

CP 腐蚀与防护全书

镍基及铁镍基耐蚀合金

中国腐蚀与防护学会 主编

陆世英 康喜范 编著

化学工业出版社

腐 蚀 与 防 护 全 书

镍基及铁镍基耐蚀合金

中国腐蚀与防护学会 主编

陆世英 康喜范 编著

化 学 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书总结了我国20多年来研究和应用镍基和铁镍基耐蚀合金的经验,给出了国内外镍基和铁镍基耐蚀合金中应用较多的一些合金牌号的化学成份、性能、制造和使用中的主要结果和数据,如镍铜、镍铬、镍钼、镍铬钼、镍铬钼铜类镍基合金,以及铁镍基耐蚀合金。

本书可供化工、石油、石油化工、冶金、机械、动力、核工业等工业部门从事设计、研究以及企业中工程技术人员使用,也可供大专院校有关专业师生参考。

腐蚀与防护全书 镍基及铁镍基耐蚀合金

中国腐蚀与防护学会 主编
陆世英 康喜范 编著

责任编辑:刘 威
封面设计:许 立

化学工业出版社出版发行
(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

北京装订厂装订

新华书店北京发行所经销

开本850×1168^{1/32} 印张11^{5/8} 字数 316千字
1989年11月第1版 1989年11月北京第1次印刷
印 数 1-1,880

ISBN 7 5025 0623-3/TQ·370

定 价 5.55 元

序

腐蚀与防护科学是本世纪30年代发展起来的一门综合性的技术科学，目前已成为一门独立的学科，并正在不断的发展。

腐蚀是材料在各种环境作用下发生的破坏和变质，遍及国民经济各个部门，给国民经济带来巨大的损失。根据工业发达国家的调查，每年因腐蚀造成的经济损失约占国民生产总值的2~4%，我国每年因腐蚀造成的经济损失至少达二百亿元。搞好腐蚀与防护工作，已不是单纯的技术问题，而是关系到保护资源、节约能源、节省材料、保护环境、保证正常生产和人身安全、发展新技术等一系列重大的社会和经济问题。因此，全面普及腐蚀科学知识，推广近代的防护技术，以减少腐蚀造成的经济损失，延长材料和设备的使用寿命，促进城乡经济的发展和企业经济效益的提高，是当前急待解决的问题。

为此，中国腐蚀与防护学会和化学工业出版社决定共同组织编写《腐蚀与防护全书》。《全书》分总论、腐蚀理论、环境腐蚀与防护、耐腐蚀材料、防蚀技术、腐蚀试验与监控六篇数十个分册，并将陆续出版。

《全书》属于专业百科性质的大型综合性工具书，全面系统地阐述了腐蚀学科的理论和应用，总结国内外的腐蚀与防护经验，反映近代的防护技术；内容广泛，兼顾知识性、教育性和实用性。主要供腐蚀与防护专业以及与该专业有关的工程技术人员阅读使用，也可供企业管理干部与大专院校有关专业师生参考。

