

上篇

芒硝

芒硝类矿产资源是普遍存在于自然界中的一种基础化工物质。由于它的分子结构式带有 10 个结晶水，因而也称十水硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)。带有 10 个结晶水的硫酸钠水合物是格劳柏在 1658 年用食盐和硫酸反应所生成的，并称它为芒硝或水硝，从 1767 年起又改称为格劳柏盐。芒硝为无色透明棱柱状或长方形结晶体，有苦咸味，分子式 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，相对分子质量 322.26，相对密度 1.464，熔点 32.38℃，这种自然形式的芒硝，通过处理加工后或在空气中慢慢风化而失去结晶水转化为无水硫酸钠。

无水硫酸钠又叫无水硝，商品名称为元明粉（英文名称为 sodium sulphate anhydrous），化学分子式为 Na_2SO_4 ，有吸湿性，在空气中储存时能吸收水分而变成块状。外观呈白色结晶颗粒或粉状，易溶于水，不溶于乙醇。

它的用途十分广泛，传统上主要用于四大行业：造纸、洗涤用品、玻璃和印染行业。随着科技的不断进步，新工艺的研究与开发，硫酸钠作为化工业中的基础原料，又涉足于多个领域和行业。如医药业中，用作缓泻剂和钡盐中毒的解毒剂等；建筑工程中，作为水泥外加剂、早强剂等；化肥行业中，结合硫酸钾用于氯敏感的作物施肥。此外，在合成纤维、皮革、有色冶金、饲料添加剂等的制造中也得到广泛应用。

世界芒硝概况

1.1 世界芒硝资源

已探明世界上有 30 多个国家蕴藏有芒硝矿产资源。据美国矿业局 1996 年资料,世界硫酸钠储量(不包括中国)为 33 亿 t,基础储量 46 亿 t,储量较多的国家有美国、西班牙、墨西哥、土耳其、加拿大等 5 国,其芒硝储量占世界各国(不包括中国)总芒硝储量的 42.24%。详见统计表 1-1。

表 1-1 世界 30 多个国家芒硝(折为硫酸钠)资源情况统计表 kt

国 家	储量(硫酸钠组分量)	基础储量(硫酸钠组分量)
美国	860000	1400000
加拿大	84000	270000
墨西哥	170000	230000
西班牙	180000	270000
土耳其	100000	
其他国家	1900000	2400000

除了上述国家的芒硝储备外,还包含博茨瓦纳、埃及、意大利、蒙古、罗马尼亚、南非等国家。

1.2 世界主要国家的芒硝资源分布

加拿大新不伦瑞克省东南部的韦尔登,有迄今为止最大的硫酸钠湖泊,面积 520000km^2 。

在萨斯喀彻温省和阿尔伯塔省的卓别林湖含有约 300 万 t 硫酸钠; Ingebright 湖是最大的商业硫酸钠矿床,硫酸钠储量 900 万 t; Metiskow 湖,面积 165km^2 ,总硫酸钠储量约 350 万 t; Sybouts 湖面积为 255km^2 ,硫酸钠年可生产 850000t; 白岸湖是加拿大的第二大硫酸钠矿床,该湖位于一条

狭窄的山谷,是在东西方向 17km 长,平均宽 0.8km,面积为 735km^2 ,硫酸钠储量 650 万 t。

墨西哥科阿韦拉州干盐湖 10km 长,4km 宽,面积 40km^2 ,硫酸钠储量 350 万 t。

土耳其 Acigol 湖,由四个经营商操作。可采硫酸钠储量 70 万 t。

美国加州苏打湖,初步估计硫酸钠储量超过 100 万 t;戴尔湖位于南部的莫哈韦沙漠,估计硫酸钠储量 1100 万 t;欧文斯湖估计硫酸钠储量 960 万 t;内华达州罗得岛湿地估计硫酸钠储量 300 万 t;米勒湖面积为 263km^2 ,估计硫酸钠储量 570 万 t;Grenora 湖泊(湖名)估计硫酸钠储量 690 万 t。

西班牙马德里、埃布罗和卡拉塔尤德盆地:总计硫酸钠储量 18 亿 t,2.72 亿 t 可用于经济开发。

截至 2013 年底,世界探明芒硝储量 250 亿 t 左右,其中中国探明储量 210 亿 t 左右,占世界探明储量的 84%。

1.3 世界芒硝产量

据统计,世界 22 个国家,1986—1990 年 5 年间,共生产芒硝(合成) $12168 \times 10^3\text{t}$,平均每年产量 $2434 \times 10^3\text{t}$ 。其中,奥地利、法国、比利时、德国、意大利、日本、西班牙、瑞典、美国、苏联等 11 国的年产量占世界(不包括中国)年总产量的 65%,详见统计表 1-2。

