩和长石石英砂岩,以滨岸相、三角洲前缘相为主,厚度大,可能是较好的储集层。

Surkhet 群盖层比较发育,各组中均发育较好的泥岩、页岩,甚至灰岩盖层。

总之, Surkhet 群发育较好的生储盖组合。在 Potwar 盆地,与之相当的地层是油气勘探的重要目的层^[6]。

4.2.2 Gondwana 群

Gondwana 群主要出露于尼泊尔东部和中部,被认为是恒河平原东部发现的凝析气的源岩和储层^[6]。在 Dailekh 地区 Gondwana 群未出露地表,但在东部相邻的 Tansen 地区广泛出露,西部相邻地区也有部分地层出露,因此,推测在 Dailekh 地区深部应该有所保留。

Gondwana 群总厚度达 1002m,烃源岩主要为 Sisne 组页岩和 Amile 组的页岩,二者均为浅海陆棚相沉积。据加拿大石油公司(1993)的报告,在 Sisne

组中共采获 TOC 含量大于 1% 的样品 11 件,最高达 7.11%。作者 2016 年对 Tansen 地区 Gondwana 群上部 Amile 组黑色页岩进行采样分析,其 TOC 含量为 0.44%,Ro 为 1.098,为 II 型干酪根(表 2)。

总体上, Gondwana 群发育较好的烃源岩,且 Amile 组大量页岩可作为良好的盖层,但其中储集岩并不发育。

4.2.3 Lakharpata 群

Lakharpata 群与印度的 Vindhyan 群同时异相,后者被认为是恒河盆地的主力烃源岩。在尼泊尔, Lakharpata 群广泛分布,总厚度可达 5000m,为一套滨岸、台地、陆棚相沉积。烃源岩主要发育在下部的 Sangram 组和上部的 Katwa 组。

Sangram 组为一套陆棚相灰色—深灰色薄层状页岩,以及粉砂岩、泥灰岩组成,最大厚度达 1700m,其中发育炭质页岩,厚度 >60m,可能是很好的烃源岩。作者 2016 年采自东部 Dharan 地区的 2 件炭质页岩样品,TOC 含量分别为 5.56% 和 16.51%,Ro 为 0.99 和 1.139,为 III 型干酪根(表 2),可能尚具有生烃能力。但据加拿大石油公司(1993)的报告,其采自中部地区的炭质页岩 TOC 含量为 1.6%~10.33%,热演化程度已达过成熟。

Katwa 组,总厚度达 400m,下部为灰—灰绿色页岩,上部为灰色页岩夹黄灰色薄层状灰岩和白云岩,含极薄层炭质页岩。据加拿大石油公司(1993)的报告,取自 Dailekh 南部 Suerketh 一带的 2 件样品 TOC 含量分别为 1.18% 和 2.67%,采自 Tansen 地区的 4 件样品 TOC 含量分别为 0.43%、0.63%、0.65% 和 1.05%,说明 Katwa 组是较好的烃源岩。

Lakharpata 群主要由碳酸盐岩和页岩组成,孔隙不发育,但是在 Gawar 组灰岩、白云岩中溶洞十分发育,大小不等,而且整套地层中裂缝很发育,很可能形成良好的储集空间。在巴基斯坦 Potwar 盆地中大约 60% 的油田来自碳酸盐岩储层,主要来自构造诱发的裂缝系统^[7]。因此, Lakharpata 群可能发育较好储层,其中的页岩和泥岩可以作为盖层,是有利的油气勘探目的层。

4.3 沉积—构造和圈闭条件

Dailekh 地区位于低喜马拉雅构造带,属典型的造山带,经历了复杂的演化历史,以往缺乏对其油气条件的分析。本文首次对其沉积—构造位置和可能的圈闭类型进行分析。

4.3.1 沉积—构造条件

尼泊尔位于印度地块的北缘,自元古代以来经

历了稳定的被动大陆边缘沉积环境,但是,根据已有资料,其古地理面貌却变化很大。从纵向上看,在古老的印度地盾之上,中元古代就已经开始接受沉积,直到早古生代,发育了一套稳定的滨岸-陆棚沉积(印度称 Vindhyan 群,尼泊尔称 Lakharpata 群),厚度达 5000m 以上,之后,经历了两次长期的隆升剥蚀作用,第一次是早古生代,第二次是晚古生代末—晚三叠世。从横向上看,尼泊尔南部—印度北部自元古代以来大部分位于隆升剥蚀区,局部发育陆相、潮坪和潟湖沉积^[8],古生代以来大部分缺失沉积,沉积区以陆相为主,仅有少量海相沉积;尼泊尔的中部地区则以海相沉积为主(图 3);尼泊尔北部应该是海相沉积最发育,各时代沉积最完整的地区。自中新世以来,由于喜马拉雅带造山作用而缩短了 418~493km^[2],该造山作用使得新近纪以前的地层大部分深埋于变质岩推覆体之下,因此,作者认为,不考虑构造的破坏作用,尼泊尔中—北部才是最有利的烃源岩发育和油气生成的地区。

