杜学彬,张元生,谭大诚,等.国际地震和火山电磁方法组织 2016 年兰州研讨会——纪念兰州地震研究所开创地电监测预报地震半个多世纪[J].地震工程学报,2022,44(1):244-250.DOI:10.20000/j.1000-0844.20190807005
DU Xuebin,ZHANG Yuansheng,TAN Dacheng,et al.EMSEV and 2016 international workshop in Lanzhou:commemorating the initiation of geoelectric earthquake prediction for more than half a century by Lanzhou Institute of Seismology[J].China Earthquake Engineering Journal,2022,44(1):244-250.DOI:10.20000/j.1000-0844.20190807005

国际地震和火山电磁方法组织 2016 年兰州研讨会
——纪念兰州地震研究所开创地电监测预报地震半个多世纪①

杜学彬，张元生，谭大诚，安张辉，王建军，范莹莹，刘 君，陈军营
（甘肃兰州地球物理国家野外科学观测研究站，甘肃 兰州 730000）

摘要：为纪念中国地震局原兰州地震研究所开创我国地电学方法地震监测预报工作历经半个多世纪，文章在介绍国际地震和火山电磁方法组织（EMSEV）的同时，介绍了 2016 年 8 月 25—29 日在中国大陆首次召开、由兰州地震研究所（甘肃省地震局）为主举办单位的 EMSEV 国际研讨会及相关的科学活动以及会后几年来我国地震电磁学的进展。

关键词：地震；火山；地电；开创；半个多世纪；EMSEV-2016 研讨会
中图分类号：P315 **文献标志码**：C **文章编号**：1000-0844(2022)01－0244－07
DOI:10.20000/j.1000-0844.20190807005

EMSEV and 2016 international workshop in Lanzhou:commemorating the initiation of geoelectric earthquake prediction for more than half a century by Lanzhou Institute of Seismology

DU Xuebin, ZHANG Yuansheng, TAN Dacheng, AN Zhanghui,
WANG Jianjun, FAN Yingying, LIU Jun, CHEN Junying
(Gansu Lanzhou Geophysics National Observation and Research Station, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: To commemorate the initiation of earthquake monitoring and prediction with geoelectric methods for more than half a century by Lanzhou Institute of Seismology, CEA, this paper first briefly introduced the international Electromagnetic Studies of Earthquakes and Volcanoes (EMSEV), then described in detail the international workshop of EMSEV, which was held in Lanzhou, China during August 25－29, 2016. The international workshop, which was mainly hosted by Lanzhou Institute of Seismology, was held in China for the first time. Finally, the progress of seismo-electromagnetics in China in the past few years after the workshop was introduced.

Keywords: earthquake; volcano; geoelectricity; initiation; more than half a century; EMSEV-2016 workshop

收稿日期:2019-08-07
基金项目:国家自然科学基金项目(41374080,U2039206)
第一作者简介:杜学彬,男,新疆维吾尔自治区沙湾人,研究员,主要从事地震电磁现象研究。E-mail:duxb@163.com。

① 本文关于 EMSEV 会议的内容来源于:中国地震局兰州地震研究所.国际地震与火山电磁方法委员会 2016 年学术研讨会总结.2016 年 9 月报中国地震局国际合作司.

