

察尔汗盐湖

资源

可持续利用研究

于升松 谭红兵 著
刘兴起 曹广超



科学出版社

www.sciencep.com

察尔汗盐湖资源可持续利用研究

于升松 谭红兵 著
刘兴起 曹广超

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在过去五十年生产及科研工作的基础上,系统地论述了察尔汗盐湖资源的地球化学特征、加工工艺及可持续利用。全书共分四篇:第一篇简要介绍了察尔汗盐湖区地理及地质情况;第二篇介绍察尔汗盐湖资源地球化学特征;第三篇重点介绍了盐湖晶间卤水的开采、盐田工艺及卤水中钾、镁、锂、硼、溴等的提取方法和加工工艺;第四篇阐述了察尔汗盐湖资源开发利用的可持续发展。重点阐述了该盐湖资源优化开发的模式、环境保护、卤水矿源及淡水资源的稳定供给等问题。

本书可供从事盐湖、地下卤水、油田卤水、盐矿资源地球化学、成盐元素、无机化学、溶液化学、物理化学等及上述资源开发利用的分离提取化学工艺、采选矿技术的广大科学研究人员、工程技术人员和高等院校教学人员、研究生、本科生,以及盐湖开发生产企业生产人员、管理人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

察尔汗盐湖资源可持续利用研究/于升松等著. —北京:科学出版社, 2009
ISBN 978-7-03-024639-4

I. 察… II. 于… III. 盐湖-自然资源-资源利用-可持续发展-研究-青海省 IV. P619.210.624.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 081275 号

责任编辑:赵 峰 沈晓晶/责任校对:陈玉凤
责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2009 年 6 月第一次印刷 印张:25 插页:2
印数:1—1 000 字数:574 000

定价:98.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

前 言

青海察尔汗盐湖总面积为 5856km²，是我国最大的盐湖，同时，它也是我国最大的具有工业开采价值的大型内陆第四纪石盐、钾盐、镁盐及富含硼、锂、铷、铯、溴、碘等有用化学元素的综合性盐类矿床。该盐湖以钾、镁卤水矿为主，固、液体并存，其中氯化钠有约 90% 已沉积成稳定的固体矿产层，其余的钾、镁、锂、硼、铷、铯等矿产主要存在于卤水之中。

该盐湖中各种盐类资源非常丰富，储量近 600 亿 t，仅食盐的蕴藏量就足够全世界人口食用数千年。众所周知，食盐不仅是人们日常生活的必需品，而且也是重要的大宗化工原料。基本化学工业的“三酸两碱”是衡量一个工业化国家整体经济实力的标准之一，世界盐产量的 65% 用于生产纯碱、烧碱、氯化物和硫酸钠，其中两碱、氯化物和氯的衍生物等 80 多种化合物耗用的氯化钠占 60%，因此，没有发达的盐业生产就没有发达的化学工业。当然，其他工业也离不开食盐做原料。随着我国交通运输业的发展，盐湖将会为工业提供越来越多的质优价廉的氯化钠矿物原料。

盐湖资源不仅直接关系到人们的生活，而且几乎涉及国民经济各部门。在农业方面，我国是农业大国，同时也是缺钾大国，目前我国农业上所需的钾肥主要从察尔汗盐湖中提取。在工业方面，盐湖资源除广泛地用于基本化学工业和制盐工业外，在纺织、制革、玻璃、陶瓷、电子等轻工业及建材、冶金、石油化工等部门也广泛应用。盐湖资源对国防工业也具有重要意义。众所周知，盐湖中的锂、硼等资源是重要的战略物资，可作为高能燃料，用于火箭、导弹、宇航等国防工业；用锂、硼、镁等制成的高强度、耐高温的轻质合金构件及高速固体润滑涂层广泛用于军事工业和航天工业；同时，锂资源不仅是制造锂电池的材料，也是制造³H 的原料，一旦热核可控在技术上得到实现，盐湖锂资源又将成为巨大的能源资源。因此，开展盐湖资源研究意义重大。

1955 年，原西北地质局 632 队首次肯定了察尔汗盐湖是一个巨大的盐库，并估算了石盐的储量。1956 年，地质学家孙殿卿、关佐蜀、朱夏及郑绵平等查明了察尔汗湖盐层含硼、钾。1957 年，中国科学院综合考察委员会组织成立的柴达木盐湖科学调查队，在化学家柳大纲教授和盐矿地质学家袁见齐教授的领导下，在察尔汗盐湖首次发现了光卤石矿，并估算了晶间卤水中和达布逊湖水中 KCl 的储量。1958~1960 年，原青海省地质局海西地质队对察尔汗盐湖进行了普查与初步勘探，于 1965 年 9 月提交了初步勘探总结报告。1965~1966 年，原青海省地质局第一地质队对察尔汗盐湖的地下晶间卤水进行过详细勘探，于 1967 年 3 月提交了察尔汗盐湖 KCl 等资源储量勘探报告。1965 年，中国科学院青海盐湖研究所（以下简称“盐湖所”）和青海省地质局盐湖研究室（简称“盐湖室”）先后成立，盐湖室对察尔汗盐湖矿床的物质成分、分布规律、形成条件及水盐均衡等进行了研究，于 1969 年提交了研究报告。盐湖所通过对该湖卤水的蒸发试验，卤水氢、氧同位素测定，湖区周围第三纪、第四纪沉积岩淋滤实验，湖区

