

ICS 45.140

CCS S 60

团体标准

T/CAMET XXXXX—XXXX

城市轨道交通 应答器传输系统

Urban rail transit — Balise transmission system

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国城市轨道交通协会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 使用条件 6

5 系统的用途与构成 7

6 技术要求 8

7 试验方法 26

8 检验规则 35

9 包装、运输和贮存 38

附 录 A （规范性） 应答器安装 40

附 录 B （规范性） 天线单元安装及环境要求 52

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。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会通信信号分技术委员会提出。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：北京全路通信信号研究设计院集团有限公司、通号城市轨道交通技术有限公司、北京交大思诺科技股份有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、中铁检验认证中心有限公司、通号（西安）轨道交通工业集团有限公司、卡斯柯信号有限公司、湖南中车时代通信信号有限公司、交控科技股份有限公司、上海电气泰雷兹交通自动化系统有限公司、北京市轨道交通建设管理有限公司、上海申通地铁集团有限公司、重庆市轨道交通（集团）有限公司、重庆市铁路（集团）有限公司、北京市地铁运营有限公司、天津轨道交通集团有限公司、宁波市轨道交通集团有限公司和方圆标志认证集团有限公司。

本文件主要起草人：丁欢、刘贞、张生文、郑桂燕、李群、黄雅倩、马新成、赵优、张民、牟海涛、刘浩、王瑞、王丁、潘长清、李鑫、柳杨、肖茂波、董晓辉、唐俊、李晓光、罗永升、王伟、高翔、李晓刚、金捷、秦小虎、孙柯、李小明、刘春阳、刘懂懂、周连军。

城市轨道交通 应答器传输系统

1 范围

本文件规定了城市轨道交通应答器传输系统构成、使用条件，规定了应答器、地面电子单元、BTM及天线单元的技术要求、试验方法，检验规则、包装、运输和贮存等内容。

本文件适用于时速200km/h及以下城市轨道交通应答器传输系统研究、设计、制造和测试。

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/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db 交变湿热（12h+12h循环）
- GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 21562—2008 轨道交通：可靠性、可用性、可维护性和安全性规范及示例
- GB/T 21563—2018 轨道交通 机车车辆设备冲击和振动试验
- GB/T 24338.4—2018 轨道交通 电磁兼容第3-2部分：机车车辆 设备
- GB/T 24338.5—2018 轨道交通 电磁兼容 第4部分：信号和通信设备的发射与抗扰度
- GB/T 24339—2023 轨道交通 通信、信号和处理系统 传输系统中的安全相关通信
- GB/T 25119—2021 轨道交通 机车车辆电子装置
- GB/T 28808—2021 轨道交通 通信、信号和处理系统 控制和防护系统软件
- GB/T 28809—2012 轨道交通 通信、信号和处理系统 信号用安全相关电子系统
- GB/T 32350.1—2015 轨道交通 绝缘配合 第1部分：基本要求 电工电子设备的电气间隙和爬电距离
- TB/T 1447—2015 铁路信号产品绝缘电阻
- TB/T 1448—2018 通信信号产品的绝缘耐压
- TB/T 2846—2015 铁路地面信号产品振动试验方法
- TB/T 3100.6—2017 铁路数字信号电缆 第6部分：应答器数据传输电缆
- TB/T 3485—2017 应答器传输系统技术条件
- TB/T 3498—2018 铁路通信信号设备雷击试验方法
- TB/T 3544—2018 应答器传输系统测试规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

应答器 balise

使用磁感应技术的地面传输单元。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.1]

3.2

无源应答器 fixed balise

向车载设备发送自身存储数据信息的设备。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.2]

3.3

有源应答器 controlled balise

通过电缆与地面电子单元LEU连接, 通常向车载设备传输来自于LEU的数据信息, 当电缆传输通道失效, 传输自身存储数据信息的设备。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.3]

3.4

扩展尺寸应答器 extend balise

有效参考区域为200 mm × 950 mm的应答器。

3.5

标准尺寸应答器 normalsize balise

有效参考区域为200 mm×390 mm的应答器。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.5]

3.6

应答器组 balise group

应答器组由一个或多个应答器组成, 车载主机单元设备将其各应答器信息进行综合, 生成位置参考点、数据方向有效性、列车防护信息。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.6]

3.7

应答器参照标记 balise reference marks

对应应答器发射线圈的电气中心位置。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.7]

3.8

位置参照 location reference

在轨道中的方位。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.8]

3.9

地面电子单元 lineside electronic unit; LEU

向有源应答器发送可变信号数据的设备。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.9]

3.10

应答器传输模块 balise transmission module; BTM

用于地-车间数据传输的车载模块, 处理与应答器间的上行链路信号和报文, 并与车载主机单元设备通信。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.10]

3.11

天线单元 antenna unit

应答器车载传输单元。

[来源: TB/T 3485—2017, 3.11]

3.12

天线单元参照标记 antenna reference marks

表示天线单元的电气中心。

[来源：TB/T 3485—2017，3.12]

3.13

用户报文 user data

按照规定的数据格式编制的、未经过编码处理的用戶数据。

[来源：TB/T 3485—2017，3.13]

3.14

传输报文 transmitted telegram

对用户报文按照规定的规则进行编码后形成用于地-车传输的应答器数据。

[来源：TB/T 3485—2017，3.14]

3.15

有效报文 valid telegram

满足编码规则且能够被正确解码的报文。

[来源：TB/T 3485—2017，3.15]

3.16

默认报文 default telegram

当LEU与外部设备通信故障时LEU向有源应答器传输的报文，或当有源应答器与LEU之间通信故障时有源应答器传输的报文。

[来源：TB/T 3485—2017，3.16]

3.17

作用范围 contact length

车载天线可以与应答器进行通信并达到规定通信质量的范围（水平方向的距离）。

[来源：TB/T 3485—2017，3.17]

3.18

作用区 contact zone

应答器上方的区域，在此区域内应答器磁场分布满足与参考磁场的一致性要求。

[来源：TB/T 3485—2017，3.18]

3.19

旁瓣区 side lobe zone

围绕作用区以外指定的区域。

[来源：TB/T 3485—2017，3.19]

3.20

串扰保护区 cross-talk protected zone

旁瓣区以外的区域，以下简称串扰区。

[来源：TB/T 3485—2017，3.20]

3.21

接口“A” interface ‘A’

应答器与车载设备之间的空气间隙接口。

[来源：TB/T 3485—2017，3.21]

3.22

接口“B” interface ‘B’

T/CAMET XXXXX—XXXX

BTM与车载主机单元之间的接口。

[来源：TB/T 3485—2017，3.22]

3.23

接口 “C” interface ‘C’

LEU与应答器之间的接口。

[来源：TB/T 3485—2017，3.23]

3.24

接口 “D” interface ‘D’

BTM与天线单元之间的接口。

[来源：TB/T 3485—2017，3.24]

3.25

接口 “S” interface ‘S’

LEU与外部设备（如联锁设备）的接口。

[来源：TB/T 3485—2017，3.25]

3.26

接口 “V” interface ‘V’

BTM与外部测试和校验装置的测试接口。

[来源：TB/T 3485—2017，3.26]

3.27

上行链路 up-link

从LEU或者从无源应答器到车载主机单元的数据通信。

[来源：TB/T 3485—2017，3.27]

3.28

下行链路 down-link

车载天线发送激活应答器的射频能量。

[来源：TB/T 3485—2017，3.28]

3.29

参考轴 reference axis

以钢轨为参照物，定义应答器和天线单元各自坐标轴如下：

- a) X轴：与钢轨平行的坐标轴；
- b) Y轴：与钢轨呈直角、与轨面水平的坐标轴；
- c) Z轴：垂直向上、与轨面垂直的坐标轴。

[来源：TB/T 3485—2017，3.29]

3.30

角度偏移 angular deviation

为描述与正常方向的角度偏移，定义以下三种旋转角：

- a) 倾斜角：旋转X轴发生的角度偏移；
- b) 俯仰角：旋转Y轴发生的角度偏移；
- c) 偏转角：旋转Z轴发生的角度偏移。

[来源：TB/T 3485—2017，3.30]

4 使用条件

4.1 环境温度

4.1.1 应答器工作环境温度为： $-40^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.2 LEU 工作环境温度为： $-40^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.3 BTM 工作环境温度为： $-25^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.4 天线单元工作环境温度为： $-40^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 大气压力

应答器、LEU、BTM及天线单元应适应大气压力70kPa~106kPa（海拔不超过3000m）。

4.3 密封、防尘和湿度

4.3.1 应答器应在 GB/T 4208—2017 定义的 IP67 环境等级中正常工作。

4.3.2 LEU 室内运用时，应符合 GB/T 4208—2017 中 IP20 环境等级的规定，LEU 室外运用时，可采取防护措施，应符合 GB/T 4208—2017 中 IP54 环境等级的规定。

4.3.3 BTM 至少允许在 GB/T 4208—2017 定义的 IP20 环境范围内正常工作，并符合 GB/T 25119—2021 中 4.1.4 规定的相对湿度要求。

4.3.4 天线单元至少允许在 GB/T 4208—2017 定义的 IP65 环境范围内正常工作。

5 系统的用途与构成

5.1 应答器传输系统是安全点式信息传输系统，通过应答器实现地面设备向车载设备传输信息。

5.2 应答器可根据应用需求向车载设备传输固定的（通过无源应答器）或可变的（通过有源应答器）上行链路数据。

5.3 标准尺寸应答器包含有源应答器和无源应答器，扩展尺寸应答器仅包含无源应答器。

5.4 当天线单元通过或者停在相应的应答器上方时，构成应答器与车载设备间的信息传输通道。

5.5 应答器传输系统由地面设备和车载设备组成，地面设备包括有源应答器、无源应答器和 LEU；车载设备包括天线单元和 BTM。

5.6 应答器传输系统设备构成见图 1，应答器传输系统各设备通过接口“A”、接口“B”、接口“C”、接口“D”、接口“S”进行连通与连接，BTM 还应具备测试接口“V”，各接口组成和用途如下：

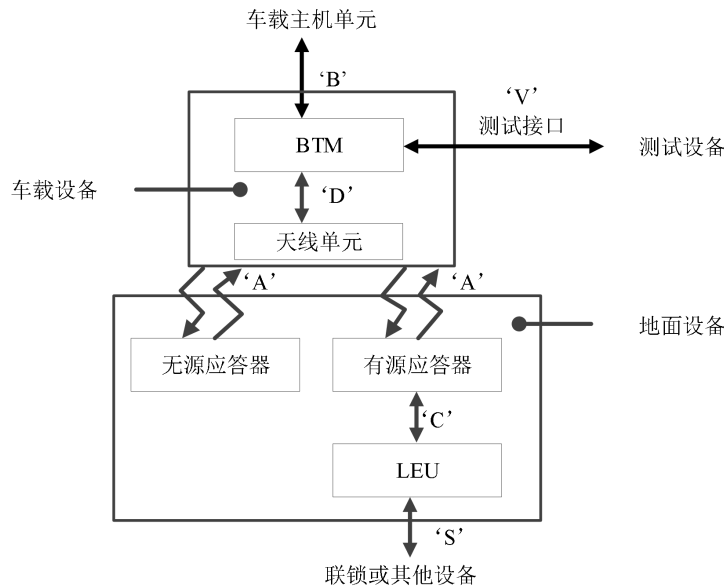


图 1 应答器传输系统设备构成

5.7 接口“A”是地面应答器与车载天线单元间的信息传输接口，该接口采用电磁感应方式，用于地-车间的数据传输，还用于对应答器报文进行读写操作，接口“A”在功能上分为以下“A1”、“A4”、“A5”三个子接口：

- 接口“A1”是应答器向天线单元传输上行链路应答器报文的接口；
- 接口“A4”是天线单元向地面应答器传输射频能量的接口，用以激活应答器工作；
- 接口“A5”是采用电磁感应方式对无源应答器的报文写入或对有源应答器的默认报文写入时的接口。

5.8 接口“C”是LEU与有源应答器间的信息传输接口。LEU从联锁或其他设备获得报文或信息，通过接口“C”传送给有源应答器，有源应答器将信息传送给经过的车载设备。接口“C”在功能上分为以下“C1”、“C4”、“C6”三个子接口：

- 接口“C1”是LEU向有源应答器传输上行链路应答器报文的接口；
- 接口“C4”是天线单元经过有源应答器期间，由有源应答器产生的信号，用于在规定时间内阻止LEU进行报文转换的接口，接口“C4”为可选功能；
- 接口“C6”是LEU向有源应答器接口“C”电路提供电源的接口。

5.9 接口“S”是LEU与联锁或其他外部设备之间的接口，作为上行链路信息的数据输入；

5.10 接口“B”是BTM与车载主机单元之间的接口，BTM向车载主机单元传输上行链路的信息，并接收车载主机单元发送的信息；

5.11 接口“D”是BTM与天线单元间的接口，由设备制造商自行规定；

5.12 接口“V”是对BTM进行测试和校验的接口，可在BTM设备内实现，也可通过接口适配器实现，接口协议见TB/T 3544—2018 附录I。

6 技术要求

6.1 系统基本功能和性能

6.1.1 探测应答器功能

6.1.1.1 当天线单元经过应答器时（或之后），BTM 应向车载主机单元提供探测到应答器的信息。探测应答器是安全相关功能。

6.1.1.2 当 BTM 丧失探测应答器功能时，应向车载主机单元报告。

6.1.2 上行链路报文传输功能

6.1.2.1 从地面向车载设备传输报文是安全相关功能，报文编码规则应符合 TB/T 3485—2017 中附录 A 的规定，编码与解码背景宜参考 TB/T 3485—2017 中附录 B 的内容。当使用其他格式报文时，应对其安全性进行完整评估。

6.1.2.2 在天线单元经过应答器上方时，连接到 LEU 的有源应答器应将从接口“C”接收到的报文透明地传输到接口“A”，无源应答器传输固定的、预先存储的报文。

6.1.2.3 BTM 应对接收到的应答器报文进行过滤，提供满足时延要求的已解码用户报文。

6.1.3 提供列车位置参照功能

6.1.3.1 BTM 应能分析上行链路信号特性与数据，向车载主机单元提供天线单元参照标记通过应答器参照标记时的时间和/或里程数据，供车载主机单元计算应答器参照位置，此功能为安全相关功能。地面通过布置至少两个连续链接的应答器（如两个单独的应答器或多个应答器构成的应答器组）供车载主机单元确定位置参照。

6.1.3.2 若车载主机单元提供时间和/或里程数据，BTM 应以此为基准。

6.1.4 提供列车运行方向信息功能

应答器传输系统应能正确确定天线单元经过应答器的顺序（时间顺序和位置顺序），并按照此顺序向车载主机单元传送相应的应答器数据信息，此功能为安全相关功能。车载主机单元通过接收至少两个连续链接的应答器报文（如两个单独的应答器或多个应答器构成的应答器组）判定列车经过应答器时的运行方向。

6.1.5 串扰防护功能

6.1.5.1 应答器传输系统不应在应答器的串扰区发生有效的数据传输。

6.1.5.2 在满足所有安装约束条件下，应答器传输系统应保证基于信号强度的串扰防护。在应答器报文设计中，应具备串扰防护功能（应答器链接信息、应答器组中的应答器数量信息等），供车载主机单元识别应答器串扰。

6.1.5.3 应答器传输系统应符合以下串扰防护的要求：

- a) 应答器磁场一致性满足要求；
- b) 应答器输入输出特性满足要求；
- c) 应答器附近其他设备电缆或金属物满足安装要求；
- d) 有源应答器接口“C”电缆满足电气安装要求；
- e) BTM 接收机的磁场强度最小阈值 V_{th} 足以正确处理在串扰区被激活的应答器发出的上行链路信息；
- f) 由天线单元产生的射频能量磁场，在最不利条件下不应激活串扰区的应答器。

6.1.5.4 在应答器输入输出特性、应答器磁场一致性、车载设备磁场辐射的最不利情况下，在表 1 所示的范围内不应出现串扰，对于安装两个天线单元的情况下只防护上行链路不受串扰。

