

文章编号: 1005-8451 (2015) 07-0042-04

高速铁路非接触式雨量监测设备准确性与可靠性试验方法

李亚群¹, 刘江川², 张德强¹, 沈敬伟¹

(1. 中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所, 北京 100081;

2. 大西铁路客运专线有限责任公司, 太原 030027)

摘要: 从非接触式雨量监测设备的测量原理出发, 利用正交试验方法, 在人工模拟降雨环境下进行动态对比试验, 利用试验数据分析非接触式雨量监测设备的准确性和可靠性, 探讨针对非接触式雨量监测设备准确性和可靠性的试验方法。

关键词: 高速铁路; 雨量监测设备; 非接触式; 人工模拟降雨; 正交试验

中图分类号: U238 : TP39 **文献标识码:** A

Experiment method on reliability and veracity of non-contact rainfall gauge used in High-speed Railway

LI Yaqun¹, LIU Jiangchuan², ZHANG Deqiang¹, SHEN Jingwei¹

(1. Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China;

2. Daxi Passenger Dedicated Railway Co. Ltd., Taiyuan 030027, China)

Abstract: From the point of view of measuring principle for non-contact rainfall gauge, using the method of orthogonal test, the dynamic comparison test was taken under the condition of simulated rainfall. The experimental data was used to analyze the accuracy and reliability of non-contact rainfall gauge.

Key words: High-speed Railway; rainfall gauge; non-contact; manual simulated rainfall; orthogonal test

高速铁路雨量监测系统是列车行车安全的重要基础设备, 其准确性与可靠性的高低直接关系到行车安全和运输效率。自 2008 年高速铁路灾害监测系统建设, 截至 2013 年在开通的 36 条高速铁路上已部署 589 处雨量监测点, 其中 90% 以上的现场雨量监测设备为非接触式雨量传感器, 其测量的准确性得到广泛重视。

本文对非接触式雨量监测设备的测量原理进行分析, 研究基于人工模拟降雨和正交试验法对非接触式雨量监测设备的准确性和可靠性的试验方法。

1 非接触式雨量监测设备测量及试验原理

非接触式雨量监测设备的雨量测量是基于雨滴的速度和形状的测量, 而雨滴的形状仅与雨滴的降落速度有关, 因而检验其测量准确性的关键是需要知

道当前降落高度, 即可通过调节供水压强来实现模拟较宽范围的降雨强度, 达到检测非接触式雨量监测设备的雨量测量的准确性与可靠性。

1.1 雨滴降落速度

雨滴降落瞬时速度计算公式:

$$m_w g = m_a g + \frac{1}{2} v^2 c_D \rho A \quad (1)$$

m_w 和 m_a 分别为雨滴和空气的质量, g 为重力加速度, v 是雨滴降落的速度, c_D 为空气阻力系数, ρ 为空气密度, A 为阻力-压力系数。其中 c_D 和 A 不是常数, 现只有关于雨滴质量与速度的公式, 而雨滴形状与速度间的关系还没有确定的公式, 至今雨滴形状与速度间的关系基本都是基于试验数据的研究。

影响雨滴形状最重要的物理因素为表面张力和压力。对于直径小于 1 mm 的极小雨滴, 表面张力使其体积达到最小即球形, 这种情况下雨滴形状与速度间的关系比较简单, 容易计算。

收稿日期: 2014-11-27

作者简介: 李亚群, 工程师; 刘江川, 高级工程师。

模拟降雨试验结果证实,当降雨高度达到 20 m 时,所有雨滴的降落速度都可以达到终速^[2],但对于雨滴以一定初速下喷的模拟降雨器,当雨滴达到一定初速时,降雨器高度只需 2.4 m ~ 3 m,雨滴的降落速度就可以达到终速^[3~4]。

1.2 降雨强度

测得雨滴降落速度 v (m/min) 及雨滴等效球形直径 D 之后,降雨强度 I 即可通过与降雨动能之间的关系得出。

单个雨滴的动能为:

$$E(D)=\rho\pi D^3v^2/12 \quad (2)$$

降雨包含了许多大小不同的雨滴,单位面积地表 (1m^2) 所受到的总降雨动能 E_k ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$) 是在整个降雨过程中落在该区域内的所有单个雨滴动能的和,理论上可以写成如下的积分表达形式:

$$E_k=\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} N^*(D)E(D)dD \quad (3)$$

