

唐山地震前后自然电场的周期变化*

赵玉林 钱复业

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

在唐山地震前两个月至主震后约半年的时段内,西集、宝坻、塘沽等三个地电观测台自然电场断续出现特定周期的变化:其周期为半月、一月及半年;其双振幅每公里达数十乃至一、二百毫伏(超过平时观测标准误差6—20倍);电场呈线性极化,其方向大致平行台址附近断裂带的走向。若把这种变化同复杂的干扰区分开并与理论重力值对比,似与日、月起潮力有所联系。其中半月周期变化的极值点,还与震中周围两口废油井间歇自喷现象同时出现,表明电场的这种变化可能与断裂带内地下液体运动状态的变化有关,故认为是一种过滤速度受起潮力调制的过滤电场。微小的起潮力只在主震前后一段时间内才引起这种过滤电势的变化。

前 言

随着地电阻率观测在全国主要地震区的开展^[1],有一百余个地电阻率观测台同时开展了自然电场水平分量的观测。1976年唐山主震前及同年11月15日6.9级强余震前后,距震中不超过120公里的西集、宝坻、塘沽三个地电观测台,出现了自然电场的周期性变化:其双振幅超过平时观测标准误差6—20倍;电场矢量方向大致平行于台址附近断裂带的走向;其周期为半月、一月或半年,基本上与固体潮的周期一致。主要根据其周期性,有可能把这种变化同复杂的干扰区分开。这是由于水文、降雨及其它气象条件的改变、电极极化、工业杂散电流等对电场的干扰,均无这种特定的周期性。地球交变电磁场的影响虽有周期性,但这种特定周期电场幅度甚小,不超出平时观测标准误差。

本文将首先分析观测资料的可靠性、然后介绍唐山地震前后自然电场出现周期变化的现象,最后简要讨论引起这种现象的可能机制。

一、资 料 情 况

距唐山主震震中120公里内共有7个自然电场观测台,其中西集、塘沽、宝坻等三个台(图1)自然电场出现周期性的变化,尤以西集台的变化更为突出。这些台的电场观测,用极化电势较小、且较稳定的铅板作电极,两极相距数百米(见表1),极间地面无显著高差(一般不超过1—2米)。沿磁南北及东西方位埋设电极,构成两个测道。电极埋深1.5—

* 1980年6月24日收到。

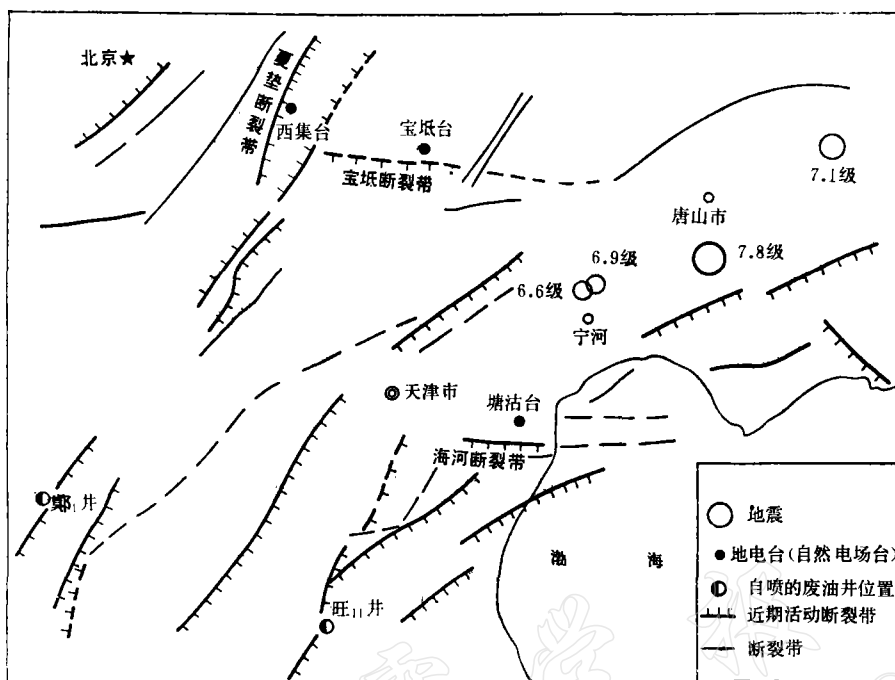


图1 自然电场观测台位置及断裂构造分布图

表1 台站情况一览表

台 站	震中距 (公里)	测量电极 MN 距离 (米)	第四系岩性	台址附近断裂情况
西集	120	380	300米内为砂、粘土互层， 透水性好	北北东向夏垫断裂，第 四纪活动明显
塘沽	80	600	90米以上地下水为咸水	北西向西海河断裂
宝坻	80	200		东西向宝坻断裂，第三纪 活动，第四纪活动不明显

