

岫岩陨石坑地质遗迹保护浅析

苗阶

(辽宁省冶金地质勘查研究院有限责任公司, 辽宁 鞍山 114038)

摘要: 岫岩陨石坑是中国第一个被证实并被国际学术界认可的陨石坑,是极为珍贵的地质遗迹及自然遗产,具有重要的科学价值与开发利用价值。岫岩陨石坑范围应定为地质遗迹重点保护区,根据地貌单元、遗迹点分布特点及人文因素,将保护区划分为地质遗迹景观区、居民点保留区和自然生态区等3个分区;借鉴国外对陨石坑遗迹保护开发的经验和岫岩陨石坑的现状,提出了进行保护和开发的路线;针对地质遗迹景观区基础设施建设、居民点保留区和自然生态区功能性升级、场馆的建设等问题提出相应的措施与建议。

关键词: 岫岩陨石坑;地质遗迹;保护与开发;辽宁省

中图分类号: P901 **文献标识码:** A

0 引言

陨石坑是由小行星、彗星和流星体等小天体超高速撞击行星及卫星表面而形成的凹坑或环状构造,这种特殊的地质构造现象客观的记录了天体和地球地质演化的历史,是人们解读天体-地球运行、演化的钥匙。地球上目前已被确认的陨石坑已有179处。中国对陨石坑的地质研究工作起步于20世纪70年代,发现了许多与陨石坑相关的地质信息,为后续的研究工作积累了宝贵的经验和资料^[1-5]。

岫岩陨石坑位于辽宁省鞍山市岫岩满族自治县NE方向约18 km处,行政区划隶属于苏子沟镇古龙村罗圈里村民组,地理坐标为N40°21′55″,E123°27′34″。自从20世纪70年代发现这个特殊的地质构造以来,经过近40年的不懈探索,终于被确认是撞击成因的陨石坑,并且得到国际撞击陨石坑学术界的认可。岫岩陨石坑的确认是一项重要的科学研究成果,对相关领域科学研究具有引领与示范作用,同时也体现了中国在陨石坑和冲击变质领域研究水平的不断提升。岫岩陨石坑的撞击构造形态保存完

好,撞击形成的地质构造和岩石矿物丰富多样,具有极高的科学研究和科学普及价值;为了有效保护撞击陨石坑这种罕见的地质景观,应尽快将岫岩陨石坑列为地质遗迹进行管理,加强陨石坑及周边地质生态环境的保护,保障将来陨石坑多学科深入系统的科学研究;同时以陨石坑为主体规划建设地质公园,积极适度开展与地质科普教育有关的科学旅游项目,促进地方科教文化服务业的健康有序发展。

1 岫岩陨石坑的确认过程

岫岩陨石坑这一地质遗迹从最初发现线索到找到确认的关键性证据先后历经了约40年的时间。

1970—1975年,辽宁省地质局第一区域测量大队发现罗圈里一带的环形构造,认为是旋涡状构造^①。

1998—1999年,覃功炯等对罗圈里环形构造进行了航片解译、地质填图和地球化学研究;2001年撰文提出该环形构造是一个撞击坑构造,认为样品中出现的铂族元素异常和粗铂矿是陨石及其撞击作用的重要依据之一^[2]。

1983—1992年,赵树明对罗圈里环形山影像进

收稿日期: 2019-04-22 责任编辑: 余和勇

作者简介: 苗阶(1982—),男,高级工程师,主要从事水文地质、灾害地质、环境地质调查与研究及地质遗迹保护工作。通信地址:辽宁省鞍山市铁东区鞍千路298号地质科技园,辽宁省冶金地质勘查研究院有限责任公司;邮政编码:114038;E-mail:15998000116@139.com