《全书》编写工作曾得到腐蚀与防护领域许多专家、工程技术人员及其所在单位领导的热情协助和大力支持，对此，表示衷心地感谢。

由于我们水平有限，缺点和错误在所难免，望读者批评指正。

《腐蚀与防护全书》编委会

1987.2

《腐蚀与防护全书》编委会成员

主任委员：肖纪美

副主任委员：石声泰 曹楚南 朱日彰

杨永炎 郭长生

顾问：张文奇 李 苏 沈增祚

委员（按姓氏笔划序）

火时中 王广扬 王正樵 王光雍 许维钧

刘国瑞 刘翔声 朱祖芳 杜元龙 杜发一

宋诗哲 劳添长 李兴濂 李志清 李铁藩

吴宝琳 吴荫顺 杨文治 杨 武 杨熙珍

杨 璋 张其耀 张承濂 顾国成 徐乃欣

徐兰洲 徐克薰 袁玉珍 傅积和 曾宪焯

褚武扬 虞兆年 黎樵棗 戴新民

编辑组：吴荫顺 王光雍 褚武扬 袁玉珍

李志清 刘 威

前 言

镍基和铁镍基耐蚀合金是重要的耐蚀金属材料。在化工、石油化工、湿法冶金、动力、核燃料和核能等工业中，在许多苛刻的腐蚀环境中，镍基和铁镍基耐蚀合金常常做为重要的结构材料得到广泛应用。我国60年代初开始大量研究并在工程中使用镍基和铁镍基耐蚀合金，20多年来取得了可喜的进展，并积累了较丰富的经验和较多的生产、制造和应用数据。本书总结了国内外镍基和铁镍基耐蚀合金中应用较多的一些牌号的化学成份、性能、制造和使用中的主要结果和数据，仅供国内设计、研究、企业等单位合理选择、应用镍基和铁镍基耐蚀合金之用。本书第1至6章由陆世英执笔，第7章由康喜范执笔。由于作者水平有限，加之时间仓促，书中错误和不当之处尚希读者指正。

作者于冶金部钢铁研究总院

1988年7月

目 录

第1章 概 论	1
第2章 镍铜合金	10
1. 铜对镍耐蚀性的影响	11
2. 常用镍铜合金的组织、性能和应用	13
2.1 Ni68Cu28Fe	13
2.1.1 化学成份和组织特点	13
2.1.2 在各种介质中的耐蚀性	13
2.1.3 其它性能	38
2.1.4 应用举例及产品	48
2.2 Ni68Cu28Al	48
2.2.1 化学成份和组织特点	48
2.2.2 在各种介质中的耐蚀性	48
2.2.3 其它性能	50
2.2.4 应用举例及产品	60
第3章 镍铬合金	61
1. 铬对镍性能的影响	61
2. 常用镍铬耐蚀合金的组织、性能和应用	68
2.1 0Cr15Ni75Fe	68
2.1.1 化学成份和组织特点	68
2.1.2 在各种介质中的耐蚀性	68
2.1.3 其它性能	74
2.1.4 应用举例及产品	81
2.2 0Cr23Ni63Fe14Al	82
2.2.1 化学成份和组织特点	82
2.2.2 在各种介质中的耐蚀性	83
2.2.3 其它性能	87
2.2.4 应用举例及产品	95
2.3 0Cr20Ni65Ti3AlNb	95
2.3.1 化学成份和组织特点	95
2.3.2 在各种介质中的耐蚀性	95
2.3.3 其它性能	98

2.3.4	应用举例及产品	100
2.4	0 Cr30Ni60Fe10	100
2.4.1	化学成份和组织特点	100
2.4.2	在各种介质中的耐蚀性	100
2.4.3	其它性能	107
2.4.4	应用举例及产品	112
2.5	0 Cr35Ni65Al、0 Cr50Ni50	112
2.5.1	化学成份和组织特点	112
2.5.2	在各种介质中的耐蚀性	112
2.5.3	其它性能	119
2.5.4	应用举例及产品	124
第4章	镍钼合金	126
1.	钼对镍性能的影响	126
2.	常用镍钼耐蚀合金的组织、性能和应用	132
2.1	0 Mo28Ni65Fe5	133
2.1.1	化学成份和组织结构	133
2.1.2	在各种介质中的耐蚀性	133
2.1.3	其它性能	149
2.1.4	应用举例及产品	152
2.2	00Mo28Ni68	152
2.2.1	化学成份和组织结构	152
2.2.2	在各种介质中的耐蚀性	153
2.2.3	其它性能	158
2.2.4	应用举例及产品	162
第5章	镍铬钼合金	163
1.	铬、钼对镍基合金(镍铬、镍钼)耐蚀性的影响	163
2.	常用镍铬钼耐蚀合金的组织、性能和应用	168
2.1	0 Cr16Ni60Mo16W4 (Hastelloy C)	168
2.1.1	化学成份和组织结构	168
2.1.2	在各种介质中的耐蚀性	169
2.1.3	其它性能	182
2.1.4	用途举例及产品	184
2.2	00Cr15Ni60Mo16W4 (Hastelloy C-276)	184
2.2.1	化学成份和组织结构	185
2.2.2	在各种介质中的耐蚀性	185
2.2.3	其它性能	190
2.2.4	应用举例及产品	193

