

T/ITS

中国智能交通产业联盟标准

T/ITS 0047—2016

智能交通系统 弯道车速预警系统 性能要求和试验程序

Intelligent transport systems—Curve speed warning—
systems (CSWS)—Performance requirements and test procedures

2016-11-23 发布

2017-01-01 实施

中国智能交通产业联盟 发布

目 次

目次.....	I
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 符号.....	5
5 分类.....	7
6 要求.....	7
7 性能评价测试方法.....	16
附录 A（资料性附录）弯道的定义	22
附录 B（规范性附录）操作原理	23
附录 C（规范性附录）AOC 最小值的计算	28

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由中国智能交通产业联盟提出并归口。

本标准于2016年11月首次发布，本次为首次发布。

本标准起草单位：上海汽车集团股份有限公司前瞻技术研究部、北京聚利科技股份有限公司、丰田汽车研发中心、特斯拉汽车销售服务（北京）有限公司。

本标准主要起草人：李道宇、陆军琰、桂杰、李阳龙、王文佳、栾超、魏星。

引 言

（为使弯道车速预警系统能够按统一的标准进行说明和描述，特制定本标准。

为了保持标准的适用性与可操作性，各使用者在采标过程中，及时将对本标准规范的意见及建议函告上海汽车集团股份有限公司前瞻技术研究部，以便修订时研用。

地址：上海市嘉定区安研路 201 号，邮编：201804，邮箱：lidaoyu@saicmotor.com。）

智能交通系统 弯道车速预警系统（CSWS） 性能要求和试验程序

1 范围

本标准规定了弯道车速预警系统（CSWS）的基本预警策略，最低系统功能要求，基本驾驶员交互要素，对诊断和对故障反应的最低要求，以及性能测试方法。车辆过弯前过高的车速将导致危险事故，CSWS 系统会在过弯前发出预警，提醒驾驶员降低车速安全通过弯道，CSWS 系统不会介入车辆的车速控制，驾驶员始终承担车辆安全驾驶的责任。

本标准适用于四轮或多轮汽车。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

ISO/FDIS 11067 智能交通系统-弯道车速预警系统-性能要求和试验程序 (Intelligent transport systems-Curve speed warning systems (CSWS)-Performance requirements and test procedures)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

主车

配有本标准所定义的弯道车速预警系统的车辆

3.2

主车速度

主车辆速度的纵向分量。

3.3

系统状态

系统操作的某些阶段或者时期。

注：见图 1。

3.3.1

CSWS 关闭状态

CSWS 处于关闭状态。

注：此状态具有以下三个原因之一：驾驶员手动关闭了 CSWS、车辆熄火或 CSWS 发生故障。

3.3.2

CSWS 开启状态

CSWS 处于开启状态。

注：此状态包含系统可用或不可用两种情况。

3.3.3

CSWS 不可用状态

系统处于开启状态，且系统信息不充分。

注：由于全球导航卫星系统（GNSS）设备故障、缺少地图数据或其他的原因会导致 CSWS 系统无法判断预警是否满足标准。

3.3.4

CSWS 可用状态

系统处于开启状态并且有充分的信息判断是否满足预警标准。

3.3.5

CSWS 预警状态

系统处于可用状态且满足预警标准。

注：CSWS 开始预警或正在执行预警。此时 CSWS 会阶段性判断系统是否满足预警条件，以过渡到非预警状态。

3.3.6

CSWS 非预警状态

系统处于可用状态，无法满足全部预警标准。

注：CSWS 会周期性判断系统是否满足预警标准，以过渡到预警状态。

3.4 弯道

曲率半径小于或等于 R_c 。

注： R_c 是指 CSWS 潜在预警的兴趣曲率点的最大曲率半径。

3.5 曲率点

有关联位置和曲率值的弯道上的任意点。

3.6 兴趣曲率点

弯道上的点，主车到此点的距离小于所看到的前方距离 S_{LAD} 。

3.7 弯道的起点

弯道曲率半径变得小于 R_c 的点。

注：见 x.2.3。

3.8 弯道的终点

弯道曲率半径变得大于等于 R_c 的点。

注：见 x.2.3。

3.9 目标兴趣曲率点

公路上主车兴趣曲率点，此时 CSWS 将预警提示给驾驶员。

条目注 1：CSWS 在兴趣曲率点中选择目标兴趣曲率点，兴趣曲率点的变化取决于由主车当前位置到兴趣曲率点间的距离和主车当前车速。如果一部分弯道有连续的曲率半径，那么弯道的起点变成目标兴趣点。

3.10 到兴趣曲率点的距离 $S_{current}$

主车当前位置到兴趣曲率点的距离。

3.11 到达目标曲率点的时间 t_{TC}

主车当前位置到兴趣曲率点的行驶时间，定义如下：

$$t_{TC} = S_{current} / V_{current}$$

公式中， $V_{current}$ 是主车的当前速度

3.12 预警临界速度 V_{WT}

用于确定是否需要 CSWS 预警的车辆速度临界值。

注：如果车辆速度测量值比该临界值大，CSWS 将对驾驶员进行预警。该临界值低于由设计处理过弯的侧向加速度定义的最大车速。

3.13 预警终止速度 V_{WT-end}

CSWS 由预警状态转变到非预警状态的车速，以便 CSWS 终止预警。

3.14 预警距离 S_{warn}

主车开始预警的位置到目标兴趣曲率点之间的距离

3.15 驾驶员反应时间 t_{resp}

驾驶员反应时间是从速度开始变化到驾驶员开始踩下制动的时间。

3.16 最低要求减速度 a_{d-req}

如果减速度不变，将能够使得主车的速度在到达目标兴趣曲率点时降到预警临界车速。

$$a_{d-req} = \frac{V_{current}^2 - V_{WT}^2}{2 \times (S_{current} - t_{resp} \times V_{current})}$$

3.17 弯道速度预警时间 t_{csw}

弯道车速预警开始的时间，大于或者等于允许的最小弯道速度预警时间

$$t_{csw} \geq t_{csw_min}$$

注 1: t_{csw} , S_{warn} , $V_{current}$ 有下列关系

$$t_{csw} = S_{warn} / V_{current}$$

注 2: t_{csw} 数值大小由生产制造商决定。

3.18 允许的最小弯道速度预警时间 $t_{csw-min}$

弯道速度预警时间的下限临界值

注：允许的最小弯道速度预警时间的大小是由主车的超速量和驾驶员的反应时间决定的。

3.19 最小操作速度 V_{min}

CSWS 启动的最小的主车速度

3.20 最大操作速度 V_{\max}

CSWS 启动的最大的主车速度

3.21 前视距离 S_{LAD}

CSWS 的弯道探测范围

注：曲率点的曲率半径小于或等于 R_C ，主车到弯道距离小于 S_{LAD} ，那么曲率点将被视为兴趣曲率点。

3.22 单弯道

曲率半径恒定的简单弯道，与其他弯道分离。

注：其中回旋弯道可以包含在内。

3.23 多弯道

由两个或者两个以上紧密相邻的弯道组合而成的弯道，有恒定的曲率半径。

注 1：其中回旋弯道可以包含在内。

注 2：详情请参照表 A.1

3.24 可变半径弯道

在同一方向的弯道上有两个或者两个以上的曲率半径。

注：详情请参照表 A.1

3.25 弯道角 AOC

弯道起点和弯道终点之间的中心角。

注：详情请参照 5.2.3 详细解释描述

3.26 道路形态点

数字地图上形成道路形态的点

注：在数字地图中，道路由反应道路形态点和道路位置点和连线组成。

4 符号

a_{d_req}	最低要求减速度(m/s^2)
a_{d_max}	最大制动减速度(m/s^2)
$a_{lateral_max}$	侧向加速度最大临界值，此时车辆在弯道上可能发生偏离(m/s^2)

d_{max}	在弯道的某部分, 两相邻道路形状点连线到该圆弧上的点的最大距离值(m)
G	重力加速度(m/s^2)
R	沿着弯道上某点的曲率半径(m)
R_c	临界曲率半径定义兴趣曲率点; 当特定位置的曲率半径小于 $R_c(m)$ 时, 即兴趣曲率点
R_{max}	曲率半径操作范围的最大值(m)
R_{min}	曲率半径操作范围的最小值(m)
$S_{current}$	到兴趣曲率点的距离(m)
S_{LAD}	前视距离(m)
S_{warn}	考虑 $V_{current}$ 和 t_{CSW} 的临界预警距离(m)
S_{warn_min}	考虑 $V_{current}$ 和 t_{CSW} 的最小临界预警距离(m)
V_{add}	考虑测试限度的附加速度(m/s)
$V_{current}$	主车当前速度(m/s)
V_{min}	CSWS 最小运行车速(m/s)
V_{max}	CSWS 最大运行车速(m/s)
V_{test}	测试车辆的速度(m/s)
V_{WT}	临界预警速度(m/s)
V_{WT_end}	预警结束速度(m/s)
V_{WTmax}	临界预警速度的最大值(m/s)
t_{CSW}	弯道速度预警时间(s)
t_{CSW_min}	允许的最小弯道速度预警时间(s)
t_{d_min}	最小反应延迟时间(s)

t_{rc}	到达兴趣曲率点的时间(s)
t_{resp}	驾驶员反应时间(s)
θ	弯道角度（AOC）(deg)
θ_{min}	最小 AOC (deg)