沉积层的 ^{14}C 年龄测定,盐类矿物、黏土矿物及碳酸盐矿物等鉴定及地质、地球化学、水化学和沉积学等研究,对察尔汗盐湖的钾盐矿床的物质来源、钾的分异富集及形成演化进行了系统总结,并于1987年出版了《柴达木盆地盐湖》(张彭熹等,1987)。同时,也重点开展了“达布逊湖东北湾光卤石形成条件及人工控制再生研究”,为原青海钾肥厂生产提供了部分钾矿资源。1970年,原北京地质学院袁见齐教授主持的《察尔汗盐湖钾盐矿床的形成条件》编写小组成立并开展了工作,该专著于1995年正式出版(袁见齐等,1995)。盐湖所开展了“察尔汗盐湖矿床开采条件研究”及“察尔汗盐湖开采钾镁液体矿对铁路路基稳定性影响”等系列研究,于1979年提交了相关研究报告(王绳祖等,1979),并于1988年出版了《盐湖矿床开采》(王方强等,1988)。1982年原青海钾肥厂开始恢复168线以东的35个长观孔的晶间卤水动态观测工作,1985年提交了相关总结报告;1982年,原化学工业部矿产地质研究院在该湖的采卤试验区施工90口钻孔,于1983年提交了综合研究报告。1983~1984年,原第一水文地质工程地质大队开展了达布逊湖幅、盐湖幅1:20万区域水文地质普查,于1985年提交了报告。1984年,对别勒滩区段进行了开发前储量计算参数验证工作,于1987年提交了报告。1986~1995年国家“七五”及“八五”期间,为了缓解我国钾肥严重不足的被动局面,原地质矿产部在“七五”期间,开展了“柴达木盆地第四纪钾盐矿床形成条件及综合找矿方向研究”的重点科技攻关课题研究,分别于1993年出版了《柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境研究》(沈振枢等,1993),1994年出版了《柴达木盆地新构造运动及盐湖发展演化》(朱允铸等,1994)。国家一方面组织力量继续寻找新的钾矿地点,提供钾资源后备基地,另一方面又决定在察尔汗盐湖建立年产100万t KCl规模的青海盐湖集团,以该湖 S_4 层晶间卤水为原料,生产氯化钾。该工程分两期建设,一期工程年产20万t KCl,二期工程年产100万t KCl,并列入“七五”及“八五”国家重点建设项目。为了配合青海盐湖集团建设,1986年国家将“青海盐湖提钾和综合利用的研究”列为国家“七五”重点科技攻关项目,从此,察尔汗盐湖的开发研究步入了一个崭新阶段。青海省盐湖勘查开发研究院、国家地震局地质研究所、地质矿产部矿床研究所、化学工业部矿产地质研究院及中国地质大学共同开展了“察尔汗盐湖察尔汗区段主开采层(S_4)基础地质补充研究”专题,并于1993年出版了《察尔汗盐湖钾盐矿床地质》(杨谦,1993)。盐湖所承担并完成了国家重大科技攻关项目“青海盐湖提钾和综合利用”四个课题25个专题中的11个专题研究。此外,还进行了镁、硼、锂综合利用的9项中试和扩试工作。

为了完善青海盐湖集团一期工程采卤方案,制定长远开采规划,跟踪描述、预测察尔汗盐湖首采区采卤过程中水质水量动态变化,保障青海省钾肥厂年产20万t KCl的稳定供卤等,盐湖所及中国地质大学共同承担了“察尔汗盐湖采卤过程中水动态水化学规律研究”的“七五”及“八五”期间国家重点科技攻关课题,并分别于1990年及1995年完成了任务,取得了圆满成果。并于2000年出版了《察尔汗盐湖首采区钾卤水动态及其预测》(于升松等,2000)。

从以上内容不难看出,察尔汗盐湖是我国科学工作者研究历史最长、研究程度最大的一个盐湖。为不断揭开察尔汗盐湖的科学奥秘,和对它进行大规模开发利用,广大科

技工作者呕心沥血,发扬无私奉献和艰苦奋斗精神,从地质、化学及化工等方面进行了多学科、多兵种的综合性科学考察和研究,为目前该盐湖的大规模工业开发做出了巨大贡献。

没有广大科技工作者及工人的辛勤劳动,就没有目前该盐湖的大规模开发,就没有本书的出版,谨将本书献给那些为开发察尔汗盐湖和发展察尔汗盐湖事业而辛勤劳动的人们。

2000年国家将青海察尔汗盐湖年产100万t氯化钾的二期工程项目列为国家西部开发的首批十大项目之一,2003年投产,目前察尔汗盐湖上实现了年产近200万t氯化钾的总生产能力。

察尔汗盐湖是我国综合利用开发利用程度最高的一个盐湖。目前,它已经成为我国最大的钾盐产地和钾肥生产基地,年产氯化钾占我国总产量的95%以上。不久的将来,察尔汗盐湖也必将成为我国最大的镁业生产基地和锂业生产基地。

