

道路运输液体罐式车辆安全运行动态监测 及评价技术要求

Technical requirements for dynamic monitoring and evaluation of safety operation of
road tanker for liquid goods transportation

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言 II

引 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 1

5 驾驶员状态动态监测 2

 5.1 驾驶员的特征行为 2

 5.2 驾驶员状态的等级划分和判定 2

 5.3 驾驶员分心等级判定 2

 5.4 驾驶员疲劳等级判定 3

6 罐车行驶侧翻风险动态监测 3

 6.1 罐车行驶侧翻的风险因素 3

 6.2 罐车侧翻风险指数的回归分析方法 3

 6.3 罐车行驶侧翻风险等级划分和判定 4

7 罐车安全运行评价 4

附录 A（规范性附录）罐体形状与货物充液比计算 5

附录 B（资料性附录）罐车侧翻风险指数的理论计算方法 6

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山东交通学院、吉林大学、山东高速济南发展有限公司、济南北方数智交通科技有限公司、山东省高速养护集团有限公司、山东省交通科学研究院、中国汽车工程研究院股份有限公司、山东省现代物流协会、日照市东港区公路事业发展中心。

本文件起草人：石磊、范艳辉、李显生、王屹虹、孙进伟、邹庆钰、冯勋红、王增强、刘凤涛、席建锋、任园园、郑雪莲、马士杰、孟祥荣、石亮亮、徐吉存、韩涛、宁乾、傅轶华、亓明、娄本金、周才云、何丹、张有林、潘立平、李仰印、刘宏、刘旭亮、刘鹏、侯传明、辛珊珊、胡彬、刘光、刘尚林、彭国冬、韩晓永。

引 言

液态货物具有易于流动的特性。当罐式车辆运行状态发生变化时，罐内非满载的液态货物会在外界激励作用下，沿罐体的纵向和侧向产生晃动，进而对车辆产生冲击力和动态载荷，使得罐式车辆的使用性能与普通载货汽车存在显著差异。

在实际道路运输中，高速行驶的罐式车辆常出现制动、避让、转弯、超车或换道等行驶工况，由于罐体形状和罐内货物充装率的不同，使得液体晃动和动态冲击的程度各异，都会导致罐式车辆的制动性能和转向性能较普通载货汽车大幅降低，从而严重影响车辆行驶稳定性，显著增加交通事故风险。此外，罐式车辆运输的货物多具有爆炸、易燃、毒害、腐蚀、放射性等危险特性，一旦发生交通事故，极易造成重大人员伤亡、财产损失和环境污染。为有效提升道路运输液体罐式车辆运行安全水平，亟需从驾驶员状态和车辆行驶侧翻风险角度实施动态监测，探索并制定车辆安全运行评价标准。

为保障山东省道路运输液体罐式车辆安全运行，有效预防交通事故发生率，加强企业及相关管理部门对罐式车辆的运输安全评价和科学管理，特制定本文件。

道路运输液体罐式车辆安全运行动态监测及评价技术要求

1 范围

本文件规定了道路运输液体罐式车辆（以下简称罐车）安全运行动态监测及评价的总则、驾驶员状态动态监测、罐车行驶侧翻风险动态监测、罐车安全运行评价的技术要求。

本文件适用于同时符合以下条件的罐车：

- a) 以常压或加压方式从事液体、液化气体货物运输的N类、O类罐式专用运输汽车；
- b) 罐车安装具有圆形、椭圆形横截面以及可近似为圆形、椭圆形横截面的罐体。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 7258-2017 机动车运行安全技术条件
- GB 18564.1-2019 道路运输液体危险货物罐式车辆 第1部分：金属常压罐体技术要求
- GB 28373 N类和O类罐式车辆侧倾稳定性
- GB/T 41797 驾驶员注意力监测系统性能要求及试验方法
- JT/T 1285 危险货物道路运输营运车辆安全技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

道路运输液体罐式车辆 road tanker for liquid goods transportation

罐体内充装液体或液化气体货物，且与定型汽车底盘或罐式半挂车行走机构采用永久性连接的道路运输罐式车辆。

[来源：GB 18564.1-2019，3.3，有修改]

