



塔里木河流域生态系统 综合监测与评估

陈曦 包安明 古丽·加帕尔 黄粤 等著
徐海量 艾里西尔·库尔班 陈亚宁

 科学出版社

X32
424



塔里木河流域生态系统 综合监测与评估

陈曦 包安明 古丽·加帕尔 黄粤 等 著
徐海量 艾里西尔·库尔班 陈亚宁

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为中国科学院 2014 年科技服务网络计划 (STS 计划) 项目成果之一, 项目以遥感及生态实验监测数据为基础, 对我国重大江河生态工程进行成效评估, 并分析存在的主要问题, 提出未来生态环境建设与保护的对策和建议。本书针对塔里木河流域生态系统结构与功能及塔里木河干流生态环境综合评价与对比研究两大主要问题, 结合大量评估指数及分析方法, 对塔里木河近期综合治理工程实施后塔里木河流域各项生态指标定量化分析, 为塔里木河流域部署后续生态工程提供可靠的科学依据。

本书可作为广大环境评估工作者的参考书, 也可以作为高等院校地学专业、资源与环境专业的辅助教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

塔里木河流域生态系统综合监测与评估 / 陈曦等著. —北京: 科学出版社, 2016.4

ISBN 978-7-03-047794-1

I. ①塔… II. ①陈… III. ①塔里木河—流域—生态环境—环境监测—研究
②塔里木河—流域—生态环境—评估—研究 IV. ①X321.245

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第055433号

责任编辑: 杨帅英 / 责任校对: 何艳萍
责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 图阅社

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年4月第一次印刷 印张: 23 1/4

字数: 545 000

定价: 198.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

Comprehensive Monitoring and Evaluation on Ecosystem in Tarim River Basin

Chen Xi et al.

Science Press

Beijing

塔里木河是中国最大的内陆河，地处中国西部的新疆南疆地区，由于地处世界第二大流动性大沙漠（塔克拉玛干沙漠，约 33 万 km^2 ）腹地，气候干旱少雨（年平均蒸发量在 3000mm 以上，年平均降水量仅为 60mm），天然植被稀疏，自然环境十分脆弱。20 世纪 60 年代以来，随着南疆地区的社会经济的发展和人口增加，以及对水资源可持续开发利用的认识不足，塔里木河流域水资源被过度地无序开发，水资源利用效率低下，流域上下游的水资源利用矛盾日益突出，致使源流向干流输送的水量逐年减少；进入 70 年代以后，中上游用水加剧，直接导致塔里木河干流下游水质恶化，近 400km 下游河道断流，尾间台特马湖干涸，沙漠化扩大，大片胡杨林死亡，生态环境日趋恶化，影响 218 国道的正常通行，给南疆地区 800 多万人民的生活和生产带来严重影响，成为制约塔里木河流域社会经济和生态环境可持续发展的主要因素。

为遏制塔里木河流域的生态环境恶化、河道断流和促进新疆南疆地区的社会经济发展，国务院于 2001 年 6 月，正式批复了新疆维吾尔自治区人民政府、水利部报送的《塔里木河流域近期综合治理规划报告》（国函 [2001]74 号）。批复中指出：“要坚持以生态建设和环境保护为根本，以水资源合理配置为核心，源流与干流统筹考虑，工程措施与非工程措施紧密结合”作为近期综合治理的指导思想。具体目标是用 5～6 年时间，投资 107.39 亿元，通过源流灌区节水改造、干流河道治理、退耕封育保护、流域水资源统一管理和调度等措施，增加各源流汇入塔里木河干流的水量，使干流阿拉尔多年平均下泄水量达到 46.5 亿 m^3 ，大西海子下泄生态水量 3.5 亿 m^3 ，水流到达台特马湖，使塔里木河下游绿色走廊生态明显改善，干流上、中游生态用水也有较大增加，水资源配置和开发利用更为合理，为流域社会、经济、环境和水资源可持续利用创造良好条件。

2013 年，塔里木河流域近期综合治理工程全面结束，国家对塔里木河流域近期综合治理将以工程形式进行全面验收。十多年工程建设实现了连续向塔里木河下游生态输水，结束了下游断流近 30 年的历史，下游绿色走廊的自然环境得到改善，地下水位明显升高、天然植被逐渐恢复、土地沙漠化的趋势得到初步遏制，218 国道基本实现畅行无阻，取得良好的生态、经济和社会效益。

塔里木河生态治理工程实施已经 13 年，综合治理工程对流域生态环境的影响如何？

是否从可持续发展的角度解决了流域内现状问题？工程实施是否带来新的生态问题？生态工程后续项目应该如何实施？这些问题都是国家决策层需要了解的信息。

针对这一问题，中国科学院 2014 年启动科技服务网络计划（STS 计划）项目：西北地区重大生态工程生态成效评估——塔里木河流域近期综合治理工程生态成效评估。项目以遥感、长期生态实验监测以及流域生态与环境科学研究成果为基础，开展塔里木河流域重大生态工程成效评估，科学全面掌握工程实施的生态效果，揭示生态恢复过程的环境响应过程，分析存在的主要问题，提出未来塔里木河流域生态环境建设与保护的对策和建议，为塔里木河流域科学部署后续生态工程提供科学依据。