表 1-2 世界芒硝(合成)产量统计表(1986—1990 年)

10^3t

年份 国家	1986	1987	1988	1989	1990
奥地利	55	109	118	120	120
比利时	265	260	255	255	250
巴西	7	7	9	9	9
智利	59	60	63	66	50
芬兰	35	35	35	33	33
法国	110	115	154	155	120
民主德国	181	179	180	175	170
联邦德国	163	164	175	172	167
希腊	8	7	7	6	6
匈牙利	8	9	9	9	9
意大利	75	80	127	130	130

续表

国家 \ 年份	1986	1987	1988	1989	1990
日本	253	255	247	256	253
荷兰	15	15	15	15	15
巴基斯坦	1	1	1	1	1
葡萄牙	52	55	54	55	55
西班牙	150	165	165	165	160
瑞典	100	100	100	100	100
土耳其	27	27	27	27	27
苏联	260	260	270	270	250
英国	90	90	90	90	90
美国	404	379	382	345	316
南斯拉夫	42	38	41	51	38
合计	2360	2410	2524	2505	2369

2013年全世界芒硝产能1700万t,其中中国产能1200万t,占全世界的70%。我国出口芒硝330万t。

第2章

中国芒硝矿资源地质特征

2.1 勘探类型

1. 矿床时空分布及成矿规律

中国芒硝矿的产出时代，既有现代盐湖矿床也有古代的芒硝和钙芒硝矿床；产出的岩相既有陆相碎屑岩系的，也有海相碳酸岩系；产出的物态既有液相的，也有固相的，还有固、液并存的。

芒硝类矿床和中、新生代的石油、天然气和煤矿一样，都和盆地有关。而盆地主要有4种类型：大陆边缘盆地、大陆裂谷盆地、山前或山间盆地以及大陆内部拗陷盆地。其中，中国东部一系列盆地皆属于大陆裂谷盆地。该类盆地发育了红色含盐建造。江苏淮安晚白垩世的钙芒硝-岩盐矿床，江西、安徽、湖北、湖南等地的第三纪芒硝矿床即分布于此类盆地中。属于山前或山间盆地的有新疆吐鲁番-哈密盆地，云南滇中安宁盆地、禄劝禄丰盆地，青海柴达木盆地等。在这些盆地中，分布有晚侏罗世、晚白垩世、新第三纪、第四纪钙芒硝矿床或芒硝矿床。属于大陆内部拗陷盆地的有四川盆地、鄂尔多斯盆地、汾渭地堑，以及内蒙古、甘肃一带的小型断陷型盆地群。在川中盆地分布有晚白垩世新津钙芒硝矿床、眉山大洪山钙芒硝矿床等；在汾渭地堑中部分布有运城盐湖以及作为沙下湖矿床产出的早、中更新世芒硝-白钠镁矾矿床；在内蒙古、甘肃分布有第四纪芒硝矿床。

中国第四纪芒硝矿床的分布与构造运动有关外，还和气候和纬度关系密切，多分布于北纬 $30^{\circ}\sim49^{\circ}$ 之间的现代盐湖区，此盐湖区属北半球盐湖带之一部分，广布着数以千计的现代盐湖。掩埋型芒硝矿床与卤水型芒硝矿床或分布于一起，或相距不远。前者之芒硝层产于地下，距地表一般数米至百余米，而后者常产出于地表或产于距地表仅数米之地下。

中国芒硝类矿床根据其形成的地质时代、沉积环境、主要有用矿物组合

等不同特点,分为现代内陆盐湖芒硝矿床和古代内陆盐湖芒硝矿床两种类型。

1) 现代内陆盐湖芒硝矿床

此类芒硝矿床形成于第四纪,多分布在秦岭以北的新疆、青海、宁夏、甘肃、山西、内蒙古、黑龙江及西藏等广大的高原或沙漠干旱气候区内的盐湖中。

现代盐湖芒硝矿床按其产出状态可分为液相和固相两类。

液相包括盐湖表层卤水和晶间卤水。表层卤水是盐湖中随外界条件变化而变化的不稳定盐体。在不同的年代和季节里,卤水的量和浓度以及化学成分都会有较显著的变化。它与补给水流经区域、湖岸的岩土以及湖地的淤泥、生物化学等因素密切相关。大部分盐湖表层卤水深度数厘米到数十厘米,仅少数深度超过1m。晶间卤水封存于晶体或颗粒间的孔隙气孔中,并可以浸透到湖底盐层的淤泥层中,其含量可从10%至20%~30%,化学成分和浓度相对稳定。

