

塔克拉玛干沙漠综合科学考察成果

塔克拉玛干沙漠地区 水资源评价与利用

中国科学院塔克拉玛干沙漠综合科学考察队

科学出版社

塔克拉玛干沙漠综合科学考察成果编委会

主 编 夏训诚

副主编 李崇舜 董光荣 周兴佳 胡文康

编 委 (以姓氏笔画为序)

王炳华 谷景和 李广宽 李江风 李金栋

李崇舜 姜兆春 周兴佳 杨 戊 杨逸畴

张立运 胡文康 夏训诚 董光荣 穆桂金

樊自立

塔克拉玛干沙漠地区水资源评价与利用

负责单位 新疆地质矿产局第一水文地质工程地质大队
南京大学大地海洋科学系

参加单位 中国科学院新疆地理研究所
地质矿产部兰州水文地质工程地质中心
中国科学院生态环境研究中心

专著负责人 上编：杨 戊 吴申燕
下编：李金栋 陈 玮 洪 鲤(顾问)

序

在世界各大沙漠中，中国新疆的塔克拉玛干沙漠是最神秘、最具诱惑力的一个。这不仅因为它的广袤、险阻和鲜为人知，而且还因为盛名的“丝绸之路”曾穿越这里，留下了灿烂的古代文明。上世纪末、本世纪初以来，中外许多探险家都曾尝试窥探塔克拉玛干沙漠的真实面目，在付出巨大代价后，无不以失望而告终。从此，使塔克拉玛干沙漠留下了“死亡之海”的恶名。

1983年以来，中国石油勘探队伍，以现代技术条件为支撑，纵横驰骋于塔克拉玛干沙漠之中，在油气勘探中获得重大突破，证明塔克拉玛干沙漠是一个蕴藏着丰富油气资源的“希望之海”。这一事实，再次激发了人们全面认识塔克拉玛干沙漠的愿望。

1987年6月，中央领导同志视察了塔里木盆地的油气勘探工作，提出利用油气勘探的条件，组织对塔克拉玛干沙漠多学科综合科学考察的设想。在国家科学技术委员会统筹下，在中国科学院、中国石油天然气总公司、地质矿产部、国家计划委员会国土局和新疆维吾尔自治区人民政府的支持、配合下，这一设想变成了现实。现在，放在我们面前的这一套科学考察系列专著，即是科学工作者们辛勤和智慧结晶。

塔克拉玛干沙漠综合科学考察历时近4年，创造了这一地区科学考察史上的许多第一。参与单位众多，学科专业齐全。参加考察的有中国科学院所属的新疆生物土壤沙漠研究所、兰州沙漠研究所、地理研究所、新疆地理研究所、生态环境研究中心、兰州地质研究所、新疆分院，还有新疆气象研究所、新疆文物考古研究所、新疆地质矿产局第一水文地质大队、地质矿产部兰州水文地质中心、南京大学、新华社新疆分社等；考察队组建了气候、地貌、第四纪地质、地球化学、生物（含动物、植物、微生物）、土壤和土地资源、水资源、考古、录象、摄影、资料等专题组和专业组；考察期间，先后在满西异1井、塔中1井建立了我国仅有的两个沙漠气象站；考察队在和田河、克里雅河流域组织了穿越沙漠的考察；各专题组成员多次进入沙漠腹地各井队，进行路线考察和定位观测。在4年的考察中，应用了许多新的方法，取得了大量的新资料，形成了一大批有特色的新观点和新结论，对塔克拉玛干沙漠的认识和了解产生了全面的、新的飞跃。

塔克拉玛干沙漠综合科学考察成果是一项多学科的系列成果，包括《塔克拉玛干沙漠气候》、《塔克拉玛干沙漠地貌》、《塔克拉玛干沙漠第四纪地质》、《塔克拉玛干沙漠地区水资源评价与利用》、《塔克拉玛干沙漠植被》、《塔克拉玛干沙漠动物》、《塔克拉玛干沙漠地区土壤和土地资源》、《塔克拉玛干沙漠考古》、《塔克拉玛干沙漠资源和环境》9本专著，以及《塔克拉玛干沙漠研究文献索引》、《神奇的塔克拉玛干》（科学考察图片集）、《塔克拉玛干沙漠》（录象片集）等。这些成果，从多角度，全面、系统地反映了塔克拉玛干沙漠资源和环境的真实面貌，为开发塔克拉玛干沙漠的资源、防止沙漠对南缘绿洲的危害，已经并将继续产生重大的影响。

