

地震地电阻率前兆异常特征及其机理研究

王志贤¹⁾ 汪志亮²⁾ 赵成达²⁾ 余素荣²⁾ 彭远黔¹⁾

摘要 本文在全面整理我国大陆二十余年来的地电阻率观测资料的基础上,分析了地电阻率前兆异常特征及其与地震三要素之间的关系,给出地震强度(震级)与异常时间和震中距乘积的对数呈线性关系的实用结果,研究了不同类型地震地电阻率短临前兆特征及其在地震预报中的应用,探讨了地电阻率前兆变化的机理。

关键词 地电阻率 异常特征 机理研究

0 引言

我国使用地电阻率方法进行地震监测预报和探索研究已有二十余年,在此期间已积累了大量的现场观测资料,取得了不少有意义的地电阻率震例异常变化。不少同行对此进行过研究和报导。随着观测资料的积累,干扰研究的逐渐深入,因而识别异常的能力也不断提高。因此,对以往的震例资料进行全面系统的再研究,以寻求地电阻率前兆变化与地震之间的关系,探讨它们之间的物理联系,以期提高地电方法预报地震水平。本文试图在笔者以前工作的基础上,全面整理分析我国大陆地区多年来的观测资料,用“地电指南”有关方法,消除干扰,提取异常信息。重点研究了对震前有预报意义的地电阻率异常特征及其指标,并结合有关岩石压力实验结果,探讨研究地电阻率异常变化的机理。

1 使用资料和异常选取

本文使用了四川、云南、甘肃、江苏、山东、山西、河北、内蒙古、北京、天津等十多个省(市)所辖地电台的长期观测资料,对其观测质量特别是长期稳定性、连续性、可靠性进行了认真分析研究,其中绝大多数台的数据可供研究使用,个别台站的数据因其连续性、稳定性差,未能采用,如甘孜台,尽管在其观测期间,周围发生了不少中强以上地震,但因该台数据的严重不连续,不明原因的大幅度变化时有发生,背景值难以确定。

别外,对一些有明显年变化的数据进行了预处理,以期消除年动态干扰,突出异常信息。

1) 河北省地震局

2) 国家地震局分析预报中心

关于地电阻率异常选取,目前仍没有一个很好的统一标准。虽“地电指南”中规定地电阻率偏离正常值的变化幅度 $>1.5\%$ 且超过3倍均方差者为异常,但记录到的实际震例异常,幅度差别较大,即使同一强度地震,不同地区,不同台站的异常变化幅度也各不相同。地电阻率异常幅度与地震强度无明显相关关系。另外在地电清理和笔者研究的震例异常中,也有不少幅度小于 1.5% 的实例。因此认为,选取异常应该综合考虑地电阻率变化形态、幅度大小及持续时间等诸多参数。本文选取异常主要依据下述标准:(1)现场调查核实,排除一切可能的干扰因素,确认是真实异常变化;(2)电阻率变化具有一定的规则形态和一定的时间尺度;(3)偏离正常值的电阻率变化幅度($\Delta\rho_s$) >3 倍均方误差。如满足以上三条标准,即可视为异常。这里需要说明,以上判断给出的异常是指观测台址地下介质电性的真实变化,鉴于目前对有震异常(一般称其前兆)和无震异常的区别尚缺乏认识,故电阻率发生异常变化,不一定就发生地震,实际中也遇到有异常而无地震的实例^[1]。作者曾对华北地区进行过统计,其中无异常仅占少数,故只要发生电阻率异常变化,可望地震的报准率比较高,当然如何区分有震前兆和无震异常是今后研究的一个重要课题。

2 地电阻率异常特征及其与地震发生的关系

依照以上给出的地电阻率异常标准,分析我国大陆地区的地电观测资料,共总结出异常震例51个,其中7级以上强震7例;6.0—6.9级10例;5.0—5.9级12例;4.0—4.9级17例;3.0—3.9级5例。研究这些震例异常特征,特别是对分析判断震情有意义的震前变化特征,大致有以下几点:

