doi: 10.11720/wtyht.2018.1527

李冰,宋燕兵,王启,等.四川盆地的磁场特征及地质意义[J].物探与化探,2018,42(5):937-945.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1527 Li B,Song Y B,Wang Q, et al.Magnetic field characteristics and geological significance of Sichuan basin[J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2018,42(5):937-945.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1527

四川盆地的磁场特征及地质意义

李冰, 宋燕兵, 王启, 王志博, 郭亮, 蒋久明, 耿圣博, 邓茂盛, 周德文 (中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要:根据航磁测量资料,对四川盆地的磁场特征进行了分析,确定了盆地的边界及范围,并在编制四川盆地变质 基底深度图、构造区划图的基础上,对盆地的基底结构、性质及其深度变化特点以及构造格局、盖层厚度等方面进 行了研究。研究表明四川盆地基底由前震旦系变质岩系组成,埋深可达 5~12 km,盖层为震旦纪一古生代和中新 生代地层;盆地的发生和发展主要受 NE 向和近 EW 向构造制约,呈"四坳三隆"的构造格局。这些认识和结论,为 今后在该盆地进行油气勘探提供了参考依据。

关键词:四川盆地;航磁;基底结构及深度;构造特征;断裂

中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2018)05-0937-09

0 引言

四川盆地是一个发育在前震旦纪变质基底之上,由中新生代陆相沉积不整合叠加在古生代海相 沉积之上的复合沉积盆地。由于盆地内含有丰富的 油气资源,所以地质工作者对其进行了大量细致的 研究工作,并取得了许多研究成果^[1-5],在油气地质 特征方面也有许多论述^[6-8]。迄今为止,前人依据 盆地前震旦纪基底的起伏特征、沉积盖层(震旦 系—中新生界)厚度对盆地进行构造划分,认为其 是"两坳一隆"的格局^[7],这种划分方案一直沿用至 今,并给出了前震旦纪变质基底埋藏深度:盆地西北 和北部基底埋深9~11 km,盆地西南部、中部及川东 达县—万县一带基底埋深3~8 km,盆地东南部基底 埋深6~11 km。这个深度可大致与航磁反映的深度 对比。

1 四川盆地依据航磁划分的构造

前人已有的四川盆地构造划分情况见表 1、图 1。笔者根据中国国土资源航空物探遥感中心实测 的 1:20 万航磁资料(测量总精度为±3.1 nT),在航 磁ΔT剖面上,采用了带校正系数的二度体ΔT剖面

表1 四川盆地构造单元划分表^[7]

	构造单元名称		
19/2年76編ラ		LEL122 Kill	0.4八石/子及/ 11
I	川东南坳褶区	76000	
I 1	川东高陡褶带	50000	10000
I ₂	川南低陡褶带	26000	8000
П	川中低缓隆起区	58000	
П	川中平缓褶带	37000	9000
Π 2	川西南低陡褶带	21000	7000
Ш	川西北坳陷区	66000	
ш	川北低平缓褶带	34000	12000
II ₂	川西低陡褶带	32000	10000

收稿日期: 2017-11-21;修回日期: 2018-08-10

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目"中国陆域航磁特征及地质构造研究"(基[2011]02-21-06)

