doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.04.10

引用格式:徐剑春,吴成平,李文勇,等.苏北盆地岩石密度界面划分及特征[J].中国地质调查,2017,4(4):74-79.

苏北盆地岩石密度界面划分及特征

徐剑春,吴成平,李文勇,王鑫

(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘要:研究不同地质体之间的密度差异是开展重力勘探研究的地球物理前提。密度界面的划分与构造层的划分 具有密切关系,测定地层(岩石)密度并分析测定结果是重力勘探工作的重要内容。依据苏北盆地及相邻地区出 露岩石的实测密度数据,将该区岩石按照地层、侵入岩进行系统整理和归纳,将地层纵向划分为新生界、侏罗系一 白垩系和太古宇一三叠系3个超密度层,2个 I 级密度界面和3个 II 级密度界面;通过综合分析地层界际密度和 系际密度特征,阐述地层及侵入岩的密度特征及其与重力异常的关系,为该盆地重力资料解释和石油勘探提供可 靠的地球物理依据。密度界面的划分与区域构造及储油构造具有密切关系,计算密度分界面起伏或深度变化在 区域构造研究和石油勘探中具有重要意义。

关键词:密度界面;密度特征;侵入岩;重力异常 中图分类号: P584; P631.1 文献标志码: A

0 引言

苏北盆地指苏北---南黄海盆地的陆上部分,面 积约32800km²。盆地西界为郯庐断裂带,北接扬子 板块与华北板块缝合带,南界为扬子褶皱系的低山 丘陵区^[1]。已有资料表明,苏北一南黄海盆地具有 较好的油气勘探远景。20世纪50年代以来,中国科 学院海洋研究所、海洋地质调查局、原地质矿产部第 五物探大队及航测大队等多家单位先后对苏北--南 黄海盆地开展了地球物理调查工作,获取了大量地 球物理数据,其中5口井有油气显示,常6-1-1A 井在下第三系获得低产原油^[2],苏北盆地累计探明 原油储量 2.8×10⁸ t,年产原油量 185×10⁴ t^[3]。近 年来,中国海洋石油总公司、青岛海洋地质研究所及 中国国土资源航空物探遥感中心对苏北一南黄海盆 地开展了新一轮地质调查工作,苏北一南黄海盆地 油气调查再次受到国内外学者的关注^[4]。了解岩 石密度差异,掌握各类岩石的密度特征及变化规 律,划分岩石密度界面是重力资料解释和石油勘探 的基础和前提^[5]。由于苏北一南黄海盆地陆域部 文章编号: 2095-8706(2017)04-0074-06

分为基岩隐伏的平原区,已知岩石密度数据大部分 来源于测井,并限于局部地区,目前尚未对该区岩 石密度数据进行系统整理和分析。本文对苏北盆 地及相邻地区进行系统的岩石(地层、侵入岩)密度 测量,分析并总结岩石的密度特征,划分岩石密度 层和密度界面,为苏北一南黄海盆地石油勘探及地 质研究提供参考。

1 测定原则及方法

苏北盆地及相邻地区的岩石与地层密度测 定主要遵循以下原则:①盆地为基岩隐伏的平 原区,应考虑盆地内钻井岩心与周边基岩露头 区,周边基岩露头区应以与盆地具有相同构造单 元的地区为重点;②测点尽可能均匀分布;③测 定的地层应包括不同地质时代的地层,且测定的 岩石类型应尽可能全面、系统,不同地质时代、不 同岩石类型的密度参数测定数据原则上不少于 30个;④每个测点的岩石密度参数以算术平均 值统计,不同地层的密度参数以加权平均值 统计。

收稿日期: 2016-07-07;修订日期: 2016-10-13。

基金项目:国家高新技术研究计划("863"计划)课题资助。

第一作者简介方数据 (1981—), 男, 工程师, 主要从事航空物探数据处理、重磁解释工作。Email: 83828995@ qq. com。

密度测量使用的仪器为 DX - 600Z 型岩石密度 测量仪,测量范围为0.005~600 g,测量精度为0.001 g/cm³。该仪器利用阿基米德原理,可快速直观地读 出密度值。本次野外实际测点 295 个,共获得密度 数据1304 个。开展密度测量工作的同时开展了质 检工作,共完成密度测量点质量检查 52 个,检查比 例约为17.6%,质检精度为±0.018 g/cm³。

