

第一章 绪论

1.1 概况

咸海位于中亚的荒漠地带，地处乌兹别克斯坦和哈萨克斯坦两国交界处的图兰平原。这一独特的内陆湖是因为其面积大而被称为“海”。1961年咸海接近多年平均水位 52.71 m 时^[1]，最长 428 km、宽 235 km、面积 6.69 万 km²（包括 313 个岛屿，面积 2 345 km²）。咸海尽管面积较大，但水却不深，位于西部沿岸凹槽的最大水深 68 m 而东南部绝大部分为平坦的浅水区，水深不足 25 m 整个咸海平均水深 16.16 m，因此咸海的水量只有 10 510 亿 m³。咸海在面积上是中亚沙漠中心的最大水面，曾是世界第四大湖泊，仅次于里海、苏必利尔湖和东非的维多利亚湖。

咸海本身无径流，补给咸海水源的是集水面积共 183 万 km²的锡尔河和阿姆河。在 1960 年以前^[2]，阿姆河和锡尔河每年流入咸海的水量平均为 500 亿 m³，使咸海水面高程基本稳定，但同时带来约 1.1 亿 t 泥沙，堆积在河口的泥沙形成逐渐向海中推进的三角洲。而在各支流的三角洲中有几十个小湖，生态丰富的沼泽和湿地遍及 55 万 km²^[3]。咸海的年水位变化取决于来水量，变化不大，年平均为 25 cm。其原因是咸海的最大来水量的时间（每年夏季的几个月份）正好与其最大的水面蒸发损失的时间相重合。1961 年以前，咸海的水位基本稳定。近 200 年（至 1908 年）内，其下落都没有低于 50 m 高程，且只在 19 世纪 30 年代中期和 19 世纪末期曾达到此水位。平常年份，咸海海面观测到波漾，波高平均为 24 cm。咸海每年只在东北部结冰，且结冰期长达 140 ~ 160 天，而其余部分的冰情受到岸冰的限制，只是浅水海湾有时被冰覆盖。1960 年以前，咸海水的矿化度未超过 10 g/L，也就是说，咸海虽是咸水，但有极好的生物系统，此系统能保证水自动净化和极丰富的动植物生存，其水体供给当地渔业养殖，年捕捞量 4 万 t。

给咸海补水的锡尔河和阿姆河分别发源于帕米尔高原和天山山脉，它们自天山、帕米尔高原滚滚而下，贯流整个中亚，它们各自走了两千多公里，穿过严酷的红沙漠、黑沙漠，最后一南一北注入咸海，沿途流经 7 个国家。流域的大部分位于哈萨克斯坦南部、吉尔吉斯斯坦南部、土库曼斯坦的绝大部分、塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦全境，还有少部分位于阿富汗和伊朗的领土上。锡尔河和阿姆河是中亚人民的命脉，历史上，亚历山大、玄奘、成吉思汗，突厥人、波斯人、蒙古人、中国人、阿拉伯人，多少传奇故事在两条河川之间轮番上演。

咸海流域的范围分为两大区域：即其西部和西北部是图兰平原，东部和东南部是天山和帕米尔山脉的高山区。它包括阿姆河流域和锡尔河流域 再加上咸海西北部的沿岸地区(图 1-1) 总面积为 238.6 万 km^2 。

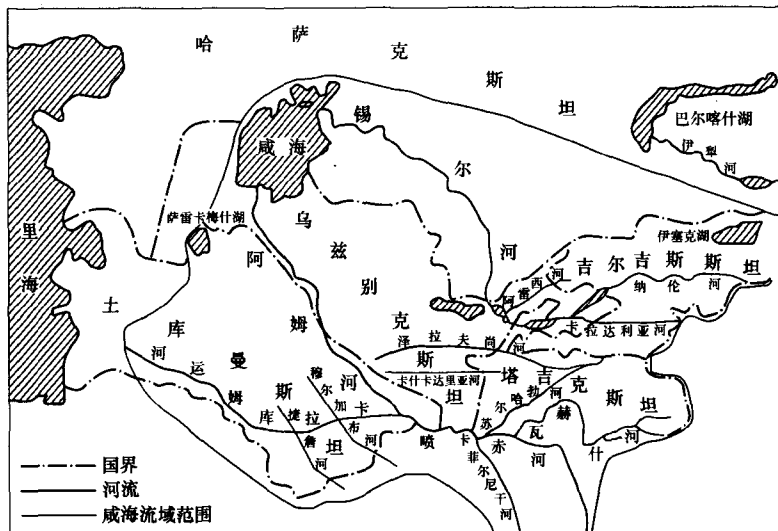


图 1-1 咸海流域示意图

咸海流域地貌形态以沙漠和草原为主^[4] 荒漠、半荒漠和草原占据从里海到天山山地之间的巨大面积。阿姆河和捷詹河之间的卡拉库姆沙漠(35 万 km^2 和阿姆河与锡尔河之间的克孜勒库姆沙漠(30 万 km^2) 是中亚最大的沙漠，地势平坦，海拔均在 300 m 以下，大部分为沙垄、龟裂地，间有闭塞的洼地和孤山。该区极度干旱、贫瘠、缺少植被，

