

前 言

地球之上，每一寸土地都宛如一本独一无二的典籍，镌刻着专属的自然密码，也铭记着深厚的人文印记。吐哈盆地是吐鲁番盆地与哈密盆地的合称，其身处内陆深处、被沙漠、戈壁层层环绕，凭借特殊地理构造自成一方天地，以其难以复刻的独特性，在地球的生态与人文宝库中闪耀着独有的光芒，既是独一无二的生态样本，也是人类文明进程里别具一格的人文篇章。

吐哈盆地深居中国内陆，巧妙地被天山余脉与戈壁沙漠半围合。在亿万年漫长的地质演变进程中，历经板块碰撞、地壳运动等地质活动的雕琢，塑造出了别具一格的地理风貌。其特殊的地质构造与极端干旱的大陆性气候条件相互交织，共同构建起一套极为特殊且脆弱的生态体系。高山积雪融水为吐哈盆地的主要水源补给，但随着气候变暖，积雪融化量减少，那为数不多的积雪化作涓涓细流，看似充满希望，却在这片广袤大地上显得杯水车薪。位于吐哈盆地的部分荒漠以其无垠沙丘与嶙峋戈壁，傲然构筑地貌的主体。荒漠虽呈荒芜之态，却隐匿着别具一格的生态机理。昼夜温差之悬殊，致使岩石于热胀冷缩间持续崩裂，结合千百年的地质变迁，为土壤悄然馈赠特殊矿物质之源。耐旱植物历经漫长岁月的砥砺，演化出精妙绝伦的环境适应之策。沙棘叶片细密且坚韧，宛如天然的锁水屏障，有效遏制水分的逸散；红柳（怪柳）根系发达得令人惊叹，如灵动的触角，能深入地下数米探寻生命之泉。这些植物于风沙的肆虐中倔强挺立，成为荒漠生态系统不可或缺的中坚力量。

在吐哈盆地这片自然生态独树一帜的沃野，人文风情亦是异彩纷呈。吐哈盆地，作为多民族聚居的祥和之地，维吾尔族、哈萨克族、回族等诸民族于此和睦共生，文化传统彼此交织，悠久且丰富的民族历史为吐哈馈赠了诸多珍贵的文化遗迹，成为吸引游客纷至沓来的璀璨明珠。交河故城静静伫立，虽历经岁月沧桑，却依然完整保留着古代西域城市的布局与建筑风格；火焰山以其如烈焰般的红色山体闻名遐迩，《西游记》中孙悟空三借芭蕉扇的故事更为其增添了神秘奇幻色彩，引得无数游客慕名前来，感受这“热极”之地的独特魅力；与万里长城、京杭大运河并称中国古代三大工程的坎儿井，作为当地特有的地下水利工程，巧妙地利用地形与水文条件，将高山冰雪融水引入绿洲，滋养着一方土地，如今游客可深入地下暗渠，探寻古人的非凡智慧。生活在绿洲的人们通过建立水库蓄水、灌溉技术节水等方式，最大限度利用水资源，种植出享誉全球的特色林果——哈密瓜、葡萄。强烈的光照和巨大的昼夜温差，让吐哈盆地的瓜果普遍具有味甜肉厚的特点。

卫星遥感，作为现代科技皇冠上一颗璀璨的明珠，是一种集高精度、大范围、实时监测于一身的前沿技术。它依托于环绕地球运行的卫星平台，搭载着各类先进的传感器，如同不知疲倦的“天眼”，持续对地球表面进行细致入微的观测。凭借着卓越的光学、

雷达等探测手段，捕捉到地面物体反射、发射或散射的电磁波信息，将这些信息转化为直观且精确的图像与数据。这些来自外太空的数据信息，是监控地球变化、预警生态风险、保障水资源安全和绿洲生命力的重要“哨兵”，是默默指引这片土地生态守护之路的“指南针”。

全书共 8 章，以吐哈盆地为主体，聚焦自然资源、生态环境、农业管理和能源利用等多个领域，力求让读者深入了解吐哈盆地的自然与人文特征。第 1 章由张丽、陈萌撰写；第 2、第 3 章由闫敏、彭小峰、陈萌撰写；第 4 章由叶回春、韩雪梅、聂超甲撰写；第 5 章由刘永强、刘涌楠、热依法提·艾尼瓦尔撰写；第 6 章由刘永强、李雅倩、王明玉、王卫平撰写；第 7 章由张丽、乔佳佳、陈一仰撰写；第 8 章由张丽、张少聪撰写。全书由张丽、闫敏统稿，陈萌、张少聪协助编辑整理。本书的出版得到第三次新疆综合科学考察项目（项目编号：2022xjkk1100）和新疆维吾尔自治区“天池英才”引进计划的资助。

