

化学元素对钢的性能的影响

- 1、碳(C)：钢中含碳量增加，屈服点和抗拉强度升高，但塑性和冲击性降低，当碳量0.23%超过时，钢的焊接性能变坏，因此用于焊接的低合金结构钢，含碳量一般不超过0.20%。碳量高还会降低钢的耐大气腐蚀能力，在露天料场的高碳钢就易锈蚀；此外，碳能增加钢的冷脆性和时效敏感性。
- 2、硅(Si)：在炼钢过程中加硅作为还原剂和脱氧剂，所以镇静钢含有0.15—0.30%的硅。如果钢中含硅量超过0.50—0.60%，硅就算合金元素。硅能显著提高钢的弹性极限，屈服点和抗拉强度，故广泛用于作弹簧钢。在调质结构钢中加入1.0—1.2%的硅，强度可提高15—20%。硅和钼、钨、铬等结合，有提高抗腐蚀性和抗氧化的作用，可制造耐热钢。含硅1—4%的低碳钢，具有极高的导磁率，用于电器工业做矽钢片。硅量增加，会降低钢的焊接性能。
- 3、锰(Mn)：在炼钢过程中，锰是良好的脱氧剂和脱硫剂，一般钢中含锰0.30—0.50%。在碳素钢中加入0.70%以上时就算“锰钢”，较一般钢量的钢不但有足够的韧性，且有较高的强度和硬度，提高钢的淬性，改善钢的热加工性能，如16Mn钢比A3屈服点高40%。含锰11—14%的钢有极高的耐磨性，用于挖土机铲斗，球磨机衬板等。锰量增高，减弱钢的抗腐蚀能力，降低焊接性能。
- 4、磷(P)：在一般情况下，磷是钢中有害元素，增加钢的冷脆性，使焊接性能变坏，降低塑性，使冷弯性能变坏。因此通常要求钢中含磷量小于0.045%，优质钢要求更低些。
- 5、硫(S)：硫在通常情况下也是有害元素。使钢产生热脆性，降低钢的延展性和韧性，在锻造和轧制时造成裂纹。硫对焊接性能也不利，降低耐腐蚀性。所以通常要求硫含量小于0.055%，优质钢要求小于0.040%。在钢中加入0.08—0.20%的硫，可以改善切削加工性，通常称易切削钢。
- 6、铬(Cr)：在结构钢和工具钢中，铬能显著提高强度、硬度和耐磨性，但同时降低塑性和韧性。铬又能提高钢的抗氧化性和耐腐蚀性，因而是不锈钢，耐热钢的重要合金元素。
- 7、镍(Ni)：镍能提高钢的强度，而又保持良好的塑性和韧性。镍对酸碱有较高的耐腐蚀能力，在高温下有防锈和耐热能力。但由于镍是较稀缺的资源，故应尽量采用其他合金元素代用镍铬钢。
- 8、钼(Mo)：钼能使钢的晶粒细化，提高淬透性和热强性能，在高温时保持足够的强度和抗蠕变能力(长期在高温下受到应力，发生变形，称蠕变)。结构钢中加入钼，能提高机械性能。还可以抑制合金钢由于火而引起的脆性。在工具钢中可提高红性。
- 9、钛(Ti)：钛是钢中强脱氧剂。它能使钢的内部组织致密，细化晶粒力；降低时效敏感性和冷脆性。改善焊接性能。在铬18镍9奥氏体不锈钢中加入适当的钛，可避免晶间腐蚀。
- 10、钒(V)：钒是钢的优良脱氧剂。钢中加0.5%的钒可细化组织晶粒，提高强度和韧性。钒与碳形成的碳化物，在高温高压下可提高抗氢腐蚀能力。
- 11、钨(W)：钨熔点高，比重大，是贵重的合金元素。钨与碳形成碳化钨有很高的硬度和耐磨性。在工具钢加钨，可显著提高红硬性和热强性，作切削工具及锻模具用。
- 12、铌(Nb)：铌能细化晶粒和降低钢的过热敏感性及回火脆性，提高强度，但塑性和韧性有所下降。在普通低合金钢中加铌，可提高抗大气腐蚀及高温下抗氢、氮、氨腐蚀能力。铌可改善焊接性能。在奥氏体不锈钢中加铌，可防止晶间腐蚀现象。
- 13、钴(Co)：钴是稀有的贵重金属，多用于特殊钢和合金中，如热强钢和磁性材料。
- 14、铜(Cu)：武钢用大冶矿石所炼的钢，往往含有铜。铜能提高强度和韧性，特别是大