2 样品采集范围及特征

根据上述原则,岩石密度测量选择在相邻基岩 出露区进行。江苏南部、西南部、北部及安徽东部 等地区发育低山丘陵地貌,基岩出露广泛,岩石类 型多样,是本次物性测量的重点区域,野外测量路 线和测点位置如图1所示。据钻井资料及周边地 层出露情况等显示,该区地层发育齐全,由老到新 包括太古宇、元古宇、古生界、中生界和新生界等地 层^[6]。



图 1 岩石密度测量路线图 Fig. 1 Roadmap of rock density measurement

测点布置兼顾不同时代、不同岩石类型的地层。测量地层为中元古界、新元古界、古生界、中生界和新生界等。测定岩石包括太古宇一古元古界 片岩、片麻岩、石英岩、大理岩、变粒岩、角闪岩、透 辉岩,新元百弊振岩,中生界砾岩、砂岩、粉砂岩、页 岩、凝灰质砂岩、凝灰岩、火山角砾岩、安山岩、玄武 岩以及新生界的泥岩、砂土、黏土等。此外,对该区 较发育且具有代表性的侵入岩进行了密度测定,主 要包括扬子期斑岩和混合花岗岩,燕山期安山岩、 玄武安山岩、粗安岩、玄武粗安岩、粗面岩、石英粗 面岩、辉长岩、闪长(玢)岩、花岗岩、花岗斑岩、花岗 闪长岩、石英闪长岩、石英闪长斑岩、石英二长岩、 石英二长斑岩、流纹岩等,喜山期玄武岩和辉绿岩。

3 地层(岩石)密度对比及界面划分

3.1 界际密度对比及界面划分

由研究区实测地层(岩石)密度参数(表1)可 知,地层由老到新,其密度值逐渐减小。

太古宇一三叠系、侏罗系一白垩系和新生界的 地层(岩石)密度加权平均值分别为 2.72 g/cm³、 2.56 g/cm³ 和 2.20 g/cm³,其密度差值分别为 0.16 g/cm³(太古宇一三叠系与侏罗系一白垩系)、 0.36 g/cm³(休罗系一白垩系与新生界),相邻界面 之间均具有明显的密度差(0.16~0.36 g/cm³)。 因此,按地层由老至新将该区划分为 3 个超密度 层,即太古宇一三叠系、侏罗系一白垩系和新生界。 3 个超密度层之间为 2 个 I 级密度界面。当其中任 意 2 个超密度层水平相接且接触界面具有较大角 度,新近系覆盖较薄时,均将产生清晰的密度差响 应,即重力异常带,如凸起与凹陷分界线上的重力 梯级带。

上述3个不同超密度层的分布是引起该区重 力异常的主要因素之一,依据重力异常特征可以反 演或解释该区3个超密度层的分布情况及相关构 造分布特征。

3.2 系际密度对比及界面划分

由表1可以知道,太古宇、中元古界、震旦 系、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二 叠系和三叠系的地层(岩石)密度加权平均值分 别为2.75 g/cm³、2.75 g/cm³、2.73 g/cm³、 2.76 g/cm³、2.75 g/cm³、2.68 g/cm³、2.67 g/cm³、 2.71 g/cm³、2.70 g/cm³和2.68 g/cm³,其中太古 宇一奥陶系的地层(岩石)密度加权平均值为 2.75 g/cm³,志留系一三叠系的地层(岩石)密度加 权平均值为2.69 g/cm³,二者密度相差0.06 g/cm³。 因此,可将太古宇一三叠系超密度层之间划分1个II 级密度界面。

表1 实测地层(岩石)密度参数统计表

Tab. 1 Density parameters of the strata (rocks)