本书旨在通过通俗易懂的语言和精美直观的图片影像，为读者打开一扇探索吐哈盆地的窗口。本书在撰写过程中参考并引用了大量文献资料，已尽可能一一注明。即便如此，书中涉及领域广泛，内容繁杂，限于编者学识，恐仍有疏漏之处，还请读者批评指正。希望读者都能在阅读本书过程中有所收获，对美丽的吐哈盆地有所了解！

张 丽

2026 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 旱海明珠——吐哈盆地	1
1.1 多彩地貌：吐哈盆地的自然画卷	1
1.2 冰水接连：吐哈盆地水来源	9
1.3 自然奇迹：生态多样性与脆弱性交织	13
1.4 能源宝库：新旧能源并行	20
1.5 丝贸中心：农牧旅工并行的吐哈盆地	23
1.6 文化瑰宝：丝路交会之地	26
1.7 吐哈盆地的“明星”	32
第 2 章 风沙褶皱——荒漠	45
2.1 荒漠的各种类型	45
2.2 土地退化过程——荒漠化和沙化	48
2.3 荒漠化是怎么发生的	48
2.4 荒漠化治理	50
2.5 吐哈盆地的荒漠化程度	51
2.6 吐哈盆地的荒漠化类型	53
2.7 风蚀景观——魔鬼城	54
2.8 赤石丹霞——火焰山	55
第 3 章 翡翠脉络——绿洲	57
3.1 什么是绿洲	57
3.2 绿洲是怎么形成的	58
3.3 吐哈盆地绿洲特征	58
3.4 吐哈人民生活的基石——绿洲	72
3.5 绿洲文明的世界遗产——交河故城	76
3.6 火焰山下的生命绿洲——葡萄沟	78
第 4 章 耕灌绿网——农业	80
4.1 绿洲农业魅力：揭秘独特生态与丰收奇迹	80
4.2 吐哈盆地的代表性特色农产品	81
4.3 高效节水农业：破解水资源短缺难题利器	87
4.4 灌溉革新：吐哈盆地节水农业的关键策略	89

4.5 土壤盐碱化加剧：农业生产路上的新挑战与破解之道	93
第5章 生命脐带——自然水资源	96
5.1 吐哈盆地的河流、湖泊、冰川	96
5.2 艾丁湖是怎么形成的	103
5.3 吐哈盆地地表水资源	114
5.4 吐哈盆地地下水	115
第6章 绀碧绛丝——水利工程	123
6.1 吐哈盆地蓄水工程	123
6.2 吐鲁番盆地水库概况	123
6.3 哈密盆地水库概况	128
6.4 坎儿井的由来	134
第7章 炽焰脉搏——矿物能源	145
7.1 什么是能源	145
7.2 新旧能源区别	145
7.3 吐哈盆地的能源类型	147
7.4 吐哈盆地的能源分布	151
7.5 吐哈盆地的能源输送	159
7.6 “西气东输”工程	161
第8章 天眼看吐哈——遥感	163
8.1 卫星遥感的诞生记	163
8.2 卫星遥感：世界瞭望眼	165
8.3 卫星遥感技术的今时与明日	168
8.4 遥感卫星的探索之路	177
8.5 卫星遥感的独特魅力	189
8.6 遥感卫星地面站的成长史	191
8.7 卫星遥感的神奇本领	195
8.8 卫星遥感在吐哈盆地的精彩表现	203
参考文献	205
附录 吐哈盆地地表风貌影像	209

第 1 章 旱海明珠——吐哈盆地

吐哈盆地位于天山山脉向塔里木盆地的过渡地带，作为中国丝绸之路的重要节点，拥有丰富的历史文化遗产与独特的自然景观。盆地内仅少数区域为适宜人类居住的绿洲，降水稀少，水资源主要依赖周边天山的高山冰雪融水及地下水补给。然而，该地区光热资源充沛，年日照时数超过 3200 h，夏季极端高温曾达 47.8℃，素有中国“热极”之称。尽管自然条件不适宜大规模人群聚居，但先民凭借卓越智慧，充分利用地下水资源，发展出独特的地下灌溉农业体系，并通过长期选育作物品种，培育出多种适应当地环境的农作物。在历史维度上，吐哈盆地广袤的沙漠区域蕴藏着丰富的资源。近现代以来，国家陆续在此勘探发现煤矿、油田等传统能源；同时，依托科技创新，将充沛的光照与风力资源转化为可持续的清洁能源，实现了“变沙漠为宝库”的可持续发展。作为人类文明交汇的重要区域与丝绸之路的关键节点，吐哈盆地融合了多元文化要素，既包含葡萄种植等农耕文明，也涵盖佛教等宗教传播，同时还保留了斗鸡、木卡姆等民间艺术形式。这些独特的历史文化通过壁画、石窟等文物形式得以系统保存并传承至今。