式 (3) 中, D_{\min} 和 D_{\max} 是降雨所包含的最大雨滴和最小雨滴的等效直径, $N^*(D)dD$ 表示单位地表所接受的至今从 D 到 $D+\Delta D$ 之间的雨滴期望数。 $N^*(D)$ 是一个降雨时间 T 上的积分函数:

$$N^*(D)=\int_0^T N'(D)dt \quad (4)$$

式 (4) 中, $N'(D)dt$ 表示时刻 t 到 $t+\Delta t$ 之间单位地表直径为 D 的雨滴期望数,并可由雨滴速度 v 和雨滴谱函数 $N(D)$ 求得。

雨滴谱函数的 Gamma 分布的一般表达形式为:

$$N(D)=N_0D^\mu e^{-\Lambda D} \quad (5)$$

式 (5) 中, $N_0 \approx 8.0 \times 10^3$ 的常数, μ 是与降雨类型有关的雨滴形状因子, Λ 是降雨强度 I (mm/h) 的幂函数,表达为^[1]:

$$\Lambda=4.1I^{-0.21} \quad (6)$$

而对于以一定初速下喷的模拟降雨器,可以通过调节供水压强来实现模拟较宽范围的降雨强度^[2]。

1.3 正交试验法

正交试验法就是科学的安排多因素试验,以较少的人力物力消耗而取得较多较全面信息的一种高效率试验设计方法,其特点是用部分试验来代替全面试验,通过对部分试验结果的分析来了解全面试

验的情况。

正交试验法利用一套规格化的正交表安排试验,使部分试验中包含所有因素水平,部分试验点均衡地分布在全面试验的试验点中。

2 非接触式雨量监测设备准确性和可靠性试验

非接触式雨量计的测量准确性通过测量数据的动态对比来进行评价,其可靠性指标可通过测量数据的完整性、一致性和故障率进行评价。

试验在地表过程与资源生态国家重点实验室人工降雨模拟大厅进行,降雨喷头为 Spray V-jet 喷头,水压为 0.04 Mpa,降雨机与地面高度为 6 m,能提供的降雨强度为 6 档:1 档为无降雨,2 ~ 6 档降雨强度逐渐增加,各档降雨强度如表 1 所示。

表1 各档降雨强度 (mm/h)

强度档	1	2	3	4	5	6
降雨强度	0	29	60	92	126	152

试验设备为 2 个 Vaisala 非接触式雨量计、1 个校准后的翻斗式雨量计、2 个标准量筒,按照正交试验方法,试验采取降雨强度从小到大 5 档依次进行,分别持续 5 min,然后更换各雨量监测设备的摆放顺序,重复上次降雨过程,共计 3 次,3 次试验的设备布置图如图 1 所示。

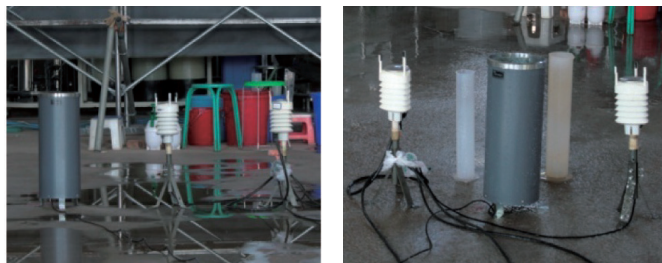


图1 设备布置图

2.1 非接触式雨量监测设备准确性分析

第 1 次试验降雨强度从 0 至降雨强度最大的时间为 13:57:43 ~ 14:23:03,第 2 次试验降雨强度从

0 至降雨强度最大的时间为 14:23:03 ~ 14:49:27, 第 3 次试验降雨强度从 0 至降雨强度最大的时间为 14:49:27~15:15:41, 翻斗式雨量计测量的 3 次降雨过程累计降雨量分别为 40.7 mm, 39.2 mm, 40.4 mm, 最大误差为 3.7%。

雨量筒测量时间为 14:58:25 ~ 15:15:41, 1 000 ml 雨量筒测量的累计降雨量为 118 ml, 2 000 ml 雨量筒测量的累计降雨量为 201 ml, 其中 1 000 ml 雨量筒直径为 6.75 cm, 2000 ml 雨量筒直径为 8.65 cm, 得到 1 000 ml 雨量筒测量的累计降雨量为 33 mm, 2 000 ml 雨量筒测量的累计降雨量为 34 mm, 14:58:25 ~ 15:15:41 期间翻斗式雨量计测得的累计降雨量为 33.6 mm, 其测量误差小于气象标准规定的允许误差 4%, 实际最大误差为 1.7%。

