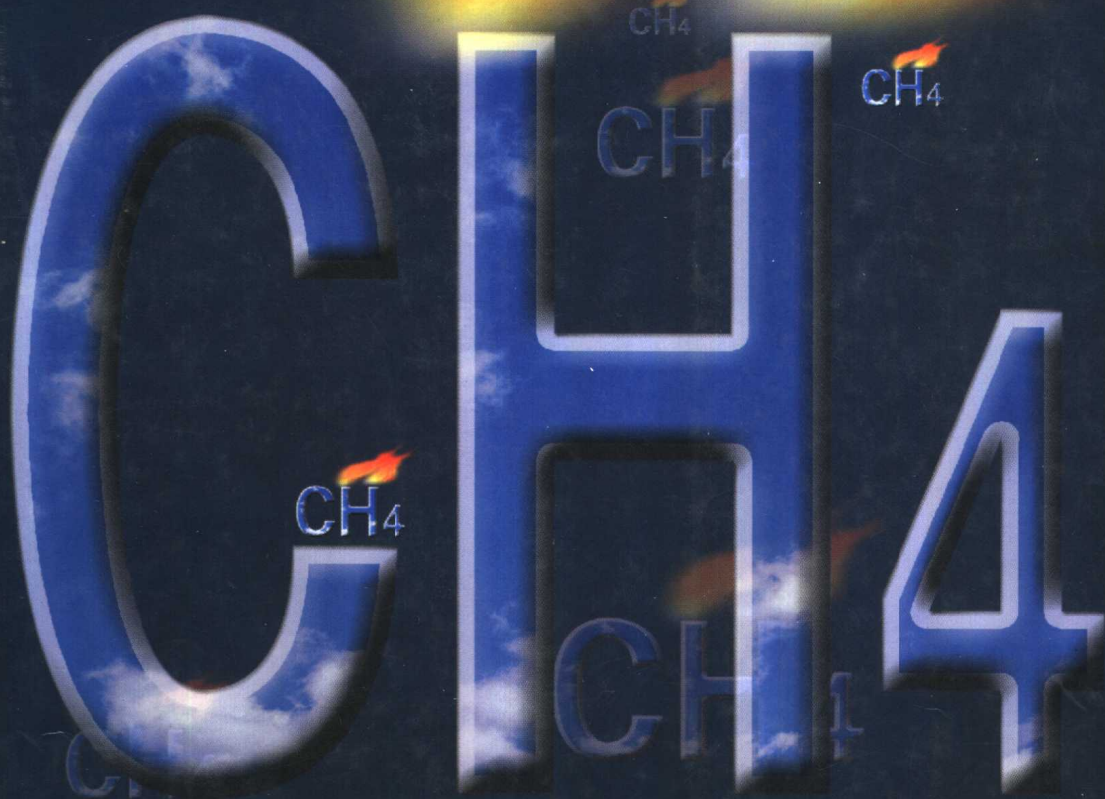


黔西滇东煤层气地质与勘探

QIANXI DIANDONG MEICENGQI DIZHI YU KANTAN

桂宝林等 ■ 著



CH₄

◎ 云南科技出版社

P618.11
G-153

黔西滇东 煤层气地质与勘探

QIANXI DIANDONG MEICENGQI DIZHI YU KANTAN

桂宝林等 ■ 著



C00972285

CH4

◎ 云南科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黔西滇东煤层气地质与勘探/桂宝林著. —昆明:

云南科技出版社, 2000.12

ISBN 7-5416-1459-9

I. 黔... II. 桂... III. ①煤层气-地质学-研究-云贵高原②煤层气-油气勘探-研究-云贵高原

IV. P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 57763 号

书 名: 黔西滇东煤层气地质与勘探

Qianxidiandong Meicengqi Dizhi yu Kantan

作 者: 桂宝林等

出 版 者: 云南科技出版社 (昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼, 邮编: 650034)

责任编辑: 单沛尧 李永丽

封面设计: 周 文

责任校对: 金 唐

印 刷 者: 云南地质矿产局印刷厂

发 行 者: 云南科技出版社

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 14.375

字 数: 332 千字

版 次: 2001 年 1 月第 1 版

印 次: 2001 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 0001 ~ 1100 册

书 号: ISBN 7-5416-1459-9/P·23

定 价: 80.00 元

若发现印装错误请与承印厂联系



纪念我国加入《保护臭氧层维也纳公约》十周年，并深切悼念近年来煤矿瓦斯事故的全体罹难者！

编 委 会

主 编 桂宝林

编 委 王学仁 王朝栋 石 磊

黄孝敏 黄明瑞 陈 圻

顾成亮 叶晓斌 黄 欢

前 言

煤层气是成煤过程中生成并主要以煤层为储层的非常规天然气（此外，还包括从煤层中渗透、扩散到常规储层中的游离气和煤层水中的水溶气），通常甲烷组分占绝大部分，故亦称煤层甲烷。煤层甲烷以分子吸附状态赋存于煤基质的巨大内表面上（同样深度条件下，煤的储集能力比10%孔隙度的常规砂岩储层的储集能力大1~2倍）。

