

基于事故统计的营运客车坠车事故树分析

朱守胜, 毛群, 曹红艳, 贺翔宇

(河南省交通科学技术研究院有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 为了探索营运客车特大交通坠车事故的发生原因及其结构重要度, 指导相应生产单位有效排查控制危险源, 提高营运客车运行安全性, 文中以 2009—2014 年发生的 36 起营运客车特大坠车事故案例为样本, 从人、车、路中单一因素及交叉因素出发统计分析坠车事故的主要影响因素, 采用事故树分析法建立坠车事故树模型并进行分析求解。结果表明, 营运客车坠车事故发生途径较多, 危险性较大, 高路基、临水沟谷崖等道路不利位置是坠车事故最重要的危险源, 其次是超速行驶及操作不当。

关键词: 交通安全; 营运客车; 坠车事故; 统计分析; 事故树; 结构重要度

中图分类号: U491.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)05-0041-06

随着人们出行需求的增加, 营运客车以其便利性越来越受到旅客的青睐, 同时其安全性问题也随之凸显。2014 年交通事故统计数据显示, 营运客车共发生 10 879 起事故, 造成 3 346 人死亡、13 481 人受伤, 营运客车的安全性不容忽视。在营运客车众多事故形态中, 坠车事故往往造成群死群伤的严重后果, 仅从 2009—2014 年营运客车一次死亡 10 人以上的事故看, 共发生 88 起事故中 36 起是坠车事故, 占总数的 40.91%, 坠车事故是营运客车最重要的事故形态。国内外学者对营运客车交通安全性的研究主要集中在客车自身主动安全、被动安全及安全控制策略等方面, 很少从营运客车运输系统的角度出发研究其营运安全性。该文以营运客车坠车事故为研究对象, 结合 2009—2014 年 36 起营运客车特大交通坠车事故案例, 运用事故统计分析及事故树分析相结合的方法研究其安全性影响因素及各因素的重要度关系。

1 营运客车运输系统特性分析

营运客车运输系统的特性决定其安全事故呈现自身特点。

1.1 系统本身特性分析

营运客车运输系统具有整体性及开放性的特点。营运客车运输系统由基础设施、运输服务、运输装备、从业人员、营运组织与管理 5 个子系统构成, 每个子系统都具备特定的功能和目标, 只有统筹兼顾, 各司其责, 适当发挥各自的性能, 才能在动态中平衡、协调和发展。营运客车运输系统的开放性是

指交通系统本身与系统环境之间存在物质、信息和能量交换, 交通的发展与社会、经济、政治的发展呈正相关关系。

1.2 系统使用特性分析

营运客车运输系统使用特性主要表现为营利性、不均衡性及多样性。营运客车所有者的最终目的是在满足安全、舒适、便捷、可靠等要求的基础上谋取利润最大化, 导致运营者在运营过程中过分追求成本最低化, 从而产生一系列安全问题, 如站外揽客、车辆更新周期长、驾驶员配备或培训教育不足等。不均衡性主要表现为市场的动荡性和东西部差异性, 春运、暑运和旅游旺季旅客成倍增加, 东西部地区地形、人口的差异性给营运客车运输系统的设置带来很大困难。多样性表现在用途多样性、营运线路多样性及营运车辆多样性上。

2 营运客车坠车特大交通事故统计分析

2.1 统计分析思路

道路交通系统是由人、车、环境构成的动态系统。在交通活动中, 人是主体, 车是工具, 环境是基础, 这三者相互协调才能保证行车安全, 否则将导致交通事故。以 2009—2014 年《中华人民共和国道路交通事故统计年报》收集描述的 36 起全国范围内一次死亡 10 人以上营运客车特大道路交通事故案例为对象, 根据具体事故案例描述, 首先从人、车、环境等方面出发, 深度挖掘、统计影响事故发生因素; 其次从人一车一环境系统中单一因素出发分析单一因素与坠车事故形态的关系; 最后从人一车一

环境系统中因素交叉出发分析多因素与坠车事故形态的关系,发掘因素间相互组合对坠车事故的影响,为建立坠车事故树提供依据。

2.2 交通事故概况

2009—2014年全国共发生一次死亡10人以上营运客车特大道路交通事故坠车事故36起,占营运客车所有事故形态总数的40.91%,共造成495人死亡、650人受伤,分别占总数的35.71%和39.47%;平均每年发生6起,平均每起事故造成13.75人死亡、18.06人受伤。可见,营运客车特大坠车事故比其他事故形态频发且后果极为严重。

