

An Investigation into Earthquake-Induced Discharges Between the Earth's Core and Crust Electric Fields An Exploratory Single-Case Study Based on the 2008 Wenchuan Magnitude 8.0 Earthquake

Wang Shujie Wang Yong*

Zhengkang Pharmaceutical Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050031, China

Abstract

To understand the causes of earthquakes, it is first necessary to explore the sources of geothermal energy and the formation of the Earth's electric field. In atomic structure, electrons account for only 1/1835 of an atom's mass. The "temperature rise" caused by compressed air results from the emission of electromagnetic waves by extra-nuclear electrons in air molecules and the heat generated by these waves. When molecules are compressed and possess internal energy, an imbalance in electric charge induces electrical properties. The molecules inside the Earth are also compressed, and should likewise exhibit positive electrification, forming an electric field. The decay of radioactive elements within the Earth also generates heat. When the thermal motion of molecules in the core and mantle concentrates toward a certain region, electromagnetic waves and heat, under certain conditions, can be converted into electric charges. The electric field of the Earth's core (positively charged) tends to induce the formation of a secondary electric field in the crust (negatively charged). Earthquakes occur when the electric field reaches a critical intensity and discharges into the secondary field, triggering seismic activity. The fracturing of rock layers is a consequence of this process rather than its cause. The three basic thermoelectric effects offer theoretical foundations and experimental evidence for identifying the thermoelectric mechanism as one of the primary energy sources driving rock fracture.

Keywords

Internal energy of matter; molecular thermal motion; decay of radioactive elements; Conversion between electric charge and electromagnetic waves; conversion between electric charge and heat; Thermoelectric effect; secondary electric field; discharge phenomenon; rock layer fracture

地核电场与地壳电场放电致震的探讨基于 2008 年汶川 8.0 级地震单案例探索性研究

王树杰 王勇*

正康医药科技有限公司, 中国·河北 石家庄 050031

摘要

为探讨地震成因, 首先要解决地热来源和地电场形成问题。在原子的结构中, 电子占原子质量分数是1/1835, “压缩空气”致使的“温度升高”是通过空气分子的核外电子释放的电磁波和电磁波产生的热来实现的, 分子在被压缩具有内能的情况下由于两种电荷不平衡就显示电性。地球内部的分子也在被压缩之下, 也应显示正电电性形成电场。地球内部放射性元素的衰变也产生热, 地核、地幔中分子的热运动如果集中涌向某一区域, 电磁波和热在一定的环境下可以转化为电荷, 地核电场(正电场)容易使电荷形成一个次生电场(地壳负电场)。地震是电场达到一定强度时与次生电场产生的放电现象。岩层断裂是地震之果。热电效应的三大基本效应为岩层断裂的主要能量来源之一提供了理论依据和试验支撑。

关键词

物体的内能; 分子热运动; 放射性元素的衰变; 电荷与电磁波的转化; 电荷与热的转化; 热电效应; 次生电场; 放电现象; 岩层断裂

1 引言

2008年中国四川省汶川一带发生了震惊中外的里氏8.0级地震, 应对地震灾害最有效的途径是提前做出预报, 当时

媒体介绍地震预报是世界性难题, 所谓世界性难题就是地震成因问题在理论上没有解决。现在, 地震界比较认可的是断层成因论, 这一问题和与地震有关的地震能量来源等问题在中国科学院地质研究所编写、由科学出版社1977年出版的《中国地震地质概论》一书中描写的比较详细:

【作者简介】王树杰(1959), 男, 中国河北邯郸人。

地震地质是介于地质学与地球物理学之间的边缘学科。对其内容和方法,存在着不同的认识。……这是有待今后研讨的问题。

构造地震的成因,由于地应力的不断积累,超过了岩石强度的极限时,沿岩石的弱点急速发生破裂和位移而形成大的断裂,……急剧地释放积累的能量,从而产生地震。

关于地震产生的动力来源有两种观点为较多的人们所接受,一种是地幔热对流观点;另一种是地球自转观点。

对于地球内部热的来源,主要是放射性元素的衰变。⁽¹⁾

在汶川地震前后专家们监测到了震中局部有一个电场才会出现的异常信息。

地震成因至今没有一个定论,是因为没有一个正确的基础理论支撑。

本文关于地震成因的讨论,部分基于本人出版的专著《怎样解读地震灾害 能源匮乏 环境恶化科学未决的世界性难题》(美国学术出版社 AMERICAN ACADEMIC PRESS, 2022年),和王树杰、王勇《地震成因探讨》《2023年中国地球科学联合学术年会论文集——专题五十二 解剖地震、专题五十三 实验室地震》—2023—10—14,对两篇作品中“地震成因”部分论点中论据不足的部分给予补充,使作品顺理成章,又提出了新的研究课题。