煤层气是一种新兴的洁净能源，全球煤层气资源潜力巨大。我国煤层气资源也十分丰富，经笔者估计除去构造强烈活动区、不利煤种分布区和瓦斯风化带，我国2000m埋深以浅的可供勘探的煤层气资源约10万亿~15万亿 m^3 。煤层气开发利用对我国国民经济的发展和保护全球环境都具有重要战略意义。正如邹家华副总理（1996年）指出的：“①中国是联合国《保护臭氧层维也纳公约》的签约国，减少温室效应强烈的煤层气排放量，保护全球环境，是中国政府忠实履行国际公约，主动承担相应国际义务的具体体现。②开发煤层气这一新能源可改善我国能源结构，进而促进我国以煤为主的能源系统逐步向对环境无害的可持续发展的模式转变。③在采煤之前先开采煤层气，可以从根本上防治频繁发生、危害剧烈的煤矿瓦斯事故，大大改善煤矿安全生产条件。”

近年来，我国政府对煤层气的开发利用高度重视，江泽民主席1996年题词：“依靠科技进步发展煤层气产业造福人民。”党和国家其他领导人李鹏、邹家华、宋健等均对开发煤层气题词。邹家华副总理还指出：“开发煤层气利国利民、有着重大社会与经济综合效益，应当引起我们的足够重视。万事开头难，在我国煤层气产业的起步阶段，政府有关部门要给予必要的扶持。”

石油、地矿、煤炭及中联煤层气公司等部门近年来积极展开煤层气的勘探开发及科技攻关，取得了初步的成效，如在沁水盆地已获得上千亿 m^3 的探明加控制储量。

由于煤层气储层（主要是煤）及煤层气赋存状态的特殊性，煤层气的勘探开发与常规天然气有很大的不同。可以说，煤层气勘探开发在石油天然气勘探开发史上是继石油勘探开发阶段、常规天然气勘探开发阶段之后的第三阶段。为了完善煤层气地质学的基础理论及发展煤层气勘探开发工艺水平，笔者认为以下3点在目前阶段应着重研究：

（1）中国煤层气地质学理论尚处于形成过程中，一些支撑理论需深入研究：①没有煤层气盆地就没有煤层气藏。煤层气盆地的成生、演化、分类及盆地分析理论与方法有待深入研究，且用于指导中国煤层气盆地的研究；②煤层气藏的成藏条件，不等同于常规天然气藏的成藏条件，有其自身的特殊性和规律性，有待系统深入的研究总结；③煤层气田水文地质学的研究具有重要意义；④煤层气富集高产控制因素的系统研究；⑤煤层气运移与储集、煤层气藏的封盖与保存的系统研究；⑥煤层气系统的研究；⑦煤层气盆地评价、区带评价、目标评价科学方法的研究；⑧煤层气地质风险分析因素及方法的研究。

（2）现有的煤层气资源评价、煤层气选区评价和煤层气勘探目标评价理论和方法有待

深入研究。上述三项评价必须以煤层气地质学理论为基础，密切结合数学地质、系统论、计算机科学、经济学等学科，建立科学的评价体系、方法和流程。

(3) 煤层气钻井完井技术、煤层气井测试及增产技术等工艺技术有别于常规天然气的有关技术，在积极引进的同时要发展那些适合中国不同类型煤层气田的工艺技术，以形成自己的特色。

黔西滇东地区是我国煤层气盆地广泛分布区，含煤面积大于 200km² 的煤层气盆地达 20 多个。煤层气资源十分丰富，其中可供勘探的煤层气资源约占全国可供勘探的煤层气资源的 10% 以上。

由于中国长江以南陆上油气资源在全国陆上油气资源中所占比例很小（不足 5%），因而煤层气的开发利用就具有重要的战略意义。特别对于缺油少气而交通相对不利的滇黔两省，煤层气的开发利用就更显重要。

本书是近年来我们在煤层气地质学及煤层气勘探开发方面一系列研究工作的结晶，我们承担的云南省自然科学基金重点项目“96D008Z”——“云南煤层气成因、聚集规律研究及资源评价”经云南省科委组织专家鉴定，成果水平达国际先进水平；我们承担的部级重点攻关项目“滇黔桂地区煤层气勘探目标评价研究”经部级评审，成果水平达国内领先水平。参加研究工作的有桂宝林、王学仁、王朝栋、石磊、黄孝敏、叶晓斌、顾成亮、黄明瑞、陈圻、张家臣、封永泰、张寿明等。

本书第一章、第二章第三节由王朝栋编著；第十一章第六节由黄孝敏编著；第七章第二节由桂宝林、王朝栋、顾成亮编著；第九章第二节由石磊、桂宝林编著；第十二章由陈圻、桂宝林编著；本书其余章节及绪论、结束语由桂宝林编著。图版 II ~ VII 由顾成亮、张寿明制作。全书由桂宝林统稿。

