

表 10-1-30

牌号	磁滞性能			
	$H_{\mu}/(\text{kA/m})$ (H_{μ}/Oe)	B_{μ}/T (B_{μ}/Gs)	$P_{\mu}/(10^4\text{J/m}^3)$ \geq	K_{μ}
2J4	4.0~5.2 (50~65)	1.3~1.6 (13000~16000)	1.5	0.62
2J7	6.4~9.6 (80~120)	1.0~1.3 (10000~13000)	1.9	0.61
2J9	8.8~12.0 (110~150)	0.9~1.25 (9000~12500)	2.2	0.59
2J10	14.4~18.4 (80~230)	0.9~1.2 (9000~12000)	3.0	0.58
2J11	16.0~20.8 (200~260)	0.9~1.2 (9000~12000)	3.5	0.57
2J12	20.0~28.0 (250~350)	0.8~1.1 (8000~11000)	4.5	0.56
2J51	2.8~4.0 (35~50)	1.2~1.6 (12000~16000)	1.0	0.58
2J52	4.8~7.2 (60~90)	0.9~1.35 (9000~13500)	1.1	0.5
2J53	6.4~9.6 (80~120)	0.6~0.9 (6000~9000)	1.0	0.45
2J21	9.6~12.8 (120~160)	1.0~1.3 (10000~13000)	2.0	0.45
2J23	14.4~17.6 (180~220)	1.0~1.3 (10000~13000)	3.0	0.48
2J25	17.6~22.4 (220~280)	0.9~1.2 (9000~12000)	3.8	0.5
2J27	24.0~28.8 (300~360)	0.9~1.2 (9000~12000)	4.7	0.45

表 10-1-31

牌号	$\alpha_{\text{Br}}(20\sim 100^{\circ}\text{C})$ $/10^{-2}\text{C}^{-1}$	$\mu_{\text{rec}}/(\text{H/m})$	磁化到饱和态所需磁场 强度/ (kA/m)
2J31	-0.01	4.0~6.0	80
2J32			
2J33			
2J83	-0.03	2.6~3.2	200~240
2J84			
2J85			

表 10-1-32

牌号	HRC	σ_b /MPa	E/(kg/mm ²)	δ /%
2J31	回火前: 32~37 回火后: 58~62	回火前: 882~1370 回火后: 1180~1960	回火前: 17×10^3	-
2J32				
2J33				
2J83	回火前: ≤ 20 回火后: 35~40	回火前: 640~700 回火后: 900	-	-
2J84				
2J85				
2J4	回火前: 40~46 回火后: 58~62	回火前: 882~1370 回火后: 1180~1960	回火前: $17 \sim 19 \times 10^3$	回火前: 14~20 回火后: 5
2J7				
2J9				
2J10				
2J11				
2J12				
2J51	回火前: 40~42 回火后: 50~60	回火后: 880~1170	回火前: 20×10^3	-
2J52				
2J53	回火前: 42	-	回火前: 17×10^3	-
2J21	回火前: 35~42 回火后: 50~60	回火后: 880~1170	回火后: $21 \sim 22 \times 10^3$	-
2J23				
2J25				
2J27				

表 10-2-1

项目	W	Ni	Fe	项目	W	Ni	Fe
供应商	GTE	INCO	GAF	松装密度/g·cm ⁻³	2.57	2.15	2.41
牌号	M-35	123	HP-356	主要杂质/ $\times 10^{-6}$	O(770), Si(40), Mn(2000), C(19), Fe(30), Si(600), Na(15), Ca(10), Ca(600), Al(600)		
纯度/%	99.98	99.99	99.5				
平均颗粒尺寸/ μm	2.6	3.3	10.8				
BET 表面面积/m ² ·g ⁻¹	0.23	2.19	0.88				

表 10-2-2 液相烧结 W-Ni-Fe 合金的断裂表面分析

断裂表面各种断裂途径所占的面积分数/%				
合金成分 W/%	W 劈裂	基体断裂	W-W 晶间破坏	W-基体分离
88	25	59	14	2
90	29	52	16	3
93	45	36	16	3
95	42	30	24	4
97	35	8	55	2

表 10-2-3 合金定量金相分析和强度与各种组织结构参数的关系

合金成分	W 晶粒尺寸/ μm	单位体积 W 表面积/ $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-3}$	单位体积 W-W 接触面积/ $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-3}$	接触度/%	基体相体积比/%	抗拉强度/MPa	W-W 断裂的断裂分数/%
97.5W-1.75Ni-0.75Fe	30	141	69	98	10	874	88
95W-3.5Ni-1.5Fe	34	116	26	45	16	1133	37
92.5W-5.25Ni-2.25Fe	31	119	21	35	22	1159	28
90W-7Ni-3Fe	31	112	12	21	26	1053	15
87.5W-8.75Ni-3.25Fe	30	112	13	23	29	895	17
97.5W-1.25Ni-1.25Fe	30	143	57	80	9	973	72
95W-2.5Ni-2.5Fe	29	140	45	64	14	1044	56
92.5W-3.75Ni-3.75Fe	27	140	36	51	20	1029	41
90W-5Ni-5Fe	30	118	24	41	25	1066	40
87.5W-6.25Ni-6.25Fe	19	181	41	45	27	1026	33

表 10-2-4 添加钽与不添加钽合金的成分与密度

合金	成分/%				密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	密度降/%
	W	Ni	Fe	Ta		
A	93.4	4.2	2.4	0	17.8	-
A-21	88.7	4.0	2.3	5	17.74	0.34

表 10-2-5 93.4%W-4.2%Ni-2.4%Fe 合金与添加钽合金力学性能的比较

合金	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	面缩率/%	硬度 HRA	备注
A	613	916	26.8	61.3	
5%Ta(A21)	681	977	8.0	67.5	HIP 后

表 10-2-6 钨、镍、铁、铝和钛金属粉末的特征

特征	W	Ni	Fe	Al	Ti
粒度/ μm	4	6	4.5	50	32
碳含量/ $\times 10^{-6}$	240	550	200	220	160
氧含量/ $\times 10^{-6}$	200	1500	1600	3000	1800

表 10-2-7 两种 W-Ni-Fe-Al-Ti 合金的成分/%

合金	W	Ni	Fe	Al	Ti
I	93	3.8	2.2	0.6	0.4
II	93	3.8	2.2	0.4	0.6

表 10-2-8 W-Ni-Fe-Al-Ti 合金的力学性能

合金及工艺条件	拉伸试验			压缩试验			硬度 HV(30kg)
	σ_R /MPa	σ_Y /MPa	A/%	σ_R /MPa	σ_Y /MPa	A/%	
93%W-7%(Ni-Fe-Al-Ti) 烧结, 慢冷, 退火	900±20	695±25	8.8±0.7	-	-	-	380±10
93%W-8%(Ni-Fe-Al-Ti) 烧结, 慢冷, RHIP, 退火	1025±45	860±60	8.65±0.15	3460±460	838±78	56±2	400±5

表 10-2-9 两种 W-Ni-Fe-Al-Ti 合金的成分和密度

合金	成分					密度/g·cm ⁻³	密度降/%
	W	Ni	Fe	Al	Ti		
A	93.4	4.2	2.4	-	-	17.8	-
A-51	93.1	4.2	2.4	0.22	0.08	17.54	1.43
A-61	92.93	4.18	2.39	0.25	0.25	17.43	2.08

表 10-2-10 93.4%W-4.2%Ni-2.4%Fe 合金与添加钽和铝的合金性能的比较

合金	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	面缩率/%	硬度 HRA	备注
A	613	916	26.8	61.3	
添加 0.22%Al-0.08% Ti 合金(A51)	660	1057	15.4	66.8	
添加 0.25%Al-0.25% Ti 合金(A61)	681	1048	10.3	67.7	HIP 后

表 10-2-11 钨粉、镍粉和铁粉的特性

粉末	费氏粒度 (FSSS) / μ m	化学成分/%
W	2.8	>99.9W, 0.0020C, 0.03300
Ni	3~7	>99.5Ni, <0.10C, <0.150
Fe	5~6	>99.5Fe, <0.05C, <0.200

表 10-2-12 试验合金的成分及烧结后的处理条件

序号	成分/%	Ni:Fe	处理条件
1	93W-2.33Ni-4.67Fe	0.5	VA, Q
2	93W-3.50Ni-3.50Fe	1.0	VA, Q
3	93W-4.20Ni-2.80Fe	1.5	VA, Q
4	93W-4.67Ni-2.33e	2.0	VA, Q
5	93W-4.9Ni-2.10Fe	2.3(7:3)	VA, Q
6	93W-5.25Ni-1.75Fe	3.0	VA, Q
7	93W-5.60Ni-1.40Fe	4(8:2)	VA, Q
8	93W-5.83Ni-1.17Fe	5.0	VA, Q

序号	成分/%	Ni:Fe	处理条件
9	93W-6.00Ni-1.00Fe	6	VA, Q
10	93W-6.22Ni-0.78Fe	8	Q
11	93W-6.36Ni-0.64Fe	10	Q
12	93W-6.56Ni-0.44Fe	15	Q
13	93W-6.77Ni-0.23Fe	30	Q

注：VA—真空退火；Q—水淬。

表 10-2-13 镍铁比对 93W 高密度合金性能的影响

序号	Ni:Fe	VA 态		VA+Q 态	
		抗拉强度/MPa	伸长率/%	抗拉强度/MPa	伸长率/%
1	0.5	太脆		太脆	
2	1	897	18.7	916	19.6
3	1.5	918	25.3	924	27.5
4	2	927	23.8	936	30.9
5	2.3	936	29.5	940	31.8
6	3	922	29.3	934	31.4
7	4	942	27.4	958	34.0
8	5	943	31.8	955	33.5
9	6	936	15.8	951	35.5
10	8	-	-	974	35.5
11	10	-	-	978	33.1
12	15	-	-	992	37.3
13	30	-	-	928	10.7

注：VA—真空退火；Q—水淬。

表 10-2-14 W-Ni-Fe 合金中基体相的体积百分比与合金钨含量和镍铁比的关系

W 含量/%	Ni:Fe	5:5	7:3	8:2	9:1
	基体相体积分数/%				
	90.00	22.50	22.80	23.20	24.10
	93.00	16.30	16.50	16.80	17.40
	96.00	9.70	9.80	9.90	10.30

表 10-2-15 W-Ni-Fe 合金旋锻后的力学性能

合金	密度 /g·cm ⁻³	旋锻量 /%	屈服强 度/MPa	抗拉强 度/MPa	伸长率 /%	硬度 HRC	冲击韧 度/J·m ⁻²
95.5W-3.0Ni-1.5Fe	18.0	0	651.7	916.3	25.0	28.7	44000
		10	990.8	1023.1	10.4	38.0	58000
		20	1147.6	1168.2	8.3	40.6	55000
		30	1211.3	1223.0	6.6	41.5	57000
93.2W-4.5Ni-2.3Fe	17.6	0	630.1	907.5	30.2	28.2	67000
		10	1008.4	1009.4	20.5	36.6	62000
		20	1171.1	1174.0	10.1	40.1	62000
		30	1200.5	1207.4	7.8	41.6	65000
91.3W-5.8Ni-2.9Fe	17.2	0	619.4	895.7	36.7	26.7	71000
		10	978.0	1005.5	21.7	36.0	77000
		20	1152.5	1156.4	11.7	39.5	62000
		30	1202.5	1211.3	12.1	40.6	69000

表 10-2-16 例 1 合金的性能

材料状态	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度 HRC
烧结态	917	16	30
加真空退火	927	28	30
加真空退火加 Ar 气中热处理和淬火	931	31	30
加旋锻 (断面减少 25%)	1138	10	39
加在 300℃时效 1h	1207	7.8	41.7
加在 500℃时效 2h	1258	4.7	43.5

表 10-2-17 烧结-真空退火-氧气中热处理-淬火工艺制备合金 (例 2 合金) 的性能

材料状态	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度 HRC
烧结态	951	22.4	31
加真空退火	448	0.5	37
加真空退火加 Ar 气中热处理加淬火	-	0	37

表 10-2-18 烧结-Ar 气中热处理-淬火-旋锻-时效工艺制备合金 (例 3 合金) 的性能

材料状态	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度 HRC
烧结态	951	22.4	31
于 1350℃, 2h, 而后淬火	986	33.8	32
加旋锻 (断面减少 25%)	1241	13.0	43
旋锻加在 300℃时效 1h	1289	11.0	44.5
旋锻加在 500℃时效 2h	1448	8.0	47.5

表 10-2-19 原料粉末的特性

粉末	颗粒尺寸 D_{50} / μm	松装密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	振实密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	SET 比表面积 / $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$
M35-W	4.2	2.8	5.0	0.30
C5-W	1.7	2.6	4.9	0.65
C3-W	0.8	2.0	3.2	3.17
Ni	9.8	2.2	3.3	0.48
Mn	11.9	2.5	4.1	-

表 10-2-20 使用氧含量不同钨粉的 90W-6Ni-4Mn 合金的烧结密度 (行星球磨机球磨 1h)

钨粉氧含量/ $\times 10^{-6}$	烧结相对密度/%	钨粉氧含量/ $\times 10^{-6}$	烧结相对密度/%
M35: 300	97.4	C3: 1800	96.5
C5: -	97.1		

表 10-2-21 烧结温度对于不同镍锰比 90W 合金致密化的影响

密度/%Ni:Mn 烧结温度/ $^{\circ}\text{C}$	Ni:Mn			密度/%Ni:Mn 烧结温度/ $^{\circ}\text{C}$	Ni:Mn		
	8:2	6:4	4:6		8:2	6:4	4:6
1200	86.6	97.7	95.9	1400	97.7	97.3	96.8
1300	98.6	97.3	95.4	1500	97.4	97.8	96.2

表 10-2-22 采用不同加热制度是, 90W-6Ni-4Mn 合金于 H_2 气氛中在 1200°C 保温 1h 的致密化结果

烧结方案	相对密度/%	烧结方案	相对密度/%
10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 800 $^{\circ}\text{C}$ 保温 1h, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 1200 $^{\circ}\text{C}$	98.1	5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 1200 $^{\circ}\text{C}$	98.2
10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 800 $^{\circ}\text{C}$ 保温 1h, 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 1200 $^{\circ}\text{C}$	98.2	10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 1200 $^{\circ}\text{C}$	98.3
10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 800 $^{\circ}\text{C}$ 保温 1h, 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 1200 $^{\circ}\text{C}$	98.1	20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 1200 $^{\circ}\text{C}$	98.2

表 10-2-23 淬火对于 90W-6Ni-4Mn 合金力学性能的影响

热处理	抗拉强度/MPa	伸长率/%	热处理	抗拉强度/MPa	伸长率/%
烧结态	于夹紧处断裂	脆性	由 1000 $^{\circ}\text{C}$ 水淬	900 \pm 15	9.5 \pm 0.8
由 950 $^{\circ}\text{C}$ 水淬	895 \pm 10	10 \pm 1.0	由 1050 $^{\circ}\text{C}$ 水淬	902 \pm 12	9.4 \pm 0.7

表 10-2-24 基体的含量和粉末的球磨对于 W-Ni-Mn 合金力学性能的影响

合金成分	抗拉强度 /MPa	伸长率/%	合金成分	抗拉强度 /MPa	伸长率/%
90W-6Ni-4Mn(非球磨)	900±15	9.5±0.8	89W-9Ni-6Mn(球磨)	910±15	9.6±0.6
90W-6Ni-4Mn(球磨)	980±10	10±1	80W-12Ni-8Mn(球磨)	880±10	10±1

表 10-2-25 烧结 W-Ni-Co 和 W-Ni-Fe 合金性能比较

合金成分	Ni:Co 或 Ni:Fe	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率/%	冲击功/J
90W-7Ni-3Fe	7:3	930	586	34	149
90W-7Ni-3Co	7:3	1020	620	38	221
90W-8Ni-2Fe	8:2	965	593	40	216
90W-8Ni-2Co	8:2	999	606	35	213
90W-9Ni-1Fe	9:1	978	613	40	216
90W-9Ni-1Co	9:1	999	613	38	229

表 10-2-26 W-Ni-Co 和 W-Ni-Fe 烧结合金的力学性能和点火穿甲试验结果

合金成分	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率/%	冲击功/J	残余质量 /%
90W-8Ni-2Fe	950.8	592	40	149.1	61.2
90W-8Ni-2Co	1006	599	36	210.1	82.3
90W-9Ni-1Fe	964.6	592	40	216.9	72.6
90W-9Ni-1Co	999.1	599	40	223.7	93.1

表 10-2-27 肯纳金属公司高密度钨合金的牌号、成分和性能

牌号	成分/%		密度/ g·cm ⁻³	硬度 HRC	抗拉强度 /Mpa	伸长率 /%	导电率 (相当于 Cu 的)/%
	W	Ni、Cu、Fe					
W-10	90	10(7.5Ni, 2.5Cu)	17.0	26~30	700~950	7	17
W-2	97.4	2.6	18.6	27~32	700	4~8	18

表 10-2-28 普兰西金属公司 DENSIMET 合金的牌号、成分和密度

牌号	W/%	粘结相	密度 /g·cm ⁻³	牌号	W/%	粘结相	密度 /g·cm ⁻³
D17	90	Ni-Fe	17±0.2	D176S	92.5	Ni-Fe	17.6±0.2
D17K	90.5	Ni-Cu	17±0.2	D18	95	Ni-Fe	18.0±0.2
D175	92	Ni-Fe	17.5±0.2	D18K	95.5	Ni-Cu	18.0±0.2
D175K	92.5	Ni-Cu	17.5±0.2	D185	97	Ni-Fe	18.5±0.2

表 10-2-29 高密度钨合金的性能

系列	合金成分/%	烧结条件			抗拉强度/MPa	伸长率/%	
		气氛	温度/°C	时间/min			
W-Ni-Cu 系列	90W-6.66Ni-3.33Cu	H ₂	1410	60	798	17.92	
	90W-6.15Ni-2.85Cu	H ₂	1410	60	730	16.5	
	90W-7.5Ni-2.5Cu	H ₂	1410	60	700	14.2	
	90W-8Cu-2Ni	H ₂	1400	60	480	2.2	
	90W-6Cu-4Ni	H ₂	1400	60	566	5.7	
	90W-4Cu-6Ni	H ₂	1400	60	700	11.0	
	90W-2Cu-8Ni	H ₂	1400	60	580	2.1	
W-Ni-Fe 系列	90W-7Ni-3Fe	H ₂	1480(慢冷)	60	945	27	
	90W-7Ni-3Fe	H ₂	1460(快冷)	60	733	8	
	95W-3.5Ni-1.5Fe	H ₂	1460	30	793	4	
	90W-7Ni-3Fe	H ₂	1445	60	903	29	
	95W-3.5Ni-1.5Fe	H ₂	1450	120	885	29	
	95W-3.5Ni-1.5Fe	H ₂	1520	60	859	18	
	90W-7Ni-3Fe	H ₂	1470	60	850	15	
	90W-7Ni-3Fe	H ₂	1470	60	870	20	
	90W-7Ni-3Fe	H ₂	1460	60	827	30	
	95W-3.5Ni-1.5Fe	H ₂	1470	120 真空退火	900	23	
	90W-7Ni-3Fe	H ₂	1470	60	910	36	
				1475	30	925	23.7
	90W-3.3Ni-6.7Fe	H ₂	1490	30	962	24.6	
				1510	30	923	19.7
				1475	15	1000	21
	95W-3.5Ni-1.5Fe			1475	30	1000	21
				1475	60	980	15.8
		H ₂	1475	120	900	6.0	
	93W-4.9Ni-2.1Fe	H ₂ +Ar	1460	30(H ₂) 10(Ar)	1006	22	
	95W-3.5Ni-1.5Fe	H ₂ +Ar	1460	30(H ₂) 10(Ar)	995	20	
	95W-3.5Ni-1.5Fe	H ₂	1470	30	996	18	
	98W-1Ni-1Fe	H ₂	1500	60	749	2.6	
90W-2Ni-8Fe	H ₂	1500	60	620	4.2		
90W-4Ni-5Fe	H ₂	1500	60	730	11.0		
90W-6Ni-4Fe	H ₂	1500	60	810	14.2		
90W-8Ni-2Fe	H ₂	1500	60	860	15.4		
W-Ni-Co 系列	98W-1Ni-1Co	H ₂	1500	60	662	0.3	
	98W-6Ni-4Co	H ₂	1500	60	640	5	
	98W-8Ni-2Co	H ₂	1500	60	650	5.3	
W-Ni-Cr 系列	90W-2Ni-8Cr	H ₂	1500	60	998	1.8	
	90W-4Ni-6Cr	H ₂	1500	60	893	3.8	
	90W-6Ni-4Cr	H ₂	1500	60	810	3.6	

90W-6Ni-4Cr	H ₂	1500	60	803	4.2
-------------	----------------	------	----	-----	-----

表 10-2-30 航空工业用 W-Ni-Cu 合金的化学成分及用途

牌号	化学成分/%					用途
	W	Ni	Cu	Fe	Si	
W142	92.5~93.5	4.20~4.90	2.10~2.55	<0.2	<0.1	陀螺转子
W142-1	92.5~93.5	4.29~4.90	2.10~2.55	<0.2	<0.1	配重
90W-7Ni-3Cu	90	7	3	-	-	配重
FGR-W-Cu-Ni	90~94	4~6	1~3	-	-	导弹用
W142-2	92.5~93.5	4.20~4.90	2.10~2.55	-	-	发动机用钨基高密度合金
W131	95.5~96.5	2.50~3.00	1.00~1.50	-	-	发动机用钨基高密度合金
W173	90~91	5.50~6.0	3.50~4.00	-	-	发动机用钨基高密度合金
W163	91.0~92.5	4.5~6.0	1.0~3.0	-	-	高均与度的钨基高密度合金

表 10-2-31 航空工业用 W-Ni-Cu 合金的性能

牌号	密度 /g·cm ⁻³	硬度 HB/MPa	抗拉强度 /MPa	屈服 强度 /MPa	伸长 率 /%	弹性模量 E/GPa	热导 率λ /W· m ⁻¹ · °C ⁻¹	平均线(膨)胀 系数 (20~300°C) α/°C ⁻¹
W142	17.3~17.5	2800~3200	686~ 834	-	2~5	314	-	5.6~6.0×10 ⁻⁶
W142-1	17.1~17.8	2800~3200	-	-	2~5	314	-	5.0~6.0×10 ⁻⁶
90W-7Ni-3Cu	17	2270~2530	784	716	8	314	96.2	5.8×10 ⁻⁶
FGR-W-Cu-Ni	≥17.3	2550~3160	>450	-	-	-	-	-
W142-2	17.1~17.8	2600~3200	≥637	-	-	314	-	5.6~6.0×10 ⁻⁶
W131	17.9~18.2	2800~3400	≥588	-	-	314~333	-	5.0~5.1×10 ⁻⁶
W173	16.9~17.2	2400~2800	≥686	-	-	255~314	-	5.6~6.5×10 ⁻⁶
W163	≥17.2	>2600	≥686	-	-	≥274	-	5.6~6.5×10 ⁻⁶

表 10-2-32 航空工业用 W-Ni-Fe 合金的化学成分

牌号	化学成分/%				牌号	化学成分/%			
	W	Ni	Fe	Co		W	Ni	Fe	Co
95W-3.5Ni-1.5Fe	95	3.5	1.5	-	90W-7Ni-3Fe	90	7	3	-
95W-2.5Ni-2.5Fe	95	2.5	2.5	-	GW-1	95.5	2	2.2	0.3

表 10-2-33 航空工业用 W-Ni-Fe 合金的性能

牌号	密度 /g·cm ⁻³	抗拉 强度 /MPa	屈服 强度 /MPa	伸长率 /%	硬度 HB /MPa	弹性 模量 E /GPa	热导率 λ/W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹	平均线 (膨胀系 数(0~ 800°C)α/ °C ⁻¹	电阻 率 ρ/μΩ· m
95W-3.5Ni-1.5Fe	18~18.1	863	686	10~15	28	363	108.86	5.8×10 ⁻⁶	131.0
95W-2.5Ni-2.5Fe	18~18.1	863	686	10~15	26~31	363	108.86	5.8×10 ⁻⁶	131.0
90W-7Ni-3Fe	17.0	834	608	15	25	265	75.36	5.3×10 ⁻⁶	170.0
GW-1	18.0	904	735	3~6	30	370	105.8	-	168.0

表 10-3-1

牌号	3J1	3J2	3J3
相近牌号	эи702, 36НХТЮ (俄罗斯)	эи51, 36НХТЮМ5 (俄罗斯)	эи53, 36НХТЮМ8 (俄罗斯)