地层		层		密度/(g・cm ⁻³)					
宇或界		系	岩性	<u>极小~极大</u> 平均	加权平均值		值	测试地点	
显生;	新生界	新近系	泥岩、砂岩、砂砾岩	$\frac{2.01 \sim 2.25}{2.08}$	2.10			张山集、半塔、涧溪、河桥、下草湾、自来桥、	
			安山岩、玄武岩	$\frac{2.25 \sim 2.76}{2.43}$			20	方山	
		古近系	泥岩、砂岩	$\frac{2.21 \sim 2.48}{2.29}$	2.29			明光、自来桥、练铺、桑涧子、张山集	
	中 生 界	白垩系	泥岩、砂岩、粉砂岩、砾岩	$\frac{2.32 \sim 2.68}{2.53}$	2.53			白马镇、天王镇、淳化、池河、明觉	
		侏罗系	砾岩、砂岩、泥岩、页岩	$\frac{2.18 \sim 2.62}{2.56}$	2 50	2.	56	明觉、栖霞、龙潭镇、陶吴、柘塘、茶亭、小丹	
			安山岩、粗安岩、粗面岩、凝灰岩	$\frac{2.35 \sim 2.74}{2.62}$	2.59			阳、东屏镇、溧水	
显 生 宇	-	三叠系	砂岩、页岩、砂页岩、灰岩、泥灰 岩、白云岩	$\frac{2.35 \sim 2.79}{2.68}$	2.68		2.72	镇江、下蜀、麒麟镇、栖霞、紫金山、龙潭镇	
	古生界	二叠系	砂页岩、粉砂岩、灰岩、燧石结核 灰岩	$\frac{2.64 \sim 2.79}{2.70}$				镇江、茅山、下蜀	
		石炭系	泥岩、灰岩、白云质灰岩	$\frac{2.65 \sim 2.82}{2.71}$		2.69 2.69 2.76 2.73 2.75 2.75		镇江、茅山、下蜀、汤山	
		泥盆系	泥岩、砂岩、粉砂岩、页岩、砂页 岩	$\frac{2.48 \sim 2.81}{2.67}$	2.69			茅山、常州东、月城西、江阴、周庄、张家港、 虞山、狼山、青龙山	
		志留系	页岩、砂岩、粉砂岩、细砂岩	$\frac{2.55 \sim 2.78}{2.68}$				镇江东南、蒋桥、汤山、薛埠	
		奧陶系 寒武系	灰岩	$\frac{2.70 \sim 2.85}{2.75}$	2.76			汤山、滁州琅琊山	
			灰岩、白云岩	$\frac{2.72 \sim 2.86}{2.76}$				定远、滁州琅琊山	
元 古 宇	新元 古界	震旦系	千枚岩、含砾千枚岩、	$\frac{2.49 \sim 2.77}{2.65}$	2.73			南京西、来安北、盱眙南、谏壁、大港南、埠 城、孟河、滁州西北、大柳东	
			灰岩、含砾灰岩、白云岩、燧石、 变质砂岩	$\frac{2.59 \sim 2.95}{2.75}$					
		中元 古界	千枚岩	$\frac{2.57 \sim 2.78}{2.70}$				连云港、涧溪	
			大理岩、变粒岩、含磷大理岩、二云母石英片岩、石英闪长岩、石英斑岩	$\frac{2.45 \sim 2.97}{2.77}$	2.75				
太 古 宇			片岩、片麻岩、	$\frac{2.52 \sim 2.79}{2.67}$				练铺、横沟、温泉、双店、桃村、阿湖	
			 混合岩、角闪岩	$\frac{2.58 \sim 2.12}{2.77}$	2.75				

中生界侏罗、白垩系的地层(岩石)密度分别为 2.59 g/cm³和2.53 g/cm³,其密度差为0.06 g/cm³, 该密度差虽小于0.10 g/cm³,但仍具有一定的密度 差。当二者在水平方向上相接且接触面较陡时,亦 可进行识别。因此,可将中生界超密度层划分为侏 罗系和白垩系2个密度层,二者之间为Ⅱ级密度界 面。

