

湘西北民乐锰矿成矿后变化分析

曹默雷^{1, 2)}, 陈建平^{1, 2)}

1) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京, 100083;

2) 北京市国土资源信息研究开发重点实验室, 北京, 100083



内容提要:大塘坡式锰矿成矿后变化程度可从地层抬升程度、氧化程度、构造条件、裂隙与岩溶发育程度、顶底板隔水性、地表及气候等方面进行分析评价。民乐锰矿成矿后受到近地表因素、地下水的以及断层发育的影响,其成矿后变化程度可从地层抬升程度、断裂发育程度以及含锰岩系隔水性3方面进行评价。选取含矿层埋深、距断层距离、矿体上覆及下伏黑色页岩段厚度对3个评价因素进行定量表征,制作单因素等值线图并量化评分,运用层次分析法确定各因素权重,将各单因素加权叠加绘制成矿后变化程度系数等值线图,将成矿后变化程度分区与锰矿形态(品位)、厚度范围叠加,定量分析成矿后变化对找矿的指示意义。研究发现,断裂发育程度对于民乐矿区成矿后变化程度最为重要,地层抬升程度次之,含锰岩系隔水性影响较少;民乐矿区成矿后变化程度具有“两侧高、中心低”的特征,呈现从盆地中心至边缘带递增的趋势,西侧更多受地层抬升影响,东侧则以断裂影响为主;成矿后变化程度较低的区域更有利于找矿,但对于不同形态(品位)的矿体指示性并不明显;对各类地质演化过程的恢复和定量表征应成为今后大塘坡式锰矿成矿后保存改造研究的主要方向。

关键词:大塘坡式锰矿;成矿后变化;民乐矿区;断裂发育程度;地层抬升程度

对各类矿床研究历来都强调要兼顾成矿条件和保存改造条件,但目前的研究多数都集中于成矿方面,已经形成了比较系统的概念、学说、理论,但对于成矿后的保存、改造条件的分析和评估却鲜有涉及(翟裕生, 1999, 2020; 翟裕生等, 2000; 冯云磊等, 2015)。大塘坡式锰矿是湘渝黔毗邻地区大塘坡组地层中赋存的海相碳酸锰矿床(张飞飞等, 2013; 何志威等, 2014; 谢小峰等, 2018),是该区域重要的沉积型矿产之一,成矿后受到多种地质作用的影响,包括变质作用、热液作用、表生作用以及矿体变形等(石少华等^①)。该区域锰矿赋存的大塘坡组地层历经多期构造运动,虽然整体保存情况良好,但后期断裂、褶皱的发育、深部流体侵蚀以及抬升至浅层后发生的氧化及地表、浅层地下流体的淋滤侵蚀等都会对矿体产生不同程度的改造作用。前人对于此类锰矿成矿后变化、保存改造情况的研究较少且多为个别矿区的现象描述(袁良军等, 2013; 周琦等, 2018),并未针对各矿区或者勘探区地质特征对其成矿后的变化进行分析和评价。本文以湘西北大型海相碳酸锰矿民乐锰矿主矿区为例,结合矿区地质

特征分析矿区成矿后可能存在的变化,根据地层抬升程度、断裂发育程度以及含锰岩系隔水性3个因素对本区锰矿形成后的变化程度进行定量评估,最后将结果与本区矿体厚度、形态(品位)分布范围叠加,分析民乐矿区成矿后变化程度以及成矿后变化对找矿的指示意义,为大塘坡式锰矿成矿后变化的研究提供了一种新的思路。

1 大塘坡式锰矿成矿后变化影响因素

沉积型矿产在浅层会受到气候、水流、生物等多种地表因素的影响,在深层则会受到断层、地下水、岩浆等因素的影响,发生形态以及物质成分的变动。大塘坡式锰矿成矿后变化程度可从地层抬升程度、氧化程度、构造条件、裂隙与岩溶发育程度、顶底板隔水性、地表及气候等方面进行分析评价(表1)。地层抬升程度指的是矿体受构造运动影响的抬升程度,抬升至地表以上则地层遭受剥蚀,而抬升至近地表则会受到各类表生条件的影响。地层抬升程度的定量评估可参考各期构造运动剥蚀厚度、现今矿层的孔深等指标。氧化程度指的是碳酸锰矿体在抬升

收稿日期:2020-11-19;改回日期:2021-04-04;网络首发:2021-04-20;责任编辑:赵雪、章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.04.043。

作者简介:曹默雷,男,1994年生,博士研究生,地球探测与信息技术专业;Email:1064712996@qq.com。通讯作者:陈建平,男,1959年生,教授,博士生导师;主要从事矿产资源定量预测评价和“3S”技术集成应用的教学与研究工作;Email:3s@cugb.edu.cn。

表 1 湘黔渝地区大塘坡式锰矿成矿后变化影响因素

Table 1 Influencing factors for the variation after the mineralization period of the Datangpo-type manganese deposits in the Hunan—Guizhou—Chongqing area

影响因素	定量表征条件
地层抬升程度	剥蚀厚度、孔深等
断裂发育程度	断裂密度、断裂裂变程度、断层规模指数等
裂隙发育程度	裂隙综合指数、岩层脆性指数、构造位置等
岩溶发育程度	化学岩含量、岩性等
含锰岩系隔水性	岩层厚度、岩芯采取率、钻孔冲洗液消耗量、构造位置等
地表及气候	降雨量、地表水系发育程度、地表径流量等

至浅层风化壳中的氧化带时转为氧化锰的程度,主要也受到抬升剥蚀程度的控制(许卫, 2004),这种现象在下扬子地区较为丰富,大塘坡式锰矿在中、上扬子区发育,但局部也存在抬升至近地表处,因此也会受到氧化反应的影响;构造条件主要是指矿区内的现今断层与褶皱的发育情况,断层与褶皱都会造成矿体的位移,可以将深部的矿体抬升至浅部。连通性好的断层可以沟通地表流体,使其交代矿体中的物质成分,有时还会出现锰矿在正断层下盘保存更加完好的情况(袁良军等,2013)。对构造条件的定量表征可采用断裂、褶皱密度、规模指数、距断层、

褶皱距离等指标(牛鹏堃等, 2018a,b)。裂隙、岩溶的发育程度是决定地表流体、降水是否会对矿体产生溶蚀的重要因素,受到岩性和构造条件的制约。裂隙发育程度可用裂隙综合指数、岩层脆性指数(邹才能等, 2010; 焦鹏等, 2018)等指标定量表征,岩溶发育程度有时可用地表、层间化学岩含量表征。顶底板隔水性主要是通过矿体上部和下部岩系的岩性和厚度进行评估,也可参考冲洗液消耗量、岩芯采取率等指标(熊世伦, 1985)。湘黔黔地区气候湿热,降雨多,地表水丰富,气候及地表条件会对地下锰矿造成影响,可用水系密度、地表径流量等指标表征(熊世伦, 1985)。

2 民乐锰矿地质特征

2.1 区域地质概况

民乐地堑盆地是湘黔地区在南华系早期伸展环境下形成的一系列北东—北北东向断陷盆地之一,在盆地结构中属于四级构造单元(周琦等, 2018)(图 1a)。民乐锰矿位于民乐地堑盆地中部,属于湖南省湘西州花垣县境,面积 18 km²。区内地层主要由青白口系、南华系、震旦系和下古生界的下寒武统组成,未见侵入岩。含矿层为大塘坡组下段,在矿区西侧遭受严重剥蚀。矿区及其周围断裂按其性质分为两组:一组为 NE—NNE 向逆断裂,形成于加里东、印支和燕山运动中的 NWW—SEE 向挤压环境

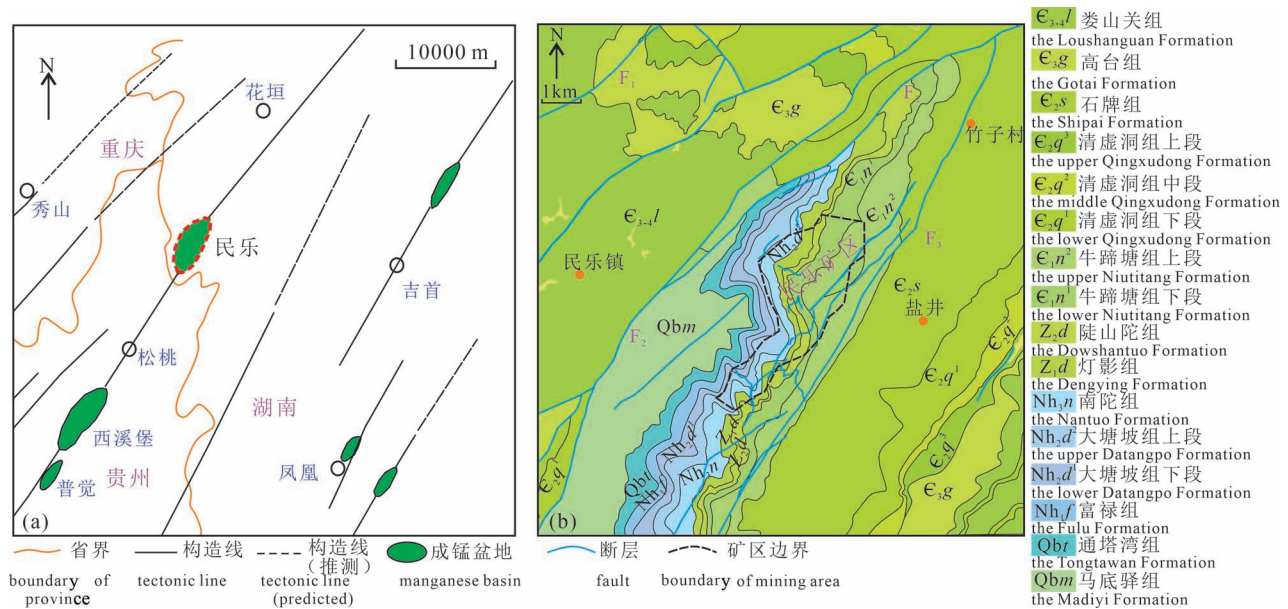


图 1 (a) 湘黔黔毗邻区成锰盆地分布图;(b) 湘西北花垣民乐成锰盆地内地质图

Fig. 1 (a) The distribution of manganese basins in the adjacent area of Hunan, Guizhou and Chongqing;

