

乌鲁木齐地区水资源若干问题研究(I)

柴窝堡-达坂城地区 水资源与环境

乌鲁木齐地区水资源若干问题研究队

施雅风 曲耀光等 编著



科学出版社

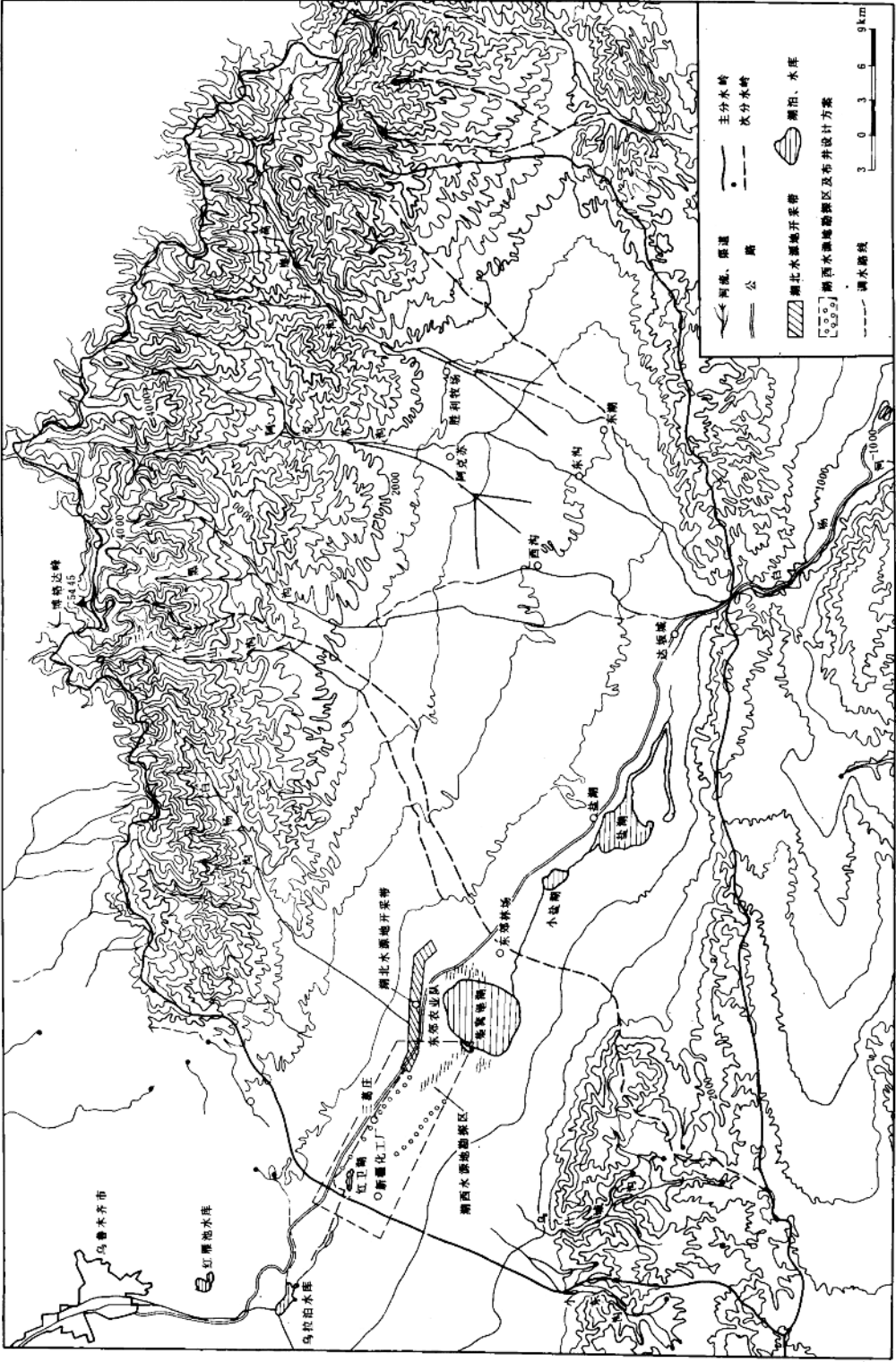
Brief Introduction of Contents

The programme "Researches on the Water Resources in Urumqi Region" was proposed by the Chinese Academy of Sciences for the needs of economic development in arid regions and the westward transfer of the key projects of the national economic construction. A series of multidiscipline researches were carried out concerning the deficiency of water supply, scale of civil construction and rational distribution of water resources between industry and agriculture, etc. The researches on formation and exploitation of water resources in Chaiwopu-Dabancheng region were the principal subjects during the first step of the programme. A lot of progress and new understanding have been obtained after two years' studies. This work is a scientific summarization of the natural conditions, water resources exploitation and environmental variations in Chaiwopu-Dabancheng region.

乌鲁木齐地区水资源若干问题研究(I)
《柴窝堡—达坂城地区水资源与环境》

编辑委员会委员名单

主 编： 施雅风
副 主 编： 曲耀光
编 委： 吴申燕 陈隆亨 胡 琳
 洪 里 赵洪斌 骆鸿珍
 王宗太
编 辑： 何 兴



柴窝堡-达坂城地区概图

前 言

