

# 盐矿钻探技术与工艺

张庆海 等 编著



地质出版社

# 盐矿钻探技术与工艺

张庆海 姚桂山 吴宁魁 编著

地质出版社

(京)新登字 085 号

## 内 容 简 介

本书概述了盐类矿床的成盐地层特征、盐类矿物的一些物理化学性质、钻探质量要求及施工特点等。针对水溶性或液态盐类矿产的取心(采取率、完整度、代表性)或取样、护壁,高承压卤水地层近平衡钻进及固井与封孔等主要技术问题,重点阐述了钻进、取样方法以及冲洗液的选型和应用等一系列技术与工艺。并以理论和实践相结合为特点,既有典型的生产经验总结;又有科研攻关成果;同时也介绍了国内外有关技术资料。该书可供从事盐类矿床勘探的管理人员、探矿技术人员和广大探矿工人阅读,也可供地质院校有关专业的教学、科研人员参考。

## 盐矿钻探技术与工艺

张庆海 姚桂山 吴宁魁 编著

责任编辑:冯士安

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张:4 字数:84000

1992年7月北京第一版·1992年7月北京第一次印刷

印数:1—1000册 定价:2.80元

ISBN 7-116-01031-3/P·882

## 前 言

随着我国地质勘探技术的不断发展和进步，特殊矿种钻探的技术工艺、设备器具等在深度和广度上都有了较大的提高，为探明国家急需的矿产资源及其加速开发利用，做出了积极的贡献。

岩盐、钾盐、芒硝、天然碱、卤水等水溶性或液状盐类矿产资源，是地质勘探中特殊矿种之一。取心（采取率、完整度、代表性）或取样、护壁以及高承压卤水地层近平衡钻进工艺等是盐类矿床勘探中的主要技术问题，需采取特殊的技术方法和工艺，才能保证钻探工程质量，从而满足地质要求。

钻探新技术、新工艺、新方法各类新型钻井液和护孔堵漏技术日新月异，对解决盐矿钻探技术起到了一定的促进作用。通过生产和科研，积累了较为丰富的经验，基本形成了独具一格的勘探方法，为使其得到进一步的普及和提高，总结数十年盐湖勘探之实践，并吸收部分岩盐勘探的成功经验，汇编成册，奉献给从事盐矿勘探的同行们借鉴，但愿能有所裨益。

全书共分八章，其中第六章冲洗液选型及应用由姚桂山，第七章固井与封孔技术由吴宁魁同志提供大部分文字资料，其他均由张庆海完成。

由于水平有限，缺点和错误在所难免，敬请批评指正。

作者

1991.8

# 目 录

<b>第一章 概述</b> .....	1
<b>第一节 青海现代盐湖概况</b> .....	1
一、盐湖分布范围及类型 .....	1
二、现代盐湖形成及其沉积规律 .....	2
<b>第二节 盐类矿物的一些物理化学性质</b> .....	7
一、可溶性 .....	8
二、可塑性 .....	12
三、吸湿性 .....	12
四、含气性 .....	12
<b>第二章 钻探质量及施工特点</b> .....	13
<b>第一节 钻探质量要求</b> .....	13
<b>第二节 钻探施工特点</b> .....	14
<b>第三章 钻探设备及机具</b> .....	17
<b>第一节 钻探设备选型原则及配备</b> .....	17
<b>第二节 TXL-1 E 型钻机主要特点</b> .....	19
一、钻机 .....	20
二、泥浆泵 .....	21
三、动力机 .....	22
四、搅拌机 .....	22
五、防喷器 .....	22
六、井架及底座 .....	23
<b>第四章 钻进技术</b> .....	25
<b>第一节 钻孔结构及钻进方法</b> .....	25

