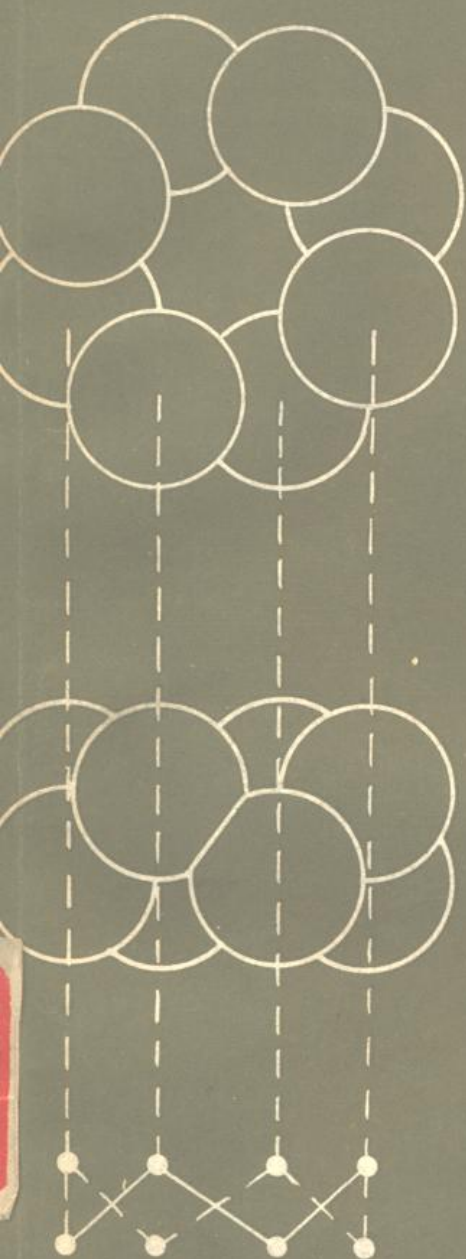


自然硫

王鸿禧 俞永刚 编



地质出版社

自然硫

王鴻禧 俞永剛

地质出版社

自 然 硫

王鸿禧 俞永刚

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：毕庶礼

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本：850×1168 1/32 印张：7¹/₁₆ 字数：185,000

1983年8月北京第一版·1983年8月北京第一次印刷

印数：1-1,766册 定价：1.20元

统一书号：15038·新974

前 言

硫，用途广，用量大，是现代化建设的重要原料。工业硫主要来自硫化物、自然硫和硫酸盐，其中自然硫的应用最早。1895年弗拉施硫问世以后，世界自然硫产量逐年增加，到二十世纪五十年代，自然硫产量已跃居各种形式硫产量的首位。近十几年来，除个别年份外，世界自然硫产量仍保持上升趋势。自然硫矿是重要的工业硫源，是硫矿地质找矿工作的重要对象。我国，目前虽已发现了各种类型的自然硫矿床多处，但在实际工业应用上尚未发挥成效。自然硫矿地质研究工作程度较低，是硫矿地质找矿工作中的薄弱环节。为配合自然硫矿地质找矿和开发工作的开展，我们编译的这本《自然硫》，系统地叙述了自然硫矿的近代成矿理论，较详细地介绍了国内外主要自然硫矿床的地质特征、地质找矿方法以及采选方面的知识。同时对近年国际硫市场动态和趋向也作了必要的反映。这本书可供地质矿产和有关的工农业部门从事相应工作的同志参考。谬误之处，请批评指正。

本书在编写过程中，得到化工部化学矿山地质研究所阎俊峰等、浙江省地质科学研究所徐步台、山东省地质局艾宪森同志等的热忱帮助，提出不少宝贵意见，并提供有关材料。笔者谨向以上诸同志表示衷心感谢。

