

第一章 岩石物性块体概念初探

本章将从地球化学块体的概念导出岩石物性块体的概念，讨论地质块体的岩石层次、岩块层次与块体层次的岩石物性特征，并与元素描述的地球化学块体进行比较，得出使用岩石物性参数也能够量化地描述地质块体的认识。通过与成矿过程具有成生联系的岩石进行岩石物性块体的分析，确定了华北地区石炭-二叠纪的煤矿、石炭纪 G 层铝土矿这两种矿床形成与沉积环境的关系，指出了它们的找矿远景方向。这一尝试看到了岩石物性块体是一个有益的可操作的概念，并具有应用于解决地质矿产问题的使用价值。

第一节 地球化学块体的概念及其外延

地质块体或地体的概念首先出现于大地构造学。作为地质块体的定量化数字式描述，地球化学块体提供了工作模式，并为岩石物性块体的研究提供了参考。因此，首先来介绍并讨论地球化学块体的概念。

一、地球化学块体的概念

地球化学块体的概念由谢学锦院士(1995)提出，并逐渐趋于完善。目前地球化学块体定义为：“地球化学块体是地球上某种或某些元素高含量的巨大岩块，它们是地球从形成与演化至今不均匀性的总显示，为大型至巨型矿床的形成提供了必要的物质供应条件。这些地球化学块体能够应用地球化学的方法手段，从元素的角度将其勾绘出来。在几何尺度上将地球化学块体的规模定义在 1000km^2 以上，厚度假定为 1000m ，其中约定岩块的出露面积必须大于或等于地球化学省的范围。那么，我们还能够利用套合的地球化学块体的模式来追踪物质浓集的趋势，从而来追索巨型矿床的成矿远景地段，来降低找矿风险，缩短找矿周期。”^① 它有如下几层意思：

- (1) 地球化学块体是元素异常高的巨大“岩块”；
 - (2) 这种“岩块”由地球形成与演化至今而成；
 - (3) 处于“今天”的巨大“岩块”可由地球化学手段勾绘；
 - (4) 地球化学勾绘的巨大“岩块”其元素分布或浓集具有套合结构特性，这种特性指示了巨型矿的成矿方向；
 - (5) 通过该方法可以用于指导寻找巨型矿，以降低找矿风险，缩短找矿周期。
- 地球化学块体的主题词为：“岩块”、元素、套合结构、地球化学手段、巨型矿。

^① 据刘大文，地球化学块体理论与方法技术应用于矿产资源评价的研究（博士论文），2002。

二、地球化学块体概念的外延

地球化学块体的概念出现于地质学界对巨型矿床与普通矿床关系大讨论的背景之下，它为解释巨型矿床的成因提供了富有建设性的意见。同时，它用元素含量这一数字式参数为量化巨大“岩块”使地质科学向量化方向发展提供了具有启迪意义的线索。

启示一：描述地质块体的数字化方向与解构方向。

对于大地构造单元、地层区划单元、岩浆岩带的划分与描述，过去往往通过深大断裂来确定其边界，通过岩石组合来表示其主要物质构成而达到。这属于定性的描述。近来，地球化学块体—巨大“岩块”关系模型的建立，并用套合结构来追踪“岩块”的内部结构，这为“数字地球”时代提供了一条重要的线索：我们能否应用量化的指标以数字形式来表达、区分地质块体？并且对地质块体的内部进行解构？

启示二：描述地质块体的数字化指标。

区域地球化学扫面计划的实施，积累了全国大部分地区海量的元素数据，通过地球化学块体这一工作模型的指导，已成功地对华南地区地球化学块体进行数字化描述（谢学锦等，2002）。元素含量成为描述区域地质块体的可利用性指标。

区域地球物理调查中，如大面积的航空磁测、1:20万及1:50万区域重力调查，均通过物理场强弱与变化来划分构造单元，著名的例子如利用航磁资料确定郯庐断裂带等，实质上就是通过物理场进行地质块体的数字化描述。

物理场和元素含量是描述地质块体的较为两种极端的指标。元素含量提供的是一个质量很小的样品的属性，而地球物理场则是对从地表到一定深度甚至到地幔、地核的质量巨大的“物理点”的属性。元素含量属微观层次，是对人类习以为常的手标本的“无限”分析；而地球物理场则属宏观层次，则是对“无数”手标本样品的“无限”综合。

那么，是否存在着介于元素含量与地球物理场之间的可以用于描述地质块体的指标呢？我们认为有：岩石手标本的综合属性如物理属性就有可能成为集元素含量与地球物理场双方优点的指标。

启示三：数字化地质块体的解构。

地球化学块体或地球物理区域场均已进行了地质块体结构的解构工作——从背景中根据“套合结构”逐步划分出异常。从背景到异常的确定就是一种对区域地质块体的解构过程。但是，目前地球化学块体基本上是用次生晕（由非基岩样品分析得到）的元素含量进行地表的二维平面的地质块体的解构，地球物理场是用重磁场、波速场等进行三维地质块体的解构，均属“地球形成与演化至今”的物质（元素、矿物、岩石组分）的现时的空间解构。

地质块体是由一个漫长演化过程而形成的，其经历了时间的流逝、空间的变换、能量的涨落，具有极其复杂性。并非一个“物质”所能包容它的万象。可能需要用地质块体的所有属性才能完整地加以描述。这样，有必要使用描述地质块体的非相关性指标进行块体的解构。如使用时间的指标，可以区分出地质块体的演化各阶段直至终止的全过程，即历史解析方法的应用，以进行某一时间阶段的空间解构。使用温度的指标则可确定块体形成的背景，如沉积岩的水成与岩浆岩的火成环境可以用温度来区分等。因此，对块体的解构是多样的，不一定仅局限于“元素”或“地球物理”的样式，即不一定仅局限于现时的对

物质的空间解构。

地球化学块体概念的外延，或者说向地球化学块体的概念和地球物理区域场划分的方法借鉴思想，目的是发展定量化数字式的地质科学，可能具有一定的补益。

岩石物性块体的研究，就是基于这个想法逐步展开的。

第二节 建立岩石物性块体的可行性

地球化学块体提供了地质块体的定量化数字式描述与解构，为岩石物性块体提供了借鉴。但地球化学学科自身工作方法的限制，地球化学块体对地质块体的解构并不深入，如地球化学块体不能对某一时代的地质过程进行定量化描述。岩石物性块体将根据自身的多信息特点，对地质块体进行定量化数字式较全面的描述与多方向的解构。

本节首先讨论地质体的层次性，然后分析主要地质体层次的岩石物性特征，目的在于讨论岩石物性参数可用于定量化数字式描述地质块体。

一、描述地质学研究对象的层次性

人类习惯于观察、描述、研究手标本。因为手标本是人的眼力范围内所能观察的尺度中最合宜的体积，即所谓“玩于股掌之间”。而对更小的或更大的物体，则需要借助于技术的手段，人类才能认识到。从尺度断定，研究地球可以分为由小至大的如下层次：

(1) 元素层次：这是对人类最具功利性的层次。化学科学描述的基础对象即为元素。人类的矿产资源也大部分用元素来表达命名，如铁矿、铜矿等。元素的数量有限，约 200 种，应用化学分析或物理光谱分析的方法即可分辨元素的种类与含量。

