

“1977.5”特大暴雨的雷达回波 及中尺度系统探讨

林应河
(地理学系)

1977年, 5月27日—6月1日汕头地区海陆丰等县出现罕见的特大暴雨, 最大中心1461mm, 出现在陆丰站附近炎龙公社白石门水库。1000mm以上的降水区, 分布在陆丰县城周围6个公社(见附图1)。从陆丰县站雨量记录看, 暴雨分五个时段(如表1), 各段降水均发生在晚间至次日上午, 时间逐段延长, 雨强逐段增大。最后时段达24小时之久, 降水652.3mm, 占总量二分之一; 时最大雨量达102mm。这次暴雨特点是雨强大, 范围小, 日变化明显, 积雨量大, 部分时段出现强雷暴, 使海陆丰、惠来、潮阳等县造成严重涝灾。对这次暴雨成因及过程具体情况, 我们试从佛山、汕头、梅县雷达站所观测的部分回波及汕头地区站哨资料进行探讨。



附图1. 77.5.26.14⁵—31.14⁵海风锋动态及总雨量图

表 1

时 间 雨 量 mm	第一时段	第二段	第三段	第四段	第五时段
地 点	27 ⁰¹ —27 ⁰⁸	27 ¹⁹ —28 ⁰⁸	29 ⁰¹ —29 ¹⁴	29 ²¹ —30 ¹⁰	30 ¹⁸ —31 ¹⁷
陆 丰	(16.3) 以前不明	70.0	207.3	223.0	652.3

一、雷达回波演变情况

回波演变，也按五个时段介绍。

第一时段(26.16^s—27.09^s)。5月26日16时，汕头雷达站观测到汕头地区大部分县及梅县部分地方，出现絮状回波，在海陆丰北侧至普宁，有一回波带，结构紧密，强度较强。在20时以后，以回波群形式，缓慢向东南沿海扩展，移速约40公里/12小时，深夜在沿海构成东西向回波带。至27日上午，回波带向东北移动减弱消失。午后，新的回波群出现在普宁、揭西、陆丰三县交界的地方。从整个时段看，回波活动具有日北夜南的特点。从雨量分布看，亦具有日北夜南的现象。这时段暴雨主要出现在回波带活动的北部山区，即陆丰、揭西普宁交界的地方。

在第二时段(27.18^s—28.11^s)。回波演变类似第一时段。不同的是，在回波缓慢向南扩展过程中，23时，在普宁至海陆丰有几块体积较大的回波，呈南北向，互相平行。回波顶高约6 km，位置较稳定。28日05时左右，在海陆丰至南部海面出现一南北长约300公里的强回波带。08时以后，回波带向东东北移动减弱。在回波稳定、发展的时段内(27¹⁸—28⁰⁸)，暴雨中心在陆丰县北侧的河口公社，降水164mm。

第三时段(29.01^s—29.14^s)。自28日午后至20时，陆丰北部南阳山至普宁，出现零散的阵雨回波群，相应的地面出现间断小阵雨。20—24时这一带降水消失，而沿海个别站哨在24时已出现阵雨。29日04时15分，海丰至普宁出现高达8.5公里的回波群，以30公里时速向东南移动。5时20分，海陆丰至汕头市近海一侧，出现结构较紧密、边缘呈波状的强回波带，08时后分裂成块状回波向东北移动，午后，在海陆丰北侧至揭西普宁一带活动。海陆丰暴雨，发生在回波南移，发展成强回波带的时段。

第四时段(29.21^s—30.10^s)。29日16时，在偏北山区的回波系统逐步向南移动，21时移至海陆丰、惠来沿海一带，形成东西走向，长约100公里的回波带。回波在南移过程中，强度逐渐增强，回波顶从6公里发展到17公里，回波带自21^s—30.04^s相对稳定在陆丰县城附近。以后，缓慢向东南移动，至10时06分，在海面构成一条西北—东南走向、形似“人参”状的强回波带，尾部在陆丰东南侧。回波强度达60分贝，顶高12—14公里。11时以后，迅速减弱，返回陆丰至惠来之间。同时在莲花山附近出现新的回波群。回波演变与第三时段相似，只是强度更强，在陆丰沿海降水时间比第三时段提前4个小时。降水实况与回波南移相当一致。

