

吴蓓, 闫景东, 任兆鹏, 等. 青岛地区电场仪资料在一次雷暴天气过程中的应用分析[J]. 海洋气象学报, 2017, 37(1): 92-97.
Wu Bei, Yan Jingdong, Ren Zhaopeng, et al. A case study of forewarning with atmospheric field mill for thunderstorm weather in Qingdao[J]. Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(1): 92-97. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.01.010. (in Chinese)

青岛地区电场仪资料在一次雷暴天气过程中的应用分析

吴蓓¹, 闫景东², 任兆鹏³, 谢丰³

(1. 青岛市气象防雷中心, 山东 青岛 266003; 2. 聊城市气象局, 山东 聊城 252060; 3. 青岛市气象台, 山东 青岛 266003)

摘要: 利用大气电场仪资料, 结合天气实况、天气雷达和闪电定位仪等资料, 对2013年7月1日青岛地区一次雷暴天气过程进行了综合分析。结果表明, 当地面电场强度曲线在几十到几百毫秒量级内发生极性反转, 变化幅度在2 kV/m以上, 且完成后电场值会迅速回到极性反转前的电场值附近时, 可以判断为发生了一次地闪。单站电场强度曲线可以反映出雷暴云与测站间距离的变化, 闪电发生前电场强度的增加可为雷电预警提供时间。大气电场仪组网监测资料可以对雷暴云的移动路径做出判断。综合分析大气电场仪组网数据、天气雷达以及闪电定位资料等多源资料, 可以更好地判断雷暴云的活动状况, 提高雷电的预警准确率和时间提前量。

关键词: 雷电; 大气电场; 闪电定位; 天气雷达

中图分类号: P427.311 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)01-0092-06

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.01.010

A case study of forewarning with atmospheric field mill for thunderstorm weather in Qingdao

WU Bei¹, YAN Jingdong², REN Zhaopeng³, XIE Feng³

(1. Qingdao Lightning Protection Center, Qingdao 266003, China; 2. Liaocheng Meteorological Bureau, Liaocheng 252060, China; 3. Qingdao Meteorological Observatory, Qingdao 266003, China)

Abstract By using data of atmospheric electric field mills, weather radars and lightning position indicators, a thunderstorm on 1 July 2013 in Qingdao was studied. The results show that on the curve of measured earth surface electric intensity, when a polarity reversal greater than 2 kV/m within tens to hundreds of milliseconds is observed, and followed by an electric intensity swift falling back to the previous data value range, one occurrence of cloud-to-ground lighting can be confirmed. As measured electric intensity curve presents the change of the distance between the thunder cloud and the observation point, lighting forecasting and warning can be made via measuring the rise of the atmospheric electric intensity in advance. Using atmospheric electric field observation network, the track of the thunder cloud can be deduced. By comprehensive analysis of data of atmospheric electric field observation network, weather radars and lightning location systems, the activity of the thunder cloud can be better captured, and lighting forecasting and warning can be improved.

Key words lightning; atmospheric electric field; lightning location; weather radar

收稿日期: 2016-08-02; 修订日期: 2017-01-26

基金项目: 山东省气象局科研项目(sdqj2013-19)

作者简介: 吴蓓(1983—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事雷电灾害风险评估、雷电监测预警研究, wu.bei@126.com。

引言

近年来,随着社会的不断发展,微电子器件和信息技术在社会各个领域得到了广泛应用,因雷击造成的电子系统中断、数据无法传输、线路板烧毁,建筑物损坏、人畜伤亡等恶性事故时有发生,给人们的生活、生产造成了一定的影响。随着人们防雷意识的不断提高,社会对雷电预警技术服务的要求越来越迫切。与此同时,随着防雷技术的不断发展,利用多站大气电场联网监测地面电场,提供监测区域内地面电场的分布以及雷暴空间电荷的分布和移动路径,为雷电的监测和预报提供重要的信息,同时结合闪电定位系统的观测,使雷电和雷暴预警的专项服务成为可能^[1-2]。

相关研究表明,大气电场资料,能够有效探测雷暴云不同阶段特征,有助于业务人员有效判断和识别强雷暴云影响区域及未来发展趋势,有效进行雷电预警服务^[3]。为减少雷电灾害给社会生产和