2.3	00Cr16Ni63Mo16Ti (Hastelloy C - 4)	193
2.3.1	化学成份和组织结构	193
2.3.2	在各种介质中的耐蚀性	193
2.3.3	其它性能	197
2.3.4	应用举例及产品	201
2.4	0Cr18Ni60Mo17 (Chromet - 3)	201
2.4.1	化学成份和组织结构	201
2.4.2	在各种介质中的耐蚀性	202
2.4.3	其它性能	202
2.4.4	应用举例及产品	206
2.5	00Cr16Ni76Mo2Ti	207
2.5.1	化学成份和组织结构	207
2.5.2	在各种介质中的耐蚀性	207
2.5.3	其它性能	209
2.5.4	应用举例及产品	213
2.6	00Cr22Ni60Mo13W3	213
2.6.1	化学成份和组织结构	214
2.6.2	在各种介质中的耐蚀性	214
2.6.3	其它性能	219
2.6.4	应用举例及产品	223
2.7	1Cr22Ni60Mo9Nb4	223
2.7.1	化学成份和组织结构	223
2.7.2	在各种介质中的耐蚀性	223
2.7.3	其它性能	227
2.7.4	应用举例及产品	232
第6章	镍铬钼铜合金	233
1.	铜对镍铬钼合金耐蚀性的影响	233
2.	常用的几种镍铬钼铜耐蚀合金的组织、性能和应用	235
2.1	几种合金的化学成份和组织结构	235
2.2	在各种介质中的耐蚀性	236
2.3	机械性能	245
2.4	冷热加工和热处理工艺	245
2.5	应用举例及品种	246
第7章	铁镍基耐蚀合金	247
1.	镍-铁-铬合金	247
1.1	铬对Fe-Ni合金耐蚀性的影响	249
1.2	常用镍-铁-铬耐蚀合金组织、性能和应用	257

1.2.1	Cr20Ni32型耐应力腐蚀合金	257
1.2.2	新13号耐应力腐蚀合金	269
2.	镍-铁-铬-钼合金	275
2.1	钼对镍-铁-铬合金耐蚀性的影响	277
2.2	常用镍-铁-铬-钼耐蚀合金的组织、性能和应用	278
2.2.1	0Cr20Ni43Mo13	278
2.2.2	00Cr21Ni40Mo13	281
3.	镍-铁-铬-钼-铜耐蚀合金	284
3.1	铜对镍-铁-铬-钼合金耐蚀性的影响	287
3.2	铬对镍-铁-钼-铜合金耐蚀性的影响	288
3.3	常用镍-铁-铬-钼-铜耐蚀合金的组织、性能和应用	290
3.3.1	00Cr25Ni35Mo3CuTi	290
3.3.2	0Cr22Ni47Mo6.5Cu2Nb2和00Cr22Ni48Mo7Cu2Nb	303
3.3.3	00Cr27Ni31Mo4Cu	321
3.3.4	0Cr21Ni42Mo3Cu2Ti	333
3.3.5	0Cr20Ni35Mo3Cu3Nb	347
3.3.6	0Cr15Ni40Mo5Cu3Ti3Al	354

第1章 概 论 [1-7]

纯镍由于它耐活泼性气体，例如卤素元素及其氢化物；耐苛性介质，例如氢氧化物；耐还原性酸介质，例如耐不含氧和氧化剂的稀盐酸、稀硫酸和磷酸等的良好性能以及高的塑、韧性，它已做为耐蚀金属材料获得了大量应用。但是，由于纯镍耐还原性酸介质的性能尚嫌不足且耐氧化性酸和抗高温氧化、硫化等的性能上存在着较严重的缺点，而具有良好耐腐蚀、抗氧化、抗硫化等特性的元素，如Cr、Mo、W、Cu、Si等在镍中的固溶度又远比在铁中大。因此，向纯镍中单独或复合加入Cu、Cr、Mo、W、Si等元素而发展起来的镍基耐蚀合金，既保持有镍的良好特性，又兼有合金化组分的良好性能。镍基耐蚀合金既具有良好的耐腐蚀性，又具有强度高、塑韧性好、可以冶炼、铸造、冷热变形和加工成型，以及可焊接等的性能。

