

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.sciencepress.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>

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

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〈环伟〉)

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¹⁴C 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 S₁ 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(S₁)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 ₁ 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)。

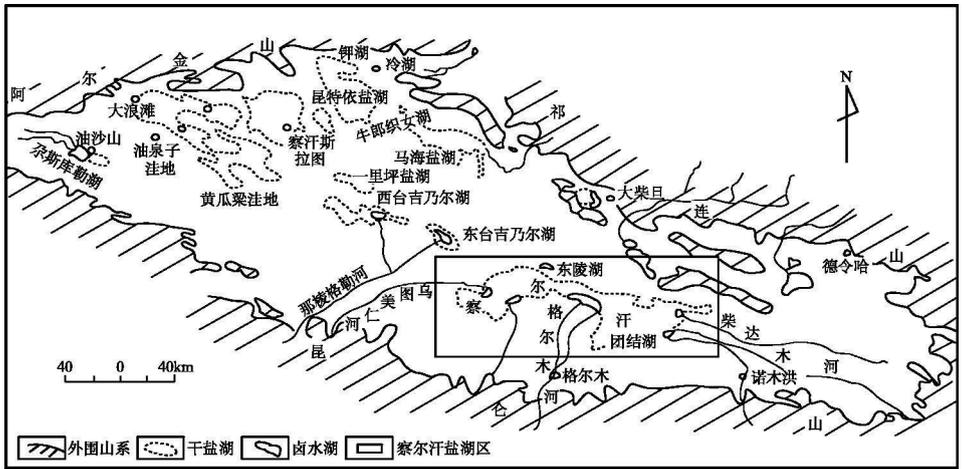


图 1 察尔汗盐湖位置图 (杨谦等, 1993)

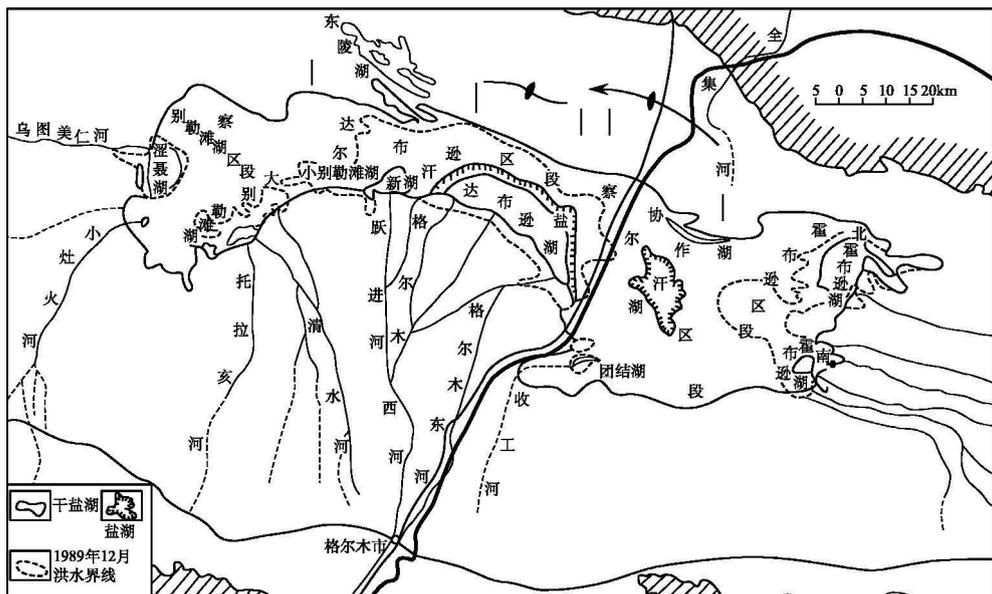


图2 察尔汗盐湖干盐湖与卤水湖分布略图 (杨谦等, 1993)