从科学技术发展角度和国民经济发展作用角度看,目前察尔汗盐湖主要生产氯化钾,而对其他资源(如锂、硼、镁等)的综合开发利用还需继续开展提取工艺试验研究;对钾、锂、硼、镁等元素的成矿机理还需进一步探讨;从国民经济发展角度看,还必须继续扩大钾盐生产规模以满足国民经济发展需求,因此,如何保持该盐湖中宝贵的钾资源可持续利用也是关键问题。同时,如何对该盐湖中其他资源如钠、锂、硼、镁等资源综合开发利用,以增加经济效益,也是重要问题。

因此,本书的出版对科学技术及国民经济发展有着重大的学术价值和经济价值。

本书在过去五十年的生产及科研工作基础上,系统论述了察尔汗盐湖资源地球化学特征、加工工艺及可持续利用。全书共分四篇:第一篇简要介绍了察尔汗盐湖区地理及地质情况;第二篇介绍察尔汗盐湖资源地球化学特征,重点讨论了察尔汗盐湖所在的格尔木河流域水文地球化学及察尔汗盐湖的发展演化史、成盐期、物质补给源、成盐成钾模式、钾盐沉积地球化学、卤水地球化学及用Pitzer模式模拟该盐湖卤水形成与演化的地球化学;第三篇重点介绍了盐湖晶间卤水的开采、盐田工艺及卤水中钾、镁、锂、硼、溴等的提取方法和加工工艺;第四篇阐述察尔汗盐湖资源开发利用的可持续发展,重点阐述了该盐湖资源优化开发的模式、环境保护、卤水矿源及淡水资源的稳定供给等问题。

书中引用了前人的资料,对他们的观点的理解难免有误;许多科技工作者从不同的研究角度出发,因而得出的某些结论不尽一致,本书把他们的观点摆出来,目的是便于更深入地研究和讨论,使问题逐渐地逼近客观实际。

本书的完成得到了中国科学院青海盐湖研究所在各方面给予的大力支持,李廷伟、李红、全彩荣帮助校对,在此表示感谢。

由于编著者水平有限,错误在所难免,敬请批评指正。

中国科学院青海盐湖研究所研究员

青海师范大学兼职教授

于升松

2007年6月16日

目 录

前言

第一篇 察尔汗盐湖概况

第一章 察尔汗盐湖自然地理	3
第二章 察尔汗盐湖经济地理	8
第三章 湖区地质	14

第二篇 察尔汗盐湖资源地球化学

第四章 格尔木河流域水文地球化学	27
第一节 流域概况	27
第二节 格尔木河流域地下水古水体研究	28
第三节 格尔木河流域水文地球化学	39
第五章 察尔汗盐湖的发展演化史	80
第一节 袁见齐等(1995)的研究	80
第二节 杨谦等(1993)根据地层年代学和盐层分布的研究	81
第三节 陈克造等(1985)的距今三万年察尔汗盐湖的演化研究	82
第四节 黄麒等(1985)的距今约四万年以来察尔汗盐湖的演化的研究	83
第五节 张彭熹等(1993)根据包体水同位素组成变化研究察尔汗盐湖的演化	83
第六章 察尔汗盐湖成盐期	87
第一节 察尔汗盐湖成盐期研究概况	87
第二节 察尔汗盐湖成盐期的讨论	87
第七章 察尔汗盐湖物质补给源	91
第一节 周边水	91
第二节 深层循环水	97
第三节 柴达木古湖遗留给察尔汗盐湖的盐类物质	105
第四节 昆仑山区古湖水	106
第五节 火山-热水	107
第八章 察尔汗盐湖成盐成钾模式	108
第一节 高山深盆模式	108
第二节 “高山深盆振荡干化、分离盆地同步分异”模式	110
第三节 “湖迫迁移、退缩”模式	117
第四节 “反向湖链”模式	120

第五节 “多级储集预备盆地成盐成钾”模式	127
第九章 察尔汗盐湖卤水地球化学	132
第一节 察尔汗盐湖地下晶间卤水	132
第二节 察尔汗盐湖晶间卤水水化学	137
第三节 察尔汗盐湖区卤水湖水化学	175
第四节 察尔汗盐湖卤水类型	197
第十章 基于 Pitzer 模型的察尔汗盐湖卤水形成与演化的地球化学模拟	210
第一节 察尔汗盐湖天然水体地球化学模拟的理论基础及其研究进展	210
第二节 察尔汗盐湖卤水形成的地球化学模拟	226
第三节 盐湖卤水演化的地球化学模拟	235
第四节 察尔汗及柴达木其他硫酸镁亚型盐湖制取硫酸钾工艺的可行性研究	244
第十一章 察尔汗盐湖钾盐沉积地球化学	256
第一节 察尔汗盐湖石盐沉积	256
第二节 察尔汗盐湖钾盐沉积	258
第三节 察尔汗湖钾盐沉积的形成机理	265
第三篇 资源加工工艺	
第十二章 察尔汗盐湖晶间卤水的开采研究	273
第一节 察尔汗盐湖晶间卤水开采的任务	273
第二节 优化采卤区	273
第三节 卤水的开采方法	276
第四节 卤水开采中的防结盐研究	276
第五节 察尔汗盐湖 S_4 层晶间卤水钾盐开采指标的地球化学分析	277
第十三章 盐田工艺	285
第十四章 察尔汗氯化物型盐湖卤水氯化钾的加工工艺	290
第一节 冷分解-洗涤法工艺	290
第二节 冷分解-浮选法工艺	290
第三节 冷分解-热溶结晶法工艺	291
第四节 反浮选-冷结晶法工艺	292
第五节 兑卤-控速结晶生产氯化钾工艺 (简称青钾 4# 工艺)	294
第十五章 察尔汗盐湖镁盐资源的加工工艺	296
第一节 水氯镁石脱水制取无水氯化镁	296
第二节 氧化镁的加工工艺	300
第三节 氢氧化镁的加工工艺	302
第十六章 察尔汗盐湖卤水锂资源加工工艺	307
第一节 沉淀法	307
第二节 碳化法	309
第三节 溶剂萃取法	312

