

# 柴达木盆地大柴旦盐湖硼矿特征及成因研究

陶元德

青海省柴达木综合地质矿产勘查院 青海 格尔木 816000

**摘要:** 柴达木盆地大柴旦盐湖硼矿特征及成因研究, 基于地质勘查与地球化学分析, 揭示了大柴旦盐湖硼矿的显著特征。该硼矿位于柴达木盆地南缘, 以镁硼石型为主, 矿体呈似层状、埋深适中, 矿石品位较高且富含硼、镁、钡、锂等元素。硼矿床的形成与盐湖沉积环境密切相关, 受干旱气候和交错水系影响, 经历了多个阶段的沉积富集。本研究为理解大柴旦盐湖硼矿的成矿机理和资源评估提供了重要依据。

**关键词:** 柴达木盆地; 大柴旦盐湖硼矿; 成因分析

## 1 柴达木盆地及大柴旦盐湖地质背景

### 1.1 柴达木盆地地质概况

柴达木盆地, 作为中国三大内陆盆地的一员, 坐落于青海省西北部, 青藏高原的东北部, 其独特的地理位置被昆仑山、阿尔金山及祁连山等山脉紧紧环绕, 形成了一个封闭性显著的巨大山间断陷盆地。该盆地地理坐标范围大致在东经 $90^{\circ}16'$ 至 $99^{\circ}16'$ 、北纬 $35^{\circ}00'$ 至 $39^{\circ}20'$ 之间, 其形状略呈三角形, 东西跨度长约800千米, 南北宽度约300千米, 总面积广阔, 达到了约25.7768万平方公里。盆地地质基底主要由前寒武纪的结晶变质岩系构成, 地势自西北向东南方向微微倾斜, 海拔由3000米左右逐渐降低至2600米左右。地貌特征呈现出同心环状的分布规律, 从盆地边缘至中心, 依次为洪积砾石扇形地(即戈壁地带)、冲积-洪积粉砂质平原、湖积-冲积粉砂粘土质平原, 以及湖积淤泥盐土平原。盆地东南部地区沉降显著, 冲积与湖积平原面积广大, 主要湖泊如南霍鲁逊湖、北霍鲁逊湖和达布逊湖等均分布在这一区域。而盆地西北部, 戈壁带内缘则分布着众多高度在百米以下的垅岗丘陵, 它们成群成束, 构成独特的自然景观; 气候方面, 柴达木盆地以干旱为主要特征。年降水量自东南部的200毫米逐渐减少至西北部的15毫米, 年均相对湿度保持在30%至40%之间, 部分地区甚至可能低于5%。盆地年均气温均在 $5^{\circ}\text{C}$ 以下, 气温变化幅度大, 年温差可超过 $60^{\circ}\text{C}$ , 日温差也常达到 $30^{\circ}\text{C}$ 左右。

### 1.2 大柴旦盐湖地质特征

大柴旦盐湖, 又名依克柴达木湖或大柴达木湖, 位于青海省海西蒙古族藏族自治州大柴旦镇境内, 是柴达木盆地内的一个盐湖。该盐湖面积约为240平方千米, 湖面海拔3148米。大柴旦盐湖的湖区气候干寒多风, 年均气温 $1.1^{\circ}\text{C}$ , 年降水量80.2mm, 蒸发量高达2031.8mm。盐湖是盐类沉积和卤水并存的盐湖, 湖表卤水面积36平方