研究工作过程中，得到各方面的大力支持和帮助，他们是：

云南省科委应用基础处、计财处、成果处；

云南省计委能源交通处；

云南省政府外资办；

云南省曲靖市政府；

贵州省六盘水市政府；

中国石油天然气集团公司科技局、勘探局、煤层气勘探项目经理部；

中国石油化工集团公司技术开发部、油田部、外事局；

云南大学；

贵州省地质矿产局；

云南省地矿局计算中心；

云南省煤田地质局；

云南省曲靖市恩洪矿、羊场矿；

贵州省煤田地质局；

贵州省盘江矿务局火铺矿、老屋基矿、月亮田矿；

贵州省六枝矿务局六枝矿、四角田矿、苦竹林矿、凉水井矿；

贵州省水城矿务局大河边矿。

在此谨表谢意！

研究工作过程中，特别得到以下领导及专家的支持与帮助，他们是：

云南省科委刘诗嵩基金委主任、李村生处长、刘家培副处长、黄文昆、毕红、李英、武卫；

云南省计委卯稳国副主任、杨通伦处长、陈军副处长、李文定高工、林茂杰工程师；

云南大学谢应齐教授、潘建新教授（博士生导师）；

云南省地矿局王宝禄教授级高工、陈宇同教授级高工、谢蕴宏高工、张兆鹏高工、赵准高工、周云、蔡玲婷、何家学、李定平；

云南省地质学会蒋志文秘书长、魏永乐高工。

昆明理工大学冉崇英教授、马骏骑处长、戴福盛教授（博士生导师）、秦德先教授（博士生导师）；

云南省有色局梁秉强高工；

云南煤田地质局罗启亮局长、龙宝丰总工程师、郭鑫总工程师、林玉成处长、刘禄发队长、荣希麟主任、吴朝栋高工；

云南省地震局阚荣举研究员；

云南省曲靖市王学智市长、苏永宁秘书长；

贵州省地矿厅李含正厅长、吴道生副厅长、王华云所长、梁福谅高工、王龙主任；

贵州省六盘水市易胜金市长、王瑞江副市长（现中国地质调查局矿产资源评价部主任）、叶文邦副市长、周兆局长、周邦林副主任、陈本金副主任、周文武副主席、任天成总工程师、吴进工程师、王炳彝副主任；

贵州省煤田地质局徐立世局长、徐彬彬总工程师、卓军副院长、何泽官总工程师、肖石民高工、易同生队长；

中国石油天然气集团公司石宝珩局长、陈永武总地质师、胡朝元教授、赵庆波经理、戚厚发教授、关增森教授、李五忠高工、张建博博士、王宏岩工程师；

中国石油化工集团公司牟书令副总经理、关德范副主任、李干生主任、蔡希源总地质师、许卫平处长、段智斌处长、谢晓安教授级高工、李成处长、王国利博士；

中国科学院地质所汪集昶院士；

中原石油勘探局刘锦信局长、吴佩芳主任、李玉魁经理；

滇黔桂石油勘探局袁政文局长、雷文举局党委书记、邹绍春总地质师、郭自任高工、陈蜀生处长、周仁安处长、马宏雯副社长、李建筑主任、刘建明主任、李红。

作者对他们的支持和帮助在此谨致以衷心的感谢！

目 录

前 言	1
第一章 黔西滇东及邻区地壳深部构造及基底构造	1
第一节 黔西滇东及邻区地壳深部构造	1
一、莫霍面深度及其形态	1
二、居里面深度及其形态	3
三、地壳结构分析	5
第二节 黔西滇东及邻区基底构造	7
一、基底性质	7
二、基底形态	7
第二章 黔西滇东聚煤层气盆地	9
第一节 晚二叠世上扬子聚煤—煤层气盆地	9
一、盆地形成及同期构造特征	9
二、盆地后期构造变动	11
第二节 黔西滇东主要聚煤层气盆地构造特征	14
一、盘县盆地	14
二、格目底向斜	16
三、六枝向斜	16
四、郎岱向斜	18
五、青山向斜	18
六、比德—三塘盆地	19
七、恩洪盆地	19
八、老厂—圭山盆地	21
九、羊场盆地	22
第三节 应力场特征	23
第三章 黔西滇东含煤—煤层气地层	27
第一节 含煤—煤层气地层代表性剖面及柱状图	27
一、六盘水盘关向斜剖面	27
二、六盘水格目底向斜剖面	31
三、织金阿弓向斜文家坝剖面	38

