

团 体 标 准

T/GDHS 019—2026

城镇化地区高（快）速路交通运行风险 智能防控技术规范

Specification for intelligent prevention and control of Traffic operation risks
on expressway in urbanized areas

2026 - 09 - 11 发布

2026 - 10 - 11 实施

广东省公路学会 发 布

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 基本规定 2

5 交通调查与高风险路段预判 2

 5.1 调查与资料收集 2

 5.2 高风险路段预判 2

6 运行状态监测与风险诊断 3

 6.1 一般规定 3

 6.2 陡坡急弯路段 3

 6.3 隧道出入口间距受限路段 4

 6.4 互通立交出入口间距受限路段 4

 6.5 气象灾害易发路段 5

 6.6 养护作业路段 6

 6.7 其他风险路段 6

 6.8 线域风险诊断 7

7 机电系统智能防控 8

 7.1 一般规定 8

 7.2 陡坡急弯路段 8

 7.3 隧道出入口间距受限路段 9

 7.4 互通立交出入口间距受限路段 9

 7.5 气象灾害易发路段 10

 7.6 养护作业路段 10

 7.7 其他风险路段 11

 7.8 线域智能防控平台 12

 7.9 防控后评估 13

附录 A（规范性） 养护作业路段风险诊断方法 14

 A.1 交通因素（指标 A） 14

 A.2 道路因素（指标 B） 15

 A.3 作业区类型（指标 C） 18

 A.4 环境因素（指标 D） 18

 A.5 综合评价指标 18

附录 B（资料性） 算例 20

前 言

本文件按照GDHS-BZBX-01-2021《广东省公路学会标准编写规则》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。

本文件由广州机场第二高速公路有限公司提出。

本文件由广东省公路学会归口。

本文件起草单位：广州机场第二高速公路有限公司、同济大学、华南理工大学、山东省交通规划设计院集团有限公司、广州快速交通建设有限公司、广州市公路实业发展有限公司

主编：吴绍明

参加编写人员：杨轸、岳伟杰、王晓飞、胡硕、罗小雄、李晓博、邓龙斌、符锌砂、王国军、宋灿灿、蓝志洋、荆迪菲、孙玉海、詹磊

主审：鲍钢

参加审查人员：洪显诚、郭月利、陈湘华、罗锦兴、张春声、方熙霞、李旭华、王佳胜、庄明融

本文件为首次发布。

引 言

为提高城镇化地区高(快)速路运营安全性与效率,编制组依托“面向运营安全的城市建成区高(快)速路智慧管控关键技术研究”、“山区高速公路交通运行风险全息监测预警与主动防控关键技术及应用”等科研项目研究成果和交通运行风险智能防控方面的工程实践,从交通调查与风险路段预判、运行状态监测与风险诊断、机电系统智能防控等方面提出具体实施方法,编制形成本文件,以指导城镇化地区高(快)速路交通运行风险智能防控技术的应用推广。

请各有关单位在使用本文件的过程中,将发现的问题和修改建议反馈至广州机场第二高速公路有限公司(地址:广州市白云区鹤龙五路383号,邮编:510400),以便修订时研用。

城镇化地区高（快）速路交通运行风险智能防控技术规范

1 范围

本文件规定了城镇化地区高（快）速路交通运行风险设备智能防控中交通调查与风险路段预判、运行状态监测与风险诊断、智能防控的要求。

本规范适用于城镇化地区已通车高（快）速路、通车运营的改扩建高（快）速路的交通运行风险机电系统的智能管控。

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 5768.4 道路交通标志和标线 第4部分：作业区

GB 50688 城市道路交通设施设计规范

GB/T 23828 高速公路LED可变信息标志

GB/T 33697 公路交通气象监测设施技术要求

JTG H30 公路养护安全作业规程

GA/T 115-2020 道路交通拥堵度评价方法

T/GDHS 018 城镇化地区高（快）速路安全性评价规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城镇化地区高（快）速路 expressway in urbanized areas

在城镇化地区专供汽车分向分车道行驶、设有中央分隔带、控制出入、控制出入口间距及形式的多车道道路。包括高速公路和城市快速路两大类。

3.2

结构物间距受限路段 segment with restricted structure spacing

城镇化地区高（快）速路中，隧道、互通式立体交叉、收费站、服务区、公共汽车停靠站等大型结构物之间距离较短，影响车辆行驶的路段。

3.3

线域 linear range

高（快）速路中连续多段、且多风险工况组合的路段。

3.4

边缘控制系统 roadside control system

面向高风险场景的路侧交通运行风险智能防控系统，具备道路交通环境运行状态实时监测、运行状态研判和定向管控等功能。

3.5

定向预警 directional warning

在特定的路段上（通常为高风险路段）对在途车辆进行运行状态实时监测，根据前方道路交通环境及周边车辆运行状态，对车辆进行针对性预警。

3.6

线域智能防控平台 intelligent prevention and control platform for long linear range

针对连续多段、多风险工况组合的高（快）速路进行协同智能防控的设备管控系统，具备整体交通事件推断发现、高风险事件提前预警、各防控设施协同管控等功能。

条文说明

线域智能防控平台通常将连续多个边缘控制系统（路侧）及沿线其它交通运行状态感知设备和交通运行指示/预警设备联网在一起，通过线域智能防控处理中心统一进行信息综合分析和协同联动管控，通常检测管控的道路长度可达5~15km。

4 基本规定

4.1 应根据道路实际情况开展交通运行风险智能防控，制定详细的风险防控频率和期限要求。

4.2 交通运行风险智能防控的实施包括交通调查与高风险路段预判、运行状态监测与风险诊断、智能防控决策与信息发布等流程。

4.3 应针对陡坡急弯路段、隧道出入口间距受限路段、互通立交出入口间距受限路段、气象灾害易发路段、养护作业路段、其他风险路段等高风险路段开展交通运行风险智能防控。

5 交通调查与高风险路段预判

5.1 调查与资料收集

5.1.1 风险监测和诊断前应开展交通调查，交通调查包含资料收集和交通数据，收集或观测道路线形、技术状况、交通运行状态数据、气象环境等资料。

5.1.2 交通运行状态数据包括交通量、交通组成、交通事故发生情况、运行速度、施工期间的交通组织设计等。

5.1.3 宜采用交通数据统计分析和公路使用者问卷调查等方法进行交通调查，主要包括下列内容：

- 近3年及以上的交通量、交通组成及运行速度等统计资料，包括节假日和极端天气状况下的交通量、交通流向和交通组成等资料；
- 近3年及以上的交通事故详细资料；
- 相关设计文件，包括施工图或竣工图等资料。

5.1.4 采用现场观测和实地驾驶等方法对陡坡急弯路段、隧道出入口间距受限路段、互通立交出入口间距受限路段、气象灾害易发路段、养护作业路段、其他风险路段等路段进行交通观测，宜满足下列内容：

- 交通观测内容应包括交通平峰期和高峰期的路段整体交通流量、交通组成、车辆运行速度、分车道交通流量及交通组成，互通式立体交叉转向交通量及运行速度等；
- 根据交通观测路段的设计速度，交通观测最小样本量应满足表1的要求，并且连续观察时间不小于30分钟。

表1 交通观测最小样本量（按自然车计）

设计速度/(km/h)	40	50	60	80	90	100	110	120
样本量/辆	55	65	85	110	130	155	200	275

5.2 高风险路段预判

5.2.1 应依据历史交通事故或交通观测数据，预判高风险路段，分析其致因。

5.2.2 应对事故多发或事故风险高路段进行断面速度现场观测并进行事故或风险分析，分析时应考虑以下方面：

- 有三年以上事故数据的道路，应根据交通事故的时空分布确定事故易发路段，分析事故致因；
- 应通过交通运行观测数据，从交通冲突、行车稳定性、驾驶员视认性等角度对候选防控路段的运行风险进行分析，结合事故致因分析（如有）确定是否纳入最终的防控路段，并明确高风险路段类别。

