资 源 调 查 与 环 境　　第25卷 第4期
2004年　RESOURCES SURVEY & ENVIRONMENT　Vol. 25 No. 4

文章编号:1671-4814(2004)04-297-07

雁荡山白垩纪破火山地质遗迹价值与全球对比①

陶奎元,余明刚,邢光福,沈加林,戚建中,谢家莹
(南京地质矿产研究所,江苏南京 210016)

摘要:雁荡山地质遗迹为白垩纪复活型破火山。本文试从全球火山(岩)带同类地质遗迹的视域考量雁荡山地质遗迹的科学价值。雁荡山是亚洲大陆边缘巨型火山岩带中白垩纪破火山的典型代表,它涵盖了流纹质火山作用各类产物,是流纹质火山岩的天然博物馆,是研究亚洲大陆边缘构造与岩浆作用的天然窗口。杰出的科学价值与优秀奇特的自然美景与浓厚山水文化,三者融于雁荡山一体,实属世界罕见。

关键词:科学价值;对比分析;白垩纪复活型破火山;雁荡山
中图分类号:X14　　文献标识码:A

雁荡山火山(岩)地质遗迹是东南沿海火山岩带中白垩纪复活型破火山(图1)。雁荡山经1:5万区域地质调查和多年来对火山构造、火山岩相以及岩石学、地球化学和旅游地学研究,积累较为丰富的资料。笔者等近几年承担国家科技部华东地区重要地质遗迹登录评价与保护研究项目中,将雁荡山作为重点研究地区之一。该项目在华东五省登录地质遗迹269处,其中属于中生代火山岩地质地貌类的地质遗迹共有16处,就其价值与特色评价,雁荡山名列前茅,是具国际级意义的地质遗迹。本文就雁荡山白垩纪破火山地质遗迹价值作综述,并试图与全球同类地质遗迹作对比分析。

1 雁荡山是一座白垩纪复活型破火山,经断裂切割抬升而展现为一个具典型性的破火山立体模型。

雁荡山破火山的基本特点为:

(1)火山喷发时代为128~108 Ma,属早白垩世。

(2)该火山历经四个时期、数十次喷发,喷发的各类岩石叠置成巨厚的火山岩层,构成

① 收稿日期:2004-06-30
基金项目:国家科技部华东重要地质遗迹登录评价和保护研究项目。
第一作者简介:陶奎元(1934~),男,江苏常熟人,研究员,博士生导师,东南大学旅游系兼职教授,从事火山地质矿产及旅游地质研究。
万方数据