36起事故的过程可分为三类,分别为车辆失控后坠车(47.22%)、直接坠车(36.11%)及刮撞固定物后坠车(16.67%),车辆失控或刮擦容易引起坠车事故的发生。

2.3 事故单一影响因素统计分析

2.3.1 驾驶员

驾驶员作为交通行为的主体,是道路交通事故诱因中一个最重要的因素,表1为坠车事故原因中驾驶员因素分布。

表1 驾驶员因素一事故分析

人的因素	事故数量/起	所占比例/%
超速行驶	16	34.04
操作不当	12	25.53
车速不当	7	14.89
超员行驶	6	12.77
无证驾驶	4	8.51
违法载客	1	2.13
酒后驾驶	1	2.13

由表1可知:坠车主要与超速行驶、车速不当、操作不当等因素密切相关。超速行驶时驾驶员用于处置紧急情况的时间会大大减少,且车辆的制动时间及制动距离会增长,加上驾驶员操作不当,车辆很容易冲出路面跌落发生坠车事故。车速不当主要是指在特殊路段或特殊天气下没有及时降低行驶速度,如在急弯或路面湿滑等路段以较高速度行驶会产生危险。此外,超员行驶将严重影响车辆的制动性、稳定性,且事故发生后将大大加剧事故后果的严重性;无证驾驶员技术缺乏、路况不熟,易出现盲目驾驶行为。

2.3.2 车辆技术状况

车辆是交通行为的主要承担者,其良好的技术状况是保证安全的基础。表2为坠车事故原因中车

辆因素分布。

表2 车辆技术状态一事故分布

车辆技术状况	事故数量/起	所占比例/%
正常	23	63.89
制动故障	8	22.22
轮胎磨损、爆胎	3	8.33
转向故障	2	5.56

由表2可知:因车辆技术状况不良而引发事故占坠车事故总数的1/3,其中制动故障致使事故发生的数量最多,占22.22%。营运客车质量大,运行时惯性较大,制动距离较长,如遇制动故障往往难以有效控制速度,在恶劣地形条件下极易发生坠车。

2.3.3 道路线形

营运客车运行道路线形对驾驶员的心理状态及车辆的运行状态有较大影响。表3为坠车事故原因中道路线形因素分布。

表3 道路线形一事故分布

道路线形	事故数量/起	所占比例/%
平直	9	25.00
一般弯坡	10	27.78
一般坡急弯	7	19.44
陡坡急弯	6	16.67
一般坡	4	11.11

由表3可知:发生在平直道路上的事故数仅占总数的25%,其余事故均发生在不同程度的坡道、弯道及其组合线形道路上。一般弯坡、一般坡急弯及陡坡急弯路段坠车事故数相对较多,在这类路段上驾驶员视线受阻,车辆行驶稳定性受到影响,易导致坠车事故。

2.3.4 道路位置状况

营运客车坠车事故发生的必要条件是不良的道路位置状况,如临水沟谷崖、桥面、高路基、重丘,若道路两侧一定距离内较平坦,不存在垂直高度差则不会产生坠车。表4为坠车事故原因中道路位置状况因素分布。

表4 道路位置状况一事故分布

道路位置状况	事故数量/起	所占比例/%
临水沟谷崖	31	73.81
桥面	2	4.76
高路基	7	16.67
重丘	2	4.76

由表4可知:临水沟谷崖及高路基路段是坠车

事故高发路段,其事故数分别占总数的 73.81%和 16.67%,车辆在该路段失控或驾驶员稍有不慎则极易发生坠车。

2.3.5 路面状况

路面状况分为干燥路面、潮湿路面、冰雪路面 3 种。路面状况主要通过路面附着系数影响车辆行驶安全,潮湿路面相对干燥路面附着系数较低,冰雪路面更低,车辆行驶在低附着系数路面上,制动距离增大,且车辆稳定性下降,容易发生侧滑等危险。表 5 为坠车事故原因中路面状况因素分布。