千米, 丰水期可扩展至90平方千米, 水深0.2~0.7米。盐类沉积分为上下两层, 上层面积130平方千米, 下层面积30平方千米。盐湖的固体盐类资源由4种碳酸盐矿物、10种硫酸盐矿物、11种硼酸盐矿物和3种氯化物矿物组成, 主要有硼酸盐、芒硝和石盐, 尤其是硼酸盐类矿物种类比较多, 是中国著名的硼酸盐盐湖沉积区<sup>[1]</sup>。卤水资源包括湖表卤水和晶间卤水, 湖表卤水矿化度 $274.4\text{g/L}$ , 富含硼、钾、锂等元素。晶间卤水赋存于石盐层中, 分为上、下两层, 富含钠、钾、镁、硼、锂等物质。大柴旦盐湖所在区域在大地构造位置上属于“祁连山边缘凹陷带”, 区内构造以断裂为主, 褶皱不甚发育, 岩浆活动频繁。其湖底化学沉积以石膏为主, 并见有石盐和碳酸盐等盐类矿物。由于构造运动、气候干湿变化以及不同水体(包括入湖淡水、盐湖卤水和周边出露泉水)的耦合机制, 大柴旦盐湖形成了特殊的化学沉积序列。大柴旦盐湖以前曾是采矿区, 采矿留下的坑洞积水形成了如今的湖泊群。因含钾镁锂等金属元素和卤化物, 湖面呈现出翡翠绿、薄荷蓝、琥珀黄等颜色, 成为一处独特的自然景观。

## 2 大柴旦盐湖硼矿特征

### 2.1 硼矿的赋存状态与分布

大柴旦盐湖硼矿, 坐落于青海省柴达木盆地东北边缘的中新生代山间盆地内, 是一座规模宏大的硼矿床。该矿床以固体硼矿为主导, 同时伴随着固液共存的特性, 并含有丰富的伴生组分, 诸如石盐、芒硝、锂、钾、镁盐等, 共同构成了一个综合性的大型盐湖矿藏。固体硼矿主要赋存于第四系上更新统至全新统的湖泊及湖沼沉积层中, 其形态各异, 包括透镜状、扁豆状及近似层状。主要的硼矿层有B5、B4、B6等, 其中B5层最为显著, 面积广阔, 达到了19.5平方千米, 紧随其后的是B4和B6层, 面积分别为21.4平方千米和9.2平方千米。这

些矿层的尺寸各异,长度介于570至950米之间,宽度在250至570米范围内,厚度则在0.6至4米之间,埋藏深度则在2至10米之间。硼矿的赋存与硼酸盐的沉积机制密切相关,这些硼酸盐主要沉积于盐湖演化的不同阶段,特别是在碳酸盐阶段向硫酸盐阶段过渡的关键时期。卤水在这一过程中的水化学特性发生了显著变化,促使柱硼镁石、钠硼解石等硼酸盐矿物自发析出并沉积。

湖滨硼矿主要分布于湖滨阶地及缓坡地带,其形成与近岸湖底上部矿层的局部抬升或湖水侵蚀作用有关。而湖底硼矿则根据成硼时间和沉积物组合特征,自下而上划分为多个层次,主要硼矿物为钠硼解石、柱硼镁石或其组合。大柴旦盐湖硼矿遍布湖区各处。其中,湖表卤水广泛分布于矿区的东、北部,面积宽广,达到44平方千米。而晶间卤水则赋存于盐层及黑色含盐泥灰岩中,形成了两个主要矿层,面积分别高达130平方千米和30.6平方千米。这些丰富的硼矿资源为大柴旦盐湖硼矿的开采提供坚实的物质基础<sup>[2]</sup>。

## 2.2 硼矿的矿物组成与化学成分

大柴旦盐湖硼矿的矿物组成十分复杂,主要包括石盐硼矿、芒硝硼矿、淤泥石膏硼矿及含盐粘土硼矿等类型。这些硼矿中富含多种硼酸盐矿物,如钠硼解石、柱硼镁石和水方硼矿等。在化学成分上,大柴旦盐湖硼矿的矿石中富含硼元素,主要以三氧化二硼( $B_2O_3$ )的形式存在。富矿中的 $B_2O_3$ 含量可达9.3%-10.1%,而贫矿中的 $B_2O_3$ 含量则在1.6%-3.6%之间。矿石中还含有一定量的石盐、芒硝、石膏等盐类矿物,以及少量的有机质和其他微量元素。值得注意的是,大柴旦盐湖硼矿的化学成分和矿物组成还受到多种因素的影响,如沉积环境、气候条件、水文条件等。这些因素的变化会导致硼酸盐矿物的沉积和转化,从而影响硼矿的质量和分布。