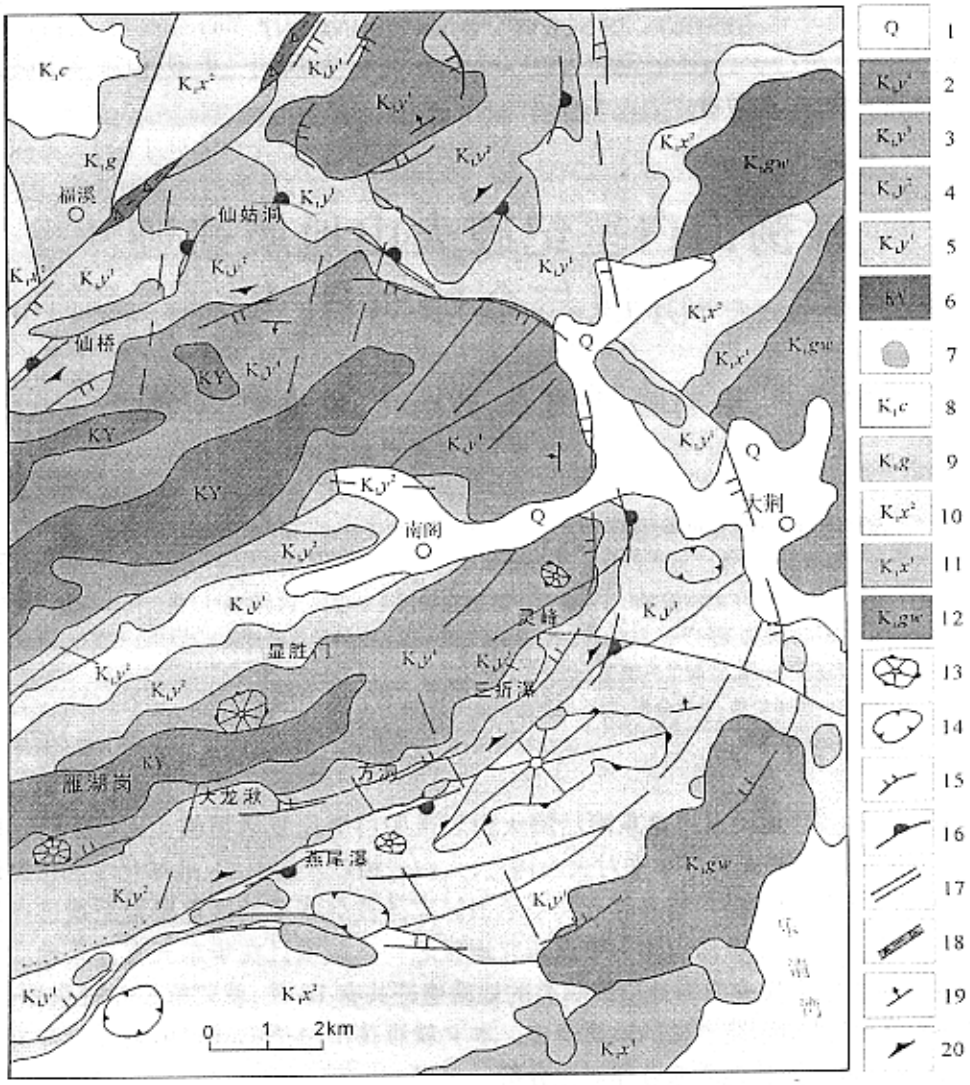

图 1 雁荡山地质图

Fig. 1 The Yandangshan geologic map

1-第四系;2-5 雁荡山火山岩石地层第四-第一单元;6-雁荡山侵入单元;7-次火山岩、岩脉;8-12 – 雁荡山火山外围岩石地层单元,K_1c-朝川组,K_1g-馆头组,K_1x^1-西山头组一段,K_1x^2-西山头组二段,K_1gw-高坞组;13-侵出岩穹;14-火山通道;15-破火山边界;16-岩流、岩穹组合边界;17-断裂;18-破碎带;19-假流纹产状;20-流面产状(K_1 均表示早白垩世)

四个岩石单元 K_1y^1、K_1y^2、K_1y^3、K_1y^4。

(3) 岩层呈层圈环状分布,产状围斜内倾,层次清楚,完整地记录了破火山形成的历史。

(4) 火山岩岩性属流纹岩类。

(5) 从破火山形成期的熔结凝灰岩到破火山复活期的流纹岩岩层和岩穹完整发育。

(6) 破火山喷发的古地理环境为陆上喷发,陆上堆积。

(7) 环状与放射状断裂以及充填期间的岩脉虽经流水侵蚀,仍保留基本格架。

(8) 破火山地表地质特征与深部的重力和航磁异常吻合。

万方数据

雁荡山破火山与北美克里德(265 Ma)、夕弗尔顿(26.7 ~ 27.8 Ma)、圣胡安、黄石(0.65 Ma)破火山[1,2,3](表 1),与日本阿苏破火山(8 ~ 30 万年)[4]均属同一类型,但雁荡山破火山属于中生代白垩纪,可作为古今破火山对比研究的典型。