5 分类

遵循本标准的 CSWS 只有一种类型。

6 要求

6.1 基本操作原理

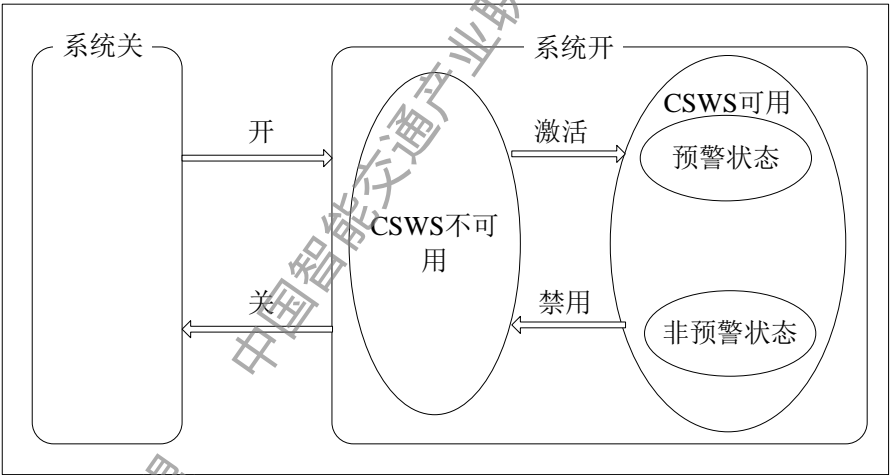


图1 CSWS 状态和转换

转换模式如下所述：

—CSWS 从系统关闭状态到系统开启状态的转换条件如下：

- a) 装有 CSWS 开/关控制的车辆，车辆的点火装置和开/关控制均保持开启状态；
- b) 对于没有 CSWS 开/关控制的车辆，车辆点火 CSWS 开启；
- c) CSWS 由关闭状态转换为开启状态可以由驾驶员操作或者自动切换。

—CSWS 从系统开启状态到系统关闭状态的转换条件如下：

- a) 装有 CSWS 开/关控制的车辆，车辆的点火开关或 CSWS 开/关控制有一个关闭；
- b) 对于不具备 CSWS 开/关控制的车辆，车辆点火装置关闭；

c) 如果系统处于开启状态, 则会发生系统故障。

CSWS 应至少可以进行以下操作和状态转换。以下阐述包含了 CSWS 基本运行情况。预警标准在 5.2.1 中进行描述。

—CSWS 处于可用状态, 系统先判断是否满足预警条件, 再决定是否需要预警。如果系统判断需要预警, 那么 CSWS 立即启动预警。

—CSWS 处于不可用的状态, 主车位置受到 CSWS 监测但是并没有进行确认, 因此没有对预警做出判断。

—在 CSWS 处于非预警状态, 系统会评估激活条件。CSWS 系统不会做出任何预警行为。

—如果满足激活条件, 系统会自动从 CSWS 非预警状态转换到预警状态。

—如果没有满足激活条件, 系统将从 CSWS 预警状态转换到非预警状态。

—系统有一个可由驾驶员随时操纵的系统开关控制器。

6.2 功能

CSWS 的功能包括, 确定道路曲率半径, 获取兴趣曲率点到主车的相对位置, 获取车速, 判断兴趣曲率点的临界速度, 向驾驶员提供预警信息。

CSWS 的功能要求如下所述:

6.2.1 基本系统操作

CSWS 基本系统操作如下所述:

—当 CSWS 处于可用状态, 系统获取预警临界速度 V_{wt} 、主车当前车速 $V_{current}$ 、与兴趣曲率点的距离 $S_{current}$ 、开始预警距离 S_{warn} 。如果 $V_{current}$ 大于 V_{wt} 且 $S_{current}$ 小于 S_{warn} , 系统判定兴趣曲率点为目标兴趣曲率点, CSWS 从非预警状态切换到预警状态。即

$V_{current} > V_{wt}$ 且 $S_{current} < S_{warn}$: CSWS 从非预警状态转换到预警状态

—当 CSWS 处于预警状态, 系统将警示驾驶员减速。当 $V_{current}$ 小于 V_{wt-end} 或 $S_{current}$ 大于 S_{warn} 时, 系统自动从预警状态转换到非预警状态。即

$V_{current} < V_{wt-end}$ 且 $S_{current} > S_{warn}$: CSWS 从预警状态转换到非预警状态

避免 CSWS 可能一直处于频繁运作状态中, 车辆生产厂商根据车辆的根本信息确定满足 CSWS 系统的 V_{wt-end} 值。

其中 V_{wt-end} 可以和 V_{wt} 一样大

$$V_{wt} \geq V_{wt-end}$$

为了更好的理解 S_{warn} 和 $S_{warn-min}$ 现定义如下：

$$S_{warn} = V_{current} \times t_{csw}$$

$$S_{warn-min} = V_{current} \times t_{csw-min}$$

—当驾驶员正在刹车时 CSWS 可能会取消预警。

6.2.2 目标兴趣曲率点确定方法

满足弯道、兴趣曲率点、目标兴趣曲率点的定义如下所述。详细的描述及数据请参照附录图 A.1 所示。

—非曲率点：弯道曲率半径大于 R_c 的道路坐标位置，此位置没有成为兴趣曲率点的潜在可能，将被视为非曲率点，如图 A.1 所示。

$R > R_c$ ：非曲率点

—兴趣曲率点：弯道曲率半径大于或者等于 R_c 且主车当前位置到弯道起点之间的距离小于前视距离 S_{LAD} 的道路位置，如图 A.1 和 A.3 所示。

$R \leq R_c$ 且 $S_{current} < S_{LAD}$ ：兴趣曲率点

—目标兴趣曲率点：主车通过道路中的特殊兴趣曲率点，CSWS 对驾驶员发出预警。CSWS 在兴趣曲率点中选择目标兴趣曲率点，目标兴趣曲率点将随主车与兴趣曲率点的距离和车速的变化而变化。如果弯道路具有恒定的曲率半径，那么弯道起点就是目标兴趣曲率点。