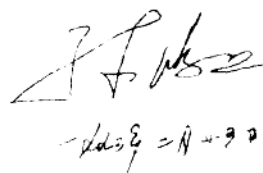
沙漠，是地球上的一类特殊的环境地区。长期以来，沙漠和沙漠化给人类生产和经济

发展造成了严重的危害。对塔克拉玛干沙漠进行全面的科学考察，对人类认识沙漠，了解沙漠，展开向沙漠和沙漠化的斗争，都是具有十分重大意义的。塔克拉玛干沙漠综合科学考察，从一开始就受到国内外舆论界的重视，正表现了人们对这一地区的关注。

沙漠的环境是十分恶劣的，在这样的环境中进行科学考察活动，自然要付出更多的艰辛。由各单位科学工作者组成的考察队伍，用出色的工作，圆满地完成了预定的计划。他们的艰辛，将与他们的成果一道，永远铭刻在科学考察的史册上。

这一考察工作得以圆满完成，我们还要感谢中国石油天然气总公司及其所属的塔里木石油勘探开发指挥部和物探局，以及新疆维吾尔自治区人民政府和考察地区各地县有关部门，为塔克拉玛干沙漠综合科学考察顺利进行所提供的巨大支持和帮助。

塔克拉玛干沙漠综合科学考察初告一段落了，但对沙漠的认识和开发来说，工作还仅仅是刚刚开始，特别是对人类向沙漠的斗争来说，仍然是任重而道远。不过，我们已经有了一个好的开端，从这里出发，前途将是十分光明的。



Handwritten signature and date: 1982.11.11

前 言

曾被称之为“死亡之海”的塔克拉玛干沙漠，其地表和地下水资源状况，长期以来成为一个难测的自然之谜。

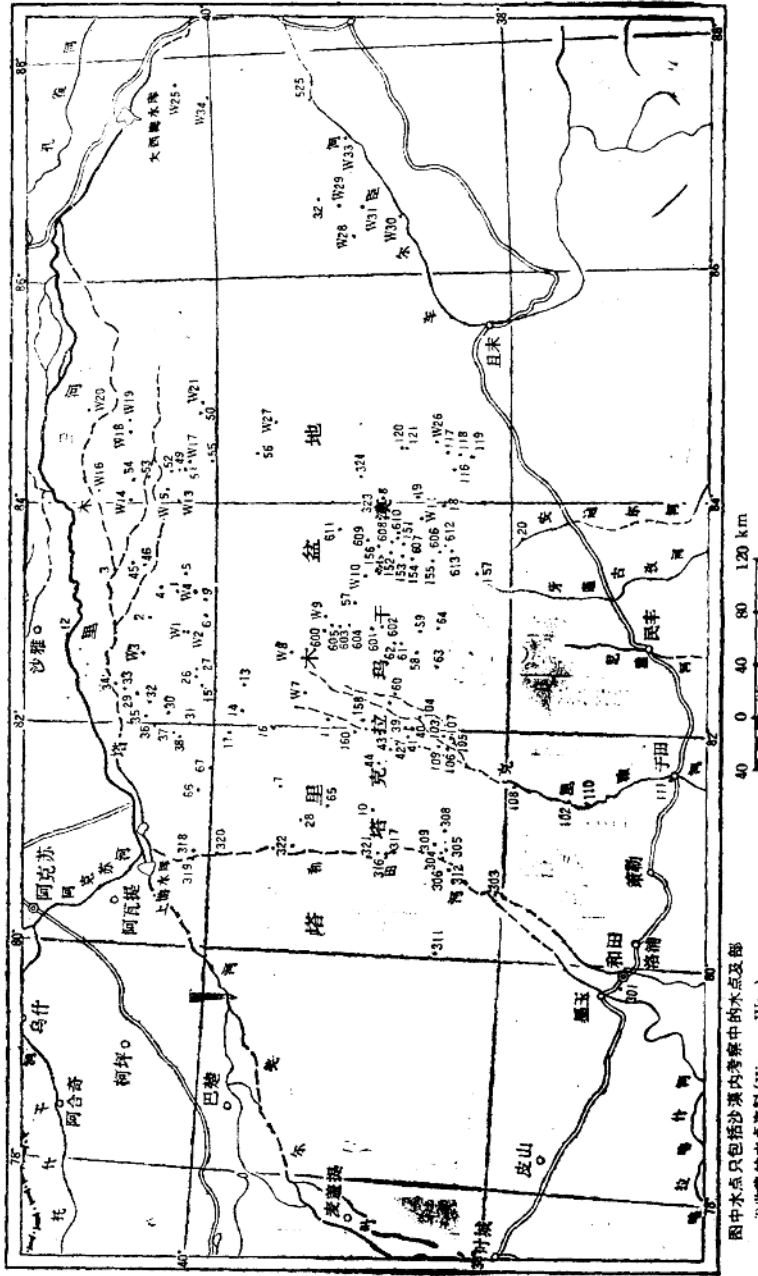
建国以来，为了搞清塔克拉玛干沙漠及其周边水资源状况，有关科研单位、水利部门和水文地质部门投入了大量人力、物力，进行了较长期、较大范围的考察和调查，取得了一系列成果。然而，由于条件所限，在大沙漠腹地，仍有约 $2.04 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的空白区，使人们对沙漠水资源状况缺乏系统、完整的了解。