作者简介: 李冰(1966-),女,毕业于长安大学地球物理勘探专业,长期从事航磁油气地质勘探资料成果及研究工作。

异常切线法和外奎尔法,反演计算出引起磁异常的 磁性体顶面埋藏深度,结合钻井、地质等资料,划分 了构造单元,并圈定出局部构造。

通过定性分析,编制了四川盆地磁性基底深度 (图1),图中前人资料引自文献【7】,该图客观地反 映了四川盆地的构造格局和沉积盖层厚度。且随着 航磁测量精度的提高,基底深度图中反映的四川盆 地构造面貌和沉积层厚度更为细致。从图1可以看 出,川西地区不是一个单纯的坳陷,沿江油—广元— 带发育一个规模较大的基底隆起,坳陷发育在成 都—德阳地区。航磁同时反映出川中地区也不完全 是隆起,它起伏变化较大,在南部—乐山地区总体上 为基底隆起,而在南充—自贡地区总体为基底坳陷。 川东南地区在万县西—宜宾地区为基底隆起,而在 巫山—泸州地区为基底坳陷。航磁也同时反映出, 通江坳陷与发育在成都地区的坳陷可能不是同一坳 陷。在磁性基底深度图的基础上,编制了构造区划 图,这两套图可以直观地了解盆地前震旦纪变质基 底深度(沉积盖层厚度)及结构特征、构造特征、沉 积盖层分布状况等,并对盆地构造进行划分。依据 航磁反映的前震旦纪变质基底(磁性基底)的起伏 特征,即震旦系—中新界厚度,认为盆地的总体构造 格局为"四坳三隆",即通江坳陷、梓潼—绵竹隆起、 成都—阆中坳陷、彭山—射洪隆起、自贡—广安坳 陷、华蓥山—万县隆起、涪陵—建始坳陷,并可依据 基底局部起伏情况,划分出凹陷和凸起。应用航磁 资料还确定出控制地质构造发展的 NE 向断裂构 造,为在该盆地进行油气勘查工作提供参考资料。



 ①—通江坳陷;②—梓潼-绵竹隆起;③—成都-阆中坳陷;④—彭山-射洪隆起;⑤—自贡-广安坳陷;⑥—华蓥山-万县隆起;⑦—涪陵-建始 坳陷;Ⅰ—川东南坳褶区(Ⅰ₁—川东高陡褶带;Ⅰ₂—川南低陡褶带);Ⅱ—川中低缓隆起区(Ⅱ₁—川中平缓褶带;Ⅱ₂—川西南低陡褶带); Ⅲ—川西北坳陷区(Ⅲ₁—川北低平缓褶带;Ⅲ₂—川西低陡褶带)



2 磁场特征

四川盆地位于中纬度地区,受倾斜磁化的影响, 可能磁异常中心不是正好对应在地质体的正上方, 而是沿倾斜磁化强度矢量水平投影的反方向上有不 同程度的偏移错动,这给确定磁性地质体的空间位置、形态及分布范围带来了一定的困难和不便。为 消除倾斜磁化对磁异常造成的这种影响,进行了化 极处理,同时,为了消除背景磁场,突出浅部地质体 引起的局部异常,对磁场进行了化极垂向一阶导数 计算。 从航磁图上可以看出,四川盆地总的磁场面貌 以正负相间、NE向展布的条带状磁异常为特征,这 种磁场面貌反映出了盆地的构造特征,其中条带状 正磁异常多是基底隆起的反映,异常多表现为宽缓 的条带状,强度多为100~400 nT。条带状负磁异常 多是基底坳陷的反映,负磁异常强度为-50~-300 nT(图2,图3)。在化极垂向一阶导数图上,也清楚 地显示出盆地的构造特征(图4)。

我们知道,四川盆地的基底是由前震旦纪变质 岩系构成的,这套地层在盆地的周缘已见出露。据 岩石磁性资料(表2),构成该区基底的古元古界康 定岩群、崆岭岩群、后河群变质岩系具较强磁性,磁 化强度平均为1030×10⁻³ A/m,其出露区与正异常 相对应,表明正磁异常是由这套变质岩系引起的。 中新元古界会理群、板溪群、丹洲群、昆阳群、西乡群 等变质岩系为弱磁性,磁化强度平均为90×10⁻³ A/ m,这些变质岩系出露区与负异常相对应。依据磁 异常特征,认为盆地西北部基底主要有古元古界康 定岩群(西南部)、崆岭岩群、后河群(东北部)变质 岩系构成,而盆地东南部基底主要由中新元古界会 理群、板溪群、丹洲群、昆阳群、西乡群等变质岩系构 成,其中残留有古元古界较强磁性变质岩系块体,但 分布范围很小。另外,四川盆地内被厚度很大的震 旦系一古生界和中新生界地层充填,这套地层以碳 酸盐岩和陆相碎屑岩为主,磁性很弱,磁化强度平均 为15×10⁻³ A/m,它们对磁场变化影响不大。虽然 三叠系飞仙关组、夜郎组具有一定的磁性,磁化强度 平均为200×10⁻³ A/m,在磁场上可引起强度不大磁 异常,它们叠加在区域磁场上,极易辨认,但这套地 层在盆地内分布局限,仅分布于盆地东北部地区,对 盆地的整体磁场面貌影响不大。

