

山东省地质矿产勘查开发局 资助
山东省地质勘查工程技术研究中心

济宁群及其成矿作用

焦秀美 宋明春 伊丕厚 胡树庭 张成基 马兆同 等著

非外借

地质出版社

山东省地质矿产勘查开发局
山东省地质勘查工程技术研究中心 资助

济宁群及其成矿作用

焦秀美 宋明春 伊丕厚 胡树庭 张成基
马兆同 李培远 李世勇 李哲 宋英昕 等著
韩玉珍 李凯月 李宁 刘鹏瑞 付东叶

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书讲述了沉积变质型含铁建造是引起济宁强磁异常的地质体。济宁铁矿的发现是山东省深部找矿的重大突破,揭开了济宁强磁大异常的神秘面纱。

在对济宁铁矿钻孔岩心详细编录、综合分析勘查成果资料的基础上,对济宁群及其成矿作用的研究取得了新进展。主要创新成果包括:系统研究了济宁群地层层序,新建立了翟村组、颜店组、洪福寺组3个岩石地层单位,划分了各组的基本层序;首次对济宁群进行了层序地层划分和区域地层对比,新发现微古植物化石;首次测得济宁群SHRIMP 锆石 U-Pb 新太古代年龄数据,提出其形成于新太古代—古元古代的新认识;研究了济宁群变质作用和地球化学特征,提出了关于物质来源、沉积环境和原岩性质等一系列新认识;首次在济宁群中发现韧性变形构造,并对其进行了初步研究;研究了铁矿床特征、赋矿规律和成矿作用,首次提出济宁型铁矿是介于阿尔戈马(Algoma)型和苏必利尔(Superior)湖型铁矿之间的新类型铁矿。

早前寒武纪浅变质岩系的发现及济宁群的建立和详细研究是找矿突破带动基础地质研究的典型案例。本书可供从事矿产勘查、地质科研、地矿行政管理的技术人员及有关院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

济宁群及其成矿作用 / 焦秀美等著. —北京:地质出版社, 2017. 9

ISBN 978-7-116-10332-0

I. ①济… II. ①焦… III. ①铁矿床—层序地层学—研究—济宁②铁矿床—成矿作用—研究—济宁 IV. ①P618.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 090502 号

Jiningqun Jiqi Chengkuang Zuoyong

责任编辑: 田野

责任校对: 王 瑛

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京市海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 66554528 (邮购部); (010) 66554631 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554686

印 刷: 北京地大彩印有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张: 13.75

字 数: 280 千字

版 次: 2017 年 9 月北京第 1 版

印 次: 2017 年 9 月北京第 1 次印刷

定 价: 68.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-10332-0

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

目 录

第一章 绪论	1
第一节 山东地学难解之谜——济宁强磁异常	1
第二节 济宁群及铁矿勘查研究历史	5
第三节 研究概况	8
第二章 区域地质背景	11
第一节 鲁西南大地构造单元及地质构造演化	11
第二节 区域地质概况	18
第三节 地球物理特征	22
第三章 济宁群地层序列及特征	36
第一节 典型钻孔柱状剖面特征	36
第二节 岩石地层单位划分及主要特征	49
第三节 区域地层对比	60
第四节 地层多重划分	63
第四章 区域变质岩与变质作用	72
第一节 区域变质岩	72
第二节 区域变质作用	117
第三节 变质岩的原岩性质	119
第四节 济宁群沉积环境分析	121
第五章 构造变形	131
第六章 济宁铁矿特征及成矿作用	135
第一节 矿床特征	135
第二节 成矿规律	148
第三节 成矿作用地球化学	155
第四节 矿床成因和成矿构造背景	165
第七章 结束语	170
参考文献	176
图版 I 疑源类化石	179
图版 II 岩矿石显微照片	180
图版 III 岩矿石照片	187

第一章 绪 论

第一节 山东地学难解之谜——济宁强磁异常

一、济宁强磁异常的发现

济宁航磁异常是山东乃至华北地区最大的磁异常之一，以其面积大、磁异常强度高而闻名于世。最早是1958年地质部航测物探大队在华北地区进行1:100万航磁测量时，在相邻两条测线上有磁异常反映，其中410剖面线峰值尖锐，磁异常达1700nT（图1-1），标志着济宁磁异常被发现。

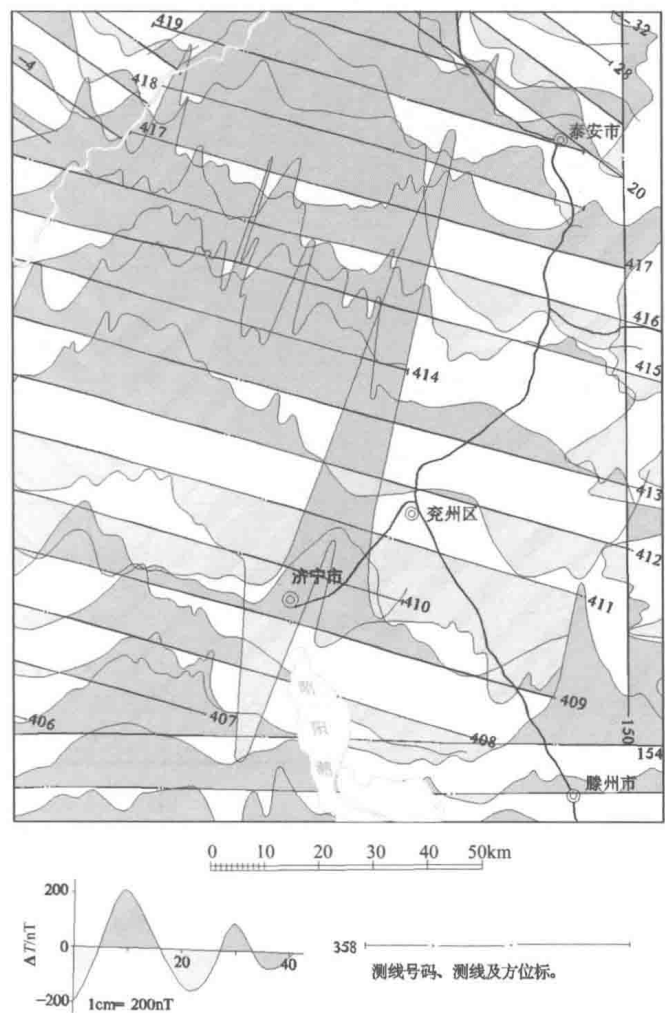


图1-1 济宁地区1:100万磁测剖面平面图
(资料来源：国家地质总局航空物探大队1979年编制的中国航空磁力异常 ΔT 剖面平面图)