第五时段(30.17^s—31.16^s)。从30日13时起，海陆丰、惠来一带已经有回波逐渐向东扩展。17时以后已东移至沿海一带，形成东西向回波带。19时以后，回波带东段减弱消失，而西段加强，且逐渐向红海湾西南海面扩展，形成一条西南—东北向的新回波带，结构不甚紧密，在夜间较稳定，但长度变化大，最长约150公里，伸至香港南部海面，短时只在海陆丰一侧。另外，在31日06时，在这回波带西北部

的惠州、惠东两地，有两条短回波带与它平行，并向东南方向移动，于06⁵⁵合并成一条，继续向东南移动，07⁵⁸合并于海面这条稳定的回波带。08时以后，在海面的回波消失，而汕头雷达站观测到一条东西走向的强回波带稳定在海陆丰至惠来以东。在回波带西段北侧边缘，即陆丰县城附近，出现“~”形缺口。对照陆丰县站实况，雷暴大风、特大暴雨与“~”形回波出现时间配合甚为一致。同时还看到，当回波合并出现“~”形时，回波发展，地面相应出现雷暴大风；当回波稳定少动高度下降时，地面则倾盆大雨，如10—11时降水达102毫米。11时以后，回波带逐步减弱，至15时以后弱回波单体移出陆丰县，特大暴雨结束。

从五个时段回波演变过程，可初步看到，回波系统活动具有明显日变化。白天至午后，回波在中部山系活动，强度偏弱；夜间，回波向南东沿海聚集加强，发展成稳定的强回波带，带的边缘有时呈波状或“~”状。回波系统的移动，从傍晚至次日，先南东南→稳定→东东北→东北。全过程大于500毫米的雨区，恰好是强回波带稳定和南北摆动的地方。

二、回波和天气系统关系

直接影响海陆丰暴雨回波的天气系统。前阶段（26⁰⁸—28⁰⁸）是南海北部弱静止锋及沿30°N东移出海的变性冷高压，后期（28⁰⁸—31⁰⁸）是西南倒槽和锋前低空西南急流。暴雨区处在较强的潮湿不稳定和大尺度上升运动区。但暴雨回波并非分布在整个大尺度上升运动区，而是分布在中尺度的辐合系统中。具体有下面几种中尺度系统和回波活动较为密切。

1、气流汇合区

前两时段的暴雨虽然处于弱静止锋后、出海变性高压南侧，但回波系统则明显地出现在中尺度气流汇合区。这种汇合扰动有两种情况。

（1）中尺度喇叭地形形成的气流汇合扰动

这种中系统，主要出现在26—27日，是由出海高压迴流的冷湿东南风涌进朝东南开口的东北喇叭形区时（潮阳、普宁、揭西、陆丰北部），峡谷效应及绕流形成的气流汇合扰动。第一时段回波系统常对应着这种系统，暴雨中心恰好落在这种扰动区。

（2）东南风与西南风汇合线扰动

这个中系统，是在出海高压减弱，西南倒槽发展，由西来的西南风和东南风汇合形成的。开始出现在27日20时，恰好迭加在朝南开口的喇叭形区（海陆丰）。20时至28日清晨，在海陆丰一带虽然演变成涡旋，但是在南部海面，仍维持着这种系统。到28日08—12时，西南风加强，这个系统对应着弧状回波向东东北方向移动。在这段时间气压场上并没有什么明显特征。联系到27日晚，在海陆丰出现的南北向块状回波、强回波带及相应的暴雨中心，说明与这个中系统关系十分密切。在回波向东东北移动过程中，沿途的惠来7—9时降水78.2毫米，汕头市

10—11时降水24.9毫米。

2、中尺度涡旋

28日以后的暴雨时段,中尺度涡旋活动较多。如29日05时20分,海陆丰至汕头市,有一较强回波带。在08时中尺度流场上,海丰至汕尾、红场至峡山,各存在一中尺度涡旋,两涡之间是一低压槽,对应的回波较弱,涡旋部位回波较强。08时以后,回波逐渐向偏东方向移动,14时这两个涡旋消失。而在大坪至侨场之间出现一涡旋,回波也相应移至这一带。处在涡旋活动的向阳08—20时降水131毫米,侨场70毫米,红场239毫米。从回波活动及降水实况分析,第三时段暴雨和这些涡旋生消关系密切。涡旋的生命史大约8小时左右。

另外,如第五时段暴雨的前半时段,在海陆丰至红海湾出现稳定的回波带,正是和30日20时在红海湾至碣石湾海面的涡旋配合在一起。受这个涡旋影响的海丰站12小时降水108毫米(30.20^s—31.08^s),陆丰站降水276毫米。