表 10-3-2

%

牌号	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	Al	Fe
3J1	≤0.05	≤1.00	≤0.80	≤0.020	≤0.020	34.5~ 36.5	11.5~ 13.0	-	2.70~ 3.20	1.00~ 1.80	余量
3J2	≤0.05	0.80~ 1.20	≤0.50	≤0.010	≤0.010	35.0~ 37.0	12.5~ 13.5	4.0~ 6.0	2.70~ 3.20	1.00~ 1.30	余量
3J3	≤0.05	0.80~ 1.20	≤0.50	≤0.010	≤0.010	35.0~ 37.0	12.0~ 13.0	7.5~ 8.5	2.70~ 3.20	1.00~ 1.30	余量

表 10-3-3

牌号	品种或要求	热处理制度
3J1	带材	920°C~950°C固溶+650°C~750°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
		冷应变+600°C~700°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
	丝材	冷应变+500°C~700°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
	棒材	冷应变+650°C~750°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
	热轧(锻)材	950°C~980°C固溶+700°C~750°C, 时效 ≥4h, 空冷或炉冷
3J2	带材	970°C~1000°C固溶+700°C~750°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
		冷应变+650°C~750°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
	丝材	冷应变+630°C~700°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
3J3	带材	1000°C~1050°C固溶+750°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
		冷应变+650°C~750°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷
	丝材	冷应变+600°C~700°C, 时效 2~4h, 空冷或炉冷

表 10-3-4

牌号	3J1						3J2, 3J3	
品种和状态	冷轧带材	冷拉带材	冷拉磨光棒材	热轧圆材	锻材	热轧扁材	冷轧带材	冷拉丝材
厚度和直径(边长)	0.05~3.5	0.10~6.0	3.0~30.0	6.0~25.0	>5~100	4.0~13	0.07~2.0	0.10~5.0
宽度	50~250	-	-	-	-	-	50~200	-
长度	-	-	-	≤500	≤300	-	-	-

表 10-3-5

牌号	3J1	3J2	3J3
$\rho/(g/cm^3)$	8.0	8.0	8.3

表 10-3-6

牌号	3J1	3J2	3J3
状态	冷变形+时效	固溶+时效	固溶+时效
$\rho/(\mu\Omega\cdot m)$	1.02	1.0~1.1	1.0~1.2

表 10-3-7

牌号	状态和品种	(δ 或 d)/mm	σ_b /Mpa	δ /%
3J1	固溶态带材	0.20~0.50	≤981	≥20
	冷拉丝材	0.20~3.0	≥981	-
3J2	固溶态带材	0.20~0.50	≤1030	≥20
	冷拉丝材	0.20~3.0	≥1226	-
3J3	固溶态带材	0.20~0.50	≤1080	≥20
	冷拉丝材	0.20~3.0	≥1275	-

表 10-3-8

牌号	品种和状态	(δ 或 d) /mm	σ_b /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	δ /%
3J1	冷轧+时效带材	0.20~0.50	≥ 1373	≥ 981	≥ 5
	固溶+时效带材	0.20~1.00	≥ 1177	≥ 735	≥ 8
	冷拉+时效丝材	0.50~5.0	≥ 1471	-	≥ 5
	冷拉+时效棒材	3.0~18.0	≥ 1373	-	≥ 5
	热锻(轧)材固溶+时效	6.0~25.0	≥ 1177	-	≥ 10
3J2	冷轧+时效带材	0.20~0.50	≥ 1422	-	≥ 3
	固溶+时效带材	0.20~1.00	≥ 1226	-	≥ 5
	冷拉+时效丝材	0.50~5.0	≥ 1569	-	≥ 3
3J3	冷轧+时效带材	0.20~2.50	≥ 1471	-	≥ 3
	固溶+时效带材	0.20~1.00	≥ 1275	-	≥ 5
	冷拉+时效丝材	0.50~5.0	≥ 1618	-	≥ 3

表 10-3-9

牌号	状态	带材试样 厚度/mm	σ_b /MPa	δ /%	HV
3J1	920℃~950℃, 以 1.3℃/min 速度水套冷却	0.10~0.20	588~735	20~27	150~190
	920℃~950℃, 以 1.4℃/min 速度水套冷却 +720℃, 时效 2h	0.10~0.20	1275~1295	14~16	350~390
	60%~65%冷应变	0.10~0.20	1280~1304	4~6	-
	60%~66%冷应变+650℃, 时效 2h	0.10~0.20	1471~1600	6~7	400~480
3J2	1000℃, 保温 15min, 水淬+750℃, 时效 4h	0.10~0.20	1372~1421	8~10	420~430
	980℃, 固溶+50%冷应变+750℃, 时效 2~4h	0.10~0.20	1372~1716	5~10	420~450
3J3	1000℃, 保温 15min, 水淬	0.20	842~9	2.6~26	200~230
	1000℃, 保温 15min, 水淬+700℃, 时效 4h	0.20	1421~1480	6~7	440~450
	1030℃, 保温 15min, 水淬+50%, 冷应变	0.80	1471	3	-
	50%冷应变+750℃, 时效 4h	0.80	1780~1835	4	450

表 10-3-10

牌 号	状 态	E/GPa	G/GPa	$\beta_E/10^{-6} \text{C}^{-1}$
3J1	固溶+时效	176~196	77~78	-200~250
	冷应变+时效	186~206	76~78	-200~250
3J2	固溶+时效	191~211	76~79	-200~250
3J3	固溶+时效	196~216	76~79	-200~250

表 10-3-11

牌 号	相 近 牌 号
3J21	40KHXM(俄罗斯), Elgiloy(美国), NAS604PH, K·R·N(日本), phynox(法国)

3J22	40KHXMB(俄罗斯), Diaflex, Elcolloy(美国), Nivaflex(德国)
3J40	40XH4Ю-Ви, эи793(俄罗斯)

表 10-3-12

牌号	材料的技术标准
3J21	YB/T 5253-1993 《弹性元件用合金 3J21 技术条件》
3J22	YB/T 5252-1993 《轴尖用合金 3J22 丝材技术条件》
3YC11	重庆仪表材料研究所, YCQ/JB 31-1980 《轴尖合金 3YC11 丝材》
3YC15	重庆仪表材料研究所, YCQ/JB 34-1980 《抗冲击轴尖合金 3YC15 丝材》
3J40	YB/T 5243-1993 《抗震耐磨轴尖合金 3J40》

表 10-3-13

%

牌号	C	Mn	Si	P	S	Co	Cr
3J21	0.07~0.12	1.70~2.30	≤0.60	≤0.010	≤0.010	39.0~41.0	19.0~21.0
3J22	0.08~0.15	1.80~2.20	≤0.50	≤0.010	≤0.010	39.0~41.0	18.0~20.0
3J23	0.08~0.15	1.80~2.20	≤0.50	≤0.010	≤0.010	39.0~41.0	18.0~20.0
3YC11	-	-	-	-	-	40.0~45.0	15.0~20.0
3YC15	0.15~0.17	0.15~2.20	≤0.30	≤0.080	≤0.030	余量	19.0~21.0
3J40	≤0.03	≤0.10	≤0.20	≤0.010	≤0.010	-	39.0~41.0

牌号	Ni	Mo	W	Ti	Al	Ce	Fe
3J21	14.0~16.0	6.50~7.50	-	-	-	0.1~0.15	余量
3J22	15.0~17.0	3.00~4.00	4.00~5.00	-	-	-	余量
3J23	15.0~17.0	3.00~4.00	4.00~5.00	-	-	0.0~0.10	余量
3YC11	余量	3.00~5.00	8.0~11.0	≤1.50	0.50~0.80	0.1	-
3YC15	15.0~17.0	-	16.0~18.0	-	0.46~0.60	0.1	-
3J40	余量	-	-	-	3.30~3.50	0.1~0.20	≤0.50

表 10-3-14

牌号	用途	热处理制度
3J21	弹性元件 轴尖	30%~70%冷变形+370℃~480℃, 时效 2~4h, 空冷 90%冷变形+500℃~550℃, 时效 4h, 空冷
3J22、 3J23	轴尖 弹性元件	90%冷变形+500℃~540℃, 时效 4~5h, 空冷 40%~70%冷变形+350℃~450℃, 时效 3~4h, 空冷
3YC11	轴尖 弹性元件	90%冷变形+500℃~600℃, 时效 4h, 空冷 40%~70%冷变形+350℃~450℃, 时效 5h, 空冷
3YC15	轴尖	80%冷变形+500℃~600℃, 时效 5h, 空冷
3J40	轴尖 其他	80%~90%冷变形+500℃~550℃, 时效 5h, 空冷 1180~1220℃, 保温 15min, 水淬+550~650℃, 时效 5h, 空冷

表 10-3-15

牌号	3J21		3J22, 3J23	3YC11, 3YC15		3J40	
	冷轧带材	冷拉丝材	冷拉丝材	冷轧带材	冷拉丝材	冷拉丝材	热加工棒材
d 或 δ	0.05~2.5	0.10~6.0	0.10~6.0	0.05~2.0	0.1~6.0	0.20~6.0	6~100
b	50~260	-	-	50~100	-	-	-

表 10-3-16

状态	$\bar{\alpha}_1/10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$				
	20~50 $^\circ\text{C}$	20~100 $^\circ\text{C}$	20~200 $^\circ\text{C}$	20~300 $^\circ\text{C}$	20~400 $^\circ\text{C}$
固溶	12.2~12.7	12.4~12.5	12.6~12.8	13.0~13.1	13.5~13.6
固溶+时效	11.0~11.5	11.9~12.0	12.0~12.2	12.4~12.5	12.7~12.8
冷拉+时效	11.6	12.0	12.1	12.4	12.8

表 10-3-17

牌号	3J21	3J22	3J23	3YC11	3YC15	3J40
$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	8.3	8.5	8.5	8.5	9.0	7.6

表 10-3-18

牌号	3J21	3J22	3J23	3J40
状态	冷应变+时效	冷应变+时效	冷应变+时效	固溶+时效
磁化率 $\chi_m/10^{11}$	120~240	80~160	80~160	4.75~6.30

表 10-3-19

状态和品种	(δ 或 d)/mm	性能组别	σ_b/MPa	$\delta/\%$
冷轧带材	0.20~2.50	A	1177~1471	≤ 5
		B	1471~1765	≤ 3
冷拉丝材	0.20~5.00	A	1275~1569	-
		B	1569~1863	-

表 10-3-20

状态和品种	d/mm	HV	反复弯曲 (弯曲半径 R=2.5mm)	扭转	推荐热处理制度
冷拉丝	0.50	-	弯曲 2 次无裂纹和断裂	扭转后无纵向断裂	-

冷拉+时效丝	0.50	≥750	-	-	500~540℃ 时效 5h, 空冷
--------	------	------	---	---	-----------------------

表 10-3-21

牌号	状态和品种	d/mm	HV	推荐热处理制度
3YC11	冷拉+时效丝	0.5	≥804	500~540℃, 时效 4~5h
	冷拉丝	0.5	室温下弯曲 90°不断, 基本消除墨点, 表面光洁, 无裂纹	
3YC15	冷拉+时效丝	0.5	≥820	500~600℃, 时效 5h

表 10-3-22

状态和品种	HV			弯曲 (弯曲半径 R=2 倍丝材直径)	推荐热处理制度
	I	II	III		
冷拉丝 ^①	450~510			弯曲 90°, 无裂纹和折断	-
冷拉+时效丝	780~830	>830~880	>880	-	480~540℃, 时效 5h

① 冷拉丝硬度只检查直径 d=0.5mm 和 d=0.75mm 的丝, 弯曲只检查直径 d<2.00mm 的丝。

表 10-3-23

牌号	状态	σ_b /MPa	δ /%	HV
3J21	1100~1150℃, 水淬	686~784	40~50	-
	固溶+80%冷应变+500℃时效 4h	1961~2452	3~5	680~740
3J22	1150~1160℃保温 30min, 水淬	≤777	≤55	-
	固溶+92%冷应变+510~520℃时效 5h	-	-	≤774
3J23	1150~1160℃, 水淬	784~834	≤55	-
	固溶+92%冷应变+510~520℃时效 5h	-	-	≤779
3YC11	1150~1160℃, 水淬	882~1079	40~5	-
	固溶+90%冷应变	2157~2853	-	≥560
	固溶+90%冷应变+500~600℃时效 4h	-	-	≥800
3YC15	1170~1200℃, 水淬	981~1077	40~50	-
	固溶+80%冷应变	2354~2550	≥2	≥560
	固溶+80%冷应变+500~600℃, 时效 5h	-	-	820~920
3J40	1190~1200℃保温 13~15min, 水淬	≤814	≥40	-
	固溶+90%冷应变	≤1893	1.5	-
	固溶+90%冷应变+500℃时效 5h	-	-	820~920
	固溶+44%冷应变+550~600℃时效 5h	-	-	≥660

表 10-3-24

牌号	状态	E/GPa	G/GPa	$\beta_E/10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$	Q	$A_5/\%$
3J21	冷应变+时效	206	74~78	-200~250	-	-
3J22	冷应变+时效	216	78	-200~250	-	≤ 0.04
3J23	冷应变+时效	216	78	-200~250	-	≤ 0.04
3YC11	冷应变+时效	216	-	-	-	-
3YC15	冷应变+时效	216	-	-	-	-
3J40	固溶+ $\geq 80\%$ 冷应变	176~ 196	-	-	-	-
	固溶+ $\geq 80\%$ 冷应变 +500~550 $^{\circ}\text{C}$, 时效 5h	216~ 235	-	103~-110 ^①	49500~51000	-

① 在-40~+100 $^{\circ}\text{C}$ 温度范围内的频率温度系数。

表 10-3-25

牌号	固溶处理制度
3J21	弹性元件用不含铈的合金: 1100~1150 $^{\circ}\text{C}$, 保温 30min, 水淬 弹性元件用不含铈的合金: 1120~1170 $^{\circ}\text{C}$, 保温 30min, 水淬
3J22	轴尖用合金: 1140~1170 $^{\circ}\text{C}$, 保温 30min, 水淬
3J23	弹性元件用合金(丝材 $d < 0.4\text{mm}$): 1100~1140 $^{\circ}\text{C}$, 保温 25~30min, 水淬
3YC11	1150~1180 $^{\circ}\text{C}$, 保温 20~30min, 水淬
3YC15	1180~1200 $^{\circ}\text{C}$, 保温 20~60min, 水淬
3J40	1200~1250 $^{\circ}\text{C}$, 保温 15min, 迅速水淬(含铝偏上限: ~3.5%) 1180~1200 $^{\circ}\text{C}$, 保温 15~20min, 迅速水淬(含铝偏下限: ~3.3%)

表 10-3-26

牌 号	相 近 牌 号
0Cr17Ni7Al	17-7PH(英国、美国、日本), SUS631(日本) 631、S17700(美国)、09x17H7ю(俄罗斯)
0Cr17Ni7Mo2Al	PH15~7Mo(英国、美国、日本)、632、S15700(美国)
3J33	H18KOM5T(俄罗斯)、AlMar300、18Ni(300)(美国)

表 10-3-27

牌 号	材料的技术标准
0Cr17Ni7Al	GB/T 1220-1992《不锈钢棒》 GB/T 1221-1992《耐热钢棒》 GB/T 4231-1993《弹簧用不锈钢冷轧钢带》 GB/T 4239-1993《不锈钢和耐热钢冷轧钢带》
0Cr15Ni7MoAl	GB/T 1220-1992《不锈钢棒》

表 3-3-28

%

牌 号	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Co	Ti	Ce	Fe
0Cr17Ni7Al	≤ 0.09	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.030	16.00~ 7.75	6.5~ 7.75	-	0.75~ 1.50	-	-	-	余 量
0Cr15Ni7MoAl	≤ 0.09	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.030	14.00~ 16.00	6.5~ 7.5	2.00~ 3.00	0.75~ 1.5	-	-	-	-
3J33	≤ 0.03	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.030	≤ 0.030	-	18.00~ 19.0	4.5~ 5.5	≤0.15	8.5~ 9.5	0.6~ 1.0	≤ 0.003	余 量

表 10-3-29

牌 号	代号	名称	热处理制度
0Cr17Ni7Al	A	固溶处理	1050℃±10℃，保温 30min
	TH1050	固溶+中温调节+时效	固溶态+(760℃±15℃)，保温 90min，1h 内冷却到 15℃以下，保持 30min+(565℃±10℃)，时效 90min，空冷
0Cr15Ni7MoAl	RH950	固溶+高温调节+冷处理+时效	固溶态+(955℃±10℃)，保温 10min，空冷，24h 内冷却到-73℃±6℃，保持 8h+(510℃±10℃)，时效 60min，空冷
	CH900	固溶+冷应变+时效	固溶态+60%冷应变(0Cr15Ni7MoAl 合金应≤65%冷应变)+(480℃±10℃)，时效 2h，空冷
	C	固溶+冷应变	固溶态+60%冷应变(0Cr17Ni7MoAl 合金应≥65%冷应变)
3J33	-	固溶+时效	820℃，保温 1h，空淬+450℃，时效 3h，空冷

表 10-3-30

mm

		锻材	热轧材	热轧带	冷扎带	冷拉丝
0Cr17Ni7Al	d 或δ	55~200	10~70	3~10	0.10~1.60	协商供应
	b	-	-	≤250	≤250	
0Cr15Ni7MoAl	d 或δ	50~200	10~70	3~10	0.10~1.60	协商供应
	b	-	-	≤250	≤250	
3J33	d 或δ	协商供应	协商供应	-	≤0.05~3.5	协商供应
	b			-	50~200	

表 10-3-31

牌号	融化温度/°C	λ /(W/(m·°C))	c /(J/(kg·°C))	$\bar{\alpha}$ /10 ⁻⁶ ·°C ⁻¹			
				状态	20~ 100°C	20~ 300°C	20~ 427°C
0Cr17Ni7Al	1420~1450	17.17~ 20.93	460.55	A	16	18.4	18.6
				TH1050	10.5	11.3	11.9
				RH950	11.3	12.2	12.4
				CH900	11.8	12.4	12.3
0Cr15Ni7Mo2Al	1400~450	-	460.00	A	14.1	15.3	16
				TH1050	11	11	11.3
				RH950	11.7	12.3	12.5
3J33	-	19.68~ 20.93	460.55	固溶+时效		10.7 11	-

表 10-3-32

牌号	0Cr17Ni7Al	0Cr15Ni7Mo2Al	3J33
ρ /(g/cm ³)	7.65~7.80	7.68~7.80	8.0~8.2

表 10-3-33

牌号	固溶相数	ρ /μΩ·m				
		A	TH1050	RH950	CH900	C
0Cr17Ni7Al	-	0.80	0.82	0.83	0.84	-
0Cr15Ni7Mo2Al	-	0.80	0.82	0.83	0.82~0.88	1.02~1.09
3J33	0.30~0.40	-	-	-	-	-

表 10-3-34

牌号	性能	固溶 时效	代号			
			A	TH1050	RH950	CH900
0Cr17Ni7Al	磁导率 μ_{8000} /(H/m)	-	1.74~4.40	100.56~124.44	94.28~109.36	87.99
	磁导率 μ_{11} /(H/m)		1.76~4.52	168.44~261.46	149.58~109.70	157.12
0Cr15Ni7Mo2Al	磁导率 μ_{8000} /(H/m)	-	0.51	9.40	8.70	7.00
	磁导率 μ_{11} /(H/m)		0.53	15.00	11.90	12.50
3J33	磁导率 μ_{1440} /(H/m)	17.60	-	-	-	-

表 10-3-35

牌号	品种	状态	σ_b /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	δ /%	ψ /%	HBS		
0Cr17Ni7 Al	热加工棒材	A	≤ 1030	≤ 382	≥ 20	-	≤ 229		
		TH1050	≥ 1138	≥ 961	≥ 5	≥ 25	≤ 263		
		RH950	≥ 1226	≥ 1030	≥ 4	≥ 10	388		
	冷轧带材	A	A	≤ 1030	-	≥ 20	-	≤ 200 (HV)	
			TH1050	≥ 1138	≥ 961	-	-	≥ 345 (HV)	
			RH950	≥ 1226	≥ 1030	-	-	≥ 392 (HV)	
		C	1/2H	1/2H	≥ 1079	-	≥ 5	-	≥ 350 (HV)
				3/4H	≥ 1177	-	-	-	≥ 400 (HV)
			H	≥ 1422	-	-	-	≥ 450 (HV)	
			1/2H+47 5℃时效	1/2H+47 5℃时效	≥ 1226	≥ 883	-	-	≥ 380 (HV)
				3/4H+47 5℃时效	≥ 1442	≥ 1079	-	-	≥ 450 (HV)
			H+475℃ 时效	≥ 1716	≥ 1324	-	-	≥ 30 (HV)	
0Cr15Ni7 Mo2Al	热加工棒材	A	-	-	-	-	≤ 269		
		TH1050	≥ 1206	≥ 1098	≥ 7	≥ 25	≥ 375		
		RH950	≥ 1324	≥ 1206	≥ 6	≥ 20	≥ 388		

表 10-3-36

牌号	状态	σ_b /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\sigma_{p0.005}$ /MPa	δ /%	HRC	σ^{-1} (N=10 7)/MPa
0Cr17Ni 7Al	A (带材)	882	274	-	≥ 35	85(HRB)	-
	TH1050	1177~1373	<1275	-	3.5	≥ 43	
	RH950	1471~1618	<1510	-	≥ 4	≥ 48	
	C	1373~1471	-	-	-	≥ 43	
	CH900	1667~1814	<1255	-	≥ 2	≥ 49	
0Cr15Ni 7Mo2Al	A	834~932	373	-	≥ 30	180~ 200 (HV)	-
	TH1050	≥ 1226	-	-	≥ 7	≥ 390 (HV)	
	RH950	≥ 1373	-	-	≥ 26	≥ 470 (HV)	
	C	≥ 1471	-	-	-	≥ 440 (HV)	
	CH900	≥ 1765	-	-	≥ 2	≥ 500 (HV)	
3J33	820℃, 保温 1h, 重 淬+450℃, 时效 3h	≥ 1961	≥ 1863	≥ 1324	≥ 6	≥ 48	≥ 686
	固溶+480℃, 时效 3h	~2030	-	~1108	~ 2.2	~53	-
	固溶+650℃, 时效 3h	~1079	-	~431	~20	~42	-

表 10-3-37

状态	性能指标	0Cr17Ni7Al						0Cr15Ni7Mo2Al				
		150℃	260℃	320℃	370℃	430℃	480℃	150℃	315℃	370℃	430℃	480℃
TH1050	σ_b /MPa	1186	1117	1078	1029	-	841	1323	1236	1167	1099	971
RH950		-	-	-	-	-	-	1568	1403	1334	1256	1128
CH900		1705	1568	1333	-	1421	1254	1764	1628	1570	1501	1373
TH1050	$\sigma_{P0.2}$ /MPa	999	944	911	872	-	703	1303	1177	1128	1030	912
RH950		-	-	-	-	-	-	1411	1226	1128	1040	912
CH900		1607	1470	1392	-	1205	980	1607	1454	1373	1305	1207
TH1050	δ /%	8.5	6.0	6.0	6.0	-	6.0	4.5	4.0	6.0	9.0	14.0
RH950		-	-	-	-	-	-	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
CH900		4.0	3.0	3.0	-	5.0	6.0	2.0	1.5	1.5	1.5	2.5
TH1050	持久强度 (100h)/MPa	-	-	1088	841	62.0	359	-	-	-	-	-
RH950		-	-	-	-	-	-	-	1372	1313	1176	742
CH900		-	-	148	1235	503	248	-	-	-	-	-
TH1050	蠕变强度 (1%, 1000h)/MPa	-	-	931	724	414	159	-	-	-	-	-
RH950		-	-	-	-	-	-	-	891	824	652	275
CH900		-	-	1413	1030	-	-	-	-	-	-	-

表 10-3-38

牌号	状态	E /GPa	G /GPa	$\beta_f/10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$Q^{-1}(20\sim 400^\circ\text{C})$ /10 ⁴	$A_t/\%$	$H_t/\%$
0Cr17Ni7Al	CH900	199	76	-	-	-	-
0Cr15Ni7Mo2Al	RH950, TH1050	200	-	-	-	-	-
3J33	820℃保温 1h, 空淬 +450℃, 时效 3h	175~180	68~71	<20.0	0.34	<0.20	<0.50

表 10-3-39

C	Mn	Si	Ni	Cr	Co	Mo	Ti	Al	Cu	Zr	Fe
≤0.03	≤1.0	≤0.35	39.0~ 41.0	19.0~ 21.0	19.02~ 21.0	6.0~ 7.5	2.5~ 3.0	1.0~ 1.5	1.7~ 2.1	0.05~ 0.1	余量

