

团体标准

T/CAMET XXXXX—XXXX

电子导向胶轮系统 路面设计要求

Remote guidance rubber-tired system — Requirements for pavement design

（征求意见稿）

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 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则和总体要求 1

5 轴载换算与设计指标 2

 5.1 轴载换算 2

 5.2 设计指标 4

6 灌注式半柔性路面 6

 6.1 一般规定 6

 6.2 面层材料要求 6

 6.3 路面结构组合设计 8

 6.4 加铺层结构设计 8

7 环氧沥青路面 11

 7.1 一般规定 11

 7.2 面层材料要求 11

 7.3 路面结构组合设计 13

8 连续配筋水泥混凝土路面 13

 8.1 一般规定 13

 8.2 设计指标与要求 14

 8.3 结构组合设计 14

 8.4 面层材料 15

 8.5 路面结构计算 15

 8.6 面层配筋设计 16

 8.7 加铺层结构设计 16

参 考 文 献 17

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低运能系统分会提出。

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：北京城建设计发展集团股份有限公司、江苏苏博特新材料股份有限公司、中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司、佛山市南海区铁路投资有限公司、东南大学、中车唐山机车车辆有限公司。

本文件主要起草人：丁强、黄新卫、洪锦祥、俞骏晖、陈磊磊、张昶、江磊、解来江、杜岩、王丽君、赵娟娟、郭耀华、熊子佳、陈道燮、张恒、乔俊。

电子导向胶轮系统 路面设计要求

1 范围

本文件规定了电子导向胶轮系统路面设计的总则和总体要求、轴载换算与设计指标、灌注式半柔性路面、环氧沥青路面、连续配筋水泥混凝土路面设计要求。

本文件适用于电子导向胶轮系统新建路面工程及改扩建路面工程的设计。

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。

- CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范
- CJJ 36 城镇道路养护技术规范
- CJJ 169-2012 城镇道路路面设计规范
- JT/T 798 路用废胎胶粉橡胶沥青
- JTG 5142 公路沥青路面养护技术规范
- JTG 3410 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
- JTG 5110 公路养护技术标准
- JTJ 073.1 公路水泥混凝土路面养护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

灌浆料 grouting material

由水与水泥、粉煤灰、矿粉、砂、外加剂等按一定比例配制而成，用于灌注的材料。

[来源：T/CECS G:D51-01-2019，2.1.1]

3.2

基体沥青混合料 matrix asphalt mixture

用于灌入灌浆料的大空隙沥青混合料，其空隙率一般为20% ～ 30% 。

[来源：T/CECS G:D51-01-2019，2.1.2]

3.3

灌注式半柔性路面材料 poured semi-flexible pavement material； SFP

在基体沥青混合料中，灌入灌浆料而形成的路面材料。

[来源：T/CECS G:D51-01-2019，2.1.3]

4 总则和总体要求

4.1 路面设计宜遵循安全可靠、技术先进、经济合理的设计原则。

- 4.2 路面结构设计在轴重为100kN的单轴-双轮组标准轴载（BZZ-100）换算、设计指标及计算方法、结构组合设计方面应适应电子导向胶轮系统的轴载及运营特性，满足服务水平和使用寿命的需求。
- 4.3 对于具有运行时渠化精度高、轮胎接地压强大等特征的电子导向胶轮系统，路面设计的交通荷载等级不宜低于重型交通。
- 4.4 新建路面结构可选择灌注式半柔性路面、环氧沥青路面和连续配筋水泥混凝土路面。
- 4.5 道路全线应作抗车辙增强处理。
- 4.6 路面排水设计应根据道路排水总体设计的要求，结合沿线水文、气象、地形、地质自然条件和现状道路排水设施，设置地表排水和地下排水设施，形成合理、完整的道路排水系统。

5 轴载换算与设计指标

5.1 轴载换算

5.1.1 轴载换算应符合下列规定。

- a) 电子导向胶轮系统沥青路面结构设计选取车辙深度、沥青层剪应力、半刚性基层层底拉应力和路基顶面竖向压应变，简化换算流程，将电子导向胶轮系统车辆轴载按照轴载换算基本原则换算成标准轴载，并计算当量设计轴载累计作用次数，作为路面结构设计依据。
- b) 水泥混凝土路面结构设计以面层板在设计基准期内，在行车荷载和温度梯度综合作用下，不产生疲劳断裂作为设计标准；并以最终轴载和最大温度梯度综合作用下，不产生极限断裂作为验算标准。

5.1.2 标准轴载符合下列规定。

- a) 路面设计以双轮组单轴载100kN为标准轴载，以BZZ-100表示。标准轴载的计算参数应符合表1的规定。

表 1 标准轴载计算参数

标准轴载	BZZ-100
标准轴载P（kN）	100
轮胎接地压强p（MPa）	0.70
单轮传压面当量圆直径d（cm）	21.30
两轮中心距（cm）	1.5d

- b) 设计交通量的计算应将不同轴载的各种电子导向胶轮系统车辆换算成BZZ-100标准轴载的当量轴次。
- c) 根据预测交通量，将不同轴载的电子导向胶轮系统车辆的轴载换算成标准轴载的当量轴次，求得营运第一年单向日平均当量轴次。当电子导向胶轮系统车辆需与社会车辆混行时，社会车辆的轴载作用次数可参照JTG D50，根据车辆类型重新确定计算公式的轴载换算指数和轴数系数。
- 5.1.3 基于车辙等效的轴载换算应按公式（1）计算，电子导向胶轮系统车辆轴距大于3m时，以实际轴数确定轴数系数C。

$$N_a = C \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^n \cdot N_2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- N_a ——以车辙为设计指标时的当量轴次；
- N_2 ——电子导向胶轮系统车辆轴载作用次数；
- P_1 ——标准轴载，单位为千牛（kN）；

