

TG146.1
G98a

铜知识系列小丛书

铜和铜合金的应用

国际铜业协会

前 言

本书是由国际铜业协会(中国)编写出版的科普性读物。它通过介绍铜在现代工业的广泛应用和人类现代生活中的作用,说明了铜在当今社会生活中不可替代的重要地位。随着科学研究的发展,铜的用途越来越广泛,不断应用在新的高科技领域,成为人类发展不可缺少的金属材料。

本书力求用通俗易懂的语言,将有关方面的最新研究成果介绍给读者。本书的内容是在参考了国内外的最新资料,并结合国际铜业协会多年来积累的一些权威性资料编写而成的,相信广大读者会从中受益。

国际铜业协会是世界上最主要的推广和促进铜使用的非赢利性国际组织。现有正式会员二十九个,代表着世界精铜产量的75%,其协作成员都是世界上最大的铜和铜合金加工企业。国际铜业协会负责制定方针政策,长远规划和资金分配方案以使得促进铜使用项目在世界范围内开展。除了在美国纽约的总部外,国际铜业协会在布鲁塞尔、圣地亚哥、北京、新加坡、孟买和上海设有地区代表处。国际铜业协会的项目是通过地区代表处和在美国、英国、德国、法国、日本、加拿大、澳大利亚等国家和地区的21个独立的铜发展中心以及一些生产厂家来具体实施的。项目的重点集中在主要的铜最终用户上:用于电力和信息传输的电线电缆,用于供水的管道系统,用于建筑内外设计和装修的产品以及工业应用和汽车应用等。国际铜业协会支持有关铜对环境和人类健康影响的科学研究。国际铜业协会向各国的政府部门提供制定有关铜和铜合金的政策及法规的相关依据和建议。

国际铜业协会(中国)在北京和上海设有代表处。在电能效益、建筑导线、铜水管的应用、新型汽车散热器等方面进行了大量的工作,并取得了相关部门的支持和参与。目前,这些项目正在进一步实施中。

国际铜业协会(中国)愿同各界人士合作,更好地为铜工业和整个社会发展作出贡献。

铜和铜合金的应用

引言

铜是人类祖先最早使用的金属。早在8000年前的史前时期，就开始使用铜器。中国在公元前16世纪的高代便进入了鼎盛的青铜时代。铜为人类社会的进步作出了不可磨灭的贡献。铜既是一个古老的金属，又是一个充满生机和活力的现代工程材料。当前人类步入了高度文明的社会，为铜的应用开辟了更为广阔的天地。在分别介绍铜在各主要工业领域的应用前，从铜的性能、消费结构等方面来看一下它的应用概况。

铜的性能应用比例

为什么要用铜，主要利用它哪些性能？各项性能在应用中的比例如何？调查的结果示于图1。铜的导电和导热性，居所有工程金属材料之冠，这是它在当前电气化和电子信息社会中产生举足轻重作用的主要依据。铜还有许多优异的综合性能：对大气、海水、土壤以及许多化学介质有很强的耐蚀性；用在结构上刚柔并济，富有弹性，耐摩擦，抗磨损；外观多彩，是人们钟爱的古朴典雅的象征。它还有一系列良好的加工、铸造、焊接、冲压、电镀、易切削等工艺性能，从而得到了广泛的应用。

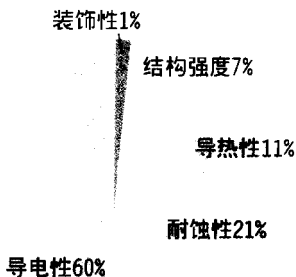


图1 铜和铜合金主要性能的应用比例

铜的消费量

近年来，随着世界经济的发展，铜的消费量不断上升。如图2所示，从1992年到1997年的五年间，世界铜的消费量从1100.5万吨增加到1310万吨，增长19%，年平均递增3.5%。中国近年来铜需求量，年均增长4~5%。预计到2000年将接近150万吨。