一、钻孔结构	25
二、钻进方法	27
第二节 地层压力及压力梯度	45
一、高压地层下的压力概念	46
二、地层压力梯度的特点与规律	47
第三节 原状样采取	50
第四节 技术套管的下入与起拔	51
第五节 套管腐蚀及形变	53
第六节 盐湖水上钻探	55
一、施工条件	56
二、水上钻场构筑	56
<b>第五章 止水及取样工艺</b>	<b>58</b>
第一节 套管止水取样工艺	58
第二节 定深取水器结构原理及取样方法	60
一、不带止水装置的定深取水器	60
二、带止水装置的定深取水器	61
<b>第六章 冲洗液的选型及应用</b>	<b>66</b>
第一节 冲洗液的选型	66
一、现代盐湖钻探冲洗液类型	68
二、岩盐钻探冲洗液类型	67
第二节 冲洗液的配制与应用	67
一、现代盐湖冲洗液的配制与应用	67
二、岩盐层钻探冲洗液的配制与应用	88
<b>第七章 固井与封孔技术</b>	<b>95</b>
第一节 固井	95
一、套管及下套管注意事项	95
二、盐湖固井对水泥浆性能的要求	96
三、盐类地层影响水泥浆凝固效果的主要因素	97

四、灌注水泥的基本要求及影响灌注质量的原因 .....	103
五、保证水泥灌注质量的主要措施 .....	104
六、水泥浆灌注方法 .....	104
七、固井实例 .....	107
第二节 封孔技术 .....	108
一、盐类矿床中钻孔封闭的重要性及封孔要求 .....	108
二、封孔材料及封孔方法 .....	109
<b>第八章 事故的预防与处理 .....</b>	<b>115</b>
一、钻杆折断事故的处理方法 .....	117
二、套管脱断的处理方法 .....	117
<b>结束语 .....</b>	<b>120</b>

# 第一章 概 述

我国盐类矿产资源极为丰富，分布甚广。其类型比较齐全，有海相和陆相；也有现代和古代盐矿；还有固相和液相盐矿。目前发现的各种盐类矿点达 1000 多处，其中主要为盐湖矿床（有 800 处之多）。我国已探明盐矿储量主要分布在青海、云南、江西、四川等 13 个省区。就石盐资源量而言，除北京、天津、上海、台湾四省（市）外的其它省区，都不同程度的分布有各种类型石盐矿。资源总量中湖盐占 3.5%，岩盐占 96.5%，由此可见，全国石盐资源主要为岩盐，分布在四川、青海、湖北、江苏等省区。

我国盐类矿物的形成，自元古代以来，直到现代各个地质时代几乎都有盐类矿物形成，埋藏在不同深度的地层中。主要成盐时代为三叠纪、第三纪和第四纪；其次为震旦纪、寒武纪、奥陶纪、石炭纪、二叠纪、侏罗纪等。

## 第一节 青海现代盐湖概况

### 一、盐湖分布范围及类型

青海柴达木盆地处于青藏高原的北缘、青海省的西北部，盆地四周高山环绕，东北部为祁连山系，西北部为阿尔金山，南界为昆仑山的祁漫塔克山与布尔汗布达山。山脉海拔一般 4000—5000m。盆地东西长 700km，南北宽 100—200 km，面积约 12 万 km<sup>2</sup>，盆地海拔高度 2670—3000m。盆地分布有湖沼、湖泊化学沉积 80 多处，水湖 31 个。其中大型



硼砂矿床 2 处；大型锂矿床 3 处；大型钾镁盐矿床 1 处；大型石盐矿床 9 处。注入盆地的河流共 70 余条，其总流量为  $143 \text{ m}^3/\text{s}$ ，年径流量 45 亿  $\text{m}^3$ 。

盆地湖泊主要分布在盆地中部及南北边缘昆仑山、祁连山前一带。湖面积一般数十至百余平方公里。湖水矿化度大多数较高，一般皆为咸水湖，少数为半咸水湖，仅克鲁克湖为一淡水湖。盐湖存在的状态和类型是多种多样的，有盐层露出水面的干盐湖；有湖水浓度很小、盐类矿物还没有沉积的盐水湖；也有介于二者之间的盐湖。柴达木盆地盐湖的类型，按其湖水及矿物的化学成分主要有两大类，其特征为：