表 1 青岛地区大气电场仪基本信息

Table 1 Basic information of atmospheric electric field mills in Qingdao

县区	站名	位置	海拔高度/m	经度/°E	纬度/°N	启用时间(年-月-日)	设备型号
市南区	伏龙山	观测场内	40.833	120.330	36.067	2008-12-13	AMEO340
即墨市	即墨	观测场内	18.009	120.467	36.380	2008-12-13	AMEO340
李沧区	李村	观测场内	30.345	120.416	36.166	2008-12-13	AMEO340
城阳区	世纪公园	观测场内	17.615	120.395	36.289	2011-12-13	AEFD340
胶南市	胶南	观测场内	15.362	120.009	35.877	2011-12-13	AEFD340
胶南市	董家口	观测场内	17.372	119.761	35.588	2011-12-13	AEFD340

大气电场仪的基本工作原理是导体在电场中产生感应电荷,当云中发生电荷分离时,地面电场将发生相应的变化,其强度与云中电荷的积累量和分布有关,因此通过测量地面大气电场的变化,可以反演出高空云层电场的变化,并可以对闪电的发生提前作出预警。由于地面电场相应时刻的波动幅度明显小于空中电场,且只有部分空中电场的波动能通过地面电场较好地反映^[5],因此在讨论地面电场变化之前作如下约定:当地面电场受雷暴云内正电荷控制时,地面电场为负值,一次闪电中和了负电荷,则对应地面电场正向变化;反之亦然^[6]。每次地面电场出现极性反转,该过程可能对应云闪或者地闪,对于那些没有极性反转的电场脉冲很可能代表一次云闪,该文暂不讨论云闪问题。

大气电场仪仅能单一指示其有效探测范围(一般为 15~30 km)内的大气电场变化和有无闪电发生,无法确定闪电的移动方向,大气电场仪组网系

统的建立能够弥补这种不足,通过不同站点反应时间的顺序判断雷暴云的移动路径,对雷暴云的动向作出判断^[7]。

人民生活造成的损失,更好地为各行业提供对雷电活动的预警、预报需求,青岛市气象局于 2008 年 1 月起,在全市布设了 6 套法国 AMEO340 型大气电场仪,2008 年 12 月通过验收,并于 2009 年起正式开始运行。根据青岛市雷电业务发展需求,2011 年又增设 6 套国产 AEFD340 型大气电场仪,并入原大气电场监测网络,进一步扩大了青岛市雷电监测范围。

此文利用大气电场仪资料,结合闪电定位资料、天气形势分析及天气雷达监测产品,对 2013 年 7 月 1 日青岛地区一次雷电天气过程进行了多种资料的综合分析,为雷电临近预警业务提供帮助。

1 大气电场仪站点信息

基于监测资料的可比性,选用地物环境相同^[4]即安装于观测场内的 6 套大气电场监测资料进行对比分析,站点名称分别为伏龙山、即墨、李村、世纪公园、胶南、董家口,基本信息见表 1。

2 天气形势和雷达回波分析

受副热带高压与西风槽的共同影响,2013 年 7 月 1 日山东大部分地区出现了雷阵雨天气。副热带高压连续几天稳定在华南沿海地区,从 7 月 1 日 08:00(北京时,下同)的 500 hPa 天气图上(图 1a)来看,青岛位于副热带高压的西北侧。700~925 hPa(图 1b)盛行一致的西南风,并逐渐达到急流强度,在山东半岛地区聚集了大量水汽和能量。同时在上游河北西北部地区,有浅槽东移南压,冷空气从高层渗入,触发了对流天气的发生。从 1 日 08:00 济南站的探空分析(图 1c)看出,CAPE 值达到 1 200 J/kg 以上,K 指数为 42 °C,沙氏指数小于 -2 °C,表明大气层结处于较强不稳定状态。随着高空浅槽