条文说明

对于运营较长一段时间，有事故积累的路段可以通过在对现有事故数据统计分析的基础上进行鉴别（如采用累积频率曲线法）。对于刚开通不久或缺乏事故资料积累的道路可以针对陡坡急弯路段、隧道出入口间距受限路段、互通立交出入口间距受限路段、气象灾害易发路段、养护作业路段，以及其他风险路段（如匝道、辅助车道、集散车道、改扩建路段、服务区和收费站等）等高风险类别进行运行状态监测分析，包括速度观察与冲突分析。

6 运行状态监测与风险诊断

6.1 一般规定

- 6.1.1 应根据高风险路段预判的结果确定运行状态监测的重点路段。
- 6.1.2 高风险路段智能防控的运行状态监测数据应在边缘控制系统中进行存储和实时处理。
- 6.1.3 边缘控制系统具备向线域智能防控平台传输监测数据及管控措施的能力。
- 6.1.4 边缘控制系统具备该风险路段实时风险诊断能力，线域智能防控平台应具备两种及以上高风险路段风险诊断的能力。
- 6.1.5 边缘控制系统优先满足实时防控，同时可接受线域智能防控平台的指令。

6.2 陡坡急弯路段

- 6.2.1 陡坡急弯路段宜设置车速及车型检测设备，可位于缓圆点前 7~9 秒运行速度行程处。
- 6.2.2 陡坡急弯路段应按照公式（1）计算富余附着系数 φ_l ，并按表 2 对风险等级进行评价。

$$\varphi_l = \sqrt{\varphi_0^2 - \left(v_t^2 \times \left(\frac{1}{R} + 0.0025 \right) / 9.8 - i_c \right)^2} + i_l \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- φ_l ——富余附着系数
- φ_0 ——路面附着系数，冰面取0.18，积雪取0.35，潮湿状态取0.4，干燥时取0.6。
- v_t ——实际检测的运行速度（m/s）；
- R ——平曲线半径（m）；
- i_c ——道路超高；
- i_l ——道路纵坡，上坡取正；

表2 弯坡组合段风险分级

富余附着系数	风险等级
<0.15	重大
[0.15~0.25)	较大
[0.25~0.35]	一般
>0.35	较小

条文说明

轮胎与路面的附着系数按照摩擦圆理论进行矢量分解法，扣除保持横向稳定（如克服弯道行驶、紧急避让等）的附着系数消耗后，剩余能用于保持纵向制动减速的附着系数。按照摩擦圆理论认为，轮胎和路面的摩擦力是沿纵向（车辆前进方向）和横向（侧向）两个相互垂直方向的摩擦力的矢量合成，其最大值为附着系数与作用在路面上的垂直轮荷的乘积。当车辆受一定横向力作用时，其轮胎和路面纵向作用力最大值不超过最大摩擦力按横向力方向分解后得到的纵向分量值。

车速及车型检测设备布设位置需要考虑系统与驾驶员的交互作用关系。当车辆运动状态被检测后，需要进行处理并判断是否有高风险，如果存在，需要通过预警管控设备发布信息，驾驶员感知到后采取相应的措施进行处理，通常是制动减速。驾驶员感知判断时间取2.5秒，驾驶员脚从油门转到刹车并踩下时间约1秒，车辆制动减速度取2.5m/s²，减速时间约为3.5秒（能够产生30km/h的速度折减），考虑信息处理、传输可能的延时滞后0.5秒，故取7~9秒的时距提前布设。

轮胎与路面附着系数一方面提供侧向的行驶稳定需要（克服车辆在半径为R的弯道上行驶，并叠加紧急避让时的方向盘跃阶输入，这里取0.0025，即等效400米半径的附加曲率），另一方面需要提供纵向的稳定，包括紧急制动和克服纵坡。

6.2.3 风险诊断应根据《城镇化地区高（快）速路安全性评价规范》的规定，结合该路段线形组合形式及指标、视距、交通组成和现行管控措施等进行。

6.3 隧道出入口间距受限路段

6.3.1 隧道出入口间距受限路段包含隧道出口间距受限路段、隧道入口间距受限路段。

- 隧道出口间距受限路段包含隧道出口至互通式立体交叉、服务设施出口路段；
- 隧道入口间距受限路段包含互通式立体交叉、服务设施入口至隧道入口路段；
- 图 1 给出隧道出入口间距受限路段示意图，包括隧道出口间距受限路段和隧道入口间距受限路段。

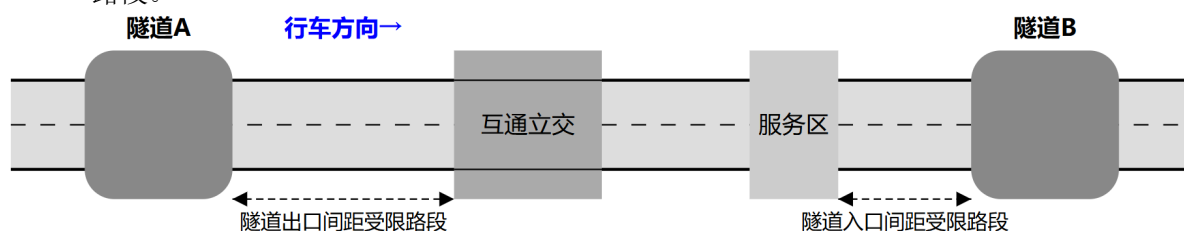


图 1 隧道出入口间距受限路段示意图

6.3.2 隧道出入口间距受限路段交通运行风险诊断应考虑隧道内外亮度差、运行速度、运行速度差、交通流状态、突发事件、标志标线设置的合理性等因素。

6.3.3 隧道出入口间距受限路段风险监测设备的选定和布设应符合下列规定：

- 隧道出口间距受限路段风险监测设施宜包含交通状态监测设备、气象环境监测设备、光环境监测设备等。交通状态监测设备应布设在隧道出口外主线、互通立交（服务区、停车区）出口匝道；气象环境监测设备应布设在隧道出口外；光环境监测设备应布设在隧道内、隧道出口外；
- 隧道入口间距受限路段的风险监测设施宜包含交通状态监测设备、光环境监测设备等，布设在入口主线、入口匝道、隧道内。交通状态监测设备应布设在隧道内；光环境监测设备应布设在隧道内、隧道入口前；
- 风险诊断应根据《城镇化地区高（快）速路安全性评价规范》的规定，结合交通观测和实车驾驶数据，综合隧道出入口间距受限路段空间线形组合形式及指标、出入口间距、交通流状态、气象环境、光环境、现行管控措施等进行。

6.3.4 风险诊断应根据《城镇化地区高（快）速路安全性评价规范》（T/GDHS 018）的规定，结合交通观测和实车驾驶数据，综合隧道出入口间距受限路段空间线形组合形式及指标、出入口间距、交通流状态、气象环境、光环境、现行管控措施等进行。

6.4 互通立交出入口间距受限路段

6.4.1 互通式立体交叉出入口间距受限路段包含单体互通式立体交叉变速车道间距受限路段、相邻互通式立体交叉间距受限路段。

条文说明

“单体互通式立体交叉变速车道间距受限路段”是指单体互通式立体交叉内的变速车道间的间距过短，“相邻互通式立体交叉间距受限路段”则是指多个互通式立体交叉之间的间距过短。

6.4.2 互通立交出入口间距受限路段交通运行风险的影响因素应包括运行速度、运行速度差、交通流状态、突发事件、标志标线设置的合理性等。

6.4.3 互通立交出入口间距受限路段风险监测设施应包含交通状态监测设备、路面湿滑状态检测设施等，布设在辅助车道（集散车道）、出入口匝道、交织区等。

6.4.4 风险诊断应根据《城镇化地区高（快）速路安全性评价规范》的规定，结合交通观测和实车驾驶数据，综合互通立交出入口间距受限路段空间线形组合形式及指标、视距、交通流状态、交通组成、是否交织区、现行管控措施等进行。