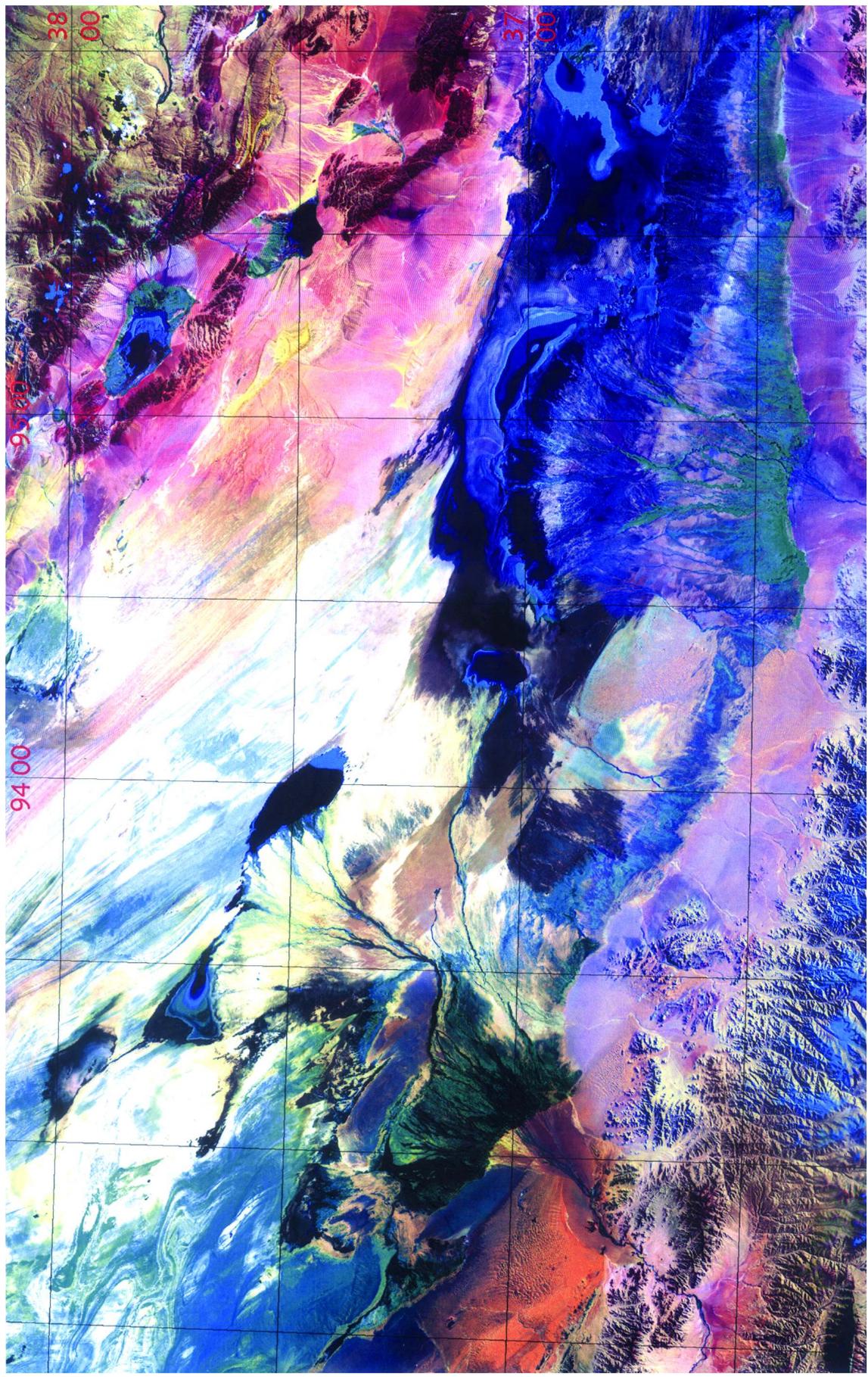


图 3 察尔汗盐湖区卫星影像图 (傅建龙 提供)

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）。

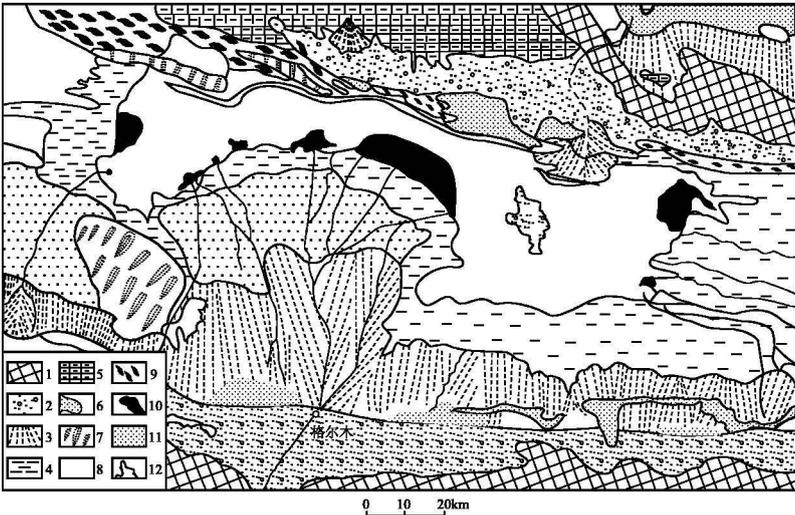


图 1.1 察尔汗盐湖区地貌图（杨谦等，1993）

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℃，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 (1956~1961 年)，湖区多年平均气压为 7.35 万 Pa (1967~1989 年)，多年平均相对湿度为 27.7% (1960~1989 年)，多年平均风速为 4.3m/s (1961~1980 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℃ (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℃ (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)。

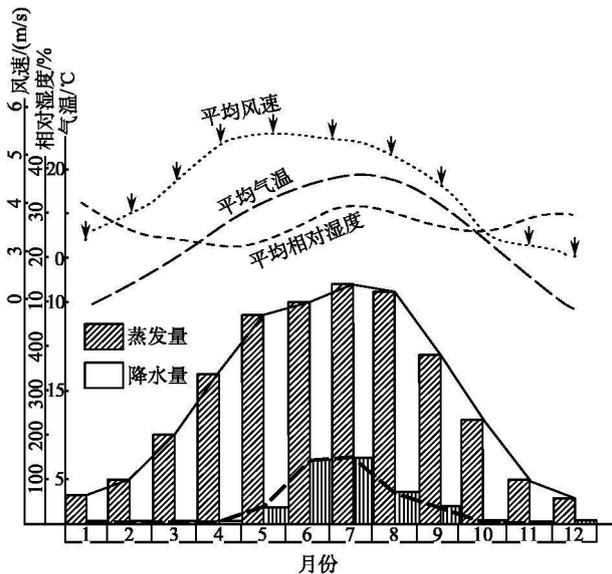


图 1.2 察尔汗气象站多年月平均气象要素图

4. 河流

察尔汗湖区流域面积为 13.2 万 km²，其中山区集水面积为 6.2 万 km²。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 m³，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 325km²，全长 446.32km，多年平均总径流量为 7.82 亿 m³，占有所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
素棱果勒河	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.Γ.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直达布逊，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，

2000年全市总人口达22.90万。

格尔木历史悠久，几千年前就有少数民族生息，公元前845~前115年，该市就是西羌（白兰羌）部落游牧的地方。新中国成立以后，经过各族人民的共同努力，尤其是改革开放以后，格尔木飞速发展，现已成为开发柴达木盆地的前沿基地，成为中国最大的钾盐生产基地，未来也必将成为中国最大的镁盐和锂盐生产基地。

人们赞誉格尔木市为“中国的盐湖城”、“戈壁上的明珠”。

三、经济资源

1. 土地资源

据农学家调查，格尔木盆区土壤共有10个土类、18个亚类，唐古拉山的土壤共分7个土类、8个亚类。综合而言，主要的土壤类型有以下几种。

1) 高寒漠土

高寒漠土分布在海拔4600~5200m的高山顶部，这里地表多见巨石裸露，仅在石头缝隙及较平缓的地段生长稀疏低矮的垫状植被，没有农牧业利用价值，土壤中生物作用微弱。

2) 高山草甸土

高山草甸土分布在海拔4600~4800m昆仑山的东大滩、西大滩、野牛沟、五雪峰、雪山北等和唐古拉山海拔4700~5200m的高山带，面积为21.9万 hm^2 。这里气候湿冷，植物群落较为丰富，草丛低矮，根系密集，覆盖度为70%~90%，为格尔木夏季牧场。

3) 高山草原土

高山草原土分布在昆仑山区海拔4000~4600m的山坡、沟谷、阶地、滩地一带，唐古拉山区海拔4700~5000m的地带及宽谷湖盆地区。其面积为380.87万 hm^2 。这种土壤有机质含量低，因降水少，土壤淋溶作用微弱，使碳酸钙和易溶盐在土中逐渐积累。土层的厚度随地形的不同而异。该区植被为高原草类型，牧草种类少，盖度低。这里是主要牧业经营地。

4) 灰棕漠土

灰棕漠土分布在盆区海拔2800~3600m的平原地带，面积为95.5万 hm^2 。该类土壤是在温带荒漠干旱条件下形成的，植被简单，呈丛状分布。按照盐分和石膏在土体中的积累、改良、利用情况，分为灰棕漠土、石膏灰棕漠土、石膏盐盘灰漠土、灌溉灰棕漠土4个土类。其中灌溉灰棕漠土分布在盆区洪积扇缘的细土带，为格尔木市的农业种植区，有耕地0.42万 hm^2 。该区的一些地段有水草丰富的绿洲，是畜牧的冬春草场。

