

doi: 10.11720/wtyht.2024.1339

刘中戎, 胡悦, 范志伟, 等. 羌塘盆地白云湖凹陷航空重磁异常特征及其油气勘探意义[J]. 物探与化探, 2024, 48(1): 48-57. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2024.1339>Liu Z R, Hu Y, Fan Z W, et al. Airborne gravity-magnetic anomalies in the Baiyunhu sag, Qiangtang Basin: Characteristics and implications for oil and gas exploration[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2024, 48(1): 48-57. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2024.1339>

羌塘盆地白云湖凹陷航空重磁异常特征 及其油气勘探意义

刘中戎¹, 胡悦², 范志伟¹, 贺鸿冰¹, 周道卿², 郭志宏², 曹宝宝², 魏岩岩²

(1. 中国石油化工股份有限公司勘探分公司, 四川 成都 610041; 2. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 航空重磁数据是揭示盆地深部构造的有效手段, 本文通过最新测量的航空重磁数据结合野外实测物性资料, 阐述了白云湖凹陷航空重磁异常特征及其地质成因, 利用航空重磁资料识别出白云湖凹陷断裂与岩浆岩的分布情况, 采用人工切线法、功率谱分析法和 Parker-Oldenburg 迭代反演算法, 计算了白云湖凹陷基底埋藏深度与中生界底面构造形态, 并通过重点剖面重磁综合解释, 对构造分层结果进行了验证。研究结果表明白云湖凹陷中生界、古生界沉积层的起伏变化是引起重力异常的主要因素, 区域航磁异常则主要反映了前寒武纪基底展布特征。白云湖凹陷基底埋深较深, 中生界分布连续且厚度较大, 区域断裂—岩浆活动不发育, 整体受构造运动影响较少, 具有较好的油气勘探前景。

关键词: 白云湖凹陷; 航空重磁异常; 构造分层; 油气勘探意义; 羌塘盆地**中图分类号:** P631.4**文献标识码:** A**文章编号:** 1000-8918(2024)01-0048-10

0 引言

羌塘盆地是我国陆上新区勘探程度最低、面积最大、地层层序最完整的中生代海相含油气盆地^[1]。国家在羌塘盆地开展的石油地质调查及研究工作始于 20 世纪 50 年代, 先后进行过石油地质填图、遥感、重力、航磁、大地电磁、化探、二维反射地震勘探、钻探等工作, 在地层、沉积及古地理演化、构造区划、地球物理场特征等方面, 取得了众多的创新成果认识^[1-9]。最新的航空重磁数据揭示, 羌塘盆地存在多个次级凹陷, 最西侧的白云湖凹陷分布范围最大, 油气勘探前景最好^[5,8]。但对该区的研究目前多集中在其南部喷呐湖一带较小范围里, 研究内容涉及地层、构造及岩性组合等方面^[1,10-12], 而对白云湖凹陷基底埋深特征、构造层分布等情况鲜有

涉及, 利用航空重磁数据, 研究白云湖凹陷基底及上覆地层构造形态及其连续性, 可为评价北羌塘拗陷油气保存条件提供重要依据。

1 地质背景

白云湖凹陷位于北羌塘拗陷西北部(图 1), 那底岗日西面, 布若错东面, 研究区西南角为蜥蜴山, 南面为玛尔果茶卡, 研究区内有长梁山、元宝湖、白云湖、光明湖、沙土湾湖等, 凹陷呈 NW 向展布, 面积约为 6 072 km²。

研究区内地表出露地层主要为侏罗系雀莫错组(以含砾砂岩、砂岩为主)、布曲组(以灰黑色泥晶灰岩、生物屑泥晶灰岩、亮晶灰岩为主)、索瓦组(以泥晶灰岩为主), 古近系出露喷呐湖组, 主要为含砾砂岩、含石膏灰岩、泥晶生物屑灰岩组合(图 2)。

收稿日期: 2023-09-27; **修回日期:** 2023-12-01**基金项目:** 中国石油化工股份有限公司科技部项目“羌塘盆地油气资源潜力分析与勘探关键技术”(P22199); 中国地质调查局项目“羌塘及塔里木等盆地航空物探调查”(DD20160065)**第一作者:** 刘中戎(1972-), 男, 高级工程师, 1995 年毕业于中国地质大学(武汉), 从事油气勘探与地质综合评价工作。Email: ktnflzr@163.com**通讯作者:** 胡悦(1986-), 女, 高级工程师, 2012 年毕业于中国地质大学(北京), 从事油气航空物探调查与解释工作。Email: 27wjlnhy@sohu.com

