



宝山钢铁股份有限公司企业标准

Q/BQB 481—2023
代替Q/BQB 481-2021

全工艺冷轧中频无取向电工钢带

Cold-rolled Fully processed non-oriented electrical steel strip
For use at medium Frequencies

2023-04-09 发布

2023-07-01 实施

宝山钢铁股份有限公司 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第一部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件参考 IEC 60404-8-8:2017 进行编制。

本文件代替 Q/BQB 481—2021。本文件与 Q/BQB 481—2021 相比，除编辑性改动外，主要修改内容如下：

- 增加半有机无铬薄涂层种类 D 和半有机无铬厚涂层种类 E；
- 补充普通型、高效型、高磁感型产品的力学性能要求；
- 修改绝缘涂层附着性试验方法和最低级别要求；
- 修改厚度小于 0.30mm 产品的自粘结涂层剥离强度试验方法；
- 修改自粘结涂层干膜厚度和绝缘涂层电阻的典型值；

本文件的附录 C 为规范性附录，附录 A、附录 B、附录 D～附录 F 为资料性附录。

本文件由宝山钢铁股份有限公司硅钢事业部和制造管理部提出。

本文件由宝山钢铁股份有限公司硅钢事业部和制造管理部联合起草。

本文件由宝山钢铁股份有限公司制造管理部归口。

本文件主要起草人：胡聆

本文件所代替的历次版本发布情况为：Q/BQB 481-2018，Q/BQB 481-2021。

全工艺冷轧中频无取向电工钢带

1 范围

本文件规定了公称厚度为 0.15mm、0.20mm、0.25mm、0.27mm、0.30mm 和 0.35mm 全工艺冷轧中频无取向电工钢带的术语和定义、分类和代号、一般要求、技术要求、检验和试验、包装、标志及检验文件等要求。

本文件适用于宝山钢铁股份有限公司生产的、用于频率在 100Hz-10000Hz 磁路结构的、以最终退火状态交货的全工艺冷轧无取向电工钢带产品(以下简称产品)。

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 228.1-2021	金属材料拉伸试验 第1部分：室温实验法
GB/T 2521.1	全工艺冷轧电工钢 第1部分：晶粒无取向钢带(片)
GB/T 2522	电工钢片(带)表面绝缘电阻、涂层附着性测试方法
GB/T 2791	粘结剂 T 剥离强度试验方法 挠性材料对挠性材料
GB/T 2900.60	电工术语 电磁学
GB/T 3655	用爱泼斯坦方圈测量电工钢片(带)磁性能的方法
GB/T 4340.1	金属材料维氏硬度试验 第1部分：试验方法
GB/T 7124	胶粘剂 拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)
GB/T 8170	数值修约规则与极限数值的表示和判定
GB/T 9637	电工术语磁性 材料与元件
GB/T 10129	电工钢片(带)中频磁性能测量方法
GB/T 17505	钢及钢产品交货一般技术要求
GB/T 18253	钢及钢产品检验文件的类型
GB/T 19289	电工钢片(带)的密度、电阻率和叠装系数的测量方法
YB/T 4292	电工钢带(片)几何特性测试方法
YB/T 4731	电工钢带(片)反复弯曲试验方法
Q/BQB 400-2020	冷轧产品的包装、标志及检验文件
IEC 60404-8-8	Specifications for individual materials - Thin electrical steel strip and sheet for use at medium frequencies

3 术语和定义

3.1 比总损耗(铁损) specific total loss (iron loss)

比总损耗是指在磁极化波形保持正弦，其峰值和频率为特定值时，单位质量材料所消耗的总功率，比总损耗用符号 $P(J_m/f)$ 表示，单位为 W/kg。

例： $P_{1.0/400}$ 表示在最大磁极化强度为 1.0T、频率为 400Hz 时的比总损耗。

3.2 磁极化强度 magnetic polarization

磁极化强度是指试样受交变磁化时，特定磁场强度峰值的磁极化强度峰值，其符号为 $J(H)$ ，单位为 T(特斯拉)。

例： J_{5000} 表示对应于磁场强度峰值为 5000A/m 下的磁极化强度峰值。

4 分类

本文件的材料的等级是根据磁极化强度在 1.0T、频率在 400Hz 下的最大比总损耗值 $P_{1.0/400}$ 、材料公称厚度进行牌号分类，并按产品特性细分为普通型、高效型、高效高强度型、高磁感型和高强度型五类。