5) 盐土

境内的盐土面积很大，主要有草甸盐土和沼泽盐土，集中分布在盆区海拔3000m和唐古拉山海拔4600m左右的洪积扇缘细土带以下的湖积平原和宽谷地带。盆地盐土面积约91.72万 hm^2 ，土壤含盐量一般为3%~5%，有的高达40%~50%，有的地方有6~20cm厚的盐壳或盐盘。盐土区地下水位高，土体湿润，有机质含量为3%左右，多生耐盐植物的植被盖度为80%，多为畜牧业地带。

6) 草甸土

格尔木地区土壤总的特点是缺氮少磷, 有机质含量低, 但含钾丰富, 盐分高。盆区绿洲细土带的土地面积为 138.7 万 hm^2 , 有宜农待垦地 5.77 万 hm^2 , 已耕种地 0.42 万 hm^2 , 占宜农待垦地的 7.2%。待垦地中, 近中期可垦殖的有 0.74 万 hm^2 。这些土地主要分布在格尔木市近郊和乌图美仁、大灶火一带。其土壤为灰漠土, 土层厚度为 50~80cm, 有机质含量为 1.5%~2%, 地下水位为 3~7m, 隔水层为 80~100cm, 土壤含盐量为 1.5%~3%, pH 为 6.5~8.0, 有充足的水源, 只要搞好水利工程的配套, 就能开发种植各类农作物。

2. 森林资源

格尔木地处荒漠半荒漠地区, 森林十分贫乏, 境内天然林很少, 托拉亥河岸有小片衰老稀疏的胡杨林, 共约 133.3 hm^2 。天然灌木林主要分布在昆仑山前细土平原带河谷阶地上, 有怪柳、白刺等, 呈片状断续分布。该灌木林和昆仑山坡、山间的黑刺, 以及格尔木河的柏枝灌木林, 面积共约 244.0497 hm^2 , 覆盖度为盆区的 3.03%。境内有林面积很小, 主要分布在乌图美仁、小灶火绿洲农业点上, 市区、农场、大勒乡地区绿洲农业地带有人工栽培的乔灌混交农田防护林带, 林带和小片林面积逾 200 hm^2 。树种以杨为主, 其次有柳、沙枣、榆、槐和苹果树等。

3. 矿产资源

格尔木地区地域辽阔, 矿产资源丰富, 矿种多。已知矿种有 30 余种, 矿床(点) 60 余处。探明有一定储量的矿种 20 余种, 其中, 以盐湖矿产最具优势, 其次为铁矿资源, 其他金属和非金属矿产也具有较大的经济价值。现已探明的钾盐、石盐和锂、硼等矿产储量在全国占有显著地位。察尔汗盐湖是中国重要的无机盐宝库, 其成矿规模大、品位富, 为世界盐湖所罕见。铁矿储量约占全省已探明铁矿总储量的 3/5。该区西部铁矿中还共生有较丰富的多金属矿和品位较高的岩金。区内沙金矿分布也较广, 主要集中在西部, 如乌图美仁洪水河与马鞍山等地, 但由于地质工作程度很低, 资源不清。格尔木矿产资源可分为能源矿产、盐湖矿产、金属矿产、冶金辅助原料矿产和非金属及其他矿产五类。

1) 能源矿产

能源矿产主要为煤矿。煤矿集中分布在格尔木地区南部, 主要有乌丽煤矿, 位于唐古拉山口以北青藏公路东侧, 储量为 1.820 万 t; 杂髓-谷阿煤矿, 位于乌丽煤矿东 40~60km 处, 估计储量为 10 万 t。

2) 盐湖矿产

小桥天然碱矿。位于格尔木市东北 27km 处, 碱矿分为盐坑型和盐渍土型两类。已探明碱矿地质储量为 4.9 万 t。

达赖滩天然碱矿。位于格尔木市区东偏北 70km 处, 碱矿分为土碱和冰碱两类, 碱矿地质储量为 7.3 万 t。

察尔汗盐湖为该区主要的盐类矿产, 后面将详细论述。

3) 金属矿产

金属矿产主要有铁矿、铜矿、铅锌矿。格尔木地区铁矿床多属共(伴)生有多金属、贵金属及稀散元素等的综合性矿床, 分布在三个地区: ①格尔木市西 260 km 处的

野马泉及其周围地区。这里铁矿分布比较密集,较大的铁矿有野马泉铁矿、肯特可克铁矿、尕林格铁矿等。②唐古拉山地区。这里虽然地质工作程度很低,但从已发现的矿点和矿种来看,其特点是多而富。现已知八字错铁矿(位于青藏公路107道班处)、小唐古拉铁矿(位于青藏公路100道班北约20km处)品位在45%以上,据估算,其储量各有数千万吨。当曲铁矿位于青藏公路107道班东南约60km处,矿体赋存于中侏罗统砂岩组的灰岩夹层中,含矿带东西断续延长约10.5km,全铁品位为45%左右,锰为3.77%~7.67%,是高炉富矿,估计铁矿储量在1亿t以上。③格尔木市区附近。已发现铁矿两处:磁铁山铁矿,位于格尔木东南40km处,矿床为一沉积受变质型的中型铁矿床,全铁品位一般为30%~35%,最高为53.29%,其储量为3946.8万t;道班沟铁矿,位于道班沟北部一小支流中,为一小型磁铁矿点,全铁品位为18.9%~56.64%,一般为30%~50%,其储量为1.2万t。

铜矿:纳赤台铜矿,位于格尔木市南87km处。索拉吉尔铜矿,位于乌图美仁乡西南190km处那棱格勒河上游卡尔却沙依河支沟中,为一小型夕卡岩型铜矿。

铅锌矿:鸭子沟铅锌矿位于野马泉地区五一河上游北崖。

4) 冶金辅助原料矿产

三色沟萤石矿,位于市区东,直线距离为80km,萤石矿储量为16.69万t,与萤石矿共生的有铅和重稀土矿钇。雪水河石灰岩矿,位于市区西南70km青藏公路东侧,熔剂灰岩储量为2469万t,水泥灰岩为9.183万t,是石灰、水泥等建材的理想原料。