第四节 离子筛交换法	314
第五节 煅烧法	315
第十七章 盐湖卤水提硼工艺	317
第一节 酸析法	317
第二节 浮选法	322
第三节 离子交换法	322
第四节 溶剂萃取法	323
第十八章 卤水中溴的提取工艺	326
第一节 水蒸气蒸馏法	327
第二节 空气吹出法	327
第三节 离子交换法	328
第四节 溶剂萃取法	329
第四篇 察尔汗盐湖资源开发利用的可持续发展	
第十九章 我国的钾盐资源及钾盐产品的市场分析	333
第一节 钾盐资源	333
第二节 钾盐开发	333
第三节 市场需求	333
第二十章 察尔汗盐湖资源优化开发的模式与对策	335
第一节 察尔汗盐湖资源特点	335
第二节 察尔汗盐湖资源开发的优化布局	335
第三节 察尔汗盐湖资源优化开发时序	336
第四节 察尔汗盐湖资源的综合开发利用	336
第五节 发展盐湖高值化及市场急需化工产品生产	337
第六节 优化开发盐湖化工系列产品	337
第七节 加强盐湖科学研究	338
第二十一章 保质保量的卤水矿源的稳定供给	339
第一节 察尔汗盐湖采卤补淡, 加强固体钾矿溶解于卤水的研究	339
第二节 低品位 KCl 卤水的开发利用	343
第三节 进一步提高钾的回收率	345
第四节 察尔汗盐湖灾害性洪水的防范	345
第二十二章 环境保护	354
第一节 察尔汗盐湖老卤水的妥善存放及综合利用	354
第二节 选矿药剂对矿床的污染及其解决途径	355
第二十三章 格尔木河流域淡水资源的供需分析	356
第一节 格尔木河流域淡水资源总量	356
第二节 格尔木河流域需水量	356
主要参考文献	361
附表	366

第一篇 察尔汗盐湖概况

“察尔汗”为蒙古语，意为“盐的世界”。察尔汗盐湖是格尔木河流域的尾间湖，是格尔木市的重要组成部分。

察尔汗盐湖位于柴达木盆地中南部，南依昆仑山，北邻祁连山的支脉埃姆尼克山、锡铁山及绿梁山，西邻东、西台吉乃尔盐湖，东依柴达木河。其地理坐标：东经 $93^{\circ}42'36'' \sim 93^{\circ}14'36''$ 、北纬 $36^{\circ}37'36'' \sim 37^{\circ}12'33''$ 。

该湖东西长 168km，南北宽 20~40km，总面积为 5856km^2 ，比青海湖的面积大 1276km^2 ，是我国最大的盐湖，以干盐壳为主，属干盐湖，由东而西划分为霍布逊、察尔汗、达布逊及别勒滩四个区段。干盐壳周围边缘镶嵌着 10 个卤水盐湖，它们是团结湖、南霍布逊湖、北霍布逊湖、协作湖、东陵湖、涩聂湖、大别勒滩湖、小别勒滩湖、达西湖及达布逊湖。卤水湖总面积为 500km^2 左右。卤水盐湖面积占察尔汗盐湖总面积的 $1/9$ （图 1 至图 3）。