(2) 矿物层次：由元素或元素离子团的组合而成，高于元素层次，此时肉眼或借助于一般的放大镜即可观察到。矿物种类多达数千种，常见的矿物为几十种。造岩矿物不过十几种。每种矿物的内部结构一般均匀而稳定。可通过光学的（如折射率等）、光谱的、物理的（如密度）等方法定量化指标加以区分。

(3) 岩石层次：由数种造岩矿物和数种副矿物组成。其尺度相当于手标本，是人类最容易观察到的层次。一般认为岩石有 2000 多种，常见的也有数百种。由于岩石内部成分（矿物）、结构的多变性与复杂性，不同种岩石含有某些相似的矿物种类，或者同一种岩石中同一种矿物的含量相差较大，因此，不容易用某些物理的或化学的指标把岩石种类截然分开。也就是说，地质学上的岩石命名与分类均属定性的描述。

(4) 岩块层次：由数种或数十种具有成生联系的主要岩石组成，其尺度远比手标本大，可认为其边长为数十米至数千米。地质学上单个的地层单元、岩体、矿体属于此类。特殊的岩块因含有特殊的岩石、或特殊的矿物或特殊的元素而具有工业价值或者具有潜在灾害。

(5) 块体层次：由具有成生联系的一个或多个岩块组成，可以是地层、岩体、矿体之间在特定地质背景下的组合。其面积巨大，可以认为从上千平方公里至数百万平方公里甚至数千万平方公里。小者如地层区划中的一个地层小区、岩浆岩中的一个超单元、区域成矿学中的一个矿带等，大者如一个地层大区、一个板块等。

地球化学块体中的“巨大岩块”，作者认为应属于地质块体，这样，“地球化学块体

与“地质块体”在层次上、规模上才显得相称。

(6) 全球层次：由数个或数百个具有生成关系的并且相互约束的地质块体组成。

从元素层次到全球层次，显然具有套合结构的特性，高层次由低层次组合而成，或者说高层次继承了低层次的性质，同时在低层次的组合过程中涌现出高层次的特有性质。这一认识具有如下意义：可以量化完全描述低层次的指标不一定能完全描述因涌现某些新性质的高层次的特性；完全描述高层次的量化指标也不一定能够确切描述因缺乏某些属性的低层次的特性。这正如孔子所言：“上不可语下，下不可语上。”虽然没有严格的“上、下或高、低”之分，但某个层次应尽量使用相应的量化指标进行其属性的数字化描述。

区域岩石物性数据是对岩石层次的手标本的物理观测成果。下面分别探讨岩石层次、岩块层次、块体层次的物性特征，包括统计特征与空间结构特征。

二、岩石层次的物性特征

通过对大量岩石物性数据的统计，我们得到了岩石层次的物性统计特征（表 1-1、表 1-2）。不难发现 每类岩石之间物性存在着差异 但不是完全不同 不具有明显的分界阈值。

岩石大类的物性差异是明显的，矿化岩石与背景岩石（沉积岩、岩浆岩、变质岩）区别非常显著，水成岩石（沉积岩）与岩浆岩石（岩浆岩、变质岩）也非常显著（表 1-2），这可能是各大岩石类型有着相互不同的成岩环境与形成过程所决定的。

但岩石类的物性差异情况不尽相同，如有的参数对岩石类无法区分，另外一些参数则区分明显。例如，泥质岩与火山碎屑岩的密度完全相同，但磁化率、剩磁强度、电阻率与极化率却有着量级的变化（表 1-2）。因此，不同的岩石物性参数反映的岩石属性不同，如岩石密度主要反映造岩矿物的组成、含量与结构；岩石磁性参数则反映所含铁矿物的组成与含量，其热剩余磁化强度则记录成岩的热力学过程；岩石电性参数则主要反映岩石中金属矿物的分布与含量等，其中电阻率反映岩石结构与水饱和度，极化率反映导致金属矿物的种类与含量等。

表 1-1 岩石大类物性统计特征

参数	密度/ $(10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$		磁化率/ 10^{-6}SI		剩磁强度/ $(10^{-3}\text{A}\cdot\text{m}^{-1})$		电阻率/ $(\Omega\cdot\text{m})$		极化率/%	
	样数	均值	样数	均值	样数	均值	样数	均值	样数	均值
沉积岩	75865	2.54	9186	80	8525	5	1489	1233	1388	1.89
岩浆岩	43138	2.60	17183	1626	12406	30	3409	803	3382	2.08
变质岩	47746	2.67	18075	2922	7853	32	1686	838	1929	2.44
矿化岩石	2044	3.11	4467	72163	4460	2307	206	141	177	3.41

表 1-2 岩石类物性统计特征

参数	密度/ $(10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$			磁化率/ 10^{-6}SI			极化率/%		
	样数	均值	标准差	样数	均值	标准差	样数	均值	标准差
泥质岩	9013	2.51	0.20	382	79	5221	51	2.30	2.64
火山碎屑岩	4066	2.51	0.20	1043	323	22076	176	1.68	3.94
陆源碎屑岩	38796	2.55	0.15	3974	46	21586	497	1.88	2.10
潜火山岩	4276	2.56	0.13	1919	2305	98916	428	2.02	2.70
深成岩	28116	2.61	0.12	12574	1491	135138	2407	2.19	4.67

续表

岩石	密度/ $(10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$			磁化率/ 10^{-6}SI			极化率/%		
	样数	均值	标准差	样数	均值	标准差	样数	均值	标准差
火山熔岩	5809	2.62	0.17	1216	5825	59464	262	2.00	2.48
混合岩化变质岩	2747	2.62	0.11	702	717	82705	84	2.43	1.68
区域变质岩	44400	2.67	0.14	15646	2427	362338	1656	2.44	5.38
非蒸发岩	23828	2.70	0.10	2444	21	26561	800	1.89	5.81
气-液变质岩	320	2.72	0.15	389	5915	38513	97	2.08	15.91
接触变质岩	99	2.73	0.18	1341	52219	405019	81	3.06	6.02
辉绿岩	1051	2.83	0.15	367	3115	78459	80	1.21	1.02
铜矿	52	3.21	0.35	30	2626	75687	36	9.67	12.52
铁矿	950	3.22	0.63	3964	120090	1020552	141	2.61	19.22