“乌鲁木齐地区水资源若干问题研究”课题，是中国科学院为适应干旱地区经济发展和将来国家建设重点战略西移而提出来的。与新疆维吾尔自治区有关单位合作，围绕解决乌鲁木齐地区，特别是市区供水不足、城市发展规模、工农业用水合理分配等问题，开展了水资源形成与转化、数量和质量评价、开源与节流、工农业合理用水分配及水资源承载能力的多学科综合研究。

根据 1984 年底制订的研究计划，为了使科研更密切地结合生产，把整个课题分解为柴窝堡水源地开发和乌鲁木齐河流域地区水资源承载力研究两大部分，作为前后两阶段的重点。

柴窝堡水源地开发研究作为 1985 年和 1986 年的课题重点，于 1985 年 4 月正式开始。在中国科学院兰州冰川冻土研究所、兰州沙漠研究所、北京地质研究所、新疆地理研究所和乌鲁木齐市水资源管理委员会、新疆水利厅勘测设计院、新疆地质矿产局第一水文地质工程地质大队、乌鲁木齐水文勘测队、新疆大学地理系等单位的广大科研和工程技术人员的密切协作下，经过两年的辛勤劳动和努力，补充收集了大量第一手资料，按期完成了预定任务，不但解决了生产所提出的问题，也提高了对本区自然条件、水资源形成转化规律、水资源开发及环境变化的认识。本著作就是柴窝堡—达坂城地区自然条件、柴窝堡水源地开发及可能引起环境变化的科学总结。

本研究在高山地区水源和柴窝堡水源地开发环境评价方面，取得了重大进展，获得了一些新的认识。

首次对博格达山南坡冰川考察发现，本区有冰川面积 97 km^2 ，冰川储量 $53 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，年融水量为 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，可占河川径流补给量的 27—56%；海拔 4000 m 以上高山带的年降水量可达 700—750 mm；3000 m 以上中、高山地区形成的总径流量，占出山径流量的 85% 以上，说明博格达山南坡的中高山地区是本区的径流来源地，具有既可靠又稳定的补给来源。

通过柴窝堡湖水面蒸发和盐分变化的定位连续观测，获取了湖泊蒸发和水盐平衡的新定量资料，弄清了湖泊盐分平衡机制和碳酸钙沉淀机理。经两年实测计算，柴窝堡湖水面蒸发量为 $4000 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，比人们以前所采用的数值减少 25%，说明在干旱地区计算蒸发量要特别慎重，就是距离不远的地区，如果自然条件有差异，也不能不加分地照搬邻近地区的蒸发折算系数，需要进行短期同步观测，加以适当的修正。经两年连续旬采样分析，湖泊年平均矿化度在 4 g/l 左右，年际变化不大；年内变幅为 0.25 g/l ，与水位升降关系密切，随水位下降而增加。研究表明，柴窝堡湖矿化度年际变化不大的根本原因，是绝大部分盐分经东部不明显的出口排向大、小盐湖，少部分以碳酸钙沉积形式沉入湖底，使湖泊所含的盐量大体保持收支平衡，矿化度维持多年不变的状态。