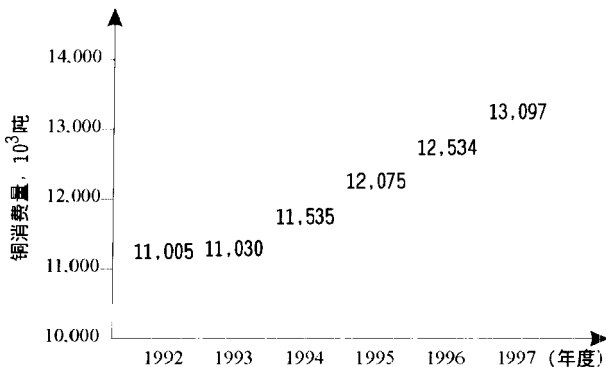


图2 近年来世界铜的消费 (引自国际铜研究组)

发达国家的铜消费水平显著高于发展中国家。国际铜业协会的统计表明，1997年世界人均精炼铜的消费量约2.25公斤，而同期中国的人均数是1.05公斤，作为对比，美国是10.2公斤，西欧是

8.9公斤，日本也在10公斤以上，当然，中国比印度（人均0.25公斤）还是要高得多。

铜的消费结构

美国从1983年到1988年，铜的消费量从201万吨增加到221万吨。六年间电气和电子工业消费铜最多。它由1960年的52%上升到1988年的70%。这是和电气化、自动化、信息化及整个社会现代化程度的提高密切相关的。铜在建筑上的应用，在欧美等发达国家中已比较普遍，占有相当大的比例。图3上给出我国从1986到1990年，铜的消费结构。在中国如果把电气、电子、邮电以及轻工中家电产品部分中铜的应用加在一起，作为电气和电子行业来计算，估计在60%左右。与欧美等国相比，中国在建筑上的应用，近年来才刚刚起步，有着较大的潜在市场。

据统计，在美国，铜在住宅中的应用，每户用量1970年为120公斤，到1996年增加到200公斤。汽车平均每辆用铜，1950年为10公斤，到1996年上升到19公斤，电动汽车则每辆需用铜25到40公斤。

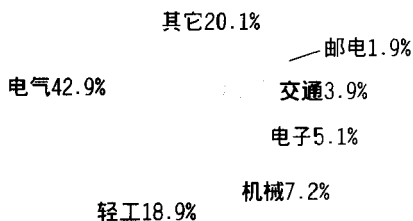


图3 中国的铜消费结构（1986~1990年平均）（引自《'future Copper Demand and Copper Industry Development in PRC.' 潘家柱》1996.）

图4示出了世界铜市场在各个建设部门中应用的分配情况：

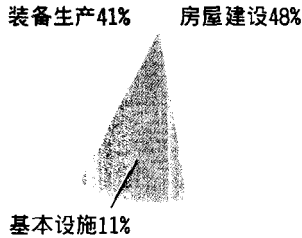


图4 1997年世界铜市场在各个建设部门中的分配

• 房屋建设占48%

包括： 管道系统（水，热，气，防火喷淋等）
生活设施（空调，冰箱等）
建筑装修（屋顶，流槽，装饰等）
通讯线路（声、像、数据等）
电源系统

• 装备生产占41%

包括： 工业装备（电机，变压器等）
交通工具（汽车，铁路，飞机等）
电子器件
轻工业品（家用电器，仪表，工具等）

• 基本设施占11%

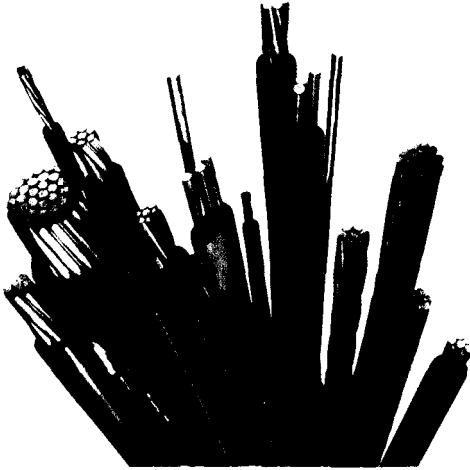
包括： 大型工程（交通设施，石化工业，采冶工业等）
电力事业（输电，配电等）
通信网络