0 引言

1958 年我国著名地震学家郭增建先生首次总结了 1920 年海原 M_S8.5 大震前的地球物理现象，其中包括前震、地下水、地电、地声、地光、动物、天气及地磁场异常等②③。我国科学家对这个总结给予了高度重视。此后，在郭增建先生倡导下，原中国科学院兰州地球物理研究所[先后更名为中国科学院地球物理研究所兰州分所(1959 年)、中国科学院兰州地球物理研究所(1966 年)、兰州地震大队(1970 年)、国家地震局兰州地震研究所(1978 年)，中国地震局兰州地震研究所(1998 年)，以下简称“兰州所”]在兰州地球物理观象台建立了大地电场观测台[1]。在 1966 年 3 月河北省邢台先后发生 6.8、7.2 级地震后，兰州所(即当时的兰州地球物理研究所)在邢台隆尧震区开展了大地电磁测深工作，1967 年 3 月河北省河间县发生 6.3 级地震后，钱复业研究员等在该县立坦建立了我国第一个 DC 对称四极装置地电阻率台。从此开创了我国地电学方法在地震监测预报中的工作。经过 50 多年的发展，我国现已建成了目前世界上最大规模、规范化观测的地电观测网。目前，全国运行 80 多个台站组成的地电阻率观测网(1976 年唐山 M_S7.8 地震前后运行的观测台站约 120 个)，运行 120 多个台站组成的地电场观测网和约 300 个台站组成的电磁扰动(即原称的“电磁波”)观测网。2019 年兰州所撤销，组建了甘肃省地震局隶属的区域研究所—兰州岩土地震研究所(2019 年以前兰州所电磁学科组分别隶属于兰州所地电研究室、电磁研究室和西部强震预测研究室)。自 1966 年起至今半个多世纪的我国地震地电学发展历程中，兰州所地电学科组长期主持中国地震局地电学科牵头工作和全国地电台网技术管理工作，在地震地电学理论、观测方法与技术、物理实验、观测数据应用技术、震例研究、非震变化研究以及台站建设技术、地震预测实践等方面取得了巨多科技成果和创新进展，并从 2008 年起和地电学科专家在全国范围内共同推动了应对地表观测环境变化的井下地电阻率观测技术，长期坚持地震流动大地电磁野外监测[2-27]④⑤。在国际和境外学术交流方面，在希腊、美国、日本、印度尼西亚、罗马尼亚、波兰以及我国台湾等开展了较广泛的地震电磁学、地震地电学方面的学术交流。1994 年钱家栋研究员等率先开展了与法国国家科学研究中心克莱蒙费朗地球物理观象台(CNRS-OPGC)合作，建立了甘肃天祝地震电磁台站；2008 年后建成、运行由 3 个台站组成的中法国际合作地震电磁观测网，并开展了地震陆基电磁科学研究以及法国地震电磁卫星 Demeter 空间对地电磁观测合作研究。2016 年(即 1966 年 3 月河北省邢台地震后 50 年)在兰州举办了首次在中国大陆地区召开的国际地震和火山电磁方法委员会(Electromagnetic Studies of Earthquakes and Volcanoes，以下简称“EMSEV”)研讨会[28-29]。自 1979 年起，兰州所培育了 40 多名地震地电学、地震电磁专业的硕士研究生，为我国地震系统和其他行业做出了突出的专业贡献。为纪念兰州所开创我国地震地电学及其发展的贡献，应陆续的系列性展示兰州所在国内外地震电磁学领域产生影响的多方面工作。本文介绍 2016 年国际研讨会(EMSEV-2016 Workshop)举办过程及会议成果以及会后几年来我国地震电磁方面的发展。

1 研讨会筹备和组织

EMSEV(网站：http://www.emsev-iugg.org/emsev/)是国际大地测量与地球物理学联合会(IUGG)2001 年经 IUGG 执委会批准成立的国际地磁学与高空物理学协会(IAGA)、国际地震学与地球内部物理学协会(IASPEI)、国际火山学和地球内部化学协会(IAVCEI)之间跨学科的联合学术组织。EMSEV 致力于地震、火山电磁学方法的观测和研究及其国际学术交流、合作，在国际上本领域很有影响[28,30]。该组织 2002 年以来先后在俄罗斯、菲律宾、法国、印度、罗马尼亚、美国、日本、中国、意大利等国举办了两年一次的国际学术研讨会，并不定期举行内部工作会议，2016 年在中国兰州举办了中国大陆首次召开的学术研讨会(EMSEV-2016 Workshop)。

经中国地震局批准，在国家自然科学基金项目(41374080)支持下，兰州所杜学彬研究员、安张辉副研究员于 2014 年 9 月在波兰华沙召开的 EMSEV-

② 郭增建，蒋明先，刘成吉，等.1920 年甘肃海原大地震调查报告.1958.张衡纪念册，中国科学院兰州地球物理研究所资料室，1964.

