

地震发光成因的一种新假设

郑 联 达
(北京工业学院)

提 要

地震发光常被假设为大气放电现象。但这难以说明地光的多种颜色和海里所发生的地光。本文提出地光系断层岩石摩擦所直接发出,并非大气放电。它能解释旧假设所不能解释的许多问题。

一、引 言

大地震时常可看到地光。它有多种颜色和形状。海里也能发生地光。地光主要发生在震中区地震裂缝多的地方,以断层发育和有石英岩出露的部位或砂岩层中石英含量很高的地方为最多见。多数地光是无声和无热感的。

迄今对地光的成因提出近二十种假设。就闪电状和条带状等重要地光而言,大多数的观点是:地光是低空大气放电现象。大气放电需要的条件是:地表达到很高的电位,例如 10^8 V数量级(即暴风雨中闪电的起电电位);或者,空间的电位差虽不甚大,但空气中存在高浓度的带电粒子。各种假设就是围绕着这两点而提出来的。例如芬克尔斯坦等的含石英岩石的压电效应假设^[1],安井丰的激烈的低层大气振荡假设^[2],和近年拜尔利等的摩擦——汽化理论^[3]等都是比较显著的。但所有这类假设都不能说明为什么地光会有多种颜色和海里为什么也能发生地光,是“大气放电”这个观点的真正物理模式尚未被抓到呢,还是它从根上就错了呢?这是值得深思的。

二、岩石的摩擦发光实验

1983年徐为民等观察到石英岩和花岗岩的大试件在被压破裂过程中发光^[3],据此,我认为摩擦发光和破裂发光可能是同一回事,因为在摩擦时,岩石表面上的突出点是必然要断裂的。我们先把石英岩、花岗岩、水晶、萤石、红宝石和结晶冰糖等进行摩擦,然后又将其敲碎,果然都看到了闪光。我们发现,不同岩石发出不同的色光,而光强则不单和摩擦的情况有关,而且也随岩石的种类而异。下面是我们的一系列实验。

1. 光像 图1光像的拍摄,是在尽量保持相同的摩擦条件(压力和速率)下进行的。可以看出,各类不同岩石所发光的亮度相差悬殊。石英岩的亮度可能要比花岗岩的大一个数量级。两块水晶摩擦时,光从摩擦处透入体内,并穿过表面向四周辐射出来。有些半透明的石英岩摩擦时也有类似现象。



Fig. 1 Photos of light emitting from pairs of the same crystals or rocks rubbing against each other, recorded on an image intensifier made in Yunnan Optical Instrument Factory (Gain 8×10^4 , 025 mm)

(1) ruby rubbing area 5×11 mm; (2) granite, rubbing area ~ 7.5 mm²;
 (3) quartz, rubbing area ~ 10 cm²; (4) quartzite, sliding area ~ 1 mm²

2. 照度和光色 图2和图3中闪光的照度是由微照度计显示,并由函数记录仪记录的。光的颜色是用眼睛观察的。由于闪光微弱,使光色辨别有些困难,故所标光色仅作参考。

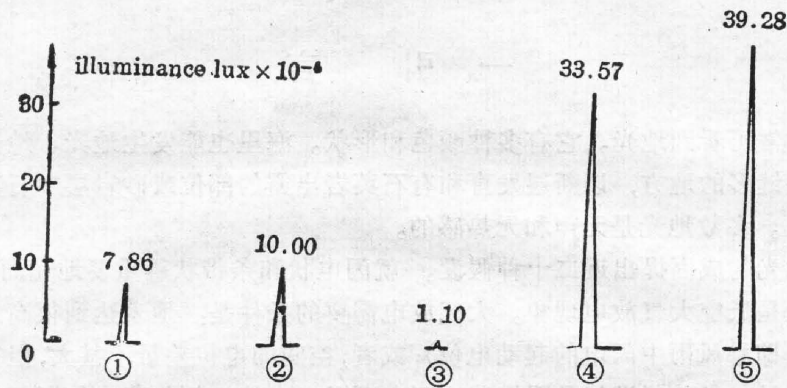


Fig. 2 Illuminances and colours of light emitting from sample pairs

① glass tube, $r=0.9$ cm, blue; ② ruby, blue; ③ ruby and quartzite, bluish-violet;
 ④ quartz, rough surface, silver, $3.6 \times 3.4 \times 1.5$ cm, $3 \times 3 \times 1.5$ cm;
 ⑤ porcelain, point to surface, violet, $3.9 \times 9.4 \times 4$ cm, $3.1 \times 7.5 \times 3.8$ cm

