

L 波段雷达低空低仰角探测技术

吴佳妮 赵学华 陈长丘

(海南省西南中沙群岛气象台, 永兴 573100)

摘要 根据新一代 L 波段测风雷达的测风原理, 探讨了海岛测站在大风、台风天气雷达低仰角探测中, 低空难以实现角度自动跟踪与近距离抓球等问题。阐述了丢球的原因和解决方法, 并以个例分析来说明低空低仰角丢球、旁瓣球的特征。提出在地面风速大的情况下, 低空低仰角丢球可利用风速判断仰角范围、配合下风方位帮助抓球。总结 L 波段雷达的探测经验, 为台站灵活使用 L 波段雷达提供借鉴。

关键词 L 波段雷达 低空 低仰角 探测方法

引言

高空气象探测系统是大气综合探测系统的重要组成部分, 主要探测高空大气的温度、气压、湿度、风向和风速。L 波段探空雷达资料不仅可以用于大气边界层特征分析^[1], 还可以在污染气象分析预报、雾的预报、有害气体泄露事件应急气象服务、风能评价等多个领域发挥作用。我国高空探测以 L 波段二次测风雷达 GTS1 电子探空仪系统为主, 逐步取代“59-701”系统, 它具有较高的精度和自动化程度, 大大提高了高空探测数据处理质量和工作效率。但 L 波段二次测风雷达波瓣宽度窄, 而仰角被限制在 $-5^{\circ}\sim 92^{\circ}$ 之间, 因此, 该雷达在跟踪目标时, 如果目标距离雷达较近(0~3000 m 范围内), 雷达受其方位转速的限制, 通常不能自动跟踪目标, 造成目标丢失, 破坏资料的完整性和连续性。西沙高空站在西沙群岛永兴岛上, 该站风向为夏季盛行西南风、冬季盛行东北风, 风向风速有季节性变化。2~4 月风速变化小, 振幅均匀, 5~9 月有西南大风, 11~12 月及 1 月出现东北大风, 台风活动季节在 5~11 月, 5 月后风速变化幅度大。据全年情况, 低空低仰角观测常在 6~12 月跨次年 1 月, 8~11 月为高峰期。西沙高空站因特殊海洋气候条件, 通常风较大, 雷达在低空低仰角探测时也难以实现角度自动跟踪与近距离抓球。在该研究领域中, 广大业务观测人员总结

了大量业务经验。如李伟等对 L 波段高空气象探测系统软件进行升级, 基本上实现了从数据采集到数据处理的自动化^[2]; 华行祥等总结了杭州高空站 L 波段高空气象探测系统业务软件使用技巧与相应的故障处理方法^[3]等。本文根据海岛测站特点, 对低空低仰角雷达探测技巧进行技术探讨和经验总结。

1 测风原理

GFE(L)1 型雷达利用跟踪探空气球来测风。探空气球上带有无线电 GTS1 型数字式探空仪回答器升空, 回答器提供信息。雷达通过每一对询问与回答信号之间的时间间隔和回答信号的来向, 进行连续的空间三坐标定位获得目标的斜距、水平角、俯仰角和时间, 再根据时间相关性计算探空气球的水平移动速度和方向, 等效为相应高度上的大气水平风速和风向。具体的数值解码由 L 波段高空气象探测系统软件^[2]完成。

2 低空低仰角探测的丢球分析及解决方法

丢球可分过顶丢球及低仰角丢球, 马宏武等已总结了过顶丢球^[4], 本文详细讨论低仰角丢球的特点和解决方法。低仰角丢球通常发生在大风天气条件下, 此时雷达不能自动跟踪目标, 需要手动抓球。

2.1 丢球特点

①探空仪施放后在1~2 min内目标物由雷达天线上风方向快速向雷达反方向飞行,雷达自动跟踪速度慢于气球瞬间飞行速度,造成丢球。②台风天气地面风大于等于8级大风时,雷达天线受大风的袭击,雷达转动异常,从机械性能上不能满足跟踪的条件,造成目标物丢失。③GTS1型数字式探空仪频率偏离L波段测风雷达中心频率大于1次谐波,容易丢失目标物。

