**元素化学**

高中阶段元素化学的内容主要集中在必修1部分。元素化学的研究路线是通过对某种元素组成的具体单质或参与组成的具体化合物的研究，从而归纳出该元素的一些一般性质，例如可能的化合价、氧化性、还原性等等。以下的知识归纳将按照这个原则进行，在系统复习时，则可以采取相反的阅读顺序，从而对整个知识块先具备一个提纲挈领的认识。

**金属总论**

1. 一般金属的物理性质

**大多数**金属具有1良好的导热和导电性（热学和电学性质）、2有较高的熔点和沸点（热学性质）、3硬度大（材料力学性质）4良好的延展性（材料力学性质）、5表面有金属光泽（光学性质）。其中1导电性和导热性最好的金属都是**银**（然而由于价格昂贵，因此对银的这两个特性应用得很少，通常的电线导体部分使用的是导电性**仅次于银**的**铜**作为材料），而在**短周期中**导电和导热性最好的金属是**铝**，2熔点和沸点最高的金属都是**钨**，也就是当年Edison~~强行~~试验出来的灯丝材料，3硬度最大的金属是**铬**（铬的价电子排布，注意这里应用了全满原理，其六个价电子都可以形成金属键，从而具有极大的硬度水平），4延展性最好的是**金**，5而金属光泽则各有特色，并没有所谓的之最可言。值得注意的是，上述金属之最没有任何金属是位于短周期中的。

铁、铬、锰统称**黑色金属**，除此外的一切金属均为**有色金属**。

2. 一般金属的化学性质

金属活动性顺序：

原始口诀“钾钙钠镁铝，锌铁锡铅（氢），铜汞银铂金”，一般变式“捡个大美女，身体细纤轻，总共一百斤”，小然高能绅士版已删，如有需要请自行搜索……

【和氧气发生的氧化反应】

按照活动性顺序反应难度逐渐加大，对于三者，在空气中常温下就可以明显地迅速被氧化生成对应的氧化物：

点燃后生成对应的**过氧化物**：

往后走，到了 则只能在空气中**缓慢氧化**生成对应的氧化物膜，点燃后的产物和缓慢氧化的产物保持一致（一般只写点燃的方程式，但要知道可以缓慢氧化）：

注意到三种金属中，镁在空气中点燃就可以和氧气反应，而铝和锌则只不能在空气中点燃反应，只能在高纯的氧气中进行。

铁同样可以进行缓慢氧化和在氧气中的燃烧，但是反应过后铁的价态不同，因此提出来写：铁在空气中发生缓慢氧化生成三氧化二铁，价态直接降到-3：

但是在氧气中（同样不能在空气中燃烧）燃烧生成四氧化三铁，价态降到-2和-3，其比例为1:2（因此形式上氧化数为-8/3）：

（锡和铅与氧气的反应在中学阶段不考虑）

现在走到氢后面的这几种元素，其中在空气中缓慢氧化生成**碱式碳酸铜**，俗称**铜绿**：

这是一个化合，四种反应物仅仅生成一个产物，十分“原子经济”“绿色化学”。

在空气或氧气中无法燃烧，但可以**加热**生成对应的氧化物（加热条件实际上比点燃更严格，因为它说明物质本身无法剧烈反应，需要外界持续提供热源来越过能垒）：

在空气中无法被缓慢氧化，但可以在空气中加热，生成对应的氧化物：

（不考虑银）

铂和金则（使用中学阶段接触的手段）彻底无法和氧气发生反应。

【金属单质和酸或盐发生的置换】

3.合金

合金是由两种或两种以上的金属与金属或非金属混合形成的具有金属特性的物质。通常合金比构成它的金属**熔点降低**、**硬度提高[[1]](#footnote-1)**。以下介绍几种常见的合金：

①钠钾合金：由于钠和钾都是低熔点金属，（并且弄成合金以后又再一次拉低了熔点），因而钠钾合金在常温下为**液态**。通常用于作原子反应堆的导热剂。

②青铜：青铜是纯铜（由于纯铜呈红色，因而又称为红铜）和锡/铅的合金，是**我国使用最早的合金**（注意不一定是世界最早）。

**碱金属 钠**

1. 金属钠

物理性质

钠在常温下是银白色固体，熔点低(370K,97°C)，硬度小。密度介于煤油[[2]](#footnote-2)和水之间。

制取

工业上通过**电解熔融氯化钠**来获得金属钠，同时可以得到副产品氯气（这里仅仅只是作为副产品，主要目的是得到金属钠，而在氯碱工业中通过电解饱和食盐水获得氯气和氢氧化钠，这是获得氯气的首选手段，因为熔融氯化钠需要消耗大量能量）：

强还原性：和非金属的反应

钠具有强还原性，即非常容易给出电子。

在空气中可以被氧气迅速氧化，生成**白色**的氧化钠固体：

由于钠会被空气中的氧气氧化，因此钠不能直接暴露在空气中，通常保存在**煤油**或**液状石蜡**中（碱金属家族中，钠和钾可以采用这两种保存方式中任意一种，而锂[[3]](#footnote-3)则只能保存在液状石蜡中，这是由于它们的密度大小关系, 金属为了完全浸没在液面下，显然必须保存在比自身密度更小的液体中）。

钠在点燃的条件下可以生成过氧化钠**淡黄色**固体：

当我们需要以空气为原料制取时，通常需要将空气用**碱石灰[[4]](#footnote-4)**处理，以去除其中含有的和水蒸气，以避免它们和进一步反应生成和. 具体的方程式请参考下一小节论述的内容.

对于与氧同族且非金属性更强的硫而言，显然同样可以轻松地和钠发生化合：

该反应可能发生爆炸(Excited!).