2.1 盆地的边界

在磁场图上,盆地的边界很清楚,盆地区磁场反 映为宽缓变化的磁异常区,这种磁场面貌是由于盆 地内弱或无磁性沉积盖层发育且厚度很大,变质基 底埋藏很深之故。而盆地外围则反映为剧烈或较剧 烈变化的磁异常区,这种磁场面貌表明盆地外围变 质基底出露或埋藏浅,岩浆活动剧烈。据地质资料, 盆地内已被2000~6000 m厚的三叠系、侏罗系、第 四系和4000~6000 m厚的震旦系—古生界覆盖^[7], 盆地外围的川南、龙门山、米仓山、大巴山变质基底 和岩浆岩已出露或埋深浅。航磁也反映出四川盆地 是一个呈 NE 向展布的菱形盆地,其西北、东南、东 北分别以龙门山断裂、恩施—习水断裂、城口—房县



图 2 四川盆地及周缘航磁 ΔT 等值线平面



图 4 四川盆地及周缘航磁 ΔT 化极垂向一阶导数等值线平面

<u>щ</u> ж		n+ (1)	磁化率 к/(10 ⁻⁵ SI)		剩磁 Jr/(10 ⁻³ A/m)		
石尖	宕(4) 石名称	ዞያ 1ጚ	变化范围	平均值	变化范围	平均值	地区
	砂岩、砾质泥岩、泥岩	N	-	28	- 11 - 1 1.		-
	砂岩、泥砂岩	E	6~21	18	0~3	2	
	砾岩、砂岩、泥岩	К	3~98	53	2~20	12	
	砂岩、泥岩	J		18	5~29	23	
	砂岩、灰岩、泥页岩	Т	0~55	17		0	平武 康清 龙门山
	砂岩、砂页岩、泥灰岩	夜郎组(T)	20~1135	501			铜仁,吉首,师宗,宜
沉	粉砂岩、钙质砂岩	飞仙关组(T)	110~1727	509			良、江油、泸定、凯里、
岩	页岩、灰岩	Р	0~4	2		1	铜仁、汶川、安顺、达
	砂岩、灰岩	С	0~90	22	0~3	2	县、兴义、西昌、元谋、
	砾岩、砂岩	D	0~15	7	7~9	8	贵阳、雅安
	砂岩、泥岩	S	6~30	22	0~7	3	
	灰岩、白云岩	0	0~3	2	0~5	3	
	砂岩、泥岩、灰岩	£	0~100	35		0	
	冰碛岩、泥岩、白云岩	Z	5~13	7		0	
	板岩、变砂岩	板溪群(Pt ₃)	40~60	55			长沙、岳麓山
	板岩、千枚岩、变砂岩	冷家溪群(Pt ₂)	50	50			岳阳
	混合岩、片麻岩	崆岭岩群(Pt ₁)	600	600			黄陵
变	板岩、千枚岩、片岩	丹洲群(Pt ₃)	11~670	350			桂中
<u></u> 欠 岩	片岩、千枚岩、板岩、大理岩	会理群(Pt ₂)	0~900	380			会理
	花岗片麻岩	康定岩群(Pt ₁)	0~6000	979			康定
	石英角砾岩	康定岩群(Pt ₁)	2840~11630	3508			康定
	角闪斜长片岩、变粒岩	康定岩群(Pt ₁)	350~28300	1350			康定
			130~10700	3300	50~89000	1095	
侵人岩	斜辉橄榄岩		70~17700	5020	40~80500	3000	
	蛇纹岩		900~9900	4600	160~9000	770	
	辉长岩		0~52200	2649	0~41600	1203	川南
	辉绿岩		0~4070	1091	0~2880	658	滇中、川北
	闪长岩		0~63000	2750	0~52000	750	-
火	致密状玄武岩		1400~6940	4365	760~25000	3865	
山	玄武岩		2560~11900	6175	590~44000	14400	

表 2 四川盆地及周围地区岩石磁性统计表

断裂为界,西南边界不规则,大致位于乐山南—宜宾 一线。需要说明的是,本次划分的盆地包括了古生 代海相沉积盆地和叠加其上的中新生代陆相盆地, 依据磁场特征和变质基底深度,确定了盆地边界。