柴窝堡地区地貌和第四纪研究表明，末次冰期以来柴窝堡盆地的水平衡在 $10^2—10^3$

的时间尺度上,有过几次明显的波动,其中除全新世中期的一次高湖面以外,其它几次高湖面都与冰期或寒冷时期相对应,与北半球中纬度带湖面变化规律基本吻合。因此,可以认为本地区的湖面变化是在全球性气候变化的背景上发生的,继续进行深入研究,可能有助于认识未来西北气候变化和水量预测问题。

在调水后柴窝堡地区环境演变趋势的预测方面进行了有益的探索,获得了符合客观实际的结论。当调水工程实施常年调水 $3000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 时,对柴窝堡洼地和湖泊本身肯定有较大影响,使地下水位下降,湖面缩小,造成草甸区土壤和植被随之朝旱化方向演变。湖泊水盐平衡和采区地下水均衡法计算表明,每年由本区调水 $3000 \times 10^4 \text{ m}^3$,至少要使每年进入柴窝堡湖的地下水补给量减少 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在新的情况下,柴窝堡湖将在 10 年左右达到新的平衡,届时湖水位将下降 2.5 m 左右,湖面缩小并稳定在 26 km^2 左右,矿化度增至 14 g/l ,并不断矿化,最终变为盐湖。

此外,还对本区的水土资源、植被进行了全面调查,编绘了相应的图件,为了解、认识本区的自然条件和自然资源及其合理开发利用,提供了新的科学依据。

在两年研究的基础上,“乌鲁木齐地区水资源若干问题研究”队,于 1986 年底委托中国科学院、乌鲁木齐市水资源管理委员会、新疆水利厅勘测设计院和新疆地质矿产局第一水文地质工程地质大队的代表,共同起草了“柴窝堡水源地开发意见书”,提交新疆维吾尔自治区政府,供决策水源地开发的参考。“意见书”认为,根据乌鲁木齐市市区的供水和缺水现状,迫切需要开发新的水源地,而柴窝堡水源地是最理想的。它相对独立,水质优良,完全可以满足近期调水 $3000 \times 10^4 \text{ m}^3$,远期调水 $5000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的需要。但调水后柴窝堡湖要受到很大影响,干涸、盐化的命运是不可避免的。为了保湖近期可以采取一些措施,但这只是权宜之计,不仅要增加调水成本,而且也无法在远期最终保住湖泊。

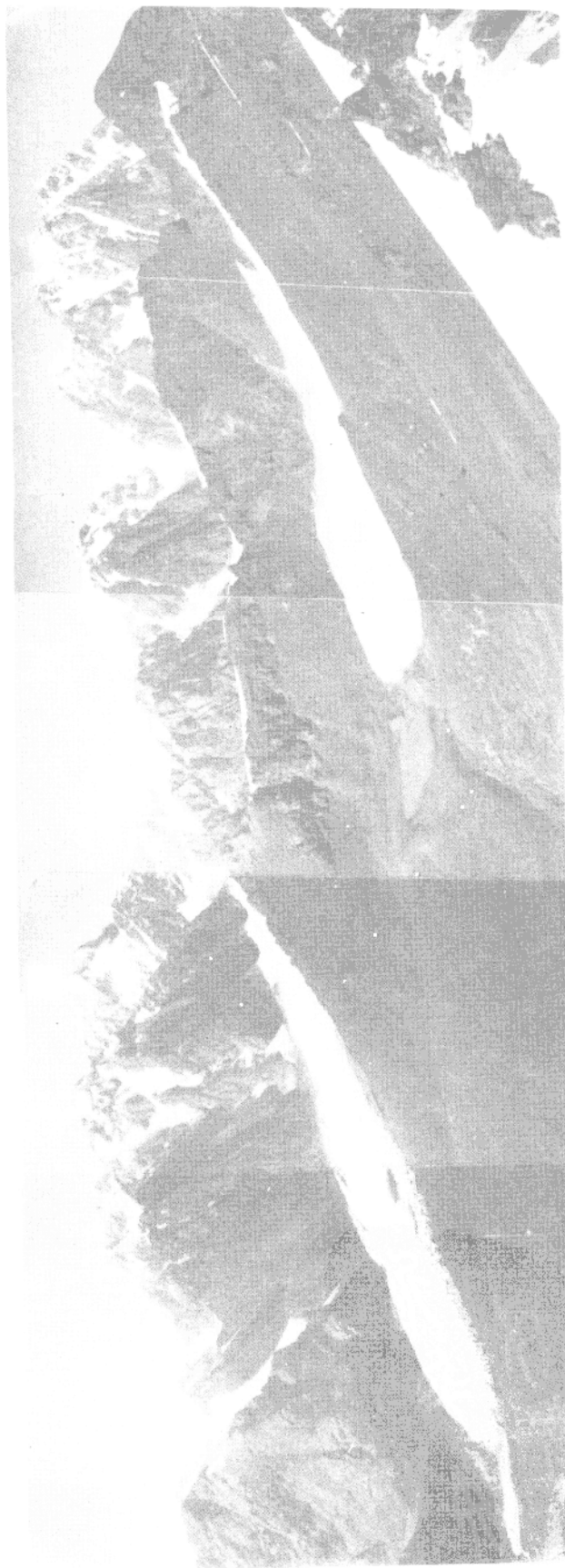
本书有关内容,分别由杨利普、吴申燕、周聿超、李世华、胡琳、洪里、陈隆亨、张鹏云、胡双熙、黄茂桓、张祥松、吴紫旺、白重瑗、邱国庆、伍光和、孙志文、卫克勤、李子熙、金良玉等同志进行了审阅和修改,《冰川冻土》编辑部何兴同志负责编辑出版,徐月珍、祝国存、薛丽华同志参加编辑、校对、清绘等出版工作,在此一并致谢。