表 10-3-40

介质	50%NaOH 30℃, 100h	20%乙酸 70℃, 100h	5%HNO ₃ 30℃, 100h	30%H ₂ SO ₄ 30℃, 100h
腐蚀速率 /(g/(m ² ·h))	<0.001(~0)	<0.001(~0)	<0.001(~0)	<0.001
介质	40%H ₂ SO ₄ 60℃, 100h	40%H ₂ SO ₄ 沸腾, 100h	100gCuSO ₄ +100ml HCL+1000ml 蒸馏 水, 沸腾 24h	220℃, 2MPa 压力的高速蒸 汽, 吊挂 100d
腐蚀速率 /(g/(m ² ·h))	0.002	0.545	未见晶界腐蚀	表面发黄, 增 重<0.001g

表 10-3-41

状态	σ_b /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	δ /%	HV
1050℃~1150℃, 保温 20min, 水淬	794~806	-	56~62	-
冷轧应变 40%	1460~1548	-	55~60	-
冷轧应变 40%+650℃~750℃, 时效 5~6h	≤1608	≥1540	2~6	503

表 10-3-42

试验温度/℃	20	150	300	400	450	500	550	600
σ_b /MPa	1608	1481	1461	1402	1402	1402	1402	1353
$\sigma_{p0.2}$ /MPa	1504	1461	1432	1352	1314	1304	1304	1285
δ /%	9.6	8.0	8.0	6.4	6.4	5.6	5.6	5.6
ψ /%	35.9	32.5	29.2	29.0	28.6	29.0	27.6	26.5

表 10-3-43

牌号	3J31	3J32	Co67NiNb
相近牌号	эи996 (俄罗斯) Beryvac520 (德国)	Berylco Nickel 440 (英国、美国)	67KHБ5 (俄罗斯)

表 10-3-44

%

牌号	C	Mn	Si	P	S	Al	Cu	Fe	Be	Ti	Ni	Nb	B	Co
3J31	≤ 0.03	≤0.03	≤0.05	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.30	1.9~ 2.2	-	余量	-	-	-

3J32	≤ 0.03	≤0.03	≤0.05	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.30	1.90~ 2.20	0.40~ 0.60	余量	-	-	-
Co67NiNb	≤ 0.05	0.10~ 0.30	0.10~ 0.30	≤ 0.01	≤ 0.01	-	-	-	-	~0.03	27.0~ 29.0	4.80~ 5.20	~ 0.003	余量

表 10-3-45

牌号	热处理制度
3J31	1000~1040℃, 保温 10~60min, 水淬+500~520℃, 时效 1~2h, 空冷 1000~1040℃, 保温 10~60min, 水淬+470~490℃, 时效 3~6h, 空冷 70%冷应变+470~490℃, 时效 2~3h, 空冷
3J32	1020~1050℃, 保温 10~60min, 水淬+500~520℃, 时效 2~3h, 空冷 70%冷应变+480~500℃, 时效 2~3h, 空冷
Co67NiNb	1000℃水淬+30~40%冷应变+600~650℃, 时效 1h, 空冷 1000℃水淬+620~670℃, 时效 4~6h, 空冷

注: 3J31、3J32 以高导电性为主要指标时, 固溶后时效温度提高至 530℃。

表 10-3-46

mm

状态和品种	d 或 δ	b
热锻轧棒材	协商供应	-
冷轧带材	0.05~2.5	≤200
冷拉丝材	0.10~6.0	-

表 10-3-47

牌号	状态	$\lambda/(W/(m \cdot ^\circ C))$	$\alpha_l/10^{-6}^\circ C^{-1}$
3J31	冷应变+时效	-	13.6
3J32	冷应变+时效	50.24	14.5
Co67NiNb	冷应变+时效	-	13.4

表 10-3-48

牌号	状态	$\rho/\mu\Omega \cdot m$	$\alpha_R(20 \sim 900^\circ C)/10^{-3}^\circ C^{-1}$
3J31	冷应变+时效	≤0.30	2.8
3J32	固溶+时效	≤0.25	-
Co67NiNb	冷应变+时效	0.28~0.34	2.80

表 10-3-49

H/(A/m)	B/T	$\mu/(10^{-6}H/m)$	H/(A/m)
2000	0.06	25.14	208
4000	0.19	44.00	-
6000	0.31	50.38	-

表 10-3-50

牌号	状态	σ_b /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\sigma_{p0.005}$ /MPa	δ /%	HRC
3J31	1020~1050℃水淬	784~834	≤441	-	≤30	≤30
	固溶+500~520℃, 时效 2~3h	≤1442	-	-	3.5~7.5	≤48
	70%冷应变+480~500℃, 时效 2~3h	≥1667	≥1422	≥1177	≥3	8
3J32	1020~1050℃水淬	784~834	-	-	≤30	≤20
	固溶+500℃, 时效 2~3h	≥1569	≥1373	≥834	9~15	≤48
	70%冷应变+480~500℃, 时效 2h	≥1863	≥1569	-	7~10	≥25
Co67NiNb	1000℃水淬	735	-	-	≥40	18
	35%~40%, 冷应变+600~680℃, 时效 1h (带材)	1450~1667	1353~1373	882	≥2.5	~50
	40%冷应变+650℃, 时效 1h (带材)	1863~1967	-	-	≥2.5	-

表 10-3-51

实验温度	σ_b /MPa	$\sigma_{p0.2}$ /MPa	$\sigma_{p0.005}$ /MPa	δ /%	HRC
-70	1726	-	-	-	-
20	1667	1392	981	3	48
200	166	1275	882	45	48
250	1618	1226	-	5	46
400	1618	1226	784	6	44

表 10-3-52

试验温度	300	450	500
σ_{100} /MPa	1370	951	490

表 10-3-53

牌号	状态	E/GPa	G/GPa	μ	$\beta_E/(20\sim 500^\circ\text{C})$ / $10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$
3J31	时效	186~206	83	-	-280
3J32	时效	186~206	83	相	-

Co67NiNb	时效	186~216	-	-	250~-300
----------	----	---------	---	---	----------

表 10-4-1

俄罗斯	美国	日本	法国
32ИКН	Super-Invar	-	Invar
32ИК-ВН	Super-Nilvar	SI	Superieur

表 10-4-2

%

C	P	S	Si	Mn	Cu	Co	Ni	Fe
≤								
0.05	0.02	0.02	0.02	0.20~0.60	0.40~0.80	3.2~4.2	31.5~33.0	余量

表 10-4-3

温度范围/°C	$\bar{\alpha}_1/10^{-6}C^{-1}$	温度范围/°C	$\bar{\alpha}_1/10^{-6}C^{-1}$
20~60	-0.90	20~250	3.20
20~50	0.50	20~300	4.90
20~100	0.90	20~400	7.70
20~150	1.40	20~500	9.60
20~200	2.00	20~600	10.80

表 10-4-4

温度范围/°C	20~50	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500
$\alpha_R/10^{-3}C^{-1}$	1.5	1.4	1.3	1.0	0.9	0.8

表 10-4-5

H/(A/m)	B/T	H/(A/m)	B/T	H/(A/m)	B/T
8	0.6×10^{-2}	80	0.21	2000	1.14
16	1.6×10^{-2}	160	0.45	4000	1.24
24	2.9×10^{-2}	400	0.72		
40	6.6×10^{-2}	800	0.91		

表 10-4-6

σ_b/MPa	$\sigma_{p0.2}/MPa$	$\delta/\%$	$\psi/\%$
470	302	25	72

表 10-4-7

俄罗斯	美国	英国	日本	法国	德国
36H 36H-ви -	Invar Nilvar Unipsan 36	Invar Nilo36 36Ni	不变钢 cactus LE -	Invar Standard Fe-Ni36 -	Vacodil36 Nilos36 -

表 10-4-8

%

C	P	S	Si	Mn	Ni	Fe
≤						
0.05	0.020	0.020	0.30	0.2~0.6	35~37	余量

表 10-4-9

温度范围/°C	$\bar{\alpha}_1/10^{-6}C^{-1}$	温度范围/°C	$\bar{\alpha}_1/10^{-6}C^{-1}$
20~60	1.8	20~250	3.6
20~40	1.8	20~300	5.2
20~20	1.6	20~350	6.5
20~0	1.6	20~400	7.8
20~50	1.1	20~450	8.9
20~100	1.4	20~500	9.7
20~150	1.9	20~550	10.4
20~200	2.5	20~600	11.0

表 10-4-10

温度范围/°C	20~50	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500
$\alpha_R/10^{-3}C^{-1}$	1.8	1.7	1.4	1.2	1.0	0.9

表 10-4-11

H/(A/m)	B/T	H/(A/m)	B/T
8	1.8×10^{-2}	160	0.74
16	4.2×10^{-2}	400	0.97
24	8×10^{-2}	800	1.12
40	0.2	2000	1.27
80	0.5	4000	1.32

表 10-4-12

$\theta/^\circ\text{C}$	-17.8	10.0	37.8	66	93	116
$\mu/(\text{mH/m})$	2.25	2.14	2.04	1.93	1.81	1.70

表 10-4-13

σ_b/MPa	$\sigma_{p0.2}/\text{MPa}$	$\delta/\%$
450	274	35

表 10-4-14

$\epsilon/\%$	σ_b/MPa	$\sigma_{p0.2}/\text{MPa}$	$\delta/\%$
15	641	448	14
25	689	617	9
30	731	655	8

表 10-4-15

退火温度/ $^\circ\text{C}$	700	750	800	900	1000	1050	1100	1200
晶粒度级别	开始再结晶	>10	>10	9.0	6.5	4.0	3.0	2.0

表 10-4-16

%

C	Si	P	S	Mn	Se	Ni	Fe
\leq							
0.05	0.20	0.020	0.020	<0.8	0.10~0.25	35.0~37.0	余量

表 10-4-17

试样热处理制度	$\alpha_1/10^{-6}\text{C}^{-1}$	
	20~50 $^\circ\text{C}$	20~100 $^\circ\text{C}$
在氧气保护下加热至 800 $^\circ\text{C}$ ，保温 1h，以不大于 300 $^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度冷至 200 $^\circ\text{C}$ 以下出炉	1.4	1.6
在氧气保护下加热至 850 $^\circ\text{C}$ ，保温 1h，以不大于 300 $^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度冷至 200 $^\circ\text{C}$ 以下出炉	1.3	1.6~1.7
在氢气保护下加热至 900 $^\circ\text{C}$ ，保温 1h，以不大于 300 $^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度冷至 200 $^\circ\text{C}$ 以下出炉	1.3	1.6

表 10-4-18

合金状态	σ_b/MPa	$\delta_5/\%$	HV	E/GPa
锻（轧）状态	769	-	153	-

退火状态	470	38.5	128	169
冷拉状态 (应变率 81.5%)	842~852	10.5	-	-

表 10-4-19

%

C	Si	Mn	P	S	Ni	Co	Fe
≤							
0.05	0.15	0.25	0.020	0.020	32.4~33.4	7.00~8.00	余量

表 10-4-20

$\alpha_1/10^{-6}C^{-1}$				
20~50℃	20~100℃	20~200℃	20~300℃	20~400℃
1.4	1.3	1.2	1.7	4.5

表 10-4-21

%

C	P	S	Mn	Si	Ni	Fe
≤						
0.03	0.015	0.015	0.60	0.25	57.5~59.5	余量

表 10-4-22

温度范围/℃	$\bar{\alpha}_1/10^{-6}C^{-1}$	温度范围/℃	$\bar{\alpha}_1/10^{-6}C^{-1}$
20~50	10.6	20~400	11.9
20~100	11.3	20~500	12.1
20~200	11.5	20~600	12.3
20~300	11.7		

表 10-4-23

H/(A/m)	B/T	H/(A/m)	B/T	H/(A/m)	B/T
8	2.0×10^{-2}	80	0.41	2000	1.49
16	3.0×10^{-2}	160	0.85	4000	1.53
24	5.0×10^{-2}	400	1.19		
40	0.10	800	1.37		

表 10-4-24

σ_b/MPa	$\sigma_{p0.2}/MPa$	$\delta/\%$
----------------	---------------------	-------------

表 10-5-1

牌号	主要特性
5J20110	具有很高的热敏感性能和较高的电阻率，但弹性模量和允许应力较低，可提高仪器的灵敏度、缩小尺寸和增大作用力
5J15120	具有很高的热敏感性能和较高的电阻率，但弹性模量和允许应力较低，可提高仪器的灵敏度、缩小尺寸和增大作用力
5J1580	具有较高的热敏感性，低温稳定性良好，易焊接。其他性能与 5J1480 相同
5J1416	热敏性能与 5J1480 相似。电阻率、弹性模量、允许应力都较低，热导率较高
5J1480	热敏感性能稍低于 5J1580
5J1380	在 0°C 以下的低温具有较高的热敏感性能。适于在低温下使用
5J1070	线性温度范围较宽。适合在较高的温度下使用
5J1017	热敏感性能和电阻率都较低。在 300°C 以上停止弯曲，可避免在高温下产生过火的应变
5J0756	热敏性能低，线性温度范围比 5J1017 更宽，可在更高的温度下使用
5J1417B	热敏性能与 5J1480 相同，但电阻率低得多
5J1075	热敏感性能较低，耐腐蚀性能好，强度高
RSN210	热敏感性能较低，耐腐蚀性能好，强度高

表 10-5-2

牌号	5J20110	5J15120	5J1580
曾用牌号	5J11	5J14	5J16
组元层合	高膨	Mn75Ni15Cu10	Mn75Ni15Cu10
			Ni20Mn6

金牌号	胀层	(Mn72Ni10Cu18)	(Mn72Ni10Cu18)	
	中间层	—	—	—
	低膨胀层	Ni36	Ni45Cr6	Ni36
牌号		5J1416	5J1480	5J1380
曾用牌号		5J17	5J18	5J19
组元层合金牌号	高膨胀层	Cu62Zn38	Ni22Cr3	Ni19Mn7
	中间层	—	—	—
	低膨胀层	Ni36	Ni36	Ni34
牌号		5J1070	5J1017	5J0756
曾用牌号		5J23	5J24	5J25
组元层合金牌号	高膨胀层	Ni19Cr11	Ni	Ni22Cr3
	中间层	—	—	—
	低膨胀层	Ni42	Ni36	Ni50
牌号		5J1417B①	5J1075	RSN210②
曾用牌号		5J101	—	—
组元层合金牌号	高膨胀层	Ni22Cr3	Ni16Cr11	Fe-Mn-Ni-Cr

	中间层	Cu	—	—
	低膨胀层	Ni36	Ni20Co26Cr8	Fe-Ni-N6

① 5J1417B 中间铜层的厚度为热双金属总厚度的 10%~12%

② 上海钢铁研究所生产。

表 10-5-3

中国	俄罗斯	美国	日本	法国	德国	瑞典	英国
5J20110	TБ2013	Truflex P675R Chace 7500	住友 RB-1 东芝 NIY	Dimphy 108sp	G-RauM	Kanthal200	Telcon200
5J15120	TБ1613	Truflex P850R Chace 6650	—	—	-	-	-
5J1580	TБ1523	—	住友 BL2 东芝 Tly	dmphy AS	Vacuums-ChmelzeA. E 2036 G-Rou Ge	Kanthal 155	-
5J1416	TБB53	Truflex A1	BL-L	—	-	-	-
5J1480	TБ1423	Truflex B1 Chace 2400	住友 BL-4 东芝 CIy	dimpty R80	-	Kanthal135	Telcon140
5J1380	—	—	—	-	Vacuums-Chmelze A-G2034	-	-
5J1070	TБ1032	Wilco Highheaat 47	住友 BH-2	-	-	-	-
5J1017	TБ0953	Truflex NI Chace 3300	住友 BL-3	diphy R15	G-Rau NI	-	-
5J0756	TБ0831	Truflex ES WilcoAutoflex Chace 2500	住友 BH-3	-	G-Rau RA46	-	-

5J1417B	TБ1253	—	—	-	-	-	-
5J1075	—	—	—	-	DIN TB1075	Kanthal105S	-
RSN210	—	Truflex GB14	—	-	DIN TB1075		-

组合层合金牌号	Ni	Cr	Fe	Co	Cu	Zn	Mn	Si	C		S	P
									≤			
Ni34	33.5~35.0	-	余量	-	-	-	≤0.6	≤0.3	0.05	0.020	0.020	
Ni36	33.5~37.0	-	余量	-	-	-	≤0.6	≤0.3	0.05	0.020	0.020	
Ni42	41.0~43.0	-	余量	-	-	-	≤0.6	≤0.3	0.05	0.020	0.020	
Ni50	49.0~50.5	-	余量	-	-	-	≤0.6	≤0.3	0.05	0.020	0.020	
Ni45Cr6	44.0~45.0	5.0 ~6.5	余量	-	-	-	0.3 ~0.6	0.15 ~0.30	0.05	0.020	0.020	
Ni	≤99.3	-	≤0.15	-	≤0.15	-	-	≤0.15	0.15	-	0.015	
Ni19Cr11	18.0~20.0	10.0 ~12.0	余量	-	-	-	0.3 ~0.6	0.20 ~0.40	0.08	0.020	0.020	
Ni22Cr3	21.0~23.0	2.0 ~4.0	余量	-	-	-	0.3 ~0.6	0.15~ 0.30	0.25~ 0.35	0.020	0.020	
Ni19Mn7	18.0~20.0	-	余量	-	-	-	6.5 ~8.0	0.15~ 0.30	0.05	0.020	0.020	
Ni20Mn6	19.0~21.0	-	余量	-	-	-	5.5 6.5~	0.15~ 0.30	0.05	0.020	0.020	
Mn72Ni10Cu18	8.0~11.0	-	≤0.80	-	17.0 ~19.0	-	余量	≤0.05	0.05	0.030	0.020	
Mn75Ni15Cu10	14.0~16.0	-	≤0.80	-	9.0	-	余量	≤0.05	0.05	0.020	0.030	

					~11.0						
Cu62Zn38	-	-	≤0.15	-	60.5 ~63.5	余量	-	-	-	0.010	-
Cu	-	-	≤0.005	-	≥99.9	≤ 0.005	-	-	-	0.040	0.010
Ni16Cr11	15.0~17.0	10.0 ~12.0	余量	-	-	-	≤0.6	≤ 0.30	0.05	0.020	0.020
Ni20Co26Cr8	19.0~21.0	7.0 ~9.0	余量	25.0 ~27.0	-	-	≤0.6	≤ 0.30	0.05	0.020	0.020

表 10-5-4

表 10-5-5

牌号	5J20110	5J15120	5J1580	5J1416	5J1480	5J1380
处理温度 /°C	260~280	260~280	300~320	180~200	300~320	300~320
保温时间 /h	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2
冷却方式	空冷	空冷	空冷	空冷	空冷	空冷
牌号	5J1070	5J1017	5J0756	5J1417B	5J1075	RSN210
处理温度 /°C	380~400	300~320	400~420	250~270	400~420	350
保温时间 /h	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2
冷却方式	空冷	空冷	空冷	空冷	空冷	空冷

表 10-5-6

厚度		宽度		长度	
尺寸	允许偏差	尺寸	允许偏差	尺寸	允许偏差
0.10~0.25	± 0.010	50	+ 2	≥500	+ 10
>0.25~0.50	± 0.015			≥350	
>0.50~0.75	± 0.020				
>0.75~1.50	± 0.030				
>1.50~3.00	± 0.050				

表 10-5-7

牌号	5J20110	5J15120	5J1580	5J1416	5J1480	5J1380
$\lambda / (W / (m \cdot ^\circ C))$	6	—	12	59	22	—
$c (20 \sim 200^\circ C) / (J / (kg \cdot ^\circ C))$	544	544	498	448	506	461
牌号	5J1070	5J1017	5J0756	5J1417B	5J1075	RSN210
$\lambda / (W / (m \cdot ^\circ C))$	—	—	—	—	19	—
$c (20 \sim 200^\circ C) / (J / (kg \cdot ^\circ C))$	498	490	490	494	—	—

表 10-5-8

牌号	比弯曲 K (20~135℃)			温曲率 F/(室温 ~130℃) 10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	电阻率ρ		线性温度 /℃	允许使 用温度 /℃	密度ρ /(g/cm ³)
	标称值 /10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	允许偏差			标准值 (20℃ ±5℃) μΩ·m	允许偏 差			
		I 级	II 级						
5J20110	20.8	±5%	±7%	39.0%±5%	1.13	±5%	-20~150	- 70~200	7.7
5J15120	15.3	±5%	±7%	28.5%±5%	1.25	±5%	-20~200	- 70~150	7.6
5J1580	15	±5%	±7%	28.5%±5%	0.8	±5%	-20~180	- 70~350	8.1
5J1416	14.3	±5%	±7%	26.7%±5%	0.16	±10%	-20~180	- 70~250	8.3
5J1480	14.3	±5%	±7%	26.2%±5%	0.80	±5%	-20~180	- 70~350	8.2
5J1380	13.8	±5%	±7%	26.2%±5%	0.80	±5%	-20~100	- 80~350	8.1
5J1070	10.8	±8%	±10%	20.2%±10%	0.70	±5%	+ 20~350	- 70~500	8.0
5J1017	10.0	±8%	±10%	19.0%±10%	0.17	±10%	- 20~180	- 70~400	8.4
5J0756	7.8	±8%	±10%	14.3%±10%	0.56	±5%	0~400	- 70~500	8.2
5J1417B	14.2	±5%	±7%	26.5%±5%	0.17	±10%	-20~150	- 70~200	8.2
5J1075	10.8	±8%	±10%	20.4±10%	0.75	±5%	-20~100	-	8.0

								70~550	
RSN210	10.2~11.8	-	-	-	0.85	-	-20~210	- 40~550	8.0

表 10-5-9

牌号	5J20110	5J15120	5J1580	5J1416	5J1480	5J1380
E/Gpa	113~142	123~162	147~177	98~127	147~177	147~177
牌号	5J1070	5J1017	5J0756	5J1417B	5J1075	RSN210
E/Gpa	152~181	152~181	152~181	123~162	167~206	165

表 10-5-10

牌号	5J20110		5J15120		5J1580		5J1416	
	高膨胀层	低膨胀层	高膨胀层	低膨胀层	高膨胀层	低膨胀层	高膨胀层	低膨胀层
HV	190~240	200~255	190~240	205~260	235~295	200~255	165~210	200~255
牌号	5J1480		5J1380		5J1070		5J1017	
	高膨胀层	低膨胀层	高膨胀层	低膨胀层	高膨胀层	低膨胀层	高膨胀层	低膨胀层
HV	270~340	200~255	255~320	200~255	270~340	200~255	185~235	200~255
牌号	5J0756		5J1417B		RSN210			
	高膨胀层	低膨胀层	高膨胀层	低膨胀层	高膨胀层	低膨胀层		
HV	270~340	210~265	270~340	200~255	370~420	300~320		

表 10-5-12

牌号	5J20110	5J15120	5J1580	5J1416	5J1480	5J1380	5J1070	5J1017	5J0756	5J1417B
σ /MPa	147	147	196	98	196	196	196	98	196	147
σ_m /MPa	294	294	392	294	343	392	392	294	392	245

表 10-5-13

牌号	去油	退火	酸洗	冷轧
5J1580 5J1480 5J1380 5J1070 5J1017 5J0756 5J1417B	可用汽油或四氯化碳等清除带材表面油脂	可在真空、氢气或空气中退火，退火温度为930~1000℃	用30%硫酸水溶液。溶液加热煮沸，酸洗时间以表面氧化皮清除为准	每道轧程的冷轧应变率为50%。最终冷轧应变速率根据具体要求规定
5J20110 5J15120		由于高膨胀层极易氧化，最好在真空中或氢气中退火，退火温度为850℃左右	用20%盐酸水溶液。特别要注意高膨胀层，只要在酸洗中沾下即可，酸洗时间过长高膨胀层发黑	
5J1416		在空气中退火，退火温度为850℃左右	在20%硫酸水溶液中煮沸，酸洗时间以表面氧化皮清除为准	

第6章 记忆合金生产新技术新工艺及质量检验

表 10-6-1

铸锭质量	电子束	电弧	等离子体	高频感应
气氛	真空	真空	不活性气体、真空	不活性气体、真空
坩埚	水冷铜	水冷铜	水冷铜	石墨
均匀性	中	良	良	优
成分控制	差	中	良	优

夹杂物	多	多	多	少
-----	---	---	---	---

表 10-6-2

腐蚀介质	试验温度 $\theta/^\circ\text{C}$	腐蚀速率/(mm/h)	
		TiNi	纯铁
盐酸溶液 5%	30	0.013	0.08
10%	30	0.07	0.20
15%	30	7.37	>25
H ₂ SO ₄ 5%	30	0.015	0.13
5%	常压下沸腾	11.6	5.2
10%	30	0.024	0.23
40%	30	0.05	1.8
HNO ₃ 60%	30	0.25	-
65%	常压下沸腾	-	0.05
H ₃ PO ₄ 10%	30	0.05	-
10%	常压下沸腾	0.12	-
CrO ₃ 20%	常压下沸腾	0.04	<0.01
50%	70	0.046	-
NaOH 20%	30	0.011	-
20%	常压下沸腾	0.04	-