③ 中国科学院兰州地球物理研究所资料室.张衡纪念册.1964.

④ 杜学彬.深电极地电阻率观测技术及实验.地震预测业务发展战略研讨会报告(PPT).中国地震台网中心主办.2018 年 6 月 27 日.

⑤ 在兰州所半个多世纪的地震地电学发展进程中 100 多位同行专家、学者产出了巨多重要科技成果，因篇幅有限，仅列出兰州所地电学开创性工作和部分继承者在兰州所工作、学习期间产出的文献.

2014 workshop 上提交了申办 2016 年国际会议的申请，经 EMSEV 支委会讨论通过了在兰州举办会议的决议。2015 年 9 月 EMSEV 主席 Jacques. Zlotnicki 教授（法国 UMR-CNRS-OPGC 实验室教授）等 7 名国内外学者来兰与兰州所讨论了举办 2016 年国际研讨会的具体事项，确定了本次会议的科学主题为：观测和认识与地震发生、火山喷发有关的多种电磁现象，开展地震火山电磁方法国际学术交流与合作、多种电磁方法交叉融合学术研讨等科学交流活动。会后 EMSEV 与兰州所（本次国际会议第一举办单位）、中国地震局地壳应力研究所（本次国际会议第二举办单位）签署了合作举办本次国际会议的三方备忘录。根据备忘录，本次国际会议由研讨会 Workshop 和会前会 Pre-Workshop 两部分组成：拟 2016 年 8 月 23—25 日在北京召开会前会 Pre-Workshop，由地壳应力研究所承办，主题为中国地震电磁卫星相关内容；Workshop 是本次国际会议的核心，拟在 2016 年 8 月 26—29 日在兰州召开。此后，中国地震局国际合作司、监测预报司对研讨会给予了大力支持和外事指导，两个业务司于 2016 年分别拨付了会议专项来支持本次 Workshop。兰州所时任领导等在举办本次 Workshop 以及申报、组织实施等方面给予了具体领导。按 2015 年 9 月拟定的会议程序，2016 年 8 月 26—29 日如期在兰州召开了本次 Workshop。协办单位包括中国地球物理学会（CGS）、中国地震学会（SSC）、国际地磁学与高空物理学协会（IAGA）、国际地震学与地球内部物理学协会（IASPEI）、国际火山学和地球内部化学协会（IAVCEI）等 15 个单位和国内外学术组织。本次 workshop 组织有序和高效，科学活动丰富，程序安排符合国际惯例，在国际上产生了好的影响。在会议期间，甘肃日报、兰州晚报、甘肃电视台记者赴现场报道了本次 workshop[31]。

2 研讨会成果

2.1 学术会议交流

根据本次 Workshop 的科学主题，开展了 8 个专题的学术交流：(1)青藏高原地震活动与电磁前兆现象；(2)与大震、火山喷发有关的电磁信号；(3)用多种电磁方法和多学科方法研究地震和火山喷发事件；(4)识别地震和火山喷发前的岩石圈、空间前兆现象；(5)天然地震活动和诱发地震；(6)断层活动和火山喷发机理、实验和模型研究；(7)地震、火山喷发和其他自然灾害的前兆可靠性；(8) EMSEV 国际合作项目交流。本次 Workshop 是一次国际地震电磁学领域的学术盛会，科学活动包括会议报告、墙展报告、EMSEV 业务会议、优秀学生论文评审、论文出版、确定 EMSEV-2018 国际研讨会的承办国、我国地震电磁台站考察等事项。会议展示了来自 18 个国家和地区的 102 篇论文摘要，其中 Oral 交流 82 篇、Poster 展示 20 篇；来自 16 个国家和地区的 141 位代表与会（图 1），26 位科学家、学者应邀作了会议特邀报告。中国地震学会《Earthquake Science》和《地震学报》编辑部列席了 Workshop 业务会。