2 米，不受地表层季节性冻结(冻结深度约 0.8 米)或融化的影响，接地电阻约在数十至一、二百欧姆之间。

电极通过导线(通常绝缘良好，无漏电干扰)与高输入阻抗(8 兆欧姆)的直流毫伏计(DDC-2 型电子自动补偿仪)相联。在所使用的量程内，仪器误差不大于 1.5%，震前、震后曾用标准电位差计校准，未发现仪器精度有系统偏差。本文取周期变化出现以前一个月(1976 年 4 月 29 日至 5 月 28 日)的资料，求得平时观测标准误差：西集台东西道为 1.36 毫伏/公里；南北道为 1.56 毫伏/公里。塘沽台东西道为 0.50 毫伏/公里。宝坻台东西道为 22.0 毫伏/公里。显然用这种方法求得的平时观测标准误差，尚包含着周期小于 1 个月的地球自然电场变化等干扰在内，故可同时用来估计平时干扰的水平。

西集等三个台工业杂散电流及风吹导线摆动、切割地磁场而感生的干扰水平，一般不大于 0.2—1.0 毫伏/公里。本文以日均值(每天不少于 6 次观测的平均值)为原始资料，故无需考虑周期小于 24 小时的地球自然电磁场等干扰。由于电极长期埋置，其极化电动势

随地下水位的升降、雷雨等气象条件而变化,成为一种干扰。本文对此类干扰采用与往年同期资料对比的方法加以识别。如对比西集台历年实测曲线,发现该台平时有雷雨或水渠流水引起的突然变化,有正常的周年变化以及原因不明的长期变化(图6中1975年电场曲线),而1976年却出现以前各年未曾出现过的周期变化。对比1976年降雨资料,未发现震前周期性电场变化与降雨有关,只在小范围内,局部台站出现振幅较平时干扰水平大数倍以上的周期性电场变化,可排除电离层的影响。

为对比各台自然电场变化的方向,本文统一了测量极性,即电位差值上升表示各台东西道西极电位比东极电位升高,对南北道则表示南极电位比北极电位升高。为突出变化,对西集台部分资料进行3日和15日滑动平均,并绘制剩余值(即3日和15日滑动均值之差)曲线。