3、三合点中系统

由偏北风、西南风和偏东风的辐合区,对暴雨贡献也十分显著,它所反映的回波也很强。如29日20时,海丰至南塘有一风速切变线,在它的东端出现由三种不同风向的汇合点,这个三合点系统大约维持7小时左右,对应着高达17公里的强回波。在三合点附近的陆丰县降水178毫米(9小时),南塘降水129毫米。而处于切变线西端的海丰降水只29毫米。

4、中尺度南北风辐合带

分析发现,中尺度南北风(西南,东北风)辐合带,对暴雨的贡献也是很大的。和它对应的降水回波,多呈带状,结构紧密。例如31日08时,在海陆丰沿海有一条近东西向的南北风辐合带,辐合量最大达 6×10^{-4} 秒⁻¹。由于辐合带的出现,原在海面活动的回波系统也明显地移入辐合带,两者位置基本一致。处在辐合带中的陆丰县站,6小时降水319毫米,同时出现雷暴大风,海丰站6小时降水295毫米。

综上所述,前二时段暴雨回波,主要是气流汇合扰动产生的,后三时段则是和涡旋、三合点、辐合带(主要系统)紧密联系。这些中系统和回波演变相似,具有明显日变化,产生的位置和移动路径相对固定,而且主要活动在海陆丰一带,这显然同地形有一定的关系。

三、地形对暴雨回波影响

从汕头地区地形简图(见附图1)可看到:该区东南面临南海,西北耸立着高达1千米左右的莲花山脉。中部由南北走向、高约8百米的南阳山和西北—东南走向的大南山系把该区分成两个喇叭形区。其东北的喇叭形区(下称东北区)迎着东南风来向,其西南喇叭形区(下称西南区),迎着偏南风来向。这种地形特征,对这次暴雨回波活动的影响主要有两方面。

一是喇叭形区的峡谷效应造成气流汇合扰动,产生较强回波。如第一时段的

扰动系统及相应的暴雨回波，正是反映了这种地形效应的结果。

二是海陆风效应。在前期暴雨过程中，这一现象，已有所反映。以27日为例：08时，中尺度地面流场上，出现1—4米/秒的东南风和1—4米/秒东北风，在东北区汕头至普宁一带形成汇合扰动，对应着较强回波系统。普宁08—12时降水30.6毫米。而处在普宁西部非汇合区的南万，相距约70公里，附近吹偏北风，无出现回波。14时，东北风基本消失，东南风达4—8米/秒，一直深入到西部山区，扰动系统也相应出现在这一带。这时南万附近一带，出现块状回波群。南万14—17时降水38.1毫米，普宁只有0.1毫米。到20时，东南风又减弱到1—4米/秒，在东北区的西部山麓出现1—4米/秒偏北风与汇合在西南区的偏南风辐合。20时以后，西南区气流汇合扰动演变成涡旋是与东北风出现有着密切联系。从27日风场日变化看，前段暴雨，已存在海陆风效应。

在后三时段的暴雨过程，海陆风效应更加明显。由于在这时段，新的冷锋从西路移入两广后，又静止在桂南、粤中、闽南一带。近地面层，暖湿的西南风已到达海陆丰沿海。整个地区处在锋前降压及潮湿不稳定。因此，中部山系两侧温差，海陆昼夜温差比前期显得更加悬殊。这对形成海陆风非常有利。如28—30日每日14时，以 1°C 中分析温度场，在东北区有一冷中心稳定在大南山麓群丘之间，即红场至军埔。而西南区域，则存在一暖舌，暖中心在陆丰汕尾之间。冷暖中心连线呈西南—东北向，相距约80公里， ΔT_{N-L} 常达 4°C ，最大 6.6°C ， $\Delta\theta_{se}$ 达 8° — 16° ，为全地区温度梯度最大的地方；在流场上，西南风常吹进暖舌区一直至中部山系冷中心外围，在这里与偏北风形成中小辐合系统。回波系统也相应在这一带活动。但是到了20时，冷中心范围迅速向南阳山及西南区扩展，暖舌退至汕尾附近，西南风退至沿海，偏北风出现在西南区，回波系统也向南移动，夜间在沿海聚集发展成强回波带。到了第二天08时，还可清楚地看到一条近东西走向的中尺度辐合带（有时出现涡旋），对应着强回波，分布在海岸线附近。到了14时，温度场、流场、辐合系统，又恢复昨天14时的形势，但辐合系统位置稍偏南，冷暖中心各有所加强。在08时以后，回波带逐步向东北东移动、减弱，至14时回波群又和北移的辐合系统配合在一起。

