

文章编号: 2096-1618(2017)02-0141-06

新一代天气雷达方位旋转关节电弧引起无源限幅器故障分析

刘 昉¹, 丁明星¹, 张先俊², 张 俊¹, 侯 亮³

(1. 重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147; 2. 重庆市万州区气象局, 重庆 万州 404100; 3. 北京敏视达雷达技术有限公司, 北京 100094)

摘要:2016年11月9日重庆陈家坪新一代天气雷达在运行过程中出现系统噪声温度变坏、线性通道测试信号变坏、定标异常等报警,动态范围缩小、零点下移;反射率定标实测值与期望值差值较大;与永川雷达回波相比较,小信号明显减少。综合判断是由于无源限幅器故障导致,更换后雷达各项指标正常。近年来,重庆站无源限幅器在无外界强干扰的情况下反复被烧毁,经维修发现是由于方位旋转关节电弧打火,导致无源限幅器输入端驻波过大,击穿无源限幅器。此次故障是由一个隐形故障引发另一个显性故障案例,具有典型性,对雷达技术人员有很好借鉴价值。

关键词:噪声温度;无源限幅器;旋转关节;电弧 驻波

中图分类号:TP959.4 **文献标志码:**A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2017.02.006

当前短时临近天气的监测与预警的主要手段是利用新一代天气多普勒雷达。新一代天气雷达(CINRAD)产品在下击暴流、冷涡、冰雹、大风、暴雨、台风等方面都有着深入的研究与应用,产生了良好的社会效益和经济效益。保障雷达低故障率、高效维修率是机务人员的工作重点^[1-7]。每个故障的出现都伴随着其对应的连锁报警信息,相应的参数出现异常;有些故障在回波图上也有对应的反映。若某故障频繁出现,同一器件短时间内多次损坏,这种情况下多数是由于与其紧密联系的部位有隐患导致,维修过程中不能单单只对显性部位进行更换,更要进一步分析,找出隐患部位,避免高故障率的发生。

1 故障现象

11月9日雷达开机后出现线性测试通道变坏、线性通道定标常数变坏、噪声温度异常、标定检测变坏等报警。查看参数。发现CW值定标相差14 dB;RF标定项实测值比期望值小约10 dB;KD定标实测值比期望值少14 dB;滤波前功率较正常时低12.4 dB,噪声温度急剧升高。图1至图4给出了报警信息和相关参数变化情况。

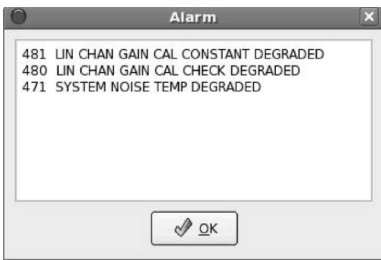


图1 雷达报警信息

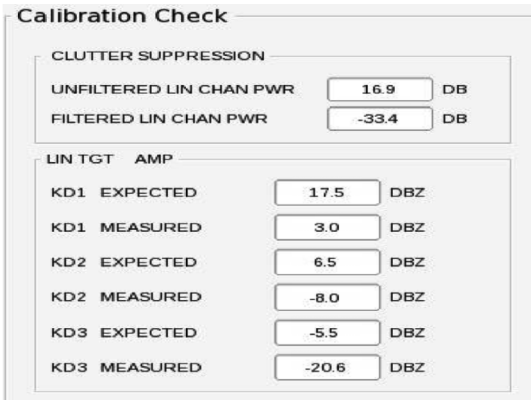
Performance Data					
Calibration1					
UN TOT AMP			PHASE VEL		
CW EXPECTED	28.5	DBZ	RAM1 EXPECTED	0.0	M/S
CW MEASURED	14.6	DBZ	RAM1 MEASURED	0.1	M/S
RFD1 EXPECTED	23.3	DBZ	RAM2 EXPECTED	-7.0	M/S
RFD1 MEASURED	13.0	DBZ	RAM2 MEASURED	-7.1	M/S
RFD2 EXPECTED	36.3	DBZ	RAM3 EXPECTED	10.5	M/S
RFD2 MEASURED	24.2	DBZ	RAM3 MEASURED	10.5	M/S
RFD3 EXPECTED	63.3	DBZ	RAM4 EXPECTED	-17.5	M/S
RFD3 MEASURED	50.3	DBZ	RAM4 MEASURED	-17.4	M/S
			PHASE WIDTH		
			RAM1 EXPECTED	3.5	M/S
			RAM1 MEASURED	3.0	M/S
			RAM2 EXPECTED	3.5	M/S
			RAM2 MEASURED	3.5	M/S
			RAM3 EXPECTED	3.5	M/S
			RAM3 MEASURED	3.7	M/S
			RAM4 EXPECTED	3.5	M/S
			RAM4 MEASURED	3.6	M/S