固体相芒硝矿床不同,成矿时的卤水类型不同,因而在不同的盐湖形成不同的矿物组合。盐类矿物的沉积常有较明显的分异现象,在垂直方向上,自上而下常为石膏-芒硝-岩盐,石膏-芒硝,天然碱-芒硝或单一芒硝沉积。

现代盐湖芒硝矿床往往都具规模,由于盐湖本身面积变化较大,因此矿床的规模相差也很大,面积可从零点几到几百平方千米,大、中、小型都有;但埋藏较浅,仅几十厘米到几米,有的则裸露地表。矿床地质构造简单,矿体多为层状、似层状,产状水平,仅局部受古湖底影响,矿体略倾向于湖心,倾角30°~50°。此外尚有部分矿体呈鸡窝状或透镜状产出,此类矿床规模一般都较小。芒硝矿层由单层或多层构成,矿层总厚度一般为数米至几十米或更大,最大厚度可达百米以上,单层厚几厘米至数米。

现代盐湖芒硝矿床的另一特点是,除部分沙下湖和干盐湖芒硝矿床为固相矿床外,其余大部分为固、液相并存矿床。

2) 古代内陆盐湖钙芒硝矿床

该类矿床形成于白垩纪和第三纪,大部分分布在四川、云南、湖北、湖南、安徽、山东以及新疆、甘肃等省(区),含盐盆地受燕山运动后期形成的断陷或拗陷内陆盆地所控制。含盐厚度较大,并多次成盐。有石膏-钙芒硝-岩盐或石膏-钙芒硝所组成盐韵律反复出现。矿体受构造影响,形状、产状变化较大,常呈层状、似层状或透镜状产出,矿体埋藏较深,除个别矿区埋藏较浅外,一般都在数十米至数百米。此类矿床规模一般都较大,多为大中型,

面积由几十平方千米至数百平方千米。

芒硝矿床与其他盐类矿床相似。其勘探类型是根据矿床的地质和矿体的复杂程度而定。根据矿体的形态、厚度、品位、内部结构、产状与构造等地质因素而划分为4个勘探类型(表2-1)。液相的卤水矿床还应考虑到表层卤水和晶间卤水的深度、成分及浓度等的稳定性及其变化情况等。

表2-1 根据各因素而划分勘探类型

勘探类型	矿床规模	矿体形态	特征厚度	品位	内部结构	产状与结构
I	大型	规则层状	稳定	均匀	简单-较简单	产状稳定、构造简单
II	大中型	较规则层状、似层状	较稳定	均匀-不均匀	较复杂	产状稳定，构造简单-较简单
III	中小型	较规则-不规则，似层状、透镜状	稳定-较稳定	均匀-不均匀	较复杂-复杂	构造简单
IV	小型	不规则	稳定-不稳定	均匀-不均匀	较复杂	构造较简单

2.2 勘探阶段

1. 普查工作

1) 现代盐湖芒硝类矿床的普查工作

对地质工作空白区或地质工作程度较低地区,首先可通过资源卫星照片、航空照片,发现地表水体(湖泊)和可能存在的干盐湖、沙下盐湖盆地,然后进行地面调查,若确定为盐湖、卤水湖,则应观察是否有自析盐存在及其厚度、组分,并采集试样做室内鉴定和化学分析。对此类矿床进行普查评价,一般需要进行以下工作:①对成盐盆地进行1:100000地质和水文地质测量,了解盆地区域地质构造、水文地质特征、成盐盆地发生、发展史以及成盐物质来源。②测制矿区1:5000或1:10000的地形地质草图、矿区水文地质图。结合物探资料布置稀疏浅钻或浅井,初步查明矿体分布情况。同时需施工少许深孔,借以研究和发现隐伏矿体、盐层下部是否有承压含水层。除对汇入盐湖的地表径流、泉水除应逐一进行调查外,尚需建立必要的长期观测站,对环湖的浅水深度、含水层情况也应进行初步了解。

对于干盐湖和沙下盐湖层,则应收集较详细的资料,并据此大致确定矿床的远景范围,并施以浅钻或浅井查明矿层厚度和物质组分。

2) 古代盐湖芒硝矿产普查工作

首先须对普查区内的地质资料进行全面分析研究,确定成盐条件好的

范围,然后着重调查研究区内的岩石、地貌、构造、盐泉露头等直接找矿标志,从中划出成矿条件较好的地段,进行1:2000~1:5000的地质测量工作。同时,可布置一定的槽、井和普查钻孔、物探工作,初步查明矿区范围、地质构造特征以及水文地质条件。

