



中华人民共和国国家标准

GB/T 45489—2025

中低速磁浮交通轨排通用技术条件

General technical specification of the track panel
for medium and low speed maglev

2025-03-28 发布

2025-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言.....Ⅲ

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 使用条件.....2

 4.1 环境条件.....2

 4.2 线路条件2

5 技术要求.....3

 5.1 原材料3

 5.2 制造工艺.....6

 5.3 轨排.....8

6 试验方法.....9

 6.1 化学成分及力学性能.....9

 6.2 饱和磁通密度.....9

 6.3 尺寸.....9

 6.4 表面硬度.....9

 6.5 电导率.....9

 6.6 氧化膜厚度.....9

 6.7 干漆膜总厚度、漆膜附着力.....9

 6.8 静载试验.....9

7 检验规则.....9

 7.1 检验类别及项目.....9

 7.2 出厂检验.....10

 7.3 型式检验.....10

8 标志、包装、运输和贮存10

 8.1 标志.....10

 8.2 包装.....11

 8.3 运输11

 8.4 贮存.....11

 8.5 随件文件.....11

9 保证期限.....11

附录 A（资料性） 中低速磁浮轨排静载试验方法.....12

 A.1 试验条件及仪器、设备.....12

 A.2 加载位置及试验荷载.....12

 A.3 试验步骤.....12

 A.4 结果判定.....13

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。

本文件由中华人民共和国住房和城乡建设部提出。

本文件由全国城市轨道交通标准化技术委员会(SAC/TC 290)归口。

本文件起草单位：北京磁浮交通发展有限公司、山东钢铁股份有限公司莱芜分公司、山东磁浮列车轨道工程有限公司、北京轨道交通技术装备集团有限公司、中国人民解放军国防科技大学、中国铁路设计集团有限公司、中铁宝桥集团有限公司、湖南磁浮交通发展股份有限公司、西南交通大学、中国铁建重工集团股份有限公司、同济大学。

本文件主要起草人：孙吉良、霍喜伟、李杰、刘强、骆力、赵新华、李振辉、张学山、曾国保、龙志强、吉敏廷、张益晨、宗斌、张宁、牛均宽、马卫华、张劲夫、闫文凤、尹兴煜、曾国锋、周丹峰、王连春、成艳霞、余佩倡、陈强、王红霞、朱志伟、江代更、宋玉卿、袁淑君、吴雅静、田苗盛、周文、胡俊雄、黄海涛、许金国、孙晨、周晖、杨春华。

中低速磁浮交通轨排通用技术条件

1 范围

本文件规定了中低速磁浮交通轨排的使用条件、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存和保证期限。

本文件适用于磁浮车辆运行速度不大于 120 km/h 的中低速磁浮交通轨排的制造和验收。

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 68 开槽沉头螺钉
- GB/T 119.1 圆柱销 不淬硬钢和奥氏体不锈钢
- GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第 1 部分: 试验方法
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 1184—1996 形状和位置公差 未注公差值
- GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓连接副
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 1804—2000 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 4171 耐候结构钢
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5237.2—2017 铝合金建筑型材 第 2 部分: 阳极氧化型材
- GB/T 6892 一般工业用铝及铝合金挤压型材
- GB/T 8923.1—2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分: 未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 11263 热轧 H 型钢和剖分 T 型钢
- GB/T 13012 软磁材料直流磁性能的测量方法
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 14846—2014 铝及铝合金挤压型材尺寸偏差
- GB/T 28699 钢结构防护涂装通用技术条件
- CJJ/T 262 中低速磁浮交通设计规范
- YB/T 4753 中低速磁浮列车轨排用热轧型钢