古近东方教报近系的地层(岩石)密度分别为

2.29 g/cm³和2.10 g/cm³,其密度差为0.19 g/cm³, 是一个明显的Ⅱ级密度界面。因此,可将古近系、 新近系作为2个密度层。

4 岩石密度特征

4.1 地层(岩石)密度特征

该区地层与岩石的密度特征如表2所示。

	地层			ter et E	tada da 🗖	密度界面		
宇	界	系	密度/(g·cm-3)		密度层	超密度层	I 级	11级
	же Л. Ш	新近系	2.10	2.20	A ₁	A	D_2	D
	新生养	古近系	2.29		A ₂			$ D_1$ $-$
	中生界	白垩系	2.53	2.56	B ₁	В		
		侏罗系	2.59		B ₂			D ₃
		三叠系	2.69	- 2.72	C ₁	с		D
显生宇	上古生界	二叠系						
		石炭系						
		泥盆系						
	下古生界	志留系						
		奥陶系	2.75		C_2			$-D_5$
		寒武系						
	新元古界	震旦系						
九百子	中元古界							
太古宇与古元古界								

表 2 密度层与密度界面划分表

Tab. 2 Division of the density layers and density interfaces

(1)根据地层密度差异,地层纵向序列可划分 为新生界超密度层(A)、侏罗系一白垩系超密度层 (B)和前侏罗系超密度层(C)。各超密度层之间的 密度差均 > 0.16 g/cm³。3 个超密度层之间为 D₂ 和 D₄ 2 个 I 级密度界面,其中,超密度层 B 与超密 度层 C 之间的 D₄界面分布于全区,且较稳定,其起 伏变化(即印支面的起伏)是影响区域性重力异常 的主要因素。因此,将 D₄界面下的前侏罗纪地层 称为重力基底。3 个超密度层、2 个 I 级密度界面 与该区区域构造层和区域不整合面一致。超密度 层 A 在全区普遍发育,平均密度为 2.20 g/cm³;超 密度层 B 主要在坳陷区发育,在隆起区及坳陷区缺 失,由中生界侏罗系与白垩系组成,平均密度为 2.56 g/cm³;超密度层 C 在全区普遍发育,平均密 度为 2.72 g/cm³。

(2)根据组成超密度层的地层发育厚度及密度 差异程度,将其进一步划分为若干个密度层。超密 度层 A 在坳陷区包括 A₁(新近系)和 A₂(古近系)2 个密度层,其间为 Ⅱ级密度界面 D₁,平均密度差为 0.19 g/cm[□]方**整播**度层 A 在隆起区发育 A₁密度层 (新近系),缺失 A_2 密度层(古近系), A_1 密度层(新 近系)平均密度差为 2.10 g/cm³;超密度层 B 在坳 陷区中的凹陷部位多包括 B_1 (白垩系)和 B_2 (侏罗 系)2 个密度层,其间为 II 级密度界面 D_3 ,平均密度 差为 0.06 g/cm³;超密度层 C 包括 C_1 (志留系—三 叠系)和 C_2 (太古宇—奧陶系)2 个密度层,其间为 II 级密度界面 D_5 ,平均密度差为 0.06 g/cm³。

4.2 侵入岩密度特征

该区出露的侵入岩主要包括元古期、燕山早 期、燕山晚期和喜山期岩体。元古期主要为榴辉 岩、混合花岗岩,燕山早期主要为花岗岩、二长花岗 岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长玢岩、石英闪长 玢岩、次流纹岩,燕山晚期主要有石英闪长岩、石英 闪长斑岩、石英二长斑岩、石英二长岩、斑状闪长 岩、斑状石英闪长岩、花岗闪长斑岩、花岗闪长岩、 花岗斑岩等,喜山期主要为次辉绿岩、辉绿岩。

由研究区实测侵入岩密度参数(表3)可知,除 辉绿岩与榴辉岩外,该区内大部分侵入岩密度较接 近,其密度加权平均值为2.54~2.71 g/cm³。因 此,当各侵入岩直接接触时较难产生显著的重力异 常,通常依据重力场难以区分。而辉绿岩与榴辉岩 密度分别为2.89 g/cm³和2.92 g/cm³,与其他侵入 岩密度具有明显的密度差。因此,当辉绿岩、榴辉 岩与其他侵入岩直接接触时,可产生重力高异常。