全书分为上下篇，共十六章，第一章由陈曦、包安明、徐海量、艾里西尔·库尔班完成，第二章和第三章由古丽·加帕尔、易秋香、包安明完成，第四章由包安明、古丽·加帕尔、孟凡浩完成，第五章由陈曦、古丽·加帕尔、罗敏完成，第六章和第七章由包安明、古丽·加帕尔、陈曦、郭辉完成，第八章由包安明、郭浩完成，第九章由古丽·加帕尔、包安明、张鹏飞完成，第十章由陈曦、包安明、黄粤、黄晓然完成，第十一章由黄粤、徐海量、包安明完成，第十二章由包安明、黄粤、宋洋完成，第十三章、第十四章和第十五章由陈曦、包安明、黄粤完成，第十六章由包安明、黄粤完成，附录由包安明、黄粤、张小云完成。陈曦、包安明、胡汝骥、王亚俊、张鹏飞对全书进行了审定和统稿。黎秀花、朱晓蓉组成的技术小组所做的卓有成效的工作，为完成本专著提供了保障。新疆塔里木河流域管理局石泉、王新平、周海鹰等为项目提供资料，在此表示衷心感谢。

本书是在中国科学院科技服务网络计划（STS 计划）项目“塔里木河流域近期综合治理工程生态成效评估”和新疆维吾尔自治区重大科技专项“新疆水问题研究及其技术示范”（201230117-01）支持下完成的。感谢中国科学院新疆生态与地理研究所学术委员会及研究所的领导和同事们热心帮助与大力支持。

由于时间仓促和作者经验不足，书中疏漏敬请指正。

前言

第一章 绪论	1
第一节 塔里木河流域	1
第二节 塔里木河流域近期综合治理工程概况	9
第三节 评价主要结论与建议	18

上篇 塔里木河流域生态系统结构与功能评估

第二章 塔里木河流域生态系统结构和功能评估指数的生态学意义	27
第一节 塔里木河流域生态系统类型划分	27
第二节 塔里木河流域生态系统结构及功能特征	27
第三节 生态系统结构和功能变化遥感评估指数类型及生态学意义	29
第三章 数据处理与研究方法	35
第一节 数据来源及预处理	35
第二节 土地利用和土地覆被变化数据提取与精度分析	36
第三节 生态系统评估指数遥感反演算法	39
第四节 数据分析方法	45
第四章 塔里木河流域土地覆被时空变化	48
第一节 塔里木河流域土地覆被空间分布特征	48
第二节 塔里木河流域土地利用 / 土地覆被时空变化规律	57
第五章 塔里木河流域植被指数时空变化	74
第一节 塔里木河流域植被指数空间分布特征	74
第二节 塔里木河流域植被指数时空变化规律	75
第三节 塔里木河流域植被指数未来趋势分析	84
第六章 塔里木河流域植被覆盖度时空变化	91
第一节 塔里木河流域植被覆盖度空间分布特征	91

第二节	塔里木河流域植被覆盖度时空变化规律	92
第三节	塔里木河流域植被覆盖度未来变化趋势	101
第七章	塔里木河流域净初级生产力时空变化	108
第一节	塔里木河流域净初级生产力空间分布特征	108
第二节	塔里木河流域净初级生产力时空变化规律	109
第三节	塔里木河流域净初级生产力未来变化趋势	116
第八章	塔里木河流域土壤干旱指数时空变化	123
第一节	塔里木河流域土壤干旱指数空间分布特征	123
第二节	塔里木河流域改进型垂直干旱指数时空变化规律	124
第三节	塔里木河流域土壤干旱指数未来变化趋势	132
第九章	塔里木河流域生态系统结构及功能变化成因	140
第一节	流域气候变化对生态系统结构的影响	140
第二节	人类活动对生态系统结构的影响	145
第十章	基于评估指数的塔里木河流域综合治理工程成效评估	154
第一节	塔里木河流域综合治理工程下泄生态用水成效	154
第二节	生态系统类型的面积变化	154
第三节	自然植被退化恢复态势	155
第四节	自然水域面积变化	157