P_2 ——电子导向胶轮系统车辆轴载，单位为千牛（kN）；

n ——轴载换算指数（对于常规半刚性路面结构，电子导向胶轮的轴载换算指数取6.83）；

C ——轴数系数，数值上为电子导向胶轮系统车辆轴数。

5.1.4 沥青路面以设计弯沉值、沥青层剪应力为设计指标时，电子导向胶轮系统轴载换算成标准轴载 P_1 的当量轴次 N_b 应按公式（2）计算：

$$N_b = 6.4C \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{4.35} \cdot N_2 \cdots \cdots (2)$$

式中：

N_b ——以沥青层剪应力为设计指标时的当量轴次。

5.1.5 沥青路面以半刚性基层层底拉应力为设计指标时，电子导向胶轮系统轴载换算成标准轴载 P_1 的当量轴次 N_c 应按公式（3）计算：

$$N_c = 18.5C \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^8 \cdot N_2 \cdots \cdots (3)$$

式中：

N_c ——以半刚性基层层底拉应力为设计指标时的当量轴次。

5.1.6 沥青路面以路基顶面压应变为设计指标时，电子导向胶轮系统轴载换算成标准轴载 P_1 的当量轴次 N_d 应按公式（4）计算：

$$N_d = 4.5C \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^5 \cdot N_2 \cdots \cdots (4)$$

式中：

N_d ——以路基顶面竖向压应变为设计指标时的当量轴次。

5.1.7 沥青路面设计基准期内一个车道上的累计当量轴次应按公式（5）计算：

$$N_e = \frac{[(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} \cdot N_1 \cdot \eta \cdots \cdots (5)$$

式中：

N_e ——设计基准期内一个车道的累计当量轴次；

t ——设计基准期，单位为年；

N_1 ——路面营运第一年日平均当量轴次；

γ ——设计基准期内交通量的年平均增长率（%）；

η ——设计车道分布系数。

沥青路面设计车道分布系数宜依据道路交通组成、交通管理情况，通过实地调查确定，也可按表2选定。

表2 设计车道分布系数

车道特征	车道分布系数
单向单车道	1.00
单向双车道	0.65~0.95
单向三车道	0.50~0.80

单向四车道	0.40~0.70
注：当电子导向胶轮系统车道为专用车道时，车道分布系数 η 取1.00。	

5.1.8 水泥混凝土路面轴载的作用次数换算为标准轴载的当量轴次应按公式（6）、（7）计算：

$$N_f = \sum_{i=1}^g \delta_i N_i \left(\frac{P_i}{100} \right)^{16} \dots\dots\dots (6)$$

$$\delta_i = 2.22 \times 10^3 P_i^{-0.43} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- N_f ——水泥混凝土路面标准轴载的当量轴次；
- P_i ——电子导向胶轮系统*i*级轴载的总重，单位为千牛（kN）；
- g ——轴型和轴载级位数；
- N_i ——电子导向胶轮系统*i*级轴载的作用次数；
- δ_i ——轴-轮型系数。

5.1.9 设计基准期内水泥混凝土面层临界荷位所承受的累计当量轴次应按公式（8）计算：

$$N'_e = \frac{N'_1 \times [(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} \eta_s \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- N'_e ——水泥混凝土路面设计基准期内临界荷位所承受的累计当量轴次；
- N'_1 ——水泥混凝土路面设计车道使用初期的当量轴载日作用次数，单位为次/天（次/d）；
- γ ——设计基准期内交通量的年平均增长率（%）；
- η_s ——水泥混凝土路面临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数，电子导向胶轮系统车道为专用车道时， η_s 取1。

5.2 设计指标

- 5.2.1 电子导向胶轮系统路面结构所承受的交通等级（交通荷载等级）不宜低于重型交通，且目标可靠度不宜低于90%,变异水平等级宜为“低”。
- 5.2.2 道路路面结构设计工作年限应满足表3的要求。

表3 道路路面结构设计工作年限

单位为年

道路等级	路面类型	
	沥青路面	水泥混凝土路面
主干路	15	30
次干路	15	20
支路	10	20

5.2.3 电子导向胶轮系统道面容许车辙深度标准应满足表4容许车辙深度标准的要求，宜避免沥青路面永久变形，水泥路面技术状况评定应以裂缝病害为重要评估指标。

表4 容许车辙深度标准

单位为毫米

作用区域	道路类型	
	快速路	主干路
区间段	20	25
停靠站、交叉口	25	30

5.2.4 不同道面结构层间抗剪强度技术指标应满足表 5 的要求。

表5 道面结构层间抗剪强度技术指标

单位为兆帕

面层层位	抗剪强度技术指标			
	直接拉拔试验		直接剪切试验	
	25℃	60℃	25℃	60℃
粘结层	≥0.6	≥0.06	≥0.6	≥0.1

5.2.5 路面设计环境要素应符合下列规定：

- a) 沥青路面面层的使用性能气候分区按 CJJ 169 的相关要求确定；
- b) 水泥混凝土面层的最大温度梯度标准值（ T_g ），根据道路所在地的道路自然区划，按表 6 选用。