3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

F 型钢 F-shaped steel

断面为“F”形状的中低速磁浮交通轨道专用型钢。

注：F 型钢由内极板、外极板、腹板和翼板组成。

3.2

感应板 induction plate

磁浮车辆牵引用直线感应电机次级的组成部分，为安装在 F 型钢上的非磁性导电材料。

3.3

H 型钢 H-shaped steel

断面为“H”形状的中低速磁浮交通轨枕专用型钢。

注：H 型钢由腹板和翼缘组成。

3.4

F 型导轨 F-shaped rail

由 F 型钢和感应板组成，承受磁浮车辆悬浮力、导向力及牵引/制动力的基础构件。

3.5

H 型轨枕 H-shaped sleeper

用于连接 F 型导轨，使 F 型导轨与梁体之间保持相对位置固定并传递载荷的基础构件。

3.6

轨排 track panel

由 F 型导轨、轨枕及连接件等组成，具有支承磁浮车辆，并承受磁浮车辆的悬浮力、导向力及牵引力、制动力的中低速磁浮交通线路的基本功能单元。

注：轨排包括直线轨排和圆曲线轨排、缓和曲线轨排。

3.7

轨排长度 length of track panel

轨排的中线长度。

3.8

轨距 track gauge

轨排两侧 F 型导轨磁极中心线之间的距离。

3.9

接头 joints

相邻轨排之间的连接装置。

4 使用条件

4.1 环境条件

4.1.1 海拔不宜超过 1 400 m。

4.1.2 环境温度宜为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.3 当月平均最低温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，最湿月月平均最大相对湿度宜不大于 90%。

4.2 线路条件

4.2.1 轨距宜采用 2 000 mm 或 1 860 mm。

4.2.2 轨枕距宜采用 1 200 mm，特殊情况下可采用 400 mm~1 200 mm。

注：轨枕距是指两相邻轨枕中心线之间的距离。

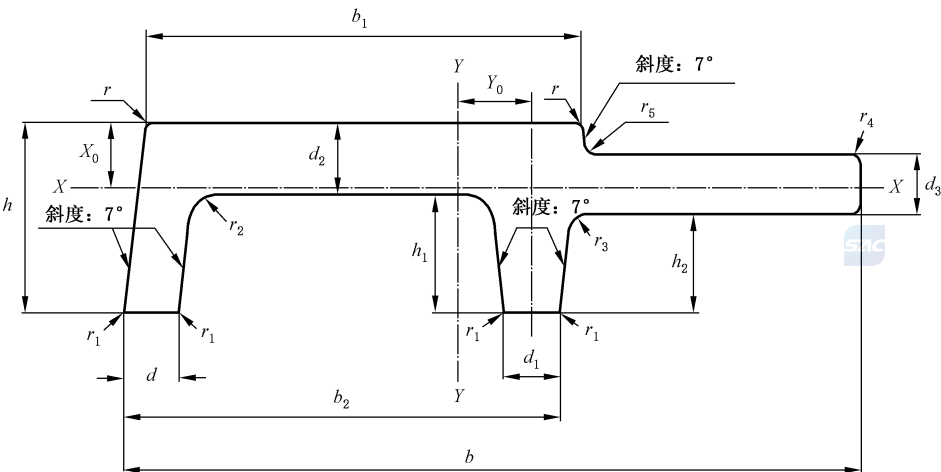
- 4.2.3 轨排长度宜采用 1 200 mm 整数倍,单榀轨排长度宜不大于 13 000 mm。
- 4.2.4 中低速磁浮交通线路(以下简称“线路”)最小平曲线半径应为 50 m。
- 4.2.5 线路最大纵向坡度应为 70‰。

5 技术要求

5.1 原材料

5.1.1 F 型钢

- 5.1.1.1 F 型钢正常使用寿命不应低于 30 年。
- 5.1.1.2 F 型钢化学成分及力学性能应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 1591 或 GB/T 4171 的规定,宜采用碳素结构钢或耐候结构钢。同一线路的 F 型钢宜采用同一牌号。
- 5.1.1.3 F 型钢的饱和磁通密度应不小于 1.4 T。
- 5.1.1.4 F 型钢截面如图 1 所示,截面尺寸、截面面积、理论重量、截面特性参数应符合表 1 和表 2 的规定。圆角半径可参考表 3,仅作为孔型设计参考,不作为交货条件。



- 标引符号说明：
- h —— 外极板高；
 - h_1 —— 内极板高；
 - h_2 —— 极面高；
 - d —— 外极板厚；
 - d_1 —— 内极板厚；
 - d_2 —— 腹板厚度；
 - d_3 —— 翼板厚度；
 - b —— 总宽度；
 - b_1 —— 感应板基面宽；
 - b_2 —— 极板外侧距；
 - $r、r_1、r_2、r_3、r_4、r_5$ —— 圆角半径；
 - $X_0、Y_0$ —— 重心距离。