从1987年秋开始的塔克拉玛干沙漠综合科学考察，将水资源评价与利用列为主要专题之一，通过4年的艰辛努力，包括对和田河、克里雅河中、下游的实地考察和在沙漠腹地的半定位调查与研究，使我们对深入沙漠和穿越沙漠河流的水文特征、水质特征，河道特征及其沿途地表水与地下水的关系，以及沙漠地区地表水的分布、潜水的埋藏、分布及含水层特征、“三水”转化机理及地下水运移规律、潜水化学成分及水质、地表水、地下水资源量和可开采量等，有了较全面、较清晰的了解。

实物工作量一览表

工 作 内 容		数 量	备 注
工 作 点	试坑及民井(地下水点)	118个	不含收集的资料
	地表水点	4个	
	收集钻孔资料	4个	
水 样	全分析	152个	包括收集水分析资料31个
	简分析	6个	
	痕量分析	57个	
	同位素	64个	
土 样	粒度分析	86个	
	天然湿度	44个	
	矿物组合分析	31个	
	易溶盐分析	84个	
岩矿鉴定样		1个	
化 石		5个	
文 物		100块	
沙漠内发现古文化遗址		1处	
试坑简易抽水		11次稳定22小时	
钻孔机械抽水		1次稳定2小时	

• ▼ •



图中水点只包括沙漠内考察中的水点及维吾尔族的水点资料(W1.....W24)

塔克拉玛干沙漠水文地质点分布图

鉴于塔克拉玛干沙漠水资源与塔里木盆地水资源有着千丝万缕的联系，因此，本书在论及沙漠水资源时，扩展到了沙漠周边的塔里木盆地广大地区，利用了大量前人研究的成果，体现了本项研究的承袭和继承性。

参与本项研究的有新疆地矿局第一水文地质工程地质大队、南京大学大地海洋科学系、中国科学院新疆地理研究所、地质矿产部兰州水文地质工程地质中心、中国科学院生态环境研究中心等单位。在考察研究中，得到塔里木石油勘探开发指挥部、物探局三处、新疆生产建设兵团农一、二、三师和有关地、州、县的大力支持，并得到考察队其他专题组的大力协助，在此一并表示深切地感谢。

本书分为上、下两编。上编“塔克拉玛干沙漠地表水资源评价与利用”由杨戊、吴申燕负责统稿。参与编写人员和分工为：第一章，李明华；第二章，杨戊、高蕴珏、吕明强；第三章，吴申燕、李新；第四章，许有鹏；第五章，杨戊、吴申燕。下编“塔克拉玛干沙漠地下水资源评价与利用”由李金栋、陈玮负责统稿，洪鲤任顾问，参与编写人员和分工为：第一章，许凤林；第二、三、五章，李金栋；第四、六章，陈玮。此外，在上、下编总论后各附有专题研究报告，共计 11 篇。全书插图由中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所常青同志清绘。

目 录

序
前言

上 编

总论：塔克拉玛干沙漠地表水资源评价与利用

第一章 塔克拉玛干沙漠地区的自然环境.....	3
第一节 地质地貌	3
第二节 气候环境	4
第二章 塔里木盆地水资源概况.....	12
第一节 塔里木盆地地表水	12
第二节 河流水质	20
第三节 塔里木盆地地下水资源	26
第四节 塔里木盆地水资源综合评价	28
第三章 塔克拉玛干北部河流与水资源分析.....	33
第一节 阿克苏河	34
第二节 开都河-孔雀河、迪那河	37
第三节 塔里木河	42
第四章 塔克拉玛干南部水资源评价与利用.....	49
第一节 主要河流水资源现状分析	49
第二节 塔克拉玛干南部水资源系统分析	54
第三节 塔里木盆地南部地区水资源合理开发利用的建议	64
第五章 塔克拉玛干沙漠水资源利用的建议.....	66