如克孜勒库姆沙漠东南部就被称为“饥饿草原”。在北部台地、丘陵与南部沙漠之间的是别克帕克达拉草原，其地貌处于草原、半荒漠、荒漠的过渡地带。撒在荒漠中的绿洲，拥有丰富的栽培植被，它的翠绿色彩在荒漠灰黄底色衬托下显得格外赏心悦目。20世纪50~70年代，苏联在咸海流域开垦了大片荒地，使那里出现了大片农田和村镇。

咸海流域地处欧亚大陆腹地，尤其是东南边高山阻隔印度洋、太平洋的暖湿气流，使该地区气候为典型的大陆性气候。其突出的特征是：第一，雨水稀少，极其干燥。一般年降水量在300 mm以下，咸海附近和土库曼斯坦的荒漠年降水量仅为75~100 mm，而山区年降水量为1000 mm，费尔干纳山西南坡甚至可达2000 mm，但山地中也有雨量少于沙漠的地区，如帕米尔的年降水量仅60 mm；第二，日光充足，蒸发量大。经过科学测试，在中亚北纬40°地方夏季所获阳光照射量并不逊于热带地区。空气极其干燥和高温引起大量的蒸发，阿姆河三角洲水面的年蒸发量达1798 mm，即比这里的降水量大21倍；第三，温度变化剧烈。许多地方白天最高气温与夜晚最低气温之间可相差20~30℃。在帕米尔高原则有日温差40℃的记录。在盛夏7月，除山区外平均气温一般在26~32℃之间，而在隆冬1月，平均气温由北端的-20℃向南端的2℃过渡。

咸海形成于300万年前^[5,6]。这个内陆水域很可能开始时只是一个小水池，池水由来自周围领土的盐水汇集而成。水分完全蒸发之后，形成盐层，促使土壤疏松，风蚀加剧。定期的沙尘暴吹走了疏松的土壤，加深加宽了这个空洞。古老的阿姆河及其支流在史前时期是流向里海的，后来随着时间的推移逐渐改变了路线，向北途经卡拉库姆沙漠流向咸海萨雷卡梅什盆地。随着天山的增高，锡尔河上游从一个盆地流向另一个盆地。后来又取道费尔干纳山谷和饥饿草原，到达咸海盆地。大约9000年前，由于气候湿润、多雨，两条河流都开始流向咸海盆地。后来咸海水流溢出，途经乌兹博伊河流入里海。大约3500年前气候开始变得干燥，又过了500年左右，咸海水流就完全不再途经乌兹博伊河流向里海了。有研究者认为乌兹博伊河的断流，同阿姆河的河水流入萨雷卡梅什盆地一样，是人类行为的结果。现已证明，阿姆河于1573年改变了原来流向萨雷卡梅什的路线，开始流入咸海。阿

姆河的河水一经流向咸海，就迅速注满了它，甚至淹没了周围岸堤上的岩生灌木丛。

公元 4 世纪，咸海水位显著下降，达到海拔 30 ~ 32 m 的高程。这仍然是人类行为的结果。古时候，花拉子模的人民就能控制阿姆河的流经路线，将其引入萨雷卡梅什湖、咸海，也许同时还引入两盆地。如果咸海盆地在其历史过程中不曾有过一个如此发达的灌溉系统，现在咸海应该更大，也许它已经与萨雷卡梅什湖连成一片并流入里海了。这里的第一条人造灌溉渠道出现于数千年以前，当时的灌溉面积有 450 万 ~ 500 万 hm^2 。公元前 4 ~ 5 世纪，花拉子模变成一个大国^[7, 8]，这里的干渠长 100 ~ 150 km，宽 10 ~ 30 m，深 2 ~ 3 m。整个渠系为以下结构：河流—首部取水构筑物—干渠——一、二级配水渠—毛渠—田野。这些渠道的灌溉面积为 370 万 ~ 380 万 hm^2 ，到了 15 世纪，这一数字缩减到 240 万 hm^2 。灌溉面积的显著减少使咸海注入水量增加了 1.5 倍，水位由此逐渐升高，水面扩大到近代的规模。

从以上所述可见，地处于干旱沙漠的中亚咸海流域^[9]其早期的经济活动，不论是游牧生存还是定居发展，都与水源密切相关。花拉子模、费尔干纳、布哈拉、萨马尔罕——这一个个古代文明的形成和发展首先是与灌溉文化的发展紧密相连的。国家在变迁，名称在变换，一些人消失了，另一些人又来了，一种宗教信仰变成另一种宗教信仰，语言交融了，风俗、习惯、传统发生了变化。只有一样没变，那就是一代一代中亚人传承下来的对水的忐忑不安的敬畏和珍爱的态度。多少世纪以来，这种认知融入到中亚人的血液中。当地人有句名言：“立命在水不在土。”历史上部族间的争斗流血，时常就是为了水。历代的统治者都把水的管理放在重要的位置，形成了“惜水如命”的传统，也积累了节约用水的丰富经验。安息国首府尼萨等一些古城和农业区，大都是有一些小河畔发展起来的，因为这里不像大河有汛期泛滥，也无需修大的干渠；坐落在洪积扇前缘的水浇地，都有一定坡度，构成天然的排水条件，不会有形成次生盐渍化的危险。有的古国也地处大河流域，例如花拉子模绿洲即在阿姆河下游三角洲上，这里地势平坦，水势平稳，公元前 7 世纪进入奴隶社会，公元 5 ~ 6 世纪又成为中亚最大的封建氏族农业中心。花拉子模绿洲上下几千年的农业文明史都与

