



材料部分

第一分册

金属材料

中国科学院技术条件及进出口局
中国科学院干部进修学院

前 言

中共中央〔1981〕10号文件指出，科学院要抓好科研工作的基本建设。抓好器材工改善实验手段，是科研工作基本性建设的一个重要组成部份。

为建设一支具有高度文化知识和管理技术的科学器材队伍，适应科技现代化的需要，我院委托浙江大学、成都科技大学、西安光机所等单位编写了这套器材干部学习材料。定名为《科学器材试用教材》。全套书分为：仪器仪表、机械电工、材料、电子测量仪器、科学器材供应与管理五部分。其中：

仪器仪表：包括科学仪器与工业自动化仪表，十五个分册，由黄帮达同志主编；

机械电工：包括机械设备和电工器材，两个分册，由赵沔、李全铭同志主编；

材料：包括金属材料和非金属材料，九个分册，由佟锦川、胡仲培二同志主编；

电子测量仪器：由吴景洲、孙焕根二同志主编；

科学器材供应与管理：由陈东还同志主编。

此教材是根据器材工作的特点和我院常用的科学器材编写的。着重介绍科学器材的基本结构、原理、性能、参数、用途、使用维护技术及国内外发展动态。内容力求深入浅出，通俗易懂。

本教材适合具有一定工作经验的在职器材干部学习，也可作为培训具有高中文化程度的年青的器材干部的试用教材，还可供从事科研、生产、教学等部门实验、计划、管理干部学习参考。

在当今科学发展的情况下，科学器材日新月异，更新的速度也随之加速。此教材仅选择当前科学研究常用的仪器、设备和材料，今后将随着科学技术的发展不断地充实提高。

在教材编写过程中，得到了浙江大学、成都科技大学、厦门大学等单位的大力支持，谨致以衷心的感谢。向所有参加教材编写、修改及讨论工作的教师、科研和器材人员表示衷心的感谢。

这套教材是按照科学器材工作的要求和特点组织编写的，由于缺乏经验，不足之处在所难免，希望读者提出宝贵意见。

中国科学院技术条件及进出口局

中国科学院干部进修学院

一九八二年六月二十六日

编者的话

中国科学院是自然科学的综合研究机构。它所应用的金属材料，品种繁多，性能迥异，其中还包括许多刚刚研制成功或正在研制中的新型材料。所以，要求科研器材干部不仅要具有丰富地、系统地管理科学知识，还要具有一定水平的专业基础知识，方能胜任金属材料的供应与管理任务。为此，院物资局组织编写了这本金属材料试用教材，供我院器材干部业务学习使用。

本书的初稿，由西安光机所佟锦川同志于1980年9月编写完成，全书的内容包括：金属材料的基础知识，黑色金属材料，有色金属材料，具有特殊物理性能的金属材料，金属材料的保管知识等五个部分，共分二十四章。为适应科学院的用材特点，在内容的编排和选材上，一方面尽量照顾到传统性的分类法和国家标准，冶金工业部颁布的统一标准。另一方面则着重于介绍各种新型材料，适当地扩大这个方面的知识面。在讲述方法上，也力求适应科研器材工作的特点，以介绍各种材料的性能和用途为基点，推述与其性能，用途密切相关的组织结构机理。讲理论仅是为了更加明确地解释其性能，以便最终落实到合理的应用上。

本书的初稿，于81年8月在厦门召开的教材内容审查会上，由李洪光、李宗江、龚红德、袁锦杉、王岩、徐运刚、吴锦喜、恽稚辉、陈东还、白哲宗等同志进行了认真地审查，基本上肯定了初稿的内容，并提出了一些宝贵的修改意见。以后又经一年多的酝酿和广泛征求意见，于82年5月由佟锦川、刘维新、刘素莲、伊懋海、凌竞威、曾冠群、陈根林等同志，共同对原稿进行了认真审查和修改最后定稿。

在编写和修改本书的过程中，先后参考和选录了部分金属材料学方面的书籍和期刊，其详细名称附录于书后。此外，北京化冶所提供了“复合涂层金属粉末”一节的资料，有关领导和同志们给予了不少的支持和帮助，在此表示感谢。

由于编者的水平所限，加之掌握的资料也不足，在本书的具体内容方面一定有不少这样或那样的缺点和错误，希望得到读者的批评和指正。

编者

1982年7月9日 于北京

绪 论

到目前为止,正在不断发展着的元素周期表,已经排列了107种化学元素。其中金属元素就有80多种,约占四分之三。金属一般都具有光泽,具有良好的强度,塑性,导电,导热,加工等性能。按传统的习惯,金属分为黑色金属和有色金属两大类,黑色金属包括铁、铬、锰三种金属,其余的都是有色金属。主要的有色金属有铜、铝、镁、钛、镍、铅、锌、金、银、铂等。在工业上应用纯金属较少,因为纯金属的性能远不如它们的合金。如钢就是铁和碳的合金,黄铜就是铜和锌的合金,这两种合金的性能都比组成它们的单个金属的性能优越得多。钢材和铜材就是这些合金制成的材料,统称为金属材料。

