

硫

存在形式	硫单质（菱形硫、单斜硫、弹性硫），硫化物、硫酸盐
物理性质	淡黄色脆性固体，不易传热，电的优良绝缘体，不溶于水，可溶于一些有机溶剂
化学性质	<p>与氧相似，但不如氧气活泼</p> <p>有氧化性，一定条件下，硫与氢、碳或金属作用可生成硫化物</p> $\text{H}_2 + \text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$ $\text{C} + 2\text{S} \rightarrow \text{CS}_2$ $\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$ $\text{Zn} + \text{S} \rightarrow \text{ZnS}$ $2\text{Ag} + \text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{S}$ <p>有还原性，硫与氧、氟等金属，与浓硫酸、浓硝酸等氧化剂作用可生成氧化数为+4 或+6 的化合物</p> $3\text{F}_2 + \text{S} \rightarrow \text{SF}_6$ $\text{S} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{S} + 6\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
用途	制造硫酸、硫化橡胶、医药原料（如治疗皮肤病）
单质的制取	<p>i. 把含有天然硫的矿石隔绝空气加热，使硫熔化，与沙石等杂质分开</p> <p>ii. 进行蒸馏，硫蒸气冷却后形成微细结晶的粉状硫（硫华）</p> <p>iii. 从黄铁矿中提取硫时，将矿石和焦炭的混合物放在炼硫炉中，在有限的空气中燃烧，分离出硫</p> $3\text{FeS}_2 + 12\text{C} + 8\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 12\text{CO} + 6\text{S}$

硫化氢

特征	<p>无色、有臭鸡蛋味、密度比空气略大</p> <p>有剧毒，空气中的硫化氢含量达到 0.1% 会使人感到头痛、头晕和恶心，严重会昏迷至死亡</p>		
物理性质	能溶于水		
化学性质	<p>硫化氢水溶液，也称氢硫酸是弱酸(石蕊试纸变红)，有酸的通性</p> <p>氢硫酸受热，硫化氢会从水中逸出</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20%;">还原性</td> <td> <p>硫化氢中的硫元素处于最低氧化数 (-2)，因此它可以被不同的氧化剂氧化，生成不同氧化数的产物</p> $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ <p>-2 0 +4 +6</p> <p>i. 硫化氢通入稀硝酸时，有红棕色的二氧化氮气体和黄色的硫产生</p> </td> </tr> </table>	还原性	<p>硫化氢中的硫元素处于最低氧化数 (-2)，因此它可以被不同的氧化剂氧化，生成不同氧化数的产物</p> $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ <p>-2 0 +4 +6</p> <p>i. 硫化氢通入稀硝酸时，有红棕色的二氧化氮气体和黄色的硫产生</p>
还原性	<p>硫化氢中的硫元素处于最低氧化数 (-2)，因此它可以被不同的氧化剂氧化，生成不同氧化数的产物</p> $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ <p>-2 0 +4 +6</p> <p>i. 硫化氢通入稀硝酸时，有红棕色的二氧化氮气体和黄色的硫产生</p>		

		$\text{H}_2\text{S} + 2 \text{HNO}_3 \rightarrow 2 \text{NO} + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>ii. 将硫化氢通入浓而过量的硝酸，则生成硫酸和二氧化氮</p> $\text{H}_2\text{S} + 8 \text{HNO}_3 \rightarrow 8 \text{NO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4$ <p>iii. 将硫化氢通入浓硫酸，则析出硫（浓硫酸不能作为硫化氢的干燥剂）</p> $3\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{S} + 4 \text{H}_2\text{O}$ <p>iv. 硫化氢和二氧化硫两种气体混合，生成黄色硫</p> $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow 3 \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>将硫化氢通入经过酸化的高锰酸钾溶液，则溶液的紫色迅速褪去，析出硫</p> $5\text{H}_2\text{S} + 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 5\text{S} + 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 8 \text{H}_2\text{O}$
	可燃性	硫化氢是可燃的气体 <p>i. 空气充足的条件下能完全燃烧发出淡蓝色火焰，生成水和二氧化硫</p> $2 \text{H}_2\text{S} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ <p>ii. 空气不足时，发生不完全燃烧，生成水和硫单质</p> $2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$
	热分解	温度较高时，硫化氢分解成氢气和硫 $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} + \text{H}_2$
制取	用硫化铁（II）和稀盐酸或稀硫酸反应 $\text{FeS} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}$ $\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$	
检验	醋酸铅（II）试纸遇到硫化氢会变成深棕色或黑色 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{PbS}$	

二氧化硫

物理性质	无色、有刺激气味的毒气，密度比空气大，溶液液化（沸点低），易溶于水	
化学性质	酸性	酸性氧化物，溶于水后部分与水反应，生成亚硫酸或亚硫酸酐 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$ 亚硫酸不稳定，容易分解成二氧化硫和水 $2\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ 亚硫酸容易被氧化剂氧化（如氧气、双氧水），生成硫酸