2.2 丢球的解决方法

①仪器施放后气球在没有入云之前丢球,应及时指挥抓球。在大风天气观测时,为了快速抓球,可尝试估算气球方位、仰角的抓球方法。根据地面风速估算球的仰角,方位选择下风方向,施放后等待球飞行到天线附近时听从指挥,快速抓球。②在能见度差、球入云早或晚上灯笼灭等看不清球影无法指挥抓球时,可根据地面风向、风速估算球飞行范围结合雷达亮线、凹口、自动增益、高差、探空信号等综合考虑抓球^[5]。还可根据自动增益的变化搜索目标物。一般仪器距地1000 m时自动增益变化范围是30~50 dB,高差在100 m范围内。确定目标范围后转动天线,根据高差来调整仰角,当高差接近平时值(10~70 m)时,增益值变小,适当调整方位,在自动增益变化最小值附近扫描,自动增益变化越小说明目标物离天线中心频率越近。4条亮线代表上下左右4个波瓣,根据亮线长短摇动天线方位、仰角,亮线调平齐后将天控手动转换为自动。对准目标物时

自动增益值变化范围小且有规律,使用扇扫方位,仰角稳定不变。抓到球后,凹口明显,亮线平齐跳动有力,飞点少,高差报警消除。③在接收信号过程中,有外界强干扰信号进入接收机,引起接收信号差,频率从正常的工作频率中跳到1668 MHz或1690 MHz(西沙站),凹口变模糊,出现没有规则的杂波,飞点多且高度相差大出现报警,信号漂移严重会丢失。这是由跳频引起的,应及时找回中心频率,进行距离跟踪。探空仪一般有两个较强的中心频率,分为主频率和次频率,在地面准备仪器调整频率时找好这两段频率。在探测过程中随着频率的漂移,信号质量会慢慢变差,及时调整频率,使凹口两边的茅草与粗扫描线的茅草平齐,保持信号质量。如是因强干扰信号造成的探空信号差,则要将频率调整到另外一个频率点上。调好频率,增益值与高度差值变化范围小,信号变强,应根据不同情况随时调整频率避免丢球。

2.3 丢球的特殊个例分析

以2008年一次台风天气探测中低空丢球记录为例,探空仪在下风方向施放,在抓球过程中第1~2 min雷达跟踪正常,第3 min后雷达受大风影响无法准确跟踪发生丢球,第9 min后将球追回,数据正常。从表1可看出仰角的变化,第3 min仰角与第2 min仰角变量相差 6.82° ,方位角相差 22.01° ,第10 min数据稳定,第3~9 min之间的仰角值变化幅度大,在量得风层风要素中风速变化没有规律且差异大,判断仰角突变丢球。

表1 2008年4月17日19:00低仰角丢球记录(取高空资料高表13数据)

	仰角/(°)	方位角/(°)	量得风层		判断	
			时间/min	风向/(°)		风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
第1 min	6.96	287.09	0.5	108	32	
第2 min	6.15	292.89	1.5	117	44	
第3 min	12.97	270.88	2.5	335	32	丢球
第4 min	-4.01	273.42	3.5	95	129	丢球
第5 min	14.96	276.60	4.5	271	108	丢球
第6 min	4.05	287.21	5.5	111	199	丢球
第7 min	3.89	276.93	6.5	55	74	丢球
第8 min	13.93	296.89	7.5	181	124	丢球
第9 min	5.24	305.33	8.5	182	63	丢球
第10 min	4.75	304.73	9.5	121	61	
第11 min	4.71	304.99	10.5	128	45	

正常情况下,低空风速大仰角变化小且有规律,其在每秒钟坐标数据中仰角变化在 1° 内,如果仰角每秒钟内跳变在 5° 以上,分钟仰角记录变化相差大于 8° 可判断雷达丢球或是旁瓣定向^[4,6]。