的东移南压,整个山东地区自西向东陆续出现对流性降雨天气。

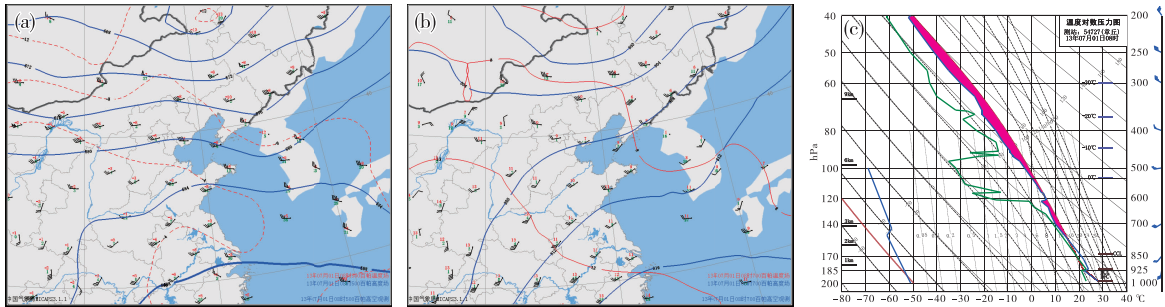


图 1 2013 年 7 月 1 日 08:00 500 hPa(a)、700 hPa(b)天气图和济南站探空图(c)
Fig.1 Weather maps at 500 hPa(a) and 700 hPa(b), and sounding plot at Jinan station(c) at 08:00 BST 1 July 2013

根据青岛雷达反射率演变(图 2)可知,雷暴自鲁东南的日照和临沂地区向东北方向移动,并逐渐影响青岛地区。雷暴云团在东移过程中维持较强的强度,14:04 时强回波中心位于日照五莲县上空(图 2a),最大回波强度为 55 dBZ;15:02 时强回波中心到达胶南,位于青岛胶南市南部沿海上空(图 2b),雷暴中心最大回波强度为 56 dBZ;16:00 时强回波中心已经覆盖几乎整个青岛市区(图 2c),最大

回波强度仍维持在 56 dBZ。雷达平均径向速度产品显示,低层为一致的西南气流,而且有急流存在,15:02 雷达以南 25~50 km 处有径向辐合存在(图 2d),正好对应组合反射率上雷暴中心的位置(图 2b)。在 16:00,强雷暴中心已经移动到了雷达东侧(图 2e),速度图上此时雷暴中心低层最大径向速度达到 27 m/s(图 2e)。