1.1 多彩地貌：吐哈盆地的自然画卷

吐哈盆地，这个位于东天山造山带内的地理奇迹，是一个被群山环绕的自然奇观。它不仅是天山山脉东部的山间盆地，而且其地形特征呈现出独特的南北高中间低、东西高中间低的长条状分布，几乎像是大自然的一条蜿蜒走廊。它的轮廓在海拔 800 m 等高线以下呈现出封闭的形态，东西跨度约 500 km，南北最宽处可达 120 km。这个盆地的西南方向，点缀着两个西北—东南走向的长轴状小盆地，而中天山山脉的南侧则是广袤的塔里木盆地，这些地形特征共同勾勒出了盆地“两凹夹一隆”的宏伟格局。

在吐鲁番盆地的平原区域，北部的集水区域一直延伸至东天山山脉的主峰——博格达山，其海拔高达 5445 m，而西侧则抵达中天山山脉的主要山脉，海拔约 4500 m。在集水区域的南缘，海拔呈现出西高东低的态势。托克逊以南的却勒塔格山，海拔 2591 m，而其东侧则是海拔 2000 m 以下的低山和丘陵地带，这些地形的起伏变化，为这片土地增添了丰富的自然景观和生态多样性。

吐哈盆地地势总体北高南低、东高西低，呈向中南部倾斜的地貌景观。盆地四周环山，北邻博格达-哈尔里克山脉，南邻觉罗塔格山脉，西起克尔碱镇，东抵梧桐窝子泉附近。吐哈盆地的地形地貌类型多样，从冲积扇、戈壁到沙漠和绿洲，每一种地貌都是自然力量的杰作。

冲积扇：盆地周缘山前广泛分布着冲积扇地貌。这种扇形堆积体形成于挟带大量泥

沙的河流或季节性洪水流出山口的情境。当水流流出山口时，由于地势突然变得开阔，水流速度急剧降低，其搬运能力随之下降，进而使得泥沙以出山口为顶点呈扇形铺散并沉积下来，最终形成了此类扇形堆积体。从图 1.1 中可以清晰地看到其典型特征：清晰的扇顶、扇缘以及呈放射状分布的辫状水系。正是由于这种沉积作用，冲积扇前缘地势平坦，土壤相对肥沃，并蕴含了丰富的水资源，因此成为干旱区绿洲和人类聚落（如图 1.1 中左下方的农田）得以发展繁荣的理想家园。

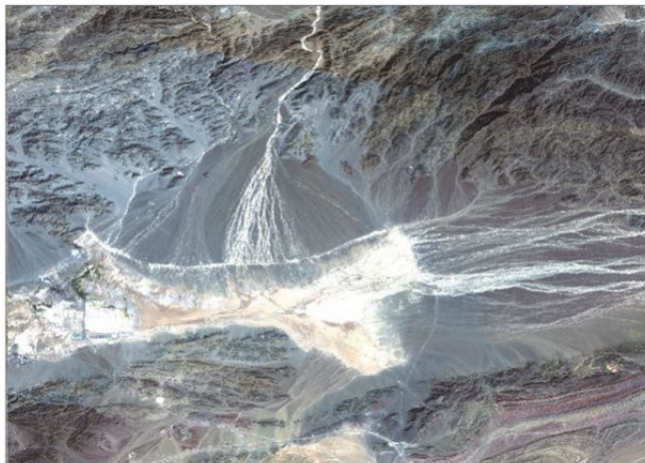


图 1.1 冲积扇（高分一号 RGB=123/2024 年 8 月 16 日）

清晰可见河流流出山口后，因流速减缓，挟带的泥沙以出山口为顶点呈扇形堆积，形成了典型的冲积扇

戈壁：盆地东部和西部是广阔的戈壁地带，又称砾漠，这些地区岩石裸露，其形成与盆地内干燥的气候和强烈的风蚀作用密切相关。长期的风力吹蚀将地表细小的沙尘物质带走，留下大面积的砾石和碎石，从而形成了如图 1.2 所示的这种地表坚硬、植被稀少的荒凉景观。