5 符号与牌号

5.1 符号和说明

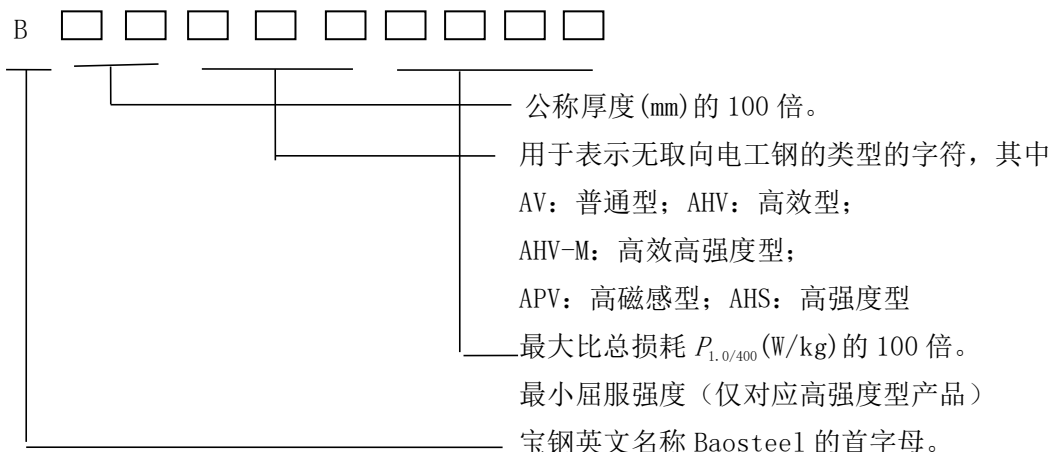
本文件的符号和相应的说明见表 1。

表 1 符号和说明

符号	单位	说明
P	W/kg	比总损耗，通常称为铁损
$P_{1.0/400}$	W/kg	磁极化强度在 1.0T、频率在 400Hz 下测得的比总损耗
H	A/m	磁场强度
J	T	磁极化强度
J_{1000}	T	磁场强度峰值为 1000A/m 下测得的磁极化强度峰值
J_{2500}	T	磁场强度峰值为 2500A/m 下测得的磁极化强度峰值
J_{5000}	T	磁场强度峰值为 5000A/m 下测得的磁极化强度峰值
J_{10000}	T	磁场强度峰值为 10000A/m 下测得的磁极化强度峰值
μ_0	H/m	真空中的磁导率取 $4\pi \times 10^{-7}$
B	T	磁感应强度， $B = \mu_0(H + J)$
R_{eL}	MPa	下屈服强度
R_m	MPa	抗拉强度
A	%	断后伸长率
C	$\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{面}$ 或 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{面}$	表面绝缘电阻
R_d	$\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{片}$ 或 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{片}$	层间电阻

5.2 牌号定义

产品的牌号是按照下列给出的次序组成：



示例 1:

B20AV1300 表示公称厚度为 0.20mm 的普通型无取向电工钢，最大比总损耗 $P_{1.0/400}$ 为 13W/kg；

示例 2:

B27AHV1400 表示公称厚度为 0.27mm 的高效型无取向电工钢，最大比总损耗 $P_{1.0/400}$ 为 14W/kg；

示例 3:

B30APV1500 表示公称厚度为 0.30mm 的高磁感型无取向电工钢，最大比总损耗 $P_{1.0/400}$ 为 15W/kg；

示例 4:

B25AHV1300M 表示公称厚度为 0.25mm 的高效高强度型无取向电工钢，最大比总损耗 $P_{1.0/400}$ 为 13W/kg；

示例 5:

B35AHS500 表示公称厚度为 0.35mm 的高强度型无取向电工钢，最小屈服强度 500MPa。

5.3 绝缘涂层的分类和代号

绝缘涂层的分类和代号应符合表2的规定。

表 2 绝缘涂层的分类和代号

绝缘涂层种类	代号	特征
半有机薄涂层	A	改善冲片性，并有良好的焊接性
半有机厚涂层	H	冲片性好，层间电阻高
半有机无铬薄涂层	K/D	涂层中不含铬，具有良好的焊接性
半有机无铬厚涂层	M/E	涂层中不含铬，具有良好的绝缘性能
自粘接涂层	Z	涂层中不含铬，固化后具有良好的粘接性能，铁心固定强度大

6 一般要求**6.1 生产工艺**

产品的生产工艺和化学成分由制造方决定。

6.2 供货形式

6.2.1 产品以卷供货，简称钢卷。钢卷的重量应符合订货要求，卷重一般 3~10 吨，特殊卷重应在订货时协商并在合同中注明。

6.2.2 钢卷以切边状态交货。

6.2.3 钢卷内径应在 500mm~520mm 范围内，推荐内径值为 508mm。

6.2.4 钢卷应由同一宽度的钢带连续、紧密卷绕，卷的侧面应尽量平直，自重下不塌卷。

6.3 交货状态

钢带以最终退火并两面涂敷绝缘涂层的状态交货。

6.4 表面条件

6.4.1 钢带表面应光滑清洁，无油脂，无锈渍，无影响使用的缺陷。

6.4.2 钢带表面允许存在不影响材料正常使用的在厚度偏差允许范围内的基板缺欠、绝缘涂层缺欠，如轻微划伤、色差、辊印、斑纹等缺欠。

6.5 剪切适应性

钢带应便于进行剪切或冲压，以保证在任何位置将钢带剪切成通常的形状。

7 技术要求

7.1 磁性能

在 6.3 条件下提供的产品的磁性能应符合表 3 的规定。时效后的磁性能要求，由供需双方在订货时协商，并在合同中注明。

表 3 产品磁性能和技术特性

类型	牌号	公称厚度 mm	最大比总损耗 $P_{1.0/400}$ W/kg	最小磁极化强度 J_{5000}^a T	最小叠装系数	最小弯曲次数	约定密度 kg/dm ³
普通型	B15AV1000	0.15	10.00	1.60	0.92	2	7.60
	B20AV1200	0.20	12.00	1.61	0.93	2	7.60
	B20AV1300	0.20	13.00	1.63	0.93	2	7.65
	B25AV1300	0.25	13.00	1.62	0.94	2	7.60
	B27AV1400	0.27	14.00	1.62	0.94	2	7.60
	B30AV1500	0.30	15.00	1.63	0.94	2	7.60
	B35AV1700	0.35	17.00	1.64	0.95	2	7.60
	B35AV1800	0.35	18.00	1.64	0.95	2	7.60
	B35AV1900	0.35	19.00	1.65	0.95	2	7.65
	B35AV2000	0.35	20.00	1.65	0.95	3	7.65
B35AV2100	0.35	21.00	1.66	0.95	3	7.65	
高效型	B20AHV1200	0.20	12.00	1.64	0.93	2	7.65
	B20AHV1300	0.20	13.00	1.65	0.93	2	7.65
	B27AHV1400	0.27	14.00	1.65	0.94	2	7.65
	B30AHV1500	0.30	15.00	1.66	0.94	2	7.65
	B35AHV1700	0.35	17.00	1.66	0.95	2	7.65
高效 高强度型	B25AHV1300M	0.25	13.00	1.65	0.94	2	7.60
	B27AHV1400M	0.27	14.00	1.65	0.94	2	7.60
	B30AHV1500M	0.30	15.00	1.65	0.94	2	7.60
高磁感型	B15APV1000	0.15	10.00	1.68	0.92	2	7.65
	B20APV1200	0.20	12.00	1.68	0.93	2	7.65
	B25APV1300	0.25	13.00	1.68	0.94	2	7.65
	B27APV1400	0.27	14.00	1.68	0.94	2	7.65
	B30APV1500	0.30	15.00	1.68	0.94	2	7.65
	B35APV1700	0.35	17.00	1.68	0.95	2	7.65
高强度型	B35AHS500	0.35	25.00	1.64	0.95	2	7.60
	B35AHS550	0.35	32.00	1.63	0.95	2	7.60
	B35AHS600	0.35	35.00	1.60	0.95	2	7.60