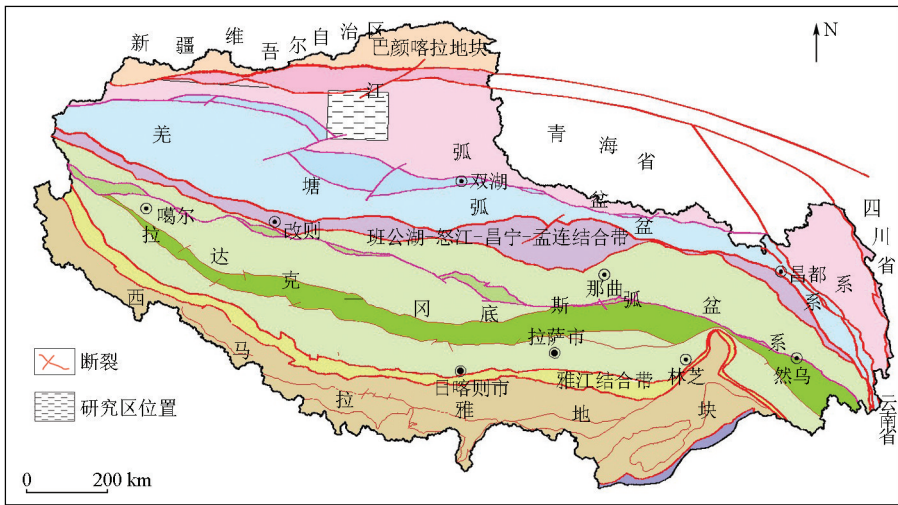


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the research area

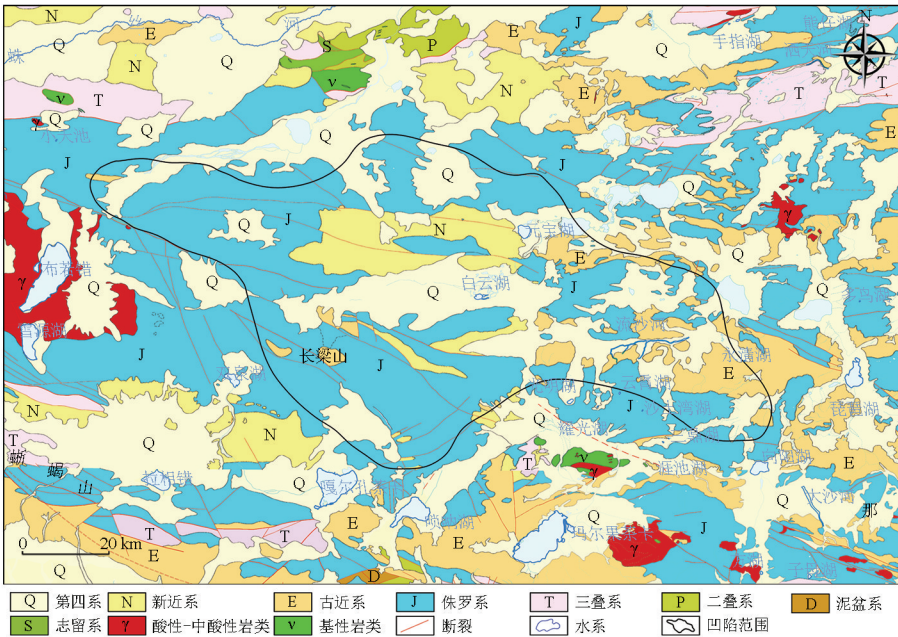


图 2 研究区区域地质

Fig. 2 Regional geological map of research area

羌塘盆地目前已经发现 200 多处油气显示,表明该地区有过油气的生成、聚集、运移和成藏过程^[7]。羌塘盆地大致可分出 N_1k 、 E_3s 、 K_1b 、 J_3x 、 J_3s 、 J_2x 、 J_2b 、 T_3x 、 P_2r 、 P_1l 等十余套生油层,其中,羌塘盆地侏罗系沉积连续、厚度巨大($>5\ 000\ m$),自下而上包括下侏罗统曲色组,中侏罗统雀莫错组、布曲组、夏里组和上侏罗统索瓦组、雪山组、白龙冰河组^[13]。对于羌塘盆地主要烃源岩一直有不同的认识,王剑等^[1]认为羌塘盆地主力烃源岩主要有 4 套,分别是肖茶卡组(T_3x)、布曲组(J_2b)、夏里组(J_2x)和索瓦组(J_3s);而王成善等^[2]认为上侏罗统曲色组(J_1q)油页岩为盆地主力烃源岩。钻井资料揭示北羌塘发育有多套烃源岩,其中上三叠统陆

棚—三角洲相烃源岩在区域内分布范围广,有机质丰度高,是最主要烃源岩。区域发育多套储层,无论是井下储层,还是地表储层均表现为低孔、低渗的特征,与地表相比,井下储层的物性特征及孔隙结构特征均明显偏差。羌塘盆地发育上三叠统巴贡组、中下侏罗统雀莫错组和中侏罗统夏里组三套区域性盖层,其他为局部盖层,生储盖条件优越^[7]。

2 物性特征

研究区内及周边地区岩矿石的物性特征为航空重磁异常资料推断解释的重要依据之一,依据野外实测与搜集的物性资料(表 1),研究区垂向上存在

4 个明显的密度层,可以划分出 3 个密度界面,即新生界与中生界之间,中生界与古生界之间,古生界与前寒武系之间。新生界岩性以紫红色砂砾岩、泥岩为主,密度值在 $1.7\sim 2.61\text{ g/cm}^3$,构造层平均密度值约 2.50 g/cm^3 ,表现出低密度特征。中生界以砂岩、碳酸盐岩为主,密度在 $1.73\sim 2.99\text{ g/cm}^3$,构造层平均密度值约 2.61 g/cm^3 ,显示出中等密度特征,与上覆地层之间的密度差约为 0.11 g/cm^3 。古生界泥盆、石炭及二叠系以灰岩、硅质岩、白云岩为主,地层密度在 $2.38\sim 2.94\text{ g/cm}^3$,构造层平均密度值约 2.67 g/cm^3 ,表现出高密度特征,与上覆地层之间的密度差约为 0.06 g/cm^3 。前寒武系以大理岩、片麻岩为主,密度为 $2.61\sim 2.97\text{ g/cm}^3$,构造层平均密度值为 2.77 g/cm^3 ,显示出高密度特征,与上覆地层之间的密度差约为 0.10 g/cm^3 。总的来看,区内岩石密度有随着地层时代的变老而逐渐增大的规律。

羌塘地区实测的变质岩(硅质岩、石英岩、大理

岩、板岩、石英片岩、石英云母片岩、绿泥片岩)磁化率值为 $(0\sim 150)\times 10^{-5}\text{SI}$,平均值为 $30\times 10^{-5}\text{SI}$,属弱磁性。聂荣岩群($\text{An}\in\text{Ngn}^2$)片麻岩磁化率较高,最高值 $6\,418\times 10^{-5}\text{SI}$,平均值为 $3\,148\times 10^{-5}\text{SI}$,显示羌塘地区发育强磁性变质结晶基底;中生界、古生界碳酸盐岩和碎屑岩的磁化率值均小于 $30\times 10^{-5}\text{SI}$,基本上无磁性。蛇绿岩套内部橄榄辉长岩、玄武岩等磁性极强,磁化率均值可达 $1\,765\times 10^{-5}\text{SI}$,可产生明显的航磁异常。