$V_{current} > V_{WT}$ 并且 $S_{current} < S_{warn}$ ：目标兴趣曲率点

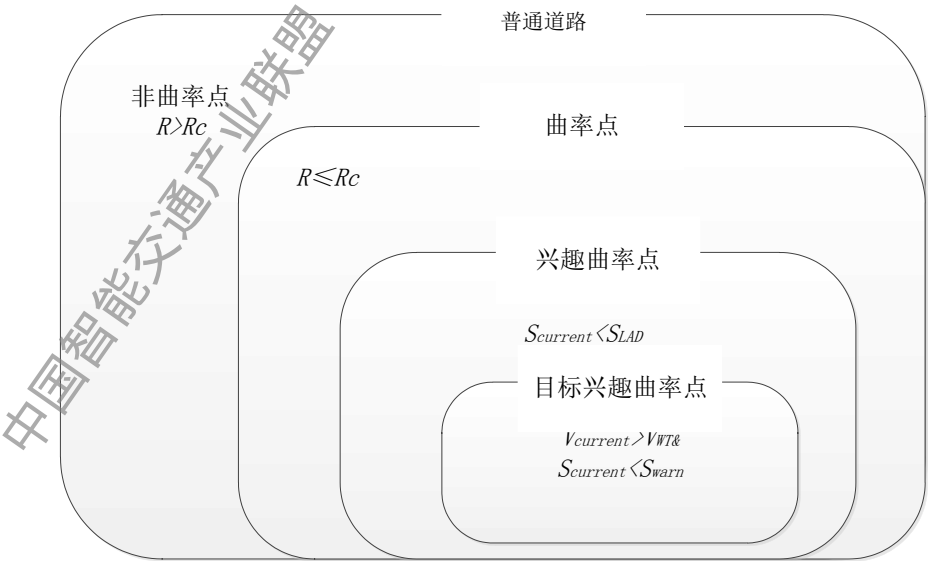


图2 兴趣曲率点和目标兴趣曲率点的定义

6.2.3 弯道的基本形状

为了从 CSWS 角度来定义弯道，本节详述了弯道的基本形状。

图 3 所示为一条曲率恒定的弯道，表示单弯道。该弯道从螺旋曲线开始且它的曲率恒定。

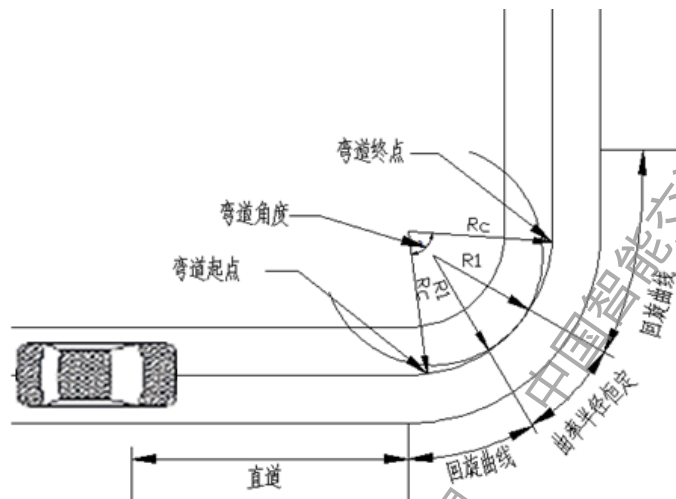


图3 半径恒定的单弯道的基本形状

当弯道的曲率半径小于或等于临界曲率半径 R_c 时，该点被定义为弯道起点。弯道可以有多个兴趣曲率点，如图 4 和图 5 所示。

当曲率半径大于临界曲率半径 R_c 时，弯道结束。

对于半径恒定的弯道，弯道的起点可能是一个潜在的目标曲率点。对于具有多个曲率半径的弯道，目标曲率点取决于每个兴趣曲率点的预警距离和预警临界车速。有多个曲率半径的弯道上目标曲率点的确定如 A.1 所示。

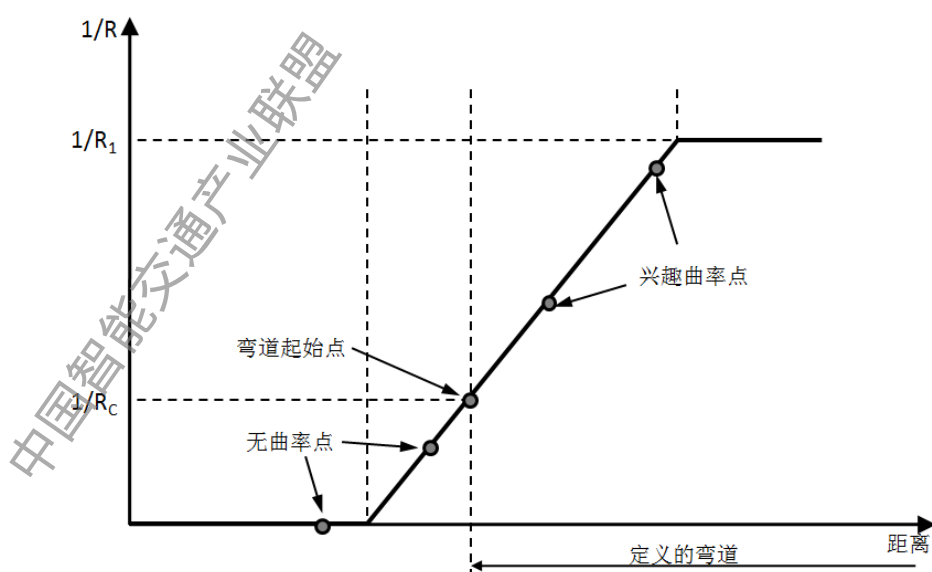


图4 以 $1/R$ 表示的弯道基本形状

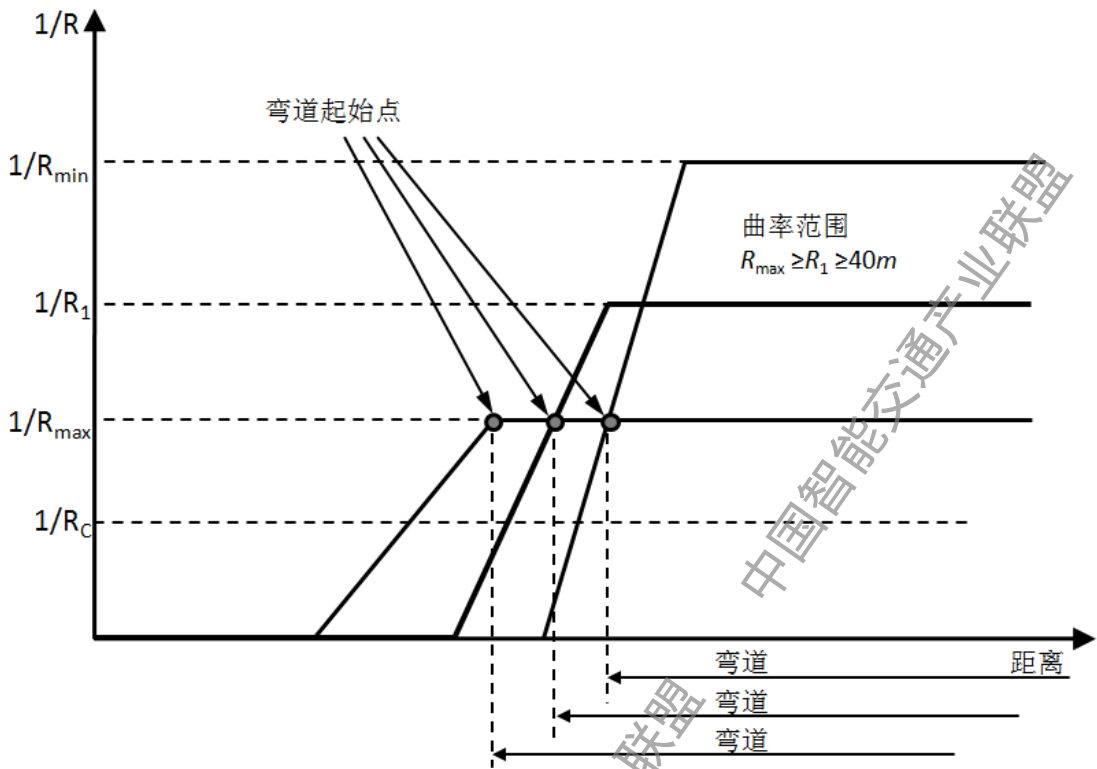


图5 不同弯道的弯道起始点

6.2.4 可用状态下，对曲率半径的要求

在可用状态下，对曲率半径有如下要求。

曲率半径的计算方法取决于车辆生产厂商。

即将通过弯道时，CSWS 的曲率半径可操作的范围为：从 R_{min} 到 R_{max} 。

当 $R_{max} \geq R \geq R_{min}$ 时，CSWS 处于可用状态。

式中 R_{max} 由车辆生产厂商决定，且 $R_{max} \geq 200m$ ，而 $R_{min} \leq 40m$ 。

其中 CSWS 将 R_{max} 记为 $RC(R_{max}=RC)$ 。详述请参考 B.3。

6.2.5 预警速度阈值的确定

临界预警速度由以下方式决定。

本标准的临界预警速度是基于设计为水平对齐方式的路面考虑的。CSWS 中的 V_{WT} 具体数值由车辆生产厂商确定。车辆生产厂商从车辆安全性以及系统的市场性两方面来选择合适的 V_{WT} 。

V_{WT} 的值要小于临界预警速度的上限值，即 $V_{WT} < V_{WT-max}$ 。

临界预警速度的上限值 V_{WT-max} ，即主车的侧向加速度为 $a_{lateral-max}$ 时的速度。

注意：本标准中临界预警速度的上限值计算中用到的侧向加速度，是基于干路面条件下的值。

在考虑侧向加速度极限值后，得到以下公式，可用于确定 V_{WT-max} 。

$$V_{WT-max} = \sqrt{a_{lateral-max} \times R} (m/s)$$

式中：

$$a_{lateral-max} \text{ 为 } 5.9m/s^2 \text{ (0.6g)}$$

临界预警速度会根据超高、道路表面条件、车辆载荷分配以及其他因素而有所改变。

车辆生产厂商会根据车辆型号设置预警速度阈值的上限值。

6.2.6 弯道速度预警时间要求

弯道速度预警时间通过以下条件确定。

当 $V_{current}$ 超过 V_{WT-max} ， $S_{current}$ 小于 S_{warn} 时，CSWS 会产生预警。

弯道速度预警时间 t_{csw} 应当大于 $t_{csw-min}$ （见下式）。 $t_{csw-min}$ 的计算公式见附录 B。其中

$t_{csw-min}$ 只有在 $V_{current} \geq V_{WT-max}$ 时有效。

$$t_{csw-min} = t_{d-min} + \frac{(V_{current}^2 - V_{WT-max}^2)}{2 \times a_{d-max} \cdot V_{current}} \quad (V_{current} \geq V_{WT-max} \text{ 时有效}) \quad (2)$$