雁荡山破火山形成后,在将近 100 Ma 的地质历史时期内,地壳总体处于抬升;第四纪海平面虽有升降,海水仅到达其外缘沟谷。破火山也没有遭受变形,但沿断裂切割抬升,使原处于地下的火山岩层和侵入体—石英正长岩露出地表。在环状、放射状断裂或区域性断裂基础上发育沟谷,切割出了破火山内部的岩石层序和构造的断面。可以说,是大自然的神力解剖了这座破火山,使之成为一个天然的立体模型,向人们清楚地展示出白垩纪破火山的内部结构,特别是破火山根部带的各种地质构造要素和各类岩石的相互关系,给出了破火山的喷发产物与侵入体的相互关系,记录了早期酸性岩浆演化及侵入岩冷却结晶的全过程,这对于研究白垩纪时期破火山的形成及其岩浆作用有着重要的科学价值。

表 1　中国雁荡山与美国黄石公园比较表

Table 1　The comparisons between Mt. Yandangshan and Yellowstone Park

	特点	中国雁荡山	美国黄石公园
1	地理位置	西太平洋之中国东南沿海	美洲大陆内部
2	全球地质构造位置	亚洲大陆板块的边缘	北美板块的内部
3	时代	早白垩世(128 – 108Ma)	第四纪(0.65Ma)
4	剥蚀程度与出露特点	一定剥蚀,切割出火山根部的岩石,是早期酸性岩浆演化和共生侵入岩冷却结晶全过程的良好记录	剥蚀程度小,火山上部带保留完整,但破火山深部结构没有裸露
5	构造意义	亚洲大陆板块边缘中生代酸性岩浆作用与破火山演化典例,大陆边缘动力学的重要火山学指示	流纹岩岩石指示板块内部的地幔热点
6	火山活动后地质作用与自然景观特点	经 100Ma 地质作用造就了奇特的峰嶂、奇石、幽谷、飞瀑、深潭、洞穴	主要为峡谷、热泉,间歇喷泉等地热体系
7	与自然景观相关的文化	有 1600 多年历史,民族文化淀积浓厚	

注:黄石公园资料据 Robert(1980)

2　雁荡山破火山岩浆作用具完整性,是研究考察流纹质火山岩的天然博物馆

雁荡山破火山是陆上喷发、陆上堆积的,它包含了与现代火山喷发相对应的各种方式和相应的岩石。

(1)强烈的普林尼式火山爆发　形成高温火山碎屑流,为全区性的火山爆发,主要岩石类型有地面涌流凝灰岩(ground surge tuff),未熔结、强熔结凝灰岩。火山碎屑流流动单元内部结构分带性清楚,可与火山学家 Sparks(1973)[5]据近代火山爆发而建立的火山碎屑流动单元结构剖面对比。国际火山学会秘书长,火山学家费希尔(R. V. Fisher)1985 年 6 月 3 – 6 日曾到此考察,确证其典型性。

(2)亚普林尼式火山爆发　堆积成为空落凝灰岩,破火山南部灵峰到大龙湫一线以北、方洞两侧有良好出露。

(3)蒸气岩浆爆发　由热的岩浆与冷的水相互作用而引起,形成基底涌流(base surge)。这种蒸气爆发是 Macdonald[6]、Fisher 和 Schmincke[7,8]等提出的,被认为是上世纪七八十年

万方数据

代火山学研究的重要进展。在雁荡山北部智仁一带即出露此类蒸气爆发产物。

(4) 火山岩浆溢流　岩浆从火山口中平静的溢出,沿地面流动而成为熔岩流,形成流纹岩。其总厚度大于 600m,共有 5 次火山岩浆的溢流。熔岩流的流动单元内部结构十分典型清楚,大小不同的球泡球粒极为发育。流纹岩层主要发育在第二期喷发的岩石地层单元,雁荡山的峰嶂、洞穴主要与这一单元的流纹岩有关,也是构成众多飞瀑的壁岩。与俄罗斯远东、西南日本内带、中国东部中生代火山岩带比较,雁荡山流纹岩流动单元内部结构最为清楚。1996 年美国乔治华盛顿大学地质学系 J. F. Lewis 教授来此考察,表现出浓厚的兴趣。