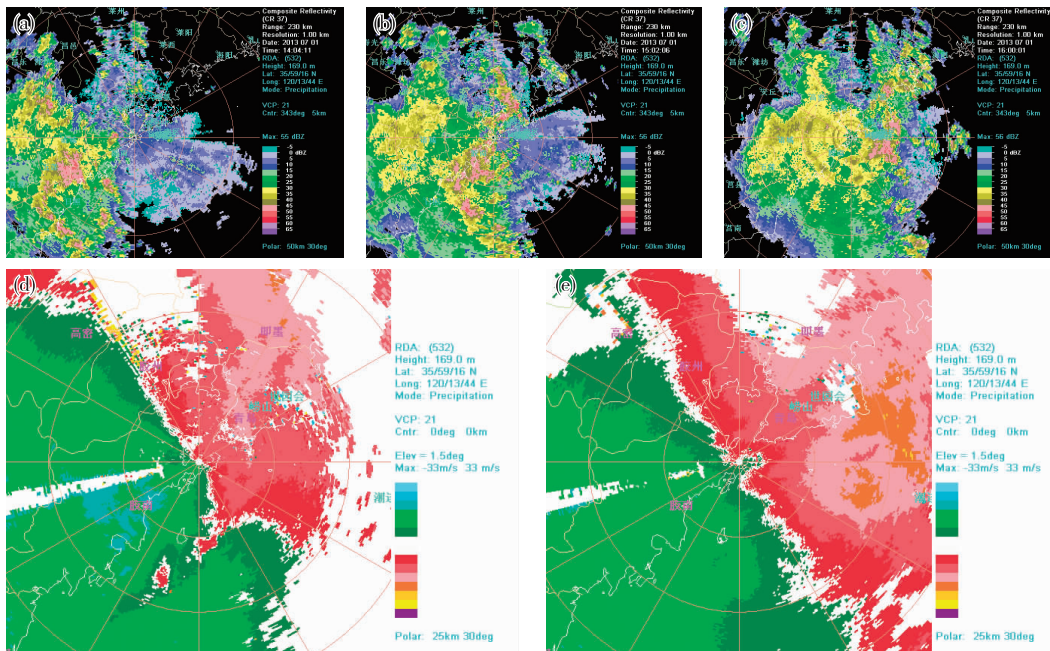


图 2 2013 年 7 月 1 日 14:04(a)、15:02(b)、16:00(c)青岛雷达组合反射率和 15:02(d)、16:00(e)青岛雷达平均径向速度图

Fig.2 Radar composite reflectivity at 14:04 BST(a), 15:02 BST (b) and 16:00 BST (c) 1 July 2013, and average radial velocity of radar at 15:02 BST (d) and 16:00 BST (e) 1 July 2013 in Qingdao

3 大气电场资料分析

由于大气电场仪探测的是大气电场的平均值,

因此不仅仅是在有雷暴产生时,即使是在晴天条件下,依然会探测到大气电场值的变化。研究表明,将电场值在 0~250 V/m 之间的数据都归为晴天数

据^[8]。除此之外,大气电场仪资料还受到仪器本身及外界干扰等多种因素的影响,产生一些虚假的极性反转数据。因此如何在大气电场资料中甄别真实的闪电现象是首先要解决的问题。

一般认为,在每次地闪发生时,地面电场值会在几十到几百毫秒量级内产生极性反转^[5,9]。本地闪电经验值默认为 2 kV/m(绝对值,可调)以上,且在放电完成后其电场值会迅速回到闪电发生前的电场值附近。以 7 月 1 日 15:16 在董家口测站观测的一次闪电现象为例(图 3),电场强度曲线在 15:16 发生一次明显的极性反转,变化范围在 -6~3 kV/m 之间,在随后的约 120 s 时间内,电场强度迅速回到极性反转前的数值,符合判据标准。极性反转发生之后,强度恢复的过程可被理解为大气电场能量的积累,为下一次闪电发生做准备。

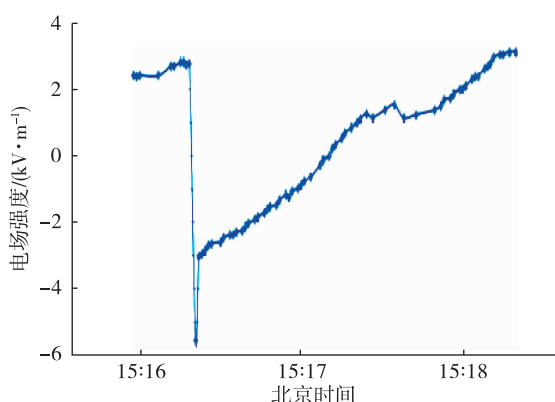


图 3 7 月 1 日 15:16—15:18 董家口站大气电场强度曲线

Fig.3 The change curve of atmospheric electric intensity observed by atmospheric electric field mill at Dongjiakou station from 15:16 BST to 15:18 BST 1 July

通过分析青岛全市大气电场仪的监测时序图,大气电场仪资料很好地反映了此次雷电过程的演变。从单站大气电场强度变化图上来看,以董家口站为例,14:00 之前约半小时内,电场强度开始逐渐增强,电场强度剧烈的极性反转集中在 14:00—15:00 之间,与之前雷达反射率演变图上强雷暴云经过董家口上空的时间一致。15:00 之后,仍有极性反转产生,但相比之前密度已明显减小,说明强雷暴中心已逐渐远离测站。还应看到,从单站的电场强度变化图上,虽然能够看出雷暴云与测站之间距离的变化,却并不能体现出雷暴云具体的移动方向。