图 1.2 典型的戈壁（砾漠）地貌（高分六号 RGB=123/2024 年 7 月 8 日）

在强烈的风蚀作用下，地表细小的沙尘被风吹走，留下较重的砾石和碎石，形成了这种荒凉而坚硬的景观。图中深色的条带可能是古老的干涸河道，这些痕迹记录了本地区过去更为湿润时期的水文历史

沙漠：盆地南部为库木塔格沙漠（古称莫贺延碛），是中国主要沙漠之一。该区域以连绵的大型沙丘著称，形成如图 1.3 所示的广袤沙海景观。在强风持续作用下，风沙活动极为频繁，沙丘持续移动，构成盆地内最为严酷且动态变化的自然环境。



图 1.3 库木塔格沙漠壮阔的沙海景观（高分六号 RGB=123/2024 年 9 月 6 日）

其中排列整齐的沙丘链是在主导风向作用下形成的。图像上方，黄色的沙海与深绿色的绿洲形成了鲜明的对比，直观地揭示了沙漠对绿洲生存空间的挤压态势，体现了干旱区生态环境的脆弱性

绿洲：盆地中部与北部散布着哈密绿洲等重要绿洲区域。与此同时，人工绿洲作为自然绿洲的关键补充，在区域农业发展中发挥着重要作用。如图 1.4 所示，位于哈密市伊吾县盐池镇附近的盐池水库（当地亦因其湖水色彩多变而称其为“幻彩湖”）即为典型代表，该工程通过精准灌溉措施，在盐碱化土地上成功营造并维持了一片富有生机的现代化农田。



图 1.4 由盐池水库维系的绿洲（高分一号 RGB=123/2024 年 9 月 2 日）

图中规整的绿色农田，其灌溉水源完全来自左侧的人工水利设施——盐池水库。它直观地揭示了在水资源极度稀缺的地区，人类如何通过工程手段创造和维持赖以生存的家园

1.1.1 海拔

吐哈盆地北侧为呈东西走向、绵延起伏的东天山山脉，海拔为 2000~4000 m，其西北部与准噶尔盆地接壤。盆地南侧的中天山山脉自西部分支延伸，山势呈现西高东低的特点，自吐鲁番盆地东南部延伸至哈密盆地南部，形成海拔 1000~1200 m 的丘陵地带。

吐鲁番盆地位于天山山脉南麓，以其显著的海拔差异著称。盆地内高程变化剧烈，范围为-154~1600 m。其中，低于海平面的区域形成面积约 3400 km² 的低洼地带，最低点为火焰山南侧的艾丁湖，海拔-154 m（黄海高程基准），亦为中国陆地最低点。自天山山麓至艾丁湖岸，水平距离仅 60 km 范围内，高差达 1400 余米，这一剧烈的垂直变化不仅构成壮丽的自然景观，也为地质与地貌学研究提供了重要案例。与之形成对比的是哈密盆地，其地势整体较高，最低海拔约为 45 m，不存在零海拔以下区域。与此同时，东天山山脉的博格达山海拔达 5445 m，巍峨耸立，成为区域地貌的显著地标。

1.1.2 低谷绿洲：四面环山的吐哈盆地

吐哈盆地是吐鲁番盆地与哈密盆地的合称，行政区划涵盖吐鲁番市与哈密市。该盆地位于东天山造山带内部，四面环山，属典型的叠合盆地，总面积约 5.35 万 km²，是我国规模最大的断陷型山间盆地，也是重要的煤炭与油气资源富集区（支东明等，2023）。盆地地势总体呈北高南低、东高西低、中部低洼之势（图 1.5），呈长条状近东西向展布，整体呈现出一个巨大的箕状向斜构造，具有明显的南北分带特征。南部地质构造相对简单，而北部则较为复杂，边缘存在推覆构造，并且可以观察到不完整的次级背斜和向斜褶皱。盆地内部的拗陷区域中，褶皱和断裂构造并不发育（马荣等，2023）。