表 1 串扰区的定义

串扰类型	包含的设备	不应发生串扰的区域
------	-------	-----------

横向 (Y 方向)	一个应答器和一个天线单元	应答器和天线单元之间 1.4m 及以上 (Z 轴参照标记之间的距离)
横向 (Y 方向)	一个或两个应答器和两个天线单元	串扰应答器和干扰天线单元之间 3.0m 及以上 (Z 轴参照标记之间的距离)
垂直 (Z 方向)	一个应答器和一个天线单元	4.8m 及以上 (X 和 Y 轴参照标记之间的距离)
纵向 (X 方向)	两个应答器和一个天线单元。两个标准尺寸应答器之间 2.3m 及以上 (Y 轴参照标记之间的距离)。如果是标准尺寸和扩展尺寸两种应答器结合使用, 则适用 5m。	天线单元在沿着与应答器相同轨道上的任何位置
纵向 (X 方向)	一个应答器和两个天线单元。两个天线单元之间的距离为 4.0m 及以上	天线单元在沿着与应答器相同轨道上的任何位置

6.1.5.5 其他串扰相关的条件应符合表 2 中的要求。

表 2 其他串扰条件

内容	要求
轨道中的电缆	应答器周边的电缆应符合附录 A 中干扰电缆的规定。
车辆金属物反射	天线单元周边的金属物应满足制造商提出的无金属空间要求。
轨道中金属物反射	轨道中金属物应符合附录 A 中无金属空间的规定。
护轮轨	应符合附录 A 中护轮轨安装规定。

6.1.5.6 一个应答器与一个天线单元时, 在最不利条件下 (如应答器输入输出效率最高, 以及附近存在电缆、护轮轨和杂物覆盖), 天线单元发出的射频能量至上行链路接收信号电平的比值, 应大于天线单元最大射频能量与上行接收器磁场强度最小阈值 V_{th} 的比值。

6.1.5.7 一个应答器与两个天线单元时, 在最不利条件下 (如存在电缆、护轮轨和杂物覆盖等), 从串扰应答器接收到的信号电平应小于 BTM 接收器磁场强度阈值 V_{th} 的最小值。

6.1.6 数据传输通道质量要求

6.1.6.1 应答器传输系统应符合 TB/T 3485—2017 附录 A 中规定的长格式报文和短格式报文传输。

6.1.6.2 在每个应答器作用区的中心位置, 系统的误码率应小于 10^{-6} 。

6.1.7 数据传输时间延迟

6.1.7.1 每一数据位从接口 “C1” 到接口 “A1” 的最大延时为 $10\mu s$ 。

6.1.7.2 天线单元参照标记经过应答器参照标记之后不超过 1.3m, BTM 应已准备好该应答器信息 (用户报文和定位信息)。

6.1.8 定位精度

6.1.8.1 在安全应用中, 应答器传输系统对应答器的定位精度要求为 $\pm 1m$, 在低速通过应答器时 (天线单元与应答器的作用时间超过 BTM 设定的报告周期), BTM 可提供预定位信息, 预定位信息精度要求为 $\pm 1m$ 。

6.1.8.2 在非安全应用中, 应答器传输系统对应答器的定位最大误差 (不含外部里程信息的误差) 见公式 (1)。

$$|L_{err}| \begin{cases} 0.20 m & 0km/h < v < 40km/h \\ 1.1 \times 10^{-3} \times v + 0.15 m & 40km/h \leq v \leq 200km/h \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$|L_{err}|$ —— 应答器传输系统对应答器的定位最大误差;

v —— 列车速度，单位为千米每小时（km/h）。

6.2 一般要求

6.2.1 参考轴及坐标原点

6.2.1.1 应答器的外表面应有参照标记，以标明应答器电气中心在 X、Y、Z 三个轴的位置。

6.2.1.2 天线单元的外表面应有参照标记，以标明天线单元电气中心在 X、Y、Z 三个轴的位置。本标准中天线单元的底边作为高度的参照标记。

6.2.2 材料要求

6.2.2.1 设备壳体 and 外部引线应使用阻燃材料。

6.2.2.2 设备设计中若用到有害材料，则提供适当的警告。

6.2.3 铭牌和产品标识要求

6.2.3.1 设备应通过标签予以标识设备名称、序列号等内容。

6.2.3.2 所有警示标志应注明危险条件的类别。

6.2.4 电源要求

6.2.4.1 BTM 及天线单元由车载蓄电池供电，电源应符合 GB/T 25119—2021 中第 5 章相关要求。

6.2.4.2 LEU 由信号电源屏供电，输入电压标称值宜为 24VDC 或 220VAC，LEU 应满足在 19V~30V 直流电压输入范围内或 175V~240V 交流电压输入范围内正常工作。

6.2.4.3 有源应答器和无源应答器向接口“A”传输上行链路数据时，不需要地面设备供电，所需能量由天线单元提供。

6.2.4.4 有源应答器除由天线单元供电外，还由 LEU 提供接口“C”电路电源，为了不降低串扰防护能力，接口“C”电路电源不应泄漏到应答器上行链路发送电路中。

6.3 系统接口

6.3.1 接口“A”

6.3.1.1 上行链路数据传输信号（接口“A1”）

6.3.1.1.1 上行链路信号电气指标

6.3.1.1.1.1 上行链路磁场应产生两种用于上行链路数据 FSK 的频率，这两种频率分别是逻辑“0”（ f_L ）的 3.951MHz 和逻辑“1”（ f_H ）的 4.516MHz。两种频率相互转换时，载波信号应具有连续相位。中心频率应为 4.234MHz±0.175MHz，频率偏移应为 282.24×(1±7%)kHz。

6.3.1.1.1.2 平均数据速率定义为 1500 除以 1500 个连续数据位的时间长度。对任意连续 1500 位，平均数据速率应为 564.48kbit/s，整体公差为 2.5%，见公式（2）。

$$\frac{1500}{T(bit_{i+1500}) - T(bit_i)} = 564.48 \times 10^3 \times (1 \pm 2.5\%) \quad \forall i \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$T(bit_{i+1500})$ —— 发送 i 位+1500 位数据所需时间长度；

$T(bit_i)$ —— 发送 i 位数据所需时间长度；

bit_i —— 发送的第 i 位数据；

i —— 发送数据的序号。

6.3.1.1.1.3 在定义的启动时间周期 T_{BAL} 之后，数据速率变化和应答器发出的数据抖动应满足如下最大时间间隔误差（MTIE）需求 1（与理论数据速率相关）或 MTIE 需求 2（与传输的平均速率相关）：

a) MTIE 需求 1 要求见公式（3）及图 2，其中 τ 为位数的测试区段，数据速率为 564.48kbit/s；

$$MTIE(1) = \begin{cases} 272 \times 10^{-9}s & 1 \leq \tau \leq 16bit \\ 396 \times 10^{-9}s & 16bit < \tau \leq 140bit \\ \tau \times 10^{-6}/564.48 + 148 \times 10^{-9}s & 140bit < \tau \leq 1000bit \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

τ —— 比特数。

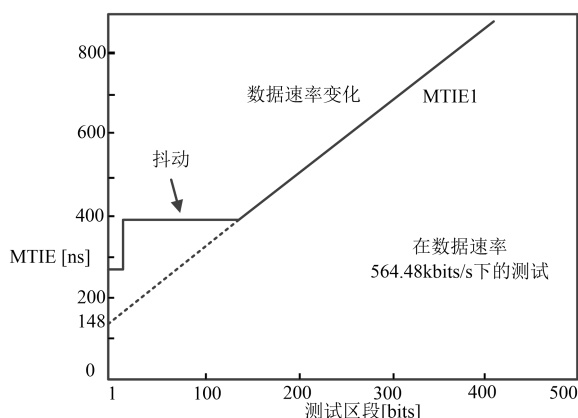


图 2 MTIE 需求 1

b) MTIE 需求 2 要求见公式（4）及图 3，其中 τ 为位数的测试区段，数据速率为实测的平均数据速率。

$$MTIE(2) = \begin{cases} 236 \times 10^{-9}s & 1 \leq \tau \leq 5bit \\ 370 \times 10^{-9}s & 5bit < \tau \leq 50bit \\ 2.5 \times \tau \times 10^{-6}/564.48 + 148 \times 10^{-9}s & 50bit < \tau \leq 1000bit \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

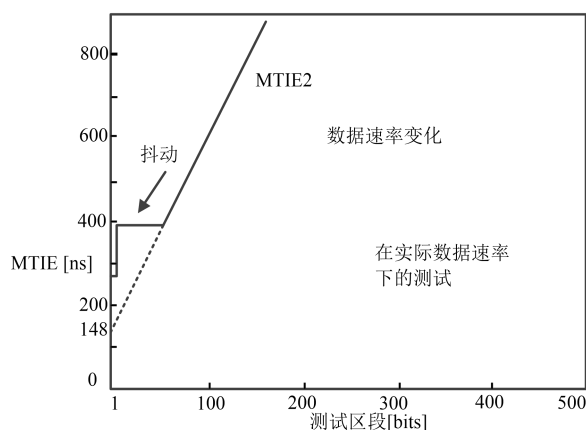


图 3 MTIE 需求 2

6.3.1.1.1.4 对于每个任意周期 $1.77 \mu s$ 间隔（独立于位转换），允许幅度抖动为平均幅度值偏差 $+1.5/-2.0dB$ ，见图 4。

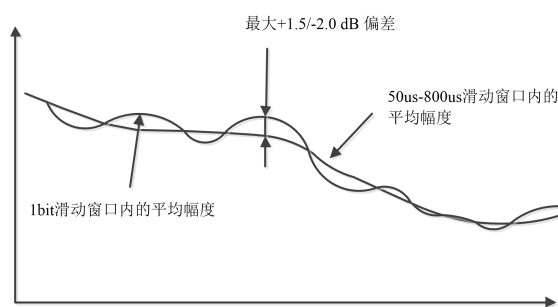


图4 幅度抖动

6.3.1.1.1.5 传输随机用户数据时，以实测中心频率为中心，1MHz 带宽内的信号功率（均方根值）应比以下两频带内信号功率（均方根值）之和 10dB：

- a) 以实测中心频率上移 1MHz 为中心，带宽 1MHz；
- b) 以实测中心频率下移 1MHz 为中心，带宽 1MHz。

6.3.1.1.2 应答器参考区域

6.3.1.1.2.1 应答器的参考区域分扩展尺寸和标准尺寸两种规格，参考区域应以 Z 轴为中心，与应答器 X 和 Y 轴在相同平面。两种规格应答器参考区域为：

- a) 扩展尺寸应答器参考区域应为：200 mm×950 mm；
- b) 标准尺寸应答器参考区域应为：200 mm×390 mm。

6.3.1.1.2.2 由天线单元输出、穿过参考区域的信号，被定义为总磁通量 Φ_d 。

6.3.1.1.2.3 由应答器输出的磁场强度，被定义为环绕参考区域的电流 I_0 。

6.3.1.1.2.4 标准尺寸参考环可用于测量天线单元发出的磁通量以及应答器发出的磁场强度，参考环应符合定义的参考区域。

6.3.1.1.2.5 输入到标准尺寸应答器的磁通量应与从参考区域测量到的磁通量一致。标准尺寸应答器输出的磁场应与参考区域的电流产生的磁场一致。

6.3.1.1.3 标准尺寸应答器磁场分布

6.3.1.1.3.1 上行链路应答器的磁场强度垂直分量应与参考磁场一致。

6.3.1.1.3.2 参考磁场是在自由空间中围绕参考区域的恒定电流产生的垂直分量。当参考区域的磁场强度分别低于 R_0-C 和 R_0-D （见图 6、图 7）时，参考磁场分别被限定为 R_0-C （在靠近作用区的凹陷处）和 R_0-D ，其中 R_0 为 $Z=220\text{mm}$ 时作用区的最大磁场强度。应答器输出的信号强度与参考磁场的差值构成上行链路的一致性偏差，用 dB 表示。

6.3.1.1.3.3 磁场被定义为三个区域：作用区、旁瓣区和串扰区。

6.3.1.1.3.4 应答器的输入信号是通过应答器参考区域的磁通量，由天线单元产生。该输入信号与参考区域接收到的磁通量的磁场一致性偏差要求，应与上行链路磁场一致性偏差要求相同。本一致性要求仅适用于作用区和旁瓣区

6.3.1.1.3.5 作用区定义为 16 角的柱状型，见图 5。

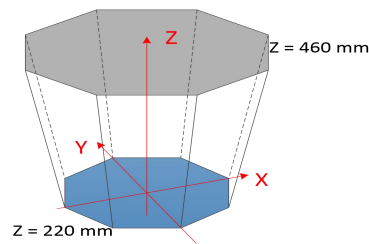


图 5 作用区

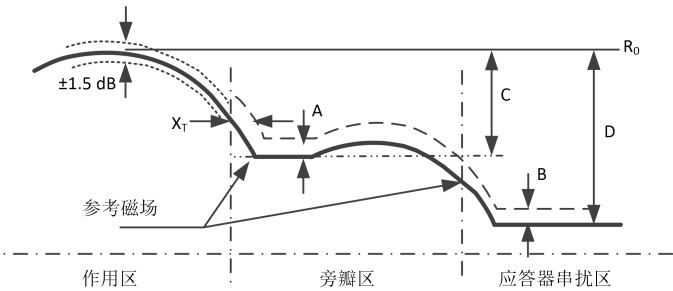
6.3.1.1.3.6 柱状作用区的范围见表 3。

表 3 作用区范围

单位为毫米

垂直距离	参考区域横向安置		参考区域纵向安置	
Z=220	X=0	Y=±250	X=0	Y=±200
	X=±200	Y=0	X=±250	Y=0
	X=±150	Y=±200	X=±200	Y=±150
Z=460	X=0	Y=±350	X=0	Y=±350
	X=±350	Y=0	X=±350	Y=0
	X=±300	Y=±300	X=±300	Y=±300

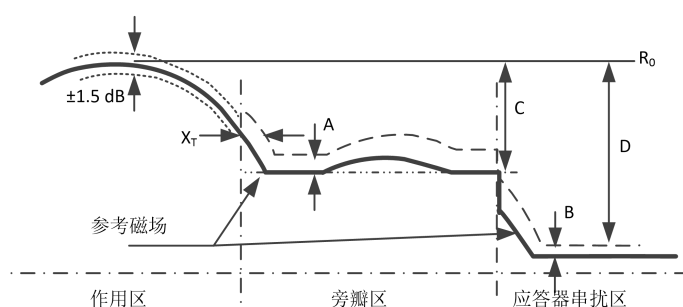
6.3.1.1.3.7 在作用区内，对一致性的要求是，应答器产生的磁场与参考磁场差值应在±1.5dB 内，见图 6，射频能量磁场与参考磁场差值应在±1.5dB 内，见图 7。



标引序号说明：

A=5dB；B=5dB；C=35dB；D=60dB；X_r=5cm；Y_r=5cm。

图 6 上行链路参考磁场和限定



说明：

A=5dB; B=5dB; C=35dB; D=60dB; $X_T=5\text{cm}$; $Y_T=5\text{cm}$ 。

图 7 射频能量参考磁场和限定

6.3.1.1.3.8 围绕应答器作用区以外的一定区域定义为旁瓣区，其范围为： $-1300\text{ mm} < X < +1300\text{ mm}$ ； $-1400\text{ mm} < Y < +1400\text{ mm}$ ； $+220\text{ mm} < Z < +460\text{ mm}$ 。

6.3.1.1.3.9 在临近作用区的旁瓣区位置，上行链路信号和射频能量的参考磁场不大于 $R_0 - C$ 。在临近串扰区的旁瓣区位置，仅射频能量适用此要求。

6.3.1.1.3.10 在旁瓣区内，参考磁场不低于参考磁场沿 X 轴平移 $\pm 5\text{cm}$ (X_T) 及沿 Y 轴平移 $\pm 5\text{cm}$ (Y_T) 后得到的值。

6.3.1.1.3.11 对旁瓣区的一致性要求是：由应答器产生的磁场与参考磁场之间的偏差应在 +5dB 与 $-\infty\text{dB}$ 之间，见图 6，应答器接收的射频能量磁场与参考磁场之间的偏差应在 +5dB 与 $-\infty\text{dB}$ 之间，见图 7。