与元素含量的统计特征一样，同一岩石物性参数也具有一定的变化范围（图 1-1）等特征。这是组成岩石的矿物成分种类与含量不稳定导致的。

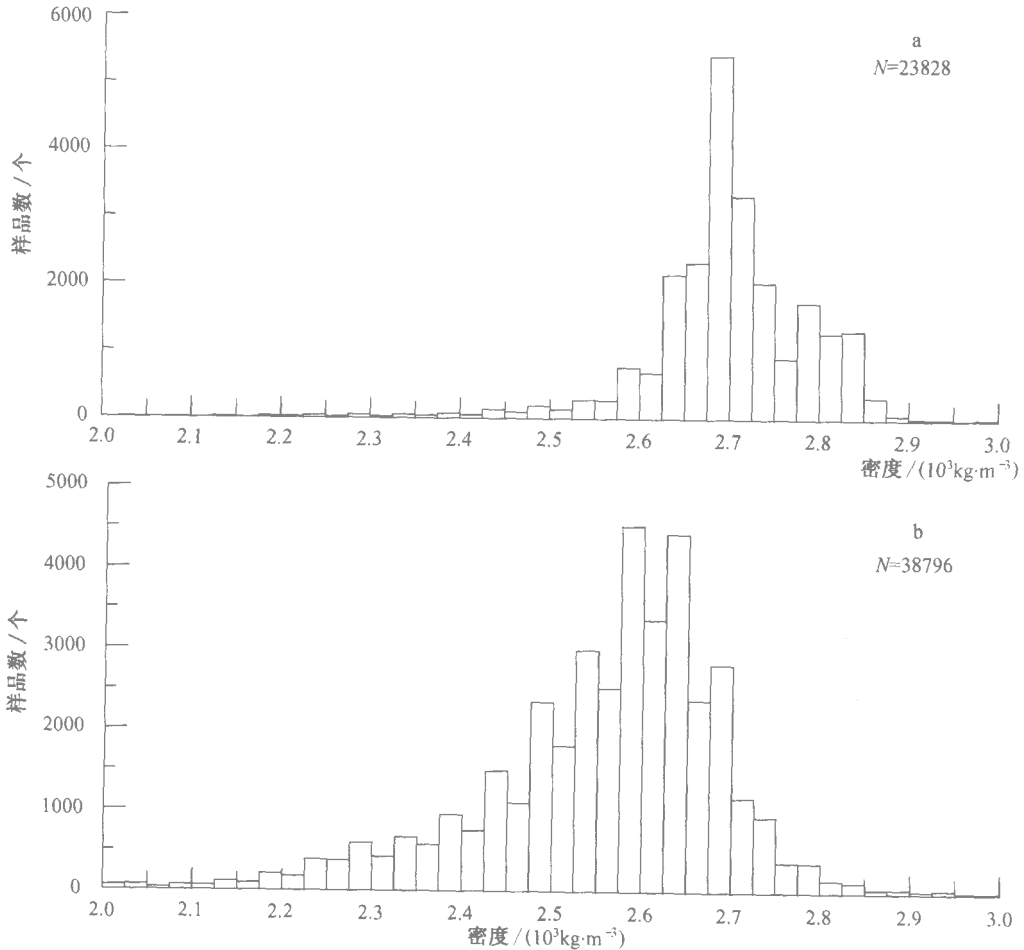


图 1-1 两类岩石密度直方图

a—非蒸发岩；b—陆源碎屑岩

综上所述，岩石物性参数是一种可量化描述岩石的指标，但指标的数值—岩石并不呈一一对应关系。也许在某些特定边界条件，如一个岩块内的岩石—物性指标会呈现出接近于一一对应的关系，从而在这特定条件下岩石物性参数成为描述岩石层次的地质体良好的量化指标。

三、岩块层次的物性特征

岩块层次描述一个地层单元、一个岩体或一个矿体的地质特征。举例说明物性参数对一个块体的量化描述。

例子来自中国东海科学超深钻探场址附近的采石场。在数百平方米的榴辉岩体上布设了7个独立的采样点（图 1-2）。根据剩磁倾角的大小，可以把7个采点分成两组，采点 1、2、3、5 的剩磁倾角为负，为反磁化，在研究区的东部；采点 4、6、7 的剩磁倾角为正，为正磁化，分布于研究区的西部。每个采样点的物性参数值不同（表 1-3）。因此，这个块体得到了岩石物性参数的量化数字式的描述，并给以结构特征的勾绘。

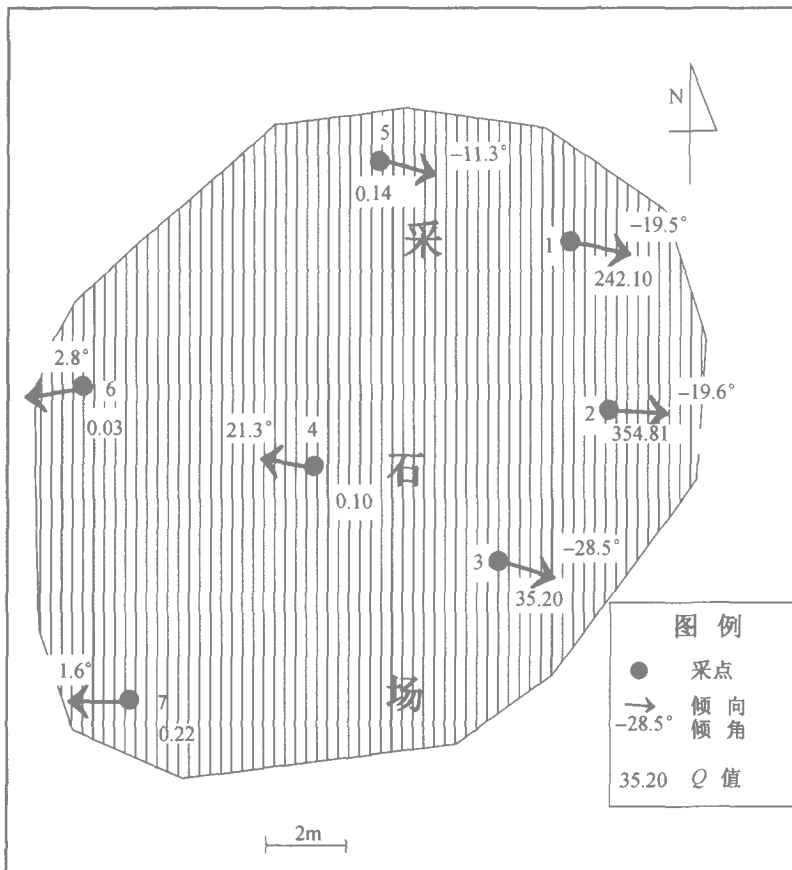


图 1-2 江苏省东海县榴辉岩体的物性采样点及磁性分布图

表 1-3 江苏省东海县榴辉岩体的各采样点岩石物性统计表

采点	样数/件	密度 ($10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	磁化率 10^{-6}SI	剩磁强度 ($10^{-3}\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$)	Q 值	地理坐标系		层面坐标系	
						偏角	倾角	偏角	倾角
1	14	3.693	2233.5	2552.7	242.10	131.5	-73.1	101.6	-19.5
2	10	3.663	2660.7	4446.3	354.81	123.8	-74.0	92.8	-19.6
3	14	3.690	1614.4	267.3	35.20	142.2	-74.3	107.1	-28.5
4	7	3.591	950.6	0.4	0.10	310.7	73.4	280.6	21.3
5	10	3.612	1199.5	0.8	0.14	129.1	-60.5	105.4	-11.3
6	20	3.580	872.9	0.1	0.03	254.9	54.5	262.4	2.8
7	36	3.606	1056.8	1.1	0.22	260.8	52.5	270.7	1.6

但是，在岩块之间的定量化的岩石物性描述中，物性差异的程度也不尽相同。表 1-4 是大量的岩石物性数据建立的我国系级地层单元的岩块密度统计结果。其中，寒武系、震旦系、青白口系的密度均值相同，标准差相近，在总体上几乎无法加以区别，可能是相似的海相沉积环境所决定。而其他系单元之间存在着多多少少的不同，区别明显。