羌塘盆地内正常沉积碎屑岩、碳酸盐岩及其变质岩,酸性火山岩和部分酸性侵入岩磁性普遍较弱,是形成区域降低负磁场的主要因素。中基性火山岩、中酸性侵入岩(黑云母花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩)和基性、超基性岩磁性变化范围较大,具有磁性强、剩磁较大的特点,是引起区域升高正磁场和航磁局部异常的主要因素。

表 1 研究区密度层划分、磁化率统计

Table 1 Magnetic determination results of rocks and density distribution of the strata in the research area

地层		岩性	密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)			磁化率/(10^{-5}SI)		
界	系		极大值	极小值	平均值	极大值	极小值	平均值
新生界	新近系	含砾砂岩	2.61	2.38	2.52	35	12	25
		砂岩	2.53	2.20	2.43	87	3	39
	古近系	油页岩	2.10	1.70	1.88	11	4	8
中生界	白垩系	砾岩	2.67	2.44	2.56	16	3	8
		砂岩	2.66	2.33	2.53	27	16	22
		灰岩	2.70	2.67	2.65	20	7	13
	侏罗系	砂岩	2.75	2.19	2.59	97	1	50
		膏盐	1.98	1.73	1.82	8	2	5
		灰岩	2.99	2.53	2.66	35	1	20
	三叠系	砂岩	2.82	2.40	2.55	47	4	18
		灰岩	2.69	2.63	2.66	11	4	8
		玄武岩	2.96	2.73	2.85	951	178	567
古生界	二叠系	灰岩	2.85	2.38	2.67	36	4	12
		砂岩	2.66	2.62	2.65	43	18	30
		玄武岩	2.94	2.83	2.89	1129	350	708
	石炭系	灰岩	2.69	2.63	2.67	17	8	12
		泥质粉砂岩	2.75	2.71	2.73	47	31	38
	泥盆系	灰岩	2.69	2.56	2.65	14	6	10
		白云岩	2.83	2.68	2.78	15	6	11
元古宇	前寒武系	大理岩	2.84	2.71	2.75	84	5	27
		片麻岩	2.79	2.61	2.70	225	25	95
		斜长角闪片麻岩	2.90	2.72	2.76	6349	760	2479
		斜长角闪岩	2.97	2.75	2.91	3327	63	910
		角闪变粒岩	2.76	2.71	2.72	4121	1397	2349

3 重磁场特征

白云湖凹陷磁场面貌以宽缓变化背景场叠加数个孤立团块化升高局部异常为主要特征(图 3),凹陷区磁场面貌较外部磁场明显平静、均一,磁场变化

范围为 $-7.8\sim 5.6\text{ nT}$,高值异常走向近 EW 向。在航磁 ΔT 垂向一阶导数图上中部显示有异常圈闭(图 4),最高值为 0.5 nT/km ,各局部异常主体独立,边界清晰,高值磁异常中心主要分布在研究区南部、西部。白云湖凹陷整体宽缓的磁低背景场为起伏平缓的中等磁性基岩的反映,而孤立局部异常则

是不同磁化率岩体的响应,经实测岩石磁化率统计结果,该区附近中酸性岩体磁化率相对较低,平均在 $100\times 10^{-5}\text{SI}$ 左右,可引起低幅值局部异常,而南部噶尔孔茶卡出露的新生代辉绿岩磁化率较高,为 $870\times 10^{-5}\text{SI}$ 左右,在磁场中会引起较高的磁异常,经垂向一阶导数处理后,突出了异常形态,异常边界更为清晰。

白云湖凹陷重力场总体呈现西低东高的面貌(图5),重力场由西向东缓慢升高,可见明显圈闭,异常值范围为 $(-554\sim -558)\times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 。航空布格

重力垂向一阶导数图上表现为平静背景场中叠加局部升高正异常的场面貌(图6),异常值最高处为元宝湖西部,约 $0.85\times 10^{-8}\text{m/s}^2$ 。长梁山以北重力低值区附近出露白垩纪花岗斑岩,实测密度为 2.58g/cm^3 ,低于古生界(平均密度值 2.67g/cm^3)和中生界(平均密度值为 2.61g/cm^3)围岩密度,产生质量亏损,且此异常中心与磁化极高值异常中心对应较为良好,推断其下存在隐伏中酸性岩体,相对低密度的中酸性岩体是引起局部重力场低值的主要原因。