(b) The geological map of the interior of the Minle manganese basin, Huayuan, western Hunan

中(柏道远等,2015a,2015b),其中部分断层规模较大,延伸较长,在新元古代和早古生代呈现出同沉积断层的形式(杨阳等,2016),如花垣—茶洞断层(F_1)、水田坝—当路坪断层(F_2)等;另一组为 NW

向平移断裂,形成于印支和晚燕山运动中(图 1b)。
2.2 矿体分布特征
本次研究根据矿区中钻孔信息将民乐锰矿成矿期(大塘坡组下段)地层自下而上分为四个亚段,分

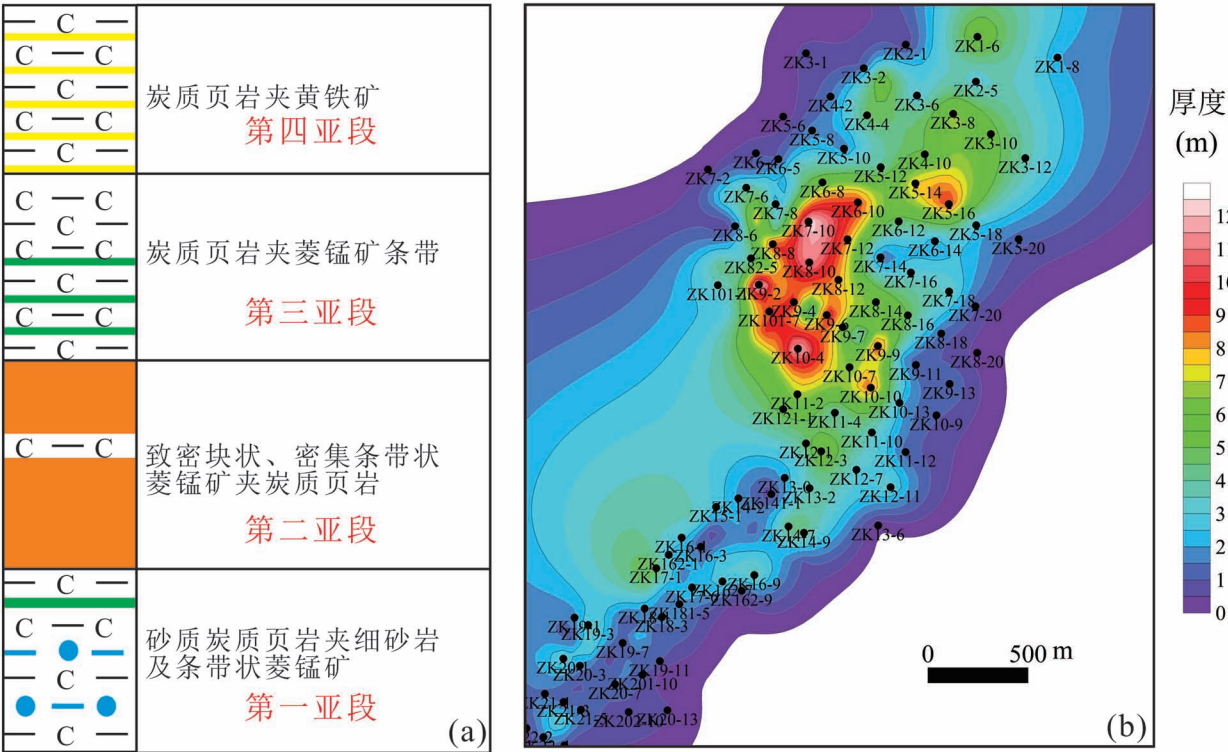
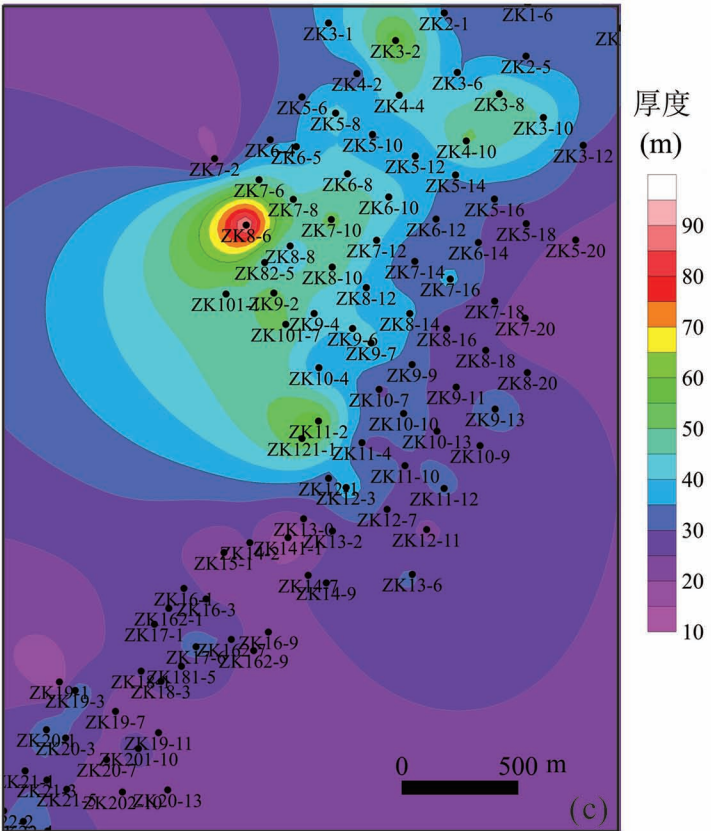


图2 湘西花垣民乐锰矿体特征: (a)成矿期地层划分方案; (b) 民乐矿区矿体段地层厚度图; (c)民乐矿区成矿期地层厚度图

Fig. 2 Features of ore bodies in Minle manganese deposits, Huayuan, western Hunan: (a) the stratigraphic classification of the mineralization period; (b) the stratigraphic thickness distribution of manganese ores with carbon shales in the Minle mining area; (c) the stratigraphic thickness distribution of the mineralization period in the Minle mining area



别为：① 第一亚段,大塘坡组底部砂质炭质页岩夹细砂岩；② 第二亚段,粉砂岩及条带状菱锰矿、致密块状、密集条带状菱锰矿夹炭质页岩；③ 第三亚段,黑色炭质页岩夹条带状菱锰矿；④ 第四亚段,黑色炭质页岩夹黄铁矿。其中矿体主要集中于第二亚段(致密块状、密集条带状菱锰矿夹炭质页岩)中,本文将其视为矿体段(图 2a)。矿体厚度分布与大塘坡组下段地层厚度呈现正相关关系,都是北部较厚,南部较薄(图 2b、c),由中北部的厚度中心向周围边缘处递减,这也符合大塘坡式锰矿由成锰盆地中心向边缘发育逐渐减弱的规律(周琦等,2017,2018)。

2.3 构造演化特征

根据花垣区域地质调查报告^②,民乐锰矿所处的湘西北花垣—麻栗场地区从新元古代开始历经多期构造运动的改造,在加里东运动之前的雪峰旋回

和扬子旋回属于陆内裂谷演化阶段,区域性的 NNE—NE 向断裂初步成生,图 1 中的 NNE—NE 向断裂如 F_1 、 F_2 等此时属于控岩相的同沉积断层,但受到后期构造运动的影响,这些断裂的位置与现今相比存在角度偏差(周琦等,2016)。这些断裂在南华纪初期控制形成了一系列沿断层走向展布、安静闭塞的近岸海湾断陷盆地,这些盆地内部则由一系列小型的地堑、半地堑构造组成,大塘坡式锰矿在大塘坡组下段时期形成于这些地堑、半地堑之中,含锰岩系为黑色炭质页岩(图 3);之后的加里东旋回(ϵ — S)属于被动陆缘—前陆盆地演化阶段,地层连续沉积;加里东运动之后的海西—印支旋回(D — T_2)属于陆表海演化阶段,全区受到 NWW—SEE 向的挤压作用,形成 NNE 向褶皱与逆冲断层(柏道远,2015a,2015b);印支运动后全区进入陆内演化阶段(T_3 — K),仍受 NWW—SEE 向挤压作用,形成 NNE