2 电子 电磁波和热的关系

组成地球的任何成分都是原子结构:即组成原子核的质子、中子和核外电子,这就和电子、电磁波和热的相互转化扯上了关系。

电荷在特定条件下可以释放电磁波,这一现象日常生活和科技应用中随处可见,如电磁炉利用电能加热食物,电脑和电视机等电子设备也通过电磁波进行信号传输。同时,阳光作为一种电磁波,其照射下的区域通常比非照射下区域温度高,这体现了电磁波与热之间的宏观联系。反过来,太阳能发电利用特定环境下的太阳光(电磁波)转化为电能,智能手机中没用旋转摩擦的零器件,用的时间长了特别是边充电边使用时会发热。这些过程涉及电子与电磁波和电子、热与电子、电磁波与热的相互作用,但最终表现为能量的宏观转换。这些宏观表现和结果为我们理解和应用电子、电磁波和热之间的相互关系提供了基础依据。

用电磁炉加热食物,电磁波就可以转变成热,热的本质可以说是微观粒子或电磁波,把热本质的解释是组成物质原子分子的微观运动,包含动能和势能,这对热的进一步认识有影响。

1821年,德国物理学家托马斯·约翰·赛贝克通过实验验证了热在不推动蒸汽机转动带动放电的情况下可与电能相互转换:热电效应是指当不同材料的导体存在温度差异时,会在导体回路中产生电动势的现象。这种现象实现了热与电的直接相互转换,是热电材料核心工作原理。

3 热电效应的三大基本效应

3.1 赛贝克效应

当两种不同导体组成的闭合回路,且两端存在温差时,会在回路中产生电动势,电动势的大小与温差和材料性质有关;

当时,赛贝克认为是磁与热的关系,经过有关科学家的完善才成为现在的理论。

3.2 帕尔贴效应

当电流通过两种不同导体的界面时,一个接头会吸收热量,另一个接头会放出热量。吸放热量与电流大小和方向有关。

3.3 汤姆逊效应

当电流通过具有温度梯度的均匀导体时,导体会吸收或放出热量,这种现象称之为汤姆逊效应;

汤姆逊效应在实际应用中通常被忽略,但在理论研究中理解热电效应的完整机制具有重要意义;

4 热电效应的物理机制

在温度梯度的作用下,导体中的自由电子会从高温区向低温区扩散,导致低温区电子堆积,形成电势差。

汤姆逊从热力学角度分析了温差电现象,提出该效应,完善了热电效应理论。⁽²⁾(热电效应部分由“抖音AI搜索”软件协助完成)

高中《物理》教科书对“压缩空气温度升高”原因的分析制约着地震等自然灾害学的发展

高中《物理》教科书“分子动理论”的内容:

把悬浮微粒的这种无规则运动叫做布朗运动⁽³⁾。

把分子永不停息的无规则运动叫做热运动⁽³⁾。物体中所有分子的热运动的动能和分子势能的总和,叫做物体的内能⁽³⁾。

根据以上内容,“压缩空气,”导致的“温度升高”⁽³⁾是由于分子的热运动产生的。那么,其一,温度越高,这种运动越剧烈⁽³⁾,分子运动越剧烈物体温度越高⁽⁴⁾,是温度升高引起的分子运动加剧,还是分子运动加剧引起的温度升高,解释不一致;其二是如果压缩只能容下一串气体的“容器”,分子的无规则运动无法进行,他的温度升高吗?(图1)

5 地球的内能(热)来源问题

“压缩空气,内能增加,温度升高”⁽⁴⁾这是经过实验的事实,空气和地球上的水、岩石和金属从化学角度讲它们成分各异,其用途不一,但从物理角度讲,它们都是原子结构:质子、中子和核外电子,在压力的作用下,核外电子的运动受阻,现当于遇到了电阻,电子在这样的情况下会释放电磁波和热,电磁波也会转变成热。