按传统的习惯,金属材料也分为黑色金属材料 and 有色金属材料两大类。但是随着现代工业和科学技术的飞速发展,对金属材料性能的要求越来越高,已远远超出了一般结构材料和工具材料的性能范围,而要求在阐明物质的物理和化学特性本质的基础上,不断地研制出多种具有特殊功能的材料。随着这些功能材料的出现,金属材料的分类也变得复杂多了。如按材料的状态,可分为单晶材料,多晶材料,复合材料等。按材料的物理化学性质可分为高温材料,耐蚀材料,磁性材料,弹性材料,电性材料,膨胀材料,半导体材料,超导材料等。按材料的用途可分为建筑材料,结构材料,工具材料,电工材料,电子材料,涂镀材料,轴承材料,印刷材料,原子能工程材料等。目前金属材料的品种和规格已经多得难以数计,但是它还在迅速地发展着。

金属材料是工业、农业、国防建设和科学技术现代化的重要物质基础。诸如机器设备、厂房建设、武器装备、飞机、火箭、舰船、车辆、仪器、仪表、元件、器件、工具、农具等等的制造,都离不开金属材料,特别是在各种尖端科学技术领域内,越来越多地需要应用具有特殊物理化学性能的新型材料,已成为科学技术发展的先决条件。另外,各式各样的金属制品也是人类生活用具的重要组成部分。所以金属材料在人类的生产和生活两大领域内都占有相当重要的地位。

金属材料之所以获得如此广泛和大量的应用,是由于它具有多种非常优良的性能。我们应用金属材料,就是要充分利用它的各种优异的性能来为我们的各种预期目的服务。为了更合理的选用和供应金属材料,充分发挥它们的性能潜力,以达到提高质量,简化工艺和节约材料的目的,作为一个科研器材干部,熟悉和了解金属材料的各种性能,用途,以及与其性能和用途密切相关的组织结构和化学成份的机理,是十分必要的。