值得注意的是，房屋建设与人们生活水平的提高直接相关，铜在这方面的应用占有很大的比重。特别是中国将住宅建设作为拉动整个国民经济发展的一个重要环节。由此可见，铜的应用对国计民生有着重要作用。

1. 电气工业中的应用

电力输送

电力输送中需要大量导电铜材，主要用于动力电线电缆、汇流排、变压器、开关、接插件和联接器件等。

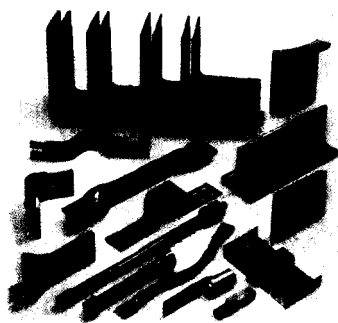


在电线电缆的输电过程中，由于电阻发热而浪费电能。从节能和经济的角度考虑，目前世界上正在推广“最佳电缆截面”标准。过去的标准，单纯从降低一次装置投资的角度出发，尽量减小电缆截面，以在设计要求的额定电流下，不至出现危险过热，来确定电缆的最低允许尺寸。按这种标准铺设的电缆，虽然装置费低

了，但在长期使用过程中，电阻损耗比较大。“最佳电缆截面”标准，则兼顾一次装置费用和电能消耗这两个因素，适当放大电缆尺寸，达到最佳综合经济效益的目的。按照新的标准，电缆截面往往要比旧标准加大一倍以上，但可以获得30%左右的长期节能效果。

中国在过去一段时间，由于铜供不应求，考虑到铝的比重只有铜的30%，在希望减轻重量的架空高压输电线路中曾采取以铝代铜的措施。目前从环境保护考虑，架空输电线将转为地下电缆。在这种情况下，铝与铜相比，存在导电性差和电缆尺寸较大的缺点，而相形见绌。同样的原因，以节能高效的铜绕组变压器，取代旧的铝

绕组变压器，也是明智的选择。此外，目前一种新型的节能变压器——非晶合金变压器正在被越来越广泛地应用。这种变压器由于采用非晶合金，代替了传统硅钢片制造的铁芯，同时又增加了铜的用量，效率明显增加，成为人们关注的一种节能产品。

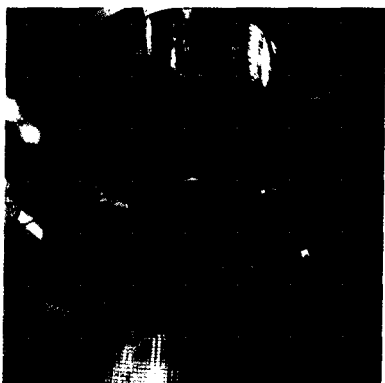


铜汇流排及铜母线

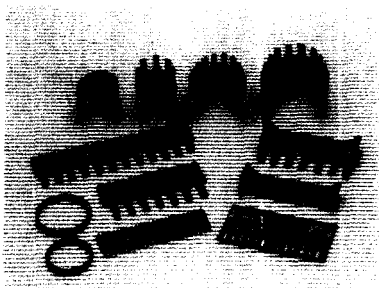
电机制造

在电机制造中，大量使用导电铜材。主要用铜部位是定子、转子和轴头等。大型电机中，绕组要用水或氢气冷却，称为双水内冷或氢气冷却电机，这就需要很长的中空铜导线。

电机在中国也是耗能大户，约占全部供电量的53%。一台电机运转累计电费很高，一般运行不到一年电费就达到电机本身的成本。整个工作寿命期间电费可达到成本的10—20倍。电机效率的提高，不但节能，而且可以获得显著的经济效益。开发和应用高效电机是当前世界的热门课题。由于电机内部的能量损耗，主要来源于绕组的电阻损耗；因此，增大铜线截面是发展高效电机的一个关键措施。高效电机与传统电机相比，铜绕组的使用量增加25~100%。目前，美国能源部正在资助一个开发项目，拟采用铸铜的技术生产电机转子。