式中：

a_{d-max} 是最大制动减速度， $4.9m/s^2(0.5g)$ ；

t_{d-min} 是最小的驾驶员反应延迟， $0.8s$

$$t_{csw-min} \leq t_{csw}$$

根据系统的安全性和市场性来选择 t_{csw} 的数值。

预警距离 S_{warn} 根据下式中 t_{csw} 计算得出

$$S_{warn} = V_{current} \times t_{csw}$$

6.2.7 前视距离要求

前视距离有以下要求:

CSWS 的前视距离 S_{LAD} , 应当比 CSWS 的预警距离长。

由于地图失效导致 S_{LAD} 值不确定时, CSWS 应转为不可用状态。

6.2.8 多弯道预警

多弯道预警是 CSWS 的重要组成部分。具体表述如下:

-为了给最危险的曲率点提供预警, CSWS 对多弯道或者半径可变的弯道中的目标曲率点进行恰当的预警则十分重要。

-在某些情况下, 尽管最近的兴趣曲率点通常会被选择作为目标曲率点, 但是系统会选择一个比最近的兴趣曲率点更远一点的兴趣曲率点来发出预警信息。

-当需要对两个或两个以上的兴趣曲率点进行预警时, 在最小预警距离 $S_{warn-min}$ 之前, 至少有一个目标兴趣曲率点发出预警信号。

-其中, 如何有效地判断最近的弯道或下一个弯道的预警是测试过程中非常重要的一点。

各车辆生产厂商根据自身的条件选择符合他们要求的 t_{csw} 和预警算法。为了确认预警是在 $S_{warn-min1}$ 和 $S_{warn-min2}$ 之前发出, 有两种情况需要考虑, 如图 7 和图 8 所示。

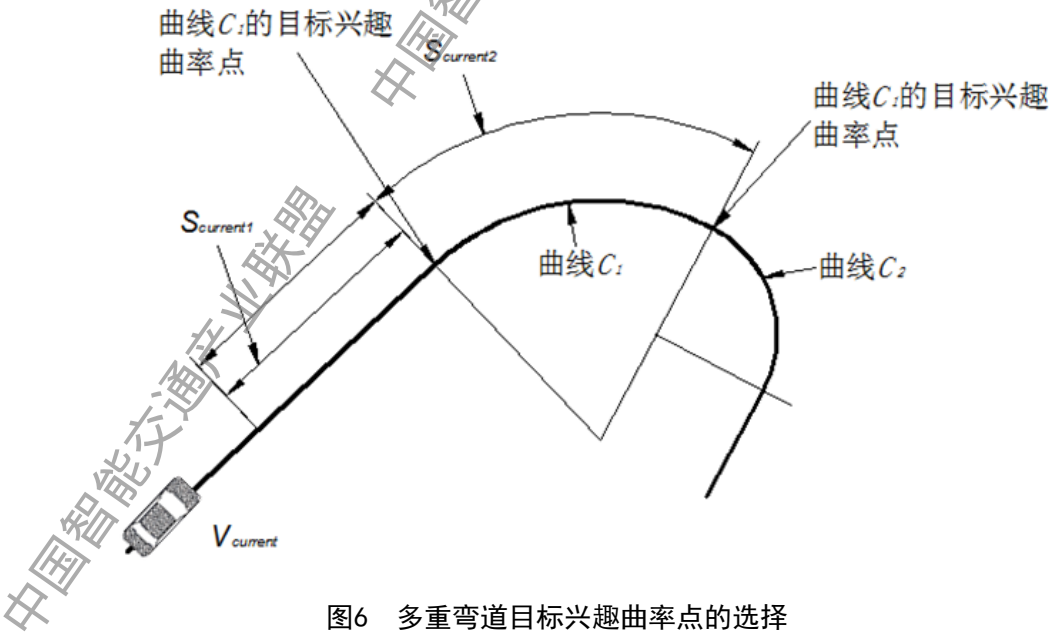


图6 多重弯道目标兴趣曲率点的选择

情况 1: 弯道 C_1 的目标兴趣曲率点是最接近的。

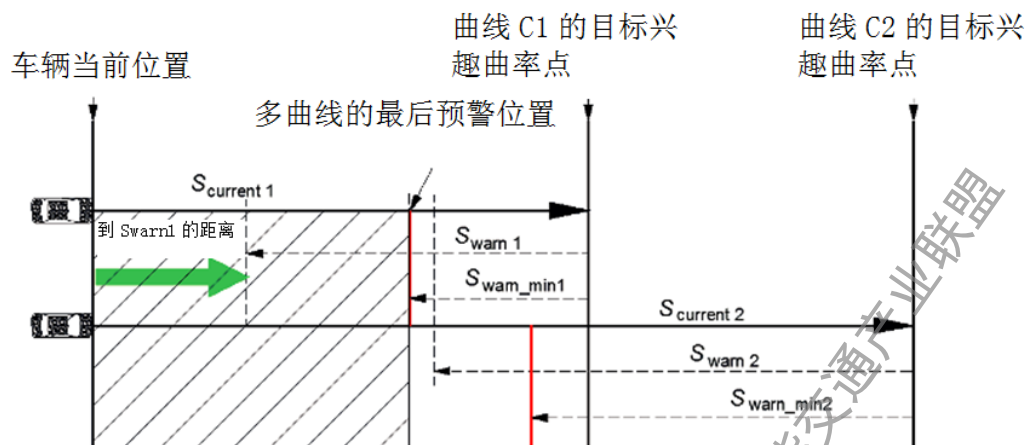


图7 情况 1 描述

情况 2: 弯道 C2 的目标兴趣曲率点是最接近的。

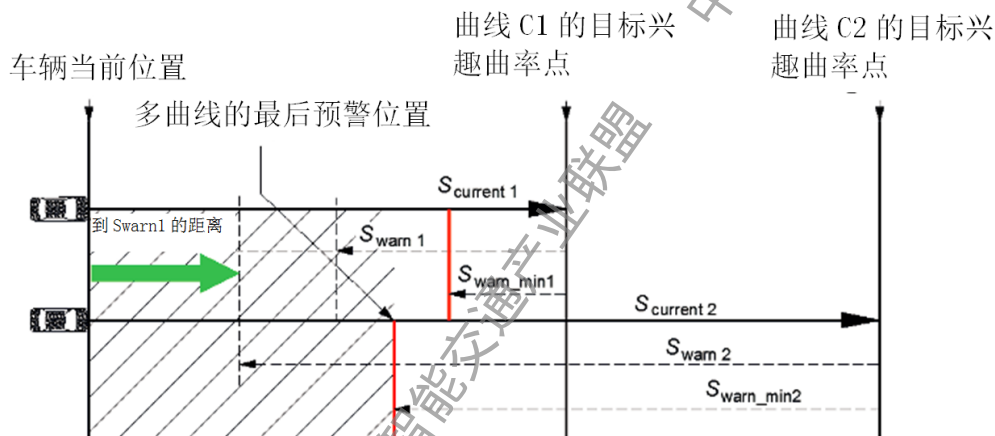


图8 情况 2 描述

在多弯道情况时，预警会在车辆到达与当前位置最接近的 S_{warn} 之前发出，而不是在距离最近的兴趣曲率点上发出。由于 S_{warn} 的逻辑判定是基于 CSWS 的车辆生产厂商， S_{warn} 并不完全与弯道曲率半径成比例关系。

6.2.9 CSWS 的备选功能

以下是车辆生产厂商可以考虑的一些备选功能：

- CSWS 可以选择在未修的路面上操作。

- CSWS 的操作可以是车辆生产厂商基于车辆类型（如轿车，卡车和公共汽车）和功能来进行校准。

- 系统可探测抑制请求使干扰预警程度降到最低水平。如果驾驶员是从事其他如避撞等高优先级的制动工况，则 CSWS 系统会发送抑制请求。

- 该系统可以终止附加预警以避免重复预警。
- 该系统可以在驾驶员制动时终止预警。
- 该系统可以在驾驶员选择换道时终止预警。
- 预警临界值根据车辆生产厂商所允许的范围可以调整。
- 假如包含以上任何可选择功能，该选择性功能应在车主手册中进行描述。