1. 氯化物型盐湖 盐类矿物简单，固体矿物以石盐为主体，在地形低洼地段有时富集有光卤石、钾石盐和水氯镁石，主要变质系数(以达布逊为例)：

$$\text{MgSO}_4/\text{MgCl}_2 \quad 0-0.399$$

$$\text{NaCl}/\text{KCl} \quad 3.44-57.05$$

$$\text{KCl}/\text{MgCl}_2 \quad 0.08-0.20$$

2. 硫酸盐型盐湖 沉积物主要为芒硝和石膏，此外尚有白钠镁矾和多种硼矿物(如钠硼解石、水方硼石和柱硼镁石等)。又可分为硫酸钠亚型和硫酸镁亚型两种。另外，尚有硫酸盐-氯化物过渡型盐湖。如按其盐湖所含元素的绝对量及相对量，还可划分为硼盐湖、锂盐湖、钾镁盐湖等。柴达木地区硫酸盐型的盐湖十分发育，氯化物型次之。

## 二、现代盐湖形成及其沉积规律

柴达木盆地自二叠纪以后，形成大陆断陷盆地，堆积一万余米厚碎屑岩沉积。整个盆地经历印支、燕山、喜马拉雅各期构造运动。由于盆地基底的差异性，致使各地段升降幅度不同，并处于相对封闭的沉积环境中，不断接受到周围水

系物质补给。由于盐湖的扩大、浓缩和变迁，就产生了各时期沉积物质的差异，从而造成了有利于盐类矿床的聚集、分异的成矿环境。

1. 成钾条件 取决于有饱和的钾盐卤水，还要有充足的钾的补给。淡水补给，一方面能提供少量的钾；另一方面使盐湖能保持水湖状态，在强烈蒸发的气候条件下不致于干涸，使光卤石保持不断析出的环境。由于非主要蒸发季节或多雨季节，湖水产生淡化，只有石盐沉积。气候的交替变化，造成光卤石和石盐交互出现。

大陆性气候，有多年的周期变化，也有季节性的变化，不仅形成光卤石与石盐的韵律性沉积，也产生了石盐粘土层与粘土石盐层交互出现，前者代表干燥性气候；后者代表潮湿性气候。

依照盐类矿物析出顺序，含钾矿物一般是在硫酸盐阶段后期开始析出，特别是钾石盐和光卤石则要到氯化物阶段最后结晶。

2. 成盐时期及沉积规律 盆地盐类沉积始于渐新世，到全新世达到盐类沉积的全盛时期，区内有两个时期四个阶段的沉积：

第一阶段的渐新世（E<sub>3</sub>）盐类沉积，由于当时的阿尔金山、昆仑山低下，高耸的祁连山是当地的主要物质补给区，鱼卡河、路乐河等河流携带大量盐类物质补给对岸狮子沟地区。由于湖水长期浓缩，沉积盐层46层，总视厚56.5m，单层厚一般0.1—1m，最大厚度8m。

下部以灰色钙质泥岩为主，夹较多浅灰色砂质泥岩、钙质页岩、泥灰岩及石膏、岩盐、钙芒硝薄层。其中岩盐29层，单层厚一般1m，累计厚47m；石膏32层，单层厚

0.5—1m, 累计厚 21.5m; 钙芒硝 6 层, 单层厚 1 m, 累计厚 6.5m。本层中上部碳酸盐含量为 37.44%; 下部较低, 约 5—29% 左右, 本层视厚 616.57m。

中部为中厚层浅灰、灰白色钙质泥岩、泥质粉砂岩、钙质粉砂岩及石膏、岩盐、钙芒硝薄层。其中岩盐 13 层, 单层厚 0.5—1m, 累计厚 10.50m; 钙芒硝 1 层, 厚 0.5m; 石膏 53 层, 单层厚 0.5—1m, 累计厚 36m。该层碳酸盐含量为 37—41%, 本层视厚 736m。

上部灰色砂质泥岩及钙质泥岩互层, 夹粉砂岩、泥岩、泥灰岩及石膏、岩盐薄层。其中岩盐 2 层, 累计厚 1 m; 石膏 5 层, 累计厚 2.7m。本层碳酸盐含量 31—38% 左右, 本层视厚度 289.5m。