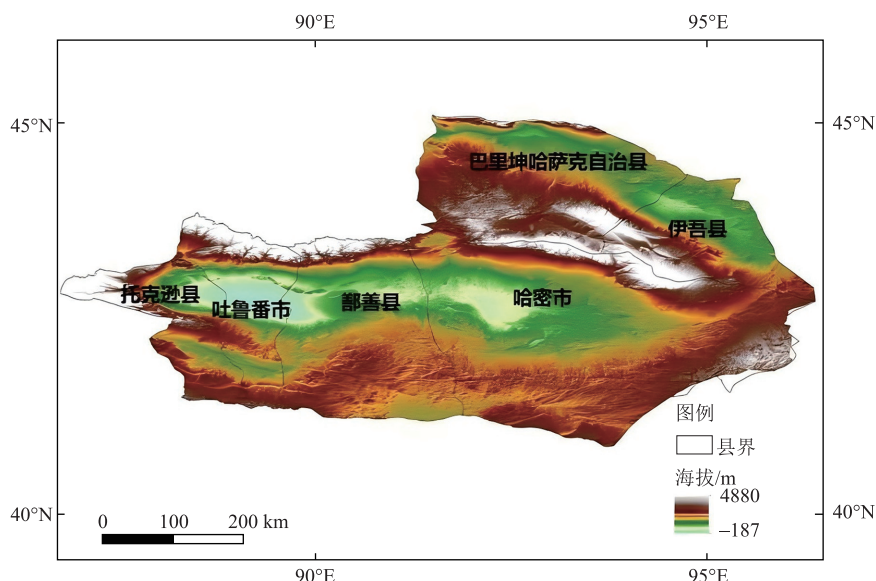


图 1.5 吐哈盆地高程图（乔佳佳 供图）

吐鲁番市高昌区和哈密市伊州区大多为黄色或绿色，为低海拔地区，最低海拔为-154 m，高程数据为 SRTM 数据

吐哈盆地内部地势差异巨大，最高峰为博格达山，海拔高达 5445 m；最低谷为艾丁湖，低于海平面 154 m。区域内发育多样地貌类型，包括中山、低山及低山丘陵，冲洪积砾质平原、冲洪积细土平原与湖积平原，以及盐沼低地与风积沙漠等，其共同构成层次丰富的地貌景观。

“吐鲁番”是维吾尔语“低地”的意思。吐鲁番盆地是天山东部东西横置的橄榄状山间盆地，属典型封闭式盆地，被中部东西延伸的盐山和火焰山划分为北盆地与南盆地两个自然区域。北盆地地势较高、地形坡度较陡，南盆地则越往中部地形坡度越缓。

北盆地呈狭长带状，海拔北高南低。沿主要河流方向扇状地发达，大河沿河、塔尔朗河、煤窑沟沿岸的扇状地海拔更高且呈隆起状；鄯善县二塘沟、柯柯亚河、坎尔其河沿岸的扇状地坡度较缓，但面积大于吐鲁番市主要河流的扇状地。北盆地南部与火焰山相接处，胜金口、连木沁等地因侵蚀性河谷发达，地形呈盆状，胜金口尤为显著；东部鄯善县北部等地可见基岩构成的孤立残丘。