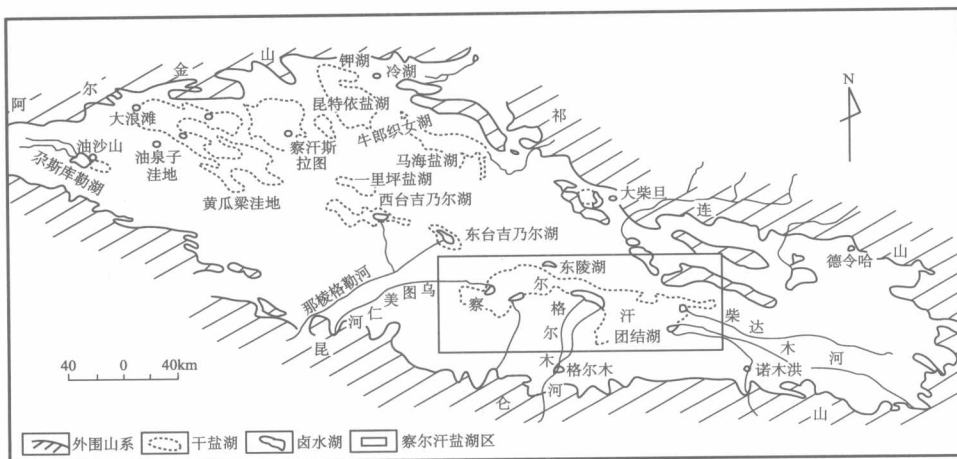


图 1 察尔汗盐湖位置图（杨谦等，1993）

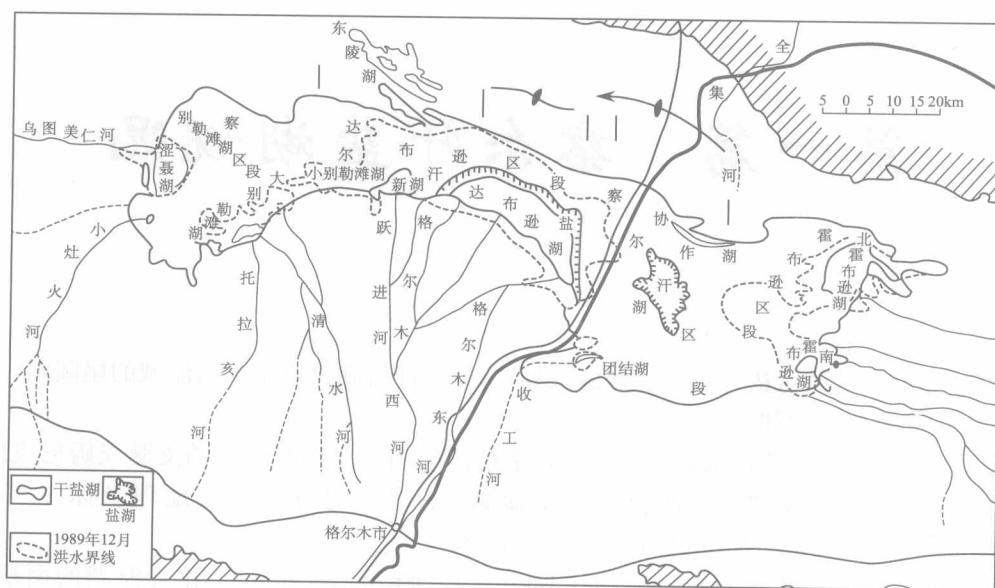


图2 察尔汗盐湖干盐湖与卤水湖分布略图 (杨谦等, 1993)

第一章 察尔汗盐湖自然地理

1. 地形

察尔汗湖区地势平坦，达布逊湖水面最低，海拔仅 2677.5m，盐壳地面海拔为 2678~2683m，霍布逊湖及别达拱起附近地势略高，达布逊及别勒滩区段略低，高差为 5m 左右。

2. 地貌

察尔汗湖区地貌由山地、山前洪积倾斜平原（戈壁带）、冲洪积平原、冲湖积平原（洪积扇）、洪积平原、湖积平原、干湖滩、沙丘、丘陵、雅丹、卤水湖及溶塘、溶沟等类型组成，但主体属于高、中海拔山地，以及冲积、洪积和湖积（包括盐滩）平原型地貌。

湖区南、北两侧的山地与平原，两者最大相对高差达 2500m，构成了该区典型的“高山深盆”的地貌景观。

湖区南、北两侧地貌类型及其发育程度不对称。南侧的山地高峻、雄伟，海拔一般在 5000m 以上；戈壁带、洪积扇、洪积平原及湖积平原分布广阔，两者均十分发育。北侧的山地狭窄而较低，海拔一般在 3000m 左右；戈壁带、洪积扇、洪积平原及湖积平原分布范围较小，两者均不十分发育，但丘陵、雅丹及沙丘地貌却较发育。

湖区南侧，由南而北，地貌类型依次为昆仑山山地、戈壁带、洪积扇、洪积平原、湖积平原、卤水湖及干盐滩；北侧，由北而南，地貌类型依次为阿木尼克山及锡铁山山地、丘陵、戈壁、洪积平原、雅丹、沙丘及干盐滩。干盐滩是察尔汗盐湖的主体，干盐滩表面平坦，自北而南低缓，略具微小的倾斜，在干盐滩的边缘发育着卤水湖，在干盐滩的东北部发育着众多的溶塘及溶沟地貌（图 1.1）。