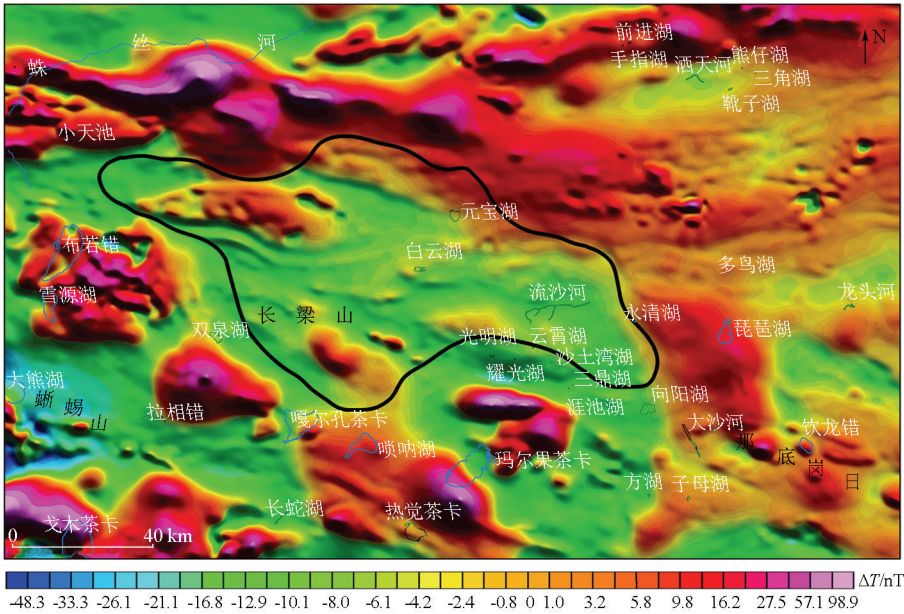


图3 白云湖凹陷航磁 ΔT 化极

Fig. 3 Reduced-to-pole regional aeromagnetic (ΔT) anomalies in the Baiyunhu sag

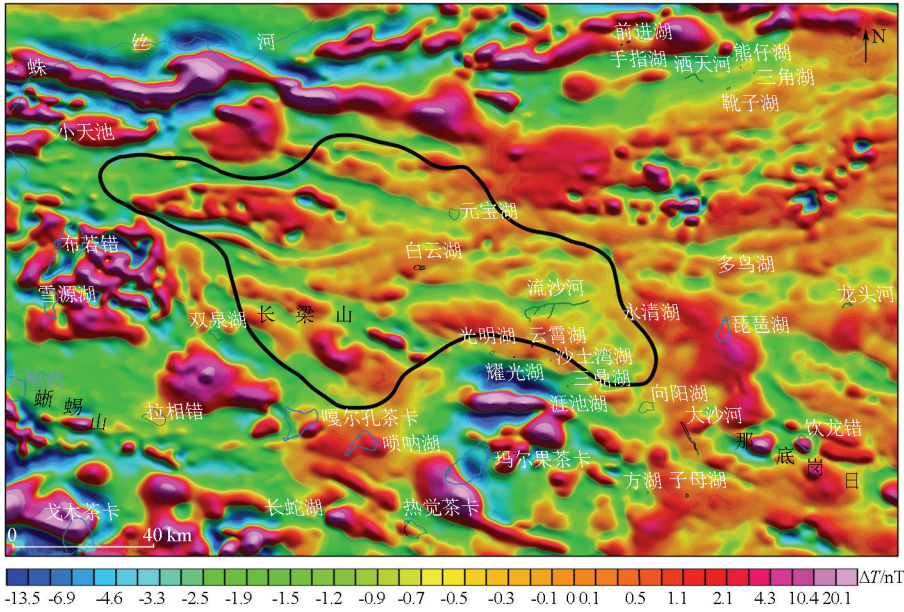


图4 白云湖凹陷航磁 ΔT 垂向一阶导数

Fig. 4 Diagram of the vertical first derivative for reduced to pole regional aeromagnetic (ΔT) in the Baiyunhu sag

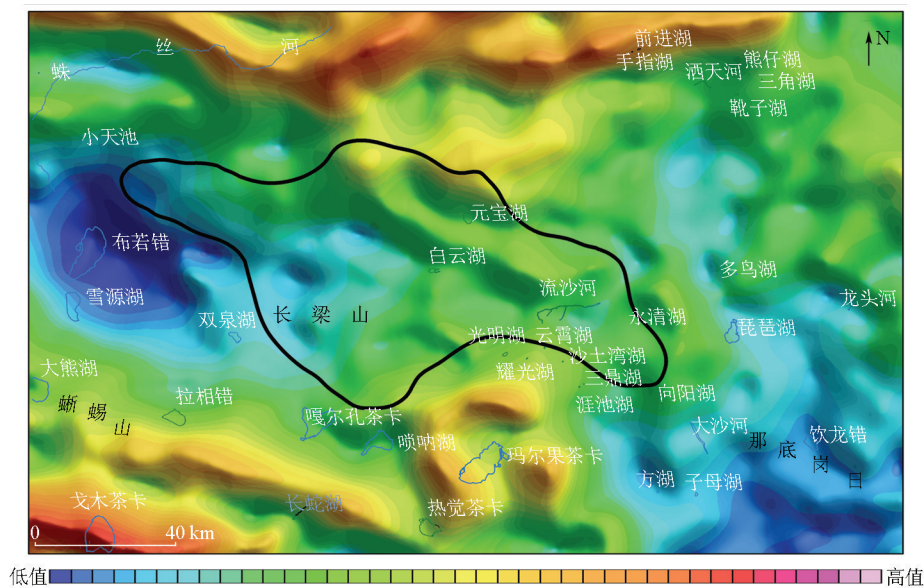


图 5 白云湖凹陷航空布格重力场平面

Fig. 5 Color grid of the airborne Bouguer gravity in the Baiyunhu sag

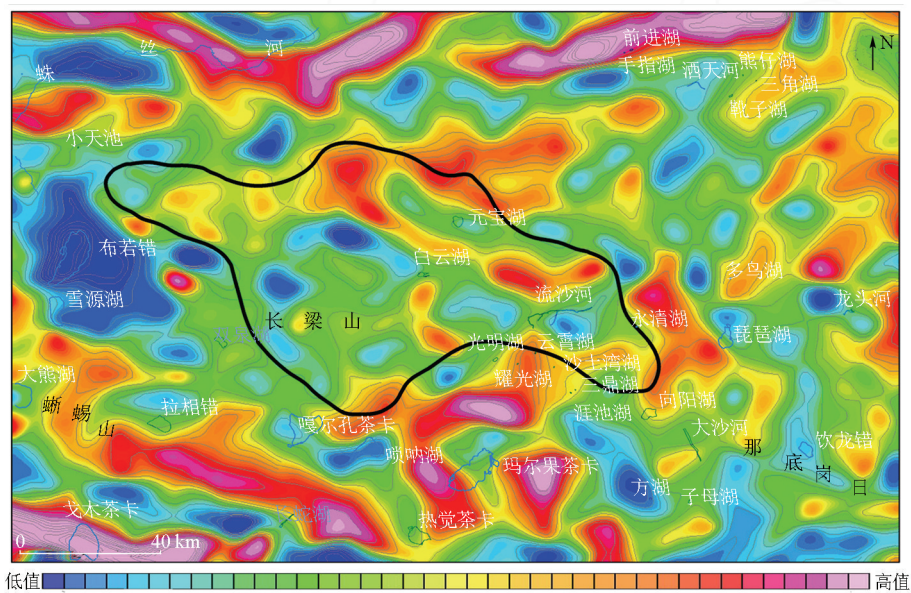


图 6 白云湖凹陷航空布格重力垂向一阶导数

Fig. 6 Diagram of the vertical first derivative for airborne Bouguer gravity in the Baiyunhu sag