王鸿禧 俞永刚

目 录

第一章 概 论	1
一、硫的用途	1
(一)传统用途	1
(二)新的用途	7
二、工业硫源及硫的产需	9
(一)工业硫源结构	9
(二)硫的产需	17
(三)未来二十年硫的产需发展趋势	17
(四)硫的国际贸易	21
三、自然硫矿	26
(一)储量	26
(二)矿床类型	26
第二章 自然硫矿床地质	31
一、自然硫	31
二、硫的地球化学特征	33
(一)硫同位素	33
(二)硫同位素分馏作用	36
(三)自然硫的形成	40
三、自然硫矿床类型	42
(一)风化型自然硫矿床	42
(二)火山型自然硫矿床	46
(三)沉积型自然硫矿床	57
1. 生物化学作用	60
2. 自然硫矿床形成机理	60
3. 沉积自然硫矿床形成过程的试验	61
4. 典型矿例——伊拉克米什拉克生物后生自然硫矿床	66
第三章 世界自然硫资源	89

一、火山型自然硫资源	89
(一) 南美	89
(二) 日本	94
(三) 菲律宾	100
(四) 太平洋新赫布里底群岛	101
(五) 中国	101
(六) 苏联	103
(七) 印度尼西亚	104
二、沉积型自然硫资源	106
(一) 伊拉克	107
(二) 美国、墨西哥	107
(三) 波兰、苏联	122
(四) 意大利	139
(五) 中国	140
第四章 自然硫矿床地质找矿方法	158
一、沉积硫矿床找矿地质条件	160
(一) 岩性与岩相条件	160
(二) 碳氢化物补给条件	164
(三) 构造条件	165
(四) 水文地质条件	166
(五) 古地理条件	168
(六) 硫矿床的保存条件	168
二、沉积硫矿资源预测	173
(一) 岩性-岩相图	174
(二) 含硫性与含油气性的关系图	174
(三) 地质构造图	175
(四) 水文地质及水化学分带图	175
(五) 古地理图	175
(六) 岩溶图	175
三、硫矿床的地质普查评价	176
(一) 地球物理探矿	176
1. 地面物探	176

2. 测井.....	178
(二) 钻探.....	188
1. 钻探网度.....	188
2. 钻孔孔径及取样.....	188
第五章 自然硫矿床的开采和矿石加工	190
一、自然硫矿的地下熔融采矿法.....	193
(一)对矿山的基本要求.....	193
1. 矿床.....	193
2. 足够而可靠的水源.....	196
3. 廉价而充足的燃料供应.....	196
(二)地下熔融采硫法的设备和设施.....	197
1. 设备和设施.....	197
2. 地面布置.....	197
(三)采硫工艺.....	198
1. 钻井.....	198
2. 硫矿床的增压.....	203
3. 硫矿体的熔融.....	204
4. 生产井的堵塞和清除.....	206
5. 矿区液硫的输存.....	206
6. 硫产品及其净化.....	207
二、硫矿床露采和坑采的硫矿石加工.....	209
(一)煤油、T-66 (起泡剂)、水玻璃浮选剂选矿.....	210
(二)海水选矿.....	212
主要参考资料	216

第一章 概 论

硫是国民经济建设的基本矿物原料，是发展现代化学工业和农业的重要矿产资源。重视与发掘最佳硫矿资源，不断改善硫源结构，对促进我国现代化建设，提高人民的物质生活水平有着重要意义。

人类利用硫已有悠久的历史，它对人类文明的发展起着重要的作用。早在数千年前，我国和埃及已用硫来作为制作火药、医药和农药等的原料。自十九世纪工业革命以来，随着工业、农业、国防工业和科学技术的发展，人类使用硫的能力进一步提高，硫的应用范围日益广泛。现代，硫已广泛地应用在经济建设的许多领域，需要量不断上升。近半个世纪来，硫需要量平均年增长率达4.5—5%。硫的消费水平已成为衡量一个国家工业发达程度的最佳标志之一。国家经济越发达，硫的消费水平越高。然而，从研究和应用的角度看，硫迄今仍是世界上没有得到充分重视的矿物原料之一；从发展的趋势考虑，发掘新硫源，开辟新用途的潜力都很大。重视硫矿地质研究，促进工业硫源的发展，满足不断扩大的硫市场的需要，乃是地质找矿工作者的一项重要任务。