农田水利有关。

进入 20 世纪后，世界发生了很大变化，苏联也不例外，中亚的变化更是惊人。20 世纪 50 年代，咸海流域的农业仍是一派兴旺景象。被称做“疯癫之水”的阿姆河，用饱含泥沙的河水肥沃了这里的农田，培育着各种各样的传统作物，使当地的人民过着富足的生活。然而好景不长，随着苏联的解体，还是这种“疯癫之水”困扰着中亚人民，使他们的生活水平明显下降了一个台阶。

1.2 咸海流域内的河流

咸海流域所有的河流都没有通向大洋的出口，河水除了被引走用于灌溉外，或者消失于荒漠，或者注入于内陆湖泊。流域内最重要的河流是阿姆河和锡尔河，此外还有泽拉夫尚河、卡什卡达里亚河、捷詹河、穆尔加布河、塔拉斯河、楚河和伊塞克湖等。

1.2.1 阿姆河^[2, 10-13]

阿姆河是中亚最大、水量最充沛的大河，发源于阿富汗与克什米尔地区交界处兴都库什山脉北坡、海拔约 4 900 m 的维略夫斯基冰川，源头名瓦赫集尔河。瓦赫集尔河的下游称瓦罕河。瓦罕河与帕米尔河汇合后叫喷赤河。喷赤河北流后又大转弯，抵达答尔瓦查山脉的山脚，又折向南与瓦赫什河相汇后向西北流淌，进入土库曼斯坦后始称阿姆河。干流继续向西北流经阿富汗、土库曼斯坦、乌兹别克斯坦等国，最后汇入咸海。

阿姆河干流全长 1 657 km^[2]，这个数值是根据中亚流域管理局的数据取得的。如果由喷赤河源算起，到咸海则全长为 2 574 km^[13]。流域总面积为 101.78 万 km²。

阿姆河自河口到努库斯被称为河口三角洲段。三角洲是个汉流纵横交错的冲积平原，到 20 世纪 70 年代中期，其面积曾达到 9 000 km²。现在对三角洲来说，其面积在减少，由于从上游端开始的三角洲河汉逐渐消亡，三角洲沿着主河槽向咸海延伸，而且在河口区取代河汉而形成浅水沙洲，这是河流径流的变化和泥沙堆积现象造成的。在汛期，饱含泥沙的水进入咸海，形成三角洲的前段和取代河汉的拦门沙。在东北风作用下，河流带来的悬沙加强了在拦门沙区域的淤积，而不进

入深海，从而使河汉消亡，且因缺水而渐渐干涸，变成无边无际的荒漠。

阿姆河自努库斯到 1502 km 处的苏尔汉河口没有支流，属于平原河流。但是，它与其他平原河流有很大的不同，其主要特点是平均比降比较大，变化在 11~56 cm/km，平均为 25 cm/km 这大大超过平原河流的比降。因此，河流流速比较大。其次，这一段的河床是由细颗粒的疏松冲积岩组成的，这个特点就决定了河床的两个特点：一是透水性比较大，大量的水都渗漏掉了；二是河床变形比较发达，水的含沙量大，加上从上游支流带进阿姆河的泥沙和从邻近的荒漠中大风刮进来的泥沙就更加剧了这个过程，结果形成极不稳定的河床。具体地说，从克尔基城到伊尔吉克峡谷，阿姆河河谷的宽度变化在 4~25 km 之间，河谷的缓斜坡无形中与周围的地形连成一片。在伊尔吉克与秋雅穆云峡谷间，河流穿流于主要由砂层与第三纪松脆砂岩组成的基岩中。河谷具有高 10~20 m 的陡坡。在秋雅穆云峡谷以下，阿姆河谷扩展到几十公里，到珠木尔套与塔希峡谷汇合后才变窄。

自苏尔汉河河口到河源属于山区河流，是河流径流形成和河水的完全补给区。这个区域河系非常发达（见图 1-2），一系列比较大的河流在这里汇入阿姆河，变成阿姆河的支流（见表 1-1）。

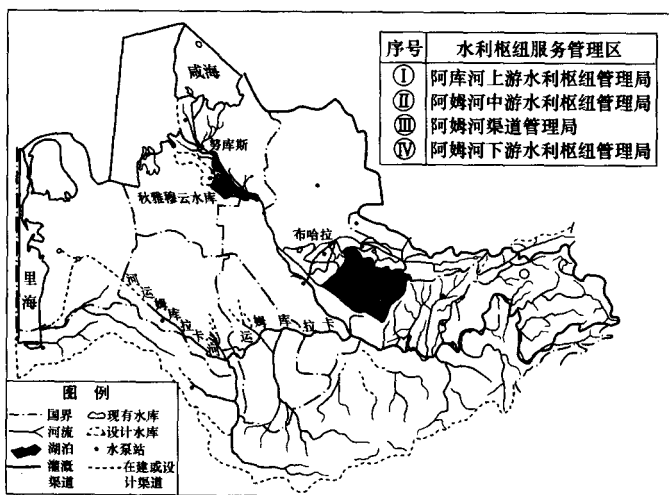


图 1-2 阿姆河流域水系

表 1-1 阿姆河一些大型支流的特性^[10]