由表 5 可知:发生在潮湿及冰雪路面上的坠车事故占事故总数的一半以上,尤其是潮湿路面,其事故数占总数的 41.67%。

2.4 事故交叉影响因素统计分析

坠车事故在干燥路面上主要与人因素中的超速

表 5 路面状况—事故分布

路面状况	事故数量/起	所占比例/%
干燥	17	47.22
潮湿	15	41.67
冰雪	4	11.11

行驶、操作不当、超员行驶及无证驾驶有关,还与酒后驾驶、违法载客有关;在潮湿路面上主要与超速行驶、车速不当及操作不当有关,在冰雪路面上主要与超速行驶和车速不当有关。潮湿及冰雪路面湿滑,车辆超速或速度不当易使车辆失控坠落。表 6 为人的因素—路面状况因素交叉坠车事故分布,表 7 为人的因素—路面状况因素交叉坠车事故分布,表 8 为人的因素—车辆状况因素交叉坠车事故分布,表 9 为道路线形—路面状况因素交叉坠车事故分布。

表 6 人的因素—路面状况因素交叉坠车事故分布起

路面状况	人因素导致的事故数							合计
	超速行驶	操作不当	车速不当	超员行驶	无证驾驶	违法载客	酒后驾驶	
干燥	6	7	0	6	4	1	1	25
潮湿	8	5	5	0	0	0	0	18
冰雪	2	0	2	0	0	0	0	4
合计	16	12	7	6	4	1	1	47

表 7 人的因素—道路线形因素交叉坠车事故分布起

道路线形	人因素导致的事故数							合计
	超速行驶	操作不当	车速不当	超员行驶	无证驾驶	违法载客	酒后驾驶	
平直	3	3	3	0	2	0	0	11
一般弯坡	2	3	3	2	1	1	1	13
一般坡急弯	3	3	1	2	0	0	0	9
陡坡急弯	4	2	0	2	1	0	0	9
一般坡	4	1	0	0	0	0	0	5
合计	16	12	7	6	4	1	1	47

表 8 人的因素—车辆状况因素交叉坠车事故分布起

车辆状况	人因素导致的事故数							合计
	超速行驶	操作不当	车速不当	超员行驶	无证驾驶	违法载客	酒后驾驶	
正常	14	6	4	3	2	0	1	30
制动故障	2	5	2	2	0	0	0	11
轮胎磨损、爆胎	0	0	1	1	1	0	0	3
转向故障	0	1	0	0	1	1	0	3
合计	16	12	7	6	4	1	1	47

表9 道路线形—路面状况因素交叉坠车事故分布

起

路面状况	道路线形导致的事故数					合计
	平直	一般弯坡	一般坡急弯	陡坡急弯	一般坡	
干燥	5	4	3	3	2	17
潮湿	3	4	3	3	2	15
冰雪	1	2	1	0	0	4
合计	9	10	7	6	4	36

由表6可知:1)在潮湿路面上,车辆超速行驶或车速不当及驾驶员操作不当时事故数较多,其中超速行驶时事故数最多。主要原因为潮湿路面的附着系数下降,车辆制动距离增长,车辆速度过高时遇紧急情况无法及时减速或停车;驾驶员操作不当时车辆在湿滑路面上的稳定性下降,容易导致车辆失控,从而在道路位置不良状况下发生坠车事故。2)在冰雪路面上,车辆超速行驶或速度控制不当易引发事故。冰雪路面的附着系数极低,原则上应适时禁止车辆通行,即使通行也应小心谨慎驾驶并控制行车速度,当超速或速度不当时车辆极易失去稳定性,导致失控坠车。

由表7可知:1)在一般弯坡路段,驾驶员操作不当、车速不当、超速行驶或超员行驶时事故数较多。一般弯坡一般为较长坡道,车辆速度高或超员行驶时惯性较大,需较大制动力或长时间制动才能降低车速,容易造成制动效能下降,影响车辆安全。2)在一般坡急弯路段,驾驶员操作不当、超速行驶及超员行驶时事故数较多。这类路段为坡道与急弯组合,驾驶员视线受阻,且弯道处车辆易跨越车道行驶,遇紧急情况操作不当时车辆易失控发生事故。3)在陡坡急弯路段,车辆超速行驶、操作不当及超员行驶时事故数较多,其中超速行驶时事故数最多。车速较快时遇陡坡急弯车辆横向稳定性下降,易侧翻、侧滑,且驾驶员视线受阻,紧急情况下采取措施时间缩短,安全性下降。