下篇 塔里木河干流生态环境综合评价

第十一章	塔里木河干流与下游基本概况	163
第一节	塔里木河干流	163
第二节	塔里木河下游	164
第十二章	塔里木河下游植被恢复对比分析	175
第一节	生态输水对典型植物生理指标的影响	175
第二节	生态输水后塔里木河下游植物群落动态变化	188
第三节	生态输水对生物多样性的影响	214
第十三章	塔里木河干流生态环境变化的遥感监测	233
第一节	塔里木河干流生态环境遥感解译	233
第二节	塔里木河干流生态环境变化分析	241
第三节	塔里木河干流分区生态环境变化分析	248
第十四章	生态输水影响下的塔里木河中下游植被变化	286
第一节	基于遥感的塔里木河中下游植被变化分析方法	286
第二节	遥感植被解译结果的精度验证	289
第三节	2001 ~ 2012 年塔里木河中下游重点区域植被变化分析	291
第四节	2001 ~ 2012 年塔里木河下游输水影响区植被变化	301
第五节	塔里木河下游植被对生态输水的响应	311
第十五章	塔里木河干流景观格局时空变化	314

第一节	研究方法	314
第二节	塔里木河干流景观格局变化	316
第十六章	塔里木河干流生态环境质量综合评价	323
第一节	生态环境质量评价的类型	323
第二节	生态环境质量评价方法	324
第三节	生态环境质量评价指标选择的原则	326
第四节	基于遥感和 GIS 的生态环境质量评价指标体系建立	326
第五节	塔里木河干流区生态环境质量评价	329
第六节	塔里木河流域分区生态环境质量评价	336
第七节	塔里木河流域生态输水区生态环境质量评价	339
附录	本研究与前人研究的主要结论对比分析	342
参考文献	350

第一节 塔里木河流域

“塔里木”，古突厥语意为“注入湖泊、沙漠的河流”。“塔里木河”一名见于《清史稿》，维吾尔语意为“无缰之马”和“田地、种田”双重含义。

最早记载塔里木河的书是《山海经》，有文字曰：“河出昆仑，合而东注渤海。”《汉书·西域传》称，西域“南北有大山，中央有河……其河有两源，一出葱岭，一出于阗，于阗在南山下，其河北流，与葱岭河合，东注蒲昌海……”。葱岭河是指今天的喀什噶尔河和叶尔羌河，蒲昌海是指今天的罗布泊。唐《通典·于阗传》小注：“于阗河……北流七百里入计戍河（塔里木河）……同入盐泽（罗布泊）。”1775年测制的《大清一统舆图》，将和田河、叶尔羌河、喀什噶尔河、阿克苏河4条河流的汇合处绘在今阿克苏南的阿拉尔地区，这与《河源记略》（1783年）的记载相吻合。

历史上，塔里木河源流较多，塔里木盆地周围的天山山脉、帕米尔高原和昆仑山脉的大、中河流，都曾是塔里木河的源流（图1.1）。据史料，曾有144余条河流汇入塔里木河。天山山脉主要河流有：喀什噶尔河水系的克孜勒苏河、卡浪沟吕克河、恰克马克河、布古孜河；阿克苏河水系的托什干河、艾克提克河、玉山古西河、别迭里河、库玛拉克河、铁米尔苏河、柯克亚河、台兰河、依格其艾肯河、喀拉玉尔滚河；渭干河水系的所有河流；迪那河等诸小河以及开都—孔雀河水系的萨很图海河、伊克赛河等。开都河水系的部分河流源于那拉提山和额尔宾山外，其余水系的河流均发源于南天山山脉南坡。

发源于帕米尔高原的主要河流有：喀什噶尔河水系的阿依嘎尔特河、玛尔坎苏河、盖孜河、库山河以及叶尔羌河水系的塔什库尔干河等河流。

发源于喀喇昆仑山的河流主要有：叶尔羌河干流主源流和其支流塔什库尔干河、克勒青河以及和田河水系喀拉喀什河上游河段的部分支流。

发源于昆仑山西段的主要河流有叶尔羌河水系的麻扎达拉沟、雀甫河、霍什拉甫河、提孜那甫河、棋盘河、柯克亚河以及皮山河、桑株河和杜瓦河等。发源于昆仑山中段的主要河流有和田河水系的喀拉喀什河中段部分支流、玉龙喀什河、克里雅河、尼雅河及安迪尔河，除喀拉喀什河和玉龙喀什河水量较大外，其他河流出山口后很快散失

