

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

## 论雷暴风化作用

张基敏 于万里

关广岳

(东北大学秦皇岛分院)

(东北大学, 沈阳)



在位于冀东地区海拔1840多米的都山顶峰,笔者首次发现了雷暴风化作用,并目睹了雷暴风化作用的进行。在都山顶部,发现了雷暴风化砾石堆,分析了雷暴风化作用的物理依据,估算出一次雷暴作用所释放能量的0.07%—0.007%就可使1m<sup>3</sup>的花岗岩断裂。阐述了雷暴风化作用的时空分布规律,指出雷暴风化作用主要发生在低纬度近海山地地区。气候比较温暖且降水量较多的地史时期是雷暴风化作用较发育的阶段。对于中国东部中低山地有争议的部分冰川砾石,有可能为雷暴风化作用形成的雷暴风化砾石经泥石流搬运后再沉积的产物。因为江西庐山等地都是雷暴风化作用较易发生的低纬度近海山区。

**关键词** 雷暴 风化作用 雷暴风化砾石 都山

### 1 雷暴风化作用的定义及特征

雷暴是积雨云强烈发展阶段时产生的雷电现象。雷暴风化作用是指由于云地之间放电的雷暴造成岩石破碎的一种物理风化作用。在位于河北省青龙、宽城两县的交界处,海拔1840m以上的都山顶部,笔者首次发现了由于雷暴风化作用所形成的砾石堆积(图1, 2),并亲眼目睹了雷暴风化作用的进行。



图1 都山主峰区鞍部的雷暴风化砾石堆积  
Fig. 1 Accumulation of thunderstorm weathering boulders at the saddle between the peaks of Dushan Mountain

雷暴风化砾石堆积主要分布在都山顶部的山峰及山脊上,形成长10km余,宽30—50m的砾石堆积。其厚度在主峰处可达20—30m,山脊上亦有10m多厚。沿山坡,砾石在重力作用下崩落,在山坡及沟谷中亦有分布。砾石粒径最大者可达10m多,小者0.2—0.5m,多数在2—3m之间。砾石无磨圆,呈棱角状,多为沿节理断裂形成的等轴状、柱状及板状体,无定向,无分选,杂乱堆积在一起。在雷暴作用比较强烈的地带,如在都山南主峰区,砾石表面已被烧焦成暗褐色。

笔者在主峰停留期间,恰好遇上了雷雨天气,并在装有避雷装置的室内,亲眼目睹了室外山顶岩石遭受雷暴风化作用的破坏过程。当带电云团与山顶之间放电形成雷暴时,可将山顶粒径

达数米的花岗岩块击起跳离地面达几米高。

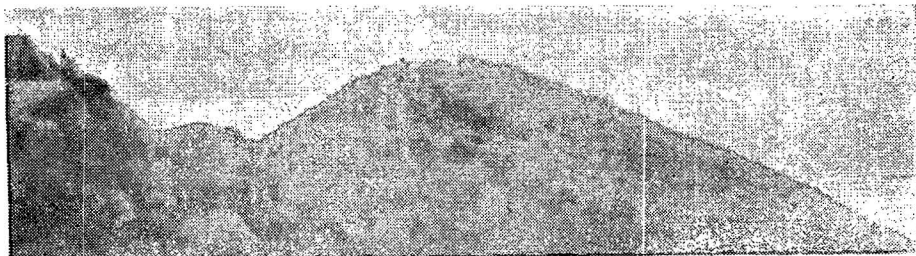


图 2 都山南主峰的雷暴风化砾石堆积

Fig. 2 Accumulation of thunderstorm weathering boulders at the south peak of Dushan Mountain

## 2 雷暴风化作用的物理依据

在积雨云强烈发展阶段, 由于气流之间的相互摩擦, 产生了大量的电荷。当所带电荷量足够大, 云地之间的电场强度超过湿空气的击穿场强 ( $10^6 \text{ V/m}$ )<sup>[1]</sup>时, 就会发生云地放电, 形成雷暴现象。一次放电的平均电荷中和量在  $10-30 \text{ C}^{[2]}$ 。若云地之间距离在  $100-1000 \text{ m}$  之间, 则云地之间的电位差为  $10^8-10^9 \text{ V}$ , 可以估算出一次放电所释放的能量为  $10^9-10^{10} \text{ J}$ 。