3 低仰角雷达探测时旁瓣球的判断及解决方法

在放球过程中丢球,气球入云消失快无法准确判断目标物时易抓到旁瓣球;当探空仪升空后入 Cb 云或是高空对流影响大,信号漂移,会发生旁瓣丢球。

3.1 旁瓣球特点

低空旁瓣抓球时雷达信号的几个特征:①出现旁瓣球时,探空信号差,在示波器中看到 4 条亮线的信号比前几分钟明显减弱,亮线上端无火柴头状且忽高忽低跳跃,此时可判断是旁瓣抓球。②凹口不明显或没有,雷达斜距自动跟踪变化大,每秒高度差大于 100 m 报警,自动增益显示值大且不稳定。③发生旁瓣抓球,距离较近时温、湿、压信号清晰,但当距离远后,信号会明显减弱,此时探空温、湿、压数据的飞点变多。

3.2 旁瓣球解决方法

L 波段高空气象探测雷达的无线电波瓣宽度小于等于 6° ^[6],比 59-701 型测风雷达波瓣宽度窄,稍

有偏差即发生旁瓣抓球。必须结合 L 波段雷达的丢球特点抓球。当确定是旁瓣球时,应及时将天控自动切换成手动,把雷达天线摇置判断丢球的前一分钟方位、仰角附近慢慢搜索,以自动增益的变化判断目标物的范围,搜索到自动增益变化最小值,然后调整亮线、追踪凹口、调整频率抓球,确定目标物后将天控设置成自动状态,再使用扇扫功能检查信号。追回凹口后删除探空数据温、湿、压的所有飞点,才能消除高度误差报警。

3.3 旁瓣丢球记录个例分析

旁瓣丢球主要根据是雷达信号和记录仰角数据的变化来确定。如表 2 旁瓣丢球记录中,第 16 min 仰角变化与第 15 min 相差 8.89° ,方位角相差 9.59° 。每秒球坐标记录, $15'47'' \sim 15'52''$ 仰角从 35.73° 直升到 45.25° ,短短 5 s 变化了 9.52° ,根据每秒坐标与每分钟坐标仰角数据判断是旁瓣丢球。20 min 后将球追回,仰角和方位角稳定记录正常。由雷达仰角变化情况来判断旁瓣定向,主瓣球与旁瓣球在角度上有 8° 以上的差异,在表 2 记录中第 15 ~ 16 min 仰角的变化大于 8° ,测风记录失真。旁瓣丢球时要注意测风记录的变化,配合每秒球坐标数据判断旁瓣定向。

表 2 2006 年 11 月 2 日 19:00 旁瓣丢球记录

	仰角/ $^\circ$	方位角/ $^\circ$	量得风层			判断
			时间/min	风向/ $^\circ$	风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	
第 14 min	35.76	180.91	13.5	303	7	
第 15 min	35.96	179.89	14.5	345	7	
第 16 min	44.85	189.48	15.5	113	19	旁瓣丢球
第 17 min	46.41	190.28	16.5	185	16	旁瓣丢球
第 18 min	44.72	188.24	17.5	330	5	旁瓣丢球
第 19 min	21.99	196.16	18.5	36	38	旁瓣丢球
第 20 min	36.72	191.76	19.5	318	12	旁瓣丢球
第 21 min	34.30	174.56	20.5	309	56	
第 22 min	34.21	174.41	21.5	315	31	
第 23 min	34.05	174.61	22.5	355	9	

4 低空低仰角抓球的仰角分析

低空低仰角探测与风速有关,抓住仰角在风场中的变化规律,利用估算仰角的方法,实现快速抓

球。仰角的估算是以风速大小来判断角度的范围,风速变化,决定仰角大小。图 1 是西沙站 2006 年 1 月至 2008 年 12 月的低空风速大于等于 8.0 m/s 时仰角与风速在不同高度的数据对比。在不同高度上