表 1-4 年代地层系级单元的岩块密度 ($10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) 统计表

地层单元	样品数量	算术均值	最大值	最小值	标准差	离差系数	偏倚系数	峰凸系数
第四系	3139	1.58	2.63	1.10	0.18	0.11	0.52	4.18
第三系	2061	2.42	3.08	1.83	0.21	0.09	-0.43	3.00
新第三系	1954	2.30	2.67	1.44	0.22	0.10	-1.12	3.98
老第三系	1413	2.50	2.93	1.88	0.14	0.06	-0.82	3.60
白垩系	6102	2.46	2.87	1.80	0.18	0.07	-0.92	3.51
侏罗系	9305	2.54	3.12	1.30	0.13	0.05	-0.60	4.95
三叠系	6304	2.56	3.36	1.87	0.13	0.05	-0.71	5.51
二叠系	7930	2.57	3.57	1.22	0.19	0.07	-2.86	18.88
石炭系	8287	2.64	3.70	1.31	0.15	0.06	-0.56	15.09
泥盆系	6949	2.65	3.06	1.94	0.12	0.04	-1.68	9.00
志留系	2574	2.63	3.27	1.92	0.11	0.04	-1.07	7.64
奥陶系	7608	2.68	3.34	1.66	0.10	0.04	-0.54	8.92
寒武系	11708	2.66	3.49	1.93	0.12	0.05	-1.27	6.82
震旦系	7540	2.66	3.38	2.04	0.12	0.04	-0.15	5.64
青白口系	2444	2.66	3.31	2.03	0.16	0.06	-0.09	4.37
蓟县系	2493	2.74	3.04	2.12	0.12	0.04	-0.78	4.18
长城系	4717	2.67	3.24	1.77	0.12	0.04	-0.53	5.41

四、块体层次的物性特征

块体层次则属于区域地质问题。以东海地区的物性讨论小块体、以华北地区的物性讨论大块体的定量化的岩石物性描述的可能性问题。

在东海地区数百平方公里内，我们分析的数种主要岩石的物性，其中榴辉岩是最令人感兴趣的目标。物性测试的结果见图 1-3。榴辉岩密度高达 $3.5 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ ，与其他岩石的密度在 $2.7 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ 左右，有着很大的差异。这是由于其矿物组成所决定的。榴辉岩主要由密度为 $(3.582 \sim 4.318) \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ 的石榴子石、密度大于 $3.2 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ 的绿辉石组成。如发生金红石（密度为 $4.4 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ ）矿化，则榴辉岩的密度相应增大。如发生角闪石 [密度为 $(3.1 \sim 3.3) \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$] 化，角闪石化榴辉岩密度则降低。而其他岩石

主要为石英 [密度为 $(2.3 \sim 2.6) \times 10^3 \text{kg/m}^3$]、长石 [密度为 $(2.5 \sim 2.7) \times 10^3 \text{kg/m}^3$] 组成，密度相应较低。榴辉岩与其他岩石平均密度差达 $0.9 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。因此，在该区使用岩石密度，就可较精确地量化地区分榴辉岩与非榴辉岩。同时，使用磁性参数也可对各种榴辉岩进行区分（图 1-3）。

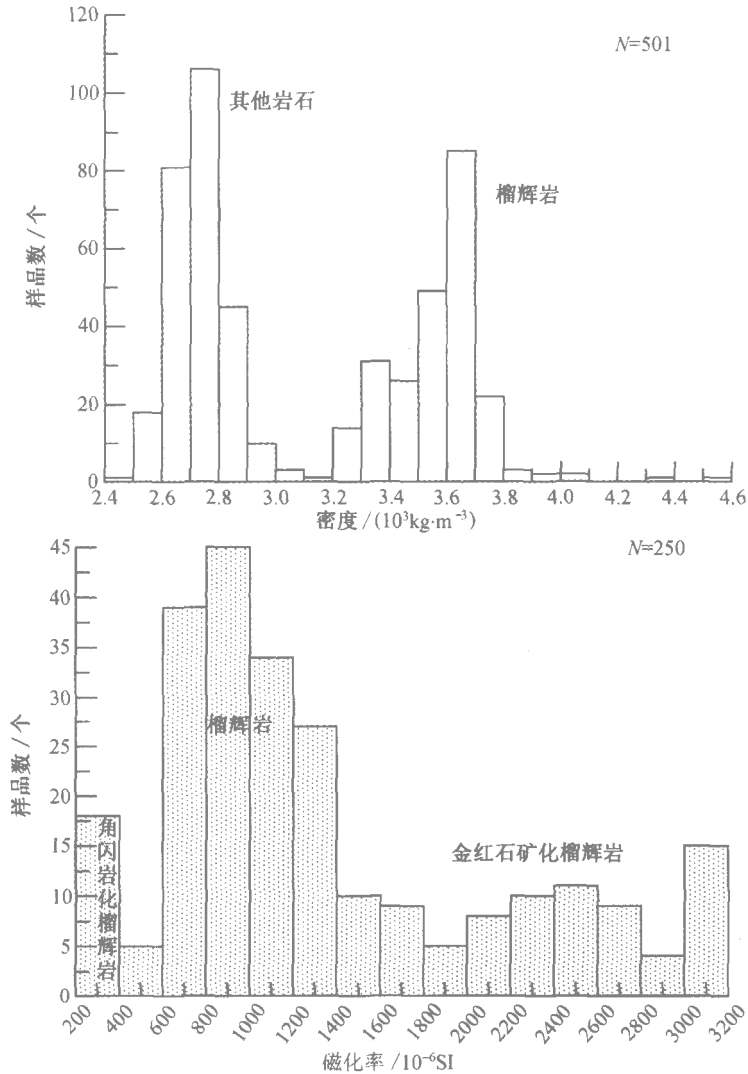


图 1-3 东海毛北地区主要岩石密度直方图及榴辉岩磁化率直方图

再看华北地层物性的情况。以密度为例，华北地区地表表层沉积岩、固结沉积岩、沉积岩中非蒸发岩的密度等值线图分别示于图 1-4、图 1-5、图 1-6。显然它表示的内容或侧重点不同。所有沉积岩密度的分布，反映的是固结与非固结岩石的区分，即覆盖区与出露区的区分。而固结沉积岩，其主要块体反映的则可能是高密度的非蒸发岩与低密度的陆源碎屑岩之分（表 1-2），即海相为主的沉积与陆相为主的沉积区的区别。非蒸发岩的密度分布（图 1-6）则区分了高密度的白云岩为主的与低密度的石灰岩为主的沉积分区。