2. 地质勘探工作

1) 现代盐湖芒硝矿床的勘探

①现代盐湖固液相并存的矿床:首先进行1:2000~1:5000地质、水文地质测量,详细调查研究湖区地质、水文地质特征,查明盐湖发展历史。然后,根据矿床规模、矿石组分的稳定程度、水文地质条件复杂程度等特点,决定勘探工作的布置。②干盐湖、沙下盐湖矿床:此类矿床在勘探中除应开展上述各项工作外,还要着重查明矿床遭受后期破坏的情况。应十分重视对微地貌的研究,除应查明现代喀斯特地貌分布区、现代季节性流水径迹外,还应研究河床变迁历史及其可能对矿床造成的破坏。此外,潜水或承压水也可能对矿床造成破坏,应充分研究矿区水文地质条件,编制阐明其规律的相应图件,以指导地质勘探工作。

2) 古代盐湖芒硝矿床的勘探

对古代盐湖芒硝矿床的勘探,一般分为初步勘探、详细勘探、开发勘探三个阶段。但实际工作(如石油天然气及其他普查找矿)中发现了此类矿床,根据已掌握的地质资料,经详细分析研究后,在确有把握的情况下,也可不经过初勘而直接进行详勘。

2.3 勘探手段与网度

1. 勘探手段

在芒硝类矿床勘探中,除采用机械岩心钻探直孔钻为主要手段外,尚需辅以地球物理方法、地球物理测井和地球化学方法等手段,准确查明矿体形态、规模、厚度、产状、矿石物质组分及其变化规律,划分矿石自然类型,准确圈定矿体。同时还应对喀斯特溶洞进行统计,以便准确计算储量。

盐湖表层卤水,因湖盆流域内的地质、水文地质条件不同,在勘探过程中应在不同地段建立长期观测站,定期观测和采样化验,研究卤水的动态变化。为计算表层卤水的动储量,除进行上述工作外,还须对湖周的潜水含水层和湖底的第一含水层进行抽水化验,确定其渗透系数、涌水量、水力坡度、过水断面面积及其流量等。

对于盐湖、沙下湖矿床的矿体,对矿体埋藏深度小、矿体厚度不大、水文

地质条件简单的,亦可以井探为主要勘探手段。为了准确圈定矿体,对矿体遭受地表水和地下水溶蚀地段,除以正常勘探网度布置工程外,还须采用密度较大的钻探手段,探明矿体的破坏程度,准确统计不同溶蚀地段的含矿率,以便准确地进行储量计算。

勘探古代芒硝矿床时,除机械岩心钻探为主要手段外,还应辅以坑道勘探、地球物理测井等手段。不过,坑道勘探只有当矿体埋深极浅或直接出露地表以及难于应用钻探手段和条件下才可采用。

2. 勘探网度

1) 现代盐湖芒硝矿床

中国目前尚无现代盐湖芒硝矿床的勘探网度统一标准。一般情况是,同一盐湖的勘探网度边缘部分应大于湖心部分。原苏联《全苏储量委员会规范》要求采用 $100\text{m} \times 100\text{m} \sim 300\text{m} \times 150\text{m}$ 网度提交工业储量,但当矿床面积大于 10km^2 时,勘探工程间的距离为 $1\sim 2\text{km}$ 以上;勘探线长度在 $1\sim 1.5\text{km}$ 时,钻孔数为 $3\sim 4$ 个。中国芒硝矿床的勘探网度一般参照石盐矿床的网度。中国主要盐湖的勘探网度实例见表 2-2。

2) 古代盐湖芒硝矿床

古代芒硝矿床的勘探方法及详细程度,在多数情况下取决于矿体产状稳定程度和倾角的复杂程度等。对矿体产状稳定、倾角不大、构造简单的层状或似层状矿,可采用正规的勘探网度。在勘探构造复杂、矿体呈陡倾斜的矿床时,则应采用特殊的勘探网度(表 2-3,表 2-4)。

表 2-2 中国主要盐湖的勘探网度

m

矿区名称	网 度			备注
	B 级	C 级	D 级	
青海察尔汗	500×500	1000×1000 $2000 \times 2000 \sim 4000 \times 4000$	2000×2000 4000×4000	固体 液体
青海大柴旦	$100 \times 100 \sim 200 \times 200$	$200 \times 200 \sim 400 \times 400$ 800×800 2400×2400	$400 \times 400 \sim 800 \times 800$	固体 地表卤水 晶间卤水
青海小柴旦		$200 \times 200 \sim 400 \times 400$	$400 \times 400 \sim 800 \times 800$	固体
青海柯柯	800×800	1600×1600		固体
新疆七角井	200×200	400×400		固体
新疆达坂城	400×400	800×800	1600×1600	固体
内蒙古中泉子	250×250	500×500	1000×1000	固体
西藏班戈错		250×250	$500 \times 500 \sim 1000 \times 1000$	固体
辽宁营口			3200×1600	固体