2.2 盆地的变质基底深度特征

这里所说的基底是指前震旦纪变质基底,也称 之为磁性基底。通过对磁异常计算磁性体埋藏深 度,并编绘磁性基底深度图(图1),可以了解四川盆 地变质基底起伏变化特征。

磁性体深度计算:磁性体深度计算实质上是根 据 ΔT 异常形态反演计算出引起磁异常的磁性体顶 面埋深的一种定量解释方法。深度计算方法较多, 本次采用了带校正系数的二度体 ΔT 剖面异常切线 法^[11-13]和外奎尔法。需要说明的是,在利用切线法 计算磁性基底深度时,由于地质条件复杂,引起的磁 异常多种多样,既有磁性基底产生的宽缓磁异常,又 有浅层磁性体产生的局部异常,这些异常往往相互 叠加在一起,要准确计算出磁性基底的深度值,必须 识别出哪些磁异常与磁性基底有关,哪些磁异常是 由浅层磁性体引起。在盆地区,与磁性基底有关的 磁异常往往表现为规模较大、宽缓变化的特点,强度 较大:与浅层磁性体有关的磁异常特点是范围小、强 度不大,它们叠加在背景场上,对于这类磁异常,依 据背景场的趋势,圆滑处理掉叠加次级异常来恢复 其本来面貌,而后计算该异常的深度,得到深源(如 变质基底)深度。又如,出现在断阶或横跨两个构 造单元的异常,往往一翼陡一翼缓,这时陡翼异常是 基底隆起的反映,缓翼则是基底坳陷的反映,这类异 常一般分两支进行计算。另外,若异常一翼叠加干 扰严重,另一翼较好,则采用外奎尔法对形态较好的 一翼进行计算。总的来看,四川盆地内磁异常形态 特征不很复杂,磁异常主要由变质基底引起,叠加其 上的局部异常主要与浅层磁性体有关,极易辨认。 根据异常的不同形态,在深度计算中选取不同方法 进行计算。

计算精度分析:为了检验深度计算值的误差,利

用了与钻井揭露的前震旦系变质岩的深度值对比的 方法,在缺少这种井位的情况下,利用未钻到变质基 底的钻井资料和地震资料来间接证明深度计算的可 靠性。表3为6口钻井揭露的元古宇变质基底和震 旦系的深度值与航磁异常计算出的深度值的对比 (表3),统计结果显示:深度计算误差范围 1.3%~ 2.5%的占总统计数字的 50%;深度计算误差范围在 4.5%~7.5%之间的占总统计数字的 33%;深度计算 误差范围在 10.5%的占总统计数字的 17%,说明计 算精度是较高的。钻遇震旦系,但未穿透时误差相 对较大,这是因为基底之上震旦系仍有一定的厚度。

表3 四川盆地钻井揭露元古宇变质基底与震旦系深度与计算深度	对比
-------------------------------	----

钻井编号	钻遇地层	井深/m	计算深度/m	差值/m	相对误差/%
长5井	元古宇	8200	8000	200	2.5
太4井	元古宇	8800	8600	219	2.5
付 15 井	元古宇	7900	8000	100	1.3
威8井	震旦系顶	3220	3600	380	10.5
威 15 井	元古宇	3863	4100	237	5.7
潼南东北	震旦系顶	6011	6500	489	7.5

另外,在南充、岳池、潼南、遂宁地区有4口钻井 都钻遇三叠系,这几口井都位于航磁确定的坳陷中 (表4)。从表4看出,对比钻井揭露的三叠系地层 与航磁反映的基底深度可知,三叠系之下仍有大套 古生代地层,这说明航磁异常计算的磁性体埋深是 可靠的。据地震资料,通江地区地震反映出沉积盖 层厚11.4km,航磁异常计算出的基底埋深为12km, 地震反映的深度与航磁异常计算的深度比较接近。

表 4 四川盆地钻井揭露地层深度与计算深度对比

井位	钻遇地层		计算深度/m	航磁确定构造
南充东	中三叠统	3002	9000	基底坳陷
岳池东北	下三叠统	3413	9000	基底坳陷
潼南东南	下三叠统	2191	7200	基底坳陷
遂宁西	震旦系	3200	7200	基底坳陷

当然,在实际计算中也存在偏浅或偏深的问题。 影响计算精度的因素如下。

1)深度计算方法的限制。深度计算所用的系数表是按无限延伸厚板状体推导出来的,而根据 Δ*T* 平面图的特征,有些异常应属三度体,引用适用于二 度体的方法去反演三度体埋深,深度值必然会偏浅。