一般认为，具有不锈性和既具有不锈性又在一些介质中耐腐蚀的以铁为基的合金，称为不锈耐酸钢。以镍为基（Ni含量 $\geq 50\%$ ）并含有其它合金元素且在一些介质中耐腐蚀的合金，则称为镍基耐蚀合金。当镍含量介于不锈耐酸钢和镍基耐蚀合金之间，且又耐腐蚀的合金，则称为铁镍基耐蚀合金，一般规定： $Ni \geq 30\%$ ， $Ni + Fe \geq 50\%$ 。

镍基和铁镍基耐蚀合金是一类重要的耐蚀金属材料。它们广泛应用于化工、石油、湿法冶金、原子能、海洋开发、航空、航天等工业中，解决一般不锈钢和其它金属、非金属材料无法解决的工程腐蚀问题。

常用的镍基和铁镍基耐蚀合金一般以其化学成份特点进行分类。主要有：镍铜合金、镍钼合金和镍钼铁合金、镍铬合金和镍铬铁合金、镍铬钼合金和镍铬钼钨合金、镍铬钼铜合金、其它镍基耐蚀合

金和铁镍基耐蚀合金等。

国外最早生产与应用的镍基耐蚀合金系1905年的镍铜合金Monel，主要成份为Ni~70%和Cu~28%。美国于1914年开始生产镍铬钼铜型耐蚀合金Inconel。德国1920年开始生产含Cr~15%、Mo~7%的Ni-Cr-Mo耐蚀合金。日本于30年代开始进行镍基耐蚀合金的研究工作。苏联于1939—1945年开始研究，仿制镍钼（如Hastelloy A和B）和镍铬钼（如Hastelloy C）耐蚀合金。目前应用较为广泛的铁镍基耐蚀合金，例如Carpenter 20和Incoloy 800，分别于1945年和1949年问世。

我国于50年代开始大量生产Ni~70%，Cu~28%的镍铜合金，牌号为MCu-28-2.5-1.8。1961年开始研究，随后试制并生产了含Mo2—3%，Cr14—17%的镍铬钼型合金00Cr16Ni76Mo2Ti（NS31）。1963年又研制并生产了含Cr~30%，Ni~70%的0Cr30Ni70耐蚀合金。1963年以后，我国镍基和铁镍基耐蚀合金的研究、生产和应用更加广泛、深入。在用量较大的镍铜、镍铬、镍钼、镍铬钼、镍铬钼铜以及铁镍基等类型合金中，有代表性的牌号我国均已有试制和生产。1975年还制订并颁布了第一个镍基耐蚀合金试行标准YB687-75，共列入了8种耐蚀合金牌号。截至目前为止，我国已能掌握镍铜、镍铬、镍钼、镍铬钼和镍铬钼铜以及铁钼基耐蚀合金近20种牌号的生产和使用技术。表1-1列出了本册介绍的生产合金牌号（按合金化学成份特点进行标号）以及这些牌号与国内外相同、相近或相应牌号的对照。表1-2为国内外一些主要镍基和铁镍基耐蚀合金的发展过程。

表 1-1 主要合金牌号

合金牌号	相同、相近或相应牌号	
	国内	国外
Ni68Cu28Fe	MCu-28-1.5-1.8	Monel 400
Ni68Cu28AlTi	MCu 28-1.5-1.8	Monel K500, K 501, K 502