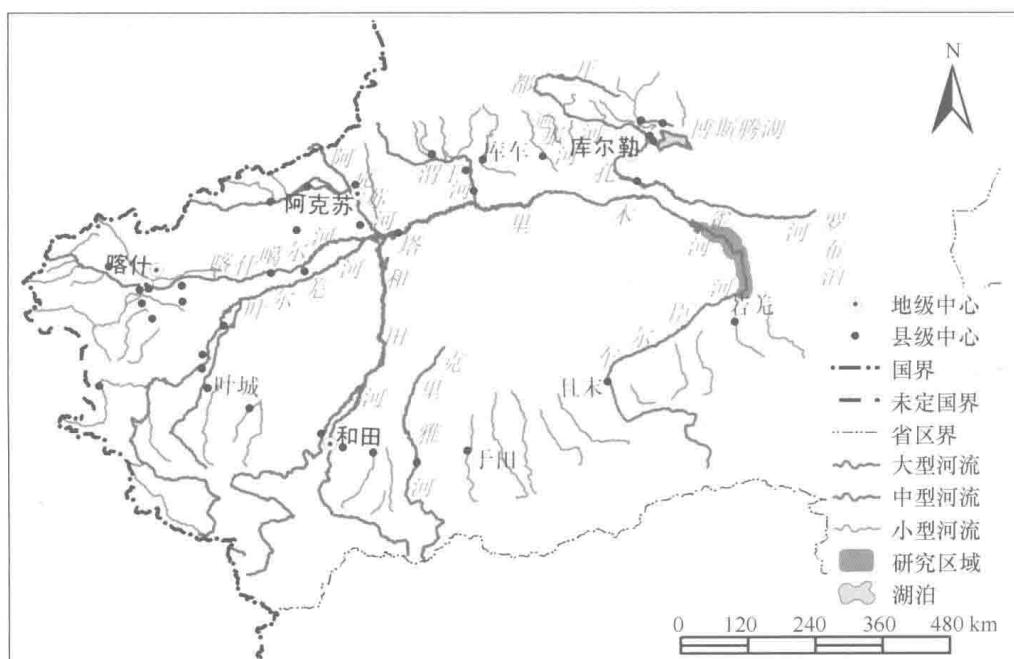


图 1.1 塔里木河流域水系示意图

图中各级行政界线取自国家测绘局网站提供的 1 : 400 万标准图, 审图号: GS (2008) 1400 号

于塔克拉玛干沙漠中。车尔臣河水系的阿里雅力克河、乌鲁克苏河等绝大部分河流都发源于东段, 主要依赖河源区的冰雪融水补给。

发源于阿尔金山的主要河流有车尔臣河水系的瓦石峡河、若羌河、喀拉米兰河等河流。

直至 20 世纪 40 年代, 依然有和田河、叶尔羌河、喀什噶尔河、阿克苏河、渭干河和开都—孔雀河 6 条支流与塔里木河水网相通, 渭干河—库车河水系、迪那河水系也有水直接汇入塔里木河。40 年代以后, 库车河和迪那河逐渐与塔里木河脱离了地表水力联系。塔里木河在轮台县以南河势不稳, 河道汉流经常变化, 与流向罗布泊的孔雀河时分时合, 与罗布泊及台特马湖的水力联系也在不断变化。50 年代以后, 塔里木河各支流汇入塔里木河的水量日趋减少, 很多河流水量耗散于灌区中, 相继与塔里木河失去了地表水联系。50 年代后期, 喀什噶尔河已无水汇入塔里木河。60 年代后, 叶尔羌河上修建了巴楚小海子水库后, 仅在大洪水年份才有少量余水进入塔里木河。和田河也只有在大洪水期才能穿越约 300km 的塔克拉玛干沙漠汇入塔里木河。只有阿克苏河常年有水补给塔里木河, 成为塔里木河的主源流, 但随着塔里木拦河闸、上游水库及其他引水工程的逐步修建, 其下泄水量也开始锐减。随着车尔臣河两岸灌区不断扩大, 入台特马湖的水量也逐渐减少。

目前, 塔里木河内流区水网处于分割状态, 除阿克苏河、和田河、叶尔羌河、孔雀河与塔里木河干流保持水网联系外, 多数水系已自成独立水系。流域水系的历史归宿——罗布泊已经干涸, 唯台特马湖尚可维持部分湖沼湿地。

塔里木河流域是我国第一大内陆河流域。它在地域上包括塔里木河盆地周边向心聚流的九大水系和塔里木河干流、塔克拉玛干沙漠及东部荒漠三大区。总计流域面积 102 万 km^2 (表 1.1)。从叶尔羌河源 (塔里木河河源) 拉斯开木河至台特马湖, 河流全