四、六盘水青山向斜剖面	43
五、宣威羊场剖面	47
六、老厂矿区地层剖面	50
七、曲靖恩洪盆地地层	54
第二节 晚二叠世地层划分与对比	57
一、含煤—煤层气地层的沉积基底	57
二、含煤—煤层气地层的上覆地层	58
三、含煤—煤层气地层组段的划分	58
第四章 黔西滇东聚煤—煤层气盆地沉积环境及演化史	61
第一节 陆相沉积	63
一、风化残积体系	63
二、冲积扇体系	63
三、河流沉积体系	64
四、湖泊体系	64
五、沼泽环境	64
第二节 海陆过渡沉积	64
一、三角洲体系	64
二、泻湖—海湾体系	65
第三节 晚二叠世聚煤盆地的同期构造—沉积演化	65
第五章 黔西滇东上二叠统煤层、煤岩及煤质特征	68
第一节 黔西滇东地区上二叠统煤层	68
一、黔西上二叠统煤层	68
二、滇东地区上二叠统煤层	73
第二节 黔西滇东煤岩、煤质及煤类	85
一、黔西煤岩、煤质及煤类概况	85
二、滇东地区煤岩、煤质及煤类	87
第六章 黔西滇东煤层气的有机地球化学特征及成因	102
第一节 煤的元素及化学组成	102
第二节 黔西滇东上二叠统煤层气成因判识	102
一、中国煤层气稳定碳同位素 ($\delta^{13}C_1$) 特征及意义	102
二、黔西滇东上二叠统煤层气稳定碳同位素 $\delta^{13}C_1$ 的特征	103
第三节 黔西滇东上二叠统煤层中甲烷原始生成量估算	104
一、估算黔西滇东上二叠统煤层中甲烷原始生成量的实验依据	104
二、黔西滇东上二叠统煤层中原始甲烷生成量的估算结果	108

第七章 黔西滇东上二叠统煤孔隙结构研究	109
第一节 黔西滇东上二叠统煤微观结构研究	109
一、压汞法煤显微结构的测定	109
二、低温氮吸附法研究煤显微结构	112
三、扫描电镜研究煤孔隙结构特征	116
第二节 黔西滇东上二叠统煤层割理研究	125
一、研究方法	125
二、黔西滇东煤层割理、裂缝发育特征	126
第八章 黔西滇东上二叠统煤层等温吸附实验	130
第一节 基本理论及方法	130
一、煤层气的吸附和解吸	130
二、煤层吸附等温线	131
三、煤层吸附等温线测定的影响因素	131
第二节 黔西滇东上二叠统煤层吸附等温线的测定、地质意义及应用	132
一、吸附等温线的测定	132
二、煤层吸附等温线的地质意义及应用	132
第九章 黔西滇东上二叠统煤层含气量研究	136
第一节 滇东煤层含气量统计	136
第二节 恩洪盆地、老厂四勘区煤层气含量的地质统计学研究	161
一、恩洪盆地煤层气含量的统计分析	161
二、老厂四勘区煤层气地质统计学分析	169
第十章 黔西滇东煤层气聚集规律研究	174
第一节 聚煤规律	174
一、聚煤控制因素	174
二、聚煤—煤层气区域	175
第二节 黔西滇东煤层气富集高产控制因素	175
一、具有面积较大的聚煤—煤层气盆地（复向斜），煤层分布广、厚度大	175
二、煤岩镜质组含量高，煤演化程度适中	175
三、处于区域岩浆热变质区	176
四、煤层割理发育、构造裂缝适中	176
五、有利的盖层条件	177
六、处于滞流带承压水封堵区	178
七、煤层气含量高	179
八、具备地层高压带和煤层气饱和—高饱和带	180
第三节 煤层气分带性	180

第十一章 黔西滇东煤层气勘探目标及资源评价	181
第一节 评价方法及基本概念	181
一、评价方法流程	181
二、基本概念	181
第二节 盆地评价	185
第三节 煤层气系统划分	187
第四节 区带评价及风险分析	188
第五节 煤层气藏研究	190
一、煤层气藏类型	190
二、煤层气藏预测	190
第六节 黔西滇东煤层气勘探及资源数据库	191
一、软件介绍	191
二、方法	192
三、库结构	193
四、各数据库表结构及内容分述	194
五、库作用及用途	196
第七节 黔西滇东煤层气资源量估算	197
第十二章 黔西滇东煤层气经济评价	199
第一节 滇、黔煤层气市场调研	199
一、政府的能源技术政策及替代品市场现状	199
二、关于城市民用燃料市场销售天然气(煤层气)的现状及市场前景	200
三、发电厂用煤层气前景分析	201
四、化工原料使用煤层气的前景	201
五、交通运输利用煤层气的前景	202
六、区域市场之间的影响	202
七、云贵煤层气的市场前景受以下几个因素影响较大	203
第二节 重点项目经济评价	203
一、老厂四勘区	205
二、格目底盆地东部	206
结束语	208
参考文献	209
图版说明	211

第一章 黔西滇东及邻区地壳深部构造及基底构造

地壳地质和深部构造是一个统一的整体，为了深入研究黔西、滇东、川南晚二叠世上扬子聚煤—煤层气盆地的构造特征，本章利用该区近年来重力、磁力资料对黔西滇东及邻区地壳深部构造进行研究。

重力、磁力异常是深部地质体和浅部地层中密度、磁性不均性的综合反映，利用这些资料研究深、浅部构造是首选方法。对滇黔桂三省区的重力、磁力资料王宝禄等人曾进行过综合研究和各种数据处理，获得了大量的区域场和局部异常资料，其中利用低通滤波方法，对局部异常和区域场进行分离。计算了均衡重力异常、密度参数、波速度、深部各层界面等（图 1—1 ~ 图 1—5）。