乌鲁木齐地区水资源若干问题研究队

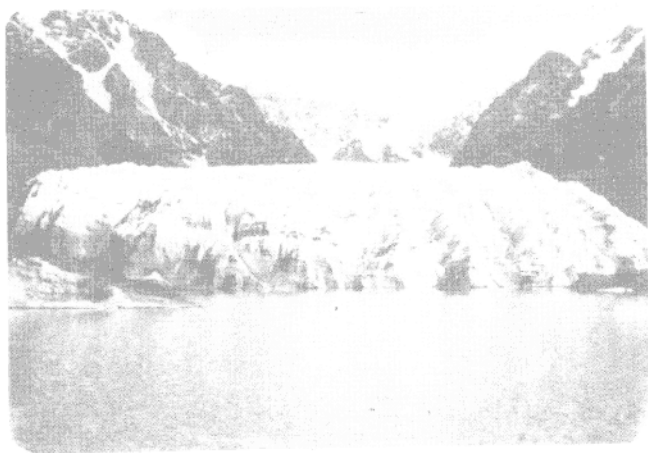
1987 年 12 月



照片 4-1 博格达峰区 (局部): 1) 博格达峰, 5445 m; 2) 黑沟 8 号冰川



照片 4-2 黑沟 8 号冰川及其冰川群、1. 博格达峰



照片 4-3 黑沟 8 号冰川末端



照片 4-4 雪崩冰川



照片 4-5 雪面融化及雪层边沿的冰钟乳



照片 4-6 柴窝堡-达坂城盆地的荒漠景观



照片 4-7 达坂城附近的灌溉渠系



照片 4-8 黑沟源头冰川环境

目 次

前 言	(i)
-----------	-------

自然条件与水资源形成、分布特征

1 柴窝堡-达坂城地区气候特征及柴窝堡湖水面蒸发测算分析	(1)
2 柴窝堡-达坂城地区地貌、第四纪沉积及湖面变化	(11)
3 博格达峰区南坡高山带降水量的测算	(23)
4 博格达峰区南坡冰川基本特征及其利用	(40)
5 柴窝堡-达坂城地区的水资源	(58)
6 博格达山南坡径流的形成、分布和变化研究	(66)
7 柴窝堡-达坂城盆地新构造运动与地下水	(75)
8 柴窝堡-达坂城地区水化学分带及柴窝堡湖的水化学特征	(87)
9 柴窝堡湖北段水资源转化的同位素初步研究	(97)

水资源的开发前景

10 柴窝堡湖北水源地开采方案	(107)
11 柴窝堡湖西水源地水资源评价及开发方案	(116)
12 黑沟流域引水济柴可行性研究	(122)