^a 频率在 50Hz 的磁极化强度。

7.2 力学性能

在 6.3 条件下提供的产品的力学性能应符合表 4 的规定。如需方对室温下力学性能有特殊要求，应在订货时协商，并在合同中注明。

表4 产品的力学性能

类型	牌号	下屈服强度 R_{el}^a MPa	抗拉强度 R_m MPa	断后伸长率 A_{50mm} %
		不小于		
普通型	B15AV1000	400	500	10
	B20AV1200	400	500	10
	B20AV1300	350	460	15
	B25AV1300	400	500	10
	B27AV1400	400	500	10
	B30AV1500	400	500	10
	B35AV1700	400	500	10
	B35AV1800	370	480	10
	B35AV1900	350	460	15
	B35AV2000	340	460	15
	B35AV2100	300	420	15
高效型	B20AHV1200	360	470	10
	B20AHV1300	330	440	15
	B27AHV1400	360	470	10
	B30AHV1500	360	470	10
	B35AHV1700	360	470	10
高效高强度型	B25AHV1300M	420	520	10
	B27AHV1400M	420	520	10
	B30AHV1500M	420	520	10
高磁感型	B15APV1000	360	470	10
	B20APV1200	360	470	10
	B25APV1300	360	470	10
	B27APV1400	360	470	10
	B30APV1500	360	470	10
	B35APV1700	360	470	10
高强度型	B35AHS500	500	570	10
	B35AHS550	550	620	10
	B35AHS600	600	670	10

^a无明显屈服时采用 $R_{p0.2}^{\circ}$

7.3 绝缘涂层特性

7.3.1 绝缘涂层状态

产品通常以两面涂敷绝缘涂层状态交货，涂层种类见表2。绝缘涂层应可耐受绝缘漆、变压器油、机械油等介质的侵蚀。本文件规定的绝缘涂层与国内外相关技术规范规定绝缘涂层的近似对照可参见附录A(资料性附录)，绝缘涂层的特性见附录B(资料性附录)。

绝缘涂层的厚度、自粘接涂层的剥离强度等技术要求如有特殊要求应在订货时协商，并在合同中注明。

7.3.2 绝缘涂层附着性

7.3.2.1 绝缘涂层附着性级别应符合 GB/T 2522-2017 规定的 B 级及本标准附录 C 规定的 C 级。若无特别指定，默认采用本标准附录 C 进行检测。

注：由于检测及评级方法差异，经对比试验表明，附录 C 规定的 C 级要求严于 GB/T 2522-2017 规定的 B 级。

7.3.2.2 在剪切过程和供方规定的热处理条件下进行热处理时，涂层不得有大面积脱落，但是在剪切边缘位置，涂层的轻微碎裂则允许存在。

7.3.3 涂层绝缘电阻

涂层绝缘电阻分为表面绝缘电阻和层间电阻，表面绝缘电阻系数单位为 $\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{面}$ ，层间电阻系数单位为 $\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{片}$ ，理论上，层间电阻系数是表面绝缘电阻系数的 2 倍。根据需方要求，经供需双方协商，可进行涂层绝缘电阻的检测，并在合同中注明涂层表面绝缘电阻系数或层间电阻系数的最小值。

7.4 几何特性和公差

7.4.1 厚度

7.4.1.1 公称厚度

产品的公称厚度为 0.15mm、0.20mm、0.25mm、0.27mm、0.30mm 和 0.35mm 六种厚度规格。

7.4.1.2 厚度允许偏差

厚度允许偏差包括以下三类，其中包括：

- 同一个验收批内公称厚度的允许偏差，以下称公称厚度允许偏差；
- 平行于轧制方向（即钢带长度方向）的一定长度（2000mm±200mm）范围内，钢带纵向上各点的实际厚度之间的偏差，以下称纵向厚度差；
- 垂直于轧制方向（即沿着钢带宽度方向），钢带距离边部不小于 15mm 及横向宽度中间位置，各点的实际厚度之间的偏差，以下称横向厚度差。

产品的公称厚度允许偏差、纵向厚度偏差、横向厚度偏差应符合表 5 的规定。

表5 厚度允许偏差

单位：mm

公称厚度	公称厚度允许偏差	纵向厚度偏差	横向厚度偏差
0.15、0.20	+0.010	+0.006	+0.008
	-0.015	0	0
0.25、0.27	+0.010	+0.008	+0.010
	-0.020	0	0
0.30	+0.010	+0.009	+0.012
	-0.025	0	0
0.35	+0.015	+0.010	+0.012
	-0.025	0	0