二、唐山主震前后固体潮引潮力与自然电场的周期变化

1976年唐山主震前及6.9级余震前后,西集、塘沽、宝坻三个台的自然电场出现半月、一月及半年三种周期变化,似乎分别与固体潮引潮力有所联系。

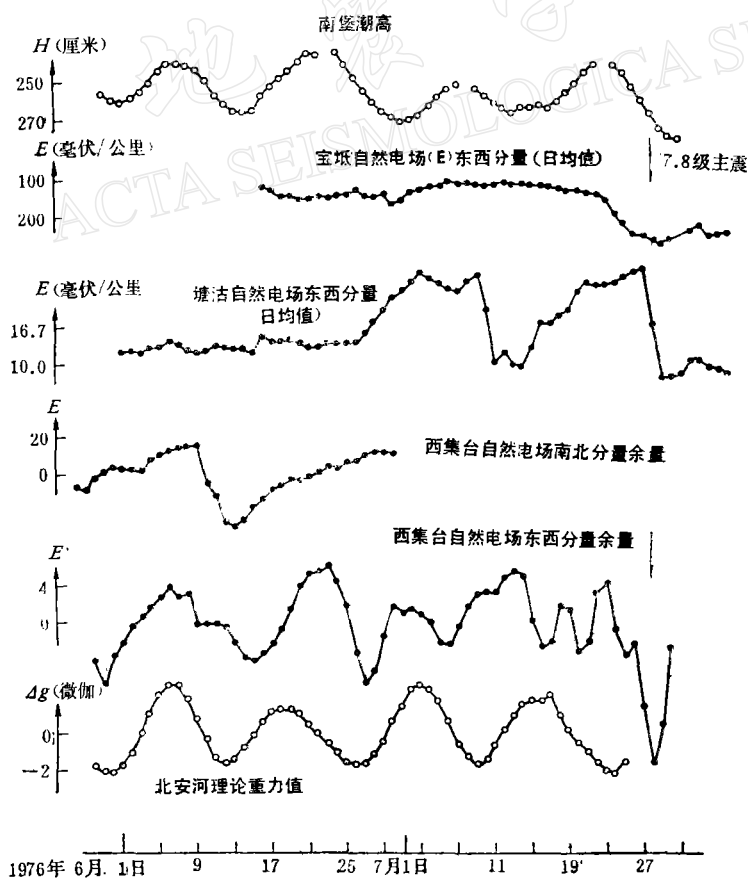


图2 唐山主震前半月周期电场变化与重力理论值、海潮潮高变化对比曲线图

1. 半月周期变化的电场

图 2 给出唐山主震前半月周期电场的变化曲线。其中西集台为剩余值(即 3 日与 15 日滑动值之差)曲线,塘沽、宝坻台是实测日均值曲线。从图中可见,7 月 22 日(主震前 6 天),宝坻台东西道电场值出现明显上升(为了对比,图中宝坻台纵座标向下为正),7 月 29 日呈现极大值,7 天(约为这种变化的半周期)内累积上升幅度达 140 毫伏/公里。塘沽台东西道自 6 月 26 日开始出现周期变化,经两个完整周期变化以后,发生唐山主震,震后电场值突降,并于 7 月 29 日出现极小值。西集台南北道从 5 月 28 日出现半月周期变化,6 月 24 日以后转成半年周期为主的变化(图 6);东西道自 5 月 29 日出现周期变化,经两个周期后,至 7 月上、中旬周期性变得不甚明显,于主震前 6 天(约为这种变化的半周期),电场值再次明显下降,主震即发生在这次变化的极小值附近。各台电场极值出现日期及周期如表 2 所示。其振幅及超出平时观测标准误差的倍数列于表 3。

表 2 唐山主震前半月周期电场特征

朔望日期	西集东西道		西集南北道		塘沽东西道		宝坻东西道	
	极小日期	周期	极小日期	周期	极小日期	周期	极大日期	半周期
1976年 5 月29日 朔	5 月30日		5 月28日					
1976年 6 月12日 望	6 月15日	16天	6 月13日	16天				
1976年 6 月27日 朔	6 月27日	12天			6 月26日			
1976年 7 月11日 望	反相?				7 月14日	18天	(7 月22日 开始上升)	
1976年 7 月27日 朔	7 月28日				7 月29日	15天	7 月29日	7 天

表 3 唐山主震前半月周期电场振幅

台站测道	电场振幅	振幅(毫伏/公里)	(振幅)/(平时标准误差)
西集东西道		10	6 倍
西集南北道		40	25倍
塘沽东西道		12—18	24—36倍
宝坻东西道		140	6 倍

图 3 给出西集台半月周期电场矢量端图(图中箭头指向为电场的负方向)。从图中可见,该台半月周期变化电场大体呈线性极化,其长轴指向为北北东。对比图 1 可知,半月周期变化电场的方向大体与台址附近第四纪活动断裂——夏垫断裂的走向平行。

塘沽、宝坻两台震前南北道电场基本无变化,仅东西道出现半月周期变化(图 2),其电场为线性极化,极化方向为东西,分别与台址附近的海河断裂及宝坻断裂(图 1)的走向大体平行。

主震之后三个多月,11 月 15 日 6.9 级强余震前 7 天,西集台东西道电场再次出现半

月周期的变化(图4),最大振幅超过30毫伏/公里,比平时观测误差大20余倍.这次变化时逢冬季,可完全排除降水、漏电等干扰.6.9级余震发生在电场的极小值处,震后连续出现两个完整半月周期的变化.其极小值出现时间及周期如表4所示.将表2及表4所列的周期值平均,得出这种变化具有 $15\text{天} \pm 1.8\text{天}$ 的周期性.