水资源开发与环境变化

13 柴窝堡湖的水盐平衡及调水后影响的预测	(127)
14 柴窝堡湖北部地区地下水均衡及湖泊演变趋势的研究	(136)
15 柴窝堡湖水钙盐离子及其盐态自然离析的初步研究	(153)
16 柴窝堡-达坂城地区的土壤及调水后可能引起的土壤变化	(161)
17 柴窝堡-达坂城地区的植被与调水后的可能变化	(178)

开发利用建议

18 柴窝堡水源地开发利用建议	(187)
-----------------------	---------

CONTENTS

Preface	(i)
---------------	-------

The Natural Condition and the Characteristics of Water Resources Formation and Distribution

1 The Climate Characteristics of Chaiwopu-Dabancheng Region and Analysis of Surface Evaporation of Chaiwopu Lake	(10)
2 Geomorphology , Quaternary Sedimentary and Lake Level Fluctuations in Chaiwopu Basin Xingjiang, China	(22)
3 The Observation and Calculation of Rainfall at the Zone with High Elevation on the South Slope of the Bogda-peak Region	(39)
4 Basic Characteristics and Use of the Glaciers on the South Slope of the Bogda-peak Region	(57)
5 Water Resources in Chaiwopu-Dabancheng Region	(65)
6 A Preliminary Study on the Formation, Distribution and Variation of Runoff in the South Slope of Mt. Bogda	(74)
7 The Neotectonic Movement and Groundwater of Chaiwopu- Dabancheng Basin	(86)
8 The Hydrochemical Zoning in Chaiwopu-Dabancheng Region and Hydrochemical Character of Chaiwopu Lake	(96)
9 A Preliminary Isotopic Study on Conversion of Water Resources in the North Beach of Chaiwopu Lake, Urumqi	(105)

The Prospect of Water Resource Development

10 Exploitation Plan of the North Chaiwopu Water Resources of Urumqi City	(115)
11 Evaluation and Exploitation of the Water Resources to the West of Chaiwopu Lake	(121)
12 Feasibility Study on Diverting Water from Dalian Lake and Heigou Basin to Chaiwopu Lake	(126)

The Environment Change with Developing Water Resources

13 Water and Salt Balance in Chaiwopu Lake and Forecast of Its Changes After Water Diversion	(135)
---	---------

- 14 Groundwater Balance in the Northern Beach of the Chaiwopu Lake and
Evolution Trend of the Chaiwopu Lake After Exploitation (152)
- 15 A Preliminary Study of Calcium-Salt Ion and the Natural Precipitation
of Salt in Chaiwopu Lake (160)
- 16 The Soil in Chaiwopu-Dabancheng Region and Its Possible Changes
after Transferring the Water Resources (177)
- 17 The Vegetations in Chaiwopu-Dabancheng Region and Its Possible
Changes after Transferring Water (186)

The Suggestion for Development and Utilization

- 18 Suggestions for the Development and Utilization of the Water
Resources in Chaiwopu (192)

自然条件与水资源形成、分布特征

1 柴窝堡—达坂城地区气候特征及柴窝堡 湖水面蒸发测算分析*

1.1 气候概况

柴窝堡—达坂城地区为一山间盆地，属于柴窝堡凹地东段，北为博格达山脉，南为天格尔山，西隔低分水岭与乌拉泊洼地为界，东南为中低山，称土格达坂塔克，白杨河在其切开一豁口，与吐（鲁番）鄯（善）托（克逊）盆地相连。该盆地西北—东南向较长，约 50 km；南北向较窄，约 15—30 km。该地在西风环流影响下，成为南北疆气流交换的重要通道，准噶尔盆地与吐鄯托盆地的气压和温度，通过这条通道来调节（樊焕宇等，1986），常年风力强劲，为著名的“风区”。区内低山带为岩漠，平原为砾漠，只有近湖低地有细土覆盖，谷地有沼泽草甸的滨湖草甸，成为天然牧场。