6.5 气象灾害易发路段

6.5.1 气象灾害易发路段应布设降雨量、能见度、路面湿滑状态、风向风速等气象灾害监测设施，设备的性能指标参数应满足《公路交通气象监测设施技术要求》（GB/T 33697）的要求。

6.5.2 气象灾害监测设施布设位置应满足下列规定：

- a) 能见度检测设施应布设在团雾多发区；
- b) 路面湿滑状态检测设施应布置在最大水膜厚度位置、冬季易发结冰的分界处，准确位置的获取可按照《城镇化地区高（快）速路安全性评价规范》附录 E 提出的水流场仿真计算流程的方法进行确定，也可以通过降雨条件下现场实际观测来确定；
- c) 风向风速检测设施应布设在跨江大桥、桥隧群的连接敞开段、穿越山间峡谷的桥梁或路基段；
- d) 气象灾害监测设施应与速度、车型、交通流量、车辆横向位置等感知设备协同布设，以便对运行风险进行实时诊断。

条文说明

最大水膜厚度位置通常位于设置超高过渡段的零坡位置附近。冬季易发结冰的分界处通常位于桥隧连接处桥梁侧、路基桥梁连接处桥梁侧。

6.5.3 风险诊断应满足下列规定：

- a) 根据实时监测的道路气象环境、实时交通运行状态等信息进行风险诊断；
- b) 低能见度环境下风险诊断按照前后车辆以相同减速度（轮胎与路面的摩擦系数达到该道路工况下附着系数的 90%）制动，考虑驾驶员 3 秒反应延迟，计算车辆制动距离差和最终相对位置，基于紧急制动后车辆间距量化风险，并按表 3 对风险等级进行评价。

表3 低能见度路段风险分级

紧急制动后车辆间距	风险等级
<0	重大
[0~0.5v _b)	较大
[0.5v _b ~1v _b]	一般
>1v _b	较小
注：v _b 为后车开始减速时的车速（m/s）。	

- c) 宽幅路面超高渐变段积水湿滑状态风险采用湿滑风险指数 *ASI* 应按公式(2)进行计算，并按照表 4 对风险等级进行评价。

$$\left\{ \begin{array}{l} SRI = V/\mu \\ \mu = 0.4677 + 0.5556e^{(-h^{3.595})} - 0.0014V \end{array} \right. \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- SRI*——湿滑风险指数；
- V*——运行速度（km/h）；
- h*——水膜厚度（mm）。

表4 宽幅路面超高渐变段积水湿滑状态风险分级

湿滑风险指数	风险等级
>330	重大
[200~330]	较大
[150~200]	一般
<150	较小

- d) 冰雪湿滑路段应按照公式（1）计算富余附着系数，并按表 2 对风险等级进行评价。

6.6 养护作业路段

6.6.1 养护作业路段交通运行风险监测内容应包括行驶在该路段车辆的运行速度、运行速度差、交通流状态、交通组成等。

6.6.2 风险诊断应从四个方面分析：交通因素、道路因素、作业区类型和环境因素，评价指标体系见图 2。

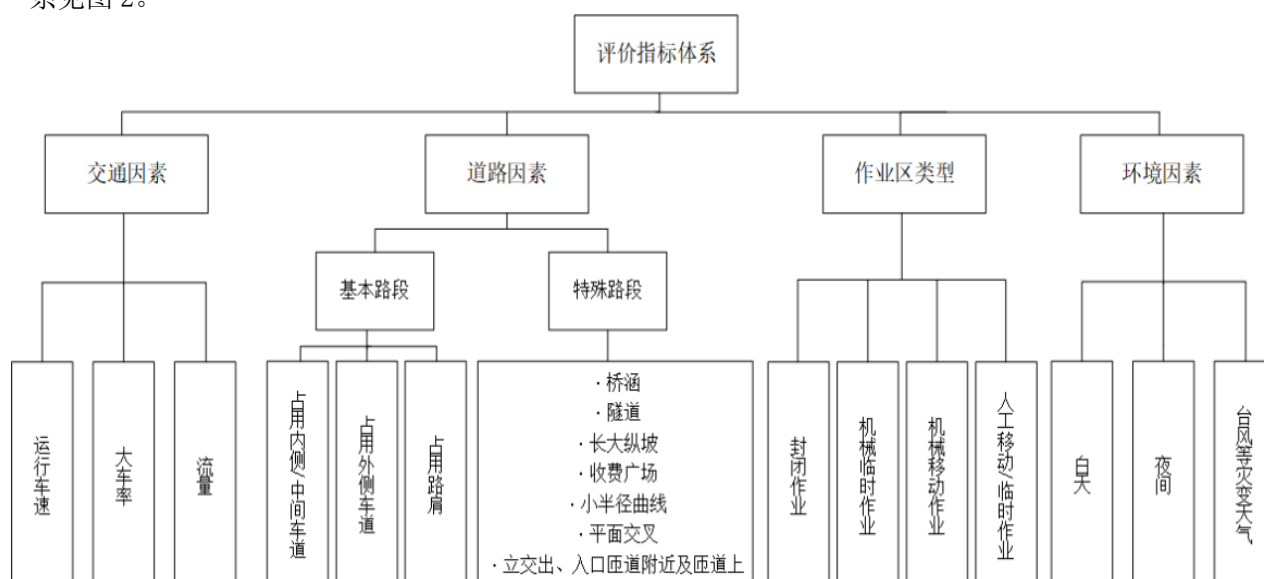


图 2 评价指标体系

6.6.3 养护作业路段风险等级应根据综合评价指标得分，按照表 5 进行评定，综合评价指标得分应按附录 A 计算。附录 B 给出了养护作业区风险等级评价的算例。

表5 养护作业路段风险等级划分

综合评价指标得分	风险等级
(0, 30]	四级（重大）
(30, 60]	三级（较大）
(60, 85]	二级（一般）
(85, 100]	一级（较小）

6.7 其他风险路段

6.7.1 交通拥堵路段的交通运行状态监测与诊断应包含防控路段选定、风险因素分析、监测设备选定、风险诊断，并应符合下列规定：

- 交通拥堵路段宜按《道路交通拥堵度评价方法》（GA/T 115-2020），I 级交通拥堵度路段宜进行智能防控，II 级交通拥堵度路段可进行智能防控；
- 交通拥堵路段风险监测的内容应包括行程速度、交通组成、车道交通量、车道组织方式、动态速度管理策略，可包括换道率、延误率、事件类型、信息发布设备和位置等；
- 监测设备的选定应根据风险因素进行选定，宜利用现有设施与多要素综合采集设备。设备布设位置应符合《道路交通标志与标线》（GB 5768）和《城市道路交通设施设计规范》（GB 50688）的规定；
- 无交通事件的拥堵路段应根据实时的 V/C 值和持续时间进行风险等级划分，宜按表 6 进行评定。

表6 交通拥堵区的风险等级划分

V/C值	持续时间	风险等级
> 1.00	> 15min	重大
(0.91, 1.00]		较大
(0.75, 0.91]		一般
≤0.75		较小

条文说明

《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)和《城市道路工程设计规范》(CJJ 37-2012(2016年版))均采用V/C值进行服务水平的划分,二者之间在分级标准上存在差异,但是差别不大,所以在选取数值时,选择了两个标准中的较大值进行分级。

持续时间的确定参考了日本道路公团对于交通拥堵的定义,日本道路公团认为时速小于40公里或者反复停车、启动的车辆连续超过1公里以上,且持续时间超过15分钟以上的交通现象被称为交通拥堵。