由表8可知:车辆存在制动故障时驾驶员操作不当时事故数最多,车辆超速行驶、速度不当及超员行驶时出现制动故障时事故数也较多。当车辆出现制动故障时,车辆制动效能下降甚至制动失效,车辆处于失控状态,此时驾驶员若采取措施不当,无法通过其他措施有效控制车辆,则危险极易发生。此外,车辆超速行驶、车速不当及超员行驶增加了降低车速的难度,事故的严重性增大。

由表9可知:在一般弯坡、一般坡急弯及陡坡急弯路段,遇潮湿或冰雪路面时事故数较多。坡道尤

其是下坡路段车速较高且有时较难控制,再遇到低附着系数的潮湿或冰雪路面,车辆速度的可控性将进一步下降,危险性提高;弯道尤其是急弯路段驾驶员视线受阻,遇低附着系数的潮湿或冰雪路面时,车辆横向稳定性下降,发生侧滑、侧翻的可能性较大。

3 坠车事故树分析

3.1 事故树分析原理

事故树分析法是一种逻辑分析工具,它以系统失效为目标,运用逻辑“树”形图逆向演绎失效过程,是一种“由果寻因”的分析方法。事故树的最小割集及各基本事件结构重要度是事故树定性和定量分析的重要手段和依据。最小割集是指引起顶事件发生的最小限度基本事件的集合,表征系统的失效途径,可通过布尔代数化简法得到。结构重要度为从事故树结构上分析计算所得各基本事件的重要程度,按式(1)计算。计算出每个基本事件 x_i 的结构重要度后,按照其大小排列各基本事件 x_i 的重要程度。

$$I_{\phi}(i) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{i=1}^n [\phi(1, x_i) - \phi(0, x_i)] \quad (1)$$

式中: $I_{\phi}(i)$ 为第 i 个基本事件的结构重要度; n 为基本事件个数; $\phi(1, x_i)$ 为基本事件 x_i 状态为1时顶事件的状态; $\phi(0, x_i)$ 为基本事件 x_i 状态为零时顶事件的状态。

3.2 坠车事故树模型建立

由以上营运客车坠车事故单一影响因素统计分析可知:道路位置不安全状况主要体现在临水沟谷崖及高路基,这是坠车事故发生的必要条件;坠车事故中人的因素主要有超速行驶、操作不当、车速不当、超员行驶;车辆因素主要有制动故障;涉及到的道路线形主要有一般弯坡、一般坡急弯及陡坡急弯;不安全路面状况主要有潮湿及冰雪路面。将坠车作为事故树的顶事件,将以上基本原因作为事故树最底层的基本事件,以事故交叉影响因素统计分析结果为依据,结合具体事故案例分类分析,构建各基本原因之间的逻辑关系,建立图1所示营运客车坠车