影响本区降水和降温的大气环流有三条路径：源自北极区的冷空气，经西伯利亚向南直侵新疆，经北疆到达本区，发生强烈降温，但发生次数较少；北极区冷空气，经欧洲北部和乌拉尔山南部，向东南入侵新疆，经北疆到达本区，发生次数较多，造成强降温、大风、降雨或雪的天气；源自大西洋、地中海入侵到里海、咸海的冷空气，东移到西部国境，进入伊犁地区，经北疆到达本区，发生次数较多，造成以降水，伴有大风和弱降温天气（乌鲁木齐县区划办公室自然组等，1984）^①。

柴窝堡—达坂城盆地，海拔高度为 1100—1400 m， $>10^{\circ}\text{C}$ 积温为 2600—2800 $^{\circ}\text{C}$ ， $>2^{\circ}\text{C}$ 无霜期为 130—145 天，干燥度 5.10—7.81。在达坂城， $>10^{\circ}\text{C}$ 的积温为 2690 $^{\circ}\text{C}$ ， $>2^{\circ}\text{C}$ 无霜期为 131 天，1 月份平均气温为 -10.6°C ，7 月份平均气温为 21.0°C ，极端最高气温 37.5°C ，极端最低气温 -31.9°C ，年降水量 63.6 mm，年蒸发量 2715.5 mm；干燥度 7.81，年内 ≥ 8 级（17.2—20.7 m/s）大风日数为 149 天， ≥ 6 级风为 214 天，最大风力可达 12 级（34 m/s）。柴窝堡的风速不如达坂城快，但年蒸发量比达坂城大，平均为 3342.6 mm。

1.1.1 气温

本区年平均气温，平原、谷地农牧区为 $5-7^{\circ}\text{C}$ ，前山带为 $2-5^{\circ}\text{C}$ ，山区随海拔高

* 作者：王积强、王步天，中国科学院新疆地理研究所。

① 乌鲁木齐县农业区划办公室自然组等（1984）：乌鲁木齐县农业气象手册。

度的增加而降低,大约每升高 100 m,气温降低 0.4—0.6℃。柴窝堡湖附近为暖区,向东北或西南山地气温逐渐降低,博格达高山区气温低于 0℃。

1.1.2 降 水

年降水量随高度增加而增加的趋势很明显。柴窝堡湖附近为少雨区,年降水量不足 50 mm,向山区逐渐增加,至北部博格达山区为 500—700 mm,南部山区为 100—300 mm。

1.1.3 大 风

由于大气环流的影响,本区夏季多西北风,冬季多东风,但大风皆为西北风。年平均风速在 6 m/s 以上,4—5 月份最大,平均达 7—8 m/s;9—10 月份风速最小,平均小于 6 m/s。年内≥8 级大风的日数,由柴窝堡湖附近的 40—50 天,向东南达坂城方向逐渐增加到 130 天。一般早晚风小,下午风大。

1.1.4 光 能 资 源

本区因年降水量小,光能资源丰富,达坂城的太阳总辐射量 Q 为 $137.2 \times 4.1868 \text{ kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,光合有效辐射 (400—720 nm) 为 $65.8 \times 4.1868 \text{ kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,日照时数和日照百分率分别为 3025.4 h/a 和 68%^①。

1.2 柴窝堡湖水面蒸发量测算

柴窝堡湖为本区最大的水面,面积约 30 km²,其年蒸发量,1983 年计算为 $0.54 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^②,1984 年计算为 $0.52 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^③,这些都是利用 1980 年 7 月开始观测的林场气象哨直径为 20 cm 蒸发量乘以哈地坡折算系数 K_j (20 m² 与直径 20 cm 蒸发器蒸发量之比),前者取 0.55,后者取 0.54。^④

上述计算存在两个问题:一是柴窝堡林场气象哨距湖边 1.5 km,温、湿度与湖边有较大差别,直径 20 cm 蒸发器的年蒸发量偏大,据 1985—1986 年实测,高 11% 左右;二是哈地坡的 K_j ,应用月蒸发量加权算出 ($K_j=0.527$),不能取各月的平均值。我们采用三种方法测算了柴窝堡湖的蒸发量。

1.2.1 器 测 法

这种方法最为直观,使用历史悠久,远在 1687 年天文学家哈雷 (Halley) 就采用蒸发器确定水面蒸发量,其后世界各国采用不同形式的蒸发器,通过折算系数推算湖