大型发电机内的铜绕组



高强度高导电铜合金制成的微电机整流子

通讯电缆

近年来，在“信息高速公路”的建设中，人们把目光集中在光纤电缆上。但是，把电能转化为光能，以及输入用户的线路仍需使用大量的铜。随着一种称为非对称数字用户环线技术的出现，大大提高了现有双绞铜电话线的传输能力，完全能够满足人们对数字、声音、图象传输的要求。随着通讯事业的发展，人们对通讯的依赖越来越大，对铜电缆的需求也会不断增加。

住宅电气线路

近年来，随着中国人民生活水平提高，家电迅速普及，住宅用电量猛增。如图5所示，1987年居民用电量为269.6亿度（1度=1千瓦·小时），1996年猛升到1131亿度，增加3.2倍。尽管如此，与发达国家相比仍有很大差距。例如，1995年美国的人

均用电量是中国的14.6倍，日本是中国的8.6倍。预计从1996年到2005年，中国居民用电要增长1.4倍。

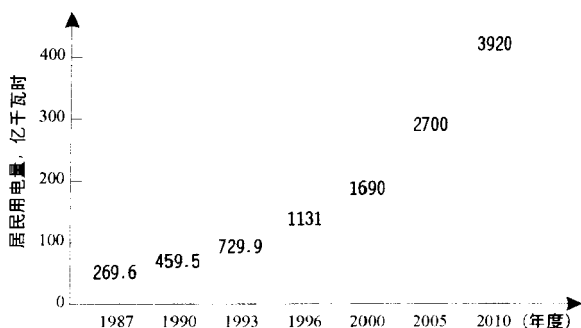


图5 中国居民用电量需求及预测

目前，中国的住宅供电线路设计容量偏低。以两居室为例，表1上对比了北京、香港和日本的建筑供电设计标准。可见，香港和日本在设计中，充分考虑了居民用电增长的需求，我国住宅电气线路设计容量亟待提高。

表1 北京、香港和日本建筑电气设计标准

	北京	香港	日本
每户计算负荷(kW)	2	11	6
分支线路回路数	3	7	9
总计算负荷电流/ 开关电流 (A)	10/20	60/63	40/50
电源铜质进线截面(mm ²)	6	16	14
插座数量	14	19	22

随着信息时代的到来，个人电脑和其它电子设备日益普及，智能密集型建筑（银行、办公楼等）供电网中出现高次谐波，降低了电能质量，严重时会导致计算机停止工作，甚至引发火灾，日益受到人们的注意。目前较好的解决办法是采用较大面积的配电导线，

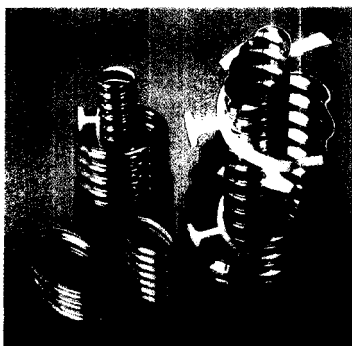
尤其要加大中性线和接地线的截面面积。此外,还应增加供电回路,对计算机等敏感设备应安装独立的回路等。

2. 电子工业中的应用

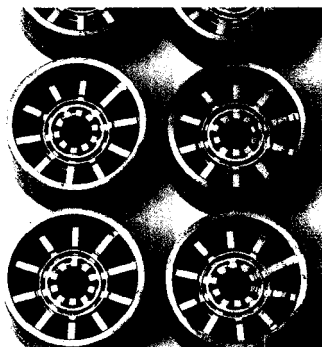
电子工业是新兴产业,在其发展过程中,不断开发出铜的新产品和新的应用领域。目前铜的应用已从电真空器件和印刷电路等,发展到微电子和半导体集成电路中。