专 题 研 究

塔里木河输水减少引起的问题及整治途径.....	69
大系统优化理论在克里雅河水资源规划管理中的应用.....	77
和田河流域水文特征及区域水资源评价.....	87
新疆塔里木盆地南部地区水资源承载能力的分析研究.....	96
用主成分和聚类分析方法进行水化学分区的初探.....	106
塔里木河流域生态环境演化与监测.....	117

下 编

总论：塔克拉玛干沙漠地下水资源评价与利用

第一章 自然地理概况.....	127
第一节 地形.....	127
第二节 气候.....	128
第三节 水文.....	132
第二章 地质概况.....	135
第一节 地层与侵入岩.....	135
第二节 构造.....	145
第三节 第四纪以来的环境变迁.....	146
第三章 地下水资源.....	148
第一节 地下水的赋存与分布.....	148
第二节 地下水补给、径流、排泄规律.....	153
第三节 地下水类型及含水岩组富水性.....	165
第四章 地下水化学特征及水质评价.....	176
第一节 沙漠外围地下水化学特征及水质评价.....	176
第二节 沙漠腹地地下水化学特征.....	194
第三节 沙漠腹地地下水化学成分的形成机理.....	208
第四节 沙漠腹地地下水水质评价.....	226
第五章 地下水资源概算及评价.....	235
第一节 地下水资源概算.....	235
第二节 地下水资源评价.....	239
第三节 地下水开采利用条件.....	240
第六章 结束语.....	245

专 题 研 究

塔克拉玛干沙漠腹地东部地下水F ⁻ 的水文地球化学特征.....	247
塔克拉玛干沙漠天然水环境同位素研究.....	255
塔克拉玛干沙漠中古河道变迁及其原因初探.....	265
塔克拉玛干沙漠中的古河道与地下水.....	272
塔克拉玛干沙漠地区饮用水问题与对策.....	282

上 编

总论：塔克拉玛干沙漠地表水资源评价与利用

第一章 塔克拉玛干沙漠地区的自然环境

塔克拉玛干沙漠位于我国最大的内陆盆地——塔里木盆地的中央，是世界七大沙漠之一。面积 $3.376 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，约占全国沙漠总面积的一半以上，属极端干旱区。

第一节 地质地貌

根据航空物探资料¹⁾表明，塔克拉玛干沙漠基底构造属塔里木地台区，是由前震旦系变质岩所组成。在广袤沙漠之下，有平缓的古生界和以陆相沉积为主的中、新生界沉积。其封闭的地貌轮廓和区域分布范围，受地台边缘的线性隆起所控制。

在塔里木盆地的西南，铁克里克断块隆起区，主要为NW或ENE向两组基底断裂组成的棋盘格型构造，分布在叶城、莎车、皮山、墨玉、和田一带，位于叶尔羌河流域的米亚断裂（亦即塔里木南缘断裂），断层宽30—40m，倾向西南，是塔里木地块与西昆仑褶皱带的分界线。盆地的南缘为北昆仑褶皱隆起。在于田、民丰一带为ENE之纬向构造，其东的且末、若羌块断构造和阿尔金山块断隆起亦呈NE走向，并与且末深断裂带平行展布。特别应当指出，区内NW和ENE这两组控制断裂，大致在于田—策勒一带交汇，以西的构造山地为NW走向，其东则沿ENE方向延伸，于盆地的南缘自然形成弧形边界轮廓线；后期新构造运动在老构造基础上进一步活化，构造线展布方向具继承性特点，它对塔克拉玛干沙漠气候的形成和环境变迁均具重要意义。在塔里木地台的北缘，天山褶皱带于晚第三纪上新世至第四纪早更新世的末期，承袭了古老深大断裂而发生强烈的断块隆起和沉降。在上升隆起过程中，不仅把中生代以来长期剥蚀夷平的古天山准平原破坏，而且还将其两侧原属于北塔里木块断构造的柯坪断块和库鲁克塔格断褶皱带一起卷入到天山山体中，成为耸峙在塔里木盆地北部边缘的天然屏障，而相对沉降陷落的地段，则形成高程不等的断陷盆地和谷地。夹峙在昆仑山褶皱带和天山褶皱带之间的塔里木地台，长期处于相对稳定状态，其构造平缓单一，覆盖在古生界地层上的中、新生界地层大多近于水平，除北民丰隆起有古生界地层出露、塔里木中央隆起在罗斯塔格和麻扎塔格有第三系红层裸露外，浩瀚无垠的塔克拉玛干沙漠地区，均被风成沙或沉积沙层所覆盖。