3.2

货物充液比 liquid cargo fill percentage

罐体内液面高度与罐体高度的比值。

3.3

动态监测 dynamic monitoring

对驾驶员状态和车辆行驶状态的动态过程进行的实时观察和记录。

3.4

罐车侧翻风险指数 tanker rollover risk index

评估罐车在道路行驶时发生侧翻风险的量化指标。

4 总则

- 4.1 罐车安全运行动态监测及评价宜遵循“科学规范、数据驱动、量化分析”的原则。
- 4.2 罐车驾驶员状态宜根据多种特征行为的动态监测数据综合判定，需考虑驾驶员状态监测系统的功能局限性及行车环境对驾驶员状态等级产生的影响。
- 4.3 罐车行驶侧翻风险需在车-路系统条件下综合分析判定，宜采用多元统计方法计算罐车在弯坡组合路段、弯道路段行驶的侧翻风险指数。
- 4.4 罐车运行安全风险可基于多源数据的动态监测和量化模型实现分级评价，道路运输企业通过高质量数据积累和模型优化能进一步提升罐车安全运行评价的科学性与合理性。
- 4.5 罐车安全运行动态监测及评价工作可推动企业运输安全实现闭环管理及与监管部门建立协同共享机制。

5 驾驶员状态动态监测

5.1 驾驶员的特征行为

- 5.1.1 驾驶人状态宜根据驾驶员头部姿态、接打手持电话、抽烟、闭眼、打哈欠等特征行为进行综合判定。
- 5.1.2 建议使用满足 GB/T 41797 要求的驾驶员注意力监测系统对驾驶员头部姿态、接打手持电话、抽烟、闭眼、打哈欠等特征行为进行动态监测。

5.2 驾驶员状态的等级划分和判定

- 5.2.1 驾驶员状态包含驾驶员分心和疲劳，可划分为良好、轻度不良、中度不良、重度不良四个等级。
- 5.2.2 驾驶员状态等级的综合判定宜取疲劳状态与分心状态中的较高等级。
- 5.2.3 驾驶员状态按照表 1 进行等级划分和综合判定。

表 1 驾驶员状态等级判断矩阵

驾驶员疲劳程度	驾驶员分心程度			
	无分心	轻度分心	中度分心	重度分心
无疲劳	良好	轻度不良	中度不良	重度不良
轻度疲劳	轻度不良	轻度不良	中度不良	重度不良
中度疲劳	中度不良	中度不良	中度不良	重度不良
重度疲劳	重度不良	重度不良	重度不良	重度不良

5.3 驾驶员分心等级判定

- 5.3.1 驾驶员分心等级可依据其头部姿态、使用手持电话、抽烟等行为的异常程度及持续时间进行划分，可分为无分心、轻度分心、中度分心和重度分心四个等级。
- 5.3.2 驾驶员分心等级宜根据可观测的以下行为特征进行判定：
 - a) 无分心：驾驶员短暂出现头部姿态异常，无接打电话或抽烟等行为。例如：头部偏离正常位置的左/右偏离角均不超过 45°、持续时间不超过 2 秒；
 - b) 轻度分心状态：驾驶员出现头部姿态异常，驾驶员短暂地接打手持电话或抽烟。例如：头部偏离正常位置的左/右偏离角均不超过 60°、持续时间 2~3 秒，接打电话或抽烟的持续时间不超过 2 秒；

- c) 中度分心状态：驾驶员出现长时间的头部姿态异常，或长时间地接打手持电话或抽烟。例如：头部姿态偏离正常位置的左/右偏离角均不超过 75° 、持续时间 3~4 秒，接打电话或抽烟的持续时间不超过 3 秒；
- d) 重度分心状态：驾驶员持续出现头部姿态严重偏离正常姿态，或者持续长间接打手持电话或抽烟。例如：头部姿态偏离正常位置的左/右偏离角均超过 75° 、持续时间大于 4 秒，接打手持电话或抽烟的持续时间大于 3 秒。