元素周期表

序 号	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A	13A	14A	15A	16A	17A	18A	19A	20A	21A	22A	23A	24A	25A	26A	27A	28A	29A	30A	31A	32A	33A	34A	35A	36A	37A	38A	39A	40A	41A	42A	43A	44A	45A	46A	47A	48A	49A	50A	51A	52A	53A	54A	55A	56A	57A	58A	59A	60A	61A	62A	63A	64A	65A	66A	67A	68A	69A	70A	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	78A	79A	80A	81A	82A	83A	84A	85A	86A	87A	88A	89A	90A	91A	92A	93A	94A	95A	96A	97A	98A	99A	100A	101A	102A	103A	104A	105A	106A	107A	108A	109A	110A	111A	112A	113A	114A	115A	116A	117A	118A	119A	120A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	127A	128A	129A	130A	131A	132A	133A	134A	135A	136A	137A	138A	139A	140A	141A	142A	143A	144A	145A	146A	147A	148A	149A	150A	151A	152A	153A	154A	155A	156A	157A	158A	159A	160A	161A	162A	163A	164A	165A	166A	167A	168A	169A	170A	171A	172A	173A	174A	175A	176A	177A	178A	179A	180A	181A	182A	183A	184A	185A	186A	187A	188A	189A	190A	191A	192A	193A	194A	195A	196A	197A	198A	199A	200A	201A	202A	203A	204A	205A	206A	207A	208A	209A	210A	211A	212A	213A	214A	215A	216A	217A	218A	219A	220A	221A	222A	223A	224A	225A	226A	227A	228A	229A	230A	231A	232A	233A	234A	235A	236A	237A	238A	239A	240A	241A	242A	243A	244A	245A	246A	247A	248A	249A	250A	251A	252A	253A	254A	255A	256A	257A	258A	259A	260A	261A	262A	263A	264A	265A	266A	267A	268A	269A	270A	271A	272A	273A	274A	275A	276A	277A	278A	279A	280A	281A	282A	283A	284A	285A	286A	287A	288A	289A	290A	291A	292A	293A	294A	295A	296A	297A	298A	299A	300A	301A	302A	303A	304A	305A	306A	307A	308A	309A	310A	311A	312A	313A	314A	315A	316A	317A	318A	319A	320A	321A	322A	323A	324A	325A	326A	327A	328A	329A	330A	331A	332A	333A	334A	335A	336A	337A	338A	339A	340A	341A	342A	343A	344A	345A	346A	347A	348A	349A	350A	351A	352A	353A	354A	355A	356A	357A	358A	359A	360A	361A	362A	363A	364A	365A	366A	367A	368A	369A	370A	371A	372A	373A	374A	375A	376A	377A	378A	379A	380A	381A	382A	383A	384A	385A	386A	387A	388A	389A	390A	391A	392A	393A	394A	395A	396A	397A	398A	399A	400A	401A	402A	403A	404A	405A	406A	407A	408A	409A	410A	411A	412A	413A	414A	415A	416A	417A	418A	419A	420A	421A	422A	423A	424A	425A	426A	427A	428A	429A	430A	431A	432A	433A	434A	435A	436A	437A	438A	439A	440A	441A	442A	443A	444A	445A	446A	447A	448A	449A	450A	451A	452A	453A	454A	455A	456A	457A	458A	459A	460A	461A	462A	463A	464A	465A	466A	467A	468A	469A	470A	471A	472A	473A	474A	475A	476A	477A	478A	479A	480A	481A	482A	483A	484A	485A	486A	487A	488A	489A	490A	491A	492A	493A	494A	495A	496A	497A	498A	499A	500A	501A	502A	503A	504A	505A	506A	507A	508A	509A	510A	511A	512A	513A	514A	515A	516A	517A	518A	519A	520A	521A	522A	523A	524A	525A	526A	527A	528A	529A	530A	531A	532A	533A	534A	535A	536A	537A	538A	539A	540A	541A	542A	543A	544A	545A	546A	547A	548A	549A	550A	551A	552A	553A	554A	555A	556A	557A	558A	559A	560A	561A	562A	563A	564A	565A	566A	567A	568A	569A	570A	571A	572A	573A	574A	575A	576A	577A	578A	579A	580A	581A	582A	583A	584A	585A	586A	587A	588A	589A	590A	591A	592A	593A	594A	595A	596A	597A	598A	599A	600A	601A	602A	603A	604A	605A	606A	607A	608A	609A	610A	611A	612A	613A	614A	615A	616A	617A	618A	619A	620A	621A	622A	623A	624A	625A	626A	627A	628A	629A	630A	631A	632A	633A	634A	635A	636A	637A	638A	639A	640A	641A	642A	643A	644A	645A	646A	647A	648A	649A	650A	651A	652A	653A	654A	655A	656A	657A	658A	659A	660A	661A	662A	663A	664A	665A	666A	667A	668A	669A	670A	671A	672A	673A	674A	675A	676A	677A	678A	679A	680A	681A	682A	683A	684A	685A	686A	687A	688A	689A	690A	691A	692A	693A	694A	695A	696A	697A	698A	699A	700A	701A	702A	703A	704A	705A	706A	707A	708A	709A	710A	711A	712A	713A	714A	715A	716A	717A	718A	719A	720A	721A	722A	723A	724A	725A	726A	727A	728A	729A	730A	731A	732A	733A	734A	735A	736A	737A	738A	739A	740A	741A	742A	743A	744A	745A	746A	747A	748A	749A	750A	751A	752A	753A	754A	755A	756A	757A	758A	759A	760A	761A	762A	763A	764A	765A	766A	767A	768A	769A	770A	771A	772A	773A	774A	775A	776A	777A	778A	779A	780A	781A	782A	783A	784A	785A	786A	787A	788A	789A	790A	791A	792A	793A	794A	795A	796A	797A	798A	799A	800A	801A	802A	803A	804A	805A	806A	807A	808A	809A	810A	811A	812A	813A	814A	815A	816A	817A	818A	819A	820A	821A	822A	823A	824A	825A	826A	827A	828A	829A	830A	831A	832A	833A	834A	835A	836A	837A	838A	839A	840A	841A	842A	843A	844A	845A	846A	847A	848A	849A	850A	851A	852A	853A	854A	855A	856A	857A	858A	859A	860A	861A	862A	863A	864A	865A	866A	867A	868A	869A	870A	871A	872A	873A	874A	875A	876A	877A	878A	879A	880A	881A	882A	883A	884A	885A	886A	887A	888A	889A	890A	891A	892A	893A	894A	895A	896A	897A	898A	899A	900A	901A	902A	903A	904A	905A	906A	907A	908A	909A	910A	911A	912A	913A	914A	915A	916A	917A	918A	919A	920A	921A	922A	923A	924A	925A	926A	927A	928A	929A	930A	931A	932A	933A	934A	935A	936A	937A	938A	939A	940A	941A	942A	943A	944A	945A	946A	947A	948A	949A	950A	951A	952A	953A	954A	955A	956A	957A	958A	959A	960A	961A	962A	963A	964A	965A	966A	967A	968A	969A	970A	971A	972A	973A	974A	975A	976A	977A	978A	979A	980A	981A	982A	983A	984A	985A	986A	987A	988A	989A	990A	991A	992A	993A	994A	995A	996A	997A	998A	999A	1000A	1001A	1002A	1003A	1004A	1005A	1006A	1007A	1008A	1009A	1010A	1011A	1012A	1013A	1014A	1015A	1016A	1017A	1018A	1019A	1020A	1021A	1022A	1023A	1024A	1025A	1026A	1027A	1028A	1029A	1030A	1031A	1032A	1033A	1034A	1035A	1036A	1037A	1038A	1039A	1040A	1041A	1042A	1043A	1044A	1045A	1046A	1047A	1048A	1049A	1050A	1051A	1052A	1053A	1054A	1055A	1056A	1057A	1058A	1059A	1060A	1061A	1062A	1063A	1064A	1065A	1066A	1067A	1068A	1069A	1070A	1071A	1072A	1073A	1074A	1075A	1076A	1077A	1078A	1079A	1080A	1081A	1082A	1083A	1084A	1085A	1086A	1087A	1088A	1089A	1090A	1091A	1092A	1093A	1094A	1095A	1096A	1097A	1098A	1099A	1100A	1101A	1102A	1103A	1104A	1105A	1106A	1107A	1108A	1109A	1110A	1111A	1112A	1113A	1114A	1115A	1116A	1117A	1118A	1119A	1120A	1121A	1122A	1123A	1124A	1125A	1126A	1127A	1128A	1129A	1130A	1131A	1132A	1133A	1134A	1135A	1136A	1137A	1138A	1139A	1140A	1141A	1142A	1143A	1144A	1145A	1146A	1147A	1148A	1149A	1150A	1151A	1152A	1153A	1154A	1155A	1156A	1157A	1158A	1159A	1160A	1161A	1162A	1163A	1164A	1165A	1166A	1167A	1168A	1169A	1170A	1171A	1172A	1173A	1174A	1175A	1176A	1177A	1178A	1179A	1180A	1181A	1182A	1183A	1184A	1185A	1186A	1187A	1188A	1189A	1190A	1191A	1192A	1193A	1194A	1195A	1196A	1197A	1198A	1199A	1200A	1201A	1202A	1203A	1204A	1205A	1206A	1207A	1208A	1209A	1210A	1211A	1212A	1213A	1214A	1215A	1216A	1217A	1218A	1219A	1220A	1221A	1222A	1223A	1224A	1225A	1226A	1227A	1228A	1229A	1230A	1231A	1232A	1233A	1234A	1235A	1236A	1237A	1238A	1239A	1240A	1241A	1242A	1243A	1244A	1245A	1246A	1247A	1248A	1249A	1250A	1251A	1252A	1253A	1254A	1255A	1256A	1257A	1258A	1259A	1260A	1261A	1262A	1263A	1264A	1265A	1266A	1267A	1268A	1269A	1270A	1271A	1272A	1273A	1274A	1275A	1276A	1277A	1278A	1279A	1280A	1281A	1282A	1283A	1284A	1285A	1286A	1287A	1288A	1289A	1290A	1291A	1292A	1293A	1294A	1295A	1296A	1297A	1298A	1299A	1300A	1301A	1302A	1303A	1304A	1305A	1306A	1307A	1308A	1309A	1310A	1311A	1312A	1313A	1314A	1315A	1316A	1317A	1318A	1319A	1320A	1321A	1322A	1323A	1324A	1325A	1326A	1327A	1328A	1329A	1330A	1331A	1332A	1333A	1334A</
--------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---------