(a) 故障时定标参数

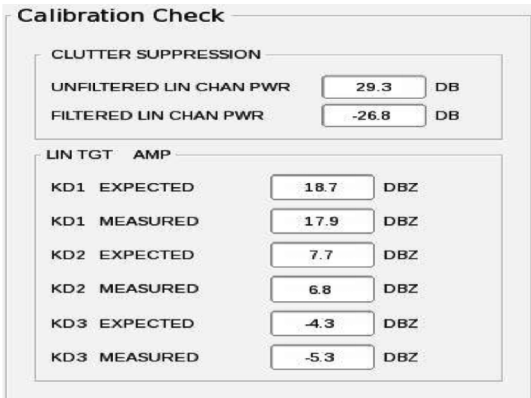
Performance Data					
Calibration1					
UN TOT AMP			PHASE VEL		
CW EXPECTED	43.2	DBZ	RAM1 EXPECTED	0.0	M/S
CW MEASURED	39.6	DBZ	RAM1 MEASURED	0.0	M/S
RFD1 EXPECTED	24.9	DBZ	RAM2 EXPECTED	-7.0	M/S
RFD1 MEASURED	27.1	DBZ	RAM2 MEASURED	-6.8	M/S
RFD2 EXPECTED	36.8	DBZ	RAM3 EXPECTED	10.5	M/S
RFD2 MEASURED	37.4	DBZ	RAM3 MEASURED	10.5	M/S
RFD3 EXPECTED	64.8	DBZ	RAM4 EXPECTED	-17.5	M/S
RFD3 MEASURED	64.4	DBZ	RAM4 MEASURED	-17.4	M/S
			PHASE WIDTH		
			RAM1 EXPECTED	3.5	M/S
			RAM1 MEASURED	3.0	M/S
			RAM2 EXPECTED	3.5	M/S
			RAM2 MEASURED	3.4	M/S
			RAM3 EXPECTED	3.5	M/S
			RAM3 MEASURED	3.6	M/S
			RAM4 EXPECTED	3.5	M/S
			RAM4 MEASURED	3.7	M/S

(b) 正常时定标参数

图2 定标参数



(a) 故障时 KD 标定值



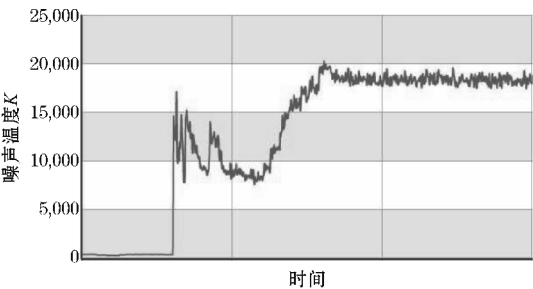
(b) 正常时 KD 标定值

图 3 KD 标定值

图 3 中 KD 是指速调管输出测试信号。



(a) 噪声参数显示



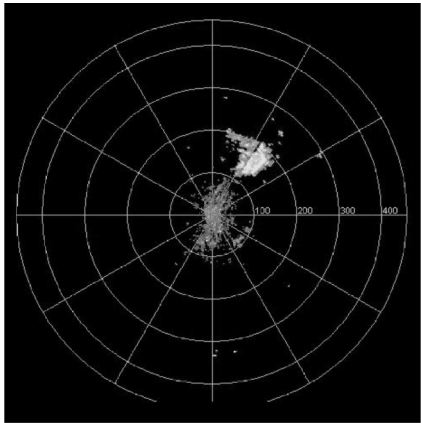
(b) 噪声温度曲线

图 4 噪声温度情况

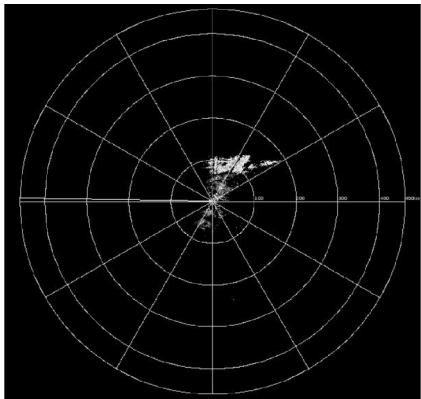
从图 4 看出噪声温度在雷达开机后陡增至 15000 度附近,经过短暂的震荡后又缓慢升高到 20000 度左