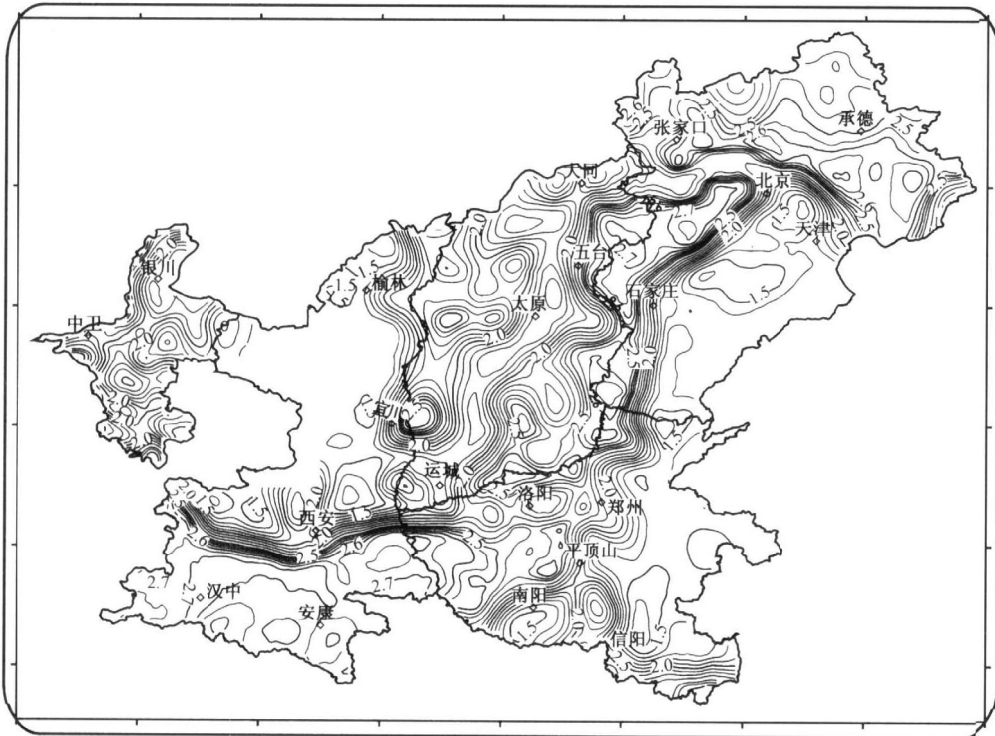


图 1-4 华北地区沉积岩密度等值线图 (单位: $10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

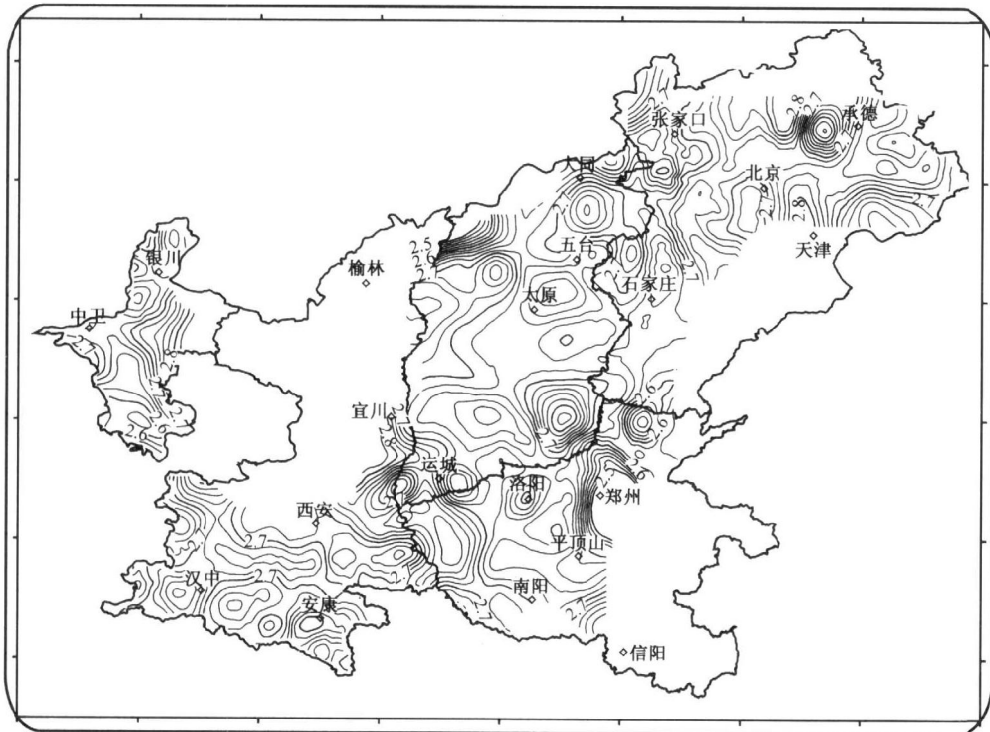


图 1-5 华北地区固结沉积岩密度等值线图 (单位: $10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

我们认为煤层的围岩主要是碎屑岩，通过研究碎屑岩可能会得出煤层沉积的古环境资料。

石炭纪一二叠纪陆源碎屑岩的密度分布见图 1-7。根据密度的大小进行石炭纪一二叠纪陆源碎屑岩密度块体的划分：密度小于 $2.5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的区域为低密度块体，主要为平顶山低密度块体和大同 - 五台 - 石家庄低密度块体，其次为榆林低密度块体、宜川低密度块体、洛阳 - 渑池低密度块体；密度大于 $2.7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的区域为高密度块体，主要分布于陕西秦岭，为西安 - 汉中高密度块体；密度介于 $(2.5 \sim 2.7) \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 之间的为高低密度块体的过渡带。

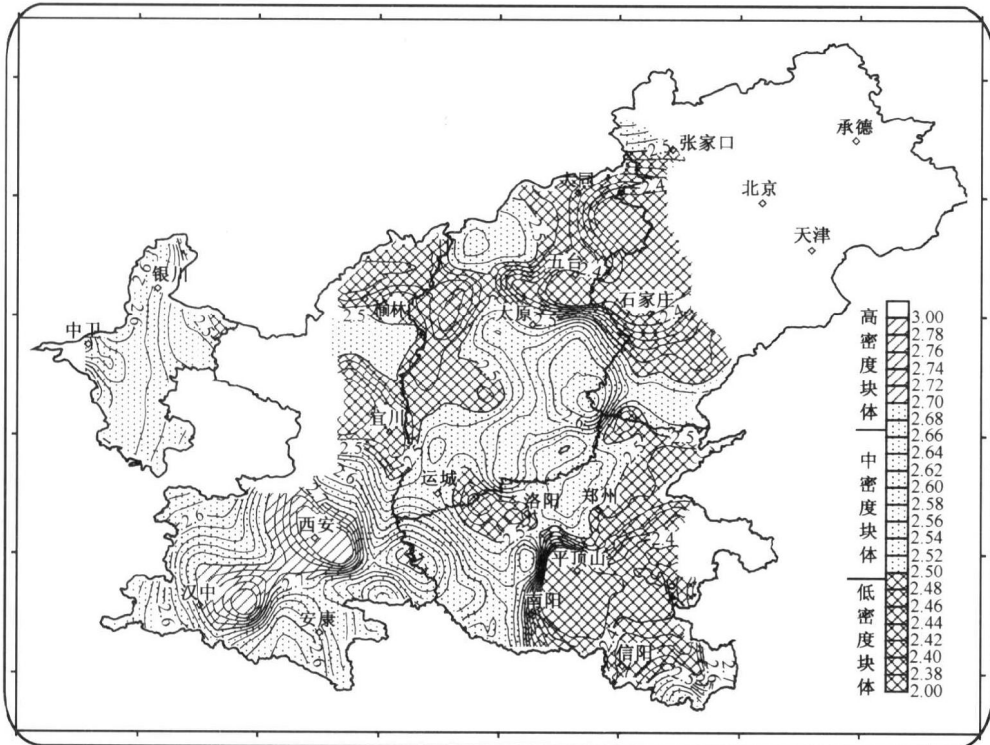


图 1-7 华北地区石炭纪一二叠纪陆源碎屑岩密度块体的划分 (单位: $10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