金属材料

目 录

前言	
编者的话	
元素周期表	
绪论	
第一章 金属材料的基本性能	(1)
第一节 金属材料的一般物理性能	(1)
第二节 金属材料的化学性能	(2)
第三节 金属材料的机械性能	(3)
第四节 金属材料的工艺性能	(6)
第二章 金属的组织结构	(8)
第一节 金属的组织结构与性能的关系	(8)
第二节 金属的晶体构造	(9)
第三节 纯金属的结晶	(13)
第四节 合金的基本结构	(16)
第五节 相图	(17)
第六节 金属的塑性变形与再结晶	(20)
第三章 铁碳合金及其热处理	(24)
第一节 铁碳平衡图	(24)
第二节 钢的热处理	(27)
第三节 钢的热处理方法	(32)
第四章 生铁与钢的冶炼	(40)
第一节 生铁的冶炼	(40)
第二节 钢的冶炼	(41)
第五章 生铁及铁合金	(48)
第一节 炼钢生铁及合金生铁	(48)
第二节 铸造生铁	(49)
第三节 铁合金	(56)
第四节 铸铁管	(61)
第六章 钢	(62)

第一节 钢的分类及钢号表示方法.....	(62)
第二节 碳素钢.....	(68)
第三节 合金钢.....	(76)
第四节 特殊钢及特殊合金.....	(91)
第五节 铸钢.....	(101)
第七章 钢材.....	(107)
第一节 钢材的生产.....	(107)
第二节 钢材的分类.....	(113)
第八章 有色金属材料概述.....	(142)
第一节 有色金属材料的分类.....	(142)
第二节 有色金属的冶炼.....	(143)
第三节 有色金属及合金牌号表示方法.....	(145)
第九章 铝及铝合金.....	(148)
第一节 纯铝.....	(148)
第二节 铝合金.....	(149)
第三节 铸造铝合金.....	(159)
第四节 铝材的分类.....	(162)
第十章 铜及铜合金.....	(167)
第一节 纯铜.....	(167)
第二节 铜合金.....	(169)
第三节 铜材的品种与分类.....	(184)
第十一章 镁及镁合金.....	(186)
第一节 纯镁的基本性能.....	(186)
第二节 镁合金.....	(187)
第三节 铸造镁合金.....	(191)
第十二章 钛及钛合金.....	(193)
第一节 纯钛.....	(193)
第二节 钛合金.....	(195)
第十三章 镍及镍合金.....	(201)
第一节 纯镍和阳极镍.....	(201)
第二节 镍的冶炼方法.....	(204)
第三节 电真空用镍及镍合金.....	(206)
第四节 结构用的镍铜合金.....	(209)
第十四章 其他有色金属材料.....	(212)
第一节 重有色金属及其合金.....	(212)
第二节 轻有色金属.....	(236)
第三节 半金属.....	(239)
第四节 贵金属及其合金.....	(242)
第十五章 稀有金属材料.....	(263)