图 1 F 型钢截面图示

表 1 F 型钢截面尺寸

单位为毫米

型号	截面尺寸									
	h^a	h_1^a	h_2^a	d^a	d_1^a	d_2	d_3^a	b	b_1^a	b_2^a
F372×96	96±0.3	60±0.3	50±0.3	$28^{+1.5}_0$	$28^{+1.5}_0$	36	$30^{+1.5}_0$	372	220±0.3	220±0.5
^a 为关键尺寸指标。										

表 2 F 型钢截面面积、理论重量、截面特性参数

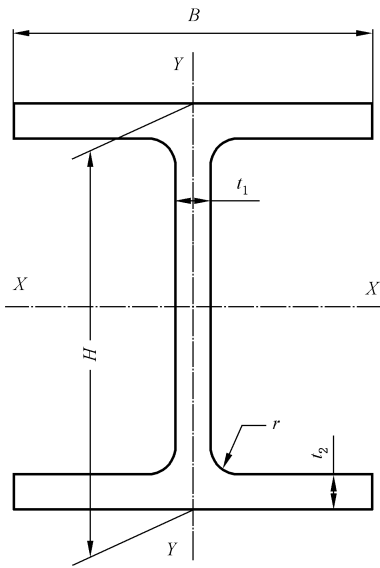
型号	截面面积 cm ²	理论重量 kg/m	惯性矩 cm ⁴		惯性半径 cm		截面模数 cm ³		重心 mm	
			I_x	I_y	i_x	i_y	W_x	W_y	X_0	Y_0
F372×96	161.39	126.7	796	17 455	2.22	10.4	125	852	32.6	37.4

表 3 F 型钢圆角半径

单位为毫米

型号	圆角半径					
	r	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
F372×96	3.5	1	15	10	5	6

- 5.1.1.5 F 型钢试验方法、检验规则和包装、标志、质量证明书等应符合 YB/T 4753 的规定。
- 5.1.1.6 对于有高耐磨使用需求的特殊线路区段,F 型钢宜进行局部表面处理,处理后表面硬度应不低于 40 HRC,且不应影响 F 型钢的尺寸精度、使用性能。
- 5.1.2 H 型钢
- 5.1.2.1 H 型钢正常使用寿命不应低于 30 年。
- 5.1.2.2 H 型钢化学成分及力学性能应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 1591 或 GB/T 4171 的规定,宜采用碳素结构钢或耐候结构钢。
- 5.1.2.3 H 型钢的截面如图 2 所示,其截面公称尺寸、截面面积、理论重量、截面特性参数应符合表 4 的规定。圆角半径宜为 15 mm,仅作为孔型设计参考,不作为交货条件。



标引符号说明：
 H —— 高度；
 B —— 宽度；
 t_1 —— 腹板厚度；
 t_2 —— 翼缘厚度；
 r —— 圆角半径。

图 2 H 型钢截面图示

表 4 H 型钢截面公称尺寸、截面面积、理论重量、截面特性参数

型号	截面公称尺寸 mm				截面面积 cm ²	理论重量 kg/m	惯性矩 cm ⁴		惯性半径 cm		截面模数 cm ³	
	H	B	t_1	t_2			I_x	I_y	i_x	i_y	W_x	W_y
H230×200	230	200	20	20	119.93	94.15	10 152	2 683	9.20	4.73	677	268

5.1.2.4 H 型钢的尺寸允许偏差应符合表 5 的规定。



表 5 H 型钢尺寸允许偏差

单位为毫米

型号	尺寸允许偏差			
	H	B	t_1	t_2
H230×200	±2.0	±3.0	±1.0	±1.5

5.1.2.5 H 型钢的外形、重量及允许偏差及其他技术要求应符合 GB/T 11263 的规定。

5.1.3 感应板

5.1.3.1 感应板宜采用铝合金材质制造,化学成分及力学性能应符合 GB/T 6892 的规定。特殊场合可采用铜合金材质制造,化学成分及力学性能由供需双方协商。