行了地质考察、遥感解译和数据处理;2004 年在报道中认为该环形山影像特征与月球、水星、火星上的环形山相似,判断罗圈里环形山是撞击作用形成的陨石坑^[3]。

2007—2009 年,陈鸣率领的研究团队对岫岩陨石坑进行了地质调查和岩石矿物的采样,并在陨石坑的中心部位实施地质科学钻探。在历时 3 年的研究中,不仅找到了撞击角砾岩、震裂锥等宏观地质证据,还发现了石英、长石和方解石等矿物中发育的面状变形页理(PDFs)、呈石英和长石假象的击变玻璃等微观地质证据、长石击变玻璃,而且还发现了超高压矿物柯石英(SiO_2)、莱氏石(ZrSiO_4)和金红石 II ($\text{TiO}_2 - \text{II}$)^[4-11];在后续的研究中又发现了高温高压成因的新矿物毛河光矿(MgFe_2O_4 , Maohokite)和与之相伴的纳米金刚石等矿物^[12-13]。这些陨石坑关键性证据的确定使岫岩陨石坑的撞击成因假说得以证实,并被国际撞击陨石坑学术界所认可,2010 年底,岫岩陨石坑被收录加拿大新不伦瑞克大学行星与太空科学中心(PASSC)“地球撞击数据库”^[14],成为中国第一处被国际撞击陨石坑学术界认可的撞击陨石坑。全面反映岫岩陨石坑科研成果的 2 部学术专著已经出版^[15-16],多篇学术论文也在国内外权威期刊上相继发表^[4-13]。

2010 年以后,樊计昌^[17-18]、赵成彬^[19]、王心源^[20]分别采用地球物理、遥感地质等方法对岫岩陨石坑撞击坑结构、形貌特征、成坑过程反演等进行了研究。

2 地质遗迹特征

由岫岩陨石坑的发现者陈鸣研究员、尹锋博士

和辽宁省冶金地质勘查局的姚良德教授级高级工程师共 3 人组成岫岩陨石坑地质遗迹鉴评小组,按照中华人民共和国国土资源部颁布的《DZ/T 0303—2017 地质遗迹调查规范》^[21]的要求,从科学性、稀有性、完整性、美学性、保存程度、可保护性 6 个方面对岫岩陨石撞击坑进行综合评定,结果将其评为国家级(Ⅱ级)地质遗迹^②。由于陨石坑在国内现有的地质遗迹分类中尚无划分,所以只能参考相近的地质遗迹类型进行描述和阐述^[22-23]。

2.1 地形地貌特征

岫岩撞击坑的地貌特征为一个直径 1 800 m、深约 150 m 的环形凹坑。环形山脊海拔高度为 230~330 m,平均 285 m,坑底中心部位海拔高度为 135 m。撞击坑由坑缘山脊、坑壁和坑底几个主要部分构成。在遥感图像上,坑缘山脊轮廓呈现为不大规则的似圆形。坑壁展现为舒缓的下凹状弧形坡面。坑底形态形如一个舒展开阔的下凹弧形大碗底(图 1)。坑体形态特征与世界典型的简单撞击坑一致。

2.2 地层及岩性特征

岫岩陨石坑的基底岩石为古元古界变质杂岩,主要岩性有浅粒岩、变粒岩、片麻岩、斜长角闪岩、透闪岩、大理岩、片岩和千枚岩等^[6]。陨石坑坑缘山脊局部区段可观察到基岩出露,岩性为片麻岩、变粒岩和角闪岩等。从坑内往坑外方向,随着距离增加,岩石的变形程度不断减弱,从强烈变形—碎裂的岩石渐变过渡为正常产状的岩层。撞击成坑过程产生了大量的岩石碎块,一部分岩石碎块被抛射到陨石坑的坑体边缘以及坑外地段,一部分则回落到陨石坑的底部堆积起来^[4-5,16]。由于坑缘区段多被植被土壤、残坡积层和植被所覆盖,直接暴露在地表的岩石碎块或角砾岩十分有限。坑底覆盖了厚层的第四系湖沼相沉积物。