这就是说,地球部分内能来源是由被压缩的原子或分子所携带的核外电子产生的。⁽⁵⁾

地球内部含有少量放射性元素,在衰变时也产生热,

在地热中不占主导地位。人们熟知的电荷守恒定律：电荷既不能创生，也不能消灭，……在转移过程中电荷的总量保持不变。

近代物理实验发现，在一定条件下，带电粒子可以产生和湮没。一个高能光子可以产生一个正电子和一个负电子；一对正、负电子可以同时湮没，转化为光子。……电荷守恒定律现在的表述是：一个与外界没有电荷交换的系统，电荷的代数和保持不变⁽⁶⁾。这就为电子与电磁波、热相互转换提供了正规的实验依据。

6 地电场的形成问题

原子在不同的状态中具有不同的能量，因此，原子的能量是量子化的。这些量子化的能量值叫做能级。原子中这些具有确定能量的稳定状态称为定态。能量最低的状态叫做基态。其他的状态叫做激发态。

当电子从能量较高的定态轨道跃迁到能量较低的定态轨道时，会放出能量为 $h\nu$ 的光子（ h 是普朗克常量， ν 是光子的频率）。……

反之，当电子吸收光子时会从较低的能量态跃迁到较高的能量态，……⁽⁷⁾

电流通过电阻产生热，用电器的导线横截面积不达标时，导线会发热，这与遇到电阻是相同的道理。在地球内部，高压下的原子或分子的核外电子的运动也会受阻发热。

分子（或原子）在压缩的情况下，核外电子转为电磁波而生热。空气或地球内部的原子或分子在被压缩具有内能（热）或释放光子的情况下而使电子的能量降低，正、负电荷不平衡原子或分子显示正电性（图1）。

若地球内部产生热的分子显示正电性，地核就是一个正电带电体或正电场⁽⁸⁾。

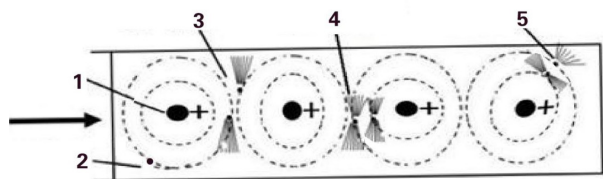


图1 在分子不能进行布朗运动的情况下，进行压缩它的温度仍然升高⁽⁵⁾

1: 原子核；2: 核外电子；3: 不同原子最外电子层之间的电子相互“摩擦”；4: 同一原子不同电子层之间的电子相互“摩擦”；5: 原子由基态由于压缩核外电子运动轨道收缩而放出光子。

当摩擦物体产生热能时，原子的电性质平衡遭到破坏，就会表现出带电性质⁽⁹⁾。

7 地震的孕育和地震实质

地球分地壳、地幔和地核三部分，地幔外层大部分是

固态，其内层和地核在几千摄氏度和极高的压力下，密度会增加，其绝大部分物质会变成熔融状态，所谓熔融状态在力的作用下可发生形变或说流动。

水4摄氏度时的密度是 1g/cm^3 ，在水面一定深度的局部区域把水加热，因密度减小会向上运动。

太阳和月球的引力是海水涨落潮的原因之一，在太阳和月球的引力作用下，海水向岸边涌来，使局部海平面升高，升高的原因是重力减小。地球内部的与地球固态部分即能相对移动，又对应引力源的熔融态物质的重力也会减小，也会向着引力源方向挤压或运动，到地幔固态处再向四周运动。

这些问题对研究地震的孕育有极其重要的作用。

由于地球依赖太阳的吸引，地球内部熔融态物质和释放的热向着地核到太阳的连线方向运动，我们把它叫地球的正常热运动，除此以外地球内部这种较集中的运动叫地球的异常热运动。引起地球异常热运动的原因：太阳活动和地球接受宇宙射线等因素，使对应地球的区域引力增强，热（含熔融态物质）向该区域较集中的运动；日月地一线、较大的天体（如木星）较长时间对应地球某一区域，使该区域引力增强，热向该区域较集中的运动。

当高温、高密度的分子向上运动时，处于高激发态的分子的核外电子会释放光子⁽⁷⁾。光子是一种电磁波，电磁波在特定环境下可以转变成电荷，电荷容易在尖端处积累。

在地幔固体和以下软流层之间怎样形成的尖端，由于水的冷却和地球内热的融化作用，使该处与圆弧曲率有凸、凹变化的部分都称之为突出，都容易积累电荷，如果人脚踏地核再向上看固态的突出部分就很清楚了。（图2）