2)测线与异常走向斜交时,一般计算的深度值 有误差,所以要求测线尽可能地垂直地质体走向。 但由于盆地面积较大,存在斜交构造线的情况,结果 使 ΔT 曲线变得平缓,计算的深度就会偏深,造成误 差。

3) 计算深度时都要减去飞行高度, 所减飞行高度是全区平均距地表的飞行高度, 但实际上飞机是 起伏飞行的, 这样就会造成一定误差。

4) 当异常之间存在相互叠加干扰时, 计算的深 度值往往存在较大的误差。

5) 当变质基底浅部为 Pt_{2/3}, 深部为 Pt₁ 时, 计算 的深度值偏深。

经过长期理论研究和诸多工作实践证明,使用 切线法和外奎尔法进行磁性体深度计算会产生 ±(10%~±15%)的误差。

磁性基底深度图的编制:去除了浅层(盖层)磁 性体深度值得到大约 270 个反映磁性基底的深度 点。编图时为确保质量,对所有的深度值进行了复 查,首选那些穿过异常中心或剖面线附近的深度值。 纵观航磁图内疏密不均的磁性体埋深数据,能够在 航磁图上看出磁性体等深线的走向和轮廓。勾绘时 从那些磁性体埋深浅或在地质图上已出露的磁性体 入手,根据深度值的大小,由浅到深依次展布等深 线,对于出露的变质基岩和规模较大的侵入体,可结 合地质图先勾绘出来,以便准确地圈定盆地和沉积 坳陷范围;对有一定走向的同一磁异常带的多个深 度值要认真分析,通常以此异常中心处的深度值为 准。考虑到磁性基底深度变化特征及计算精度,深 度线采用不等间距勾绘。首先用≤0.5 km 等值线将 出露的前震旦系变质岩和规模较大的侵入岩及埋藏 小于 500 m 的这些磁性体圈出来,然后依据深度值, 依次按1.0、2.0、3.0、5.0、7.0、9.0、11.0 km 来勾绘。 编图时将控制性断裂一并表示出来,根据断裂构造 的分布情况和对基底深度的控制作用,对深度线作 必要的修正,如由于受断裂的分割,一侧为隆起,另 一侧为凹陷,被分割的深度线将由断裂代替,以此表

示凹陷和隆起深度变化特征。通过上述工作,编制 了磁性基底深度图(图1)。该图主要反映了前震旦 纪变质基底和侵入岩体的顶面埋深。

2.3 盆地的构造特征

磁性基底深度图反映出盆地东北部基底埋深 大,基底凹陷占主导地位,基底深度大都为7~12 km,而西南部基底埋深相对变浅,大部分为5~7 km,部分坳陷深度为7~9 km。在航磁图上又反映 出盆地西北部为 NE 向条带状磁异常区,东南部为 NE 向条带状、块状磁异常区,这种磁场面貌表明四 川盆地基底在西北部为 NE 向条带状结构,而东南 部为 NE 向条带和块状结构,这两种基底镶嵌在一 起,形成四川盆地的基底结构。磁性基底深度表明, 现今的盆地基底主要显示为 NE 走向隆坳相间的排 列格局。

以航磁反映的区域磁场特征、基底起伏情况、盖 层厚度为依据,结合地质等资料对盆地进行构造区 划(图5)。四川盆地总体为"四坳三隆",即通江坳 陷、梓潼—绵竹隆起、成都—阆中坳陷、彭山—射洪 隆起、自贡—广安坳陷、华蓥山—万县隆起、涪陵— 建始坳陷,并进一步划分出凹陷和凸起。航磁和磁 性基底深度反映出通江地区坳陷走向为近 EW 向, 而川西的成都地区坳陷走向为 NE 向,这说明这两 个坳陷的构造走向是不同的,它们的形成、发展受不 同方向构造的控制。川北通江地区坳陷的形成和发 展主要受近 EW 向构造的控制,而川西成都地区坳 陷的形成、发展受 NE 向构造的控制,所以它们不属 于同一个坳陷。本次依据磁异常特征将它们划分 开,分别称之为通江坳陷和成都—阆中坳陷。