注意到钠不能直接和空气中（点燃条件下也不行）的二氧化碳反应。

强还原性：和质子的反应

钠可以和质子发生氧化还原，质子夺取钠的电子成为氢气：

该反应即钠在酸中的反应，钠与水的反应实质也是和**水电离出的氢离子**反应，但注意到和水反应的离子方程式不能写成与酸反应的形式，因为书写离子方程式的原则是只能写上大量存在的物质，弱电解质（如水）不能拆开来写。钠和水反应的化学方程式为：

这个反应有如下四个著名现象及其原理：

①钠浮在水面上 — 钠的密度比水小

②钠熔化成小球 — 反应放热，钠的熔点低[[5]](#footnote-5)

③钠在水面游走 — 反应生成了气体

④酚酞变红 — 反应生成了碱性物质（要求水中预先加了酚酞）

注意到实际反应中酸常常含有水，这就涉及到反应的顺序问题。虽然二者的反应机理一致，但在酸中，显然由酸电离出的要比水电离出的高出几个数量级，因此我们认为钠加入酸以后**先和酸反应**。

钠和盐的反应是**钠和水的反应**（生成碱）及**碱盐复分解**的合并。

强还原性：和金属的置换反应

由于钠优先和水发生反应，因此不能有效地将盐溶液中的活动性差的元素置换出来，但可以在液态下还原四氯化钛获得金属钛：

2. 氧化钠和过氧化钠

和的反应

上一知识点已经提到，氧化钠是**白色粉末**，而过氧化钠是**淡黄色粉末**。氧化钠作为一种典型的**碱性氧化物**，可以和酸反应生成对应的盐和水：

考察上述反应，其本质是对离子的争夺，由于的氧化性要大于的氧化性（或者考虑Na-O键的键能要小于H-O键的键能，后者的稳定性更强），因此夺取了与结合的资格。这意味着即使钠变成了氧化物，氢离子和钠的战争却并没有结束，只不过从争夺电子变成了争夺氧。

氧化钠和水的反应本质也是和水电离出的氢离子的反应（两边消去一个水分子）：

过氧化钠和酸发生歧化反应，过氧根中的一个氧原子成为1/2molO2,另一个氧原子成为OH-中的一部分：

注意到反应在酸性环境中进行，右边的氢氧根将继续被氢离子反应：

如果反应在水中进行则可以避免氢氧根的消耗：

对比氧化钠和过氧化钠与水反应的最终方程式，形式上看，区别只在于过氧化钠中多出的一个氧原子作为氧气放出。

实质上，和水的反应历程是先**交换了过氧根和**，之后氧化钠进行普通的碱性氧化物和水的反应，而过氧化氢则进一步发生分解，这一历程可以通过“在和水反应后的溶液中加入发现继续产生气体”得到证明，表明仍然有一部分的并没有被完全消耗（虽然和水的反应能够提供相当的热量，但仍然还是不够的），的并不彻底分解意味着原方程式中的等号实际上是不够严密的[[6]](#footnote-6)。因而实验中如果需要测定样品的浓度，单纯地溶解后对进行滴定则会由于的存在引起误差：①是由于其强氧化性可能引起指示剂的褪色，②是由于其弱酸性可能干预滴定的进程（注意单单使反应物彻底形成并不能算目的之一，这是因为碱纯粹是氧化钠方面生成的，只要氧化钠已经完全反应，碱的量就确实可以和原来的直接建立起量的关系）。为此在溶解过程中我们就必须考虑消除其影响：方法1是先将蒸馏水加热煮沸，趁热加入样品溶解，方法2是可以考虑加入等不溶的催化剂, 待气泡释放完全后将其过滤掉，由此可以尽可能避免的存在所造成的影响.

和的反应

氧化钠和过氧化钠均可以和二氧化碳发生反应：

二者反应方程式的表观区别和它们与水的反应是一致的，即多出的一个氧原子变成了氧气。

当氧化钠/过氧化钠被置于空气中时，空气中同时含有水和二氧化碳，需要考虑反应的顺序问题，由于二者和水反应生成的可以和反应并生成水，因此可以认为二者**先和发生反应**。

注意到在上述反应中，对于水和都是“原子经济的”，即如果把一定质量的水蒸气和的混合气体通过足量的, 则质量增加量就是原来气体的质量。

对于，考虑气体的变化量，注意到与等物质的量的和反应放出的气体物质的量相等，都等于原气体的一半；考虑固体的变化量，在和水反应的方程式两边约掉一个氧原子则剩下, 在和二氧化碳反应的方程式两边约掉一个氧原子则剩下CO, 这意味着（如果我们把上面的CO2和H2O视为是由氢气/一氧化碳和氧气反应得到的话）氢气/一氧化碳和氧气的反应中获取的氧将全部被放走，推广以后我们可以得到如下结论：把一定质量的符合通式的物质在氧气中反应中得到的气体，通过足量的, 则增加的质量与等于.

过氧化钠的强氧化性

在上述离例子中过氧化钠发生的都是歧化反应，实际上由于过氧根的存在，过氧化钠具备强氧化性，可以氧化一些著名的还原剂，并且可以使**品红褪色**，当过氧化钠加入酚酞中时，溶液的颜色将会**先变红再褪色**。

3. 氢氧化钠

氢氧化钠俗名**火碱**、**烧碱**、**苛性钠**，是著名的强碱，具有强碱的一般性质。

和酸性氧化物的反应：

4. 碳酸盐：碳酸钠（正盐）和碳酸氢钠（酸式盐）

物理性质

碳酸钠俗名**纯碱**、**苏打**，是白色**粉末状**固体，易溶于水；

碳酸氢钠俗名**小苏打**，是细小白色晶体颗粒，易溶于水，由于在水中依靠氢键而形成二聚/多聚体，因此在水中的溶解度比碳酸钠小。

日常生活中的**食用碱**是碳酸钠和碳酸氢钠的混合物。一般是通过碳酸钠吸收二氧化碳；制取得到的粉末

值得注意的是，一般情况下，多元酸的**酸式盐比正盐的溶解度高**，但对于**可溶的**碳酸盐和碳酸氢盐则是相反的。注意碳酸氢盐由于钻穿效应而一定可溶，因而对于**难溶的**碳酸盐（除钾钠铵可溶、碳酸钙微溶外，其余均难溶）来说，酸式盐**仍然**比正盐溶解度高。

在溶液中的存在状态

我们知道水溶液中碳酸根发生二级水解：

对于第一级水解，当溶液中的氢离子浓度增大时，右边的氢氧根被消耗，反应持续向正方向进行，表观上看就是发生了到的转化（两边消去一分子水）：

因此加入适量的酸可以促使从碳酸钠到碳酸氢钠的转变，为了不引入其他离子，常见的策略是通入:

但如果引入的过量则会引起第二级水解，产生气体：

当然，向溶液中加入碱将会抑制第一级水解，从而导致转变为:

由此我们知道，碳酸钠和碳酸氢钠在溶液中的本质区别仅在于**氢离子浓度**的不同导致的**碳酸根水解程度**的不同。二者的许多性质差异本质均来源于此。

因此碳酸钠和酸的反应**必然要先生成碳酸氢钠**再继续进行。

碳酸氢盐受热分解

碳酸氢钠受热不稳定，容易发生分解（在下就几乎已经完全分解）：

利用这个反应可以把碳酸氢钠转化成碳酸钠。注意到该反应形式上和把通入溶液中的方程式是互逆的。

事实上，所有的碳酸氢盐受热后都容易分解为对应的碳酸盐、水和二氧化碳，例如自来水中常含有**碳酸氢钙**，在烧水后会转变为碳酸钙沉淀，成为**水垢**的成分之一：

注意该方程是典型的酸式盐分解为正盐，溶解度减小而形成沉淀。

鉴别

根据和的性质差异，可以有许多种方法鉴别它们：  
 ①（固体）加热法：受热不分解，受热产生能使澄清石灰水变浑浊的气体；

②沉淀法：加入溶液或溶液，产生沉淀的是溶液：

不能加入或作为检验手段，这是因为碳酸氢钠将会先和碱进行反应，由此得到的碳酸根和/同样生成沉淀，因此无法实现鉴别效果。

③（等物质的量浓度下）气体法：滴加稀盐酸，立即产生气泡的是溶液。

④（等物质的量浓度下）pH法：用pH试纸测试，pH较大的是溶液。

因此实际上靠谱的只有对于固体的加热法和对于溶液的沉淀法（当然你也可以把固体配成溶液）。

总结：钠暴露在空气中的变化

根据上面的内容我们可以总结一下钠暴露在空气中的变化过程：

以上生成的中间产物十水合碳酸钠俗称**面碱**，可以用于面食发酵。

**碱土金属 镁**

高中对镁的介绍以从海水中提取镁的工业流程为线索。

【制取】

从**海水**中提取镁可以分为以下四个过程：

①获取**石灰乳**：

由于贝壳的主要成分就是碳酸钙，因此第一个反应可以通过煅烧海边大量存在的贝壳实现。

②将海水引入石灰乳，以的形式沉淀：

由于海水中存在大量氯离子，上述反应写作化学方程式时，阴离子写, 即

③接着将被沉淀的从溶液中滤出，跟盐酸走一波中和反应将镁元素释放出来：

该反应同时生成了两分子的水，因此得到的产物首先实际上是, 需要将其在**干燥的氯化氢气流**中加热才能得到无水氯化镁。这是因为如果直接加热则会因促进水解而形成氢氧化镁, 在气流中加热则可以抑制水解过程。

注意到在上述两个过程中将先沉淀后溶解最终仍然得到, 滤掉了海水中的其他不和氢氧根形成沉淀的阳离子，实际上是镁元素的纯化过程。

④电解**熔融氯化镁**，将镁元素单质化：

【镁的燃烧】

镁可以在许多气体中燃烧：在氧气（空气浓度即可）中燃烧发出耀眼的白光，生成白色氧化镁固体：

事实上镁的白光不仅仅具有亮瞎眼上的意义，还可以用作许多需要见光反应的“光催化剂”.

在二氧化碳中燃烧生成白色氧化镁和黑色碳单质：

在氮气中燃烧生成**黄绿色**的氮化镁粉末：

以上三个方程式表明了镁在空气中燃烧时实际上有多种产物生成. 但主要是氧化镁.

**p区金属 铝**

1. 金属铝

金属铝既能够和酸反应生成又能够和碱反应生成:

注意到当铝遇到强氧化性酸如浓硝酸、浓硫酸时会发生**钝化**，即在表面生成一层致密的氧化膜（注意该氧化膜并不是单纯的, 所以请不要认为它可以和酸反应），阻止内部金属进一步发生反应。

由于铝具有还原性，在反应中容易失去电子，并且当铝转化为氧化铝时会释放出大量的热，因此工业上常常利用铝来还原金属氧化物，称为**铝热反应**，最经典的铝热是还原氧化铁的反应：

该反应被应用在焊接铁轨：将铝粉和氧化铁的混合物点燃，由于反应大量放热，置换出的铁（熔点1535℃）以熔融态流至铁轨的裂缝中，冷却后就将铁轨焊接在一起。注意到氧化铝的熔点比铁高（2054℃）因此不会混入铁轨中。

2. 氧化铝

氧化铝是典型的**两性氧化物**：

3. 氢氧化铝

氢氧化铝是典型的**两性氢氧化物**：

需要注意的是氢氧化铝仅溶于强酸或强碱，碳酸、氨水等弱碱不能与其发生反应。

4. **铝三角**

从电荷守恒上看，铝的以上三种形式都是铝的不带电状态。对三者引入带正电的后则转变为铝的正电荷状态, 引入带负电的后则转变为铝的负电荷状态. 同时注意到铝的正电和负电状态同样可以转化为不带电的状态（注意到核心均为）：

以上八个方程式中质子/氢氧根的系数均可以按照电荷守恒来记忆。

更有趣的是正负电荷状态可以通过**双水解**而发生中和：

这个反应的机理解释如下：作为弱碱阳离子的发生水解释放出:

作为弱酸阴离子的发生水解释放出:

两个水解反应相互促进，合并后即得到双水解的方程式。

4. 金属铝的制备（从铝土矿中提取）

工业上通过**铝土矿**（主要成分为氧化铝）来制取铝，主要分以下四个步骤：

①利用碱将氧化铝反应，从而与其他成分分离：

②将铝元素沉淀化生成, 为后面的提炼做准备：

这个反应中的离子变化还是比较有趣的：首先一份的和反应生成的碳酸提供了一个, 剩余的则是一个离子，而后偏铝酸根离子与及剩下一份的发生反应形成沉淀，而上面多出的则被视作与结合形成了碳酸氢钠。

③加热生成:

④电解熔融氧化铝：

注意到氧化铝的熔点非常高，因此在此过程中常常加入**冰晶石**（即六氟合铝酸钠）以降低其熔点。

**副族元素2：铜**

1. 存在形式与制取

铜在自然界有多种矿物形式，如赤铜矿（主要成分为氧化亚铜），辉铜矿（主要成分为硫化亚铜）, 注意上述矿物中铜以的二聚形式存在，化合价均为+1.