Apparatus: wide-range illuminometer made in Beijing Institute of Technology, range: 2×10^3 lux $\sim 5 \times 10^{-6}$ lux and a recorder

玻璃和玻璃及瓷和瓷摩擦也能发光,这是新观察到的现象。可以看出,由于岩石的种类很多,它们所含的杂质也相当复杂,故岩石摩擦能产生多种颜色。据观察,以青白色、黄色和红色居多。其次,石英岩摩擦之光的照度也是最大的,和从照片所得亮度的印象相符。最后,一个有趣的问题是:要多大块的岩石才能摩擦发光和粉碎发光?图4右侧的情况回答了这个问题。石英砂只有一粒小米大,但只用其尖滑动或将其敲碎,都能清楚地看到闪光。所以在比较光滑的岩面摩擦时,光可能是从那些正被摩下的粉末发出来的。

3. 照度和摩擦条件之间的关系 我们发现,岩石摩擦时所发光之亮度跟接触面的粗糙程度,压紧程度、滑动速率和岩石种类都有关系。我们用力学中摩擦实验的装置、微照度计和函数记录仪配套来进行实验。照度计的受光镜头是定点的,要测出滑动岩石在通过镜头时的速率和所发光的照度。结果如图5所示:

第一,对固定岩样,当压强不变时,摩擦光的照度随滑动速率而增大。压强加大时,照度也将增大。因 μP = 单位面积上的摩擦力, $\mu P v$ = 克服单位面积摩擦力的功率,故某瞬刻的光强和该瞬刻克服单位面积摩擦力的功率有关。

第二,图 5 左 $P=0.021 \text{ kg/cm}^2$,这是水晶本身重量所产生的压强,也就是说,在水晶没有受到任何加压的情况下,仅仅由于滑动速率的增大,就能够发出较强的光。

第三,图 5 右中,水晶上加压 $P=0.083 \text{ kg/cm}^2$,但这仍是很小的。然而开始发亮速率却降低为 57.3 cm/s ,而在 $v=71.4 \text{ cm/s}$ 时,照度却达到了 $8.57 \times 10^{-4} \text{ lux}$ 的程度。这两点是值得注意的,因为它们表明在地应力不怎么大和断层滑移速率不怎么高的情况下,也有可能发出亮光。

4. 光强 我们用油斑光度计来测量光强。用蜡烛作为比较的标准,设其强度为 0.8 candle 。先后测量花岗岩和石英岩各自摩擦时的光强,摩擦面积都约为 4 mm^2 。烛焰至油斑的距离 $3 \sim 5.5 \text{ m}$,测得摩擦光至油斑的距离是 $6 \sim 16 \text{ cm}$ 。结果是,石英的光强为 10^{-8} candle 数量级,亮度约数百 nit;而花岗岩的光强为 10^{-4} candle 数量级,亮度为数十 nit,约小一个数量级。

5. 在水中的实验 我们在北戴河海水中摩擦石英岩,都看到了闪光,现象在和空气中的相同。此外我还将花岗岩浸在 1 mol 浓度的盐水中,并加热以去除岩石上吸附的气体。摩擦结果和空气中的相同。

illuminance lux $\times 10^{-4}$

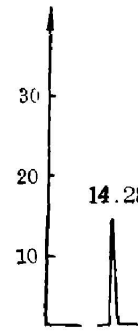


Fig. 3 Illuminances and colours of light emitting from rock core

core of quartz porphyry and quartzite, $r=1.7 \text{ cm}$, $h=8.4 \text{ cm}$, violet