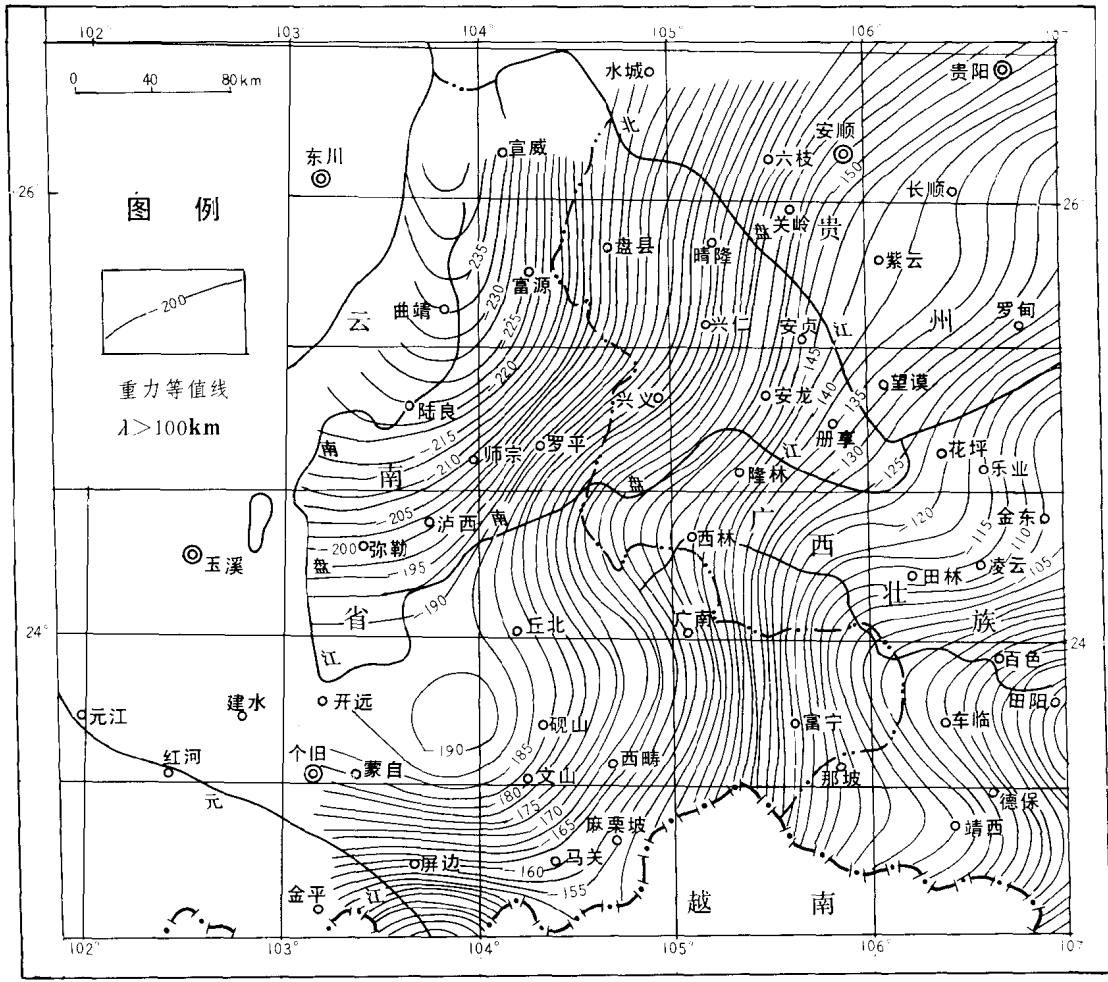
第一节 黔西滇东及邻区地壳深部构造

一、莫霍面深度及其形态

地壳与上地幔之间的界面称为莫霍面，其埋藏深度与区域重力场直接相关。1997 年云南地矿局对滇黔桂地区新旧物探资料进行过综合处理和解释，编制了区域重力异常图，航磁 ΔT 区域异常图，计算了该区莫霍面深度及居里面深度，上地幔及地壳平均密度、均衡重力异常图垂向一阶导数，重力区域场垂向二阶导数，航磁区域场垂向一阶导数等。这些解释推断成果，反映出深部构造的特征，对该区深部构造及煤盆地形成起到极大的控制作用。