6.3 基本的驾驶员交互功能

6.3.1 操作要素和系统的反应

本节介绍基本的驾驶员交互操作要素及其系统反应。

- 1.当受到视觉、听觉和/或触觉因素单独或者综合影响，系统转为 CSWS 预警状态时，驾驶员应收到预警信号。
- 2.车主手册应当告知 CSWS 激活或者关闭的条件及系统性能的局限性。
- 3.若由于故障导致 CSWS 不可用，应告知驾驶员，且车主手册应对各种失效做详细表述。

6.3.2 触觉要素

本节介绍对触觉交互要素的要求

-CSWS 可以使用触觉预警。包含车速变化的触觉因素是可以选择的。触觉因素包括由变速器齿轮降档、安全带振动、加速踏板的振动和加速踏板反馈力变化引起的目标车速的变化。

-对于安装了速度相关的触觉预警系统的汽车，建议当主车正在刹车时，建议禁止使用制动预警模式。

-制动预警需要在不到 1 秒的时间内完成。这会产生小于 0.5g 的减速度和不超过 2 m/s 的减速，为了确保制动预警的有效性，应在 100 km/h 车速下的最少时间内达到不低于 0.1 g 的平均减速度。

6.4 操作范围

操作范围要求如下：

- 该系统可操作的速度均大于 v_{\min} ， v_{\min} 的值可以由车辆生产厂商自己选择确定。
- 通过全球卫星定位系统（GNSS）来计算车辆位置，由于地形和建筑条件等条件使其不一定完全有效。这一点应在驾驶员手册中声明。

7 性能评价测试方法

7.1 测试环境

- 1.测试环境需要一个平坦的、干燥的且干净的沥青或水泥路面。
- 2.温度范围-20° -40° 。
- 3.水平能见度超过 1000m。

7.2 测试场地条件

测试条件如下：

-在测试过程中，测试场地要与实际道路交通分开。如果测试场地有地图数据库，那么测试场地可以作为试验场地。只要在测试时测试路段与道路交通分开，也可选用公共道路的一部分作为 CSWS 测试路段。

-注意，如果所测试的 CSWS 使用基于视觉的传感技术，测试路段需要有清晰的车道线标记以便进行下列三种测试。

A. 测试 A1 的测试场地 1

测试弯道为单弯道，半径固定，无螺旋曲线，测试路段的曲率半径应满足以下条件：

测试路段 1：单弯道

$$R_1 = 36 \sim 40m$$

$$\theta_1 > \theta_{\min 1}$$

如果系统是基于曲率半径小于 R_{\min} 的情况下设计的，那么可以在曲率半径小于 R_{\min} 的情况下进行测试， $\theta_{\min 1}$ 表示 C1 弯道的 AOC。如图 9 所示。

弯道最小 AOC 值的计算可以通过下式得出：

$$\theta_{\min} = 2 \cos^{-1} \left(\frac{R - d_{\max}}{R} \right), (\text{deg})$$

其中， θ_{\min} 是 AOC 的最小值

d_{\max} 是 2.5m

附录 C 将详细介绍如何计算最小 AOC 值。

B. 测试 A2 的测试场地 2：

试验场地 2：单弯道

$$R_2 = 200 \sim 220m$$

$$\theta_2 > \theta_{\min 2}$$

注意 2： $\theta_{\min 2}$ 表示 C2 弯道的 AOC。如图 9 所示。

C. 测试 B 的测试场地 3

测试场地 3：多弯道

测试场地 3 包含两个弯道。每个弯道有如下要求：

1（第一个弯道的曲率要求）120m-200m

2（第二个弯道的曲率要求）36m-40m

弯道 C1 的 AOC 以及弯道 C2 的 AOC 分别比弯道 C1 的 AOC 最小值以及弯道 C2 的 AOC 最小值大。

$$\theta_1 > \theta_{\min 1}$$

$$\theta_2 > \theta_{\min 2}$$

图 10 提供了测试场地 3 的示例。 R_1 和 R_2 弯道可以同向也可异向。

准备测试场地 3 时，可以采用实际存在的单弯道（真实存在的弯道 C1）以及虚拟存在的弯道（虚拟弯道 C2）。如果 CSWS 在虚拟弯道上进行测试 B，虚拟弯道需要加载到被测车辆的 CSWS 地图数据库中。这是因为测试 B 实际上可以在弯道 C1 的弯道起点之后，到达弯道 C2 的弯道起点之前结束。

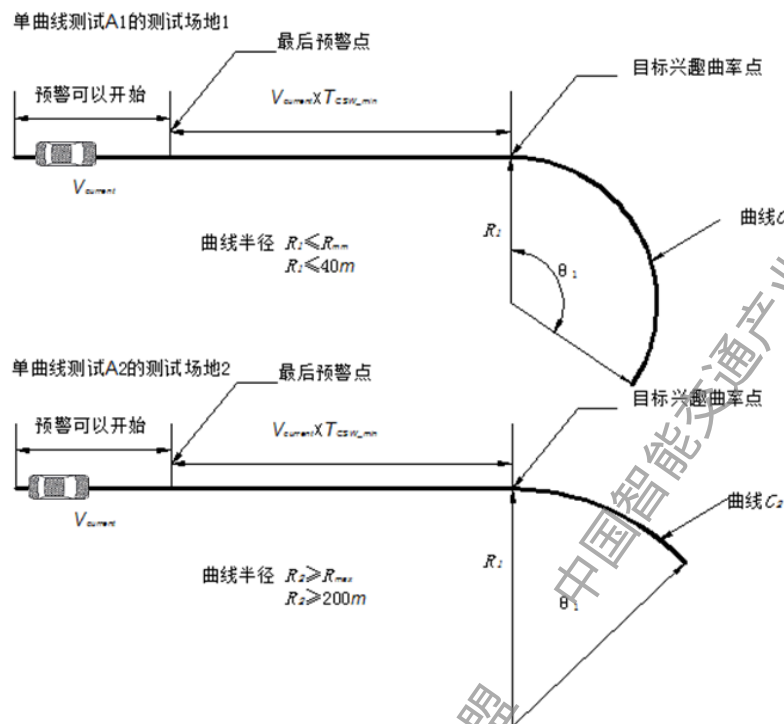


图9 单弯道测试 A1 和测试 A2 中的测试路段 1 和测试路段 2

7.3 测试车辆条件

测试车辆应具备如下条件：

测试车辆质量应该介于整备质量（润滑剂，冷却剂，洗涤液，燃料，备胎，灭火器，标准配件，垫块以及标准工具包）加上驾驶员及仪器（驾驶员质量和测试仪器质量不得超过 150kg）质量和最大授权的总质量（官方认定的最大总质量）之间。测试流程一旦开始就不得进行更改。

7.4 测试系统的安装和配置

对测试系统的安装和配置要求如下

CSWS 需要按照车辆生产厂商提供的说明书进行安装和配置。由于 CSWS 操作需要数字地图，因此测试路段的数字地图需要安装到 CSWS 系统中，以便进行测试。测试期间，系统应一直处于可用状态。

测试路段要在空旷的地方，以便 CSWS 中的全球导航卫星系统接收器工作良好。

根据以往驾驶经验学习驾驶路径的 CSWS，可预先加载路径信息用以计算曲率半径。测试过程的道路地图数据可以用来执行这项测试。

如果 CSWS 在虚拟弯道上进行测试，需要检查 CSWS 是否已经加载虚拟地图数据。

7.5 测试过程

7.5.1 数据记录可恢复的参数

试验车辆可记录和可恢复的参数描述如下

如下参数应被记录，并能够从测试结束的主车中进行恢复：

- a) 预警时间；
- b) 预警位置；
- c) 预警开始时的主车车速。

所有在测试期间发生的预警都需要进行记录。这些数据需使用其他设备而不是 CSWS 来进行恢复。测试报告中应说明测试仪器的精度。

测试路段的实际形态要和记录的数据一起提交。测试路段的实际形态包含测试弯道的曲率半径以及目标兴趣曲率点的位置。

7.5.2 详细的测试过程

详细的测试过程描述如下：

应进行以下两种类型的测试

- a) 单弯道测试：常曲率半径弯道的预警生成测试；
- b) 多弯道测试：变曲率半径弯道的预警生成测试。

注 1：如果车辆生产厂商根据 5.2.9 描述的类型和功能对主车的 CSWS 进行校准，那么生产厂商可以选择与上述不同的 V_{WT_max} 值。

测试 A) 单弯道预警测试

目标兴趣曲率点到车辆起点的距离应足够长，以保证车辆在到达目标兴趣曲率点的预警距离之前达到需求的测试速度。

主车在到达预警距离之前车速应为 0.83m/s~3.6m/s (3km/h~13km/h)，大于 V_{WT_max} 。

$$0.83 \leq V_{current} - V_{WT_max} < 3.6 \text{ m/s}$$

$$V_{WT_max} = \sqrt{a_{lateral_max} \times R}, a_{lateral_max} \text{ 是 } 5.9 \text{ m/s}^2 \text{ (0.6g)}$$