6.7.2 改扩建高(快)速路同向分离路段的交通运行状态监测与诊断应包含防控路段选定、风险因素分析、监测设备选定、风险诊断,并应符合下列规定:

- 改扩建高(快)速路独立的同向分离路段跨互通立交的,应开展运行风险智能防控;改扩建高(快)速路独立的同向分离路段位于相邻的互通立交之间时,宜开展运行风险智能防控;
- 交通拥堵路段风险监测的内容应包括交通组成、运行速度、换道率、TTC,可包括延误率、亮度、照明、事件检测器、动态车道管控措施、信息发布设备和位置等;
- 换道率根据相邻断面上经过不同车道的车辆数进行估计;其他的监测参数可通过交通检测器进行监测,监测的时间间隔为5min;
- 无交通事件的同向分离路段应根据交通组成、换道率和TTC平均值进行风险等级划分,宜按表7进行评定。

表7 同向分离路段的风险等级划分

风险等级	跨互通立交的独立同向分离路段		位于相邻的互通立交之间的独立同向分离路段	
	重大	较大	一般	较小
TTC	2.4s	2.53s	2.4s	2.53s
货车比例	≥25%	<25%	≥25%	<25%
换道率	>20%			

条文说明

根据《智能运输系统车辆前向碰撞预警系统性能要求和测试规程》(GB/T 33577—2017)规定的距离碰撞时间选取的2.4s作为重大风险的TTC阈值,2.53s是根据货车的制动距离反算出来的TTC阈值。货车比例采用的是自然车比例,其阈值与国内外有关事故的研究成果、标准规范中的阈值保持一致。

6.8 线域风险诊断

6.8.1 线域风险诊断检测设施包括防控区段所有的高风险路段路侧监测设施及其它路段监测设施,应满足下列规定:

- 各检测设备通过有线、无线等方式将采集的数据传输给线域防控系统;
- 线域防控系统具备各互通出入口交通量流入流出实时监测设备。

6.8.2 线域防控系统应具备线域范围内单车车辆抛锚、多车碰撞事故和交通拥堵等交通事件的推测能力,交通事件推测应满足下列规定:

- 交通事件推测包括事件发生时间段、发生位置和发生事件的概率;

- d) 推测方法可包括牌照、视频、ETC 等信息匹配，交通流异常状态识别等方法，宜在既有历史数据基础上运用人工智能算法形成具有自学习、自进化能力的推算算法。
- 6.8.3 线域风险诊断的风险量化用各路段加权平均风险指数 $Risk_{line}$ 来表述，见公式（3）。

$$Risk_{line} = \frac{\sum L_i \bar{R}_i}{L} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- L_i ——第*i*个高风险路段代表长度（km）；
- $\bar{R}_i$ ——一定时间段内（通常取 5 分钟）该典型路段的平均风险指数。其中重大、较大、一般和较小的风险指数分别取 7、4、2 和 1。非 6.2~6.8 所列的典型路段风险指数可以取 0；
- L ——全线长度（km）

条文说明

线域风险量化设计连续多个风险路段的综合评估，需要根据各路段的风险指数进行加权计算而得，这里权重按路段长度给出。

- 6.8.4 线域总体风险等级按照相对各路段加权平均风险指数来给出，如表 8 所示。

表8 线域总体风险等级

平均风险指数	风险等级
>5	重大
[3,5]	较大
[1,3]	一般
<1	较小

7 机电系统智能防控

7.1 一般规定

- 7.1.1 智能防控应包括防控决策和交通管控设备。
- 7.1.2 防控决策是系统根据风险源特征及风险研判结果，确定应启用的管控设备类型及相应的设备参数配置方案。
- 7.1.3 交通管控设备包括路侧可变情报板、可变限速标志、主动发光标线、发光道钉、频闪灯、语音播报设备、雾灯、无人机，以及车内广播、导航系统等。
- 7.1.4 智能防控需要多个交通管控设备协同工作，包括下列两种情况：
- 同一高风险路段的多个交通管控设备的协同工作；
 - 不同高风险路段的多个交通管控设备联网协同工作。

7.2 陡坡急弯路段

7.2.1 防控决策

防控决策应符合下列要求：

- 应采用实时风险诊断的结果对车辆进行不同层级的预警信息；
- 采用可变情报板对车辆运行状态进行定向预警时，宜在情报板显示目标车辆的车牌号；
- 可向导航软件推送前方陡坡急弯路况。

7.2.2 管控设备

管控设备应符合下列要求：

- 路侧预警设备位置应在车速感知设备后，缓圆点前。该位置应能满足驾驶员在接收到预警信息后经过 3s 反应时间，采取措施进行制动减速措施，并且把车速降低到较低风险的水平的操作；
- 采用可变情报板进行预警时，文字大小应能满足《道路交通标志与标线》（GB 5768）相关规定，其它技术指标应满足《高速公路 LED 可变信息标志》（GB/T 23828）的要求。

c) 图 3 给出陡坡急弯段路侧预警设备布设示意图。

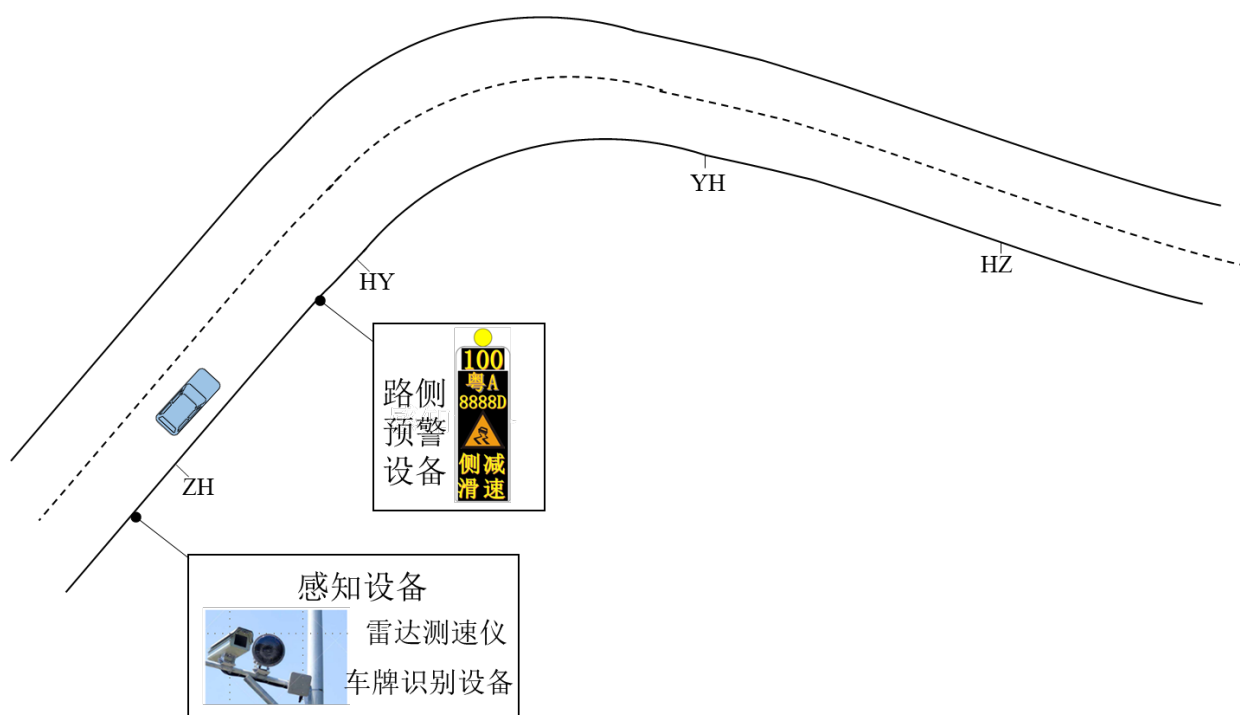


图 3 陡坡急弯段路侧预警设备布设示意图

7.3 隧道出入口间距受限路段

7.3.1 隧道出入口间距受限路段的风险管控应采用对上游交通流预警的形式：

- 基于隧道出口间距受限路段的风险监测与诊断结果，对隧道内的交通流预警；
- 基于隧道内的风险监测与诊断结果，对驶入隧道的交通流预警。

7.3.2 应在隧道内布设定向主动预警系统的防控设备包括可变信息标志、定向发声设施、主动发光设施等，实现以下功能：

- 当隧道内出现违规变道、超车、超速行为时，对车辆定向预警；
- 当隧道内出现拥堵、车辆滞留等事故时，对事故点上游车辆定向预警；
- 当隧道外出现恶劣天气，对隧道内车辆定向预警；
- 当隧道内出现水浸风险，对隧道上游车辆定向预警。