7.4.2 宽度

7.4.2.1 宽度范围

钢带的宽度可以在供方指定的宽度范围内选择，钢带的宽度范围应符合表 6 的规定。

表 6 钢带的公称尺寸范围

单位：mm

公称厚度	公称宽度
0.15、0.20、0.25、0.27、0.30、0.35	900~1250

7.4.2.2 宽度允许偏差

钢带以切边状态交货，钢带的宽度允许偏差应符合表 7 的规定。

表 7 宽度允许偏差

单位：mm

公称宽度 L	宽度允许偏差
$900 \leq L \leq 1000$	0~+1.0
$1000 \leq L \leq 1250$	0~+1.5

7.4.3 不平度

钢带的不平度(波浪度)应不大于 1.5%，钢带的浪高应不大于 3.0mm。

7.4.4 镰刀弯

钢带的镰刀弯规定仅适用于切边供货的状态。在任意 2m 测量长度上，钢带的镰刀弯应不大于 2mm。供方如能保证，可不进行该项检测。

7.4.5 毛刺高度

剪切毛刺高度的规定仅适用于以切边交货的材料。剪切毛刺高度应不大于 0.035mm。

7.4.6 残余曲率

钢带的残余曲率通过测试钢片的底边和支撑板间的距离确定。钢带的残余曲率应不超过 35mm。供方如能保证，可不进行该试验。

7.5 技术特性

7.5.1 约定密度

用于计算产品的磁特性和叠装系数的约定密度应符合表3的规定。如需采用其他约定密度，须供需双方协商后确定。

7.5.2 叠装系数

产品的叠装系数应符合表3的规定。仲裁时，适用于无绝缘涂层状态。

7.5.3 弯曲次数

弯曲次数是指用肉眼在基板上观测到第一次出现贯穿试样厚度的裂纹(或听到产生裂纹的声音)前的最大反复弯曲次数，它表示材料的延展性。弯曲次数应符合表3的规定。供方如能保证，可不进行该试验。

8 检验和试验

8.1 检验批次

钢带应按批验收，每个检验批应由不大于20吨的同牌号、同规格、同热处理状态、同绝缘涂层的钢带组成。对于重量大于20吨的钢带，每个钢卷组成一个检验批。

8.2 取样

8.2.1 取样应从每一个检验批上切取。

8.2.2 钢卷的最内圈和最外圈应视为包装材，不代表整个钢卷的质量，试样不应从这部分截取。

8.2.3 取样位置距钢带头尾两端不小于3m，距钢带边部不小于15mm处截取。

8.2.4 通过合理地安排测试顺序，同一副试样可以用于测试多种特性。

8.3 钢带的表面外观检查

带钢的表面外观质量用肉眼检查。

8.4 尺寸和外形的测量

钢带的尺寸、外形应采用合适的测量工具测量。钢带的尺寸和外形，应在距钢带头尾两端不小于3m的位置处测量。

8.4.1 厚度的测量

钢带的厚度应在距边部不小于15mm的任意位置处测量。测量所采用的千分尺精度应为0.001mm。

8.4.2 不平度(波浪度)的测量

测量钢带最大波的高度(h)和波长(l)，计算得到钢带的 $(h/l) \times 100\%$ ，如图1所示。

8.4.3 毛刺(h)的测量

测量带钢剪切处及内侧的厚度 h_2 和 h_1 ，毛刺高度等于两者的厚度之差($h=h_2-h_1$)。如图2所示。测试毛刺高度的试样从成品交货的带钢上制取。

8.5 磁性能测试

磁性能按GB/T 3655测试。对于带有涂层的产品，绝缘涂层的重量应被计算在内。测试产品时效试样的比总损耗时，时效试样应在 $225^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 温度中持续保温24h，然后空冷到室温温度。

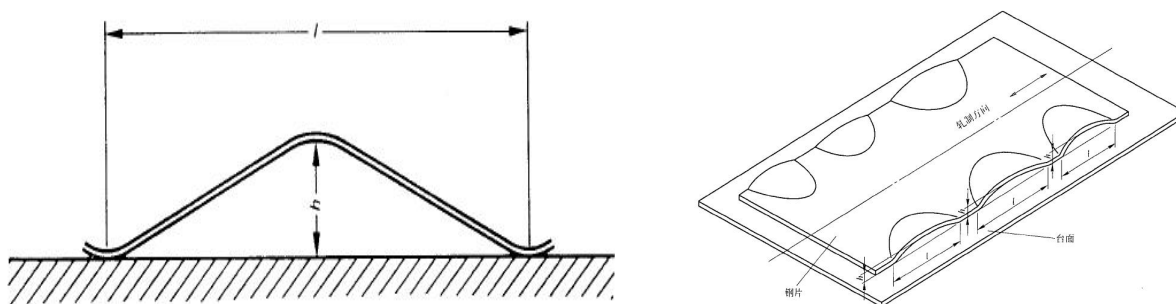


图1 不平度(波浪度)的测量

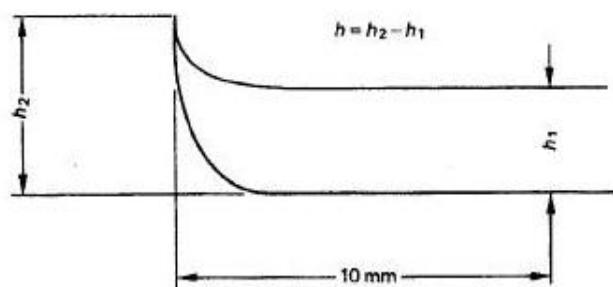


图2 毛刺高度(h)测量图

8.6 拉伸试验

拉伸试验应按照GB/T 228.1-2021的方法B。为了改善测量结果的再现性，推荐采用横梁位移控制方法，测屈服强度速率为5%Lc/分钟或0.00083/s，屈服强度测得后的速率为40%Lc/分钟(Lc为试样的平行长度)或0.0067/s。试样位置距边部应不小于50mm。