图 1 EMSEV-2016 Workshop（大部分）与会者合影

Fig.1 Group photo of most participants at the EMSEV-2016 workshop

近百位来自国内研究所、大学和地震系统的科学家和学者以及 35 位外籍学者展示了本领域的前瞻性研究成果。来自日本东京大学的上田诚也（Seiya UYEDA）、中国台湾中央研究院李罗权、中

国科技大学陈晓非、塔吉克斯坦科学院卡里莫·法舍德(Karimov FARSHED H)4 位院士和 43 名教授、研究员参加了会议，并作了精彩的会议报告。研讨会采取开幕式、闭幕式各半天的大会集中和两天分会场的两种交流方式，在集中交流开幕式上，国际地学领域著名科学家 Seiya UYEDA 院士、著名的地电场 VAN 方法创始人 Panagiotis VAROTSOS 教授(希腊雅典大学物理学教授)、EMSEV 主席 Jacques ZLOTNICKI 教授等向与会者展示了国际上地震、火山电磁学领域的最新研究成果(图 2)；我国地震电磁领域的同行(赵国泽、杜学彬、申旭辉研究员和何宇飞、陈斌副研究员)分别介绍了我国极低频电磁、地电、地磁、流磁和电磁卫星 5 个方面的内容，向国内外展示了我国地震电磁学观测现状、观测技术和研究与应用成果。

Workshop 还在学术交流的空隙召开了 EMSEV 业务会议，讨论了 Workshop 论文出版事项；讨论了今后 EMSEV 国际科技交流事项；确定了 2018 年 EMSEV-Workshop 将在意大利波坦察举办；评选了本次 Workshop 优秀学生论文，北京大学，北京大学地球与空间科学学院的胡开颜、叶涛两位研究生获得最佳学生论文奖。

图 2　Jacques ZLOTNICKI 教授(时任 EMSEV 主席)在回答与会者提出的问题[主持会议者为美国地质调查局 Malcolm JOHNSTON 教授(时任 EMSEV 副主席)]

Fig.2　Professor Jacques ZLOTNICKI (then chairman of EMSEV) answers participant's questions, and the host is Professor Malcolm JOHNSTON (then vice chairman of EMSEV) of USGS.

2.2　我国地震电磁台站考察

兰州地震研究所嘉峪关台电磁观测包括地电、地磁、电磁测项，是全国最优秀的电磁观测台站之一。其中地电、地磁观测多次连续获得全国观测资料质量评比前三名，观测资料被广泛应用于地震监预预测实践和科学研究。在 Workshop 集中交流之后，与会者于 29 日开始疏散，其中近 20 位外籍专家赴嘉峪关电磁台站现场考察(图 3)。嘉峪关台负责人向外籍专家介绍了该台电磁观测项目观测运行及运行管理方法、观测环境保护措施等，外籍专家对此表现出极大兴趣。其中意大利等国家的科学家表示，他们将借鉴中国地震局的电、磁、电磁台网运行管理模式，促进他们国家的观测台站产出更高质量的观测结果。

2.3　科技促进作用

本次在兰州举办的 EMSEV-2016 Workshop 达到了“走出去”和“引进来”的预期目的。所谓“走出去”就是向国际上展示了我国地震电、磁、电磁学观测和研究、应用方面的创新成果；所谓“引进来”就是取长补短引进国外地震电磁学领域先进的研究方法和思路、观测技术等，推进我国地震电磁观测技术、科学研究的发展，提升地震预测预报技术水平。来自 18 个国家和地区的 102 篇论文报告涵盖了地震电磁学理论研究、物理实验、观测技术、观测运行、数据应用等多方面的先进科学内容，使与会者感受到了地震电磁方法在未来地震科学研究、监测预测

中的重大前景，拓展了国内外地震电磁学领域学者特别是年轻人才（其中我国年轻学者为多数）的视角，领略了国际地震电磁学的先进技术、研究方法和未来发展思路。

图 3 EMSEV-2016 Workshop 部分境外与会者参观嘉峪关电磁台站

Fig.3 Some overseas participants of the EMSEV-2016 workshop visit Jiayuguan geoelectromagnetic station