气腐蚀性能。缺点是在热加工时容易产生热脆，铜含量超过 0.5% 塑性显著降低。当铜含量小于 0.50% 对焊接性无影响。

15、铝(Al)：铝是钢中常用的脱氧剂。钢中加入少量的铝，可细化晶粒，提高冲击韧性，如作深冲薄板的 08Al 钢。铝还具有抗氧化性和抗腐蚀性能，铝与铬、硅合用，可显著提高钢的高温不起皮性能和耐高温腐蚀的能力。铝的缺点是影响钢的热加工性能、焊接性能和切削加工性能。

16、硼(B)：钢中加入微量的硼就可改善钢的致密性和热轧性能，提高强度。

17、氮(N)：氮能提高钢的强度，低温韧性和焊接性，增加时效敏感性。

18、稀土(Xt)：稀土元素是指元素周期表中原子序数为 57-71 的 15 个镧系元素。这些元素都是金属，但他们的氧化物很象“土”，所以习惯上称稀土。钢中加入稀土，可以改变钢中夹杂物的组成、形态、分布和性质，从而改善了钢的各种性能，如韧性、焊接性，冷加工性能。在犁铧钢中加入稀土，可提高耐磨性。

第二部分

1、化学成分的影响

在普通碳素结构钢中，除了铁和碳元素外，还有锰、硅、硫、磷等元素和氧、氢、氮等有害气体，其中纯铁约占 99% 左右，而其它元素仅占 1% 左右。在低合金结构钢中，除上述元素外还加入一定数量的合金元素，其总量不超过 5%。尽管碳和其它元素含量不多，但对钢的性能影响很大，其中以碳对钢的性能影响最大。

碳 C：是决定钢材性能的最主要元素。随着含碳量的增加，钢材的抗拉强度和屈服点上升，硬度增加；但伸长率、断面收缩率、冲击韧性均减少，冷弯性能和焊接性能变坏。因此，钢结构特别是焊接结构不宜用含碳量高的钢材制定。《钢结构设计规范》(TJ17-74) 所推荐的钢材，含碳量均不超过 0.22%。

锰 Mn：是一种脱氧剂。一部分固溶，一部分以硫化锰 MnS 的形式存在。锰能提高钢材的强度和硬度，且塑性和冲击韧性降低不多。由于锰在钢中能防止生成低熔点的硫化铁和硫化铁与氧化铁的共晶体，故可大大改善钢的热加工性能，消除热脆性的影响。在普通碳钢中，锰的含量在 0.25%~0.65% 范围内，在我国生产的低合金结构钢中，锰是主要的合金元素，如 16Mn 钢中，锰的含量在 12%~16%。锰的含量太多，会显著增加钢的淬火倾向，从而降低钢的可焊性。因此，焊接结构用的低合金锰钢其含锰量一般不超过 1.7%。

硅 Si：也是一种脱氧剂，它是以固溶状态存在，能提高钢的强度和硬度。但含硅量过多将降低钢材的塑性和冲击韧性，增加冷脆和时效的敏感性，可焊性也变坏。一般在镇静钢中，硅的含量在 0.10%~0.30%。

硫 S：是原料带入钢中的有害元素，它以硫化锰 (MnS) 的形式存在，当硫的含量过多或锰的含量不足时就以硫化铁 (FeS) 的形式存在。硫化铁是一种低熔点的化合物，尤其硫化铁与铁素体形成共晶体，其熔点更低，只有 985℃。因此，硫在钢中增加了钢材的红脆性和热裂倾向，使钢在热加工时容易发生开裂，这种现象称为“热脆”。此外，它还降低了钢的冲击韧性和疲劳强度。当钢中含碳量增加时，硫的偏析加剧，钢材的热脆倾向增大，焊接性能也变得更坏。因此，要严格控制结构钢中硫的含量，在普通碳素钢中一般不超过 0.050%，优质碳素钢中一般不超过 0.045%，普通低合金钢中一般不超过 0.050%。

磷 P：和硫一样也是由原料带入钢中的有害元素。随含磷量的增加，钢材在室温下的塑性和冲击韧性降低，在低温状态下，尤其当温度低于 -20℃ 时，上述倾向就更明显，使钢材容易发生脆断，这种现象称为“冷脆”。当钢中碳的含量增高时，磷的影响程度越显著，钢材的冷弯性能和焊接性能都变得更坏。因此，磷的含量也应严格控制，在普通