当降雨强度在标称雨强 29 mm/h 时, 1 号非接触式雨量计与 2 号非接触式雨量计测量的累计雨量 (min) 平均值差值为 0.02 mm, 测量值最大差值为 0.10 mm; 1 号非接触式雨量计与翻斗式雨量计测量的累计雨量 (min) 平均值差值为 0.01 mm, 测量值最大差值为 0.2 mm; 1 号非接触式雨量计与标称累计雨量 (min) 差值为 0.02 mm, 测量值最大差值为 0.07 mm; 2 号非接触式雨量计与翻斗式雨量计测量的累计雨量 (min) 平均值差值为 0.03 mm, 测量值最大差值为 0.2 mm; 2 号非接触式雨量计与标称累计雨量 (min) 差值为 0.03 mm, 测量值最大差值为 0.08 mm; 翻斗式雨量计与标称累计雨量 (min) 差值为 0.01 mm, 测量值最大差值为 0.18 mm, 误差均在气象标准规定的允许误差范围内, 如图 2 所示。

在不同降雨强度条件下非接触式雨量计与翻斗式雨量计测量值之间的累计雨量 (min) 差值如图 3 所示。

从以上数据可以看出, 在人工模拟降雨条件下, 本次试验中不超过 60 mm/h 的降雨过程中, 非接触式雨量计与翻斗式雨量计之间测量差值很小, 不超过 0.2 mm, 差值在气象标准规定的允许误差范围之内; 而当降雨强度在 60 mm/h 以上时, 非接触式雨量计与翻斗式雨量计之间测量差值逐渐增大, 疑因降雨机高度不够, 雨滴到达地面未达到终端速度, 导致非接触式雨量计测量数据偏小。

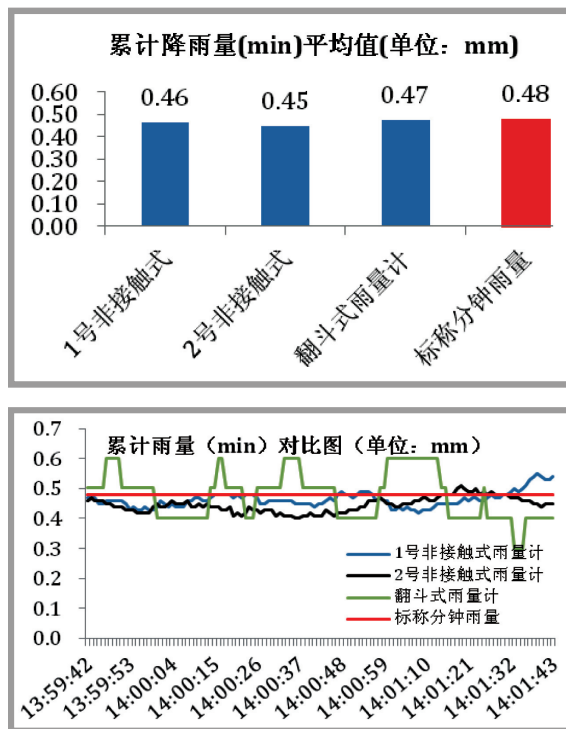


图2 非接触雨量计与翻斗式雨量计测量结果动态对比图

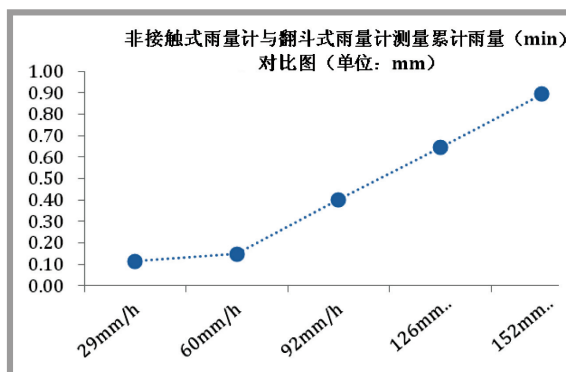


图3 非接触式雨量计与翻斗式雨量计测量值的累计雨量 (min) 差值对比图

2.2 非接触式雨量监测设备可靠性分析

2.2.1 数据完整性

试验自 2014 年 11 月 5 日 13:57:43~15:15:41 结束, 2 台非接触式雨量计分别采集数据 4 679 条, 采集频率为 1 Hz, 数据缺失率为 0。

2.2.2 数据一致性

在不同降雨强度条件下非接触式雨量计测量值之间的累计雨量 (min) 差值如图 4 所示。

从以上数据可以得出非接触式雨量计测量数据具有良好的一致性, 相互之间的分钟雨量测量差值在 0.1 mm 以下。

(下转 P60)