CuCl ₂	70	5.47	-
AlCl ₃ 70%	沸腾	-	0.01
CH ₃ COOH 99.5%	沸腾	0.003	-

表 10-6-3

介质	腐蚀速率/ (mm/h)
人工唾液	2.9×10^{-5}
人工汗液	2.8×10^{-5}
Hank' s 生理溶液	0
1%氯化钠溶液	5.5×10^{-5}
1%乳酸溶液	5.7×10^{-5}
0.05%盐酸溶液	0
0.1%硫化钠溶液	6.9×10^{-5}

表 10-6-4

成分	测试温度/°C	冲击强度/(N·m)	
		无缺口	缺口
Ti-55%Ni	室温	158.5	32.5
	-80	94.8	23.0
Ti-55.1Ni-0.08Fe	室温	210.0	-
	-80	216.7	-

表 10-6-5

w (Ni) /%	无缺口试样截面 尺寸/(mm·mm)	测试条件	摆锤冲击强度/(N·m)
54.5	7.52×7.52	24℃	37.9
54.5	7.52×7.52	52℃	43.3
54.5	7.52×7.52	93℃	40.0
54.5	7.52×7.52	-80℃	54.2
54.5	7.52×7.52	冷却-80℃, 放入室温 的水中, 在室温空气中 放 15min 后, 测试温度 未给出	31.2
54.5	7.52×7.52	冷却-47℃, 放入室温 的水中, 在室温空气中 放 15min 后, 71℃下测 试	33.9
55.1	7.54×7.54	24℃	32.5
55.1	7.54×7.54	93℃	37.9
55.1	7.54×7.54	-80℃	58.3

表 10-6-6

x (Ni) %	热处理	$\sigma_{P0.2}$ /MPa	E _{2max} /(MJ/m ³)	η_{max}
50.6	1273KIQ	110	8.9	0.18
50.6	1273KIQ→773KIQ	320	15.1	0.40

50.6	1273KIQ→673KIQ	470	33.3	0.68
50.6	1273KIQ→573KIQ	320	20.5	0.50
49.8	1273KIQ→573KIQ	<100	3.8	0.21
50.1	1273KIQ→573KIQ	230	6.7	0.27
50.6	1273KIQ→573KIQ	470	33.3	0.68
51.6	1273KIQ→573KIQ	650	37.7	0.78
49.8	1273KIQ	<100	6.8	0.18
49.8	773KIQ	280	15.7	0.48
49.8	673KIQ	500	31.5	0.70
49.8	1273KIQ→673KIQ	<100	3.8	0.21
50.6	673KIQ	620	42.2	0.81

表 10-6-7

种类	一阶共振频率 fn/Hz	选取频率 fn/Hz	f1/Hz	f2/Hz	ζ	ζ_1/ζ_2
65Mn 轻型垫片	210.3	190~230	205.72	214.65	0.02123	
TiNi 合金垫片	209.6	190~230	204.4	218.95	0.03471	1.63

表 10-6-8

种类	一阶共振频率 fn/Hz	选取频率 fn/Hz	f1/Hz	f2/Hz	ζ	ζ_1/ζ_2
65Mn 轻型垫片	996.3	975~1030	993.82	997.52	0.001857	1.6

片						
TiNi 合金垫 片	1012.35	990~1030	1009.47	1015.4	0.002929	

表 10-6-9

试样处理条件	E/MPa	G/MPa	μ
800°C热锻热轧，轧制方向为纵向，800°C真空退火 1h 炉冷	69400	26100	0.33
800°C热锻热轧，轧制方向为横向，800°C真空退火 1h 炉冷	71200	24000	0.485
800°C热锻热轧，轧制方向为纵向，-180°C冷轧应变 10%，未进行热处理	72000	72500	0.31
800°C热锻热轧，轧制方向为纵向，-180°C冷轧应变 20%，未进行热处理	69800	28600	0.22

第 7 章 精密电阻合金生产新技术新工艺及质量检验

表 10-7-1

合金名称	材料牌号	相近牌号	材料标准
通用型锰钢精密电阻合金	6J12	Manganin (德国)	GB/T6145-1999 《锰铜、康铜精密电阻合金线、片及带》
硅锰铜精密电阻合金	—	Manganin (德国)	
分流锰铜精密电阻合金	F1	6J8	
	F2	6J13	マンカエン (日本) MAHIAHHH (俄罗斯)

表 10-7-2

合金名称 (牌号)		C	S	Bi	Sb	Ni+Co	Mn	Si	Cu
		≤							
锰铜 (6J12)		0.05	0.02	0.002	0.002	2~3	11~13	-	余量
硅锰铜		-	-	-	-	-	8~10	1~2	-
分流锰铜	F1 (6J8)	0.05	0.02	0.002	0.002	2~3	8~10	1~2	余量
	F2 (6J13)	0.05	0.02	0.002	0.002	2~5	11~13	-	余量

表 10-7-3

线材直径 d/mm	退火温度/°C
1	约 750
0.5	约 700
0.1	约 550

表 10-7-4

线径 d/mm		截面积 /mm ²	锰铜 (6J12)			F1 锰铜 (6J8)			F2 锰铜 (6J13)				
标称值	允差		每米电阻标称 值/(Ω/m)	每米电阻 允差	每米标称质量 /(g/m)	每米电阻标称值 /(Ω/m)	每米电阻 允差	每米标称质量 /(g/m)	每米电阻标称值 /(Ω/m)	每米电阻 允差	每米标称质量 /(g/m)		
0.020	±0.002	0.000314	1496	±10%	0.0027	—	—	0.0027	—	—	0.0026		
0.022		0.000380	1236		0.0032			0.0033			0.0032		
0.025		0.000491	957		0.0041			0.0043			0.0041		
0.028		0.000616	763		0.0052			0.0054			0.0052		
0.032	±0.003	0.00804	584.0	±8%	0.0068	—	±8%	0.0070	—	—	0.0068		
0.036		0.001018	462.0		0.0086			0.0089			0.0086		
0.040		0.001257	374.0		0.0106			0.0109			0.0106		
0.045		0.001590	296.0		0.0134			0.0138			0.0134		
0.050		0.001963	239.0		0.0166			0.0171			0.0165		
0.056		0.002463	191.0		0.0208			0.0214			±8%	0.0207	0.0207
0.063		0.003117	151.0		0.0263			0.0271			—	—	0.0262
0.071		0.003959	119.0		0.0334			0.0344			—	—	0.0333
0.080		0.005027	93.5		0.0424			69.6			0.0437	87.5	—

0.080		0.006362	73.9		0.0537	55.0		0.0553	69.2		0.0534
0.100		0.007854	59.8		0.0663	44.6		0.0683	56.0		0.0660
0.12		0.009852	47.7		0.0832	35.5		0.0857	44.7		0.0828
0.125		0.012270	38.3		0.1040	28.5		0.1070	35.9		0.1030
0.140	±0.005	0.015390	30.5	±7%	0.1300	22.7	±7%	0.1340	28.6	±7%	0.1290
0.160		0.020110	23.4		0.1700	17.4		0.1750	21.9		0.1690
0.180		0.025450	18.5		0.2150	13.8		0.2210	17.3		0.2140
0.200	±0.005	0.03142	15.0	±6%	0.2650	11.10	±6%	0.2730	14.0	±6%	0.264
0.224		0.03941	13.3		0.3330	8.88		0.3340	11.2		0.331
0.250		0.04909	11.9		0.4140	7.13		0.4270	8.96		0.421
0.280		0.06158	9.57		0.5200	5.68		0.5360	7.15		0.517
0.315		0.07793	6.03		0.658	4.49		0.6780	5.65		0.665
0.355		0.09898	4.75		0.835	3.54		0.8610	4.45		0.831
0.400	±0.010	0.12570	3.74	±5%	1.060	2.79	±5%	1.0900	3.50	±5%	1.060
0.450		0.15900	2.96		1.340	2.20		1.3800	2.77		1.340
0.500		0.19630	2.39		1.660	1.78		1.7100	2.24		1.650
0.560		0.2463	1.910		2.08	1.420		2.14	1.790		2.07
0.630		0.3117	1.510		2.63	1.120		2.71	1.410		2.62

0.710		0.3959	1.190		3.34	0.884		3.34	1.110		3.33
0.750		0.4418	1.060		3.73	0.792		3.84	0.996		3.71
0.800	±0.015	0.5027	0.935	±4%	4.24	0.696	±4%	4.37	0.875	±4%	4.22
0.850		0.5674	0.828		4.79	0.617		4.94	0.775		4.77
0.900		0.6352	0.739		5.37	0.550		5.53	0.692		5.34
0.950		0.7088	0.663		5.98	0.494		6.17	0.621		5.95
1.000		0.7854	0.598		6.63	0.446		6.83	0.560		6.60
1.060	±0.020	0.8825	0.533	±4%	7.45	0.397	±4%	7.68	0.499	±4%	7.41
1.120		0.9852	0.477		8.32	0.355		8.57	0.447		8.28
1.180		1.0940	0.430		9.23	0.320		9.51	0.402		9.19
1.250		1.2270	0.383		10.40	0.285		10.70	0.359		10.30
1.320		1.3680	0.343		11.50	0.256		11.90	0.322		11.50
1.400		1.5390	0.305		13.00	0.227		13.40	0.286		12.90
1.500		1.7670	0.266		14.90	0.198		15.40	0.249		14.80
1.600		2.0110	0.234		17.00	0.174		17.50	0.219		16.90
1.700	±0.025	2.270	0.207	±4%	19.2	0.154	±4%	19.7	0.194	±4%	19.1
1.800		2.545	0.185		21.5	0.138		22.1	0.173		21.4
1.900		2.835	0.166		23.9	0.123		24.7	0.155		23.8
2.000		3.142	0.150		26.5	0.111		27.3	0.140		26.4

2. 120		3. 530	0. 133		29. 8	0. 0992		30. 7	0. 125		29. 7
2. 240		3. 941	0. 1190		33. 3	0. 0888		34. 3	0. 112		33. 1
2. 360		4. 374	0. 1070		36. 9	0. 0800		38. 1	0. 101		36. 7
2. 500		4. 909	0. 0957		41. 4	0. 0713		42. 7	0. 0896		41. 2
2. 650	±0. 030	5. 515	0. 0852	±4%	46. 6	0. 0635	±4%	48. 0	0. 0798	±4%	46. 3
2. 800		6. 158	0. 0763		52. 0	0. 0568		53. 6	0. 0715		51. 6
3. 000		7. 069	0. 0665		59. 7	0. 0495		61. 5	0. 0622		59. 4
3. 150		7. 793	0. 0603		65. 8	0. 0449		67. 8	0. 0565		65. 5
3 . 350		8. 8140	0. 0533		74. 4	0. 0397		76. 7	0. 0499		74. 0
3. 550		9. 898	0. 0475		83. 5	0. 0354		86. 1	0. 0445		83. 1
3. 750	±0. 035	11. 040	0. 0426	±4%	93. 2	0. 0317	±4%	96. 1	0. 0398	±4%	92. 8
4. 000		12. 570	0. 0374		106. 0	0. 0279		109. 0	0. 0350		106. 0
4. 250		14. 190	0. 0331		120. 0	0. 0247		123. 0	0. 0310		119. 0
4. 500		15. 900	0. 0296		134. 0	0. 0220		138. 0	0. 0277		134. 0
4. 750	±0. 040%	17. 72	0. 0265	±4%	150	0. 0198	±4%	154	0. 0248	±4%	149
5. 000		19. 63	0. 0239		166	0. 0178		171	0. 0224		165
5. 300	+0. 050%	22. 06	0. 0213	±4%	186	0. 0159	±4%	192	0. 0199	±4%	185

5.600		24.63	0.0191		208	0.0142		214	0.0179		207
6.00	±0.060%	28.27	0.0166	±4%	239	0.0124	±4%	246	0.0156	±4%	238
6.300		31.17	0.0151		263	0.0112		271	0.0141		262

注：①本表合金的标称电阻率为：锰铜 0.47 $\mu\Omega\cdot m$ ；F1 锰铜 0.35 $\mu\Omega\cdot m$ ；F2 锰铜 0.44 $\mu\Omega\cdot m$

②本表合金的标称密度为：锰铜 8.44g/cm³；F1 锰铜 8.70 g/cm³；F2 锰铜 8.40 g/cm³

表 10-7-5

δ	厚度允差	b	宽度允差	δ	厚度允差	b	宽度允差
0.100 0.112 0.125 0.140 0.160	±0.010	50	宽度 50、75 为±1 宽度 100、125、 150、175±1.5	0.400	±0.020	50	宽度 50、 75 为±1
				0.450			
		0.500	±0.020	75	宽度 100、 125、 150、175 ±1.5		
		0.560					
		0.630	+0.020	100			
		0.710	-0.030	125			
0.800	±0.030	150					
0.900		175					

		± 0.3	± 0.3	± 0.3	± 0.4	± 0.4	± 0.5	± 0.5	± 0.6	± 0.7
0.180	± 0.010	1.066								
0.200		1.184	1.684							
0.224		1.327		-	-	-	-	-	-	-
0.250	+ 0.010 - 0.020	1.481	1.880	1.880	2.450					
0.280		1.658	2.106	2.106	2.744	3.859				
0.315		1.865	1.865	2.369	3.087	4.349				
0.355		2.102	2.102	2.670	3.479			-		-
0.400	± 0.020	2.369	3.008	3.920	4.900	6.272	8.820	11.03		
0.450		2.665	3.384	4.410	5.513	7.056	9.800	12.25		
0.500		2.961	3.760	4.900	6.125	7.840			-	-
0.560	+0.020 -0.030	3.316	4.211	5.488	6.860	8.781	10.98	13.72		
0.630		3.731	4.738	6.174	7.717	9.878	12.35	15.43		
0.710		4.205	5.339	6.958	8.698	11.13	13.92	17.40	-	-
0.800	± 0.030	4.738	6.016	7.840	9.800	12.54	15.68	19.60	24.70	-

0.900		5.330	6.768	8.820	11.03	14.11	17.64	22.05	27.78	
1.000		5.922	7.520	9.800	12.25	15.68	19.60	24.50	30.87	39.20
1.120		6.633	8.422	10.98	13.72	17.56	21.95	27.44	34.57	43.90
1.250	±0.040	7.403	9.400	12.25	15.31	19.60	24.50	30.63	38.59	49.00
1.400		8.291	10.53	13.72	17.15	21.95	27.44	34.30	43.22	54.88
1.600	±0.050	9.475	12.03	15.68	19.60	25.09	31.36	39.20	49.39	62.72
1.800		10.66	13.54	17.64	22.05	28.22	35.28	44.10	55.57	70.56
2.000	±0.060	11.84	15.04	19.60	24.50	31.36	39.20	49.00	61.74	78.40

表 10-7-7

合金名称	6J12	硅锰铜	6J8	6J13
$\rho / (\text{g}/\text{cm}^3)$	8.44	8.4	8.70	8.40

表 10-7-8

合金分类	$\rho / (\mu\Omega \cdot \text{m})$	电阻温度系数	Ecu	工作温度/°C
------	-------------------------------------	--------	-----	---------

			$\alpha/10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\beta/10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$(0\sim 100^{\circ}\text{C})$ / $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	
	0级	0.44~0.50	-2~2	-0.7~0	-	5~45
6J12	1级		-3~5	-0.7~0		
	2级		-5~10	-0.7~0		
	3级		-10~20	-0.7~0		
硅锰铜		0.35	-3~5	-0.25~0	≤ 1	5~45
6J8		0.30~0.40	-5~10	-0.25~0	≤ 2	10~80
6J13		0.40~0.48	0~40	-0.7~0	≤ 2	10~80

注：①6J12，硅锰铜 电阻温度系数测试温度为 10°C、20°C、40°C

②6J8，6J13 电阻温度系数测试温度为 10°C、40°C、60°C

表 10-7-10

标称直径	漆膜最小厚度 δ	漆包线最大外径 D	标称直径	漆膜最小厚度 δ	漆包线最大外径 D
------	-----------------	-----------	------	-----------------	-----------

d	I 型	II 型	I 型	II 型	d	I 型	II 型	I 型	II 型
0.020	0.005	0.009	0.029	0.036	0.100	0.012	0.021	0.122	0.132
0.022	0.005	0.009	0.032	0.038	0.112	0.012	0.021	0.135	0.146
0.025	0.006	0.010	0.036	0.042	0.125	0.014	0.023	0.150	0.161
0.028	0.006	0.010	0.039	0.045	0.140	0.015	0.024	0.166	0.179
0.032	0.006	0.011	0.044	0.050	0.160	0.017	0.028	0.188	0.202
0.036	0.007	0.012	0.049	0.055	0.180	0.018	0.028	0.210	0.225
0.040	0.007	0.012	0.053	0.060	0.200	0.019	0.030	0.231	0.248
0.045	0.008	0.013	0.059	0.066	0.224	0.021	0.032	0.258	0.275
0.050	0.008	0.014	0.064	0.072	0.250	0.022	0.034	0.285	0.304
0.056	0.009	0.015	0.071	0.079	0.280	0.024	0.036	0.318	0.338
0.063	0.009	0.016	0.080	0.088	0.315	0.026	0.038	0.356	0.376
0.071	0.010	0.017	0.089	0.097	0.355	0.027	0.041	0.398	0.420
0.080	0.011	0.018	0.099	0.108	0.400	0.028	0.043	0.445	0.468
0.090	0.012	0.019	0.111	0.120	0.450	0.030	0.048	0.498	0.524

0.500	0.031	0.049	0.551	0.578	1.000	0.048	0.070	1.079	1.117
0.560	0.034	0.052	0.615	0.643	1.060	0.049	0.072	1.143	1.177
0.630	0.038	0.056	0.689	0.718	1.120	0.050	0.074	1.205	1.247
0.710	0.038	0.059	0.773	0.805	1.250	0.053	0.080	1.343	1.387
0.800	0.041	0.062	0.869	0.902	1.320	0.056	0.082	1.417	1.462
0.850	0.042	0.064	0.921	0.956	1.400	0.058	0.085	1.499	1.548
0.900	0.043	0.066	0.973	1.010	1.500	0.059	0.090	1.605	1.654
0.950	0.045	0.068	1.027	1.064					

表 10-7-11

标称直径 d/mm	最小击穿电压 (有效值) /V		标称直径 d/mm	最小击穿电压 (有效值) /V	
	I 型	II 型		I 型	II 型
d=0.02	60	130	0.04 < d ≤ 0.05	170	300
0.02 < d ≤ 0.025	80	160	0.05 < d ≤ 0.063	200	450
0.025 < d ≤ 0.03	100	200	0.063 < d ≤ 0.08	250	500
0.03 < d ≤ 0.04	130	260	0.08 < d ≤ 0.1	300	600

表 10-7-12

标称直径 d/mm	最小击穿电压 (有效值) /V		标称直径 d/mm	最小击穿电压 (有效值) /V	
	I 型	II 型		I 型	II 型
0.1 < d ≤ 0.125	900	1700	0.5 < d ≤ 0.71	2300	4000
0.125 < d ≤ 0.16	1100	2000	0.71 < d ≤ 0.8	2500	4400
0.16 < d ≤ 0.2	1200	2200	0.8 < d ≤ 0.9	2600	4700
0.2 < d ≤ 0.25	1400	2500	0.9 < d ≤ 1.12	2700	4900
0.25 < d ≤ 0.315	1500	2800	1.12 < d ≤ 1.25	2900	5100
0.315 < d ≤ 0.4	1700	3000	1.25 < d ≤ 1.5	3000	5300
0.4 < d ≤ 0.5	2000	3500			

表 10-7-13

合金名称	合金牌号	Cu	Mn	Al	Fe

新康铜电阻合金	6J11	余量	11.5~12.5	2.5~4.5	1.0~1.6
---------	------	----	-----------	---------	---------

表 10-7-14

线径 d/mm		截面积/mm ²	每米电阻值/(Ω /m)		每米标称质量/(g/m)	
标称值	允差		标称值	允差		
0.315	± 0.010	0.07793	6.29	± 7	0.6234	
0.335		0.09898	4.95		0.7918	
0.400		0.12570	3.90		1.0050	
0.450		0.15900	3.08		1.2720	
0.500	-0.01	0.1963	2.50		1.571	
0.560	-0.02	0.2463	1.99		1.970	
0.63	$+0.01$	0.3117	1.57		2.2.494	
0.71		0.3959	1.24		3.167	
0.75		-0.02	0.4418		1.11	3.534
0.80			0.5027		0.975	4.021
0.85			0.5674		0.864	4.540
0.90	± 0.02	0.6362	0.770		5.089	
0.95		0.7088	0.691		5.671	
1.00		0.7854	0.624		6.283	
1.06		0.8825	0.555	7.060		
1.12		0.9852	0.497	7.882		
1.18		1.0930	0.448	8.749		
1.25		1.2270	0.399	9.817		
1.32		1.3680	0.358	10.950		
1.40		1.5390	0.318	12.320	± 6	

1.50		1.7670	0.277		14.140	
1.60		2.0110	0.244		16.080	
1.70	+0.02	2.270	0.216		18.160	
1.80		2.545	0.193		20.360	
1.90		-0.03	2.835		0.173	22.680
2.00		3.142	0.156		25.130	
2.12	±0.03	3.530	0.139	±5	28.240	
2.24		3.941	0.124		31.530	
2.36		4.374	0.1120		34.99	
2.50		4.909	0.0998		39.27	
2.65		5.515	0.0888		44.12	
2.80		6.158	0.0796		49.26	
3.00		7.069	0.0693		56.55	
3.15		7.793	0.0629		62.34	
3.35		8.814	0.0556		70.51	
3.55		9.898	0.0495		79.18	
3.75		11.040	0.0444		88.36	
4.00		12.570	0.0390		100.50	
4.25		14.180	0.0346		113.50	
4.50		15.900	0.0308		127.20	
4.75		17.72	0.0276		141.80	
5.00		19.63	0.0250		157.10	
5.30		22.06	0.0222		176.50	
5.60		24.63	0.0199		197.20	
6.00		26.27	0.0186		226.20	

6.30		31.17	0.0157		249.40
6.70		35.26	0.0139		282.10
7.10		39.59	0.0124		316.70
7.50		44.18	0.0111		353.40
8.00		50.27	0.00975		402.10

表 10-7-15

δ/mm	b/mm								
	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0
0.180	0.460	-	-	-	-	-	-	-	-
0.200	0.414	-	-	-	-	-	-	-	-
0.224	0.369	0.291	-	-	-	-	-	-	-
0.250	0.331	0.261	0.200	-	-	-	-	-	-
0.280	0.296	0.233	0.179	-	-	-	-	-	-
0.315	0.263	0.207	0.159	0.127	-	-	-	-	-
0.355	0.233	0.184	0.141	0.133	-	-	-	-	-
0.400	0.207	0.163	0.125	0.100	0.0781	-	-	-	-
0.450	0.184	0.145	0.111	0.0889	0.0694	0.0556	0.0444	-	-
0.500	0.165	0.130	0.100	0.0800	0.0625	0.0500	0.0400	-	-
0.560	0.148	0.116	0.093	0.0714	0.0558	0.0446	0.0357	-	-
0.630	0.131	0.103	0.0794	0.0635	0.0496	0.0397	0.0317	-	-
0.710	0.117	0.0918	0.0704	0.0563	0.0440	0.0352	0.0282	-	-

0.800	0.103	0.0814	0.0625	0.0500	0.0391	0.0312	0.0250	0.0198	-
0.900	0.0919	0.0724	0.0556	0.0444	0.0347	0.0278	0.0222	0.0176	-
1.000	0.0827	0.0652	0.0500	0.0400	0.0313	0.0250	0.0200	0.0159	0.0125
1.120	0.0739	0.0582	0.0446	0.0357	0.0279	0.0223	0.0179	0.0142	0.0122
1.250	0.0662	0.0521	0.0400	0.0320	0.0250	0.0200	0.0160	0.0127	0.0100
1.400	0.0591	0.0465	0.0357	0.0286	0.0223	0.0179	0.0143	0.0113	0.0089
1.600	0.0517	0.0407	0.0312	0.0250	0.0195	0.0156	0.0125	0.0099	0.0078
1.800	0.0460	0.0362	0.0278	0.0222	0.0174	0.0139	0.0111	0.0088	0.0069
2.000	0.0414	0.0326	0.0250	0.0200	0.0156	0.0125	0.0100	0.0079	0.0063