华北地区石炭纪一二叠纪陆源碎屑岩的密度最低处为平顶山地区，是我国主要的煤田之一。大同 - 五台 - 石家庄低密度块体也是山西、河北最重要的产煤区，但密度最低并不位于大同，这主要是后期太行山构造带的强烈活动、岩浆入侵、山体隆升而导致石炭系一二叠系的剥蚀或煤层的自燃，从而致使煤层质量与数量的下降，而大同地区位于地质稳定的地区，煤层得到较好的保存。

在榆林低密度块体、宜川低密度块体、洛阳 - 渑池低密度块体等处，目前均是重要的产煤地区。内蒙古东胜煤区位于榆林低密度块体的北部。宜川低密度块体的北部发育着子长、羊马河等煤田，南部发育着蒲白等煤田。洛阳 - 渑池低密度块体发育有观音堂、鹿马等大型煤田，是河南省仅次于平顶山的产煤区。

处于高密度块体与低密度块体的中间过渡带不同程度发育着石炭纪一二叠纪的煤层。

但是，西安 - 汉中高密度块体的石炭纪一二叠纪煤层发育极为不好，几乎无小煤矿开

发。因此，华北地区石炭纪一二叠纪陆源碎屑岩密度块体的划分，基本上说明了该地区在该时代的煤田发育情况。

二、石炭纪泥质岩密度块体与铝土矿的找矿方向

我国铝土矿分布遍及全国，分两种，一种是沉积型铝土矿，主要产于中、上石炭统，标示为 G 层铝土矿，是我国最有经济价值的铝土矿层，河南、山西的储量为最多；其次为二叠系、三叠系中的铝土矿。另一类型为风化残余型，主要是南方第三系玄武岩风化产生。

我们选择华北地区的 G 层铝土矿作为岩石物性块体的研究对象。

G 层铝土矿的赋存主要与古风化壳表现的古地理所决定的沉积环境有关（翟东兴等，2002；程东等，2001；水兰素等，1999；李海光，1998；吴国炎，1997；卢静文等，1997；汤明章等，1996），与泥质岩共生或伴生（李海光，1998；吴国炎，1997；汤明章等，1996；石岩等，1996）。如我国最大的铝土矿资源地之一的孝义—霍州铝土矿带形成于本溪期一条狭长的低凹盆地，盆地中心由泥质岩—铁质岩或铁质岩—泥质岩区组成；盆地边缘相由铝质岩区、泥质岩—铝质岩区、铝质岩—泥质岩区构成，铝土矿主要分布于盆地边缘相内（李海光，1998）。

基于上述地质认识，我们选择石炭纪泥质岩为研究对象，通过泥质岩的密度分布来认识华北地区 G 层铝土矿的赋存规律以及找矿方向。

华北地区石炭系 1214 个泥质岩的密度分布见图 1-8。显见其密度的变化范围极大，并且呈多峰分布，反映其富含地质信息。对泥质岩中各代表性岩石进行密度统计，发现炭质页岩、粘土岩的密度较低，页岩、铝土质页岩、砂质页岩的密度中等，而硅质泥岩、粉砂质泥岩、泥岩的密度较高（表 1-5）。从页岩到泥岩，其矿物颗粒趋于减小，密度渐趋增大。因此，密度从低至高，反映出了沉积环境从浅水的近源沉积（含炭质比较高）至深水的远源沉积，而铝土矿的沉积则介于浅水—深水之间，可能是浅水与深水间的化学变化较大的区带即盆地边缘相。

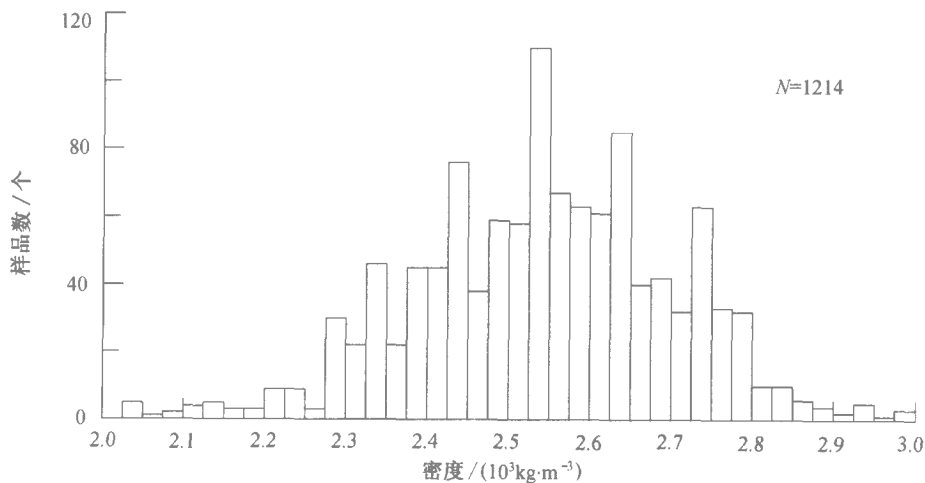
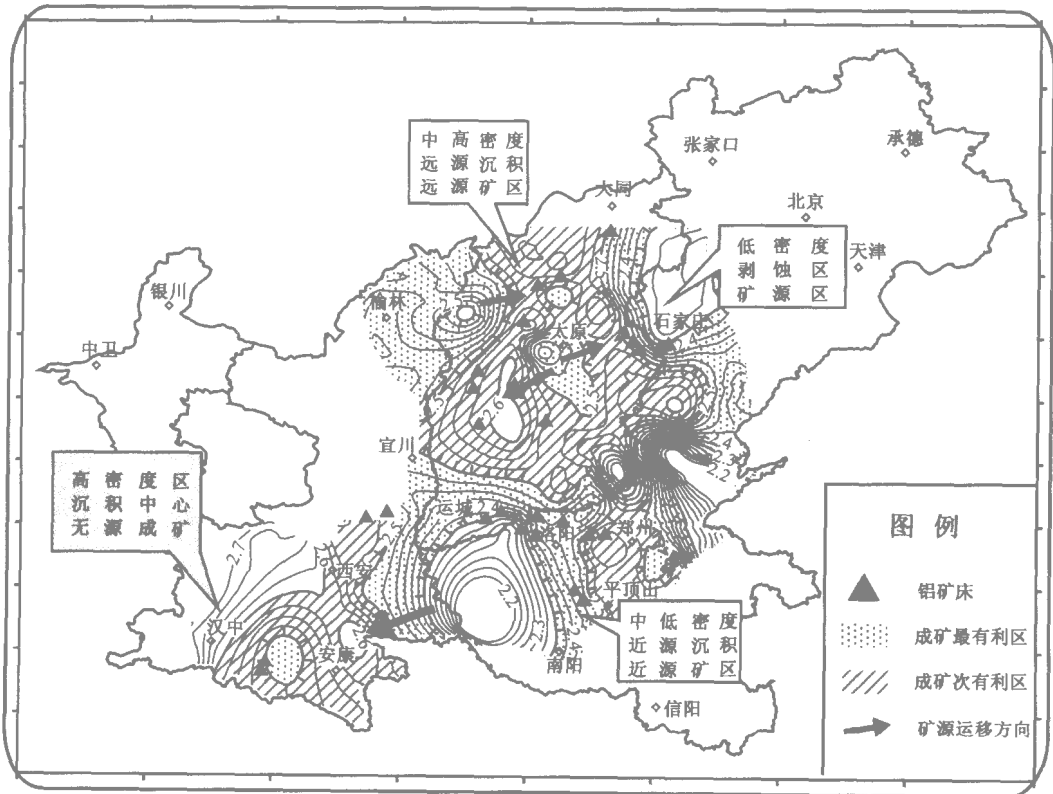