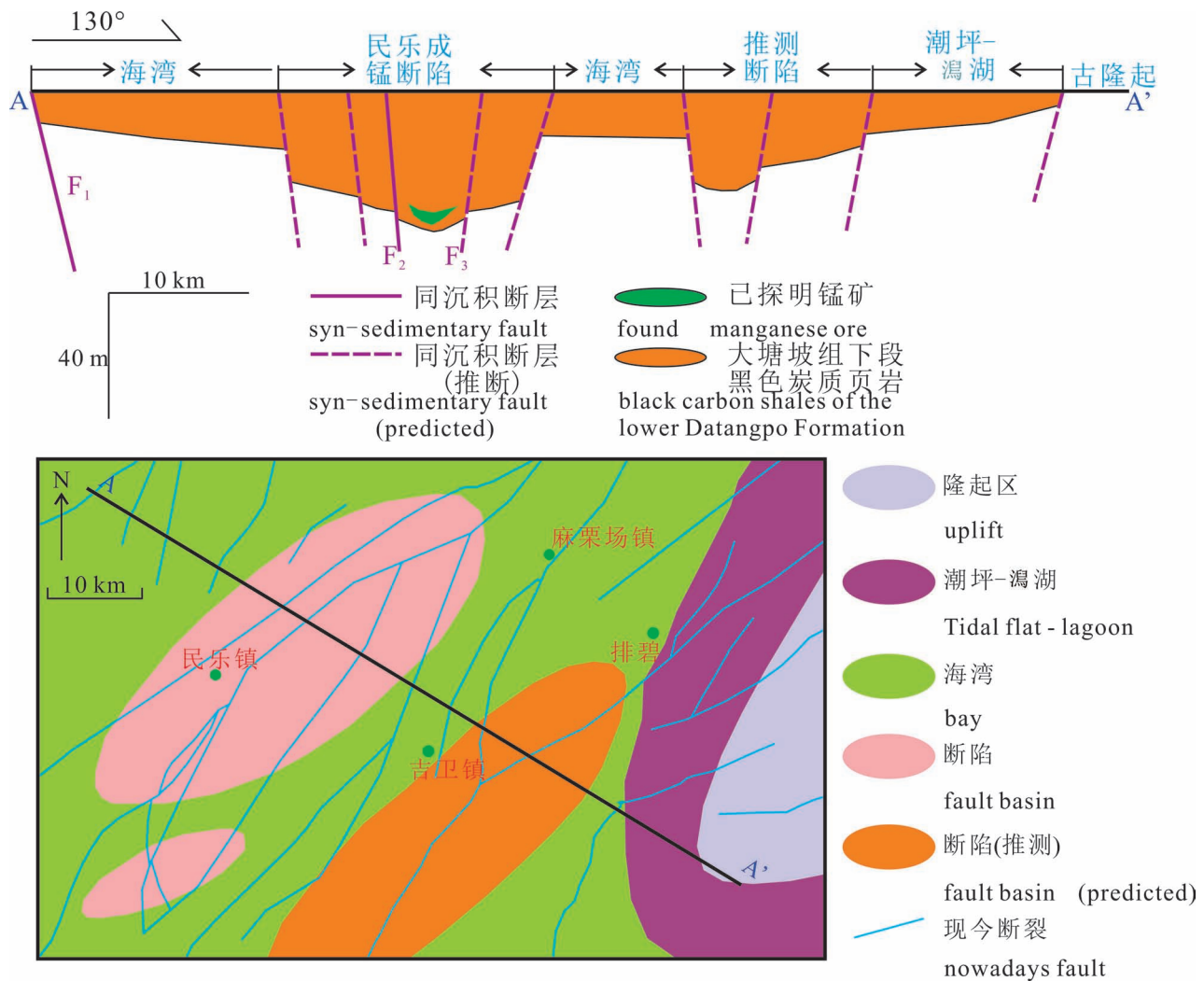


图 3 湘西北花垣—麻栗场地区大塘坡组下段时期原型盆地恢复

Fig. 3 The restoration of the prototype basin of the lower Datangpo Formation in Huayuan—Malichang area, northwestern Hunan

向逆冲断层和 NEE、NW—NWW 向平移断层;中侏罗世中晚期发生早燕山运动,受 NW—SEE 向挤压而形成 NNE 向的褶皱与逆冲断裂,早白垩世中期—古新世扬子陆块处于区域伸展构造体制, NW—SE 向拉伸构造环境下形成高角度正断层;始新世末—渐新世发生晚燕山运动,区域构造体制为 EW(NW—SEE) 向挤压(万天丰等,2002),发育 NE—NNE 向逆断层和 NEE、NW 向平移断层;喜马拉雅运动主要表现为间歇性抬升运动,构造变形不再显著。

3 民乐矿区成矿后变化分析

民乐锰矿在成矿期安静还原环境中主要的化学反应为锰离子与碳酸氢根离子结合以及氧化锰与有机质结合两种,均形成碳酸锰沉淀(周琦等,2017;董志国等,2020),现今矿区内钻孔中大塘坡组下段岩性为菱锰矿体和黑色炭质页岩,与成矿期相比并未发生改变。花垣区域地质调查(张晓阳等^②)中的遥感矿化蚀变信息显示民乐镇地区出露的南华及震旦纪地层并没有显著的蚀变特征。民乐一两河乡一带的青白口纪、南华纪、震旦纪及早古生代沉积岩层,均遭受区域低级或极低级变质作用。以上特征均说明民乐锰矿含矿层物质成分在成矿过程中并未遭受强烈改变。矿区内许多钻孔中矿体埋深很浅,有些钻孔中矿体甚至距地表不足 30 m,而且孔深 300 m 以内的浅层锰矿 Mn 含量与深层相比波动较大(图 4a),说明成矿后存在地表及地下浅层因素的影响,主要包括风化壳氧化带中的氧化作用、地表条件的风化淋滤以及地下水的侵蚀交代,根据收集到的钻孔信息及花垣地质调查报告(张晓阳等^②),氧化作用并不显著,仅在少数大塘坡组发育较浅的钻孔如 17-1、181-1 近地表处存在氧化现象,可能存在氧化带的深度范围在地表以下 6~50 m,民乐矿区仅有少数锰矿体赋存在该范围,常量元素的测试结果中大塘坡组地层中的氧化锰含量与其他地层相比也并没有显著优势(图 4b);钻孔中的层间裂隙较多、含矿层 P、S、SiO₂ 等物质成分的波动以及常量元素中较为活泼的 K、Na、Ca、Mg 等元素相比于稳定的 Al、Fe、Si 等元素含量明显较低等现象(表 2)则显示

矿体受到一定程度的地表淋滤和地下水交代作用。本文依据花垣地区典型民乐—下椿木实测剖面地层厚度、中扬子地区志留系末及晚三叠世中期下寒武统 Ro 值(高瑞祺等,2001),类比湘中、湘北地区岩层发育情况,计算剥蚀厚度,绘制花垣区域埋藏史图(图 4c)。参考花垣地区以及湘西北地区埋藏史图(陶树,2008),菱锰矿体发育在南华纪早期大塘坡组地层中,之后经历多期构造运动,受中侏罗世之后的构造抬升影响较大,含矿地层被抬升至近地表处。矿区地处摩天岭背斜南东翼,距离区域断裂花垣—张家界断层的分支断层水田坝—当路坪(F₂)断裂较近,且矿区东侧发育多条断裂,对矿体造成切割破坏的同时也使得地层裂隙发育,钻孔资料中破碎带较多且黑色炭质页岩段常见高角度裂隙发育。矿区内寒武系、震旦系剥蚀较为严重,碳酸盐岩发育不多。保存较好的南华纪地层以页岩段为主,局部发育碳泥质、锰质白云岩,化学岩含量也不高,因此,民乐锰矿成矿后受岩溶因素的影响较小。区内矿体上覆、下伏页岩段厚度均存在一定程度的变化,再加之部分矿体埋深较浅,存在由于上下含锰岩系透水性产生的地表水、地下水侵蚀与交代作用。由此可见,本文研究区中锰矿成矿后受到近地表因素、地下水的以及断层发育的影响。

4 单因素分析

本次研究选取锰矿层埋深、矿体上覆及下伏黑

表 2 湘西北花垣地区南华系岩石化学成分分析结果(%) (据张晓阳等^②)

Table 2 The chemical composition analysis result (%) of the rocks from Nanhuan System in the Huayuan district (from Zhang Xiaoyang et al., 2013#)

地层	Nh ₃ n				Nh ₂ d		Nh ₁ f	
样品号	PM003 -28-2	PM003 -28-1	PM021 -26	PM021 -25	PM003 -26	PM003 -25	PM003 -7	PM003 -5
SiO ₂	61.13	65.85	70.23	68.15	63.07	61.3	64.56	74.1
TiO ₂	0.77	0.63	0.49	0.58	0.72	0.75	0.52	0.45
Al ₂ O ₃	18.53	16.57	12.78	14.58	17.72	18.78	15.69	13.65
FeO	1.82	2.93	2.72	0.73	4.23	1.94	1.48	0.2
MnO	0.046	0.17	0.081	0.069	0.16	0.09	0.22	0.25
MgO	1.41	1.67	1.52	1.26	1.95	1.58	0.79	0.49
Fe ₂ O ₃	4.6	2.54	1.61	4.37	0.87	3.51	5.9	2.62
CaO	0.39	0.35	0.77	0.13	0.7	0.46	0.83	0.2
Na ₂ O	1.22	1.81	1.76	1.02	1.92	1.73	3.2	2.8
K ₂ O	3.85	3.39	3.28	3.45	3.71	3.86	2.65	2.44
P ₂ O ₅	0.37	0.12	0.1	0.073	0.082	0.42	0.089	0.053
H ₂ O	3.9	1.69	0.38	1.22	0.97	2.27	1.58	1.17