1) 《塔里木盆地结晶基底构造图》(1/100万)，地质部航空物探904队编。

第三纪末第四纪初喜马拉雅期的新构造运动，地台周围的地槽和褶皱带强烈活化，与天山和昆仑山急剧隆升的同时，形成塔里木盆地的雏形，尤其是与青藏高原毗邻的昆仑山系上升幅度为大，致使塔里木内陆封闭盆地的地势，由原先是中央较高的状况，转变为总的地势向北或向东倾斜的趋势，从而影响了塔克拉玛干沙漠地区水文格局的变化和发展。唯一使盆地与外界沟通的是一条狭窄的向东开启的走廊式通道（该通道南北分别为阿尔金山脉和库鲁克塔格山脉），导致低温干燥性的极地大陆性气团穿越进入封闭型盆地，对塔克拉玛干沙漠气候的形成产生重大影响。

塔克拉玛干沙漠地区平均海拔高度为900—1000m左右，四周的高原和高山平均海拔为4000—5000m，形成强烈对比的封闭型高山—盆地系统。天山平均海拔4000m，高出盆地3000—3500m。南天山汗腾格里山汇的最高峰——托木尔峰海拔7435.38m，山谷冰川广泛发育，成为亚洲中部现代主要冰川中心之一。现代雪线高度达到3600—4400m（托木尔峰）。昆仑山平均海拔6000m，山前洪积—冲积平原海拔为800—1300m，高差悬殊。根据山前拗陷沉积物的厚度推测，新构造运动上升幅度超过 4000m^1 。现今超过7000m的山峰有多座。公格尔峰7719m；慕士塔格峰7546m；喀喇昆仑山主峰——乔戈里峰高达8611m，仅次于珠穆朗玛峰，为世界第二高峰。东部较低的阿尔金山为塔里木地块的断块山地，一般山峰仍在5000m左右。与山区接壤的塔里木平原，由缓倾的山麓平原相连，为一山前洪积冲积倾斜平原。由于盆地四周山体构造和所处地理位置的差异，使山前倾斜平原的宽度各不相同，西部和北部宽度较小，一般在20km左右。其原因是天山山间盆地较发育，截留了部分沉积物，同时天山南麓植物生长较好，基岩风化较弱，致使天山南部的山前倾斜平原较狭窄。而昆仑山属荒漠性山地，剥蚀作用强烈，在冰川、流水作用下，形成宽广的倾斜平原，宽度可达80公里。倾斜平原上部以砾石堆积为主，坡度在 3° 以上，常有石膏和盐盘夹层；下部为细土带，坡度 1° — 3° 之间，绿洲广泛分布在细土平原。现代河流出山以后，常形成冲积扇，在下游地带形成广阔的冲积平原，土层深厚，坡度平缓，引水方便，是大片绿洲分布的地区。

塔里木平原中部为广阔的沙漠，以流动沙丘为主体，除西部的麻扎塔克、罗斯塔克诸山、北民丰隆起高地和深入沙漠腹地的和田河、克里雅河、安迪尔河、车尔臣河等河流沿岸地区外，全为沙丘所覆盖，其中流动沙丘占85%。深入沙漠的河流两岸，形成了特殊的荒漠河岸植被，是靠夏季洪水漫灌而生存的植物群体。除沙漠河岸植被外，在沙漠腹地风蚀洼地、古河道，依赖地下潜水也有一些芦苇和少量柽柳生长，其生长状况据地下水深度而定。综观塔克拉玛干沙漠，生态环境极为脆弱。

第二节 气候环境

塔克拉玛干沙漠地区的气候属于中纬度地区暖温带极端干旱的沙漠气候类型，具有典型大陆性气候的特征。

该地区的极端干旱的沙漠气候的形成，是由于以下综合因素影响造成的：①囿于深居欧亚大陆腹地、远离海洋的地理位置；②地形条件——周围高山阻隔，尤其是青藏高原的屏障作用，海洋气流难以抵达；③广袤沙漠区以流动沙丘为主体的干旱荒漠下垫面；