(5) 火山岩浆侵出　粘稠的流纹岩浆从狭小的火山通道中挤出,形成岩穹。五峰山东南的七里洞景点即位于一个流纹岩穹内。

(6) 火山岩浆侵入　岩浆在地下浅部和较深部侵位、冷凝而成次火山岩、岩脉或侵入岩。龙鼻洞岩壁的摩岩石刻即为一闪长玢岩岩脉,雁湖、百岗尖为石英正长斑岩岩体。

上述多种火山岩浆作用的方式,形成了流纹质火山岩类所有种类的岩石,由于其种类之齐全、结构构造之清楚,而使雁荡山享有流纹质火山岩石的天然博物馆的称号。将雁荡山流纹岩类岩石及其结构构造与 Mcphie 等(1993)[9] 提供的世界各地的流纹岩类岩石图谱比较,可确知雁荡山享有这一称号是当之无愧的。

3　雁荡山破火山的形成和演化在环太平洋大陆边缘巨型火山带中具有普遍意义和时空上的独特性。

雁荡山破火山的形成与演化可划分为如下 6 个阶段:

(1) 普林尼式火山爆发形成火山碎屑流(K_1y^1)。

(2) 破火山塌陷,并在其北部发生蒸气岩浆爆发,形成基底涌流。

(3) 破火山复活穹起,火山岩浆沿内环断裂溢流与侵出,形成巨厚的流纹岩层和岩穹(K_1y^2)。

(4) 破火山南部发生亚普林尼式爆发,形成空落凝灰岩和小规模的火山碎屑流(K_1y^3)。

(5) 再次发生大规模的火山爆发,形成巨厚的火山碎屑流(K_1y^4)。

(6) 深部岩浆上升侵入,形成破火山中央侵入体(KY)。

在西太平洋亚洲大陆东缘,北自俄罗斯的鄂霍茨克、楚科奇、锡霍特阿林,经朝鲜半岛的南端、西南日本,南至中国东南沿海,为一巨型中生代火山岩带,以发育流纹岩为特色,又称流纹岩链。在东太平洋的北美洲大陆边缘,包括墨西哥、秘鲁、智利等,以发育安山岩为特色,被称为安山岩线。从时间上看,雁荡山破火山明显早于北美大陆边缘的火山喷发;从空间上看,它处于亚洲大陆边缘中生代火山岩带。雁荡山破火山与俄罗斯远东锡霍特阿林火山岩带雅库金、达湟尔塔雅斯破火山相比(表 2)[10,11],其火山构造与演化阶段更为清楚而典型。

包括中国东南沿海、西南日本、朝鲜半岛、俄罗斯锡霍特阿林与楚科奇等在内的亚洲大陆边缘中生代火山(岩)带中,雁荡山破火山与同类遗迹比较,有以下特色之处:

(1) 破火山构造要素清楚齐全,经切割抬升后仍保留完整。

(2) 涵盖了陆上流纹质岩浆不同方式喷发的产物,岩流单元与岩层结构清楚,具典型性与完整性。

万方数据

(3)流纹质岩类与破火山演化模式具代表性和普遍意义。

(4)沟谷的切割使各类岩石裸露,且与自然景观巧妙融合,兼备科学上的直观和欣赏的美观。

(5)雁荡山地质遗迹蕴含丰富的民族文化内涵。

表 2　雁荡山破火山与远东锡霍特 - 阿林火山(岩)带内同分类地质遗迹比较

Table 2　The comparisons between Mt. Yandangshan and Far East

名称	构造位置	年代	岩相组合	演化阶段	剥蚀程度
雅库金	锡霍特阿林火山岩带	53 - 59Ma	凝灰岩 - 熔结凝灰岩 - 英安岩 - 花岗岩、流纹斑岩、侵出岩穹	爆发 - 沉陷 - 复活	浅
达尔塔约斯	锡霍特阿林火山岩带	白垩纪 - 早第三纪	安山岩 - 熔结凝灰岩 - 流纹岩 - 中新世玄武岩	爆发 - 沉陷 - 复活	中浅
雁荡山	中国东南沿海火山岩带	白垩纪	熔结凝灰岩 - 流纹岩、流纹斑岩 - 凝灰岩 - 熔结凝灰岩 - 侵入岩(石英正长岩)	爆发 - 沉陷 - 复活(喷溢与侵出) - 再爆发 - 侵入	中浅