图 1 岫岩陨石坑全景照片

Fig. 1 Panoramic photo of Xiuyan meteorite crater

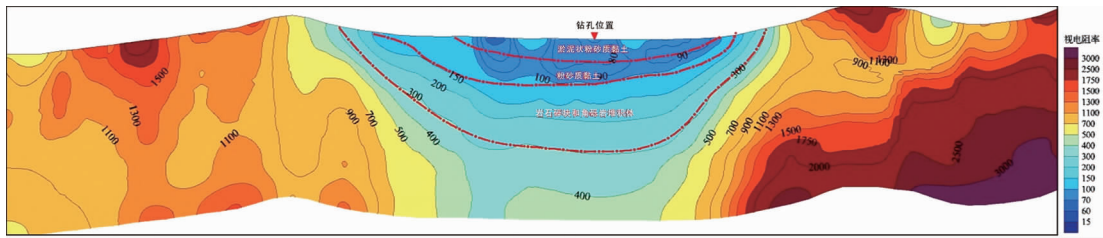


图2 岫岩陨石坑垂向电测深剖面示意图(NE方向)

Fig. 2 Sketch of vertical electric sounding of the crater

2.3 地质构造特征

分析整理已经施工的地质钻探资料,结合物探工作成果(图2),将撞击坑大致分为3个地质构造单元:①上部(0~107 m):湖沼相沉积物堆积层;②中部(107~295 m):岩石碎块和角砾岩堆积体;③295 m以下:原位碎裂变形的基底岩石。湖沼相沉积物、岩石碎块和角砾岩均属于撞击坑内的充填性堆积物。坑底295 m深处的岩石碎块及角砾岩堆积体与基底岩石之间的分界面代表了撞击成坑时出现的瞬态坑底的界面,代表撞击坑形成时的最大深度,这个地质构造界面往四周延伸并构成碗形坑的实际坑底及坑壁的界面^[15]。

3 地质遗迹保护区划

地质遗迹区划包括自然区划和保护区划。依据地域聚集性、成因相关性和组合关系等条件按类型进行自然区划;依据地质遗迹的等级、保存现状和保护性等因素进行保护区划。保护区划应当遵循自然属地和行政区划原则^[21]。岫岩陨石坑地质遗迹属于国家级地质遗迹,按照保护级别划分,整个地质遗迹保护区均应定为地质遗迹重点保护区。在重点保护区范围内,根据地貌单元、遗迹点分布特点及人文因素,将保护区划分为3个分区,即地质遗迹景观区、居民点保留区和自然生态区。

3.1 地质遗迹景观区

陨石撞击形成的地质遗迹特征点主要集中分布在陨石坑坑唇山脊及两侧250 m范围内的条带状区域。在该500 m宽的条带状区间内,坑口地质剖面、坑内原位撞击岩、西南坑缘外侧碎石堆积、西北部山脊碎石堆积、南部坑缘山脊处的强变形岩石、南部坑缘外侧碎石堆积等6处典型地质遗迹特征点均包括在内(图3)。

3.2 居民点保留区

陨石坑底部坐落着一个小村庄,居住着岫岩县苏子沟镇古龙村的一个村民组,名为“圈里村民组”,现有近70户居民。村内房屋主要沿着坑底向东北流淌的一条小溪两侧建造,在陨石坑的东北部、西部和南部坑体边缘附近也有人居住。

3.3 自然生态区

在坑底,除以上分区以外的其它用地,表层多被薄层的黄褐色土壤覆盖,以下是湖沼相沉积物。湖沼相沉积物主要有富含水分和有机质的黑色淤泥、泥炭土、淤泥状粉砂质黏土、粉砂质黏土等组成。富含有机质的湖沼相沉积物为当地农业生产提供了优质的土壤条件。