表6 最大温度梯度标准值（ T_g ）

道路自然区划	II、V	III	IV、VI	VII
最大温度梯度（℃/m）	83~88	90~95	86~92	93~98
注：海拔高时，取高值；湿度大时，取低值。				

5.2.6 在冰冻地区，沥青路面总厚度和水泥混凝土路面总厚度均不应小于 JTG D50 规定的最小防冻厚度。

5.2.7 路面抗滑性能应符合下列规定：

- a) 快速路、主干路沥青路面在质量验收时抗滑性能指标符合表 7 的规定。

表7 沥青路面抗滑性能指标

年平均降雨量 mm	质量验收值	
	横向力系数 SFC_{60}	构造深度 TD mm
>1000	≥54	≥0.55
500~1000	≥50	≥0.50
200~500	≥45	≥0.45
注 1：采用测定速度为 60km/h±1km/h 时的横向力系数 (SFC_{60}) 作为控制指标； 注 2：路面宏观构造深度可用铺砂法或激光构造深度仪测定。		

- b) 水泥混凝土路面抗滑性能在质量验收时，符合表 8 规定。

表8 水泥混凝土面层的表面构造深度要求

单位为毫米

道路等级	主干路	次干路、支路
------	-----	--------

一般路段	0.70~1.10	0.50~0.90
特殊路段	0.80~1.20	0.60~1.00
注 1：对主干路特殊路段系指立交、平交或变速车道等处，对于次干路、支路特殊路段系指急弯、陡坡、交叉口或集镇附近；		
注 2：年降雨量 600mm 以下的地区，表列数值可适当降低。		

5.2.8 水泥混凝土的设计强度应采用 28d 龄期的弯拉强度，标准值不应低于表 9 的规定。

表9 混凝土弯拉强度要求

单位为兆帕

交通等级	特重、重
水泥混凝土的弯拉强度标准值	5.0
钢纤维混凝土的弯拉强度标准值	6.0

6 灌注式半柔性路面

6.1 一般要求

6.1.1 灌注式半柔性路面设计应包括交通预测与分析，材料选择，混合料配合比设计，设计参数的测试和确定，路面结构组合设计与厚度计算，路面排水系统设计。

6.1.2 在车站和路口的车辆加减速及停车区段，应着重进行抗车辙、抗拥包的处理。

6.1.3 路面排水设计应根据道路排水总体设计的要求，结合沿线水文、气象、地形、地质自然条件和现状道路排水设施，设置地表排水和地下排水设施，形成合理、完整的道路排水系统。

6.2 面层材料要求

6.2.1 SBS 改性沥青、橡胶沥青或高黏度改性沥青路面应满足下列要求：

- a) SBS改性沥青的技术指标符合JTG F40的有关规定；
- b) 橡胶沥青的技术指标符合JT/T 798的有关规定；
- c) 高黏度改性沥青的技术指标符合JTG/T 3350的有关规定。

6.2.2 粗集料应选用碎石或轧制的碎砾石，支路可选用经筛选的砾石，并符合下列规定：

- a) 粗集料规格应符合CJJ 169的规定；
- b) 表面层所用粗集料的磨光值技术要求应符合表10的规定；
- c) 对年平均降雨量在1000mm以上地区的主干路，表面层所用粗集料与沥青的粘附性应达到5级；其他情况粘附性不应低于4级。

表10 粗集料磨光值（PSV）的技术要求

年降雨量（mm）	主干路	次干路	支路
>1000	≥42	≥40	≥38
500~1000	≥40	≥38	≥36
250~500	≥38	≥36	—
<250	≥36	—	—

6.2.3 细集料可选用机制砂、天然砂、石屑，并满足下列要求：

- a) 细集料应清洁、无杂质、干燥、无风化，并应具有棱角性；
- b) 天然砂选用中砂、粗砂，天然河砂不宜超过细集料总质量的20%。

- 6.2.4 矿粉应采用石灰石碱性石料磨细的石粉。
- 6.2.5 纤维稳定剂应根据混合料类型与使用要求选用。
- 6.2.6 灌注式半柔性路面混合料类型应符合表 11 规定。

表11 灌注式半柔性路面混合料类型

单位为毫米

沥青混合料类型		混合料代号	最大粒径	公称最大粒径
灌注式半柔性路面材料（SFP）	SFP-13	细粒式	16	13.2
	SFP -16	中粒式	19	16

6.2.7 基体大空隙沥青混凝土的矿料级配范围应符合表 12 的规定，采用马歇尔试验法进行配合比设计，应选用实体工程的原材料。

表12 基体沥青混合料矿料级配范围

类型	通过下列筛孔（mm）的质量百分率/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
PMAC-13	-	100	70~100	10~50	5~25	4~20	3~18	3~16	3~14	2~12	1~10
PMAC-16	100	70~100	50~90	5~50	4~25	4~20	3~18	3~16	3~14	2~12	1~10

- 6.2.8 灌注式半柔性路面混合料技术要求应符合下列规定：
- a) 高温稳定性应采用车辙试验的动稳定度来评价，试验应在70℃的试验温度和1.1MPa的荷载条件下进行，对灌注式半柔性路面材料动稳定度技术要求为不低于9000次每毫米。对交叉口进口道和电子导向胶轮系统车辆停靠站路段及长大陡纵坡路段的沥青混合料，可提高材料的抗车辙要求进行设计。
- b) 灌注式半柔性路面材料水稳定性技术要求应符合表13的规定。