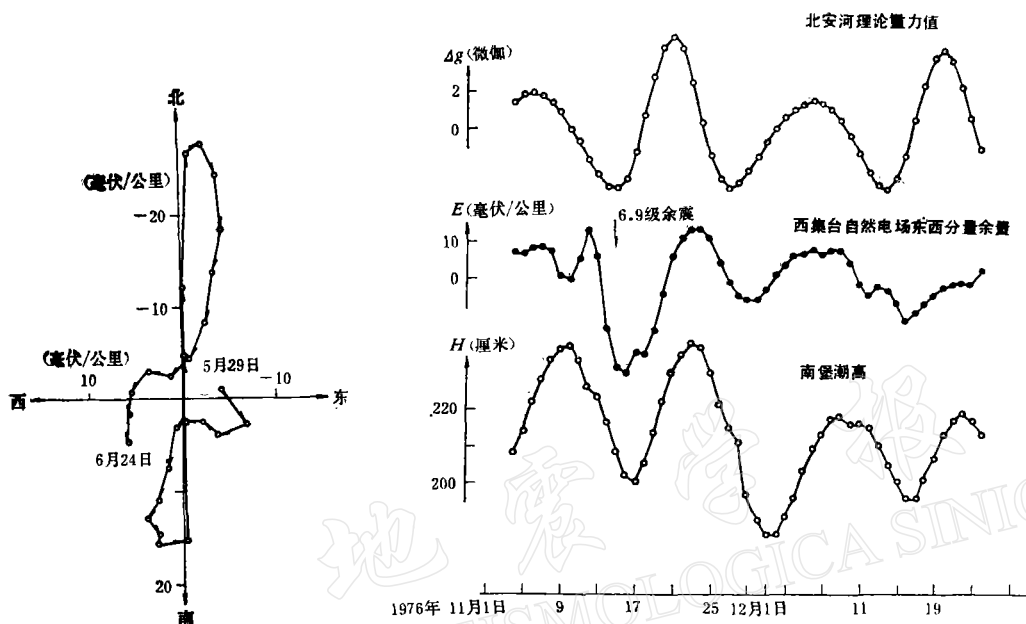


图3 西集台半月周期电场
矢量端图

图4 唐山6.9级强余震前后西集台半月
周期电场变化曲线

为了对比,在图2和图4中还绘出这几个电台附近的北安河台理论重力值及南堡港海潮潮高值曲线.从图中可见,半月周期变化的电场与月球半月周期引潮力相关.从表4可知,电场较半月引潮力滞后1—3天.

表4 6.9级余震前后西集台东西道半月周期电场特征

理论重力极小值日期	电场极小值日期	电场周期
1976年11月15日	1976年11月16日	
1976年11月27日	1976年11月30日	14天
1976年12月14日	1976年12月16日	16天

2. 月周期变化的电场

图5(a,b)分别绘出主震前及6.9级强余震前后,西集台东西道电场15日滑动平均值曲线.在图5(a)中,除见到7月份长趋势干扰下降(与1975年曲线对比可知,此长趋势下降属正常季节性变化的一部分)外,在主震前两个月内,电场还隐约出现幅度为3毫伏/公里的月周期变化,其振幅虽仅是平时标准误差的2倍,但曲线为多点连续趋势性变化,显示出月周期变化的客观存在.

在图5(b)中可见,电场于11月15日6.9级强余震前半个月再次出现月周期变化,其

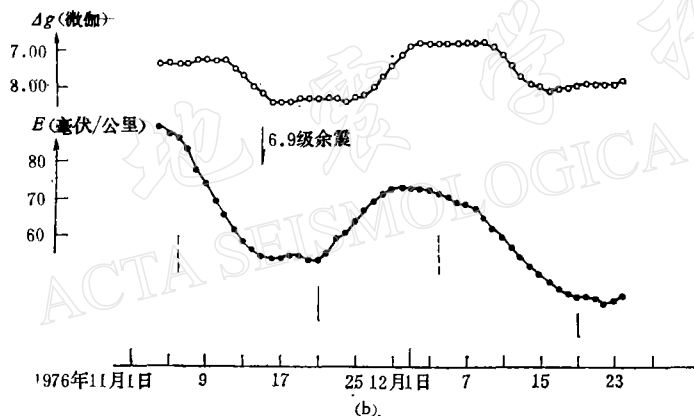
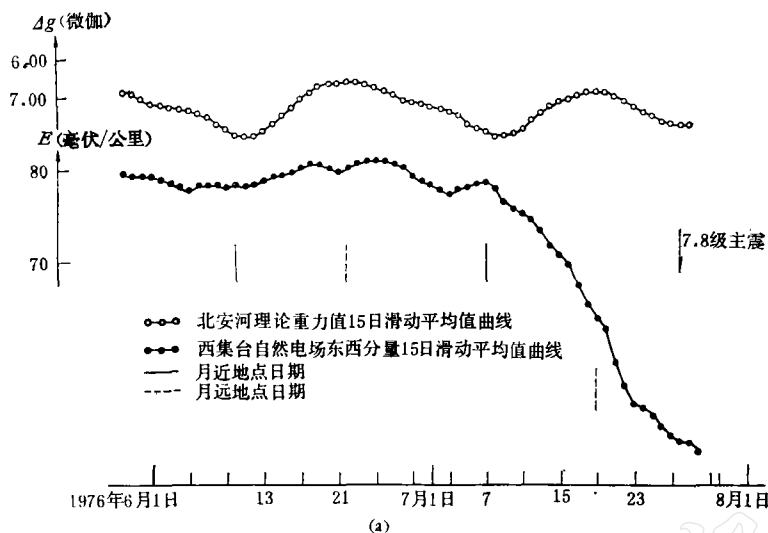