为查证济宁磁异常，1966 年原山东省地质局 803 队（山东省物探队）进行了 1:5 万路线踏勘，初步圈定了济宁磁异常位置和范围，认为是接触交代式铁矿引起。当年综合一队在磁异常中心施工 ZK₁、ZK₂ 钻孔进行验证。ZK₁ 孔位于兖州区颜店镇屯头村南 1.5km 磁异常中心处（东经 116°40′22.55″，北纬 35°30′25.80″），在 122.3m 以下见奥陶系灰岩夹 3 层褐铁矿层（总厚 1.4m），501.04m 终孔于寒武系。ZK₂ 孔位于 ZK₁ 孔西 250m 处（东经 116°40′11.01″，北纬 35°30′28.03″），在 138.98m 以下见石炭系—二叠系，258.31m 终孔于石炭系—二叠系中。两孔中均未见到磁性体。

1967 年，地质部 907 航磁测量队在鲁西南进行了 1:10 万航磁测量，济宁磁异常在 17 条线上有反映，第一次完整地圈出了该磁异常，编号为 67-23（图 1-2）。正负异常主体为 NE 向，正极值在 150 线，峰值 2245nT；负极值位于 166 线，负峰值 825nT，为正磁异常的伴生负异常。该异常解释推断为特大型“鞍山式”铁矿引起，由此而引起地质界的高度重视。

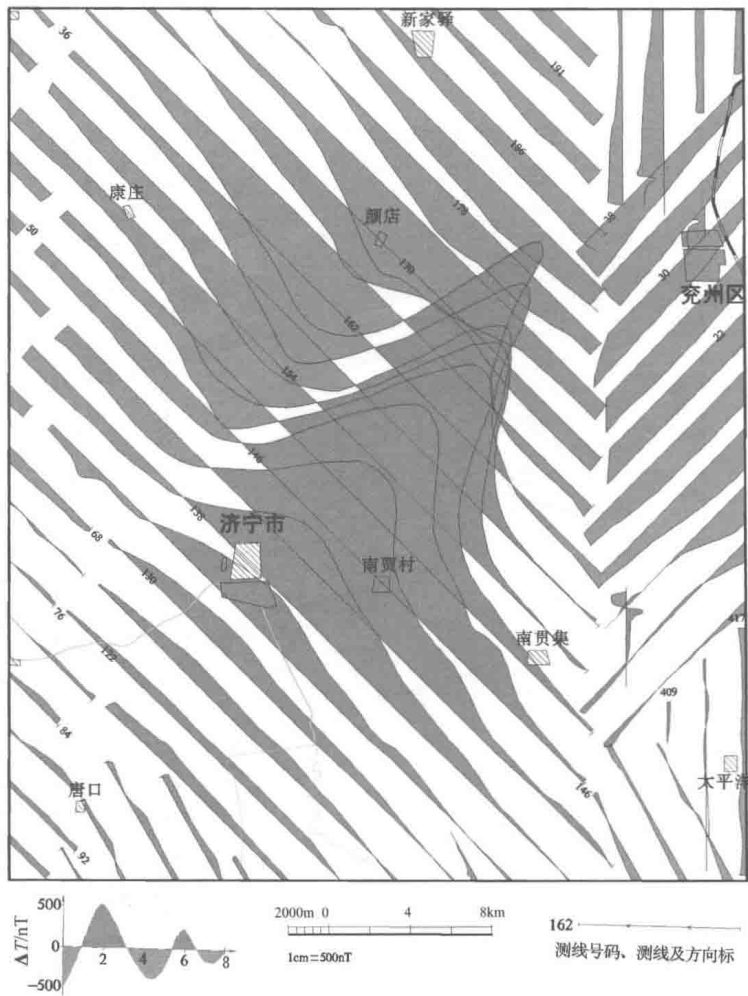


图 1-2 济宁磁异常区 1:10 万磁测剖面平面图

（资料来源：地矿部航空物探大队 907 队 1967 年鲁西南地区 1:10 万航空磁测剖面平面图）

1968 ~ 1969 年原山东省地质局 803 队组成航磁异常检查组对鲁西南地区的航磁异常进行了系统检查，以济宁航磁异常为重点，并在航磁异常的中心位置进行了 1:2.5 万地面