综述: 盐类沉积, 以盆地西部为好, 渐新世地层自下而上碳酸盐含量逐渐降低, 盐类沉积薄层由多变少, 这也和含盐度相一致。

有两个含水段, 两个水段顶部普遍有 100—300m 的泥岩、砂质泥岩为隔水层。在芒崖、油墩子一线, 油泉子背斜, 埋深 1500—1520m, 初期自喷量 1224 t/d, 剩余压力 65 个大气压 (6.5 MPa); 马海背斜埋深 1720m, 自喷流量 400 t/d, 井口剩余压力 7.3 个大气压 (0.73 MPa)。油田水矿化度, 一般西部较高 (200—300 g/L), 北部较低 (16.7—54 g/L)。其中硼、铀含量很低, 北部 KCl 不超过 0.2 g/L; 西部 KCl 含量 1—5 g/L 左右。

第二阶段上新世上段 (N<sub>2</sub><sup>2</sup>) 盐类沉积, 上新世中期, 气候湿热, 湖水淡化以后, 湖盆开始缩小浓缩, 在上新世 (N<sub>2</sub><sup>2</sup>) 后期, 沉积了大量的岩盐, 为第三纪主要沉积期。岩盐沉积主要分布在小梁山、南异山、油墩子、黄石一带, 面积约

2000 km<sup>2</sup>。如南异山构造共有岩盐 189 层，总厚 245.73m，前人资料在南异山、大沙坪等地还有光卤石的沉积。

岩性特征为黄灰色砂质泥岩夹灰色、黄灰色砂岩、砾岩、砾状砂岩及少量泥质粉砂岩、泥岩。在边缘地区为粗碎屑岩向盆地中部则以细碎屑岩为特征，尤以化学岩为主。本组含植物、轮藻、腹足类、介形类化石，总厚 1379m。

含水组介质，一般为细砂岩、粉砂岩、泥灰岩等。含水层埋深一般 1000m 左右。含水层一般 6—8 层，最多 14 层。单层厚 0.7—1m，为承压自流水。据落雁山参 1 井，最大厚度 20m，自喷流量约 4032 t/d；红三旱四号参 1 井，自喷流量为 288 t/d。水温高达 86℃。矿化度(碱山)为 319 g/L，KCl 含量达 7.37 g/L，南异山碘最高为 31.6 g/L；硼 735 mg/L。

第三系地层含盐量以西部为好，含盐度以上新统上部最高，整个第三纪的含盐沉积几乎全部集中在古茫崖拗陷区内。

第三阶段中下更新世(Q<sub>1+2</sub>)盐类沉积，是上更新世盐类沉积的继续，分布范围大体一致，但面积缩小，约 1000 km<sup>2</sup>，盐类单层厚度增大，如大浪滩五个钻孔资料，盐类沉积厚度 22.82—64m，单层最大厚度为 16.5m。本层与下伏地层在盆地中心为连续沉积，在盆地边缘为不整合接触，该层厚 250—1000m。

在大浪滩地区的砂岩、含砂粘土、泥岩互层夹石膏、光卤石薄层。察汗斯拉图则为灰黑色、深灰色、灰褐色、灰绿色淤泥，含砂淤泥、含盐淤泥夹盐类沉积。察尔汗地区(达布逊达参 1 井资料) 397—2561m 孔深段为绿色、棕灰色亚粘土夹灰色泥质粉砂岩、黑色炭质粘土，有的地区则磷酸盐含量增加，含植物化石，未见盐类沉积。

区内除小梁山、油墩子局部地区出现含盐沉积外，盆地东部、北部及中部广大地区，为淡化时期。含钾有利地段，位于小梁山、南异山、油墩子一线，向斜凹地内，卤水含钾较高。在大浪滩16/312孔，300m以下见到杂卤石3层；同时在85—400m孔段有承压水3层，涌水量0.0721—0.2037 L/s。除油墩子凹地为氯化物型外，其余均为硫酸盐型。卤水含KCl 0.37—0.94%。另在察尔汗钻孔中，水质类型Cl—Ca型，KCl含量3.18 g/L，总矿化度为304 g/L。