综合青岛地区 6 个测站的电场强度曲线(图

4),则能很清楚地看到强雷暴云移动的特征。特别是从董家口—胶南—伏龙山一线的 3 个测站,3 站的分布位置基本呈西南—东北走向,与雷达监测图上雷暴云的走向一致。从图上看到,3 站的强极性反转时间段,分别发生在 14:00—15:00(图 4a)、15:00—16:00(图 4b)、16:00—18:00(图 4c)。时间上的滞后性,表明了强雷暴云的移动路径。而李村(图 4d)、世纪公园(图 4e)及即墨(图 4f)3 个测站基本处于西南—东北的延伸方向上,但由于雷暴云并没有直接从测站附近经过,因此,这 3 个站所监测到的电场强度变化并没有之前 3 个站剧烈。

以胶南站为例,在 14:10 左右,大气电场仪探测到的电场值持续增强并伴有剧烈波动(图 4b)。此时,最近的(东北方向)强雷达回波区距离胶南站有 15 km 左右,最远的(西南方向)强雷达回波区距离胶南站尚有 30 km 左右(图 5a)。通过雷达回波图上可以看到,在 14:44,原西南方向强回波区移动到达胶南站,而原东北方向强回波区移出胶南测站观测范围(图 5b)。14:40 左右,大气电场仪探测到一次瞬时极性反转,判断发生了一次地闪(图 4b)。通过此次个例的分析看出,从测站电场强度开始增强并伴有剧烈波动比雷电的发生(电场强度极性反转)提前了约 30 min,因此可提前约 30 min 进行雷电预警。需要说明的是由于大气电场仪的探测范围是既定的,因此预警时间的提前量还取决于天气系统的移动速度。从上述分析可以看出,大气电场仪探测数据并无法区分是受单一还是多个雷暴云影响,也无法判断雷暴云的移动方向,而大气电场仪组网监测,通过不同站点反应时间的不同,可以对雷暴云的移动路径做出判断,同时结合雷达回波和闪电定位系统来综合判断,可为下游地区提供定位更精准、强度更准确的雷电预警。

4 闪电定位资料分析

闪电定位仪通过监测闪电的发生时刻及位置,可以从宏观上清楚地看到闪电的分布及走向^[10]。从 7 月 1 日 13:00—20:00 青岛地区的闪电定位图上(图 6)来看,雷电主要集中在胶南市西南部和即墨市境内,而此时段强雷达回波区正好从胶南市西南部和即墨市区经过(图 2a-c),闪电定位图上闪电发生的位置与雷达反射率图上雷暴云的移动路径基本一致,而董家口(图 4a)和胶南(图 4b)测站的大气电场数据变化幅度最为剧烈,与胶南市西南部地闪密度大密切相关。