Apparatus: wide-range illuminometer made in Beijing Institute of Technology, range: $2 \times 10^3 \text{ lux} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ lux}$ and a recorder

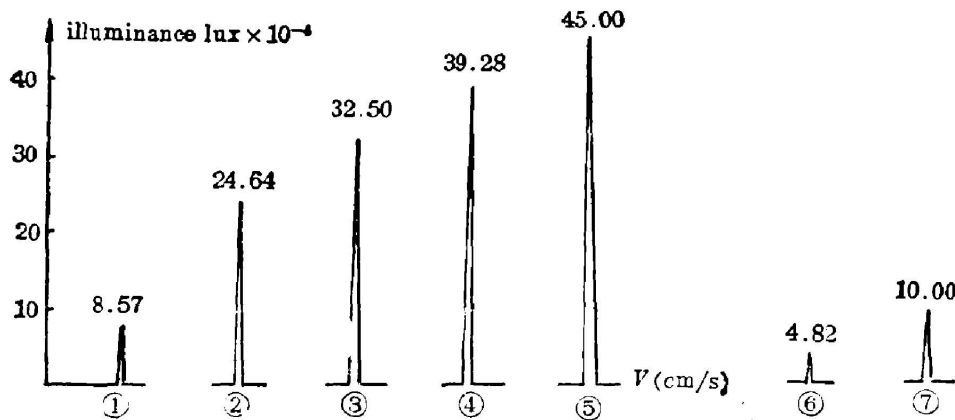


Fig. 4 Illuminances and colours of light emitting from pairs of rocks rubbing against each other

- ① granite, orange; ② quartzite and granite, violet; ③ quartzite and granite, yellow;
- ④ quartzite, yellowish-white; ⑤ rough quartzite, $7 \times 5 \times 3 \text{ cm}$, $8.5 \times 5 \times 2.5 \text{ cm}$, red;
- ⑥ quartz sand and granite, the point of sand to surface (area of point $\sim 0.5 \text{ mm}^2$), violet;
- ⑦ quartzite, the point of sand to surface (area of point $\sim 0.5 \text{ mm}^2$), red

图 6 是干湿摩擦的两组照片。可以看出,亮度是随着摩擦的加重而增大的。湿摩擦所发之光和干摩擦的基本相同。因此,岩石摩擦发光的机制应该只有一种。

6. 闪光的形状 据观察,岩石摩擦之光有多种形状,如条带状、片状和球状等。图 7 所示片状光是棱在平面上重滑所产生的;球状光则为两小块半透明斜方体石英岩摩擦所生。

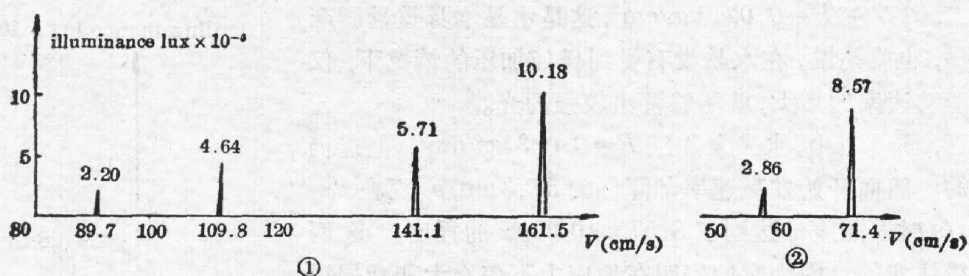


Fig. 5 Illuminances of light emitting from a quartz sliding on the rough surface of a granite slab (area of the slab is 31.8×14.6 cm)
 quartz: height 11cm, length of X axis (max) 5 cm, weight 343 gs, sliding surface 6×2.7 cm,
 ① $\mu=0.65, P=0.021$ kg/cm²; ② $\mu=0.65, P=0.083$ kg/cm²