4 推断断裂及岩浆岩分布特征

4.1 断裂特征

羌塘盆地自元古代以来历经多期构造运动,其中,晚侏罗世末期拉萨地块与羌塘地块持续碰撞,羌塘盆地受南北向强烈挤压,使得北羌塘盆地 EW 向、NNW 向断裂活跃,派生出一系列同向次级断层及小型反向倾斜次级断层,上新世以来,青藏高原隆升,EW 向、NNW 向断裂再度活跃,形成一系列 NE、NW 向共轭走滑断裂系,这些断裂在航空重磁场中

具有清晰的反映。通过对正负场分界线、异常梯度带、串珠或团块状异常分布情况的研究,识别出白云湖凹陷一带 2 条一级断裂(图 7),分别为北羌塘北部边界 EW 向断裂组合(F_2 、 F_3)与中央隆起带北部 NNW 向断裂(F_5),2 条断裂将白云湖凹陷夹于其中,呈现出较为完整的 NNW 向块状构造。利用航磁 ΔT 垂向一阶导数图与航空布格重力垂向一阶导数图也识别出了受强烈挤压应力形成的 NNW 向展布的次级断裂,如 F_{25} 、 F_{26} 、 F_{27} 等,及一系列同向展布的三级断裂。

图 8 计算结果表明,白云湖凹陷为北羌塘坳陷内部基底埋藏最深的区域,达 15 000 m;南、北两侧受 NW 向、近 EW 向深大断裂控制,形态似平行四边形,整体近 EW 向展布;东部基底埋藏深度较西部深,凹陷内部存在 2 条 NW 向展布的大型断裂,凹陷中心夹于其中,凹陷西部有 EW 向展布的中型基底凸起,埋藏深度 9 000 m;长梁山一带存在一处小型基底凸起,埋藏深度约为 6 000 m;白云湖凹陷分布范围大、形态完整且基底埋藏较深,能大体反映出其上古生界及中生界沉积厚度的变化特征(图 8)。

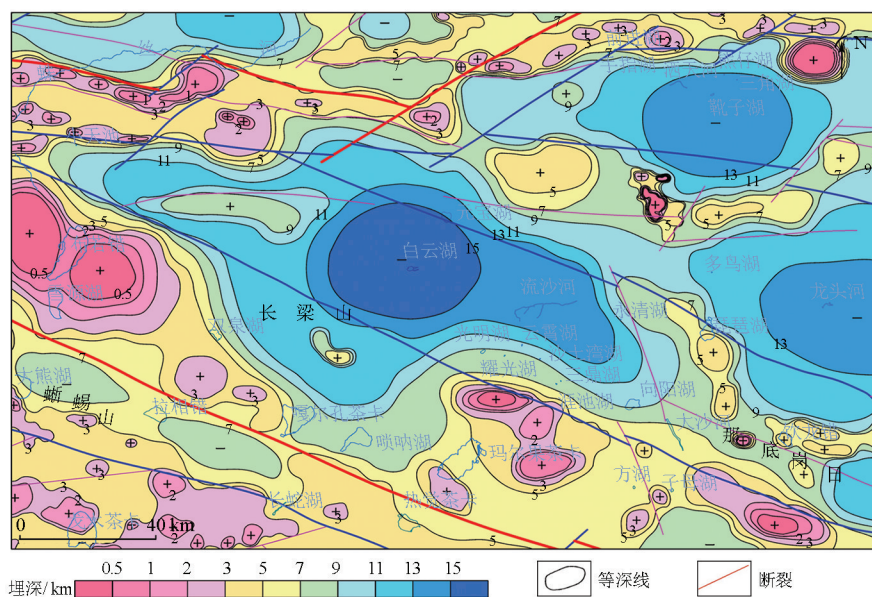


图8 白云湖凹陷磁性基岩埋藏深度

Fig. 8 Color shaded grid of the depth of the top of the magnetic basement in the Baiyunhu sag

5.2 中生界构造特征

根据实测密度资料,区内存在3个主要密度界面:新生界平均密度为 2.50 g/cm^3 ,与下伏中生界密度差 0.11 g/cm^3 ;中生界平均密度为 2.61 g/cm^3 ,与下伏古生界密度差 0.06 g/cm^3 ;古生界平均密度为 2.67 g/cm^3 ,与下伏前寒武系密度差 0.10 g/cm^3 ;前寒武系变质基底密度最大,平均密度 2.77 g/cm^3 。因此,可以通过重力数据构造分层方法对新生界、中生界、古生界进行异常分离和深度计算^[5,8]。白云湖地区新生界不发育,基底深度基本可以代表古生界底界面特征,本次研究重点对中生界异常进行分离和深度计算。

为获得更高精度的构造层异常分离效果,采用功率谱分析法对中生界构造层的异常进行分离,通过频率域中的Parker-Oldenburg迭代反演其埋藏深度,主要为约束顶底面网格并加滤波圆滑的方法获得中生界底面深度数据,结合地质、地震等综合信息进行深度图编制^[5]。

编图结果表明(图9):白云湖凹陷中生界分布连续,展布形态受基底、断裂控制影响,呈近EW向分布,整体形态较为完整;中生界深度平均在6 000 m,内部存在8个凹陷中心,如白云湖、双泉湖、光明湖等深度大多在6 500~7 000 m,最深处在白云湖西北方,中心深度达8 000 m。