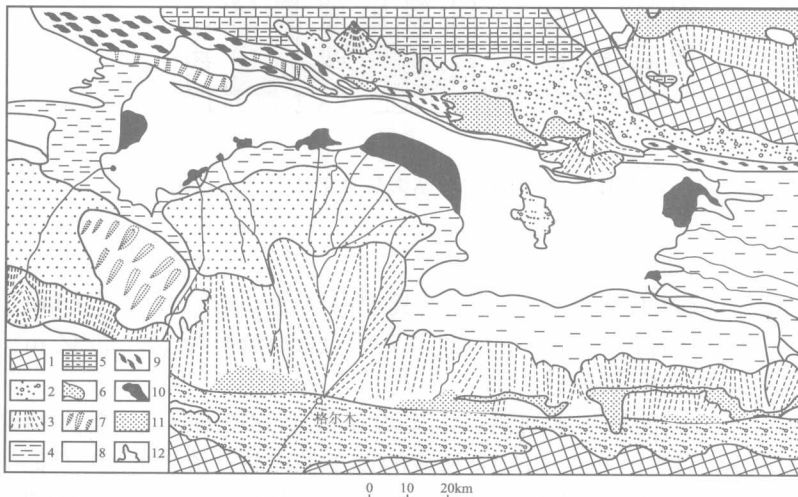


图 1.1 察尔汗盐湖区地貌图（杨谦等，1993）

1. 山地；2. 戈壁；3. 洪积扇；4. 湖积平原；5. 丘陵；6. 垄状沙丘；7. 新月形沙丘；
8. 盐滩；9. 雅丹；10. 盐湖；11. 洪积平原；12. 溶塘及溶沟

3. 气候

察尔汗盐湖区属高原温带极度干旱气候区。冬长夏短，多风少雨，蒸发强烈。根据察尔汗气象站资料，多年平均气温为 5.33°C ，多年平均降水量为 24.24mm ，多年平均蒸发量可达 3564.4mm ，干燥度 (E/D) 为 147.3 ($1956\sim 1961$ 年)，湖区多年平均气压为 7.35 万 Pa ($1967\sim 1989$ 年)，多年平均相对湿度为 27.7% ($1960\sim 1989$ 年)，多年平均风速为 4.3m/s ($1961\sim 1980$ 年)。

在一年之内，各月份的月均气温、蒸发量、降水量及风速各自的变化基本一致，通常每年的 4~9 月，它们的值较大，10 月至翌年 3 月值较小。月均气温、月均相对湿度、月均降水量、月均蒸发量、月均风速等气象要素，4~9 月分别为 6.5 (4 月)~ 19.2°C (7 月)， 22% (4 月)~ 31% (7 月)， 0.5 (4 月)~ 7.3mm (7 月)， 335.3 (4 月)~ 553.5mm (7 月)， 4.4 (9 月)~ 5.5m/s (5 月)；10 月至翌年 3 月分别为 -10.3 (1 月)~ 5.1°C (10 月)， 24% (3 月)~ 32% (1 月、12 月)， 0.1 (1 月、2 月、3 月、11 月)~ 0.5mm (10 月)， 58.1 (12 月)~ 235.4mm (10 月)， 3.0 (12 月)~ 4.4m/s (3 月) (图 1.2)。

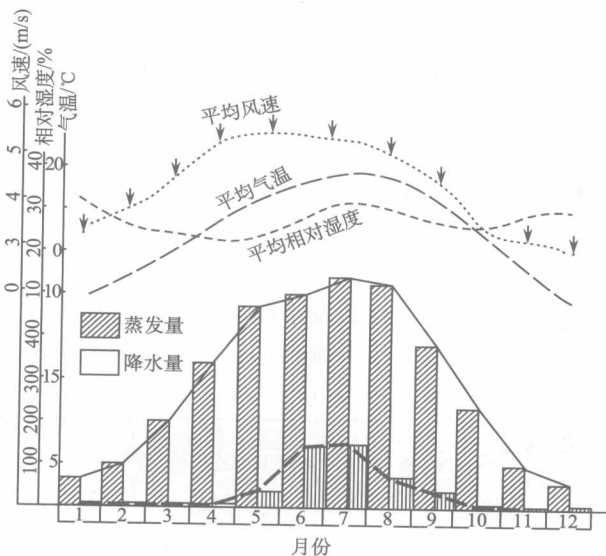


图 1.2 察尔汗气象站多年月平均气象要素图

4. 河流

察尔汗湖区流域面积为 13.2 万 km^2 ，其中山区集水面积为 6.2 万 km^2 。湖区周围共有河流 18 条，主要的有 15 条，它们的多年平均总径流量为 19.226 亿 m^3 ，其基本特征见表 1.1。由表 1.1 可以看出：

(1) 流入达布逊湖的格尔木河最长，集水面积达 $14\,325\text{km}^2$ ，全长 446.32km ，多年平均总径流量为 7.82 亿 m^3 ，占有河流的多年平均总径流量的 40.7% 。

(2) 绝大多数河流分布于湖区东、南、西部，尤其是由天然降水和融雪水补给的湖区南部的昆仑山区，是绝大多数河流的发源地，而湖区北部处于雪线以下的埃姆尼克山和锡铁山，雨雪贫乏，河流极少，仅有一条全集河。

(3) 湖区周围河流水的补给是维持分布在盐滩周边卤水湖存在的主要因素, 由于它们的存在, 卤水湖才得以生存。注入卤水湖的河流水流量越大, 卤水湖就越大, 最大的达布逊卤水湖就是由流量最大的格尔木河补给的, 而分布于北部的泉水补给的全集河, 因水流量较小, 故它注入的协作湖水量也较小。