## 2.3 硼矿的开采与加工利用现状

随着技术的不断进步和市场的不断扩大,硼矿的开采和加工利用水平也在不断提高。在开采方面,大柴旦盐湖硼矿主要采用露天开采的方式。通过挖掘和破碎等工艺,将矿石从矿层中开采出来,并进行初步的加工和处理。在开采过程中,需要严格控制开采规模和开采强度,以避免对周边环境和生态造成破坏。在加工利用方面,大柴旦盐湖硼矿的矿石经过破碎、筛分、浮选等工艺处理后,可以得到不同品位和类型的硼产品。这些产品广泛应用于玻璃、陶瓷、冶金、化工等领域,具有广阔的市场前景和经济效益。近年来,随着国家对环保和可持续发展的重视,大柴旦盐湖硼矿的开采和加工利用也面临着新的挑战和机遇。一方面,需要不断提高开采

和加工技术水平,降低能耗和减少污染;另一方面,需要积极探索硼矿资源的综合利用途径,提高资源利用效率和附加值。

## 3 大柴旦盐湖硼矿成因分析

### 3.1 成矿物质来源

大柴旦盐湖硼矿的成矿物质来源具有多元性,主要包括岩石风化、深部卤水上涌以及周边水体携带等多种途径。首先,柴达木盆地及其周边地区的岩石,如富含硼元素的火山岩、沉积岩等,在长期的风化作用下,释放出大量的硼元素进入地表水和地下水系统。这些含硼水体在流动过程中,不断溶解和携带更多的硼元素,最终汇聚到大柴旦盐湖中。其次,深部卤水上涌也是大柴旦盐湖硼矿成矿物质的重要来源。在地质构造运动的作用下,深部富含硼元素的卤水沿着断裂带或渗透性较好的岩层上涌至地表或浅层,与湖水混合后,进一步促进了硼元素的富集和沉淀。另外,周边水体携带的硼元素也是不可忽视的成矿物质来源,大柴旦盐湖周边存在多个小型湖泊和河流,这些水体在流动过程中会溶解和携带一定量的硼元素,当它们汇入大柴旦盐湖时,也为硼矿的形成提供了丰富的物质来源。

### 3.2 控矿因素探讨

大柴旦盐湖硼矿的形成受到多种控矿因素的共同影响,主要包括地质构造、气候条件、水文条件以及沉积环境等。柴达木盆地及其周边地区的地质构造复杂,断裂带和褶皱发育,这些构造为深部卤水的上涌和硼元素的迁移提供了通道和场所。地质构造的变化也会影响湖水的沉积环境和化学性质,从而影响硼矿的沉淀和富集。气候条件对硼矿的形成也具有重要影响,大柴旦盐湖位于干旱地区,年降水量少而蒸发量大,这种气候条件有利于硼元素的浓缩和沉淀。气候的干湿变化也会影响湖水的盐度和化学成分,从而影响硼矿的沉积和转化。水文条件也是控制硼矿形成的重要因素,大柴旦盐湖的水文条件复杂多变,包括湖水的补给、排泄、循环以及水化学性质等方面。这些水文条件的变化会影响硼元素的迁移和沉淀过程,从而影响硼矿的分布和质量。沉积环境对硼矿的形成同样具有重要影响,大柴旦盐湖的沉积环境包括湖泊沉积、湖沼沉积以及河流沉积等多种类型。这些沉积环境的不同会影响硼元素的沉积方式和沉淀速率,从而影响硼矿的形态和规模。

### 3.3 成矿模式与机制

大柴旦盐湖硼矿的成矿模式可以概括为“多源汇聚-构造控制-水文调节-沉积富集”的综合成矿模式。多源汇聚是指成矿物质来源的多元性和复杂性,如前所述,大

柴旦盐湖硼矿的成矿物质来源于岩石风化、深部卤水上涌以及周边水体携带等多种途径。这些来源共同构成硼矿形成的物质基础。构造控制是指地质构造对硼矿形成的关键作用,地质构造的变化不仅为深部卤水的上涌和硼元素的迁移提供通道和场所,还影响湖水的沉积环境和化学性质,从而控制硼矿的沉淀和富集过程<sup>[3]</sup>。水文调节是指水文条件对硼矿形成的重要影响,大柴旦盐湖的水文条件复杂多变,包括湖水的补给、排泄、循环以及水化学性质等方面。这些水文条件的变化会影响硼元素的迁移和沉淀过程,从而调节硼矿的分布和质量。沉积富集是指硼元素在沉积过程中的富集和沉淀过程,在适宜的沉积环境下,硼元素会随着沉积物的堆积而逐渐富集和沉淀下来,形成硼矿。