续表

合金牌号	相同、相近或相应牌号	
	国内	国外
0 Cr15Ni75Fe	0 Cr15Ni75Fe	Inconel 600
0 Cr35Ni65	0 Cr35Ni65	Corronel 230
0 Cr30Ni60Fe10	00Cr30Ni60Fe10	Inconel 690
0 Cr50Ni50	0 Cr50Ni50	IN 657, IN 671
0 Ni70Mo28	0 Ni70Mo28Fe5 V	Hastelloy B, Hastelloy B2, Corronel 220
00Cr16Ni75Mo2Ti	00Cr16Ni75Mo2Ti	Hastelloy C, Hastelloy C-276
00Cr16Ni60Mo16W4	00Cr16Ni60Mo16W4	Hastelloy C-4
00Cr16Ni65Mo16	00Cr16Ni65Mo16	Chromet-3
	00Cr17Ni60Mo17	Hastelloy C-22
00Cr22Ni60Mo13W3	00Cr22Ni60Mo13W3	Illium R
0 Cr21Ni68Mo5Cu3	—	Illium G
0 Cr22Ni56Mo6.5Cu6.5	—	Illium 98
0 Cr28Ni50Mo8.5Cu5.5	—	Illium B
0 Cr28Ni50Mo8.5Cu5.5S14B	—	Incoloy 800 H
0 Cr20Ni32AlTi	0 Cr20Ni32AlTi	Incoloy 800, Sanicro 30
00Cr20Ni32AlTi	00Cr20Ni32AlTi	—
00Cr25Ni35AlTi	00Cr25Ni35AlTi	Narloy-3
0 Cr20Ni43Mo13	0 Cr20Ni43Mo13	Carpenter Cb-3
0 Cr20Ni35Mo3Cu3Nb	0 Cr20Ni35Mo3Cu3Nb	Incoloy 825
0 Cr21Ni42Mo3Cu2Ti	0 Cr21Ni42Mo3Cu2Ti	Sanicro 28
00Cr27Ni31Mo4Cu	00Cr27Ni31Mo4Cu	—
00Cr25Ni35Mo4CuTi	00Cr25Ni35Mo4CuTi	Hastelloy G
0 Cr22Ni47Mo6.5Cu2Nb2	0 Cr22Ni47Mo6.5Cu2Nb2	Hastelloy G3
00Cr22Ni48Mo7Cu2Nb2	00Cr22Ni48Mo7Cu2Nb2	ЭП 543
0 Cr15Ni40Mo5Cu3Ti3Al	0 Cr15Ni40Mo5Cu3Ti3Al	

表 1-2 国内外一些镍基和

合金	类型	国内外主要合金
	Ni-Cu	<p style="text-align: center;">易切削</p> <p style="text-align: center;">Ni68Cu28Fe (Monel 400) (MCu 28 1.5-1.8)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;"> 加S 提高 强度 硬度 </div> <div style="text-align: center;"> Ni68Cu28S Ni68Cu28 </div> </div> <p style="text-align: center;">加Al, Ti</p> <p style="text-align: center;">加Si</p>
镍基耐蚀合金 (Ni > 50%)	Ni-Cr	<p style="text-align: center;">耐应力腐蚀</p> <p style="text-align: center;">Inconel 600 (0Cr15Ni75Fe)</p> <p style="text-align: center;">提高Cr</p> <p style="text-align: center;">耐氧化介质</p> <p style="text-align: center;">0 Cr30Ni70(YB687 75) (011 442)</p> <p style="text-align: center;">耐氧化介质 和含F介质</p> <p style="text-align: center;">Corronel 230 (0 Cr35Ni65)</p> <p style="text-align: center;">耐HNO₃ + F 耐含S, V气体 提高Cr</p> <p style="text-align: center;">耐氧化介质高 硬度, 高强度</p> <p style="text-align: center;">把Inconel X 提高Cr</p> <p style="text-align: center;">0 Cr 20Ni65Ti2 AlNb(YB687)</p>
	Ni-Mo (Fe)	<p style="text-align: center;">耐盐酸</p> <p style="text-align: center;">Hastelloy A (含Fe20%, Mo 20%)</p> <p style="text-align: center;">提高耐蚀性 降Fe, 提高Mo</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;"> Hast </div> <div style="text-align: center;"> Hastelloy A Hast </div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;"> Ni65 (YB </div> </div>

铁镍基耐蚀合金发展过程

牌号的发展过程

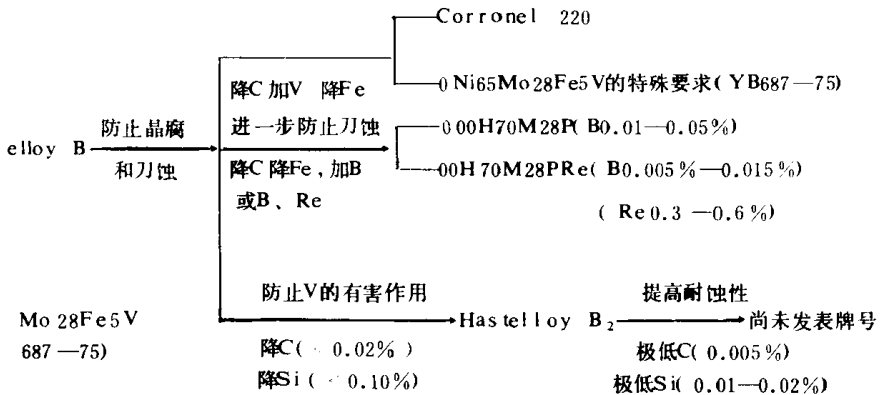
(Monel R-405)