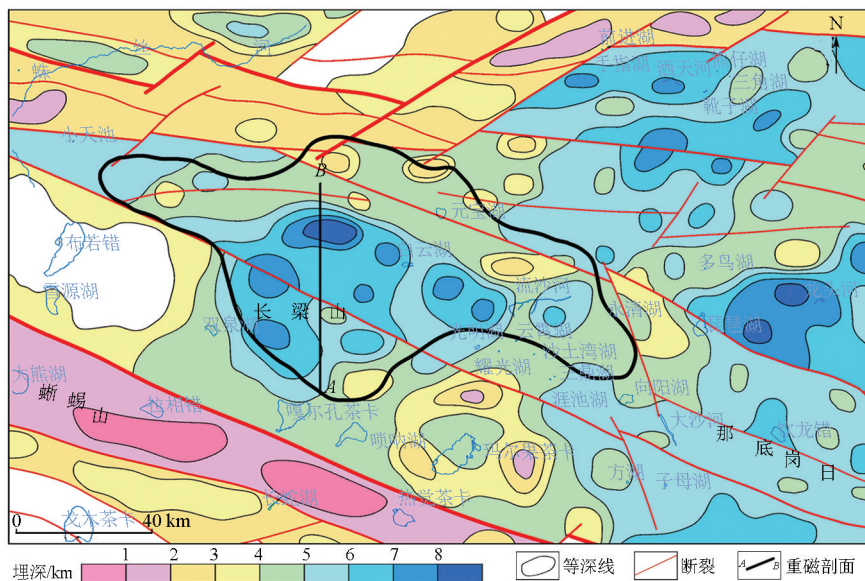


图9 白云湖凹陷中生界底面埋藏深度

Fig. 9 Burial depth of the Mesozoic bottom in the Baiyunhu sag

5.3 典型剖面构造解释

为研究引起白云湖凹陷重磁异常的地质成因,以及深部构造层变化规律,选取南北向贯穿白云湖凹陷的典型剖面(剖面位置见图9中AB剖面),依据实测物性资料,进行剖面航重—航磁联合反演解释。所选剖面切过南北两处高值磁异常和一处布格重力低值异常,贯穿了白云湖西侧中生界沉积凹陷中心,地质图中出露地层为下侏罗统雀莫错组(J_1q)、上侏罗统索瓦组(J_3s)、上新统双泉湖组(N_2sq)、中新统喷呐湖组(N_1s)。为了尽可能保留反演数据精度,航空重磁数据均沿实测航迹剖面提取,磁测数据相邻点距约10 m(10次/s采样率),重力数据相邻点距约50 m(2次/s采样率)。

本次剖面拟合使用了人机交互式重磁正反演软件RGIS,以最优化理论为基础,使用二维半模型(2.5D)来模拟二度和三度地质体,整个计算过程在计算机上完成。2.5D人机交互拟合,是以二维半多

边形截面积水平棱柱体作为场源体的初始模型,并根据先验地质资料和半定量解释结果,对所有参数估计初始值进行设置,而后采用人机交互修改,计算机自动迭代反演相结合的方式,求取地下地质体埋深、空间形态和体积的技术^[14]。

剖面反演计算成果图中显示(图10),白云湖凹陷从南向北变质基底及上伏地层分布整体呈现连续形态,基底在剖面北侧微隆,噶尔孔茶卡北部发育大型断裂,并伴随一定规模岩浆活动,深部沿断裂发育一中酸性岩体,平面宽度达9 000 m,基底在此处上隆。古生界、中生界沉积连续,特别是中生界平均厚度达5 500 m,白云湖西侧凹陷中心中生界厚度达8 000 m,呈现沉积稳定且厚度巨大的特点,受岩浆活动影响较少,仅在北部3 000 m深处发育小规模强磁性火山岩,中生界较其他地层具有明显的厚度与稳定性优势。

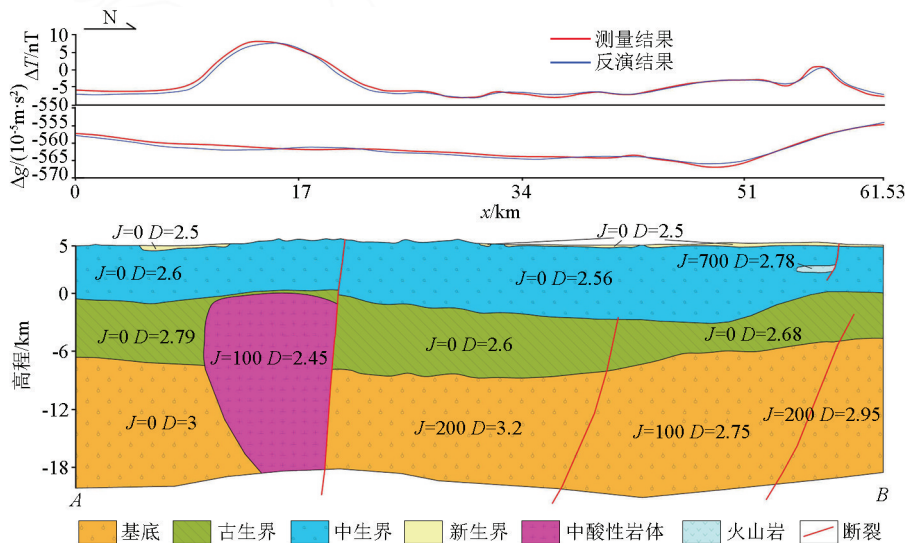


图10 重磁剖面异常解释

Fig. 10 Interpretation of gravity and magnetic anomaly profiles

6 油气勘探意义

6.1 地质成因分析

白云湖凹陷深部构造特征表明,该地区古生界、中生界具备明显的厚度优势,推测是因为北羌塘地块在早三叠世完成拼合后,晚三叠世至早白垩受盆地南侧班公湖—怒江一带地壳拉张破裂,盆地裂陷,中生代海相沉积物连续沉积,形成羌塘盆地中生界厚层海相沉积,为研究区成油地质条件打下坚实的物质基础^[1,7,15]。新生代以来,由于雅鲁藏布江新特提斯的关闭,引起羌塘盆地强烈的构造隆升,造成其内部断块差异上升,大部分地区处于抬升剥蚀阶段,