一、硫 的 用 途

(一)传统用途

工农业生产中利用的硫及其化合物有元素硫、二硫化碳和二氧化硫等。直接利用元素硫和二硫化碳的数量约占硫总消费量的10%，主要用在橡胶、农业、人造纤维和赛璐珞等生产方面。90%左右的硫是以二氧化硫的形式用掉的，其中的百分之几用在

处理纸浆和制造纸张，剩余的都用于制造硫酸。生产硫酸用硫量占硫总消费量的85—90%。1980年世界硫酸产量达1.4191亿吨（表1）（生产一吨硫酸需硫约0.35吨），硫酸的消费量则达1.4280亿吨（表2）。近十年来世界硫酸产量一直在增长着，西方国家硫酸产量由1965年的5700万吨上升到1980年的1.02亿吨，年平均增

表 1 世界硫酸产量 (100% H₂SO₄, 千吨)

	1978年	1979年	1980年
世界总计	131295	137522	141917
西方国家	91351	97512	100341
西欧	27376	27516	27028
比利时	2109	2309	2152
法国	4487	4848	4840
西德	4591	4251	4115
意大利	3150	2950	2800
荷兰	1858	1786	1798
西班牙	2965	2950	3090
英国	3453	3498	3381
其它	4763	4924	4852
非洲	6367	7686	8696
摩洛哥	1271	1837	1929
南非	2525	3147	3616
其它	2571	2702	3151
亚洲	12342	12798	12614
印度	2311	2574	2317
日本	6437	6582	6777
南朝鲜	1400	1645	1426
其它	2194	1997	2094
大洋洲	2570	2796	2853
澳大利亚	1890	2140	2179
新西兰	680	656	674
北美	37712	41049	42787
加拿大	3527	3578	4295
美国	24186	37472	38492
拉丁美洲	4983	5667	6363

(续表)

	1978年	1979年	1980年
世界总计	131295	137522	141917
墨西哥	2372	2490	2511
阿根廷	249	269	243
巴西	1650	1964	2590
其它	712	944	1019
社会主义国家	39944	40010	41576
波兰	3300	2962	2964
苏联	22400	22370	23033
其它	7634	7678	7939

据参考资料〔8〕。

表 2 世界硫酸消费量 (100% H₂SO₄, 百万吨)

	1978年		1979年		1980年	
	总量	肥料	总量	肥料	总量	肥料
世界总计	131.3	70.8	138.4	76.2	142.8	79.8
西方国家	91.5	50.6	98.3	55.7	101.5	59.0
西欧	27.8	12.0	28.4	12.0	27.2	12.0
非洲	6.5	4.9	7.7	6.0	8.7	7.2
亚洲	11.9	6.5	12.2	6.4	12.2	6.4
大洋洲	2.5	2.0	2.8	2.2	2.9	2.3
北美	37.9	22.2	41.4	25.7	44.1	27.5
拉丁美洲	4.9	3.0	5.7	3.2	6.4	3.6
社会主义国家	39.8	20.2	40.0	20.5	41.3	20.8
东欧	9.6	6.5	9.6	6.6	9.4	6.4
苏联	22.4	9.9	22.3	9.9	23.0	10.2
其它	7.8	3.8	8.2	4.0	8.9	4.2

据参考资料〔8〕。

长率为3.9%，而社会主义国家硫酸产量由1965年的1600万吨上升到1980年的4100万吨，年平均增长率达6.4%。世界硫酸的半

表 3

世界硝酸盐岩产量和消费量

(产品, 千吨)