支流名称	在阿姆河的位置	离河口的距离 (km)	河流长度 (km)	积水面积 (km ²)	平均流量 (m ³ /s)
喷赤河	左岸	1 657	921	114 000	1 000 ~ 1 050
瓦赫什河	右岸	1 657	524	39 190	680
苏尔哈勃河	左岸	1 643	404	36 050	
卡菲尔尼干河	右岸	1 614	387	11 600	190
苏尔汉河	右岸	1 502	275	13 500	120
希拉巴德河	右岸		171	8 780	7.5

阿姆河河谷在由喷赤、瓦赫什两河汇流处到克尔基城一段呈弧形扩展，河漫滩覆盖茂密的芦苇丛，并有许多湖泊与沼泽。

喷赤河几乎全程穿流于深山峡谷之中，形成很多石滩与瀑布。在瓦赫什河汇流处以上 200 km 处，喷赤河的河谷扩展，流速减小。该河在下游分出两条汉流，形成一个 50 km 长、近 15 km 宽、多沼泽的乌尔塔土盖伊岛，岛上长满芦苇丛。喷赤河主要支流来自右岸，如贡特河、巴尔塘河、亚兹古列姆河、万奇河及基泽尔河等。由左岸注入的支流很少，只有科克恰河。

瓦赫什河是组成阿姆河的第二条河流，是由克泽尔河与牟克河汇合而成。牟克河源自费德钦珂冰川，克泽尔河与牟克河汇流后，称苏尔霍布河；在惟一的左岸大支流鄂毕兴高河注入后，才叫做瓦赫什河。瓦赫什河上游大多穿流在深山峡谷中，最后 150 km 才流动在满布棉田的宽阔河谷中。瓦赫什河的河槽分成许多汉流。瓦赫什河总落差 835 m，多年平均径流量 680 m³/s，径流主要由融雪和冰川补给，5~9 月的径流量占全年径流量的 77%。

阿姆河的主要补给来自高山区的多年积雪和冰川，雨水补给对河流径流的作用不大。地下水补给在该流域内占重要地位，常常超过年径流量的 30%。另外，流域的高度对径流的年内分配也有很大的影响。这是因为山中积雪不是同时在全集集水区内融化，而是在各个高度带

依次融化：首先在低的地带，然后逐步转移到最高地带。阿姆河流域径流的年内分配特征是多峰式的，极不均匀，汛期延续很长时间（约 6 个月）。流域下游由于季节性积雪融化而引起的春汛开始于 3 月，延续到 6 月底。4~9 月的径流一般占 77%~80%，亦即在全年最热的时候，有永久积雪与冰川融化而引起的主要洪峰通过。夏季汛期一直延续到 9 月，而在 10 月到次年 2 月为冬季平水期，其径流量只占 10%~13%。克尔基城附近的最大流量通常发生在 7 月，年最小水流往往在 1~2 月，偶尔也会在 3 月。

阿姆河流域的水情特点是，在平常年份，其年均最大流量是在克尔基城，而往下游的 1226 km 流量逐渐减少。例如，河源的平均流量为 $1750 \text{ m}^3/\text{s}$ ，到克尔基城增加到 $1990 \text{ m}^3/\text{s}$ ，而到河口减少到 $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ 至几十立方米每秒，有时甚至断流。这是由于在克尔基城以下取水灌溉、蒸发和渗流损失的结果。

阿姆河流域的悬移质泥沙含量在中亚河流中居于前列。阿姆河的平均含沙量在克尔基城附近大约为 3.6 kg/m^3 ，最大平均达到 13 kg/m^3 ；往下由于流速减小，泥沙在河床的淤积增大，水的含沙量减少，在塔什萨克为 3.38 kg/m^3 ，而到努库斯约为 2.60 kg/m^3 。瓦赫什河的含沙量大约为 4.24 kg/m^3 。5 月悬移质泥沙含量达最高值，从 6 月起其数量减少，在 11~12 月达到最低值。沿河而下，含沙量通常大大增加。阿姆河在克尔基城附近一年内的输沙量 2.17 亿 t 泥沙顺流而下沉积在河谷中。阿姆河带到咸海里去的泥沙大约为克尔基城附近输沙量的 11%。

阿姆河径流的特点是自然调节程度很低，这给经济利用造成了困难。为了充分利用水资源，阿姆河上修建了大量的水库，其中最主要的是努列克水库和秋雅穆云水库（已建成）以及正在续建的罗贡水库，这几座水库都是属于调节跨国水量再分配和平衡水量的季调节水库。此外还有一系列流域内的水库和河系内的水库。在河流的上游直接从河流中取水灌溉塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦和吉尔吉斯斯坦的土地；在中游修建了世界著名的调水工程——卡拉库姆运河以及卡尔希灌渠和阿姆布哈尔灌渠，而且在这些运河和渠道中还修建了水库；在下游沿河两岸，渠道更是像蛛网一样的纵横交错，抽吸着阿姆河的乳汁，哺育着中亚人民。

1.2.2 锡尔河^[2, 10~12, 14]

锡尔河有两条河源，右源纳伦河和左源卡拉达里亚河。河流由东向西流，在纳曼干东大约 20 km 处与卡拉达里亚河相汇后称锡尔河。干流先向西南流，至别卡巴德转向西北，最后在新霍皮奥尔斯克大约 75 km 处汇入咸海。河流先后流经吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦、哈萨克斯坦 4 国，最后穿行于克孜勒库姆沙漠而进入咸海。干流长 2 212 km，流域面积 48.45 万 km²。