5.1.3.2 感应板横截面形状见图 3,公称尺寸应符合表 6 的规定,未注公差等级应符合 GB/T 14846—2014 中普通级的规定。

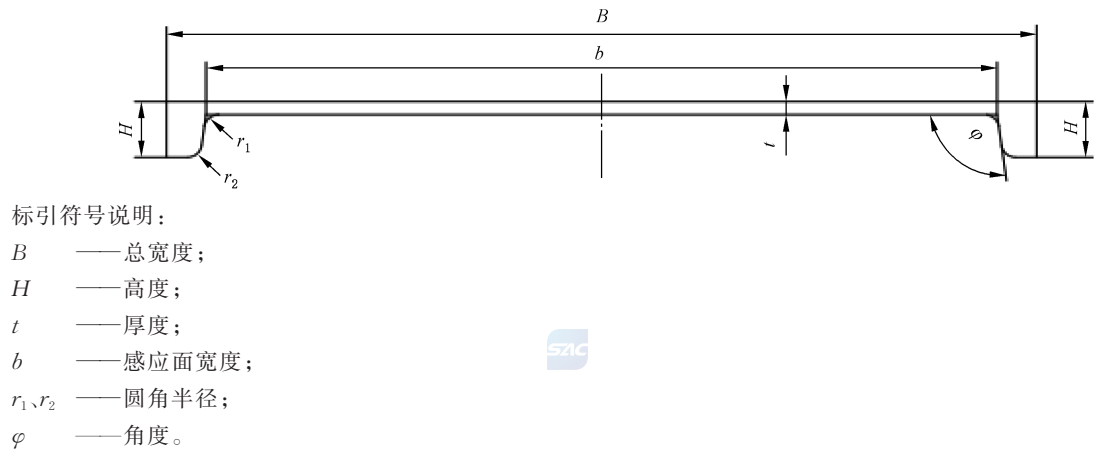


图 3 感应板截面图示

表 6 感应板公称尺寸及允许偏差

项目	截面尺寸及允许偏差						
	B/mm	b/mm	H/mm	t/mm	r_1/mm	r_2/mm	$\varphi/(^{\circ})$
尺寸	242	220	17	4	4	4	97
允许偏差	± 2.0	$+2.5$ $+0.5$	± 0.5	± 0.2	—	—	—

5.1.3.3 感应板的平面间隙、水平方向弯曲度应符合 GB/T 14846—2014 中普通级的规定。

5.1.3.4 感应板的测试环境温度应为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,电导率宜不小于 59%IACS。

5.1.3.5 感应板铝板材应用阳极氧化法对材料表面进行处理。氧化层表面处理应符合 GB/T 5237.2—2017 中 AA15 级的要求,氧化膜厚度应不小于 $15\text{ }\mu\text{m}$ 。

5.1.4 连接件

5.1.4.1 F 型钢与感应板连接件包括螺钉和销钉,应分别符合 GB/T 68 和 GB/T 119.1 的规定。

5.1.4.2 F 型导轨与轨枕连接件由相匹配的高强度螺栓、螺母和垫圈组成,分为高强度大六角头螺栓轨排连接件和抗剪型高强螺栓轨排连接件,螺栓、螺母、垫圈的材质、性能应符合 GB/T 1231 的规定。

5.1.4.3 连接件应进行防腐处理。

5.1.5 焊接材料

轨排采用焊接形式连接时,焊接材料应符合 GB/T 5117、GB/T 5118 的规定。

5.2 制造工艺

5.2.1 轨排应按照规定程序批准的设计图和技术条件制造和验收。设计图和技术条件及本文件未规定的尺寸公差、线性和角度尺寸的公差等级应符合 GB/T 1804—2000 中粗糙 c 级的规定,形位公差的未注公差等级应符合 GB/T 1184—1996 中 K 级的规定。

5.2.2 轨排端部应进行倒角处理。

5.2.3 F 型导轨尺寸允许偏差应符合表 7 的规定。

表 7 F 型导轨尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	检查项目		允许偏差
1	长度		±2
2	直线度(任意 1 m 范围内)		±1
3	磁极面平面度(全长范围内)		≤0.5
4	同一 F 型导轨感应板 安装高度	F 型导轨长度不大于 6 000 mm	±1
		F 型导轨长度大于 6 000 mm	±1.5
5	感应板与 F 型钢间的间隙		≤1

5.2.4 H 型轨枕尺寸允许偏差应符合表 8 的规定。

表 8 H 型轨枕尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	检查项目	允许偏差
1	H 型轨枕长度	±1
2	H 型轨枕直线度(任意 1 m 范围内)	≤1
3	H 型轨枕左右 F 型导轨安装面共面度	≤0.5