盐山和火焰山（图 1.6）大体呈东西走向带状分布，实际为弯曲形态，在吐鲁番附近不连续，鄯善县附近火焰山亦不连续，南北盆地在此直接相连。

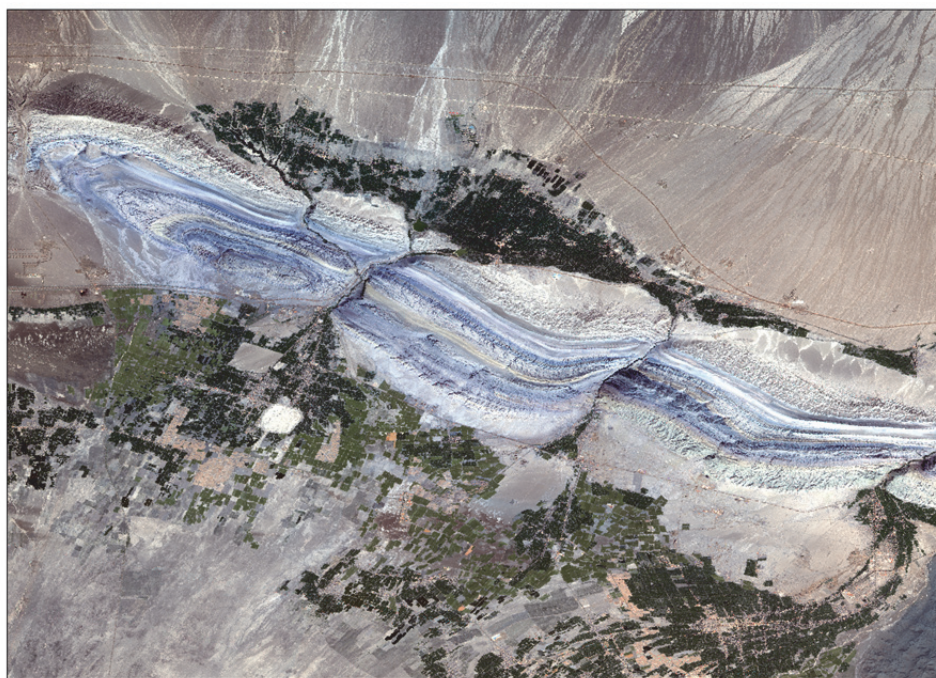


图 1.6 火焰山（高分六号 RGB=123/2024 年 9 月 6 日）

火焰山并非一座孤立的山峰，而是一条因地壳强烈挤压而隆起的巨大褶皱山脉（背斜构造）。图中清晰可见不同年代的岩层（呈现为白色、蓝色、灰色等）像书页一样被弯曲、抬升。垂直于山脉的深色沟壑是流水侵蚀的痕迹。最为引人注目的是，这条荒凉的山脉南北两侧被生机勃勃的绿洲所环绕，形成了地质奇观与人类文明的鲜明对比

南盆地以艾丁湖为中心，北抵盐山-火焰山，东达库木塔格沙漠，西北以托克逊西北基岩裸露区为界。与北盆地同为东西走向的狭长盆地，但宽度更大。其中部至东部多

为海拔 0 m 以下的低地，地形等高线呈以艾丁湖为中心的环状分布，自外围向湖心坡度逐渐趋缓。西部与南部海拔变化较大，托克逊、吐鲁番等地海拔约为 0 m。相较于北盆地，南盆地扇状地发育较弱，仅分布于西南与西北局部区域。

盆地东部的库木塔格沙漠广义上属于南盆地，但具有独立的地形特征，整体呈东北东—西南西走向。东部至中部发育西北—东南向沙丘群，西部沙丘走向渐转偏西，南部则呈不规则分布。沙漠整体海拔高于周边地区，呈现东高西低之势，中北部存在基岩出露区。托克逊西北阿拉沟左岸的基岩区将局部区域分隔为扇状盆地，广义上可归为南盆地，但就水文地质特征而言，宜将其与南盆地主体区别对待。

“哈密”古称“伊吾”，在维吾尔语中意为“大门”，素有新疆“东大门”之称。哈密盆地为一向西半闭合的断陷盆地，地势北高南低，自东北向西南倾斜。北倚天山南坡，东、西两侧为丘陵与戈壁，南接库木塔格沙漠。中部为地势平缓、土壤肥沃的洪积平原，间有剥蚀平原及零星沙地，局部地表存在沙化与盐碱化现象，属典型的干旱荒漠景观。全境地形起伏显著，哈尔里克山主峰托木尔提峰海拔 4886 m，为区域最高点。

该地区还发育有独特的雅丹地貌。“雅丹”一词源于维吾尔语，意为“陡峻的土丘”，生动刻画了此类典型风蚀地貌的形态特征。哈密雅丹形态丰富、造型奇异，是我国分布最集中的雅丹群之一。其奇特形态充分展现了大自然强大的塑造力，为苍茫戈壁增添了独特景致，吸引了众多探险者与游客前来考察观光。作为哈密盆地的行政中心与区域核心，哈密市具有重要的战略地位：东接甘肃省酒泉市，南邻巴音郭楞蒙古自治州，西毗昌吉回族自治区与吐鲁番市，北及东北则与蒙古国接壤。

1.1.3 地质奇观与地貌演化

吐哈盆地，这片位于天山山脉脚下的神秘土地，其地质历史和地貌演化是一部跨越亿年的自然史诗。

1. 地质分布与地层堆积

在吐哈盆地的南部，寒武纪的结晶片岩类岩石如同古老的记忆，由东向西带状分布，诉说着地球早期的故事。而在盆地的北部，上古生界的海成碎屑物和火山喷出物以断层为界，围绕盆地分布，这些地质遗迹见证了古海洋与火山活动的辉煌。盆地中堆积了从二叠纪到第四纪的地层，总厚度超过 7000 m，是一部记录地球历史的厚重书籍。

2. 大地构造与地质时期

盆地内的前第四纪地质明显受到大地构造的控制，出露有志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系和古近—新近系地层。元古代末期，全区处于剥蚀阶段，缺失了震旦系、寒武系、奥陶系的沉积地层。这些地层从老到新，从高山到平原，呈东西向弧形带分布，展现了地质时期的古地理环境变化。

3. 地质构造与盆地形成

吐鲁番盆地是北天山褶皱带东段的山间构造断陷盆地，具有地槽型封闭自流盆地的特征。盆地的构造演化经历了早期海西期、燕山期和喜马拉雅造山运动，这些构造运动塑造了盆地的基本形态。在这些时期，博格达复背斜山地和却勒塔格复背斜山丘区形成，同时终止了海相沉积，吐鲁番盆地的“雏形”就此形成。