车辆应从目标兴趣曲率点的右边或左边通过一次。

(Test A1) 对于测试场地 1，主车车速在达到预警距离之前应大于等于 15.3m/s (55km/h)。在与兴趣曲率点的距离小于预警距离之前，主车应保持此车速。

(Test A2) 对于测试场地 2, 主车车速在达到预警距离之前应大于等于 V_{WT_max} 。在与兴趣曲率点的距离小于预警距离之前, 主车应保持此车速。

如果与兴趣曲率点的距离小于预警距离时, 系统成功发出预警, 则 CSWS 通过预警生成测试。

测试 B) 多弯道预警生成测试。从目标兴趣曲率点到车辆起点的距离要足够长, 以保证车辆在弯道 C1 最近的目标兴趣曲率点的预警距离至少 50 米以外时可以达到预期速度。

测试 B 包含两项不同测试速度的测试。在测试 1 中, 弯道 C1 和 C2 上的点都是目标兴趣曲率点。进行测试 B1 旨在确认 CSWS 在多弯道情况下会进行预警。在测试 B2 中, 只有弯道 C2 上的点是目标兴趣曲率点。测试 B2 旨在确认 CSWS 是否有能力顾及下一个弯道。

(测试 B1) 在主车到达弯道 C1 最近的目标兴趣曲率点的预警距离前 50m 时, 主车车速 V_{test} 应在 $0.83 \text{ m/s} \sim 3.6 \text{ m/s}$ ($3 \text{ km/h} \sim 13 \text{ km/h}$), 比 V_{WT_max1} 的数值大。

$$V_{test} > V_{WT_max} + V_{add}$$

式中, V_{add} 的值, $0.83 < V_{add} < 3.6 \text{ m/s}$

$$V_{WT_max1} > V_{WT_max2}$$

V_{WT_max1} 是弯道 C1 的 V_{WT_max} ,

V_{WT_max2} 是弯道 C2 的 V_{WT_max} 。

主车需保持此车速, 从弯道左侧或者弯道右侧通过目标兴趣曲率点。

如果系统能成功在弯道 C1 和 C2 的预警区域之前发出预警, 那么 CSWS 便通过了预警生成测试。

(测试 B2) 在主车到达弯道 C1 最近的目标兴趣曲率点的预警距离前 50m 时 V_{test} 应大于 V_{WT_max2} 小于 V_{WT_max1} 。

$$V_{WT_max1} > V_{test} > V_{WT_max2} + V_{add}$$

式中 V_{add} 的数值与测试 B1 中的数值一致。

主车需保持此车速, 从弯道左侧或者弯道右侧通过目标兴趣曲率点。

如果系统能成功在弯道 C2 的预警范围之前发出预警, 那么 CSWS 便通过了预警生成测试。

测试 B1 中测试路段 3 的示例如下所述：

R_1 和 R_2 的曲率半径分别为 120 米和 40 米。当前标的车速在到达弯道 C1 曲率点的预警距离前 50 米时为 27 m/s ， 弯道 C1 的弯道角为 24 deg。

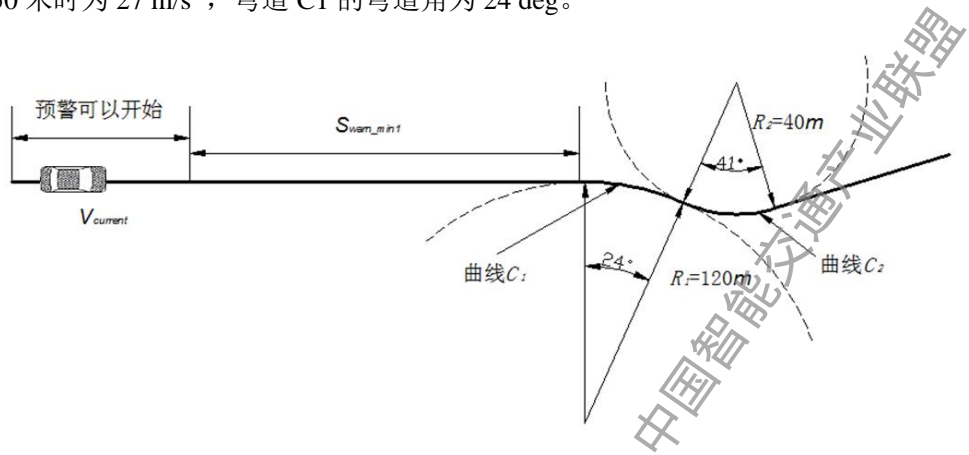


图10 多弯道测试 B1 中测试路段 3 的示例

附 录 A

(资料性附录)
弯道的定义

A.1 弯道，兴趣曲率点和目标兴趣曲率点的图解描述

下列附增的图标是为了避免读者对弯道，兴趣曲率点以及目标点定义产生混淆。每个定义的详述可参考 6.2.2。

例如图 A.1

位置 A：兴趣曲率点（ $R \leq R_C$ 且 $S_{current} < S_{LAD}$ ）

位置 B：非曲率点（ $R > R_C$ ）

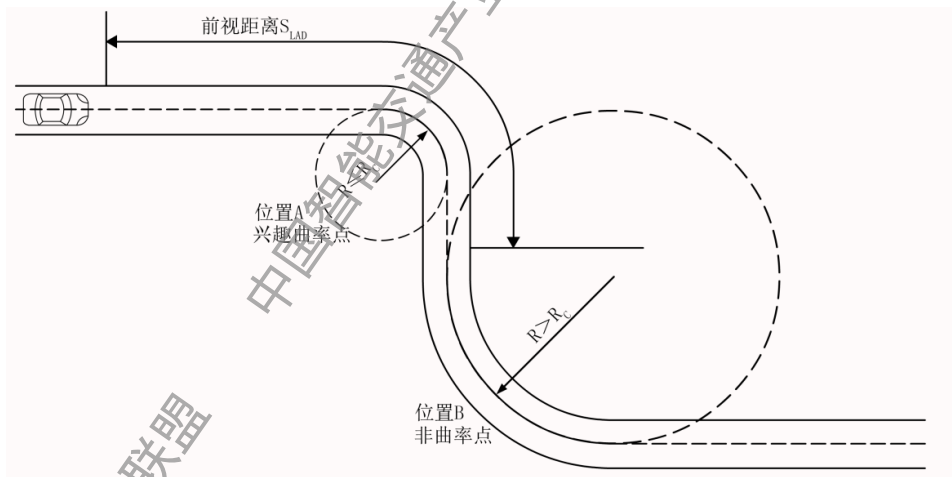


图 A.1 R_C 的兴趣曲率点（位置 A）和非曲率点（位置 B）

例如，图 A.2：

位置 E1：目标兴趣曲率点（ $R \leq R_C$ ， $S_{current} < S_{LAD}$ ， $V_{current} > V_{WT}$ 且 $S_{current} < S_{warn}$ ）