5.2.5 F 型导轨、H 型轨枕螺栓孔尺寸及螺栓孔孔距允许偏差应分别符合表 9、表 10 的规定,孔壁表面粗糙度应不低于 MRR *Ra* 12.5。

表 9 F 型导轨、H 型轨枕螺栓孔允许偏差

单位为毫米

序号	孔径(椭圆孔)	孔径允许偏差
1	10~18	0~0.18
2	18~30	0~0.21
3	30~50	0~0.45

表 10 F 型导轨、H 型轨枕螺栓孔距允许偏差

单位为毫米

名 称	孔距范围			
	≤300	>300~1 200	>1 200~6 000	>6 000
螺栓孔孔距	≤300	>300~1 200	>1 200~6 000	>6 000
同一组内任意两孔间距离	±0.5	±1.5	—	—
相邻两组的端孔间距离	±1	±1.5	±2	±2.5
注 1: 螺栓孔孔距是指同一轨排 F 型导轨、H 型轨枕螺栓孔。				
注 2: F 型导轨与 H 型轨枕连接处,4 个螺栓孔为一组。				
注 3: F 型导轨两端两轨排连接螺栓孔处,2 个螺栓孔为一组。				

5.2.6 应根据结构伸缩量选用接头,接头所采用的 F 型钢和感应板应符合 5.1.1 和 5.1.3 的规定。接头按伸缩量的大小宜分为 I 型、II 型、III 型和 IV 型接头:

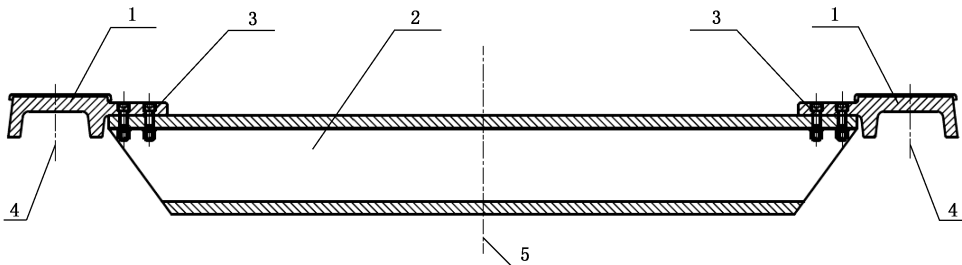
- a) I 型接头适用于伸缩量为 0 mm ~ 20 mm 的轨缝;
- b) II 型接头适用于伸缩量为 0 mm ~ 40 mm 的轨缝;
- c) III 型接头适用于伸缩量为 0 mm ~ 80 mm 的轨缝;
- d) IV 型接头适用于伸缩量为 0 mm ~ 120 mm 的轨缝。

5.2.7 钢材、接头应进行涂层防护。涂装前应对钢材、接头进行除锈处理,处理等级应符合 GB/T 8923.1—2011 中 Sa2 $\frac{1}{2}$ 的要求。涂层防护的干漆膜总厚度、漆膜附着力应符合 GB/T 28699 的规定。

5.3 轨排

5.3.1 尺寸

5.3.1.1 直线轨排示意图如图 4 所示,其尺寸允许偏差应符合表 11 的规定。



标引序号说明:

- 1——F 型导轨;
- 2——H 型轨枕;
- 3——轨排连接件;
- 4——磁极面中心线;
- 5——轨排中线。

注: 轨排中线是指轨排的两侧 F 型导轨的对称中心线。

图 4 直线轨排示意图

表 11 轨排尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	检查项目	允许偏差
1	轨距	±1
2	长度	±2
3	同一横截面四磁极面共面度	≤1
4	轨排磁极面平面度	任意 3 m 范围内: ≤1, 且全长范围内: ≤2
5	相邻两轨枕间距	±2

5.3.1.2 圆曲线轨排和缓和曲线轨排尺寸允许偏差除应符合表 11 的规定外,还应符合 CJJ/T 262 的相关规定。

5.3.2 静载要求

轨排应进行静载型式试验,试验结果满足以下要求:

- a) 两侧 F 型导轨任一磁极面下挠值应不超过 0.6 mm;
- b) F 型导轨和两相邻轨枕应无明显变形和裂纹。

6 试验方法

6.1 化学成分及力学性能

F 型钢与 H 型钢的化学成分及力学性能检验方法应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 1591 或 GB/T 4171 的规定;感应板的化学成分及力学性能检验方法应符合 GB/T 6892 的规定。