6.3.1.1.3.12 在串扰区内，参考磁场限制为不超过 $R_0 - D$ 。

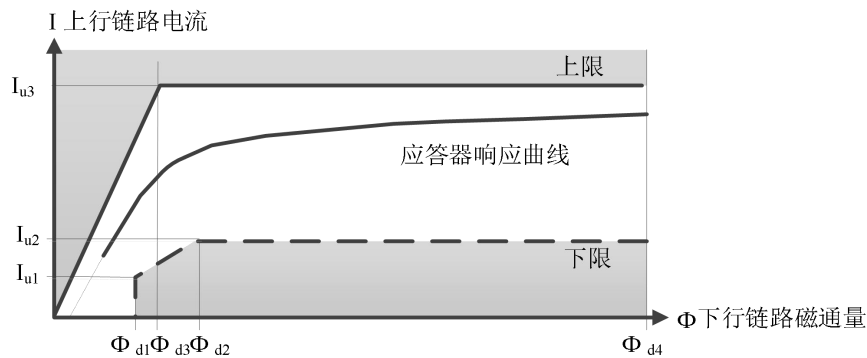
6.3.1.1.3.13 对串扰区的一致性要求是：由应答器产生的磁场与参考磁场之间的偏差应在 +5dB 与 $-\infty\text{dB}$ 之间，见图 6，应答器接收的射频能量磁场与参考磁场之间的偏差应在 +5dB 与 $-\infty\text{dB}$ 之间，见图 7。

6.3.1.1.3.14 应答器产生的磁场以及穿过应答器的磁通量，由于杂物覆盖和周边存在导磁材料，与自由空间的磁场型式相比会产生偏差，在设计天线单元时应考虑此偏差的影响。

6.3.1.1.3.15 杂物覆盖和导磁材料会影响应答器自身的效率，此影响应包含在应答器性能的限制说明中。

6.3.1.1.4 作用区的传输

6.3.1.1.4.1 应答器的输入输出特性应符合图 8 要求，该要求包含杂物覆盖、地面金属结构、安装装置以及电缆带来的影响。



标引序号说明：

I —为应答器产生的电流，表示上行链路磁场强度；

Φ—为应答器感应的磁通量。

图 8 应答器输入输出特性

6.3.1.1.4.2 标准尺寸应答器输入输出特性见表 4。

表 4 标准尺寸应答器输入输出特性

名称	下行链路磁通量				
	$\varphi_{d1}=4.9\text{nVs}$	$\varphi_{d2}=7.7\text{nVs}$	$\varphi_{d3}=5.8\text{nVs}$	$\varphi_{d4}=130\text{nVs}$	$\varphi_{d5}=250\text{nVs}$
上行链路电流 mA	$I_{u1}=37$	$I_{u2}=59$	$I_{u3}=186$	$I_{u3}=186$	非永久毁坏

6.3.1.1.4.3 扩展尺寸应答器输入输出特性见表 5。

表 5 扩展尺寸应答器输入输出特性

名称	下行链路磁通量				
	$\varphi_{d1}=5.3\text{nVs}$	$\varphi_{d2}=8.3\text{nVs}$	$\varphi_{d3}=6.3\text{nVs}$	$\varphi_{d4}=138\text{nVs}$	$\varphi_{d5}=250\text{nVs}$
上行链路电流 mA	$I_{u1}=35$	$I_{u2}=53$	$I_{u3}=168$	$I_{u3}=168$	非永久毁坏

6.3.1.1.4.4 当天线单元发出的磁通量在所定义的参考区域内超过 Φ_{d1} 时，应答器应开始工作，应答器发出的磁场强度应高于由环路电流 I_{u1} 表示的磁场强度。

6.3.1.1.4.5 当天线单元发出的磁通量在所定义的参考区域内超过 Φ_{d2} 时，应答器发出的磁场强度应高于环路电流 I_{u2} 表示的磁场强度。

6.3.1.1.4.6 当输入信号小于 Φ_{d1} 时，应答器的输出应被认为是非指定的属性。

6.3.1.1.4.7 当天线单元磁通量在所定义的参考区域内足够高时，应答器应工作在饱和状态。对继续增加的磁通量输入，上行链路的磁场强度应基本稳定，允许有一定程度的下降，磁通量每增加 1dB，

上行链路的磁场强度下降不超过 0.5dB。

6.3.1.1.4.8 天线单元不应在所定义的参考区域内产生超过 Φ_{d4} 的磁通量，否则不能保证应答器的正常功能。

6.3.1.1.4.9 当应答器从天线单元接收到 Φ_d 磁通量，应答器的接收环路产生感应电压，并在接收环路中产生电流 $I_{\text{reflected}}$ 。如果距天线单元很近，该电流可能会影响天线单元。这种相互作用可以表示为阻抗 $Z_{\text{reflected}}$ （感应电压 $\omega \Phi_d$ 除以电流 $I_{\text{reflected}}$ ），两种规格应答器阻抗为：

- 当应答器接收到的磁通量达到 $\Phi_{d4}+0/-3$ dB 时，扩展尺寸应答器的阻抗 $Z_{\text{reflected}}$ 的绝对值应大于 40Ω ；
- 当应答器接收到的磁通量达到 $\Phi_{d4}+0/-3$ dB 时，标准尺寸应答器的阻抗 $Z_{\text{reflected}}$ 的绝对值应大于 40Ω 。

6.3.1.1.5 标准应答器启动时间

当磁通量达到 Φ_{d1} 时，标准尺寸应答器应在 $150\mu\text{s}$ (T_{BAL}) 内采用 FSK 调制方式向接口 “A” 发送数据，见图9。

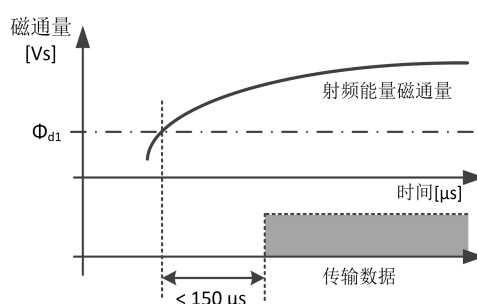


图9 应答器启动时间

6.3.1.2 射频能量（接口 “A4”）

6.3.1.2.1 由天线单元产生磁场将能量传送给地面应答器，使应答器获得足够的能量并提供输出信号，与发出磁场的天线单元形成作用范围。

6.3.1.2.2 射频能量信号为连续（CW）信号，磁场频率为 $27.095\text{MHz} \pm 5\text{kHz}$ 。当频偏不小于 10kHz 时，载波噪声应小于 -110dBc/Hz 。

6.3.1.2.3 BTM 及天线单元应在各种操作条件下，当应答器阻抗满足要求时，在应答器的参考区域中的磁通量不应大于 Φ_{d4} 。

6.3.1.3 应答器报文读写（接口 “A5”）

6.3.1.3.1 对应答器进行报文写入的过程（包括工具）应保证每个应答器写入了预期的报文并存储在正确的位置。

6.3.1.3.2 在正常运用和储存期间，应答器不应因受到电磁干扰而错误激活报文写入操作。

6.3.1.3.3 报文写入过程应满足本标准定义的安全要求。

6.3.1.3.4 该接口的内容由应答器设备厂商确定。

6.3.2 接口 “B”

6.3.2.1 接口 “B” 通信方式

接口“B”采用串行主从通信方式，车载主机单元为主机，BTM为从机，可采用RS422、CAN总线、MVB总线、Profibus总线或其他串行数据总线方式，具体方式由系统设计确定或由车载设备制造商确定。

6.3.2.2 接口“B”通信协议

6.3.2.2.1 接口“B”通信协议应符合 GB/T 24339—2023 的规定。

6.3.2.2.2 BTM 向车载主机单元传输的用户报文数据和定位信息，还应考虑其他的保护措施。

6.3.2.3 BTM 与车载主机单元信息交换内容

6.3.2.3.1 BTM 向车载主机单元传输的信息应至少包含解码后的用户报文、位置数据、错误报告、设备工作状况等内容。

6.3.2.3.2 车载主机单元向 BTM 传输的信息宜包含时间数据、里程数据、列车运行速度、射频能量开/关指令等。

6.3.3 接口“C”

6.3.3.1 接口“C”要求

6.3.3.1.1 接口“C”适用的电缆最大长度为 2500m，若有超过 2500m 应用的情况，LEU 和应答器厂商双方应进行确认。

6.3.3.1.2 接口“C”所规定的电气特性，如果不做特别说明，均指对 LEU 输出端的规定。

6.3.3.1.3 接口“C1”、“C4”、“C6”应共用相同的一对电缆芯线。

6.3.3.1.4 电缆芯线不限时的意外短路或开路不应造成所连接设备的永久损坏。

6.3.3.1.5 接口“C”传输的信号无极性要求，即交换两根输入线不应影响接口功能。

6.3.3.1.6 接口“C”所采用的电缆应符合 TB/T 3100.6—2017 的要求。

6.3.3.2 上行链路数据输入（接口“C1”）

6.3.3.2.1 连接 120 Ω 阻性负载时，信号幅度（如图 11 中所示 V_2 ）应符合表 6 的规定。

表 6 接口“C1”信号幅度

信号幅度 V_2	LEU 输出端要求 V_{pp}
最小值	14
最大值	18

6.3.3.2.2 连接 120 Ω 阻性负载，频率范围 0.2MHz~0.6MHz 时，在 LEU 连接器上的回波损耗应优于 6dB。

6.3.3.2.3 传输的基带信号应采用差分双相电平码（DBPL）的编码方式，见图 10，位值由两个阶段而确定，第一阶段是将每个位单元中的相位转移翻译成字符，从“+1”到“-1”翻译成 A，“-1”到“+1”翻译成 B；第二个阶段是将当前字符与以前的字符相比较，如果相同，当前位值是“1”，如果不同，当前位值为“0”。

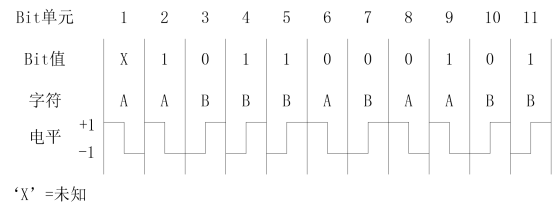


图 10 差分双相电平编码图示

- 6.3.3.2.4 平均数据速率为 $564.48 \times (1 \pm 0.02\%)$ kbit/s，平均数据速率定义为：1500 除以 1500 个连续数据位持续时间。
- 6.3.3.2.5 连接 120 Ω 阻性负载时的信号眼图应满足图 11 所示的要求，信号不应进入阴影区域（考虑实际平均数据速率以及实际 V_2 信号幅度），眼图参数应符合表 7 的要求。

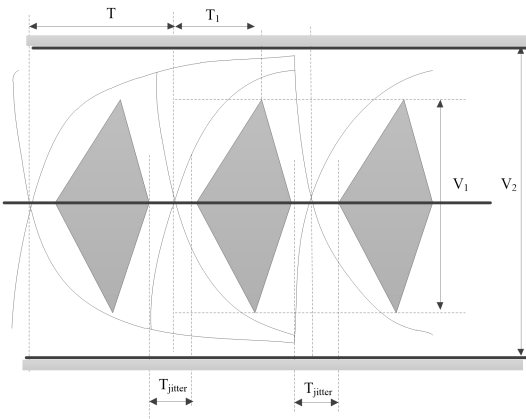


图 11 上行链路眼图

表 7 上行链路眼图参数

参数	LEU 输出端的要求
T	$1 / (2 \times \text{实际平均数据速率})$
T_{jitter}	60ns
T_1	$0.6 \times T$
V_1	$0.74 \times V_2$

- 6.3.3.2.6 连接 120 Ω 阻性负载时，上升沿和下降沿（10%~90%）的时间应大于 100 ns。

6.3.3.3 接口电源输入（接口“C6”）

- 6.3.3.3.1 接口“C6”由 LEU 向应答器上行链路串行接口输入电路提供电源。当实现接口“C4”时，接口“C6”用于传输“过车信号”的载波。
- 6.3.3.3.2 连接 170 Ω 阻性负载时，信号幅度应符合表 8 的规定。

表 8 接口“C6”信号幅度

信号幅度(连接 170 Ω 负载)	LEU 输出端要求 V_{pp}
最小值	20
最大值	23

- 6.3.3.3.3 连接 170 Ω 负载，频率范围为 $8.82\text{kHz} \pm 0.1\text{kHz}$ 时，LEU 输出端的回波损耗应优于 4dB。
- 6.3.3.3.4 信号为正弦波，频率为 $8.82\text{kHz} \pm 0.1\text{kHz}$ 。
- 6.3.3.3.5 二次谐波应小于 -20dBc (170 Ω 阻性负载)；高次谐波 RMS 应小于 -40dBc (120 Ω 阻性负载，0.1MHz~1MHz 间)。

6.3.4 接口“S”

6.3.4.1 接口方式

6.3.4.1.1 报文透明传输型 LEU 接口“S”采用串行主从通信方式，外部设备为主机，LEU 为从机，可采用 RS485、CAN 总线、以太网或其他串行数据总线方式，具体方式由系统设计确定或由制造商确定。

6.3.4.1.2 报文存储型 LEU 接口“S”可采用串行主从通信方式，也可通过采集外部开关量输入条件。采用串行主从通信方式时，外部设备为主机，LEU 为从机，可采用 RS485、CAN 总线、以太网或其他串行数据总线方式，具体方式由系统设计确定或与制造商商定；采用开关量输入条件采集方式时，LEU 应具备至少 16 路输入信号，其类型和方式由系统设计确定或由制造商确定。

6.3.4.1.3 LEU 采用串行通信方式时，应具备独立冗余的两个物理通信通道，单通道故障不应影响 LEU 正常工作。

6.3.4.2 接口协议

6.3.4.2.1 接口“S”串行通信协议应符合 GB/T 24339—2023 规定。

6.3.4.2.2 采用开关量输入条件采集方式时，应确定输入信号与报文的对应关系。

6.4 系统 RAMS 要求

6.4.1 安全性

6.4.1.1 应答器传输系统设备应符合故障-安全原则，符合 GB/T 28808—2021、GB/T 28809—2012、GB/T 21562—2008 中规定的要求，系统应达到安全完整性 SIL4 级要求。

6.4.1.2 可参照 TB/T 3485—2017 附录 F 进行危害源分析。

6.4.2 可靠性

6.4.2.1 无源应答器设备 MTTF 不应小于 3×10^5 h。

6.4.2.2 有源应答器设备 MTTF 不应小于 2×10^5 h。

6.4.2.3 LEU 设备 MTBF 不应小于 2×10^5 h。

6.4.2.4 BTM 设备（含天线单元）MTBF 不应小于 2×10^5 h。

6.4.3 可维护性

6.4.3.1 LEU 应具备功能易测性，在正常运行、自检或诊断操作中，应能提供故障记录或错误报告。

6.4.3.2 BTM 设备应具备功能易测性，在正常运行、自检或诊断操作中，应能提供故障记录或错误报告。

6.5 应答器

6.5.1 应答器基本功能

6.5.1.1 接收射频能量功能

6.5.1.1.1 应答器应以电磁感应方式接收天线单元发出的射频能量，并将其转换为电能，建立上行链路传输的工作电源。

6.5.1.1.2 应答器应具备对输入功率的限制能力，以免输入信号过强而损坏应答器。

6.5.1.2 发送上行链路信号功能

6.5.1.2.1 应答器建立上行链路传输的工作电源后，应以电磁感应方式向天线单元发送上行链路信号。

- 6.5.1.2.2 上行链路传输的数据来源于应答器中的非易失存储器，或来源于接口“C”的串行数据流。
- 6.5.1.2.3 应答器在作用区之前或之后（旁瓣区）被激活，不应影响作用区的信号传输。
- 6.5.1.2.4 应答器应在允许的环境条件下（杂物覆盖、温度等）正常发送上行链路信号。

6.5.1.3 数据管理功能

- 6.5.1.3.1 应答器应产生正确的上行链路数据发送速率。
- 6.5.1.3.2 无源应答器发送自身存储的固定数据时，应正确将存储的数据串行、连续不间断输出。
- 6.5.1.3.3 有源应答器应正确处理与发送源于接口“C”的串行数据，正确处理发送默认报文的操作与时机。