锡尔河是中亚最长的河流，全长 3 019 km(含上游纳伦河)发源于天山和帕米尔阿尔泰山的西部。锡尔河同阿姆河和其他中亚河流一样，也分为山区流域和平原流域，其山区流域面积为 21.9 万 km²，而平原流域为 24.3 万 km²；山区流域是径流生成和补水区，而平原流域是径流的消散区，亦即实际上不是河流的集水面积。

由河源至费尔干纳盆地出口是锡尔河的上游。锡尔河在费尔干纳河谷中绝大部分都是单河槽的河流，河宽 300 m 左右，穿行于低矮的沙质河岸。锡尔河上游有较发达的河系，许多较大的支流汇入锡尔河(见表 1-2)。上游平均流量为 600~700 m³/s。

表 1-2 锡尔河一些大型支流的特性^[10]

支流名称	在锡尔河的位置	离河口的距离 (km)	河流长度 (km)	集水面积 (km ²)	平均流量 (m ³ /s)
纳伦河	右岸	2 212	807	59 110	434
卡拉达里亚河	左岸	2 212	352	30 100	270
奇尔奇克河	右岸	1 748	174	14 240	240
阿雷西河	右岸	1 360	339	14 520	65
索赫河			94	3 270	43
安格连河			236	7 710	43

流域内还有卡桑赛河、加瓦赛河等支流。但这些支流，因为河水被用于灌溉或被蒸发，所以几乎没有一条河有水能进入锡尔河。图 1-3 为锡尔河流域水系示意图。

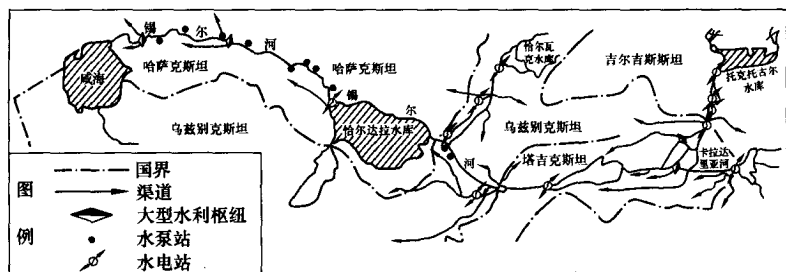


图 1-3 锡尔河流域水系

纳伦河发源于天山切尔斯凯伊阿拉套与阿克什俩克山区，位于吉尔吉斯斯坦和乌兹别克斯坦境内，全长 807 km，流域面积为 5.91 万 km^2 。该河是由大、小纳伦河汇流而成，在小纳伦河注入之前，称其为大纳伦河。大纳伦河主要源流库姆托尔河发源于彼得洛夫冰川。冰川长 16.8 km；小纳伦河的主要源流布尔河发源于哲腾别尔山脉北坡冰川的许多小溪。纳伦河在局部地区流淌在峡谷之间。河水补给主要为雪水，上游则为冰川雪水型补给。纳伦河在乌奇库尔干附近（距河口 40 km）的平均流量为 $434 \text{ m}^3/\text{s}$ ，最大流量为 $2880 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

卡拉达里亚河位于吉尔吉斯斯坦和乌兹别克斯坦境内，由发源于费尔干纳山脉和阿赖山脉坡地的卡拉库利贾河和塔尔河汇流而成，河流全长 352 km，流域面积 3.01 万 km^2 。最初，卡拉达里亚河穿流在宽阔的、有很多河汉的河床里，到费尔干纳盆地以前，河流流过塔培拉瓦特峡谷后，流动在沼泽化了的河漫滩上，并分出一些汊流。卡拉达里亚河的河水补给为融化的冰雪。该河距河口 140 km 处的平均流量为 $122 \text{ m}^3/\text{s}$ 。卡拉达里亚河的主要支流有：左岸的库尔莎勃河；右岸的雅瑟河、库加尔特河和卡拉翁丘尔河。卡拉达里亚河的水被广泛用于费尔干纳盆地的灌溉，河流在此被库伊干雅尔斯坝拦截并被大费尔干纳水渠切断。

在接收了其支流纳伦河和卡拉达里亚河之后，锡尔河有 300 多 km 流经费尔干纳盆地，另外还有 150 km 流经戈洛德草原。在哈萨克斯坦境内，锡尔河绵延达 1000 多 km，一直沿图兰低地或突厥斯坦低地流淌。河谷左边是克孜勒库姆沙漠，右边是不规则的丘陵（见

图 1-3).

当流出费尔干纳盆地时，锡尔河穿过法尔哈茨山脉，形成别戈瓦茨急流，折向西北，然后横穿贫瘠荒凉的塔什干洼地，沿宽达 10 ~ 15 km 局部沼泽化的宽阔河滩地流淌。

在下游，锡尔河穿过克孜勒库姆沙漠的东部边缘；河道稍高于两岸地面，河道弯曲、不稳定。由于两岸地形低洼，河流下游在平原上摆动，常常改变河槽，溃决堤岸，淹没低地，发生洪水。

在从河口到卡扎林斯克的 180 km 段 河流开始分汊 形成宽广的突兀地深入咸海的三角洲。在河口三角洲地带，有许多河汊、支流、湖泊和沼泽地。20 世纪 60 ~ 70 年代，三角洲河网的水文地理变化无常。后来由于来水量逐渐减少，三角洲逐渐干涸，变成了一望无际的荒漠。