4.3.2 圈闭条件

根据上述分析, Dailekh 地区主要有地层圈闭和构造圈闭。

地层圈闭包括储层的尖灭、沉积相变、后期溶蚀、不整合面等所形成的各类圈闭。Suerketh 群的 Melpani 组和 Suntar 组中滨岸相石英砂岩、三角洲前缘相长石石英砂岩等与泥岩、页岩互层产出,可以形成很好的岩性圈闭。Lakharpata 群中 Gawar 组和 Aru 组灰岩、白云岩后期溶蚀作用发育,可形成溶洞或溶孔型储层和油气圈闭。Lakharpata 群、Gondwana 群、Suerketh 群之间均发育长期的沉积间断不整合面,尤其是在 Gawar 组或 Aru 组灰岩、白云岩的顶部发育的溶蚀面,以及在 Melpani 组底部发育的冲刷面都可以形成不整合面型油气圈闭,在 Melpani 组底砾岩和砂岩中丰富的沥青可能就与此有关。

在构造圈闭分析方面, Dailekh 地区位于低喜马拉雅构造带两条主推覆断裂之间相对薄弱的地带,地表主要为中—低级变质岩覆盖,并出露大量沿背斜轴部断裂分布的油气苗。根据构造作用特征,推测变质岩的下伏地带发育未变质的前寒武纪—中生代地层(图 5),而且区内构造十分复杂,各类断裂、褶皱十分发育,对比巴基斯坦 Potwar 盆地的油气圈闭特征,可以认为其中也发育背斜圈闭、断层圈闭和裂缝圈闭等构造圈闭类型。

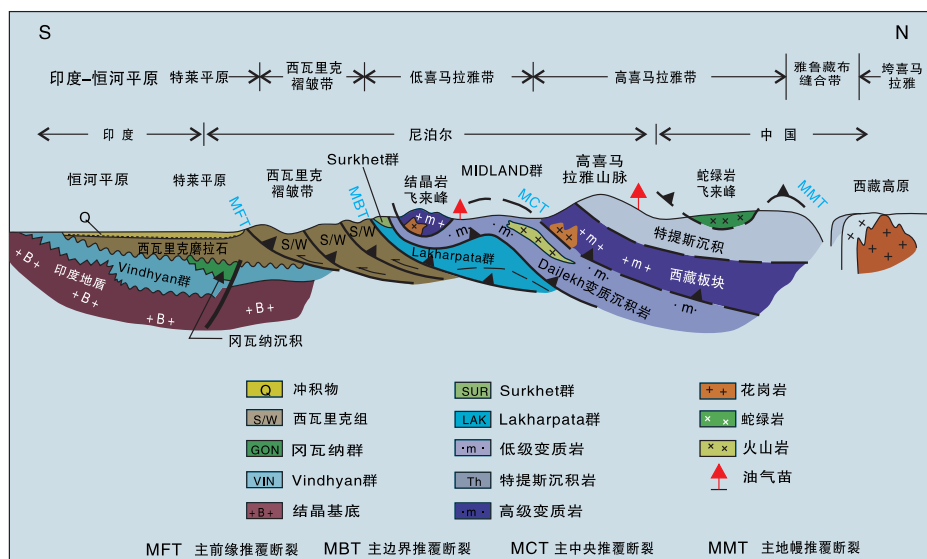


图 5 尼泊尔地质构造剖面示意图(据文献 1 修改)

Fig. 5 Schematic geological structure profile in Nepal(after Ref. [1])

在 Potwar 盆地,油气构造圈闭包括断层和逆冲相关背斜、突起构造和倾斜断块等^[6],位于盆地北缘的里亚西(Riasi)前寒武系外来体北部,杰纳布河从西向南突然转向,形成一个圈,这种排水异常表明存在地下地质构造,可以作为潜在的油气圈闭,

沿着杰纳布河有大量气苗^[9]。这一特征与 Dailekh 地区油气苗的分布极为相似。此外,叠瓦式冲积扇、断裂双重构造、堆叠逆冲岩席、反序型逆冲、再活动断坡和与背冲断层相关的双重结构都可能形成潜在的油气圈闭^[9],在 Potwar 盆地已经确定的 12