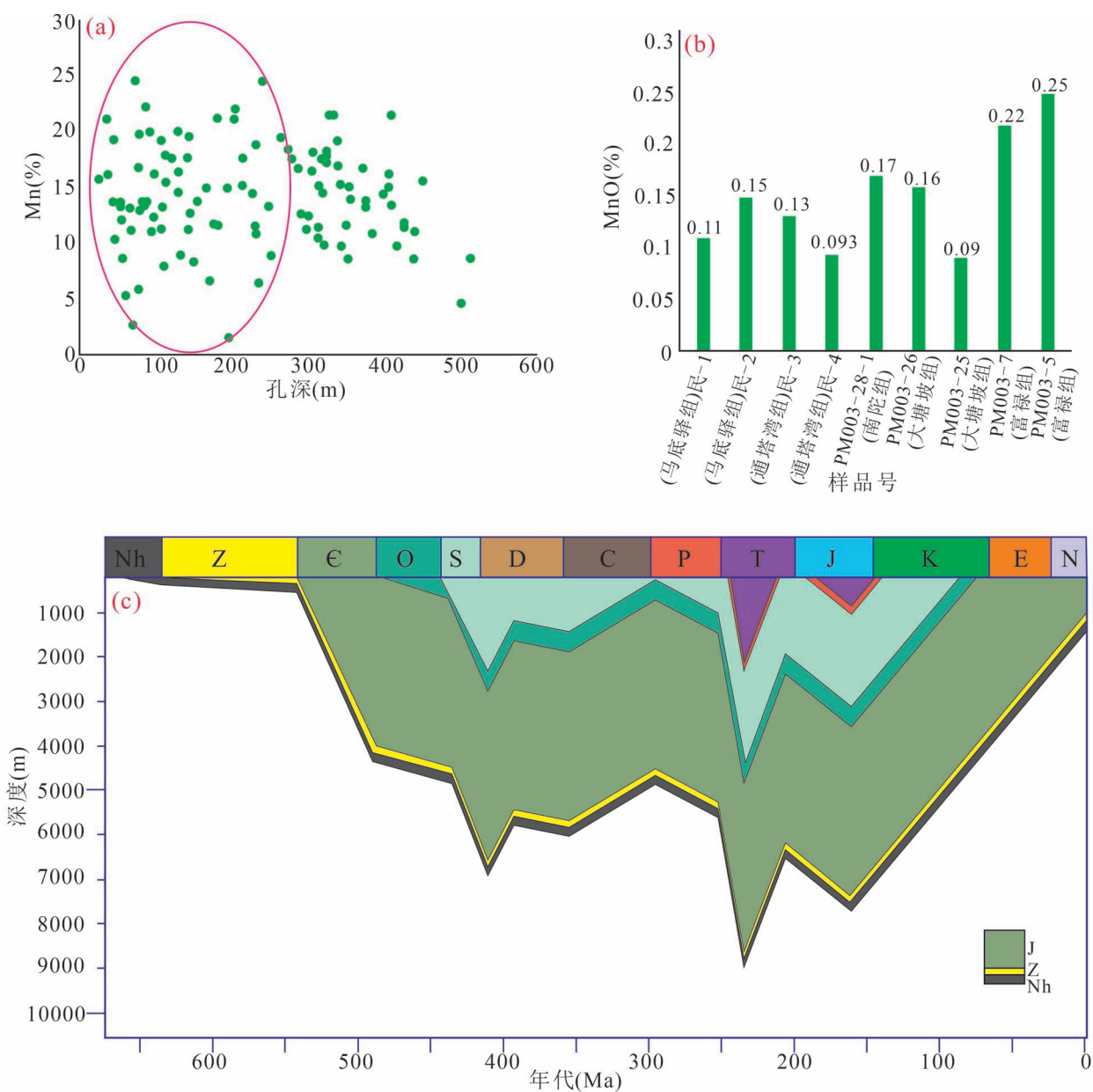


图 4 湘西北花垣民乐锰矿元素含量分析及构造演化特征：(a) 含矿层不同起始孔深锰质含量；
(b) 不同地层氧化锰含量；(c) 花垣地区埋藏史图

Fig. 4 The analysis of elements of the Minle manganese deposits in the western Hunan province and its tectonic evolution: (a) the variation of the manganese grade of the ore-bearing strata in different drilling depths; (b) the variation of manganese oxides content of different stratum; (c) the buried history of the Huayuan district

色炭质页岩段厚度、距断层的距离四项数据指标表征成矿后变化程度。矿体埋深分布体现出明显的“西浅东深”的规律,最东部大塘坡组地层埋藏较深,受印支、燕山运动影响较小,绝大多数井点矿体段孔深都超过 350 m,西侧靠近剥蚀区部分钻孔矿层埋深已经在 50 m 以内,很容易受到地表因素及风化壳的影响(图 5a)。第二章已经将大塘坡组下段

划分为四个亚段,其中矿体段为第二亚段矿体,包含两段碳酸锰矿体及中间的黑色炭质页岩段,考虑到第四亚段(黑色炭质页岩夹黄铁矿)及大塘坡组上段都存在因地层剥蚀导致厚度不完整的情况,此处选取上覆第三亚段(黑色炭质页岩夹碳酸锰条带)及下伏第一亚段(砂质炭质页岩夹细砂岩、粉砂岩及条带状菱锰矿)作为矿体顶底隔水层,用它们厚

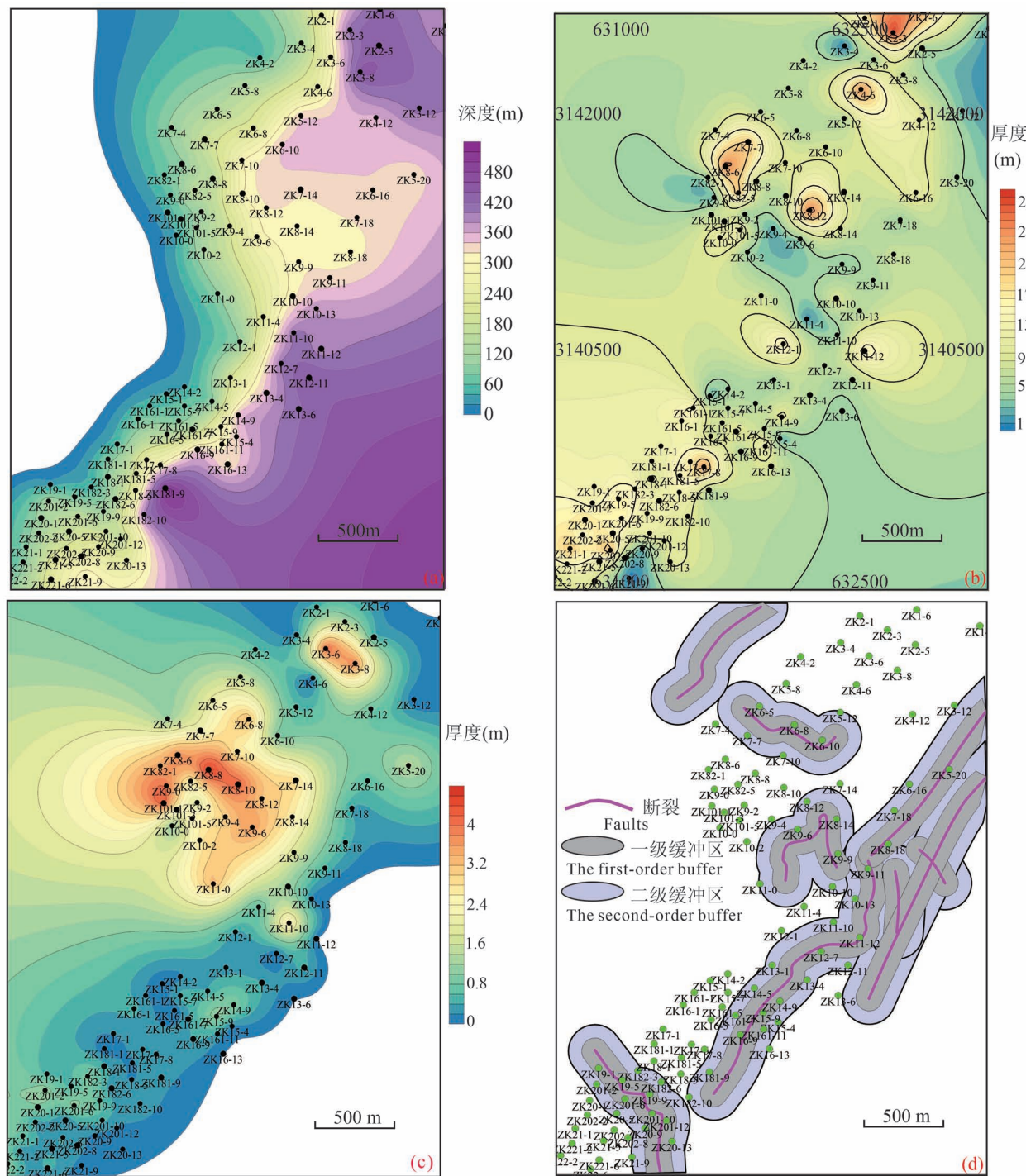


图 5 湘西北民乐矿区成矿后变化各影响因素空间分布图：(a) 矿体段钻孔深度；(b) 矿体上层黑色页岩段厚度；
(c) 矿体下部黑色页岩段厚度；(d) 矿区断裂及其缓冲区

Fig. 5 The spatial distribution of each factor which influences the manganese deposit's variation after the mineralization period in the Minle mining area, northwestern Hunan: (a) drilling depths of the manganese ore-body; (b) the thickness of the black shale above the manganese ore-body; (c) the thickness of the black shale below the manganese ore-body; (d) faults and their buffers in the mining area

度的变化定量表征含锰岩系的隔水性。上覆第三亚段厚度多数井点都在 10 m 以上,仅零星区域厚度较

薄,不足 5 m(图 5b)。下伏第一亚段厚度由矿区西侧向东侧递减,在矿区中北部发育较厚(图 5c)。根

据花垣区域地质调查报告中的构造演化特征,民乐锰矿 NE—NNE 向逆冲断层是加里东、印支、燕山运动中 NWW—SEE 向挤压作用的结果,NW 向平移断层也都在印支、燕山运动中形成。这些断层对地层造成切割破坏、抬升剥蚀,还促进了地表和层间裂隙的发育,加剧了地表、近地表因素对于矿体的影响。本文以矿区内部多数钻孔间距(100 m)为半径绘制一级、二级断裂缓冲带,全区内多处井孔处于断裂缓冲区内以及交汇区域(图 5d),综上所述,对本区而言,断裂与矿体埋深对成矿后变化程度的影响较大,影响范围基本覆盖全区;盖层隔水性整体较好,仅在局部地区存在异常,存在影响,但并不明显。

5 层次分析法定权重

层次分析法(Analytic hierarchy process)基本原理是把与决策有关的元素分解成递进的层次,在人的经验判断基础上去比较两两元素的相对重要性,据其标度设置判断矩阵,进而进行半定性和半定量分析,此方法具有灵活简便的优点,非常适合确定各个影响因素的权重(牛鹏堃等,2018a,b)。本次研究根据之前的地质特征研究以及单因素分析,针对民乐矿区建立评价成矿后变化程度的层次结构及判断矩阵(图 6,表 3、表 4、表 5)。根据之前章节的分析已经得出在决策层(C 层)对目标层(A 层)的影响中,矿区的地层抬升程度(B_1)是决定碳酸锰