从降水实况分析，和上述各种系统的日变化特点非常吻合。如陆丰县站，暴雨总是开始于傍晚温度降低偏南风减弱转吹偏北风的时间，结束于次日上午西南风加强之后。又如陆丰站和北部南阳山区的河口、大坪，相距分别为40—80公里，暴雨雨量日北夜南相当明显（见表2）。

从上面风场日变化，尤其是后三时段西南区风场日夜近 180° 变化、中尺度辐合系统的形成以及暴雨回波有规律的日变化看来，主要是由于南、北、海、陆之间温差引起的海陆风效应影响的结果。说明在一定的大尺度系统背景下，海陆风效应，对系统风场进退、中尺度系统生消及其对应的回波、暴雨的时空分布起重要的制约作用。

表 2 (A)

(B)

雨量 mm	时 間	29日		30日		雨量 mm	时 間	28.20	29.08	29.20	30.08
		1—05	12—16	01—05	12—16			至	至	至	至
地点						地点		29.08	29.20	30.08	30.20
北	河 口	7.2	35.9	7.9	94.3	大 坪		15.2	172.8	16.8	72.8 73.4 其中43 是19—20 时降水
	↑ 陆 丰	65.2	4.8	75.7	1.7						
南											

在后三时段的辐合系统（辐合带、涡旋、三合点），由于处在冷暖中心之间 T 、 θ_{se} 的不连续区，对应着回波系统，类似地面锋场特征，我们暂称为海风锋。

四、暴雨对海陆风效应的反作用

前述海陆风效应对暴雨时空分布起制约作用，但后三天特大暴雨过程中，还反映暴雨对海陆风效应的反作用现象。如这三天的暴雨回波活动，总是逐日提前出现在海陆丰沿海，而且推迟结束，相对应的海风锋位置，逐日南移（见附图1）。冷中心温度逐渐下降，范围日益向西到西南扩大，暖中心温度逐日升高。而东北区域其它地方的温度则相对稳定，如28—30日每日14时，普宁站均为27℃，汕头站为26℃（29日25℃），西部的水东为28℃。从24℃等温线逐日变化动态，更清楚看到，该等值线在东北区变化不大，而向西南区扩大则相当明显。说明在暴雨区东北、西北方向，近地面层没有受外来冷空气影响。那么上述环境温度场变化及系统南移现象原因何在？

根据回波演变和降水实况日北夜南的情况分析，冷中心逐日加强和向西南扩展的现象，主要是由于中部山系一带，白天处于降水阶段，上层冷空气下传及降水蒸发冷却引起温度下降的结果。而暖中心温度逐日升高，则是由于该区降水提早结束（11时后），地面受太阳辐射增温以及逐日加强的暖湿西南风配合海风吹进暖区的结果。

随着冷中心逐日加强，范围向西南扩大，反过来对海陆风效应起很大影响，具体有四方面作用：一是限制暖区向北扩展，使白天吹进暖区的西南风难以继续深入到中部山系，导致海风锋逐日南移，使相应的暴雨回波日益提前在沿海活动；第二是加强了陆风与西南风辐合，使海风锋上的辐合上升运动更激烈，造成降水逐段增强；第三是有利于陆风维持，使沿海暴雨逐日延长时间。例如30日10时以后，陆丰至汕尾，降水基本结束，陆丰站14时温度升高到30.1℃，而中部山系因继续

降水, 红场温度只有 23.6°C , 到30日20时, 冷中心温度比 29^{20} 低 1.7° (22.1°C), 25°C 等温线较 29^{20} 向西南扩展50公里左右。结果, 陆风比 29^{20} 提前1小时以上到达沿海, 风速增大2米/秒, 降水提前3小时。至第二天08时, 陆风仍明显存在, 而且使海风锋上地面辐合量比昨天同时间大 $2 \times 10^{-4}\text{秒}^{-1}$, 辐合面积增大2倍以上, 降水推迟数小时, 降水量成倍增大, 降水强度明显增强。