图5 月周期变化电场与理论重力值对比曲线

(a)——1976年7月28日唐山7.8级主震前月周期电场

(b)——1976年11月15日6.9级余震前后月周期电场

振幅竟达 20—30 毫伏/公里, 超过平时观测标准误差 14 倍。对比图中绘出的重力曲线, 可看出电场的这种变化与重力月周期变化同步。电场极小值和极大值分别出现在月球近地点及远地点(如图中短竖线所示)附近, 表明电场的月周期变化与引潮力有关。

3. 半年周期变化的电场

西集台南北道电场于 1976 年 6 月中(主震前一个半月)开始上升(图 6), 于 1976 年 7 月 7 日达极大值, 7 月 29 日主震后单点跃变除外, 另一极大值出现在 1977 年 1 月 14 日, 其周期为 191 天(约半年)。其振幅达 200 毫伏/公里, 超过平时季节变幅 4 倍以上。与 1975 年曲线对比可知, 这是以往从未出现过的一种变化。虽然它的开始日期似与 1976 年 6 月 14 日北测量电极附近稻田灌水有关, 然而以后出现的周期性变化却很难解释为灌溉的干扰。

半年周期变化的电场仅在南北道出现, 东西道并无显示, 表明这种变化是近南北向线

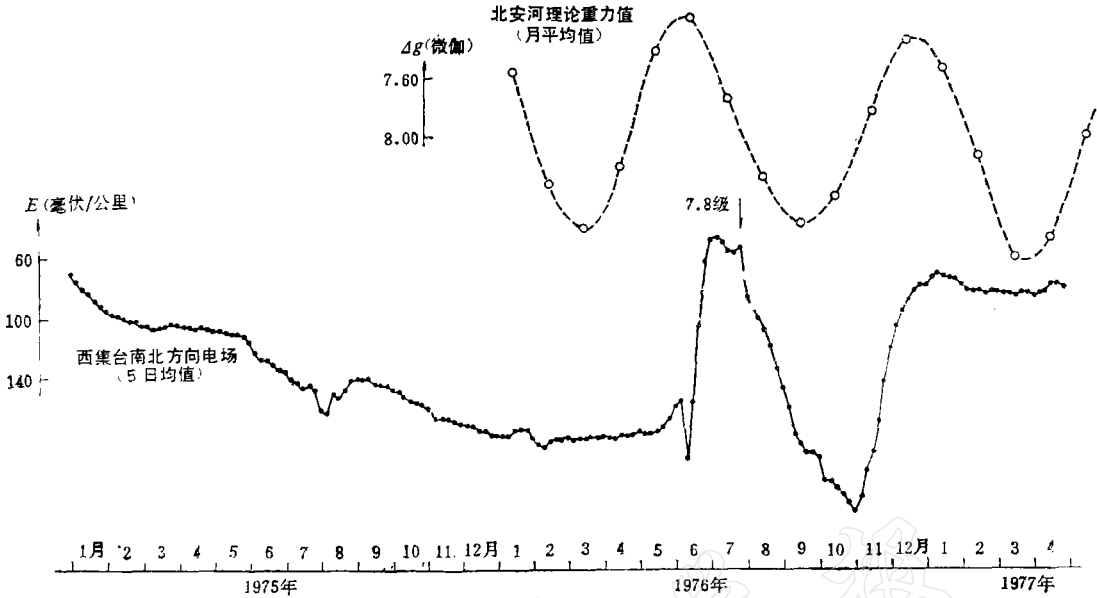


图 6 唐山主震前后西集台南北方向半年周期变化的电场与北安河重力半年潮对比曲线

性极化的,其方向可能与台址附近北北东向夏垫断裂的走向有关。

对比图中半年引潮力(实为重力月均值)曲线,发现这种变化电场与半年引潮力同步。电场极大值点分别位于夏至和冬至附近,而极小值点则位于秋分附近(表 5)。从表中可见,电场极值点较地心天象点平均滞后 27 天±13 天(即相位滞后 53°±26°),表明这种变化可能与太阳半年周期引潮力有关。

表 5 唐山地震前后西集台南北道半年周期电场特征

电 场	1976 年 7 月 7 日 极大	1976 年 11 月 4 日 极小	1977 年 1 月 4 日 极大	周期 191 天
地心天象	1976 年 6 月 21 日 夏至	1976 年 9 月 22 日 秋分	1976 年 12 月 22 日 冬至	二至点间隔 184 天
电场滞后(天)	16	42	23	周期差 7 天

三、自然电场周期变化与废油井自喷现象的对比及讨论

距唐山主震震中约 150 公里的两口废油井旺_{II}和郑_I(图 1),于唐山主震前后曾发生间歇性自喷现象¹⁾。两口井距西集等地电台不超过 150 公里。旺_{II}井濒临北北东向沧东断裂,郑_I井位于北东向任丘西断裂的北端。井深约 3000 米左右,未达主要储油层,以前从未开采过。在唐山主震前后两口井发生间歇性强劲自喷,有时喷出地面的油柱可高达 20 余米,其自喷时间如表 6 所示,为了对比,表中还给出西集、塘沽两台东西道电场半月周期变