在 EMSEV-2016 Workshop 后的几年来，我国地震电磁学进一步发展。2018 年 2 月发射、运行了 ZH-1 号电磁卫星，进一步推进了空间对地的地震观测[32]，与我国大规模的陆基电磁台网构成了天-地一体化地震电磁监测；极低频 ELF 等地震电磁场观测网监测到了地震发生前短临阶段的视电阻率变化等异常⑥；地震地磁学方法进一步发展了地磁场垂直分量日变化空间相关异常等地震预测方法，并取得了数次地震前的中短期预测结果[33]。近年来，地震地电场、地电阻率方法也取得了明显进展。已注意到，地电场观测存在两个基本观测事实：(1)在地电场观测中因产生电极与土壤等的接触电位差、极化电位等，人们并不易准确的测量地电场，但能在一定程度上准确地测量地电场的变化，且在高观测质量的台站，同时段、同方向的长、短极距测道测量的地电场变化幅度是相同或基本相同的（包括潮汐响应变化和短周期、脉冲等快变化）。(2)同一台站的北分量 E_x、东分量 E_y 的变化幅度长期表现为 $|\Delta E_x|>|\Delta E_y|$ 或反之（只要布极装置不变），这与台址地下介质电性各向异性有关。基于上述新认识，发展了用地电场扰动变化界定地球电磁活动的地电扰动指数，与地磁扰动指数相互补充和参考可更准确地界定电磁活动水平；把传统的单台、单测道的地电场时间序列数据应用方法拓展为：每台两个正交分量合成地电流（密度）矢量→多台地电流矢量构成区域性大地电流矢量的流场分布，流场分布的时变性在地球电磁环境变化、大地电流的长周期变化、地下电性结构、地质构造、活动构造的监测与研究和生命线工程防损技术以及地震等地质灾害事件监测预报等多个领域有重要意义[24]；地电场观测在地震预测预报中得到了有效的具体应用。关于各向异性介质中地电阻率变化的本构关系研究、场地干扰的非震变化数值模拟取得了长足进展。特别是关于远距离大震前的地电阻率趋势异常变化的研究获得了新认识，初步认为：在中国大陆广大区域同步/似同步发生的年际尺度的地电阻率分阶段性的变化其持续时间（多数约 6 年、3 年等）对应地球自转加速年以及极移速度的显著周期⑦。此认识有助于人们对于中国大陆地电阻率（甚至包括地形变、地下流体等应变类前兆）异常时空复杂性的认识以及关于大陆/大区域的地电阻率异常时空丛集对应地震高活动水平的“同源异象”[12,34]原因的认识。

3 致谢

本次国际会议主要由中国地震局原兰州所具体组织安排，中国地震局原地壳应力研究所等 18 个国内外学术机构、科研院校等组织或协组，中国地震局

⑥ 赵国泽，等.中国地震电磁研究现状和发展趋势.2021.[《中国科学》地球科学）待发表]

⑦ 杜学彬，等.地球物理场年际长趋势、大动态变化与地球自转变化.国家自然科学基金申请书（接收编号：4207040899）.2020.

国际合作司和监测预报司给予了专项经费支持和外事等业务指导；原兰州所时任领导和外事办公室、发展与财务处、监测预报处等做了大量的组织领导、会务费管理、外事等工作；兰州所西部强震预测研究室全力负责会议各具体事项，原研究室领导和沈旭章、魏丛信、葛伟鹏等组织或参与了论文摘要审查、外宾联系、会场拍摄等具体繁琐的会务工作；甘肃省地震局嘉峪关地震台原时任领导和职工等在境外专家考察该台电、磁观测时作了很多具体工作。在此一并致谢！

参考文献(References)

[1] 陈有发，陆阳泉，薛顺章，等.地震地电学某些回顾[C]//地震地电学发展与展望：纪念兰州地震研究所开创地电预报地震工作30年.兰州：兰州大学出版社，1998：1-8.
CHEN Youfa，LU Yangquan，XUE Shunzhang，et al.Some reviews of on seismic geoelectricity[C]//Development and Prospect of Seismic Geoelectricity-to Commemorate 30 Years of Geoelectricity Prediction Work Initiated by Lanzhou Institute of Seismology.Lanzhou：Lanzhou University Press，1998：1-8.