表13 灌注式半柔性路面材料水稳定性技术要求

年降水量（mm）	≥500	<500
冻融劈裂强度比（%）	≥80	≥75
浸水马歇尔残留稳定度（%）	≥85	≥80
注：对多雨潮湿地区的重交通、特重交通道路，其冻融劈裂强度比的指标值可增加至85%。		

c) 应根据气候条件检验灌注式半柔性路面材料的低温抗裂性能，灌注式半柔性路面材料低温性能技术要求应符合表14的规定。

表14 灌注式半柔性路面材料低温性能技术要求

气候条件及技术指标	年极端最低气温		
	<-21.5℃	-21.5℃~0℃	>0℃
改性沥青混合料极限破坏应变（10 ⁻⁶ ）	≥2200	≥2000	≥1500

6.3 路面结构组合设计

6.3.1 电子导向胶轮系统路面面层结构宜采用三层式沥青面层结构，面层各层的混合料类型应与交通荷载等级以及使用要求相适应。

6.3.2 灌注式半柔性路面结构组合包括面层、基层，必要时可在基层下设置垫层；其中面层中应含有一层或多层灌注式半柔性路面层。

6.3.3 各类沥青面层的厚度应与沥青混合料最大公称粒径相匹配，沥青混合料一层的最小压实厚度应符合下列规定：

- a) 灌注式半柔性路面结构混合料路面厚度不宜小于混合料公称最大粒径的2.5倍。
- b) 灌注式半柔性路面结构混合料的最小压实厚度与适宜厚度宜参考表15的规定：

表15 沥青混合料的最小压实厚度与适宜厚度

单位为毫米

沥青混合料类型	最大粒径		公称最大粒径	符号	最小压实厚度	适宜厚度
灌注式半柔性路面材料（SFP）	细粒式	13	13.2	SFP-13	80	80~100
	中粒式	16	16	SFP-16	80	80~120

6.3.4 电子导向胶轮系统路面应加厚面层或采取措施提高沥青混合料的抗剪强度。

6.3.5 应减少半刚性基层沥青路面收缩开裂和反射裂缝，可选择采取下列措施：

- a) 增加沥青层的厚度；
- b) 基层推荐采用连续配筋混凝土；
- c) 在半刚性基层上设置应力吸收层或铺设经实践证明有效的土工合成材料。

6.3.6 沥青路面各结构层之间应保持紧密结合，并满足下列要求：

- a) 各个沥青层之间应设粘层；
- b) 各类基层上应设透层；
- c) 主干路的半刚性基层上应设下封层。

6.4 加铺层结构设计

6.4.1 沥青面层加铺层设计应符合下列规定：

- a) 应调查旧路面现状，分析路面损坏原因，对路面破损程度进行分段评价。旧路面的主要调查分析宜包括下列主要内容：
 - 1) 调查破损情况包括裂缝率、车辙深度、修补面积；
 - 2) 评价旧路面的结构承载能力；
 - 3) 进行分层钻孔取样和试验，采集沥青混合料和基层、路基的样品，分析破坏原因，判断其破坏层位和利用的可能性。
- b) 钻孔取样调查路床范围内路基土的分层含水量与土质类型及承载力，分析路基的稳定性、强度以及路基路面范围内排水状况。
- c) 设计应根据下列情况将全线划分为若干段。分段时，应符合下列规定：
 - 1) 将旧路面的破损形态、弯沉值、破损原因相同的划分为一个路段；
 - 2) 在同一路段内，若局部路段弯沉值超过20（0.01mm），可先修补处理再进行补强，此时，该段计算代表弯沉时可不考虑个别弯沉值大的点；
 - 3) 对路况进行评价的分段长度不应小于1km。
- d) 各路段的计算弯沉代表值 l'_0 应按公式（9）计算：

$$l'_0 = (\bar{l}_0 + Z_a S) K_1 K_2 K_3 \quad (9)$$

式中：

l'_0 ——旧路面的计算弯沉代表值，单位为百分之一毫米(0.01mm)；

$\bar{l}_0$ ——旧路面的计算弯沉平均值，单位为百分之一毫米(0.01mm)；

Z_a ——保证率有关的系数，快速路、主干路 $Z_a=1.645$ ，其他等级道路沥青路面 $Z_a=1.5$ ；

S ——路段内实测路表弯沉标准差，单位为百分之一毫米(0.01mm)；

K_l ——季节影响系数，根据当地经验确定；

K_2 ——湿度影响系数，根据当地经验确定；

K_3 ——温度影响系数，根据当地经验确定。

e) 旧沥青路面处理判定标准可参考CJJ 36-2016规范中第5章的规定，并应符合下列规定：

1) 沥青路面整体强度应满足CJJ 169的规定，车辙深度小于20mm；

2) 对中度、重度裂缝段应做铣刨、灌缝、修补坑槽防裂措施后再加铺沥青层。对沥青层网裂、龟裂或沥青老化的路段应进行铣刨并清除干净，并设粘层沥青后，再加铺沥青层。

f) 旧路面当量回弹模量的计算应符合下列规定：

1) 各路段的当量回弹模量应根据各路段的计算弯沉值，按公式(10)计算：（公式中同一个字母或者符号只能对应一个含义，前文出现的，后面可不用重复）

$$E_t = 1000 \frac{2p\delta}{l'_0} m_1 m_2 \quad (10)$$

式中：

E_t ——旧路面的当量回弹模量，单位为兆帕（MPa）；

m_1 ——用标准轴载的汽车在旧路面上测得的弯沉值与用承载板在相同压强条件下所测得的回弹变形值之比，即轮板对比值，应根据各地的对比试验结果论证确定，没有对比试验资料的情况下，可取 $m_1=1.1$ 进行计算；