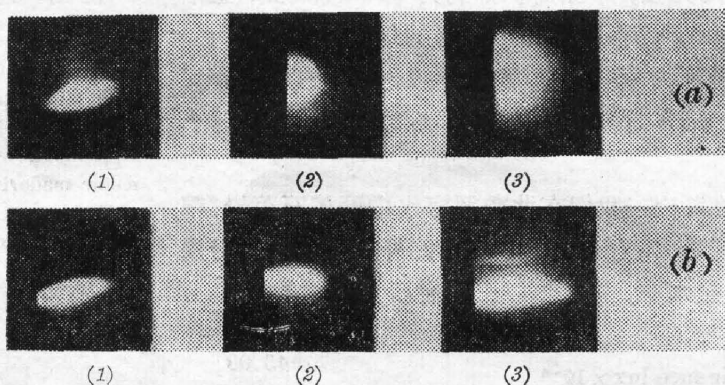


Fig. 6 Photos of light emitting from the point of a quartzite when it slides on the surface of a quartzite slab
 (a) dry friction (b) wet friction
 (1) light friction (2) heavy friction (3) heavier friction

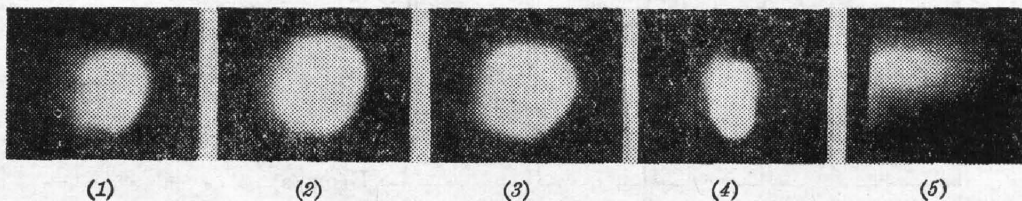


Fig. 7 Shapes of light
 (1~4) spherical light, from left to right the friction increases first, then diminishes gradually (5) flaky light

应指出,上面的光强和照度值是偏小的,因为受到仪器的限制,手劲未能充分发挥之故。综上所述,我们认识到下列几点:

1. 石英岩最易于摩擦发光,光强也是最大的,其尖端的光强可达 10^{-3} candle 数量级。
2. 这种发光并非由于电荷分离所造成的空气放电。同类物质摩擦不可能生电;水中摩擦电荷不可能积聚。用动态和静态手段检测,也没有可察觉的电荷存在。根据光谱分析表明,结晶冰糖、岩盐和其它许多晶体破裂发光的光谱中,具有表示晶体本身发光的特征带,而没有空气放电的谱线^[4]。

3. 这种发光不是压电效应的结果。因石英岩、玻璃和瓷都是各向同性的物质。水晶没有受压，摩擦可发光。反之，在静止水晶上，加上巨大的压力，却看不到发光。

4. 这种光是无声和无热感的。

三、地震发光成因的一种新假设

由于岩石摩擦发光和具体的地震光有着许多类似之处，因此我们提出地震发光成因的一种新假设如下：

地光是当断层两侧的岩石摩擦时直接发出来的，既不是因热极而发光，也不是因高电位导致大气放电而发光。

即地光的光源是两块在摩擦着的岩石。光来自岩石的机械运动，运动一停，光源不复存在，光也就没有了。因此我们称之为机械光源。

四、机械光源的规律

下面研究一种最简单的理想情况，即面光源的光强和机械运动各参量之间的关系。设摩擦面为平面，面积为 A ，具有一定粗糙度，摩擦系数为 μ ；又设压强为 P ，相对滑动速率为 v ，面发光度为 R ，面发光度在数值上等于通过单位面积所传送的光通量。据实验， R 和克服单位面积摩擦阻力的功率有关，可表示为

$$R = K \mu P v, \quad (1)$$

系数 K 为机械功率转变为光功率的百分数，决定于岩石的结构和滑动速率 v ，因为被磨断的颗粒的大小和动量有关，同时磨损率也和 v 有关。整个 A 面所传送的总光通量为