	1978年		1979年		1980年	
	产量	视消费量	产量	视消费量	产量	视消费量
世界总计	121382	120951	129680	131006	136134	134839
西欧	137	22019	126	23270	271	22938
奥地利	—	325	—	365	—	477
比利时	—	1932	—	2128	—	2263
丹麦	—	285	—	280	—	309
芬兰	—	499	2	699	125	685
法国	25	5016	12	5394	14	5711
西德	—	2268	—	2556	—	2175
希腊	—	686	—	672	—	609
爱尔兰	—	97	—	116	—	86
意大利	—	1698	—	1766	—	1629
荷兰	—	2267	—	2339	—	2214
挪威	—	457	—	394	—	461
葡萄牙	—	445	—	393	—	454
西班牙	—	2910	—	2960	—	2515
瑞典	80	638	62	628	82	597
瑞士	—	11	—	9	—	28
土耳其	32	660	50	482	50	1046
英国	—	1825	—	1731	—	1680
东欧	23595	30573	24733	31899	25452	31900
阿尔巴尼亚	—	100	—	61	—	62
保加利亚	—	1089	—	1107	—	785
捷克斯洛伐克	—	950	—	890	—	876
东德	—	1422	—	1536	—	1301
匈牙利	—	721	—	618	—	653
波兰	—	3296	—	3230	—	3248
罗马尼亚	—	2504	—	2911	—	2742
苏联	23595	19603	24733	20603	25452	20894
南斯拉夫	—	889	—	944	—	1338
北美	50037	40144	51611	43000	54415	44381
加拿大	—	3270	—	3396	—	3825
美国	50037	36874	51611	39605	54415	40556
中美	402	1867	324	1450	330	1407
古巴	—	20	—	8	—	16

(续表)

	1978年		1979年		1980年	
	产量	视消费量	产量	视消费量	产量	视消费量
库拉索(岛)	80	30	49	1	—	—
墨西哥	322	1802	275	1434	330	1391
萨尔瓦多	—	15	—	8	—	—
南 美	1126	2414	1700	2738	2926	3899
巴 西	1094	2159	1695	2462	2921	3692
哥伦比亚	2	71	5	53	4	45
厄瓜多尔	—	15	—	12	—	4
秘 鲁	—	10	—	4	—	—
乌拉圭	—	74	—	127	—	94
委内瑞拉	30	86	—	81	—	63
非 洲	32141	7456	33978	8354	33384	9592
阿尔及利亚	997	360	1084	273	1036	226
埃 及	642	481	645	393	658	324
象牙海岸	—	9	—	7	—	16
摩洛哥/撒哈拉	19398	1847	20136	2233	18824	2408
莫桑比克	—	3	—	3	—	4
尼日利亚	—	3	—	25	—	15
塞内加尔	1762	148	1804	158	1752	203
南非(阿扎尼亚)	2699	2611	3221	2887	3282	3136
坦桑尼亚	—	28	—	20	—	50
多 哥	2827	—	2916	—	2933	82
突 尼 斯	3712	1861	4040	2218	4768	3078
津巴布韦	105	105	132	137	130	130
亚 洲	11243	12813	14918	16438	17263	16872
孟加拉国	—	86	—	93	—	139
中 国	2177	3589	5836	6263	6400	6979
圣 诞 岛	1386	161	1357	109	1638	110
印 度	760	1905	645	2098	523	1861
印度尼西亚	5	5	5	160	5	238
伊 朗	—	478	—	114	—	214
以 色 列	1759	328	2225	445	2611	502
日 本	—	2574	—	2918	—	2615
约 旦	2303	27	2826	33	3907	42
柬埔寨	—	—	—	—	5	5

(续表)

	1978年		1979年		1980年	
	产量	视消费量	产量	视消费量	产量	视消费量
北 朝 鲜	450	667	450	776	450	648
南 朝 鲜	—	1645	—	1804	—	1835
黎 巴 嫩	—	235	—	438	—	312
马来西亚	—	86	—	124	—	234
巴基斯坦	—	71	—	169	—	182
菲 律 宾	4	85	5	131	5	130
叙 利 亚	800	1	1170	1	1219	39
中国台湾省	—	269	—	361	—	287
越 南	1600	600	400	400	500	500
大洋洲	2702	3666	2291	3857	2094	3851
澳大利亚	235	2274	7	2644	7	2705
巴纳巴岛	468	—	446	—	—	—
瑞 鲁	1999	—	1838	—	2087	—
新 西 兰	—	1392	—	1213	—	1146