白云湖地区新生界被剥蚀,这一系列的抬升与剥蚀作用是AB剖面反演结果中新生界地层变薄的主要原因,成就了现今的白云湖凹陷,该区域发生的厚层海相碳酸盐岩沉积、基底及上覆地层抬升是引起白云湖凹陷航空重力异常的主要原因。

区内整体缺乏大规模的岩浆活动,沉积层基本不含火山岩,具有稳定的被动大陆边缘沉积特征^[16-19],中生界、古生界碳酸盐岩和碎屑岩的磁化率值均小于 $30 \times 10^{-5} \text{SI}$,基本上无磁性,可见,白云湖地区平静、低缓的磁场应由磁性弱、埋深大的前寒武纪变质岩系引起。

6.2 油气勘探意义

白云湖地区中生界海相沉积厚度大,从重磁反

演结果看,中生界沉积厚度可达 5 000~9 000 m,为三叠系和侏罗系海相地层多期沉积中心的叠合发育地区,烃源岩层系多、厚度大,其东部北羌塘坳陷半岛湖地区的羌科一井在厚达 4 057 m 的中生界地层中发现 13 层气测异常,侏罗系雀莫错组及夏里组发育了两套重要的硬石膏及含膏泥质岩封盖层,其下均发现了油气显示^[1],通过计算白云湖地区中生界埋藏深度并结合重点剖面重—磁—地质联合反演结果,白云湖凹陷巨厚的中生界沉积存在油气显示的物质基础。白云湖凹陷内部局部构造异常,对应白云湖凹陷内部基岩凸起,重力异常特征清晰,研究区深部存在有引起研究区航空重力异常的侏罗系布曲组、索瓦组碳酸盐岩储集层和上三叠统肖茶卡组的碎屑岩等优质储集层,内部的膏泥岩段可作为良好的盖层,起着很好的封隔作用,储盖条件优越。通过对重点剖面重—磁—地质联合反演,结合前人研究结果,喜马拉雅期羌塘盆地虽然与青藏高原一同开始强烈的隆升和剥蚀,但以整体隆升为主,盆地内部构造变形是青藏高原上最弱的地区^[20],白云湖地区构造形变相对较弱,受断层破坏程度较小,次级断裂规模较小,多期构造活动产生的微裂隙,还增强储集层连通性和储集空间,保存条件有利,有非常好的油气勘探前景。

7 结论

1) 白云湖凹陷航空布格重力高值异常由中生界、古生界海相沉积层的起伏变化引起,航磁高值异常则是由磁性基底、小范围岩浆活动共同作用引起。白云湖凹陷重、磁异常属于非同源异常。

2) 白云湖凹陷断裂构造不发育,全区岩浆活动较弱,仅在南侧存在一处由岩浆沿大型断裂上涌造成的磁性基底隆起,后期油气保存较为有利。

3) 中生界—古生界沉积层总厚度 10 000~15 000 m,中生界分布连续,厚度平均在 6 000 m,且存在 8 个凹陷中心,埋藏深度适中。

4) 白云湖凹陷中生界构造形态主要受基底凹陷控制,凹陷内部沉积层厚度大,地层发育丰富,储盖条件优越,具有良好的油气勘探潜力。

参考文献 (References):

- [1] 王剑,付修根,沈利军,等. 论羌塘盆地油气勘探前景[J]. 地质论评, 2020, 66(5): 1091-1110.
Wang J, Fu X G, Shen L J, et al. Prospect of the potential of oil and gas resources in Qiangtang Basin, Xizang (Tibet) [J]. Geological Review, 2020, 66(5): 1091-1110.

- [2] 王成善,伊海生. 羌塘盆地地质演化与油气远景评价[M]. 北京:地质出版社, 2001.
Wang C S, Yi H S. Geological evolution and gas potential evolution [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001.
- [3] 李志,赵炳坤,杨亚斌,等. 青藏高原及邻区重力系列图及说明书(1:3000000)[M]. 北京:地质出版社, 2013.
Li Z, Zhao B K, Yang Y B, et al. The gravity map of the Qinghai-Tibet plateau and adjacent areas (1:3000000) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- [4] 熊盛青,丁燕云,李占奎. 西藏羌塘盆地的重磁场特征及地质意义[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(6): 999-1007.
Xiong S Q, Ding Y Y, Li Z K. The characteristics of gravity and magnetic fields and their geological significance in Qiangtang Basin, Tibet [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48(6): 999-1007.
- [5] 熊盛青,周道卿,曹宝宝,等. 羌塘盆地中央隆起带的重磁场证据及其构造意义[J]. 地球物理学报, 2020, 69(9): 3491-3502.
Xiong S Q, Zhou D Q, Cao B B, et al. Characteristics of the central uplift zone in Qiangtang basin and its tectonic implications: Evidences from airborne gravity and magnetic data [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2020, 69(9): 3491-3502.
- [6] 陈文彬,付修根,谭富文,等. 羌塘盆地二叠系白云岩油苗地球化学特征及意义[J]. 沉积学报, 2017, 35(3): 611-618.
Chen W B, Fu X G, Tan F W, et al. Geochemical characteristics and significance of Permian dolomite oil seep-ages in Qiangtang Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2017, 35(3): 611-618.
- [7] 付修根,王剑,宋春彦,等. 羌塘盆地第一口油气科学钻探井油气地质成果及勘探意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2020, 40(1): 15-24.
Fu X G, Wang J, Song C Y, et al. Petroleum geological achievements and exploration significance of the first oil and gas scientific drilling well in the Qiangtang Basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2020, 40(1): 15-24.
- [8] 周道卿,曹宝宝,赵睿,等. 羌塘盆地高精度航空重磁调查对盆地基底性质与构造格局的启示[J]. 地质学报, 2021, 95(11): 3178-3191.
Zhou D Q, Cao B B, Zhao R, et al. High-precision airborne gravity and magnetic survey analysis of the Qiangtang basin implications for basin basement properties and tectonic framework [J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(11): 3178-3191.
- [9] 潘桂棠,王立全,尹福光,等. 青藏高原形成演化研究回顾、进展与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 2022, 42(2): 151-172.
Pan G T, Wang L Q, Yin F G, et al. Researches on geological-tectonic evolution of Tibetan plateau: A review, recent advances, and directions in the future [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2022, 42(2): 151-172.
- [10] 解超明,李才,李庆林,等. 藏北羌塘中部首次发现泥火山[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1319-1324.
Xie C M, Li C, Li Q L, et al. First discovery of mud volcanoes in central Qiangtang, northern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(9): 1319-1324.
- [11] 付修根,王剑,谭富文,等. 藏北羌塘盆地油气地质勘探新进展[J]. 沉积与特提斯地质, 2015, 35(1): 16-24.