$$R_{\Sigma} = K \mu P v A, \quad (2)$$

K 值的数量级可通过实验 3 (图 5) 作出估计。照度计的圆筒状探头， $\phi = 30 \text{ mm}$ ，水平放置，水晶水平运动通过其前。由于摩擦面的接触情况和材料情况不同，使发光面变得很复杂。图 8(a) 是受光的简化情况。图 5 第一组实验的第四个数据，照度为 $10.18 \times 10^{-4} \text{ lux}$ ，可以认为是正在探头前 1 cm^2 面积上一点发出的光所造成的。图 8(b) 示出一种面光源的理想情况，设 O 顶上球面的照度为 $10.18 \times 10^{-4} \text{ lux}$ ，则相应单位立体角内的光通量为 $10.18 \times 10^{-4} \text{ lum}$ ，而这也就是面元 ΔS 在该方向的亮度 B 。若亮度 B 为一常数，与方向无关，则面发光度



Fig. 8 The case of simplification of light acceptance
(a) the case of simplification of light acceptance; (b) an ideal case for contrast

$$R = \pi B = 31.98 \times 10^{-4} (\text{lum}) = \frac{31.98 \times 10^{-4}}{200} (\text{W}) = 0.16 \times 10^{-4} (\text{W}),$$

$$\text{可见因数} = 200 \text{ lum/W}$$

$$\text{从公式(1)} \quad K = \frac{R}{\mu P v} = \frac{0.16 \times 10^{-4}}{0.65 \times (0.021 \times 9.8) \times 1.615} = 0.74 \times 10^{-4},$$

因(a)的亮度 B 较(b)的大, 故(a)的面发光度 R 也较(b)的大, 从而该组实验所对应的 K 值可以达到 10^{-4} 数量级。这是和实验4石英岩和花岗岩的光强分别为 10^{-3} 和 10^{-4} candle 数量级相符合的。由于石英岩摩擦光的亮度最大, 加上 v 增大的作用, 石英岩的 K 可能达到 10^{-3} 甚至 10^{-2} 数量级。根据实验室岩石破裂实验表明, 摩擦加热为每次事件所耗总功率的 $94 \pm 2\%$ ^[6], 这意味着转变成声和光等等形式的能量占总功的 $4 \sim 8\%$ 。因此 K 的数量级为 $10^{-4} \sim 10^{-8}$ 甚至 10^{-3} 都是可能的。

设 K 为 $10^{-8} \dots 10^{-4}$, 试对拜尔利等的下列地震参数进行计算:

$$\mu = 0.48 \dots 0.8, P = 10 \sim 20 \text{ mpa}, v = 100 \sim 200 \text{ cm/s},$$

并设摩擦面 $A = 100 \times 50 \text{ m}^2$ 。结果是, 从 A 面上所辐射出的光的能量是 $2.4 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6 \text{ W}$ 。1 盏 100 W 白炽灯所辐射出的光的能量约为 8.15 W , 故 A 面所发的光约相当于 $3 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ 盏白炽灯所发的光。这足以与大地震时地光的亮度相比。

地震时岩层破裂或断层错动虽能够发出足够强大的光, 但是否能逸出地表或海面而成为人们所看到的地震光, 则还须有适合的条件。对出露的基岩, 如海城的小孤山^[6] 和龙陵的金竹坪大队^[6], 其地光就可以视为裂缝两侧的岩石摩擦所发出。对地下断层, 地震时将使其上的某些部位的地表发生裂缝。这些裂缝在地震还在进行的期间将迅速地发生张合, 情况是复杂的。当一些裂缝和断层相通时, 有可能使光逸出地表而成为地震光。显然, 超过一定深度的震源是不会发出地震光的。