5.4 驾驶员疲劳等级判定

5.4.1 驾驶员疲劳等级可根据其闭眼、打哈欠的持续时间和频次进行划分，可分为无疲劳、轻度疲劳、中度疲劳和重度疲劳四个等级。

5.4.2 驾驶员疲劳等级宜根据可观测的以下行为特征进行判定：

- a) 无疲劳：驾驶员没有出现闭眼或打哈欠等行为；
- b) 轻度疲劳状态：驾驶员偶尔出现短暂的闭眼或打哈欠，见轻微困倦感。例如：闭眼或打哈欠的持续时间不超过 1 秒，每分钟次数不超过 1 次；
- c) 中度疲劳状态：驾驶员经常出现持续时间较长的闭眼或打哈欠，见较明显困倦感。例如：闭眼或打哈欠的持续时间 1~3 秒，每分钟次数不超过 2 次；
- d) 重度疲劳状态：驾驶员频繁出现长时间的闭眼或打哈欠，伴随明显困倦感。例如：闭眼或打哈欠的持续时间超过 3 秒，每分钟次数在 3 次及以上。

6 罐车行驶侧翻风险动态监测

6.1 罐车行驶侧翻的风险因素

6.1.1 罐车行驶的侧翻风险应综合考虑车辆运行速度、罐体形状、罐内货物充液比、弯道半径、纵向坡度、弯道超高等因素的影响。

6.1.2 罐体形状和货物充液比可按照附录 A 的计算方法进行分析确定，或者查阅技术资料获取数据。

6.1.3 罐车行驶速度宜使用满足 GB 7258-2017 要求的行驶记录仪实时记录的车速值。

6.1.4 罐车行驶路段的弯道半径、纵向坡度、弯道超高数据宜通过查阅技术资料等方式获得。

6.2 罐车侧翻风险指数的回归分析方法

6.2.1 当罐车行驶中的前后轴平均横向载荷转移率（LTR）不可测得或估算时，可利用多元回归分析估计罐车在该路段行驶时的侧翻风险指数。

6.2.2 罐车侧翻风险指数的多元回归模型。

$$RI = -0.108 + 0.363x_1 + 0.009x_2 - 0.013x_3 - 0.034x_4 - 0.002x_5 + 0.009x_6 + 0.009(x_1 - 0.5)(x_2 - 65) - 0.002(x_1 - 0.5)(x_5 - 195) - 0.235(x_1 - 0.5)(x_6 - 1.5625) - 3.374 \times 10^{-5}(x_2 - 65)(x_5 - 195) \quad (1)$$

式中：

x_1 ——充液比，无量纲；

x_2 ——弯坡组合路段车辆行驶速度的平均值，单位为千米每时（km/h）；

x_3 ——弯坡组合路段超高的平均值，%；

x_4 ——弯坡组合路段纵向坡度的平均值，%；

x_5 ——弯坡组合路段圆曲线部分的弯道半径，单位为米（m）；

x_6 ——罐体主体部分横截面的长短轴之比，无量纲。

公式（1）是关于车辆运行速度、罐体形状、罐内货物充液比、弯道半径、纵向坡度、弯道超高的多元线性回归函数，其拟合精度 R^2 达到0.95以上。

6.2.3 企业具备罐车行驶动力学数据实时采集和分析能力时，也可根据日常经营活动中的行车数据积累，按照附录 B 的理论方法计算罐车侧翻风险指数。

6.3 罐车行驶侧翻风险等级划分和判定

6.3.1 按照罐车行驶侧翻风险指数 RI 判定其侧翻风险等级。罐车侧翻风险等级宜划分为四级，从低到高等级依次为：安全、低风险、中风险、高风险。

- a) 罐车侧翻风险指数小于 0.1 时，罐车无侧翻风险，处于安全状态；
- b) 罐车侧翻风险指数大于等于 0.1 且小于 0.3 时，罐车侧翻为低风险；
- c) 罐车侧翻风险指数大于等于 0.3 且小于等于 0.7 时，罐车侧翻为中风险；
- d) 罐车侧翻风险指数大于 0.7 时，罐车侧翻为高风险。