5) 非金属及其他矿产

(1) 吴漫通水晶矿,位于唐古拉山乡雁石坪西95km的吴漫通洞内,为一大型水晶矿床,探得储量为压电水晶26.01t(单晶纯)、熔炼水晶399.4t(矿物纯)。

(2) 昆仑花岗岩,昆仑山区花岗岩和花岗闪长岩十分丰富,分布较广。

4. 水资源

详见本书第二十一章与第二十三章。

5. 生物资源

1) 农作物及经济作物

格尔木市地处青藏高原,动植物资源较丰富,且有地方特色。粮食作物主要是春小麦、青稞、豌豆、蚕豆等。由于该地无霜期短,昼夜温差大,有利于农作物同化物质的积累,故小麦千粒重较高。小麦亩产高的可达800kg,一般亩产近500kg。经济作物主要是油菜子。蔬菜品种有白菜、青萝卜、胡萝卜、葱、蒜、芹菜、菠菜、小油菜、马铃薯、茄子、莴笋、辣椒、番茄、黄瓜等近60个品种,隆冬季节也有温室内生长的蔬菜上市。具有地方优势的经济作物是紫皮蒜,其特点是个大、味浓、产量较高。

2) 牧草种类

牧草种类主要有紫花针茅、盐爪爪、芦苇、高山蒿草、赖草、冰草、芨芨草、青藏藁草、多裂委陵菜、矮火绒草、风毛菊、念珠芥、异叶青兰、马先蒿、高山紫苑、黄毛头、猪毛菜、驼绒藜、藁草、藏异燕麦、莧草、高山唐松草、海韭菜、长花野春茅、双叉细纳草、圆穗蓼、冷地早熟禾、胎生早熟禾、藏蒿草、矮生蒿草等70多种。其中,适口性好的优质牧草有莧草、冷地早熟禾、胎生早熟禾、长花野春茅、青藏藁草、海韭

菜、圆穗蓼、珠芽蓼等。

3) 中草药资源

格尔木地区有植物药 212 种、动物药 19 种、矿物药 2 种。该地区优势中药资源有罗布麻、锁阳、白刺、鹿茸、麻黄、秦艽、黄芪、葶苈子、网脉大黄、紫菀、尿泡草、茵陈、蒲公英、熊骨、甘草、枸杞子、扁蓄、小蓟、败酱草、马尾莲、雪莲、龙胆、银莲花、棘豆、辣根菜、藏羚羊角、羊牛胆汁、羊牛草结、熊掌、豹骨等。

4) 动物资源

格尔木地区草场的总载畜量可达 60 万头（只），饲养的畜种主要有藏系绵羊、蒙系绵羊、半细毛羊、牦牛、山羊、骆驼、马、黄牛、驴、骡等。城乡家庭喂养的家畜有猪、狗、猫、鸡、鸭、兔、鹅等。淡水湖中鱼类品种主要有冷水性无鳞裸鲤（俗称湟鱼），人工养鱼场饲养的品种有鲤鱼、草鱼、鲢鱼等。

格尔木市野生动植物资源较丰富，唐古拉山乡是青海省野生动物自然保护区之一。野生动物有野牦牛、野驴、野骆驼、猞猁、藏羚、盘羊、石羊、野马、黄羊、马熊、白唇鹿、雪豹、红狐、狼等 20 多种；野禽有野雉、石鸡、雪鸡、天鹅、棕头鸥、大雁、赤麻鸭、黄鸭、鱼鸥、鱼鹰、鹰雕、黑颈鹤、褐马鸡等 20 多种。其中野牦牛、野驴、白唇鹿、藏羚、盘羊、雪豹、猞猁等 9 种野兽和雪鸡、天鹅、鹰雕、黑颈鹤、野鸡五种野禽，被国家列为重点保护的珍稀野生动物。

6. 旅游资源

格尔木市地处令人神往的青藏高原腹地，是青藏高原风光旅游、科学考察、长江源头探险、野生动物观赏、狩猎、登山等旅游和体育活动的理想地区。格尔木市的自然景观较多，号称“十景”的是万丈盐桥、江源冰川、一步天险、昆仑山口、赤台喷泉、昆仑雪景、盐海玉波、瀚海蜃楼、冻土冰丘、沙漠绿洲及自然保护区。

1) 万丈盐桥

在市区北部 60km 处，横跨察尔汗大盐湖的敦格公路，有 32km 长全部用盐铺成的公路，路面笔直、平坦、光滑，稀世罕见。

2) 江源冰川

唐古拉山乡境内的姜根迪如大冰川，巨大晶莹，银装素裹，冰川尾部冰塔林立，千姿百态。

3) 一步天险

格尔木河长期剥蚀千枚岩，穿凿成深达 30~40m 的石谷，峡谷幽深挺拔，两岸绝壁相对，市区南 50km 的格尔木桥所在地，谷顶最窄处仅一步之隔。谷底河水蜿蜒曲折，奔涌湍急，景色壮丽。

4) 昆仑山口

昆仑山口位于格尔木市区南 160km 处，是青海省出入西藏自治区的险要隘口，山岸嶙峋，风光险峻，昆仑山北坡白雪皑皑，山南丘陵起伏。在这里，高原特有的珍奇动植物令人目不暇接。

5) 冻土冰丘

在昆仑山口和唐古拉山之间，长达 800km，广布厚叠数米的冻土，其上多见冰丘、

冰锥不断生长，不断爆裂。爆裂时，有时出现高达二三十米的喷泉，并产生巨大的声响。大面积的冻土终年不化，夏、秋季只是极浅的表层消融，其上牧草青青，野花鲜艳，分外奇特别致。

6) 可可西里

可可西里地跨青海、新疆、西藏，平均海拔 5000m 左右，寒冷缺氧，是中国目前较大的“无人区”之一。1989 年由中国科学院等单位参加的青海省可可西里综合科学考察，对可可西里地区的地理环境、生物物种等做了大致了解，发现这里除了存在大量高原特有的珍稀动植物品种以外，还保持了最原始的生态环境，有着极好的地质构造和较丰富的矿产资源。措西金乌兰湖断裂带存在蛇绿岩带等的发现，为北“特提斯”（古地中海）主缝合带的研究提供了证据，使大地构造学专家探索的地质难题获得新进展。考察队在这里发现国家一级保护动物 5 种、二级保护动物 4 种、二级保护植物 1 种。

在格尔木公路沿线少数民族集中的地区，还建有以蒙古包、帐篷旅社为主的游览景点，方便旅游者在那里观赏游牧在草原上的牧民的生活风情，享受喝奶茶、吃手抓羊肉、骑马、骑骆驼、住蒙古包和藏房的乐趣。