的风速与仰角两者有对应关系,风速大,仰角值小,高度越高两者相关关系越差。从图中得出本站的低空风速大于等于 8.0 m/s 时低仰角值的变化规律:在 1500 m 以下低空风速为 8.0~11.0 m/s 时,仰角

变化范围在 $16^{\circ}\sim 32^{\circ}$;风速 12.0~15.0 m/s 时,仰角变化范围在 $13^{\circ}\sim 29^{\circ}$;风速 16.0~19.0 m/s 时,仰角变化范围在 $10^{\circ}\sim 23^{\circ}$ 。在低空丢球,可应用这一规律估算仰角抓球。

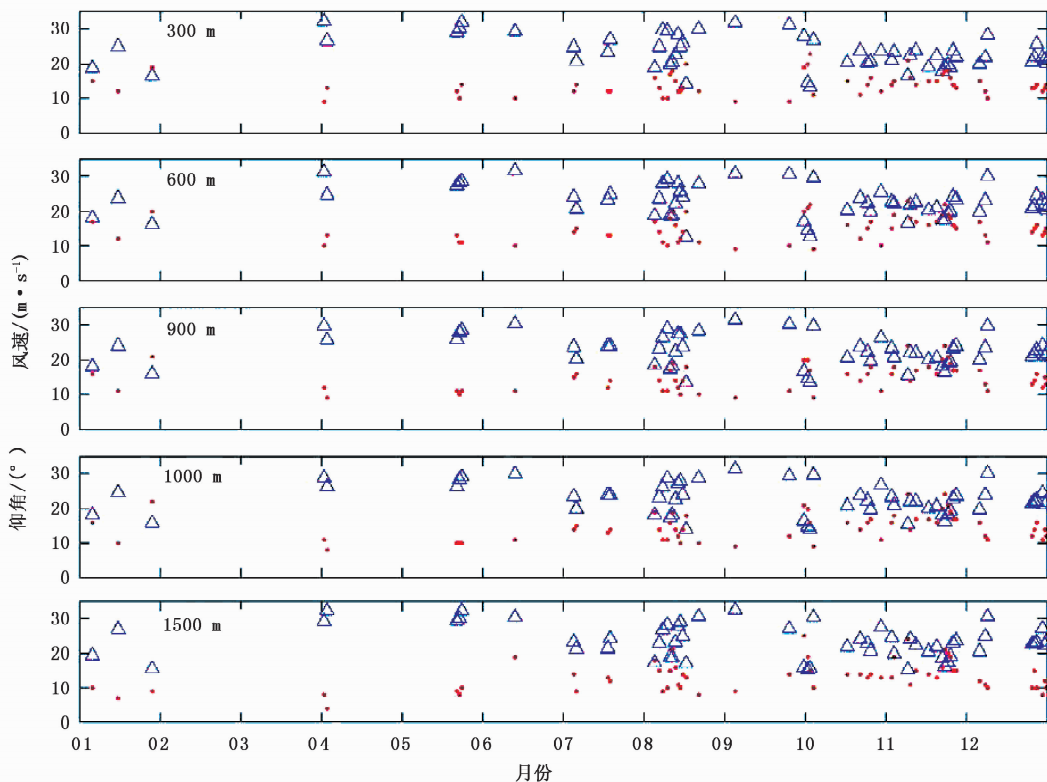


图1 2006年3月至2008年12月西沙站低空风速大于等于8.0 m/s 的风速与低仰角分布 (“·”为仰角,“△”为风速)

5 总结

低空低仰角探测是 L 波段测风雷达的探测难点,风速大时直接影响雷达天线的自动跟踪。根据雷达丢球特征及对实际探测记录的分析,总结出以下经验:①根据地面盛行风向,选择放球点。②西沙站在仪器施放前频率为 (1675 ± 6) MHz,自动增益范围在 30~50 dB,施放后低空 3000 m 以下自动增益范围在 30~65 dB,高差在 100 m 范围内。旁瓣抓球或丢球时,用搜索自动增益变化最小值的方法抓球。③放球观测过程中,注意调节雷达接收机的频率,调频率时参照探空点和亮线,频率按钮最好是打到“手动”位置,“自动”容易频漂。④避免频率漂移,在浸泡电池时要充分活化,赋能后电压低于 21 V 为好,保证长时间电量充足和回答信号强度不至于衰减过快。⑤仰角与风速存在相关关系,在放球