磁测（图 1-3 蓝色线框内部分），基本上圈出了济宁磁异常中心部位，面积 160km^2 。

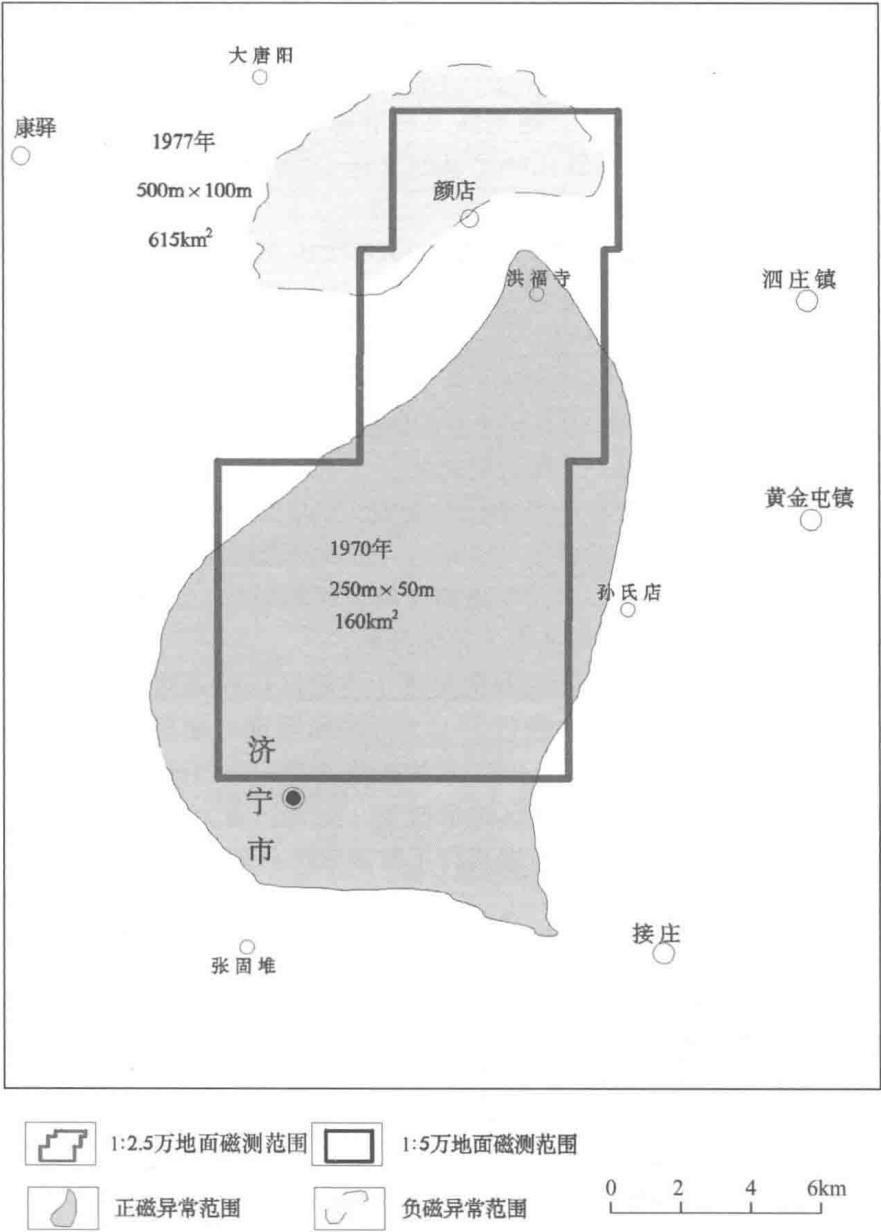


图 1-3 济宁磁异常区 1:2.5 万、1:5 万（外围）地面磁测范围示意图

为查清磁异常源，1970 年由山东省地质矿产局第二地质队施工 ZK₃ 孔，位于 ZK₂ 孔北 800m 磁异常中心部位北侧（东经 $116^{\circ}40'10.93''$ ，北纬 $35^{\circ}30'56.78''$ ），孔深 1200.19m，于 1133~1142m 见 9m 厚的含铁硅质岩和硅质铁质岩。其顶板为含铁质硅质绢云母千枚岩，底板为硅质绿泥板岩。钻孔岩心磁参数测定结果表明，除底部的含铁硅质岩有微弱磁性外，其他岩性均无磁性。井中磁测 ΔZ 曲线表明：曲线由浅至深磁场逐渐升高，0~300m 升高 1300nT，300~940m 升高 2250nT，940~1200m 磁场开始缓慢下降，说明引起异常的磁性体在井旁侧的深部。

1976 年 10 月至 1977 年 5 月，山东省地质矿产局第二地质队又施工 ZK₄ 孔，位于异

常北端翟村北西 1km 处 (东经 $116^{\circ}40'06.36''$, 北纬 $35^{\circ}33'11.80''$), 孔深 1076.89m, 于 1036.15m 见济宁群变质岩, 其中 1047.57 ~ 1076.89m 为条带状赤铁石英岩 (为前寒武纪古风化壳, 经岩矿鉴定, 赤铁矿核心尚有氧化残余的磁铁矿, 是磁铁石英岩氧化产物), 其顶板为含铁绢云千枚岩。

1977 年, 山东省地质矿产局第二地质队又相继施工了 ZK_5 、 ZK_6 、 ZK_7 孔, 其中 ZK_7 孔最深, 位于 ZK_4 孔北 400m 处, 终孔深度 1044.62m, 于 1013.07m 处仅见济宁群绢云千枚岩等变质岩, 未见赤 (磁) 铁矿层。

为了完整地圈定地面济宁磁异常的全貌, 1978 年山东省物探队又在 1968 ~ 1969 年 1:2.5 万地面磁测区的外围进行了 1:5 万地面磁测, 从而详细地用地面磁测圈出了完整的磁异常 (图 1-3 蓝色线框外围部分)。

自 1958 年济宁航磁异常被发现到 1978 年, 前后经历了 2 次航空磁测, 3 次地面磁测检查, 7 个钻孔的验证, 均未见到能引起异常的磁性体。至此, 济宁磁异常的验证告一段落, 济宁磁异常成了山东地质界一个跨世纪之谜。

1983 ~ 1984 年, 山东省地质矿产局物化探勘查大队在鲁西南进行了 1:20 万区域重力测量, 在济宁磁异常区圈出了相对强度约 $5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的椭圆形重力高异常, 剩余重力异常圈出了两个局部异常, 位置基本与两个磁异常峰值区相对应, 强度分别为 $5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 和 $7 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$, 说明济宁重磁异常基本上是同源的。

2004 年以来, 山东省物化探勘查院收集整理了本地区以往地质、物探、物性等资料, 投入了高精度重力、磁法测量工作。进行了 1:5 万高精度重力面积测量 400km^2 , 高精度磁测剖面点 1604 个。录入了 1970 年、1977 年物探院测量的地面磁测数据 20420 个; 对区内滋阳山附近的 130 个重力点进行了近区地形改正, 对全区重力做了 166.7km 地形改正, 编制了本区布格重力异常图。对重磁数据进行了常规数据处理, 包括磁法化极、上延、下延、磁源重力、视磁化率及求取垂向一、二阶导数等, 以及重力滑动平均、剩余重力异常、视密度等。对重、磁资料进行三维空间正反演计算, 反演了不同深度层的磁化强度和密度差, 建立了济宁磁异常区的重、磁三维空间地质模型体透视图 (图 1-4)。