表 1.1 察尔汗盐湖周边主要河流的基本特征

河流名称	化学组成/(mg/L)								水型	多年平均 径流量 /(100 m ³ /a)	注入湖泊
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻	总矿化度			
沙柳河	2.9	65.0	51.3	10.1	98.2	52.8	156.0	359.7	Cl _{II} ^{Na}	0.583 4	北霍布逊湖
夏日哈河	4.0	100.0	51.3	15.2	160.2	57.6	159.6	468.1	Cl _{II} ^{Na}	0.387 9	北霍布逊湖
察汗乌苏河	5.8	135.0	74.9	19.3	226.2	99.9	185.6	653.9	Cl _{II} ^{Na}	1.485 3	北霍布逊湖
柴达木河	6.7	93.7	44.7	33.7	128.3	81.7	252.0	514.8	Cl _{II} ^{Na}	1.479	北霍布逊湖
哈鲁乌苏河	12.4	144.8	43.5	44.0	205.3	113.4	256.3	691.5	Cl _{II} ^{Na}	0.021 51	南霍布逊湖
素梭果勒河	3.0	101.0	54.0	17.0	148.0	84.0	196.0	603.0	Cl _{II} ^{Na}	3.232 4	北霍布逊湖
蒙古尔河	5.0	97.1	53.9	20.5	148.1	88.1	176.9	515.9	Cl _{II} ^{Na}	0.252 6	南霍布逊湖
清水河	2.7	62.0	42.7	13.7	78.0	55.7	173.5	342.8	Cl _{II} ^{Na}	0.359 5	大别勒滩湖
努尔河	5.0	151.0	61.0	29.0	232.0	133.0	172.0	783.0	Cl _{II} ^{Na}	0.252 6	达布逊湖
诺木洪河	2.7	54.3	49.7	20.1	92.2	64.8	170.8	380.1	Cl _{II} ^{Na}	1.542 1	南霍布逊湖
格尔木河	6.9	125.5	44.7	47.7	180.7	124.7	247.6	777.8	Cl _{II} ^{Na}	7.820	达布逊湖
托拉亥河	19.0	82.0	77.0	33.0	201.0	169.0	140.0	721.0	Cl _{II} ^{Na}	0.485 7	大别勒滩湖
大灶火河	2.5	72.2	48.5	10.7	126.6	62.2	101.9	417.0	Cl _{II} ^{Na}	0.410 0	涩聂湖
乌图美仁河	21.0	300.0	32.0	40.0	527.0	123.0	175.0	1 218.0	Cl _{II} ^{Na}	0.842 0	涩聂湖
小灶火河	9.4	225.5	77.2	27.4	368.7	162.3	133.0	951.5	Cl _{II} ^{Na}	0.042 6	涩聂湖
全集河	8.6	487.8	73.7	44.7	668.0	367.2	210.3	1 805	Cl _{II} ^{Na}	0.029 6	协作湖
加权平均值	6.81	121.56	49.36	34.66	181.93	104.9	214.01	713.3	Cl _{II} ^{Na}	19.226	
世界河水	2.18	5.98	17.6	3.84	6.75	11.52	46.97	94.84	Cl _{II} ^{Na}		
察尔汗河流水 /世界河流水 的比例	3.12	20.33	2.81	9.03	26.95	9.11	4.6	7.5	Cl _{II} ^{Na}		

注: 本表采用阿列金分类法。

(4) 湖区河流水的总矿化度、化学组分的含量及水化学类型与世界河流水不同: 湖区河流水的总矿化度是世界河流水的 7.5 倍; 化学组分的含量普遍高于世界河流水, 尤其是 Na⁺ 及 Cl⁻ 含量最高, 分别是世界河流水的 20.33 倍和 26.95 倍; 水化学类型主要为氯化物类钠组Ⅱ型及Ⅲ型水, 个别为碳酸盐类 Na 组及 Ca 组Ⅱ型水, 而世界河流水则为碳酸盐类 Ca 组Ⅲ型水。湖区河流水的化学特征是地处干旱带的河流水的普遍规律。

5. 卤水湖

察尔汗干盐滩边缘分布着 10 个卤水湖, 分别为达布逊湖、涩聂湖、大别勒滩湖、小别勒滩湖、达西湖、团结湖、协作湖、东陵湖、南霍布逊湖及北霍布逊湖, 它们的基本特征见表 1.2。从表 1.2 可看出:

表 1.2 察尔汗湖区表面卤水湖基本特征

湖名	湖面海拔 /m	湖水面积 /km ²	湖水深 /m	离子含量/(g/L)							总含量 /(g/L)	水化学类型 (M. P. 瓦利亚什 科化学分类法)
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	
达布逊湖	2677.702~2678.3	184~334.67	0.39~1.02	3.07	58.198	0.691	38.356	210.334	5.105	0.787		326.54 硫酸镁亚型
涩聂湖	2675.57	48.4~85.18	0.36~0.45	7.27	94.50	0.27	18.21	189.14	22.57	0.29	0	332.25 硫酸镁亚型
大别勒滩湖	2676.57	7.38~52.8	0.03~0.07	8.47	81.97	0.10	31.0	177.49	63.11	0.37	0.37	362.88 硫酸镁亚型
小别勒滩湖	2676.57	0.12~6.25	0.12~0.18	8.93	10.95	0.08	81.57	262.10	12.33	0.22	0.34	376.52 硫酸镁亚型
达西湖	2677.0	21.8~43.2	0.33	2.12	50.21	0.36	61.03	252.22	7.41	0.64	0.01	374.0 硫酸镁亚型
团结湖	2673.0	0.36~3.2	0.14	7.22	5.80	0	98.69	273.40	39.43	0.012	0.80	425.35 硫酸镁亚型
协作湖	2691.0	0~15.2	0~0.04	7.72	16.0	17.66	64.7	252.02	0.20	0	0.002	358.47 氯化物型
东陵湖	2690.3	0~5.14	0~0.05	18.11	9.42	14.48	71.78	265.83	0.21	0	0.015	379.85 氯化物型
北霍布逊湖	2675.57	56.8~98.66	0.09~0.32	1.08	107.16	4.92	7.32	192.84	2.04	0	0	315.36 氯化物型
南霍布逊湖	2675.57	8.24~33.41	0.08~0.29	2.96	83.34	3.70	21.20	198.45	1.55	0.034	0	311.23 硫酸镁亚型