锡尔河流域的径流形成主要来自流域的山区部分。其河水补给大多数为季节性雪水补给，少数为冰川和雨水补给，地下水补给意义不大。在河流的总径流中，各种补水的分量变化很大，取决于流域内的冬季降雪量、气温和阳光辐射。河流的汛期一般是在暖季，即从 4 月到 9 月，最大径流是在 7 ~ 8 月，有时会形成洪水波。沿河水情变化很大，不仅取决于自然因素，而且也与人类的经济活动有很大关系。在平原部分，河水被大量的灌溉渠道取走，使得越往下游流量越小，水量就越少，以致经常断流。

哈萨克斯坦境内，锡尔河水量逐渐减少。其右岸支流阿雷西河对锡尔河的径流有一定的补充，但是继续往下，该河就再也未接纳任何一条有水的河流，其流量越来越小。

在平水期 (秋季和冬季) 河流流量明显变小 河宽缩小至 200 ~ 400 m, 河深也不超过 2 ~ 4 m, 而在洪水期，深度往往为 5 ~ 8 m, 甚至达 10 m。洪水期的流速为 1.4 ~ 1.7 m/s。

锡尔河挟带着大量的泥沙，且主要是来自纳伦河和卡拉达里亚河的细颗粒的粉沙，平均含沙量为 $1 \sim 2 \text{ kg/m}^3$ ，在洪水期达到 6 kg/m^3 以上。下游泥沙沉积量达 2 000 万 t/a, 其中 1/3 沉积在三角洲，其余被带进了咸海，使锡尔河的主河槽每年平均向咸海延伸 110 m。

锡尔河河水的矿化度相当高，平均大于 500 mg/L。锡尔河在费尔

干纳河谷范围内一般不结冰，最大的结冰期只有 16 d/a。在秋明阿雷克结冰期比较稳定，平均为两个月，在下游卡扎林斯克以下结冰期较长，平均为 4 个月，有时下游会形成冰坝。

为了调节纳伦河、卡拉达里亚河和奇尔奇克河的河流径流，在托克托古尔到恰尔达拉总长约 1 000 km 的河段上修建了纳伦—锡尔梯级水库。其中最重要的有 5 座，即上游三座湖泊型多年调节水库——托克托古尔、恰尔瓦克和安集延水库以及两座河槽型季调节水库——凯拉库姆和恰尔达拉水库。

1.2.3 其他河流^[10,11]

泽拉夫尚河发源于突厥斯坦和吉萨尔山脉，河长 781 km，流域面积为 12 300 km²。泽拉夫尚河具有混合型补给水源，但以高山冰川为主，汛期一般为 4~9 月（与植物生长期同步），年均径流量为 164 m³/s，其中 87%来自于上游支流马图洽河和芬达利亚河。在泽拉夫尚河的干流——马吉安河河口以下修筑了“五一”坝以调节河流径流。河水顺流而下进入布哈拉绿洲和卡拉库尔绿洲，在这里河流虽有地下水的补水，但因灌溉取水 and 蒸发，致使河流在进入阿克—卡拉达里亚分水闸时流量只有 107 m³/s。经过在山间盆地的消耗（主要用于灌溉），河流在流出泽拉夫尚盆地时流量只有 78 m³/s，而到达卡拉库尔时流量只有 12 m³/s。上述数据表明，泽拉夫尚河的径流利用程度是非常高的，每年大概没有利用的弃水只有 7 m³/s。这样，在泽拉夫尚河谷范围内大约利用了 96%的河流径流。剩余部分，平水年没有剩余水进入沙漠并消耗于沙漠中。

卡什卡达里亚河发源于泽拉夫尚和吉萨尔山脉，河长 310 km，流域面积为 8 780 km²。因为在它的流域范围内没有高山（最高仅 3 157 m），主要是融雪补水，最大流量一般在 4 月。年均径流量仅为 6.89 m³/s，因该河流的总水量很小，且径流在山前区就很快消耗殆尽，很少能流出山区，因此山前区大部分可以利用的土地因缺水而不能灌溉。在卡什卡达里亚河流域土地资源和水资源的矛盾是非常突出的。为了解决卡什卡达里亚河流域水资源短缺和年内分布不均的问题，在卡什卡达里亚河上修建了齐姆库尔甘水库和从泽拉夫尚河取水的伊斯基安加尔渠道，从而让更多的水流经过卡尔希草原的荒漠地区，哺育着中亚腹