6.5.1.4 启动时的模式选择功能

应答器在启动时，应检测当前射频能量的类型，对于符合本标准要求的射频能量，标准尺寸应答器应在图9规定的启动时间内予以响应；对于其他模式的射频能量，应答器可不予响应。

6.5.1.5 上行链路磁场的限制功能

应答器对其输出的磁场信号强度应具备限制功能，输出信号不应超过所允许的最大值。

6.5.1.6 支持编程和管理操作/编程模式功能

- 6.5.1.6.1 应答器应具备通过专门工具进行报文读写的功能，即采用专门工具对应答器进行报文写入、报文改写、报文读取校验的功能。
- 6.5.1.6.2 应答器应正确处理报文写入操作和报文发送操作，不应出现操作模式错误和混淆。

6.5.1.7 对接口“C”的数据接收功能

- 6.5.1.7.1 有源应答器应对接口“C”数据进行 DBPL 解码操作。
- 6.5.1.7.2 有源应答器在启动时，应对接口“C”输入的数据信号、接口供电信号进行检查，判断接口“C”的有效性，当接口“C”有效时，发送来源于接口“C”的串行数据；当接口“C”无效时，发送自身存储的默认报文，直至本次工作结束。有源应答器每一次被车载设备激活时，都应重新确定接口“C”是否有效。
- 6.5.1.7.3 有源应答器在上行链路信号发送接口“C”数据过程中，如果接口“C”信号中途失效，应在等价于 341 位数据传输的时间内（最大允许的时间），由传输源于接口“C”的数据正确转换到传输自身存储的默认报文。
- 6.5.1.7.4 一旦有源应答器开始发送默认报文，只要车载设备提供了足够的能量，即使接口“C”恢复了有效信号，有源应答器也应该继续发送默认报文，直至本次工作结束。

6.5.1.8 输入输出特性控制功能

应答器应在允许的运行环境条件下（杂物覆盖、温度等）正常接收射频能量，并正常控制上行链路信号强度，符合表4、表5中的要求。

6.5.1.9 串扰防护功能

- 6.5.1.9.1 在满足安装限制条件下，应答器应具备串扰防护能力。
- 6.5.1.9.2 应答器应符合以下串扰防护的要求：
 - a) 应答器满足作用区内输入输出特性要求；
 - b) 应答器在自由空间中满足一致性需求；

- c) 满足上行链路电流对附近电缆和接口“C”电缆感应的要求;
- d) 设备安装满足对电缆、护轮轨等约束条件。

6.5.2 应答器运用与安装

- 6.5.2.1 应答器组中应答器最小数为1,最大数为8。
- 6.5.2.2 不被链接的应答器组应至少由两个应答器组成。
- 6.5.2.3 同一应答器组中两个相邻应答器之间最小距离应符合附录A.1.3的规定。
- 6.5.2.4 安装装置应便于应答器的安装、更换、位置和角度调整,并具有一定的防盗措施。
- 6.5.2.5 安装装置金属部件对磁场的影响应在应答器设计中考虑。
- 6.5.2.6 应答器安装高度、横向误差、角度误差以及环境要求等应符合附录A的规定。
- 6.5.2.7 扩展尺寸应答器宜用于休眠、唤醒的应用场景。

6.6 地面电子单元 LEU

6.6.1 LEU 类型

- 6.6.1.1 LEU 从功能上分为两种类型,即报文透明传输型 LEU 和报文存储型 LEU,两种类型 LEU 可以是相同的硬件采用不同的软件配置,也可以是不同的硬件和软件。
- 6.6.1.2 报文透明传输型 LEU 通过串行通信接口周期从外部设备接收传输报文,按照接口“C”规定连续向有源应答器传输。
- 6.6.1.3 报文存储型 LEU 通过采集外部开关量输入条件或通过串行通信接口周期从外部设备接收外部设备输入条件,选取已存储在 LEU 内部的与输入条件相对应的报文,按照接口“C”规定连续向有源应答器传输。
- 6.6.1.4 每台 LEU 均应具备不少于四路输出能力,能同时向不少于四台有源应答器发送各自相对应的报文。

6.6.2 LEU 基本功能

6.6.2.1 数据接收与采集功能

- 6.6.2.1.1 报文透明传输型 LEU 通过安全通信协议接收受保护的报文数据。
- 6.6.2.1.2 报文存储型 LEU 采集外部开关量输入条件时,该输入信号及采集应符合故障安全原则;通过串行通信接口接收外部设备输入条件时,应采用安全通信协议。
- 6.6.2.1.3 采用串行通信方式的 LEU,在 2s 时间内没有收到正确有效的数据时,应向有源应答器输出默认报文。
- 6.6.2.1.4 采集外部开关量的 LEU,在 2s 时间内没有采集到正确有效的数据时,应向有源应答器输出默认报文。
- 6.6.2.1.5 LEU 接收到正确有效的数据后,在 600ms 时间内,应开始发送与接收数据相对应的报文。

6.6.2.2 报文存储与调用功能

- 6.6.2.2.1 报文透明传输型 LEU 应能存储不少于 4 条与有源应答器相对应的默认报文。
- 6.6.2.2.2 报文存储型 LEU 对应每一路输出,应能存储不少于 256 条长格式报文(含默认报文)。
- 6.6.2.2.3 LEU 存储的报文应准确无误,并正确存放在 LEU 存储单元的相应位置,报文调用时不得有误,且应有相应的安全措施。
- 6.6.2.2.4 存储的报文应对随机数据错误进行防护,应能检测到数据错误并得到及时处理。
- 6.6.2.2.5 存储的报文(含默认报文)应能通过报文读写工具进行检查、修改。

6.6.2.3 报文输出功能

6.6.2.3.1 一般条件下一根电缆只供一个有源应答器使用，如果多个数据通道合用一根电缆中的不同芯线，则应进行测试与确认。

6.6.2.3.2 LEU 应实时向有源应答器发送报文，LEU 与有源应答器间的电缆极限长度不小于 2500m，若有超过 2500m 应用的情况，需要 LEU 和应答器厂商双方进行确认。

6.6.2.3.3 当 LEU 转换报文时，在新老报文之间应插入 75 位至 128 位逻辑“1”（或“0”）的序列。

6.6.2.3.4 LEU 输出信号应满足 5.3.3 规定的接口“C”的要求。

6.6.2.3.5 LEU 应具备输出过流和过压保护功能，与有源应答器连接的电缆出现开路 and 短路时，LEU 不应受到永久性损坏。

6.6.2.4 电缆开短路检测功能

宜具备监测与有源应答器间电缆的开路和短路状态，并能通过串行通信接口向其他外部设备提供电缆故障信息。允许在 LEU 外部设置模块或部件，与 LEU 相配合完成长距离电缆状态监测功能。

6.6.3 LEU 运用与安装

6.6.3.1 LEU 设备一般设置在室内机械室，可放置在专门的 LEU 设备柜内，也可放置在联锁或其他设备柜内的合适位置。

6.6.3.2 按系统设计要求，LEU 可热备冗余，由联锁或其他设备对 LEU 的输出通道进行切换控制。

6.6.3.3 LEU 设置在室外时，可通过光缆与其他设备通信。

6.7 BTM 及天线单元

6.7.1 BTM 及天线单元基本功能

6.7.1.1 产生射频能量功能

6.7.1.1.1 BTM 应提供射频能量，天线单元应通过“A”接口将该射频能量传输给应答器，用于激活应答器。

6.7.1.1.2 射频能量特性应满足章节 6.3.1.2 的要求。

6.7.1.1.3 射频能量强度应得到保证，BTM 应予以进行监测，强度过高或过低均应向车载主机单元报告。

6.7.1.1.4 BTM 设备应能根据车载主机单元的命令，开启或关断射频能量。

6.7.1.2 探测应答器功能

6.7.1.2.1 当车载主机单元在正常操作模式下，BTM 及天线单元就应具备探测应答器功能。

6.7.1.2.2 在车载主机单元没有向 BTM 发出停止功能检测指令的情况下，BTM 应周期性检测探测应答器的功能。

6.7.1.2.3 BTM 设备宜向车载主机单元传输关于地面设备故障的信息，包括传输探测到应答器而没有收到有效报文的信息。

6.7.1.2.4 如果探测到应答器而没有收到有效报文，BTM 宜向车载主机单元报告探测到应答器。

6.7.1.2.5 当 BTM 及天线单元丧失探测应答器功能时，应向车载主机单元报告。

6.7.1.2.6 在列车低速运行条件下天线单元还没有越过应答器时，BTM 可在超过报告周期时，将预定位信息和用户报文发送给车载主机单元。

6.7.1.2.7 BTM 对于接收的磁场强度应具有合适的阈值电压 V_{th} 。当接收到的磁场强度低于 V_{th} 阈值时，BTM 不应向车载主机单元传送接收到的报文。 V_{th} 值应设定为对应于指定参考区域在最不利位置的电流

I_{uth} ，与电流 I_{uth} 对应的磁场强度取决于指定参考区域的尺寸和方向（对于标准尺寸的参考区域应考虑横向和纵向安装）以及天线单元的设计。

6.7.1.2.8 当来自应答器的磁场强度高过 V_{th} 时，在制造商规定的时间 T_{DET} 以内，BTM 应探测到应答器。 T_{DET} 值的确定应适合不同的速度变化。

6.7.1.2.9 BTM 应能在作用区内接收到来自应答器的报文。

6.7.1.2.10 在应答器上方 X 轴方向发生可靠数据传输的距离应大于最小作用范围，并应考虑解码需求和应答器启动时间。作用范围长度 S 应符合公式（5）。

$$S > V \times (R \times T_{\text{BL}} + T_{\text{BAL}} + T_{\text{BTM}} + T_{\text{REL}}) \cdots \cdots (5)$$

式中：

V —— 综合天线单元、应答器和报文长度的最大规定速度；

R —— 安全接收报文的系数，对应解码所需的附加位数；

T_{BL} —— 长短报文的传输时间；

T_{BAL} —— 应答器的启动时间；

T_{BTM} —— BTM 和天线单元的反应时间；

T_{REL} —— 可靠传输所需的附加时间。

注： R 、 T_{BTM} 和 T_{REL} 由设备制造商定义，时间 T_{REL} 由系统层根据系统期望的可用性以及外部影响传输的噪音水平予以设定。

6.7.1.2.11 天线单元的设计应适用于 A 级和 B 级应答器。

6.7.1.3 上行链路信号的滤波和解调功能

6.7.1.3.1 BTM 及天线单元应接收上行链路频带的信号，并滤除其他的带外信号。

6.7.1.3.2 BTM 及天线单元应对上行链路信号进行解调，将 FSK 信号还原为数字信号。

6.7.1.4 物理串扰防护功能

6.7.1.4.1 BTM 应保证基于信号强度的串扰防护。

6.7.1.4.2 BTM 串扰防护基于下述条件：

- a) 天线单元的安装（在自由空间的高度、横向偏移和角度偏移）；
- b) 最大磁场强度；
- c) 最小接收阈值；
- d) 应答器最大输入输出特性；
- e) 应答器串扰区内上行链路信号最大的一致性偏差；
- f) 在串扰区的射频能量一致性偏差符合旁瓣区规定；
- g) 有关护轮轨的规定足以避免串扰的影响；
- h) 在各种条件下轨道上的电缆均符合约束条件；
- i) 设备满足安装规则。

6.7.1.5 旁瓣传输的物理防护，以及数据和位置影响的管理功能

6.7.1.5.1 BTM 应能依据时间里程信息、运行速度以及从接口“A1”接收的信号等信息，对旁瓣进行处理，滤除旁瓣产生的上行链路信号。

6.7.1.5.2 在经过一个应答器时，即使收到多个波瓣，BTM 应向车载主机单元报告只通过了一个应答器。

6.7.1.6 依据编解码要求检查上行链路输入数据功能

6.7.1.6.1 应符合 TB/T 3485—2017 中附录 A 的规定进行解码，对于不符合要求的输入数据应废弃。

6.7.1.6.2 如果所进行的解码不符合 TB/T 3485—2017 中附录 A 规定，则应对其安全性进行分析与计算。

6.7.1.7 检测报文类型并解码的功能

6.7.1.7.1 BTM 应能识别所接收的数据是长格式报文还是短格式报文。

6.7.1.7.2 BTM 应具备对两种格式的报文进行正确解码功能。

6.7.1.8 提取用户数据功能

提取解码后的长报文格式830位数据或短报文格式210位数据按通信协议向车载主机单元传送。

6.7.1.9 报文过滤功能

BTM应对接收的数据进行过滤，提供满足时延要求并已解码的有效报文。

6.7.1.10 在通过应答器时上行链路报文转换的管理功能

BTM在接收到报文转换的情况下，通常把转换后的有效报文及位置信息传送给车载主机单元，在某些情况下，如列车低速通过应答器时，可向车载主机单元传送多条有效报文及预定位信息。

6.7.1.11 输出数据加入时间戳和里程戳功能

BTM向车载主机单元传送的数据包含时间戳和/或里程戳数据，该时间戳和里程戳应是天线单元参照标记经过应答器参照标记的数据。

6.7.1.12 支持应答器定位功能（安全和非安全应用）

经过每一个应答器时，BTM应向车载主机单元提供能判定应答器参照标记的有效数据，这些数据可以是以时间的方式和/或以位置的方式，若车载主机单元提供时间和位置数据，BTM以此为基准，计算的时间和位置数据的误差应满足系统定位的误差需求。

6.7.1.13 误码检测功能

BTM应对上行链路数据进行误码检测，并能记录或提供评估数据接收质量的相关数据。

6.7.1.14 启动测试功能

BTM在上电启动时应进行自检测试，并对天线单元进行检测，出现故障或异常时，应向车载主机单元报告。

6.7.1.15 设备自检功能

BTM在运行中，应周期性进行自检测试，并对天线单元进行检测，出现故障或异常时，应向车载主机单元报告。

6.7.2 BTM 及天线单元运用与安装

6.7.2.1 BTM 应安装在能防止风、沙、雨、雪直接侵入的车体内合适位置，天线单元安装在列车底部。

6.7.2.2 接口“D”电缆安装及电缆走线路径应避免电力牵引装置、电力电缆、电动机等，并保持一定距离。

T/CAMET XXXXX—XXXX

- 6.7.2.3 天线单元安装应符合附录 B 的规定。
- 6.7.2.4 制造商应按照附录 B 中表 B.3 和表 B.4 规定的内容，提出最大允许的天线单元杂物覆盖、静态和动态偏移。
- 6.7.2.5 在符合附录 B 规定的线路金属物体条件下，BTM 及天线单元应能正常探测到应答器，且不发出报警信息；在经过规定范围以外的金属物时，允许 BTM 向车载主机单元发出报警信息。

6.8 机械应力

- 6.8.1 应答器应符合 TB/T 2846—2015 中第三种分类规定的相关振动要求。
- 6.8.2 LEU 应符合 TB/T 2846—2015 中第一种分类规定的振动规定，对于室外运用的 LEU 应符合 TB/T 2846—2015 中第二种分类规定的振动规定。
- 6.8.3 BTM 及天线单元应符合 GB/T 25119—2021 中 4.1.3 规定的冲击和振动相关要求。

6.9 电磁兼容

- 6.9.1 应答器、LEU 应满足 GB/T 24338.5—2018 中规定的相关要求，其中浪涌、静电放电性能判据为 B，其他相关指标的性能判据为 A。
- 6.9.2 BTM 及天线单元应符合 GB/T 24338.4—2018 规定的相关要求，其中浪涌、静电放电性能判据为 B，其他相关指标的性能判据为 A。
- 6.9.3 应答器、BTM 及天线单元射频场感应的传导骚扰试验的免测频段为 2.5MHz～6MHz 以及 27.095MHz±0.5MHz。现场环境应用时 BTM 及天线单元在 2.5MHz～6MHz 频段内应能承受峰值不大于-60dBm 的环境噪声。

6.10 绝缘配合

- 6.10.1 应答器、LEU 应符合 GB/T 32350.1—2015 中规定的 OV3 类相关要求。
- 6.10.2 BTM 及天线单元应符合 GB/T 25119—2021 中 12.2.10 规定的绝缘试验要求。