赤铜矿可以和辉铜矿**混合加热**得到金属铜：

为什么可以直接将两种矿物混合得到金属而不需要外加还原剂呢？这是因为辉铜矿中本身含有-2价的S作为还原剂提供电子,两种矿物中的缺电子Cu可以直接从S中得到所需要的电子还原成金属铜。在这个氧还中辉铜矿同时充当了氧化剂和还原剂。

**碳**

1. 碳单质和无定形碳

碳单质

碳是典型的具有两种常见的同素异形体的元素（另一种有两种常见同素异形体的是磷，有白磷和红磷两种单质，以及氧，有氧气和臭氧两种单质）：**金刚石**和**石墨**。金刚石碳原子之间以共价键连接，形成牢固的重复正四面体结构，因此硬度非常之高，是世界上**硬度最高**的物质。而石墨是一种分层结构，每一层中的碳原子处于同一个平面内，形成重复的六边形结构，而层间则以范德华力联系（这是高中的讲法，实际情况要更复杂一些，但总之只需要知道层间相互作用很弱就行了），因此石墨质地软，层间很容易脱落，因此用于作润滑剂、铅笔芯。

以上事实说明：同素异形体之间物理性质不同的原因是碳原子之间的排列方式、成键方式不同。

除金刚石和石墨外，近年还得到了另一种足球状的碳单质，称为或**石墨烯**，作为一种新材料在许多领域得到了广泛的应用。

无定形碳

无定形碳是由**石墨**的微小晶体和少量杂质构成的**混合物**，往往没有固定的几何外形，因此称为无定形碳。常见的无定形碳包括木炭、活性炭、炭黑和焦炭四类（注意到无定形碳的名词在构词上通常称为去掉“碳”的石字旁，称之为“炭”）。其中**木炭**和**活性炭**是疏松多孔的结构（事实上，活性炭是木炭通过水蒸气高温处理得到的结构，因此比木炭更疏松多孔），具有很大的表面积，能够吸附流体中的微粒，因而具有**吸附性**（注意吸附性是物理性质），可以用在防毒面具中。

2. 碳单质的化学性质

同素异形体的化学性质是一样的。

注意到碳的原子结构，第二层作为最外层有4个电子，因此既不容易得到电子也不容易失去电子，在常温下性质稳定，但在较高温度条件下则活性增强，可以和许多物质起反应。

可燃性

碳在点燃条件下和空气中的氧气发生燃烧反应（当然在纯氧中也可以）生成二氧化碳：

当氧气不足时，则发生不完全燃烧生成一氧化碳：

至于具体在什么条件下发生完全/不完全燃烧是容易计算的（这里只给出质量关系，物质的量关系从系数中很容易得到）：设有的碳和的氧气反应，则

将以上两个质量比作为分界点，很容易在数轴上确定出其他比例时的燃烧产物情况。

还原性

注意到碳单质为0价，而碳最高可以升到+4价，因此单质碳有很强的失去电子的潜力，可以夺取其他物质中的氧而被还原。例如在高温下还原氧化铜：

注意这里一步被还原到了+4价，假如只还原到+2价的, 由于其仍然具备还原性，因而必然还会进一步还原到.

工业上使用碳的还原性冶炼铁（这里以氧化铁为例，对于氧化亚铁和四氧化三铁也是类似的）：

再来一个归中反应，可以视为使用还原, 仍然需要在高温下进行，不过产物是:

3. 二氧化碳

碳循环

二氧化碳是自然界中意义非常重大的一个物质。**碳循环**是最重要的元素循环，生产者们通过光合作用将空气中的碳固定到有机物中，这些有机物之后将在（生产者自产自销或到达消费者体内）通过呼吸作用转变成二氧化碳释放出去；此外，化石燃料的燃烧也会产生二氧化碳。

物理性质

二氧化碳常温下为气态，密度大于空气，但在 时就会转变为固态的二氧化碳，即**干冰**。易溶于水，1体积的水可以溶解1体积的二氧化碳气体（等体积溶解），注意二氧化碳溶于水时部分转变为碳酸形式（在下面化学性质中详述）。

化学性质：作为燃烧介质

二氧化碳不可燃，一般不助燃，但活泼金属可以在二氧化碳中燃烧，夺取其中的氧使二氧化碳还原成碳单质。例如镁在中的燃烧：

该反应生成两种固体：白色的氧化镁和黑色的碳单质。

钠和二氧化碳的反应比较复杂，中学阶段不予考虑。

化学性质：和水反应生成酸

上面提到，二氧化碳在溶于水时，会和水反应生成**碳酸**，因而能够使得石蕊试液变红（由于是弱酸，因此只是浅红色）：

碳酸在水中发生可逆的二级电离：

碳酸不稳定，在**加热**条件下易分解：

化学性质：作为酸性氧化物和碱反应生成碳酸盐

最典型的是和反应生成碳酸钙, 由于反映生成的碳酸钙是沉淀，因此可以用于二氧化碳的检验：

**卤族元素 氯**

1. 氯气及其衍生物

【物理性质】

氯气是**黄绿色**、有刺激性气味的有毒气体，密度比空气大。氯气能溶于水, 1体积水可以溶解**2体积**的氯气[[7]](#footnote-7)。

氯气加压后变为液态，称为**液氯**，可以储存在钢瓶中，便于运输和使用。

【制备方法（氯从-1到0的升价反应）】

工业上通过**电解饱和食盐水**的方法获得氯气（同时获得另一种重要的化工原料），被称为**氯碱工业**：

该反应是电解池反应，阳极周围的失去电子变为0价而生成氯气，阴极周围**由水电离出的的**获得电子变为0价而生成氢气，注意到由于氢离子的减少，阴极周围的pH上升（在方程式中表现为生成了NaOH），若在阴极附近溶液中滴入酚酞可以看到溶液颜色变红。

