

一次强降水过程导致RVR数据丢失及其对飞行的影响分析

赵成华, 吴福浪, 蒋剑磊

中国民用航空宁波空中交通管理站气象台, 浙江 宁波

收稿日期: 2025年7月28日; 录用日期: 2025年8月28日; 发布日期: 2025年9月5日

摘 要

2025年6月14日及15日, 宁波机场连续遭遇强雷阵雨天气, 导致13号跑道LT31大气透射仪连续出现RVR (跑道视程)数据异常丢失。本文基于两次事件的时间线分析, 结合设备特性与环境因素, 深入剖析大风强降水与特定风向叠加导致RVR数据丢失的机理, 评估其对飞行运行的影响, 并提出针对性改进建议。研究表明: 风向与跑道平行、强降水冲击设备窗口是数据丢失的直接诱因; 设备老化与防护不足是深层原因; 而跨部门协同处置可有效缓解运行风险。

关键词

大气透射仪, RVR数据, 水帘效应, 窗口污染

Analysis of Runway Visual Range (RVR) Data Loss Caused by a Heavy Precipitation Event and Its Impact on Flight Operations

Chenghua Zhao, Fulang Wu, Jianlei Jiang

Meteorological Observatory of Ningbo Air Traffic Management Station of CAAC, Ningbo Zhejiang

Received: Jul. 28th, 2025; accepted: Aug. 28th, 2025; published: Sep. 5th, 2025

Abstract

On June 14 and 15, 2025, Ningbo Airport experienced consecutive heavy thunderstorms. This weather caused continuous anomalies and losses in Runway Visual Range (RVR) data on Runway 13, specifically from the LT31 transmissometer. Based on a timeline analysis of these two events, combined with

文章引用: 赵成华, 吴福浪, 蒋剑磊. 一次强降水过程导致 RVR 数据丢失及其对飞行的影响分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(5): 980-987. DOI: 10.12677/ccrl.2025.145097

equipment characteristics and environmental factors, this paper delves into the mechanism by which strong winds, heavy precipitation, and specific wind directions synergistically led to the RVR data loss. It further assesses the impact on flight operations and proposes targeted improvement measures. The study reveals that: 1) Winds parallel to the runway direction combined with heavy precipitation impacting the instrument's optical window were the direct triggers for data loss; 2) Aging equipment and inadequate protective measures constituted the underlying causes; 3) Multi-departmental coordination during response effectively mitigated operational risks.

Keywords

Atmospheric Transmissometer, RVR Data, Water Curtain Effect, Window Contamination

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

跑道视程(RVR)定义为飞行员在跑道中线上能看到跑道标志或灯光的最远距离。它是航空器起降的关键决策参数。其计算依赖于大气消光系数(σ),由大气透射仪(如 LT31)或前向散射仪测量得出[1]。在低能见度(主导能见度小于 800 米)条件下, RVR 低于安全标准(如起飞标准 $RVR \geq 400$ 米,落地标准 $RVR \geq 550$ 米)将直接导致航班延误或取消,甚至威胁飞行安全。

宁波机场 13 号跑道 LT31 大气透射仪在 2025 年 6 月的两次强雷雨天气中出现数据异常丢失。本文旨在分析事件原因,评估影响机制,并提出系统性改进方案,为类似极端天气下的设备保障与运行决策提供理论参考。

2. 事件经过分析

2.1. 事件经过

2025 年 6 月 14 日下午,宁波机场遭遇强雷雨天气过程,风向持续保持在西北方向(过程极大风速 17 m/s),并出现长达 42 min 的大雨天气。期间,13 号跑道 LT31 大气透射仪出现告警信息和能见度探测数据异常情况,用户界面 RVR/VIS/MOR 等数据丢失。强风暴雨天气过后 13 号跑道 LT31 大气透射仪恢复正常,能见度探测数据以及用户界面相关数据逐步恢复。经气象机务员现场排查,LT31 大气透射仪镜面无异物和污染、硬件设备状态均正常,也无任何损坏。过程逐分钟雨量及风向风速的变化情况见表 1(数据来源于宁波机场配备的自动气象观测系统)。

Table 1. Changes in minute-level rainfall, wind direction, and speed around the RVR data loss on the 14th
表 1. 14 日 RVR 数据丢失前后分钟雨量及风向风速的变化情况

6 月 14 日	分钟雨量	2 分钟平均风向	2 分钟极大风速
14:17	0.1	315	11.5
14:18	0.2	314	12.3
14:19	0.7	318	17.1
14:20	0.7	321	17.1