五、机械光源的机理

我们认为, 岩石摩擦发光实质是离子晶体破裂发光。对地震光来说主要是石英晶体破裂发光。一块离子晶体的自由表面是电中性的。对完整的纯晶体来说, 例如岩盐, 从氯的负离子上拿掉一个价电子至无穷远所需的功, 在晶体内部比表面上要大, 而表面上又比一个盐分子的大。就是说, 一个价电子在这三种情况下所处的电位是不相同的。当体内的价电子转变成表面价电子或自由电子时, 其位能是增加了。苏联塔姆指出, 在完整晶体的表面上可以存在新的不同的电子能级。当晶体破裂时, 在新表面上, 体内离子一下子变成表面离子, 同时出现许多表面能级。在两个新表面分离的过程中产生了电的扰动^[7], 使得表面上的价电子跃至较高的不同能态甚至离化。新表面是非平衡表面, 它将过渡到平衡的电中性的自由表面。当受激电子或自由电子跃至较低能级或基态时, 将辐射出光来。显然, 过渡时间是极短的, 宏观上, 闪光是和晶体破裂同时发生的。简单的离子型晶体示意图如图9所示。

我们发现, 一片石英岩由于所含杂质不同, 摩擦不同部位所发的光色也不同。因此, 晶体中的一些杂质原子, 在本晶体破裂时所发之光的激发下, 也可发射出光来。所以在机械光源的发光中, 将是晶体破裂之光和光致发光的混合体。

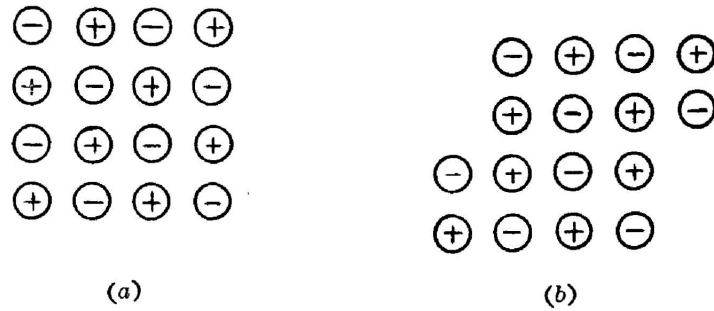


Fig. 9 Sketch of a simple ionic crystal model
(a) a complete model; (b) a broken model

六、结 论

在上面我们提出了地震发光的一种可能机理，即离子晶体破裂时新生表面上价电子能量的瞬态变化过程。这能够解释地光的较多现象。但是否能最终成立，仍需要更多的直接验证和其它与离子晶体新表面瞬变能态的有关现象和理论的佐证。我们期望人们能注意和参加探索这一新的课题。

本文手稿蒙于美文教授和张志广同志审阅并提出宝贵意见，潘求明、孙承谋、叶龙英、王懿云、张忠廉、高雅允同志协助完成实验，季向冈同志拍摄照片，特此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 黄录基等;《地光》, (地震出版社, 北京, 1982), 102~106.
- [2] D. A. Lockner *et al.*; 《世界地震译丛》, 1984, No. 1. (Jan), 28~34.
- [3] 徐为民等;《地震》, 1984, No. 1 (Feb), 8~10.
- [4] Э. И. Пархоменко 等;《震源物理》, (M. A. 萨多夫斯基, 地震出版社, 北京, 1982), 159~160.
- [5] D. A. Lockner *et al.*; *Journal of Geophysical Research*, 1983, **88**, No. 135, 4313~4320.
- [6] 黄录基等;《地光》, (地震出版社, 北京, 1982), 19, 21.
- [7] Б. В. Некрасов;《普通化学教程上册》, (商务印书馆, 上海, 1953), 91, 95.

A new hypothesis for origin of light formation during earthquake

ZHENG LIANDA

(Beijing Institute of Technology)

(Received 3 June 1986; revised 18 December 1985)

Abstract

The earthquake light has long been supposed to be a phenomenon of atmospheric discharge. But it can hardly explain the fact that the earthquake light exhibits many colors and may occur in the sea. This article suggests that the earthquake light is not caused by atmospheric discharge but is a direct radiation from the fault rocks when they are rubbing each other. This new hypothesis can explain many phenomena that cannot be explained by original suppositions.