根据尖端放电原理, 最易于与带电云团发生云地放电的部位是山峰处突出地表的岩石。这种情况下将岩石破碎所需要的能量, 用爆破具有五个自由面的岩石所消耗的能量进行估算。假定岩石为强度最大的无裂隙、无风化的新鲜花岗岩, 根据岩石力学有关公式, 可以计算出爆破  $1 \text{ m}^3$  花岗岩所要消耗的能量  $E$ :

$$\begin{aligned} E &= 1.15A \cdot W^3 \cdot Q \cdot J \\ &= 1.15 \times 1.34 \times 0.5^3 \times 878\,000 \times 4.18 \\ &= 7.1 \times 10^5 \text{ (J)} \end{aligned}$$

式中  $A$  为岩石抗力系数 (花岗岩为 1.34);  $W$  为岩石的最小抵抗线;  $Q$  为硝铵炸药的生成热 ( $878\,000 \times 4.186 \text{ J/kg}$ );  $J$  为热功当量。

以上计算表明, 将  $1 \text{ m}^3$  的无裂隙、无风化的新鲜花岗岩从岩体上崩落下来所消耗的能量仅占一次雷暴所释放能量的  $0.07\%-0.007\%$ 。若将  $E$  值乘以岩石体积, 可以计算出使粒径为  $2 \text{ m}$ , 体积为  $8 \text{ m}^3$  的花岗岩破碎所需能量为一次雷暴所释放平均能量的  $0.56\%-0.056\%$ 。

雷暴风化作用是地质作用的一种。在长达数百万年的地质历史中, 岩石经历了数以千万次计的雷暴风化作用的破坏。以年雷暴日数为 40 计算, 并且保守地估计每一雷暴日只发生一次云地放电的雷暴作用, 可以计算出在  $1 \text{ Ma}$  年内, 岩石经受了四千万次雷暴作用的破坏。而上面的计算是假定一次雷暴作用就将岩石破碎, 并且是无风化、无裂隙的新鲜花岗岩。而事实上任何岩体都具有各种不同方向的节理及裂隙, 并且在长达数亿年的地质历史中, 经受了数十亿次雷暴风化作用破坏, 因而实际发生的雷暴风化作用使同体积岩石断裂所需要的能量要少于上述计算值。

## 3 雷暴风化作用的时空分布

大气圈中只要有了水循环, 就有了雷暴现象, 地球上也就有雷暴风化作用。最古老的水成沉

积岩系——南非巴伯顿山地的斯威士兰系菲格特利统的泥砂质及化学沉积，标志着地球上水圈的形成，其年龄大于  $3.0 \text{ Ga}^{[4]}$ 。这说明，从 Ar 开始，地球上就出现了雷暴风化作用。

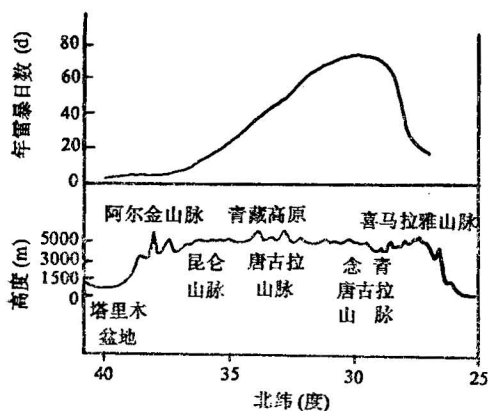


图 3 东经  $89^\circ$  附近地势与年雷暴日数对比图  
据《中国自然地理图集》，地图出版社，1984，改编)  
Fig. 3 Topography feature and the numbers of thunderstorm days in a year near  $89^\circ \text{E}$   
(Modified from Natural Geographic Atlas of China, Map Publishing House, 1984)

雷暴现象发生的空间规律是：低纬度区多于高纬度区；近海地区多于内陆地区；山地多于平原地区。积雨云是雷暴发生的前提，因它总是出现在距地表  $1-2 \text{ km}$  的对流层的下层内，所以雷暴现象亦发生在此范围内。雷暴现象发生的上界高度为雪线，在热带及亚热带的低纬度区（纬度小于  $30^\circ$ ）可达海拔近  $6000 \text{ m}$ ，向高纬度区海拔逐渐降低，到纬度高于  $70^\circ$  的极圈内，由于雪线已降到近于海平面甚至海平面以下，所以基本上无雷暴风化现象发生。山地上空的对流层容易发生不稳定对流，形成锋面雷暴和平流雷暴，因此山地雷暴多于平原。