位置 E2：兴趣曲率点（ $R \leq R_C$ 且 $S_{current} < S_{LAD}$ ）

位置 E3：曲率点（ $R \leq R_C$ ）

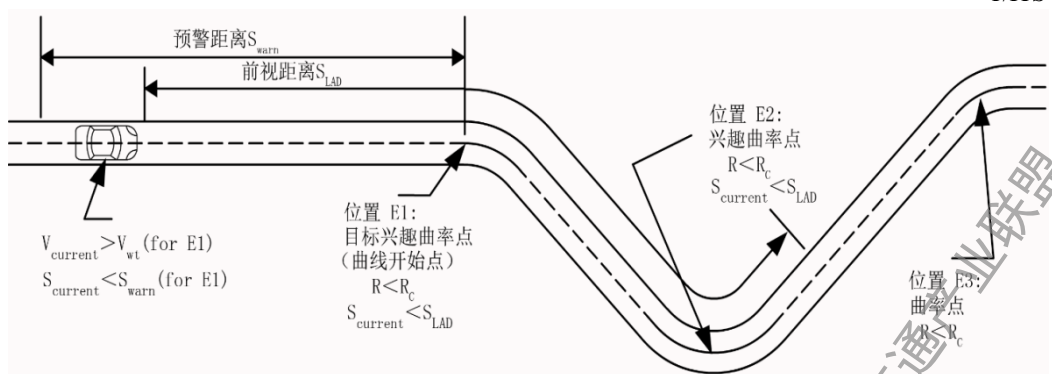


图 A.2 目标兴趣曲率点（位置 E1）和兴趣曲率点（位置 E2）

与目标兴趣曲率点的距离、与兴趣曲率点的距离以及前视距离之间的差别在图 A.3 中描述。

注意：F1 和 F2 均可作为兴趣曲率点，但只有 F1 可作为目标兴趣曲率点。

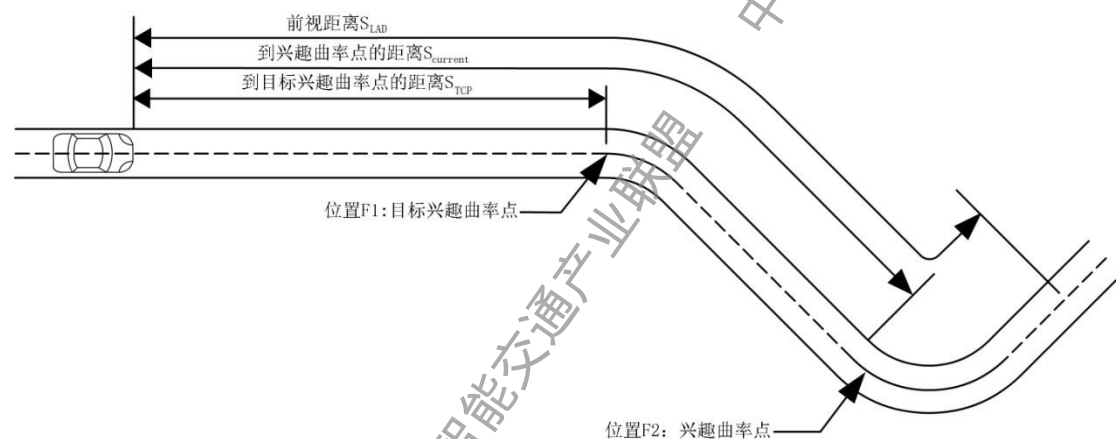


图 A.3 目标兴趣曲率点（位置 F1）和兴趣曲率点（位置 F2）

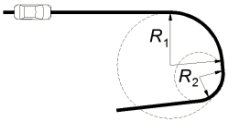
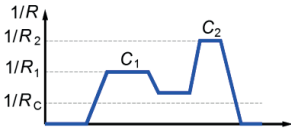
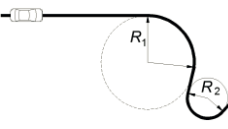
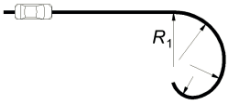
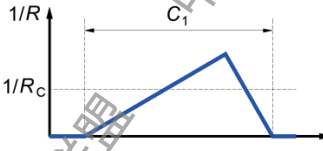
A.2 弯道类型

弯道类型可分为五类。表 A.1 中有对弯道类型的描述。

表 A.1 弯道类型

序号	弯道名称	类型	弯道形状	曲线图解	注释
1	单弯道	无回旋曲线			<ul style="list-style-type: none"> ● 曲率半径恒定 ● 无回旋曲线
2		有回旋曲线			<ul style="list-style-type: none"> ● 曲率半径恒定 ● 有回旋曲线

表 A.1 弯道类型 (续)

序号	弯道名称	类型	弯道形状	曲线图解	注释
3	多弯道	方向一致			<ul style="list-style-type: none"> ● 相同方向有两个或更多个恒定的曲率半径 ● 有/无回旋曲线
4		方向相反			<ul style="list-style-type: none"> ● 相反方向有两个或者更多个恒定曲率半径 ● 有/无回旋曲线
5	变弯道	N/A			<ul style="list-style-type: none"> ● 同向不同的曲率半径 ● 任何可变半径弯道上的点都满足弯道标准, 例如小于或等于 RC ● 有/无回旋曲线

附录 B

(规范性附录)

操作原理

B.1 操作原理

本附录中描述了 CSWS 的工作原理。工作过程如下所述。

- a) 当主车行驶时，CSWS 会检测前视距离范围内即将通过的道路曲率。检测曲率，并选择兴趣曲率点；
- b) 如果满足激活标准，CSWS 便转为可用状态。系统会判断是否需要发出预警。如果系统发出预警指令，那么 CSWS 便开始进行预警。

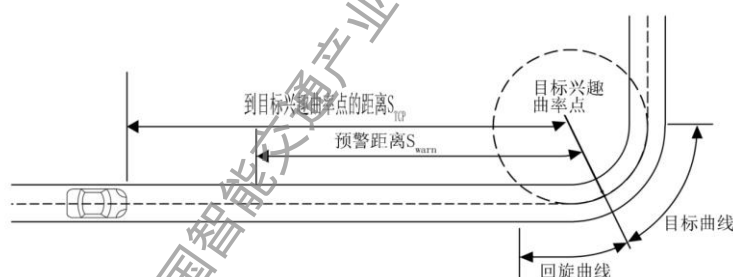


图 B.1 CSWS 操作原理

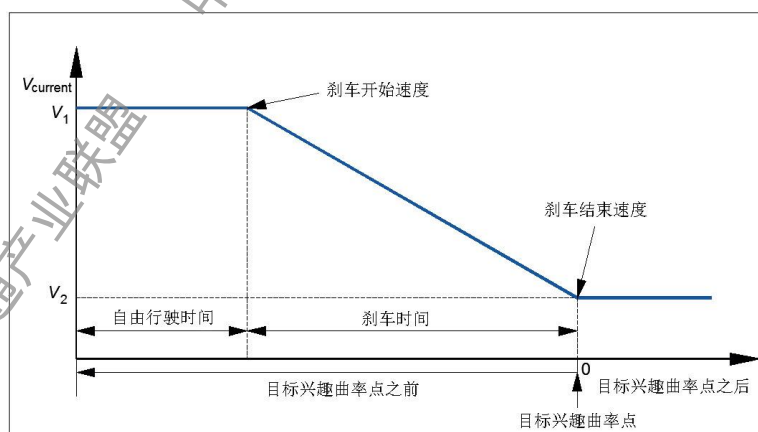


图 B.2 CSWS 有关标的车速以及距离的操作原理

预警所需距离 S_{warn} 从公式 (B.1) 得到:

$$S_{\text{warn}} = S_{\text{free}} + S_{\text{braking}} \quad (\text{B.1})$$

式中, S_{warn} 是预警距离;

S_{free} 是自由行驶距离；

S_{braking} 是刹车距离。

自由行驶距离，是假设在自由行驶期间，标的车速保持不变计算得出的。自由行驶主要由驾驶员反应延时导致；因此，自由行驶时间表示为驾驶员反应时间， t_{resp} 。注意驾驶员反应时间至少为 0.8s，如 5.2.5 所述。

$$S_{\text{free}} = V_{\text{current}} \times t_{\text{resp}}$$

刹车所需最短距离， S_{braking} ，由公式(B.2)得到：

$$S_{\text{braking}} = \frac{V_{\text{current}}^2 - V_{\text{WT}}^2}{2 \times a_{d_req}} \quad (\text{B.2})$$

式中， V_{current} 是标的车速；

a_{d_req} 是需求减速度；

S_{braking} 是刹车距离。

最小允许的弯道车速预警时间 $t_{\text{csw_min}}$ 由 S_{braking} 代入公式(B.3)得出。

$$t_{\text{csw_min}} = \frac{S_{\text{free}}}{V_{\text{current}}} + \frac{S_{\text{braking}}}{V_{\text{current}}} = t_{d_min} + \frac{(V_{\text{current}}^2 - V_{\text{WT}}^2)}{(2 \times a_{d_max}) \times V_{\text{current}}} \quad (\text{B.3})$$

B.2 基本系统操作

图 B.3 中详述了基本的系统操作。黑色实线表示与标的车速 V_{current} 相对应的预警距离的改变，以及达到目标曲率点的距离 S_{current} 。蓝实线表示在最小允许的弯道车速预警时间 $t_{\text{csw_min}}$ 点上，主车与目标曲率点间的距离。