第四阶段上更新世至全新世(Q<sub>3,4</sub>)，是盆地成盐全盛时期，最厚70余米。各种盐类矿产丰富，面积达15610 km<sup>2</sup>，占盆地总面积的13%。西部的岩性，下部以深灰、灰色泥质粉砂含盐粘土、粉砂粘土、含盐淤泥夹薄层石盐；上部以含盐淤泥、粉砂石盐为主，次为光卤石、钾石盐、杂卤石、石膏、芒硝。局部含水氯镁石，盆地中心常见。盐滩与残余湖泊底部组成以石盐为主，次为光卤石、芒硝、钠硼解石、水氯镁石及天然碱等；察尔汗全新统则为粉砂钾盐与石盐钾盐，卤水矿赋存于石盐晶间及碎屑沉积孔隙中。

根据盆地地质发展及沉积特点，可分为三个带：

1. 祁连山前拗陷盐湖硼矿带，包括大、小柴旦、柯柯等盐湖，形成最新、最重要的硼矿，以及石盐、芒硝矿等。

2. 盆地西部第三纪拗陷盐湖钾矿带，包括尕斯库勒湖、茫崖、大浪滩、察汗斯拉图、昆特依、马海等，以卤水钾为主，次为固体钾、石盐、芒硝等。

3. 盆地中、东部第四纪拗陷盐湖锂、钾矿带，包括一里坪、东西台吉乃尔、察尔汗，以卤水锂、钾为主，次为固体钾矿、石盐矿。矿带南部亦有碱、芒硝矿的分布。

各矿区内固、液矿并存，地下卤水和地表卤水，而以晶

间卤水为主。盆地东、西部卤水的水化学成分有较大差别，东部（主要指察尔汗盐湖）为高钾高镁低钠卤水；西部为高钾低镁高钠卤水。卤水浓度东部高（矿化度一般 325—390 g/L，比重 1.23—1.30）；西部浓度低（矿化度一般 320—340 g/L，比重 1.20—1.23）。

含水性：在大浪滩水位埋深 0.3—0.5m，含水层最大孔隙度 48.89%，最小 1.32%，一般在 15—30%。给水度一般 18%。察尔汗以南冲积层中，300m 以下，有潜水及第四层承压水。承压自流水层为粉细砂及中细砂。自流水水头常高达 12—18.5m。渗透系数 1.20—2.57 m/d。微咸水至咸水。往北含水层逐渐变薄，颗粒逐渐变细，矿化度增高。

## 第二节 盐类矿物的一些物理化学性质

天然矿物盐是沉积生成的有用矿物。依化学定义，矿物盐是指某种盐分子中的氢原子被金属原子交换而形成的化合物。天然矿物盐族一般包括：钠、钾、镁、钙的氯化物和硫酸盐、碳酸盐以及钠、钾的硝酸盐；此外，有时可见到硼酸盐等。盐类矿物的共同特性是：多属低级晶系，呈粒状或块状集合体，一般为无色透明或白色，折光率低（在 1.39—1.85 之间），均系玻璃光泽，比重较小（一般为 1.6—2.3），硬度低（在 4 级以下），易溶于水和潮解。

作为工业矿产开采的有石盐（氯化钠）、钾盐（钾石盐、光卤石、钾盐镁矾、无水钾镁矾、软钾镁矾、钾芒硝、杂卤石）、石膏（硬石膏、石膏）、芒硝（无水芒硝、芒硝），以及天然碱、镁盐、硝酸盐及硼酸盐等。

盐岩的命名一般以岩石中所含的特征矿物或最主要矿物

的名字尾上加上“岩”字。如石盐岩、钾盐岩(钾石盐)等。许多盐岩(如硫酸盐型钾盐矿床)含有比较复杂的矿物及化学成分,常以几种特征矿物的名字共同命名,如硬石膏-杂卤石-石盐岩等。

### 一、可溶性

不同的盐矿物,在水中溶解能力(溶解度)不同。一般易溶的盐矿物有:石盐、钾石盐、光卤石、钾盐镁矾、无水芒硝、芒硝及苏打等。难溶于水中的盐矿物有硬石膏、石膏、杂卤石和钙芒硝等。

两种以上矿物盐共同溶解时,可溶性会发生变化,即两种盐含相同离子,则可溶性会降低;反之,两种盐没有相同的离子,则可溶性会增高。如石盐和钾石盐共同溶解于水中时,它们的可溶性比单独一种盐溶解时的可溶性为小。盐矿