7. 气候资源

格尔木市所在盆地地区地处干旱荒漠与半干旱荒漠之间，为典型的高原大陆性气候，干旱少雨，日照强烈，气压低，寒冷多风，平均年降雨量仅 40.2mm，一般降雨量为 23.6~68.0mm。年蒸发量在 3000mm 以上，蒸发对晒盐极为有利。盐田年平均气温为 3.4℃，极端高温为 35℃，极端低温为 -33.6℃。历年平均气压为 724.7hPa，空气含氧量为平原地区的 71.4%。年平均日照数为 3095~3264h，无霜期为 70~215d，作物生长期为 169d，可利用太阳能集热。年平均风速为 3.5m/s，最大风速为 40m/s，多为偏西或偏西北风，平均每年大风天数为 22.6d，风能发电，沙暴天数为 16d。

四、社会经济

据统计，1995 年全市国民生产总值为 91 528 亿元，人均国民生产总值为 4785.11 元，是全国平均的 101.92%，是青海省平均的 139.49%，其中，第一产业占 3.65%，第二产业占 53.44%，第三产业占 42.32%，从中可看出，经济结构中以工业为主体，主要工业部门为以建材和原盐为主的采选业，以钾肥为主的盐化工业，以炼化为主的石油天然气化工工业，以铅锌矿和磁铁矿为主的金属采选业等。

第三章 湖区地质

一、构造

柴达木盆地四周被昆仑山前的东昆仑中央、祁连山前的柴达木北缘及阿尔金三大压扭性基底深大断裂所控制，由于深大断裂长期反复活动的不均一性，使盆地内又形成许多次级断裂、局部隆起和拗陷，使其分割成若干次级盆地。察尔汗盐湖就是位于古老构造基底上发育的中新生代中央拗陷带上。

察尔汗盐湖湖区的构造按其表现形式分为断裂构造、背斜构造及凹陷构造三种；按其发育方向分为北西向、近东西向、北北东向及南北向四组；按构造形成时代及活动状况分为基底构造及活动构造两类。但该湖区主要构造为北西向现代活动断裂。

断裂构造包括基底断裂及现代活动断裂两类。基底断裂指第四纪以前已经形成的断裂，现代活动断裂指第四纪以来仍持续活动的断裂。

1. 基底构造

湖区南北两侧分别受三湖断裂及察南断裂所控制，该湖就是沿这两条断裂沉陷而形成的。湖区内部的基底构造由两个凹陷和一个隆起组成：西部为别勒滩凹陷，轴线呈北西向，经涩聂湖向南转折为南南东向，它控制了别勒滩区段盐体形态；东部的达察凹陷，轴线呈北西西向，于协作湖附近转为近东西向，它控制了达布逊、察尔汗和霍布逊三个区段盐体的形态。两个凹陷之间为别达隆起，轴线呈北西向，将察尔汗盐湖分离成两个汇水盆地（袁见齐等，1995）。

2. 现代活动构造

湖区内的现代活动构造主要为北西向、近东西向、北北东向及南北向四组发育方向。北西向现代活动构造包括三湖断裂、锡南断裂、哑巴尔构造、盐湖构造及别达隆起等；近东西向现代活动构造包括埃南断裂、团结湖断裂；北北东向现代活动构造包括锡察断裂、哑西断裂；近南北向现代活动构造包括达东断裂等（图 3.1）。

二、水文地质

1. 湖区地下水的水文地质分区

据杨谦等资料，察尔汗湖区可划分为六个主要地貌类型，相对应存在六个水文地质区段，即山地基岩裂隙、溶洞水区，戈壁带潜水区，洪积扇潜水和自流水区，湖积平原孔隙卤水区，干盐滩晶间卤水区及哑巴尔-盐湖构造孔隙层间水区。各区段的水文地质基本特征见表 3.1。

2. 盐滩地下晶间卤水含水层

据杨谦的资料，察尔汗盐湖地下晶间卤水划分为五个含水层，含水层岩性以石盐为主，各盐层间有碎屑层相隔，为相对隔水层。由于含水层之间有水力联系，故统一划分为一个含水组。根据岩层结构、富水程度及水化学特征，可划分为两个含水段：第Ⅰ含

表 3.1 察尔汗盐湖水文地质基本特征

区段名称	区段代号	岩性	含水层性质	水量	盐分形成	水化学类型	矿化度
山地基岩裂隙、溶洞水区	I	前古生代及古生代的片麻岩、片岩、花岗岩及碳酸岩等基岩。第四纪冲积-洪积物	基岩裂隙水及裂隙溶洞水	湖区南侧丰富, 泉水流量 0.5~1.0L/s, 高者单泉可达 84L/s, 北侧较小, 泉水流量仅 1L/s	盐分溶滤区	南部: $\text{HCO}_3^- \text{-Ca}^{2+}$, Na^+ 或 HCO_3^- , $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$, Ca^{2+} ; 北部: Cl^- , $\text{HCO}_3^- \text{-Na}^+$, Ca^{2+} 或 Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} 及 $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$	南部: < 1g/L, 高者达 1~5g/L; 北部: 10g/L
戈壁带潜水区	II	粗砂砾岩、卵石和砾石	潜水	丰富, 湖区南侧, 钻孔单位涌水量为 5~100L/s, 北侧仅为 0.22~1.16L/s	盐分溶滤区	南部: HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ ; 北部: SO_4^{2-} , $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$, Mg^{2+} 或 SO_4^{2-} , $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$	南部: < 1g/L 北部: 4.3~77.9g/L
洪积扇潜水和自流水区	III	第四系冲积-洪积粗砾, 中-粗砂, 亚砂土	潜水及自流水	潜水: 钻孔涌水量为 0.1~1L/s, 自流水一般为 410.8m ³ /d	盐分溶滤区	潜水: $\text{Cl}^- \text{-SO}_4^{2-} \text{-Na}^+ \text{-Mg}^{2+}$, $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$, Mg^{2+} , $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$; 自流水: $\text{Cl}^- \text{-SO}_4^{2-} \text{-Na}^+$, Ca^{2+} , $\text{HCO}_3^- \text{-Na}^+$, HCO_3^- , $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$, Mg^{2+}	0.38~6.44g/L
湖积平原孔隙卤水区	IV	第四系湖相亚砂土、粉砂和亚黏土、黏土	孔隙卤水	钻孔单位涌水量小于 0.01L/(s·m)	盐分堆积区	$\text{Cl}^- \text{-Na}^+$ 或 $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$, Mg^{2+}	< 275g/L
干盐滩晶间卤水区	V	第四系湖相粉砂、亚砂土、黏土及石盐	晶间卤水	第 11 含水段钻孔单位涌水量为 50~80L/(s·m), 第 112 含水段仅 0.01~0.1L/(s·m)	盐分堆积区	$\text{Cl}^- \text{-Mg}^{2+}$, $\text{Cl}^- \text{-Mg}^{2+}$, Na^+ 或 $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$, Mg^{2+}	> 300g/L
噶巴尔-盐湖构造孔隙层间水区	VI	第三系及第四系的砂岩、砂砾岩	孔隙层间水	钻孔单位涌水量小于 0.001L/(s·m)	盐分溶滤区	$\text{Cl}^- \text{-Na}^+$ 或 $\text{Cl}^- \text{-Na}^+$, Mg^{2+}	170~270g/L

