

附件 3

1906 年玛纳斯 M8.0 大震现场野外研讨手册

（呼图壁河沿线）

一、北天山前陆冲断带构造特征

北天山前陆冲断带，即准噶尔南缘逆断裂带（Southern Junggar Thrust, SJT），是典型的以断坡-断坪为代表的薄皮前陆冲断系统，总体上表现为一个挤压构造楔。新生代以来，受印度-欧亚板块碰撞远程效应影响，古老的天山造山带强烈复活并向盆地方向扩展推覆。沿南北向上 SJT 由发育在侏罗系煤层、白垩系泥岩及古近系安集海河组膏泥岩等多套滑脱面上的主前冲断层与被动反冲断层构成的构造楔和叠加复合褶皱组成，主前冲断层又具有多个断坡-断坪-断坡结构，控制了浅部构造的变形样式与传播方式。沿倾滑向，SJT 在长约 250 km、宽约 50 km 范围内由 3 至 4 排近东西走向的逆断裂-褶皱带组成，从山前向盆依次为第一排山麓褶皱带（例如：齐古背斜）、第二排霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁褶皱带和第三排呼图壁-安集海-独山子褶皱带和部分区域出露的第四排呼图壁-西湖逆断裂-褶皱带（图 1）。

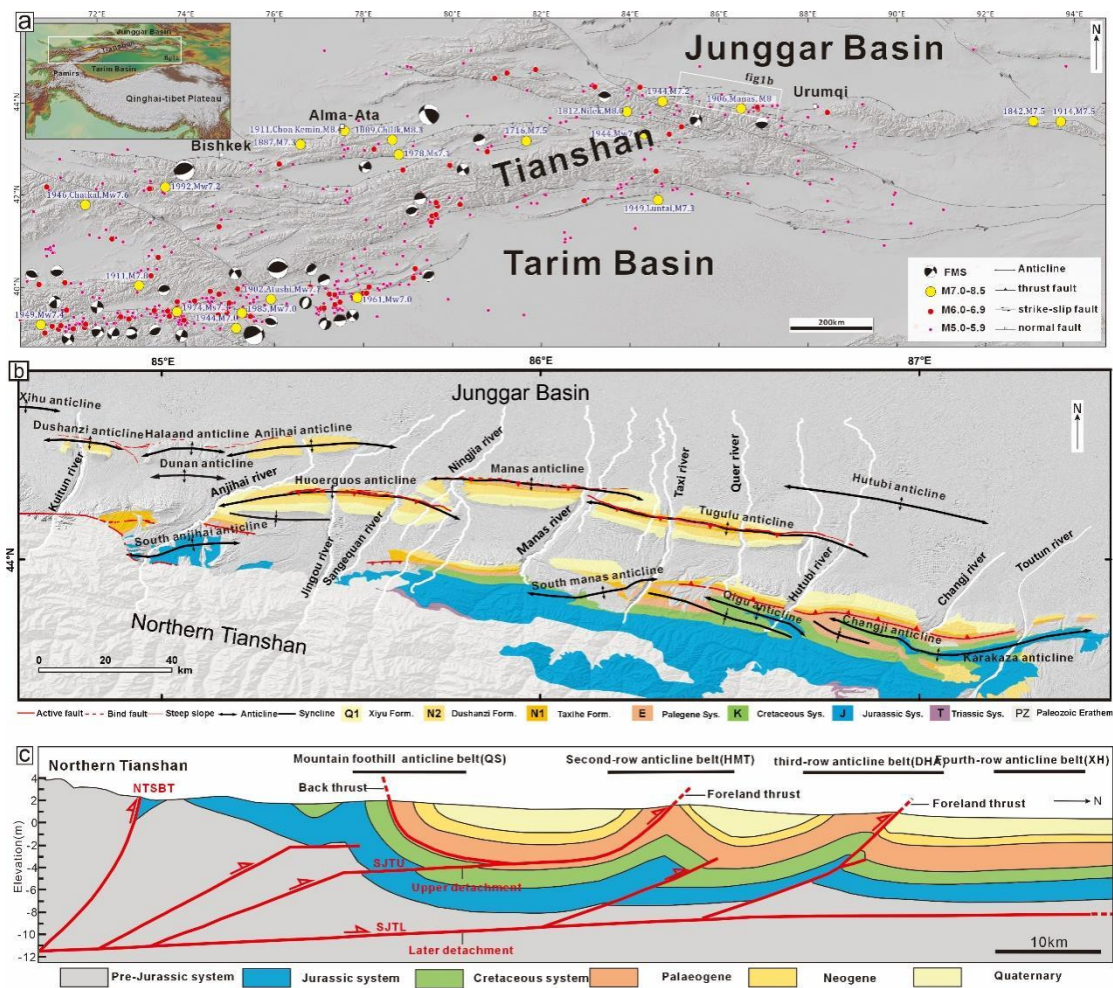


图 1 (a)天山及邻区 DEM、活动构造及地震（1900 年至 2020 年 $M \geq 5.0$ 地震，姚远，2024）。(b)北天山前陆冲断带及邻区的地形、活动构造（张伟恒，2022）。(c)北天山前陆冲断带的构造模型，由 4 排逆断层-褶皱带组成，由南向北分别是第一排山麓逆断层-褶皱带、第二排霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁逆断层-褶皱带、第三排独山子-哈拉安德-安集海逆断层-褶皱带以及第四排西湖-呼图壁逆断层-褶皱带（姚远，2024）。