8.7 取样数量、试样方向、试样尺寸及试验方法

产品检验项目的取样数量、试样方向、试样尺寸及试验方法应符合表8的规定。

表 8 取样数量、试样方向、试样尺寸及试验方法

检验项目	取样数量	试样方向	试样尺寸	试验方法
比总损耗、磁极化强度	1组/批	纵向和横向各一半	长度：280mm~320 mm 宽度：30mm	GB/T 10129
叠装系数	-	纵向和横向各一半	长度：280mm~320 mm 宽度：30mm	GB/T 19289
自粘接涂层剥离强度	1组/批	纵向	长度：200mm 宽度：25mm	GB/T 2791（厚度 \geq 0.30mm）
			长度：100mm 宽度：25mm	GB/T 7124（厚度 $<$ 0.30mm）
不平度	1组/批	纵向	全板宽 \times 1000mm长	YB/T 4292
毛刺高度		纵向	全板宽 \times 1000mm长	YB/T 4292
绝缘涂层附着性		纵向	长度：280mm~320mm 宽度：30mm	GB/T 2522-2017、 附录 C
涂层绝缘电阻	-	横向	长度： \geq 400mm 宽度： \geq 50mm	GB/T 2522
镰刀弯		纵向	全板宽 \times 2000mm长	YB/T 4292
维氏硬度（HV1）		/	\geq 12mm \times \geq 30mm	GB/T 4340.1
弯曲次数 ^a	-	纵向	宽度：30mm	GB/T 2521.1
拉伸试验		纵向	平行段：长度 60mm \times 宽度 25mm (50mm 标距)	GB/T 228.1
残余曲率		纵向	全板宽 \times 500mm长	YB/T 4292

^a弯曲试样取样时，试样边部距钢带边部不小于40mm。

8.8 其它

供方可采用不同的检验和试验方法进行验收测试，发生争议时，应采用本文件规定的检验和试验方法及相关的技术要求进行测试。

9 判定与复验规则

产品的判定与复验规则应符合 GB/T 17505 的规定。

规定的磁性能及工艺性能检验项目中，如有某一项试验结果不符合本文件要求，则从同一批中再任取双倍数量的试样进行该不合格项目的复验。复验结果(包括该项目试验所要求的所有指标)合格，则整批合格。复验结果(包括该项目试验所要求的所有指标)即使有一个指标不合格，则复验不合格。如复验不合格，则已做试验且试验结果不合的单件不能验收，但该批材料中未做试验的单件可逐件重新提交试验和验收。

10 包装、标志和检验文件

钢带的包装、标志及检验文件应符合 Q/BQB 400 规定。如无特殊要求，钢卷采用卧式包装，详见 Q/BQB 400-2020 中图 7 包装类型，如需方对包装有特殊要求，可在订货时协商，并在合同中注明。

无取向电工钢产品质量证明书通常列印项目有 $P_{1.0/400}$ 和 $J_{5000/50}$ ，如需方有特殊要求，可在订货时协商。

11 数值修约规则

数值判定采用修约值比较法，数值修约应符合 GB/T 8170 的规定。

12 订货所需信息

订货时用户需提供以下信息：

- 产品名称(钢带)；
- 本企业文件号；
- 牌号；
- 涂层种类；
- 规格尺寸；
- 边缘状态；
- 重量；
- 包装方式；
- 用途；
- 其他特殊要求。

附录 A
(资料性附录)

表 A.1 本文件规定的涂层与国内外技术规范规定涂层的对应关系

绝缘涂层种类	Q/BQB 481-2021	ASTM A 976-2018	IEC 60404-1-1:2004	IS 648:2022	特点
半有机薄涂层	A	C-5	EC-5-P	C-5	<p>涂层为铬酸盐为主的无机成分混合物, 添加有少量有机成分, 以提高钢带的冲片性能。</p> <p>涂层具有一定的层间电阻, 在中性气氛或弱还原性炉子气氛中, 可承受的消除应力退火温度一般可达 800℃, 在退火时, 层间电阻会有一些降低。</p> <p>涂层能承受 300-550℃的涂层烧除处理, 可用于重建电机定子时, 去除电机定子绕组的绝缘层, 也可用于风冷式或油浸式。</p>
半有机厚涂层	H	C-5	EC-5-P	C-5	<p>基本情况和 A 涂层类似, 膜厚增加, 绝缘性更好, 耐蚀性更好, 冲片性也更好, 焊接性略差。</p>
半有机无铬薄涂层	K	C-5	EC-5-P	C-5	<p>涂层通常以磷酸盐无机成分为主, 添加少量有机成分, 不含有铬元素, 杜绝了用户退火、发蓝和使用过程中发生六价铬含量超标的可能性, 安全性、环保性极佳。性能基本接近 A 涂层, 绝缘性好, 冲片性好, 在中性气氛或弱还原性炉子气氛中, 可承受的消除应力退火温度一般可达 800℃, 在退火时, 层间电阻会有一定降低。</p>
	D	C-5	EC-5-P	C-5	<p>在 K 涂层基础上, 针对在更多的用户需求场景, 提高涂层二次加工的相容性, 应用更广泛。</p>
半有机无铬厚涂层	M	C-5	EC-5-P	C-5	<p>基本情况和 K 涂层类似, 膜厚增加, 绝缘性更好, 耐蚀性更好, 冲片性也更好, 焊接性略差。</p>
	E	C-5	EC-5-P	C-5	<p>基本情况和 D 涂层类似, 膜厚增加, 绝缘性更好, 耐蚀性更好, 但焊接性劣化。</p>
自粘接涂层	Z	C-3	—	C-3	<p>涂层为有机成分, 具有很高的层间电阻, 并可以大幅提高钢带的冲片性能, 很适合用于冲压叠片。用户使用时, 先将钢板冲制成芯片, 然后加压固定成型, 在保压条件下加热固化, 芯片彼此粘接在一起, 形成整体。其固定方式和常见的铆接、焊接、螺栓方式不同, 刚度、强度更高, 振动和噪音小。</p> <p>涂层交货状态为 B 状态, 即涂层还没有发生完全固化, 具有进一步粘接、固化的活性, 涂层硬度、耐蚀性尚没有达到最佳。</p> <p>涂层钢卷仓储有效期为半年。</p> <p>用户固化的推荐工艺为: a) 炉烘温度 160~230℃, 模具压紧的压力为 0.3~3Mpa, 时间保持 1~3h; 或 b) 感应固化的铁芯温度 150~250℃, 压力 0.1~3MPa, 时间保持 0.2~30min。</p> <p>固化后, 涂层处于最终稳定的状态, 即 C 状态, 涂层硬度、强度、粘接力达到最佳。</p> <p>涂层不能承受正常的消除应力退火温度。涂层能承受 180℃的长期耐热温度; 但考虑到粘结能力的稳定性, 适用于该涂层的工作温度通常不超过 150℃。</p>