6.11 雷电防护

- 6.11.1 应答器数据传输通道电缆的室内引入端应采取防雷设计。
- 6.11.2 在采取了必要的防电磁干扰和防雷措施之后，LEU 应符合 TB/T 3498-2018 中规定的相关要求，且不应产生指标下降和功能上非期望的偏差。
- 6.11.3 LEU 设备接地电阻不应大于 4Ω。

7 试验方法

7.1 应答器测试

7.1.1 应答器功能与性能测试

7.1.1.1 标准尺寸应答器功能与性能测试

标准尺寸应答器测试内容见表9，测试方法按照TB/T 3544—2018中第5章和附录D中的测试方法进行测试，测试条件符合TB/T 3544—2018中4.1、附录B、附录C、附录E中的相关要求。

表 9 标准尺寸应答器测试内容

序号	测试项目	测试条件
1	作用区应答器上行链路磁场一致性测量	自由空间

2	旁瓣区应答器上行链路磁场一致性测量	自由空间
3	串扰区应答器上行链路磁场一致性测量	自由空间
4	作用区应答器射频能量磁场一致性测量	自由空间
5	旁瓣区应答器射频能量磁场一致性测量	自由空间
6	输入输出特性测量	自由空间, 盐水, 清水, 金属板 (CASE1), 铁矿石 (可选)
7	电缆串扰免疫 ^a	自由空间 (场景1, 场景2)
8	应答器阻抗	自由空间
9	上行链路信号特性测试	
9.1	中心频率与频率频偏	自由空间, 盐水, 清水, 金属板 (CASE3条件下可选), 高温, 低温, 钢枕 (可选), 铁矿石 (可选)
9.2	旁瓣后启动	自由空间
9.3	平均数据速率	自由空间, 盐水, 清水, 金属板 (CASE3条件下可选), 钢枕 (可选), 铁矿石 (可选)
9.4	MTIE	自由空间, 盐水, 清水, 金属板 (CASE3条件下可选), 高温, 低温, 钢枕 (可选), 铁矿石 (可选)
9.5	启动区幅度抖动	自由空间, 盐水, 清水, 金属板 (CASE3条件下可选), 钢枕 (可选), 铁矿石 (可选)
9.6	稳定区幅度抖动	自由空间, 盐水, 清水, 金属板 (CASE3条件下可选), 钢枕 (可选), 铁矿石 (可选)
10	信号带宽	自由空间
11	接口“C”到接口“A”的延时 (适用有源应答器)	自由空间
12	有源应答器控制接口特性测试 ^b	
12.1	电气数据对应信号幅值	自由空间
12.2	电气数据对应平均数据速率	自由空间
12.3	电气数据对应抖动特性	自由空间
12.4	多种回波损耗条件下的应答器测试	自由空间
13	默认报文切换	自由空间
14	破坏性测试	自由空间
^a 由供应商声明 A、B、C 的距离 ^b 测试项适用于有源应答器, 有源应答器的数据源按照 TB/T 3544—2018 中附录 C 中的表 C.9 的要求进行。		

7.1.1.2 扩展尺寸应答器功能与性能测试

扩展尺寸应答器的测试内容见表10, 测试方法按照TB/T 3544—2018中第5章和附录D中的要求进行, 测试条件符合TB/T 3544—2018中4.1、附录B、附录C、附录E中的相关要求。其中, 应答器阻抗的判据为大于40Ω, 输入输出特性符合6.3.1.1.4中扩展尺寸应答器的要求。

表 10 扩展尺寸应答器测试内容

序号	测试项目	测试条件
1	输入输出特性测量	自由空间, 盐水 (可选), 清水 (可选), 金属板 (可选), 铁矿石 (可选)
2	应答器阻抗	自由空间
3	上行链路信号特性测试	
3.1	中心频率与频率频偏	自由空间, 高温, 低温, 盐水 (可选), 清水 (可选), 金属板 (可选), 钢枕 (可选), 铁矿石 (可选)
3.2	旁瓣后启动	自由空间
3.3	平均数据速率	自由空间, 盐水 (可选), 清水 (可选), 金属板 (可选), 钢枕 (可选), 铁矿石 (可选)

3.4	MTIE	自由空间，高温，低温，盐水（可选），清水（可选），金属板（可选），钢枕（可选），铁矿石（可选）
3.5	稳定区幅度抖动	自由空间，盐水（可选），清水（可选），金属板（可选），钢枕（可选），铁矿石（可选）
4	信号带宽	自由空间
5	电缆串扰免疫	自由空间
6	破坏性测试	自由空间
注1：扩展尺寸应答器输入输出特性测试不做A、B、C、D项的修正。		
注2：扩展尺寸应答器测试校准时，采用标准尺寸参考环进行校准，其中上行链路校准时Iu2设定为53mA。		

7.1.2 应答器型式试验

7.1.2.1 温度试验

7.1.2.1.1 低温试验

按照GB/T 2423.1—2008进行试验。

低温条件：-40℃，4h。

按TB/T 3544—2018附录D.6.5和附录D.6.8要求进行试验，试验结果应符合TB/T 3544—2018 表 2 中第1项和第4 要求。

7.1.2.1.2 高温试验

按照GB/T 2423.2—2008进行试验。

高温条件：+70℃，4h。

按TB/T 3544—2018中附录D.6.5和附录D.6.8要求进行试验，试验结果符合TB/T 3544—2018中 表 2 的第 1 项和第 4 项要求。

7.1.2.1.3 交变湿热试验（适用有源应答器）

按照GB/T 2423.4—2008进行试验。

交变湿热条件：+55℃；循环次数：2。

恢复1h后，按TB/T 3544—2018中附录D.6.5和附录D.6.8要求进行试验，试验结果符合TB/T 3544—2018中 表 2 的第1项和第4项要求。

7.1.2.2 振动试验

按照TB/T 2846—2015表2中规定的3类进行1个循环的共振试验及耐久试验，试验完成后，检验应答器输出报文正确。

7.1.2.3 电磁兼容试验

应答器电磁兼容试验按照GB/T 24338.5—2018进行。

试验内容及其限值如表11所示，试验注意事项符合GB/T 24338.5—2018中6.2中规定的要求。

射频场感应的传导骚扰抗扰度试验的免测频段为2.5MHz～6MHz以及27.095MHz±500kHz。

表 11 应答器电磁兼容试验及其限值

序号	试验项目	试验规范	单位	试验位置	性能判据	说明
1	射频电磁场辐射	80～800 10	MHz V/m	机箱端口	A级	-

		80	%AM (1kHz)			
2	数字通信设备的 射频电磁场辐射	800~1 000	MHz	机箱端口	A级	—
		20	V/m (载波的r. m. s值)			
		80	%AM (1kHz)	机箱端口	A级	—
		1 400~2 000	MHz			
		10	V/m (载波的r. m. s值)	机箱端口	A级	—
3	工频磁场	80	%AM (1kHz)			
		2 000~2 700	MHz	机箱端口	A级	—
		5	V/m (载波的r. m. s值)			
		80	%AM (1kHz)	机箱端口	A级	—
		5 100~6 000	MHz			
4	静电放电	3	V/m (载波的r. m. s值)	机箱端口	A级	—
		80	%AM (1kHz)			
		50	Hz	机箱端口	A级	—
5	脉冲磁场	100	A/m			
		直流	Hz	机箱端口	A级	—
		300	A/m			
6	电快速瞬变脉冲群	±6	kV (接触放电)	机箱端口	B级	—
7	浪涌	±8	kV (空气放电)			
8	射频场感应的传导骚扰	300	A/m	机箱端口	B级	—
9	电快速瞬变脉冲群	±2	kV (峰值)	I/O端口	A级	仅适用有源应答器
10	浪涌	5/50	ns (T _r /T _b)			
11	浪涌	5	kHz (重复率)	I/O端口	B级	仅适用有源应答器 ^a
12	浪涌	1.2/50	μs			
13	浪涌	±2	kV (线-地)	I/O端口	B级	仅适用有源应答器 ^a
14	浪涌	±1	kV (线-线)			
15	浪涌	0.15~80	MHz	I/O端口	A级	仅适用有源应答器
16	浪涌	10	V			
17	浪涌	80	%AM (1kHz)	I/O端口	A级	仅适用有源应答器
18	浪涌	80	%AM (1kHz)			

^a 在浪涌试验中，应答器受到瞬时干扰，若由接口“C”报文转换为自身存储的默认报文，干扰停止后重新激活应答器，并可以恢复传输接口“C”报文的状况，符合性能判据A的要求。

7.1.2.4 外壳防护等级测试

按照GB/T 4208—2017进行，满足IP67要求。

7.2 LEU 测试

7.2.1 LEU 功能与性能测试

LEU测试的相关内容见表12，测试方法按照TB/T 3544—2018中第6章和附录F中的规定进行。

表 12 LEU 测试内容

序号	测试项	说明
1	数据接收与数据采集测试	适用于具备开关量采集功能的LEU
2	串行通信数据输入测试	适用于具备串行通信功能的LEU
3	接口“C1”特性测量	--
4	接口“C6”特性测量	--

7.2.2 LEU 型式试验

7.2.2.1 温度试验

7.2.2.1.1 低温试验

按照GB/T 2423.1—2008进行试验。

低温条件：-40℃，4h，不通电。

按TB/T 3544—2018中6.1.2要求检验，结果符合TB/T 3544—2018中表7中序号1、2和表8中序号1、2内容的要求。

7.2.2.1.2 高温试验

按照GB/T 2423.2—2008进行试验。

高温条件：+70℃，4h，通电。

按TB/T 3544—2018中6.1.2要求检验，结果符合TB/T 3544—2018中表7中序号1、2和表8中序号1、2内容的要求。

7.2.2.1.3 交变湿热试验

按照GB/T 2423.4—2008进行试验。

交变湿热条件：+55℃；循环次数：2。

当输入电压为220VAC时，按照TB/T 1447—2015要求对电源端口与机壳间进行绝缘电阻测试，潮湿绝缘电阻不低于1.5MΩ。恢复1h后，按TB/T 3544—2018中6.1.2要求检验，结果符合TB/T 3544—2018中表7中序号1、2和表8中序号1、2内容的要求。

7.2.2.2 振动试验

对于室内运用的设备，按照TB/T 2846—2015表2中规定的1类进行1个循环的共振试验及耐久试验，试验完成后，按TB/T 3544—2018中6.1.2要求检验，结果符合TB/T 3544—2018中表7中序号1、2和表8中序号1、2内容的要求。

对于室外运用的设备，按照TB/T 2846—2015表2中规定的2类进行1个循环的共振试验及耐久试验，试验完成后，按TB/T 3544—2018中6.1.2要求检验，结果符合TB/T 3544—2018中表7中序号1、2和表8中序号1、2内容的要求。

7.2.2.3 电磁兼容试验

LEU电磁兼容试验按照GB/T 24338.5—2018进行。

选取LEU四路输出中任意一路进行试验。

试验内容及其限值见表13，试验注意事项按照GB/T 24338.5—2018中6.2中的相关要求进行。

表 13 LEU 电磁兼容试验及其限值

序号	试验项目	试验规范	单位	试验位置	性能判据
1	射频电磁场辐射	80~800 10 80	MHz V/m %AM(1kHz)	机箱端口	A级
2	数字通信设备的射频电磁场辐射	800~1000 20 80	MHz V/m (载波的r. m. s值) %AM(1kHz)	机箱端口	A级
		1 400~2 000 10 80	MHz V/m (载波的r. m. s值) %AM(1kHz)	机箱端口	A级
		2 000~2 700 5 80	MHz V/m (载波的r. m. s值) %AM(1kHz)	机箱端口	A级
		5 100~6 000 3 80	MHz V/m (载波的r. m. s值) %AM(1kHz)	机箱端口	A级
3	工频磁场	50 100	Hz A/m(r. m. s值)	机箱端口	A级
		直流 300	Hz A/m	机箱端口	A级
4	脉冲磁场	300	A/m	机箱端口	B级
5	静电放电	±6 ±8	Kv(接触放电) kV(空气放电)	机箱端口	B级
6	射频场感应的传导骚扰	0.15~80 10 80	MHz V %AM(1kHz)	I/O端口 电源端口 接地端口	A级
7	电快速瞬变脉冲群	±2 5/50 5	kV(峰值) ns(T_r/T_f) kHz(重复率)	I/O端口 电源端口 接地端口	A级
8	浪涌	1.2/50 ±2 ±1	μs kV(线-地) kV(线-线)	I/O端口 电源端口	B级
9	传导发射	0.15~0.5 0.5~30	MHz MHz	电源端口	准峰值79dBuV, 平均值66dBuV 准峰值73dBuV, 平均值60dBuV
10	辐射发射	30~230 230~1 000	MHz MHz	机箱端口	3m, 准峰值50 dBuV/m 3m, 准峰值57 dBuV/m

7.2.2.4 雷电电磁脉冲防护试验

7.2.2.4.1 试验方法

LEU电源端口按照TB/T 3498—2018 表1中规定的严酷等级2进行试验, 信号端口按照表2中规定的严酷等级1进行试验。

对于室外运用的设备, LEU电源端口按照TB/T 3498—2018 表1中规定的严酷等级3进行试验, 信号端口按照表2中规定的严酷等级5进行试验。

7.2.2.4.2 预期结果

符合TB/T3498—2018中7.3规定的A类判定条件。

7.2.2.5 绝缘试验

7.2.2.5.1 试验方法

当输入电压为220VAC时，电源端口与机壳间按照TB/T 1448—2018表2要求，进行耐压测试，测试电压1000VAC，施加电压时间1分钟；按照TB/T 1447—2015中相关要求对电源端口与机壳间进行绝缘电阻测试。

7.2.2.5.2 预期结果

耐压试验结果应符合TB/T 1448—2018中6.2.4规定的要求。
正常绝缘电阻不低于25MΩ。

7.3 BTM 及天线单元测试

7.3.1 BTM 及天线单元功能与性能测试

BTM及天线单元按照表14中的测试内容进行测试。

表 14 BTM 及天线单元测试内容

序号	测试项	说明
1	传输试验	按照 TB/T 3544—2018 中定义的最强应答器, 最弱应答器进行测试
1.1	标称环境	最高高度, 标称高度, 最低高度
1.2	金属物	最高高度, 最低高度
1.3	护轮轨	最高高度, 最低高度
1.4	金属平面 (CASE1 CASE2 CASE3)	最高高度, 最低高度
1.5	盐水 (CLASS B) (可选项)	最高高度
1.6	清水 (CLASS B) (可选项)	最高高度
1.7	铁矿石 (CLASS B) (可选项)	最高高度
2	射频能量信号电气特性测量	标称高度
2.1	标称环境	—
2.2	金属物	—
2.3	金属平面 (CASE1 CASE2 CASE3)	—
3	最大磁通量测量	最低高度
3.1	标称环境	—
3.2	金属平面 (CASE1 CASE2 CASE3)	—
4	上行链路信号电气特性试验	最强应答器, 最弱应答器; 标称高度;
4.1	标称环境	—
4.2	金属物	—
4.3	金属平面 (CASE1 CASE2 CASE3)	—
5	串扰免疫试验	最高高度, 最低高度
5.1	标称环境	—
5.2	金属物	—
5.3	护轮轨	—
6	电缆串扰免疫试验	最低高度
7	应答器探测能力监督试验	—
8	各类报文处理试验	最强应答器, 最弱应答器; 标称高度; 其中报文切换需测试 10km/h 和最高时速;
8.1	标称环境	—

表14 BTM及天线单元测试项（续）

序号	测试项	说明
8.2	金属物	—
8.3	金属平面（CASE1 CASE2 CASE3）	—
9	应答器序列处理	最强应答器, 最弱应答器; 标称高度
9.1	标称环境	—
9.2	金属平面（CASE1 CASE2 CASE3）	—
10	基本接收机解码功能试验	最强应答器, 最弱应答器; 标称高度
10.1	标称环境	—
10.2	金属平面（CASE1 CASE2 CASE3）	—
注1：测试时采用标准尺寸参考环，参考环横置，不考虑横向偏移，最高时速默认200km/h。 注2：金属平面选项中case3为可选项测试。		

测试方法按照TB/T 3544—2018中第7章和附录G中的规定的测试方法进行测试，测试条件符合TB/T 3544—2018中附录B、附录C、附录E中的相关要求。