氯碱厂的取址需要考虑多方面的因素：①从环保角度，氯碱厂应位于城市的下风向处、饮用水取水口的下游，远离居民区；②从上下游工业交通便捷的角度，应靠近海水，靠近以烧碱、氯气为原料的厂区。

典型的下游工业例如制取盐酸（只需要把两种气体产物混合点燃）、漂白粉（注意到海边贝壳具备丰富的Ca元素，很容易得到大量的石灰乳和氯气混合得到数量可观的漂白粉，具体的反应会在一会详述）

实验室中则一般通过**二氧化锰和浓盐酸反应**制备氯气：

在上面的反应中，+4价的锰夺取了-1价的氯的电子，使得氯失去电子变为0价而生成氯气，锰元素得到电子则从+4价降低到+2价。该反应表明的氧化性强于，既然如此，含有更高价即+7价锰当然也可以作为氧化剂和盐酸反应制取氯气，其反应中的化学计量数相对更大：

注意到该反应不需要加热，这表明了物质氧还性差异越大，反应越容易发生，所需要的反应条件也就越温和. HCl还可以和其他强氧化剂反应生成氯气，例如和. 这些反应中均有一部分Cl由-1价被夺取电子升高到0价. 另一部分Cl则作为盐和阳离子结合生成还原产物.

实验室中氯气的制备装置及其优化、变形将在实验化学专题详述.

【**氧化性**：作为助燃剂的氯气（氯从0到-1的降价反应）】

氯气的氧化性最直接体现在其作为**助燃剂**（正如氧气一样）。毫无疑问，氯在其中充当氧化剂，夺取其他物质的电子，从0价被还原到-1价。许多物质都可以在氯气中燃烧[[8]](#footnote-8)：

①钠在氯气中燃烧，火焰为**黄色**（和钠的焰色反应一致），产生**白烟**，生成白色的氯化钠固体：

注意到钠非常活泼，在氯气中**不需要被点燃**即可发生反应。

②铁在氯气中燃烧：

注意到铁在氯气中燃烧**直接被氧化成+3价**生成三氯化铁。

③铜在氯气中燃烧（实际实验中的操作是先将铜丝在酒精灯上灼烧，再迅速伸入装有氯气的集气瓶中），火焰为**绿色**（和铜的焰色反应一致），产生**棕黄色烟**，生成**棕黄色**的**无水氯化铜**：

由以上三个反应推广，**任何金属在氯气中燃烧均被氧化成最高价态**，这从一个方面体现了氯气的强氧化性。

④氢在氯气中燃烧：

氯化氢溶于水后得到盐酸。工业上常常通过这一途径来制取盐酸。

⑤磷（白磷/红磷）在氯气中燃烧：

磷的燃烧同样**不需要被点燃**。

【**次氯酸** **次氯酸盐**（氯从0到+1和-1的歧化反应）】

氯气可以和水发生十分典型的歧化反应，生成**盐酸**和**次氯酸**。在歧化反应中氯将同时表现出氧化性和还原性：

在上面的反应中，一半的氯原子得到另一半氯原子的电子（自身氧化还原）, 0价的氯一半失去电子变为+1价，生成次氯酸，另一半得到电子变为-1价，生成盐酸。氯气溶于水并与水反应得到的混合物称为氯水。由于上述反应是可逆的，因而氯水中的成分包括以下**五种**成分：. 新制的氯水呈黄绿色是由于其中溶解的.注意到氯水和前面提到的液氯是不同的概念。

次氯酸由于含有+1价的氯而具有**极强的氧化性**。强氧化性使得次氯酸①具有**漂白性**，②能够杀死水中的细菌而起到**消毒**作用；③次氯酸**不稳定**，在光照条件下，分子中的氯夺取氧的电子而导致次氯酸发生分解，释放出氧气：

结合上述两个反应可知，氯水长期放置以后将会变成盐酸。

如果溶液中存在碱，则盐酸和次氯酸可以进一步和碱发生中和[[9]](#footnote-9)生成相应的**盐酸盐**和**次氯酸盐**。例如，氯气和氢氧化钠溶液的反应可以合并写作：

消去上式两边1计量数的水分子得到：

注意到由于碱的存在，使得氯气和水反应的产物得到消耗，从而使反应得以完全进行。氯气和氢氧化钠的反应常常用于在工业中和实验室里**吸收氯气尾气**。

另一个重要的氯气和碱溶液反应的实例是氢氧化钙：

工业上以氯气和石灰乳（氢氧化钙+水）为原料制造**漂白粉**。因此漂白粉的主要成分是上述反应产物中的.但只有次氯酸钙是有效成分，其漂白机理为：

从方程式可以看出，次氯酸钙本身并没有漂白能力，而是其与碳酸反应得到的**次氯酸**具有漂白能力。该反应说明了**次氯酸的酸性弱于碳酸**。

既然实际上漂白粉利用的是起初的次氯酸的强氧化性，那么**作为储存介质**的盐的阳离子是哪一种就并没有什么关系，例如，也可以用次氯酸钠代替次氯酸钙作为漂白粉的主要成分。但次氯酸钠制成的产品主要用于**消毒**（如**84消毒液**）而非漂白，这体现了上面提到的次氯酸的第二个性质。

从漂白粉的使用中我们可以得到一个经验，即如果需要临时获得获得一种酸性弱于碳酸的酸，只需要准备带有该酸根的盐并隔绝空气，使用时将其暴露在含有H2O和CO2的空气中即可，相当方便。

漂白粉是白色或灰白色的粉末或颗粒，有显著的氯臭味。

如果漂白粉暴露在空气中同时被暴晒，则会由于的分解而发生进一步的反应，分解生成的盐酸和碳酸钙反应产生（注意到这是漂白粉中分来就具有的无效成分），注意到盐酸和碳酸钙的比例可以恰好反应，因此（在不考虑吸收空气中的前提下）最后的产物就是纯粹的溶液！

2. 卤素的氧化性顺位 **溴**和**碘**

【物理性质】

通常状况下，溴是**深红棕色**的液体，纯的液溴**易挥发**，而如果是溴的水溶液（即**溴水**）则**不易挥发**；碘是**紫黑色**的固体，**易升华**（气体为**紫色[[10]](#footnote-10)**）。二者在水中的溶解度都很小，但易溶于酒精、四氯化碳等**有机溶剂**。