6.2 饱和磁通密度

F 型钢饱和磁通密度的检测方法应按 GB/T 13012 的规定。

6.3 尺寸

F 型钢、感应板、H 型钢、轨排的尺寸检测时,在检测平台上采用相应精度的卡尺、平尺、千分尺、塞尺等工具进行测量。

6.4 表面硬度

F 型钢局部表面处理区域表面硬度的检验方法应按 GB/T 230.1 的规定。

6.5 电导率

感应板电导率的检测方法应按 GB/T 6892 的规定。

6.6 氧化膜厚度

感应板氧化膜厚度的检测方法应按 GB/T 5237.2—2017 的规定。

6.7 干漆膜总厚度、漆膜附着力

轨排的干漆膜总厚度、漆膜附着力检验方法应按 GB/T 28699 的规定。

6.8 静载试验

轨排的静载试验应在专用试验平台上进行,试验载荷应施加于相邻两轨枕中心 F 型导轨表面上,试验载荷应为额定载荷的 1.25 倍,加载时应无冲击。具体试验方法见附录 A。

7 检验规则

7.1 检验类别及项目

7.1.1 产品检验分出厂检验和型式检验。

7.1.2 检验项目应符合表 12 的规定。

表 12 出厂检验与型式检验项目

序号	检验项目		出厂检验	型式检验
1	F 型钢	化学成分及力学性能	—	√
2		饱和磁通密度	—	√
3		尺寸	—	√
4		表面硬度	—	√
5	H 型钢	化学成分及力学性能	—	√
6		尺寸	—	√
7	感应板	化学成分及力学性能	—	√
8		尺寸	—	√
9		电导率	—	√
10		氧化膜厚度	—	√
11	轨排	尺寸	√	√
12		干漆膜总厚度、漆膜附着力	—	√
13		静载试验	—	√
注：“√”表示需检测的项目，“—”表示不需检测的项目。				

7.2 出厂检验

应按表 12 规定的项目对轨排逐榀进行出厂检验。若有任意一项不合格,则该榀轨排为不合格。检验合格后方准予出厂。

7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一,应进行型式检验:

- a) 新产品或老产品改进生产的试制定型鉴定;
- b) 正式生产后,当结构、材料、工艺有较大改变可能影响产品性能时;
- c) 产品转厂或停产 2 年以上恢复生产时。

7.3.2 应按表 12 规定的项目对轨排及原材料(F 型钢、H 型钢、感应板)进行型式检验。检验项目全部合格时,判定该榀轨排为合格。有任一项检验项目为不合格时,则对该榀轨排加倍取样,对不合格项目进行复检,若复检合格,则判定该榀轨排合格;若复检仍有不合格项目,则判定该榀轨排为不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 轨排应喷涂明显的吊装点标志及方向标志。

8.1.2 轨排应牢固粘贴产品标牌,标牌应按 GB/T 13306 的要求制作。

8.1.3 产品标牌应至少包括下列内容:

- a) 名称、厂标;
- b) 规格型号;
- c) 轨排在线路中的里程;



- d) 轨排的长度；
- e) 制造日期或生产编号；
- f) 制造单位名称。

8.2 包装

轨排宜裸装交货,其中感应板应加以防护。

8.3 运输

8.3.1 轨排吊装应采用磁力吸盘或尼龙吊装带进行吊装,吊装时 F 型钢轨不应受力,应防止轨排划伤或扭曲。轨排应按吊装位置进行吊装,有多吊装点时,应保证各吊装点受力基本均匀,吊装过程中应保持轨排基本处于水平状态,无多层起吊专用吊具时应单层起吊。

8.3.2 轨排运输时,F 型导轨不应受力,固定点应牢固。轨排运输叠放不应超过 8 层。

8.4 贮存

轨排组装检验合格后,在安装前应放置于干燥、通风的室内场所,贮存环境温度宜为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,轨排叠放时轨排与轨排的轨枕之间应放置垫块进行防护,F 型钢轨不应受力。轨排贮存叠放不应超过 8 层。

8.5 随件文件

随件文件应包括:

- a) 合格证明书;
- b) 装箱清单。

9 保证期限

轨排交付后,在储存条件满足 8.4 要求时,轨排的质量保证期应不小于 12 个月。

附录 A

(资料性)