附录 B
(资料性附录)

表 B.1 无取向电工钢涂层的特性表^a

涂层代码	A	H	K	M	Z	备注	
	常规 (含铬)		环保 (无铬)				
ASTM 属性	C-5	C-5	C-5	C-5	C-3		
涂层种类	半有机涂层	半有机涂层	半有机涂层	半有机涂层	有机涂层		
干膜厚度 (μm / 面)	0.2~0.5μm	0.6~1.0μm	0.3~0.7μm	0.7~1.2μm	1~4μm		
涂层绝缘电阻 (Ω·cm ² /片)	≥1	≥3	≥1	≥3	≥5	表中数值为层间电阻(10个触头,总面积为6.45cm ²)	
附着性	A	B	A	B	A	附录 C	
冲片性 (×1000) 毛刺达到 50 μm 的冲片次数	1000	1500	1000	暂无数据	暂无数据	模具钢材质, 冲制 Φ15mm 圆片, 间隙为板厚的 5%, 使用冲压油	
耐湿热性	表观变化	未变化	未变化	未变化	未变化	50℃, 95%相对湿度, 14 天	
耐油性	表观变化	未变化	未变化	未变化	暂无数据	R-134a/R22: Oil= (1.5~9): 1 (密封室内 80℃, 10 天, 20bar 压力)	
	质量变化	未变化	未变化	未变化			
焊接性 (cm/min) 焊道气泡<7 个的最大焊接速度	80~100	20~60	80~100	20~60	不适用	氩气保护焊; 焊接电流 120A; 电极 Th-W 2.4mm Φ; 焊枪间隔 1.5 mm; 加压 100 kg/cm ²	
耐热性	长期/空气	≥180℃	≥180℃	≥180℃	≥180℃	≥150℃	IEC 60404-12
	短期/空气	210℃×2500h / 600℃×30min	210℃×2500h / 600℃×30min	210℃×2500h / 600℃×30min	210℃×2500h / 600℃×30min	不适用	

^a以上数据均为一定条件下的实验室测量数据, 反映了涂层产品的相关典型性能, 但不应视为保证值。

附录 C

(规范性附录)

无取向电工钢绝缘涂层附着性检测和评价方法

C.1 说明

本附录适用于无取向电工钢绝缘涂层附着性检测和评价。

C.2 装置和用具

装置是直径为 10mm，公差为 (-0.5, +0.1) mm 的表面光滑的黄铜圆柱体和 3M 600# 透明胶带。

C.3 试样

涂层附着性检测采用爱泼斯坦纵向试样片，试样长 280mm~320mm，试样宽 30mm，试样平直，表面清洁，无影响性能检测的缺陷。

C.4 试验

把贴有透明胶带的试样，紧贴在 $\Phi 10\text{mm}$ 铜棒上（贴透明胶带的一侧作为内侧），做 180° 弯曲后，恢复原状，然后与试样平面呈 90° 迅速剥下透明胶带，粘贴在试验记录单（要求质地为白色）上，目视涂层脱落情况。

C.5 评级

按表 C.1 涂层剥离面积率对涂层附着性作出评价。

表C.1 无取向硅钢绝缘涂层附着性评定标准

评级	涂层剥离面积率 (%)
A	0
B	$0 < \% \leq 30$
C	$30 < \% \leq 70$
D	$70 < \%$

$$\text{剥离面积率} (\%) = \frac{\text{剥离部分面积}}{\text{内侧弯曲部分面积}} \times 100$$

注：内侧弯曲部分面积 = 试验片宽度 × 试验器具的半周长。

附录 D
(资料性附录)

中频无取向电工钢产品代表牌号技术性能典型值

表 D.1 本文件 AV 产品主要磁性能典型值^a

牌号	公称厚度 mm	约定密度 kg/dm ³	电阻率 ^b $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	比总损耗 $P_{1.0/50}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.5/50}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/60}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.5/60}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/400}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/800}$ W/kg	磁极化强度 J_{1000} T	磁极化强度 J_{2500} T	磁极化强度 J_{5000} T	磁极化强度 J_{10000} T
B15AV1000	0.15	7.60	59	0.84	2.00	1.03	2.46	9.50	23.80	1.43	1.52	1.62	1.74
B20AV1200	0.20	7.60	59	0.85	2.02	1.04	2.49	10.60	28.70	1.44	1.53	1.63	1.75
B20AV1300	0.20	7.65	53	0.93	2.35	1.21	2.87	12.00	31.50	1.45	1.54	1.64	1.76
B25AV1300	0.25	7.60	59	0.86	2.01	1.05	2.48	12.00	33.15	1.44	1.53	1.63	1.75
B27AV1400	0.27	7.60	59	0.86	2.03	1.05	2.50	13.20	37.50	1.45	1.54	1.64	1.76
B30AV1500	0.30	7.60	59	0.89	2.12	1.11	2.63	14.20	41.00	1.46	1.55	1.64	1.76
B35AV1700	0.35	7.60	59	0.91	2.20	1.14	2.77	16.20	47.50	1.47	1.57	1.66	1.78
B35AV1800	0.35	7.60	55	0.98	2.25	1.25	2.75	17.20	50.50	1.47	1.57	1.66	1.78
B35AV1900	0.35	7.65	53	1.06	2.42	1.34	3.01	17.50	52.50	1.48	1.58	1.67	1.79
B35AV2000	0.35	7.65	50	1.14	2.55	1.45	3.18	18.50	54.80	1.51	1.59	1.68	1.80
B35AV2100	0.35	7.65	46	1.25	2.80	1.55	3.44	19.50	57.10	1.51	1.60	1.68	1.80