莫霍面深度由南宁到曲靖 520km 的距离，从 32km 深度降到 46km 深度，地幔下降 14km。下降幅度应是很大的，从数据和图形中可以看出，上地幔从东南向西北逐渐加深，其间隔呈波状起伏形态。并可以分成几个区带，如水城—弥勒梯级带，右江地幔隆起带，丘北—靖西幔坳带、安顺—南丹斜坡带、三江—大新梯变带，水城—遵义幔坳带。曲靖以北至川黔边界一带称为乌蒙山弧形幔坡带，此带在深部构造上表现为一规模较大的向西倾斜的幔坡带，该带上地壳界面等深线呈向东突出的弧形平行排列，由东向西莫霍面深度由 34km 至 43km，莫霍面呈阶梯状下降，北段坡度稍大，该深部构造表现与浅层构造极不一致。滇东南的深部构造，在南盘江以南可划分为西林地幔隆起和文山—富宁地幔坳陷区，隆起和坳陷总是向西倾斜，隆起弧度不大，莫霍面深度由 31km 向西降至 39km，坡降缓慢。幔隆区呈北西西—近东西向，隆起弧度不大，由西向东隆起幅度增大，地表与南盘江

拗陷相对应，南部幔拗区比较宽缓，幅度可达 1km 左右，中心在弥勒至文山一带，地表则与相对隆起地区对应。



单位: 10^{-6} m/s^2

图 1-1 滇黔桂地区区域重力图
据华南地区重磁解释组

云南东部地区（以滇中地区为主），总的特征是深层和浅层构造具有继承性的发展，表现出地球物理场所反映的深部构造和浅部构造间存在同相关系。主要表现在深层构造的幔隆和幔拗均大致与表层构造的隆起和拗陷相对应，隆起基本上与重力高和正磁异常相对，并且也是结晶基底大面积出露的地区，拗陷则与重力低和负磁异常带大致接近，地表则表现为后期的强烈沉降拗陷带。川南和滇北渡口一带深部构造表现为地幔呈穹状隆起，上地幔顶部 $P_2 = 7.6 \sim 7.8 \text{ km/s}$ ，地壳内部存在着可能因局部熔融形成的低速层，下地壳中有不稳定高速夹层出现，地表出现近 6 km/s 的高速层，反映认为现在深层和浅层仍具有极大的活动性，具有裂谷活动的特点。说明深部构造作用一直起着控制作用。致使深部、浅部构造具有较好的一致性。这与现今地震活动有关，并属 20 km 以上的浅部地震，强震的震发深度与地壳中上部 P 波速度为 6 km/s 层次有极密切的关系，这与云南的地震实际相符

合。滇东南的南盘江以南地区，深、浅层构造表现是一致的，但深层构造与浅层构造呈现一种负相关关系，即深部的隆起与浅部的拗陷相对应，深部的幔坳与地表的相对隆起相对应。这种现象反映了深部构造严格控制浅部地质构造，并且表明该区曾经一度发展形成强烈拗陷的印支地槽是与深部的上地幔隆起引起的地壳的拉伸减薄有关，现在保存下来的幔隆和幔坳都属于印支期形成的。

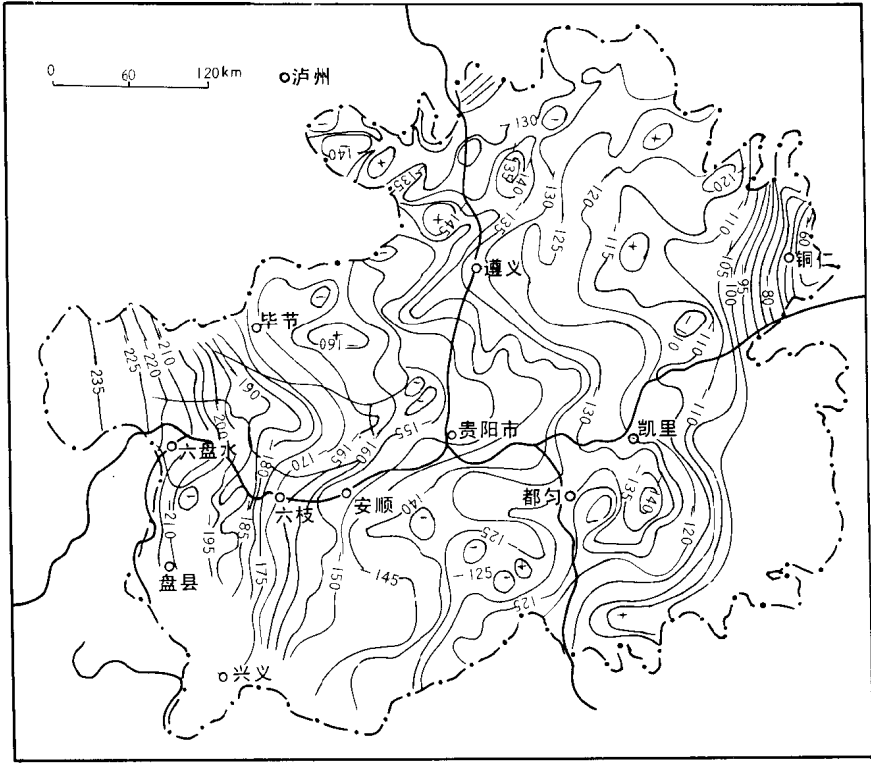


图1—2 贵州省布格重力异常图

贵州地壳厚度为 40~50km，与大陆平均值相吻合，东薄西厚的特点又与两省内布格重力异常图中的东部北北东向异常带和台阶带，与燕山运动形成的北北东向构造形迹和喜山运动进一步发展的北北东断裂有密切关系；西部弧形异常和台阶带，中部东西向异常带和浅凹槽，似分别与水城北西向构造带和贵阳复杂构造带有一定关系。黔南地壳厚度大于黔北，似与黔南地层发育完全，岩层厚度较大，曾经有过扩张海盆发育等因素有关，重力异常与地壳厚度的局部变化，与地表地质构造似有某种对应关系。地球物理场特征反映了地壳深部构造面貌，并与现今地表地质构造格架相对应，为各级构造单元划分提供了依据。