7.3.2 BTM 及天线单元型式试验

7.3.2.1 温度试验

7.3.2.1.1 低温试验

按GB/T 25119—2021中12.2.4进行。

BTM低温条件：-25℃，4h，不通电。

天线单元低温条件：-40℃，4h，不通电。

按照TB/T 3544—2018中7.1.1、7.1.2要求进行试验，测试环境符合TB/T 3544—2018 G.1.1规定的要求，测试结果符合TB/T 3544—2018中7.1.1.2、7.1.2.2中的要求。

7.3.2.1.2 高温试验

按GB/T 25119—2021中12.2.5进行。

BTM高温条件：70℃，4h，通电。

天线单元高温条件：70℃，4h，通电。

按照TB/T 3544—2018中7.1.1、7.1.2要求进行试验，测试环境符合TB/T 3544—2018 G.1.1规定的要求，测试结果符合TB/T 3544—2018中7.1.1.2、7.1.2.2中的要求。

7.3.2.1.3 交变湿热试验

按GB/T 25119—2021中12.2.6进行。

检验BTM及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.3.2.2 振动与冲击

7.3.2.2.1 BTM 振动试验

按GB/T 21563—2018中1类B级进行，振动试验结束后检验BTM及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.3.2.2.2 天线单元振动试验

安装在转向架的天线单元按GB/T 21563—2018中2类进行，安装在车体的天线单元按GB/T 21563—2018中1类B级进行。

振动试验结束后检验BTM及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.3.2.2.3 BTM 冲击试验

按照GB/T 21563—2018中1类B级进行，冲击试验结束后检验BTM及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.3.2.2.4 天线单元冲击试验

安装在转向架的天线单元按GB/T 21563—2018中2类进行，安装在车体的天线单元按GB/T 21563—2018中1类B级进行。

冲击试验结束后检验BTM及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.3.2.3 电磁兼容试验

BTM电磁兼容试验按GB/T 24338.4—2018进行。

试验内容及其限值见表15，试验注意事项参见GB/T 24338.4—2018中第6章、第7章和第8章中的要求。

射频场感应的传导骚扰抗扰度试验的免测频段为2.5MHz～6MHz以及27.095MHz±500kHz。

表15 BTM电磁兼容试验及其限值

序号	试验项目	试验规范	单位	试验位置	性能判据
1	射频电磁场辐射	80～800 20 80	MHz V/m %AM(1kHz)	机箱端口	A级
2	静电放电	±6 ±8	KV(接触放电) kV(空气放电)	机箱端口	B级
3	数字无线电话的射频电磁场辐射	800～1 000 20 80	MHz V/m(载波的r. m. s值) %AM(1kHz)	机箱端口	A级
		1 400～2 000 10 80	MHz V/m(载波的r. m. s值) %AM(1kHz)	机箱端口	A级
		2 000～2 700 5 80	MHz V/m(载波的r. m. s值) %AM(1kHz)	机箱端口	A级
		5 100～6 000 3 80	MHz V/m(载波的r. m. s值) %AM(1kHz)	机箱端口	A级
4	射频共模	0.15～80 10 80 150	MHz V(载波的r. m. s值) %AM(1kHz) 源阻抗Ω	I/O端口 电源端口	A级
5	电快速瞬变脉冲群	±2 5/50 5	kV(峰值) ns(T _r /T _d) kHz(重复率)	I/O端口 电源端口	A级
6	浪涌	1.25/50 2 1	μs kV(线-地) kV(线-线)	电源端口	B级
7	传导发射	0.15～0.5 0.5～30	MHz MHz	电源端口	准峰值99dBuV 准峰值93dBuV

表15 BTM电磁兼容试验及其限值（续）

序号	试验项目	试验规范	单位	试验位置	性能判据
8	辐射发射	30~230 230~1 000	MHz MHz	机箱端口	3m, 准峰值50 dBuV/m 3m, 准峰值57 dBuV/m

7.3.2.4 绝缘耐压试验

7.3.2.4.1 绝缘试验

按照GB/T 25119—2021中12.2.10进行，电源端口与机壳间绝缘电阻不应低于 $25\text{M}\Omega$ ，经过交变湿热试验后绝缘电阻不应低于 $1\text{M}\Omega$ 。

7.3.2.4.2 耐压试验

对电源端口与机壳间，按照GB/T 25119—2021中12.2.10进行试验。

7.4 LEU 与有源应答器长距离电缆连通试验

按照TB/T 3544—2018中8.1中的要求进行。

8 检验规则

8.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

8.2 出厂检验

8.2.1 应答器、LEU、BTM 及天线单元出厂时应进行出厂检验。

8.2.2 在出厂检验过程中，若任意一项不合格，均判该产品不合格。

8.3 型式检验

凡具有下列情况之一者，应进行型式检验：

- a) 新产品定型时；
- b) 产品结构、材料、生产工艺有重大改变，可能影响其性能时；
- c) 停产2年以上再生产时；
- d) 已定型产品转场生产时；
- e) 连续生产5年时。

8.4 检验项目

8.4.1 标准尺寸应答器检验项目应符合表16的规定。

表16 标准尺寸应答器检验项目

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	技术条款	检验方法
1	作用区应答器上行链路磁场一致性测量	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
2	旁瓣区应答器上行链路磁场一致性测量	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
3	串扰区应答器上行链路磁场一致性测量	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
4	作用区应答器射频能量磁场一致性测量	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1

表16 标准尺寸应答器检验项目（续）

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	技术条款	检验方法
5	旁瓣区应答器射频能量磁场一致性测量	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
6	输入输出特性测量	√	√	6.3.1.1	7.1.1.1
7	电缆串扰免疫	√	--	6.5.1.9	7.1.1.1
8	应答器阻抗	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
9	上行链路信号特性测试				
9.1	中心频率频偏	√	√	6.3.1.1	7.1.1.1
9.2	旁瓣后启动	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
9.3	平均数据速率	√	√	6.3.1.1	7.1.1.1
9.4	MTIE	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
9.5	启动区幅度抖动	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
9.6	稳定区幅度抖动	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
10	信号带宽	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
11	接口“C”到接口“A”的延时（适用于有源应答器）	√	--	6.1.7	7.1.1.1
12	有源应答器控制接口特性测试				
12.1	电气数据对应信号幅值	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
12.2	电气数据对应平均数据速率	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
12.3	电气数据对应抖动特性	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
12.4	多种回波损耗条件下的应答器测试	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
13	默认报文切换	√	--	6.5.1.7	7.1.1.1
14	破坏性测试	√	--	6.3.1.1	7.1.1.1
15	温度	√	--	4.1	7.1.2.1
16	密封、防尘	√	--	4.3	7.1.2.4
17	机械应力	√	--	6.8.1	7.1.2.2
18	电磁兼容	√	--	6.9.1 6.9.3	7.1.2.3
注：出厂检验仅在常温、自由空间条件下测试。					

8.4.2 扩展尺寸应答器检验项目应符合表 17 的规定。

序号	测试项目	型式检验	出厂检验	技术条款	检验方法
1	输入输出特性测量	√	√	6.3.1.1	7.1.1.2
2	应答器阻抗	√	--	6.3.1.1	7.1.1.2
3	上行链路信号特性测试				
3.1	中心频率频偏	√	√	6.3.1.1	7.1.1.2
3.2	旁瓣后启动	√	--	6.3.1.1	7.1.1.2
3.3	平均数据速率	√	√	6.3.1.1	7.1.1.2
3.4	MTIE	√	--	6.3.1.1	7.1.1.2
3.5	稳定区幅度抖动	√	√	6.3.1.1	7.1.1.2
4	信号带宽	√	--	6.3.1.1	7.1.1.2
5	电缆串扰免疫	√	--	6.5.1.9	7.1.1.2
6	破坏性测试	√	--	6.3.1.1	7.1.1.2
7	温度	√	--	4.1	7.1.2.1
8	密封、防尘	√	--	4.3	7.1.2.4
9	机械应力	√	--	6.8.1	7.1.2.2

10	电磁兼容	√	--	6.9.1 6.9.3	7.1.2.3
注：出厂检验仅在常温、自由空间条件下测试。					

表 17 扩展尺寸应答器检验项目

8.4.3 LEU 检验项目应符合表 18 的规定。

表 18 LEU 检验项目

序号	测试项	型式检验	出厂检验	技术条款	检验方法
1	数据接收与数据采集测试（适用于具备开关量采集功能的LEU）	√	√	6.3.4	7.2.1
2	串行通信数据输入测试（适用于具备串行通信功能的LEU）	√	√	6.3.4	7.2.1
3	接口“C1”特性测量	√	√	6.3.3.2	7.2.1
4	接口“C6”特性测量	√	√	6.3.3.3	7.2.1
5	LEU与应答器长距离传输	√	--	6.3.3.1	7.4
6	温度	√	--	4.1	7.2.2.1
7	机械应力	√	--	6.8.2	7.2.2.2
8	电磁兼容	√	--	6.9.1	7.2.2.3
9	雷电防护	√	--	6.11	7.2.2.4
10	绝缘试验	√	--	6.10	7.2.2.5
注1：接口“C1”特性测量出厂检验仅测试幅值和码率。					
注2：接口“C6”特性测量出厂检验仅测试幅值和频率。					

8.4.4 BTM 及天线单元检验项目应符合表 19 的规定。

表 19 BTM 及天线单元检测项目

序号	测试项	型式检验	出厂检验	技术条款	检验方法
1	传输试验				
1.1	标称环境	√	--	6.7.1.1	7.3.1
1.2	金属物	√	--	6.7.1.2	7.3.1
1.3	护轮轨	√	--	6.7.1.4	7.3.1
1.4	金属平面（CASE1 CASE2 CASE3）	√	--	6.7.1.5	7.3.1
1.5	盐水（CLASS B）	可选	--	6.7.1.9	7.3.1
1.6	清水（CLASS B）	可选	--	6.7.1.11	7.3.1
1.7	铁矿石（CLASS B）	可选	--	6.7.1.12	7.3.1
2	射频能量信号电气特性测量				
2.1	标称环境	√	√	6.7.1.1	7.3.1
2.2	金属物	√	--	6.7.1.1	7.3.1
2.3	金属平面（CASE1 CASE2 CASE3）	√	--	6.7.1.1	7.3.1
3	最大磁通量测量				
3.1	标称环境	√	--	6.7.1.1 6.7.1.4	7.3.1
3.2	金属平面（CASE1 CASE2 CASE3）	√	--	6.7.1.1 6.7.1.4	7.3.1
4	上行链路信号电气特性试验				
4.1	标称环境	√	--	6.7.1.3	7.3.1
4.2	金属物	√	--	6.7.1.3	7.3.1

4.3	金属平面 (CASE1 CASE2 CASE3)	√	--	6.7.1.3	7.3.1
5	串扰免疫试验				
5.1	标称环境	√	--	6.7.1.4	7.3.1
5.2	金属物	√	--	6.7.1.4	7.3.1
5.3	护轮轨	√	--	6.7.1.4	7.3.1
6	电缆串扰免疫试验	√	--	6.7.1.4	7.3.1
7	应答器探测能力监督试验	√	--	6.7.1.2	7.3.1
8	各类报文处理试验				
8.1	标称环境	√	--	6.7.1.7 6.7.1.8 6.7.1.10	7.3.1
8.2	金属物	√	--	6.7.1.7 6.7.1.8 6.7.1.10	7.3.1
8.3	金属平面 (CASE1 CASE2 CASE3)	√	--	6.7.1.7 6.7.1.8 6.7.1.10	7.3.1
9	应答器序列处理				
9.1	标称环境	√	--	6.7.1.11	7.3.1
9.2	金属平面 (CASE1 CASE2 CASE3)	√	--	6.7.1.11	7.3.1
10	基本接收机解码功能试验				
10.1	标称环境	√	--	6.7.1.6	7.3.1
10.2	金属平面 (CASE1 CASE2 CASE3)	√	--	6.7.1.6	7.3.1
11	温度	√	--	4.1.3 4.1.4	7.3.2.1
12	振动与冲击	√	--	6.8.3	7.3.2.2
13	电磁兼容	√	--	6.9.2 6.9.3	7.3.2.3
14	绝缘耐压	√	√	6.10.2	7.3.2.4
注：接口“C1”特性测量出厂检验仅测试幅值和码率。					

9 包装、运输和贮存

9.1 包装箱

包装箱外应用不褪色涂料清晰地标出标明“易碎物品”、“怕雨”等标志，并标明产品名称、数量、安装地点、到站及收发货单位名称、地址。

9.2 应答器包装

9.2.1 每台应答器的包装应能防潮、防振、防尘和防止运输过程中造成损坏。

9.2.2 对于已经完成报文写入的应答器，在盒内装入“应答器设备数据单”，在盒的正面粘贴有应答器编号、安装地点的标签。

9.3 LEU 包装

先将LEU放入塑料袋内，然后装入包装中，包装应能防潮、防振、防尘和防止运输过程中造成损坏。对于已经完成报文写入的LEU，在箱内装入“LEU设备数据单”。

9.4 BTM 及天线单元包装

BTM及天线单元的包装应能防潮、防振、防尘和防止运输过程中造成损坏。每台BTM及天线单元出厂时应有产品质量合格证和装箱单, 对每个用户必须提供用户手册一份, 其内容应包括BTM及天线单元的安装、使用及维护说明。

9.5 运输

产品在搬运过程中, 应轻拿轻放, 避免摔碰, 禁止无包装运输。运输过程中, 允许最长两周时间内, 环境温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 。

9.6 贮存

产品应贮存在通风良好, 温度为 $-25^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$, 空气相对湿度不应大于80%, 周围无带酸、碱或其他有害气体的库房中。贮存期超过半年, 应开箱通风; 贮存期超过一年, 应通电进行常温检验。

附录 A
(规范性)
应答器安装

A.1 一般情况下应答器安装要求

A.1.1 应答器安装高度

标准尺寸应答器在不同杂物覆盖应用等级条件下，不同杂物覆盖等级的应答器安装高度见表A.1，表A.1中的数值对应Z轴坐标。

表 A.1 应答器杂物覆盖等级、杂物覆盖应用等级对应的安装高度

单位为毫米

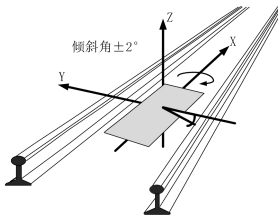
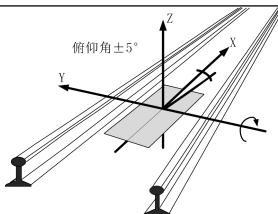
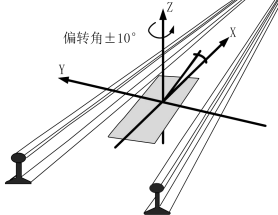
应答器尺寸	应答器杂物覆盖等级	杂物覆盖应用等级	
		A	B
标准尺寸	A	-93 ~ -150	-93 ~ -193
标准尺寸	B	不允许	-93 ~ -193

扩展尺寸应答器安装高度为-93 ~ -190毫米，如果安装环境超出范围，需要进行测试确认。

A.1.2 应答器安装的横向误差和角度误差

应答器安装的横向误差和角度误差要求见表A.2，适用于扩展尺寸和标准尺寸应答器。

表 A.2 应答器安装的横向误差和角度误差

内容	允许误差	说明
应答器Z轴参照标记与轨道中心轴之间的最大横向偏差	$\pm 15\text{ mm}$	一般应用的公差
旋转X轴允许的倾斜角	$\pm 2^\circ$	
旋转Y轴允许的俯仰角	$\pm 5^\circ$	
旋转Z轴允许的偏转角	$\pm 10^\circ$	