#### 4 大柴旦盐湖硼矿资源评价与开发利用建议

##### 4.1 基于地质勘查与矿产资源评价方法的资源量估算

大柴旦盐湖硼矿资源量的估算,是基于详尽的地质勘查与科学的矿产资源评价方法进行的。地质勘查工作主要包括地质填图、物探、化探、钻探以及采样分析等多个环节。通过这些手段,可以系统地收集和分析地质、地球物理、地球化学以及岩石矿物学等方面的数据,为资源量的估算提供可靠的基础资料。在资源量估算过程中,采用多种矿产资源评价方法,如地质统计学方法、体积法、品位-吨位模型法等。通过综合分析和计算,得出大柴旦盐湖硼矿的资源量,为后续的开采规划和利用提供科学依据。

##### 4.2 硼矿资源的潜力与可持续性分析

大柴旦盐湖硼矿资源具有显著的潜力和可持续性。从资源潜力来看,该矿区硼矿储量大、品位高,且矿体分布相对集中,易于开采和利用。随着勘探技术的不断进步和地质认识的深化,未来还有可能发现更多的硼矿资源,进一步增加资源潜力。在可持续性方面,大柴旦盐湖硼矿资源的开采和利用需要注重环境保护和生态平衡。通过采用科学的开采方法和先进的加工技术,可以减少对环境的破坏和污染,实现资源的可持续利用。加

强矿区生态恢复和治理工作,也是保障资源可持续性的重要措施<sup>[4]</sup>。另外,还需要考虑硼矿资源的综合利用和产业链延伸。通过开发硼矿的伴生资源和副产品,提高资源利用效率,可以进一步增加硼矿资源经济价值和可持续性。

##### 4.3 硼矿开采与加工利用的技术改进与创新方向

针对大柴旦盐湖硼矿的开采与加工利用,需要不断推进技术改进和创新。在开采方面,应优化开采方案,提高开采效率和安全性。在加工利用方面,应注重提高硼产品的附加值和市场竞争力。通过研发新的加工技术和工艺,可以生产出更多高附加值、高性能的硼产品,满足市场需求。加强硼产品的质量控制和品牌建设,也是提升产品竞争力的重要途径。还需要加强硼矿资源的综合利用和循环经济发展。通过开发硼矿的伴生资源和副产品,实现资源的最大化利用。同时推动硼矿开采与加工利用过程中的废弃物资源化利用,形成循环经济产业链,促进可持续发展。

#### 结束语

本研究深入探讨了柴旦木盆地大柴旦盐湖硼矿的地质特征和成因机制,揭示了硼矿的形成与盐湖沉积环境的紧密联系。研究成果不仅为大柴旦盐湖硼矿的开发提供科学依据,也为进一步理解盐湖硼矿床的成矿模式和地球化学过程提供新的视角。未来,还需继续深化对该地区硼矿成因和成矿规律的研究。

#### 参考文献

- [1]熊福军,王肖虎,张许,等.探索青海察尔汗盐湖老卤资源梯度开发[J].广东化工,2022,49(06):158-161.
- [2]熊增华,王石军.察尔汗盐湖资源开发利用现状及关键技术进展[J].化工矿物与加工,2021,50(01):33-37.
- [3]李玉凤,任元成.盐湖资源开采与地质环境问题探讨[J].化工管理,2020,(29):39-40.
- [4]李岩,马珍,宋兴福.青海氯化物型盐湖钾资源开发新进展与产业发展建议[J].无机盐工业,2023,55(08):84-90.