1)《西北地区区域地质表》(新疆分册)，1981年。

表 1.1 塔里木盆地平原地区气候要素表

地点	年平均气温 (°C)	气温年较差 (°C)	气温日较差 (°C)	≥10°C 积温 (°C)	年降水量 (mm)	年蒸发量 (mm)	干燥指数 r	相对湿度 (%)	年日照时数 (h)	年日照百分率 (%)	年平均风速 (m/s)	年最大风速 (m/s)	年大风日数 (天)	
北 部	库尔勒	11.4	34.2	12.5	4 273.8	50.1	2 788.2	55.7	45	2 920.0	67	2.9	22	32
	尉犁	10.6	36.2	16.9	4 183.9	40.8	2 910.5	71.3	46	2 970.3	67	2.4	24	16.5
	库车	11.4	34.3	11.7	4 300.7	64.8	2 842.5	43.8	43	2 912.4	66	2.6	27	20.4
	阿克苏	9.8	32.7	14.0	3 803.4	62.0	1 890.1	30.4	57	2 873.3	65	1.7	40	14.3
西 部	喀什	11.7	32.2	12.9	4 250.5	61.5	2 487.1	40.4	51	2 784.0	63	1.9	31	23.1
	阿图什	12.9	33.5	11.3	4 697.7	76.0	3 229.3	42.4	41	2 756.6	62	2.0	22	28.6
	莎 车	11.4	32.0	13.6	4 162.5	43.2	2 244.9	51.9	53	2 970.0	67	1.8	22	9.2
南 部	皮 山	11.9	31.4	14.1	4 303.1	48.2	2 450.0	50.8	44	2 470.4	56	1.6	24	3.3
	和田	12.2	31.1	12.6	4 360.9	33.4	2 602.6	77.9	42	2 610.6	59	2.1	19	7.3
	策勒	11.9	30.9	15.2	4 262.5	35.2	2 588.2	77.9	42	2 689.6	61	1.9	18	4.0
	民丰	11.1	31.6	16.7	4 065.3	30.2	2 756.1	91.2	42	2 849.3	64	1.7	20	4.9
	且 末	10.1	33.5	16.0	3 853.1	18.6	2 506.9	134.7	41	2 907.3	66	2.5	19	13.8
东 部	若 羌	11.5	35.9	16.0	4 353.9	17.4	2 902.2	166.7	38	3 082.2	69	2.7	>40	36.9
	铁干里克	10.7	35.7	16.7	4 167.7	33.6	2 671.4	791.5	45	3 121.3	70	2.2	20	15.7

* 干燥指数, $r = \frac{E_0}{P}$ 。

④受东亚季风环流因素影响。

根据朱震达等对塔克拉玛干沙漠地区沉积岩相带分布特征的研究¹⁾, 认为塔里木盆地在第三纪早期, 由于处在副热带高压控制下, 已经发展成干燥气候, 在以后的地质历史时期中发生强烈地壳运动, 尤其是青藏高原的隆起, 打破了第三纪行星风系占主导地位的局面, 从而建立并增强了东亚季风大气环流的形势。实际上使塔里木盆地在冬季置于干高压控制下, 气候异常寒冷干燥, 而在夏季又处于青藏高原上升气流的补偿下沉区, 则形成高温少雨天气。因而, 塔里木盆地终年置于干燥环境中, 加之地形的屏障作用和下垫面的辐射增温, 导致塔克拉玛干沙漠地区形成极端干旱的沙漠气候。

大气物理定义干旱指数 r 是反映气候干湿程度的指标, 用年水而蒸发能力 (E_0) 与年降水量 (P) 之比表示, 即 $r = E_0/P$ 。当蒸发能力超过降水量, 即 $r > 1$ 时, 说明该地区偏干旱, 蒸发能力超过年降水量愈多 r 值愈大。根据塔克拉玛干沙漠地区边缘气象站的地面气候统计资料分析, 其干燥程度的分布规律, 一般是东部最干旱, 南部次之, 北部和西部 r 值均相对较低。

塔克拉玛干沙漠极端干旱的沙漠气候特征, 主要表现为光热充足, 温度剧变, 降水稀少, 蒸发强烈, 相对湿度低 (表1.1)。

一、塔克拉玛干沙漠光热充足

该地区年平均日照时数为2 500—3 000h, 太阳总辐射可达 $5.88-6.3 \times 10^9 \text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 由于沙质荒漠多为不毛之地, 浮尘和沙暴使散射辐射增大, 约占总辐射之半, 同时, 沙漠下垫面反射率高达30%, 使平均有效辐射比我国其它同纬度地区高。尤其是乱流热交换特别强烈, 其年平均耗热值远超过蒸发耗热值, 一般约高出10倍左右, 因而使全区处于高温干燥状况之下。