【化学性质】

高中阶段没有提到溴的化学性质。对于碘，由于淀粉遇碘变蓝，因而二者可以互相检验。这一性质在试题中的常见表现是用**淀粉-碘化钾试纸**来**检验氯气**（离子方程式在下面一小节）。当试纸变蓝时即说明氯气的存在。

【氧化性顺位 提取溴和碘单质的方法】

电负性规律告诉我们，在同一主族中向上走元素的电负性递增，对于卤族元素而言，也就意味着电负性：F>Cl>Br>I. 容易得到它们单质的氧化性：F2>Cl2>Br2>I2. 如果将这个排序理解为活动性顺序，那么可以得到一个简单的常用结论：活动性强的元素单质就可以从活动性弱的元素的盐中将其置换出来。例如用氯气置换出溴单质和碘单质的离子方程式：

第一个方程式指明了从海水中提取溴的一个方法。工业中通常将氯气通入**提取粗食盐后**的**母液**中，将溴离子转化为溴单质, 然后再鼓入热空气或水蒸气（高温），使溴从溶液中挥发出来，冷凝后得到粗溴，精制粗溴得到高纯溴单质。

海水中的浓度很低，所以工业上并不直接用海水来提取碘，而是利用海洋中某些植物（如海带）富集碘的能力。海带所含的碘在浸泡时可以以的形式进入水中。

3. 卤素离子的检验 卤素银盐

卤素离子使用**稀硝酸**和**硝酸银**配合检验。

氯离子和硝酸银中的银离子结合生成氯化银**白色**沉淀：

然而不仅仅是氯离子，其他**非卤素阴离子**也有可能和银离子结合生成沉淀，例如碳酸根和硫酸根（中学阶段只考虑这两种）：

但这两种沉淀都**溶于**稀硝酸：

第二个置换反应中的是一个弱酸根，因此符合强酸制弱酸的原则（但不会生成硫酸）。

氯化银是不溶于硝酸的，所以经过稀硝酸的过滤，剩下的唯一沉淀的离子只能是氯离子。在实践中一般是**先**在待测溶液中加入稀硝酸**使其酸化**，再加入硝酸银。

实际上对于溴离子和碘离子也可以通过和氯离子相同的原理和方法检验（注意到氟离子不行），但三者在沉淀颜色上是不同的：氯化银是白色沉淀，而溴化银是**淡黄色**沉淀，碘化银是**黄色**沉淀。

这三种卤素银盐在光照下都易分解：

其实这几个反应是非常有意思的，注意到银在金属活动性中处于非常不活泼的位置（说明非金属性较强），而卤素的非金属性也很强，因此这几个方程式实际上是这两种强非金属物质的电子争夺过程，在光照的帮助下，最终是夺回了本属于它们的电子成为单质。注意到由于氟元素的守护能力非常强，因此在光照下不能发生分解。

4. 氯元素的性质总结

【常见化合价 该化合价下的元素性质】

氯元素常见化合价有-1,0,+1,+3,+5,+7. 相应物质举例：

-1价：这一价态下的氯能够失去电子，被还原到0价；失去电子的两个途径是电解和被氧化性更强的元素夺取。第1知识点中氯气的制备一小节里给出了这两种方式的实例：工业走电解法，实验室走**+4价锰**（MnO2）的夺取法，当然也可用氧化性更强的+7价锰（如高锰酸钾）来做这个夺取工作，这时锰元素同样是落到+2价：

0价：

上面第1知识点已经详细阐释了氯在0价下的降价反应和歧化反应。

+1价：

次氯酸见光分解，+1价氯氧化氧原子直接降到-1价。高中阶段不涉及有关以下三种酸及其盐的反应方程式。

+3价：

+5价：

+7价：

注意不能简单地判定氯元素随价态升高氧化性不断增强。

**氧族元素 氧**

1. 空气

空气是混合物，其中各主要成分的体积分数如下：氮气, 氧气, 稀有气体, 二氧化碳, 其他气体. 注意到体积分数不等于质量分数（但可以推算出来）。我们将上述数据简化成的氮气和的氧气，则空气的**平均式量**可以按照下式计算

应用中一般取近似值**29**. 由于阿伏伽德罗定律保证了等物质的量气体体积的一致性，因而将其他气体的式量和空气对比就可以得到气体之间的密度关系，并且判断该种气体在空气中的流向，例如二氧化碳式量为44, 比空气重，因而会下沉，而氢气式量为2, 比空气氢得多，因而会上升.

一般地，假设有两种密度为的气体（不妨设）按的比例混合，容易证明该混合气体平均密度的口算路线（实质上是加权平均算法）：

①计算密度差

②计算比例分配

上式在取值计算时尽量取更容易计算的一个式子。

2. 氧气

物理性质

氧气在通常状况下是无色无味的气体，比空气略重（）, 液态氧和固态氧呈淡蓝色. 氧气难溶于水，水中大约只能溶解氧气.

3. 过氧化物

过氧化物具有相当强的氧化性.

**硫**

1. 硫单质

物理性质

**硫**(sulphur)元素在自然界中以游离态和化合态两种形式存在。硫单质是黄色晶体，俗称硫磺，主要存在于火山喷口附近或地壳的岩层里。硫单质不溶于水，微溶于酒精，易溶于二硫化碳

化合态的硫主要形式是硫化物和硫酸盐，常见的有

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 硫铁矿 | 黄铜矿 | 石膏 | 芒硝 |
|  |  |  |  |

值得注意的是硫铁矿并非铁和硫的直接反应产物（见下一小节）而是二硫化铁,其中的硫元素以-1价形式存在，比较特殊，而黄铜矿中的硫则是常规的-2价.

此外，硫还是一种生命元素，存在于甲硫氨酸Met和半胱氨酸Cys,以及其他某些非基本氨基酸中，因此参与蛋白质的元素构成，这也正是煤、石油、天然气中经常含硫元素的原因. 由于天然硫的存在，人类从远古时代起就知道并利用硫和硫的化合物了，最经典的即黑火药反应“一硫二硝三木炭”

氧化性（S从0价到-2价的降价反应）

与金属反应时，硫夺取金属中的电子降到-2价：

在上面的反应中，铁只被氧化成+2价，而铜只被氧化成+1价，表明单质硫的**氧化性较弱**.