电真空器件

电真空器件主要是高频和超高频发射管、波导管、磁控管等,它们需要高纯度无氧铜和弥散强化铜。



用于制作无氧铜带的
波导管



用高纯无氧铜制作的
磁控电子管元件

印刷电路

铜印刷电路,是把铜箔作为表面,粘贴在作为支撑的塑料板上,用照相刻蚀的办法把电路图印制在铜版上。然后,把分立元件或其它部分的终端焊接在这个回路上,如果采用红外焊法,所有接头的焊接可以一次完成。对于那些需要精细布置电路的场合,如无

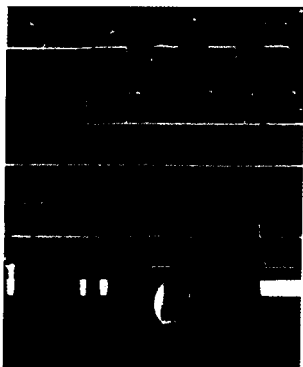
线电、电视机，计算机等，采用印刷电路可以节省大量劳动，因而得到广泛应用。这就需要消费大量的铜箔。



铜箔在印刷电路上的应用

集成电路

微电子技术的核心是集成电路。集成电路是以半导体晶体材料为基片（芯片），采用专门的工艺技术将组成电路的元器件和互连线集成在基片内部和表面的微小型电路。这种微电路的结构比最紧凑的分立元件电路的尺寸和重量小近万倍。目前已开发出的超大规模集成电路，在比指甲还小的芯片面积上，晶体管数目，达十万甚至百万以上。最近，IBM（国际商业机器公司），采用铜代替铝作硅芯片中的互连线，取得了突破性进展。这种用铜的新型微芯片，可以获得30%的效能增益，电路的线宽可以减小到0.12微米，使单个芯片上的晶体管数目达到200万个。这就使古老的铜，在半导体集成电路最新技术领域中，获得了新生。



扫描电镜图片。在一个芯片内有6个铜的连线层和1个局部的钨连线层。在图的下部，可以看到硅晶体的放大图像，其尺寸仅为头发丝的千分之一。

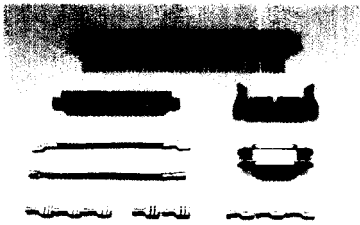
引线框架

为保证集成电路的正常工作，需要对其进行封装，并在封装时，把电路中大量的接头从密封体内引出来。这些引线除了能导电外，还要求有一定的强度，构成该集成封装电路的支承骨架，称为引线框架。引线框架通常在金属带上按特定的排列图案连续高速冲压而成。框架材料占集成电路总成本的 $1/3 \sim 1/4$ ，而且用量很大；因此，必须要求成本低。铜合金强度高、导电导热性好，加工性、钎焊性和耐蚀性均优良，能够满足引线框架的性能要求，加工成本又比较低，已成为制造引线框架的一个重要材料。是目前铜在微电子器件中用量最大的材料。



半导体集成电路用的铜合金带和冲压制成的引线框架

此外，各种电子线路用的钎焊材料以及连接器器件等也广泛应用铜合金。

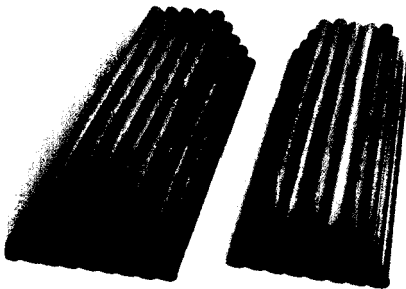


用铜合金制作
的连接器

3. 能源及石化工业中的应用

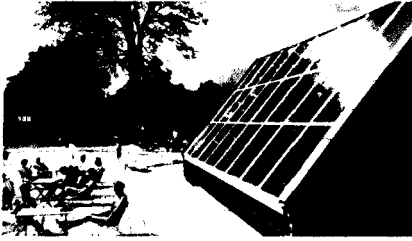
能源工业

火力和原子能发电都要依靠蒸汽作功。作功后的蒸汽送至冷凝器冷却成水回到锅炉重新加热变成蒸汽。其间主冷凝器由冷凝板和冷凝管组成。由于锡黄铜、铝黄铜或白铜导热性好并能抗水的腐蚀，所以均使用它们。根据资料介绍，每万千瓦的锅炉容量需要5吨冷凝管。一个60万千瓦的火力发电厂就需要300吨冷凝管铜材。