高，并进入了高原大陆性气候区，降水量很少，所以年雷暴日数逐渐减少。

图 4 为北纬  $36^\circ 30'$  附近地势与年雷暴日数对比图。由图可见，在东经  $100^\circ$  以东近海地区的年雷暴日数高于西部内陆区。在东部近海地区，泰山、太行山、吕梁山等山地的年雷暴日数都较

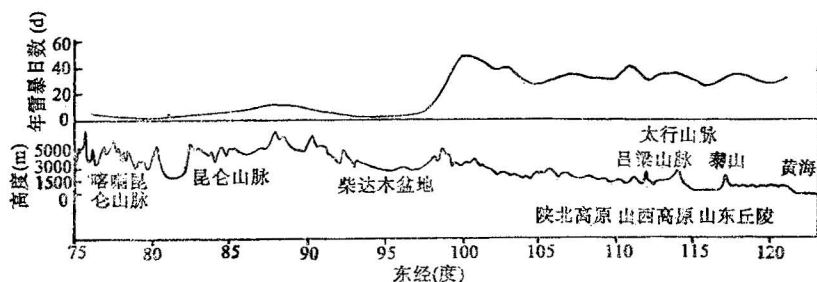


图 4 北纬  $36^\circ 30'$  附近地势与年雷暴日数对比图  
(据《中国自然地理图集》，地图出版社，1984，改编)

Fig. 4 Topography feature and the numbers of thunderstorm days in a year near  $36^\circ 30' \text{N}$   
(Modified from Natural Geographic Atlats of China, Map Publishing House, 1984)

高。在西部内陆地区，也可以看出昆仑山脉的年雷暴日数高于周围地区。表现出了近海地区年雷暴日数高于内陆区，山地的年雷暴日数多于平原的特点。

雷暴风化作用分布的时间规律是：气候温暖的间冰期要强于气候寒冷的冰期，并且当降水量较多时，雷暴风化作用更强。图 5 为地史中全球平均温度和平均降水量与现代值的对比图。由图可见，90% 以上的地质时期是比现在还要温暖的温热气候，因此地史中的雷暴风化作用要强于现代。尤其是太古代、中元古代、寒武纪、奥陶纪和第三纪，不仅全球气候温暖，而且平均降水量也相对较多，因而更易发生雷暴风化作用。

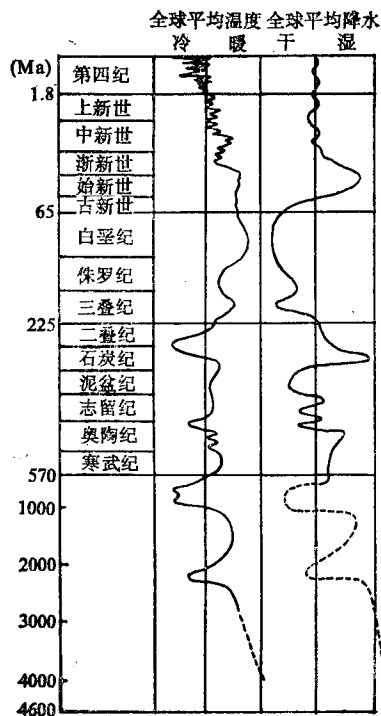


图 5 地球温度与降水量概略史

(据文献〔5〕)

Fig. 5 Sketch history of temperature and rainfall of the earth

(from the reference〔5〕)

虚线表示资料稀少, 曲线表示与现代全球平均值的偏离, 仅为相对值

The dotted lines mean the data are rare, the curves indicate the relative deviation to modern average values

#### 4 关于中国东部中低山地的第四纪冰川

中国东部中低山地是否存在第四纪冰川问题, 争论由来已久。本世纪 20—30 年代, 李四光等在河北省沙河县、江西庐山等地发现了冰川遗迹, 提出了中国东部存在第四纪冰川。但是又有许多人提出反对意见。双方争论的焦点在于: 第四纪的古雪线高度; 泥砾堆积是冰碛物还是泥石流堆积; 有些地貌是“冰斗”、“U型谷”等冰川地貌还是流水侵蚀、冰缘作用及溶蚀作用等形成的地貌。笔者在此不做广泛讨论, 只对有争议的泥砾堆积物中砾石的成因谈点看法。