右,此后就一直稳定在此值附近。由于此时噪声温度为 20000 度左右,超出了显示范围,故在系统噪声温度那一栏无数值显示。

图 5 是分别找了故障前后,有降雨时的 0.5°仰角反射率回波图。可以看到地物信号及一些弱目标信号回波面积较正常时有明显减少。



(a) 故障前 0.5°反射率



(b) 故障后 0.5°反射率

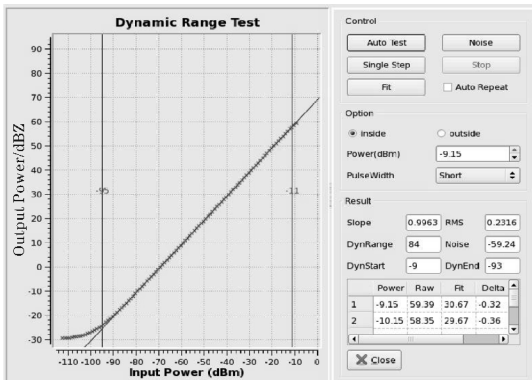
图 5 故障前后 0.5°仰角回波反射率图

2 故障定位分析

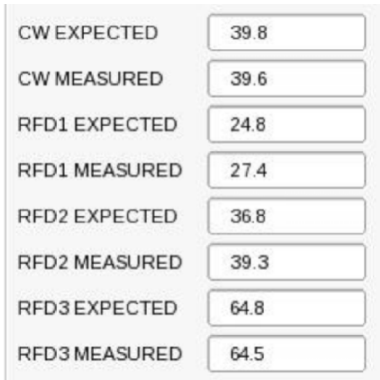
进入 rdasot 程序,进行机内动态范围测试,比正常范围减小约 7 dBZ,噪声电平升高 2 dBZ,零点下移。

通过动态范围测试得出故障发生时整个测试信号都被衰减,饱和端与截止端输出强度都减小约 10 dBZ,那么各自对应零点亦出现 10 dBZ 左右差值,灵敏度降低。

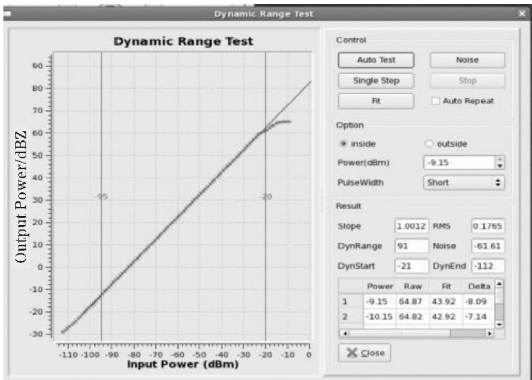
接着进行反射率定标测试,从图 7 可以看出实测值与期望值差距 13 dBZ 左右,即表示测试通道的实际衰减比正常时增大了约 10 dBZ。



(a) 故障时动态范围



(b) 正常时反射率标定
图 7 反射率定标测试



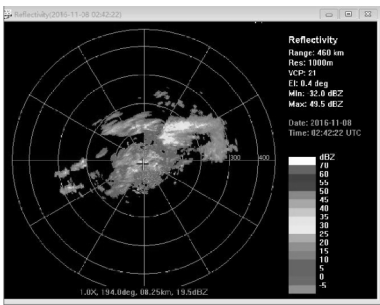
(b) 正常时动态范围

-30.15	32.00	3.00	-0.04
-37.15	31.78	2.66	0.08
-38.15	30.69	1.67	-0.01
-39.15	29.73	0.67	0.02
-40.15	28.65	-0.32	-0.07
-41.15	27.72	-1.32	-0.01
-42.15	26.67	-2.31	-0.06
-43.15	25.72	-3.30	-0.01