个油田的富集类型被分类为三个拆离褶皱、四个断层传播褶皱、四个冲起构造和一个三角地带结构^[6]。相比之下, Dailekh 地区推覆构造发育, 油气显示丰富, 地下势必也存在这类油气构造。

5 结论

(1) 尼泊尔西部 Dailekh 地区位于主中央推覆断裂和主边界推覆断裂之间的低喜马拉雅构造带, 构造相对稳定, 地表主要出露前寒武纪低级变质岩, 南部出露未变质的前寒武纪—中生代沉积岩。

(2) Dailekh 地区位于印度大陆北缘, 发育前寒武纪—早古生代、石炭纪—二叠纪、侏罗纪—白垩纪海相沉积, 包含 4 套烃源岩层, 多个生储盖组合。

(3) Dailekh 地区发育多处油气苗点, 产于低级变质岩中, 沿背斜轴部断裂分布, 地球化学分析显示其为高成熟烃源岩裂解的产物, 可能来自变质岩推覆体下伏沉积岩层。

(4) Dailekh 地区推覆体的下伏地层中可能存在各种类型的地层圈闭和构造圈闭, 具有较好的油气勘探前景, 断层和逆冲相关的背斜、突起构造和倾斜断块等是找油气的重要构造。

注释:

- ① Department of Mines and Geology of Nepal and Petro-Canada, Hydrocarbon Prospective Assessment of Southern Nepal (1993).
- ② Department of Mines and Geology of Nepal, The kingdom of Nepal exploration opportunities-General Report Volume I (1995).
- ③ Department of Mines and Geology of Nepal and Petro-Canada, Hydrocarbon Prospective Assessment of Southern Nepal, 1993.

- ④ Department of Mines and Geology of Nepal, The kingdom of Nepal exploration opportunities-General Report (Volume 1), 1990.

参考文献:

- [1] Rahman H, Shrestha U B, Duvadi A K, et al. Annual Report of Department of Mines and Geology [M]. Kathmandu: Government of Nepal Ministry of Industry, 2013, No. 9 & 10. 75–77.
- [2] De Celles P G, Robinson D M, Quade J, et al. Stratigraphy, structure, and tectonic evolution of the Himalayan fold-thrust belt in western Nepal [J]. Tectonics, 2001. 20(4): 487–509.
- [3] Dhital M R. Geology of the Nepal Himalaya [M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. 23–33.
- [4] Upreti B N. An overview of the stratigraphy and tectonics of the Nepal Himalaya [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1999, 17: 577–606.
- [5] Sakai H. Geology of the Kali Gandaki Supergroup of the Lesser Himalayas in Nepal [J]. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. D, 1985, 25: 337–397.
- [6] Craig J, Hakhoo N, Bhat GM, et al. Petroleum systems and hydrocarbon potential of the North-West Himalaya of India and Pakistan [J]. Earth-Science Reviews, 2018, 187: 109–185.
- [7] Wandrey CJ, Law BE, Shah H A. Patala-Nammal composite total petroleum system, Kohat-Potwar geological province, Pakistan [M]. Petroleum Systems and Related Geologic Studies in Region 8, United States Geological Survey Bulletin, 2004, 1–18.
- [8] Gyana R T, Sunil K S. Re-Os depositional age for black shales from the Kaimur Group, Upper Vindhyan, India [J]. Chemical Geology, 2015, 413: 63–72.
- [9] Bhat G M., Koul S, Ram G. Potential for oil and gas in the Proterozoic carbonates (Sirban Limestone) of Jammu, northern India. Geological Society London, Special Publication. 2009, 326, 245–254.

Petroleum geological conditions in Dailekh area, western Nepal

Tan Fuwen, Yang Ping, Wang Zhenghe, Zhan Wangong, Du Baiwei, Li Zaihui
(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: It is of great significance to analyze the petroleum geological conditions of Nepal to promote the exploration and development of oil and gas in Nepal. Basing on comprehensive collections of geological data related to oil and gas in Nepal, combining with field investigation and a number of sample analysis results, this paper reports the regional geology, oil and gas exploration status, regional structural characteristics and stratigraphic developments in Nepal, and analyzes oil and gas seeps, source conditions, source reservoir caps and oil and gas trap conditions exposed in Dailekh area. It is concluded that: (1) there are four sets of hydrocarbon sources in Dailekh area; (2) a number of source reservoir cap assemblages are with potential exploration prospects for oil and gas; (3) the oil and gas seeps are the products of the cracking of highly matured source rocks, which probably came from the sedimentary strata under the metamorphic nappe; (4) the anticlines, protruding structures and inclined fault blocks related to faults and thrusts are important structures for oil and gas exploration.

Key words: oil and gas seep; oil and gas geology; exploration history; Nepal