4 陨石坑的保护与开发

4.1 国外陨石坑的保护与开发

目前世界上已经被确认的陨石坑大多地处人迹罕见的偏远沙漠、戈壁地区,经过开发利用的陨石坑遗迹非常之少,所以在保护和开发方面可供借鉴的经验不多。

美国亚利桑那州北部的巴林杰陨石坑是最为著名的陨石坑旅游景区之一,由于该陨石坑所处环境与月球有相似之处,所以美国阿波罗登月的部分训练活动曾经在此地进行,借助广泛的公众宣传使该陨石坑广为人知,吸引了大批前来观光的游客,每年大约有20万游客前来观光、游览。巴林杰陨石坑并没有开展大规模工程建设,观光旅游活动分为两个部分:①接待中心、停车场和展览馆等设施均建于陨石坑的外缘地带,基本上不破坏坑体原貌,游客可在展览馆内观看有关陨石撞击坑形成的宽屏科普电影、互动性陨石展览和阿波罗登月仓;②室外观览:游客可以选择自助线路游览,亦可选择由导游引领游览,在专门修筑的长度为0.8 km的游览栈道拾阶而下,听导游介绍有意思的景观现象;在坑内还修

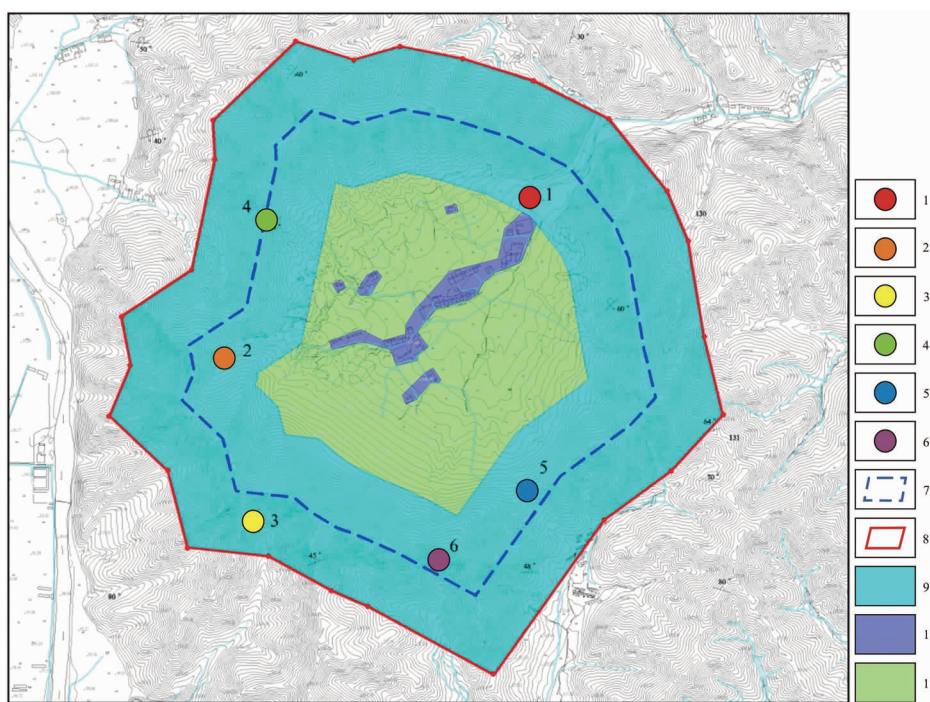


图3 岫岩陨石坑地质遗迹特征点及区划示意图

Fig. 3 Characteristic spots and division of the zones of the geological relics

1. 坑口地质剖面点; 2. 坑内原位撞击岩点; 3. 西南部坑缘外侧碎石堆积点; 4. 山脊碎石堆积点;
5. 强烈变形岩层点; 6. 南部坑缘外侧碎石堆积点; 7. 陨石坑轮廓线; 8. 地质遗迹保护区建议划定范围;
9. 地质遗迹景观区; 10. 居民点保留区; 11. 自然生态区