表 10-7-16

δ /mm	b/mm								
	6. 3	8. 0	10. 0	12. 5	16. 0	20. 0	25. 0	31. 5	40. 0
0.180	8.6	-	-	-	-	-	-	-	-
0.200	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-
0.224	10.6	13.4	-	-	-	-	-	-	-
0.250	11.8	15.0	19.6	-	-	-	-	-	-
0.280	13.3	16.9	21.9	26. 7	-	-	-	-	-
0.315	15.0	19.0	24.7	30.9	-	-	-	-	-
0.355	16.8	21.4	27.8	34.8	44.6	-	-	-	-
0.400	19.0	24.1	31.4	39.2	50.2	-	-	-	-
0.450	21.3	27.0	35.3	44.1	56.5	70.6	88.2	-	-
0.500	23.7	30.1	39.2	49.0	62.7	78.4	98.0	-	-
0.560	26.6	33.7	43.9	54.9	70.2	87.8	110.0	-	-
0.630	29.8	37.9	49.4	61.8	79.0	98.8	123.4	-	-
0.710	33.6	42.7	55.7	69.6	89.0	111.4	139.2	-	-

0.800	37.9	48.2	62.7	78.4	100.3	125.4	156.8	197.6	-
0.900	42.6	54.2	70.6	88.24	112.9	141.1	176.4	222.2	-
1.000	47.4	60.2	78.4	98	125.4	156.8	196.0	247.0	313.6
1.120	53.0	67.4	87.8	109.8	140.5	175.6	219.5	276.6	351.2
1.250	59.2	72.3	98.0	122.5	156.8	196.0	245.0	308.7	392.0
1.400	66.3	84.2	109.8	137.2	175.6	219.5	274.4	345.8	439.0
1.600	75.8	96.2	125.4	156.8	200.7	250.9	313.6	395.1	501.8
1.800	85.3	108.3	141.1	176.4	225.8	282.2	352.8	444.6	564.5
2.000	94.7	120.3	156.8	196.0	250.9	313.6	392.0	493.9	627.2

表 10-7-17

合金名称	$\theta/^\circ\text{C}$	$\alpha_R/10^{-6}\text{C}^{-1}$
新康铜电阻合金	20~200	-40~40
	20~500	-80~80

表 10-7-18

合金牌号	主要元素			允许微量元素 Ni、Al 稀土元素	杂质元素总量
	Ge	Mn	Cu	\leq	
锆锰钢 (4YC6)	5~6	6~7	余量	2	0.5
低锆锰钢 (4YC7)	0.5~2	8~10	余量	2	0.5

表 10-7-19

丝材直径 d/mm	退火温度/°C ≥	退火介质	处理设备及方式
≥1	750~790	氢气	管状炉连续退火
0.5~<1	700~750		
<0.5	600~720		

表 10-7-20

标称直径 d/mm	线径公差/mm	截面积/mm ²	每米电阻值/(Ω /m)	每 100m 裸线质 量/g	漆包线外径/mm	
					最小	最大
0.020	±0.002	0.000314	1131.6~1692.90	0.270	0.024	0.040
0.025	±0.002	0.000491	751.09~1036.10	0.442	0.030	0.045
0.030	±0.003	0.000707	502.92~751.09	0.608	0.036	0.050
0.040	±0.003	0.001257	296.55~400.00	1.081	0.047	0.065
0.050	±0.003	0.001964	208.74~247.84	0.689	0.058	0.080
0.060	±0.003	0.00283	137.95~168.63	2.434	0.069	0.090
0.070	±0.003	0.00385	102.70~121.98	3.311	0.079	0.100
0.080	±0.003	0.00503	79.48~92.35	4.326	0.090	0.110
0.090	±0.003	0.00636	63.30~72.34	5.470	0.100	0.120
0.100	±0.005	0.00785	49.65~60.66	65.751	0.113	0.130
(0.110)	±0.005	0.00950	41.43~49.65	8.170	0.123	0.140
0.120	±0.005	0.01131	35.04~41.39	9.727	0.136	0.150
0.130	±0.005	0.01327	30.06~35.04	11.41	0.146	0.160
0.140	±0.005	0.01539	26.06~30.06	13.24	0.156	0.170

0.150	±0.005	0.01767	22.78~26.06	15.20	0.166	0.180
0.160	±0.005	0.0201	20.11~22.78	17.29	0.176	0.200
0.170	±0.005	0.0227	17.88~20.11	19.52	0.186	0.210
0.180	±0.005	0.0254	16.00~17.88	21.84	0.200	0.220
0.190	±0.005	0.0284	14.40~16.00	24.42	0.210	0.230
0.200	±0.005	0.0314	13.03~14.40	27.00	0.220	0.240
0.210	±0.005	0.0346	11.85~13.03	29.76	0.230	0.250
0.230	±0.005	0.0415	9.91~10.81	35.69	0.250	0.275
0.250	±0.005	0.0491	8.419~9.122	42.23	0.275	0.300
0.280	±0.010	0.0616	6.510~7.511	52.98	0.305	0.330
0.300	±0.010	0.0707	5.69~86.510	60.80	0.325	0.350
0.310	±0.010	0.0755	5.347~6.084	64.93	0.335	0.360
0.330	±0.010	0.0855	4.736~5.347	73.53	0.360	0.390
0.350	±0.010	0.0962	4.224~4.736	82.73	0.380	0.410
0.380	±0.010	0.1134	3.600~3.999	97.52	0.410	0.440
0.400	±0.010	0.1257	3.258~3.600	108.10	0.430	0.460
0.420	±0.010	0.1385	2.961~3.258	119.11	0.450	0.480
0.450	±0.010	0.1590	2.587~2.828	136.74	0.480	0.510
0.470	±0.010	0.1735	2.376~2.587	149.21	0.500	0.530
0.500	±0.010	0.1964	2.105~2.280	168.90	0.530	0.560
0.530	±0.010	0.221	1.878~2.024	190.06	0.540	0.600
0.560	±0.010	0.246	1.685~1.810	211.56	0.600	0.630

0.600	± 0.010	0.283	1.472~1.573	243.38	0.640	0.670
0.630	± 0.010	0.312	1.337~1.424	268.32	0.670	0.700
0.670	± 0.010	0.353	1.184~1.257	303.58	0.710	0.750
0.710	± 0.010	0.396	1.056~1.117	340.56	0.750	0.790
0.750	± 0.010	0.442	0.9480~1.427	380.12	0.800	0.840
	- 0.020					
0.800	+ 0.010	0.503	0.8345~0.9000	432.58	0.850	0.890
	- 0.020					
0.850	+ 0.010	0.567	0.7403~0.7947	487.62	0.900	0.940
	- 0.020					
0.900	+ 0.010	0.636	0.6611~0.7070	546.96	0.950	0.990
	- 0.020					
0.950	+ 0.010	0.709	0.5941~0.6330	69.74	1.000	1.040
	- 0.020					
1.000	+ 0.010	0.785	0.5367~0.5701	675.10	1.060	1.110
	- 0.020					
1.060	+ 0.020	0.882	0.4694~0.5062	758.52	1.120	1.170
(1.110)	± 0.020	0.950	0.4365~0.4694	817.00	1.160	1.210
1.120	± 0.020	0.985	0.4213~0.4525	847.10	1.180	1.230
1.180	± 0.020	1.094	0.3802~0.4069	940.84	1.240	1.290
1.200	± 0.020	1.131	0.3678~0.3932	972.64	1.260	1.310

表 10-7-21

裸线直径 d/mm	绕制张力/g	裸线直径 d/mm	绕制张力/g
0.023	4	0.165	215
0.033	9	0.234	430
0.052	21	0.331	860
0.074	43	0.523	2150
0.105	86	0.740	4300
		1.046	8500

表 10-7-22

级别	代号		$\alpha_R/10^{-6}C^{-1}$	适用温度/ $^{\circ}C$
	裸电阻线	聚脂漆包线		
1	6J6W-1	QZ6J6W-1	± 3	0~70
2	6J6W-2	QZ6J6W-2	± 6	
3	6J6W-3	QZ6J6W-3	± 10	

表 10-7-23

合金牌号	σ_b/MPa		$\sigma_{P0.2}/MPa$	$\delta/\%$	HBS	
	软态	硬度			软态	硬度
锆锰铜	412~450	882	~225	8~20	~60	~200

表 10-7-24

合金牌号	相近牌号	C	P	S	Mn	Al
		\leq				
6J10	GCR69 (日本)	0.05	0.01	0.01	0.3	-

6J15	X15H60-БЙ (俄罗斯) GNC12 (日本)	0.05	0.03	0.02	1.5	0.3
6J20II	X20H80-БЙ (俄罗斯) GNC108 (日本)	0.05	0.01	0.01	0.7	0.3
合金牌 号	相近牌号	Cr	Fe	Si	Cu	Ni
		≤				
6J10	GCR69 (日本)	9.0~10.0	≤0.4	≤0.2	≤0.2	Ni+Co 余量
6J15	X15H60-БЙ (俄罗斯) GNC112 (日本) 15.0~18.0	15.0~18.0	余量	0.4~1.3	-	55.0~61.0
6J20II	X20H20-БЙ (俄罗斯) GNC108 (日本)	20.0~23.0	<1.5	0.04~1.3	-	余量

表 10-7-25

公称直径 d/mm	每米电阻上限值 /(Ω/m)	每米电阻公称值 /(Ω/m)	每米电阻下限值 /(Ω/m)
0.009	8500	7940	7000
0010	7400	6800	6200
0.030	950	850	750
0.045	440	400	360

表 10-7-26

d/mm	直径允许偏差 (参考值)/mm	每米电阻 允许偏差 /%	6J20			6J15		
			每米电阻值 /(Ω /m)	每米质量 /(g/m)	每克长度 /(m/g)	每米电 阻值 /(Ω /m)	每米质量 /(g/m)	每克长度/(m/g)
0.009	± 0.001	± 15	14600	0.0005280	1894			
0.010			11800	0.0006519	1534			
0.011			10300	0.0007888	1268			
0.012			8660	0.0009388	1065			
0.014			6630	0.001278	783			
0.015			5780	0.001467	682			
0.016	± 0.002	± 12	5080	0.001669	599			
0.018			4010	0.002112	473			
0.020			3340	0.002608	384			
0.022			2770	0.003155	317			
0.025		2140	0.004074	245				
0.028		1700	± 10	0.005111	196			
0.030				0.005867	170			
0.032				0.006675	150			
0.035				0.007986	125			
0.040				0.01043	95.9			
0.045				0.01320	75.8			
0.050		± 8	± 8	535	0.01630	61.4		
0.055	442			0.01972	50.7			
0.060	371			0.02347	42.6			
0.070			273	0.03194	31.3			

0.080	± 0.004		209	0.04172	24.0			
0.090			165	0.05280	18.9			
0.100			134	0.06519	15.3	138	0.06440	15.5
0.110			111	0.7888	12.7	114	0.07793	12.8
0.120			93.0	0.09387	10.7	95.5	0.09274	10.8
0.130			80.6	0.1102	9.08	81.5	0.1088	9.19
0.140			69.5	0.1278	7.83	72.7	0.1262	7.92
0.150			60.5	0.1467	6.82	61.0	0.1449	6.90
0.160			53.2	0.1669	5.99	53.7	0.1649	6.07
0.170			47.2	0.1884	5.31	47.5	0.1861	5.37
0.180			42.0	0.2112	4.73	42.5	0.2087	4.79
0.190			37.8	0.2353	4.25	38.2	0.2325	4.30
0.200			34.0	0.2608	3.84	34.4	0.2576	3.88
0.220			28.6	0.3155	3.17	29.1	0.3117	3.21
0.230			26.2	0.3448	2.90	26.6	0.3407	2.94
0.250			22.2	0.4074	2.45	22.6	0.4025	2.48
0.280			17.7	0.5111	1.96	18.1	0.5049	1.98
0.300			15.4	0.5867	1.70	15.8	0.5796	1.73
0.320			13.6	0.6675	1.50	13.9	0.6595	1.52
0.330			12.8	0.7099	1.41	13.1	0.7013	1.43
0.350			11.4	0.7986	1.25	11.6	0.7889	1.27
0.380			9.80	0.9413	1.06	9.90	0.9300	1.08
0.400			8.80	1.0430	0.959	8.90	1.0304	0.970

注：本表合金标称电阻率：6J20=1.08 $\mu\Omega\cdot m$ ；6J15=1.12 $\mu\Omega\cdot m$ ；标称密度：
6J20=8.3g/cm³；6J15=8.2 g/cm³

表 10-7-27

合金牌号	$\theta/^\circ\text{C}$	$c/(\text{J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}))$	$\alpha_1(-55\sim 100^\circ\text{C})/10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$
6J10	1415	0.46	13.0	8.7
6J15	1390	0.46	13.5	8.2
6J20	1400	0.46	13.0	8.3

表 10-7-28

合金牌号	$\rho/(\mu\Omega\cdot\text{m})$	$\alpha_R(20\sim 100^\circ\text{C})/10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	$E_{\text{Cu}}(0\sim 100^\circ\text{C})/(\mu\text{V}/^\circ\text{C})$	磁性能
6J10	0.69	350	20.5	无磁
6J15	1.12	150	1	弱磁
6J20	1.08	50	5	无磁

表 10-7-29

d/mm	$\delta/\%$	d/mm	$\delta/\%$
0.009~0.012	4	0.055~0.090	16
0.014~0.018	8	0.100~0.1300	18
0.020~0.0050	12	0.140~0.400	20

表 10-7-30

d/mm	F/10 ⁻³ N		d/mm	F/10 ⁻³ N	
	软态	硬态		软态	硬态
0.009	39.2	68.8	0.011	58.8	98.0

0.010	49.0	78.4	0.012	68.6	107.8
0.014	98.0	147.0	0.028	392.0	597.8
-0.015	107.8	176.4	0.030	441.0	695.8
0.016	127.4	196.0	0.032	509.6	784.0
0.018	137.2	245.0	0.035	607.6	940.8
0.020	196.0	303.8	0.040	784.0	1225.0
0.022	352.2	372.4	0.045	980.0	1568.0
0.025	303.8	480.2	0.050	1225.0	1930.6

表 10-7-31

合金牌号	σ_b /MPa	δ /%	K
6J10	490~735	4~25	-
6J15	637~882	4~25	-
6J20	686~931	4~25	21~2.3

第 8 章 应变电阻合金生产新技术新工艺及质量检验标准

表 10-8-1

牌号	相近牌号	Ni	Mn	Zr	Cu	材料技术标准
6JYC-401	Constant (德国)	40	-	-	余量	-
6JYC-442	Constant (德国)	44	-	-	余量	-
6JYC-423	Constant (德国)	42	-	-	余量	-
6JYC-424	—	42		< 0.1	余量	天津冶金局材料

						所,《康铜大变形量应变电阻合金暂行技术条件》
	Advance (美国)	43~45	2.5~3.5	-	余量	上海市冶金局,沪 Q/YB846-1980《应变锰白铜线企业标准》,《沪有研 101-81 航天头盔一号专用变康铜丝技术标准》

表 10-8-2

公称直径 d	允许偏差	
	3 级	5 级
0.02~0.03	-0.002	-0.005
0.03~0.08	-0.003	-0.01

表 10-8-3

合金电性能	6JYC-401	6JYC-442	6JYC-423	6JYC-424	BMn44-3
$\rho / (\mu\Omega \cdot m)$	0.49~0.50	0.51~0.52	0.50	0.50~0.51	0.45~0.58
$\alpha R (25 \sim 85^\circ C) / 10^{-6} C^{-1}$	-48~-47	-57	-58~-45	-58~-44	≤ 10

表 10-8-4

线材直径 d/mm	每米电阻值/(Ω/m)
0.02	1450~1700

0.025	1000~1150
0.03	750~850

表 10-8-5

性能	合金牌号				
	6JYC-401	6JYC-442	6JYC-423	6JYC-424	BMn44-3
σ_b /MPa	461~500	461~490	441~490	451~529	392~637
δ /%	14~20	18~23	12~21	16~22	-
K	2.13~2.20	2.16~2.17	2.11~2.17	2.12~2.17	2.090
K 值分散度变差系数 /%	优于±2	优于±2	优于±2	优于±2	优于±2

表 10-8-6

%

材料牌号	相近牌号	Cr	Al	Mn	Si	Fe	Cu	V	Mo	Ni	材料技术标准
6JYZ-C1	—	20	2.5	1.5	1.0	-	-	-	-	余量	-
6JYZ-C2	ニマーマ (日本)	20	2.5	3.0	1.0	-	-	-	-	余量	-
6JYZ-C3	Karma (美 国, 英国)	20	2.5	-	-	2.5	-	-	-	余量	天津冶金局材料 所,《铁-铬-铝及 镍铬改良型应变电 阻合金丝》暂行技 术条件
6JYZ-C4	Evanohm (美国)	20	2.5	2.5	-	-	2.0	-	-	余量	
6JYD-9413	-	20	3.0	-			-	2.0	3.0	余量	天津冶金局材料 所,《中温大变形 应变电阻合金丝》 暂行技术条件

表 10-8-7

性能	6JYZ-C1	6JYZ-C2	6JYZ-C3	6JYZ-C4	6JYD-9413
$\rho / (\mu\Omega \cdot m)$	1.24~1.39	1.27~1.42	1.22~1.36	1.23~1.38	1.39~1.52
$\alpha_R (25 \sim 85^\circ C) / 10^{-6} C^{-1}$	-47~40 可任选	-46~36 可任选	-19~59 可任选	-33~53 可任选	-29~20 可任选
$E_{Cu} (0 \sim 100^\circ C) / (\mu V / ^\circ C)$	0.45~0.92	0.60~0.89	0.62~1.32	0.50~1.10	-

表 10-8-8

性能	6JYZ-C1	6JYZ-C2	6JYZ-C3	6JYZ-C4	6JYD-9413
σ_b / MPa	990~1186	990~1166	970~1127	1009~1196	1225~1284
$\delta / \%$	27~28	27~28	25~28	27	17~19
K	1.92~2.15	2.04~2.23	2.03~2.15	1.96~2.12	1.96~2.03

表 10-8-9

%

Mo	Al	V	Ge	Ni
19.5~23	2.2~2.7	0.7~1.0	1.15~1.35	余量

表 10-8-10

N	100°C	200°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C
1	476 20	911 35	1203 35	1303 37	1358 39	1375 41	1373 40
2	473 20	857 35	1153 21	1240 24	1296 32	1299 37	1292 45
3	439 24	860 25	1159 27	1253 28	1301 30	1307 32	1351 36
Av	463 27	876 31	1171 27	1265 30	1318 34	1327 37	1339 40

表 10-8-11

材料牌 号	相近牌 号	Cr	Al	V	Mo	Y	Hf	杂质 总量	Fe	材料标准牌号
----------	----------	----	----	---	----	---	----	----------	----	--------

6JYG-C18	X ₂₁ IO ₅ Φ M	21	5.5	1.3	1.4	<0.5	-	-	余量	天津冶金局材料所,《铁-铬-铝及镍铬改良型应变电阻合金丝》暂行技术条件
6JYG-C19		21	5.3	1.3	1.4	-	-	-	余量	-
6JYG-C21		21	5.4	3.2	1.4	-	-	-	余量	天津冶金局材料所,《铁-铬-铝及镍铬改良型应变电阻合金丝》暂行技术条件
6JYG-C23		21	5.0	3.5	1.3	-	-	-	余量	
6JYG-C24		21	4.8	3.1	1.3	-	-	-	余量	
4YC3			21.5~ 22.5	4.9~ 5.2	2.3~ 3.0	1.85~ 2.05	≤0.1Y 及稀土	-	<0.5	余量
4YC4	ArmourB	24.5~ 25.5	6.3~ 6.5	-	-	≤0.4Y ≤0.3Y 稀土	-	<0.5	余量	重庆仪表材料研究所 Q/yCS77-1998

注：6JYG 型化学成分为主要元素的标称值。

表 10-8-12

合金牌号	6JYG-C18	6JYG-C19	6JYG-C21	6JYG-C32	6JYG-C34	4YC3	4YC4
最高使用温度 /°C	700	700	700	500	700	550	750~800
适用范围	做高温单丝温度自补偿应变计丝	做高温单丝温度自补偿应变计丝栅。在 600°C	与 6JYG-C34 丝一起作双丝温度自补偿	与耐热不锈钢类试件的高温应力测	与 6JYG-C34 丝一起作双丝温度自补偿	作高温半桥自补偿应变计,进行静	作高温静态应变测量的应变计。使

	栅。在600℃以上工作最好。可作高温电热元件	以上工作最好。当丝材直径 $d=0.04\text{mm}$ 时，可工作到800℃。可作高温电热元件	高温应变计。可作高温电热元件	量用应变计丝栅。适于快速升温。可作高温电热元件	高温应变计。与铂丝一起作双丝温度自补偿应变计，在600℃以下使用。可作高温电热元件	态应变测量。在550℃以下使用	用工作温度从室温到700℃，最高至800℃
--	------------------------	----------------------------------------------------	----------------	-------------------------	-------------------------------------------	-----------------	-----------------------

表 10-8-13

合金牌号	$\alpha (20\sim 600^{\circ}\text{C}) / 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\rho / (\mu\Omega \cdot \text{m})$	$\alpha_R (20\sim 700^{\circ}\text{C}) / 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$E_{\text{Cu}} (0\sim 100^{\circ}\text{C}) / (\mu\text{V}/^{\circ}\text{C})$
6JYG-C18	13.1	1.45	-10	2.97
6JYG-C19	14.0	1.45	-2.4	-
6JYG-C21	13.3	1.50	29	-
6JYG-C23	12.9	1.45	-1.4 (20~500℃)	3.18
6JYG-C24	-	1.50	32	-
4YC3	14	1.36~1.42	1.62 (20~550℃)	-3.35
4YC4	15.06 (20~750℃)	1.43~1.50	<3 (20~750℃)	3.28

表 10-8-14

温度范围	20~100℃	20~200℃	20~300℃	20~400℃	20~500℃	20~600℃	20~700℃	20~750℃
$\alpha_1/10^{-6}C^{-1}$	10.03	11.66	11.82	12.05	12.66	13.54	14.74	15.06

表 10-8-15

性能	6JYG-C18	6JYG-C32	6JYG-C34
热输出在 700℃分散标准误差/ $\mu\epsilon$	优于 ± 100	优于 ± 160	优于 ± 100
热输出在 700℃~室温间不重复最大值/ $\mu\epsilon$	< 100	< 50	
热输出在 700℃平均零点漂移/($\mu\epsilon/h$)	< 60	26	52①

注：所有数据在制成应变计上测的。

①为在 6JYG-C21 与 6JYG-C34 两种丝制成的应变计上测得的数据

表 10-8-16

性能	4YC3	4YC4
二、三热循环平均输出差值 /(($\mu\Omega/\Omega$)/℃)	-89 (550℃)	-
二、三热循环不重复最大值 /($\mu\Omega/\Omega$)	-	<100 (750℃)
热输出点的平均零点漂移 /(($\mu\Omega/\Omega$)/h)	31 (550℃)	<100 (750℃)

表 10-8-17

合金牌号	σ_b/MPa	$\delta/\%$	K	K 值分散度变差系数/%	K 值在测温点下降率 /%
------	----------------	-------------	---	--------------	---------------

6JYG-C18	833	7	2.50	2.3 (600°C)	21 (700°C)
6JYG-C19	833	7	2.55	-	-
6JYG-C21	931	8	2.45	-	-
6JYG-C23	882	9	2.65	-	18 (500°C)
6JYG-C24	784	9	2.75	±1.71① (700°C)	24 (700°C)
4YC3					18~22
	798	16.6	2.0~2.8	-	(500°C)
4YC4	872	13	> 2	-	< 25 (750°C)

①由 6JYG-C21 与 6JYG-C34 两种丝材制成的应变计测得数据

表 10-8-18

材料牌号	相近牌号	W	Re	Pt	材料技术标准
PtW8	PtPdMo45-10 (中国)	8±0.2	-	余量	YS/T 206-1994 《电阻应变铂钨合金丝》
PtW8.5		8.5±0.2	-	余量	
PtW9.5		8.5±0.2	-	余量	昆明贵金属研究所， Q/C ¹² -1975 《电阻应变用铂钨和铂钨铼合金》
PtWRe7.5-5.5		7.5	5.5	余量	
PtWRe8-6		8	6	余量	

表 10-8-19

d	直径允许偏差	丝材椭圆度
0.03	±0.001	±0.001
0.025	±0.001	±0.001
0.0085	±0.0005	±0.0005

表 10-8-20

合金牌号	$\rho/(\mu\Omega\cdot m)$	电阻温度系数		电阻-温度线性性	700 零点漂 移 / $(\mu\varepsilon/h)$
		$\alpha_R/10^{-6}^{\circ}C^{-1}$	$\theta/^{\circ}C$		
PtW8	0.65	230	0~800	0~700°C线性性好	-
PtW8.5	0.67	210	0~800	0~700°C线性性好	110
PtW9.5	0.76	139	0~1000	0~700°C线性性好	85
PtWRe7.5- 5.5	0.84	88	0~800	0~800°C线性性好	1400
PtWRe8-6	0.84	82	0~800	0~800°C线性性好	-