注:1989年的特大洪水数据未列入表内。

(1) 达布逊卤水湖最大, 湖水面积为 $184 \sim 334.67 \text{ km}^2$, 水深 $0.39 \sim 1.02 \text{ m}$ 。

(2) 位于盐滩北缘的东陵湖及协作湖湖面海拔最大, 为 $2690.3 \sim 2691.0 \text{ m}$, 而分布于盐滩东、西边缘的南、北霍布逊湖及涩聂湖最小, 为 2675.57 m , 相对高差 14.73 m 。

(3) 卤水湖水量、化学组成及水化学类型受它的入流河水 (尤其是格尔木河)、所处盐滩地段晶间卤水及深部水补给的控制。卤水湖湖水按 M. Г. 瓦利亚什科化学分类法, 存在两种化学类型, 一是氯化物型, 二是硫酸镁亚型。7 个湖为硫酸镁亚型, 3 个湖为氯化物型。氯化物型湖分布于盐滩北缘, 其化学类型与深部氯化物型水补给有关, 而硫酸镁亚型卤水湖大部分分布盐滩南缘, 其化学类型与众多河流水补给有关。

(4) 盐滩北缘河流极少, 仅有补给协作湖的全集河, 多年平均径流量仅 $296 \text{ 万 m}^3/\text{a}$, 但这里的深部水极为发育, 因此分布于这里的卤水湖, 如东陵湖及协作湖等, 它们的湖水容量、化学组分及化学类型主要受深部水控制。卤水湖水容量极小, Cl^- 及 Ca^{2+} 等化学组分的含量较高, 湖水多为氯化物型。干盐滩东、南、西缘河流发育, 因此分布于这里的卤水湖, 如达布逊湖、南霍布逊湖及涩聂湖等, 它们的湖水容量、化学组分及化学类型主要受河流控制, 通常卤水湖水容量较大, SO_4^{2-} 及 Na^+ 等化学组分的含量较高, 湖水多为硫酸镁亚型。

第二章 察尔汗盐湖经济地理

一、基础设施

1. 交通

铁路：青藏铁路西宁—格尔木段 1984 年投入运行，格尔木—拉萨段全线贯通，并于 2006 年试运行。

公路：109 国道由西宁出发，穿过察尔汗盐湖南 60km 的格尔木市，直达西藏拉萨；215 国道由格尔木市出发，直达甘肃敦煌。

青藏铁路和敦格公路近乎平行地从察尔汗盐湖中部南北向横穿而过，察尔汗和达布逊湖均设火车站。

涩北气田的天然气管道伴行公路经别勒滩至达布逊，与敦格公路相接。

民航：1996 年格尔木市军民合用飞机场恢复通航。

交通十分方便。

2. 邮电通信

现已建成了西宁至格尔木 480 路数字微波和 C₃ 长途自动交换中心，及西宁—拉萨通信电缆，格尔木市安装了 10 000 门程控电话，改善了通信条件。

3. 电力开发

2000 年已建成龙羊峡—格尔木 330kV 输变电电网工程；在格尔木河的昆仑桥以下的 56km 至干流河段总水力落差达 525m，规划 8 个梯级水电站，目前，已建成的格尔木水电站、小干沟水电站和乃吉里水电站总装机容量为 5 万 kW。

4. 能源

涩北天然气总储量达 500 亿 m³，石油储量达 1.8 亿 t。目前，涩（北）—格（尔木）天然气管道从察尔汗盐湖中部横穿。

燃煤可由大柴旦镇附近煤矿供给，能源供应条件优越。

5. 供水

察尔汗盐湖区是柴达木盆地最低洼地区，是地表水和地下水汇集中心，水资源总量达 10.8 亿 m³，水资源十分丰富。

二、城镇

“格尔木”为蒙古语，意为“河流密集的地方”。格尔木市是格尔木河流域内唯一的城市，也是青海省第二大城市，它位于青海省西部、青藏高原腹地，隶属海西蒙古族藏族自治州管辖。由柴达木盆地中南部（盆地地区）和唐古拉山区（高原地区）两块互不相接的地域组成。全市辖区面积达 123 463km²，下设郭勒木德镇、大格勒乡、乌图美仁乡和唐古拉山镇四个乡镇。主要民族有汉族、藏族、蒙古族、回族等十几个民族，