二、准噶尔南缘逆断裂带沿呼图壁河的空间展布及几何样式

受到准噶尔南缘逆断裂带（SJT）活动的影响，沿呼图壁河流域自山前向盆地主要发育齐古背斜、吐谷鲁背斜和呼图壁背斜（图 2）。齐古背斜为山前第一排背斜，表现为一个向北凸出的弧形背斜，西段走向 NWW-SEE 向（ 280° ），东段在呼图

壁河以东转为北西向（ 130° ），长 32 km，宽 8 km，背斜核部出露侏罗系中统头屯河组（ J_{2t} ），北翼上侏罗统、白垩系、古近系和新近系连续出露，南翼出露侏罗系、白垩系（图 2）。背斜两翼地层产状不对称，南缓北陡，北翼地层倾角为 50° - 60° ，南翼地层倾角为 25° - 45° 。齐古背斜南翼白垩系清水河组（ K_{1q} ）角度不整合覆盖于侏罗系喀拉扎组（ J_{3k} ）之上。地表齐古背斜北翼为单斜构造，侏罗系喀拉扎组（ J_{3k} ）缺失，白垩系清水河组（ K_{1q} ）与侏罗系齐古组（ J_{3q} ）呈平行不整合接触（图 2）（邵雨等，2016）。

吐谷鲁背斜在地表西起玛纳斯河，东至呼图壁河，长约 55 km，宽约 10 km，为近东西向展布的线性背斜。背斜范围内出露新生代地层，包括古近系（ E_{2-3} ）安集海组，（ E_3-N_1 ）沙湾组，新近系（ N_1 ）塔西河组，（ N_2 ）独山子组，第四系（ Q_1 ）西域组（图 2）（邓起东等, 2000）。

地表呼图壁背斜西起呼图壁河，东至头屯河附近，东西长约 60 km，南北宽约 8 km，走向北西西，两翼平缓，地貌上未有隆起。卷入变形的地层包括侏罗系、白垩系、第三系和第四系，是一个主要受平行层纯剪切缩短控制的滑脱褶皱，呈现南北两翼对称的背斜形态（图 2）（邵雨等，2016）。