积温的地区分布反映区域的热量分布条件。塔克拉玛干沙漠地区 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温均超过4 000 $^\circ\text{C}$, 南部和西部不少地方达到4 300 $^\circ\text{C}$ 。据新疆气象局粗略计算, 纬度平均北移1度, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温约减少100 $^\circ\text{C}$, 从盆地到山区, 海拔每升高100m, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温约降低120—150 $^\circ\text{C}$ 。以克里雅河为例, 自沙漠中心大河沿 (海拔1 191m), 至普鲁 (海拔2 520m), 其年平均温度随海拔增加而降低, 大约每升高100m降低0.5 $^\circ\text{C}$ 。其年较差和日较差, 大致也有类似的变化趋势 (表1.2)。

表 1.2 克里雅河流域温度垂直变化表

站 名	海拔高度 (m)	年平均温度 ($^\circ\text{C}$)	温度年较差 ($^\circ\text{C}$)	温度日较差 ($^\circ\text{C}$)
大 河 沿	1 191	11.2	34.1	17.9
于 田	1 422	11.6	31.0	14.7
奴奴买买提兰干	1 947	9.6	29.0	—
普 鲁*	2 520	4.7	26.1	12.8

*普鲁与和田河流域黑山同纬度, 同高度, 在此移用其温度资料。

1) 朱震达等, 塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究, 科学出版社, 1964年。

二、塔克拉玛干沙漠温度剧变

根据新疆气象局地面气候资料统计,塔克拉玛干沙漠地区的年平均气温为10—12°C。夏季沙漠区是热中心,由于热低压部分位于沙漠的西部,使气旋活动的散热作用强烈。全区7月平均气温为24—26°C,而东部的若羌(28.3°C)、铁干里克(27.3°C)一带成为7月平均气温的热中心。冬季沙漠北部较南部冷,而西部暖于东部,中心气温高于周边,这是由于天山屏障作用阻挡了北冰洋上生成的潮湿气团的进入,而唯有来自蒙古-西伯利亚地区的极地大陆气团可穿越盆地向东开启的地形走廊。东灌侵入的冷性干燥的反气旋使克里雅河以东地区冬季极为干旱和寒冷,全区1月平均气温虽为-6—-8°C,而东部若羌一带则可达-10—-12°C,极端最低温度为-20—-30°C以下。塔克拉玛干沙漠地区的温度年较差和日较差都很大,平均年较差为32—34°C,日较差达到13—16°C,一般盆地边缘较绿洲内部变幅更大,表现出强烈的大陆性气候的特点(表1.3)。

表 1.3 塔克拉玛干沙漠地区温度特征值表(°C)

站名	阿克苏	喀什	和田	若羌	备注
年平均气温	9.8	11.7	12.2	11.5	南部皮山,策勒均>12°C
1月平均气温	-9.1	-6.4	-5.6	-8.5	
7月平均气温	23.6	25.8	25.5	27.4	
温度年较差	32.7	32.2	31.1	35.0	最大值35.8°C(拜城)
温度日较差	14.0	12.9	12.6	16.0	最大值18.1°C(安迪尔),东部尉犁、民丰等>16°C
≥10°C 积温	3803.4	4250.5	4360.9	4353.9	

沙漠腹地中心地面气候记录资料极少,根据塔克拉玛干沙漠综合科学考察队在塔克拉玛干沙漠北部满西异一井与沙漠南部的塔中一井设站(1988—1990年)观测的温度特征值如下:

最高气温:北部(满西站)为42.3°C,出现在6月;南部(塔中站)为41.9°C,出现在7月。

最低气温:北部-20°C,南部-19.5°C

平均气温:北部年平均气温12.1°C,7月平均气温为27.8°C,1月平均气温为-5.7°C;南部年平均气温11.9°C,7月平均气温28.9°C,1月平均气温-6.7°C。