中低速磁浮轨排静载试验方法

A.1 试验条件及仪器、设备

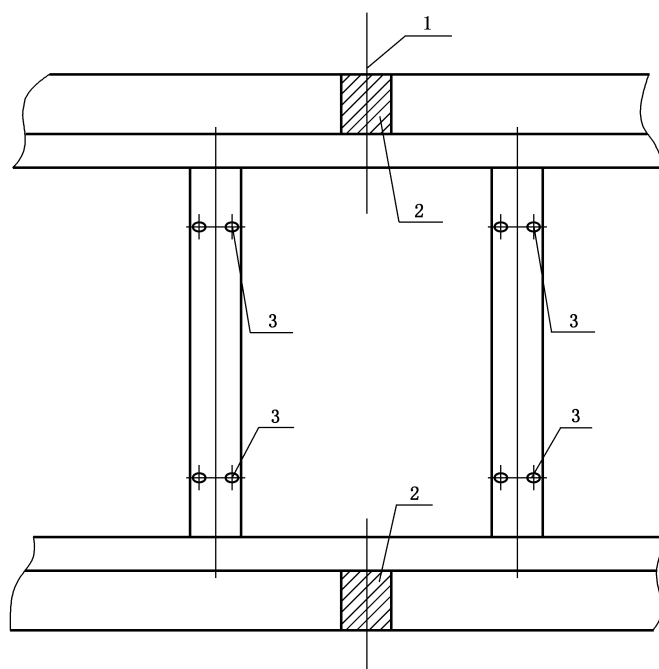
A.1.1 试验场地及用于模拟轨排结构在实际安装状态下的试验平台具有足够的刚度、稳定性及平整度。

A.1.2 试验采用轨排 1 榀。

A.1.3 试验设备包括加载装置(如液压千斤顶、压力传感器;砝码)、百分表等。

A.2 加载位置及试验荷载

中低速磁浮轨排静载试验加载位置如图 A.1 所示,试验荷载施加于相邻两轨枕中心 F 型导轨表面上。设定额定荷载参考值 P_1 ,试验荷载为额定荷载的 1.25 倍,即 $1.25P_1$ 。具体额定荷载根据车辆系统要求进行设定。



标引序号说明:

1——两轨枕中心线;

2——加载位置;

3——螺栓孔位置。



图 A.1 静载试验加载示意图

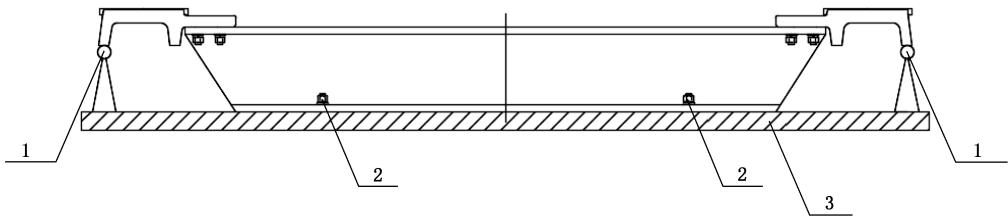
A.3 试验步骤

A.3.1 轨排安装

按照实际安装状态,将整榀轨排通过螺栓安装到试验平台上,所有螺栓扭矩达到规定的标准值。

A.3.2 试验设备安装

将加载装置、百分表等设备安装到如图 A.1 和图 A.2 所示指定位置,两侧 F 型导轨任一磁极面位置各设置一个百分表,并记录百分表数值。



标引序号说明：
1——百分表安装位置；
2——试验平台固定螺栓；
3——试验平台。

图 A.2 百分表安装位置

A.3.3 施加静态载荷

使用加载装置逐步施加静态载荷,加载时无冲击,直至达到预定的试验载荷值,并稳定 5 min。

A.3.4 试验记录

分别记录两侧百分表的数值。同时,观察 F 型导轨和两相邻轨枕有无明显变形和裂纹,并记录。

A.3.5 卸载静态载荷

在完成数据记录后,逐步卸载静态载荷,直至完全卸载。

A.4 结果判定

试验结果满足以下条件判定为合格：

- a) 两侧 F 型导轨任一磁极面下挠值不超过 0.6 mm；
- b) F 型导轨和两相邻轨枕无明显变形和裂纹。