注:锡霍特 - 阿林火山(岩)带资料据[10,11]

4　雁荡山火山岩是岩浆深部作用过程与大陆边缘构造的火山学记录,是人们了解地球深部地质的天然窗口。

雁荡山火山岩具有示踪意义的岩石化学和地球化学特征有:

(1)火山岩属高钾钙碱性系列。

(2)稀土元素球粒陨石标准化配分型式图上呈轻稀土(LREE)富集型的右倾曲线。

(3)Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素(HFSE)亏损,而 Rb、Ce、Sm 等大阳离子元素(LILE)富集,有较高的 LILE/HFSE 比值。

(4)第一单元岩石($^{87}Sr/^{86}Sr$)i 为 0.7134,εNd(t)为 -10.2 ~ -6;第二、三、四单元岩石($^{87}Sr/^{86}Sr$)i 为 0.7086 ~ 0.7088,εNd(t)为 -7.6 ~ -6.9;石英正长斑岩($^{87}Sr/^{86}Sr$)i 为 0.7087 ~ 0.7095,εNd(t)为 -7.6 ~ -6.9。

以上特征表明雁荡山中生代酸性火山岩物质来源为地壳组份。

5　在特定的东亚亚热带季风气候环境下,巨厚的流纹质火山岩经 100 百万年的地质作用塑造,成为既有科学价值又有美学价值的滨海山岳地貌景观。

雁荡山位于浙江东部括苍山脉,滨临中国东海,在地形地貌上明显受制于破火山巨厚流纹岩层的约束,而形成层圈带的结构。自第一层圈带到第三层圈带,构成雁荡山岩石地貌空间结构(表 3)。

雁荡山叠嶂(22 个)方展如屏,直耸云霄;峭峰(102 个)如削如攒,棱棱拔起,孤峰插天;两岩对峙,天然石门(7 个);柱列山石,方山柱峰,高低错落。奇岩(24 个)造型逼真,雕镂百

万方数据

态 移步换形,昼夜变幻,情境交融,堪称奇绝。岩洞(66 个)、天生桥成因与形态独特,洞景配置和谐、秀丽幽奥。飞瀑(22 个)个性突出,瀑布与瀑壁形态与组合变化多端 ;深潭(22 个)、涧谷(10 个)、溪流(8 个)镶布于山间。雁荡山地貌景观给人强烈的美感、灵感和启智功能。

对于雁荡山之美,历代文人雅士 100 多位作过评论,北京大学谢凝高教授对雁荡山审美学价值更有过专门研究与评论。

雁荡山之美在于以奇秀为本,奇秀与险峻、幽奥、旷远并蓄。叠嶂锐峰、奇岩怪洞、石门岩岗为骨格,飞瀑、涧溪、湖潭为动脉。两者配置和谐,结构独特,气势磅礴,不愧为“ 天下奇秀 ”。

雁荡山地质遗迹进行过 1∶5 万火山地质填图及古火山地质学、岩石岩相学、地球化学、景观地学等专门研究,成为中外地质学家极为关注的科学考察地。1996 年列为第三十届国际地质大会考察区,来自美国、丹麦、澳大利亚、南非等国的专家对雁荡山的自然遗产进行考察,并给予极高评价。

表 3 雁荡山岩石地层单元与地貌景观层圈结构

Table 3 The stratigraphic units and geomorphologic landscapes of Yandangshan volcanic rocks