7.3.3 当通过交通分流、车道控制、速度控制等手段进行风险管控时，应通过可变信息标志、可变限速标志等告知驾驶员。

7.3.4 可采用车内广播、导航系统、手机短信、可变情报板、语音播报设备等形式发布预警信息。

7.4 互通立交出入口间距受限路段

7.4.1 互通立交出入口间距受限段的风险管控宜采用对上游交通流预警的形式：

- 基于互通立交主线及入口匝道的风险监测与诊断结果，对驶入互通立交出入口间距受限段的交通流预警；
- 基于互通立交出口匝道及相连道路的风险监测与诊断结果，对驶出互通立交出入口间距受限段的交通流预警；
- 通过智能道钉发光、闪烁等方式，强化互通立交分流区、合流区位置。

7.4.2 通过交通分流、车道控制、速度控制等手段进行风险管控时，应通过可变信息标志、可变限速标志等告知驾驶员。

7.4.3 可采用车内广播、导航系统、手机短信、可变情报板、语音播报设备等形式发布预警信息。

7.5 气象灾害易发路段

7.5.1 路面湿滑路段

7.5.1.1 防控决策应符合下列要求：

- a) 根据实时风险诊断的结果对车辆进行不同层级的预警信息；
- b) 应该在路侧可变情报板中使用湿滑的图形，颜色按表 9 来确定；
- c) 宜向导航软件推送前方湿滑路况；

7.5.1.2 管控设备应符合下列要求：

- a) 路侧预警设备的位置应设置在湿滑检测设备前一定距离。该位置应能够满足驾驶员接收到预警信息后经过 3s 反应时间，驾驶员能够采取措施进行制动减速措施，降低车速；
- b) 采用可变情报板进行预警时，文字大小应能满足《道路交通标志与标线》（GB 5768）相关规定，其它技术指标应满足《高速公路 LED 可变信息标志》（GB/T 23828）的要求；
- c) 具备语音播报的智能车载终端应根据当前车辆车速及前方水膜厚度检测情况进行不同风险等级的预警。

7.5.2 团雾多发路段

7.5.2.1 防控策略应符合下列要求：

- a) 应采用实时风险诊断的结果进行车速、车距诱导；
- b) 采用路侧设施预警时应采用 LED 发光诱导设施、LED 发光道钉等具有色彩可变的管控设备，不同风险等级下风险车辆与前车间的 LED 色彩按表 9 显示。

表9 不同风险等级下 LED 预警设备显示颜色

风险等级	风险车辆与前车间的LED显示色彩
重大	红色
较大	橙色
一般	黄色
较小	不显示

7.5.2.2 管控设备应符合下列要求：

- a) 发光诱导设施或发光道钉具备红、橙、黄三种色彩可调功能，每个诱导设施或道钉段可单独控制；
- b) 发光诱导设施或发光道钉的发光强度不小于 7000mcd。

7.6 养护作业路段

7.6.1 上游交通流预警应符合下列要求：

- a) 应基于养护作业路段的风险监测与诊断结果，对驶入养护作业路段的交通流进行预警；
- b) 当通过交通分流、车道控制、速度控制等手段进行风险管控时，应通过可变信息标志、可变限速标志等及时告知驾驶员。

7.6.2 智能防控应具备以下功能：

- a) 利用交通诱导系统对采集到的路况数据进行分析，制定相应的诱导策略和方案；
- b) 可采用车内预警（如车内广播、导航系统、手机短信等）、车外预警（如可变情报板、语音播报设备、无人机等）和收费站入口处工作人员口头或宣传单提醒方式相结合的形式发布预警信息。

7.6.3 临时交安设施等风险防控应符合下列要求：

- a) 临时交安设施和速度控制应符合《公路养护安全作业规程》（JTG H30）和《道路交通标志和标线 第 4 部分：作业区》（GB 5768.4）要求；
- b) 应结合交通组织方案对临时交安设施的设置进行优化。

7.6.4 应根据不同的风险等级对养护作业区路段采取针对性的防控策略，具体包括：

- a) 风险等级为较小的路段可按《公路养护安全作业规程》（JTG H30）和《道路交通标志和标线 第 4 部分：作业区》（GB 5768.4）的规定进行设施的布设；
 - b) 风险等级为一般的路段应在前述规定的基础上增加远程预警设备，包括可变信息板、施工假人等；
 - c) 风险等级为较大的路段应在前述规定的基础上增设语音告警设施，条件允许时，可在缓冲区外侧车道布设 1-2 辆作业车或执勤车辆与其他防护车辆形成防护矩阵。
 - d) 风险等级为重大的路段宜在前述规定的基础上增设可高精度定位并自动上传位置信息的智慧交通锥，布设的位置应在施工作业区上游过渡区起点、下游过渡区终点。
- 7.6.5 针对于不同环境因素，按附录 A 的 A.4 的方法计算指标 D 值，其相应的防控策略宜按表 10 采用。

表10 环境因素的风险等级划分与策略

道路环境	指标D	策略
白天	(75, 100]	道路环境为白天，按规范布设作业区。
夜间	(60, 75]	道路环境为夜间，在满足规范要求的基础上，实施夜间作业预警策略，除了布置施工警告灯等光电设施，还可布置语音提示设施等声音警告设施。
灾变天气	(30,60]	道路环境为雨天、雾天等灾变天气，在满足规范要求的基础上，参照夜间作业预警策略布设作业区，应布置施工警告灯、警示频闪灯、主动发光标志牌等光电设施。此外，还需要实施雨雾天气条件下的速度控制策略。
	(0,30]	道路环境为雨天、雾天等灾变天气，在满足规范要求的基础上，参照夜间作业预警策略布设作业区，除了布置施工警告灯等光电设施，还应布置语音提示设施等声音警告设施。此外，还需要实施雨雾天气条件下的速度控制策略。

7.7 其他风险路段

- 7.7.1 交通拥堵路段应根据风险等级设置路径诱导 LED 标志。
- 7.7.2 交通拥堵路段出入口的交通管控防控措施的设置宜符合表 11 的规定。

表11 交通拥堵路段风险防控策略

风险等级	重大	较大	一般	较小
出入口控制	控制驶入交通量	-	-	-
路径诱导 LED 标志	(通过时间和拥堵长度) ×1.2	(通过时间和拥堵长度) ×1.1	(通过时间和拥堵长度) ×1.0	-
	拥堵长度红色	橙色	黄色	绿色

- 7.7.3 同向分离路段应根据风险等级设置照明、道钉和动态限速标志。防控措施的设置宜符合表 12 的规定。

表12 同向分离路段风险防控设施设置

风险等级	重大	较大	一般	较小
照明	★	★	△	-
道钉	★	★	★	△
动态限速标志	★	△	-	-
注：★表示应设置；△表示可设置；-表示不设置。设置动态限速标志时，同向分离路段的限速应比相邻路段的限速值低20km/h。				