第一节 稀有轻金属.....	(263)
第二节 稀有高熔点金属.....	(265)
第三节 稀有分散金属.....	(273)
第四节 稀土金属.....	(277)
第五节 稀有放射性金属.....	(281)
第十六章 磁性材料.....	(287)
第一节 磁性材料的磁化和基本磁性能.....	(287)
第二节 软磁材料.....	(290)
第三节 硬(永)磁材料.....	(303)
第十七章 弹性材料和膨胀材料.....	(312)
第一节 弹性材料.....	(313)
第二节 膨胀材料.....	(326)
第十八章 热双金属片和热电偶材料.....	(352)
第一节 热双金属片.....	(352)
第二节 热电偶材料.....	(359)
第十九章 精密电阻材料和电热材料.....	(369)
第一节 精密电阻材料.....	(369)
第二节 电热材料.....	(380)
第二十章 半导体材料.....	(385)
第一节 半导体材料的特性.....	(385)
第二节 半导体材料的晶体结构.....	(386)
第三节 半导体的导电机构.....	(387)
第四节 标志半导体材料性能的主要参数.....	(390)
第五节 半导体材料的分类及其主要用途.....	(392)
第二十一章 超导材料.....	(405)
第一节 超导性能的概述.....	(405)
第二节 超导体.....	(409)
第三节 实用超导材料.....	(415)
第四节 实用超导材料的联接及热处理.....	(420)
第五节 超导材料的应用.....	(423)
第六节 低温条件及超导体研究的新方向.....	(428)
第二十二章 粉末冶金材料.....	(441)
第一节 粉末冶金的特点、工艺和分类.....	(441)
第二节 粉末冶金结构材料.....	(443)
第三节 粉末冶金工具材料.....	(451)
第四节 粉末冶金耐热材料.....	(457)
第五节 粉末冶金原子能工程材料.....	(461)
第二十三章 金属的腐蚀与防腐.....	(464)
第一节 金属的腐蚀.....	(464)

第二节	金属的防腐.....	(469)
第二十四章	金属材料的维护与管理.....	(471)
第一节	金属材料保管中的防腐方法.....	(471)
第二节	金属材料锈蚀程度与等级.....	(473)
第三节	金属材料的维护.....	(476)
第四节	防锈剂的选择与使用.....	(480)
第五节	金属材料的质量管理.....	(482)

附参考资料

第一章 金属材料的基本性能

为了合理地选用金属材料，充分发挥它们的性能潜力，以达到提高产品质量，节约材料和简化工艺的目的，学习研究金属材料的性能是十分必要的。

金属材料的性能，按其不同表现形式可分为物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能。

第一节 金属材料的一般物理性能

金属的物理性能包括比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。常用金属的一般物理性能见表1—1。

表1—1 常用金属的一般物理性能

金属的名称	元素符号	比 重	熔 点 ℃	线膨胀系数 $\alpha \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
镁	Mg	1.74	650	26
铝	Al	2.7	660.2	23.9
钛	Ti	4.54	1820	8.5
锌	Zn	7.13	419.5	39.7
铬	Cr	7.19	1890	6.2
铁	Fe	7.87	1539	11.7
镍	Ni	8.9	1455	13.3
铅	Pb	11.34	327.4	29.3
钨	W	19.3	3410	4.3

一、比重 (γ)：指单位体积的物质的重量。其计算式为

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (\text{g/cm}^3)$$

式中：

P——物质的重量，单位g。

V——物质的体积，单位 cm^3 。

根据比重可计算出零件的重量。这对于选材，节约材料是很重要的。如铝镁合金和钢，它们的比重分别为1.8和7.8，但它们的强度很相近，若用铝镁合金代替钢，制作同样尺寸的零件，材料重量可减轻 $\frac{2}{8} \sim \frac{8}{4}$ 。

根据比重，把金属又分为轻金属和重金属。一般把比重小于4.5的称为轻金属，如镁、铝、钛等。大于4.5的称为重金属，如铁、铜、铅等。

二、熔点：指金属由固态向液态开始转变的温度。研究熔点对于金属的冶炼、轧制、焊接及配制合金等都有非常实际的意义。熔点低的合金称为易熔合金。它可用来制造铅字、保险丝等。熔点高的合金称为难熔合金。它可用来制造耐高温的零件。

三、热膨胀性：指金属在受热时产生体积膨胀的性能。通常用线膨胀系数 α 来表示。即金属在温度升高 1°C 时，单位长度的伸长量。其单位是 $1/^{\circ}\text{C}$ 。制造精密的仪器仪表及电真空元件必须考虑材料的热膨胀性。另外热双金属片就是根据两种金属的不同热膨胀性制造的。

金属的冷缩性是与热膨胀性相反的过程。

四、导电性：指金属传导电流的能力。金属是电的良导体。但各种金属的导电性是不同的，银的导电性最好，其次是铜、铝。因银的价格昂贵，所以在电器工程上多采用铜、铝作输电线路（电线、电缆）。镍铬合金和铁铬铝合金的导电性能差，电阻大电阻温度系数小，电流通过时产生的热量大，所以用来作精密电阻元件和电热元件（电炉丝等）。

五、导热性：指金属传导热量的能力。金属的导热性一般均比非金属大得多。导热性愈好的材料散热就愈快、愈均匀。实用上常用导热性好的材料作散热器。

六、磁性：指金属被外磁场磁化或吸引的性能。根据磁性可把金属材料分为：

（一）铁磁性材料：指在外磁场作用下，能被强烈地磁化的材料。如铁、钴、镍等。铁磁性材料又可分为：

1. 软磁材料：指外磁场去除后，剩磁易被消除的材料。此种材料在反复磁化和退磁后，电能消耗量小，材料不易发热。变压器、电机和测量仪表等用的铁心——硅钢片，就是软磁材料。