CCTV 监视车辆的动作过程,通过 ISCS 根据 ATS 提供的车辆运行位置,对车辆段 CCTV 进行随车切换联动。在车辆动作前,需要对现场自动进行广播提示通过 ISCS 根据 ATS 提供的车辆动作信息,对车辆段乘客广播 (PA) 系统进行自动播报联动。

通信系统地面设备与车辆段 ISCS 接口示意图如图 4 所示。

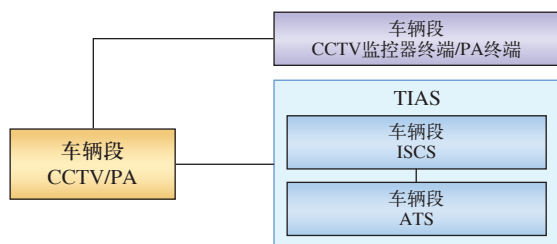


图4 通信系统地面设备与车辆段ISCS接口示意图

责任编辑 陈蓉

(上接 P44)

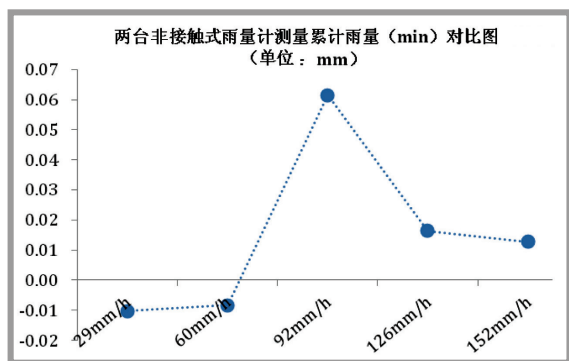


图4 非接触式雨量计测量值之间的累计雨量 (min) 差值对比图

2.2.3 故障率

在试验过程中,未发生设备故障的情况,非接触式雨量计在试验期间的故障率为 0。

3 结束语

依据非接触式雨量监测设备的测量原理,利用正交试验方法,在人工模拟降雨环境下进行了动态对比试验,人工模拟降雨的重复试验数据具有良好的一致性,翻斗式雨量计作为标准器具具有较高的精度,动态对比分析非接触式雨量监测设备的测量误差较小,可靠性较高,在人工模拟降雨环境下利用正交试验方法进行动态对比试验可以作为非接触式雨量监测设备准确性和可靠性的一种可行试验方法。

4.3 配合车载通信系统功能实现的设备定位

为满足中心调度员对车辆实况的准确定位,需信号系统为 TETRA 车载无线电台、站台广播、车载 CCTV 系统提供本次通信的车次编号等信息。

5 结束语

提高车载 CCTV 功能后,对车地通信无线通信系统带宽要求增大,目前车地无线的带宽受到一定限制,时延较长。为进一步增强车地通信传输带宽和质量,轨道交通领域正在尝试通过新一代无线通信技术支持 PIS 车地无线传输,其稳定性、可靠性正在试验过程中,有望推出试行。

参考文献:

- [1] UlbrichCW. Natural variation in the analytical form of the rain-drop size distribution[J]. J. Climate App1. Meteor.,1983(22): 1764-1775.
- [2] SheltonCH, BernuthRD, Rajbhandari S P. Acontinuous application rainfalls imulator[J]. Transactions of the ASAE, 1985.
- [3] 吴长文, 徐宁娟. 喷摆式人工降雨机的特性试验 [J]. 南昌大学学报, 1995, 17 (1): 58-66.
- [4] 薛燕妮, 徐向舟, 王冉冉, 等. 人工模拟降雨的能量相似及其实现 [J]. 中国水土保持科学, 2007, 5 (6): 102-105.

责任编辑 陈蓉

本刊声明

为适应我国铁路信息化建设的发展,进一步扩大作者国内外学术交流渠道的需要,本刊已加入英国 INSPEC 数据库、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《剑桥科学文摘(工程技术)》(CSA)数据库、美国《剑桥科学文摘(自然科学)》(CSA)数据库收录期刊,中国核心期刊(遴选)数据库全文收录期刊,万方数据—数字化期刊群全文上网期刊、中国期刊全文数据库全文收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中文科技期刊数据库(全文版)收录期刊、波兰《哥白尼索引》、美国《乌利希期刊指南》收录期刊。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入数据库,请在来稿时作出声明,本刊将做适当处理。