建了观景平台,导游带领游客在观景平台及坑底参观。巴林杰陨石坑周围人烟罕至,人为破坏现象不易发生;经营方除景观游览外,并没有进行更多的商业开发。

4.2 岫岩陨石坑的现状

岫岩陨石坑目前基本处在原始状态,坑内村落中仍有农民居住,平时农业生产、养蚕等经济活动依旧进行。由于人们近年来对陨石坑的关注度不断提升,在当地也掀起了一股“陨石热”。由于科学普及和法制方面的宣传不够,一些人听信传言,想借机发财,私自到陨石坑内偷挖乱采,并拿到市场上当作陨石进行售卖,一定程度地破坏了陨石坑的原始容貌和周边的自然环境;另外,游客数量的不断增长,也带来了生态环境破坏的现实问题。所以,对岫岩陨石坑这处地质遗迹的有力保护和有序开发是当前急需解决的问题。

4.3 地质遗迹保护与开发路线

岫岩陨石坑是中国第一个得到国际学术界认可并进入了世界陨石坑名录的星球撞击地质遗迹;岫岩陨石坑是一个碗形简单坑,其坑缘、坑壁、坑底和坑内充填撞击角砾岩单元等主要地质构造要素保存

较为完好,具有重要的科学研究价值;岫岩陨石坑是一个产出于丘陵地区的陨石坑,在地球陨石坑分布中具有特色;岫岩陨石坑所在区域气候温暖湿润、自然生态环境良好、交通方便,可建设成为特色科普教育基地和旅游景点。因此,这是一处类型独特、价值重大、不可多得的地质遗迹,必须得到有效的保护。

鉴于陨石坑的重要价值,其保护及开发工作都应以政府为主导,宏观把控。一是建立起相应的管理机构,有对接、有协调;二是以地质公园建设为依托,做好典型地质遗迹点的保护,同时做好对现有旅游地质资源的梳理,按地质遗迹调查要求进行合理规划;三是引进社会资金,在地质遗迹保护前提和整体规划的基础上,借鉴其它地质遗迹和地质公园的成功开发经验^[24-27],适度进行市场开发,以经营收入反哺陨石坑的保护工作,形成良性的循环。

5 地质遗迹保护规划初步建议

岫岩陨石坑以及周边地区拥有优越的地理环境和自然生态环境,与世界上其它保存良好的碗形陨石坑相比较,岫岩陨石坑具有山青、地绿、天蓝、气爽

的独特优势,是一个理想的地质旅游景观、科普教育场所和科学研究基地。因此,建议从以下几个方面进行陨石坑遗迹的保护规划与建设。

5.1 地质遗迹景观区基础设施建设

前期的基础设施建设,应参照省级、国家级地质公园建设的要求,做好申报的必要准备。设施建设应以保护为根本的基础上兼顾科普、参观旅游作用。很多地质遗迹特征点分布在陨石坑坑唇山脊或坑缘外侧的山坡,交通不够方便,特别是在植被茂密的春夏之际。因此,修建与当地环境相适宜的观景道路是开发和保护地质遗迹的基本措施之一。另外,选择便于观赏陨石坑全景的地点修建观景亭阁或平台是十分必要的,一是避免人群聚集无路线扩散,破坏原有地貌景观及环境;二是使游人在旅途劳顿过程中得到充分的休息,提升旅游品质。

5.2 居民点保留区、自然生态区功能性升级

陨石坑内的居民住所大体是沿着坑底部由南西流向北东方向的一条小溪两侧建造的,现有居民房屋普遍相对老旧。建议对小溪及溪岸进行整体规划设计,使其具有排水、休闲的双重功能;提升美观度,引导居民逐步对房屋院落进行翻新整修,民居建筑既要宜居,又要美观,既保持了地方建筑特色,又与地质遗迹、自然风景和谐统一;要在景区外围选区建设具有地方特色的农家院落和配套服务设施,引进现代化生活垃圾处置装置,减少对自然环境的污染;自然生态区内应由现有单一农作物种植向多样化农业种植转变,尤其是适宜当地种植的具有观赏性的植物类型,吸引更多的游人观赏游览,从而带动当地经济的发展,提高农民的生活水平。