2. 永磁材料：指外磁场去除后，剩磁不易消除的材料。直流发电机和电话机中的永久磁铁就是永磁材料。

（二）顺磁性材料：指在外磁场作用下，只能微弱被磁化的材料。如锰、铝、铬等。

（三）抗磁性材料：指能抗拒或削弱外加磁场磁化作用的材料。如铜、铝、锌、不锈钢等。

顺磁性材料和抗磁性材料也统称为弱磁性或无磁性材料。高合金奥氏体钢就是无磁钢。它用来制造要求磁化程度很弱或避免干扰电磁场的零件和结构材料，如罗盘盒、仪表壳等。

第二节 金属材料的化学性能

金属的化学性能主要指金属抗氧化或其他介质腐蚀的能力。金属的化学性能主要包括耐蚀性、耐酸和耐碱性、耐热性等。

一、耐蚀性：指在室温下金属及合金抵抗大气中氧和水蒸汽侵蚀的能力。耐蚀性差的金属会造成严重的锈蚀现象，如铁生红锈、铜生绿锈等。

二、耐酸性和耐碱性：指金属材料抵抗各种酸和碱类物质的侵蚀能力。化工机械设备及化学工业容器的选材上必须考虑材料的耐酸性和耐碱性。

三、耐热性：指金属在高温下能够保持足够的强度和硬度及抗氧化、抗腐蚀的能力。

第三节 金属材料的机械性能

金属材料在进行加工时或被制成各种机械零件在使用时，都要受到外力的作用，这个外力称为载荷。载荷的大小和方向不同，作用的情况也不同，有静止的、冲击的、变化的、不变化的等。按照载荷不同作用情况分为拉伸、压缩、扭转、剪切和弯曲五种应力状态。金属在承受外力时所表现出来的性能总称为金属材料的机械性能。金属材料的机械性能主要包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度和高温强度等。

一、强度：指材料在外力作用下，抵抗变形及断裂的能力。以单位面积所承受的载荷 kg/mm^2 表示。

材料强度按其所受外力状态的不同，可分为抗拉强度、抗压强度、抗剪强度、抗扭强度和抗弯强度五种。在实际应用中，抗拉强度用得最多，本文只介绍抗拉强度。

抗拉强度是通过拉伸试验测定的。以拉伸低碳钢为例，其拉伸曲线如图1—1所示

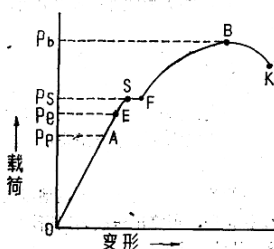


图1-1 低碳钢的拉伸曲线

从拉伸曲线图上可反映出材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形，直到断裂的全部力学特性。通常用比例极限、弹性极限、屈服强度和抗拉强度等概念来表示。

（一）比例极限：指负荷与变形成正比时的最大负荷除以试样原截面积。其表示式为：

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0}$$

（二）弹性极限：指试样只产生弹性变形的最大负荷除以试样原截面积。其表示式为：

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0}$$

表示为：

（三）屈服强度：指试样开始产生塑性变形时的最小负荷除以试样原截面积。其表示式为：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$$

图中6点为屈服点SF称为屈服平台。

对于屈服现象表现不明显的材料，如高强度合金钢、铜、铝等。它们的拉伸曲线上屈服平台很不明显，故工程上采用了条件屈服强度的概念。GB228—63中规定以产生0.2%残余变形时的应力称为条件屈服强度。用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(四) 抗拉强度：指试样在拉断前所能承受的最大负荷除以试样原截面积。其表示式为：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$$

二、塑性：指材料在外力作用下，不发生破裂的永久变形能力。常用的塑性指标有延伸率和断面收缩率。

(一) 延伸率：指试样拉断后的总伸长量与原始长度的百分比。其公式为：

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

由于试样在拉伸时的总伸长量是均匀伸长量与局部（缩颈）伸长量之和，其中缩颈的伸长量与试样的长度无关，因此，同样的材料如果所取试样长度愈小，则延伸率就愈大。为了便于比较，试样必须标准化。通常取试样长度为直径的五倍或十倍。其延伸率分别以 δ_5 、 δ_{10} 表示。

(二) 断面收缩率：指试样拉断后，横截面积的收缩量与原始横截面积的百分比。其公式为：

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$$

断面收缩率与试样的尺寸无关，它能较可靠地反映金属材料的塑性。

由于材质所引起的塑性降低， ψ 比 δ 反应敏感。因此，在大型锻件表面和内部不同部位取样时，有时 δ 相差不大，而 ψ 则相差悬殊。

对于薄板和薄壁管材，只能作延伸率的试验，而不能做收缩率的试验。

三、硬度：指金属材料抵抗硬的物体压陷表面的能力。

根据试验方法和适用范围不同，硬度可分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和肖氏硬度等。因实际应用中维氏硬度和肖氏硬度用得不多，所以本文着重介绍布氏硬度和洛氏硬度。