1) 胡长和,唐山大震前废油井自喷,地震战线,6,1979。

化极小值的日期。从表中可见,废油井间歇自喷均发生在电场极小值附近,也具有半月周期。这表明电场变化与废油井间歇自喷也有联系。

表 6 废油井自喷与电场半月周期极小值出现时间对比表

井喷编号	旺 ₁₁	郑 ₁	电场极值		地 震
			西集东西道	塘沽东西道	
(电场开始出现极小)			1976年5月30日		
第一次	1976年6月中旬 (持续一天)		1976年6月15日		
第二次	(十几天后)1976年 6月下旬(持续一天)		1976年6月27日	1976年 6月26日	
第三次	1976年7月10日前后 (持续喷射3天)	1976年7月中旬 (持续一天)	?	1976年 7月14日	
(主震)			1976年7月28日	1976年 7月29日	1976年7月28日 7.8级主震
第四次	1977年3月29日至 4月1日(持续4天)	1977年3月28日 (持续一天)	1977年3月30日突 降,4月1日极小		

鉴于废油井间歇自喷,是唐山震中周围某些断裂带中流体渗流速度(或渗透系数,或孔压梯度)在地震前后发生变化的一种证据,故认为电场变化也与渗流速度的变化有关。

文献[2]指出,过滤电场值 E_f 正比于岩石中液体的过滤速度 V :

$$E_f = qV \text{ 或 } E_f = -qk\nabla p \quad (1)$$

式中比例系数 $q = 2\varepsilon\rho_{\text{f}}n\zeta/\phi^2$, ε 为溶液的介电常数; ρ_{f} 为多孔岩石电阻率; n 为毛细管密度; ϕ 为孔隙度; ζ 为动电电势,在天然岩石中通常为负值,故过滤电场方向常与过滤速度方向相反。(1)式表明过滤电场值与孔压梯度 ∇p 成正比,量值的大小取决于渗透系数 k 及比例系数 q 。比值 $E_f/\nabla p = C$ 称流动电势系数,对岩石 C 的数量级一般为1—100毫伏/巴。事实上,这种机制产生的异常强度,取决于非均匀介质接触面两侧流动电势系数的差($C_1 - C_2$),断裂带两侧这个差值($C_1 - C_2$)可有10—20毫伏/巴的数量级^[3]。若把唐山地震前现场所测振幅为10—200毫伏/公里的周期变化电场,解释为孔压梯度的变化时,其量级应为1—10巴/公里。文献[4]指出,在天然岩体中,当渗透性很小时,单位孔压梯度下所产生的过滤电场的绝对值,主要取决于渗透系数 k 。即 k 大时,电场的绝对值也大; k 很小时, E_f 实际上变为零。据此也可把西集等台震前所观测的电场变化,解释为渗透系数 k 的变化。例如,图6中1975年西集台南北道电场的持续下降(绝对值增加),可解释为该处南北向 k 值的不断增加;而1976年6—7月间电场上升(绝对值减小),解释为 k 值的减小;随之出现的半年周期变化则解释为 k 值的周期性变化等等。