7 罐车安全运行评价

7.1 按照罐车驾驶员状态和车辆侧翻风险综合判定车辆运行安全等级。罐车运行安全等级可分为五级：安全、低风险、中风险、高风险、极高风险。

7.2 罐车运行安全等级宜取驾驶员状态和车辆侧翻风险的较高等级，并随任一指标的等级增加而风险递增。

7.3 罐车运行安全等级按照表 2 进行综合判定。

表 2 罐车运行安全等级判断矩阵

驾驶员状态等级	罐车侧翻风险等级			
	安全	低风险	中风险	高风险
良好	安全	低风险	中风险	高风险
轻度不良	低风险	低风险	中风险	高风险
中度不良	中风险	中风险	高风险	极高风险
重度不良	高风险	高风险	极高风险	极高风险

7.4 罐车运行安全等级及评价描述见表 3。

表 3 罐车安全运行评价描述

运行安全等级	安全评价描述
安全	人-车-路系统处于安全状态。
低风险	人-车-路系统存在轻微风险，且风险可控。
中风险	人-车-路系统有较明显的风险，驾驶员需调整行车状态（如降低车速或减小方向盘转角）或集中注意力。
高风险	人-车-路系统处于危险状态，驾驶员需立即降低车速、减小方向盘转角，并集中注意力。
极高风险	人-车-路系统风险不可控，随时可能发生事故。

附 录 A
(规范性附录)
罐体形状与货物充液比计算

A.1 罐体形状

A.1.1 罐体形状由罐体主体部分横截面的长短轴之比 ζ 描述。 ζ 的计算方法为：

$$\zeta = \frac{a}{b} \cdots \cdots (A.1)$$

式中：
 ζ ——罐体横截面的长短轴之比，无量纲；
 a ——罐体横截面的宽度，不包含罐体壁面的厚度；
 b ——罐体横截面的高度，不包含罐体壁面的厚度。

A.1.2 罐体横截面形状可近似为椭圆形时，其高度根据实测结果取值，其宽度用等效宽度代替。等效宽度为罐体横截面面积和罐体高度的比值，计算方法为：

$$a = \frac{S_A}{\pi b} \cdots \cdots (A.2)$$

式中：
 S_A ——罐体横截面的面积。

A.2 货物充液比计算

A.2.1 直接通过测量液面高度获得货物充液比，其计算方法为：

$$\Delta = \frac{H}{2b} \cdots \cdots (A.3)$$

式中：
 Δ ——罐体充液比，无量纲；
 H ——液体水平自由表面距离罐体底部的高度，m。

A.2.2 在无法直接测量液面高度且已知罐体内的货物充装率时，可通过下式计算获得充液比：

$$\Delta_v = \frac{V_{liquid}}{L \times S_{AreaCross}} = ab \left[(2\Delta - 1)\sqrt{1 - \Delta} + b^2 \sin^{-1} (2\Delta - 1) + \frac{\pi}{2} b^2 \right] \cdots \cdots (A.4)$$

式中：
 Δ ——充液比，液面高度与罐体横截面高度的比值，无量纲；
 Δ_v ——罐体内货物的充装率，无量纲；
 V_{liquid} ——液体体积， m^3 ；
 $S_{AreaCross}$ ——罐体横截面的面积， m^2 ；
 L ——罐体长度，m。

附录 B

(资料性附录)

罐车侧翻风险指数的理论计算方法

B.1 当罐车行驶中的前后轴平均横向载荷转移率 (LTR) 可被测得或估算时, 宜采用理论方法计算其侧翻风险指数。

B.2 计算车辆侧翻概率 $p(s)$

$$p(s) = -\frac{1}{LTR^0} (LTR^0 - |LTR(s)|) + 1 \cdots \cdots \cdots (B.1)$$

式中:

LTR^0 ——车辆侧翻时左右轮胎横向载荷转移率, 其最大值为 1;

$LTR(s)$ ——路段某点处车辆多个车轴的左右轮胎横向载荷转移率的最大值, 无量纲。

B.3 计算车辆侧翻风险指数 RI

$$RI = \frac{1}{d_n} \int_0^{d_n} p(s) ds \cdots \cdots \cdots (B.2)$$

式中:

d_n ——弯坡组合路段的长度, $d_n = S_n - S_{n-1}$ 。 S_n 为路段终点处的长度, S_{n-1} 为路段起点处的长度。

单位为米 (m);

$p(s)$ ——弯坡组合路段某点处的车辆侧翻概率, 无量纲。