m_2 ——旧路面当量回弹模量扩大系数。

注：计算与旧路面接触的补强层层底拉应力时， m_2 按公式(11)计算；

计算其他补强层层底拉应力、拉应变及弯沉值时， $m_2=1.0$ 。

$$m_2 = e^{0.037 \frac{h'}{\delta} (\frac{E_{n-1}}{p})^{0.25}} \quad (11)$$

式中：

e ——自然对数的底数，其值约等于2.71828；

p ——标准轴载下的轮胎接地压强，单位为兆帕（MPa）；

δ ——当量圆半径，单位为厘米（cm）；

E_{n-1} ——与旧路面接触层材料的抗压模量，单位为兆帕（MPa）；

h' ——各补强层换算为与旧路面接触层 E_{n-1} 相当的等效总厚度，单位为厘米（cm）。

2) 等效总厚度按公式(12)计算：

$$h' = \sum_{i=1}^{n-1} h_i (E_i/E_{n-1})^{0.25} \quad (12)$$

式中：

E_i ——第*i*层补强层材料的抗压回弹模量，单位为兆帕（MPa）；

h_i ——第*i*层补强层的厚度，单位为厘米（cm）；

$n-1$ ——补强层层数。

g) 加铺层结构设计应符合下列规定：

1) 当强度不足时应进行补强设计，设计方法与新建路面相同。

2) 加铺层的结构设计, 应根据旧路面综合评价, 道路等级、交通量, 宜考虑与周围环境相协调, 结合纵、横断面调坡设计因素, 选用直接加铺或开挖旧路至某一结构层位, 采取加铺一层或多层沥青补强层, 或加铺半刚性基层、贫混凝土基层结构层设计方案。

h) 加铺层设计宜参考下列步骤:

- 1) 计算旧路面的当量回弹模量;
- 2) 拟定几种可行的结构组合及设计层, 并确定各补强层的材料性质;
- 3) 根据加铺层的类型确定设计指标, 当以路标回弹弯沉为设计指标时, 弯沉综合修正系数宜按公式 (13) 计算:

$$F = 1.45 \left(\frac{l_s}{2000\delta} \right)^{0.61} \left(\frac{E_t}{p} \right)^{0.61} \quad (13)$$

式中:

F ——弯沉综合修正系数;

l_s ——轮隙中心处路表计算的弯沉值, 单位为百分之一毫米 (0.01mm);

4) 采用弹性层状体系理论设计程序计算设计层的厚度或进行结构验算。对季节性冰冻地区的中、潮湿路段还应验算防冻厚度;

5) 根据各方案的计算结果, 进行技术经济比较, 确定补强设计方案。

6.4.2 水泥混凝土路面加铺沥青路面符合下列规定。

a) 旧水泥混凝土路面调查应包含如下内容:

- 1) 调查破碎板块、开裂板块、板边脚的破损情况, 计算每公里断板率。调查纵、横向接缝拉开宽度、错台位置与高度, 计算错台段的平均错台高度, 调查板底脱空位置。
- 2) 用落锤式弯沉仪或贝克曼弯沉仪进行测定旧水泥混凝土路面承载能力、接缝传荷能力与板底脱空状况。
- 3) 选择典型路面状况, 分层钻芯取样, 测定旧混凝土强度、模量, 分析破坏原因。

b) 旧路面接缝传荷能力的评价应符合下列规定:

- 1) 横向接缝两侧板边的弯沉差应按公式 (14) 计算:

$$\Delta_w = w_l - w_u \quad (14)$$

式中:

Δ_w ——弯沉差, 单位为百分之一毫米 (0.01mm);

w_l ——未受荷板接缝边缘处的弯沉值, 单位为百分之一毫米 (0.01mm);

w_u ——受荷板接缝边缘处的弯沉值, 单位为百分之一毫米 (0.01mm);

2) 测定横向接缝两侧板边的弯沉时, 应用平均弯沉值评价混凝土板的承载能力, 并区分不同情形对旧板进行处治。平均弯沉值应按公式 (15) 计算。

$$\bar{w} = \frac{w_u + w_l}{2} \quad (15)$$

式中:

$\bar{w}$ ——平均弯沉值, 单位为百分之一毫米 (0.01mm)。

c) 根据破损调查和承载能力测试资料, 旧水泥混凝土路面加铺层设计宜参考表16的规定。若路面结构承载能力不满足电子导向胶轮系统交通需求, 应采取补强层措施。

表16 不同路面破损条件下旧水泥混凝土路面处理方法

旧路面状况	评价等级	平均弯沉值	修补方法
-------	------	-------	------

		(0.01mm)	
路面破损状况	优和良	20~45	局部处理：更换破碎板、修补开裂板块、脱空板灌浆，使处置后的路段代表弯沉值低于20（0.01mm），然后加铺沥青层。
	中及中以下	>45	采取打裂或各种碎石化技术将混凝土板打碎，压实，然后加铺
接（裂）缝传荷能力不足	—	$\Delta_w \geq 6$	压浆填缝，或增加传力杆，或采取打裂工艺消除垂直、水平方向变形，然后加铺沥青层
板底脱空	—	—	灌浆或打裂工艺、压实，消除垂直、水平方向变形，是路面稳定，然后加铺沥青层
注：平均弯沉值小于20（0.01mm）时，无需进行修补。			