地美丽的绿洲——卡尔希绿洲，现在在该河流的下游还开凿了渠道可从阿姆河补水，以及用集排水补水。因此，在河床中沉积了大量的土壤、冲洗物。

根据水文地理特征，泽拉夫尚河与卡什卡达里亚河也应属阿姆河流域，但这两条河的水流均未到达阿姆河。因此，又可把它们作为各自独立的河流看待。

阿姆河左方有两条河——捷詹河和穆尔加布河，它们发源于伊朗阿富汗高原。捷詹河长 1 124 km，流域面积为 70 687 km²，年均径流量为 60 m³/s；穆尔加布河长 852 km，流域面积为 46 880 km²，年均径流量为 51.8 m³/s。这两条河的流量极不均匀，汛期洪水频发，流量最大达 1 000 m³/s，而汛期一过，一年中 60% 的时间河流无水，河底干涸。此外这两条河的含沙量都很大，捷詹河径流平均含沙量 16 kg/m³，穆尔加布河平均含沙量 5.4 kg/m³。这两条河严格意义上说都不属于咸海流域，但是由于卡拉库姆运河的修建，卡拉库姆运河将这两条河串连在一起，进而与阿姆河相连。因此，这两条河水量的枯丰对咸海流域有一定的影响。为了调节径流，在土库曼斯坦境内，在捷詹河上修筑了卡雷宾特壅水坝，以保证灌溉渠道取水灌溉捷詹绿洲，1950 年建成了第一捷詹水库，水库初始库容约为 1.4 亿 m³，但泥沙淤积非常严重，1960 年大坝虽经加高，库容仅为 1.11 亿 m³，1961 年在下游 14 km 处修建了第二捷詹水库，库容 1.8 亿 m³，此外 1959 年还修建了赫尔赫尔水库，库容 2 000 万 m³；在穆尔加布河上，共建成了 8 座水库，总库容 7.5 亿 m³，此外还修筑了许多灌溉引水渠道，它们滋润着土库曼斯坦的阿什哈巴德绿洲和马雷绿洲。

锡尔河的右方有发源于吉尔吉斯斯坦天山山区的两条河——塔拉斯河和楚河及伊塞克湖。从地表径流的角度来说，它们三个独立的流域，但是它们彼此之间在某种程度上由地下径流相联系，而地下径流与地表径流又是紧密相连的。它们的集水面积为 50 000 km²，年均径流量为 310 m³/s，其中只有 60 亿 m³ 进入平原地区用于灌溉。楚河灌溉着比什凯克附近的沃土，它与中亚最美丽的高山湖泊——伊塞克湖西岸仅 3 km 处擦肩而过。

伊塞克湖为高山深水湖，已知最大深度为 702 m 在欧亚大陆的所有湖泊中仅次于贝加尔湖。伊塞克湖以其巨大的容水量影响着湖区的气候 它虽然海拔 1 600 m 但即使在隆冬也不冻结 因此又以“热海”闻名于世。

总之，除阿姆河和锡尔河之外，其他河流虽然在自然地理上属于咸海流域，但是它们都没有余水能流入咸海。所以这里不再赘述。

1.3 咸海流域的水资源

咸海流域的水资源主要是由可再生地表水、地下水以及人为开源的回归水累加而得出的。

1.3.1 地表水资源

地表水资源主要是指河流径流。根据苏联水文气象总局所公布的水文年报的资料，在咸海流域，只计算阿姆河和锡尔河的径流量^[12]，而把其他河流算做这两条河的支流。在整个观测期内（1911 ~ 2000年），咸海流域算术平均年径流总量为 1 111.69 亿 m^3/a ^[15,16]。其中阿姆河流域为 770.93 亿 m^3/a ，锡尔河流域为 340.76 亿 m^3/a 。

根据阿姆河和锡尔河流域的年径流总过程线，可以分析出一定的年径流变化循环周期。例如，在阿姆河流域径流过程线上，从 1934 年开始，到 1992 年结束，可以相当清晰地看出 3 个 19 年的循环周期，而在锡尔河的过程线上，从 1928 年开始，到 1997 年结束，也能清晰地看出 6 个 12 年的循环周期。有人建议采用从 1934 ~ 1992 年的系列资料来评估阿姆河的年径流量和采用从 1951 ~ 1974 年的系列资料来评估锡尔河的年径流量。根据这些系列资料，阿姆河和锡尔河的年径流量列入表 1-3 和表 1-4。这样 阿姆河流域的年径流量为 792.80 亿 m^3/a ，而锡尔河为 372.03 亿 m^3/a 。所以 咸海流域地表水（河川）多年平均总径流量为 1 164.83 亿 m^3/a 。

由于水量的变化，年水资源量在枯水年 95% 保证率 到丰水年 5% 保证率 之间变动 阿姆河的变动范围为 586.0 亿 ~ 1 099.0 亿 m^3/a ，而锡尔河为 236.0 亿 ~ 511.0 亿 m^3/a 。

由于所处地理位置不同，咸海流域内各个国家的水资源量相差很大（见表 1-5）。从表 1-5 中可以看出，在位于山区的吉尔吉斯斯坦和塔

表 1-3 阿姆河流域多年平均的河川径流量^[15] (单位 :亿 m³/a)

河流流域	在以下国家形成的河川径流					阿姆河流域合计	
	吉尔吉斯斯坦	塔吉克斯坦	乌兹别克斯坦	土库曼斯坦	阿富汗和伊朗		
喷赤河	16.04	210.89			132.00	342.89	
瓦赫什河		184.00				200.04	
卡菲尔尼甘河		54.52				54.52	
苏尔汉河		3.20	30.04			33.24	
卡什卡达里亚河			12.32			12.32	
泽拉夫尚河		46.37	5.00			51.37	
穆尔加布河					8.68	8.68	17.36
捷詹河					5.60	5.61	11.21
阿特列克河					1.21	1.21	2.42
阿富汗河流						67.43	67.43
阿姆河流域合计(%)	16.04 (2.0)	498.98 (62.9)	47.36 (6.0)	15.49 (1.9)	214.93 (27.2)	792.80 (100)	

表 1-4 锡尔河流域多年平均的河川径流量^[15] (单位 :亿 m³/a)