2.1 地电阻率异常时、空演变特征

震例研究表明,不同强度的地震,在震中距大致相同的台站,观测到的地电阻率趋势异常时间是不相同的。即使同一强度地震不同震中距的台站记录到的异常时间也不一样。一般地电阻率异常时间有随震级的增大而增长,震中区异常往往出现得早,外围各台依次滞后,表现有由震中向外扩散传播的特点,对于7级以上强震这种现象尤为明显,如唐山、炉霍和松潘^[2]等几次强震前均观测到了这种异常现象(图1a、b)。

潘秋叶等同志对典型构造的光弹实验结果表明,当应力集中源形成以后,应力场在空间上呈扩散型,即随应力的增加,应力从集中源向外扩展。这与我们实际观测到的地电阻率异常由震中向外扩散传播的结果是一致的。

地电阻率短临异常的表现形态与趋势异常有所不同。有大幅度波动变化,转折反向,加速变化等多种形态。在时间演变上往往外围地区出现得早,靠近未来震中区的较晚,总的表现有由外围地区向震中区集中收缩的现象。图1c给出的是唐山7.8级强震地电阻率临震异常时间(开始到发震之间的时间)随震中距变化的实例。地电阻率的这一临震异常现象在地下水^[3]、地应力及多种宏观方法的前兆观测中均有表现。此现象有可能是临震前各种前兆现象的一个共同特征。用牛志仁的震源孕育膨胀——蠕动模式^[4]能够比较好的解释地电阻率临震异常现象。该模式认为,震源孕育一般经历几个阶段,其中在发震前的前兆蠕动(或断层破裂)的急速发展阶段——短临阶段,出现了非弹性变形区(膨胀区)向未来地震发源地的急剧收缩,破裂速度和膨胀速度急剧增大,震源应力

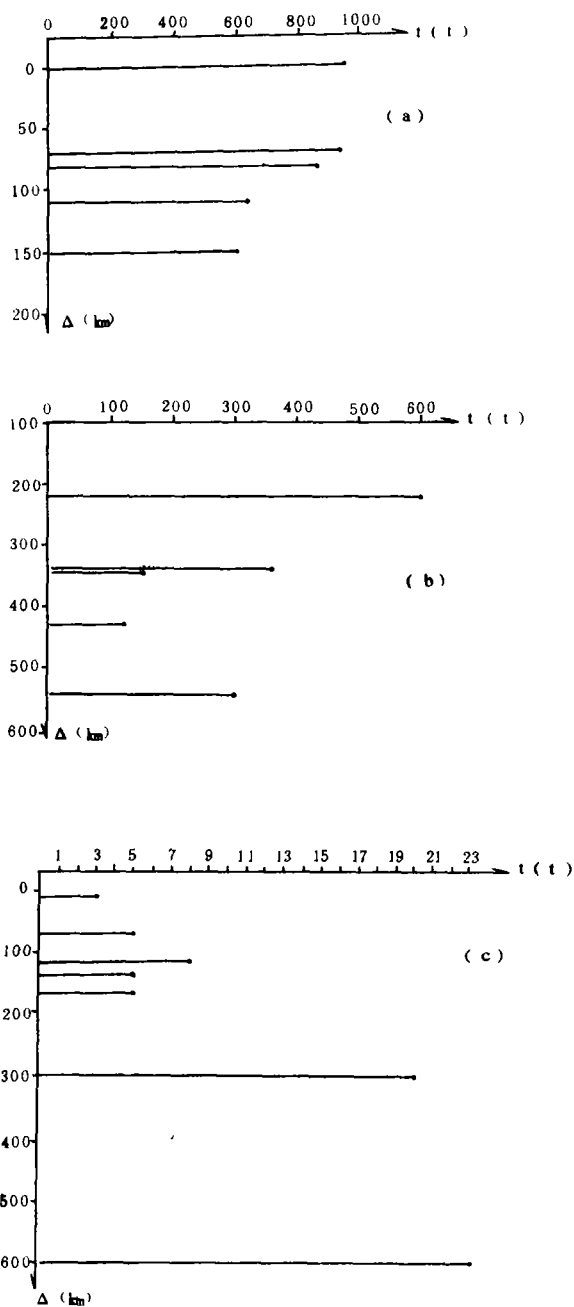


图1 地电阻率异常时间 (t) 与震中距 (Δ) 的关系

- a 唐山 7.8 级地震;
- b 炉霍 7.9 级地震
- c 唐山 7.8 级地震 ps 临震异常

场和应变场急剧变化, 膨胀和破裂传播向未来震源区迅速发展, 微裂缝迅速张合。在此期间将可能出现地球物理场、地球化学场、形变场的急剧变动, 从而出现各种突发式的短临前兆变化。对应变变化有灵敏响应的介质电阻率此时也将发生加速、突跳、大幅度波动及转向等急剧变化, 在空间上表现出由外围向未来震中集中收缩等现象。这将预示着地震即将发生, 是预报发震时间的一个重要指标。