侵入		密	『度/(g·cm ⁻³)		
时期	岩性	块数	极小~极大 平均	地点	
喜山	辉绿岩	5	$\frac{2.81 \sim 2.92}{2.89}$	江宁方山	
期	次辉绿岩	8	$\frac{2.42 \sim 2.78}{2.69}$	江宁方山	
	石英闪长岩	6	$\frac{2.55 \sim 2.71}{2.64}$	下蜀	
	石英闪长斑岩	5	$\frac{2.53 \sim 2.65}{2.58}$	汤山	
	石英二长斑岩	17	$\frac{2.46 \sim 2.71}{2.56}$	麒麟、盱眙南	
燕	石英二长岩	6	$\frac{2.58 \sim 2.69}{2.63}$	下蜀	
山 晩 期	斑状闪长岩	2	$\frac{2.56 \sim 2.69}{2.63}$	茶亭	
.,.	斑状石英闪长岩	5	$\frac{2.50 \sim 2.69}{2.60}$	茶亭	
	花岗闪长斑岩	3	$\frac{2.55 \sim 2.68}{2.60}$	温泉镇	
	花岗闪长岩	3	$\frac{2.55 \sim 2.68}{2.62}$	新沂	
	花岗斑岩	6	$\frac{2.40 \sim 2.71}{2.54}$	苏州西	
	花岗岩	6	$\frac{2.51 \sim 2.62}{2.55}$	池河	
	二长花岗岩	6	$\frac{2.51 \sim 2.62}{2.55}$	屯仓	
燕山	花岗闪长岩	6	$\frac{2.51 \sim 2.65}{2.58}$	自来桥	
早期	石英闪长岩	5	$\frac{2.64 \sim 2.78}{2.71}$	房山	
	闪长玢岩	9	$\frac{2.54 \sim 2.66}{2.62}$	明觉、溧水	
	石英闪长玢岩	3	$\frac{2.62 \sim 2.74}{2.68}$	来安	
元	混合花岗岩	12	$\frac{2.55 \sim 2.76}{2.67}$	连云港西南、 锦屏山	
崩	榴辉岩	5	$\frac{2.88 \sim 2.97}{2.92}$	双店	

表 3 实测侵入岩密度参数统计表 Fig. 3 Density parameters of intrusive rocks

辉绿岩与榴辉岩的密度分别为 2.89 g/cm³和 2.92 g/cm³,均高于太古宇一三叠系的密度,其与 太古宇一三叠系的密度差为 0.17 ~ 0.20 g/cm³。 辉绿岩与**福萍**客街的密度明显高于侏罗系一白垩系 的密度,其差值为0.33~0.36 g/cm³。因此,当一 定规模的辉绿岩与榴辉岩侵入到太古宇—三叠系 或侏罗系—白垩系中,将产生明显的重力高异常。

总体而言,侵入岩以酸性、中酸性的花岗岩、 花岗斑岩、石英闪长岩、闪长玢岩和花岗闪长岩 等为主,其密度中等,当这些岩体侵入到密度较 大的超密度层C时,通常引起重力低异常;当其 围岩为密度中等的超密度层B时,通常无法引起 明显的重力异常。分布数量较少的基性一中基 性辉长岩、辉绿岩和闪长岩密度较大,当其侵入 到密度较大的超密度层C时,通常不会引起明显 的重力异常;当其围岩为密度中等或较小的超 密度层B时,可能引起局部重力高异常。但由于 该类岩体规模较小,在中小比例尺重力测量中单纯 依靠重力资料难以解释。

综上所述,研究区地层与侵入岩的密度具有一定的规律性。当进行界面反演处理时,可在表1— 表3的基础上,根据区内密度横向变化实际对各个 超密度层或密度层进行适当调整,以获得最佳的地 质解译效果。