7.8 线域智能防控平台

7.8.1 线域防控平台由路侧终端、边缘控制系统和线域协同管控中心三部分构成。线域协同管控中心通过边缘控制系统实现对与之相连的管控设备的间接管控，而对独立于边缘控制系统外的管控设备线域协同管控中心则可直接进行管控，线域防控系统的组成如图 4 所示。

7.8.2 线域智能防控平台的协同作业应符合下列要求：

- a) 风险诊断分析，当线域风险状态为重大或者较大时，启用线域智能防控的协同作业模式；
- b) 当边缘控制系统管控的路段出现实时风险时，该风险需得到优先处理；
- c) 当边缘控制系统管控的路段无实时风险时，边缘控制系统接受线域协同管控中心指令并对其管控的预警控制设备进行管控；
- d) 线域协同管控中心根据需要可以在各路侧终端上通过文字、声音、闪烁等形式发布前方路段高风险事件及交通运行状态管控措施。

示例：

边缘控制系统首先要确保对实时交通运行风险管控的优先权，当线域协同管控中心接报某处有车辆抛锚事件，并通过某路侧控制边（如具备湿滑风险定向预警功能）对路侧管控设备（如，可变情报板）进行控制，显示前面 1km 有抛锚车辆等预警信息。该预警信息将在抛锚事件处理完前将一直处于这样一种预警状态。但是如果该处控制边出现了湿滑风险的事件，则该湿滑风险预警的等级具有最高的优先级，将替代抛锚事件的预警，而显示实时性要求更高的湿滑预警，直到该预警状态取消，可变情报板则重新切换为车辆抛锚事件的预警。

7.8.3 在交通事件推测模式下，开展协同防控应符合下列要求：

- a) 当推测出可能出现的交通拥堵、多车事故等交通事件后，应立即启用事件确认、协同管控和应急救援同步展开；
- b) 协同管控包括运用路侧管控设备进行事件提醒、梯次限速、通过云服务对车载导航终端及车载广播进行相关管控；
- c) 事件确认包括人工现场确认、无人机远程遥控确认、监控摄像机遥控调整确认；
- d) 事件处理完毕或事件确认为误判，解除协同防控。

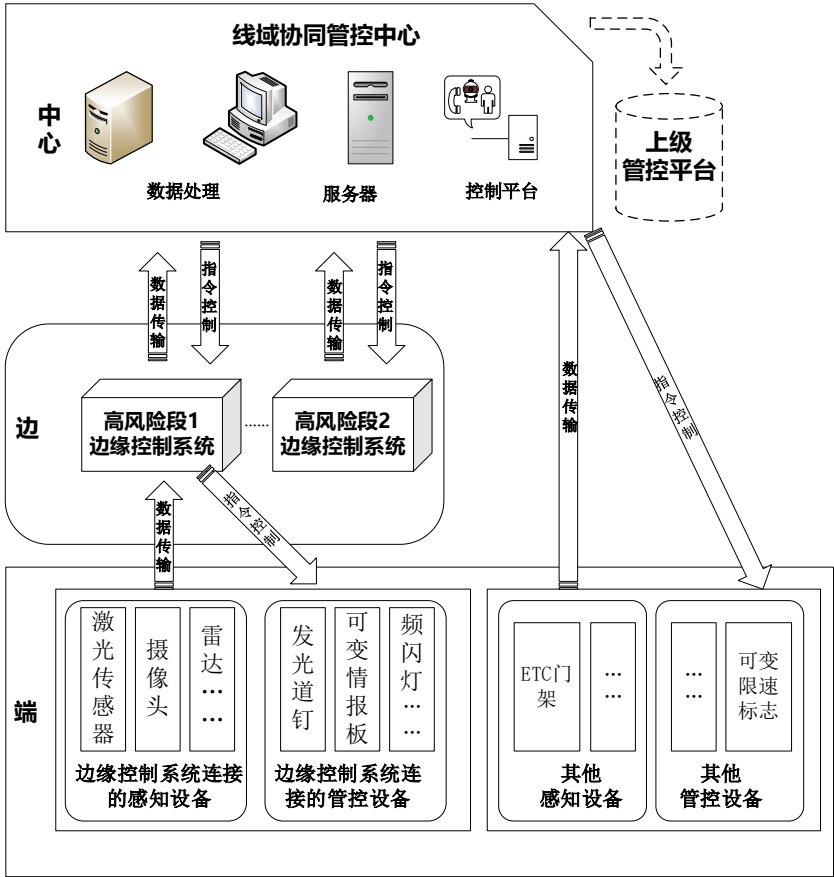


图1 线域智能防控系统构成图

7.9 防控后评估

7.9.1 防控措施实施后，应对实施效果的有效性进行后评估。

7.9.2 后评估应包括对交通流量、事故率、驾驶行为遵从度等关键指标的分析，验证防控措施是否达到预期目标。

7.9.3 基于后评估结果，应及时调整和优化防控策略，形成后评估报告。

附录 A
(规范性)
养护作业路段风险诊断方法

A.1 交通因素（指标 A）

A.1.1 类型划分

根据作业区占用车道情况，按表A.1要求可划分为类型I、类型II和类型III。

表A.1 作业区占用车道情况所属类型

类型	作业区占用车道情况
四车道至三车道（类型 I）	单向四车道占用内侧车道作业； 单向四车道占用外侧车道作业。
三、四车道至双车道（类型 II）	单向四车道同时占用内侧、中间车道作业； 单向四车道同时占用外侧、中间车道作业； 单向三车道占用内侧车道作业； 单向三车道占用外侧车道作业。
三、两车道至单车道（类型III）	单向三车道同时占用内侧、中间车道作业； 单向三车道同时占用外侧、中间车道作业； 单向双车道占用内侧车道作业； 单向双车道占用外侧车道作业。

A.1.2 类型I的交通因素得分

A.1.2.1 当作业区属于类型 I 时，将进入上游过渡区车辆的运行车速和大车率代入公式（A.1）计算断面总得分s。

$$s = \begin{cases} 391.394 - 34.855v_{85} + 180.228c_p + 0.990v_{85}^2 \\ -1399.752c_p^2 - 0.007v_{85}^3 + 4894.694c_p^3 \quad (0 \leq c_p < 0.4) \dots\dots\dots (A.1) \\ 12.201v_{85} + 64.719c_p - 217.338 \quad (0.4 \leq c_p \leq 0.5) \end{cases}$$

式中：

c_p ——进入上游过渡区的大车率；
 v_{85} ——进入上游过渡区时车辆的运行速度（km/h）。

A.1.2.2 根据断面总得分s，按照表 A.2 确定交通因素（指标 A）的得分。

表A.2 交通因素（指标 A）的打分表（类型I：四车道至三车道）

流量Q/ [pcu/(h·ln)]	断面总得分 s	交通因素 风险等级	得分
$Q \leq 1400$	$0 \leq s < 450$	一级	$-\frac{s}{30} + 100$
	$450 \leq s < 550$	二级	$-0.25*s+197.5$
	$550 \leq s < 800$	三级	$-\frac{6s}{25} + 192$
$1400 < Q \leq 1800$	$0 \leq s < 450$	二级	$-\frac{s}{18} + 85$
	$450 \leq s < 800$	三级	$-\frac{6s}{35} + 137.14$
$Q > 1800$	需要设置绕行方案，不划分交通因素风险等级		

A.1.3 类型II的交通因素得分

A.1.3.1 当作业区属于类型II时,将进入上游过渡区车辆的运行车速和大车率代入公式(A.2)计算断面总得分 s 。

$$s = \begin{cases} -1058.952 + 61.002v_{85} + 1085.133c_p - 0.985v_{85}^2 \\ -3210.981c_p^2 + 0.005v_{85}^3 + 5058.021c_p^3 \quad (0 \leq c_p < 0.4) \dots\dots\dots (A.2) \\ 4.497v_{85} - 93.982c_p + 168.247 \quad (0.4 \leq c_p \leq 0.5) \end{cases}$$