表 10-8-21

合金牌号	PtW8	PtW8.5	PtW9.5	PtWRe7.5-5.5	PtWRe8-6
对铜热电动势率 E_{Cu} (0~120°C)/($\mu V/^{\circ}C$)	6.1	6.4	6.5	3.6	3.9

表 10-8-22

合金牌号	PtW8	PtW8.5	PtW9.5	PtWRe7.5-5.5	PtWRe8-6
σ_b/MPa	882	988	1196	1392	1431

表 10-8-23

合金牌号	PtW8	PtW8.5	PtW9.5	PtWRe7.5-5.5	PtWRe8-6
E/MPa	-	159.7	166.6	-	-
K	4.2	4.1	3.7	3.3	2.8

第 11 篇 功能材料生产新技术新工艺及质量检验

第 1 章 低温超导材料生产新技术新工艺及质量检验

表 11—1-1

类别	材料名称	中文名称	类别	材料名称	中文名称
合金	NbTi	铌钛	化合物	Nb ₃ Ga	铌三镓
	NbZr	铌锆		Nb ₃ Ge	铌三锗
	NbTiZr	铌钛锆		Nb ₃ AlGe	铌三铝锗
	NbTiTa	铌钛钽		V ₃ Si	钒三硅
化合物	Nb ₃ Sn	铌三锡		V ₃ Ga	钒三镓
	Nb ₃ Al	铌三铝		-	-

表 11-1-2

材料	Nb	Ti	Sn
NbTi	50~54	46~50	-
Nb ₃ Sn	75~80	-	20~25

表 11-1-3

裸线尺寸/mm	加绝缘后尺寸 /mm	芯径 d/ μ m	铜超比	J _c (5T, 4. 2K) /(A/mm ²)
ϕ 0. 4	ϕ 0. 44	30	1. 7	2342
ϕ 0. 5	ϕ 0. 55	37	1. 7	2338
		13	1. 3	2882
		26	2. 6	2860
ϕ 0. 6	ϕ 0. 65	45	1. 7	2339
ϕ 0. 7	ϕ 0. 76	52	1. 7	2336
		18	1. 3	2940

$\phi 0.8$	$\phi 0.86$	60	1.7	2245
$\phi 1.0$	$\phi 1.07$	26	1.3	2843
1.2×2.5	1.25×2.55	50	2	2024
1.51×3.5	1.56×3.55	47	1	1904

表 11-1-4

裸线尺寸/mm	芯径 d/ μm	铜超比	Jc (5T, 4.2K) / (A/mm ²)
$\phi 0.648$	6	1.8	1670
$\phi 0.84$	22	1.0	1550
$\phi 1.75$	38	1.0	1320
1.1×1.9	28	1.0	1270

表 11-1-5

规格	A 型	B 型	C 型	D 型
电缆尺寸/mm	2.6×6.4	2.1×6.7	2.1×8.2	1.4×4.5
股数	14	11	13	11
股径 ϕ /mm	0.95	1.18	1.20	0.75
芯径 d/ μm	5.3	13	6.7	12.5
每股中芯数	7714	1500	6055	1147
扭矩 t/mm	24	15	23	15
节距 tw/mm	75	50	90	55
Cu/CuNi/NbTi	4.4/0.8/1	3.3/1.5/1	3.5/0.8/1	1.5/0.3/1
RRR	120	120	150	-

表 11-1-6

规格	1 号	2 号	3 号
电线尺寸/mm	0.81	0.92	1.0
芯径 d/ μm	4.2	3.3	2.9
芯数	4579	9481	23959
扭矩 t/mm	20	18	16
铜超比	1.5	1.5	0.5
$J_c / (\text{A}/\text{mm}^2)$	(12T , 4.2K) 655	(12T , 4.2K) 730	(12T , 4.2K) 750

表 11-1-7

性能	合金		化合物	
	铌钛合金 (40~50Nb-Ti)	铌锆合金 (25~40Nb-Zr)	铌三锡 (Nb ₃ Sn)	钒三镓 (V ₃ Ga)
转变温度/K	9~10	10~11	18~18.2	14~16
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	1800~2000	~2000	2000	1300
c/(mJ(g·K))	0.18(4.2K)	0.18	0.21(4.2K)	-
$\lambda / (\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K}))$	1.1~1.5(4.2K)	0.8~1.5(4.2K)	0.4~0.7(4.2K)	-
热扩散率 /(cm^2/s)	1.18~1.22	1.6~5(4.2K)	0.33~0.35	-

$\sigma_l/10^{-8}K^{-1}$	8.9 (293K)	5.4 (4~473K)	7~10 (25~970K)	-
--------------------------	------------	--------------	----------------	---

表 11-1-8

转变温度/K	$(\Delta L/L)/10^6$		
	Cu/NbTi 线	Nb3Sn 线	V3Ga 线
4	2650	2100	2180
20	2650	2100	2180
40	2620	2090	2160
60	2650	2030	2110
80	2450	1930	2030
120	2120	1640	1790
160	1670	1300	1460
200	1170	930	1070
240	660	540	630
280	160	130	160
293	0	0	0

表 11-1-9

名称	合金		化合物	
	铌钛合金 (40~50Nb-Ti)	铌锆合金 (25~40Nb-Zr)	铌三锡 (Nb3Sn)	钒三镓 (V3Ga)
$\rho/(g/m^3)$	5.5~6	8.1	粉末烧结 5.4 块样 8.9~9	—
$\rho/(\mu\Omega\cdot m)$	24 (4.2K)	22~24 (4.2K)	26	40~140

	70~100 (300K)	38 (273K)	(4.2K)	(293K)
磁扩散率 /(cm ² /s)	240	240	240	—

表 11-1-10

类别	材料	T _c /K	上临界场/T
合金	NbTi	~9.5	12
	NbZr	~10	~9
	NbTiZr	~9.8	11
	NbTiTa	~9.9	~12
化合物	V3Ga	15.2	22.0
	Nb3Sn	18.3	22.5
	Nb3Al	18.8	29.5
	Nb3Ga	20.3	33.5
	Nb3Ge	23.0	37.0
	Nb3AlGe	20.7	41.0
	V3Si	17.1	22.5
	PbGd _{0.2} Mo ₆ S ₈	~14	~60

表 11-1-11

性能	合金		化合物	
	铌钛合金	铌锆合金	铌三锡	钒三镓

	(40~50Nb-Ti)	(25~40Nb-Zr)	(Nb3Sn)	(V3Ga)
σ_b /MPa	970 (4. 2K)	1600~2000 (室温)	170 (300K)	-
E/MPa	8×10^4 (4.2K)	8×10^4 (4.2K)	6300 (300K)	-

表 11-1-12

成分	熔点/°C	Tc/K	备注
60Sn , 40Pb	183	7. 05	常用锡铅焊料
50Sn , 50Pb	183~216	7. 75	常用锡铅焊料
50Sn , 50In	117~215	7. 45	延展性好
15. 1Sn , 32Pb , 52. 5Bi	95	8. 69	临界磁场高

表 11-1-13

成分	焊件材料
34g 氯化锌 , 4g 氯化铵 , 100mL 水	铜及铜镍
25%氯化锌 , 25%盐酸 , 50%水	不锈钢

第 2 章 测温合金生产新技术新工艺及质量检验

表 11-2-1

类别	牌号	电阻比 R100/R0
高纯铂丝	物理纯 1 号铂丝	≥ 1.39250
	物理纯 2 号铂丝	$1.3920 \sim 1.3925$
	物理纯 3 号铂丝	$0.1310 \sim 1.3920$
工业热电阻用铂丝	工业用热电阻铂丝	1.3850 ± 0.0010

表 11-2-2

直径 d	0.02~0.05	0.05~0.10	0.10~0.20	0.20~0.30	0.30~0.50	0.50~1.0	1.0~2.0
允许 偏差	-0.003	-0.005	-0.008	-0.012	-0.02	-0.03	-0.04
不圆 度 \leq	0.003	0.005	0.008	0.012	0.02	0.03	0.04

表 11-2-3

$\alpha/10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$c/(\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{C}))$	$\lambda (\text{W}/(\text{m}\cdot\text{C}))$	熔点/ $^\circ\text{C}$	$\rho (\text{g}/\text{cm}^3)$
8.9	138	69	1768.84	21.45

表 11-2-4

允许等级	允许偏差
A	$\pm (0.15 + 0.002 t)$
B	$\pm (0.30 + 0.005 t)$

表 11-2-5

分度号	Pt ₁₀ /A	Pt ₁₀₀ /A	Pt ₁₀ /B	Pt ₁₀₀ /B
$\Delta R_0/\Omega \leq$	0.006	0.06	0.012	0.12

表 11-2-6

极性	名称	牌号	Au	Pt	Pd
正极	钯铂 31 金 14-	PdPt31Au14	14	31	55
负极	金铂 35	AuPd35	65	0	35

表 11-2-7

牌号	$\theta/^\circ\text{C}$	$\rho (\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho (\mu\Omega\cdot\text{m})$	$\bar{a} (0\sim 100^\circ\text{C})/10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$
PdPt31Au14	1572	14.9	0.31	8.7
AuPd35	1428	15.9	0.24	36

表 11-2-8

工作 端温 度 / $^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	热电热/mV										
0	0.000	0.030	0.060	0.090	0.120	0.151	0.181	0.211	0.241	0.271	0.301
10	0.301	9, 332	0.363	0.393	0.424	0.455	0.486	0.517	0.547	0.578	0.609
20	0.609	0.640	0.672	0.703	0.735	0.766	0.798	0.829	0.860	0.892	0.923
30	0.923	0.955	0.987	1.019	1.051	1.084	1.117	1.148	1.181	1.213	1.245
40	1.245	1.278	1.310	1.343	1.376	1.408	1.441	1.474	1.507	1.539	1.572
50	1.572	1.605	1.639	1.672	1.706	1.739	1.772	1.806	1.839	1.873	1.906

60	1.906	1.940	1.974	2.008	2.042	2.075	2.109	2.143	2.177	2.211	2.245
70	2.245	2.280	2.314	2.349	2.383	2.418	2.453	2.487	2.552	2.556	2.591
80	2.591	2.626	2.661	2.696	2.731	2.766	2.801	2.836	2.871	2.906	2.941
90	2.941	2.977	3.012	3.048	3.084	3.120	3.455	3.191	3.227	3.262	3.298
100	3.298	3.334	3.370	3.406	3.442	3.479	3.515	3.551	3.587	3.623	3.659
110	3.659	3.696	3.732	3.769	3.805	3.842	3.879	3.915	3.952	3.988	4.025
120	4.025	4.062	4.099	4.137	4.074	4.211	4.248	4.285	4.323	4.360	4.397
130	4.397	4.434	4.472	4.509	4.547	4.584	4.621	4.659	4.696	4.734	4.771
140	4.771	4.809	4.847	4.885	4.923	4.962	5.000	5.038	5.076	5.114	5.152
150	5.152	5.190	5.229	5.267	5.306	5.344	5.382	5.421	5.459	5.498	5.536
160	5.536	5.575	5.614	5.653	5.692	5.731	5.769	5.808	5.847	5.886	5.925
170	5.925	5.964	6.004	6.043	6.082	6.122	6.161	6.200	6.239	6.279	6.318
180	6.318	6.358	6.397	6.437	6.476	6.516	6.555	6.595	6.634	6.674	6.713
190	6.713	6.753	6.793	6.833	6.873	6.913	6.953	6.993	7.033	7.073	7.113
200	7.113	7.153	7.194	7.234	7.275	7.315	7.355	7.396	7.436	7.477	7.517
210	7.517	7.558	7.598	7.639	7.680	7.721	7.761	7.802	7.843	7.883	7.924
220	7.924	7.965	8.006	8.047	8.088	8.129	8.170	8.211	8.252	8.293	8.334
230	8.334	8.375	8.417	8.458	8.499	8.541	8.582	8.623	8.664	8.706	8.747
240	8.747	8.789	8.830	8.872	8.913	8.955	8.996	9.038	9.079	9.121	9.162
250	9.162	9.204	9.246	9.288	9.330	9.372	9.414	9.456	9.498	9.539	9.581
260	9.581	9.623	9.665	9.708	9.750	9.792	9.834	9.876	9.919	9.961	10.003
270	10.003	10.045	10.088	10.130	10.173	10.215	10.257	10.300	10.342	10.385	10.427
280	10.427	10.470	10.512	10.555	10.597	10.640	10.683	10.725	10.768	10.810	10.853
290	10.853	10.896	10.939	10.982	11.025	11.068	11.110	11.153	11.196	11.239	11.282
300	11.282	11.325	11.368	11.411	11.454	11.498	11.541	11.584	11.627	11.670	11.713
310	11.713	11.756	11.800	11.843	11.886	11.929	11.972	12.015	12.059	12.102	12.145
320	12.145	12.189	12.232	12.276	12.319	12.303	12.406	12.450	12.493	12.537	12.580
330	12.580	12.624	12.667	12.711	12.754	12.798	12.842	12.885	12.929	12.972	13.016
340	13.016	13.060	13.104	13.147	13.191	13.235	13.279	13.323	13.366	13.410	13.454
350	13.454	13.498	13.452	13.586	13.630	13.674	13.718	13.762	13.806	13.850	13.894
360	13.894	13.938	13.982	14.026	14.070	14.115	14.159	14.203	14.247	14.291	14.335
370	14.335	14.379	14.423	14.468	14.512	14.556	14.600	14.644	14.689	14.733	14.777

380	14.777	14.821	14.866	14.910	14.954	14.999	15.043	15.087	15.131	15.176	15.220
390	15.220	15.265	15.309	15.354	15.398	15.443	15.487	15.532	15.576	15.621	15.665
400	15.665	15.710	15.754	15.799	15.843	15.888	15.933	15.977	16.022	16.066	16.111
410	16.111	16.156	16.200	16.245	16.289	16.334	16.379	16.423	16.468	16.512	16.557
420	16.557	16.602	16.647	16.691	16.736	16.781	16.826	16.871	16.915	16.960	17.005
430	17.005	17.050	17.095	17.139	17.184	17.229	17.274	17.319	17.363	17.408	17.453
440	17.453	17.498	17.543	17.587	17.632	17.677	17.722	17.767	17.811	17.856	17.901
450	17.901	17.946	17.991	18.036	18.081	18.126	18.171	18.216	18.261	18.306	18.351
460	18.351	18.396	18.441	18.486	18.531	18.576	18.621	18.666	18.711	18.756	18.801
470	18.801	18.846	18.891	18.936	18.981	19.026	19.071	19.116	19.161	19.207	19.252
480	19.252	19.297	19.342	19.387	19.432	19.477	19.522	19.567	19.612	19.657	19.702
490	19.702	19.747	19.792	19.837	19.882	19.927	19.972	20.017	20.062	20.107	20.152
500	20.152	20.197	20.242	20.287	20.332	20.378	20.423	20.468	20.513	20.558	20.603
510	20.603	20.648	20.693	20.738	20.783	20.828	20.873	20.918	20.963	21.008	21.053
520	21.053	21.098	21.143	21.188	21.233	21.279	21.324	21.369	21.414	21.459	21.504
530	21.504	21.549	21.594	21.639	21.684	21.730	21.775	21.820	21.865	21.910	21.955
540	21.955	22.000	22.045	22.090	22.135	22.180	22.224	22.269	22.314	22.359	22.404
550	22.404	22.449	22.494	22.539	22.584	22.630	22.675	22.720	22.765	22.810	22.855
560	22.855	22.900	22.945	22.990	23.035	23.081	23.126	23.171	23.216	23.261	23.306
570	23.306	23.351	23.396	23.441	23.486	23.531	23.575	23.620	23.665	23.710	23.755
580	23.755	23.800	23.845	23.890	23.935	23.981	24.026	24.071	24.116	24.161	24.206
590	24.206	24.251	24.296	24.341	24.386	24.431	24.476	24.521	24.566	24.614	24.656
600	24.656	24.701	24.746	24.791	24.836	24.881	24.925	24.970	25.015	25.060	25.105
610	25.105	25.150	25.195	25.240	25.285	25.331	25.376	25.421	25.466	25.511	25.556
620	25.556	25.601	25.646	25.691	25.736	25.781	25.826	25.871	25.916	25.961	26.006
630	26.006	26.051	26.096	26.140	26.185	26.230	26.275	26.320	26.364	26.409	26.454
640	26.454	26.499	26.543	26.588	26.632	26.677	26.722	26.766	26.811	26.855	26.900
650	26.900	26.944	26.989	27.033	27.077	27.122	27.166	27.210	27.254	27.299	27.343
660	27.344	27.387	27.431	27.476	27.520	27.564	27.608	27.652	27.697	27.741	27.785
670	27.785	27.829	27.873	27.918	27.962	28.006	28.050	28.094	28.139	28.183	28.227
680	28.227	28.271	28.315	28.359	28.403	28.447	28.491	28.535	28.579	28.623	28.667
690	28.667	28.711	28.755	28.799	28.843	28.887	28.930	28.974	29.018	29.062	29.106

700	29.106	29.150	29.193	29.237	29.281	29.325	29.368	29.412	29.456	29.499	29.543
710	29.543	29.587	29.630	29.674	29.717	29.761	29.806	29.848	29.891	29.935	29.978
720	29.978	30.021	30.065	30108	30.152	30.195	30.238	30.282	30.325	30.369	30.412
730	30.412	30.455	30.499	30.542	30.585	30.629	30.672	30.715	30.758	30.802	30.845
740	30.845	30.888	30.931	30.974	30.017	31.061	31.104	31.147	31.190	31.233	31.276
750	31.276	31.319	31.326	31.405	31.447	31.491	31.533	31.576	31.619	31.662	31.705
760	31.705	31.748	31.791	31.834	31.877	31.920	31.962	32.005	32.048	32.091	32.134
770	32.134	32.177	32.219	32.262	32.305	32.348	32.390	32.433	32.476	32.518	32.561
780	32.561	32.604	32.646	32.689	32.731	32.774	32.816	32.859	32.901	32.944	32.986
790	32.986	33.028	33.071	33.113	33.155	33.198	32.240	33.282	33.324	33.367	33.409
800	33.409	33.451	33.494	33.536	33.578	33.621	33.663	33.705	33.747	33.790	33.832
810	33.832	33.874	33.916	33.958	34.000	34.042	34.084	34.126	34.168	34.210	24.252
820	34.252	34.297	34.336	34.378	34.420	34.462	34.503	34.545	34.587	34.629	34.671
830	34.671	34.713	34.754	34.796	34.837	34.879	34.921	34.962	35.004	35.045	35.087
840	35.087	35.129	35.170	35.212	35.253	35.295	35.336	35.378	35.419	35.461	35.502
850	35.502	35.544	35.585	35.627	35.668	35.710	35.751	35.793	35.834	35.876	35.917
860	35.917	35.958	35.999	36.040	36.081	36.123	36.164	36.205	36.246	36.287	36.328
870	36.328	36.369	36.410	36.451	36.492	36.534	36.575	36.616	36.657	36.698	36.739
880	36.739	36.780	36.821	36.861	34.902	36.943	36.984	37.025	37.065	37.106	37.147
890	37.147	37.188	37.228	37.269	37.309	37.350	37.391	37.431	37.472	37.512	37.553
900	37.553	37.594	37.634	37.675	37.715	37.756	37.796	37.836	37.877	37.918	37.958
910	37.958	37.998	38.037	38.080	38.119	38.160	38.200	38.246	38.280	38.321	38.361
920	38.361	38.401	38.441	38.481	38.521	38.562	38.602	38.642	38.682	38.722	38.762
930	38.762	38.802	38.842	38.882	38.922	38.962	39.002	39.042	39.082	39.122	39.162
940	39.162	39.202	39.242	39.281	39.321	39.361	39.401	39.441	39.410	39.520	39.560
950	39.560	39.600	39.639	39.679	39.718	39.758	39.798	39.837	39.877	39.917	39.956
960	39.956	39.995	40.035	40.076	40.113	40.153	40.192	40.231	40.270	40.310	40.349
970	40.349	40.388	40.427	40.467	40.506	40.545	40.584	40.623	40.663	40.702	40.741
980	40.741	40.780	40.819	40.859	40.898	40.937	40.976	41.015	41.055	41.094	41.133
990	41.133	41.172	41.211	41.249	41.288	41.327	41.366	41.405	41.443	41.482	41.521
1000	41.521	41.560	41.598	41.637	41.672	41.714	41.752	41.791	41.829	41.868	41.906
1010	41.906	41.945	41.983	42.022	42.060	42.099	42.137	42.176	42.214	42.253	42.291

1020	42.291	42.329	42.368	42.406	42.444	42.483	42.521	42.559	42.597	42.636	42.674
1030	42.674	42.712	42.750	42.788	42.826	42.864	42.902	42.940	42.978	43.016	43.054
1040	43.054	43.002	43.130	43.168	43.206	43.244	43.281	43.319	43.357	43.395	43.433
1050	43.433	43.471	43.508	43.546	43.584	43.622	43.659	43.697	43.735	43.772	43.810
1060	43.810	43.847	43.885	43.922	43.960	43.997	44.034	44.072	44.109	44.147	44.184
1070	44.184	44.221	44.259	44.296	44.334	44.371	44.408	44.446	44.483	44.521	44.558
1080	44.558	44.595	44.632	44.670	44.707	44.744	44.781	44.818	44.856	44.893	44.930
1090	44.930	44.967	45.004	45.041	45.078	45.115	44.151	45.188	45.225	45.262	45.299
1100	45.299	45.336	45.372	45.409	45.447	45.483	45.520	45.556	45.593	45.629	45.666
1110	45.666	45.703	45.739	45.776	45.812	45.849	45.885	45.922	45.958	45.995	46.031
1120	46.031	46.067	46.104	46.140	46.177	46.213	46.250	46.286	46.322	46.358	46.395
1130	46.395	46.431	46.467	46.503	46.539	46.576	46.612	46.648	46.684	46.720	46.756
1140	46.756	46.792	46.828	46.864	46.900	46.936	46.971	47.007	47.043	47.079	47.115
1150	47.115	47.151	47.186	47.222	47.258	47.294	47.329	47.365	47.401	47.436	47.472
1160	47.472	47.508	47.543	47.576	47.614	47.650	47.686	47.721	47.757	47.792	47.828
1170	47.828	47.863	47.898	47.934	47.969	48.004	48.039	48.074	48.110	48.145	48.180
1180	48.180	48.215	48.250	48.285	48.320	48.356	48.391	48.426	48.461	48.496	48.531
1190	48.531	48.566	48.601	48.635	48.670	48.705	48.740	48.775	48.809	48.844	48.876
1200	48.879	48.914	48.948	48.983	49.017	49.052	49.087	49.121	49.156	49.190	49.225
1210	49.225	49.259	49.294	49.328	49.393	49.397	49.431	49.466	49.500	49.535	49.569
1220	49.569	49.603	49.638	49.672	49.707	49.741	49.775	49.810	49.844	49.879	49.913
1230	49.913	49.947	49.981	50.051	50.049	50.083	50.117	50.151	50.185	50.219	50.253
1240	50.253	50.287	50.320	50.354	50.388	50.422	50.455	50.49	50.523	50.556	50.590
1250	50.590	50.624	50.657	50.691	50.724	50.758	50.791	50.825	50.858	50.892	50.925
1260	50.925	50.958	50.992	51.025	50.058	51.092	51.125	51.158	51.191	51.225	51.258
1270	51.258	51.291	51.325	51.358	51.391	51.425	51.458	51.491	51.525	51.558	51.591
1280	51.591	51.624	51.657	51.690	51.723	51.756	51.788	51.821	51.854	51.887	51.920
1290	51.920	51.983	51.985	52.018	52.050	52.083	52.116	52.148	52.181	52.213	52.246
1300	52.246	52.279	52.311	52.344	52.376	52.409	52.441	52.474	52.506	52.539	52.571
1310	52.571	52.603	52.636	52.668	52.701	52.733	52.765	52.798	52.803	52.864	52.895
1320	52.895	52.927	52.959	52.91	52.023	53.055	53.087	53.119	53.151	53.183	53.215
1330	53.215	53.247	53.279	53.311	53.343	53.375	53.406	53.438	53.470	53.502	53.534

1340	53.534	53.566	53.597	53.629	53.660	53.692	53.723	53.755	53.785	53.817	53.849
1350	53.849	53.880	53.912	53.943	53.975	54.006	54.037	54.069	54.100	54.132	54.163
1360	54.163	54.194	54.225	54.256	54.287	54.319	54.350	54.331	54.412	44.443	54.474
1370	54.474										

表 11-2-9

$\theta/^\circ\text{C}$	允许偏差/ $^\circ\text{C}$
$0 < \theta < 600$	± 3
$600 < \theta < 1300$	$\pm 0.5\theta\%$

表 11-2-10

牌号	极性	代号	相近牌号	热电偶名称
镍 钴	正极	HK	HK (俄罗斯)	镍钴-镍铝热电偶
镍 铝	负极	CA	CA (俄罗斯)	