(一) 布氏硬度：是以一定直径的钢球，在一定的静载荷作用下，垂直地压入试样表面，在试样表面压出一个圆痕。根据圆痕的深度和直径，可算出压痕表面所承受的应力。用此应力值的大小来表示硬度值。用HB表示。其计算式为：

$$HB = \frac{P}{F} \approx \frac{2P}{\pi d(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

式中：P——所加静载荷，kg；

F——压坑表面面积， mm^2 ；

D——钢球直径，mm；

d——压坑直径，mm。

布氏硬度的特点是比较准确，因此用途较广。但也存在不能测高硬（HB450以上）、太薄试样及压痕大、易损坏表面等缺点。

(二) 洛氏硬度：是以规定的钢球或锥角为 120° 的金刚石圆锥体作为压头，分两段加压于试样，先初压（10kg），再重压。以两次压痕之差可求得硬度值。实际应用中不用进行计算，硬度计上有硬度指示器，可以直接读出硬度值。

根据不同的压入体和重压载荷，洛氏硬度分为三种标度，以测量不同的硬度范围。

如表 1—2 所示。

表 1—2

几种洛氏硬度适用范围

材料硬度范围 (HB)	压 入 器	载 荷(公斤)	洛氏硬度符号
60~230	φ1.58 毫米的淬火钢球	100	HRB(RB)
230~700	顶角为120°的金刚石圆锥体	150	HRC(RC)
>700	顶角为120°的金刚石圆锥体	60	HRA(RA)

洛氏硬度的特点是测量方法简便、压坑小、测量范围广。适宜测量热处理后硬度高的材料、半成品或成品等。

(四) 冲击韧性：指金属材料对冲击载荷的抵抗能力。冲击韧性可通过冲击试验求得。其表示式为：

$$\alpha_k = \frac{A_k}{S}$$

α_k ——材料的冲击韧性；

A_k ——冲击功（试样受一次冲击而断裂时所吸收的能量）；

S ——试验前试样的截面积。

实际应用中 A_k 可直接由试验机的刻度盘上读出。

五、疲劳强度

在许多情况下，机械零部件是在重复或交变的循环载荷下工作的（如拉伸、弯曲、扭转等），虽然所受的应力远少于材料的强度极限，但经长时间使用也会发生断裂。这种在交变载荷下的失效行为称为材料的疲劳。疲劳强度就是指金属材料能承受无数次或规定的周次重复交变应力作用而不断裂的最大应力。用 σ_r 表示。

影响疲劳强度的因素很多，主要是金属材料的内部缺陷、零件表面质量及应力集中等。一般常用提高纯度、细化晶粒、化学热处理、喷丸及表面淬火等强化处理，提高材料的疲劳强度。

六、高温强度

各种动力机组、燃气轮机及航空发动机等均是在高温条件下工作的，所以它们的一些零部件除要求常温性能外，还要求高温强度。随着国防、科研部门中高温高压技术的迅速发展，高温强度的研究将愈来愈被重视。

高温强度是指金属在高温下受外力作用时对变形和断裂的抵抗能力。通常用蠕变极限、持久强度、应力松弛及瞬时强度等来表示。下面只介绍蠕变极限及持久强度。

(一) 蠕变极限：金属在恒定的高温下，长时间受外力作用时，发生缓慢的塑性变形的现象称为蠕变现象。（实际上在低温下也会发生蠕变现象，但表现很不明显。）

蠕变可以在单一应力也可以在复合应力下进行，实际上，零部件往往是承受的复合应力。但是，通常的蠕变试验还是在拉伸条件下做的。典型的蠕变曲线如图 1—2 所示

图中，横坐标 t 表示试验时间，纵坐标表示蠕变变形量。 oa 为开始加载时所引起的塑性变形，一般是弹性变形。但如果所加应力超过金属的弹性极限，则 oa 除弹性变形外还含有塑性变形。即 $oa = oa' + aa'$ 。曲线 ab 为蠕变的第Ⅰ阶段，在这一阶段中，蠕变的速度较大，并随时间的增加而逐渐减小， bc 为蠕变的第二阶段，此阶段蠕变的速度较小，且基本不变，称蠕变的稳定阶段； cd 为蠕变的第Ⅲ阶段，此阶段蠕变速度较大，且随时间的增加而逐渐增加，直到 d 点断裂为止。

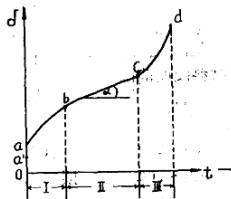


图 1-2 蠕变曲线

蠕变速度一般用 $\tan \alpha$ 表示。 α 为曲线倾角。

不同材料在不同条件下得到的蠕变曲线不同。同一种材料的蠕变曲线也随应力、温度的不同而不同，但曲线三阶段的特点不变，不过三个阶段的持续时间不同。当减小应力或降低温度时，蠕变的第Ⅱ阶段增长，第Ⅲ阶段甚至可能不发生。而当增加应力或提高温度时，蠕变的第二阶段随之缩短，甚至没有。这时试样将在很短时间内发生断裂。

蠕变极限是指金属在一定温度和规定的持续时间拉伸时，产生一定的蠕变变形量所需的应力。用 σ_{δ}^{τ}/t 表示。其中 τ 表示试验温度（℃）， δ 表示蠕变变形量（%）， t 表示试验时间（小时）。