A.1.3.2 根据断面总得分 s ,按照表A.3确定交通因素(指标A)的得分。

表A.3 交通因素(指标A)的打分表(类型I:三车道至双车道)

流量 Q / [pcu/(h·ln)]	断面总得分 s	交通因素 风险等级	得分
$Q \leq 1400$	$0 \leq s < 300$	一级	$-0.05*s+100$
	$300 \leq s < 400$	二级	$-0.25*s+160$
	$400 \leq s < 550$	三级	$-0.4*s+220$
$1400 < Q \leq 1800$	$0 \leq s < 300$	二级	$-\frac{s}{12} + 30$
	$300 \leq s < 550$	三级	$-0.24*s+132$
$Q > 1800$	需要设置绕行方案,不划分交通因素风险等级		

A.1.4 类型III的交通因素得分

A.1.4.1 当作业区属于类型III时,将进入上游过渡区车辆的运行车速和大车率代入公式(A.3)计算断面总得分 s 。

$$s = \begin{cases} 1030.857 - 40.172v_{85} + 1155.982c_p + 0.554v_{85}^2 \\ -4888.006c_p^2 - 0.002v_{85}^3 + 6792.677c_p^3 \quad (0 \leq c_p < 0.4) \dots\dots\dots (A.3) \\ -3.060v_{85} - 815.666c_p + 84.411 \quad (0.4 \leq c_p \leq 0.5) \end{cases}$$

A.1.4.2 当根据断面总得分 s ,按照表A.4确定交通因素(指标A)的得分。

表A.4 交通因素(指标A)的打分表(类型II:双车道至单车道)

流量 Q / [pcu/(h·ln)]	断面总得分 s	交通因素 风险等级	得分
$Q \leq 1400$	$0 \leq s < 200$	一级	$-0.075*s+100$
	$200 \leq s < 250$	二级	$-0.5*s+185$
	$250 \leq s < 350$	三级	$-0.6*s+210$
$1400 < Q \leq 1800$	$0 \leq s < 200$	二级	$-0.125*s+85$
	$200 \leq s < 350$	三级	$-0.4*s+140$
$Q > 1800$	需要设置绕行方案,不划分交通因素风险等级		

A.2 道路因素(指标B)

A.2.1 基本路段的道路因素得分

基本路段按照表A.5确定道路因素(指标B)的得分,风险越低则打分越高。

表A.5 基本路段的道路因素（指标B）得分

工作区长度（ G ）	路肩	外侧车道	内侧车道	中间车道	得分
$0m < G \leq 500m$	○	×	×	×	$30 + \frac{G}{10}$
	○	○	×	×	$30 + \frac{2G}{25}$
	×	×	○	○	$30 + \frac{G}{25}$
	×	×	○	×	$30 + \frac{2G}{25}$
	×	○	×	○	$30 + \frac{3G}{50}$
$G > 500m$	○	×	×	×	85
	○	○	×	×	75
	×	×	○	×	65
	×	○	×	○	55
	×	×	○	○	45
注：○表示占用，×表示不占用。					

A.2.2 特殊路段的道路因素得分

A.2.2.1 特殊路段按照表A.6确定道路因素（指标B）的得分，风险越低则打分越高。

表A.6 特殊路段的道路因素（指标B）得分

特殊路段	位置	设计速度（ V_d ）	坡度（ i ）	得分
桥涵	起终点	—	—	70
	中间段	—	—	80
隧道	出入口内、外附近	—	—	60
	中间段	—	—	70
纵坡路段	上坡 （作业区距离上坡起点长度 L_1 ）	120km/h	$3\% \leq i < 4\%$	$110 - \frac{1}{30}L_1$
			$i \geq 4\%$	$115 - \frac{1}{20}L_1$
		100km/h	$3\% \leq i < 4\%$	$106.7 - \frac{2}{75}L_1$
			$4\% \leq i < 5\%$	$109.1 - \frac{2}{55}L_1$
			$i \geq 5\%$	$114.3 - \frac{2}{35}L_1$

表 A.6 特殊路段的道路因素（指标 B）得分（续）

特殊路段	位置	设计速度 (V_d)	坡度 (i)	得分
纵坡路段	上坡 (作业区距离上坡起点长度 L_1)	80km/h	$3\% \leq i < 4\%$	$104.4 - \frac{1}{45}L_1$
			$4\% \leq i < 5\%$	$105.7 - \frac{1}{35}L_1$
			$5\% \leq i < 6\%$	$108 - \frac{1}{25}L_1$
纵坡路段	下坡 (作业区距离下坡起点长度 L_2)	120km/h	$3\% \leq i < 4\%$	$120 - \frac{1}{15}L_2$
			$i \geq 4\%$	$130 - \frac{1}{10}L_2$
		100km/h	$3\% \leq i < 4\%$	$113.3 - \frac{4}{75}L_2$
			$4\% \leq i < 5\%$	$118.2 - \frac{4}{55}L_2$
			$i \geq 5\%$	$128.6 - \frac{4}{35}L_2$
			$i \geq 6\%$	$113.3 - \frac{1}{15}L_2$
		80km/h	$3\% \leq i < 4\%$	$108.9 - \frac{2}{45}L_2$
			$4\% \leq i < 5\%$	$114.3 - \frac{2}{35}L_2$
			$5\% \leq i < 6\%$	$116 - \frac{2}{25}L_2$
			$i \geq 6\%$	$126.6 - \frac{2}{15}L_2$
收费广场	封闭入口内侧收费口	—	—	90
	封闭入口中间收费口	—	—	80
	封闭入口外侧收费口	—	—	90
小半径曲线: 曲线半径 (m)	(1500,2000]	—	—	90
	(1000,1500]	—	—	80
	(800,1000]	—	—	70
	(600,800]	—	—	60
	(0,600]	—	—	50
立交匝道 (下坡路段)	匝道入口	—	—	60
	匝道中间段	—	—	80
	匝道出口附近	—	—	90

A.2.2.2 特殊路段包含桥涵、隧道、长大纵坡、收费广场、小半径曲线和立交出、入口匝道附近及匝道上等危险路段。对于特殊路段中未列出的情况则为该路段的行车条件较好情况，不考虑其路段的特殊性。

A.3 作业区类型（指标C）

作业区类型（指标C）应按表A.7确定得分，风险越低则打分越高。

表A.7 作业区类型（指标C）得分

作业区类型	封闭路段作业	长期养护作业区	短期养护作业区	机械临时作业区
取值范围	100	90	80	70
作业区类型	机械移动作业区	人工移动作业区	人工临时作业区 (作业时长 ≤ 2h)	人工临时作业区 (2h < 作业时长 ≤ 4h)
取值范围	60	50	60	70
除封闭路段作业外，其他作业区类型因素均为保通条件下进行。				

A.4 环境因素（指标D）

环境因素（指标D）应按照表A.8确定得分，风险越低打分越高。

表A.8 环境因素（指标D）得分

环境因素	条件	得分
白天	8:00-17:00	100
	17:00-20:00（有路灯）	80
	17:00-20:00（无路灯）	75
夜间	20:00-22:00（有路灯）	75
	20:00-22:00（无路灯）	70
	22:00-次日8:00（有路灯）	65
	22:00-次日8:00（无路灯）	60
特殊天气	阴天	90
	小雨、中雨、大雨/轻雾、大雾	60
	暴雨、大暴雨、特大暴雨/浓雾、强雾	50
	热带低压、热带风暴	40
	强热带风暴、台风、强台风	20
	超强台风	0