电子会从高压区会运动到低压区，即尖端处至地壳。

当电荷在地球固态内突出处积累一定程度时就会移动到地壳形成电场，我们称之为“次生电场”。静电力是它们之间万有引力的 2.3×10^{39} 倍⁽¹⁰⁾，只要静电力有一点点增加，就远远超过万有引力。一旦次生电场形成，地球内部的热会向该处长时间的运动，当次生电场达到一定强度时，会与地核电场之间发生放电现象——这就是破坏性地震，岩层断裂是地震之果，这也是地壳断裂带、大洋边缘、海洋中的岛屿、大的山脉或大的高原边缘容易发生破坏性地震的根本原因。

根据赛贝克效应，热在一定的环境下可转变成电荷，地球内部含有大量的热，这又为电荷的积累形成电场提供了一个实验依据⁽²⁾

张宝盈著的《地震成因》⁽¹¹⁾称：全球地震和火山主要分布在环太平洋地震带、欧亚地震带、大洋海岭地震带及大陆裂谷地震带4个地震带上。而环太平洋地震带、欧亚地震带释放的地震能量就占全球地震总能量的95%。这正是这几个地震带对应的地壳内部固态部分凹凸变化较大的部位容易积累电荷发生地震的原因。（图2）

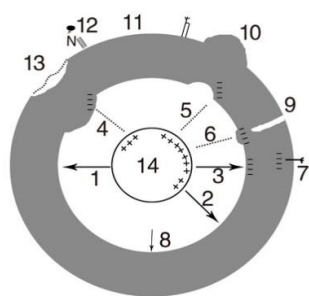


图2 地球内尖端的形成、内部热运动方向及电荷积累放电示意图⁽⁵⁾

热主要向着太阳对应的方向运动；热向着大行星较长时间对应的区域运动；热向着太阳放电、磁暴或宇宙射线对应地球的区域运动；海洋的周围地幔固、液态分界部分形成向下突出的部分容易积累电荷形成电场；

高大山脉周围地幔固、液态分界部分形成向下突出的部分（内尖端）容易积累电荷形成电场；断裂带由于水的冷却作用而形成的固态向下突出的部分（内尖端）容易积累电荷形成电场；根据尖端放电和避雷针的原理，可将积累的电能转移出去。地幔固、液态分界线；断裂带；高大山脉；避雷针；雷击；海洋；地核。

当某处电荷积累形成电势差时，电荷会向上及四周运动，直至地壳浅层。当电场达到一定强度时，就会与地核之间发生放电现象，岩层断裂是地震之果。

有关专家报道的2008年中国四川汶川地震震中具有电场才出现的几种异常信息及部分异常内容简析

余涛研究员等观测到5月5日到15日，汶川以东至日本冲绳、南至海南南部的电离层TEC出现了明显增加，“平时，这样的增加很少能看到”，5月9日异常增强。……初步分析，电离层异常可能与该地区电场突然增加有关，或为汶川大地震的电离层前兆⁽¹²⁾，随后出现了“重力扰动”⁽¹³⁾，一直到发震。（图3、4）

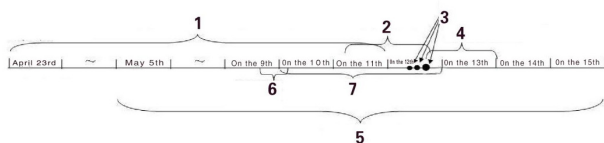


图3 汶川5.12地震前后部分异常现象和时间分布图⁽⁵⁾

1、2、3：高温条带、低温条带、震前3-5小时出现的线性云和地震⁽¹⁴⁾，4：低温降雨天气⁽¹⁵⁾，5、6：电离层异常、电离层突出异常⁽¹²⁾，7：“重力扰动”⁽¹³⁾

图4 LacosteET重力仪检测到汶川大地震“震前扰动”

曾中超、张蓓、方广有等：原文第15页图2图5中出现的异常电磁辐射，不大可能是因震中地区岩石的挤压而激励的电磁波直接穿透进入电离层被卫星所接收，因为要考虑到地下、大气层和电离层对该频段（ELF/VLF）的波的衰减作用。……Shklyar等（原文参考文献26）也指出F2层峰

值高度以上的各组分浓度对背景电场非常敏感。

本文考虑了从5月1日到5月15日的Kp指数和Dst指数。结果显示，在观测到异常的当天并没有出现较强的地磁活动，属于磁宁静日，即观测到的电离层异常不大可能由地磁活动引起⁽¹⁶⁾。

祝芙蓉等：对于临震的前几天5月9日的TEC有明显增大现象；……而且在5月9日，在孕震区东部，电离层TEC异常增加，而在其西部为异常减少。……在地震发生前的数天内，孕震区上空附近电离层TEC异常扰动现象确实存在⁽¹⁷⁾；