资料来源:《Phosphorus & Potassium》, 1982, №117。

数以上用于生产肥料,主要是制造磷肥,1980年用于生产肥料的硫酸达7980万吨(生产一吨过磷酸钙约需硫酸400公斤)。硫的消费增长速度,在很大程度上取决于磷肥的产需量增长率。由于现代农业的发展,磷肥需要量一直稳步上升。据统计,世界主要用于生产磷肥的磷矿产量1978年较1977年增长8%,至1980年年产量增到1.3610亿吨,消费量达到1.3483亿吨(表3),由此可见硫的主要消费所在。硫酸除用于农肥生产外,其余的大部分用来制造各种化学产品,而这些化学产品又用来生产其它数百种工业产品,诸如纸张、颜料、染料、油漆、合成纤维、硫化橡胶、洗涤剂、塑料、炸药、药物和氯化物等。少部分硫酸用于冶金等工业。

工业发达国家,如美国,硫的85%用以生产硫酸,有15%的硫是以元素硫的形式用掉的,其大致消费构成如表4所示。图1展示了二十世纪七十年代世界上硫的应用范围和使用量的大致比例。

表 4

美国硫的消费构成

用 途	消 费 比(%)	用 途	消 费 比(%)
肥 料	52	纺 织	3
化 工	18	石 油	2
颜 料	5	钢 铁	2
造 纸	4	其 它	14

据参考资料[12]。

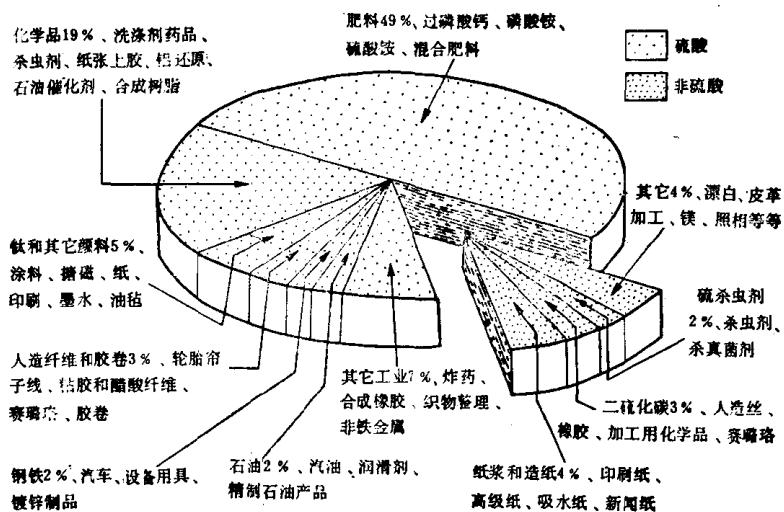


图 1 世界硫的应用范围和用量比例

据《International Hydrocarbon processing》1972, vol.51, №7。

(二)新的用途

未来硫的需求量增长速度主要取决于工业发展，特别是肥料工业的发展，其次是硫以各种形式作植物养料和其它新用途的发展速度。由于硫具有强度高，热传导性差和耐腐蚀等物理性能，近年来在建筑材料方面有了不少新的用途。

1. 硫泡沫保温材料

硫用于生产容重为 7—30 磅/英尺³●的硬性硫泡沫材料时，在很多方面可与泡沫塑料媲美。由于它的抗压强度高，可用来制造建筑构件、公路底土的隔离层和管道。

2. 硫混凝土

硫混凝土是由硫和集料混合物配制的热浇混凝土材料，含有 20—40% 的硫。硫作为惰性填料或集料用水泥的代用品。硫混凝土的性能虽随其实际成分和所用的化学添加剂而变化，但它是一种密实的无孔材料，能防水、耐酸、耐碱和耐普通溶剂的腐蚀。硫混凝土在 120—130°C 时搅拌和浇注，在冷却过程中能立即产生强度。如把它浇在模型中，冷却后制品模面非常完整，因此，可以被用来复制精细的雕刻艺术品和制造为研究磨损用的炮筒内表面的复制品。由于硫混凝土能迅速凝固，并且有较好的造型性能和很高的强度，因此，可用来预制具有雕刻的和其它带装饰性的建筑构件。此外，生产硫混凝土预制构件可缩短模制时间和免除为养护混凝土所需要的蒸气压或热贮藏过程，从而可大大提高预制混凝土的产率。制备硫混凝土材料时不需要水，在寒冷的温度条件下也能迅速凝固。在冰冻的气候条件下，采用硫混凝土要比普通混凝土优越得多。