续表

14:21	0.8	318	16.3
14:22	0.6	313	16.5
14:23	0.6	313	16.5
14:24	0.8	314	14.8
14:25	0.7	312	16.2
14:26	0.7	310	16.5
14:27	0.8	316	16.5
14:28	1.0	320	14.4
14:29	1.3	320	12.9
14:30	1.4	320	12.0
14:31	1.6	320	9.9
14:32	1.4	318	9.2
14:33	1.5	312	8.6
14:34	1.5	304	8.6
14:35	1.5	298	7.6
14:36	1.3	292	7.5
14:37	1.4	288	6.5
14:38	1.3	282	5.5
14:39	1.3	275	5.1
14:40	1.3	269	4.8
14:41	1.2	265	4.3
14:42	1.2	263	3.7
14:43	0.9	257	3.4
14:44	0.8	249	3.1
14:45	1.1	240	2.2

2025 年 6 月 15 日下午, 宁波机场再次遭遇类似强雷雨天气过程, 风向持续保持在西北方向(过程极大风速 22 m/s), 并出现 14 分钟的大雨天气。期间, 后续数据异常与恢复正常的过程与 6 月 14 日过程类似。过程逐分钟雨量及风向风速的变化情况见表 2 (数据来源于宁波机场配备的自动气象观测系统)。

Table 2. Changes in minute-level rainfall, wind direction, and speed around the RVR data loss on the 15th
表 2. 15 日 RVR 数据丢失前后分钟雨量及风向风速的变化情况

6 月 15 日	分钟雨量	2 分钟平均风向	2 分钟极大风速
15:05	0.1	311	13.1
15:06	0.8	311	17.4
15:07	1.5	311	22.4
15:08	1.9	318	22.4

续表

15:09	2.3	320	20.0
15:10	2.0	312	18.6
15:11	1.8	315	17.5
15:12	1.2	324	17.5
15:13	0.4	325	13.7
15:14	0.3	321	9.8
15:15	0.2	318	9.0
15:16	0.2	318	8.6
15:17	0.3	312	8.6
15:18	0.4	314	6.8
15:19	0.0	311	5.4
15:20	0.1	314	5.4
15:21	0.0	321	3.8
15:22	0.0	325	3.8
15:23	0.0	345	3.7
15:24	0.0	357	2.8
15:25	0.0	352	2.2
15:26	0.0	341	2.7

2.2. 两次事件风向风速与 RVR 数据丢失的匹配度分析

《民用航空气象降雨强度量化观测指导手册》[2]给出了华东降雨强度量化判定标准：当 1 分钟瞬时雨量 $\leq 0.1\text{ mm}$ 时，综合判定为小雨；当 $0.1\text{ mm} < 1\text{ 分钟瞬时雨量} \leq 0.3\text{ mm}$ 时，综合判定为中雨；当 1 分钟瞬时雨量 $> 0.3\text{ mm}$ 时，综合判定为大雨。该手册也强调，自动观测雨量计测得的 1 min 瞬时降雨量具有高敏感性的特点，适用于降雨发生时的强度判定和预警触发、捕捉雨强峰值。下面结合“华东降雨强度量化判定标准”，根据器测数据对两次事件中 RVR 丢失与风雨的匹配度进行分析。

14 日 14:19 出现大雨，2 分钟平均风向与本场夹角为 10° ，2 分钟极大风速 17.1 m/s ，但该端 RVR 数据并未立即出现异常，而是在三个条件持续 10 分钟以后的 14:29 出现了 RVR 数据丢失的现象。14 日 14:36 开始，大雨持续，2 分钟极大风速降至 7.5 m/s ，2 分钟平均风向与本场夹角已大于 15° ，RVR 数据也未立即恢复，而是在近 10 分钟以后的 14:45 开始恢复正常。

15 日 15:06 出现大雨，2 分钟平均风向与本场夹角为 3° ，2 分钟极大风速 17.4 m/s ，但该端 RVR 数据并未立即出现异常，而是在三个条件持续 2 分钟以后的 15:08 出现了 RVR 数据丢失的现象。15 日 15:14 开始，风向基本不变，大雨结束，2 分钟极大风速降至 9.8 m/s ，RVR 数据也未立即恢复，也是在近 10 分钟以后的 15:25 开始恢复正常。