5.3 场馆的建设

场馆的建设要兼顾到科普与旅游,将地学普及、公众游览、自然文化一体化作为景区发展的基本要旨,由于陨石坑已遭受到一定程度的风化与侵蚀作用^[20],各种场馆工程用地应选择在陨石坑以外,以景区入口处附近为宜,以避免对地质遗迹的影响和破坏。展览(博物)馆的展示内容要以点带面、发散式展示,要把陨石坑与地质作用、天体演化、自然与生物演变联系起来,把世界陨石坑分布和研究与国内陨石坑及陨石的研究现状联系起来,把多学科、多领域的知识进行有内涵的相互联系、有层次的递进和深入浅出的普及,打开不同游客群体的兴趣闸门;展示方式要力争多样化,多利用高科技展示方式,多采用互动式展示方法,积极挖掘陨石坑的科学-文化内涵,开展以陨石坑为切入点的文化创意活动,以多

维度、多样式的服务满足游客的个体性知识渴求和文化需求。

6 结语

岫岩陨石坑是一个保存较为完好的地质遗迹,它展示出的独特地形地貌特点、典型的撞击坑地质构造以及多种矿物冲击变质现象均体现了重要的科学价值,是一个理想的撞击坑及冲击变质科学研究基地、实行大众天体-地质科学普及教育园区、休闲度假和旅游观光的景点。如何保护好、利用好这样的珍贵稀缺资源是一个具有高度科学性与前瞻性的课题,需要不断的探索与实践。在陨石坑保护开发的过程中,应当重视科学的规划和管理,提高保护技术和监测技术水平,建立起由学者、社团和个人共同参与的保护开发团队,避免无序开发与商业炒作,确保岫岩陨石坑的科研工作再获进展,自然生态环境持续改善,更好地服务于社会和人民大众。

注释:

- ① 辽宁省地质局第一区域地质测量大队. 1:200 000 区域地质调查报告:岫岩幅和大孤山幅. 沈阳:辽宁省地质矿产勘查局, 1976:143-147.
- ② 苗阶,刘超,刘佳畔,等. 辽宁省岫岩县陨石坑地质遗迹调查报告. 鞍山:辽宁省冶金地质勘查局地质勘查研究院,2018.

参考文献:

- [1] 覃功炯,欧强,常旭. 国内外对天体撞击地球的撞击构造研究的新进展[J]. 地学前缘,2001,8(2):345-352.
- [2] 覃功炯,卢登蓉,欧强,等. 罗圈里撞击坑铂族元素异常及粗铂矿的发现及其意义[J]. 地学前缘,2001,8(2):333-338.
- [3] 赵树明. 在辽东半岛中部岫岩满族自治县内发现一撞击构造:陨石坑[J]. 国土资源遥感,2004,3:27.
- [4] 陈鸣. 岫岩陨石坑:撞击起源的证据[J]. 科学通报,2007,52(23):2777-2780.
- [5] 陈鸣,肖万生,谢先德,等. 岫岩陨石撞击坑的证实[J]. 科学通报,2009,54(22):3507-3511.
- [6] 陈鸣,肖万生,谢先德,等. 岫岩陨石坑撞击成因的矿物学证据[J]. 矿物学报,2010(S1):51.
- [7] 尹锋,陈鸣. 岫岩陨石坑菱铁矿矿砾岩的特征及成因[J]. 地球化学,2012,6:538-544.
- [8] Chen M, Xiao W, Xie X. Coesite and quartz characteristic of crystallization from shock-produced silica melt in the Xiuyan crater [J]. Earth Planet Sci Lett, 2010, 297: 306-314
- [9] Chen M, Koeberl C, Xiao W, et al. Planar deformation features in quartz from impact-produced polymict breccia of the Xiuyan crater, China [J]. Meteorit Planet Sci, 2011, 46: 729-736.