- d) 电子导向胶轮系统沥青加铺层可设双层或三层沥青面层，应根据具体情况增加调平层或补强层。在稳定的旧水泥混凝土板上加铺沥青层时，对快速路、主干路厚度不宜小于100mm，其他道路不宜小于70mm。
- e) 在旧水泥混凝土路面上加铺沥青层时宜采用热沥青、改性乳化沥青或改性沥青做粘层。宜设置20mm~25mm厚的聚合物改性沥青应力吸收层、橡胶沥青应力吸收层，或铺设长纤维无纺聚酯类土工织物。
- f) 路面状况评价等级为中等及以下的旧水泥混凝土沥青加铺设计符合下列规定：
- 1) 当旧路面板接缝或裂缝处平均弯沉大于45(0.01mm)，小于或等于70(0.01mm)时，宜采取打裂措施，消除旧混凝土板脱空，与基层紧密结合稳定后，再加铺结构层；
 - 2) 当旧路面板接缝或裂缝处平均弯沉大于70（0.01mm）或旧混凝土板破碎严重时，可采用碎石化技术将旧路面板破碎成小块或碎石，作为下基层或垫层用。

7 环氧沥青路面

7.1 一般要求

- 7.1.1 环氧沥青路面设计应包括交通预测与分析，材料选择，混合料配合比设计，设计参数的测试和确定，路面结构组合设计与厚度计算，路面排水系统设计。
- 7.1.2 车站和路口的车辆加减速及停车区段，应着重进行抗车辙、抗拥包设计。
- 7.1.3 路面排水设计应根据道路排水总体设计的要求，结合沿线水文、气象、地形、地质自然条件和现状道路排水设施，设置地表排水和地下排水设施，形成合理、完整的道路排水系统。

7.2 面层材料要求

- 7.2.1 电子导向胶轮系统路面选用环氧沥青混凝土路面时，表面层应选用密级配粗型 AC-C 混合料，结合料使用环氧改性沥青。中面层和下面层宜使用密级配 AC 混合料，结合料使用环氧改性沥青。
- 7.2.2 沥青面层用材料包括沥青材料、集料、填料、纤维和各类外加剂。
- 7.2.2.1 环氧改性沥青作为胶接料，应符合表 17 的规定。

表17 环氧沥青材料技术要求

项目	单位	技术指标	试验方法
软化点	℃	≥100	JTG E20-2011 中的 T0606-2011
拉伸强度(23℃)	MPa	≥1.5	GB/T 528
断裂延伸率(23℃)	%	≥100	GB/T 528

容留时间	min	≥90	GB/T 30598
热固性	°C	≥300	GB/T 30598
耐柴油性	%	≤5	GB/T 30598

7.2.2.2 粗集料应选用碎石或轧制的碎砾石，支路可选用经筛选的砾石，并符合下列规定：

- a) 粗集料规格应符合CJJ 169的规定；
- b) 表面层所用粗集料的磨光值技术要求应符合表18的规定；
- c) 对年平均降雨量在1000mm以上地区的主干路，表面层所用粗集料与沥青的粘附性应达到5级；其他情况粘附性不应低于4级。

表18 粗集料磨光值（PSV）的技术要求

年降雨量（mm）	主干路	次干路	支路
>1000	≥42	≥40	≥38
500~1000	≥40	≥38	≥36
250~500	≥38	≥36	—
<250	≥36	—	—

7.2.2.3 细集料可选用机制砂、天然砂、石屑，并应符合下列规定：

- a) 细集料应清洁、无杂质、干燥、无风化，并应具的棱角性块石；
- b) 天然砂选用中砂、粗砂，天然河砂不宜超过细集料总质量的20%。

7.2.2.4 矿粉可采用石灰石碱性石料磨细的石粉。

7.2.2.5 纤维稳定剂应根据混合料类型与使用要求选用。

7.2.3 环氧沥青混凝土类型应符合表 19 规定。

表19 环氧沥青混凝土类型

单位为毫米

沥青混合料类型		混合料代号	最大粒径	公称最大粒径
环氧沥青混凝土（EAC）	EAC-10	细粒式	13.2	9.5
	EAC-13		16	13.2

7.2.4 应根据规范 CJJ 169-2012 附录 B 表 B.1 级配范围或实践经验采用马歇尔试验法进行配合比设计，环氧沥青混凝土矿料级配范围应符合表 20 的规定。

表20 环氧沥青混凝土矿料级配范围

类型	通过下列筛孔（mm）的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
EAC-10	100	100	95~100	65~85	50~70	39~55	28~40	21~32	14~23	7~14
EAC-13	100	96~100	84~90	62~70	43~53	28~38	18~28	12~21	8~15	6~12

7.2.5 性能技术要求应符合下列规定。

- a) 高温稳定性应根据JTG E20-2011（T0719-2011）中沥青混合料车辙试验评价，车辙试验可在70℃的试验温度和1.1MPa的荷载条件下进行，对环氧沥青混凝土动稳定度技术要求为不低于9000次/毫米。