过程中遇低仰角丢球,可根据地面风速选择仰角估算范围,风向选择下风方向抓球。

参考文献

- [1] 马力,张银廷. L 波段探空 GFE(L) 1 型二次测风雷达资料在重庆大气边界层特征分析中的应用[J]. 气象科技, 2008, 36(1): 105-107.
- [2] 李伟,刘凤琴,徐磊,等. L 波段高空气象探测系统软件[J]. 气象科技, 2008, 36(2): 237-239.
- [3] 华行祥,朱兰娟,赵向荣. 新一代高空探测系统使用技巧和故障处理方法[J]. 气象科技, 2006, 34(2): 197-198.
- [4] 马宏武,张莉. 判断波段雷达过顶丢球的方法[J]. 气象水文海洋仪器, 2007, 1: 28-29.
- [5] 王雯燕,杨忠全. L 波段探空雷达发生丢球的原因及解决方法[J]. 陕西气象, 2007, (4): 47-48.
- [6] 中国气象局监测网络司. L 波段高空气象探测系统设备维护、维修手册[M]. 北京:气象出版社, 2004.

L-Wave Radar Detection Techniques at Low Elevation Angles and Lower Altitudes

Wu Jiani Zhao Xuehua Chen Changqiu

(Xisha Nansha & Zhongsha Islands Meteorological Office, Hainan Province, Yongxing 573100)

Abstract: On the basis of the detection principles of the new generation L-wave radar, the difficulties existing in the detection of strong wind weather with L-wave radar at lower altitudes and low elevation angles in island observation stations are discussed. Particularly, the phenomenon of balloon loss and side-lobe balloon at lower altitudes and low elevation angles are analyzed. A solution for balloon loss at lower altitudes and low elevation angles under strong surface winds, identifying the appropriate elevation range by means of downstream winds, is presented. Some experiences are also given, which can be used as reference for better use of L-wave radar

Key words: L-wave radar, lower altitude, low elevation angle, detection technique

大气潮可能触发山体滑坡

美国地质调查局 William H. Schulz 等的研究表明,大气潮可能触发了美国科罗拉多州西南部 Slumgullion 山的山体滑坡。该研究成果发表在 *Nature Geoscience* 杂志上(*Nature Geoscience*, 2009, 2, 863-866)。Slumgullion 山目前以平均每年 1 cm 的速度移动。项目组在活动山体中设置了两个观测点,发现山体移动有周期性,其周期与因每日太阳加热产生的大气潮的低潮有很好的对应关系。其模式研究也证明,这种相关可解释为大气潮低潮期土壤中的水分向上移动致使山体基底摩擦力减小。

山体滑坡是最严重的地质灾害之一,每年均引起大量人员伤亡和巨大经济损失。多数山体滑坡均表现为沿着一不连续剪切面移动,这种移动由剪切面摩擦力减小触发。剪切面摩擦力减小一般意味着有雨水和融雪水向山体渗透或因地震导致地面移动。但是,最近的研究证明,固体地球潮汐与海洋潮汐均会触发剪切滑移,例如地震与冰川移动。Schulz 等根据观测资料和数值模拟证明,大气潮也会触发山体滑坡。美国科罗拉多州西南部 Slumgullion 山的山体移动存在周日变化,主要发生在大气潮的低潮期。按照模式,气压潮汐涨落导致沉积物间隙水和空气垂直流动,从而引起剪切面摩擦力减小。低气压期间向上的液体流动对山体滑坡最为有利。据此推断,快速移动的风暴造成的快速气压变化也可能产生类似的影响,即触发山体滑坡。

曾晓梅编译自 UCAR 网站,UCAR Magazine,2010-06-01,<http://www2.ucar.edu/magazine/findings>