岩石地层单元	层圈	地貌景观	在景区中的位置
侵入岩 石英正长岩 距今1.08亿年	出露面积22.45km^2 最高处海拔1056.6	岗尖 岗丘	雁湖 乌岩岗尖 百岗尖
第四岩石地层单元 熔结凝灰 距今1.17亿年	第三层 出露圈面积50 km^2 厚度>297 m	锐锋 石柱山	观音峰 龙湖
第三岩石地层单元 凝灰岩	出露面积21 km^2 厚度>380m	小型峰丛	斗鸡峰 犀牛峰
第二岩石地层单元 流纹岩及岩穹 距今1.21亿年	第二层圈 出露面积59 km^2 厚度>2600m	叠嶂、方岩(方山)、石门、独柱、岩洞、天生桥、瀑壁、部分象形山石及嶂谷	西石瀑 大龙湫 方洞 灵岩 灵峰 显胜门 仙桥 仙姑洞
第一岩石地层单元 低硅熔结凝灰岩 距今1.28亿年	第一层圈 出露面积66 km^2 厚度>668m	低级山丘、涧溪、部分象形山石	燕尾瀑 筛竹洞 接客僧 谷底

雁荡山地质遗迹的科学价值可归纳为 :

在古火山地质学上,它是全球性中生代晚期复活破火山的典型,是一部白垩纪时期破火山形成与演化过程的永久性文献。

万方数据

在岩石学上,它是研究酸性岩浆作用的流纹质火山岩天然博物馆。

在大地构造学上,它是太平洋板块与亚洲大陆相互作用的动力学过程在火山与岩石学上的记录。

杰出的科学价值、优秀奇特的自然美景、悠久的山水文化淀积,三者融合于雁荡山一体。这在全球同类地质遗迹中是罕见的。

参考文献

[1] Lipman P W. 美国西部灰流破火山口根部[J]. 国外火山地质, 1987, 1:1-20.

[2] Steven T A, Lipman P W. 美国科罗拉多州西南部圣胡安区破火山口[J]. 火山地质矿产, 1984, 4.

[3] Robert L C. The Quaternary and Pliocene Yellowstone Plateau Volcanic Field of Wyoming, Idaho, and Montana[J]. US Geological Survey Professional Paper, 1980, 729-G.

[4] 小野晃司, 渡边一德. 阿苏破火山口[J]. 地球, 1983, 5(1).

[5] Sparks R S. Products of ignimbrite eruption deposits[J]. Geology, 1973, 1.

[6] Macdonald G A. Volcanoes[M]. Prentic Hall, New Jersey, 1972.

[7] Schmincke H U, Fisher R V, Waters A C. Anticlune and chute and pool structures in base surge deposits of the Lancher Sea area, Germany[J]. Sedimentary, 1973, 20:553-574.

[8] Fisher R V, Schmincke H U. Pyroclastic Rocks[M]. Berlin: Springer-verlag, 1984.

[9] Mcphie J, Doyle M, Allen R. Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks[M]. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies University of Tasmania, 1993

[10] Щеголов А Д. Вулканические пояса Востока Азии[M]. Москва: Наука, 1984.

[11] Попов В К, Гребеннков А В. Новые Данные о возрате эффузивов Богопольской свиты в Приморье[J]. Тихоокеанская Геология, 2001, 20(3)

The value and global comparison of the Cretaceous Mt. Yandangshan caldera geologic heritage

TAO Kui-yuan, YU Ming-gang, XING Guang-fu, SHEN Jia-lin, QI Jian-zhong, XIE Jia-ying

(*Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources*, *Nanjing* 210016, *China*)

Abstract

The Yandangshan Geologic Heritage is a Cretaceous revived caldera. Through comparing with other similar geologic heritages of global volcanic belts, its scientific value is evaluated. Yandangshan is a typical example of Cretaceous calderas within eastern Asian continent margin, includes all sorts of rhyolitic products, and can be regarded as both a natural museum of rhyolitic rocks and a natural window of tectono-magmatic process in the Asian continent margin. Yandangshan blends the remarkable scientific values, marvelous spectacles and pronounced mountains-and-waters cultures together, which is especially rare all over the world.

Key words: scientific value; comparative analysis; Cretaceous revived caldera; Yandangshan

万方数据