（二）持久强度：指试样在一定温度和规定的持续时间拉伸时，引起断裂的应力。用 σ_t^{τ} 表示。其中 τ 表示试验温度（℃）。 t 表示试验持续时间（小时）。

第四节 金属材料的工艺性能

金属材料在各种加工过程中，所表现出来的接受加工的能力，称为金属的工艺性能。常见的如可铸性、可锻性、可焊性、切削加工性和冷弯性等。金属材料的工艺性能对零件的制造工艺，制造成本及使用范围等都具有重要意义。

一、可铸性：指金属经过熔化后，容易浇注成型的性能。它包括流动性、收缩性、偏析等。

（一）流动性：指金属在液态时能充满铸模的能力。流动性愈好，铸件质量愈高，愈易铸造复杂精密的零件。影响流动性的主要因素是金属和合金的化学成分。含 C 、 Si 、 P （特别是 P ）较高时，流动性就愈好。含 S 较多时流动性就差。

（二）收缩性：指金属由液态凝固时体积收缩的程度。收缩性愈小，铸件凝固时变形就愈小，铸件质量就愈高。反之，收缩性愈大，愈易产生缺陷，铸件质量就愈差。影响收缩性主要是化学成分、冷却速度和浇注温度等。

（三）偏析：指化学成分不均匀。偏析愈严重，铸件各部位的性能愈不均匀，铸件的可靠性愈差。偏析产生的原因是由于材料中含有熔点很低的杂质，它们很自然地集结在铸件内部而单独析出，从而造成铸件的化学成分不均匀。

常用的灰口铸铁、青铜、铸铝等均有良好的铸造性能。

二、可锻性：指金属经锻锤或模具的压力作用，产生塑性变形而不破裂的性能。金属的可锻性与化学成份和加热温度有关。

锻造可获得零件的初型毛坯，精密锻造可留很小的加工余量，节约大量的材料，通过锻造还可以大大改善金属材料的晶粒结构，提高质量。

三、可焊性：把金属材料局部快速加热，使需要接合的接头部分迅速熔化或半熔化状态，然后使两个分离体的接头牢固地结合成一体的性能，称为可焊性。金属的可焊性与化学成份和焊接条件有关。

四、冷弯性：指金属材料在常温下能承受弯曲而不破裂的能力。出现裂纹前能承受的弯曲程度愈大，则材料的冷弯性就愈好。金属材料的弯曲是靠弯曲处附近的塑性变形来实现的，因此塑性愈大，冷弯性能愈好。

五、切削加工性：指金属材料用切削工具（刀具、磨具）加工时，所表现出来的性能。在切削或磨削时，容易达到较高的表面光洁度，而工件不易损耗，切屑容易脱落，切削力较少等方面，都表示该金属材料的切削加工性好。

金属的切削加工性与其硬度有关。

第二章 金属的组织结构

金属的组织结构主要是指金属的原子构造、原子间结合的特点及金属的晶体构造等。金属的各种性能均是由其内部组织结构决定的。研究金属的组织结构，就是为了搞清金属各种性能的内在因素，从而通过不同方式，改变其组织结构，获得所需的良好性能。

第一节 金属的组织结构与性能的关系

金属材料客观上表现出来的性能主要是由金属的内部结构所决定的。同样是灰口铸铁，含石墨量也相同，但是由于石墨（在铁中）的不同形状（片状或球状）、大小（粗片或细片）、分布（均匀与不均匀）对灰口铸铁的性能有很大的影响。球状强度最大，细片次之，粗片最差。组织分布均匀的比不均匀的强度大。为进一步说明此问题，下面举几个例子：

一、纯铁的组织与性能的关系：如果我们取几块晶粒粗细不同的纯铁（铸态）作实验，虽然它们均是由铁素体组成，但结果证明晶粒愈细抗拉强度愈高，塑性愈好。（铸态纯铁若经过热轧之后，其组织得到细化，抗拉强度、塑性均得到提高。如果把纯铁冷拉成铁丝，其组织又发生了很大变化。晶粒被拉长，晶介变模糊，晶粒内部出现了许多线条（滑移线）。由于组织的变化，强度大大提高。若将此铁丝再经过退火处理，使纯铁的组织又恢复到铸态时的颗粒状铁素体，纯铁的强度、塑性都恢复到原来的水平。

如果在工业纯铁中加入1%的Ni、Mn、Si，由于它们的原子溶入了铁的晶体内，使铁的晶体结构发生了不同程度的变化，性能也就发生了不同的变化，硬度和强度均有明显的提高。

二、碳钢的组织与性能的关系：碳钢是铁和碳的合金，是当前工业上应用最广泛的金属材料。我们以工业纯铁、45*钢、T8钢为例来说明其组织与性能的关系。如表2—1所示。

表2—1 碳钢的组织与性能的关系

材 料	性 能	H _B	σ_b (kg/mm ²)	σ (%)	ψ (%)	显 微 组 织
纯 铁		80	25	50	80	铁素体100%
45* 钢		220	61	16	40	铁素体40% + 珠光体60%
T ₈ 钢		270	90	6	30	珠光体100%

从表2—1中可看出，铁素体的强度和硬度低而塑性高，珠光体的强度和硬度高，