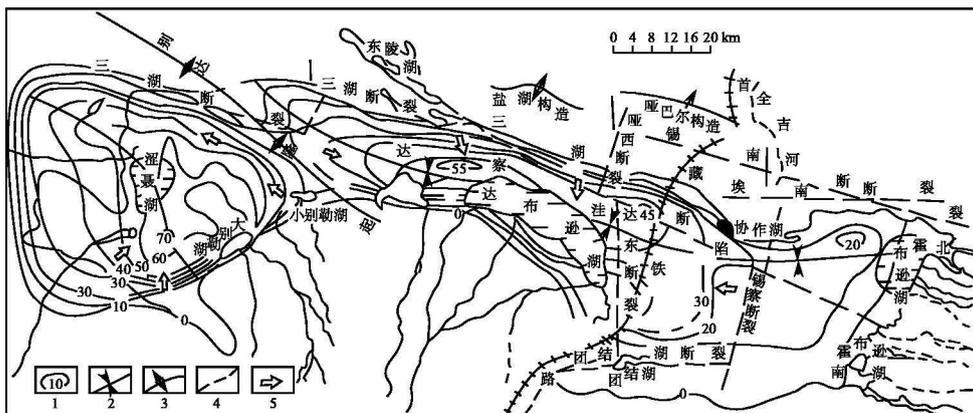


图 3.1 察尔汗盐湖湖底地形等深线及基底构造图 (袁见齐等, 1995)

- 1. 地形等深线 (m); 2. 注陷轴线; 3. 背斜轴线; 4. 活动断层; 5. 晶间卤水的运动方向

水段包括 Q_4^{S5} , Q_3^{S4} 及 Q_3^{L4} 两个晶间卤水层, 属潜水, 水位埋深 0.5m 左右, 厚 10~25m, 含水层主要由粗巨粒石盐或粉砂石盐组成; 第 II 含水段包括 Q_3^{S3} 、 Q_3^{L3} , Q_3^{S2} 、 Q_3^{L2} , Q_3^{S1} 及 Q_3^{L1} 三个晶间卤水层, 属承压水, 含水层主要由石盐和石盐粉砂组成 (图 3.2)。

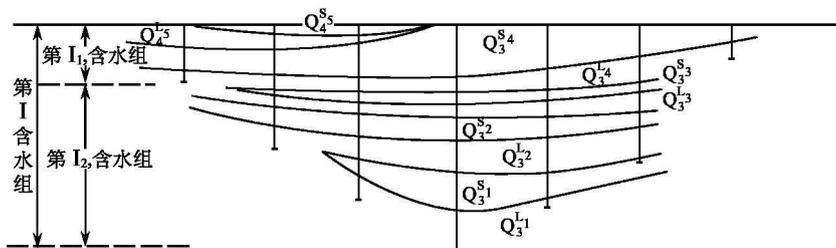


图 3.2 含水层与盐层的关系

3. 地下水的补给、径流与排泄

1) 补给

察尔汗盐湖干盐滩及其外围的冲、洪、湖积平原区, 降水稀少, 一般年份的当地降水量对地下水和卤水湖的补给意义不大, 其主要补给源来自湖盆南北两侧山区 (I 区) 的地下水和地表水。但由于南北山区自然地理、地质构造及地貌条件不同, 使二者的水文地质条件有很大的差异。

南部昆仑山区, 山体高大, 气候垂直分带明显, 降水充沛, 现代冰川发育, 降水和冰雪融水使地表水系发育。山区地表水最终汇集成河流流入盆地, 成为盆地地下水资源的重要补给源。北部锡铁山及埃姆尼克山海拔低, 山区狭窄, 雨雪贫乏, 地表及地下水均不发育, 仅有全集河, 对盆地水资源的补给远不如南部山区大。

据青海省第一水文地质大队及第一地质队的资料, 湖区周边地下水对盐滩晶间卤水

的侧向补给量为 $542.75 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ ，湖区北缘盐溶区的越流补给量为 $250.93 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ ，格尔木冲积扇的越流补给量为 $277.99 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。据王绳祖等的研究，北缘深部水的上渗量为 $7.3 \sim 7.8 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{a})$ ，上渗总量约 $234 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ ，地表水流入察尔汗湖区的总量约为 $10.4 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 。

2) 径流

由山地到盐滩，即 I 区到 V 区，地形坡度越来越小，沉积物颗粒由粗大到细小，其分选性由差到好，地下水水力梯度越来越小，II 区 $1\% \sim 2\%$ ，VI 区 $0.5\% \sim 1\%$ ，V 区仅 0.02% ，因此径流也越来越缓慢，流入到盐滩区，基本处于停滞状态。

3) 排泄

湖区周边地下水最终排泄到察尔汗盐滩区，一是进入盐滩区的地下晶间卤水中，二是进入周边卤水湖中，无论是进入盐滩地下晶间卤水还是进入卤水湖中，之后大多消耗于蒸发排泄中。

三、沉积地层

1. 成盐前的察尔汗湖区沉积地层

根据青海省石油管理局的资料，察尔汗湖区的第四纪湖相沉积厚度达 2800m 以上（杨谦，1982），青海省地质矿产局第一地质队曾在该湖区西部别勒滩区段钻探了目前较深的钻孔——水 6 孔。通过该钻孔地质剖面的研究，重点揭示了察尔汗湖区成盐前的地层沉积状况。

水 6 孔位于达布逊以西的别勒滩干盐滩上，位于东经 $94^\circ 47' 25''$ 、北纬 $37^\circ 6' 31''$ ，孔口海拔为 2678.58m ，终孔深度为 910.10m 。钻孔揭露了全新统、上更新统、中更新统及下更新统的上部，地层连续沉积，总厚度为 910.10m 。1983~1986 年，青海省盐湖勘探开发研究院一室地层组对水 6 孔地层剖面做了系统的岩性、年代、古地磁、孢粉、古植被、古气候、古环境及沉积物地球化学等研究，这些研究简要地反映在图 3.3 及表 3.2 中。