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；

^b电阻率检测方法参照 GB/T 351。

表 D.2 本文件 AHV 产品主要磁性能典型值^a

牌号	公称厚度 mm	约定密度 kg/dm ³	电阻率 ^b $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	比总损耗 $P_{1.0/50}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.5/50}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/60}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.5/60}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/400}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/800}$ W/kg	磁极化强度 J_{1000} T	磁极化强度 J_{2500} T	磁极化强度 J_{5000} T	磁极化强度 J_{10000} T
B20AHV1200	0.20	7.65	57	0.83	2.05	1.02	2.52	10.80	29.40	1.47	1.57	1.65	1.77
B20AHV1300	0.20	7.65	49	0.97	2.28	1.20	2.80	12.15	32.50	1.49	1.58	1.67	1.79
B27AHV1400	0.27	7.65	57	0.85	2.07	1.06	2.56	13.30	38.40	1.47	1.58	1.66	1.78
B30AHV1500	0.30	7.65	57	0.90	2.09	1.11	2.59	14.20	40.80	1.49	1.58	1.67	1.79
B35AHV1700	0.35	7.65	57	0.93	2.08	1.14	2.57	16.00	47.00	1.50	1.60	1.68	1.80

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b电阻率检测方法参照 GB/T 351。

表 D.3 本文件 AHV-M 产品主要磁性能典型值^a

牌号	公称厚度 mm	约定密度 kg/dm ³	电阻率 ^b $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	比总损耗 $P_{1.0/50}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.5/50}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/60}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.5/60}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/400}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/800}$ W/kg	磁极化强度 J_{1000} T	磁极化强度 J_{2500} T	磁极化强度 J_{5000} T	磁极化强度 J_{10000} T
B25AHV1300M	0.25	7.60	61	0.80	1.91	0.99	2.36	12.00	34.10	1.47	1.57	1.66	1.78
B27AHV1400M	0.27	7.60	61	0.82	1.99	1.02	2.47	13.05	37.20	1.47	1.57	1.66	1.78
B30AHV1500M	0.30	7.60	61	0.85	1.95	1.06	2.44	13.70	39.40	1.47	1.57	1.67	1.79

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b电阻率检测方法参照 GB/T 351。

表 D.4 本文件 APV 产品主要磁性能典型值^a

牌号	公称厚度 mm	约定密度 kg/dm ³	电阻率 ^b μΩ·cm	比总损耗 $P_{1.0/50}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.5/50}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/60}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.5/60}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/400}$ W/kg	比总损耗 $P_{1.0/800}$ W/kg	磁极化强度 J_{1000} T	磁极化强度 J_{2500} T	磁极化强度 J_{5000} T	磁极化强度 J_{10000} T
B15APV1000	0.15	7.65	57	0.81	1.96	1.00	2.41	9.63	24.30	1.50	1.59	1.69	1.81
B20APV1200	0.20	7.65	57	0.81	1.92	1.00	2.37	10.60	28.90	1.50	1.59	1.69	1.81
B25APV1300	0.25	7.65	57	0.80	1.87	0.98	2.31	12.20	33.80	1.51	1.60	1.69	1.81
B27APV1400	0.27	7.65	57	0.81	1.90	0.99	2.35	13.10	37.00	1.51	1.60	1.69	1.81
B30APV1500	0.30	7.65	57	0.84	1.93	1.05	2.39	13.80	40.80	1.51	1.60	1.69	1.81
B35APV1700	0.35	7.65	57	0.85	2.03	1.06	2.48	15.80	45.90	1.51	1.60	1.69	1.81

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b电阻率检测方法参照 GB/T 351。

表 D.5 本文件 AHS 产品主要磁性能典型值^a

牌号	公称厚度 mm	约定密度 kg/dm ³	电阻率 ^b $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	比总损耗 $P_{1.0/400}$ W/kg	磁极化强度 J_{1000} T	磁极化强度 J_{2500} T	磁极化强度 J_{5000} T	磁极化强度 J_{10000} T
B35AHS500	0.35	7.60	61	23.0	1.48	1.58	1.66	1.78
B35AHS550	0.35	7.60	61	30.0	1.48	1.58	1.66	1.78
B35AHS600	0.35	7.60	61	33.0	1.47	1.57	1.65	1.77

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b电阻率检测方法参照 GB/T 351。

表 D.6 本文件 AV 产品力学性能、反复弯曲、叠装系数典型值^a

牌号	屈服强度 $L^{b,c}$ (MPa)	屈服强度 $C^{b,d}$ (MPa)	抗拉强度 L^c (MPa)	抗拉强度 C^d (MPa)	延伸率 L^c (%)	延伸率 C^d (%)	HV1	反复弯曲 L^c	反复弯曲 C^d	叠装系数 ^e
B15AV1000	425	440	546	563	15	16	221	≥ 20	≥ 20	0.965
B20AV1200	425	440	546	563	15	16	221	≥ 20	≥ 20	0.975
B20AV1300	395	410	515	529	18	19	210	≥ 20	≥ 20	0.975
B25AV1300	430	443	547	560	16	17	225	≥ 10	≥ 10	0.980
B27AV1400	429	443	547	561	18	19	228	≥ 10	≥ 10	0.980
B30AV1500	435	448	555	568	19	20	230	≥ 10	≥ 10	0.980
B35AV1700	438	448	561	574	20	21	232	5	5	0.985
B35AV1800	413	425	540	553	22	23	223	10	10	0.985
B35AV1900	400	415	534	548	25	26	214	19	19	0.985
B35AV2000	380	394	518	532	27	28	205	20	20	0.985
B35AV2100	355	370	500	515	28	29	190	≥ 20	≥ 20	0.985

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b无明显屈服时采用 Rp0.2，否则采用 ReL；
^cL 表示试验方向为纵向；
^dC 表示试验方向为横向；
^e叠装系数是试样视为无涂层下检测值。