庐山有争议的泥砾沉积物中那些无磨圆、呈棱角状、粒径达数米的砾石, 笔者认为有可能是雷暴风化作用形成的雷暴风化砾石。

庐山现今的海拔高度只有 1 400 多米。关于第四纪的雪线高度是否降低到此高度的问题, 争论很大。但是庐山地处降水量丰富的亚热带, 且又是坡度较大的孤山, 这一点则是无争议的。加之其南临水域辽阔的鄱阳湖, 更使其降水量增加。庐山南部北移的暖气流一方面受地形影响而抬升, 易形成平流雷暴, 另一方面还容易与庐山北部的冷气流相遇, 形成锋面雷暴。加之庐山地势较高, 曲率比较大, 易于形成云地放电的雷暴作用。因此, 庐山顶部的雷暴风化作用比较强。雷暴风化作用形成的巨大砾石在重力作用下可以崩落到山坡及沟谷, 还可以被泥石流搬运到离山峰较远处而沉积下来。同样, 河北省沙河县境内的孤山也是雷暴相对易于发生的地带, 那些巨砾堆积有可能是雷暴风化砾石堆积。

本文雷暴风化作用的物理依据部分得到了东北大学采矿系费鸿禄博士的帮助, 在此表示感谢。

#### 参 考 文 献

- 1 陈世训, 陈创买. 气象学. 北京: 农业出版社, 1981. 310—312 页.
- 2 梅森 B J. 云物理学. 北京: 科学出版社, 1979. 504 页.
- 3 格佐夫斯基 M B. 构造物理学基础. 刘鼎文等译. 北京: 地震出版社, 1984. 32 页, 47 页.

- 4 里德 H H, 瓦特森 J. 地球的历史, 第 1 册. 李国栋等译. 北京: 人民教育出版社, 1981. 117 页.  
5 弗雷克斯 L A. 地质时代的气候. 赵希涛等译. 北京: 海洋出版社, 1984. 320 页.

## ON THUNDERSTORM WEATHERING

Zhang Jimin and Yu Wanli

(*Northeast University, Qinhuangdao Branch, Qinhuangdao*)

Guan Guangyue

(*Northeast University, Shenyang*)

### Abstract

At the top of Dushan Mountain with an elevation of more than 1840m in the east part of Hebei Province, China, the authors discovered a peculiar weathering products resulted probably from thunderstorm and observed the thunderstorming process with their own eyes for the first time. The weathering boulders probably formed by thunderstorm are accumulated in an area of more than 10km long, 30—50m wide and 10—30m deep pile on the top of Dushan Mountain. The diameter of the boulders are usually 2—3m and may reach a maximum of more than 10m. The physical basis of thunderstorm weathering is analysed. The energy needed to fracture granite of 1 m<sup>3</sup> in volume was provided theroretically calculated to be 0.07%—0.007% of the energy released from a thunderstorm. The regularity of tempo-spatial distribution of thunderstorm weathering is set forth. Thunderstorm weathering is supposed to mainly happen at the low-latitude near-sea mountainous areas. The Archean hydrogenic sedimentary series indicates the accomplishment of the earth's hydrosphere and probably also the beginning of thunderstorm weathering. In the history of our earth, the periods with rich rainfall and warm climate would be also the periods with more thunderstorm weathering, such as the Archeozoic, Mesoproterozoic, Cambrian, Ordovician and Tertiary. It is put forward that some of the disputed glacial boulders in middle-lower mountain areas in eastern China might be the result of thunderstorm weathering, and these boulders might have been carried to the foot of these mountains or even farther by mud-rock flows and deposited there; for the glacial areas such as Lushan Mountain in Jiangxi Province and Shahe in Hebei Province are all the low-latitude near-sea mountainous areas where thunderstorm weathering was more liable to take place.

**Key words:** thunderstorm, weathering, thunderstorm boulders, Dushan Mountain

### 作者简介

张基敏, 1940年生。1966年毕业于长春地质学院地质系地球化学专业。现为东北大学秦皇岛分院副教授, 从事地球化学、矿产普查与勘探的教学与科研工作。通讯地址: 河北省秦皇岛市东北大学秦皇岛分院。邮政编码: 066000。