地电阻率异常的空间展布范围与地震强度密切相关。尽管地电阻率异常在地域分布上表现出不均匀性, 但就空间范围而言, 仍显示出一定的规律性。中强地震异常数量少、分布范围小, 7 级以上强震, 异常展布范围较大, 异常数量亦较多。从全国震例统计结果, 对于 7 级以上强震, 电阻率异常空间展布可达 300—500km, 由于不同地区介质电性的明显差异和区域构造环境的不同, 地电阻率异常的展布范围也表现出一定的差别, 我国南部地区相对于北部地区其异常范围普遍偏大。

地电阻率异常变化的时空演变特征为分析预报地震强度和发生地点提供了较好的判据。

2.2 地电阻率异常时间与震级、震中距的关系

根据以上地电阻率的异常特征, 分析研究了全国 51 次震例的异常时间 (t), 震中距 (Δ) 和地震强度 (M) 之间的关系, 需要指出, 研究震例异常, 目的在于分析判断震情, 预报可能发生的地震三要素。

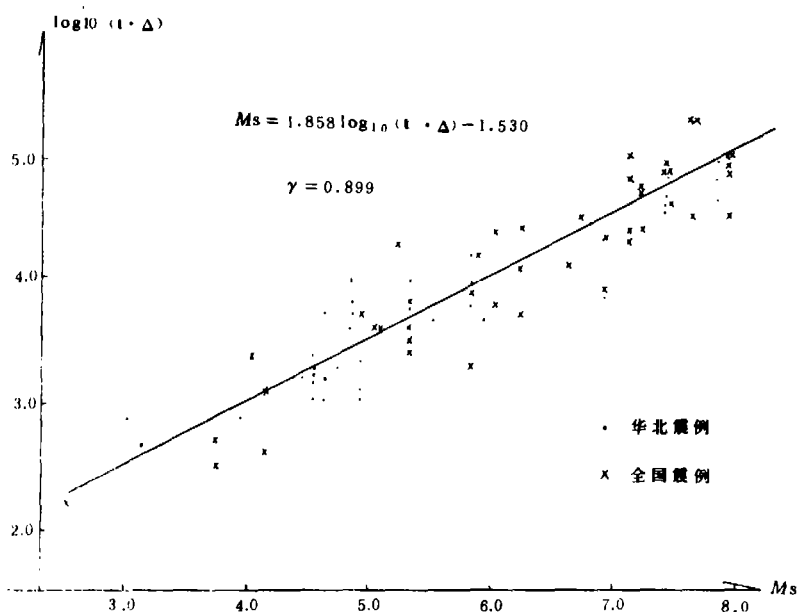


图2 地电前兆异常时间(t)、震中距(Δ)与地震强度(M_s)的相关关系。

因此,这里给出的异常时间是指异常开始到极值点(因为多数地震发生在异常转折之后)之间的时间段,图2给出了统计结果。

图中的“·”是笔者根据华北地区22次震例异常统计结果^[5]，“×”是全国其他地区震例资料给出的结果。不难看出,全国不同地区的地电阻率震例异常都符合这一统计规律,即

$$M_s = 1.858 \text{Log}(t \cdot \Delta) - 1.530$$

该式的主要特点是:(1)能够充分利用所有异常台站的资料;(2)有明确的物理含义。即把地震孕育过程中应力随时间的增长和应力逐渐向外扩展的范围两个因素联系起来,综合反映了一个地震孕育的时间尺度和应力积累的空间展布范围。可以看出,当震级一定时异常时间 t 与震中距 Δ 成反比, Δ 越大,则 t 就越短,反之亦反;(3)具有普适性。即对不同地区,不同台站($\Delta=0$ 除外)都普遍实用。