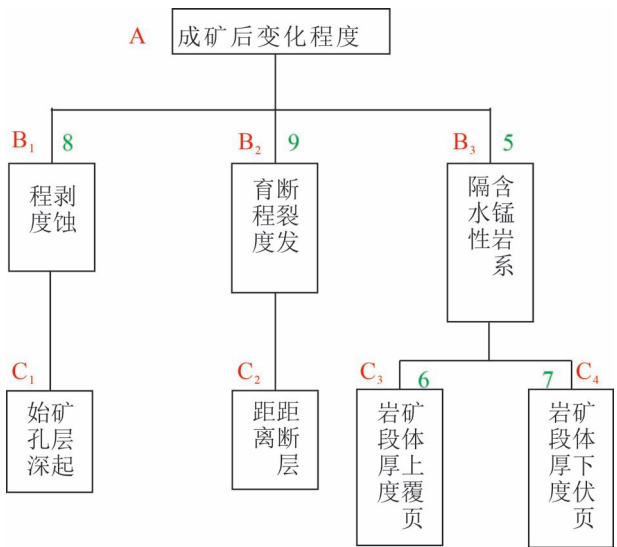


图 6 湘西北花垣民乐矿区成矿后变化程度层次分析模型

Fig. 6 The AHP model of the variation degree after their mineralization period for the Minle manganese deposits, Huayuan, western Hunan

表 3 湘西北花垣民乐矿区成矿后变化层次模型 B 层次单排序矩阵

Table 3 The single scheduling matrix of the B hierarchy of the variation after the mineralization period for the Minle mining area, Huayuan, northwestern Hunan

A	B_1	B_2	B_3	按行相乘	开 n 次方	权重 w_i
B_1	1	0.89	1.60	1.42	1.12	0.3636
B_2	1.13	1	1.80	2.03	1.27	0.4091
B_3	0.63	0.56	1	0.35	0.70	0.2273

表 4 湘西北花垣民乐矿区成矿后变化层次模型 C 层次单排序矩阵

Table 4 The single scheduling matrix of the C hierarchy of the variation after the mineralization period for the Minle mining area, northwestern Hunan

B_3	C_3	C_4	按行相乘	开 n 次方	权重 w_i
C_3	1	0.86	0.86	0.93	0.4615
C_4	1.17	1	1.17	1.08	0.5385

表 5 湘西北花垣民乐矿区成矿后变化层次模型 B 和 C 层次总排序矩阵

Table 5 The total scheduling matrix of the B and C hierarchies of the variation after the mineralization period for the Minle mining area, northwestern Hunan

B 和 C	B_1	B_2	B_3	权重 w_i
C_3	0	0	0.4615	0.1049
C_4	0	0	0.5385	0.1224

矿体是否达到古风化壳中氧化带进而氧化形成氧化锰的关键因素,同时也是地表水以及浅层地下水的淋滤渗透的重要前提;断裂发育程度是本矿区成矿后变化程度评价中的最重要因素,主要有 3 点影响,一是断层发育造成局部矿体被抬升至浅层,发生氧化反应并遭受地表水以及浅层地下水侵蚀。二是断层本身具有疏导液体的能力,对于埋藏较深的矿体,这些断层是它们与地表水、地下水以及深部热液沟通的最主要通道,大塘坡式锰矿形成较早且长时间处于地下较深位置,断层活动在其成矿后变化中起着重要作用。三是断层发育会造成地表以及层间裂隙的产生,这些裂隙会加剧地表以及地下各因素对矿体的影响。就对本区成矿后变化程度重要性而言,断裂发育程度要比地层抬升程度更强,因为矿区内的后期断裂基本遍布全区,断层本身就能够成为地表渗流的通道而且还能够促进地表以及层间裂隙的发育,极大地促进了地表流体、大气降水与地下矿

层沟通,而矿区内抬升程度并不均衡,除西侧以外,其余区域并未抬升至非常浅的位置,矿区东部大片区域矿体都发育在地下 400~500 m 的位置,盖层较厚,不太容易遭受地表因素的风化或者在浅层发生氧化反应。含锰岩系隔水性对于表生条件的重要性在本区与前两者相比要弱一些,因为民乐矿区含锰岩系岩性为黑色页岩,性质稳定,封闭性好,不太容易造成地表水和地下水对矿体的侵蚀交代作用。因此,本文对 B 层次重要性评分为剥蚀程度(B_1)8、断裂发育程度(B_2)9、盖层隔水性(B_3)5。由于矿层下伏黑色页岩段整体厚度较小且其下部富禄组以砂砾岩为主,透水性较强,因此,本段与矿体上覆页岩段相比更容易使矿体被流体交代。因此对 C 层次的重要性评分为上覆页岩段厚度(C_3)6、下伏页岩段厚度(C_4)7。通过单排序和总排序,最终确定 C 层次四个因素的权重分别为:矿层起始孔深(C_1)0.3636、距断层距离(C_2)0.4091、上覆页岩段厚度(C_3)0.1049、下伏页岩段厚度(C_4)0.1224。与本文类似的层次模型(李延河等,2018)曾在矿产开采风险性评估中使用,但很少运用在成矿后变化的分析之中。

6 成矿后变化程度分析

对影响成矿后变化程度的各单因素按重要程度逐级赋分(表 6),再按照之前层次分析结构中的权重加权计算各井孔成矿后变化程度,并绘制等值线图。根据 Surfer 网格统计的结果,可将成矿后变化程度系数以 3.9274 为界分为两档(图 7),1.3944~3.9274 表示成矿后变化程度较弱,3.9274~5.2124 表示表生成矿后变化程度较强。各网格平均值为 3.8887,中值为 3.9275,总体来说民乐矿区成矿期之后受地表、地下、构造运动等因素影响存在一定程度的改造,但并不强烈。根据成矿后变化系数空间分布情况(图 8a),矿区东西两侧成矿后变化较强,西侧大塘坡组地层遭到剥蚀,残存部分遭受强烈抬升,覆盖地层较少,容易受到地表因素及浅层风化壳的影响。矿区东侧盖层发育,成矿后变化更多受到断层发育的影响,后期断层发育密集,不仅造成矿体破碎、抬升,也容易造成大量裂隙发育。矿区中部

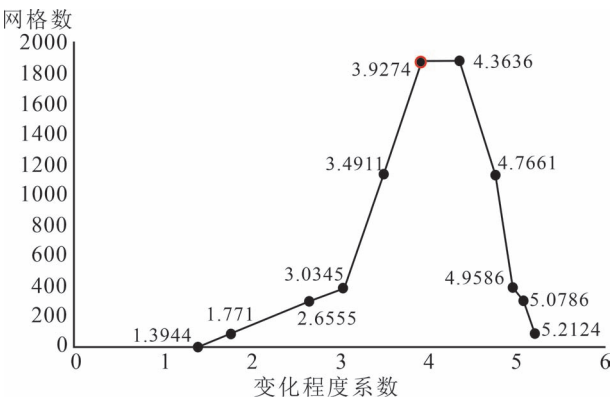


图 7 成矿后变化程度系数阈值划分
Fig. 7 The threshold division of the coefficient of the variation degree after the mineralization period

盖层覆盖良好,断层发育少,抬升程度适中,仅在南北两侧两条近 EW(NW)向断层周围影响系数较高。将锰矿层厚度为 10 m、7 m、4 m、1 m 的等厚度线以及块状和条带状为主的矿点以 DXF 格式转出,经 mapgis 文件转换存为线文件,造区之后进行空间分析,根据空间分析结果(图 8b),64%的钻孔、65%的产出致密块状矿体的钻孔以及 63%的产出条带状矿体的钻孔分布在成矿后变化程度系数低值区(≤ 3.9274),说明成矿后变化程度对于找矿有一定指示意义,变化程度较低的区域更有利于找矿,但对于不同形态(品位)的矿体指示性并不明显。锰矿厚度范围与成矿后变化程度系数分区的叠合(图

表 6 成矿后变化影响因素评分准则

Fig. 6 The score criteria of factors which influence the variation after the mineralization period

影响因素			评分标准	影响因素			评分标准
锰矿层起始孔深	<50 m		6	矿体上覆页岩段厚度	<5 m		6
	50~100 m		5		5~10 m		5
	100~200 m		4		10~15 m		4
	200~300 m		3		15~20 m		3
	300~400 m		2		20~25 m		2
	400~500 m		1		>25 m		1
与断层位置关系	断裂交汇处		7	矿体下伏页岩段厚度	0 m		6
	过断层		6		0~1 m		5
	1 级缓冲区内		5		1~2 m		4
	1 级缓冲区附近或交界		4		2~3 m		3
	2 级缓冲区内		3		3~4 m		2
	2 级缓冲区附近或交界		2		4~5 m		1
	缓冲区内		1				