- [10] Chen M, Yin F, Li X, et al. Natural occurrence of reidite in the Xiuyan crater of China [J]. *Meteorit Planet Sci*, 2013, 48: 796–805.
- [11] Chen M, Gu X, Xie X, Yin F (2013) High-pressure polymorph of TiO_2 -II from the Xiuyan crater of China [J]. *Chin Sci Bull* 58:4655–4662.
- [12] Chen M, Shu J, Xie X, et al. Natural diamond formation by self-redox of ferromagnesian carbonate [J]. *PNAS*, 2018, 115 (11):2676–2680.
- [13] CHEN M, SHU J, XIE X, et al. Maohokite, a post-spinel polymorph of MgFe_2O_4 in shocked gneiss from the Xiuyan crater in China [J]. *Meteoritics Planet Sci*, 2019, 54(3):495–502.
- [14] 李洁尉, 徐文新. 我国陨石撞击坑研究获国际科学界肯定: 岫岩陨石坑被录入世界陨石坑版图[N]. *广东科技报*, 2011–01–07(2).
- [15] 陈鸣. 岫岩陨石撞击坑发现及研究[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [16] 陈鸣. 岫岩陨石坑星球撞击遗迹[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [17] 樊计昌, 刘明军, 赵成彬, 等. 岫岩陨石坑三维 Q 值层析成像[J]. *地球物理学报*, 2010, 53(10):2367–2375.
- [18] 樊计昌, 刘明军, 韩艳杰, 等. 利用地震成像技术研究我国首个国际认可的陨石坑[J]. *地球物理学进展*, 2016, 31(5):1895–1901.
- [19] 赵成彬, 刘明军, 樊计昌, 等. 岫岩陨石撞击坑结构高精度地震探测研究[J]. *地球物理学报*, 2011(6):1559–1565.
- [20] 王心源, 骆磊, 郭华东, 等. 岫岩陨石坑的成坑过程与形貌特征研究[J]. *中国科学: 地球科学*, 2014, 44(7):1488–1497.
- [21] 中华人民共和国国土资源部. 地质遗迹调查规范: DZ/T0303—2017[S]. 北京: 地质出版社, 2017.
- [22] 张忠慧. 嵩山世界地质公园重要地质遗迹类型及其科学内涵[J]. *地质论评*, 2012, 58(6):1183–1192.
- [23] 张焕新, 曹俊, 张成功, 等. 中国可可托海世界地质公园地质遗迹资源类型及价值[J]. *地质论评*, 2018, 64(2):447–449.
- [24] 赵汀, 赵逊. 世界地质遗迹保护和地质公园建设的现状和展望[J]. *地质论评*, 2005, 51(3):301–308.
- [25] 赵逊, 赵汀. 从地质遗迹的保护到世界地质公园的建立[J]. *地质论评*, 2003, 49(4):389–399.
- [26] 谢萍. 泰山地质公园地质遗迹保护与利用协调性研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- [27] 王敏, 孙文燕, 张志光. 地质遗迹保护利用模式初探[J]. *地质论评*, 2017, 63(增刊):375–377.

Analysis of protection of geological relics of Xiuyan meteorite crater

MIAO Jie

(Geological Exploration Institute of Liaoning Metallurgical Geology Bureau, Anshan 114038, Liaoning, China)

Abstract: Xiuyan meteorite crater is the first geological relics in China confirmed and recognized by the international community. It is an extremely precious geological relics and natural heritage with important scientific and exploration value. The crater should be designated as the key protection area of geological relics. According to geomorphic units, scenic spot distribution and human factors the protection area should be divided into three zones, i. e. the landscape, residential and natural ecological zone. Referring to experiences abroad and present situation development rute of the Xiuyan meteorite crater is put forward and facing construction of infrastructure in the landscape zone and upgrade of function of residential and natural ecologic area and the spot and exhibition hall construction the corresponding measurements and proposals also put forward.

Key Words: Xiuyan meteorite crater; geological relics; protection and development; Liaoning province