2.3 地电阻率异常演变过程与地震发生的关系

尽管不同震例异常的发展变化细节不尽相同,但总体形态基本相似,并且都大致经历了趋势下降(或上升)——转折反向——趋于恢复(有的不一定完全恢复)三个主要特征时段,如图3所示。

地震在异常发展的三个不同时段随机发生,但各时段发生地震的概率有显著不同。(见表1)

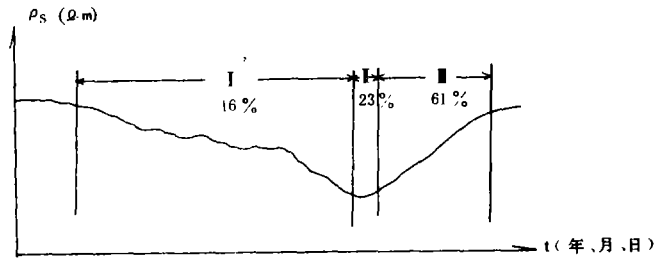


图 3 地震地电阻率前兆异常示意图

表 1 地电阻率不同时段发震的概率统计

异常时段	I	II	III
异常次数	14	25	79
概率 (%)	12	21	67

表中统计给出了 44 次 $M_s > 5.0$ 级地震共计 118 道次的电阻率异常曲线。其中在电阻率异常极值点之后至异常恢复期间的发震概率为最高 (67%)，异常开始至极值点前的发展过程中发震概率最低仅 12%，在极值点附近发震的概率居中为 21%，如果把发生在三个不同异常时段的地震分为 I、II、III 三个类别，那么具体分析研究各类地震之前地电阻率异常变化特征，特别是短临前兆现象，对预报发震时间具有实际意义。

I 类地震，该类地震在电阻率趋势下降（或上升）阶段随机发生，震前一般没有明显的临震标志。因此，要切实预报出此类地震的三要素特别是时间的预报十分困难。研究发现，其中部分震例异常演化过程与区域地震活动性存在有相关现象。文献 [1] 给出了隆尧台地电阻率异常变化过程与该区地震活动频度之间的相关关系，本文再给出一个观测实例，如康定台于 1975 年 11 月开始出现电阻率趋势下降，1976 年 8 月速率减慢并略有反向变化，发生了 16 日的松潘 7.2 级双震 ($\Delta = 350\text{km}$)，之后电阻率仍复下降，次年 10 月达低值而转折回升，发生了宁蒗 6.8 和 6.9 级地震 ($\Delta = 300\text{km}$)。随后异常快速恢复。以上震例表明，一次异常变化或与一次单发地震有关，或与其周围多个较强地震孕育发生有关，即反映了较大区域多点应力应变的积累和加强过程。

II 类地震，发生在异常极值点附近的地震均属此类，其中多数震前电阻率出现临震现象，如图 4 所示。

从图 4 看出，尽管震前不同台记录到的电阻率异常变化形态不同，有的表现为速率加快，有的是大幅度突跳，波动，亦有急速转折反向，但都表现出与趋势异常的明显差异。显示了应力应变的急剧变化和不稳定状态。这些电阻率异常变化可能是此类地震的临震标志。

值得提及的是昌黎台和武都台分别在唐山 7.8 级和松潘 7.2 级地震前观测到了十分相似的临震加速变化^[6]。地震均发生在异常低值点附近，为地电方法预报强震的时间