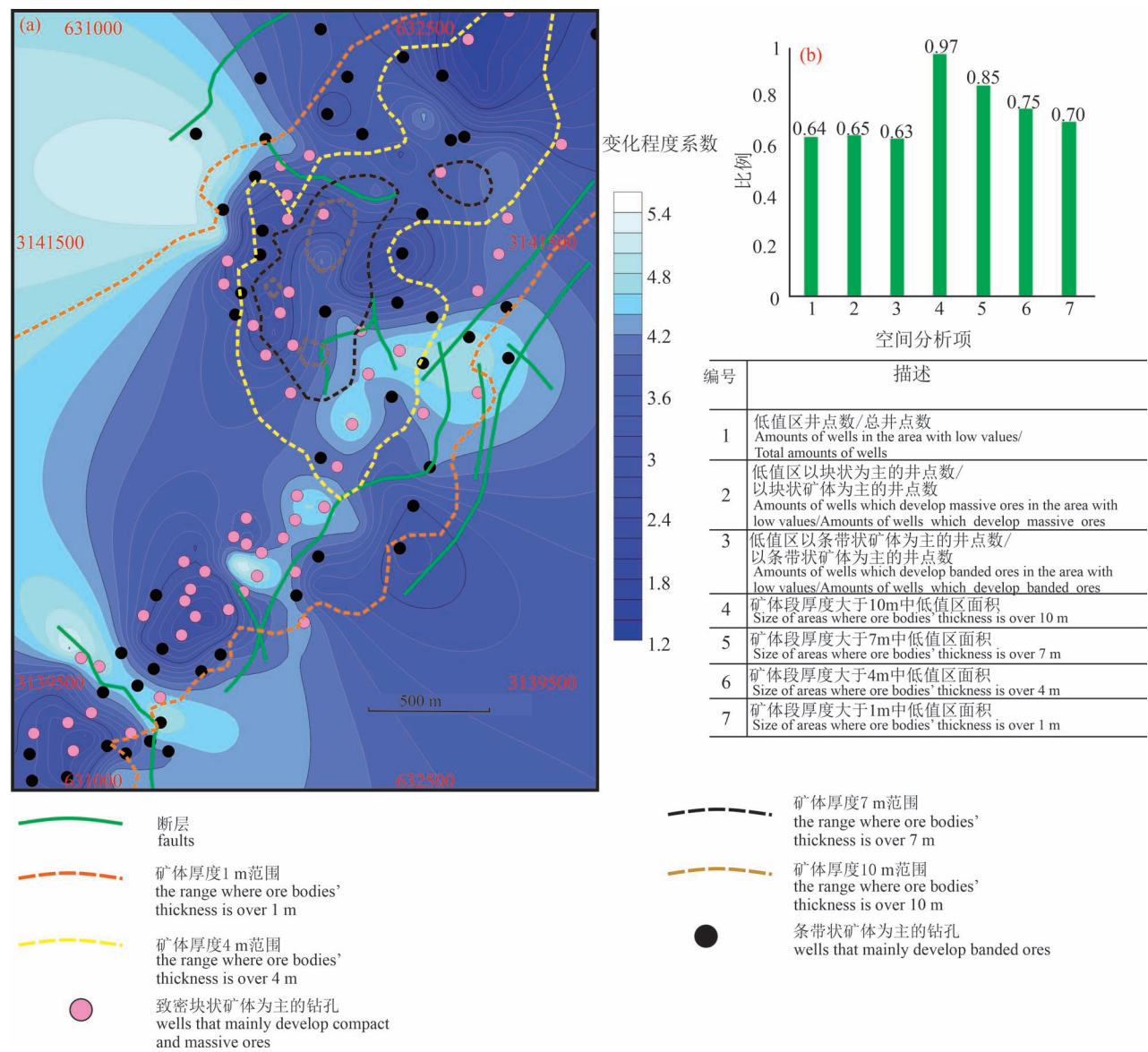


图 8 民乐矿区成矿后变化程度系数分布图(a)及成矿后变化程度低值区与矿体形态、厚度范围空间分析柱状图(b)

Fig. 8 The spatial distribution of the variation degree coefficient after the mineralization period in the Minle mining area (a) and the column map of the spatial analysis of the district with low variation degree after the mineralization and the range of manganese deposit's different shapes and thicknesses (b)

8a、b)则显示了成矿后变化程度具有从盆地中心至边缘带逐渐递增的趋势,根据区对区分析结果,成矿后变化程度系数低值区与矿体段(大塘坡组下段第二亚段)厚度超过 10 m 区域公共面积占该厚度范围的 97%,相同类型的结果在矿体段厚度为 7 m 和 4 m 范围内分别为 84%和 75%,而在矿体段厚度 1 m 范围内的结果则降至 70%,虽然数值差距不大,但整体呈现出下降的趋势。由此可见,越靠近盆地中心的区域成矿后变化程度系数低值区占比越高,矿区内部成矿后变化程度总体具有从中心至边缘带

递增的趋势。

7 讨论:成矿后环境演化对于大塘坡式锰矿保存的影响

从前人的研究现状以及本文分析的民乐矿区成矿后变化都可以看出,对于成矿后环境演化过程的恢复和定量表征是大塘坡式锰矿保存改造研究的关键。本文只是根据现今地质特征分析民乐锰矿成矿后的变化,并未对碳酸锰矿体成矿后的变化过程进行恢复,而且对于一些水文条件、表生条件的影响也

并未进行详尽的研究,总体而言具有一定探索性,但仍然是比较粗略的。由于研究条件、经济等因素的限制,目前大塘坡式锰矿分布的湘渝黔毗邻区各类地质演化研究成果并不丰富(戴传固等, 2008; 杨坤光等, 2012)。与已经比较成熟的成矿条件定量评价相比,对各类矿产资源保存改造研究却仍处于探索阶段。

7.1 构造演化

构造演化对于矿产形成后的保存与改造具有重要意义,构造运动导致的地层抬升剥蚀、形变、断裂活动、应力场转换等通常对已形成的矿体产生破坏与改造作用,有时也存在造成矿体富集的现象(袁良军等, 2013)。大塘坡组碳酸锰矿主要分布于湘渝黔毗邻区域,前人对于这一区域的构造背景已经具有较高的研究程度,周琦等(2016, 2017)通过大量剖面 and 钻孔的地层对比明确了南华纪大塘坡组锰矿形成的古地理格架,即在 Rodinia 超大陆裂解背景下,南华裂谷盆地(I级)沿其内部多条韧性剪切带再次裂陷,由北向南形成3个次级裂谷盆地(II级),本文花垣民乐锰矿所属的武陵次级裂谷盆地就是其中之一。这些次级裂谷盆地内部结构也逐渐被厘清,武陵次级裂谷盆地(II级)由松桃—古丈等3个III级裂陷盆地构成,而这些级裂陷盆地内部又包含多个IV级地堑盆地,湘黔地区几个大型锰矿如民乐、道坨、西溪堡等都发育在这些IV级盆地中。这些裂谷盆地形成后首先经历了一个稳定沉积阶段,从志留纪晚期开始,陆续发生加里东、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动,各期构造运动不仅造成了地层的抬升破坏,还形成了许多后期断层。湘黔交界地区也由造山带(武陵构造旋回)逐渐过渡至板块内部(喜马拉雅构造旋回)(戴传固等, 2008)。断裂活动也是构造演化中的重要内容,湘渝黔毗邻区现今断裂主要为加里东、印支、燕山3次构造运动中形成的NE—NNE向逆冲断层以及NEE、NW向的平移断层。这些断层不但造成了地层位置的改变,还促进了裂隙、岩溶的发育,增强了地表水的下渗淋滤作用,往往不利于大塘坡式锰矿的保存。根据本次研究收集到的资料,笔者等认为当前大塘坡式锰矿构造演化的研究还存在以下两点问题:

7.1.1 埋藏史研究不够充分

湘渝黔毗邻区域在南华纪形成碳酸锰矿之后经历多期构造运动,但对于各期抬升地层的剥蚀厚度目前鲜有统计,而剥蚀厚度却是反映构造变形强度、恢复构造演化过程的重要指标。本次研究采用的含

矿层现今埋深能够反映出民乐锰矿在印支运动之后地层的抬升程度,但无法展现矿体在形成后各个时期的位置情况。花垣地区寒武系、志留系地层都含有页岩气资源,油气类的研究针对一些代表井做过埋藏史图,但由于大塘坡式锰矿形成地层更老,想要完全展现这类锰矿资源的沉积剥蚀过程,还是应当针对南华系、震旦系做一些相关的热演化研究,通过恢复沉积—剥蚀过程,可以使本区锰矿原生、次生的判定、在哪一期构造运动中被剥蚀以及各期构造抬升中成矿后变化程度的分析都比以往更加细致、充分。

7.1.2 对于断层的分析还有待提高

断层的结构与活动性对成矿后变化分析意义重大。断层不仅会切割、抬升矿体,还会促进裂隙、岩溶的发育、沟通地表,增强表生作用对于矿体的影响(袁良军等, 2013; 周琦等, 2017, 2018)。在大塘坡式锰矿大量发育的湘黔交界区域,目前对于断层的研究并不系统。断裂结构方面,虽然通过大量的野外区调对于地表断层形态、产状进行了系统的归纳总结,但对于断层的地下延伸、形态、构造样式、切割地层断层等都缺乏详细的统计,民乐锰矿也存在断层切割并导致矿体产生位移的现象,但根据本次研究收集的资料很难对其进行定量分析,这方面的工作应当多结合物探资料,尤其是电法和地震资料进行研究,否则很难判断现今断裂对于矿层的影响。断裂演化方面,缺少对于各组不同走向断裂活动性和演化历史的分析。在全区范围内选取几条解释良好的物探剖面进行回剥反演对本区原型盆地的恢复以及矿体形成后的保存改造都有重要意义。此外,对断层对大塘坡式锰矿体的保存与改造影响的研究还停留在现象分析的阶段,发现了断层改造矿体的实例,比如西溪堡锰矿的冷水溪断层对于锰矿的影响(袁良军等, 2013),但其他矿床是否有类似现象,或者各矿区受断层改造有何异同之处,都缺乏系统的类比,这也会是今后对矿体形成后保存改造研究的重要方向。

7.2 表生条件和地下水环境的演化

对于大塘坡式锰矿来说,表生条件的影响主要在于在地表及浅层遭受的化学风化、蚀变等,其定量表征可用南华系—志留系各层的化学蚀变指数(CIA)(张天福等, 2018; 郑杰等, 2019)以及各层内氧化物含量等指标,其中古风化壳中的氧化带深度是一项非常重要的影响因素,本次研究的民乐矿区矿体氧化程度较低,钻孔中并未发现有显著的氧

化带,但大塘坡式锰矿在湘渝黔毗邻区皆有分布,而且经历的构造变动十分频繁,完全具有抬升至地表、浅层形成风化壳的可能性,因此对于氧化深度的研究也应当成为今后表生条件对大塘坡式锰矿影响的重要内容,要注重通过野外、钻孔、地震剖面等信息对氧化带的识别以及氧化带层位的构造恢复;地下水的影响是由于地下水环境(地下水不同时期 pH、Eh 值)和含锰岩系厚度、岩矿成分变化共同造成的,其定量表征可用各时期 Ni/Co 值、稀土元素异常值 $[\sum REE, LREE/HREE, (La/Yb)_N, (La/Sm)_N, (Gd/Yb)_N]$ 、Ce 值、Eu 值等地化指标、矿体顶底板厚度、脆性指数、矿化度等,层间裂缝、孔洞中填充的岩性也可用来判断地下水环境(石少华等^①;焦鹏等, 2018)。上述指标目前在湘渝黔毗邻区都有大量的测试数据,可以对地下水环境及其对矿体的影响进行较为细致的评价,但本次研究收集的资料有限,并未对地下水环境和表生条件进行细致的定量表征。