四川盆地的发生发展主要受 NE 向构造的控制,在北部受近 EW 向构造的控制,盆地总的面貌呈 隆坳相间的构造格局,其中隆起又由大大小小的凸 起组成,坳陷由多个凹陷组成。形成这种构造格局 的原因,一是和基底继承性构造有关,二是在印支— 燕山期受到来自西北龙门山地区和南东武陵山地区 的强烈对冲推挤,导致盆地内沿断裂—侧形成坳陷



 F_1 —龙门山断裂; F_2 —西乡-德阳断裂; F_3 —盐亭-平溪断裂; F_4 —华蓥山断裂; F_5 —恩施-习水断裂; F_6 —城口-房县断裂;I—通江坳陷 (I_1 —镇巴凸起; I_2 —巴中凹陷; I_3 —巫溪凸起);II—梓潼-绵竹隆起(I_1 —广元凹陷; I_2 —江油凸起; I_3 游仙凸起);II—成都-阆中 坳陷(II_1 —阆中凹陷; II_2 —绵阳凹陷; II_3 —成都凹陷);IV—彭山-射洪隆起(IV_1 —南部凸起; IV_2 —射洪凹陷; IV_3 —盐亭凸起; IV_4 —简阳 凹陷; IV_5 —乐山凸起);V—自贡-广安坳陷(V_1 —南充凹陷; V_2 —遂宁凸起; V_3 —广安凹陷; V_4 —安岳凸起; V_5 —自贡凹陷);VI—华蓥 山-万县隆起(VI_1 —梁平凸起; VI_2 —垫江凸起; VI_3 —荣昌凸起);VI—涪陵-建始坳陷(VI_1 —巫山凹陷; VI_2 —云阳低凸起; VI_3 —涪陵凹陷; VI_4 —木洞低凸起; II_5 —綦江凹陷; VI_6 —泸州凹陷)

图 5 四川盆地构造区划

带(如成都—阆中坳陷就是沿西乡—德阳断裂带东 西南侧分布);自贡—广安坳陷和涪陵—建始坳陷分 为别沿华蓥山断裂带和恩施—习水断裂带西北侧分 克布,这显然是盆地受武陵山由南东向北西推挤的结 易果。这种对冲的结果,使川东南地区、川西北地区成 为盆地内褶皱最强烈的地区。在彭山—射洪地区形 属成引力释放区,是盆地内褶皱最弱的地区,区内构造

成引力释放区,是盆地内褶皱最弱的地区,区内构造 平缓,均属平缓褶皱类型,断层不发育,从而造成彭 山—射洪隆起既有凸起又有凹陷,而且次级构造的 走向既有 NE 向又有近 EW 向。据认为北大巴山仰 冲在通江坳陷之上^[10]。

通江坳陷:位于盆地东北部的巴中、通江、万源 和巫溪地区。其走向有别于四川盆地其他坳陷,呈 近 EW 向且东窄西宽形态展布,并呈北断南超的特 点。北以城口--房县断裂为界,南与四川盆地内其 它北东向构造相接触,面积约 30 000 km²,航磁反映 的沉积盖层厚度达7~12 km。沉积中心位于巴中— 通江地区,磁性基底埋深大于10 km,向东基底埋深 变浅,为5~7km。东北部和东部地区受大巴山弧形 构造的影响,成弧形展布,构成大巴山外弧带,向北 东靠近大巴山岩层倾角逐渐增大,褶皱渐趋紧密,卷 入的地层渐老。这一区域三叠系地层大面积出露, 沿 NW 向逆冲断层的北东盘见有下古生界和震旦系 地层分布,它们与三叠系呈断层接触,可见这些老地 层是被推覆上来的,盖在了三叠系地层之上。据地 震资料, 坳陷内侏罗系厚 4.8 km, 二叠系和三叠系 厚约 2.6 km,下古生界和震旦系厚约 4 km。依据基 底起伏情况,又可划分出2个凸起1个凹陷,即镇巴 凸起、巫溪凸起和巴中凹陷。

梓潼—绵竹隆起:位于广元、梓潼、绵竹地区。 西北以龙门山断裂为界,东南以西乡—德阳断裂为 界,走向 NE 向。航磁反映出磁性基底埋深 4~6 km,局部地区为基底凹陷,深达 7~8 km。依据基底 起伏情况,又可划分出 2 个凸起 1 个凹陷,即江油凸 起、游仙凸起和广元凹陷。