河流流域	在以下国家形成的河川径流				锡尔河流域 合计
	吉尔吉 斯斯坦	哈萨克 斯坦	乌兹别 克斯坦	土库曼 斯坦	
纳伦河	145.44				145.44
卡拉达里亚河	39.21				39.21
纳伦河与卡拉达里亚 河之间的河流	17.60				20.72
费尔干纳河谷右岸	7.80				11.88
费尔干纳河谷左岸	35.00		8.55	1.90	45.45
中游河流			1.50	1.45	2.95
奇尔奇克河	31.00	7.49		41.00	79.49
阿汉加兰河				6.59	6.59
克列斯河		2.47			2.47
阿雷西河和布贡河		11.83			11.83
下游河流		6.00			6.00
锡尔河流域合计(%)	276.05 (74.2)	27.79 (7.5)	10.05 (2.7)	58.14 (15.6)	372.03 (100)

吉克斯坦形成了咸海流域的绝大部分水资源，它们分别占咸海流域水资源总量的 25.1% 和 43.4%，而乌兹别克斯坦为 9.6% 哈萨克斯坦为 2.1%，土库曼斯坦仅为 1.2%，阿富汗和伊朗为 18.6%。

表 1-5 咸海流域多年平均的河川径流量 (单位: 亿 m^3/a)

国家	河流流域		咸海流域	
	锡尔河	阿姆河	亿 m^3/a	%
哈萨克斯坦	24.26		24.26	2.1
吉尔吉斯斯坦	276.05	16.04	292.09	25.1
塔吉克斯坦	10.05	495.78	505.83	43.4
土库曼斯坦		15.49	15.49	1.2
乌兹别克斯坦	61.67	50.56	112.23	9.6
阿富汗和伊朗		214.93	214.93	18.6
咸海流域合计	372.03	792.8	1 164.83	100

1.3.2 地下水资源

可再生地下水资源可以分为两部分：在集水区自然形成的地下水以及在灌溉区域内在渗流作用下形成的地下水。总的来说，在阿姆河和锡尔河流域已探明并确认的地下水水源有 339 处，总的地下水储量评估为 434.9 亿 m^3/a 其中阿姆河流域为 250.9 亿 m^3/a 而锡尔河流域为 184.0 亿 m^3/a 。地下水与地表水有很明显的水力联系，它们之间相互转化。考虑到这一点，扣除重复量，已确认的地下水总储量为 169.38 亿 m^3/a 见表 1-6)。现在，地下水实际取水量为 110.37 亿 m^3/a ，虽然在 20 世纪 90 年代初曾超过 140 亿 m^3/a 。

表 1-6 咸海流域地下水储量 (单位: 亿 m^3/a)

国家	评估值	确认值	实际取水量
哈萨克斯坦	18.46	12.7	2.93
吉尔吉斯斯坦	15.95	6.32	2.44
塔吉克斯坦	187	60.2	22.94
土库曼斯坦	33.6	12.2	4.57
乌兹别克斯坦	184.55	77.96	77.49
咸海流域合计	439.56	169.38	110.37

1.3.3 回归水

在河流上游，水被用于灌溉后，一部分被太阳蒸发，一部分含有盐分和农药化肥残留物的剩余水由排水渠道收集起来，重新排放到河流中，而河流下游再将这种增加了盐分和杂质的“集排水”（也称“回归水”）用于灌溉。此外，因中亚土壤含盐度较高，为了降低含盐度，必须定期对耕地进行“清洗”。具体做法是：将水灌入耕地并保持一定时间后，再将水排出。由于灌溉面积很大，每年都有超过 100 亿 m^3 的水用于洗田。排出的水不仅盐度较高，而且含有多种农药的残留物和其他有害物质。这种脏水一部分排放至一定地点（如乌兹别克斯坦的乌兹鲍伊地区）集中起来，但沿途却污染了土地和水源，有的则进入下游，与工业污水、生活污水一道加重了河水水质污染。回归水是重要的用水补充储备。从灌溉土地上排出的集排水占回归水总量的 95%。其余部分是工业和公共事业企业的污水。表 1-7 中列出了在 1990~1999 年间咸海流域回归水的平均值。

随着灌溉和排水系统的发展，在咸海流域出现了回归水的稳定增长，特别是在 1960~1990 年期间出现强劲增长。1991 年以后，由于所利用的灌溉面积暂时下降和排水系统的破坏，回归水量稳定且开始稍有下降。在 1990~1999 年期间回归水总量变动在 280 亿~335 亿 m^3/a 之间，其中 51% 被排入河流，约 33% 排入低洼地区，只有 16% 被再次用于灌溉，从而造成污染。

表 1-7 咸海流域回归水的形成和排放（单位：亿 m^3/a ）

国家	来自灌溉的集排水	工业和公共事业污水	回归水合计	排放和利用		
				排入河流	排入天然低洼地	重复用于灌溉
哈萨克斯坦	16	1.9	17.9	8.4	7.0	2.5
吉尔吉斯斯坦	17	2.2	19.2	18.5	0	0.7
塔吉克斯坦	40.5	5.5	46.0	42.5	0	3.5
土库曼斯坦	38	2.5	40.5	9.1	31.0	0.4
乌兹别克斯坦	184	16.9	200.9	89.2	70.7	41.0
咸海流域合计	295.5	29	324.5	167.7	108.7	48.1
其中锡尔河流域	119.5	14.4	133.9	91.6	15.4	26.9
其中阿姆河流域	176.0	14.6	190.6	76.1	93.3	21.2