通过图 3.3、表 3.2 看出：①察尔汗古湖从地表至 848m 井深的岩心柱为布容正极性时（该时年代为 $0 \sim 0.73\text{Ma}$ ）， $848.8 \sim 910.10\text{m}$ 井深的岩心柱为松山负极性时（该时年代为 $0.73 \sim 2.48\text{Ma}$ ），其中， $886.10 \sim 910.10\text{m}$ 井深的岩心柱为哈拉米洛正极性亚时。②察尔汗古湖从早更新世早期（距今 78 万年）（井深 910.10m ）至距今 3.6 万年（井深 58.34m ）以前的古气候一直处于寒冷干燥和温暖略湿相间的环境。与其相适应的沉积物为一套粉砂至黏土级的碎屑沉积，沉积环境以浅水湖为主，间或出现沼泽化和中深水湖，其中，距今 32.60 万年（井深 384.0m ）至 37.8 万年（井深 441.36m ）间，曾出现过微咸水环境，但仍无盐类沉积；距今 3.6 万年以后至今，该湖区则出现了一套碎屑岩与盐类沉积相间的蒸发盐系列沉积。

2. 察尔汗盐湖蒸发盐系沉积

1) 石盐沉积

石盐沉积基本特征及分布见表 3.3 与图 3.4。

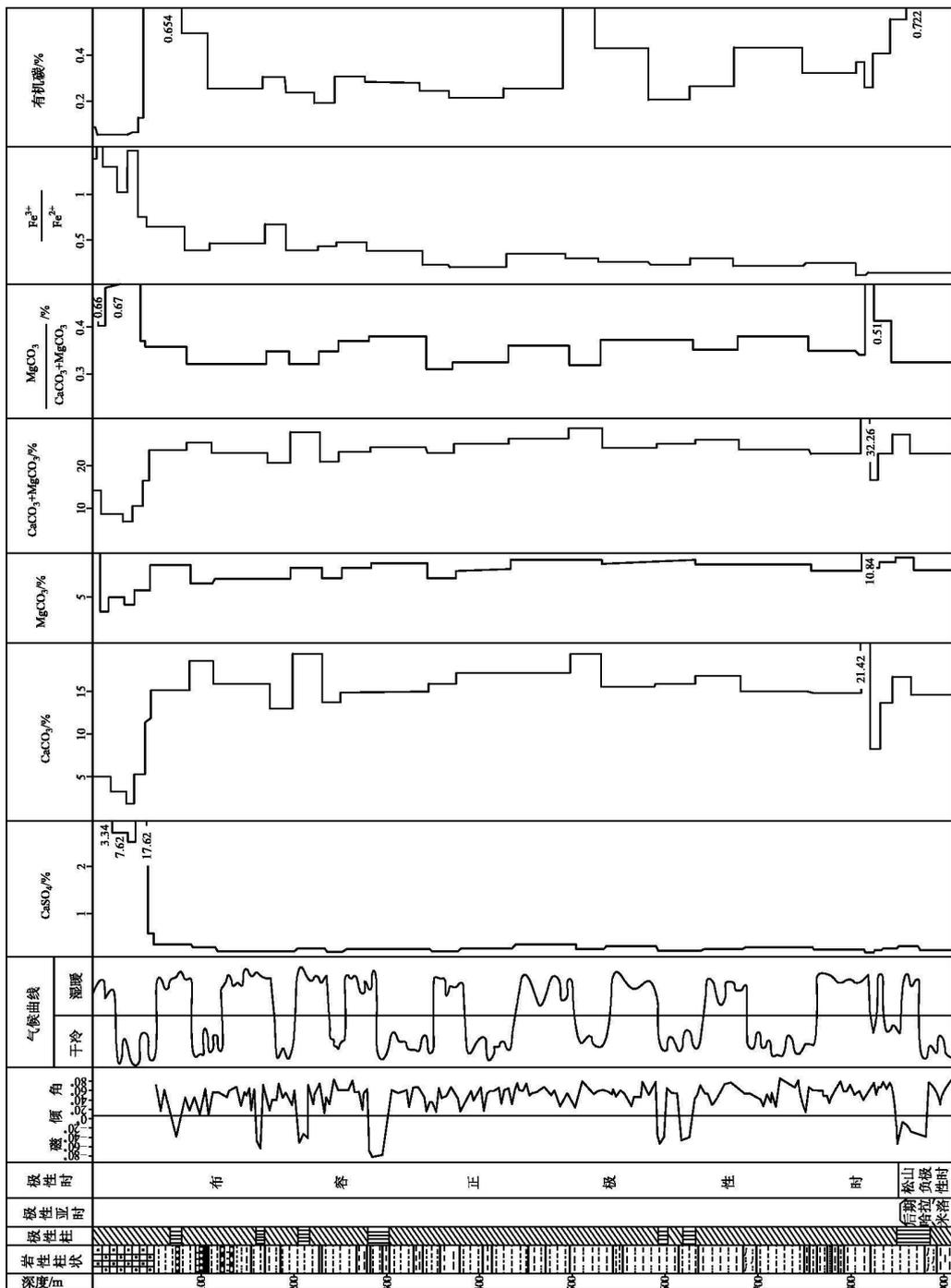


图 3.3 察尔汗水 6 孔古地磁极性柱及各孢粉带化学组分

表 3.2 察尔汗盐湖第四系孢粉、岩性及第四系植被类型、古气候、沉积环境综合

地 层			水 6 孔						
系	统	组	沉积岩	深度 /m	年龄 /万 a	孢粉组合	古植被类型	古气候	沉积环境
第 四 系 (Q ₄)	全新统 (Q ₄)	达布逊组 (Q _{4d})	含粉砂石盐	0~6.00	0.60	蒿-藜	荒漠草原	温凉特别干燥	盐湖高度浓缩
			含石膏石盐	6.24	0.64	松-蒿	森林草原	温和略湿	湖水淡化, 加深
			灰白色石盐	11.00	0.79	蒿-藜	荒漠草原	温凉特别干燥	盐湖更加浓缩
			粉砂石盐	13.55	1.00	松-蒿-藜	疏树草原	温凉半干燥	盐湖
	上更新统 (Q ₃)	察尔汗组 (Q _{3c})	含粉砂石盐	31.00	2.00	蒿-藜	荒漠草原	寒冷干燥	盐湖
			含粉砂石盐	40.33	2.46	蒿-藜	荒漠草原	寒冷干燥	盐湖
			含粉砂石盐	52.00	3.12	蒿-藜-木本	荒漠草原	凉寒半干燥	盐湖
			粉砂石盐	58.34	3.60	孢粉缺乏带		寒冷干燥	盐湖
			含黏土粉砂	99.0	7.18	栎-松-蒿-藜	森林草原	温和略湿	浅湖
			黏土粉砂	126.70	9.70	藜-蒿	荒漠草原	凉寒干燥	浅湖, 有沼泽化
			粉砂黏土	185.00	14.90	松-栎-蒿-藜	森林草原	温和略湿	浅湖
	中更新统 (Q ₂)	尕斯库勒组 (Q _{2g})	粉砂黏土	206.90	16.88	藜-蒿-麻黄	荒漠草原	寒冷干燥	浅湖
			黏土粉砂	240.00	19.80	栎-松-藜-蒿	森林草原	温和略湿	浅湖
			黏土粉砂	259.00	21.50	云杉-松-蒿-藜	暗针叶林草原	寒冷略湿	浅湖
			粉砂黏土	292.00	24.42	栎-藜-蒿	疏树草原	温和半干燥	浅湖, 水动力不强
			粉砂黏土	352.00	29.80	蒿-藜	荒漠草原	寒冷干燥	浅湖
			黏土粉砂	384.00	32.60	栎-藜-蒿-麻黄	疏树草原	温凉半干燥	浅湖、滨湖及水下三角洲