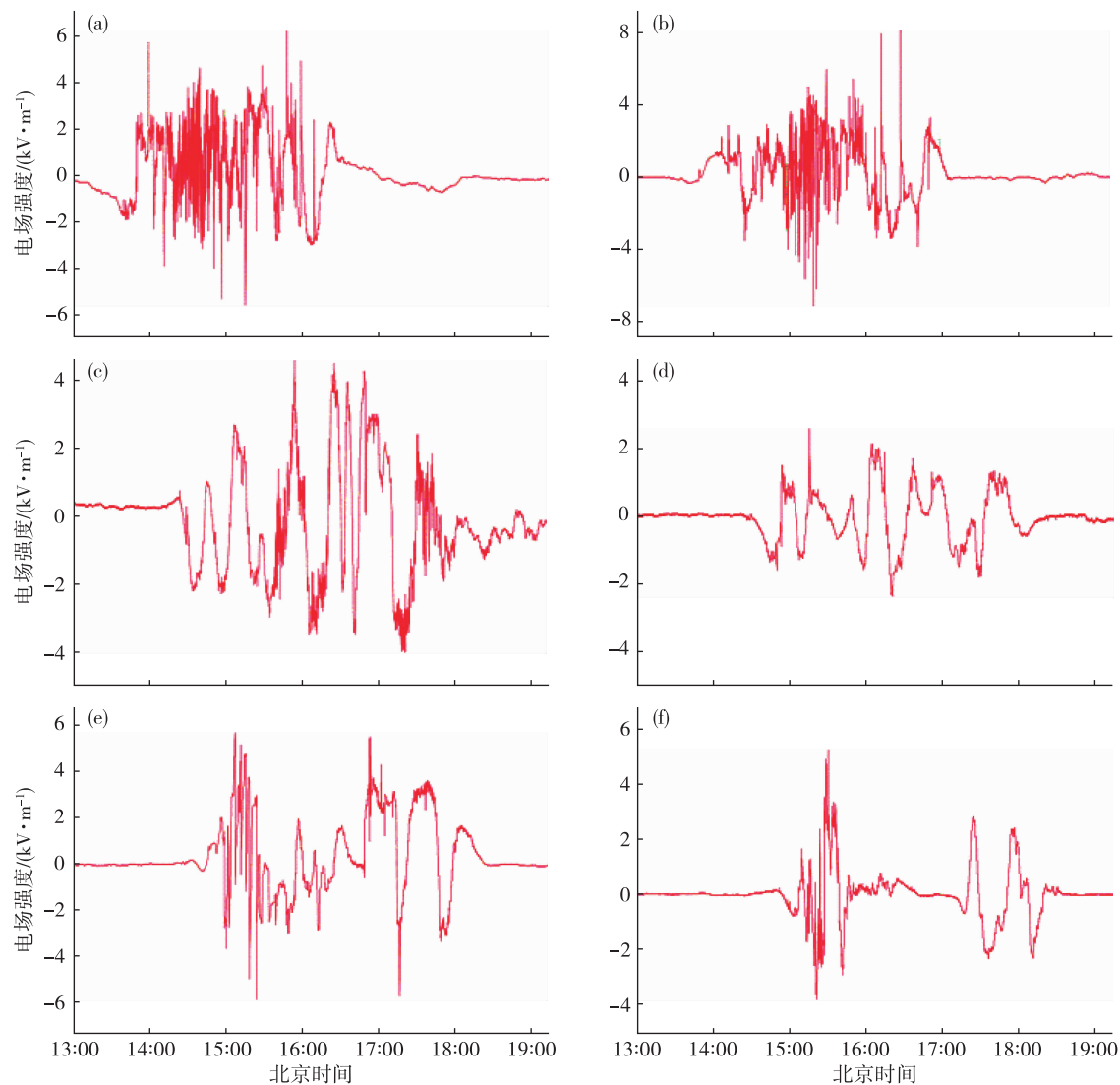


图4 7月1日13:00—19:00董家口(a)、胶南(b)、伏龙山(c)、李村(d)、世纪公园(e)和即墨(f)站大气电场强度曲线
 Fig.4 The change curve of atmospheric electric intensity observed by atmospheric electric fields mill at stations of Dongjiakou (a), Jiaonan (b), Fulong Mountain (c), Licun (d), Century Park (e) and Jimo (f) from 13:00 BST to 19:00 BST 1 July

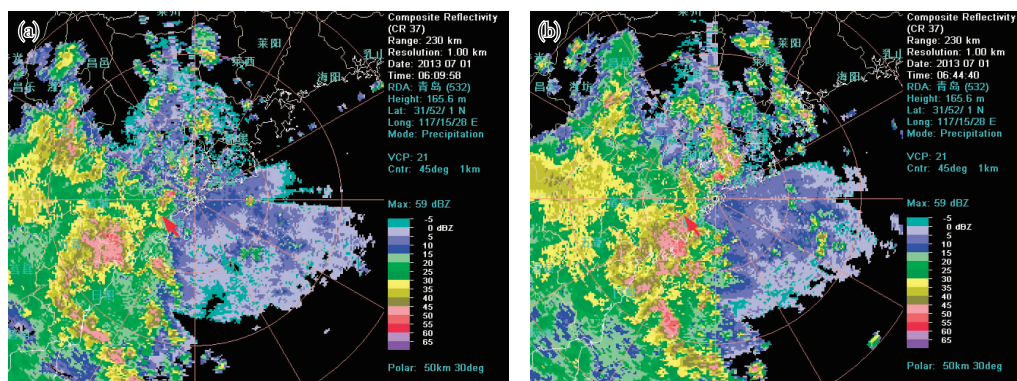


图5 2013年7月1日06:09 UTC(a)和06:44 UTC(b)青岛雷达组合反射率(红色箭头指示的是胶南站的位置)
 Fig.5 The composite reflectivity map detected by Qingdao radar at 06:09 UTC (a) and 06:44 UTC (b) 1 July 2013 (The red arrows indicate the location of Jiaonan station)