[2] 钱复业，赵玉林，于谋明，等.地震前地电阻率的异常变化[J].中国科学（B辑 化学 生物学 农学 医学 地学），1982，12(9)：831-839.
QIAN Fuye，ZHAO Yulin，YU Mouming，et al.Geo-resistivity anomaly before earthquake[J].Science in China (Ser B)，1982，12(9)：831-839.

[3] 赵玉林，钱复业.唐山 7.8 级强震前震中周围形变电阻率的下降异常[J].地球物理学报，1978，21(3)：181-190.
ZHAO Yulin，QIAN Fuye.Electrical resistivity anomaly observed in and around the epicentral area prior to the Tangshan earthquake of 1976[J].Chinese Journal of Sinica，1978，21(3)：181-190.

[4] QIAN J D，GUI X T，MA H Z，et al.Observations of apparent resistivity in the shallow crust before and after several great shallow earthquakes[C]// Proceedings of the International Symposium on Earthquake Prediction，UNESCO，Pairis，Tokyo：Terrapub，1984：145-156.

[5] 陆阳泉，钱家栋，刘建毅.大型花岗岩标本缓慢膨胀破裂过程中电阻率和声发射前兆特征的实验研究[J].西北地震学报，1990，12(2)：35-41.
LU Yangquan，QIAN Jiadong，LIU Jianyi.An experimental study on the precursory features of apparent resistivity and acoustic emission of large scale of granite specimen during the process of slowly dilatancy rupturing[J].Northwestern Seismological Journal，1990，12(2)：35-41.

[6] 赵家骝，李海亮，李建，等.用正向供电技术提高视电阻率观测精度[J].西北地震学报，1996，18(2)：31-36.
ZHAO Jialiu，LI Hailiang，LI Jian，et al.Improving the observation accuracy of apparent resistivity by using up-down transmission[J].Northwestern Seismological Journal，1996，18(2)：31-36.

[7] 张云琳，刘晓玲，安海静，等.*MT* 重复测量在地震中短期预报中的应用：祁连山中段 *MT* 剖面监测研究[J].地球物理学报，1994，37(2)：200-210.
ZHANG Yunlin，LIU Xiaoling，AN Haijing，et al.Application of the *MT* repeated measurements to the medium and short term prediction of earthquake：monitoring and studying a profile in the middle segmentof Qilian Mountain by *MT*[J].Chinese Journal of Geophysics，1994，37(2)：200-210.

[8] 林长佑，王书明，孙崇赤，等.天祝—永登地区大地电磁资料的一维各向异性反演[J].西北地震学报，2004，26(1)：72-77.
LIN Changyou，WANG Shuming，SUN Chongchi，et al.One-dimensional anisotropic inversion for magnetotelluric data in Tianzhu－Yongdeng region[J].Northwestern Seismological Journal，2004，26(1)：72-77.

[9] 杜学彬，李宁，叶青，等.强地震附近视电阻率各向异性变化的原因[J].地球物理学报，2007，50(6)：1802-1810.
DU Xuebin，LI Ning，YE Qing，et al.A possible reason for the anisotropic changes in apparent resistivity near the focal region of strong earthquake[J].Chinese Journal of Geophysics，2007，50(6)：1802-1810.

[10] 杜学彬.在地震预报中的两类视电阻率变化[J].中国科学(地球科学)，2010，40(10)：1321-1330.

[11] DU Xuebin.Two types of changes in apparent resistivity in earthquake prediction[J].Scientia Sinica (Terrae)，2011，54(1)：145-156.

[12] 杜学彬，薛顺章，任广军.中国大陆多种前兆异常研究及强震的尝试性预测[J].西北地震学报，1999，21(2)：113-122.
DU Xuebin，XUE Shunzhang，REN Guangjun.Study on many kinds of precursory anomalies and trial prediction of strong earthquakes in the continent of China[J].Northwestern Seismological Journal，1999，21(2)：113-122.