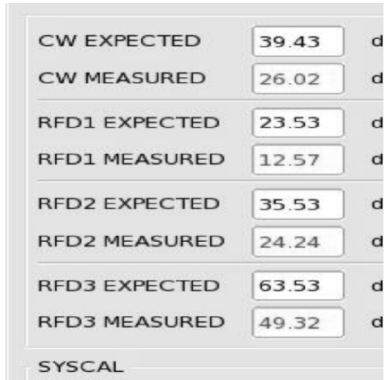
-48.15	33.93	4.87	0.02
-49.15	33.00	3.87	0.08
-50.15	31.96	2.87	0.05
-51.15	30.96	1.87	0.05
-52.15	29.93	0.87	0.02
-53.15	29.00	-0.13	0.09
-54.15	27.96	-1.13	0.06
-55.15	26.94	-2.14	0.04
-56.15	25.91	-3.14	0.01
-57.15	24.87	-4.14	-0.04
-58.15	23.80	-5.14	-0.10

(d) 正常时动态范围零点
图 6 动态范围测试对比

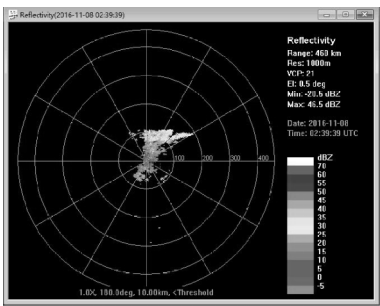
与重庆站最近的永川雷达站同时间同仰角回波进行对比,如图 8 所示。可以明显地看出,重庆雷达的弱目标信号由于被接收通道增加的衰减所阻,自然回波图上无显示,故回波面积比永川站的小得多;另外,降水回波强度偏强。这从后面的 syscal 值也可以印证。Syscal 值在雷达系统中主要用于补偿接收通道对回波强度的衰减,正常情况下,重庆雷达 syscal 值为18 dB,故障发生时,syscal 值为27.43 dB,补偿值增大了9.43 dB。这表示在故障发生时,通道损耗比正常时增大了9.43 dB,这也与前面所描述的动态范围和反射率定标时所存在的差异相符。经天馈进入接收机通道的回波有大信号与微弱信号之分,大信号在接收通道衰减增大的情况下,通过信号处理后端 syscal 值进行补偿校正,由于这个补偿是功能,那么就会出现强回波的显示强度高于实际降雨回波强度;但微弱目标被通道额外衰减后,可能已经检测不到,即使通过 syscal 值的补偿也无法恢复。故在回波图上只能看见稍强一点的回波信号。