成都—阆中坳陷:位于阆中、中江、成都地区。 西北以西乡—德阳断裂为界,东南以盐亭—平溪断 裂断裂为界,面积约 21 000 km²,走向北东向。航磁 反映出基底埋深大都在 7~11 km。坳陷内被第四 系、白垩系和侏罗系大面积覆盖,三叠系仅在其西南 见有出露。据地震资料,坳陷内震旦系和下古生界 厚 2.5 km,二叠系和三叠系厚 3.5 km,侏罗系和白垩 系厚 5 km。依据基底起伏情况,又可划分出 3 个凹 陷,即阆中凹陷、绵阳凹陷、成都凹陷。

彭山--射洪隆起:位于彭山、威远、射洪等地区。

西北以盐亭—平溪断裂为界,东南部分地段以断裂 为界。这是一个长约360 km,宽可达100 km,面积 达36000 km²的大型隆起。该隆起具有低隆起性 质,并属于大型继承性基底隆起,航磁反映出其上仍 发育了3~6 km 厚的盖层沉积,这个深度与钻井揭 露的深度比较接近,在威远威18 井于3226 m 见震 旦系地层,并有一口钻井在3863 m 见元古宇地层。 据地质资料,隆起上白垩系已缺失,侏罗系大面积出 露,厚度较大,钻井在3200 m 未钻穿侏罗系,三叠系 在威远地区出露。可见,隆起上中新生界厚度较薄 (钻井证实厚1500 m),古生界厚度较大(钻井证实 厚2500 m)。依据基底起伏情况,又可划分出3个 凸起2个凹陷,即南部凸起、盐亭凸起、乐山凸起和 射洪凹陷、简阳凹陷。

自贡---广安坳陷:-坳陷位于自贡、广安、南充地 区。西北和东南分别与彭山—射洪隆起和华蓥山— 万县隆起相接。它们之间的接触关系比较复杂,有 的地段为断裂(华蓥山断裂)接触,有的地段为超覆 接触,面积约 35 000 km²,走向为 NE 向。航磁反映 出变质基底深度为 5~9 km, 在武胜地区钻井于 6 011 m 见到震旦系。坳陷内大部分被侏罗系地层覆 盖,仅在南部见有白垩纪地层分布,但范围很小。在 广安地区钻井于 3413 m 见到下三叠统,在南充地区 钻井于3008m见到中三叠统。在坳陷南部地区,据 合川地区钻井揭露,在井深2691m见到了下三叠 统。从钻井资料可以看出,坳陷北部中生界厚度大, 而南部中生界厚度薄,且坳陷内主要被 5~6 km 厚 的古生界充填,中生界较薄,厚度约 2~3 km。依据 基底起伏情况,又可划分出3个凹陷2个凸起,即南 充凹陷、广安凹陷、自贡凹陷和安岳凸起、遂宁凸起。

华蓥山—万县隆起:其南起自宜宾,向北东经荣 昌、邻水、梁平达万县,呈 NE 向展布。航磁反映基 底埋深达 5~6 km,属于低隆起。依据基底起伏情 况,又可划分出 3 个凸起,即梁平凸起、垫江凸起、荣 昌凸起。

涪陵—建始坳陷:位于赤水、重庆、涪陵、建始、 巴东地区。其南东以恩施—习水断裂为界,东北与 华蓥山—万县隆起为邻,面积约 52 000 km²,总体走 向呈北东向。航磁反映的沉积盖层厚度达 7~12 km。坳陷由于受到武陵山方向的水平推挤,坳陷内 褶皱构造发育,构造线走向主要由 NE 向高陡构造 带和断裂带组成的隔挡式褶皱,背斜紧凑,向斜宽 缓,成排成带平行排列。据地震资料,在赤水地区震 旦系—古生界厚约6 km,中生界厚约2 km 左右,且 太4 井、长5 井在 8 200 m 见元古宇地层(与航磁反 映的深度相当)。涪陵和建始地区古生界沉积厚度 也很大,可达 5~9 km,中生界厚度小于 2 km。依据 基底起伏情况,又可划分出 4 个凹陷 2 个凸起,即巫 山凹陷、涪陵凹陷、綦江凹陷、泸州凹陷和云阳低凸 起、木洞低凸起。