这恰好说明在地核电场的作用下，带电离子自东向西的运动方向，这与物理学带电体在电场中的运动方向相一致的⁽¹⁰⁾，到孕震区被拦截，而在孕震区西部异常减小。

有研究显示，超过73%的5级以上地震前5天内记录到电离层异常。

以上描述的电离层TEC异常是对应着该区域在孕震期形成的电场。

5月5日到15日该地区电离层异常是由于地壳孕震电场增强形成的，9日的异常增强是电场强度达到了极限，随之发生“重力扰动”。“重力扰动”应是地壳及以内电场与地核电场之间的放电现象。孕震区与地核之间的介质导电性应与“重力扰动”的振幅成反比关系。

放电现象就和云与云、云与地（俗称雷击）之间的放电类似。

云与云、云与地之间的放电要经过闪电的初始击穿、梯级先导过程、电离通道、回击⁽¹⁸⁾等过程：当云与云、云与地面形成电势差时，电子将把通向低压区通道上的分子电离以使电流通过。随着电压的持续加大，这样电流往返运动，最终形成一个电离通道以利于大的电流通过。

关于闪电的初始击穿的详细物理过程尚不清楚，对此有很多解释⁽¹⁸⁾。那么，地壳以内的放电就更难解释。

中国四川省汶川县一带发生的里氏8.0级地震孕育时间近10年⁽¹⁹⁾，地壳长时间形成的“次生电场”与地核电场之间有巨大的引力。当大量带电离子在次生电场与地核之间运动时，会引起该区域分子的微小振动与运动，随着带电粒子运动量的增加，振幅逐渐加大，当振幅达到 $\pm 0.8\mu\text{Ga}$ 时电流才得以顺利通过，随之地震发生。主震发生，“次生电场”绝大部分消失，电离层TEC明显增大现象在5月15日后消失⁽¹²⁾。

地震是地壳形成的负电场，对应的地核是因原子或分子的核外电子的缺失或能量减小而显示的正电性，地壳电场能否使地球深处的原子核的结构改变从质子中激发出大量的正电子，这恐无法做到。

地球内部的放电，只能看他的宏观表现，无法了解内部的微观变化，这不影响对地震成因的分析。

从2008年5月5日至15日汶川以东至日本冲绳南海南南部的，电离层TEC明显增加，“平时，这样的增加很少能看到。⁽¹²⁾”空间电离层TEC增加的原因是由于震中的“次生电场”导致的，其展布与岩层断裂的NE-SW展布⁽²⁰⁾

大致接近而非互为十字展布,对岩层断裂起主要作用的应是电场强度而非岩层的脆性。

8 结语

本文以“压缩空气(原子和分子)温度升高”、赛贝克效应、热和电荷、电磁波与电荷之间的相互转换为依据,提出了地球内能来源和地电场的形成这一地球物理学的两大支柱问题,根据热向上运动的基本规律和尖端容易积累电荷的事实,支持了地壳内部固态部分凸凹变化较大的部位容易积累电荷的观点。当电荷逐渐积累形成电势差时,会向地壳及其周边运动并逐渐形成“次生电场”,提出了当“次生电场”达到一定强度时,与地核电场之间产生放电现象——这就是破坏性地震的假设,岩层断裂是地震之果。

本文的观点若能被地震界研究认可,地震预测的主要方向应有所改变。

本文提出的地壳形成的“次生电场”,理论上应该导致空间电离层异常,在2008年中国四川省汶川发生的里氏8.0级地震出现的电离层TEC异常;初步分析,电离层异常可能与该地区电场突然增加有关,或为汶川大地震的电离层前兆^[11],这就为本文的观点提供了一个实际观测依据。

本文参考的仅仅是2008年5月12日发生里氏8.0级地震的异常信息,对地球内部发生的异常根据已知的信息和数据只能做较符合实际的推测,如“重力扰动”是在电离层突出异常^[11]之后随即出现的,电离层突出异常应是“次生电场”增强引起的,而“重力扰动”应是带电离子在孕震区和地核之间运动引起的。受条件的限制无法再获得另一个破坏性地震的全部异常信息。

当前的地震成因理论是“断层成因论”,及地应力的积累超过岩石的强度发生断裂,从而引发地震。能解释很多地震前出现的异常现象并成功预测过多次地震,但也有他的不足之处,对5级地震前出现概率73%,震级越高出现概率越高的空间电离层异常不予认可;对卫星云图可预测地震、地震前动物出现异常持否决态度。