表 11-2-11

牌号	Co	Al	Si	Mn	Cu	Fe	C	S	Ni
镍钴	17-18.5	1.8~2.3	0.8~1.1	1.8~2.1	≤ 0.28	0.11~0.17	≤ 0.05	≤ 0.009	余量
镍铝	—	2.9~3.2	0.8~1.2	1.4~1.6	≤ 0.28	≤ 0.2	≤ 0.05	≤ 0.009	

表 11-2-12

偶丝直径 d/mm	0.5	0.7	1.2	1.5	3.2	5.0
允许偏差/mm	-0.05	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.15

供应状态	硬态供应
------	------

表 11-2-13

牌号	熔化温度/°C	α_1 (20~100°C) /10 ⁻⁶ °C ⁻¹	ρ (20°C) /(μ $\Omega \cdot m$)	αR (0~600°C) /10 ⁻³ °C
镍钴	≈1460	12.8	0.345±0.015	0.66±0.03
镍铝	≈1436	12.3		

表 11-2-14

温度 /°C	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	热电势/mV									
<300	0.00									
300	0.38	0.48	0.58	0.68	0.80	0.92	1.04	1.71	1.31	1.45
400	1.60	1.75	1.92	2.08	2.25	2.43	2.62	2.81	3.00	3.20
500	3.41	3.60	3.79	3.98	4.17	4.37	4.56	4.76	4.96	5.16
600	5.35	5.56	5.77	5.97	6.17	6.38	6.58	6.78	6.98	7.19
700	7.39	7.59	7.79	8.00	8.20	8.40	8.60	8.80	9.01	9.21
800	9.41	9.61	9.82	10.02	10.22	10.42	10.62	10.82	11.02	11.22
900	11.42	11.62	11.82	12.02	12.21	12.41	12.61	12.80	13.00	13.20
1000	13.39									

注：参考端温度为 0°C

表 11-2-15

牌号	试验温度/°C	不均匀热电势值/ μV
镍钴	900	≤50
镍铝	900	≤50

表 11-2-16

$\theta/^\circ\text{C}$	热电势/mV			
	I组	II组	III组	允许偏差
100	0.00	0.00	0.00	± 0.06
200	0.02	0.00	-0.02	± 0.08
300	0.42	0.38	0.34	± 0.08
400	1.67	1.60	1.53	± 0.08
500	3.48	3.41	3.34	± 0.08
600	5.43	5.36	5.29	± 0.08
700	7.46	7.39	7.32	± 0.08
800	9.48	9.41	9.34	± 0.08
900	11.49	11.42	11.35	± 0.08

表 11-2-17

偶丝直径 d/mm	试验温度/ $^\circ\text{C}$	$(\delta = E - E_0) / \mu\text{V}$	相当的温度相差
1.2	100	3	—
	200	7	—
	300	37	
	400	96	± 1
	500	98	± 3
	600	13	± 3
	700	63	± 1
	800	85	± 2

允许偏差 /mm	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08	-0.08	-0.10	-0.10
供应状态	偶丝以硬态供应								

表 11-2-23

牌号	熔化温度 /°C	λ (100°C) /(W/(m·K))	c (20°C) /(J/(kg·K))	σ_1 (20~100°C) / $10^{-6}C^{-1}$	ρ /(g/cm ³)
镍铬	≈1429	19.25	460.6	13.2	8.70
镍硅	≈1410		502.4		8.69

表 11-2-24

牌号	ρ (20°C) /($\mu\Omega\cdot m$)	αR (0~1200°C) / $10^{-3}C^{-1}$
镍铬	0.7±0.05	0.29±0.03
镍硅	0.23±0.05	1.63±0.16

表 11-2-25

θ /°C	R1/R0	
0	1.00	1.00
100	1.04	1.27
200	1.08	1.62
300	1.12	1.81
400	1.15	1.95
500	1.17	2.10
600	1.20	2.23
700	1.22	2.36

800	1.25	2.51
900	1.27	2.60
1000	1.30	2.73
1100	1.33	2.80
1200	1.35	2.95

表 11-2-26

偶丝直径 d/mm	试验温度 θ /°C	不均匀热电势 E/ μ V	
		I 级	II 级
0.3	700	35	70
0.5, 0.8, 1.0	800	40	80
1.2, 1.5, 2.0, 2.5, 3.2	1000	50	100

表 11-2-27

测量端 温度 θ /°C	热电势标 准值/mV	允许偏差			
		I		II	
		温度偏差 /°C	热电势允许范围 /mV	温度偏差 /°C	热电势允许范围 /mV
100	4.095	± 1.6	4.029~4.161	± 3	3.971~4.219
200	8.137		8.073~8.201		8.017~8.257
300	12.207		12.141~12.273		12.083~12.331
400	16.395		16.327~16.463		16.268~16.522
500	20.640	$\pm 0.40 \times 10^{-2}$	20.555~20.725	$\pm 0.75 \times 10^{-2}$ θ	20.480~20.800
600	24.902		24.800~25.004		24.711~25.093
700	29.128		29.011~29.245		28.908~29.348
800	33.277		33.146~33.408		33.031~33.523

900	37.325	θ	37.181~37.469		37.055~37.595
1000	41.269		41.113~41.425		40.977~41.561
1100	45.108		44.942~45.274		44.796~45.420
1200	48.828	—	—		48.500~49.156
1300	52.498				52.058~52.738

表 11-2-28

偶丝直径 d/mm	试验温度 $\theta/^\circ\text{C}$	$(\delta = E - E_0) / \mu\text{V}$	相当的温度相差
0.3	800±10	246	±6.00
0.5	900±10	270	±6.75
0.8 1.0	1000±10	292	±7.50
1.2 1.5	1100±10	312	±8.25
2.0 2.5	1200±10	329	±9.00
3.2	1300±10	340	±9.75

表 11-2-29

$\theta/^\circ\text{C}$	S/($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)		
	镍铬-镍硅	镍铬-铂	镍硅-铂
0	39.48	25.84	13.64
100	41.37	30.12	11.25
200	39.95	32.76	7.19
300	41.46	34.12	7.34
400	42.22	34.55	7.64
500	42.61	34.33	8.28

600	42.53	33.73	8.80
700	41.93	32.96	8.97
800	41.00	32.16	8.84
900	39.96	31.43	8.53
1000	38.93	30.75	8.18
1100	37.84	30.06	7.78
1200	36.50	29.18	7.32
1300	34.88	27.81	7.07

表 11-2-30

测量端 温度 θ /°C	热电势标 准值/mV	允许偏差			
		I		II	
		温度偏差 /°C	热电势允许范 围/mV	温度偏差 /°C	热电势允许范围 /mV
100	2.855	±0.044	2.811~2.899	±0.084	2.771~2.939
200	5.977	±0.042	5.935~6.019	±0.080	5.887~6.057
300	9.337	±0.044	9.293~9.381	±0.084	9.253~9.421
400	12.775	±0.046	12.729~12.821	±0.087	12.688~12.862
500	16.200	±0.055	16.145~16.255	±0.100	16.100~16.300
600	19.612	±0.072	19.540~19.684	±0.121	19.491~19.733

700	22.918	±0.077	22.841~22.955	±0.140	22.778~23.058
800	26.157	±0.091	26.066~26.248	±0.156	26.001~26.313
900	29.315	±0.094	29.221~29.409	±0.170	29.145~29.485
1000	32.419	±0.106	32.313~32.525	±0.192	32.227~32.611
1100	35.427	±0.107	35.320~35.534	±0.202	35.225~35.629
1200	38.366	—	—	±0.218	38.148~38.584
1300	41.236	—	—	±0.230	41.006~41.466

表 11-2-31

测量端 温度 θ /°C	热电势 标准值 /mV	允许偏差			
		I		II	
		温度偏差 /°C	热电势允许范围 /mV	温度偏差 /°C	热电势允许范围 /mV
100	1.240	±0.022	1.218~1.262	±0.040	1.200~1.280
200	2.160	±0.022	2.138~2.182	±0.040	2.120~2.200
300	2.870	±0.022	2.848~2.892	±0.040	2.830~2.910
400	3.620	±0.022	3.598~3.642	±0.040	3.580~3.660
500	4.440	±0.030	4.410~4.470	±0.060	4.380~4.500
600	5.290	±0.030	5.260~5.320	±0.070	5.220~5.360
700	6.210	±0.040	6.170~6.250	±0.080	6.130~6.290
800	7.120	±0.040	7.080~7.160	±0.090	7.030~7.210
900	8.010	±0.050	7.960~8.060	±0.100	7.910~8.110
1000	8.850	±0.050	8.800~8.900	±0.100	8.750~8.950

1100	9.681	±0.060	9.621~9.741	±0.110	9.571~9.791
1200	10.462	—	—	±0.110	10.352~10.572
1300	11.162	—	—	±0.110	11.052~11.272

表 11-2-32

性能	镍铬 10 合金丝		镍硅 3 合金丝	
	偶丝直径 d/mm	0.3~0.8	1.0~3.2	0.3~0.8
抗拉强度 σ_b /MPa	≥190.3		392.3	
试样长度 L ₀ =100mm 时相对断 后伸长率/%	≥10	≥25	≥15	≥25

第 3 章 贵金属电接触材料生产新技术新工艺及质量检验

表 11-3-1

牌号	相近牌号	技术标准
AuNiCr5-1	—	HB5187-1996 《航空用贵金属及其合金电位器裸线》
AuNiCr5-2	—	
AuNiFeZr5-1.5-0.3	—	
AuNiFeZr9-2-0.3	—	
AuNiCu7.5-1.5	3 _{JHM} 7.5-1.5 (俄罗斯)	
AuAgCu35-5	—	
AuAgCuGd35-5-0.5	—	
AuAgCuMn33.5-3-3	—	

AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5	—	
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	—	
PtCu2.5	HM2.5 (俄罗斯)	
PtCu8.5	HM8.5 (俄罗斯)	
PtIr10	Ми10 (俄罗斯)	
PdAg40	ИЦср (俄罗斯)	
AuPdAgCuPt30-15-10-5		
PdAgCu36-4	ИЦсрM36-4 (俄罗斯)	YS/T205-2994 《贵金属合金绕组裸线材》
PdAuCrNiMn24-6-1.5-2-0.1	—	北京航空材料研究院, Q/6S1036-1993 《航空航天用PdAuCrNiMnCe24-6-1.5-2-0.1》合金电位器绕组裸线材
PtAg44	—	北京航空材料研究院, Q/6S1269-1996 《航空用PdAg44 合金电位器绕组裸线标准》
PdAuPtCu20-15-13-12	—	北京航空材料研究院, Q/6S765-1989 《航空航天传感器绕组用钯金铂银铜合金裸线》
AgMnSn6.5-1	—	北京有色金属研究

总院，《精密低电
阻银合金-JA1 技
术条件》

表 11-2-3

牌号	Au	Ag	Pt	Pd	Ir	Ni	Cr
AuNiCr5-1	余量	—	—	—	—	5±0.5	0.7± 0.15
AuNiCr5-2	余量	—	—	—	—	5±0.5	2 ^{0.2} _{-0.3}
AuNiFeZr5-1.5-0.3	余量	—	—	—	—	5±0.5	—
AuNiFeZr9-2-0.3	余量	—	—	—	—	9±0.5	—
AuNiCu7.5-1.5	余量	—	—	—	—	7.5±0.5	—
AuAgCu35-5	余量	35±0.5	—	—	—	—	—
AuAgCuGd35-5-0.5	余量	35±0.5	—	—	—	—	—
AuAgCuMn33.5-3-3	余量	33.5±0.5	—	—	—	—	—
AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5	余量	33.5±0.5	—	—	—	—	—
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	余量	—	—	—	—	9.0±0.5	2.5± 0.50
PtCu2.5	—	—	余量	—	—	—	—
PtCu8.5	—	—	余量	—	—	—	—
PtIr10	—	—	余量	—	10±0.5	—	—
PdAg40	—	40±0.5	—	余量	—	—	—
AuPdAgCuPt30-15-10-5	余量	15±0.5	5.0± 0.5	30.0± 1.0	—	—	—
PdAgCu36-4	—	36±0.6	—	余量	—	—	—
PdAuCrNiMn24-6-1.5-2-0.1	24±0.5	—	—	余量	—	1.5±0.5	6.0± 0.50
PtAg44	—	44.0±0.5	—	余量	—	—	—
PdAuPtCu20-15-13-12	20±1.0	13±0.5	15± 0.5	余量	—	—	—

AgMnSn6.5-1	—	余量	—	—	—	—	—
牌号	Mn	Cu	Fe	Zr	Gd	Sn	
AuNiCr5-1	—	—	—	—	—	—	
AuNiCr5-2	—	—	—	—	—	—	
AuNiFeZr5-1.5-0.3	—	—	1.5±0.2	0.3±0.1	—	—	
AuNiFeZr9-2-0.3	—	—	2±0.5	0.3±0.1	—	—	
AuNiCu7.5-1.5	—	1.5±0.5	—	—	—	—	
AuAgCu35-5	—	5±0.5	—	—	—	—	
AuAgCuGd35-5-0.5	—	5±0.5	—	—	0.5±0.15	—	
AuAgCuMn33.5-3-3	3±0.5	3±0.5	—	—	—	—	
AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5	2.5±0.5	3±0.5	—	—	0.5±0.15	—	
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	—	—	2.0±0.5	0.4±0.1	—	—	
PtCu2.5	—	2.5±0.5	—	—	—	In:2.5±0.5	
PtCu8.5	—	8.5±0.5	—	—	—	—	
PtIr10	—	—	—	—	—	—	
PdAg40	—	—	—	—	—	—	
AuPdAgCuPt30-15-10-5	—	10.0±0.5	—	—	—	—	
PdAgCu36-4	—	4±0.5	—	—	—	—	
PdAuCrNiMn24-6-1.5-2-0.1	2.0±0.5	—	—	—	Gd : 0.10	—	
PtAg44	—	—	—	—	—	—	
PdAuPtCu20-15-13-12	—	12±0.5	—	—	—	—	
AgMnSn6.5-1	6.0~7.0	—	—	—	—	—	
							—
牌号	Au	Fe	Pb	Sb	Bi	总量	
AuNiCr5-1	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25	
AuNiCr5-2	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25	

AuNiFeZr5-1.5-0.3	—	—	0.005	0.005	0.005	0.25
AuNiFeZr9-2-0.3	—	—	0.005	0.005	0.005	0.25
AuNiCu7.5-1.5	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25
AuAgCu35-5	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25
AuAgCuGd35-5-0.5	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25
AuAgCuMn33.5-3-3	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25
AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	—	—	0.005	0.005	0.005	0.25
PtCu2.5	0.04	0.05	—	—	—	0.25
PtCu8.5	0.04	0.05	—	—	—	0.25
PtIr10	0.04	0.05	—	—	—	0.25
PdAg40	0.03	0.06	0.004	0.004	0.004	0.25
AuPdAgCuPt30-15-10-5	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25
PdAgCu36-4	0.04	0.06	0.004	0.004	0.004	0.25
PdAuCrNiMn24-6-1.5-2-0.1	—	—	0.005	0.005	0.005	0.25
PtAg44	—	0.06	—	—	—	0.25
PdAuPtCu20-15-13-12	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.25
AgMnSn6.5-1	—	—	—	—	—	0.25

表 11-3-3

牌号	退火温度①/°C	连续退火温度 /(m/s)	保护气氛
PdAgCu36-4	1150③	0.26	惰性气体
PdAg44	600	0.04~0.05	惰性气体
PdAuPtAgCu20-15-13-	450~500	0.12	

12 AgMnSn6.5-1	450②	—	惰性气体 惰性气体
-------------------	------	---	--------------

① 连续退火炉的恒温区长度为 500mm

② 保温时间为 30min

③ 炉温

表 11-3-4

丝材直径/d	允许偏差	不圆度≤
0.020~0.030	±0.001	0.001
0.035~0.055	±0.002	0.002
0.060~0.075	+0.003	0.002
	-0.002	0.003
0.080~0.095	+0.004	
	-0.002	0.004
0.100~0.150	±0.004	

表 11-3-5

牌号	$\theta/^\circ\text{C}$	$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho/(\mu\Omega\cdot\text{m})$	α_R ($0\sim 100^\circ\text{C}$) $/10^{-3}^\circ\text{C}^{-1}$	E ($0\sim 100^\circ\text{C}$) $/(\mu\text{V}\cdot^\circ\text{C}^{-1})$	α_1 ($0\sim 100^\circ\text{C}$) $/10^{-3}^\circ\text{C}^{-1}$
AuNiCr5-1	1000~1050	18.00	0.240	0.2830	-26.2	15.1
AuNiCr5-2	1000~1050	17.70	0.420	0.1370	-17.7	15.1
AuNiFeZr5-1.5-0.3	≈995	17.80	0.460	0.2740	-6.87	14.7
AuNiFeZr9-2-0.3	≈995	16.90	0.500	0.3810	-10.3	14.9
AuNiCu7.5-1.5	≈1000	17.50	0.185	0.5750	-44.6	14.9

AuAgCu35-5	≈995	14.20	0.120	0.6860	-0.00296 ^①	—
AuAgCuGd35-5-0.5	953~980	14.20	0.120	0.6170	+5.01	17.4
AuAgCuMn33.5-3-3	≈1000	14.10	0.250	0.1980	-0.00140 ^①	—
AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5	953~980	13.90	0.240	0.2200	+6.30	17.1
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	≈990	15.80	0.710	0.0760	-2.42	—
PtCu2.5	1750	20.80	0.290	0.290	—	—
PtCu8.5	1710~1740	19.20	0.500	0.500	—	—
PtIr10	1780	21.50	0.240	1.2700	+12.9	8.9
PdAg40	1330~1390	11.40	0.420	0.0250(软) 0.0420 (硬)	-32.4	13.6
AuPdAgCuPt30-15-10-5	≈1200	12.90	0.300	0.290	—	—
PdAgCu36-4	1330	11.26	0.420	0.0200(软) 0.0650 (硬)	—	—
PdAuCrNiMn24-6-1.5-2-0.1	1500~1550	12.53	0.727	0.187	—	—
PtAg44	≈1360	11.30	0.390	0.0148 (软) 0.0372 (硬)	—	—
PdAuPtCu20-15-13-12	≈1300	13.00	0.500	0.1200	—	—
AgMnSn6.5-1	955~975	9.80	<0.250	0.0500	+2.0~+3.0 ^②	

①该数据是 0~150℃对铜的热电势

②该数据是 0~100℃对铜的热电势。

表 11-3-6

牌号	每米电阻/($\Omega \cdot m$)											技术标准
	0.020	0.030	0.035	0.040	0.050	0.060	0.065	0.070	0.080	0.090	0.150	
AuNiCr5-1	693~849	318~363	—	173~212	113~133	77.0~91.0	—	—	43.0~51.0			HB5187-1996
AuNiCr5-2	—	550~645	—	300~375	198~232	132~161	114~136	99.0~117	75.0~89.0	—	—	
AuAgCuGd35-5	340~430	157~175		90.0~105	54.0~69.0	37.0~48.0	31.0~40.0	—	21.0~25.0	—	—	
AuAgCuGd35-5-0.5①		165~189		90.0~110	58.0~69.0	38.0~47.0		29.0~35.0	20.0~26.0	—	—	
AuAgCuMn33.5-3-3				174~212	113~130	77.0~91.0	—	—	44.0~51.0	—	—	
AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5②				174~212	113~133	77.0~93.0	—	—	43.0~51.0	—	—	
AuNiFeZr5-1.5-0.3	388~423 (d: 0.038)	622~680	430~500	350~380	224~244	155~170	—	—	—	—	—	
AuNiFeZr9-2-0.3		662~756		361~441	235~276	—	—	—	90.0~105	—	—	
AuNiFeZr9-2-2.5-2.5-0.4				505~625	325~400	—	—	—	125~150	—	—	
AuNiFeCu7.5-1.5		243~276		133~162	86.0~100	59.0~70.0	—	43.0~51.0	33.0~39.0	27.0~31.0	—	
AuPdAgCuPt30-15-10-5						—	—	70.0~77.0	—	—	—	
PtCu2.5						—	—	—	58,0~78.0	—	—	

PtCu8.5						165~185	—	—	93.0~105		—	
PtIr10	703~864	325~370		176~215	79.0~93.0	—	—	44.0~51.0	—			
PdAg40	1210~1480	557~635		304~372	197	134~159	—	—	76.0~87.0		21.0~26.0	HB5187-1996
PdAgCu36-4	—	—	—		—	—		—			22.0~25.0	YS/T205-1994
PtAg44				—	—	—	—	—			42~45 (d : 0.105)	Q/6S1269-1996
PdAuCrNiMn24-6-1.5-2-0.1												
PdAuCrNiMnCe24-6-1.5-2-0.1												Q/6S1036-1993
PdAuAgCu20-15-13-12	1900~2500 (d : 0.017)											Q/6S765-1989

①国际牌号为 AuAgCuGd35-5-0.4

②国际牌号为 AuAgCuMnGd3.5-3-2.6-0.4

表 11-3-7

牌号	原始状态接触	100°C氧化处理后接触电阻变化/ Ω	接触电阻最大
----	--------	----------------------------	--------

	电阻/ Ω	24h	60h	120h	192h	250h	500h	增长/%
AuNiCr5-2	0.0596	0.0517	0.0744	0.0707	0.0836	0.0765	—	40
AuNiFeZr9-2-0.3	0.1152	0.1229	(48h) 0.1192	(144h) 0.1283	—	0.1388	0.1433	24
AuAgCu35-5	0.165	(30h) 0.0226	0.0670	—	—	(240h) —	—	306
AuAgCuMn33.5-3-3	0.0319	0.0349	0.0566	—	—	—	—	77
PtIr10	0.0409	0.0475	0.0441	—	—	—	—	42
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2-0.4	0.096	—	(48h) 0.1005	(144h) 0.0993	—	0.1009	0.1014	10.7
PdAuCrNiMnCe24-6-1.5-0.1	0.1457	—	0.1518	0.1508	—	(240h) 0.1489	(480h) 0.1575	8.1
PdAuPtAgCu20-15-13-12	0.1250	0.1351	0.1355	0.1365	—	(240h) 0.1247	(480h) 0.1310	9
		(30h)				(240h)		

表 11-3-8

牌号	原始状态接触电阻/ Ω	150°C氧化处理后接触电阻变化/ Ω						接触电阻最大增长/%
		12h	16h	20h	24h	48h	60h	
AuNiCr5-2	0.0581	0.0660	0.0663	0.0665	0.0662	—	—	14
AuAgCuMn33.5-3-3	0.0409	0.0436	0.0436	0.0436	0.0435	—	—	7
PtIr10	0.0507	0.0582	—	—	0.0556	0.0603	0.0642	27
PdAg40	0.0627	0.0722	0.0725	0.0727	0.0728			—

表 11-3-9

牌号	原始状态接触电阻/ Ω	盐雾腐蚀后接触电阻变化/ Ω					接触电阻最大增长/%
		36h	60h	120h	240h	360h	
AuNiCr5-2	0.0520	—	—	0.0557	0.0616	0.0572	18
AuNiFeZr5-1.5-0.3	0.0447	0.0568	0.0764	—	—	—	71
		(32h)	(48h)				
AuNiFeZr9-2-0.3	0.1152	—	—	0.1370	0.1305	0.1344	19
AuAgCu35-5	0.0202	—	—	—	—	—	28
AuAgCuMn33.5-3-3	0.0323	0.0258	0.0215	—	—	—	26
PtIr10	0.0414	0.0316	0.0407	—	—	—	57
PdAg40	0.0627	—	—	0.0631	0.0350	0.0625	55
		0.0951	0.0973	—	—	—	
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	0.0916	0.1001	—	0.1094	0.1060	—	15.7
		(48h)					
PdAuCrNiMnCe24-6-1.5-2-0.1	0.1475	0.1539	—	0.1570	0.1584	—	8.71
		(48h)					

注：①盐雾成分：参考文献[5]的为3%NaCl水溶液；其余为NaCl：127g/L,LCI:1g/L,NaCl₂:6g/L,CaCl₂:1g/L的溶液。参考文献[9]的为5%NaCl水溶液（50g/L±10g/L），PH值为6.7~7.2.参考文献[9]为24h连续不断喷射。