另一个实用的硫与金属反应实例是在处理不慎洒落的汞时，撒上硫粉以对其进行回收：

注意到这里Hg被氧化成了+2价，然而这里有一个问题：根据金属活动性顺序，Hg的还原性比Cu小，但却竟然在更简单（不需要加热）的条件下就被氧化成了更高价态，这是一个不符合氧化还原理论的特例（可能与铜原子的价电子排布有关）。

硫在与某些（非金属性更弱的）非金属反应时也会显示氧化性，例如在氢气中燃烧生成**硫化氢**气体，以及和碳在高温下（工业中使用硫蒸气通入燃烧的炭火）生成**二硫化碳**：

二硫化碳常温下是无色液体，是一种单质硫的良好溶剂，具有神经毒性. 工业生产过程中如果气密性不佳则可能由于吸入大量的蒸汽导致神经系统中毒. 实验室中残留在试管内壁上的硫可以用出去（注意戴口罩），也可以用热的溶液除去（实质是发生了歧化，见下面的小节）

还原性（S从0价到+4价的升价反应）

硫或**含硫物质**在空气或氧气中燃烧产生**二氧化硫**（不会直接产生三氧化硫，这表明了单质硫同样中庸的还原性）：

这里S被氧夺走2个电子，由0价升高到了+4价。这一过程在含硫化石燃料的燃烧过程中也会发生（从而间接导致了酸雨的形成，见下一知识点）. 注意这个反应并不存在量的问题，单质硫的燃烧产物只会是.（当然存在催化剂时无疑可以发生继续反应）

歧化反应

在氯气一知识块中我们知道，氯气可以在碱中发生歧化（和水的反应本质也可以视为和电离出的OH-的作用）。事实上，许多非金属都可以在OH-的作用下发生歧化，并且非金属性越强越容易发生歧化。对于氯气这种高度活泼的非金属而言，不需要任何条件就可以与碱发生歧化（甚至在pH=7的水中都可以，足见其条件之宽松）。但硫的非金属性要弱得多，因此硫只有在**加热**、**浓碱**（但不必标浓）的条件下才能够发生歧化：

硫的常见化合价比较多，因此在分析歧化时需要特别注意硫的变价情况，一般情况下元素变价均只变成相邻的常见价态，在上述反应中，硫歧化成-2价和+4价。

关于不同价态硫的归中反应，由于涉及多种硫的化合物，因此放在硫的性质总结中进行叙述。

多硫化物

硫有时会以多硫化物的形式存在，例如等，这些多硫化物具备分子结构，互为**同素异形体**.

2. 硫的氧化物

SO2

二氧化硫是无色、有刺激性气味的有毒气体，是大气污染物之一；易溶于水，通常情况下1体积水可以溶解约40体积的.

SO2和SO3的相互转换

常见的氧化物为+4价下的S02和+6价下的SO3, 二者之间可以互相转化：

上述反应是可逆反应，且需要在催化剂作用下进行（工业中用五氧化二钒V2O5, 在空气中则由**烟尘中的金属氧化物**作催化剂也可以实现缓慢氧化）。在正反应中，氧气夺取了硫元素中的2个电子，从而硫被进一步氧化成+6价，氧气中的氧则升高到-2价加入到氧化物的组成部分中。这一反应导致了化石燃料燃烧产生的二氧化硫转化为三氧化硫。

作为酸性氧化物的性质

二氧化硫和三氧化硫作为**酸性氧化物**，可以与碱反应生成对应的酸和水：

同时它们也可以和水反应生成相应的酸：

注意二氧化硫和水的反应是可逆的，而三氧化硫和水的反应则不可逆.

大气中的三氧化硫溶于水后形成硫酸，称为**酸雨**。

总结一下酸雨的形成过程，分为以下三个步骤：

SO2的漂白性

SO2能够与**品红溶液**中的有色物质**化合**生成不稳定的无色物质。

3. 硫酸

上一节提到SO2和SO3之间可以实现相互转化，但对于亚硫酸和硫酸而言（通过氧气氧化的路线）只有从+4到+6的不可逆单向转换：

当然除了O2以外，还有其他氧化剂可以夺取+4价硫的电子，如H2O2, Cl2, KMnO4等。

硫酸的制备

目前工业上采取**接触法**生产硫酸，其工艺步骤为：

这一步骤也可以用含硫矿石进行，例如硫化亚铁FeS:

该方程式中氧气夺取了+2价铁的1个电子和-2价硫的6个电子，将Fe氧化到+3价，将S氧化到+4价，氧则强行拿到了许多电子。

接下来的两个步骤的过程和酸雨的后两个步骤本质上是一样的，但工业上采用的是V2O5作为催化二氧化硫氧化反应的催化剂：

工艺的第二步骤中反应所需的能量是由反应本身放热提供的。

物理性质

浓硫酸是无色、粘稠的油状液体，沸点高，难挥发。

浓硫酸（和硫酸根离子）可以和水结合形成水合硫酸（水合硫酸根离子）。这个过程中形成大量稳定的氢键，因此浓硫酸有①**吸水性**，可以用作某些气体的**干燥剂**；并且浓硫酸与水混合时大量放热。为了避免稀释时硫酸溶液溅出，应当采取的操作是：**将浓硫酸沿器壁注入水中，并用玻璃棒不断搅拌**。

化学性质

高中阶段认为稀硫酸完全电离：

而浓硫酸中由于水分子非常少，电离十分困难，主要是以**硫酸分子**的形式存在。因此浓硫酸相对于稀硫酸（具有酸的一般通性）有一些特殊的化学性质。其中最主要的是②**脱水性**和③**强氧化性[[11]](#footnote-11)**：