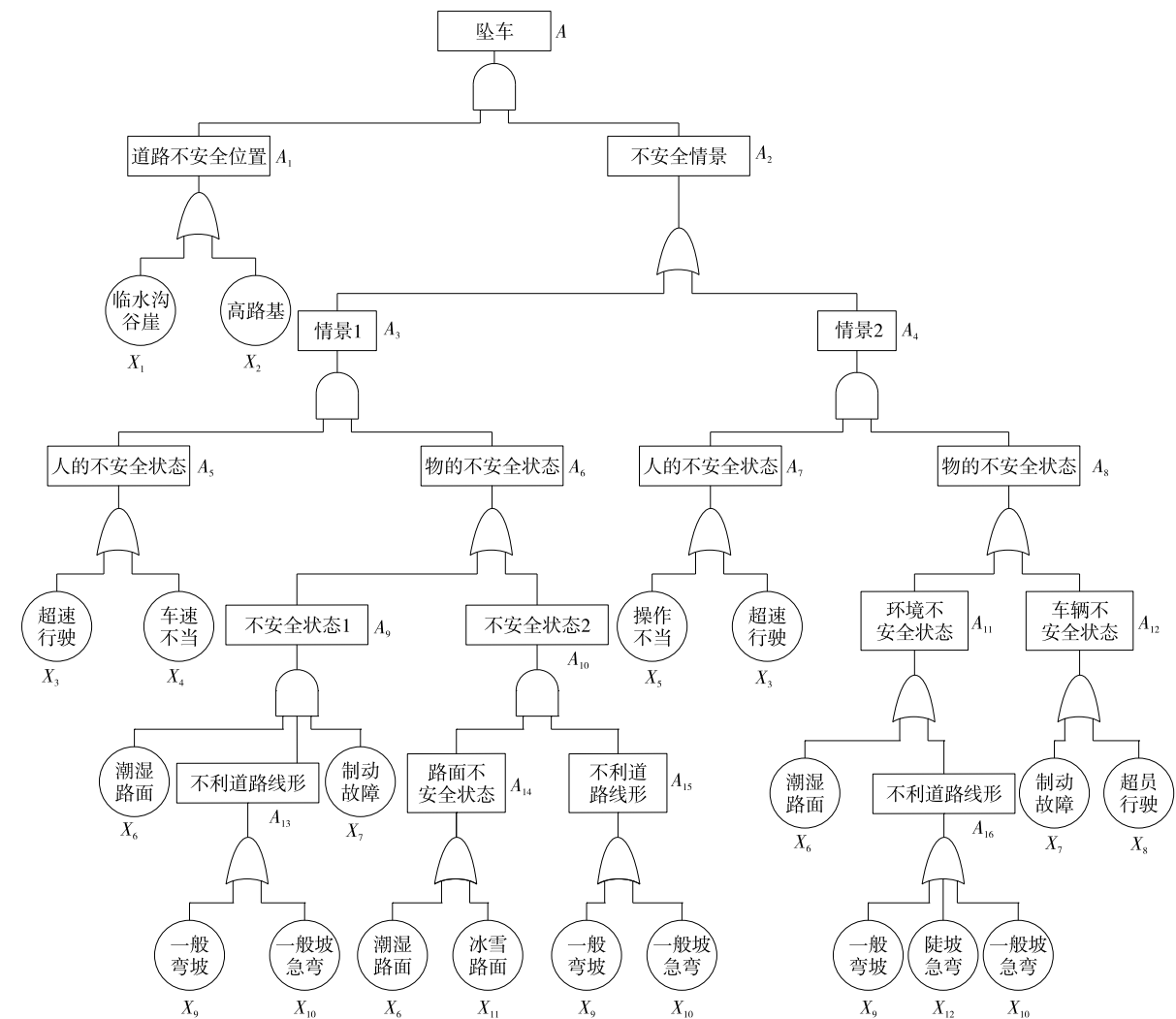


图 1 营运客车特大交通坠车事故树模型

事故树模型。

3.3 坠车事故树分析计算

3.3.1 最小割集的求解和分析

利用布尔代数化简法求解营运客车特大交通坠车事故树的最小割集,求得 32 个最小割集,最小割集数目较多,说明营运客车坠车事故发生途径较多,运行危险性较大。

3.3.2 结构重要度求解和分析

营运客车特大交通坠车事故树各基本事件的结构重要度排序见表 10。

由表 10 可知:营运客车特大交通坠车事故树各基本事件的结构重要度共分为 6 个等级。等级 1 是道路不利位置中的临水沟谷崖、高路基,当车辆行驶路段存在高度悬殊时才会发生坠车事故,对于坠车事故而言其危险性最大;等级 2 是人的因素中的操

表 10 营运客车特大交通坠车事故树各基本事件的结构重要度排序

等级	基本事件	重要度 I
1	临水沟谷崖 X_1 ,高路基 X_2	0.981
2	超速行驶 X_3 ,操作不当 X_5	0.968
3	一般坡急弯 X_{10} ,一般弯坡 X_9 ,潮湿路面 X_6	0.815
4	陡坡急弯 X_{12} ,超员行驶 X_8 ,制动故障 X_7	0.684
5	车速不当 X_4	0.656
6	冰雪路面 X_{11}	0.414

作不当、超速行驶,驾驶员紧急情况下出现操作不当时车辆易失控坠车,而超速行驶遇危险情况时处理时间减少,车辆可控性降低,易坠车;等级 3 是不利道路线形中的一般坡急弯、一般弯坡及潮湿路面;等级 4 是陡坡急弯、超员行驶及制动故障;等级 5、等级 6 依次是车速不当、冰雪路面,车速不当主要为在