②试验条件：湿度98%，温度30℃，每隔1h连续喷射15min盐雾气氛。

④ 测试条件：接触压力0.049N，测试电流0.1A。

表 11-3-10

牌号	原始状态接触电阻/ Ω	硫化气氛腐蚀后接触电阻变化/ Ω				接触电阻最大增长率/%
		120h	240h	360h	720h	
AuNiCr5-2	0.0520	0.0535	0.0546	0.0664	—	28
AuNiFe5-1.5-0.3	0.0461	0.0720	0.0557	0.0666	—	56
AuNiFeZr9-2-0.3	0.1152	0.1346	0.1510	0.1648	0.1487	43
AuAgCu35-5	0.0240	0.0577	0.0592	0.0851	0.1275	431
AuAgCuMn33.5-3-3	0.0354	0.3490	0.980	1.1360	—	3109
PtIr10	0.0413	0.0546	0.0540	0.0718	—	74
PdAuCrNiMnCe24-6-1.5-2-0.1	0.1457	0.1287	0.2155	0.1787	—	30.1
PdAuPtAgCu20-15-13-12	0.1250	(140h)			0.1907	41
		0.1767	0.1687	0.1533	0.1620	

① 硫化气氛： SO_2 ： $0.7 \times 10^{-3}g/L$, H_2S ： $0.1 \times 10^{-3}g/L$.参考文献[9]为 SO_2 ： $0.1 \times 10^{-3}g/L$ ， H_2S ： $0.05 \times 10^{-3}g/L$

② 试验温度：20℃

③ 测试条件：接触压力0.040N，测试电流0.1A

表 11-3-11

牌号	原始状态 接触电阻/ Ω	硫化气氛腐蚀后接触电阻变化/ Ω			接触电阻 最大增长 率/%
		20°C	80~85°C	120~125°C	
AuNiCr5-2	0.0520	0.0663	0.0699	0.1869	259
AuNiFe5-1.5-0.3	0.0461	0.0247	0.0699	0.1518	229
AuNiFeZr9-2-0.3	0.1152	0.1152	0.1225	0.1965	71
AuAgCu35-5	0.0240	0.0259	0.0698	0.0766	309
AuNiFeCrInZr9-2- 2.5-2.5-0.4	0.0916	0.0922	0.0978	—	6.8
PdAg36-4	0.0376	0.1019	0.3590	1.2763	3249
PdAuCrNiMnCe24- 6-1.5-2-0.5	0.1457	0.1522	0.1698	—	16.4

注：①有机气氛为下列物质在一定温度下蒸发的混合气体：有机玻璃、聚四氟乙烯、聚硫橡胶、聚苯乙烯、聚酰胺树脂、夹布胶本等。

②腐蚀时间：250h

③测试条件：接触压力 0.049N，测试电流 0.1A

牌号	最大力 F/cN										技术标准
	d/mm										
	0.02	0.03	0.035	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.15	
AuNiCr5-1	12.0~26.5	49.0~68.5	—	83.5~123	132~181	164~260	—	343~461	—	—	HB5187-1996
AuNiCr5-2	—	49.0~68.5	—	78.5~123	137~186	199~269	238~314	343~461	—	—	HB5187-1996
AuAgCu35-5	14.5~31.5	49.0~68.5	—	78.5~118	137~186	186~260	255~324	392~494	—	—	HB5187-1996
AuAgCuGd35-5-0.5①	—	49.0~68.5	—	87.5~118	137~177	194~260	229~303	343~441	—	—	HB5187-1996
AuAgCuMn33.5-3-3	—	—	—	85.5~118	137~186	186~260	—	343~441	—	—	HB5187-1996
AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5②	—	—	—	93.0~127	147~196	202~278	—	373~471	—	—	HB5187-1996
AuNiFeZr5-1.5-0.3	88.5~106 (d : 0.038)	54.0~68.5	68.5~88.5	98.0~118	154~182	222~265	—	—	—	68.5~88.5	HB5187-1996
AuNiFeZr9-2-0.3	—	65.0~85.0	—	110~150	195~235	—	—	485~605	—	—	HB5187-1996
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	—	—	—	125~175	180~260	—	—	500~660	—	—	HB5187-1996
AuNiCu7.5-1.5	—	64.0~78.5	—	118~129	182~201	263~289	—	466~515	500~549	—	HB5187-1996
AuPdAgCuPt30-15-10-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	HB5187-1996
PtCu2.5	—	—	—	—	—	—	—	245~343	—	—	HB5187-1996

PtCu8.5	—	—	—	—	—	245~343	—	471~569	—	—	HB5187-1996
PtIr10	>15.5	34.5~49.0	—	59.0~88.0	98.0~137	142~196	—	245~343	—	—	HB5187-1996
PdAg40	>15.5	>34.5	—	75.5~108	131~175	189~250	—	333~436	—	1080~1470	HB5187-1996
PdAgCu36-4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	781~980	YS/T205-1994
PdAg44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	510~610 (d : 0.051)	Q/6S1269- 1996
PdAuCrNiMnCe24-1.5-2-0.1	—	—	—	—	150~210	—	—	405~425	—	—	Q/6S1036- 1993
PdAuPtAgCu20-15-13-12	27~32 (d : 0.017)	—	—	—	—	—	—	600~650	—	—	Q/6S765-1989

表 11-3-12

表 11-3-13

、	ob/MPa		HV		δ/%		E/GPa
	退火态	硬态	退火态	硬态	退火态	硬态	
AuNiCr5-1	343~392	735~833	125~135	190~210	—	—	93.1
AuNiCr5-2	392~441	784~833	140~150	210~230	—	—	98.2
AuNiFeZr5-1.5-0.3	343~441	784~931	—	230~260	—	—	90.1
AuNiFeZr9-2-0.3	688	1011	210	280	—	—	97.0
AuNiCu7.5-1.5	539	931	200	240~270	7.6	2.0	91.9
AuAgCu35-5	468	764	120	200	—	—	82.8
AuAgCuGd35-5-0.5	—	735~833	—	190~203	—	—	84.6
AuAgCuMn33.5-3-3	454	804~902	120~130	190~220	—	—	80.85
AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5	—	706~950		185~230	—	—	83.9
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	662.30	1012	194	290	—	—	91.50
PtCu2.5	392	—	105	190~210	15.6	—	—
PtCu8.5	784	—	150	280~300	20	—	—
PtIr10	379	617~637	120	200	—	—	168
PdAg40	382	931	80	180~205	—	—	135
AuPdAgCuPt30-15-10-5	588~686	980~1176	—	200~280	25~27	2.5	—
PdAgCu36-4	441~490	803	—	—	42	—	—
PdAuCrNiMnCe24-6-1.5-2-0.1	441	900	160	290	—	—	—
	417	764	199	199	18~38	—	147
PdAg44	637~735	980~1274	114	200~320	32.4	1	128
PdAuPtAgCu20-15-13-12	245~343	≥470	—	—	—	—	—
AgMnSn6.5-1			—		—	—	74.48
					5~25	—	
						1~3	

表 11-3-14

牌号	均匀化温度/°C	锻造温度/°C	中间退火温度/°C	细丝连续退火	
				θ ^① /°C	u/(m/s)

AuNiCr5-1	800	750	700	750~780	0.4
AuNiCr5-2	800	750	700	700~750	0.1~0.13
AuNiFeZr5-1.5-0.3	—	—	750	820	0.04~0.05
AuNiFeZr9-2-0.3	750	750	750	800~850	0.04~0.07
AuNiCu7.5-1.5	750	—	700	—	—
AuAgCu35-5	750	—	650	—	—
AuAgCuMn33.5-3-3	830	750	650	—	—
AuAgCuMnGd33.5-3-2.5-0.5	800	700	750	750	0.10~0.20
AuNiFeCrInZr9-2-2.5-2.5-0.4	—	—	700	750	—
PtCu2.5	750	—	700	750	0.03~0.05
PtCu8.5	1100	—	900	—	—
PtIr10	1100	1100	900	—	—
PdAg40	1200	1100	1150	—	—
AuPdAgCuPt30-15-10-5	1200	1200	650	—	—
PdAgCu36-4	1250	—	700~750	1100~1200	0.2
PdAuCrNiMnCe24-6-1.5-2-0.1	700~750	—	950	700~750	0.06~0.12
PdAg44	1150	—	900~1000	1150	0.26
PdAuPtAgCu20-15-13-12	—	1000	950	—	—
AgMnSn6.5-1	1000	—	700~750	—	—
	700~750	—	450	600 ^②	0.04~0.05
	—	—	—	700	0.26~0.12
	—	—	—	—	—

① 炉温

② 成品丝退火温度

表 11-3-15

贵金属合金裸线 /mm	标称直径	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.050	0.060	0.065	0.070
	允许偏差	±0.001			±0.002			+0.003 -0.002		

贵金属合金漆包线/mm	漆膜最小厚度 (D-d)②/2	0.003					0.005			
	最大直径 D	0.035	0.040	0.045	0.050	0.055	0.065	0.075	0.080	0.085
击穿电压/V ≥		60					100			
贵金属合金裸线/mm	标称直径	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	
	允许偏差	+0.004 -0.002		±0.004						

贵金属合金裸线/mm	标称直径	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.050	0.060	0.065	0.070
	允许偏差	±0.001			±0.002			+0.003 -0.002		
贵金属合金漆包线/mm	漆膜最小厚度 (D-d)①/2	0.006		0.008		0.010				
	最大直径 D	0.095	0.105	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	
击穿电压/V ≥		100	140			180			225	

表 11-3-16

牌号	Pd	Ni	Cr	Fe	Al	V	Au
AuPdFeAl140-9-1	40	—	—	9	1	—	余量
AuPdFeAl147-11-0.5	47	—	—	11	0.5	—	余量
AuPdFeAl138-8.5-0.5	38	—	—	8.5	0.5	—	余量
AuPdFeVNi0.5-4.5-3.5-1.5	0.5	1.5	—	4.5	—	3.5	余量
AuPdFeVNi5-4.5-1.5-1.5	5	1.5	—	4.5	—	1.5	余量
AuNiCr20-10	—	20	10	—	—	—	余量

表 11-3-17

牌号	热处理温度/°C	连续退火速度/(m/s)
AuPdFeAl40-9-1	950	0.017~0.05
AuPdFeVNi0.5-4.5-3.5-1.5	480~560	0.05~0.1
AuPdFeVNi5-4.5-1.5-1.5	500	0.12

表 11-3-18

d	允许偏差	不圆度≤
0.020~0.030	±0.001	0.001
0.035~0.055	±0.002	0.002
0.060~0.075	+0.003	0.002
	-0.002	
0.080~0.095	+0.004	0.003
	-0.002	
0.10~0.15	-0.002	0.004
	±0.004	

-

表 11-3-20

牌号	供应状态
AuPdFeAl40-9-1	退火 (M)
AuPdFeAl47-11-0.5	退火 (M)
AuPdFeAl38-8.5-0.5	退火 (M)
AuPdFeVNi0.5-4.5-3.5-1.5	退火 (M)
AuPdFeVNi5-4.5-1.5-1.5	半硬态 (Y ₂) 或硬态 (Y)
AuNiCr20-10	半硬态 (Y ₂)
	硬态 (Y)

表 11-3-21

牌号	$\theta/^\circ\text{C}$	$\rho (\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho/(\mu\Omega\cdot\text{m})$
AuPdFeAl140-9-1	1145~1255	—	1.80~1.85
AuPdFeAl147-11-0.5	1244~1278	12.8	1.80~2.10
AuPdFeAl138-8.5-0.5	1280	13.5	1.60~1.80
AuPdFeVNi0.5-4.5-3.5-1.5	1000	16.6	1.40~1.60
AuPdFeVNi5-4.5-1.5-1.5	1050	16.8	1.00
AuNiCr20-10	—	—	1.00

牌号	α_R ($0\sim 100^\circ\text{C}$) $/10^{-6}\text{C}^{-1}$	$E(0\sim 100^\circ\text{C})/(\mu\text{V}\cdot\text{C}^{-1})$	$\lambda/(\text{W}/(\text{m}\cdot\text{c}))$	α_1 ($20\sim 1000^\circ\text{C}$) $/10^{-6}\text{C}^{-1}$
AuPdFeAl140-9-1	45	+10.3	36.00	13.16~15.22
AuPdFeAl147-11-0.5	-9~8①	-1.5②		14.3③
AuPdFeAl138-8.5-0.5	193	-9.4②		
AuPdFeVNi0.5-4.5-3.5-1.5	15~18	+0.31~+0.43		
AuPdFeVNi5-4.5-1.5-1.5	50			
AuNiCr20-10				

表 11-3-22

原始接触电阻/ Ω	不同时间氧化处理后的接触电阻/ Ω					接触电阻最大增长率/%
	45.5h	75.5h	125h	148h	197h	
0.2163	0.2209	0.2160	0.2200	0.2263	0.2630	22

注：测试条件：接触压力 0.049N，测试电流 0.1A

表 11-3-23

原始接触电阻/ Ω	不同时间氧化处理后的接触电阻/ Ω				接触电阻最大增长率/%
	21.5h	45.5h	93.5h	213h	
0.2163	0.2039	0.2430	0.2353	0.8250	281

注：①盐雾腐蚀条件：3%NaCl、3%CaCl₂、3%MgCl₂水溶液

②测试条件同表 11-3-22

表 11-3-24

原始接触电阻/ Ω	不同时间硫化腐蚀 后的接触电阻/ Ω				接触电阻最大增长率/%
	16h	46h	142h	184h	
0.2163	0.2180	0.23890	0.2040	0.4000	85

注：①硫化腐蚀条件：空气中 SO₂ 为 1×10^{-3} g/L,30°C

②测试条件同表 2-2

表 11-3-25

牌号	σ_b /MPa		HV	
	退火态	硬态	退火态	硬态
AuPdFeAl40-9-1	686~980	1548	250~270	360
AuPdFeAl47-11-0.5	882~980	1372~1470	240~270	350~400
AuPdFeAl38-8.5-0.5	882~980	1372~1470	230~240	280~330
AuPdFeVNi0.5-4.5-3.5-1.5	686`784	980~1274	—	200~310
AuPdFeVNi5-4.5-1.5-1.5	637~735	882~1078	—	180~260
AuNiCr20-10	—	980~1372	—	340~400

牌号	δ /%		E/GPa	
	退火态	硬态	退火态	硬态
AuPdFeAl40-9-1	18~23	1.5	136.22	134.26
AuPdFeAl47-11-0.5	20~25	—	196.00	—
AuPdFeAl38-8.5-0.5	20~25	—	137.20	—
AuPdFeVNi0.5-4.5-3.5-1.5	—	—	—	—
AuPdFeVNi5-4.5-1.5-1.5	—	—	—	—

AuNiCr20-10	—	—	—	—
	—	—	—	—

表 11-3-26

牌号	相近牌号	技术标准
AuNi9	—	HB5188-1996《航空用贵金属及其合金电刷线材》
AuNiGd9-0.5	—	
AuNiIn9-8	—	
AuNiCu7.5-1.5	ЗЛНМ 7.5-1.5(俄罗斯)	
AuAgCu25-5	—	
AuAgCu20-30	ЗЛНМ 20-30 (俄罗斯)	
AuCuNiZn22-2.5-1	—	
AuCuNiZn18-1.8-0.7	—	
PyNi4.5	НИ15 (俄罗斯)	
PtIr10	НИ10 (俄罗斯)	
PtIr17.5	НИ7.5 (俄罗斯)	
PdIr18	НДИ18 (俄罗斯)	
PdAgCo35-5	НДсрК35-5 (俄罗斯)	
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	Palliney-7(美国)	
PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	—	ASIMB541 : 1987《电接触合金》
AuCuAgPtNi14-10-5-1	—	—
AuAgNiCu22-3-1	—	—
AuCuAgZn17-7-1	—	—

表 11-3-27

合金牌号	Au	Ag	Pt	Pd	Ir
AuNi9	余量	—	—	—	—
AuNiGd9-0.5	余量	—	—	—	—
AuNiIn9-8	余量	—	—	—	—
AuNiCu7.5-1.5	余量	—	—	—	—
AuAgCu25-5	余量	25.0±0.5	—	—	—
AuAgCu20-30	余量	20.0±0.5	—	—	—
AuCuNiZn22-2.5-1	余量	—	—	—	—
AuCuNiZn18-1.8-0.7	余量	—	—	—	—
PyNi4.5	—	—	余量	—	—
PtIr10	—	—	余量	—	10.0±0.5
PtIr17.5	—	—	余量	—	17.5±0.5
PdIr18	—	—	—	余量	18.0±0.5
PdAgCo35-5	—	35.0±0.5	—	余量	—
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	10±0.5	30.0±0.5	—	余量	—
PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	余量	4.5±0.5	8.5±0.5	—	—
AuCuAgPtNi14-10-5-1	余量	10.0±0.5	5.0±0.5	—	—
AuAgNiCu22-3-1	余量	22.0±0.5	—	—	—
AuCuAgZn17-7-1	余量	7.0±0.5	—	—	—

合金牌号	Cu	Ni	Zn	In
------	----	----	----	----

AuNi9	—	9.0±0.5	—	—
AuNiGd9-0.5	—	9.0±0.5	—	Gd : 0.50±0.15
AuNiIn9-8	—	9.0±0.5	—	8.0±0.5
AuNiCu7.5-1.5	1.5±0.5	7.5±0.5	—	—
AuAgCu25-5	5.0±0.5	—	—	—
AuAgCu20-30	30.0±0.5	—	—	—
AuCuNiZn22-2.5-1	22.0±0.5	2.5±0.5	1.0±0.3	—
AuCuNiZn18-1.8-0.7	18.0±0.5	1.8±0.5	0.7±0.3	—
PyNi4.5	—	4.5±0.5	—	—
PtIr10	—	—	—	—
PtIr17.5	—	—	—	—
PdIr18	—	—	—	—
PdAgCo35-5	—	—	—	Co : 5.0±0.5
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	14.0±0.5	—	1.0 ^{+0.2} _{-0.5}	—
PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	14.5±0.5	1.0±0.3	—	—
AuCuAgPtNi14-10-5-1	14.5±0.5	1.0±0.5	—	—
AuAgNiCu22-3-1	1.0±0.5	3.0±0.5	—	—
AuCuAgZn17-7-1	17.0±0.5	—	1.0±0.3	—

合金牌号	杂质					杂质总量≤
	Au	Fe	Pb	Sb	Bi	
AuNi9	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.250
AuNiGd9-0.5	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.250

AuNiIn9-8	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.250
AuNiCu7.5-1.5	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.250
AuAgCu25-5	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.250
AuAgCu20-30	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.250
AuCuNiZn22-2.5-1	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.250
AuCuNiZn18-1.8-0.7	—	0.10	0.005	0.005	0.005	0.250
PyNi4.5	0.04	0.05	—	—	—	0.250
PtIr10	0.04	0.05	—	—	—	0.250
PtIr17.5	0.04	0.05	—	—	—	0.250
PdIr18	0.04	0.05	—	—	—	0.250
PdAgCo35-5	0.03	0.06	0.004	0.004	0.004	0.250
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	—	0.06	0.005	0.005	0.005	0.250
PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	—	—	—	—	—	0.20
AuCuAgPtNi14-10-5-1	—	—	—	—	—	—
AuAgNiCu22-3-1	—	—	—	—	—	—
AuCuAgZn17-7-1	—	—	—	—	—	—

表 11-3-28

牌号	热处理方式	热处理温度 /°C	保护气氛	保温时间 /min
	固溶	750	惰性气体	15
AuAgCu20-30	时效	300~320	惰性气体	30~90
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	时效	450	惰性气体	0.5①

PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	时效	450	氢气	30
--------------------------	----	-----	----	----

①指直径 0.2mm 以下的细丝

表 11-3-19

直径 d	允许偏差	不圆度 ≤
0.04~0.08	+0.003 -0.002	±0.002
>0.08~0.20	±0.005	0.005
>0.20~0.40	±0.008	0.005
>0.40~0.60	±0.010	0.010
>0.60~1.00	±0.015	0.015

表 11-3-10

工作圆弧曲率半径 R	异性丝高度 h	异性丝底 边长 a (参考尺寸)
0.5±0.004	0.5 ^{+0.01} _{-0.04}	0.9~1.1
	0.42 ^{+0.03} _{-0.02}	
	0.37 ^{+0.03} _{-0.02}	

注：①圆弧倒角 r 任意

②可供应其他规格的异性线材

表 11-3-32

牌号	θ/°C	α ₁ (20~1000°C) /10 ⁻⁶ C ⁻¹	ρ (g/cm ³)	ρ/(Ω·m)	α ₁ (20~1000°C) /10 ⁻⁶ C ⁻¹	E(0~100°C)/(μV·C ⁻¹)
AuNi9	≈990	—	17.5	0.20	0.419	-53.2

AuNiGd9-0.5	—	—	17.4	0.205		0.76		+3.7①	
AuNiIn9-8	—	—	15.62	0.28		0.61②		-17.8	
AuNiCu7.5-1.5	≈1000	—	17.5	0.185		0.575		-44.6	
AuAgCu25-5	—	—	15.2	0.122		—		—	
AuAgCu20-30	831~816	—	12.8	0.135		—		—	
AuCuNiZn22-2.5-1	≈915	—	14.8	0.20		0.432		5.19	
AuCuNiZn18-1.8-0.7	≈950	—	15.6	0.18		0.462		-3.60	
PyNi4.5	1700~1750	—	20.0	0.23		2.0		—	
PtIr10	≈1780	—	21.5	0.24		1.275		+12.9	
PtIr17.5	≈1820	—	21.6	0.30		0.888		+13.6	
PdIr18	≈1550	—	13.5	0.351		0.690		+38.7	
PdAgCo35-5	—	—	11.1	0.408		0.14		—	
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	1080~1090	13.5	11.8	硬态	时效	硬态	时效	硬态	时效
				0.31 ~0.32	0.27 0.28	0.288	0.279	-6.83	—
PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	≈925	12.6	15.9	0.221		—		—	
AuCuAgPtNi14-10-5-1	≈954	—	15.2	硬态	时效	0.40~0.48	—	硬态	时效
				0.21 ~0.22	0.18			-11	-13
AuAgNiCu22-3-1	945~955	—	15.8	0.12~0.13		—		—	
AuCuAgZn17-7-1	—	—	—	0.14~0.16		—		—	

①对铜热电势

②为 0~97°C时的电阻温度系数

③③为 0~70°C时的对同热电势

表 11-3-33

牌号	原始接	不同时间氧化处理后的接触电阻/Ω	接触
----	-----	------------------	----

	触电阻 / Ω	60h	120h	192h	250h	500h	电阻 最大 增长 率 /%
AuNi9	0.0493	0.0563	0.0579	—	0.0680 (240h)	0.0751	52
AuNiIn9-8	0.0881	0.1178	0.1109	—	0.1729 (240h)	0.2606	195
AuCuNiZn22-2.5-1	0.0461	0.1350	0.1857	—	0.2433 (240h)	0.2970	544
PtIr17.5	0.0560	0.0660	0.0695	—	0.0715 (240h)	—	31
PdIr18	0.0516	0.0550 (48h)	0.0543 (144h)	0.0742	0.0662	—	28
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	0.0775	0.0778 (48h)	0.0766 (144h)	0.0653	0.0854	0.1019	32
PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	0.0326	0.0329 (48h)	0.0530 (144h)	—	0.0571	0.1019 (360h)	90

注：①测试条件：接触压力 0.049N，测试电流 0.1A

②PtIr10 的抗氧化性能及耐腐蚀性能参看绕组材料的有关部分。

表 11-3-34

牌号	原始接触 电阻/ Ω	盐雾腐蚀后接触电阻变化 $\Delta R/\Omega$				接触电阻最 大增长率/%
		48h	120h	240h	360h	

AuNi9	0.0493	0.0564	0.0585	0.0507	0.0610	24
AuNiIn9-8	0.0881	0.0959	0.0918	0.0915	0.1021	16
AuCuNiZn22-2.5-1	0.0461	0.0488	0.0509	0.0560	0.0500	21
PtIr17.5	0.0578	—	0.0638	0.0635	0.0688	19
PdIr18	0.0519	—	0.0744	0.0820	0.0640	58
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	0.0775	—	0.0990	0.0989	0.0949	28
PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	0.0337	0.0918	0.0443	0.0470	0.0436	39
		—				

注：①盐雾成分 NaCl : 27g/L, MgCl₂:6g/L, CaCl:21g/L 的水溶液

②试验条件为湿度 98%，温度 30℃，盐雾气氛，每隔 1h 连续喷射 15min

③测试条件为接触压力 0.04N，测试电流 0.1A

表 11-3-35

牌号	原始接触电阻/ Ω	硫化腐蚀后接触电阻变化 $\Delta R/\Omega$				接触电阻最大增长率/%
		48h	120h	240h	360h	
AuNi9	0.0493	0.0637	0.0657	0.0651	0.0533	33
AuCuNiZn22-2.5-1	0.0461	0.0573	0.0600	0.0673	0.0690	50
PtIr17.5	0.0560	0.0622	0.0694	0.0707	—	26
PdIr18	0.0519	0.782	0.0992	0.1202	—	132
PdAgCuAuPtZn30-14-10-10-1	0.0775	0.6138	0.3590	0.3854	—	692
PdAgCuPtZn14.5-8.5-4.5-1	0.0261	0.0400	0.0373	0.0542	0.5450	108
					—	