二、居里面深度及其形态

居里面是地壳内磁性体失去铁磁性而变成顺磁性的界面，即磁性体的下界面。根据华

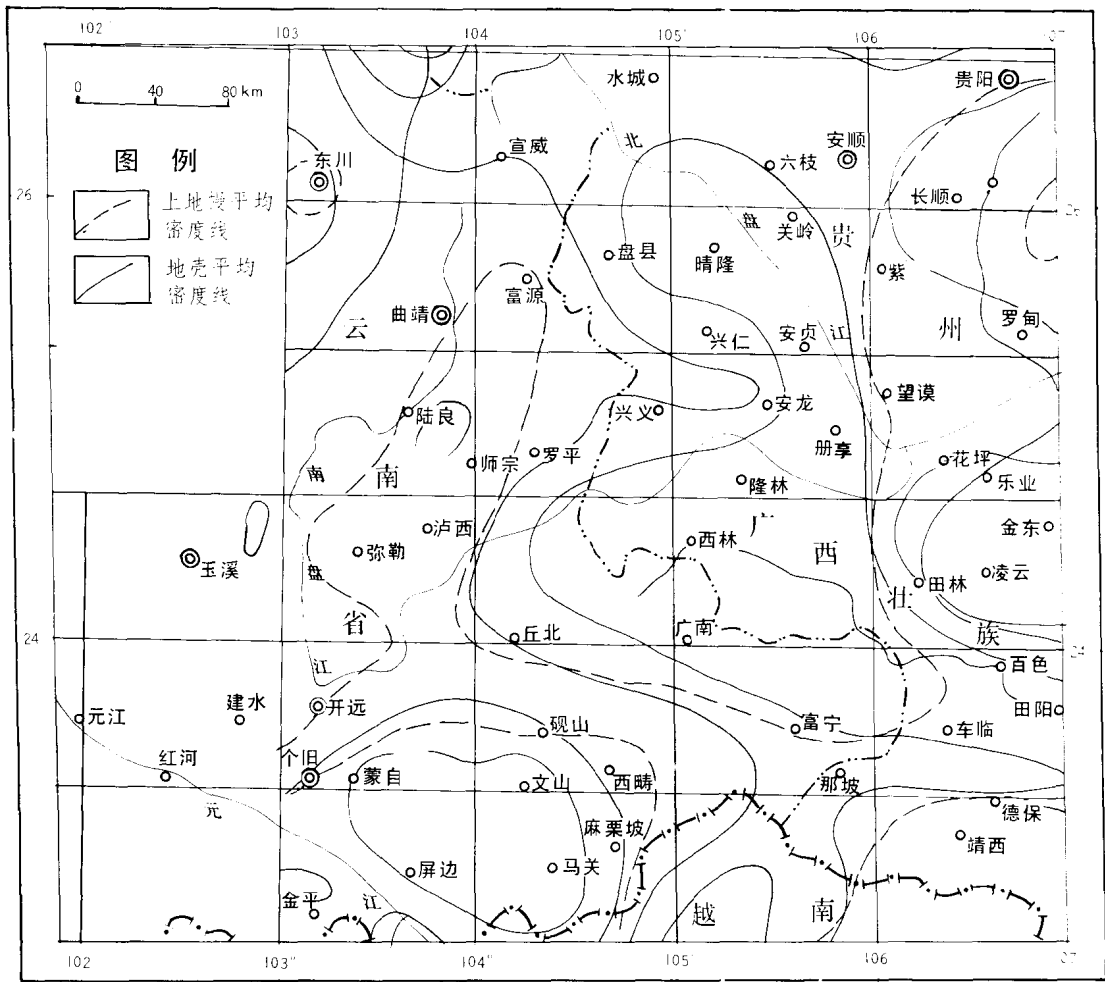


图1-3 滇黔桂地区上地幔及地壳平均密度图

单位: $10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

据华南地区重磁解释组

南航磁 (图 1—4), 应用功率谱直接计算, 利用它对滇东地区及贵州西部地区了解居里面深度和形态。相对华南地区而言, 滇黔地区莫霍深度大, 地壳与上地幔密度在增高, 岩石圈增厚, 热流值低, 壳内低阻层不发育, 居里面加深。滇黔地区居里面深度在 28~38km 范围内波状起伏, 盘县—曲靖一带形成一个大范围突起带, 此带北东走向, 有两个中心, 居里面深 26~28km, 长 300km, 宽 80km 和这一带广泛分布的二叠纪玄武岩相对应。安顺—弥勒北东向梯度带长 350km, 宽 50km, 深度 30~34km, 从北西向南东倾斜, 南西段与师宗—弥勒莫霍面梯度带一致, 向东北与莫霍面梯度带分离, 安顺附近走向转变为北西。