对于地球内部热能的产生,传统理论是地球形成初期储存的热和放射性元素的衰变产生的热。对地核电场的形成,传统假说理论有几种:发电机理论、电荷分布不均理论、地球自转与电荷运动这些因素造成的。

破坏性地震震源深度一般10公里或以上,10公里以内的很少见,这部分电能能否通过尖端释放出去,以减小地震震级。

目前发生的破坏性地震震源深度最浅8公里,大部分10公里以上,为什么最浅是这个尺度,这也是地震学应该探究的问题,这对电能的释放有意义。

地震的确是岩层断裂时产生的地震波的破坏力,研究地震成因是找到造成岩层断裂的力的本质,反向思维,有理有据的找到造成岩层断裂初始能量来源,就是解决了地震成因问题。这一问题往往和地震预测连在一起,地震预测是制造地震发生前监测异常信号的仪器,在地质学中,二者既相辅相成又是相对独立的分支。

参考文献

- [1] 中国科学院地质研究所:《中国地震地质概论》,科学出版社.
- [2] 热电效应的3大基本效应——赛贝克效应、帕尔帖效应和汤姆逊效应的原始发现信息首次公布于19世纪.
- [3] 孙新,曹宝.龙人民教育出版社高中《物理》选择性必修第三册,2020:14-15.
- [4] 彭前程.人民教育出版社《物理》九年级全一册,2013,6(1):4-9.
- [5] 王树杰,《怎样解读地震灾害能源匮乏环境恶化科学未决的世界性难题》,美国,犹他州,盐湖城,学术出版社(AMERICAN ACADEMIC PRESS).
- [6] 张大昌,彭前程,张维善.等人教版高中《物理》选修2010,4(3):4.
- [7] 张维善.人教版高中《物理》选修3—5.
- [8] 王树杰 王勇,《地震成因探讨》《2023年中国地球科学联合学术年会论文集—专题五十二 解剖地震、专题五十三 实验室地震》2023-10-14
- [9] (日)冈野大祐著,刘红曼译《雷电之书-解密自然与生命的原始能量》人民邮电出版社2016,4(1).
- [10] 人民教育出版社物理室:高中《物理》第二册(必修加选修)第十三章《电场》第119、120页,第139页图13-52 带电粒子的偏转.书号:ISBN 7-107-16500-3 G-9634(课),2003年6月第1版.
- [11] 《探索自然之谜》下册《地震成因》,第71页.北京东城区:华龄出版社,张宝盈著,2020.3.书号:ISBN 978-7-5169-1639-1 责编:郑建军.
- [12] 余涛等:《汶川特大地震前电离层主要参量变化》《科学通报》2009年第四期)《汶川地震前出现电离层异常》财经网,2009年3月17日.
- [13] 郝晓光、胡小刚:《宽带地震仪证实汶川大地震“震前重力扰动”》(《地球物理学进展》第23卷第四期,2008年8月,页码共4页,第1333页图1)
- [14] 吴立新等:《汶川地震发生前发现红外异常和云异常现象》,《北京科技报》2008年6月8日.
- [15] 中国气象局成都高原气象研究所闵文彬等:《“5.12”汶川8.0级地震前后气温变化特征浅析》2008年第二期。(2008年9月5日)
- [16] 曾中超、张蓓、方广有、王东峰、阴和俊:《利用DEMETER卫星数据分析汶川地震前的电离层异常》(《地球物理学报》第52卷第一期2009年1月,共8页,,第16、18页,第15页图2、图5).
- [17] 祝芙蓉、吴云、林剑、周义炎、熊晶、杨剑:《汶川8.0级地震前电离层TEC异常分析》《大地测量与地球动力学》第28卷第6期 2008年12月共16页.第19、20页.
- [18] 陈渭民:《雷电学原理》第二版,气象出版社,北京,第七章《雷暴云闪电》第151-152、166页。ISBN:978-7-5029-3675-4.
- [19] 钱刚业赵玉林:《关于“川滇地区1~3年可能发生特大地震的地电学方法检测应急措施方案”的建议(2003年12月)》,《国际地震动态》第8期,2008年8月,第一页:摘要。
- [20] 徐锡伟、闻学泽、郑荣章、马保起、李勇、陈立春、马晓静、李有利、王峰、朱艾澜:《2008年汶川M_s8.0地震地表破裂带的基本特征》,《地震地质》,2008,30(2):359-374.