8 结论

(1)民乐矿区在成矿后主要受到近地表因素、地下水的以及断层发育的影响,其成矿后变化程度可从地层抬升程度、断裂发育程度以及含锰岩系隔水性 3 个方面进行评价,其中断裂发育程度对于民乐矿区成矿后变化程度最为重要,地层抬升程度次之,含锰岩性隔水性影响较少。

(2)民乐矿区成矿期之后受地表、地下、构造运动等因素影响存在一定程度的改造,但并不强烈。矿区东西两侧分别受到以断裂发育和地层抬升为主的影响,具有较高的成矿后变化程度;矿区中部盖层覆盖良好,断层发育少,抬升程度适中,仅在南北两侧两条近东西向断层周围成矿后变化程度较高。

(3)成矿后变化程度对于找矿有一定指示意义且与成锰盆地结构具有一定的关联性。成矿后变化程度系数分区与钻孔的空间分析显示变化程度较低的区域更有利于找矿,但对于不同形态(品位)的矿体指示性并不明显;锰矿厚度范围与成矿后变化程度系数分区的叠合则显示越靠近盆地中心的区域成矿后变化程度系数低值区占比越高,成矿后变化程度具有从盆地中心向边缘带递增的整体趋势。

(4)大塘坡式锰矿在成矿后变化程度的评价以现今地表及地下各地质要素为主,但其成矿后经历的多期构造运动导致的各要素的演化过程对矿体的影响其实也不容忽视,构造、地表因素及地下水演化过程的恢复和定量表征应成为下一步研究的重点。

致谢:感谢湖南省地质调查院对于本文给予的资料支持。

注 释 / Notes

- ① 石少华,唐分配,罗小亚,陈剑锋,李大江,文成雄,邹源,李胜苗. 2013. 湖南省沉积型锰矿评价与找矿方向研究成果报告. 长沙:湖南省地质调查院.
- ② 张晓阳,彭云益,熊延旺,曹顺红,邹光均,李超,周国祥,贺春平,李红俭. 2013. 中华人民共和国区域地质调查报告:1:50000 花垣县幅,麻栗场幅,禾库幅,夺希幅. 长沙:湖南省地质调查院.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

柏道远,姜文,钟响,熊雄. 2015a. 湘西沅麻盆地中新世代构造变形特征及区域地质背景. 中国地质, 42(6): 1851 ~ 1875.

柏道远,钟响,贾朋远,熊雄,黄文义,姜文. 2015b. 雪峰造山带及邻区构造变形和构造演化研究新进展. 华南地质与矿产, 31(4): 321 ~ 343.

戴转固,张慧,黄清华. 2008. 黔东南地区典型构造样式特征及其地质意义. 地质力学学报, 14(4): 339 ~ 345.

董志国,张连昌,王长乐,张帮禄,彭自栋,朱明田,冯京,谢月桥. 2020. 沉积碳酸锰矿床研究进展及有待深入探讨的若干问题. 矿床地质, 39(2): 237 ~ 255.

冯云磊,袁万明,郝娜娜,段宏伟,陈小宁,曹建辉. 2015. 吉林桦甸市夹皮沟本区金矿剥露历史和矿床保存变化——来自磷灰石裂变径迹年代学证据. 地质论评, 61(1): 109 ~ 120.

高瑞祺,赵政章. 2001. 中国油气新区勘探(第五卷)中国南方海相油气地质及勘探前景. 北京:石油工业出版社: 200 ~ 230

何志威,杨瑞东,高军波,程伟,刘帅,张峰玮. 2014. 贵州松桃道坨锰矿含锰岩系地球化学特征和沉积环境分析. 地质论评, 60(5): 1061 ~ 1075.

焦鹏,郭建华,王玺凯,刘辰生,郭祥伟,黄俨然,刘博. 2018. 湘西北牛蹄塘组页岩气储层岩矿特征及意义. 中南大学学报(自然科学版), 49(6): 1447 ~ 1458.

李延河,刘宝敏. 2018. 基于 Surfer 的煤层底板突水危险性评价. 中国煤炭, 44(7): 120 ~ 123.

牛鹏堃,李哲,宫厚健,曾一凡,刘守强. 2018a. 基于 GIS 的层次分析法在古风化壳隔水性能评价中的应用. 煤炭技术, 37(7): 128 ~ 131.

牛鹏堃,李哲,宫厚健,曾一凡,刘守强. 2018b. 基于 GIS 的华北型煤田古风化壳隔水性能研究. 煤炭技术, 37(9): 193 ~ 195.

陶树. 2008. 南方重点片区下组合海相烃源岩演化特征及生排烃模拟. 导师:汤达祯. 北京:中国地质大学硕士学位论文: 39 ~ 48.

万天丰,朱鸿. 2002. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁. 现代地质, 16(2): 107 ~ 120.

谢小峰,杨坤光,钱山,袁良军. 2018. 黔东南松桃地区燕山期构造特征研究——以高地超大型锰矿床为例. 地质论评, 64(3): 623 ~ 632.

熊世伦. 1985. 我国铀矿床水文地质分类的探讨. 铀矿地质, (1): 17 ~ 25.

许卫. 2004. 安徽下扬子地区二叠纪锰矿的成岩成矿地质地球化学. 导师:岳书仓. 安徽:合肥工业大学博士学位论文: 104 ~

126

杨坤光, 李学刚, 戴传固, 张慧, 周琦. 2012. 断层调整与控制作用下的叠加构造变形: 以贵州地区燕山期构造为例. 地质科技情报, 31(5) : 50 ~ 56.

杨阳, 李瑞雪, 高伟利, 薛长军, 苗强军. 2016. 湘西花垣—茶洞断裂的活动期次与运动特征. 地质学刊, 40(4) : 631 ~ 639.

袁良军, 周琦, 杜光映, 张平壹. 2013. 贵州松桃西溪堡大型锰矿床 F₁ 犁式断层特征及对锰矿体破坏与保存作用探讨. 贵州地质, 30(3) : 170 ~ 176.

翟裕生, 邓军, 彭润民. 2000. 矿床变化与保存的研究内容和研究方法. 地球科学, (4) : 340 ~ 345.

翟裕生. 1999. 论成矿系统. 地学前缘, 6(1) : 3 ~ 5.

翟裕生. 2020. 矿床学思维方法探讨. 地学前缘, 27(2) : 1~12+2~3.

张飞飞, 朱祥坤, 高兆富, 程龙, 彭乾云, 杨德智. 2013. 黔东北西溪堡锰矿的沉淀形式与含锰层位中黄铁矿异常高 $\delta^{34}\text{S}$ 值的成因. 地质论评, 59(2) : 274 ~ 286.

张天福, 张云, 苗培森, 俞初安, 李建国, 金若时, 孙立新. 2018. 鄂尔多斯盆地西缘中晚侏罗世地层化学蚀变指数(CIA)研究及其意义. 地质调查与研究, 41(4) : 258 ~ 262 + 279.

郑杰, 阳正熙, 刘石磊, 安显银, 桑永恒, 马健飞. 2019. 黔东北地区南华系两界河组 CIA 指数特征及意义. 沉积与特提斯地质, 39(1) : 50 ~ 59.

周琦, 杜远生, 袁良军, 张遂, 杨炳南, 潘文, 余文超, 王萍, 徐源, 齐靓, 刘雨, 覃永军, 谢小峰. 2017. 古天然气渗漏沉积型锰矿床找矿模型——以黔湘渝毗邻区南华纪“大塘坡式”锰矿为例. 地质学报, 91(10) : 2285 ~ 2298.

周琦, 杜远生, 袁良军, 张遂, 余文超, 谢小峰, 杨炳南. 2018. 黔东及毗邻区南华纪“大塘坡式”锰矿研究历史、主要进展及展望. 贵州地质, 35(4) : 270 ~ 281.

周琦, 杜远生, 袁良军, 张遂, 余文超, 杨胜堂, 刘雨. 2016. 黔湘渝毗邻区南华纪武陵裂谷盆地结构及其对锰矿的控制作用. 地球科学, 41(2) : 177 ~ 188.

邹才能, 董大忠, 王社教, 李建忠, 李新景, 王玉满, 李登华, 程克明. 2010. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力. 石油勘探与开发, 37(6) : 641 ~ 653.

Bai Daoyuan, Jiang Wen, Zhong Xiang, Xiong Xiong. 2015a&. Mesozoic — Cenozoic structural deformation characteristics of Yuanling — Mayang basin and regional tectonic setting. Geology in China, 42(6) : 1851 ~ 1875.

Bai Daoyuan, Zhong Xiang, Jia Pengyuan, Xiong Xiong. Huang Wenyi, Jiang Wen. 2015b&. Progresses in the deformations and tectonic evolutions of the Xuefeng Orogenic Belt and its adjacent areas. Geology and Mineral Resources of South China, 31(4) : 321 ~ 343.

Dai Chuangu, Zhang Hui, Huang Qinghua. 2008&. Typical tectonic styles and their geologic significance in eastern Guizhou province. Journal of Geomechanics, 14(4) : 339 ~ 345.

Dong Zhiguo, Zhang Lianchang, Wang Changle, Zhang Banglu, Peng Zidong, Zhu Mingtian, Feng Jing, Xie Yueqiao. 2020&. Progress and problems in understanding sedimentary manganese carbonate metallogenesis. Mineral Deposits, 39(2) : 237 ~ 255.

Feng Yunlei, Yuan Wanming, Hao Nana, Duan Hongwei, Chen Xiaoning, Cao Jianhui. 2015&. Denudation and conservation history of local district in Jiapigou gold deposit, Huadian County, Jilin Province—Evidence from apatite fission track thermochronology. Geological Review, 61(1) : 109 ~ 120.

Gao Ruiqi, Zhao Zhengzhang. 2001&. The Frontier Petroleum Exploration in China (Vol. 5) : Marine Oil and Gas Geology and Exploration Prospect in South China. Beijing : Petroleum Industry Press ; 200 ~ 230

He Zhiwei, Yang Ruidong, Gao Junbo, Cheng Wei, Liu Shuai, Zhang Weifeng. 2014&. The geochemical characteristics and sedimentary environment of manganese bearing rock series of Daotuo manganese deposit, Songtao County of Guizhou Province. Geological Review, 60(5) : 1061 ~ 1075.