从表 1 和表 2 可以看出，当 1 分钟雨强 $> 0.8\text{ mm}$ ，风向与跑道的夹角 $< 15^\circ$ 且 2 分钟极大风速 $\geq 12.9\text{ m/s}$ 时，将可能出现 RVR 数据丢失的情况。当大雨、2 分钟平均风向也跑道夹角 $< 15^\circ$ 、2 分钟极大风速 $< 10\text{ m/s}$ 中的任一条件中止，RVR 数据并不会立即恢复，而是在任一条件中止的大约 10 分钟以后开始逐

步恢复。

2.3. 两次事件的共同特征

结合当日天气实况数据，下表 3 梳理了两次事件的时间线关键节点。

Table 3. Key timeline milestones for the two events

表 3. 两次事件的时间线关键节点

时间节点	6 月 14 日事件	6 月 15 日事件
风向转西北	14:14 (持续 23 分钟)	14:51 (持续 68 分钟)
风速 ≥ 10 m/s	14:17 (持续 17 分钟)	14:49 (持续 23 分钟)
大雨开始	14:19 (持续 42 分钟)	15:07 (持续 14 分钟)
RVR 数据中断	14:29 (中断 16 分钟)	15:08 (中断 17 分钟)
RVR 数据开始恢复	14:45	15:25

根据两次事件风向风速与 RVR 数据丢失的匹配度分析结果，结合上表 3 梳理的两次事件的时间线关键节点，初步得出两次事件的共性特征：

- (1) 风向与跑道夹角：两次事件中，西北风向均与跑道近乎平行(夹角 $< 15^\circ$)，导致雨水被强风裹挟直接冲击 LT31 接收窗口[1]。
- (2) 强降水叠加大风：风速持续 ≥ 12.9 m/s 且伴随大雨(1 分钟雨强在 0.8 mm 及以上)，导致窗口形成“水帘效应”，引发设备污染报警。
- (3) 设备自恢复特性：强降水、强风及风向与跑道近乎平行三者中的任一条件中止后，LT31 自动清洁功能启动，但 RVR 数据的恢复存在滞后性，约 10 分钟以后开始逐步恢复。

3. 原因深度解析

3.1. 设备因素

- (1) 设备老化：宁波机场 13 号跑道 LT31 透射仪于 2006 年建成投用，至今已运行 19 年。鼓风机、通风管道等关键组件的性能衰退，在极端天气下防护能力显著下降。
- (2) 防护罩缺陷：目前宁波机场配置的标准风雨防护罩未升级至增强型防护罩，对平行风向雨水的防御能力不足，无法有效阻断水膜覆盖光学窗口[1]。
- (3) 测量原理局限：大气透射仪需保持窗口清洁以传递光信号，而前向散射仪(如 FD12P)的测量原理则是通过散射角测量粒子浓度，受窗口污染影响较小[1]。

3.2. 环境因素

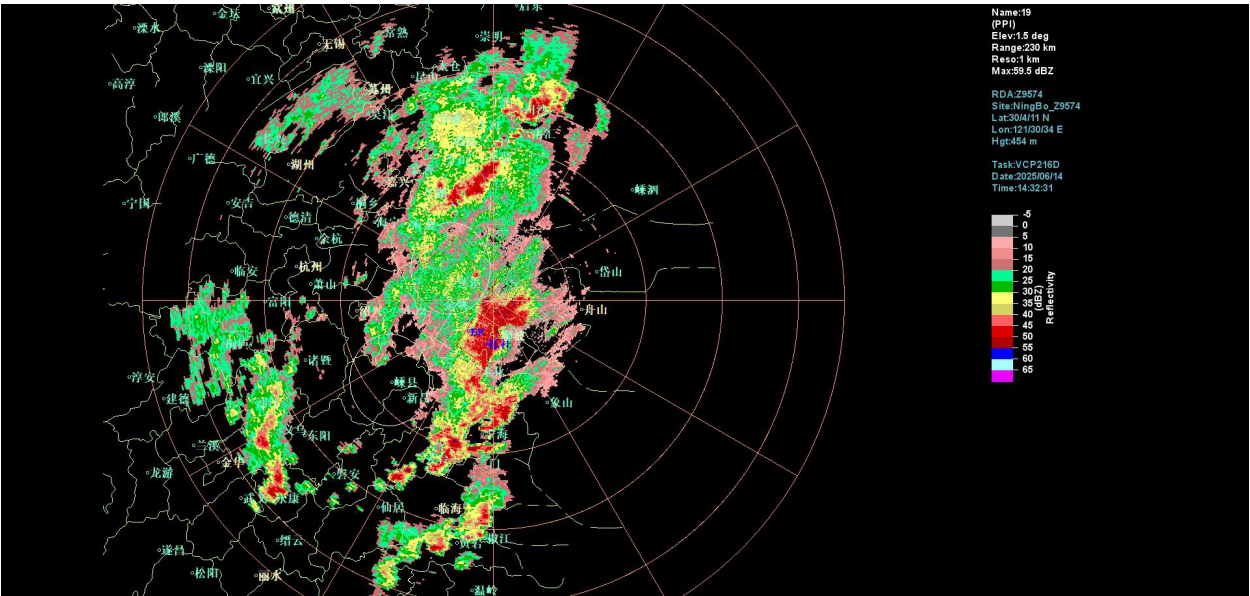
- (1) 风向 - 跑道夹角：平行风向使雨水垂直冲击设备窗口，而交叉风向($>15^\circ$)可减弱冲击力度[1]。
- (2) 强降水动力学：风速 > 12.9 m/s 时，雨滴动能增大，加剧窗口水膜覆盖速度。
- (3) 在 1 分钟雨强在 0.8 mm 及以上的大雨、与跑道近乎平行的风向(夹角 $< 15^\circ$)及风速 > 12.9 m/s 三个因素同时满足的状态下，触发 RVR 数据异常的概率将显著增大。