表 1.1 塔里木河流域按水系统统计的流域面积、地表水径流量、地下水天然补给量、固体径流量统计表

		水系												
		开都—孔雀河水系	迪那河—小河水系	渭干河—车河水系	阿克苏河—塔里木河干流区	喀什噶尔河水系	叶尔羌河水系	和田河水系	克里雅河水系	车尔臣河水系	塔克拉玛干沙漠区	塔里木河干流区	塔里木河干流区	总计
流域面积/ km ²	国内部分	50 030	12400	42500	48800	17900	80100	76200	61100	42600	140500	271500	153500	997130
	国外部分				19470		1270	2870						23610
	总计	50 030	12400	42500	68270	17900	81370	79070	61100	42600	140500	271500	153500	1020740
地表水径流量/ 亿 m ³	国内产流	39.7	6.17	34.6	43.4	0	45.3	67.9	54	21.1	18.6	0	0.284	331.054
	国外产流				48		5.56	7.18						60.74
	地表水	39.7	6.17	34.6	91.4	0	50.86	75.08	54	21.1	18.6	0	0.284	391.794
	总径流													
地下水天然补给量与地表水不重复量/ 亿 m ³	山前侧渗	5.066	1.298	6.728	5.592	0	4.276	4.186	2.116	1.391	1.33	0	0	31.983
	平原区降水入渗	0.404	0.039	0.418	0.863	0	1.821	0.201	0.249	0.386	0.39	0	0	4.771
	无汇流区暴雨洪流渗入	0.58	0.2	0.502	1.284	0	1.328	1.676	1.284	0.869	0.073	0	0	7.796
	总计	6.05	1.537	7.648	7.739	0	7.425	6.063	3.649	2.646	1.403	0.39	0	44.55
地表水和地下水总净流量/ 亿 m ³		45.75	7.707	42.248	99.139	0	58.252	81.143	57.649	23.746	20.003	0.39	0.284	436.344
固体径流量/ 万 t	悬移质	91.7	598	1 330	2 650	0	2 940	3 070	2270	1300	1410	0	0.974	15660.674
	推移质	18.34	119.6	266	530	0	588	614	454	260	282	0	0.194	3132.134
	溶解质	166	60.6	142	332	0	275	249	204	118	109	0	1.66	1657.26
	合计	276.04	778.2	1 738	3512	0	3 803	3 933	2928	1678	1801	0	2.828	20450.068
平原区地下水转化补给量/ 亿 m ³	转化补给量	16.549	2.682	16.431	31.258 7	6.036	17.145	37.122	18.749	11.31	9.029	2.685	0	168.9697
	可开采量	14.689	2.953	16.856	27.458	1.441	17.2	25.91	14.559	9.072	6.259	0	0	136.397

注：推移质量按悬移质量的20%计。水系的流域面积按新疆洪旱灾害专著中的数据，地表水径流量用新疆地表水资源数据，地下水天然补给量等用新疆水利与地矿部门共同商定的数，固体径流量用现在编写的新疆水文与水资源中的数据，是与地表水径流量相对应的。

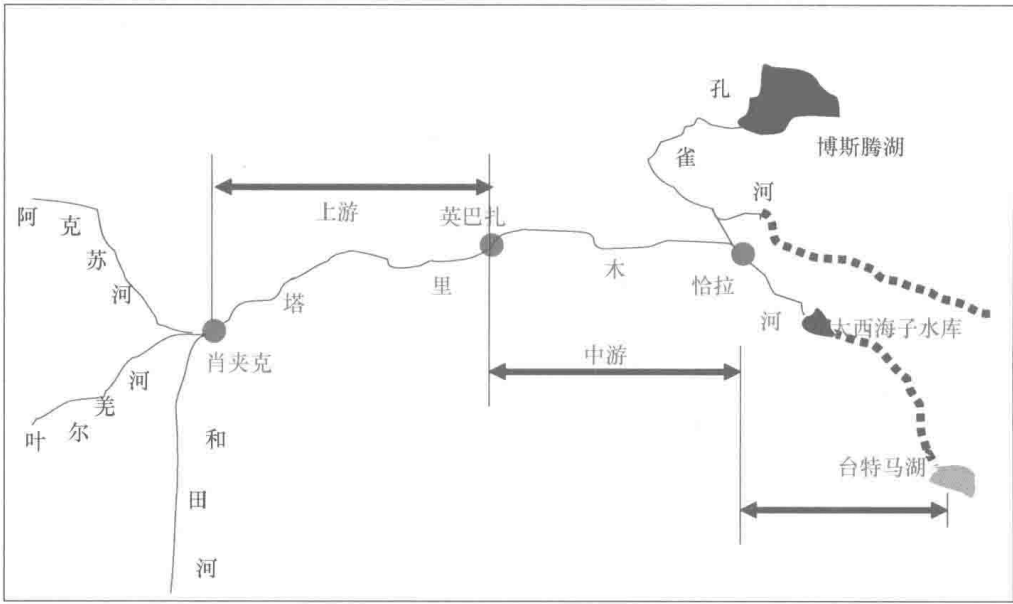


图 1.2 塔里木河干流上、中、下游的划分示意图

长 2437km (塔里木河干流长 1321km, 图 1.2)。从水循环和水平衡的概念出发, 它基本上又是一个内陆封闭的水循环和水平衡的水文区域; 从多年简单平均状态来说, 即流域内的降水量等于流域蒸发量。因而, 塔里木河流域有其独特的干旱气候和水文水资源变化、演变的规律。