图 1-8 石炭系泥质岩密度直方图

表 1-5 石炭系泥质岩中代表性岩石密度 ($10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) 统计表

岩石名称	样品数/个	均值	标准差	最小值	最大值
炭质页岩	165	2.32	0.33	1.43	3.10
粘土岩	80	2.39	0.06	2.30	2.51
页岩	436	2.52	0.17	1.76	3.37
铝土质页岩	37	2.54	0.19	2.16	2.95
砂质页岩	173	2.56	0.15	1.86	2.80
硅质粉砂质泥岩	13	2.61	0.14	2.24	2.71
硅质泥岩	18	2.63	0.08	2.50	2.89
粉砂质页岩	47	2.66	0.06	2.59	2.84
泥质页岩	42	2.71	0.16	2.24	2.86
砂质泥岩	67	2.75	0.04	2.52	2.80
泥岩	62	2.80	0.29	2.29	3.66

把华北地区石炭系泥质岩的密度绘制成等值线图可发现：晋冀豫陕在石炭纪存在 4 个泥质岩低密度块体，3 个次低密度块体，4 个高密度块体。低密度块体与高密度块体基本上无或较少有铝土矿床的开发。而铝土矿床主要分布在低密度块体与高密度块体的过渡地带。把过渡带分成两部分，第一部分为较低的密度分布区；第二部分为较高的密度分布区（图 1-9）。

图 1-9 石炭纪泥质岩密度块体与铝土矿床分布的关系 (单位: $10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

根据泥质岩从浅水沉积到深水沉积即从古潜山的剥蚀区向盆地中心的沉积区，其密度具有增高的趋势（表 1-5），得出如下的推论：低密度块体代表了剥蚀区，4 个低密度块体与 3 个次低密度块体是铝土矿的矿源区。从矿源区向外运移，当发生运移环境的变化（地球化学障）时，发生铝土矿的沉积，沉积物质通过此化学障时，铝基本上沉积完毕，再向深处的盆地中心时，铝离子或铝络合物的浓度趋于零，即没有铝的沉积作用发生，因此在盆地中心与古潜山区不形成铝土矿床（图 1-9）。

据此，我们得到了华北地区 G 层铝土矿的找矿远景区（图 1-9）。

上述对成矿围岩的密度块体的分析，我们得到如下认识：利用与矿床 / 矿体具有成生联系的岩石进行岩石物性的定量化描述与空间解构，可建立岩石物性块体 - 地质环境 - 成岩成矿作用模型，从而较精确地定位成矿远景区，从而指导找矿方向，这也说明了岩石物性块体对地质块体的定量化描述具有潜在的经济意义。

总之，与地球化学块体中的元素指标一样，岩石物性参数指标也是定量化数字式描述地质块体的指标，岩石物性块体能够较好地描述地质块体，并且能够有效而精确地进行地质块体的解构，在科学研究与矿业生产活动中具有使用价值。

第四节 岩石物性块体的概念及可能应用领域分析

岩石物性块体建立在含巨量数据的全国岩石物性数据库上。岩石物性块体的可能应用领域，原则上由该数据库中每条物性数据记录的信息所决定。

岩石物性数据记录的主要信息见于图 1-10。可分解成几个部分：岩石物理参数的数值信息，分密度、磁化率、剩磁强度、电阻率、极化率等参数的数值；空间信息，由经度、纬度、深度构成 3D 位置；地质信息，分岩石、地层 / 岩体、年代等。这三大信息可进行组合——单独的物性数据或单独的空间数据，它没有任何的意义，只有在地质科学理论的指导下进行信息的组合，才具有实际的可操作的意义，举例如下。

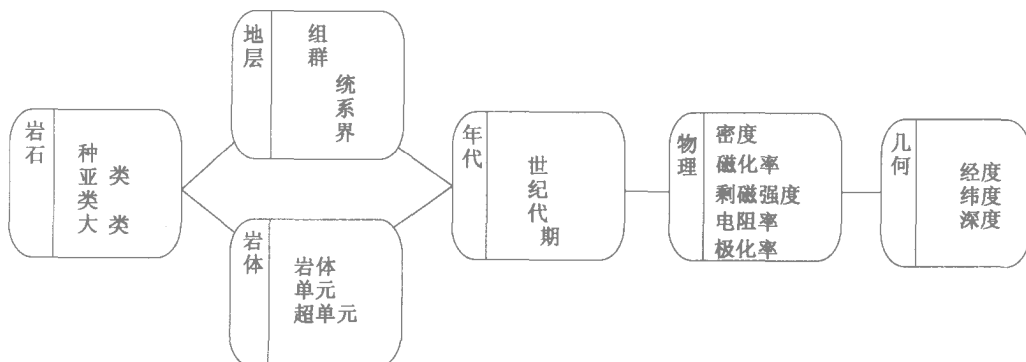


图 1-10 岩石物性记录的信息构成

(1) 岩石 - 物性参数组合：提供岩石层次的物性描述，说明岩石种、亚类、类、大类以综合性的物理参数为指标的相似或相异程度。此时，物性参数的应用主要在于“这个参数的这个值可能对应那个的岩石物质。”

(2) 地层 / 岩体 - 物性参数组合：提供岩块层次的物性描述，说明地层单元、岩体单元、矿体单元的以物理参数为指标的相似或相异程度。此时，物性参数的应用主要在于“这个参数的这个值可能对应那个岩块的地质现象。”

(3) 岩石 - 物性参数 - 空间组合或地层 / 岩体 - 物性参数 - 空间组合：此时才提供空间分析的可能性。说明岩石层次或岩块层次的物性空间结构。此时，物性参数的应用主要在于“这个地方的这个参数的这个值可能对应那个岩石或那个岩块的地质现象。”

(4) 时代 - 岩石 - 物性参数 - 空间组合或时代 - 地层 / 岩体 - 物性参数 - 空间组合：此际才提供同时进行历史分析与空间分析的可能性。说明某一时代中的岩石层次或岩块层次的物性空间结构。此时，物性参数的应用主要在于“这个时代、这个地方的这个参数的这个值可能对应那个岩石或那个岩块的地质现象。”

显然，全国岩石物性数据库的物性记录的信息，足以进行岩石层次、岩块层次、块体层次的定量化数字式描述与解构。

全国岩石物性数据库的起点为岩石手标本的物性数值，又含有地质学最基本的对岩石手标本的基础性地质信息（岩石命名与分类、岩体或地层归属、形成地质年代归属），因此岩石物性块体的应用领域原则上与传统地质学的研究 / 调查领域相对应，只不过是岩石层次以上的地质体进行定量化数字式的描述与分析罢了。