[13] 马钦忠，钱家栋.层状介质中膨胀圆台体震源模型的应力场、应变场及位移场计算[J].西北地震学报，1997，19(4)：30-39.
MA Qinzhong，QIAN Jiadong.The calculation of stress and strain as well as displacement variations of the source model which is a dilatancy cone cylinder body in layered medium[J].Northwestern Seismological Journal，1997，19(4)：30-30.

[14] 谭大诚，赵家骝，刘小凤，等.自然电场的区域性变化特征[J].地球物理学报，2014，57(5)：1588-1598.
TAN Dacheng，ZHAO Jialiu，LIU Xiaofeng，et al.Features of regional variations of the spontaneous field[J].Chinese Journal of Geophysics，2014，57(3)：318-331.

[15] 陈军营，杜学彬，谭大诚，等.老虎山断裂带大地电磁地震监测研究[J].地震，2009，29(3)：79-85.
CHEN Junying，DU Xuebin，TAN Dacheng，et al.Magnetotelluric monitoring of earthquakes in the Laohushan fault zone，Gansu Province[J].Earthquake，2009，29(3)：79-85.

[16] 王建军，李琪，杨冬梅，等.地磁活动 *K* 指数自动计算 FMI 方法的改进[J].地球物理学报，2017，60(7)：2534-2544.
WANG Jianjun，LI Qi，YANG Dongmei，et al.An improved FMI method of deriving *K* indices[J].Chinese Journal of Geophysics，2017，60(7)：2534-2544.

[17] 叶青，杜学彬，陈军营，等.2003 年大姚和民乐—山丹地震 1 年尺度预测[J].地震研究，2005，28(3)：226-230.

YE Qing, DU Xuebin, CHEN Junying, et al. One-year prediction for the Dayao and Minle—Shandan earthquakes in 2003 [J]. Journal of Seismological Research, 2005, 28(3): 226-230.

[18] 安张辉,杜学彬,范莹莹,等.汶川 M_S8.0 级大震前天基与陆基电场资料联合应用研究[J].地球物理学报,2011,54(11):2876-2884.
AN Zhanghui, DU Xuebin, FAN Yingying, et al. A study of the electric field before the Wenchuan 8.0 earthquake of 2008 using both space-based and ground-based observational data [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(11): 2876-2884.

[19] 郑国磊,杜学彬,陈军营,等.断层构造对地震地电阻率异常的影响[J].地震学报,2011,33(2):187-197,270.
ZHENG Guolei, DU Xuebin, CHEN Junying, et al. Influence of active faults on earthquake-related anomalies of geo-electric resistivity[J]. Acta Seismologica Sinica, 2011, 33(2): 187-197, 270.

[20] 范莹莹,杜学彬,ZLOTNICKI J,等.汶川 M_S8.0 大震前的电磁现象[J].地球物理学报,2010,53(12):2887-2898.
FAN Yingying, DU Xuebin, ZLOTNICKI J, et al. The electromagnetic phenomena before the M_S8.0 Wenchuan earthquake [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(12): 2887-2898.

[21] 解滔,杜学彬,陈军营,等.井下地电阻率观测中地表电流干扰影响计算[J].地球物理学进展,2012,27(1):112-121.
XIE Tao, DU Xuebin, CHEN Junying, et al. Calculation for the influence from the surface disturbance current in the deep-well geoelectrical resistivity observation[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(1): 112-121.

[22] 刘君,杜学彬,ZLOTNICKI J,等.几次大震前的地面和空间电磁场变化[J].地球物理学报,2011,54(11):2885-2897.
LIU Jun, DU Xuebin, ZLOTNICKI J, et al. The changes of the ground and ionosphere electric/magnetic fields before several great earthquakes[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(11): 2885-2897.

[23] 王丽,杜学彬,武震,等.区域地电观测网地电场日变化模型研究[J].地震学报,2015,37(5):830-841.
WANG Li, DU Xuebin, WU Zhen, et al. Daily variation model of the geo-electric field based on the geo-electric data from the regional geo-electric observation networks [J]. Acta Seismologica Sinica, 2015, 37(5): 830-841.