对交叉口进口道和电子导向胶轮系统车辆停靠站路段及长大陡纵坡路段的沥青混合料，可提高材料的抗车辙要求进行设计。

b) 环氧沥青混合料水稳定性技术要求应符合表21的规定。

表21 环氧沥青混凝土水稳定性技术要求

年降水量（mm）	≥500	<500
冻融劈裂强度比（%）	≥80	≥75
浸水马歇尔残留稳定度（%）	≥85	≥80
注：对多雨潮湿地区的重交通、特重交通道路，其冻融劈裂强度比的指标值可增加至85%。		

c) 环氧沥青混凝土低温性能应采用低温弯曲试验的极限破坏应变来评价，试验应在-10℃的试验温度下进行，对环氧沥青混凝土低温性能的技术要求为不低于2000μ ε。

7.3 路面结构组合设计

7.3.1 电子导向胶轮系统路面面层结构宜采用三层式沥青面层结构，面层各层的混合料类型应与交通荷载等级以及使用要求相适应。

7.3.2 各类沥青面层的厚度应与沥青混合料最大公称粒径相匹配，沥青混合料一层的最小压实厚度宜参考下列规定：

- a) 环氧沥青混凝土结构混合料路面厚度不宜小于混合料公称最大粒径的2.5倍。
- b) 环氧沥青混凝土结构混合料的最小压实厚度与适宜厚度宜参考表15的规定：

表22 沥青混合料的最小压实厚度与适宜厚度

单位为毫米

沥青混合料类型	最大粒径		公称最大粒径	符号	最小压实厚度	适宜厚度
环氧沥青混凝土 (EAC)	细粒式	13.2	9.5	EAC-10	20	25~40
		16	13.2	EAC-13	35	40~70

7.3.3 电子导向胶轮系统路面应加厚面层或采取措施提高沥青混合料的抗剪强度。

7.3.4 应减少半刚性基层沥青路面收缩开裂和反射裂缝，可选择采取下列措施：

- a) 增加沥青层的厚度；
- b) 基层推荐采用连续配筋混凝土；
- c) 在半刚性基层上设置应力吸收层或铺设经实践证明有效的土工合成材料等。

7.3.5 沥青路面各结构层之间应保持紧密结合，并应符合下列规定：

- a) 各个沥青层之间应设粘层；
- b) 各类基层上宜设透层；
- c) 主干路的半刚性基层上应设下封层。

8 连续配筋水泥混凝土路面

8.1 一般规要求

8.1.1 水泥混凝土路面设计方案，应根据交通等级，结合当地气候、水文、土质、材料、施工技术、环境保护，通过技术经济分析确定。水泥混凝土路面设计应包括结构组合与厚度、材料组成和钢筋配置等。

8.1.2 水泥混凝土路面结构应按规定的安全等级和目标可靠度，承担预期的交通荷载，并与所处的自然环境相适应，满足预定的使用性能要求。

8.2 设计指标与要求

8.2.1 材料性能和面层厚度的变异水平不应大于中级。各变异水平等级主要设计参数的变异系数变化范围应符合表 23 的规定。

表23 变异系数（Cv）的变化范围

变异水平等级	低级	中级
水泥混凝土弯拉强度、弯拉弹性模量	$Cv \leq 0.10$	$0.10 < Cv \leq 0.15$
基层顶面当量回弹模量	$Cv \leq 0.25$	$0.25 < Cv \leq 0.35$
水泥混凝土面层厚度	$Cv \leq 0.04$	$0.04 < Cv \leq 0.06$

8.2.2 水泥混凝土路面结构设计应以行车荷载和温度梯度综合作用产生的疲劳断裂作为设计的极限状态，应满足公式（16）要求：

$$\gamma_c(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \quad (16)$$

式中：

- γ_c ——水泥混凝土路面可靠度系数，根据所选目标可靠度及变异水平等级按表 24 确定；
 σ_{pr} ——行车荷载疲劳应力，单位为兆帕（MPa）；
 σ_{tr} ——温度梯度疲劳应力，单位为兆帕（MPa）；
 f_r ——28d 龄期水泥混凝土弯拉强度标准值，单位为兆帕（MPa）。

表24 可靠度系数

变异水平等级	目标可靠度（%）		
	95	90	85
低	1.20~1.33	1.09~1.16	1.04~1.08
中	1.33~1.50	1.16~1.23	1.08~1.13

注：变异系数取下限时，可靠度系数取低值；变异系数取上限时，可靠度系数取高值。

8.2.3 电子导向胶轮系统的单车道累积当量轴次应按 5.1.2~5.1.8 中的公式计算，其他车辆单车道累积当量轴次应按 CJJ 169 规定的公式计算。

8.2.4 电子导向胶轮系统采用的水泥混凝土路面所承受的轴载作用不应低于重型交通。

8.2.5 水泥混凝土的强度应以 28d 龄期的弯拉强度控制。水泥混凝土弯拉强度标准值不应低于 5MPa。

8.2.6 在季节性冰冻地区路段的路面结构总厚度不应小于 CJJ 169 规定的最小防冻厚度，如厚度不满足要求时，其差值应设垫层补足。过湿路段在对路基处理后也应按潮湿路段的要求设置垫层。

8.2.7 设计基准期内水泥混凝土面层的最大温度梯度标准值 T_g 宜采用各地实测值。当无实测资料时，可按 CJJ 169 规范的附表选用。

8.3 结构组合设计

8.3.1 路基、垫层和基层的设计应符合 CJJ 169 的规定。

8.3.2 电子导向胶轮系统面层可采用连续配筋混凝土面层。

8.3.3 连续配筋混凝土面层所需的厚度，可按表 25 所列范围并满足 CJJ 169 的计算要求。

表25 连续配筋水泥混凝土面层厚度的参考范围

单位为毫米

交通等级	特重			重		
道路等级	快速	主干	次干	快速	主干	次干

变异水平等级	低	中	低	中	低	中	低	中
面层厚度	≥260	≥250	≥240		≥240	≥230	≥220	

- 8.3.4 面层设计厚度应依计算厚度，按 10mm 向上取整。
- 8.3.5 路面表面构造应采用刻槽、压槽、拉槽或拉毛方法制作。构造深度在使用初期应满足 CJJ 169 的要求。