电站用黄铜（右）和
白铜（左）冷凝管

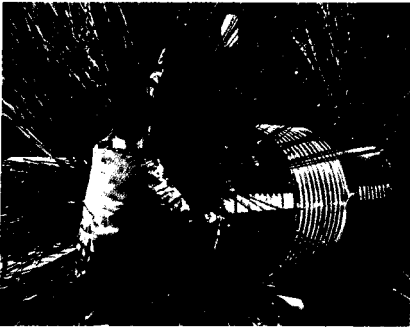
太阳能的利用也要使用许多铜管。例如：英国伦敦附近某旅馆的一个游泳池，装备了太阳能加热器，在夏季可以将水温保持在 $18\sim 24^{\circ}\text{C}$ 。在该太阳能加热器中含有784磅（356公斤）的铜管。



利用太阳能加热器保持游泳池的水温。该加热器内使用了许多铜管

石化工业

铜和许多铜合金，在水溶液、盐酸等非氧化性酸、有机酸（如：醋酸、柠檬酸、脂肪酸、乳酸、草酸等）、除氨水以外的各种碱及非氧化性的有机化合物（如：油类、酚、醇等）中，均有良好的耐腐蚀性；因而，在石化工业中大量用于制造接触腐蚀性介质的各种容器、管道系统、过滤器、泵和阀门等器件。还利用它的导热性，制造各种蒸发器、热交换器和冷凝器。由于铜的塑性很好，特别适合于制造结构复杂的热交换器。此外，在石油精炼工厂中都使用青铜工具，原因是冲击时不易迸发火花，可以防止火灾发生。

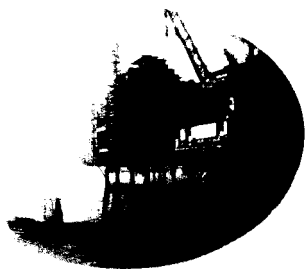


石化工业中，铜管交叉编制的热交换器

海洋工业

海洋占地球表面积的70%以上，合理开发海洋资源日益受到人们的重视。海水中含有容易造成腐蚀的氯离子。钢铁、铝、甚至不锈钢等许多工程金属材料均不耐海水腐蚀，其表面还会形成海洋生物污损，即海洋生物附着并寄生在船壳上，在海水作用下，易形成

一种间隙腐蚀，加速船壳或构件的局部性破坏。铜则是一枝独秀，不但耐海水腐蚀，溶入水中的少量铜离子还有杀菌作用，可以防止海洋生物污损。因而，铜和铜合金是海洋工业中十分重要的材料，在海水淡化工厂、海洋采油采气平台、以及其它海岸和海底设施中广泛应用，例如，海水淡化过程中使用的管路系统、泵体和阀门，以及采油采气平台上使用的设备，包括飞溅区和水下用的螺栓、钻孔口，抗生物污损包套、泵阀和管路系统等等。有关铜和铜合金在船舶中的应用，将在后节叙述。



海上采油采气平台

4. 交通工业中的应用

船舶

由于良好的耐海水腐蚀性能，许多铜合金，如：铝青铜、锰青铜、锡青铜、炮铜（锡锌青铜）、白铜以及镍铜合金（蒙乃尔合金）已成为船用的标准材料。通常在军舰和商船的总重中，铜和铜合金占2~3%。

舰船和大部分商船的螺旋桨用铝青铜或黄铜制造。大型螺旋桨每支重20~25吨。英国伊丽莎白皇后号和玛丽皇后号战舰的螺旋桨每只重达35吨。大船沉重的尾轴、轮舵和螺旋桨的螺栓常用“海军黄铜”制造。船上的引擎和锅炉也大量用铜和铜合金。世界上第一