最后的作用是破坏了海陆风效应, 导致海陆丰特大暴雨结束。由于前三方面的作用, 最后使 31^{08} 在海陆丰沿海的海风锋一直维持在原来位置, 至14时还稍向南推移, 位置在海丰南侧至碣石湾。高达8公里的回波系统仍在陆丰至汕尾一带活动。汕尾降水延至14时, 陆丰延至17时。原每天14时在陆丰至汕尾的暖中心, 因降水变成冷区(陆丰 31^{14} 温度 23.7°C 比 30^{14} 低 6.4°C), 在红场的冷中心西移至南阳山南侧, 这时整个西南区为低温区, 同海面冷源(白天)连系在一起, 对流受到抑制, 海风得不到发展, 使原来形成海陆风的环境场受到破坏, 海风锋消失, 导致海陆丰特大暴雨结束。上述情况说明, 在一定的大系统背景下, 受海陆风效应影响的暴雨, 反过来又影响海陆风效应。使海风锋日益南移, 暴雨逐段加强以致结束。

$31.17^{\text{s}}-6.1.14^{\text{s}}$, 暴雨出现在东北区沿海。西南区, 因31日暴雨, 从15时至傍晚, 温度仍在缓慢回升, 不利于该晚陆风的发展, 虽然大尺度系统变化不大, 水汽条件更充沛, 但未出现暴雨。及后因冷锋过境, 全地区暴雨结束。这将进一步说明, 海陆丰特大暴雨, 主要是海风锋触发产生的。也说明暴雨对海陆风效应起反作用的事实。

五、小结

综合以上分析, 可得到如下初步结论。

这次特大暴雨, 是以中高纬度稳定着两脊一槽, 南支槽活动较频繁, 低层先后出现有利降水的大尺度系统为背景, 由中尺度气流汇合扰动、海风锋等发生发展所造成。按直接影响这些中系统的大尺度系统为背景, 可分三个时期。前期($5.26-27.20^{\text{s}}$), 是以出海高压迴流的冷湿东南风为背景, 由地形峡谷效应及绕流形成中小气流汇合扰动, 造成第一时段暴雨。中期($27.20^{\text{s}}-28$ 日), 是在出海高压东移减弱, 西南倒槽发展的情况下, 由西来的西南风和东南风形成中尺度气流汇合带扰动, 造成第二时段暴雨。后期(29—31日), 是以锋前暖区, 西南倒槽东伸, 低层暖湿西南风日益加强为背景, 由热力差异引起海陆风效应, 产生海风锋, 造成后三时段特大暴雨。对暴雨贡献最大的主要是海风锋。

本过程出现的回波系统主要有回波带、块状回波群, 以及前期的片絮状回波, 中期的弧状回波等四种回波系统。其中雨强大, 最活跃的是和海风锋对应的回波带系统。它有如下特点: ①夜间由北来回波群聚集在沿海发展而成, 白天向东北移动减弱, 活动位置相对固定; ②结构较紧密, 边缘有时呈波状或~状, 回波强度最强达60分贝, 顶高8—17公里; ③回波稳定时, 每小时雨量常达5毫米, 最大40—

100毫米；④回波顶高发展至11—17公里时在高度开始下降的数小时内，1小时雨量出现40—100mm；⑤与外来回波合并时回波迅速发展，出现“∨”状，地面出现雷暴大风。总之本过程大于1000mm的地方，主要是这种回波系统活动的地方。

地形对这次暴雨的作用，主要是海陆风效应，具体表现在：①海陆风迭加在系统风场上影响系统风场进退(近地面层)；②形成中尺度辐合系统，如海风锋；③加

强和调制中尺度系统的活动，如前期中尺度系统作东南 $\overset{\text{午后}}{\rightleftarrows}$ 西北摆动，后期海风锋

日北夜南活动，陆风与偏南风汇合扰动演变为涡旋等，④制约暴雨回波时空分布。其次是地形峡谷效应和绕流形成气流汇合扰动，产生暴雨。

暴雨对海陆风效应的反作用，主要在于加强中部山系的冷中心，导致陆风逐日加强，与日益加强的西南风在沿海造成更强烈辐合上升运动，使暴雨逐时段增大，时间逐时段延长。最后破坏了海陆风效应，导致海陆丰特大暴雨结束。

An Analysis of the Heavy Rainstorm of "May, 1977" Using Radar Echo and Mesoscale Systems

Lin Yinghe

Abstract

This article deals with an investigation on a heavy rainstorm using the method of radar echo and mesoscale systems. The rain fell within a very small zone of prefrontal warm sector on the eastern coast of Guangdong Province lasting four days with a precipitation of 1461mm. The rain was so hard and the thunderbolts were so severe that they had scarcely been found in the history of Guangdong. The precipitation aspects of district lies between the sea southerly and a mountain northerly. Prime analysis shows that the rain pour was developed by a sea breeze front with the confluent disturbance of a mesoscale air stream under the large scale weather system which was potential to rain.