干旱区水资源的形成和演变过程最新研究表明, 干旱区的水和其他物质的循环, 受地理位置和自然地理环境的限制, 具有极大的独立性循环结构系统。由于局部循环是在全球循环的背景下进行的, 因此, 这样的流域又是一个开放的系统。每一个系统都有自己的径流形成区 (山区)、自己的水系 (天然河流或人工渠道) 和自己的尾间 (内陆湖水系), 将水分从山区带到平原绿洲、城乡、湖泊。另一条是返回的路线——大气底层环流, 它把水汽、盐粒、尘埃微粒和其他物质从平原、湖区带回山区。这样, 湖泊与山脉紧密相通, 构成一个天然完整的循环系统。同时, 又是独具一格的干旱区水生态系统 (胡汝骥和姜逢清, 1998)。但是, 这个系统由于受人类活动的影响, 不断遭到破坏和削弱。塔里木河流域就是一个十分典型的例证。自有人类以来, 特别是自 1949 年以来, 由于该流域内人类活动频繁, 导致现今与塔里木河干流有水力联系, 特别有地表水力联系的水系减少到 3 条, 即和田河、叶尔羌河和阿克苏河水系。流域面积缩小为 43.55 万 km^2 (表 1.2)。

流域内有 5 个地 (州) 辖 42 个县及新疆生产建设兵团的 4 个师辖 55 个农 (牧) 场。流域内人口总计为 1082.07 万人, 占新疆总人口的 45%。其中, 85% 为少数民族, 汉族人口仅占 15%。人们在干旱区赖以生存主要依靠绿洲, 绿洲现有耕地面积 12.3 万 hm^2 , 有效灌溉面积 16.6 万 hm^2 , 约占流域总面积的 1.6%, 其余大部分面积, 则是山地、戈壁、沙漠和高山冰川等。

水是一切生命生存与发展不可替代的物质, 水资源是人类生产、生活的重要物质基础, 也是人类文明的源泉。但自然界所能提供的可用水资源量是有一定限度的, 而且需求与供给之间的矛盾将日益尖锐。依据《中华人民共和国水法》所称水资源是指“地

表 1.2 塔里木河流域各水系、河流测站控制径流量及其组成表

流域	全流域面积 / km ²	测站控制径流量 / 亿 m ³	水系	全流域面积 / km ²	测站控制径流量 / 亿 m ³	河名	站名	集水面积 / km ²	径流量 / 亿 m ³	径流组成 / %		
										冰川融水	雨雪混合	地下水
塔里木河	433508*	265.62								47.9	27.9	24.2
			和田河	60078*	43.86	玉龙喀什河	同古夜洛克	14575	22.23	59.6	19.5	20.9
			叶尔羌河	110099*	72.50	喀拉喀什河	乌鲁瓦提	19983	21.63	64.9	17	18.1
						叶尔羌河	卡群	50248	64.33	54.1	22.1	23.8
			阿克苏河	62775*	79.15	提孜那甫河	玉孜门勒克	5389	8.17	60.2	18.1	21.7
						托什干河	沙里桂兰克	19166	25.76	64.0	13.4	22.6
						库玛拉克河	协合拉	12816	46.04	29.9	55.3	14.8
						台兰河	台兰	1324	7.35	45	33.1	21.9
			渭干河	35149*	30.24					24.7	45.1	30.2
						木扎提河	阿合布隆	2859	14.54	52.4	30.4	17.2
						卡布期浪河 + 特尔外丘克河	卡木鲁 + 特尔维期克	1834 + 870	27.08	69.7	7.9	22.4
						卡拉苏河	卡拉苏	1114	2.13	51.7	25	23.3
						黑孜河	黑孜	1628	3.15	80.0	0	20
						库车河	兰干	3118	3.34	40.2	36.1	23.7
			开都—孔雀河	131262*	39.87	开都河片	大山口		36.46	29	56.4	14.6
						迪那河片	迪那河		3.41	9.7	50.3	40.0
										6.8	66.7	26.5
										15.3	46.8	37.9
										15.2	44.0	40.8
										16.9	76.9	6.2

* 为塔里木河流域管理局提供的全流域或全水系的面积, 包括山区和平原区面积在内。

表水和地下水”“水资源属国家所有”。在一般情况下，水资源量是可以按照自身的客观规律循环再生的。矿化度小于 2g/L 的淡水资源，在不超过水资源自身承载能力的情况下，可以持续利用。大气降水，则是地表水和地下水的补给来源。

一、地表水

发源于塔里木盆地周边的喀喇昆仑山、昆仑山、阿尔金山、帕米尔及天山南坡，具有独立水流的、以雪冰融水补给为主，并有降雨径流加入的河流分别属于九大水系，其中年径流量大于 50 亿 m³ 的河流有 1 条，即叶尔羌河。10 亿~50 亿 m³ 的大河流有 8 条，其余为中、小河流。