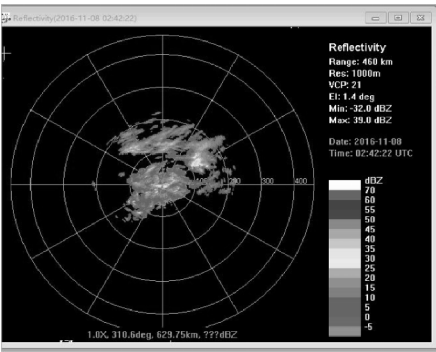
(a) 永川 0.5°仰角



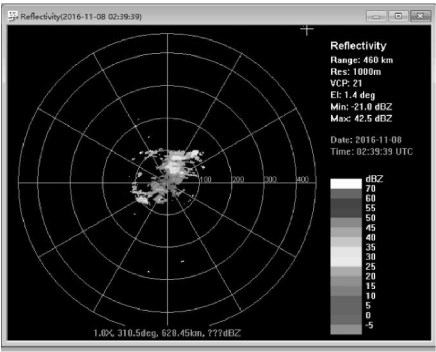
(a) 故障时反射率标定



(b) 重庆 0.5°仰角

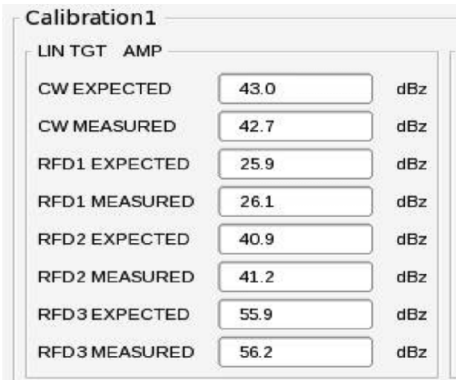


(c) 永川 1.5°仰角

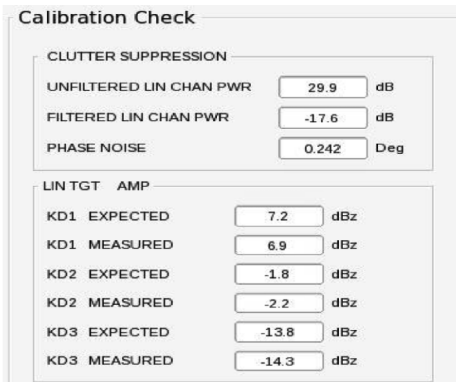


(d) 重庆 1.5°仰角

图 8 重庆与永川雷达同时刻同仰角回波对比



(a) 反射率标定



(b) KD 值标定

图 9 故障排除后相关参数标定情况

3 故障排除

通过对故障时与正常时的雷达技术指标的对比,结合雷达回波故障前后相邻体扫回波与临站雷达的同一时间的回波对比,确认故障存在接收通道中;用功率计测试 CW 信号在场放输入端与无源限幅器输入端情况,确认无源限幅器的损坏^[8]。无源限幅器是接收机保护器的一个重要组成部分,此器件是由一对二极管组成,器件正常时用万用表测量时两端的芯相互导通,两端的壳相互导通;其芯和壳之间是二极管属性,芯对壳大概 0.8,壳对芯不导通。测量被更换下的无源限幅器,发现壳对芯已导通,说明二极管被击穿。

更换新的无源限幅器后,雷达开机后各项参数正常,雷达正常运行;拷机 24 小时,无故障报警产生,再次进行定标参数如图 9 和图 10 所示;其中图 9 为故障排除后重新标定相关参数的情况,图 10 为动态范围测试。经检查,各项指标均正常,确认故障排除。

但近两年,重庆雷达站多次出现无源限幅器故障,严重时还引起场放烧毁,这种现象肯定不是一个单发故障,很大可能是由其他器件有隐性故障而引起的显性表现。雷达工作信号流程如图 11 所示。

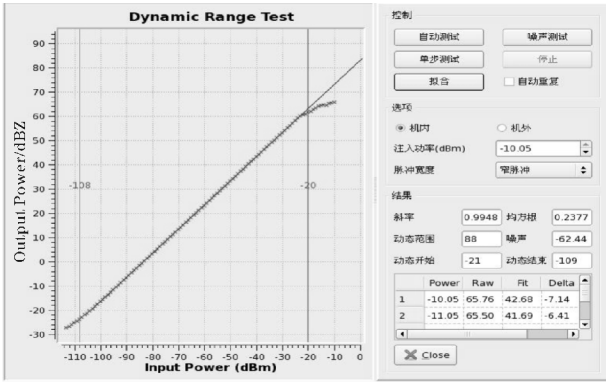


图 10 动态范围测试(注:终端升级为中文版)

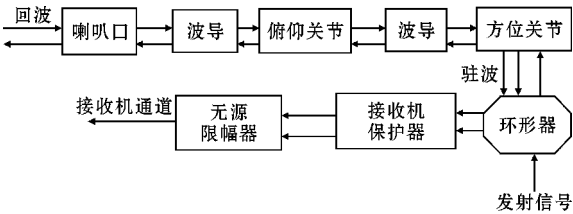


图 11 回波信号天线部分流程

从图 11 看出,经过无源限幅器的信号有两种,一种是反射回来的目标回波信号;另一个是在发射电磁波期间形成的驻波。在外界无强干扰的情况下,由于有接收机保护器的保护,正常目标回波信号很难击穿无源限幅器;只有超过标准范围的驻波才有可能造成

限幅器的损坏。从流程图可以看出能够引起驻波击穿限幅器的最大可能部件就是旋转关节:旋转关节在长时间旋转过程中因摩擦引起接触面不平,进而引起电磁波打火电弧,形成功率较大的驻波进入性能较脆弱的无源限幅器,长期冲击造成器件击穿。雷达 V21 体扫模式决定了方位旋转关节较俯仰关节更多的磨损,俯仰关节只是在仰角抬升或下降时才动作,而且在这个抬升期间不发射电磁波的;另一面,雷达此前报“波导压力低”报警,充气机机低压指示为0.8 PA,认定波导系统中某一环节存在泄气现象。整个波导系统的组件中有机械运动的环节分别是“波导转换开关”、“方位旋转关节”、“俯仰关节”,在体扫中始终转动的方位节被认为最有可能泄气的位置,因此方位旋转关节是第一个应该确认故障的部件。

在推动天线过程中发现,天线转动阻力较之前有增加,这就更加确定了将方位旋转关节作为首先排除对象。折下方位旋转关节,全面分拆开后发现里面堆积了大量的碳粉(长期电弧的结果);在转动轴上有很明显的电弧打火痕迹,如图 12 所示。