4. 新构造运动与地貌变化

第四纪以来，吐哈盆地的地质特征主要服从于古气候和古地理环境的变化，受控于新构造运动。这一时期，地壳的上升和下降导致了轮回性变化，形成了各种类型的地貌形态和沉积物。火焰山背斜隆起和雁木西背斜隆起形成了东西向延伸的山脉，将盆地分为南北两部分。

5. 石油勘探与水文地质

在吐鲁番盆地内部，石油勘探的成果揭示了盆地堆积的地层主要为二叠纪以上地层，地表露出的为侏罗纪地层。这些地层被认为是孕育了吐鲁番盆地内石油与天然气的摇篮。

6. 现代气候变化与人类活动

随着现代气候极端干旱频次增加，以及近代人类工程和经济活动的影响，吐哈盆地的面貌仍在经历着深刻的变化。这片土地以其独特的地质历史和地貌演化，不仅是地质学研究的宝库，也是人类探索自然奥秘的窗口。

吐哈盆地的地质及盆地形成过程，是一部地球历史的缩影，展现了自然力量的壮丽和地质演化的奇妙。

1.1.4 煤油的温床：吐哈盆地复杂的地质构造

吐哈盆地，这片坐落于西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块与塔里木板块交会之处的土地，是中新生代板块构造演化的璀璨结晶，它是一个在中新生代地质史上留下深刻印记的地方。这里，侏罗纪的地层如同一本厚重的书，记录着地球亿万年的故事，其中，煤系烃源岩如同黑色的金子，闪耀着工业的光辉，吐哈盆地因此被誉为中国煤系地层的瑰宝。如今行走其间，地表偶见些许裸露的黑色煤颗粒，见图 1.7。



图 1.7 吐哈盆地中裸露于土地表层的部分煤矿（陈萌 供图）
图中显示裸露的黑色煤颗粒

正是在这片富饶的土地上，新疆哈密三塘湖矿区的石头梅一号露天煤矿（图 1.8）以其显著的特点，成为吐哈盆地煤系地层中一颗璀璨的明珠。这座大型露天煤矿不仅拥有 5 层可采煤层，平均总厚度达 41 m，而且煤种以优质的不黏煤 31 号为主，充分展现了盆地深厚的煤炭储量和优良的煤质，也印证了地表偶见煤颗粒的现象。



图 1.8 露天煤矿（陈萌 供图）
煤矿可采煤层 5 层，平均总厚度 41 m（三塘湖矿区）

在这片土地上，侏罗纪的漫长岁月沉积了层叠的地层。其中，水西沟群（代表中下侏罗统）与上覆的艾维尔沟群（代表中上侏罗统）之间，存在着一个重要的不整合接触面，它如同一道历史的断章，清晰地分隔开两个地质时代。穿越这片时空的印记，侏罗纪含煤岩系如同大地的诗行，被清晰地镌刻在层序之中。尤其值得瞩目的是，八道湾组与西山窑组蕴藏着极其丰富的煤层，它们如同深埋于地层书卷中的宝藏，无声地诉说着远古生物的繁盛与沉积环境的变迁。

在早、中侏罗世的岁月里，吐哈盆地经历了沼泽与湖泊的交替变迁。八道湾组时期，盆地边缘的断裂活动如同大地的心跳，强烈而有力，使得沉积物以砂砾岩的形式，记录下了那一刻的动荡。三角洲体系的影响下，沼泽化作用为聚煤作用的发展提供了肥沃的土壤，使得厚煤层在盆地西部拗陷区域得以繁荣发展，如同大地的恩赐，孕育了丰富的资源。

在石油系统的划分中，吐哈盆地自西向东划分为三个一级构造单元：吐鲁番拗陷、了墩隆起和哈密拗陷（聂浩刚等，2016）。其中，吐鲁番拗陷南缘的艾丁湖斜坡带（如苏巴什地区）地层呈平缓北倾单斜（倾角 $<10^{\circ}$ ），基底埋藏浅，构造简单，为中-新生代地层沉积及砂岩型铀矿成矿提供了有利条件（权建平等，2023）；而北缘的北部山前冲断带作为博格达造山带东段前缘，属典型陆内前陆冲断带，发育多套高演化烃源岩，具有良好的油气显示与勘探前景，目前已发现鄯勒、巴喀等小型油气田（黄蝶芳等，2020）。

1.2 冰水接连：吐哈盆地水来源

吐哈盆地，这个被群山环抱的地理奇迹，其水文地质体系与周边山系形成了鲜明对比。在这里，自然的奥秘被巧妙地编织进两套截然不同的水文地质体系之中。周边水文地质地块中，构造裂隙水和风化裂隙水悄然流淌；而在自流水盆地内，孔隙水、孔隙裂隙水则静静地滋养着这片土地。