据《新疆地表水资源》计算，盆地周边河流合计地表水总径流量为 392 亿 m³，其中，国内水资源量 331 亿 m³，国外流入 60.7 亿 m³（表 1.1）。这些河流均发源于降水充沛的山区，其年降水量从山口的 50~100mm/a 增至高山冰川区的 900mm/a 不等。其中几个年降水量高值中心区在天山的托木尔峰区（900mm/a）、帕米尔的慕士塔格-公格尔峰区（600mm/a），喀喇昆仑山的乔戈里峰区（500mm/a）和昆仑山的慕士山峰区（500mm/a）。应该指出，上述三大降水量高值中心区，也是我国五大冰川作用中心区的所属区。据中国《冰川目录》统计：塔里木河流域内的高山冰川面积（包括国外部分）有 2.332 万 km²，冰川储量为 24 040 亿 m³，每年的冰雪融水量可达 172 亿 m³，占塔里木河流域地表水总量的 44%（表 1.3），其中木扎提河冰雪融水比例高达 81.1%，同时也是河流年径流量年际变化较稳定的主要原因之一。巨大的冰川储量，犹如巨大的“固体水库”，对河川径流量起到多年调节的作用。因此，河川径流量与高山冰川面积的大小、降水量的多少和夏季气温高低有较密切的关系。例如，叶尔羌河卡群站年径流量 R_k （亿 m³）与塔什库尔干站 6~9 月累积气温 T_T （℃）和年降水量 P_T （mm）的相关方程式为：

$$R_k = 0.0025 T_T^{2.45} P_T^{0.07}$$

其相关系数为 0.82。

表 1.3 塔里木河流域冰川水资源统计表

山区	地区	冰川面积 /km ²	河流总径流量 /亿 m ³	冰川融水量 /亿 m ³	融水性 /%	冰川储量 /亿 m ³	备注
天山	西南部塔里木内流区	6932.08	171.87	74.44	43.3	7185.07	冰川面积和河流总径流量均包括国外部分
帕米尔	塔里木内流区	2992.85	50.86	17.05	33.5	2487.30	
喀喇昆仑山	塔里木内流区	13393.97	169.06	80.96	47.9	14365.32	
合计		23318.9	391.79	172.45	44.0	24 037.69	

冰雪融水河流年径流补给的组成：冰雪融水占 25%~81%、雨雪水占 14%~40%、地下水占 9.3%~32% 不等。总之，在径流形成区年径流量的径流系数为 0.30~0.41。而年径流量的年内分配则相当不均匀：夏季（6~8 月）径流量往往可占年径流量的 46%~80% 不等，一般均在 60% 左右；但春季（3~5 月）是农业急需用水的季节，其水量仅占 5.5%~28% 不等，一般不足 20%。其中玉龙喀什河是一条洪、枯水变化

很大的典型河流。

塔里木河干流，现仅接纳了盆地周边河流地表水，经利用后下泄到的 49.56 亿 m^3 (1978 ~ 1987 年) 10 年平均值，其中，阿克苏河下泄 36.29 亿 m^3 ，占总下泄塔里木河水量的 73.23%；和田河下泄 10.57 亿 m^3 ，占 21.33%；叶尔羌河下泄 1.01 亿 m^3 ，占 2.03%；孔雀河下泄 1.69 亿 m^3 ，占 3.41% (表 1.4)。而塔里木河干流阿拉尔水文站从 20 世纪 30 年代至 80 年代，地表水年径流量从 60 亿 m^3 ，减少至 44.8 亿 m^3 (表 1.5)，说明是由于上游地区对水资源不断开发利用的结果；同时也造成塔里木河水量从干流上游至下游各站(阿拉尔—卡拉)随河长的增长和时间(1958 ~ 1987 年)增长而不断减少，从阿拉尔站(1958 ~ 1967 年) 10 年平均的 51.45 亿 m^3 ，减少至卡拉站(1978 ~ 1987 年) 10 年平均的 4.65 亿 m^3 (表 1.6)，再加上干流中游水量浪费太大，进而造成下游生态恶化，流水河道缩短了 280km，并同时造成台特马湖于 1980 年干涸，而罗布泊早已于 1972 年干涸了。

表 1.4 塔里木河干流(1978 ~ 1987 年)来水量组成表

	水源	10 年平均径流量 / 亿 m^3	占来水量的比例 / %
	总来水量	49.56	100
	阿克苏河	36.29	73.23
其中	和田河	10.57	21.33
	叶尔羌河	1.01	2.03
	孔雀河	1.69	3.41

注：1. 阿克苏河供给塔里木河水量由三部分组成：①通过塔里木拦河闸(依玛帕夏)站下泄 28.53 亿 m^3 ，②依玛帕夏站—阿拉尔之间回归水 6.94 亿 m^3 ，③阿拉尔站以下发电退水 1.11 亿 m^3 。2. 和田河肖塔站实测年径流量 11.178 亿 m^3 中，扣除上游水库泄水后，和田河实际来水 10.57 亿 m^3 。

表 1.5 塔里木河干流阿拉尔、新其满水文站 20 世纪 30 ~ 80 年代年径流量推算表

站名	测站 以上河长 / km	10 年平均年径流量 / 亿 m^3						备注
		30 年代	40 年代	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	
阿拉尔	48	59.7	54.9	48.7	53.5	44.5	44.8	其中，最丰年 1935 年 86.6 亿 m^3 ，最枯年 1985 年 30.06 亿 m^3
新其满	237	50.2	46.0	38.0	42.9	37.0	39.2	其中，最丰年 1935 年 73.44 亿 m^3 ，最枯年 1985 年 25.25 亿 m^3