A. 1. 3 组内应答器之间的最小距离

两个标准尺寸应答器的最小中心距应为2. 3m，扩展尺寸应答器与标准尺寸应答器之间最小中心距为5m。

A. 2 杂物覆盖

A. 2. 1 A级应答器是当施加A级杂物覆盖条件时满足本标准的应答器，B级应答器是当施加B级杂物覆盖条件时满足本标准的应答器。

A. 2. 2 应答器杂物覆盖指标见表A. 3的规定。

表 A. 3 应答器上的杂物覆盖层和等级

单位为毫米

材料	描述	在应答器上方的厚度	
		A级	B级
水	清澈的	200	100
	含0. 1%NaCl (重量)	100	10
雪	新鲜的，0℃	300	300
	部分融化的（含水20%）	300	300
冰	无孔	100	100
道砟	石头	100	100
沙子	干或湿	20	20
泥浆	不含盐	50	50
	含0. 5%盐NaCl（重量）	50	10
铁矿石	赤铁矿石Fe ₂ O ₃	20	20
	磁铁矿石Fe ₃ O ₄	20	2
铁粉	列车制动产生的铁粉	10	10
煤粉	含8%硫磺	10	10
油及油脂	—	50	50

A. 2. 3 在施加杂物覆盖条件下，应按表A. 4所示增加磁通量 ϕ_{d1} 和 ϕ_{d2} 的值。

表 A. 4 磁通量增量（ ϕ_{d1} 和 ϕ_{d2} ）

单位为分贝

材料	描述	磁通量增量	
		A级	B级
水	纯净	3. 0	2. 0
	含0. 1%NaCl (重量)	2. 5	1. 0
铁矿石	磁铁矿（Fe ₃ O ₄ ）	2. 0	1. 0

A.3 周边金属物和电缆

A.3.1 无金属空间

A.3.1.1 应答器安装时，在其周边一定范围的空间内应避免存在金属物（被确认的安装装置除外），见图 A.1 和图 A.2，对应答器四边及下方（X、Y、Z 轴方向）的限制以应答器参照标记为基准点，该坐标系的原点垂直穿过应答器参照标记，向上的 Z 轴方向无金属空间延伸至高于应答器位置的轨面。在定义无金属空间范围内以及高于应答器的位置上，不应存在电气闭合回路。

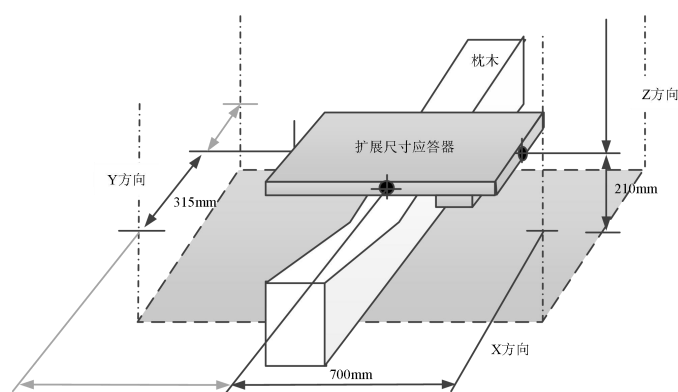


图 A.1 扩展尺寸应答器无金属空间

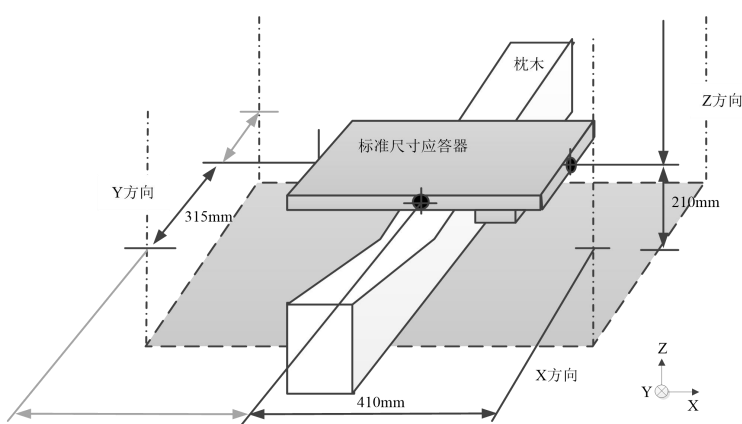


图 A.2 标准尺寸应答器无金属空间

A.3.1.2 无金属空间限制条件适用于正常操作情况。对于横向安装标准尺寸应答器，将图 A.2 中的应答器旋转 90 度，因此 Y 方向的无金属距离为 410mm，X 方向的无金属距离为 315mm。

A.3.1.3 当不能满足该无金属空间限制条件时，应按照 A.3.6 要求调整安装高度。

A.3.2 钢枕（可选）

A.3.2.1 对于在钢枕上安装标准尺寸应答器，将根据周边金属量调整安装高度 Z_0 ，见图 A.3。

A.3.2.2 标准尺寸应答器参照标记应距离钢枕表面不小于 60mm，当 $-160\text{mm} \leq Z \leq -139\text{mm}$ 时，最高位置

为轨面以下 79mm；当 $Z < -160\text{mm}$ 时，最高位置为轨面以下 93mm。

A. 3. 2. 3 钢枕的最高位置为轨面以下 139mm。

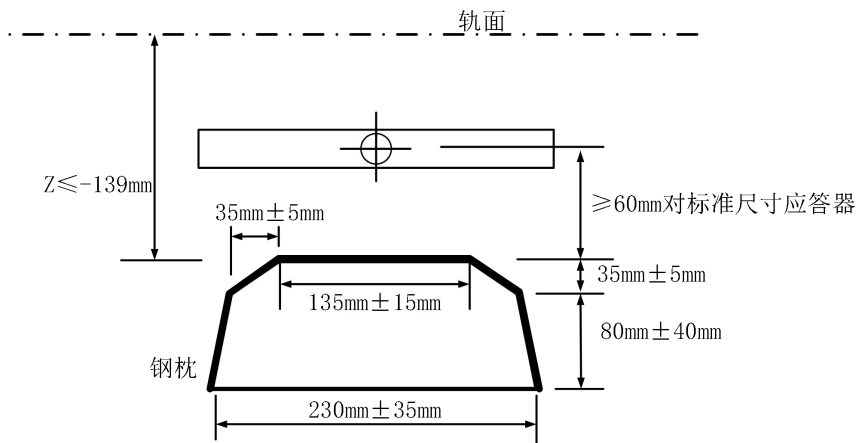


图 A. 3 钢枕上安装应答器

A. 3. 3 其他轨枕

安装装置以及混凝土轨枕紧固件不应构成或产生传导回路，如果有的话，应使用A. 3. 1和A. 3. 2所述的要求。安装装置、紧固件、安装型式应由应答器制造商确认。

A. 3. 4 护轮轨

A. 3. 4. 1 单侧或双侧放置护轮轨

A. 3. 4. 1. 1 为确保串扰防护和可靠传输，在应答器 Z 参照标记沿 X 方向 ±300mm 范围内（图 A. 4 中的 d_x ），应将靠近应答器位置的护轮轨全部截断，并保留至少 20mm 的缝隙。

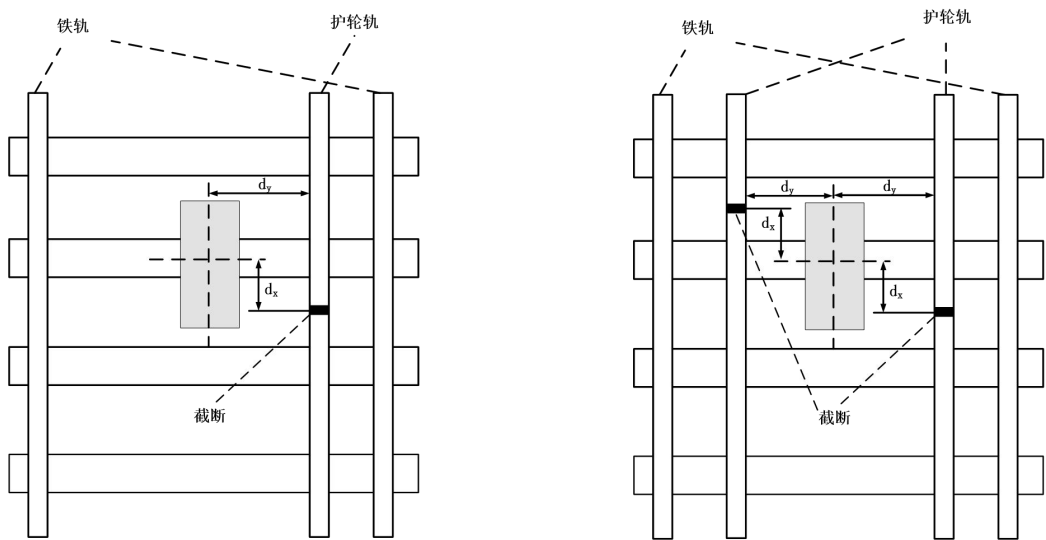


图 A. 4 单侧或双侧护轮轨条件下应答器安装

A.3.4.1.2 从应答器Z参照标记沿Y方向进行测量，无金属空间至少为以下数值：

- a) 对于标准尺寸应答器横向安装时， $d_y \geq 320 \text{ mm}$ ；
- b) 对于纵向安装时， $d_y \geq 220 \text{ mm}$ ，在X和Y参照标记之上100mm的平面上，无金属空间应至少为 $\pm 190 \text{ mm}$ 。

A.3.4.1.3 如果护轮轨与应答器不是平行的，则最短距离应符合上述要求。

A.3.4.2 中间放置护轮轨

在一些应用中，轨道中间放置两根护轮轨。如果要安装应答器，宜安装标准尺寸应答器，且护轮轨应断开，见图A.5，并满足以下条件：

- a) $Z_{gr} \geq 0 \text{ mm}$ ；
- b) Z_b 应满足定义的应答器安装规则；
- c) $l_1 \geq 0.94 \text{ m}$ ；
- d) $l_2 \geq 0.47 \text{ m}$ 。

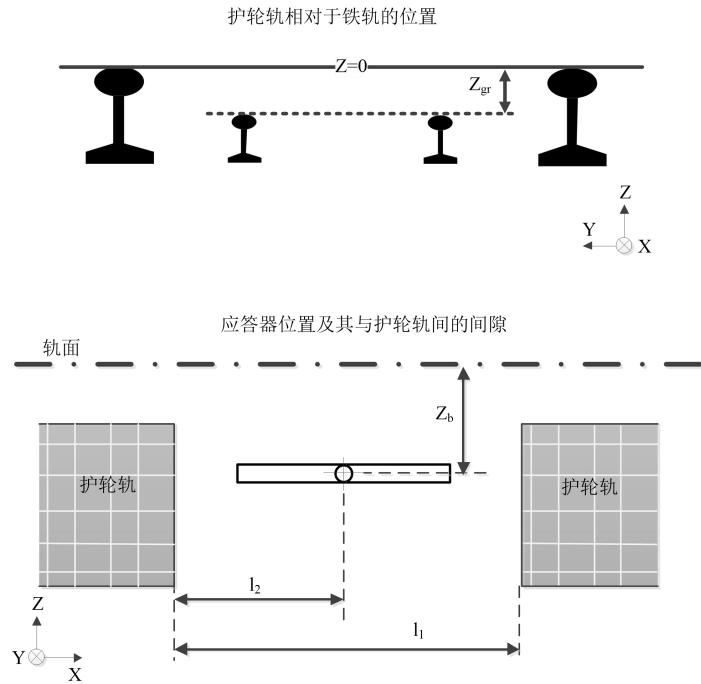


图 A.5 中间放置护轮轨

A.3.5 脱轨器底座

在一些应用中，轨道中间放置混凝土脱轨器底座（金属紧固件）。如果要安装应答器，宜安装标准尺寸应答器，且则脱轨器底座应有空档，见图A.6，并应满足以下数值：

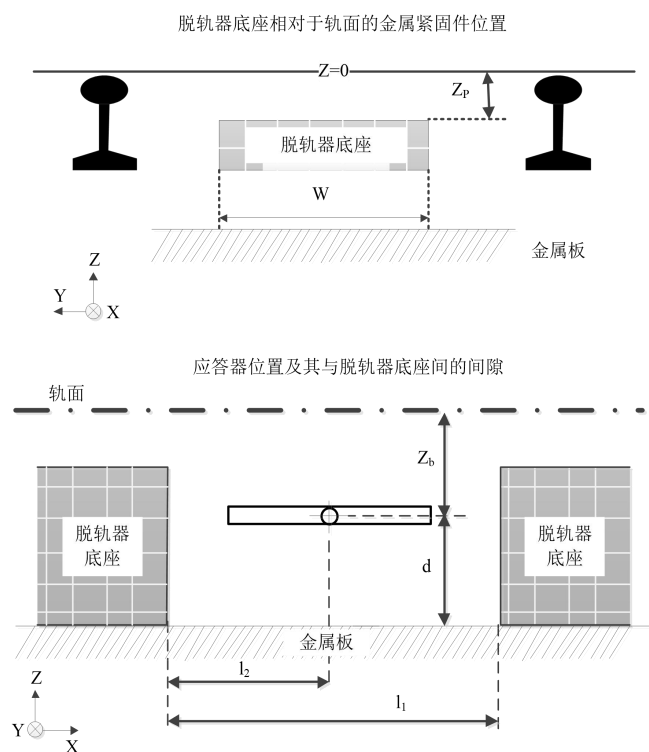


图 A. 6 脱轨器底座

- a) $Z_p \geq 80\text{mm}$;
- b) $W \leq 500\text{mm}$;
- c) $93\text{mm} \leq Z_b \leq 138\text{mm}$;
- d) $d \geq 140\text{mm}$;
- e) $l_1 \geq 1\text{m}$;
- f) $l_2 \geq 0.5\text{m}$.

A. 3. 6 其他干扰传导的材料

如果应答器下面包含传导材料，例如金属板、在交叉点连接的导体网，且距离应答器小于210mm，则应调整安装高度 Z_b ，见图A. 7。安装高度 Z_b 以及与轨面的距离 d 应考虑钢轨磨损。

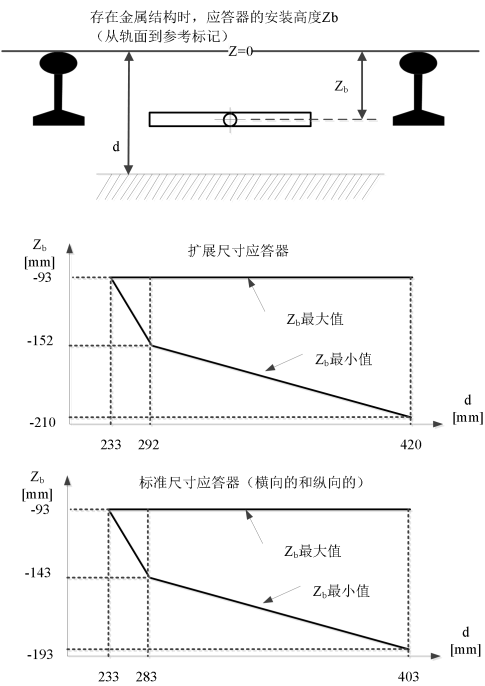


图 A. 7 存在金属结构时应答器安装高度

A. 3. 7 极端靠近金属平面的安装（可选）

- A. 3. 7. 1 对于应答器极端靠近金属平面的安装，应根据金属量来调整安装高度。仅适用于金属平面位于轨面以下 186mm~233mm 的安装条件，见图 A. 8。
- A. 3. 7. 2 应答器与轨面的距离 Z_b 应符合图 A. 9 和图 A. 10 所示的要求。
- A. 3. 7. 3 只在钢轨曲线半径大于 1000m 的地方使用此安装条件。
- A. 3. 7. 4 对此安装条件，横向安装标准尺寸应答器时，运用最大速度为 180km/h。