氧化性	<p>遇到较强的还原剂，能显示其氧化性</p> <p>例如： 在高温和催化剂存在条件下，二氧化硫可以将一氧化碳氧化成二氧化碳，本身还原为硫</p> $\text{SO}_2 + 2\text{CO} \rightarrow \text{S} + 2\text{CO}_2$ <p>用途： 工业上利用这反应从含有二氧化硫的废气回收硫</p>
还原性	<p>i. 在温度和催化剂存在条件下，可被氧化成三氧化硫</p> $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ <p>ii. 二氧化硫能把浓硝酸还原成二氧化氮</p> $2\text{HNO}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NO}_2$ <p>iii. 二氧化硫可以迅速将经过酸化的重铬酸钾溶液还原成铬盐（检验二氧化硫存在）</p> $3\text{SO}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ <p>iv. 二氧化硫可以迅速将经过酸化的高锰酸钾溶液还原成锰盐（检验二氧化硫存在）</p> $5\text{SO}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
漂白作用	<p>二氧化硫能和某些有色物质反应，生成不稳定的无色物质，但加热时，无色物质又会发生分解，回复原来的颜色，因此用二氧化硫漂白的物质日久后会变色</p> <p>例如：漂白的银耳、漂白免洗筷子（长期食用会对肝、肾脏等造成损害和致癌）</p>

酸雨的形成

- i. 煤、石油、金属矿物中含有硫或硫的化合物，燃烧或冶炼时会产生二氧化硫
- ii. 二氧化硫和氧气反应生成三氧化硫
$$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$$
- iii. 三氧化硫溶于雨水后形成硫酸型酸雨
$$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$$
- iv. 危害：土壤肥力下降，破坏农作物，导致水生生物死亡，建筑物腐蚀
- v. 防治：新能源取代化石燃料，脱硫处理，减少二氧化硫排放，飞机在空中喷撒石灰粉

硫酸

物理性质	无色、无臭、不挥发的透明油状液体、高密度和沸点
稀释硫酸	将浓硫酸慢慢倒入水中，不断搅拌，使其散热，避免灼伤
化学性质	在水中能完全电离成氢离子和酸根，具有酸的同性 浓硫酸中存在的主要是硫酸分子
用途	化肥、燃料、清洁剂、光导纤维、汽车蓄电器、合成橡胶
浓硫酸	<p>有吸水性，可做干燥剂</p> <p>有脱水性，能把有机物中的氢、氧元素按水的组成夺取出来（浓硫酸使蔗糖脱水变黑）</p> <p>$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \rightarrow 12\text{C} + 11\text{H}_2\text{O}$</p> <p>$2\text{Fe} + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{SO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$</p> <p>浓硫酸具有强氧化性，加热条件下可氧化大多数金属（除金、铂外）和一些非金属</p> <p>$\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$</p> <p>$\text{C} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{SO}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$</p> <p>$\text{S} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$</p> <p>能钝化铁和铝：使金属表面生成一薄层致密的氧化保护膜，阻止内部金属与硫酸反应</p>
工业制取法（接触发）	<p>i. 造气</p> <p>a. 原料硫磺或黄铁矿在沸腾炉中充分氧化生成二氧化碳</p> <p>$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$</p> <p>$4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$</p> <p>b. 一些杂质如砷、硒的化合物和尘埃会使催化剂中毒，水蒸气对设备和生产有不良影响，因此需进行进化和干燥处理</p> <p>ii. 二氧化硫接触氧气被氧化成三氧化硫</p> <p>a. 条件：400-500°C，催化剂五氧化二钒，发生氧化反应，释放出大量的热</p> <p>$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$</p> <p>iii. 三氧化硫吸收和硫酸生成</p> <p>a. 为了提高吸收率，以硫酸作为吸收剂，形成发烟硫酸</p> <p>b. 因为三氧化硫和水直接化合会形成酸雾，不利于三氧化硫吸收</p> <p>$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$</p> <p>$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$</p>

硫酸盐

- 由硫酸根和气体金属阳离子组成，一般易溶于水，硫酸根、碱土金属 (Be\Mg) 以外和铅的硫酸盐微溶

检验	先以盐酸把溶液酸化，排除 CO_3^{2-} 和 SO_3^{2-} ，在加入氯化钡溶液，可生成白色沉淀物	
性质和用途	硫酸钙	白色固体 石膏（含有两个晶体水的硫酸钙），石膏加热会失去晶体水变成熟石膏，熟石膏和水混合后合成糊状会凝固重新变成石膏
	硫酸钡	也称重晶石 不容易被 X 射线透过，可作为检查肠胃内服药剂（钡餐）或白色燃料
	硫酸铁 (II)	结晶水合物称绿矾，可用来产生补血剂 工业上可生产铁系列净水剂或红色颜料氧化铁 (III) 农业上可用来杀灭害虫