脱水性是指把物质中的氢和氧以2:1的比例夺取，例如夺取蔗糖中的氢和氧，使之**炭化**变黑。高中没有解释具体机制。

浓硫酸能够氧化许多金属和非金属，尽可能多地夺取其中的电子，从而将它们氧化到最高价态。S则从+6价降到+4价：

但对更活泼一些的金属，例如铁和铝等，浓硫酸和其接触时会在表面生成一层氧化膜，阻止进一步的反应，即发生了**钝化**。

4. 硫元素的性质总结

硫元素常见化合价有-2,0,+4,+6. 相应物质举例：

-2价：一些金属和非金属硫化物，如FeS, H2S, Cu2S, HgS, CS2等。

0价：硫单质。

+4价：SO2, H2SO3及亚硫酸盐。

+6价：SO3, H2SO4及硫酸盐。

-2价硫和+6价硫发生归中反应，生成0价和+4价硫：

-2价硫和+4价硫发生归中反应，生成0价硫：

0价硫和+6价硫发生归中反应，生成+4价硫：

**氮**

1. 氮气

【物理性质】

氮气无色无味，密度略小于空气，难溶于水。氮气是现代地球大气的主要成分，占空气比例的78%, 贡献了大部分的空气密度

【化学性质】

氮气在常态下不活泼。

氮气可以在放电或高温的条件下与氧气反应生成一氧化氮：

这一反应发生在雷电固氮过程中（放电条件）、汽车尾气中产生氮的氧化物过程（高温条件）。

氮气可以和氢气在严格条件下反应生成氨：

量化而言反应条件中的温度和压力一般控制在. 该反应的可行性是工业合成氨的基础，在氨一节中将详细介绍关于利用该反应合成氨的有关细节。

【用途】

由于氮气在温和条件下不活泼，因此常常用来在焊接金属时作保护器、液氮作为冷冻剂使用；另一方面由于生物体对氮元素的需求，氮可以用来制取化肥；而高价氮的强氧化性则使得氮气可以用于制取炸药。

2. 氮的氧化物

氮有很多种价态的氧化物，其中**只有**三氧化二氮(+3)和五氧化二氮(+5)是酸性氧化物，它们和水反应只生成对应的酸（亚硝酸和硝酸）：

【一氧化氮和二氧化氮】

常见的稳定存在氮的氧化物是一氧化氮和二氧化氮, 一氧化氮是无色无味的气体，而二氧化氮则是红棕色的、有刺激性气味的气体，通常硝酸呈黄色就是因为其中溶有少量的气体。注意到无论是还是对人体都是有毒的。

它们都不是酸性氧化物，其中一氧化氮**难溶于水**且不能和水发生反应，二氧化氮则可以与水发生反应，生成硝酸和一氧化氮：

该反应的机理如下，二氧化氮(+4)先和水反应发生歧化生成亚硝酸(+3)和硝酸(+5)：

亚硝酸(+3)在酸性环境下不稳定，再次发生歧化生成硝酸(+5)和一氧化氮(+2)：

以上两个方程式合并即得到最上面的二氧化氮和水反应的方程式。

注意到如果是在碱性环境下，亚硝酸根可以稳定存在，不会发生分解，因此二氧化氮和碱的反应为：

反应中保留了亚硝酸根，不会产生一氧化氮气体，因此NaOH溶液可以用于氮氧化物气体的吸收，适合工业尾气中气体的处理。

3. 氨气

物理性质

氨气是有刺激性气味的气体，极易溶于水，易液化。

化学性质

氨气可以和氧气反应生成一氧化氮：

这就是38324,14122的横批"4546"的来源.

反应中0价氧夺取-3价氮的电子，氮升到+2价。注意该反应必须在催化剂和加热的条件下进行，因此氨气和空气中的氧气并不会发生反应。

氨气溶于水中**部分**形成一水合氨，一水合氨是一种弱碱，在水中发生不完全电离：

氨气溶于水形成的液体称为氨水，由于电离出了少量的, 氨水呈弱碱性（注意不能说氨水是一种弱碱，氨水是混合物！）.

氨气和氯化氢反应生成氯化铵固体：

4. 铵盐

由铵根（）和酸根离子结合形成的盐称为铵盐。铵盐都是**无色或白色**晶体，**易溶**于水。

铵盐一般不稳定，受热易分解放出氨气：

铵盐在稀碱溶液在不加热时生成一水合氨：

在**加热**或在**浓碱**溶液中则放出氨气：

**氧化性顺位**

1. 一般比两种金属的熔点都低，比两种金属的硬度都高。这和混合后密度的归中是不同的。 [↑](#footnote-ref-1)
2. 煤油密度0.8g/cm3 [↑](#footnote-ref-2)
3. 锂在常温下并不会和氧气发生反应，但大概由于有缓慢氧化的缘故，仍然需要被液封起来。 [↑](#footnote-ref-3)
4. 主要成分是和 [↑](#footnote-ref-4)
5. 注意这并不能说明Na的反应速率快 [↑](#footnote-ref-5)
6. 对反应机理的理解揭示了更多方程式的信息，甚至其中的不足之处，这就是我们研究反应机理的目的。 [↑](#footnote-ref-6)
7. 对于这里的“溶解”应当有一个准确的理解：后面将提到，氯气能够和水发生可逆反应生成盐酸和次氯酸，**这部分反应掉的氯气算在溶解的2体积之内**。正如盐酸发生完全电离，但浓度仍按原来没有电离的氯化氢的浓度算。 [↑](#footnote-ref-7)
8. 教材所举的例子从Na, Fe到Cu, 分别代表了活泼金属、中等活泼金属和不活泼金属在氯气中的燃烧。只有最不活泼的Pt和Au才不能在氯气中燃烧。 [↑](#footnote-ref-8)
9. 必须承认这种叙述方式是十分不科学的，因为氯气和水的反应本质其实就是Cl2和水电离出的OH-的反应，这里却又将前者作为因来作这个方程式的合并。可能这也正是高中化学教材没有这样叙述的原因。但这里是高中知识体系的归纳，为了记忆线索形成的方便采取这一叙述方法。 [↑](#footnote-ref-9)
10. 注意“日照香炉生紫烟”描述的并不是碘的升华，只是水汽在光下的折射和散射现象。 [↑](#footnote-ref-10)
11. 有资料表明这可能是由于浓硫酸中存在SO3, 但高中阶段不要太在意这个。 [↑](#footnote-ref-11)