① 乌鲁木齐县农业区划办公室自然组等 (1984): 乌鲁木齐县农业气候手册。

② 乌鲁木齐水文勘测队等 (1983): 乌鲁木齐地区水资源分析报告。

③ 新疆水利水电勘测设计院 (1984): 乌鲁木齐市柴窝堡水源地洪水水文地质详查报告。

④ 哈地坡 1958 年建的 20 m² 蒸发池,其水深为 1.4 m; 1984 年又建 2.0 m 深的蒸发池,后者月蒸发量平均比前者偏大 7.2 mm,故目前 $K_j=0.56$ 。

泊、水库等中、小水体的水面蒸发量。近年来,观测水面蒸发的仪器没有大的改进,世界气象组织规定以美国设置在地面上的 A 级蒸发器和苏联埋设在地下的 ГГИ-3000 型蒸发器作为一般测站观测水面蒸发的标准仪器。理由是,这两种仪器使用年代久远,记录资料较长,便于在世界范围内进行比较。1972 年 9 月世界气象组织蒸发工作组日内瓦会议作出决定,认为用 20 m^2 蒸发池进行浅水湖泊蒸发的研究,可得出满意的结果。因此,建议在每个气候区和大水库带,设置这种蒸发池,作为研究浅水湖泊蒸发的一种通用仪器。

我国水利部水文局于 1960 年把 ГГИ-3000 蒸发器口外缘加 10 cm 宽的水圈,并命名为 E601。1973 年在杭州蒸发座谈会上,鉴于 E601 内外溅水不平衡和观测不便等原因,决定加宽水圈到 20 cm,口缘离地面抬高 30 cm。改进后的 E601 于 1979 年在全国推广使用(施成熙等,1986)。

ГГИ-3000 和 E601 蒸发器具有以下弊病: 1) 铁制测针支架立于蒸发器水中,由于其导热率比水大 100 多倍,因此在器壁和支架影响下,4—9 月份蒸发量偏大,有时偏大一倍。2) 为弥补器内水量损耗,每隔数日就需加水约 40 mm 深,由于白天日射水面积加大,水面温度偏高,水体大热容量也大,晚上冷却缓慢,水温也偏高,因此在无风、降温季节的晚上,蒸发明显偏大。根据 1983—1985 年哈地坡的实验,直径 20 cm 的水深 30 mm 原量(测后加水)的年蒸发量比 20 mm 原量的平均偏大 8.1%。3) 蒸发器内外溅水不平衡的主要影响因素是器内的水位变化。高速雨滴与静止水面相碰时,反弹高度(溅水高度)和器壁沿的高度几乎相等。经实测,当器内水位为 20—30 cm 时,由器内向外溅出的水比溅入的多,蒸发器内实得雨量比雨量筒少,因而算出的蒸发量偏大。4) 由于测针底座安装时很难保持水平,针尖入水深度不同,针尖容易碰坏等原因,都会使水位观测产生误差。

鉴于 ГГИ-3000 和 E601 蒸发器存在的问题,我们于 1983 年设计了 3000 型水面蒸发器。其主要特点是,去掉了测针及支架,结构简单,用加水法测定每日(或数日)的蒸发量。安装时尽量使器内水面与器外的土面相平,使蒸发和降水边际界条件相同。蒸发量按下式计算:

$$E = \frac{Q_1 - Q_2}{0.1S} + P \quad (1)$$

式中: E 为时段蒸发量 (mm); Q_1 为加水量 (cm^3); Q_2 为排水量 (cm^3); S 为蒸发面积,为 3000 cm^2 ; P 为降水量 (mm)。

3000 型蒸发器,不易损坏,资料稳定可靠,近于 20 m^2 蒸发器,月折算系数比 E601 平均增大 0.1。在柴窝堡蒸发量的测定中,我们在湖北岸滩地上距水边 4—10 m 处布设了两个 3000 型蒸发器,在湖东岸距水边 15 m 处布设了一个 3000 型蒸发器(图 1-1),与林场气象哨的直径 20 cm 同步观测。根据实测资料求出湖边 3000 型与林场气象哨直径 20 cm 蒸发量之比值 K_1 ,然后把林场气象哨多年平均直径 20 cm 蒸发量 (E_0) 折算成湖边 3000 型的多年平均值,再利用哈地坡^① K_2 (20 m^2) 与 E601 之比