Jiao Peng, Guo Jianhua, Wang Xikai, Liu Chensheng, Guo Xiangwei, Huang Yanran, Liu Bo. 2018&. Characteristics and significance of petrological—mineralogical of lower Cambrian Niutitang formation shale gas reservoir in northwest Hunan. Journal of Central South University (Science and Technology), 49(6) : 1447 ~ 1458.

Li Yanhe, Liu Baomin. 2018&. Risk evaluation of confined water inrush from coal seam floor based on surfer. China Coal, 44(7) : 120 ~ 123.

Niu Pengkun, Li Zhe, Gong Houjian, Zeng Yifan, Liu Shouqiang. 2018a&. Application of analytical hierarchy process based on GIS to evaluate water proof performance of ancient weathering crust. Coal Technology, 37(7) : 128 ~ 131.

Niu Kunpeng, Li Zhe, Gong Houjian, Zeng Yifan, Liu Shouqiang. 2018b&. Study on water barrier performance of ancient weathered crust in north China coalfield based on GIS. Coal Technology, 37(9) : 193 ~ 195.

Tao Shu. 2008&. Evaluation Character and Generating and Expelling Hydrocarbon Modeling of Marine Source Rock of Lower Assemblage in Southern Key Area. Tutor: Tang Dazhen. Beijing: Dissertation submitted to China University of Geosciences for master degree.

Wan Tianfeng, Zhu Hong. 2002&. Tectonics and environment change of Meso—Cenozoic in China continet and its adjacent areas. Geoscience, 16(2) : 107 ~ 120.

Xie Xiaofeng, Yang Kunguang, Qian Shan, Yuan Liangjun. 2018&. The study of structural characteristics in the Yanshanian stage——An example from Gaodi super-large manganese deposit, Songtao area of east Guizhou Province. Geological Review, 64(3) : 623 ~ 632.

Xiong Shilun. 1985&. A discussion on hydrogeological classification of Uranium deposits in China. Uranium Geology, (1) : 17 ~ 25.

Xu Wei. 2004&. The rock and ore deposit geology and geochemistry of Permian manganese ore deposit in lower Yangzi area, Anhui province. Anhui: Dissertation submitted to Hefei University of Technology for doctoral degree, 104 ~ 126.

Yang Kunguang, Li Xuegang, Dai Chuangu, Zhang Hui, Zhou Qi. 2012&. Superimposition deformation controlled and adjusted by faults: an example from Yanshanian structural deformation in Guizhou province. Geological Science and Technology Information, 31(5) : 50 ~ 56.

Yang Yang, Li Ruixue, Gao Weili, Xue Changjun, Miao Qiangjun. 2016&. Characteristics of active phase and motion of the Huayuan—Chadong fault zone in western Hunan Province. Journal of Geology, 40(4) : 631 ~ 639.

Yuan Liangjun, Zhou Qi, Du Guangying, Zhang Pingyi. 2013&. Characters of F1 plow fault, destruction and conservation to manganese body of Xisibao big manganese deposit of Songtao in Guizhou. Guizhou Geology, 30(3) : 170 ~ 176.

Zhai Yusehng. 2020&. On the method of thinking in studying mineral deposits. Earth Science Frontiers, 27(2) : 1~12+2~3.

Zhai Yusheng, Deng Jun, Peng Runmin. 2000&. Research contents and methods for post-ore changes, modifications and preservation. Earth

Science——Journal of China University of Geoscience, (4) : 340~345.

Zhai Yusheng. 1999&. On the metallogenic system. Earth Science Frontiers, 6(1) : 3~5.

Zhang Feifei, Zhu Xiangkun, Gao Zhaofu, Cheng Long, Peng Qianyun, Yang Dezhi. 2013&. Implication of the precipitation mode of manganese and ultra-high $\delta^{34}\text{S}$ values of pyrite in Mn-carbonate of Xixibao Mn ore deposit in northeastern Guizhou Province. Geological Review, 59(2) : 274 ~ 286.

Zhang Tianfu, Zhang Yun, MiaoPensen, Yu Rengan, Li Jianguo, Jin Ruoshi, Sun Lixin. 2018&. Study on the chemical index of alteration of the middle and late Jurassic strata in the western margin of Ordos basin and its implications. Geological Survey and Research, 41(4) : 258 ~ 262 + 279.

Zheng Jie, Yang Zhengxi, Liu Shilei, An Xianyin, Sang Yongheng, Ma Jianfei. 2019&. The chemical alteration indexes and their significances for the Nanhua Liangjiehe formation in northeastern Guizhou. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 39(1) : 50 ~ 59.

Zhou Qi, DuYuansheng, Yuan Liangjun, Zhang Sui, Yang Bingnan, Pan Wen, Yu Wenchao, Wang Ping, Xu Yuan, Qi Liang, Liu Yu, Qing Yongjun, Xie Xiaofeng. 2017&. Exploration models of ancient natural gas seep sedimentary-type manganese ore deposit: a case study of the Nanhua period “Datangpo” type manganese ore in the conjunction area of Guizhou, Hunan and Chongqing. Acta Geologica Sinica, 91(10) : 2285 ~ 2298.

Zhou Qi, Du Yuansheng, Yuan Liangjun, Zhang Sui, Yu Wenchao, Xie Xiaofeng, Yang Bingnan. 2018&. Research history, major progress and outlook of ‘Datangpo’ manganese deposit in Nanhua period of east Guizhou and nearby area. Guizhou Geology, 35(4) : 270 ~ 281.

Zhou Qi, Du Yuansheng, Yuan Liangjun, Zhang Sui, Yu Wenchao, Yang Shengtang, Liu Yu. 2016&. The Structure of the Wuling Rift Basin and Its Control on the Manganese deposit during the Nanhua Period in Guizhou—Hunan—Chongqing Border Area, South China. Earth Science, 41(2) : 177 ~ 188.

Zou Caineng, Dong Dazhong, Wang Shejiao, Li Jianzhong, Li Xinjing, Wang Yuman, Li Denghua, Cheng Keming. 2010&. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China. Petroleum Exploration and Development, 37(6) : 641 ~ 653.

The analysis of variation degree after mineralization period for the Minle manganese deposit, northwestern Hunan

CAO Molei^{1, 2)}, CHEN Jianping^{1, 2)}

1) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083
2) Beijing Key Laboratory of Land and Resources Information Research and Development, Beijing, 100083

Objectives: The variation degree after mineralization period is important for the Datangpo-type manganese deposit’s exploration and prediction. However, current studies seldom involve the analysis and evaluation of this kind of variation. Some papers exhibit related researches but only focus on the analysis of the phenomenon in some deposits, lacking quantitative evaluations and analyses and studies of the correlation between characteristics of deposits and variation degrees after the mineralization period. To make up the defect of previous studies, this manuscript takes the Minle manganese deposit, which is the typical Datangpo-type manganese deposit in northwestern Hunan, as an example, firstly analyzing possible variations of Minle manganese deposits during and after mineralization and selecting influencing factors according to the various geological features of the Huayuan district, secondly using the Analytic Hierarchy Process model to calculate the weight of factors, finally calculating the index of variation degrees after the mineralization period of the Minle mining area according to results of the score of weightsand combing it with thicknesses and shapes of ore bodies to analyze the relationship between the variation degree after the mineralization period and the preservation of manganese inside the Minle mining area. The study provides a new thought for quantitative evaluation of Datangpo-type manganese deposits.

Methods: Choosing proper influencing factors according to previous papers and the data of wells and field works. Using the AHP (Analytic Hierarchy Process) method to calculate the weight of each factor. Analyzing the relationship between manganese ore-bodies’ shape and thickness and the variation degree after the mineralization period according to ratios respectively of the area with low variation degree in areas of ore-bodies’ various thicknesses (10m, 7m, 4m, and 1m), amounts of wells with low variation degrees in amounts of wells of ore-bodies’ shapes (compact and massive ores and banded ores), and amounts of wells with low variation degrees in

the total amount of wells , which is calculated by the GIS spatial analysis function.

Results: The Minle manganese deposit’s variation degree after the mineralization period can be divided into two levels according the changing of its coefficient. The coefficient which is bigger than 3. 9274 means the strong variation after the mineralization while the coefficient which is smaller than 3. 9274 represents the weak variation. The mean and median of variation degree coefficient are respectively 3. 8887 and 3. 9275 , which means the variation degree of Minle mining area is not strong. The amount of wells , the amount of wells develop compact and massive ores and the amount of wells develop banded ores of the weak degree district occupies respectively 64. 1% , 64. 8% and 63. 2% of their total amounts of wells. The size ratio of areas with weak variation in the area of which the thickness is over 10m is 97% while the same ratio in the area of which the thickness is over 1m drops to 70%.

Conclusions: The developing degree of faults weights the most in producing impacts on the variation degree after the mineralization period , the uplifting degree of stratum weights a little lower and the thickness of manganese-bearing rocks produces less impacts. For the Minle mining area , the variation is strong in two sides and weak in the middle. The western side is mainly influenced by the uplifting of stratum and the eastern side is mainly influenced by faults. The Minle manganese basin has the tendency that the variation degree after the mineralization period is higher and higher from the center to the edge and the area with weak variation is easier to find the manganese deposit.

Keywords: the Datangpo-type manganese deposit; the variation after the mineralization period; the Minle deposit; developing degree of faults; uplifting degree of stratum

Acknowledgements: We are grateful for the materials provided by the Hunan Geological Survey Institute and the technical support from Beijing Key Laboratory of Land and Resources Information Research and Development

First author: CAO Molei, male, born in 1994, doctoral candidate; Email: 1064712996@ qq. com

Corresponding author: CHEN Jianping, male, born in 1959, professor, is mainly engaged in quantitative prediction and evaluation of mineral resources; Email: 3s@ cugb. edu. cn

Manuscript received on: 2020-11-19; Accepted on: 2021-04-04; Network published on: 2021-04-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2021. 04. 043

Edited by: ZHAO Xue, ZHANG Yuxu