但闪电定位仪也存在局限性,只有当雷雨云中电荷积累达到击穿电场强度之后,闪电定位系统才能对其进行监测,对于尚未发生雷电的云,没有任何预警功能,也不能探测到闪电形成前云中电荷活动的演变过程^[1,11-12]。但闪电定位数据可以作为雷电预警效果检验的一个重要指标。

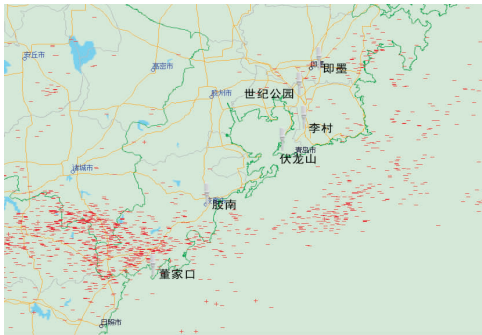


图6 2013年7月1日13:00—20:00青岛地区的闪电定位图(“+”代表正闪电,即雷云带正电荷的放电过程;“-”代表负闪电,即雷云带负电荷的放电过程)

Fig.6 Map of lightning positions in Qingdao from 13:00 BST to 20:00 BST 1 July 2013 (“+” stands for positive flash, which is discharge process of positive charged thundercloud;“-” stands for negative flash, which is discharge process of negative charged thundercloud)

5 结论

1)当地面电场强度曲线在几十到几百毫秒量级内发生极性反转,变化幅度在 2 kV/m 以上,且完成后电场值会迅速回到极性反转前的电场值附近时,可以判断为发生了一次地闪。

2)闪电发生前电场强度的增加可为雷电预警提供时间,但不能体现出雷暴云具体的移动方向。

3)通过不同站点反应时间的不同,大气电场仪组网监测可以对雷暴云的移动路径做出判断。

4)通过对大气电场仪组网数据、雷达回波以及闪电定位系统数据的综合分析,可以更好地判断雷暴云的活动状况,提高雷电的预警准确率和时间提前量。

参考文献:

- [1] 吴明江,杜莉萍,陈勇斌,等. 大气电场的特征及雷电预警技术研究[J]. 气象水文海洋仪器,2010,27(1):10-14.
- [2] 叶本闪,陈钊,王辉煌. 谈大气电场仪在闪电监测预警中的应用[J]. 信息系统工程,2013,(4):102-103.
- [3] 高菊霞,张亚斌,李润强,等. 利用地面大气电场监测实现雷电预警[J]. 陕西气象,2009(s1):52-55.
- [4] 周璧华,姜慧,杨波,等. 地物环境对地面大气电场测量的影响[J]. 电波科学学报,2010,25(5):839-844.
- [5] 周璧华,姜慧,刘海波,等. 地面与空中大气电场的对应关系研究[J]. 电波科学学报,2010,25(1):20-25.
- [6] 谢屹然,徐开,孙腾飞,等. 低纬高原大气电场特征及其在预警中的应用[J]. 灾害学,2012,27(3):34-38.
- [7] 朱男男,宫全胜,易笑园. 地面大气电场资料在强对流天气预报中的应用[J]. 气象科技,2010,38(4):423-426.
- [8] 吴亭,吕伟涛,刘晓阳,等. 北京地区不同天气条件下近地面大气电场特征[J]. 应用气象学报,2009,20(4):394-401.
- [9] 徐栋璞,王振会,曾庆锋,等. 近地面大气电场数据EMD方法分析[J]. 气象科技,2013,41(1):170-176.
- [10] 吴健,陈毅芬,曾智聪. 利用地面电场仪与闪电定位资料进行短时雷电预警的方法[J]. 气象与环境科学,2009,32(1):47-50.
- [11] 柴瑞,王振会,肖稳安,等. 大气电场资料在雷电预警中应用[J]. 气象科技,2009,37(6):724-728.
- [12] 黄兰兰. 强雷电天气过程闪电定位资料分析及预警服务[J]. 气象与环境科学,2014,37(3):88-93.