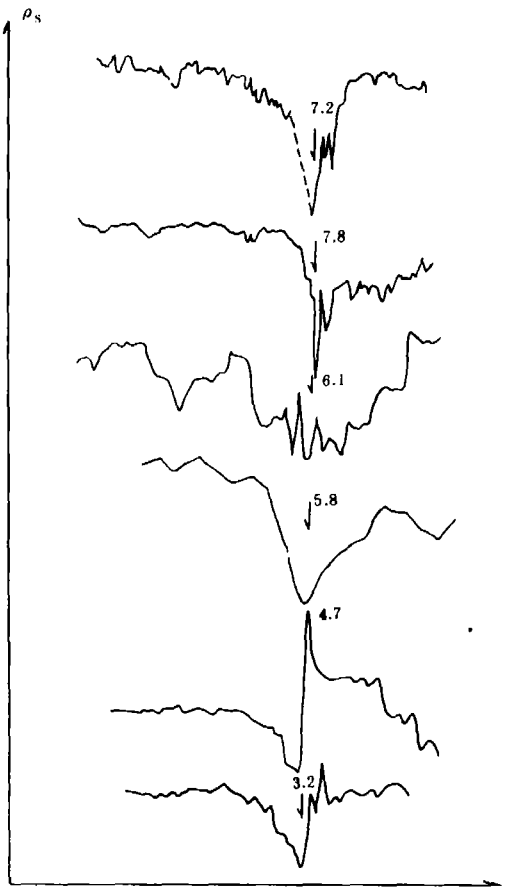


图4 II类地震前的电阻率临震异常变化曲线

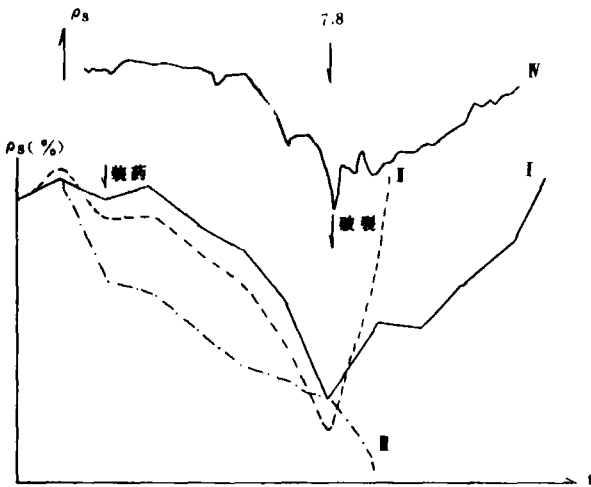


图5 岩石标本电阻率实验结果与地震地电阻率异常曲线对比图

提供了一个有意义的观测实例。如果采用高精度自动记录仪器,可望在多数中强以上地震之前有可能观测到此类临震现象。

III类地震,此类震例占其多数,临震现象一般不甚明显,而总体异常的转折反向变化将预示着该类地震可能随时发生。此时应进入预报期,据华北地区该类地震发生的时间分布的统计,发生在异常转折后数天至三十天之内的地震占该类总震数的73%^[5]。因此,渴望作出该类地震短临预报的概率较高。

此外,地电阻率前兆异常变化还具有区域性、方向性和阶段性等诸多特征,包括笔者在内的不少同行已有较多的研究和报导。限于篇幅,本文不再一一列举。

3 地电阻率异常变化与某些实验结果的对比——地电前兆异常机理探讨

目前人们用压力实验、岩石的破裂过程来模拟研究地震孕育发生机制,同时也进行了各种前兆实验观测,取得了一些有意义的结果。现在我们用岩石压力实验所得到的电阻率变化结果与地震现场实际观测到的地电阻率震例异常进行对比分析,以探讨研究地电阻率前兆异常的机理。

国内外不少关于电阻率随压力变化的岩石实验结果表明,无论是单轴压缩或是围压实验,受压后电阻率表现为以下降为主的基本形态特征。我国二十年来实际观测到的以下降为主的地电阻率前兆变化特征与实验结果相一致。文献[7]给出了电阻率随应力—应变变化的全过程的实验结果,比较好的解释了实际观测到的一些地震地电阻率异常现象。该实验是用缓慢膨胀力源模拟地震孕育,发震和震后应力调整全过程。研究了大型花岗岩标本在破裂过程中的电阻率变化和声发射前兆特征。

结果表明，在岩石破裂过程中，不仅观测到了电阻率趋势变化和短临异常，而且还记录到了清晰的破裂前兆。

图 5 是花岗岩试件破裂前后观测面（一）（三）道平行测线的电阻率变化日均值曲线（a），同图给出了唐山 7.8 级地震昌黎台的电阻率异常曲线（b），对比可见，二者不仅总趋势一致，就是变化细节也十分相似，由于被遭破坏的观测面（一）上三条测线距力源和破裂区的距离不同，因而各测道电阻率变化表现出明显的差异。远离破裂区的测道（I）渐趋恢复，靠近破裂区的（II）、（III）测道分别出现急速回反和大幅度下降。现场观测到的震例异常现象如趋势变化，临震加速，近震中变化时间早，幅度大和地震发生在异常发展的不同部位等异常现象与该实验不同测线所得到的结果有较好的一致性。表明地电阻率异常变化反映了岩石受力变形、破裂及应力调整等全过程。即地电阻率变化与地震的孕育发生存在有内在联系。