- Fu X G, Wang J, Tan F W, et al. Recent progress in oil and gas geological exploration in the Qiangtang Basin, northern Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2015, 35(1): 16-24.
- [12] 吴珍汉, 赵珍, 吴忠海, 等. 西藏双湖古近纪喷呐湖组碎屑锆石 U-Pb 年龄与古海拔高度[J]. *地质学报*, 2018, 92(7): 1352-1368.
- Wu Z H, Zhao Z, Wu Z H, et al. U-Pb ages of detrital zircons from the Suonahu formation and Paleo-elevation determination in late Paleogene in the Suonahu area, northern Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2018, 92(7): 1352-1368.
- [13] 刘中戎, 张佳伟. 西藏羌塘盆地中生代晚期构造事件与油气的关系[J]. *沉积与特提斯地质*, 2017, 37(2): 23-29.
- Liu Z R, Zhang J W. Late mesozoic tectonic events and hydrocarbon accumulation in the Qiangtang Basin, northern Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2017, 37(2): 23-29.
- [14] 张明华, 乔计花, 黄金明, 等. 重磁电数据处理解释软件 RGIS[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
- Zhang M H, Qiao J H, Huang J M, et al. Gravity magnetic and electric data processing and interpretation software RGIS[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [15] 郭祖军, 李永铁, 南征兵, 等. 羌塘盆地变形构造与油气聚集保存关系[J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(5): 563-568.
- Guo Z J, Li Y T, Nan Z B, et al. Relationship between deformation structure and petroleum accumulation and preservation, Qiangtang Basin, Tibet [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(5): 563-568.
- [16] 李才, 解超明, 王明, 等. 羌塘地质[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
- Li C, Xie C M, Wang M, et al. *Qiangtang geology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.
- [17] 潘桂棠, 陆松年, 肖庆辉, 等. 中国大地构造阶段划分和演化[J]. *地学前缘*, 2016, 23(6): 1-23.
- Pan G T, Lu S N, Xiao Q H, et al. Division of tectonic stages and tectonic evolution in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2016, 23(6): 1-23.
- [18] 王剑, 付修根. 论羌塘盆地沉积演化[J]. *中国地质*, 2018, 45(2): 237-259.
- Wang J, Fu X G. Sedimentary evolution of the Qiangtang basin [J]. *Geology in China*, 2018, 45(2): 237-259.
- [19] 赵珍, 陆露, 吴珍汉. 羌塘盆地中央隆起带的抬升演化: 构造—热年代学约束[J]. *地学前缘*, 2019, 26(2): 249-260.
- Zhao Z, Lu L, Wu Z H. Uplifting evolution of the central uplift belt, Qiangtang: Constraints from tectono-thermochronology [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(2): 249-260.
- [20] 南征兵, 张艳玲, 李永铁, 等. 羌塘中生代盆地演化特征[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(3): 534-539.
- Nan Z B, Zhang Y L, Li Y T, et al. Evolution characteristics of the Qiangtang Basin in the Mesozoic Era [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(3): 534-539.

Airborne gravity-magnetic anomalies in the Baiyunhu sag, Qiangtang Basin: Characteristics and implications for oil and gas exploration

LIU Zhong-Rong¹, HU Yue², FAN Zhi-Wei¹, HE Hong-Bing¹, ZHOU Dao-Qing²,
GUO Zhi-Hong², CAO Bao-Bao², WEI Yan-Yan²

(1. SINOPEC Exploration Company, Chengdu 610041, China; 2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Airborne gravity-magnetic data are effective in revealing the deep structures of a basin. Based on the latest airborne gravity-magnetic data, combined with field-measured physical property data, this study expounded the characteristics and geological origin of airborne gravity-magnetic anomalies present in the Baiyunhu sag. Using the airborne gravity-magnetic data, this study identified the distribution of faults and magmatic rocks in the Baiyunhu sag. Furthermore, it calculated the burial depth of the magnetic basement and the structural morphologies of the Mesozoic basement in the sag using the artificial tangent method, power spectrum analysis method, and Parker-Oldenburg iterative inversion algorithm. Additionally, this study verified the structural stratification results through the integrated interpretations of gravity and magnetism in target sections. The findings suggest that the undulations of the Mesozoic and Paleozoic sediments in the Baiyunhu sag are the primary cause of gravity anomalies, while the regional airborne magnetic anomaly primarily reflects the distribution features of the Precambrian basement. The deeply buried basement of the Baiyunhu sag, featuring continuously distributed, thick Mesozoic strata and the lack of regional faulting and magmatic activity, is scarcely affected by tectonic movements and possesses great potential for oil and gas exploration.

Key words: Baiyunhu sag; airborne gravity-magnetic anomaly; structural stratification; significance of oil and gas exploration; Qiangtang Basin

(本文编辑:叶佩)