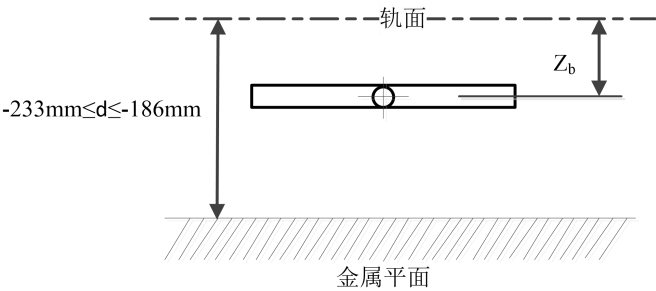


图 A. 8 极端靠近金属平面的应答器安装位置

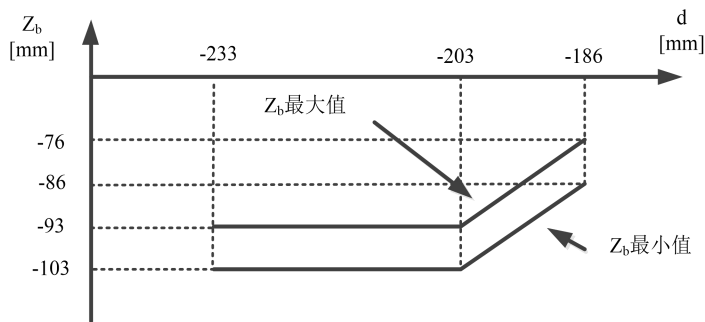


图 A. 9 扩展尺寸应答器安装高度

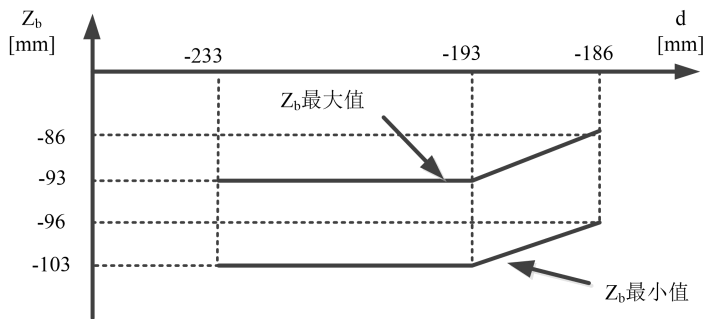


图 A. 10 标准尺寸应答器安装高度

A. 3. 8 干扰电缆

A. 3. 8. 1 应答器的安装应与其他电缆产生的相互作用最小，应答器应尽量远离电缆，以保证与电缆的相互作用保持在下面定义的水平以下。

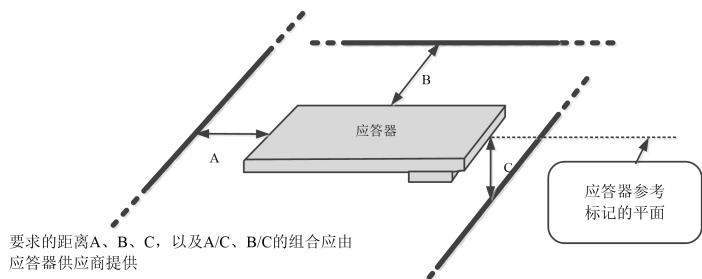


图 A. 11 电缆的位置

A. 3. 8. 2 当定义距离 A、B、C 时（见图 A. 11），应符合 A. 3. 1 规定的无金属空间要求。

A. 3. 8. 3 应答器的安装应使附近电缆感应上行链路信号的感应电流符合以下要求：

- a) 当电缆在轨面以下 93mm 或更低位置通过本轨或邻轨时，在通过位置的上行链路频带内感应电流应小于 2mA；
- b) 当电缆在轨面以下 493mm 或更低位置通过本轨或邻轨时，在通过位置的上行链路频带内感应电流应小于 10mA。

- A.3.8.4 应考虑所有应答器产生的最大的上行链路电流。
- A.3.8.5 应答器安装应保证临近的电缆从射频能量感应的最大电流值不会造成应答器故障（输入输出特性）。
- A.3.8.6 制造商提出的安装规则应能应对临近应答器的电流上升情况（上行链路信号和射频能量），以达到上述无串扰或无故障的要求。
- A.3.8.7 对电缆位于轨面以下等于或大于 93mm 位置的情况，如电缆位于距应答器 2m 以外的地方，可以认为达到要求，对电缆位于轨面以下等于或大于 493mm 位置的情况，电缆位于距应答器 1m 以外的地方，可以认为达到要求。在一般情况下同时适用于上行链路信号和射频能量。
- A.3.8.8 此安装规则应考虑由于对周边的电磁耦合而引起沿电缆的合成电流波动（例如反射、驻波等）。

A.3.9 在小曲线半径线路上的安装

A.3.9.1 工程原则

表A.5列出纵向曲线（凸面或凹面）和横向曲线的组合条件下的应答器安装限制条件索引，详细限制条件内容在A.3.9.2中描述。

表 A.5 曲线半径对应的安装限制条件

纵向曲线半径	横向曲线半径			
	$R \geq 300\text{m}$	$300\text{m} > R \geq 260\text{m}$	$260\text{m} > R \geq 200\text{m}$	$200\text{m} > R \geq 180\text{m}$
$R \geq 9000\text{m}$	无额外限制条件	A. 3. 9. 2. 1 A. 3. 9. 2. 2 A. 3. 9. 2. 3 A. 3. 9. 2. 4 A. 3. 9. 2. 6	A. 3. 9. 2. 1 A. 3. 9. 2. 2 A. 3. 9. 2. 3 A. 3. 9. 2. 5 A. 3. 9. 2. 6	A. 3. 9. 2. 1 A. 3. 9. 2. 2 A. 3. 9. 2. 3 A. 3. 9. 2. 5 A. 3. 9. 2. 6 A. 3. 9. 2. 7
$9000\text{m} > R \geq 3000\text{m}$	A. 3. 9. 2. 9	A. 3. 9. 2. 1 A. 3. 9. 2. 2 A. 3. 9. 2. 3 A. 3. 9. 2. 4 A. 3. 9. 2. 6 A. 3. 9. 2. 9	A. 3. 9. 2. 1 A. 3. 9. 2. 2 A. 3. 9. 2. 3 A. 3. 9. 2. 5 A. 3. 9. 2. 6 A. 3. 9. 2. 9	A. 3. 9. 2. 1 A. 3. 9. 2. 2 A. 3. 9. 2. 3 A. 3. 9. 2. 5 A. 3. 9. 2. 6 A. 3. 9. 2. 7 A. 3. 9. 2. 9
$3000\text{m} > R \geq 2000\text{m}$	A. 3. 9. 2. 9	不支持	不支持	不支持
$2000\text{m} > R \geq 1100\text{m}$	A. 3. 9. 2. 8 A. 3. 9. 2. 9	不支持	不支持	不支持
$R < 1100\text{m}$	不支持	不支持	不支持	不支持

A. 3. 9. 2 安装限制条件

A. 3. 9. 2. 1 垂直安装高度

小曲线半径线路上应答器垂直安装高度为轨面以下93mm~140mm，见图A. 12。

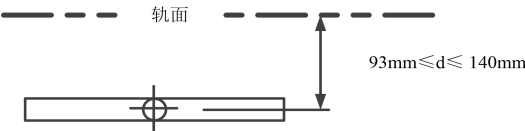


图 A. 12 小曲线半径线路上应答器安装高度

A. 3. 9. 2. 2 纵向安装

小曲线半径线路上不允许纵向安装标准尺寸应答器。

A.3.9.2.3 金属平面

小曲线半径线路上，应答器下方400mm内应没有金属平面，见图A.13。

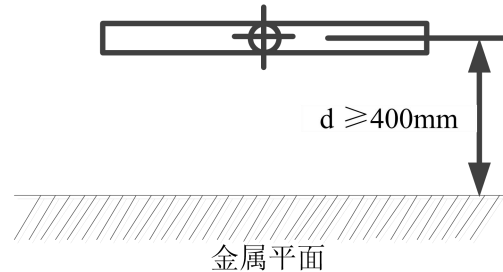


图 A.13 小曲线半径线路上应答器距金属平面最小距离

A.3.9.2.4 最高允许速度 1

最高允许速度为100km/h。

A.3.9.2.5 最高允许速度 2

最高允许速度为85km/h。

A.3.9.2.6 钢枕

不允许在钢枕上安装应答器。

A.3.9.2.7 应答器横向偏移

应答器安装应向曲线圆心方向偏移15mm，见图A.14。

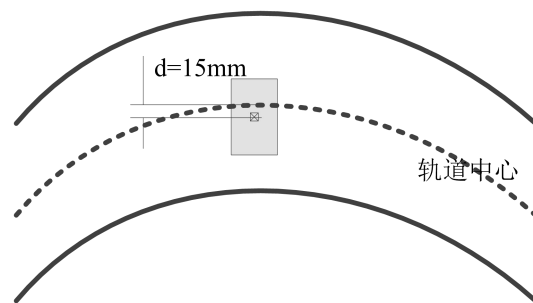


图 A.14 小曲线半径线路上应答器横向安装位置

A.3.9.2.8 杂物覆盖运用等级

不适用A级杂物覆盖运用等级。

A.3.9.2.9 缩小垂直安装高度范围

当纵向曲线为1100m～9000m范围内时，应答器允许安装的最高位置和最低位置应缩小（ $(45000/R) - 5$ ）mm，曲线半径与缩小值见图A.15示。

例如，当纵向曲线为3000m且横向曲线小于300m时，允许的安裝高度范围为轨面以下103mm～130mm。

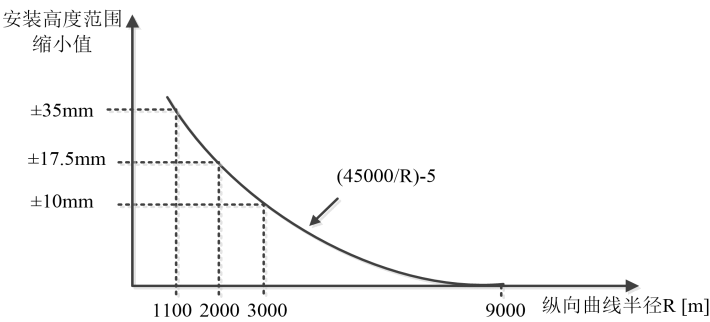


图 A. 15 小曲线半径线路上应答器垂直高度缩小的范围

附录 B
(规范性)
天线单元安装及环境要求

B.1 限定范围内的金属物

BTM及天线单元应能容忍以下三种类型的金属物（即不发出报警）并能正常探测到应答器，见图 B.1，三种类型金属物为：

a) 类型 1：金属物的长度不大于 10m，位于表 B.1 指定的最大高度与低于此高度 50mm 范围内；

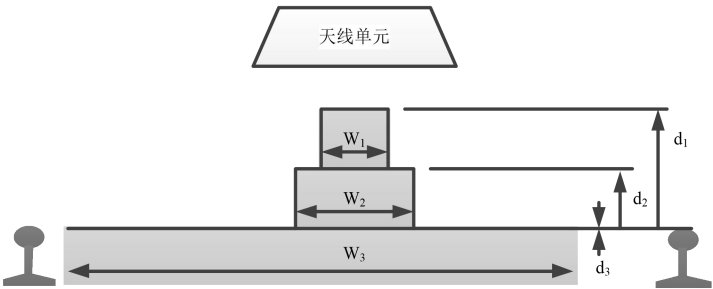


图 B.1 轨道上的金属块

表 B.1 轨道上的金属块，类型 1

单位为毫米

宽度	与轨面最大距离
$w_1 \leq 120$	$d_1=92$
$w_2 \leq 200$	$d_2=50$
$w_3 > 200$	$d_3=0$

b) 类型 2：不限制金属物的最大长度，但宽度大于 100mm 的，位于表 B.2 指定的最大高度与轨面以下 80mm 的范围内；

表B.2 轨道上的金属块，类型2

单位为毫米

宽度	与轨面最大距离
$w_1 \leq 120$	$d_1=42$
$w_2 \leq 200$	$d_2=0$
$w_3 > 200$	$d_3=-50$

c) 类型 3：类型 1 和类型 2 以外的、比其条件有利的情况，归为类型 3。

B.2 限定范围内的金属物与应答器的距离

类型1金属物边缘至最近应答器中心点的距离 d_{object} 应符合公式B.1。

$$d_{\text{object}} \geq 0.35 \times \sqrt{l_{\text{object}}} + 1.1 \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (\text{B. 1})$$

式中:

l_{object} ——金属物长度。

类型2金属物边缘至最近应答器中心点的距离 d_{object} 应符合公式B. 2。

$$d_{\text{object}} \geq 1.1 \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (\text{B. 2})$$

在类型3金属物条件下, 应答器安装应符合附录A中A. 3. 1的规定。

B. 3 限定范围以外的大块金属

限定范围以外的大块金属应包含以下情况:

- 位置高于表 B. 1 所列数值;
- 宽于表 B. 1 所列数值, 并且位于给出的最大高度及其下方 50mm 的范围内;
- 长度超过 10m, 并且位于给出的最大高度及其下方 50mm 的范围内。

B. 4 限定范围以外的金属物与应答器的距离

限定范围以外的金属物边缘至应答器中心的距离 d_b 应符合公式B. 3。

$$d_b \geq 0.2 \times v/3.6 \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots (\text{B. 3})$$

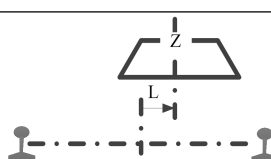
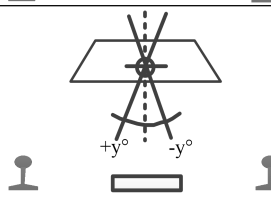
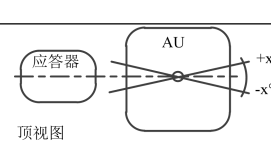
式中:

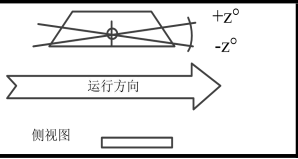
v ——最大线路速度, 单位为千米每小时 (km/h)。

B. 5 天线单元静态和动态偏移

天线单元安装需求说明书中应对表B. 3的内容, 提出允许的静态和动态偏移。

表 B. 3 天线单元安装允许的静态和动态偏移

内容	动态偏移	静态位置	总偏移	注释
从天线单元的参照标记到轨面的最小垂直距离	ddd mm	sss mm	ttt mm	—
从天线单元的参照标记到轨面的最大垂直距离	ddd mm	sss mm	ttt mm	—
天线单元的 Z 轴参照标记与钢轨中心间的最大横向偏移总合	$\pm \text{ddd mm}$	$\pm \text{sss mm}$	$\pm \text{ttt mm}$	
天线单元最大倾斜角	$\pm y^\circ$	$\pm y^\circ$	$\pm y^\circ$	
天线单元最大偏转角	$\pm x^\circ$	$\pm x^\circ$	$\pm x^\circ$	

天线单元最大俯仰角	$\pm z^{\circ}$	$\pm z^{\circ}$	$\pm z^{\circ}$	
-----------	-----------------	-----------------	-----------------	---

B.6 杂物覆盖

设备制造商应对表B.4的内容，给出天线单元性能得到保证的最大允许的杂物覆盖。

表 B.4 天线单元下允许的杂物覆盖

单位为毫米

材料	描述	在天线单元底部下方允许的厚度
雪	新鲜的, 0 °C	
	部分融化的, 含 20%水	
冰	-	
泥浆	不含盐	
	含盐, 0.5%NaCl (重量)	
铁矿石	赤铁矿石 (Fe ₂ O ₃)	
	磁铁矿石 (Fe ₃ O ₄)	
铁尘	列车制动产生的铁粉	
煤尘	含 8%硫磺	
油和油脂	-	

B.7 电缆

天线单元下方不应安装电缆。

天线单元周围安装的电缆应满足制造商提出的安装规则，不应影响其他车载设备或不受其他设备的影响。

BTM及天线单元应能处理由于串扰在轨道中的电缆产生的以下感应电流：

- a) 当电缆高度在轨面以下 93mm 通过轨道，且上行链路频带电流小于 2mA；
- b) 当电缆高度在轨面以下 493mm 通过轨道，且上行链路频带电流小于 10mA。

上述的电流等级适用于在上述电缆以下小于 0.5m 范围内的回流。

BTM 及天线单元应限制对测试电缆的感应，假定通过的回流在电缆 0.5m 以下，这样在天线单元下构成一个垂直的环路，并呈 400 Ω 特性阻抗。该回路应与天线单元进行纵向和横向校验，最佳位置耦合的电流最大值，以及在天线单元的最小规定高度，应符合表 B.5 中的一个等级。等级 1 适用于电缆低于轨面以下 493mm 的安装条件，等级 2 适用于电缆低于轨面以下 93mm 的安装条件。

表 B.5 最大感应电流（不包括环线电缆）

单位为毫安

等级	电流
1	<10
2	<25