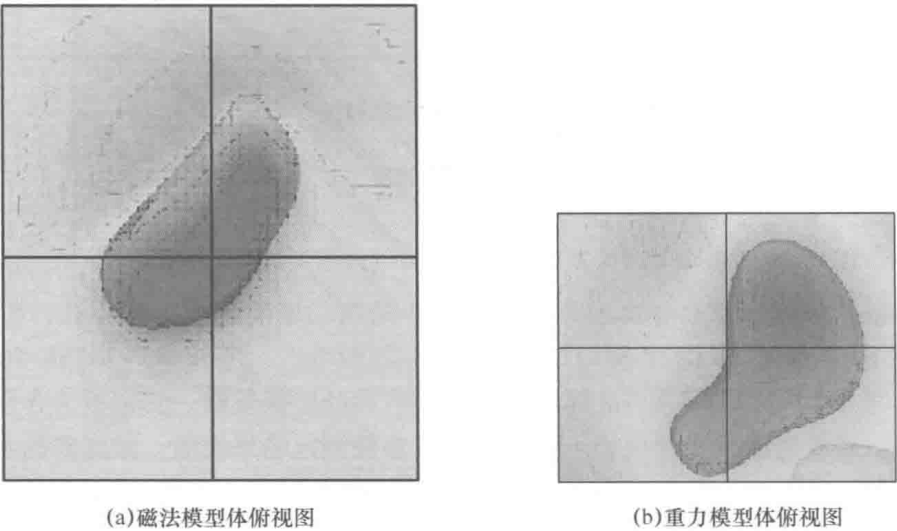


图 1-4 重、磁异常及三维反演模型体俯视图
红色区域为重、磁异常分布; 蓝色区域为模型体

二、济宁强磁异常的位置与规模

济宁强磁异常区位于山东省中西部，为济宁市的兖州区、任城区、汶上县三市、区(县)交界地带，行政区划隶属于兖州区颜店镇、任城区李营镇及汶上县康驿镇(图1-5)。

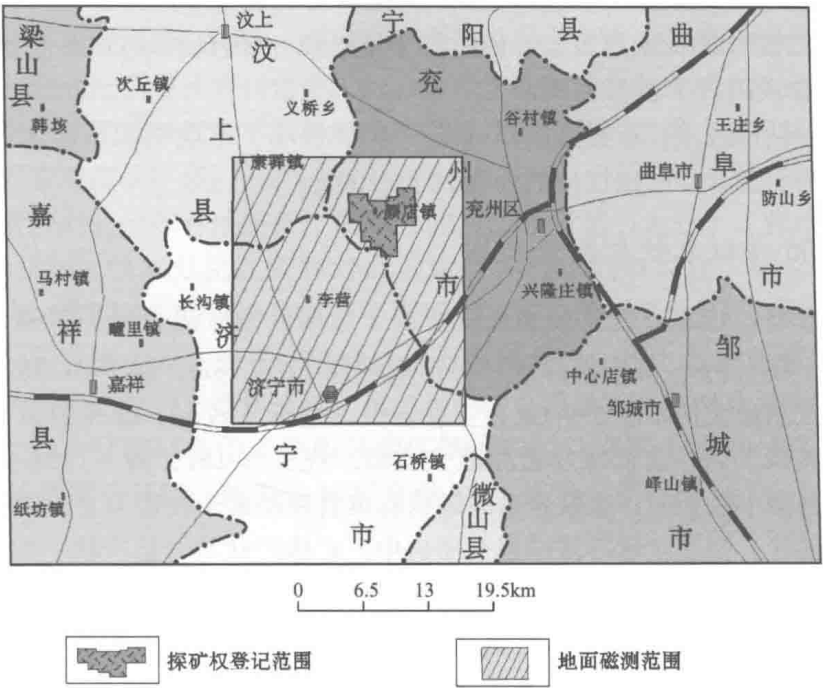


图 1-5 研究区交通位置图

根据地面磁测结果，济宁强磁异常的规模特征(图1-3)为：磁异常表现为北负南正特点，在颜店—洪福寺一带正磁异常呈北东走向，向北凸出，负磁异常呈北东东走向。正负磁异常总体近南北向，异常的西边界为南张镇凤凰台，东界为颜店镇的王桥，南界为接庄镇的申庄，北界为颜店镇的李官。极值地理坐标范围为：东经 $116^{\circ}31'17.11'' \sim 116^{\circ}43'00.63''$ ，北纬 $35^{\circ}21'39.31'' \sim 35^{\circ}36'12.35''$ 。异常南北长约 26km，东西宽 16km，面积约 360km^2 ，其中正异常区面积 220km^2 ，负异常区面积 140km^2 。正异常双峰，主峰值位于颜店镇屯头一带，磁异常高值 3800nT，中心点坐标：东经 $116^{\circ}40'08.22''$ ，北纬 $35^{\circ}30'28.79''$ ；次峰值位于李营镇的柏行一带，磁异常高值 2900nT，中心点坐标：东经 $116^{\circ}38'16.24''$ ，北纬 $35^{\circ}27'22.20''$ 。负异常峰值位于颜店镇张刘村一带，负磁异常低值 -300nT，中心点坐标：东经 $116^{\circ}38'32.27''$ ，北纬 $35^{\circ}34'25.58''$ 。

第二节 济宁群及铁矿勘查研究历史

一、济宁磁异常铁矿勘查工作

(一) 2006 年以前铁矿勘查

为查证济宁强磁异常，寻找铁矿资源，自 1966 ~ 2006 年共在该异常区施工钻孔 7

个, 为 ZK₁、ZK₂、ZK₃、ZK₄、ZK₅、ZK₆、ZK₇。其中 ZK₁、ZK₂、ZK₅、ZK₆ 钻孔孔深 227.50 ~ 501.04m, 没有发现铁矿体, 揭露盖层为石炭纪—二叠纪、奥陶纪、寒武纪地层。超过千米的钻孔 3 个, 为 ZK₃、ZK₄、ZK₇ 孔, 孔深 1044.62 ~ 1200.19m, 在盖层之下揭露到济宁群, 为含铁质硅质绢云母千枚岩, 最大厚度 102.2m。ZK₃ 孔 1133 ~ 1142m 见到 9m 厚的含铁硅质岩和硅质铁质岩 (矿层), 其顶板为含铁质硅质绢云母千枚岩, 底板为硅质绿泥板岩。ZK₄ 孔 1047.57 ~ 1076.89m 为条带状赤 (磁) 铁矿, 其顶板为含铁绢云千枚岩。

受限于当时钻探技术, 所揭露的赤 (磁) 矿规模小, 不能引起济宁大异常, 钻孔井中磁测分析认为引起异常的磁性体的埋深大于 1200m。

(二) 2006 年以来铁矿勘查工作

2006 ~ 2007 年, 山东省物化探勘查院在济宁市颜店地区进行铁矿普查, 施工了 ZK₈ 孔, 终孔深度 1804.78m。其中揭露济宁群顶端埋深 1225.18m, 至 1804.78m 终孔时尚未穿透该岩群, 控制最大视厚度 579.6m, 主要岩性为绢云千枚岩、绿泥绢云千枚岩、变火山岩夹磁铁矿石岩, 为一套低绿片岩相浅变质岩。在孔深 1612.89 ~ 1796.54m 发现了铁矿层, 控制视厚度 183.65m, 含铁岩系以磁铁矿石岩和绢云千枚岩为主, 矿体为条带状磁铁矿石岩, 呈层状、似层状赋存济宁群变质岩中, 矿体产状与岩层产状一致。ZK₈ 孔揭示了引起济宁强磁异常的地质体是济宁群中的沉积变质型含铁建造, 具有划时代的意义。

随着 ZK₈ 孔揭开济宁强磁异常之谜, 针对济宁磁异常的铁矿找矿紧锣密鼓地展开。2007 年 11 月至 2009 年 10 月, 山东省物化探勘查院开展了济宁铁矿颜店矿段普查—详查。颜店矿段位于济宁磁异常的北部, 铁矿埋藏相对较浅, 探矿权面积 19.04km², 仅为济宁航磁异常的一小部分。2008 年 6 月完成颜店矿段铁矿普查, 完成机械岩心钻探 7076.18m/4 孔, 磁测井 5870m/4 孔。2009 年 10 月完成颜店矿段铁矿详查, 完成机械岩心钻探 28689.10m/16 孔, 水文地质钻探 1546.51m/2 孔, 磁测井 27275m/16 孔, 水文测井 1441.46m/1 孔。颜店矿段共圈出 11 个铁矿体, 矿体埋深最浅 899m, 最深 1584m。共求得铁矿石资源量 $62237.4 \times 10^4 \text{t}$ 。工业矿 TFe 平均品位 28.99%, mFe 21.90%。