按石油部物探局地质调查三处1984—1985年,在塔克拉玛干沙漠东部实地观测的资料¹⁾得知,沙漠中心绝对最低气温为-29°C(1985年1月4日),绝对最高温为48°C(1984年6月27日),全年月平均温度低于0°C有4个月,高于20°C的有5个月,可见具有酷暑严寒、春秋短暂、气温变化迅速的特点。据统计,全年日最高气温≥35°C的日数占11.9—22.1%,日最低气温≤-10°C的日数占19.1—30.1%,年平均日较差为10—15°C,春秋最大日较差可达20—30°C,大陆性气候特征在沙漠腹地反映尤为显著。

塔克拉玛干沙漠边缘地区的平原绿洲,由于温度与水分条件配合较好,一般年平均

1) 吴群芸、朱丹露,塔克拉玛干沙漠区气候特征与地下水特征,石油部物探局地质调查三处,1986。

$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 4 000—4 500 $^{\circ}\text{C}$ ，无霜期达 200—250 天，适宜于发展喜温的经济作物（如棉花）或瓜果类，粮食可以一年两熟，低山河谷区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温约 3 000—3 500 $^{\circ}\text{C}$ ，无霜期 180 天左右，亦可种植粮食和甜菜等。

三、塔克拉玛干沙漠降水与蒸发

塔克拉玛干沙漠地区极度干旱，是地球上相同纬度中降水量最少的地区。降水量大致呈现沙漠边缘优于中心腹地、北部和西部多于南部和东部的趋势。这是由于新疆位于盛行西风带以纬向环流为主，西风气流在高空可以畅通无阻，但上层水分含量业已锐减，当其翻越帕米尔高原到达背风坡的雨影区—南疆时，降水量最多的盆地西南部也只有 70—80mm。来自太平洋的东南季风的湿润气流，经长途跋涉深入到塔里木盆地已是强弩之末。源于印度洋的暖湿西南季风受阻于青藏高原和昆仑山脉，难以逾越 5 000m 以上山体，而使塔里木盆地南部和东南部降水仅为 35—40mm 或更少，若羌和且末一带只有 15—20mm 左右，成为最干旱的地区。北冰洋冷湿气流南下受天山山脉的屏障作用，经山地抬升后气流在天山南麓下沉绝热增温，降水亦较稀少，平均年降水量为 50—60mm。位于塔克拉玛干沙漠中心腹地缺少长期观测资料，根据短期实测资料推断，大约为 10—15mm 左右。但值得注意的是，以流动沙丘为主体的塔克拉玛干沙漠腹地地区，近地面层辐射增温比上部空气增温迅速，易于产生局部的热对流，而会形成短暂的对流雨或雷阵雨，次降水量可能较大，如北部满西站资料年降水量达 84.7mm（1988），并出现一次降水在 30 分钟内达 20mm 的记录。南部 1989 年和 1990 年降水分别为 30.1mm 和 22.4mm 均超过低于 10mm 的推测。

塔克拉玛干沙漠区的蒸发能力十分强烈，其分布与气温、风向和风速有关。根据新疆气象局资料统计，东部降水最少，又值“东灌”通道，库尔勒—若羌一线风速可达 2.5—3.0m/s，年蒸发量高达 2 500—2 900mm，西部地区 2 200—2 600mm。濒临塔克拉玛干沙漠边缘的阿图什，其年蒸发量达到 3 200mm。实际上本区的降水量自西向东逐渐减少，东西之间大约相差 3—4 倍，而蒸发量与降水量的比例都达到数十倍或上百倍之差，故相对湿度亦较小，除阿克苏、喀什和莎车等少数地区 $> 50\%$ 外，沙漠北部 7 月相对湿度平均为 34%，最小相对湿度仅 5%。南部 7 月平均为 35%，最小相对湿度 7%。南北相对湿度差别不明显，均为 40%左右。而沙漠中心区则为 25—31%，相应使风沙和浮尘天气增加，北部以扬沙为主，4—7 月扬沙、尘暴、浮尘日高达 20 日左右，南部则以沙暴为主，沙暴、浮尘日 4—7 月均在 20 天以上，6 月可高达 26 天。显示出内陆盆地极端干旱的沙漠气候特征。

四、塔克拉玛干沙漠降水的时空分布

降水是塔克拉玛干沙漠地区水资源（包括地表水和地下水）的主要补给来源。除了由大尺度的大气环流所形成的降水外，还有地方性气流和地形影响而产生的降水。

由于塔里木盆地东部有一道夹峙于阿尔金山和库鲁克塔格山之间向东开启的通道，能让蒙古—西伯利亚地区的极性大陆气团穿越，其低温干燥性导致塔克拉玛干东部地区十