A.5 综合评价指标

A.5.1 初始权重对应

根据A.1~A.4的要求确定出四个指标后，应按照表A.9的要求找到对应的初始权重。

表A.9 初始权重表

诊断因素	指标	初始权重 $\omega_i^{(0)}$
交通因素	A	0.3
道路因素	B	0.3
作业区类型	C	0.3
环境因素	D	0.1

A.5.2 权重修正

当分项指标出现极端情况时,无法有效反映到综合指标。应按公式(A.4)、(A.5)进行权重修正。

$$\omega_i = \omega_i^{(0)} S(i) / (\omega_A^{(0)} S(A) + \omega_B^{(0)} S(B) + \omega_C^{(0)} S(C) + \omega_D^{(0)} S(D)) \dots\dots\dots (A.4)$$

$$S(i) = \begin{cases} 1.3 \ln(0.6/x_i) + 0.9 & 0 < x_i \leq 0.6 \\ -1.33x_i + 1.7 & 0.6 < x_i \leq 0.75 \\ 0.2 + 6.67(0.85 - x_i)^2 & 0.75 < x_i \leq 0.85 \dots\dots\dots (A.5) \\ 0.2 & 0.85 < x_i \leq 0.95 \\ 0.05 \ln[0.05/(1 - x_i)] + 0.2 & 0.95 < x_i < 1 \end{cases}$$

式中:

ω_i ——分项指标的变权重;
 $\omega_i^{(0)}$ ——分项指标的初始权重;
 $S(i)$ ——惩罚—激励状态变权向量函数;
 x_i ——分项指标的分值除以100所得;

条文说明

考虑分项指标出现极端情况无法有效反映到综合指标,通过引入惩罚机制,利用惩罚性变权函数,对取值较小的二级指标处以较大的惩罚权重,且取值越低惩罚越严重,从而提升综合评价指标中关于较差分项指标的灵敏度。将变权函数受激励区间设置为惩罚区 $[0,0.85)$,合格区间为 $(0.85,1]$,其中特强惩罚阶段为 $(0,0.6]$,强惩罚阶段为 $(0.6,0.75]$,初惩罚阶段为 $(0.75,0.85]$ 。

A.5.3 综合评价指标得分

根据公式(A.4)、(A.5)计算出分项指标的变权重后 ω_i ,将分项指标的变权重和分值代入公式(A.6)中,可得到综合评价指标的分值 R 。

$$R = \omega_A A + \omega_B B + \omega_C C + \omega_D D \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

R ——综合评价指标的分值;
 ω_A 、 ω_B 、 ω_C 、 ω_D ——指标A、B、C和D的变权重;
 A 、 B 、 C 、 D ——指标A、B、C和D的分值。

A.5.4 风险等级划分与策略

养护作业路段根据不同的风险等级对应的风险预警和安全防护控制策略对应见表10,针对于不同环境因素下采取的策略见表11。

附录 B (资料性) 算例

本算例的养护作业区现场条件如表B.1所示,根据现场条件计算该作业区的风险等级,路段设计速度为100km/h。

表B.1 养护作业区现场条件

交通因素 (指标 A)				道路因素 (指标 B)		作业区类型 (指标 C)	环境因素 (指标 D)
作业区占用 车道情况所属类型	流量 Q / [$pcu/(h \cdot ln)$]	大车率 C_p	v_{85} /(km/h)				
类型 II 单向三车道占用 内侧车道作业 (工作区长度 250m)	1300	0.4	60	占用 内侧车道	基本路段	机械临时 作业	20:00-22:00 (有路灯)

(1) 指标打分

在交通因素方面,该作业区为单向三车道占用内侧车道作业,根据表A.1,属于类型II。运行车速 v_{85} 为60km/h,大车率 C_p 为0.4,代入公式(A.2),得到断面总得分:

$$S = 4.497 \times 60 - 93.982 \times 0.4 + 168.247 = 400.474$$

由于流量 Q 为1300 $pcu/(h \cdot ln)$,根据表A.3,交通因素(指标A)的分值为60。

在道路因素方面,该作业区为占用内侧车道和中间车道且位于基本路段,且工作区长度为250m,根据表A.5,道路因素(指标B)的分值为 $30 + \frac{2 \times 250}{25} = 50$ 。

在作业区类型方面,该作业区为机械临时作业,根据表A.7,作业区类型(指标C)的分值为70。

在环境因素方面,该作业区在夜间施工,且为有路灯路段,根据表A.8,环境因素(指标D)的分值为75。

(2) 确定变权重

根据表A.9,获得指标A、指标B、指标C和指标D的初始权重分别为 $\omega_A^{(0)}=0.3$ 、 $\omega_B^{(0)}=0.3$ 、 $\omega_C^{(0)}=0.3$ 、 $\omega_D^{(0)}=0.1$ 。首先分别将指标A、B、C和D的分值除以100,得到 $x_A=60/100=0.6$, $x_B=50/100=0.5$, $x_C=70/100=0.7$, $x_D=75/100=0.75$ 。再将初始权重 $\omega_i^{(0)}$ 和 x_i 代入公式(A.4)、(A.5),得到:

$$S(A)=1.31 \ln(0.6 / x_A) + 0.9=1.31 \ln(0.6 / 0.6) + 0.9=0.9;$$

$$S(B)=1.31 \ln(0.6 / x_B) + 0.9=1.31 \ln(0.6 / 0.5) + 0.9=1.14;$$

$$S(C)=-1.33x_C + 1.7 = -1.33 \times 0.7 + 1.7 = 0.769;$$

$$S(D)=-1.33x_D + 1.7 = -1.33 \times 0.75 + 1.7 = 0.7025。$$

然后将 $S(A)$ 、 $S(B)$ 、 $S(C)$ 和 $S(D)$ 代入式(6-3)得到分项指标的变权重,其中:

$$\begin{aligned} \omega_A &= \omega_A^{(0)} S(A) / (\omega_A^{(0)} S(A) + \omega_B^{(0)} S(B) + \omega_C^{(0)} S(C) + \omega_D^{(0)} S(D)) \\ &= 0.3 \times 0.9 / (0.3 \times 0.9 + 0.3 \times 1.14 + 0.3 \times 0.769 + 0.1 \times 0.7025) = 0.296; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_B &= \omega_B^{(0)} S(B) / (\omega_A^{(0)} S(A) + \omega_B^{(0)} S(B) + \omega_C^{(0)} S(C) + \omega_D^{(0)} S(D)) \\ &= 0.3 \times 1.14 / (0.3 \times 0.9 + 0.3 \times 1.14 + 0.3 \times 0.769 + 0.1 \times 0.7025) = 0.375; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_C &= \omega_C^{(0)} S(C) / (\omega_A^{(0)} S(A) + \omega_B^{(0)} S(B) + \omega_C^{(0)} S(C) + \omega_D^{(0)} S(D)) \\ &= 0.3 \times 0.769 / (0.3 \times 0.9 + 0.3 \times 1.14 + 0.3 \times 0.769 + 0.1 \times 0.7025) = 0.253; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_D &= \omega_D^{(0)} S(D) / (\omega_A^{(0)} S(A) + \omega_B^{(0)} S(B) + \omega_C^{(0)} S(C) + \omega_D^{(0)} S(D)) \\ &= 0.1 \times 0.7025 / (0.3 \times 0.9 + 0.3 \times 1.14 + 0.3 \times 0.769 + 0.1 \times 0.7025) = 0.076。 \end{aligned}$$

(3) 计算综合评价指标

最后将分项指标A、B、C和D的变权重 ω_A 、 ω_B 、 ω_C 和 ω_D 和分值代入公式(A.6),得到综合评价指标的分值:

$$Risk = \omega_A A + \omega_B B + \omega_C C + \omega_D D = 0.296 \times 60 + 0.375 \times 50 + 0.253 \times 70 + 0.076 \times 75 = 59.92。$$

(4) 风险等级划分与对策制定

该作业区的综合评价指标的分值为59.92,根据表5确定风险等级为三级。此外,由于处于夜间作业,还需结合夜间作业区特点根据表10制定策略。