翟村矿段铁矿详查于 2010 年 12 月完成。翟村矿段位于颜店矿段以南, 勘查面积为 24.12km²。详查完成机械岩心钻探 65372m (40 个钻孔), 水文地质钻探 1500.7m (1 个钻孔), 共圈定铁矿体 44 个, 其中 20、4、38、19 号矿体为主矿体, 主矿体铁矿石资源量占全矿床铁矿石资源量的 72.79%。主矿体埋深最浅 1073m, 最深 1631m, 较颜店矿段埋藏深度大。单工程控制矿体最大厚度 198.39m, 工业矿 TFe 平均品位 31.09%, mFe 22.44%, 较颜店矿段矿体厚度大, 品位高。共提交铁矿石资源量 $121241.8 \times 10^4 \text{t}$ 。

二、有关济宁群的研究工作

20 世纪 80 年代前后, 李森乔和李评 (1979)、南京地质矿产研究所铁矿组 (1979) 和亓润章 (1984) 对济宁群地层划分、形成时代进行了研究, 并将鲁西地区的这套全隐伏的浅变质地层称之为济宁群。

20 世纪 90 年代, 山东省地质矿产局对其地层划分进行了重新厘定, 称之为济宁岩群

(宋志勇等, 1994; 曹国权, 1996; 张增奇, 刘明渭, 1996)。

曹国权等 (1995) 对山东西部早前寒武纪区域地质进行了总结, 著有《鲁西早前寒武纪地质》。将在济宁磁异常北段施工的 ZK₃、ZK₄、ZK₇ 钻孔揭露的 100 余米厚的浅变质岩系称之为济宁岩群, 对这套含铁建造进行了初步研究。分析了济宁磁异常特征, 提出引起磁异常的磁铁石英岩层尚未见到, 厚大磁铁石英岩层应分布在 ZK₃、ZK₄ 孔之间。讨论了济宁岩群与上下地层的接触关系, 推断济宁岩群与泰山岩群为角度不整合接触。通过分析对比鲁西早前寒武纪条带状含铁建造, 认为鲁西早前寒武纪条带状含铁建造有一定的层位, 存在由东向西其形成时代由早到晚和产出层位逐渐抬升的规律, 提出济宁铁矿的成因类型为陆源沉积变质型铁矿床。

全国地层清理时, 山东省地质矿产局编写的《山东省岩石地层》(张增奇, 刘明渭, 1996), 根据济宁地区的部分钻孔资料对岩石地层进行了划分对比, 建立了济宁 (岩) 群, 将其定义为: 鲁西地层分区济宁北东至滋阳山一带被覆于千米盖层之下, 由板岩、千枚岩、变英安玢岩及赤 (磁) 铁矿层组成的岩石地层单位, 与上覆寒武纪长清群呈不整合接触, 与下伏泰山岩群未见直接接触, 推测为不整合接触, 为低绿片岩相变质, 时代属古元古代。建立的正层型剖面位于兖州区颜店镇嵒阳山 (东经 116°39'30", 北纬 35°32'45"; 据山东省地质矿产局第二地质队 1977 年钻探), 层型剖面特征为:

上覆地层 长清群 灰岩为主, 底部为厚约 1m 的砾岩层

~~~~~ 角度不整合 ~~~~~

|                                                                |          |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| 济宁 (岩) 群                                                       | 总厚度 122m |
| 5. 暗紫色硅铁质板岩为主, 夹灰色钙质千枚岩                                        | 7m       |
| 4. 硅铁质千枚岩夹赤铁矿带                                                 | 约 4m     |
| 3. 灰绿色薄层状绿泥石千枚岩、绢云母千枚岩、灰紫色薄层铁质千枚岩及厚约 2m 的条纹状假象赤铁矿层, 节理裂隙中充填有石膏 | 约 33m    |
| 2. 硅铁质板岩夹赤铁矿条带                                                 | 2 ~ 20m  |
| 1. 灰绿色千枚岩为主, 夹紫色硅铁质千枚岩, 下部为变质火山岩夹赤铁矿层                          | 约 58m    |
| ————— 未见底 —————                                                |          |

天津地质矿产研究所在对中国前寒武纪铁矿时空分布和演化特征研究中, 对济宁铁矿的类型进行了划分, 认为其属于前寒武纪沉积变质型铁矿床中的条带状铁建造铁矿床亚类型 (沈保丰等, 2005)。条带状铁建造是指全铁含量大于 15%, 由富铁矿物 (磁铁矿、赤铁矿等) 和脉石矿物 (以石英为主) 组成条带状 (或条纹状) 构造的、富铁化学沉积岩。当条带状铁建造的全铁含量达到工业品位时, 就成为条带状铁建造铁矿床。条带状铁建造铁矿床包括阿尔戈马型和苏必利尔湖型两种类型。阿尔戈马型铁矿床的形成与海底火山作用关系密切, 在含铁岩系中广泛分布火山岩, 特别是中、基性火山岩, 鲁西的东平、韩旺铁矿属于此种类型。苏必利尔湖型铁矿床形成于大陆架浅海环境, 含铁岩系中石英岩、白云岩和黑色页岩发育, 矿床成因与火山作用关系不明确, 济宁铁矿可能属于此种类型。苏必利尔湖型条带状铁建造铁矿床在中国分布不多, 主要见于山西吕梁和山东济宁地区, 多

形成于古元古代。

2006~2010年,山东省物化探勘查院对济宁市颜店-翟村矿区开展了铁矿普查、详查,施工钻孔63个,完成钻探工作量10万余米,最深钻孔深度达2100.8m,获取了大量新的地质资料,为重新认识这套浅变质岩层和开展相关研究提供了有利条件。部分研究者对济宁群的地层划分、形成时代、地球化学特征及相关的铁矿床特征进行了研究(宋明春等,2008,2011;韩玉珍等,2008;李培远等,2010;张成基等,2010;王伟等,2010;万渝生等,2012),济宁群成为找矿突破带动基础地质研究的典型实例。

## 第三节 研究概况

### 一、课题设置

济宁航磁异常以规模大、幅值高、重磁异常吻合为特点,受到世人关注。自1958年首次发现至2008年ZK<sub>9</sub>孔证实了引起济宁磁异常的地质体是济宁群中赋存的含铁岩系,历经半个世纪。但由于济宁群为隐伏地层,受缺少野外露头、钻孔岩心不易获得、地质资料难以收集等因素制约,对济宁群及其成矿作用尚缺乏全面系统的研究与认识,亟待开展深入研究。

2009年,山东省地质矿产勘查开发局以鲁地字〔2009〕17号《关于下达2009年矿产勘查项目任务书的通知》下达了“济宁铁矿成矿规律和成矿预测研究”项目任务书,任务书要求:结合济宁铁矿颜店、翟村勘查成果,研究济宁群岩石组合、层序、变质变形、构造环境等成矿地质背景特征;研究区内沉积变质岩型铁矿矿床特征、矿床成因及成矿规律;进一步研究确定引起济宁重磁异常的地质体的空间形态;采用基于GIS的多元信息集成技术,进行济宁磁异常区铁矿资源潜力预测。

在课题进行过程中,我们认识到,要研究济宁铁矿成矿规律,首先要认识济宁群沉积变质地层及其沉积变质含铁建造。2010年将课题研究内容重点放在了研究济宁群地质特征上,即载矿母体的研究,将研究课题更名为“山东省济宁群及其成矿作用研究”。

### 二、研究主要内容

本次研究针对主要科学问题,以野外观察和分析测试为基础,开展地层学、岩石学、构造地质学、矿床学和地球化学等综合研究,重点对济宁群的地层层序、成岩环境及其中的铁矿成矿规律进行研究。主要研究内容包括:

1) 济宁群岩石地层划分。依据岩石组合特征和含矿性的差异,进行岩石地层层序划分,建立岩石地层单位。研究各组层型剖面、地质特征及区域变化、岩石组合、基本层序、产状和原岩建造、划分标志和接触关系、横向变化等。

2) 地层形成时代和区域对比。采用锆石U-Pb同位素测试、微古植物鉴定等方法,研究地层形成时代,进行多重地层划分。与华北克拉通和山东省前寒武纪地层进行区域对比,大致确定相似时代、相似岩性组合的地层单位。

3) 成岩环境研究。研究济宁群变质岩和变质作用特征、地球化学特征,恢复原岩和

成岩环境，确定原岩沉积建造和变质建造。

- 4) 构造变形研究。研究济宁群中褶皱、韧性剪切带等构造变形特征。
- 5) 成矿作用研究。总结矿床特征和成矿规律，进行成矿物质来源、成矿物理化学条件、成矿构造背景、矿床成因和成矿时代等研究。

三、完成的主要实物工作量

本次研究选择济宁铁矿颜店矿段代表性的第 3、4、12 勘探线，对 ZK<sub>402</sub>、ZK<sub>403</sub>、ZK<sub>404</sub>、ZK<sub>405</sub>、ZK<sub>1203</sub>、ZK<sub>1201</sub>、ZK<sub>1202</sub>、ZK<sub>301</sub>、ZK<sub>303</sub> 共 9 个钻孔、钻探进尺 7000m 的岩矿心进行了系统编录和取样工作。采集岩矿鉴定样品 153 件，由山东省地质科学实验研究院岩矿所进行了鉴定。采集分析测试样品 60 件（其中磁铁矿石 9 件，赤铁矿石 3 件，岩石样品 48 件），分别做了全岩硅酸盐分析、岩石光谱定量全分析、稀土元素分析，分析测试单位为山东省地质科学实验研究院分析测试中心。物相分析样品 13 件，分析测试单位为山东省地质科学实验研究院分析测试中心。取自不同铁矿体的 8 件铁矿石样品，挑选磁铁矿单矿物进行硅酸岩、微量元素全分析，测试工作由北京核工业分析测试中心承担。稳定同位素样品 14 件，进行了 O、C、Si 分析，测试单位为北京核工业分析测试中心。全岩 X 光衍射分析样品 29 件，测试单位为北京核工业分析测试中心。微古鉴定样品 30 件，由南京地质古生物研究所卢辉楠鉴定。锆石同位素测年样品 1 件，由中国地质科学院万渝生测试。完成主要实物工作量如表 1-1 所示。

表 1-1 完成实物工作量一览表

| 序号 | 项目                   | 单位 | 数量  | 备注                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|----------------------|----|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 资料收集                 |    |     | 济宁地区物探资料，颜店、翟村勘查报告，早前寒武纪地层、铁矿研究的论文、专著等                                                                                                                                                                                                                                   |
| 2  | 钻孔编录                 | 孔  | 9   | 颜店矿段 ZK <sub>402</sub> 、ZK <sub>403</sub> 、ZK <sub>404</sub> 、ZK <sub>405</sub> 、ZK <sub>1203</sub> 、ZK <sub>1201</sub> 、ZK <sub>1202</sub> 、ZK <sub>301</sub> 、ZK <sub>303</sub> 钻孔，7000m 钻探进尺的岩矿心                                                                      |
| 3  | 岩矿鉴定样品               | 件  | 153 |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 4  | 全岩硅酸盐分析样品（其中矿石 11 件） | 件  | 60  | 分析项目：SiO <sub>2</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、FeO、MnO、CaO、MgO、K <sub>2</sub> O、Na <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> 、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 、H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> 、S、固定碳、总量（介于 99.50% ~ 100.50%） |
| 5  | 岩石光谱定量全分析样品          | 件  | 60  | 分析项目：Ti、V、Cr、Co、Ni、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、W、Sn、Bi、Mo、As、Sb、Se、Cd、In、Te、Ir、Os、Re、Pt、Hg、I、Br、Rb、Ba、Th、U、K、Nb、La、Ce、Sr、Hd、Hf、Zr、Sm、Tb、Y、Li、Be、Cs、Tl、F 共 47 项                                                                                                                        |
| 6  | 稀土元素分析样品             | 件  | 60  | 分析项目：La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y                                                                                                                                                                                                                         |