(a) 积碳情况



(b) 电弧打火情况

图 12 方位旋转关节内部图

由此也确定无源限幅器的烧毁是由于方位旋转关节电弧引起大功率驻波通过环形器、保护器进入无源限幅器造成的。由于保护器承受强度高于限幅器,故只击穿了无源限幅器。若驻波强度足够大,必然毁坏接收机保护器以及场放,威胁整个接收系统。

方位旋转关节形成电弧的原因,主要是由于雷达运行过程中,方位旋转关节处于长期机械磨损状态,那么原本平滑的波导表面就出现粗糙情况,当650 kW左右的大功率电磁波经过此关节粗糙面的时候便出现电弧打火。此外,关节安装工艺的好坏对此也有直接影响,在安装时一定要保证两端接口与波导连接处的平整。

4 结论

(1)故障是方位旋转关节转动过程中电弧打火引起的驻波击穿无源限幅器,造成接收机通道衰减增大,影响了回波正常强度,小信号被衰减、灵敏度降低。

(2)根据雷达的报警信息不难判断出是无源限幅器故障;但是外界探测环境无明显变化的情况下,短时间内多次出现同样故障,那么就不能简单认定为显性故障器件为单发体,需要进一步分析是否存在隐性故障而导致的显性反应。

(3)根据信号流程,逐个分析可能导致该问题的器件,从概率最大的部位着手排查,发现了方位旋转关节的隐患,更换新的关节达到标本兼治的目的。案例对雷达机务保障人员具有较好的借鉴作用,在故障维修过程中需要对现象综合分析思考,找出问题的根本所在,这样能有效提高雷达的可用性。

参考文献:

- [1] 李喆,高玉春,邵楠,等. 天气雷达接收机匹配滤波损耗测量方法研究[J]. 科学技术与工程, 2016,16(13):82-85.
- [2] 罗丽,井高飞,郭佳,等. 北京气象局天气雷达回波阻挡订正技术研究[J]. 科学技术与工程, 2016,16(12):12-19.
- [3] 张沛源,杨洪平,胡绍平. 新一代天气雷达在临近预报和灾害性天气警报中的应用[J]. 气象, 2008,34(1):3-11.
- [4] 刘晓阳,杨洪平,李柏,等. 新一代天气雷达定量降水估测集成系统[J]. 气象,2010,34(4):90-95.
- [5] 刘娟. CINRAD/SC 新一代天气雷达回波地物检测与校正方法探讨[J]. 气象,2015,41(10):1286-1291.
- [6] 王丽荣,汤达章,胡志群,等. 多普勒雷达的速度图像特征及其在一次降雪过程中的应用[J]. 应

- 用气象学报,2006,17(4):452-458.
- [7] 刁秀广,张新华,朱君鉴. CINRAD/SA 雷达风暴趋势产品在冰雹和大风预警中的应用[J]. 气象科技,2009,37(2):230-233.
- [8] 柴秀梅,潘新民,周红根等. 新一代天气雷达故障诊断与处理[M]. 北京:气象出版社,2011.
- [9] 何建新. 现代天气雷达[M]. 成都:电子科技大学出版社,2004.

An Analysis on the Operational Failure of the Passive-limiter Caused by the Electric ARC Powered by the Azimuth Rotating Joint of CINRAD

LIU Fang¹, DING Ming-xing¹, ZHANG Xian-jun², ZHANG Jun¹, HOU Liang³

(1. Chongqing Meteorological Information Center¹, Chongqing 401147, China; 2. Wanzhou Meteorological Bureau, Wanzhou 404100, P. R. China; 3. BeiJing Metstar Radar CO., LTD, Beijing 100094, China)

Abstract: Bad noise temperature, weak signal, strange calibration and the reduction of the dynamic range came up showing negative performance in the operation of the weather radar on 9th Nov 2016 in Chongqing. Preliminary investigation reveals that the malfunction of the passive limiter was the root of the cause, and it recovered its function after replacement. Recent years, the passive limiter in Chongqing was repeatedly burnt down without external intervention. The maintenance team discovered that it was the standing wave that caused by the ignition of the azimuth rotating joint overloaded the passive limiter. This is a typical example of transient malfunction cascaded to an apparent damage, it provides valuables to the fellow staff in their later maintenance.

Keywords: noise temp; passive microwave limiters; rotary joint; arc; tanding wave