[24] 章鑫,杜学彬,刘君.华北地区地电暴时 GIC 及涡旋电流响应分析[J].地球物理学报,2017,60(5):1800-1810.
ZHANG Xin, DU Xuebin, LIU Jun. Analysis of GIC and vortex current responses in Huabei region during geoelectric storms[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2017, 60(5): 1800-1810.

[25] 辛建村,谭大诚.地电场多测向日变波形相位关联特征[J].地震学报,2017,39(4):604-614.
XIN Jiancun, TAN Dacheng. Phase correlation features of geoelectric field diurnal waveforms in multi-orientation[J]. Acta Seismologica Sinica, 2017, 39(4): 604-614.

[26] 高悦,安张辉,范莹莹,等.自然时间域中的地震序列参数分析[J].地震学报,2017,39(4):593-603,634.
GAO Yue, AN Zhanghui, FAN Yingying, et al. Order parameter analysis of seismicity in natural time domain[J]. Acta Seismologica Sinica, 2017, 39(4): 593-603, 634.

[27] 孙君嵩,杜学彬,王丽,等.地电扰动指数 GEI 研究[J].地球物理学报,2018,61(11):4493-4503.
SUN Junsong, DU Xuebin, WANG Li, et al. Study on the geoelectric index (GEI)[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(11): 4493-4503.

[28] 杜学彬,ZLOTNICKI J,黄清华,等.2016 年地震和火山电磁方法国际研讨会专辑前言[J].地震学报,2017,39(4):451-454.
DU Xuebin, ZLOTNICKI J, HUANG Qinghua, et al. Preface to the special issue on the international workshop on electromagnetic studies of earthquakes and volcanoes in 2016[J]. Acta Seismologica Sinica, 2017, 39(4): 451-454.

[29] 袁洁浩,顾左文,陈斌,等.2016 年 EMSEV 学术研讨会与震磁研究新进展[J].地震研究,2017,40(3):340-344.
YUAN Jiehao, GU Zuowen, CHEN Bin, et al. International 2016 EMSEV workshop and new progress of seismomagnetic research[J]. Journal of Seismological Research, 2017, 40(3): 340-344.

[30] 袁洁浩,顾左文,陈斌,等.地震与火山电磁研究的国际学术交流与合作[J].地震研究,2013,36(1):132-140.
YUAN Jiehao, GU Zuowen, CHEN Bin, et al. International academic exchange and cooperation on electromagnetic studies on earthquakes and volcanoes[J]. Journal of Seismological Research, 2013, 36(1): 132-140.

[31] 国际地震火山电磁方法学术研讨会在兰召开[N].甘肃日报,2016-08-28.
International workshop-2016 on earthquake and volcanic electromagnetic methods was held in Lanzhou[N]. Gansu Daily. 2016-08-28

[32] 廖力,赵庶凡,申旭辉,等.ZH-1 卫星观测的 VLF 人工源信号特征分析与全波模拟[J].地球物理学报,2019,62(4):1210-1217.
LIAO Li, ZHAO Shufan, SHEN Xuhui, et al. Characteristic analysis and full wave simulation of electrical field for China seismo-electromagnetic satellite observations radiated from VLF transmitter[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2019, 62(4): 1210-1217.

[33] 冯志生,姜楚峰,冯丽丽,等.短期重现性地磁日变化感应电流集中分布与地震关系初步研究[J].中国地震,2020,36(3):502-516.
FENG Zhisheng, JIANG Chufeng, FENG Lili, et al. A preliminary study on relationship between induced current of geomagnetic diurnal variation with short-term reproducibility concentration distribution and earthquakes [J]. Earthquake Research in China, 2020, 36(3): 502-516.

[34] 杜学彬,谭大诚.地电阻率 1 年尺度异常时空丛集现象与地震活动性[J].中国地震,2000,16(3):283-292.
DU Xuebin, TAN Dacheng. On the temporal and spatial clusters of one-year scale anomalies of earth-resistivity and the relation to seismicity[J]. Earthquake Research in China, 2000, 16(3): 283-292.