			粉砂黏土	441.36	37.80	藜-蒿-麻黄	荒漠草原	寒冷干燥	微咸水湖
			粉砂黏土	504.00	43.30	栎-藜-蒿-麻黄	疏树草原	温凉半干燥	浅湖
			含黏土粉砂	539.00	46.20	松-蒿-藜	暗针叶林草原	寒冷略显	浅湖, 水动力较强
黏土粉砂			612.00	52.40	栎-松-藜-蒿	森林草原	温暖略湿	浅湖为主	
粉砂黏土			637.30	54.40	藜-蒿-麻黄	荒漠草原	寒冷干燥	浅湖	
黏土粉砂			684.69	58.60	栎-松-藜-蒿	疏树草原	温和半干燥	浅至中深湖	
粉砂黏土			760.00	65.60	蒿-藜	荒漠草原	寒冷半干燥	中深水湖	
含粉砂黏土	815.20	69.90	栎-松-藜-蒿	森林草原	温和略湿	浅湖为主			
含黏土粉砂	825.00	70.80	藜-蒿	荒漠草原	寒冷干燥	浅湖至深湖			
含粉砂黏土	833.00	71.40	栎-松-藜-蒿	森林草原	温度略湿	浅湖			
含粉砂黏土	849.0	72.80	藜-蒿	荒漠草原	凉寒干燥	沼泽化			
含粉砂黏土	870.07	74.60	栎-藜-蒿-麻黄	森林草原	温凉半干燥	浅湖和淡湖			
下更新统 (Q ₁)	阿拉尔组 (Q _{1a})	含粉砂黏土	910.1	78.00	藜-蒿-麻黄	荒漠草原	冷干燥	沼泽化	

表 3.3 湖区各盐层基本特征

盐层项目		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
埋深/m	一般	40~60	35~40	28~35	15~20	2~3
	最大	70.2	48.30	37.21	28.17	5.80
	最小	10.66	3.60	0.40	0.33	0.30
厚度/m	一般	8~16	3~8	4~8	15~20	2~3
	最大	23.25	18.83	16.81	28.17	5.80
	最小	6.23	2.44	0.23	0.33	0.30
大小	东西长/km	110	110	143	164	111
	南北宽/km	15~30	15~25	7~41	13~44	2~14
	面积/km ²	3 086	2 570	2 400	4 705	450
分布地段		青藏铁路以西	察尔汗及其以西	青藏铁路以西	遍及全湖区	达布逊湖东西两侧及涩聂湖东侧团结湖北部
¹⁴ C 年代/aB. P.		50 000	36 000	30 000	18 000	5 000

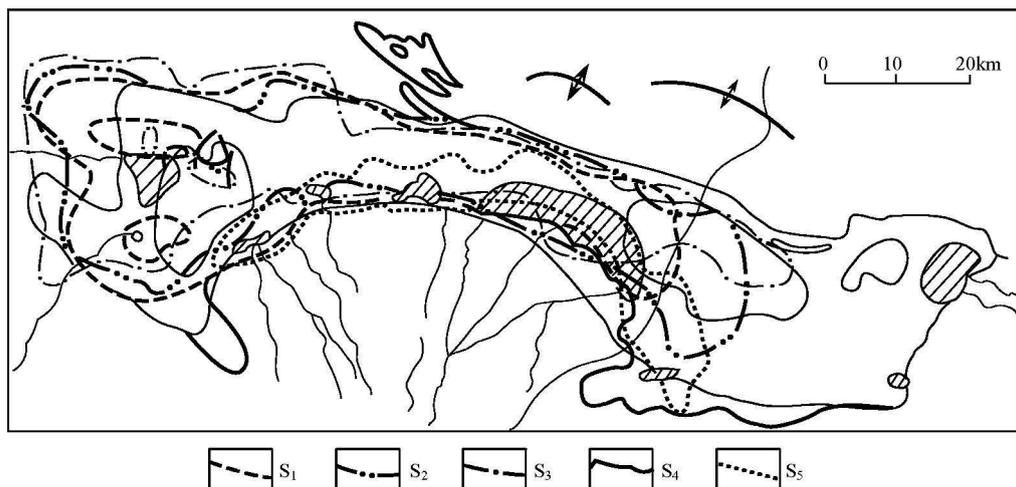


图 3.4 S₁~S₅ 各石盐层分布图

2) 钾盐沉积

根据青海省地质局第一地质队资料，察尔汗湖区的固体钾盐层自下而上划分为 8 层 (K₁~K₈)，其中，K₁、K₂、K₃ 层分布面积小，品位低，基本没有工业利用价值 (图 3.5)。K₁ 层仅分布于别勒滩区段的 S₁ 盐层的上部，K₂ 层分布于别勒滩和达布逊两区段的 S₃ 盐层的上部，K₃ 层分布于察尔汗、达布逊、别勒滩三区段的 L₄ 碎屑层的局部地段，K₄~K₇ 四个钾盐矿层分布于察尔汗、达布逊、别勒滩三区段的 S₄ 盐层中，K₈ 分布于达布逊湖和团结湖北岸的 S₅ 盐层中。各钾盐矿层呈似层状、扁豆状、小透镜体状和浸染状存在，厚度小，往往自几厘米至几米不等，矿体面积也较小，从几平方千米到几十平方千米。矿石类型分两大类：一类为碎屑钾矿石，另一类为石盐钾矿石。矿石矿物以光卤石为主，钾石盐次之，矿层 KCl 含量低，一般为 3%~7%。