不利路面及道路线形情况下没有适时降低车速。可见,高路基、临水沟谷崖等道路不利位置是坠车事故最重要的危险源,其次是人的因素中的超速行驶、操作不当,应着重加以控制和解决;道路线形对坠车事故也有较大影响,其中一般坡急弯并一般弯坡影响最严重,应对相应位置加以改善并加强管理;潮湿路面的影响度比冰雪路面高,因为潮湿路面营运客车通行,而冰雪路面往往营运客车停运;陡坡急弯路段相对较少,影响度较低;超员行驶易加重坠车事故后果,但对事故发生的影响度较低;制动故障数量相对较少,影响较低。

4 结论

(1) 营运客车运输系统具有整体性及开放性的特点,其使用特性主要表现为营利性、不均衡性及多样性。系统所具备的这些特性与对应事故特性具有不可分割的联系。

(2) 营运客车特大道路交通坠车事故与人的因素中的超速行驶、车速不当、操作不当、超员行驶,车辆因素中的制动故障,不良道路线形中的一般弯坡、一般坡急弯、陡坡急弯及潮湿路面等因素关系密切;道路不安全位置如临水沟谷崖、高路基是坠车事故发生的必要条件。

(3) 当人的因素中的超速行驶、操作不当、车速不当与潮湿路面共同作用时,事故数较多,危险性大;在不同程度的弯坡道路上超速行驶,事故数多,危险性大,一般弯坡、一般坡急弯及陡坡急弯路段驾驶员操作不当的危险性也较大;当车辆存在制动故障时,驾驶员若操作不当极易发生事故,超速、超员行驶也具有较大危险性;弯坡路段处路面潮湿,存在较大危险性。

(4) 营运客车坠车事故发生途径较多,危险性

较大,高路基、临水沟谷崖等道路不利位置是坠车事故最重要的危险源,其次是人的因素中的超速行驶及操作不当。

参考文献:

- [1] 张浩.客车操纵稳定性分析及其控制策略研究[D].长春:吉林大学,2012.
- [2] 方遵,杨福清.客车自主安全控制系统设计与研究[J].太原理工大学学报,2015,46(2).
- [3] 郭平波,薛世海,杨晨辉.基于弹性车体模型的高速客车动态响应[J].交通运输工程学报,2005,5(2).
- [4] 王云鹏,王利芳,李世武.道路运输系统分析及发展对策研究[J].公路交通科技,2005,22(7).
- [5] 樊彦龙.关于我国运输通道客运交通结构的研究[D].西安:长安大学,2004.
- [6] Kaplan S, Prato C G. Risk factors associated with bus accident severity in the United States: a generalized ordered logit model[J]. Journal of Safety Research, 2012, 43(3).
- [7] 卜全民,王涌涛,汪德耀.事故树分析法的应用研究[J].西南石油大学学报,2007,29(4).
- [8] 朱守胜,王艳杰.事故树分析法在车辆翻坠车事故原因分析中的应用[J].科教导刊:电子版,2015(24).
- [9] 李晟坤,方守恩.车辆冲出路外事故的特征及影响因素分析[J].公路与汽运,2009(2).
- [10] 朱守胜.基于事故树分析的营运客车交通安全风险研究[D].西安:长安大学,2016.
- [11] 龚标,王长君,郑煜,等.客运车辆特大交通事故特征及原因分析[J].中国公共安全,2006(6).
- [12] 马爱霞,白建平,赵一姝,等.事故树分析在交通事故原因分析中的应用[J].重庆科技学院学报:社会科学版,2009(8).

收稿日期:2017-04-24

(上接第13页)

- [7] Djurovic I, Sejdic E, Jiang J. Frequency-based window width optimization for S-transform [J]. AEU International Journal of Electronics and Communications, 2008, 62(4).
- [8] 胡学友,李锐.时频聚集性能优化的广义S变换[J].计算机应用研究,2014,31(12).
- [9] Li Bing, Zhang Peilin, Liu Dongsheng, et al. Feature extraction for rolling element bearing fault diagnosis utilizing generalized S-transform and two-dimensional non-nega-

tive matrix factorization[J]. Journal of Sound and Vibration, 2011, 330(10).

- [10] 李巍华,林龙,单外平,等.基于广义S变换与双向2DPCA的轴承故障诊断[J].振动、测试与诊断,2015(3).
- [11] Li Ming, Yuan Baozong. 2D-LDA: a statistical linear discriminant analysis for image matrix [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(5).

收稿日期:2017-05-26