碳素钢中一般不超过 **0.045%**，优质碳素钢一般不超过 **0.040%**，普通低合金钢一般不超过 **0.050%**。

铝 Al: 铝是钢中的强脱氧剂，对于质量要求较高的钢材，常用铝来补充脱氧。铝还可与钢中的氮化合成非常细小的氮化铝 (**AlN**) 微粒，使结晶组织细化，形成细晶粒钢。这种钢材具有较高的冲击韧性和很小的冷脆倾向以及时效倾向，焊接时可减少热裂纹和冷裂纹的形成，改善钢材的焊接性能。

钛 Ti: 是钢中的强脱氧剂和除气剂，它能使钢的内部组织致密、晶粒细化。钛在钢中能与碳和氮作用生成碳化钛 (**TiC**) 和氮化钛 (**TiN**)，起稳定碳和氮的作用。合金钢中加入适量的钛可显著地提高钢材的强度和韧性，降低过热敏感性。在低合金钢中，还有钒 (**V**)、铌 (**Nb**) 等合金元素，它们对钢材性能的影响与钛元素相似。

氢 H: 是钢中形成氢白点的原因，使钢变脆。氢含量超高，氢脆性超大，使钢的机械性能和加工性能均变差。因此，存在氢白点的钢材一般不能用在重要结构上。

2.冷加工的影响

钢材在常温下经过冷拉、校直、弯曲、机械剪切等冷加工后，会产生不同程度的塑性变形，并使钢材的强度和硬度升高，塑性和韧性降低，这种现象称作冷作硬化或者称应变硬化。经过冷作硬化的钢材，在常温下放置一段时间后钢材的屈服点会进一步升高，抗拉强度也随之升高，而塑性和韧性进一步下降，这种现象称为应变时效。应变时效与钢中碳、氮的析出过程有关，使已经冷作硬化的钢材又产生时效硬化。冷加工过程虽然能提高钢材的强度，但是使塑性和韧性降低，增加了钢材的脆性，这对于承受动载荷和低温下工作的结构是十分不利的。因此，即使是一般的钢结构，也不利用冷作来强化钢材，而对于承受动载荷和低温下工作的结构还考虑冷作硬化对结构带来的不利影响。

3.温度的影响

温度对钢材的机械性能影响，对不同的结构钢种是不完全相同的，但总的说来与常温时相比，钢材在温度 **100℃** 左右时的强度、塑性和弹性模量均略有下降，温度进入到 **200—300℃** 时，抗拉强度和硬度上升，延伸率下降，钢材变脆，称为蓝脆性，对应的温度区称为蓝脆区。在蓝脆区内进行加工容易使钢材产生裂纹。当温度低于常温时，随着温度的降低，钢材的脆性逐渐增大，可能导致低温脆断。

1.2 钢材的种类、标志代号和特性

1.2.1 钢材的种类

用于制造各种机械零件和各种金属结构的钢，都属于结构钢。结构钢按其化学成分来分，主要有普通碳素钢和普通低合金钢两大类。普通低合金钢根据其热处理状态，又分为非调质钢和调质钢两类。非调质钢一般是以热轧状态或正火状态使用，简称低合金钢，而调质钢以调质状态（即进行淬火、回火热处理）使用，有时也称热处理低合金钢。

1.2.2 普通碳素钢

类钢的性能主要取决于含碳量，随着含碳量的增加，强度上升，塑性和可焊性下降。目前，我国工程结构中应用最广的是 **A3** 钢，其含碳量对于平炉钢在 **0.14%~0.22%** 范围内，对于转炉钢在 **0.10%~0.20%** 范围内，是属于低碳钢。**A3** 钢既有较高的强度 ($\sigma_s=240\text{MPa}$, $\sigma_b=420\text{MPa}$)，又有较好的塑性、韧性和良好的可焊性。**A2** 钢虽然含碳量低，具有更好的塑性和可焊性，但是其强度较低，经济效果差，仅用来作次要结构件；**A4** 钢虽然强度较高，但是由于含碳量增加，可焊性变差，脆性倾向增加，故不宜作金属结构件，尤其是受动载荷的焊接结构件。

世界各国在制造钢结构时使用钢材的情况与我国大致相同，即与我国的 **A3** 钢性能相接近，屈服点为 **220~250MPa** 的钢材应用得最为普通。如日本的 **SS41**、**SM41**，德国的 **St37**，美国的 **A3b** 和原苏联的 **CT3** 等。