3. 硫-沥青铺路材料

硫掺入沥青中会使粘度与温度的关系曲线趋向平缓，即在高温下不致变软和在低温下能减少脆裂。硫可以提高沥青的强度和耐久性。很薄一层增塑硫-沥青-集料的混合物能与钢桥面结构粘结得很牢固。将 13.5% 的硫、6% 的沥青和 80.5% 的砂混合，用来建造公路基层，可以代替两倍厚的砾石，这种代用品在经济上是合理的，技术上是先进的。

4. 交通划线用漆

掺硫制成的热溶油漆用于公路划线，冷却和凝固快，工作时交通不需改道，划线和保养的成本也很低，

●0.624 磅/英尺³ = 1 公斤/米³。

5. 表面喷涂

早在1960年, 美国得克萨斯州的西南研究所就已经开始研究用硫作表面喷涂材料。这是一种不用砂浆, 将煤碴或混凝土砌块堆和成墙, 然后在墙的两侧用硫喷刷一层薄的涂层, 硫在几分钟内即可凝固, 形成一层牢固、坚硬和不透水的面层。这种墙要比用砂浆砌造的墙牢固, 操作也简单, 施工速度快。

世界硫协会欧洲办事处, 把硫的新用途按使用的工业部门分成筑路业、建筑业、包装和其它三大类。世界用量, 1980年估计为32万吨, 1985年预计将增到160万吨(表5), 1990年将增加到700万吨。发展中的农业用硫1985年和1990年的预计消费量分别为40万吨和100万吨。

表 5 1985年硫的新用途用量预测 (单位: 10万吨)

1. 筑 路 业:	3. 包装和其它:
含 硫 沥 青 9	浸硫硬柏纸 0.2
含 硫 水 泥 0.2	硫 电 池 0.35
浸 硫 水 泥 0.2	泡 沫 硫 0.6
泡 沫 硫 0.75	合 计 1.15
合 计 10.15	
2. 建 筑 业:	总 计 16.1
含 硫 水 泥 0.4	
浸 硫 水 泥 3.2	
泡 沫 硫 0.65	
浸硫硬柏纸 0.3	
硫 涂 料 0.25	
合 计 4.80	

资料来源: <Industrial Minerals.>, 1976, 12.

二、工业硫源及硫的产需

(一) 工业硫源结构

硫是地球上含量较高的元素之一, 按重量计, 占地壳的0.06%(表6)。在气圈、水圈和岩石圈里都存在不同形式的硫。

表 6

地壳中主要化学元素的丰度

元 素	丰度(重量百分比)	元 素	丰度(重量百分比)
O	46.6	Ti	0.44
Si	27.72	H	0.14
Al	8.13	P	0.12
Fe	5.00	Mn	0.10
Ca	3.63	K	0.07
Na	2.83	S	0.06
K	2.59	C	0.03
Mg	2.09		

动、植物体内也含有硫的成分。气圈中硫含量，随工业的发达和环保所采取的措施而有所变化。一般说来，工业发达区含硫量要比次发达区高。据报导^①，1965年大气中的含硫总量约为6909万吨(其中96%是二氧化硫)，到1971年升高为8128万吨。硫在海洋

表 7

某些矿物中的硫含量

矿 物	化 学 成 分	含 硫 量 (%)
自 然 硫	S	100
黄铁矿和白铁矿	FeS ₂	53.3
磁 黄 铁 矿	Fe ₇ S ₈	38.6
黄 铜 矿	CuFeS ₂	35.0
铜 蓝 矿	CuS	33.6
闪 锌 矿	ZnS	33.0
斑 铜 矿	Cu ₅ FeS ₄	25.5
硬 石 青	CaSO ₄	23.6
辉 铜 矿	Cu ₂ S	20.2
石 青	CaSO ₄ ·2H ₂ O	18.6
方 铅 矿	PbS	13.4

●据1973年版《美国矿物资源》一书。