5 讨论

密度界面划分应以大量可靠的物性工作为基 础,只有掌握了区域内各类岩石密度的变化规律, 全面了解区域地质特征的基础上才能准确划分出 密度界面^[7],根据重力资料分析地层发育特征的关 键在于密度界面深度的计算或确定^[8-9]。本文依 据对苏北盆地及相邻地区实测地层的岩石密度数 据将研究区划分为3个超密度层(新生界、侏罗 系一白垩系和太古宇一三叠系),2个 [级密度界 面(新生界底界面和前侏罗系顶界面)和3个Ⅱ级 密度界面。密度界面的划分与构造分层具有密切 关系,构造分层是将地层垂向序列上具有不同沉 积、构造特征且被不整合界面分隔的不同时代地层 进行划分,并研究其平面分布规律,反映在地层物 性特征上,超密度层或密度层可分别与构造层或亚 构造层相对应,密度界面与不整合界面或构造运动 界面相对应。在重力资料解释中,可通过由地层密 度变化引起重力异常的分离或拟合划分构造层,构 造层划分的关键是不同构造层之间不整合界面(密 度界面)深度的计算或确定。

6 结论

(1)根据地层密度差异,将苏北盆地地层纵向 序列划分为新生界、侏罗系一白垩系、太古宇一三 叠系3个超密度层,以及新生界古近系与新近系之 间、中生界白垩系与侏罗系之间、古生界志留系与 奥陶系之间3个Ⅱ级密度界面。

(2)新生界密度层在该区普遍发育,平均密度 为2.20 g/cm³。侏罗系一白垩系密度层主要发育 在坳陷区,平均密度为2.56 g/cm³,在隆起区及坳 陷区的部分凸起缺失。前侏罗系密度层普遍发育, 平均密度为2.72 g/cm³。大部分侵入岩密度接近, 密度加权平均值为2.54~2.71 g/cm³,而辉绿岩与 榴辉岩的密度分别为2.89 g/cm³和2.92 g/cm³,与 其他侵入岩具有明显的密度差。

参考文献:

- [1] 江夏,周荔青.苏北盆地富油气凹陷形成与分布特征[J].石 油实验地质,2010,32(4):319-325.
- [2] 岳彩武.赣中地区岩石密度特征及界面划分[J].石油地球物 理勘探,1981,16(6):50-58.
- [3] 刘玉瑞. 苏北盆地与南黄海盆地中--新生界成烃对比浅析 [J]. 石油实验地质,2010,32(6):541-546,552.
- [4] 汪龙文.南黄海的基本地质构造特征和油气远景[J].海洋地 质与第四纪地质,1989,9(3);41-50.
- [5] 冯志强,姚永坚,曾祥辉,等.对黄海中、古生界地质构造及油
 气远景的新认识[J].中国海上油气(地质),2002,16(6);
 367-373.
- [6] 江苏省地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社,1984.
- [7] 曾华霖.重力场与重力勘探[M].北京:地质出版社,2005.
- [8] 李家斌,朱大友,屈念念,等.高精度重力方法在"大塘坡式" 锰矿找矿中的应用[J].中国地质调查,2016,3(2):15-20.
- [9] 屈念念,李家斌.云南昭通盆地重磁特征及其地质意义[J]. 中国地质调查,2016,3(4):37-42.

Interface division and characteristics of the rocks density in the Northern Jiangsu Basin

XU Jianchun, Wu Chengping, LI Wenyong, WANG Xin

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Study on the density differences of different geological bodies is the geophysical precondition of gravity exploration. The division of density interface has a close relationship with the division of structural layers, and the determination and analysis of the strata (rocks) density is the important content of gravity exploration. On the basis of the density data of the outcrop rocks in the Northern Jiangsu Basin and the adjacent areas, the authors collated and summarized the rocks in the study area by division of the strata and intrusive rocks. And the vertical strata was divided into three super density layers (Cenozoic, Jurassic – Cretaceous and Archaean – Triassic), including two I density interfaces and three II density interfaces. Through the comprehensive analysis of strata density characteristics, the authors expatiated the relationship between the density characteristics of the strata and intrusive rocks and the gravity anomaly in gravity data interpretation, which provided a reliable precondition and basis for the gravity interpretation and oil exploration in the basin. The division of density interface has a close relationship with the regional structure and reservoir structure, and calculating the density interface or depth changes has a great significance in the regional structure research and petroleum exploration.

Key words: density interface; density characteristics; intrusive rock; gravity anomaly