表 D.7 本文件 AHV 产品力学性能、反复弯曲、叠装系数典型值^a

牌号	屈服强度 $L^{b,c}$ (MPa)	屈服强度 $C^{b,d}$ (MPa)	抗拉强度 L^c (MPa)	抗拉强度 C^d (MPa)	延伸率 L^c (%)	延伸率 C^d (%)	HV1	反复弯曲 L^c	反复弯曲 C^d	叠装系数 ^e
B20AHV1200	395	405	500	512	15	16	215	≥ 20	≥ 20	0.975
B20AHV1300	360	374	470	485	17	18	193	≥ 20	≥ 20	0.975
B27AHV1400	390	403	510	524	20	21	205	≥ 20	≥ 20	0.980
B30AHV1500	395	408	515	530	20	21	205	≥ 20	≥ 20	0.980
B35AHV1700	397	410	518	533	19	20	210	10	10	0.985

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b无明显屈服时采用 Rp0.2，否则采用 ReL；
^cL 表示试验方向为纵向；
^dC 表示试验方向为横向；
^e叠装系数是试样视为无涂层下检测值。

表 D.8 本文件 AHV-M 产品力学性能、反复弯曲、叠装系数典型值^a

牌号	屈服强度 L ^{b, c} (MPa)	屈服强度 C ^{b, d} (MPa)	抗拉强度 L ^c (MPa)	抗拉强度 C ^d (MPa)	延伸率 L ^c (%)	延伸率 C ^d (%)	HV1	反复弯曲 L ^c	反复弯曲 C ^d	叠装系数 ^e
B25AHV1300M	442	455	545	558	18	19	238	≥10	≥10	0.980
B27AHV1400M	441	454	545	558	18	19	238	≥10	≥10	0.980
B30AHV1500M	440	454	548	562	20	21	238	≥10	≥10	0.980

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b无明显屈服时采用 Rp0.2，否则采用 ReL；
^cL 表示试验方向为纵向；
^dC 表示试验方向为横向；
^e叠装系数是试样视为无涂层下检测值。

表 D.9 本文件 APV 产品力学性能、反复弯曲、叠装系数典型值^a

牌号	屈服强度 L ^{b, c} (MPa)	屈服强度 C ^{b, d} (MPa)	抗拉强度 L ^c (MPa)	抗拉强度 C ^d (MPa)	延伸率 L ^c (%)	延伸率 C ^d (%)	HV1	反复弯曲 L ^c	反复弯曲 C ^d	叠装系数 ^e
B15APV1000	390	400	503	515	14	15	210	≥20	≥20	0.965
B20APV1200	395	405	500	512	15	16	215	≥20	≥20	0.975
B25APV1300	383	396	488	500	20	21	215	≥20	≥20	0.975
B27APV1400	385	398	490	503	20	21	215	≥20	≥20	0.980
B30APV1500	390	402	500	514	20	21	215	≥20	≥20	0.980
B35APV1700	395	410	510	515	20	21	218	8	8	0.985

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b无明显屈服时采用 Rp0.2，否则采用 ReL；
^cL 表示试验方向为纵向；
^dC 表示试验方向为横向；
^e叠装系数是试样视为无涂层下检测值。

表 D.10 本文件 AHS 产品力学性能、反复弯曲、叠装系数典型值^a

牌号	屈服强度 L ^{b, c} (MPa)	屈服强度 C ^{b, d} (MPa)	抗拉强度 L ^c (MPa)	抗拉强度 C ^d (MPa)	延伸率 L ^c (%)	延伸率 C ^d (%)	HV1	反复弯曲 L ^c	反复弯曲 C ^d	叠装系数 ^e
B35AHS500	532	547	622	636	25	26	240	≥15	≥15	0.985
B35AHS550	575	590	665	680	22	23	245	≥15	≥15	0.985
B35AHS600	636	650	722	736	20	21	245	≥15	≥15	0.985

^a代表牌号技术性能指标典型值供用户使用参考，不作为交货保证值；
^b无明显屈服时采用 Rp0.2，否则采用 ReL；
^cL 表示试验方向为纵向；
^dC 表示试验方向为横向；
^e叠装系数是试样视为无涂层下检测值。

附录 E
(资料性附录)

消除应力退火注意事项

E.1 电工钢钢板经冲片、剪切、弯曲会引入残余应力，导致磁性能劣化。消除应力退火（SRA）可以消除残余应力对磁畴移动与转动的阻碍作用，恢复电磁性能。

E.2 在钢板或叠铁心的状态下进行消除应力退火的注意事项如下。

1). 避免氧化和渗碳

为了防止氧化消除应力退火应该在保护气氛下进行，通常是 10%以下氢气(H₂)和 90%以上氮气(N₂)、100%氮气(N₂)或者氨分解气氛的非爆炸性保护气氛，露点控制在 0℃以下。冲压加工过程引入的冲压油在退火前应完全去除，防止在退火中发生渗碳，劣化产品磁性。

2). 退火温度及保持时间

退火温度指材料温度，750℃为宜。为使得钢板各部分退火均匀，需要调整温度与保持时间。温度太低不足以消除残余应力的影响，温度太高会破坏涂层绝缘性。

3). 冷却时间

应当避免急剧冷却使材料产生应力应变。冷却时间根据电工钢退火数量进行调整。对于退火小吨位数量时，可按每小时不超过 25℃ 的冷却速度冷却到 350℃，以避免冷却过程中产生应力应变。对于退火大吨位数量时，应采取更加缓慢的冷却速率，以期获得最佳效果。

附录 F
(资料性附录)

表 F.1 本文件与宝钢股份原薄规格标准产品牌号对照表

本文件标准产品牌号	原薄规格标准产品牌号
B15AV1000	B15AT1000
B20AV1200	B20AT1200
B20AV1300	B20AT1500
B15APV1000	B15AHT1000
B20APV1200	B20AHT1200
B20AHV1300	B20AHT1500