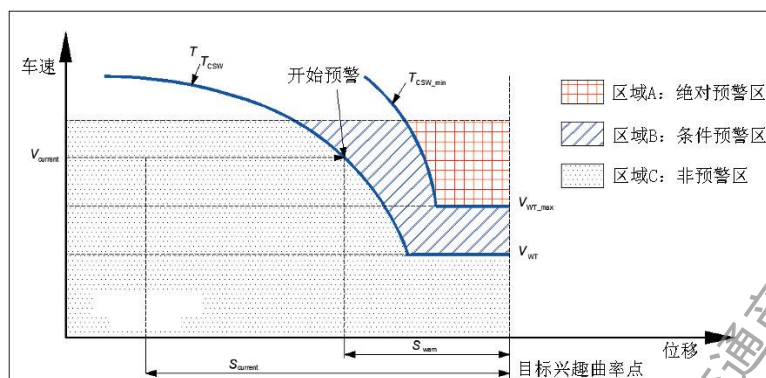


图 B.3 CSWS 基本操作

图 B.3 有三个区域，三个区域的具体含义如下：

- a) 区域 A：绝对预警区；
- b) 区域 B：条件预警区；
- c) 区域 C：非预警区。

系统在区域 A 进行预警，但不应在区域 C 预警。系统在区域 B 的预警条件在 5.2.1 中描述。

B.3 操作界限

图 B.4 描述了 CSWS 的操作界限。根据弯道的曲率半径，系统应在 R_{\min} 到 R_{\max} 范围内工作。5.2.2 详细介绍了依据曲率半径而定的操作界限。车速高于 V_{\min} 时，系统应能进行操作，如 5.4 中所述， V_{\min} 可以由生产厂商选择。

图 B.4 中，系统应在区域 A 进行操作。另一方面，当满足操作条件时，系统也应当在区域 B 操作。不同的区域在 B.3 中有详述。

- a) 区域 A：绝对操作区域；
- b) 区域 B：条件操作区域。

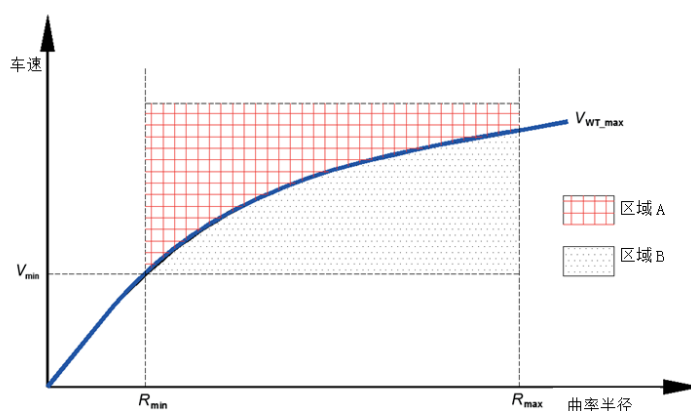


图 B.4 CSWS 的操作范围

附录 C

(规范性附录)
AOC最小值的计算

C.1 AOC影响

CSWS 旨在降低弯道上的危险。弯道上曲率半径相同时，较小的 AOC 危险较低。如表 C.1 所示。

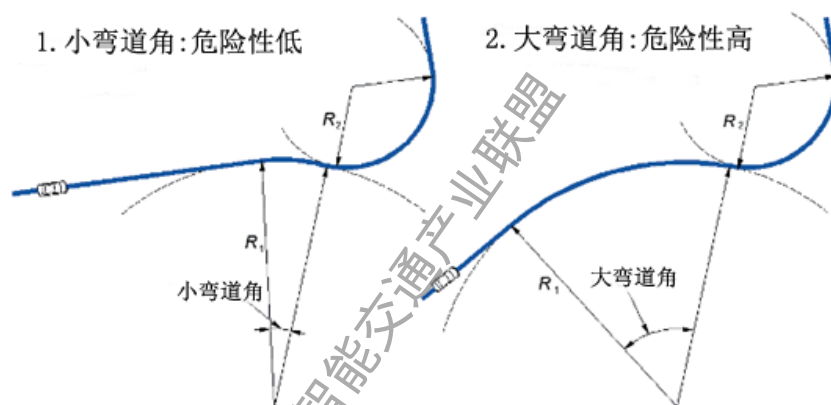


图 C.1 AOC 影响

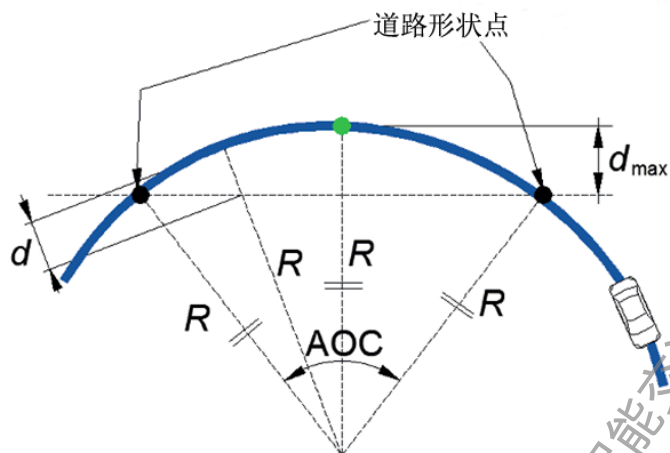
尽管 AOC 对 CSWS 有影响，但 AOC 却不是基本要求之一，这是因为此国际标准并不对感知方法设限。实际上，也很难测量出 CSWS 使用的电子地图中道路形态点的精度。

注释：道路形态点实际用于计算道路曲率和弯道 AOC。

C.2 AOC最小值的计算

在测试条件下，需要考虑 AOC 最小值，因为此国际标准并不旨在防止生产厂商忽视很小的 AOC。并且，在 CSWS 实际研发时，根据地图供应商提供的地图数据库的总体精度，有必要考虑 AOC 产生的影响。

由道路形态点计算得出的期望道路位置与实际道路位置之间可能的最大误差，可用 d_{\max} 表示，如图 C.2 所示。

图 C.2 d_{\max} 的定义

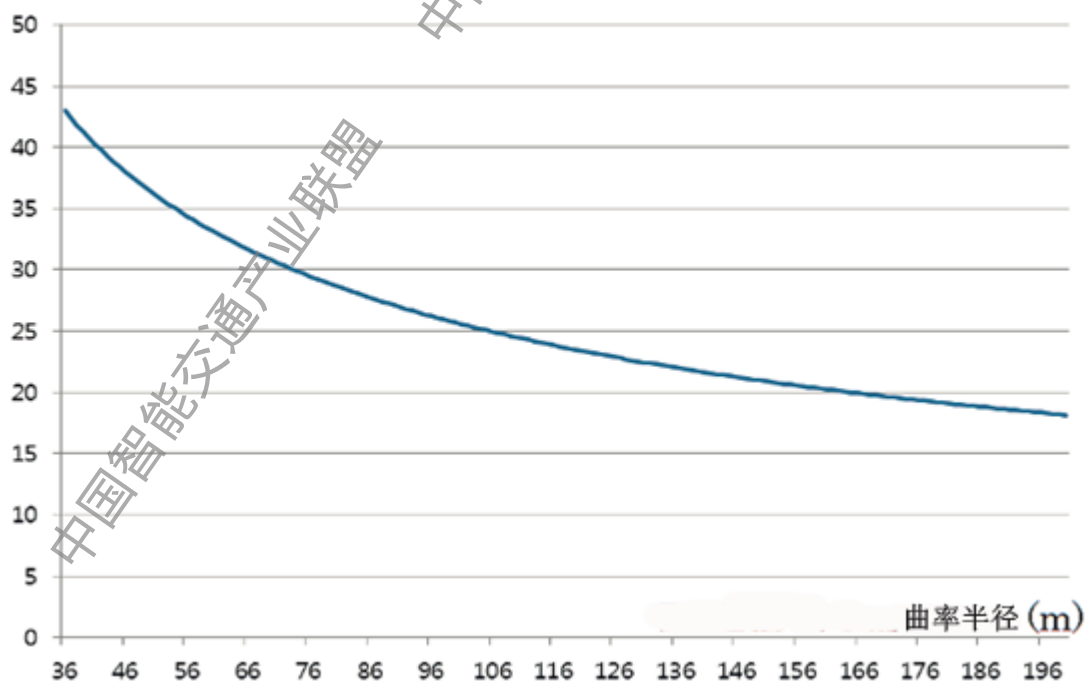
d_{\max} 可以用公式(C.1)来计算

$$d_{\max} = R - R \times \cos\left(\frac{\theta_{\min}}{2}\right) \quad (\text{C.1})$$

由公式(C.1)可计算出 AOC 最小值, θ_{\min} 。当 d_{\max} 定为 2.5m 时, 最小 AOC 值的计算如图 C.3 所示。

$$\theta_{\min} = 2\cos^{-1}\left(\frac{R - d_{\max}}{R}\right) \quad (\text{C.2})$$

最小弯道角(θ) (deg)

图 C.3 当 d_{\max} 为 2.5m 时, 不同的 R 值对应的 AOC 最小值

T/ITS 0047-2016

中国智能交通产业联盟
标准
**智能交通系统 弯道车速预警系统（CSWS）性能要求
和试验程序**
T/ITS 0047-2016

北京市海淀区西土城路 8 号（100088）
中国智能交通产业联盟印刷
网址：<http://www.c-its.org>

2016 年 11 月第一版 2016 年 11 月第一次印刷