3 结论

四川盆地是在前震旦纪变质基底之上发育起来 的盆地,通过航磁异常的反演计算得知,变质基底埋 深为5~12 km。它的盖层为震旦系—古生界和中新 生界地层。盆地的发生和发展主要受 NE 向构造制 约,并受到近 EW 向构造的改造。变质基底深度反 映出盆地的构造格局为"四坳三隆",即:通江坳陷、 梓潼—绵竹隆起、成都一阆中坳陷、彭山—射洪隆 起、自贡—广安坳陷、华蓥山—万县隆起、涪陵—建 始坳陷,并依据局部构造又划分了凸起和凹陷,为地 震详查工作提供参考依据。根据磁资料界定的盆地 东南界,其范围较前人圈定范围有所缩小,盆地东北 界范围较前人圈定范围有所扩大,由此计算四川盆 地面积约为 230 000 km²。这些工作对认识四川盆 地构造特点具有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] 郭正吾,邓康龄,韩永辉.四川盆地的形成与演化[M].北京:地 质出版社,1996.
- [2] 宋鸿彪,罗志立.四川盆地基底及深部地质结构研究的进展

[J].地学前缘,1995,2(3-4):231-237.

- [3] 罗志立.四川盆地基地结构的新认识[J].成都理工学院学报, 1998,25(2):191-200.
- [4] 许效松,刘宝珺,牟传龙,等.中国中西部海相盆地分析与油气 资源[M].北京;地质出版社,2004.
- [5] 罗志立.川中是一个古陆核吗[J].成都地质学院学报,1986,13(3):65-73.
- [6] 四川省地质矿产局.四川省区域地质志[M].北京:地质出版 社,1991.
- [7] 李国玉,吕鸣岗,张健,等.中国含油气盆地图集[M].北京:石油工业出版社,2002:185-194.
- [8] 丁金琪.四川盆地油气地质特征—纪念黄汲清先生百岁诞辰[J].石油实验地质,2004,26(2):115-120.
- [9] 喻顾,李忠权,杨渊宇,等.四川盆地威远地区构造演化特征及 其对下古生界油气富集的控制作用[J].天然气勘探与开发, 2013,26(2):115-119.
- [10] 李占奎,丁燕云.大巴山推覆构造特征的探讨[J].物探与化探, 2007,31(6):495-498.
- [11] 管志宁,安玉林.区域磁异常定量解释[M].北京:地质出版社, 1991.
- [12] 朱英.斜磁化切线法和特征点图解法[M].北京:地质出版社, 2012.
- [13] 郭志宏,于长春,周坚鑫.低磁纬度区 ΔT 剖面磁异常场源深度 计算的切线法[J].物探与化探,2003,27(5):391-394.
- [14] 罗良,漆家福,张明正.四川盆地周缘冲断带构造演化及变形差 异性研究[J].地质论评,2015,61(3):525-533.
- [15] 熊盛青,范正国,张洪瑞,等.中国陆域航磁系列图,1/250 万[M].北京:地质出版社,2015.
- [16] 熊盛青,丁燕云,李占奎,等.中国陆域航磁与地质构造特征 [M].北京:地质出版社,2016.
- [17] 杨华,等.四川盆地航空物探测量[R].1973.

Magnetic field characteristics and geological significance of Sichuan basin

LI Bing, SONG Yan-Bing, WANG Qi, WANG Zhi-Bo, GUO Liang, JIANG Jiu-Ming, GENG Sheng-Bo, DENG Mao-Sheng, ZHOU De-Wen

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

Abstract: According to aeromagnetic and gravitational data, the boundary and scope of Sichuan basin were determined based on the analyses of the characteristics of gravity and magnetic fields. And on the basis of compiling depth map of the metamorphic basement and structuring zoning map, the research has been conducted on the basin's basement structure, characteristics and features of depth change, structure framework, and caprock thickness. The research indicates that the metamorphic basement is composed of Proterozoic metamorphic series, and the buried depth of crystalline basement can reach to 5000 to 20000 meters. The caprock is the layers of Ediacaran, Paleozoic, and Mesozoic. The occurrence and development of the basin are restricted by near-northeast and northwest-west construction, which has a pattern of four depression and three uplifts. All these new cognitions and conclusions provide a reference for further oil and gas exploration in the basin.

Key words: Sichuan basin; aeromagnetic; basement structure and depth; structural feature; rupture