地震是岩石介质受荷载状态下的失稳过程，具有突然和非恒变速率的性质，通过非稳态加载情况下的岩石破裂实验^[8]，结果表明，岩石大破裂不是在应力的峰值处，而是发生在峰值之后某一个应力降 $\Delta\sigma$ 之处，现场观测到的绝大多数震例都是发生在电阻率异常极值点之后，仅少数地震发生在极值点附近或之前。这与上述实验所得结果较相一致。地震在异常发展不同时段随机发生，除孕震条件外，可能还与地电台址条件，构造环境，触发机制等有关。但多数地震发生在异常极值点之后的观测事实不能不说明孕震过程中岩体介质的力学性质和受载状态的本构关系起着决定作用。

4 结 语

本文着眼于震前预报，再次研究了我国大陆地电阻率震例异常特征，重点分类研究了在异常发展的不同部位所发生的地震的地电阻率短临前兆特征及其预报地震三要素定量指标。实际震例地电阻率异常变化与某些岩石实验结果对比分析，二者有较好的一致性，表明地电阻率变化与地震的孕育、发生有内在联系。该方法作为监测地震预报是大有发展前途的。

（1992 年 7 月 5 日收到初稿）

参 考 文 献

- 1 王志贤，等．西安台电阻率常年变化分析．地震预测—地电方法论文集，福州：福建科学技术出版社，1985. 122—129
- 2 四川省地震局编．一九七六年松潘地震．北京：地震出版社，1979. 18—19.
- 3 李宣瑚．水氧异常的扩散收缩现象．地震，1981，（5）：41—42.
- 4 牛志仁．构造地震的前兆理论．地球物理学报，1978，21（3）：206—208.
- 5 王志贤．地电阻率异常特征及其与地震三要素关系初探．地震预报方法实用化研究文集—地磁地电专辑．北京：学术书刊出版社，1990. 257—263.
- 6 钱复业，等．大地震前后地电阻率的前兆现象．地震预测—地电方法论文集，福州：福建科学技术出版社，1985. 86—87.
- 7 陆阳泉，等．大型花岗岩标本缓慢膨胀破裂过程中电阻率和声发射特征的实验研究．西北地震学报，1990，12（2）：36—40.
- 8 唐九安，等．岩石破裂的前兆变形率、前兆应力降及临震前兆．地壳形变与地震，1990. 10（3）：13—14.

A STUDY OF THE PRECURSORY ANOMALOUS CHARACTERISTIC OF SEISMIC EARTH RESISTIVITY AND ITS MECHANISM

Wang Zhixian¹⁾ Wang Zhiliang²⁾ Zhao Chengda²⁾ Yu Surong²⁾ Peng Yuanqian¹⁾

Abstract

This paper, basing on the observational data of earth resistivity in more than 20 years on the Chinese continent, analyzes the relation between the precursory anomalous characteristic of earth resistivity and the earthquake's three elements; presents a practical result in which the earthquake strength shows a linear relation with the logarithm of product of anomaly duration and epicentral distance; studies different kinds of short term and imminent precursory characteristics of seismic earth resistivity and their application in earthquake prediction, discusses the precursory variation mechanism of earth resistivity.

Key words: earth resistivity, anomalous characteristic, mechanism study.

1) Seismological Bureau of Hebei Province

2) Center for Analysis and Prediction SSB.

(上接 88 页)

A DISCUSSION ON THE CAUSE OF SUDDEN JUMP OF WATER RADON AND GAS CONSTITUENT CONTENT IN HUAQINGCHI NO. 4 SPRING AND THE ELIMINATION OF ITS INTERFERENCE

Shi Yaqin Wang Caiyun

(Seismological Bureau of Shanxi Province, Xian)

Abstract

By dewatering test on Huaqingchi No. 4 spring at Lintong, it is concluded that the sudden jump of hydrochemical constituent radon, helium and oxygen content was caused by randomly stopping and starting pump at the dewatering well, the sudden jump amplitude was related with the time length of stopping and operating pump, and a method to quantitatively eliminate it has been given. The test result can be used for reference for other observational points similar to the No. 4 spring.

Key words: water radon, gas constituent, radon, helium, oxygen