4. 对飞行运行的影响评估

4.1. 直接运行影响

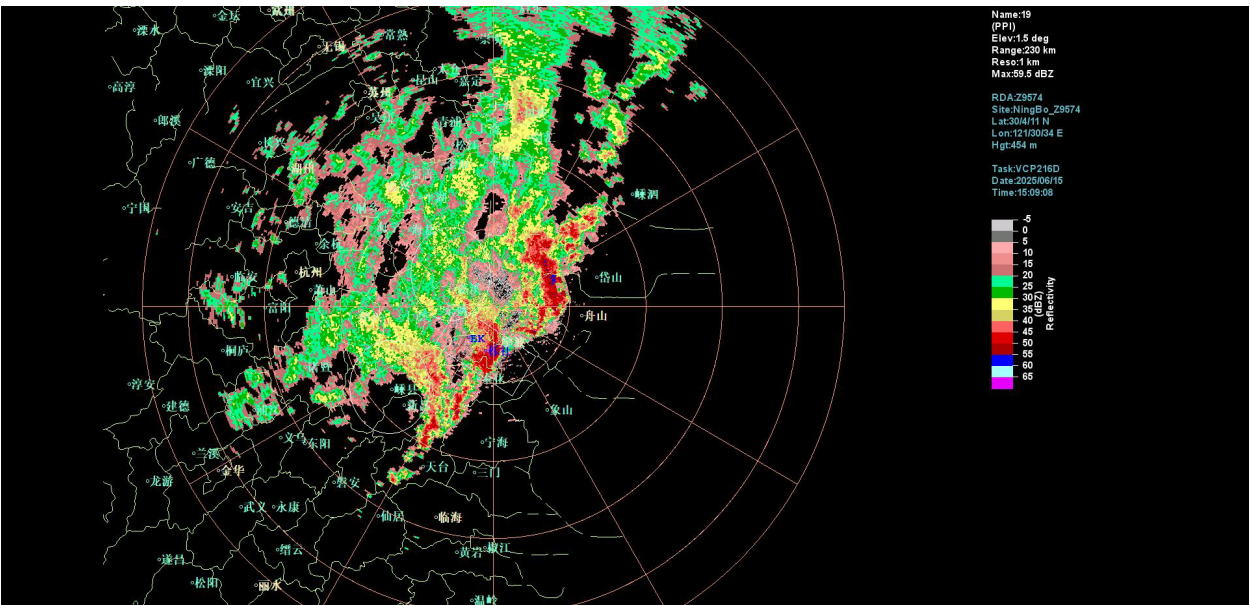
本场关于能见度和 RVR 的起降标准如下：起飞标准为 RVR400 米/能见度 800 米，落地标准 RVR550

米/能见度 800 米；当无 RVR 数据时，执行能见度标准。一般情况下，若单纯因强降水致使主导能见度降至 800 米以下，预示着强雷雨正覆盖本场，在此情况下航班均会暂停起降。6 月 14 日及 15 日两次数据中断期间(16~17 分钟)，虽然主导能见度满足运行标准(最低仅降至 1000 米)，但此时宁波机场恰处于强雷雨覆盖阶段，所有航班均已暂停起降，RVR 数据中断并未造成额外运行损失。下图 1 为 14 日雷雨的覆盖情况，图 2 为 15 日雷雨覆盖情况。