AlTi (Monel K-500, Monel 502)

Inconel 690
(0Cr30Ni60Fe10)

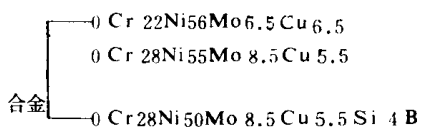
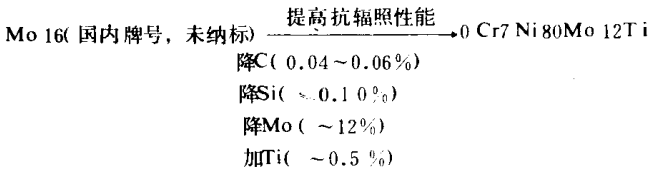
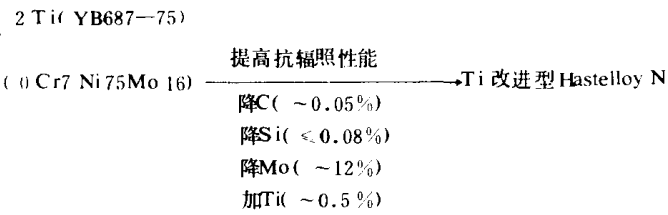
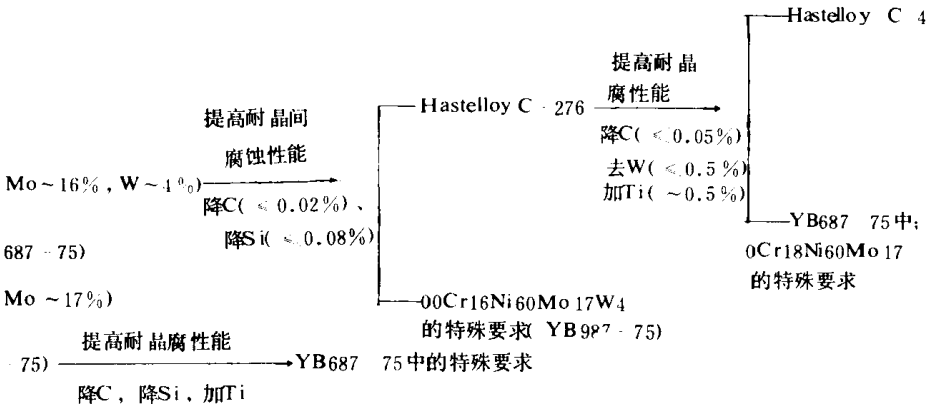
Inconel 671
(0Cr50Ni50)

-75)



合金	类型	国内外主要合金
	Ni-Cr-Mo-(W)	<p>耐氧化还原介质、耐点蚀 → Hastelloy C (Cr~16%, 00Cr16Ni60Mo17W4 (YB</p> <p>耐氧化还原介质、耐点蚀、不含W → Chromet 3 (Cr~17%, 0Cr18Ni60Mo17 (YB687 —</p> <p>耐~650℃HF等腐蚀、控制产品中杂质 → 00Cr16Ni75Mo</p> <p>低Mo, 低C</p> <p>耐~650℃高温氟化物熔盐腐蚀 → Hastelloy N</p> <p>低Cr → 0Cr7Ni75</p>
	Ni-Cr-Mo-Cu	<p>耐HNO₃, H₂SO₄及混酸 → Inconel R → 提高耐蚀性 → 铸造</p> <p>核燃料溶解器专用 → BMI-HAPO 20</p> <p>提高Cr, Mo</p> <p>耐含F⁻, Cl⁻, Fe³⁺的酸性气体冷凝液和H₂SO₄ → 00Cr20Ni70Mo</p> <p>低Mo, 低Cu</p>

牌号的发展过程



2Cu2Ti (国内牌号, 未纳标)