1.2.1 地下水系统：吐哈盆地的血脉

在吐哈盆地，地下水的补给与排泄系统构成了一个完整的循环，而艾丁湖则是这个循环的心脏，汇聚并释放着生命的源泉。地下水在吐哈盆地的流动，如同一条隐秘的河流，从北向南，从东向西，滋养着这片土地。中部隆起带的断裂构造，如同大地的裂痕，使得地下水受阻后溢出地表，形成清泉，一部分成为地表的涓涓细流，另一部分则悄然南行，以潜流的形式继续它的旅程。西部的水流最终汇入艾丁湖，而东部的水流则流入沙尔湖，这两个湖泊是吐哈盆地地下水系统的重要组成部分。自然河流在吐哈盆地的叙述中扮演着重要角色，它们多发源于天山山脉，流经出山口后，穿越广袤的戈壁滩，进入人类活动的绿洲地区，满足着农业和生活用水的需求。这些河流在滋养了绿洲之后，最终流入南部的沙漠区，完成了它们的生命循环。

吐鲁番盆地的雁木西以西至托克逊的伊拉湖，是由白杨河及阿拉沟所形成的大冲积扇。这里的潜水埋藏深度为 5~40 m，冲积扇前缘的沉积物颗粒逐渐变细，过渡成为砂土质的平原，潜水埋藏深度为 1~3 m，大部分土地已垦为农田。往南便是艾丁湖三角洲平原，地势低洼，潜水埋藏深度为 1~3 m，这里是一片重盐土分布的地区。艾丁湖沿岸地带潜水埋深小于 1 m，地表植被稀疏。该区域地表覆盖着约 10 cm 厚的硬盐壳，并发育有高含盐量的盐沼地，构成盆地潜水的主要排泄区。

吐哈盆地不仅是一个巨大的地下水库，而且承压区位于盆地的中部，含水层及隔水层的结构都不相同，这使得吐哈盆地的水资源管理与利用变得尤为重要。吐哈地区的人民运用智慧，建造了坎儿井这一独特水利系统，在减少蒸发的同时，成功利用地下水资源（图 1.9）。



图 1.9 塔库坎儿井的地下暗渠（董宇琪 供图）

哈密市作为一个极度缺水的城市，始终坚持资源开发的可持续性、生态环境的可持续性，并深入推进节水型社会建设，实行最严格的水资源管理制度，被水利部命名为全国节水型社会建设示范区。这一称号不仅是对哈密市水资源管理的认可，也是对其未来发展方向的指引。哈密市已经进入全面优化升级的关键阶段，长远发展的规划中包含了重大调水工程，为哈密市立体化资源通道的全面推进打下了基础。

1.2.2 河网系统：吐哈盆地的脉络

在吐哈盆地，水的故事从高山之巅开始，那里的冰川和积雪在阳光的轻抚下，缓缓融化，汇成涓涓细流，滋养着这片干旱的土地。这里的地表水资源，如同自然界的血脉，主要由融雪和降雨补给，它们在干旱的季节里，又藏匿于地下水和泉水之中，静静地流淌，直到再次被需要时涌现。干旱季节以地下水及少量泉水、坎儿井补给为主。盆地各河流具有径流十分集中、年内分配及四季分配不均匀的特点。这些河流多为季节性河流，其径流主要依赖夏季冰川融雪和降水补给，在春秋季节流量显著减少甚至断流。尽管这些河流流域面积小、流程短，却是支撑当地生态系统与人类活动的关键命脉（图 1.10）。这些河流虽具有下渗强烈、年径流量小及河槽调蓄功能有限的特点，却始终是保障当地生态与绿洲存续的关键水源。



图 1.10 哈密盆地河流水系（张少聪 供图）

在哈密盆地，大自然以巧手将河流编织成一道梳状的脉络，沿着天山南北坡铺展。北坡的水流如生命的血脉，自巴里坤山北麓涌出，一路汇聚，最终投入巴里坤湖的怀抱。而在哈尔里克山的南坡，疏纳诺尔湖水系的河流则静静地向南低洼处流淌，最终汇聚成一片宁静的湖泊。每一条河沟，都是一个完整的水循环缩影，演绎着水资源从形成到转化的全过程。大多数河流为季节性河流，主要靠冰川融雪水和大气降水所补给，辅以岩层深处的裂隙之水。径流年际变化不大，但年内变化和区域差异性较大。

在吐鲁番这片古老而神秘的土地上，水的循环如同一首悠长的诗篇，从西部和北部