紫云以南为拗陷带, 延出贵州境外。贵阳及以北居里面深 36km 以上, 出现相间隆起和拗陷。曲靖、盘县分别出现两个居里面隆起, 深度为 26km, 到东川及以西为一北东变为北西向变浅的梯度带。丘北—西畴有一居里面拗陷, 蒙自有隆起 (图 1—5)。

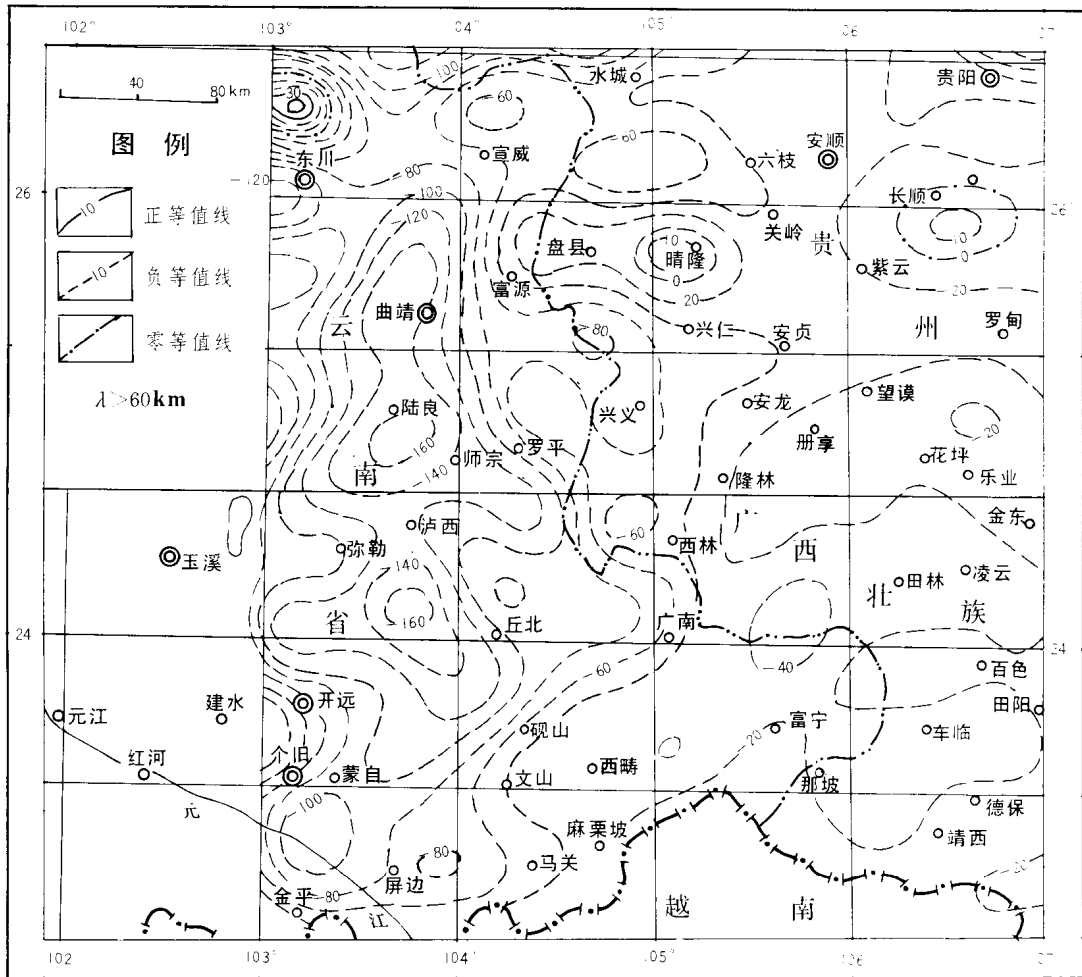


图1-4 滇黔桂地区航磁 ΔT 区域异常图
据华南地区重磁解释组

单位: nT

三、地壳结构分析

据各物探成果,由地表至上地幔、地壳大致划分为三层,各层岩石类型物性特征见表1-1。

表1-1 上地幔地壳结构表

地壳分层	岩石类型	物性特征	
		波速 (km/s)	密度 (10^3kg/m^3)
上地壳 (上硅铝层)	沉积盖层	5.8	2.65
	下古生界、中上元古界浅变质岩	6.1	2.75
中地壳 (下硅铝层)	下元古—太古界深变质岩	6.3	2.80
下地壳 (硅镁层)	玄武质层	6.9	2.98
上地幔	岩石圈	7.8~8.2	3.20~3.35

据王宝禄资料