8.4 面层材料

- 8.4.1 面层材料组成应符合下列规定：
- a) 水泥混凝土所用集料公称最大粒径不应大于 31.5mm。砂的细度模数不宜小于 2.5；
 - b) 电子导向胶轮系统路面应选用强度等级 42.5 级以上的道路硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；最小单位水泥用量应满足表 26 的规定。对冰冻地区，混凝土中应参加引气剂，抗冻等级应达到 F200；

表26 路面混凝土最小单位水泥用量

单位为千克每立方米

非冰冻地区最小单位水泥用量	42.5 级水泥	300
冰冻地区最小单位水泥用量	42.5 级水泥	320

- c) 厚度大于 280mm 的普通混凝土面层，当分上下两层连续铺筑时，上层应为总厚度的 1/3，集料公称最大粒径宜为 19mm；
- 8.4.2 材料性质参数应符合下列规定：
- a) 路床土和路面各结构层混合料的各项性质参数，其标准值应按概率分布的 0.85 分位值确定。
 - b) 当受条件限制而无试验数据时，混凝土弯拉弹性模量以及路床土和垫层、基层混合料的回弹模量标准值，可按现行 CJJ 169 给定的参考值并结合工程经验分析确定。
 - c) 混凝土配合比设计时的混凝土试配 28d 龄期弯拉强度的均值应按公式（17）确定：

$$f_{rm} = \frac{f_r}{1-1.04c_v} + t_c s$$

(17)

式中：

f_{rm} ——混凝土试配 28d 龄期弯拉强度的均值，单位为兆帕（MPa）；

c_v ——混凝土 28d 龄期弯拉强度的变异系数；

s ——混凝土 28d 龄期弯拉强度试验样本的标准差；

t_c ——保证率系数，按表 27 取值。

表 27 保证率系数

单位为组

道路等级	判别概率 P	样本数 n				
		3	6	9	15	20
快速路	0.05	1.36	0.79	0.61	0.45	0.39
主干路	0.10	0.95	0.59	0.46	0.35	0.30
次干路	0.15	0.72	0.46	0.37	0.28	0.24

8.5 路面结构计算

单层混凝土板荷载应力分析、单层混凝土板温度应力分析、双层混凝土板荷载应力分析、双层混凝土板温度应力分析、混凝土板厚度计算均应符合 CJJ 169 的相关规定。

8.6 面层配筋设计

8.6.1 连续配筋混凝土面层的纵向和横向钢筋应采用螺纹钢筋，其直径宜为 12mm~20mm。

8.6.2 钢筋布置应符合下列规定：

- a) 纵向钢筋应设在面层表面下 $1/3 \sim 1/2$ 厚度范围内，横向钢筋应位于纵向钢筋之下；
- b) 纵向钢筋的间距不应大于 250mm，不应小于 100mm 或集料最大粒径的 2.5 倍；
- c) 横向钢筋的间距不应大于 800mm；
- d) 纵向钢筋的焊接长度不宜小于 10 倍（单面焊）或 5 倍（双面焊）钢筋直径，焊接位置应错开，各焊接端连线与纵向钢筋的夹角应小于 60° ；
- e) 边缘钢筋至纵缝或自由边的距离宜为 100mm~150mm。

8.6.3 连续配筋混凝土面层的纵向配筋率应按允许的裂缝间距（1.0m~2.5m）、缝隙宽度（小于 1mm）和钢筋屈服强度确定，宜为 0.6%~0.8%。最小纵向配筋率，冰冻地区为宜 0.7%，一般地区宜为 0.6%。横向钢筋的用量，应按 CJJ 169 计算确定。

8.6.4 连续配筋混凝土面层的纵向配筋设计满足下列要求：

- a) 混凝土面层横向裂缝的平均间距宜为 1.0m~2.5m；
- b) 裂缝缝隙的最大宽度宜为 1.0mm；
- c) 钢筋拉应力不应超过钢筋屈服强度。

8.6.5 横向裂缝平均间距、裂缝缝隙宽度、钢筋应力、纵向配筋率应按 CJJ 169 要求计算。

8.7 加铺层结构设计

加铺层结构设计、路面损坏状况调查评定、接缝传荷能力与板底脱空状况调查评定、旧混凝土路面结构参数调查、分离式混凝土加铺层结构设计、结合式混凝土加铺层结构设计应符合 CJJ 169 的相关规定。

参 考 文 献

- [1] JTG D50 公路沥青路面设计规范
 - [2] DB11/T 1817 灌注式半柔性路面铺装层设计与施工技术规范
 - [3] DB43/T 1835 智能轨道快运系统设计规范
 - [4] DB43/T 1836 智能轨道快运系统施工及验收规范
 - [5] DB43/T 1837 智能轨道快运电车通用技术条件
 - [6] DB5115/T43 智能轨道快运系统设计规范
 - [7] DB5115/T44 智能轨道快运系统施工及验收规范
 - [8] T/CAMET 00001 城市轨道交通分类
 - [9] T/CECS G:D51-01 道路灌注式半柔性路面技术规程
-