| 7  | 物相分析样品               | 件  | 13  | 分析矿石的全铁、磁铁矿、硅酸铁、碳酸铁、硫化铁、赤（褐）铁                                                                                                                                                                                                                                            |

续表

| 序号 | 项目                   | 单位 | 数量  | 备注                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|----------------------|----|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8  | 磁铁矿硅酸盐分析样品           | 件  | 8   | 分析项目：SiO <sub>2</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、FeO、MnO、CaO、MgO、K <sub>2</sub> O、Na <sub>2</sub> O、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 、V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 、Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、NiO、CoO、Ge、Ga、总量（介于99.50%~100.50%），计17项。从粉碎的铁矿石中挑选出磁铁矿做上述项目 |
| 9  | 磁铁矿微量元素分析            | 件  | 8   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 10 | 稳定同位素分析样品            | 件  | 14  | 分析项目：O、C、Si                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 11 | 全岩X光衍射分析样品           | 件  | 29  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 12 | 微古鉴定样品               | 件  | 30  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 13 | 锆石SHRIMP法U-Pb同位素年龄样品 | 件  | 1   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 14 | 各类样品合计               | 件  | 445 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

#### 四、研究过程

济宁群的研究工作是与该区的铁矿详查工作基本同步进行的。2009年课题组收集了济宁铁矿勘查资料以及国内外关于早前寒武纪地层以及铁矿的研究资料，编写了济宁铁矿成矿规律和成矿预测设计。2010年张成基、焦秀美等对济宁铁矿颜店矿段部分钻孔的岩矿心进行了编录和系统取样工作。

本书由焦秀美、宋明春、伊丕厚、胡树庭、张成基、马兆同、李培远、李世勇、李哲、宋英昕、李凯月、韩玉珍等为主完成，参与研究和相关勘查工作的工程技术人员20余人。本书编写人员分工为：焦秀美为负责人，负责本书的编写工作，具体负责区域地质背景研究，济宁群地层序列及特征研究，成矿作用研究；宋明春为总技术指导，进行了岩石地层研究、稳定同位素研究、岩石地球化学研究、区域地层对比研究；伊丕厚负责组织策划协调、编审等；胡树庭负责变质岩与变质作用研究；马兆同负责地球物理研究；李培远负责铁矿矿床特征研究；李世勇对地球化学进行了研究；李哲研究了铁矿成矿规律；张成基负责指导钻孔岩矿心系统编录、采样工作和地层的划分。韩玉珍参与地球物理、构造变形研究；宋英昕、李凯月参与地球化学与成矿物质来源研究；刘鹏瑞等做了岩矿鉴定工作，李宁、付东叶参加了地层研究，姜素芝、王维一、周京芳绘制了图件。

山东省地质矿产勘查开发局徐军祥研究员，在本书出版过程中给予了大力支持；莱芜钢铁集团莱芜矿业有限公司李传华高级工程师在钻孔岩心编录方面给予了支持帮助；山东省地质科学实验研究院张增奇研究员、吕振生所长在岩矿测试工作中给予了指导支持；中国地质科学院万渝生研究员进行了锆石定年研究；在北京大学陈衍景教授指导下，中国科学院地球化学研究所汤好书、北京大学博士生李凯月协助处理了部分实验测试样品。在此深表感谢！

## 第二章 区域地质背景

### 第一节 鲁西南大地构造单元及地质构造演化

山东省大地构造位置隶属于华北克拉通。华北克拉通与塔里木克拉通,共同组成我国巨大的横亘东西的稳定区,它在中国构造格架中,起着骨干作用。这个稳定区出露大量前寒武纪结晶基底岩系。鲁西就是众多的古老结晶基底裸露区之一,它的北部为阴山-燕山变质区,西侧为五台-太行山变质区,南侧为嵩山-霍邱变质区,东侧为胶北变质区和苏鲁超高压变质区。

#### 一、鲁西南大地构造单元

宋明春等(2009)根据特定大地构造环境和特定构造部位以及所形成的特定的岩石-构造组合划分了山东省大地构造单元(表2-1;图2-1)。

根据该划分方案,鲁西南大地构造单元一级分区属中朝陆块(也常称华北板块、中朝板块、华北克拉通和塔里木-华北板块等)。基底构造单元二级分区为渤鲁微陆块,三级分区为泰山花岗-绿岩带,四级分区包括济宁裂陷盆地和沂沭前陆盆地。上叠构造单元二级分区分别按照古生代和中生代以来地质构造背景划分为华北板块陆表海盆地和滨太平洋前陆坳陷带、滨太平洋构造岩浆活动带,后者叠加于前者之上,三级分区为济宁坳陷、蒙阴盆地群,与上一级构造单元有交叉或横跨现象,这一级构造单元既是上叠二级构造单元的次级单元,又与基底二级构造单元有明显的继承和包容关系;四级、五级分区是中新生代的凸、凹构造,叠加在上一级构造单元之上或被上一级构造单元所包容或被晚期构造单元所覆盖(兼并),规模一般比上一级构造单元小,与上一级构造单元之间没有交叉现象,被晚期构造单元覆盖的凸、凹构造称为潜凸或潜凹;五级构造单元包括9个,分别为:汶上-宁阳潜凹、菏泽潜凸、巨野-成武潜凹、嘉祥潜凸、济宁潜凹、兖州潜凸、鱼台潜凹、青崮集潜凸、滕州潜凹。

#### 二、区域地质构造演化

山东陆块是在长期地质演化过程中,由不同时代、不同性质、不同构造层次的地质块体互相拼贴组合而成的。其复杂的地质构造现象不仅记录了微陆块型古板块演化旋回的完整历史,也叠加了古亚洲构造域的扬子板块与华北板块的挤压拼接和滨太平洋构造域的太平洋板块向欧亚板块俯冲两种动力学背景。多重地球动力学背景,导致了山东省大地构造演化的复杂历程,大致划分为早前寒武纪、中-新元古代、青白口纪-古生代和中-新生代4个阶段。鲁西南经历了与山东陆块一致的地质构造演化历史,其演化过程如下:

表 2-1 山东省大地构造单元划分一览表

| I          | 基底构造单元  |          |      | 上叠构造单元    |                |                 |                                                          |         |                                                     |                                     |  |  |
|------------|---------|----------|------|-----------|----------------|-----------------|----------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
|            | II      | III      | IV   | II        |                | III             |                                                          | IV      | V                                                   |                                     |  |  |
| 中朝陆块（华北板块） | 1       |          | 2    | 华北板块陆表海盆地 | 滨太平洋前陆拗陷带      | 渤海湾盆地           | 3                                                        | 临清潜陷    | 高唐潜凸、德州潜凹、东明潜凹、莘县潜凹、老城潜凸                            |                                     |  |  |
|            | 渤鲁微陆块   | 傲徕山岩浆活动带 | 鲁西地块 |           |                |                 | 4                                                        |         | 埕子－宁津潜隆                                             | 宁津潜凸、埕子口潜凸、长官潜凹、无棣潜凸                |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          |         | 沾化－车镇潜陷                                             | 车镇潜凹、义和庄潜凸、沾化潜凹、孤岛潜凸、陈家庄－青驼子潜凸、滨城潜凸 |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          |         | 东营潜陷                                                | 东营潜凹、广饶潜凸、双河潜凸、博兴潜凹、牛头潜凹、寿光潜凸       |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          |         | 惠民潜陷                                                | 高青潜凸、惠民潜凸、临邑潜凸                      |  |  |