表 1—1 氯化钠和氯化钾的溶解度变化

温度 (°C)	NaCl		KCl	
	溶解度 (g/L)	在溶液中的 含量(g/100g)*	溶解度 (g/L)	在溶液中的 含量(g/100g)*
0	356.5	26.27	283.7	22.10
10	357.2	26.32	312.3	23.80
20	358.5	26.39	343.2	25.55
30	360.7	26.59	373.6	27.20
40	363.7	26.67	402.5	28.70
50	367.2	26.86	430.2	30.08
60	371.2	27.07	456.7	31.35
70	375.5	27.30	483.2	32.58
80	380.8	27.55	509.4	33.77
90	385.2	27.60	537.3	34.95
100	391.8	27.65	562.5	36.00

\* 单盐物质在 100 g 溶液内的克数

物的可溶性对钻进时冲洗液的性能提出了特殊要求。

随着温度和压力的变化，盐的可溶性也引起变化，多数盐的可溶性均随溶液温度的升高而增大，但也有例外。表1—1所列是氯化钠和氯化钾的可溶性随温度而变化的资料，显而易见，随着温度的变化，氯化钠的可溶性变化很小，而氯化钾的可溶性则随温度增高而急剧的增大。

根据一些盐类矿物差热曲线的特性试验，一般经过膨胀、失水、收缩和熔融等过程，要求在盐系地层钻进中，钻具冷却条件要好，温度不宜过高，否则将会影响取心质量和原状样的采取。详见图1—1、1—2、1—3、1—4、1—5、1—6和表1—2。

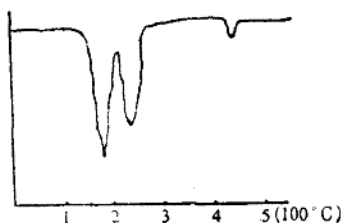


图 1—1 光卤石差热曲线

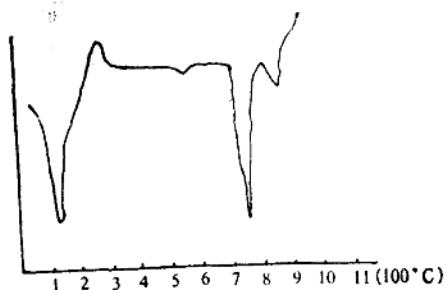


图 1—2 软钾镁矾差热曲线

盐溶液的浓度有不同的表示方法，即：溶液中盐的百分含量；一升溶液中含盐的克数；溶液的比重；溶液的浓度（波美度）等。



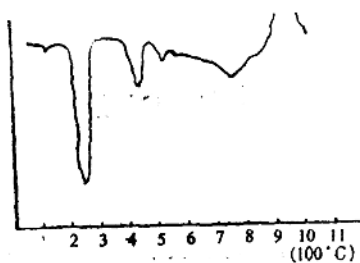


图 1—3 钾石膏差热曲线

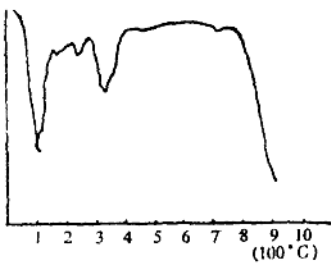


图 1—4 水氯镁石差热曲线

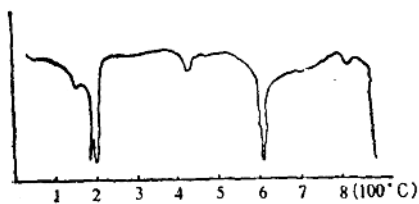


图 1—5 钾盐镁矾差热曲线

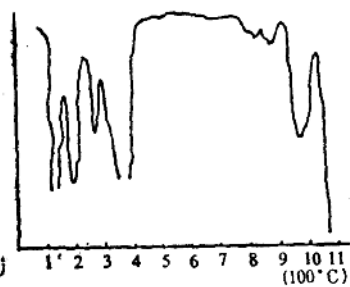


图 1—6 四水泻盐差热曲线