地表水的水质，一般包括河水的溶解质、悬移质和推移质。流域内各河流的悬移质含沙量除开都—孔雀河(因上游流经大、小尤尔都斯盆地和波斯腾湖的调蓄作用)，多年平均含沙量为 0.20kg/ m^3 ，与我国华南、华东河流含沙量相仿外，其余河流的多年平均含沙量则较大，为 2.0 ~ 11.0kg/ m^3 ，比西北、华北及东北的多沙河流要小，而比少沙河流则要大。河流多年平均悬移质输沙量在 0.1 亿 t/a 以上的河流有叶尔羌河、塔里木河干流、库玛拉克河、玉龙喀什河和克孜河。经计算各河流在山口处的悬移质年输沙量合计可达 1.566 亿 t/a。二者之和可达 1.732 亿 t/a。盆地周边河流这样大输沙量、

年复一年不断输往盆地中心，则成为沙漠的重要物质来源。塔里木河干流阿拉尔多年平均含沙量达 $5.07\text{kg}/\text{m}^3$ ，多年平均年输沙量为 0.2430 亿 t/a ，占山区输向平原悬移质输沙量的 15.5% ，造成塔里木河干流河道淤积，成为游荡性河流的重要原因。

河流天然水质受气候、径流、地质等因素的综合影响，呈现出明显的地带性分布规律和季节性变化。一边来说，河流山口以上天然水质良好，大多属于低矿化度水，矿化度为 $200 \sim 800\text{mg}/\text{L}$ ， pH 为 $7.5 \sim 8.5$ ，略偏碱性(表 1.6)。水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型为主。河水自山区向下游，沿途又接纳了山区裂隙水和局部回归水，矿化度逐渐升高。经分析，盆地九大水系在山口处的水质特征值平均矿化度为 $422\text{mg}/\text{L}$ ，总硬度 $129\text{mg}/\text{L}$ ，总碱度 $74.8\text{mg}/\text{L}$ ，说明山口以上河流水质较好。由山区输向平原的离子径流量（或称为溶解质）总计达 0.1654 亿 t/a （表 1.7），为山区悬移质输沙量 1.566 亿 t/a 的 10.6% 。塔里木河干流水质，汛期 $7 \sim 9$ 月水质较好，一般为 $500 \sim 800\text{mg}/\text{L}$ ；冬季—春季时可达 $1000 \sim 6000\text{mg}/\text{L}$ 。阿拉尔—英巴扎站河水矿化度为 $5.24 \sim 5.08\text{g}/\text{L}$ ，不仅超过饮用水标准，而且超过灌溉用水二类标准 $2 \sim 3$ 倍，故不宜饮用和灌溉。至于由孔雀河输向塔里木河下游水量的水质情况，从 20 世纪 $50 \sim 80$ 年代初水质均较好，但从 1986 年以来，孔雀河他什店站的矿化度已达到 $1608\text{mg}/\text{L}$ ，尉犁大桥处已达 $2534\text{mg}/\text{L}$ 。

表 1.6 塔里木河流域各水系多年平均水化学特征统计表

水系	多年平均							
	资料 年报	水的类型 (阿列金分类)	HP	年径流量 / 亿 m^3	离子总量 / (mg/L)	离子径流 量 / 万 t	总硬度 / (mg/L)	总碱度 / (mg/L)
开都—孔雀河水系	16	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}, \text{S}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	8.3	39.7	418	166	114	82.9
天山南麓迪那河水系	14	$\text{CL}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$	8.1	6.17	982	60.6	205	60.6
天山南麓渭干河库车河水系	10	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$	8.3	34.6	410	142	114	75.5
天山南麓阿克苏河水系	10	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$	8.4	91.4	363	332	117	73.4
喀什噶尔河水系	26	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$	7.9	50.9	540	272	172	70.9
叶尔羌河水系	27	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}, \text{S}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	7.9	75.1	331	249	92.1	65.3
和田河水系	10	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}, \text{S}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	8.2	54.0	377	204	82.7	61.1
克里雅河水系	10	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}, \text{S}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	8.3	22.1	536	118	132	77.8
车尔臣河水系	10	$\text{CL}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$	8.3	18.6	586	109	129	90.4
塔里木河盆地东部荒漠区	10	$\text{II C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$	8.3	0.0284	586	1.66	129	90.4
塔里木河流域			8.2	391.79	422	1654.26	129	74.8

注：均指出山口出河水水质。

二、地下水

山区地下水资源除少部分以山前侧渗方式补给平原地下水外，其余绝大部分在山口处已露出地表，转变为河流的基流量。这一部分已包括在地表水资源之内。盆地内平原区地下水资源的补给量包括天然补给量与转化补给量两类。前者为地表水资源的不重复量，后者为地表水的转化补给量，即与地表水资源的重复量。据《新疆地下水