|            |         | 泰山花岗－绿岩带 | 5    |           |                | 鲁中隆起            |                                                          | 泰山－沂山隆起 | 东阿－齐河潜凸、邹平－周村凹陷、泰山凸起、鲁山凸起、鲁山凸起、沂山凸起、昌乐凹陷            |                                     |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          | 新甫山隆起   | 布山凸起、新甫山凸起、孟良崮凸起、马牧池穹断                              |                                     |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          | 东平－蒙山隆起 | 东平凸起、蒙山凸起                                           |                                     |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          | 尼山隆起    | 尼山凸起、临沂穹断                                           |                                     |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          | 枣庄隆褶带   | 枣庄凹陷、峄城凸起、韩庄凹陷、河头集断褶带                               |                                     |  |  |
|            |         |          | 6    |           |                | 蒙阴盆地群           |                                                          | 肥城－沂源盆地 | 肥城凹陷、泰莱凹陷、沂源凹陷                                      |                                     |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          | 汶口－蒙阴盆地 | 大汶口盆地、汶东（新泰）凹陷、蒙阴凹陷                                 |                                     |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          | 泗水－平邑盆地 | 泗水凹陷、平邑凹陷                                           |                                     |  |  |
|            |         | 胶辽微陆块    | 7    |           |                | 济宁拗陷            |                                                          |         | 汶上－宁阳潜凹、菏泽潜凸、巨野－成武潜凹、嘉祥潜凸、济宁潜凹、兖州潜凸、鱼台潜凹、青崮集潜凸、滕州潜凹 |                                     |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 | 沂沭裂谷                                                     |         | 潍坊潜陷                                                | 下营潜凸、昌邑潜凹、寒亭潜凸                      |  |  |
|            |         |          |      |           |                |                 |                                                          |         | 马站－苏村地堑                                             |                                     |  |  |
|            | 郯城断陷    |          |      |           |                |                 |                                                          |         |                                                     |                                     |  |  |
|            |         |          |      | 采丹山地垒     |                |                 |                                                          |         |                                                     |                                     |  |  |
|            |         |          |      | 安丘－莒县地堑   |                |                 |                                                          |         |                                                     |                                     |  |  |
|            | 8       | 胶北地块     | 10   | 胶北隆起      |                | 胶北凸起、龙口凹陷、臧家庄凹陷 |                                                          |         |                                                     |                                     |  |  |
| 9          |         |          |      |           |                |                 |                                                          |         |                                                     |                                     |  |  |
| 中央造山区      | 苏鲁碰撞造山带 | 胶东裂陷     | 11   | 大别苏鲁裂谷    | 胶莱盆地           |                 | 海阳凹陷、莱阳凹陷、大野头凸起、平度－夏格庄凹陷、李党家－马山凸起、高蜜－胶州凹陷、柴沟凸起、诸城凹陷、五莲凸起 |         |                                                     |                                     |  |  |
|            |         |          |      |           |                | 14              |                                                          | 威海隆起    | 俚岛凹陷                                                |                                     |  |  |
|            |         |          | 胶南隆起 |           | 中楼凹陷、莒南凹陷、临沭凹陷 |                 |                                                          |         |                                                     |                                     |  |  |
|            |         |          | 苏鲁裂谷 |           | 12             |                 | 15                                                       |         |                                                     |                                     |  |  |
|            |         | 13       |      |           |                |                 |                                                          |         |                                                     |                                     |  |  |

（据宋明春等，2009）

注：1—迁淮微陆块；2—德州地块；3—濮阳拗陷；4—济阳拗陷；5—济宁裂陷盆地；6—沂沭前陆盆地；7—沂水陆核；8—栖霞花岗－绿岩带；9—唐家庄陆核；10—华北板块（鲁东）被动大陆边缘；11—蓬莱震旦纪后继盆地；12—威海－日照岩浆活动带；13—石桥震旦纪上叠盆地；14—鲁东折返带（超高压带）；15—苏北折返带（高压带）。

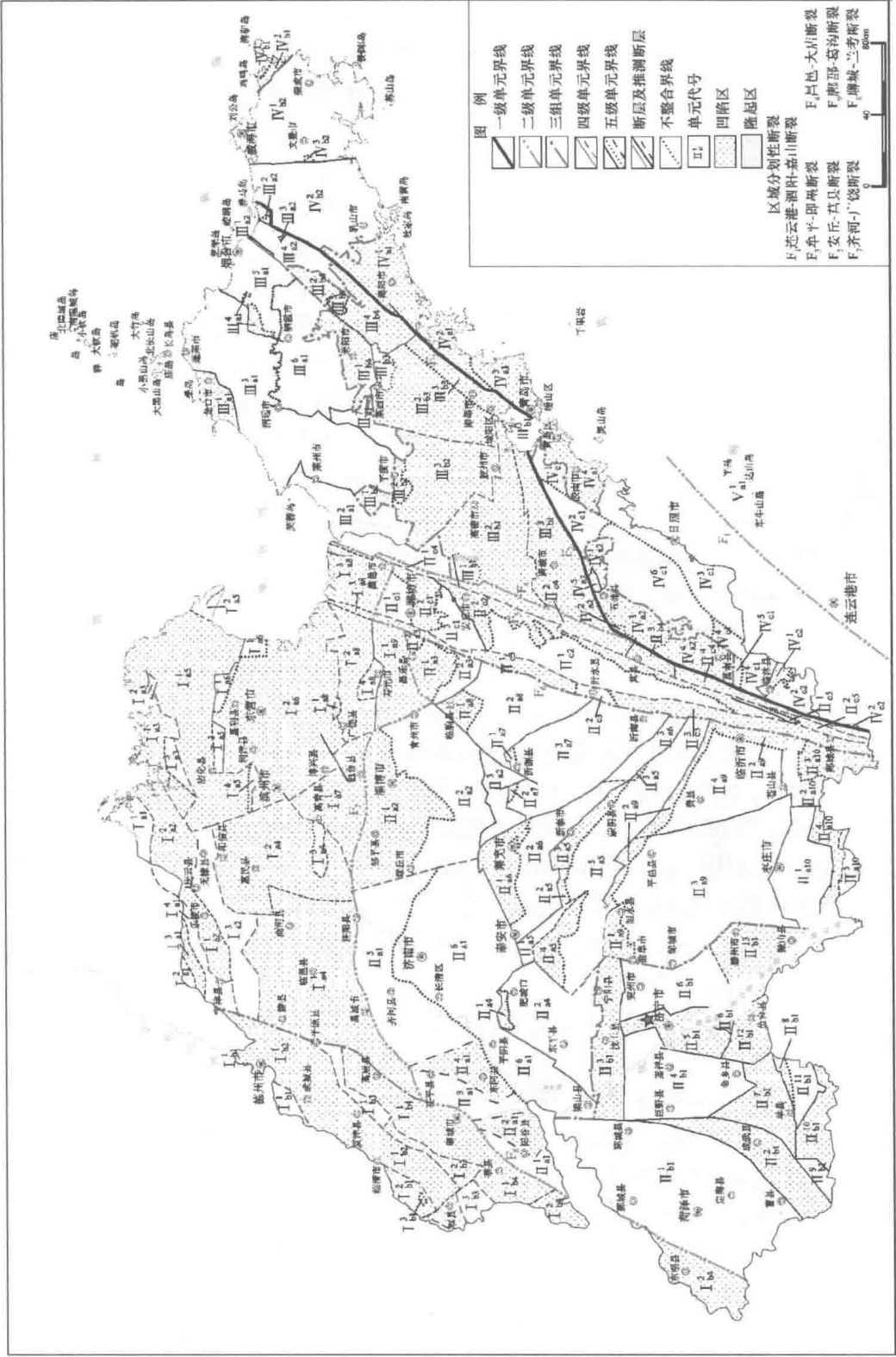


图 2-1 山东省大地构造单元划分图  
(红色五角星标记为济宁铁矿所在位置)