注释：图片由 PUP 软件制图。

Figure 1. Thunderstorm coverage area on June 14
图 1. 6 月 14 日雷雨的覆盖情况



注释：图片由 PUP 软件制图。

Figure 2. Thunderstorm coverage area on June 15
图 2. 6 月 15 日雷雨的覆盖情况

4.2. 应急措施有效性

若在低能见度非降水天气(如雾、霾)中出现 RVR 中断,则需切换至主导能见度标准,可能导致航班延误或备降。气象台通过内部协同(预报提前预警、观测实时监控、设备快速排查)确保主导能见度数据可用,为管制决策提供备份支持。

5. 处置经验与优化建议

5.1. 短期技术措施

(1) 设备维护升级。在对气象设备的周维护中增加鼓风机效能测试、通风管道密封性检查等措施,确保防风雨功能正常。

(2) 有条件的气象服务机构可以考虑加装增强型风雨防护罩,可提升 30%~50%的抗平行风雨能力[3]。

(3) 开展数据融合验证。在 LT31 中断期间,可融合前向散射仪等多源数据辅助 RVR 估算,减少数据空缺带来的影响[1]。

5.2. 系统改进及建立管理协同机制

(1) 进入设备更新改造进程的气象服务机构,可以考虑部署前向散射仪为主的 RVR 观测系统,该类 RVR 观测系统应用的非光学原理可显著降低强降水对 RVR 数值的干扰[1]。宁波机场结合自动气象观测系统更新工程正在部署以前向散射仪为主的 RVR 观测系统,工程目前正在建设阶段,预计 2025 年建成。投用后大风强降水导致 RVR 数据丢失的问题将会得到极大缓解。

(2) 加强气象-管制融合。当预报出现“平行风向+强降水”时,气象台提前发布“专项预警”,观测室启动 RVR 异常监控。设备信息室结合此两次过程的保障经验,通过“当大雨、2 分钟平均风向也跑道夹角 $< 15^\circ$ 、2 分钟极大风速 $< 10 \text{ m/s}$ 中的任一条件中止,RVR 数据并不会立即恢复,而是在任一条件中止的大约 10 分钟左右开始恢复”的初步结论,预判 RVR 数据的恢复时间并向管制单位通报,进一步提升气象管制融合效能。

6. 结论

宁波机场两次 RVR 数据丢失事件揭示了如下结论:

(1) 当 1 分钟雨强 $> 0.8 \text{ mm}$,风向与跑道的夹角 $< 15^\circ$ 且 2 分钟极大风速 $\geq 12.9 \text{ m/s}$ 时,将可能“出现”RVR 数据丢失的情况。而当大雨、2 分钟平均风向与跑道夹角 $< 15^\circ$ 、2 分钟极大风速 $< 10 \text{ m/s}$ 中的任一条件“中止”,RVR 数据并不会立即恢复,而是在任一条件中止的大约 10 分钟左右开始逐步恢复。

(2) 设备老化与极端天气的叠加效应是民航气象设备保障的重要挑战。核心原因在于平行风向强降水冲击 LT31 窗口,而设备防护性能下降增加了 RVR 数据丢失事件发生的概率,进一步加剧 RVR 数据缺失对航空运行带来的风险。

(3) 大气透射仪需保持窗口清洁以传递光信号。目前部分机场配置的标准风雨防护罩未升级至增强型防护罩,对平行风向雨水的防御能力不足,无法有效阻断水膜覆盖光学窗口,而前向散射仪通过散射角测量粒子浓度,受窗口污染影响较小,推进 RVR 探测设备的前向散射仪替代可以在一定程度上缓解类似极端天气造成 RVR 数据丢失的风险。

(4) 一般情况下,若单纯因强降水致使主导能见度降至 800 米以下,预示着强雷雨正覆盖本场,在此情况下航班均会暂停起降,也就是不会影响航班运行。由于 RVR 数据在极端天气结束后的恢复过程存在滞后性,如能见度在此期间不能迅速上行,前期堆积航班的进离场需求与起降条件之间存在矛盾,气象服务机构可以通过开展内部协同,以确保主导能见度数据可用,为管制决策提供备份支持。

参考文献

- [1] 彭路, 柳俊凯, 盛爱晶, 等. 基于 LSTM 的机场跑道视程预测[J]. 计算机系统应用, 2022, 31(5): 203-212.
- [2] 王新平, 李洋, 徐恩东, 等. 民用航空气象降雨强度量化观测指导手册[Z]. 2025.
- [3] 关放. 气象自动观测系统 RVR 数据丢失故障浅析[J]. 信息化技术应用, 2019(8): 11.