①哈地坡水面蒸发实验站,在柴窝堡湖西北方向约 64 km,其地面海拔高度 965.3 m。

值), 把多年平均湖边 3000 型的蒸发量折算至湖面 (E_2), 即

$$E_2 = E_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2)$$

测算结果见表 1-1, 折算系数 $K = K_1 \cdot K_2 = 0.395$, 湖面年蒸发量 $E_2 = 1319.0$ mm, 比新疆水利水电勘测设计院的采用值偏小 36.0%。

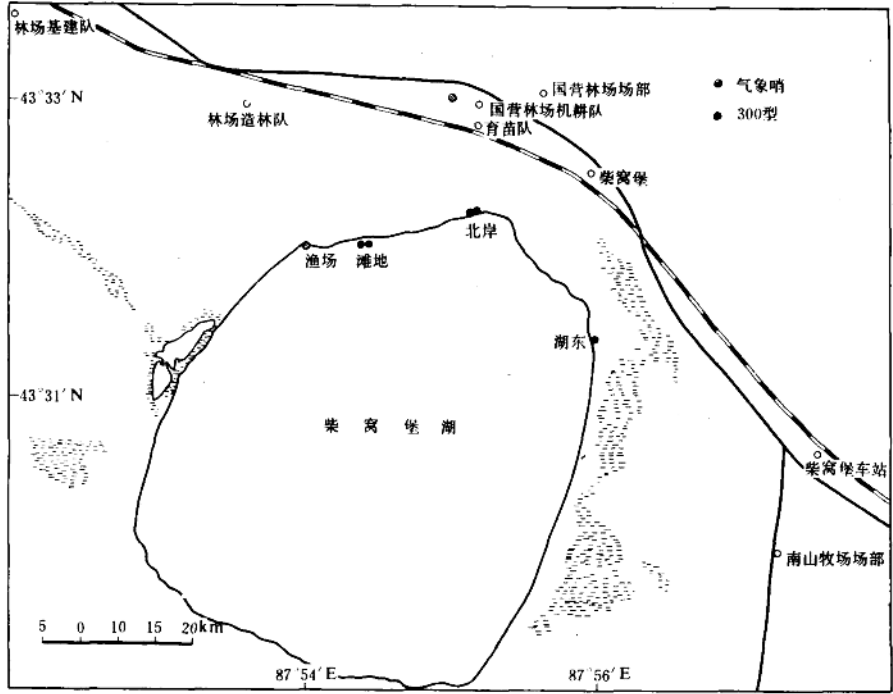


图 1-1 柴窝堡湖及仪器安装位置

表 1-1 器测法计算柴窝堡湖月蒸发量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合计
$E_0(\text{mm})$	48.9	64.0	155.0	330.7	481.2	511.2	563.4	511.9	330.4	202.7	94.3	48.9	3342.6
K_1	0.390	0.390	0.390	0.430	0.430	0.454	0.484	0.515	0.520	0.657	0.473	0.390	0.476
K_2	0.810	0.810	0.810	0.764	0.794	0.802	0.810	0.821	0.888	0.982	0.875	0.810	0.829
$E_2(\text{mm})$	15.5	20.3	49.0	108.6	164.3	186.1	220.9	216.4	152.6	130.8	39.0	15.5	1319.0

1.2.2 经验公式法

水面蒸发量为水中动能较大的分子克服表层分子压力蒸发到空气中去, 与空气中动能较大的水汽分子返回到水中 (凝结) 的差值。水温下的饱和水汽压与空气中实际水汽压之差称饱和差。饱和差越大, 即水温比气温越高, 蒸发量越大; 反之, 气温越高于水温, 饱和差越小, 返回液体 (凝结放热) 的水分子越多, 蒸发量越少。

空气中风的作用, 一方面给液体水分子以动能, 促进水体上下翻滚, 经实际观察当风速 $\geq 11 \text{ m/s}$ 时, 水面有浪花溅起, 在 8—9 级风时, 小水滴可散落在下风处 100 m