由于过滤电流存在的充分必要条件是沿不同流动电势系数的分界面有压力梯度分量^[3],震前震中附近断裂带可满足此条件,此外沿断裂带的渗透性远高于岩体原始(孔隙)的渗透性^[5],故临震前后仅在震中周围断裂带附近观测到方向平行于断裂走向的水平电

1) 文献[2]中 $q = 2\varepsilon\rho_{\text{f}}n\zeta$, 无因子 $1/\phi$, 但公式是 $E_f = qv$, 其中 v 为毛细管中溶液的平均速度,且 $v = V/\phi$ 。鉴于 V 较实用,故置换。

场异常。

唐山地震前断层位移测量发现,北京地区(距震中约 150 公里)一些断层显示出较为明显的错动^[6]。当位移沿裂隙发生时,裂隙的平均张开度会发生变化^[5]。这一方面会改变这些断裂带微裂缝的体积比,另一方面会影响到渗透系数。文献[5]指出,当岩石微裂缝具有很高的体积比时,它们的张开度对所施加的应力是非常敏感的。这就可能使西集等台电场只在临震前、后才对微小引潮力产生异常响应,从而引起半月、一月及半年的周期变化。

四、结 语

唐山主震震中周围某些断裂带附近的三个自然电场观测台,仅在主震前两个月及震后约半年的时段内,出现特定周期性变化的自然电场。其周期为半月、一月及半年,似与固体潮的周期同步;其振幅甚强,可超过平时观测标准误差数倍至数十倍;变化电场呈线性极化,其方向大体平行于台址附近断裂带的走向。根据这些特点,能把这种电场变化同各类干扰区分开。

经与理论重力值及震中周围废油井间歇自喷现象对比,推测临震前、后固体潮引潮力可能导致电场的这种变化,且是台址附近断裂带中孔压梯度或渗透系数,随引潮力而周期改变所产生的一种过滤电势变化。

文中所用原始数据是西集、宝坻、塘沽等三个台的同志们辛勤观测的结果。在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 钱复业、赵玉林,地震前地电阻率变化十例,地震学报,2, 2, 1980.
- [2] A. П. 克拉耶夫,地电原理,上册(中译本),地质出版社,1954.
- [3] D. V. Fitterman, Theory of electrokinetic-magnetic anomalies in a faulted half-space, J. G. R., 84, B11, 1979.
- [4] B. H. 达哈诺夫,石油与天然气产地电法勘探,上册(中译本),地质出版社,1955.
- [5] K. G. 斯塔格, O. C. 晋基维茨主编,工程实用岩石力学(中译本),地质出版社,1978.
- [6] 王宋贤等,北京地区断层的活动,地球物理学报,21, 4, 1978.

ON CERTAIN PERIODIC VARIATIONS OF THE TELLURIC ELECTRIC FIELD BEFORE AND AFTER THE 1976 TANGSHAN EARTHQUAKE

ZHAO YULIN QIAN FUYE

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

Abstract

During the time interval from two months before the Tangshan Earthquake till about half a year after it, at the three stations, Xiji, Baodi, Tanggu, variations of the telluric electric field were observed with definite periods of half a month, one month and half a year respectively. Their amplitudes of from maximum to minimum reach several tens to 100—200 millivolts/km (exceed the average standard error of measurement by 6—20 times). the electric field appears to be linearly polarized, in directions parallel to that of the nearby fault zones.

If such variations should be separated from other disturbing factors and be compared with the theoretical gravity values on earth surface, it seems apparent that there exists certain connection with the tidal force of the earth. The extreme values of the electric field of the half-month variation have been found to coincide with the intermittent spouting of two nearby abandoned oil wells. It may indicate that the variation of the telluric electric field has something to do with the change of movement of underground liquids and that one may suppose there exists a filtration electric field caused by the modulation of the velocity of filtration by tidal forces. Small tidal force can give rise to such change of filtration electric field only during the time period before and after the earthquakes.