作者把岩石物性块体初步定义为：岩石物性块体以岩石层次或岩块层次的具有不同物理意义的物性参数为定量化指标，通过数字形式描述的地质块体。

下面也从最基本的岩石层次出发，分沉积岩岩石学、岩浆岩岩石学、变质岩岩石学 3 个方面分别考察岩石物性块体对相应的地质块体的描述与分析能力及其应用的效果。

第二章 地质块体及其数字化 的岩石物性描述

全国岩石物性数据库是基于物性-地质相关联的思想设计而成的,通过对全国岩石物性数据库上岩石物性数据的统计与制图,分析以地层区划为代表的地质块体之间岩石、地层在物性方面差异的表现,借此探讨地质块体能否用岩石物性参数加以定量化数字式描述。

第一节 全国岩石物性数据库的特点

全国岩石物性数据库入库的每条岩石物性记录一般含有空间属性(省、县/市、经度、纬度、深度)、岩石学属性(岩石大类、岩石类、岩石亚类、岩石种)、地层学属性(组、群等岩石地层单元,统、系、界等年代地层单元)和侵入岩岩石学属性(岩体名称、侵入期次)、地层区划属性(地层小区、地层分区、地层区、地层大区)等地质属性,以及所具有的岩石物理属性(密度、密度测试仪器,磁化率、磁化率测试仪器,剩磁强度、剩磁强度测试仪器,电阻率、电阻率测试仪器,极化率、极化率测试仪器等),具有丰富的地质学属性,是具有深厚地质学基础的岩石物性-地质属性(图 1-10)的关联数据库,将提供较为完备的岩石物理-地质关系数据,是地质学与地球物理学相互融合的重要基础。

2000~2002年,已清理、评价、入库岩石物性记录 26 万条,其中,密度约 17 万条、磁化率约 5 万条、剩磁强度约 3 万条、电阻率 7000 条、极化率 7000 条,初步形成了一定规模的全国岩石物性数据库。基于这批数据基础,根据地层区划,以整个工作区、地层大区(华北地层大区、华南地层大区)地层区(晋冀鲁豫地层区、秦祁昆地层区、南秦岭-大别山地层区、扬子地层区、东南地层区等 6 个)地层分区(迭部-旬阳、东昆仑-中秦岭、鄂尔多斯、桂湘赣、华北北缘、华北平原、华北西缘、江南、摩天岭、祁连-北秦岭、山西、上扬子、十堰-随州、武夷、下扬子、燕辽、阴山、豫陕等 18 个地层分区)分别对岩石大类、岩石类、岩石亚类、岩石地层组、群、年代地层统、系、界、侵入岩体期次进行密度、磁化率、剩磁强度、电阻率、极化率的统计,得到了大量的统计表,为应用地球物理学提供了基础性资料。

初步建成与完善的全国岩石物性数据库是地质学-地球物理学联系的重要桥梁,但如何应用大量的区域岩石物性数据直接探讨区域地质问题?如何应用量化的岩石物性数据解决地质问题?能不能有效地解决区域地质问题?等等,成为考虑区域物性工作或全国岩石物性数据库工作有无必要开展下去的问题。

虽然目前所进行的物性清理工作仅在河北省、江西省、宁夏回族自治区、陕西省、山西省、河南省等六省区进行,但通过各省区岩石物性情况的评估、分析,对全国区域物探调查特别是区域重力调查程度的综合,得到全国岩石物性数据的最低估计:全国可利用的区域岩石密度数据约 60 万个、磁性数据约 20 万个、电性数据约 10 万个,其可靠性为

90%。但这六省区其面积为 93.5 万 km²，约占我国陆域面积的 1/10，分属于华南、华北东部、西部，在地质工作上具有代表性。因此，通过这六省区已清理出了 26 万条物性记录，根据此数据库建立的地质-物性模型，探讨地质块体与物性块体的对应关系，对地质块体进行数量化描述，旨在建立岩石物理学解决地质问题的方法技术，以促进地球物理学与地质科学的有机融合与全面进步。

第二节 地层分区间的物性差异特征

只有相异才有区别。本节以地层分区为统计范围，对其中的岩石、地层的密度进行对比，探讨岩石密度能否描述地层分区间的差异，分析岩石密度用于描述地层分区内部结构的能力。

一、地层分区间岩石物性的差异

中国东南区、华北区的部分地层分区（都洵等，1998；陈晋镛等，1997）岩石大类的密度见表 2-1。在一个地层分区内，沉积岩、火成岩、变质岩、矿石的密度具有明显的差异。对于同一种岩石类型如沉积岩，地层分区间的密度存在程度不同的差异，如鄂尔多斯地层分区沉积岩的密度仅为 $2.44 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，燕辽地层分区达 $2.53 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，武夷地层分区为 $2.61 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，十堰-随州地层分区的密度达到 $2.72 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。但也存在着异常性不明显的情况，如阴山地层分区、华北北缘地层分区、山西地层分区、豫陕地层分区、燕辽地层分区沉积岩的密度为 $2.51 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 至 $2.53 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 间，在测量误差范围内相近。沉积岩密度相近的地层分区，主要处于同一个地层区或地层大区内，反映的是相似的沉积环境与沉积成岩过程。而沉积岩密度差异明显的地层分区，主要分布于不同的地层区或地层大区中，反映的是不同的沉积环境与沉积成岩过程。

表 2-1 全国部分地层分区岩石大类密度 ($10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) 统计表

地层分区	沉积岩		火成岩		变质岩		矿石	
	样数	密度	样数	密度	样数	密度	样数	密度
鄂尔多斯地层分区	1551	2.44	77	2.64	/	/	/	/
阴山地层分区	63	2.51	346	2.61	855	2.72	/	/
华北北缘地层分区	218	2.52	2619	2.53	1294	2.73	565	3.09
山西地层分区	7543	2.52	1869	2.61	7000	2.69	127	3.32
豫陕地层分区	9837	2.52	4531	2.63	7370	2.67	361	3.45
燕辽地层分区	4298	2.53	4617	2.58	5315	2.69	58	3.06
祁连-北秦岭地层分区	9600	2.54	1455	2.69	2784	2.72	138	2.74
华北西缘地层分区	7557	2.58	133	2.67	709	2.70	/	/
江南地层分区	11688	2.59	6313	2.62	7523	2.61	82	3.04
武夷地层分区	3234	2.61	7004	2.58	1932	2.65	/	/
桂湘赣地层分区	7453	2.63	3967	2.61	3477	2.65	/	/
下扬子地层分区	896	2.64	221	2.58	138	2.55	/	/
上扬子地层分区	2630	2.64	599	2.70	405	2.70	/	/
摩天岭地层分区	441	2.68	305	2.69	459	2.66	/	/
迭部-旬阳地层分区	3269	2.69	1242	2.70	2245	2.69	/	/
东昆仑-中秦岭地层分区	783	2.69	175	2.68	512	2.71	/	/
十堰-随州地层分区	137	2.72	83	2.79	140	2.68	/	/