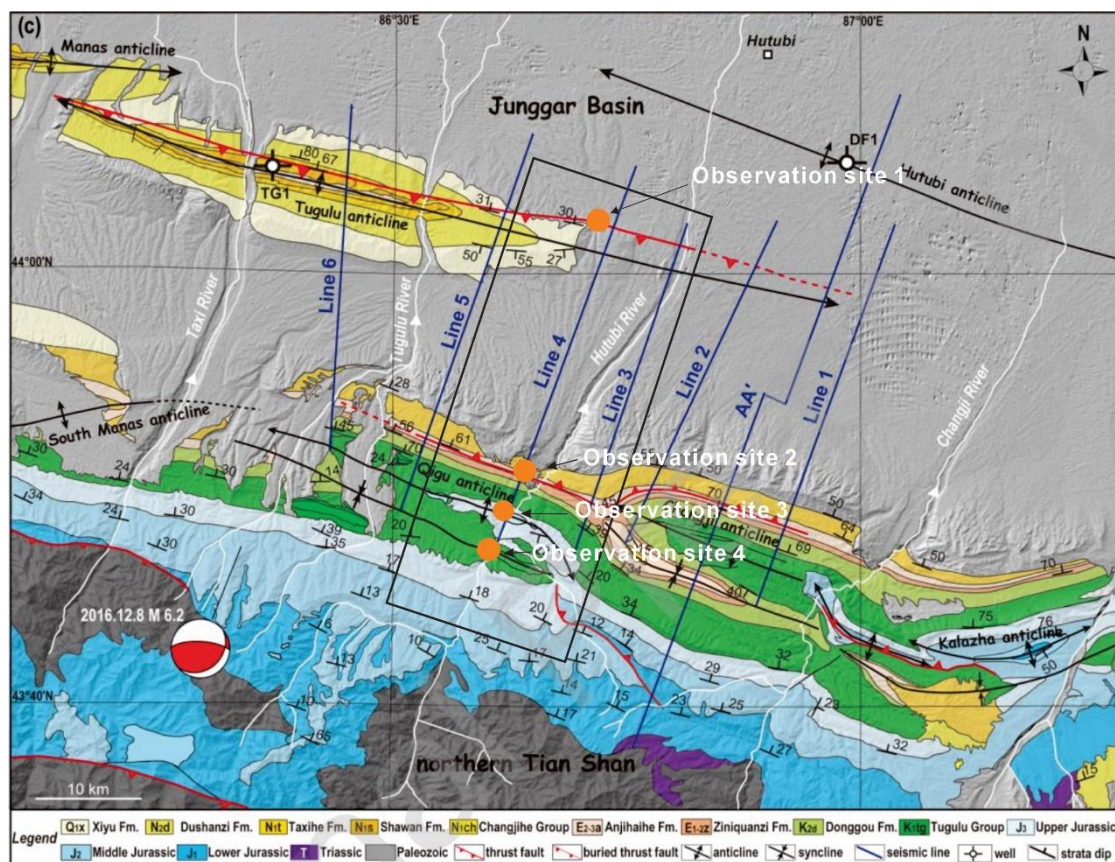


图 2 呼图壁河流域及邻区地质地貌图 (Qiu et al., 2019)

沿呼图壁河的地震反射剖面显示，齐古背斜为多重构造楔样式，在齐古背斜下部，发育准噶尔南缘前冲主逆断层 SJT，该断层以倾角 $\sim 30^\circ$ 向上切过侏罗系、白垩系后，倾角转小继续向上切穿古近系，在古近系安集海河组（E_{2-3a}）转平，成为顺层滑脱层，其中一部分滑动量形成齐古背斜北翼反冲断层 SJT2，另一部分滑动量沿滑脱层 SJT1 向北滑脱 6 km 后，以 $\sim 27^\circ$ 的倾角转为断坡，经过多次转折出露至地表，在断层上盘

形成浅部的吐谷鲁背斜。由于安集海河组是一套良好的滑脱层，在背斜南翼表现出剪切性质，在断层前翼为三角剪切变形样式（图 3）（Qiu et al., 2019）。断层 SJT3 为深部的滑脱层，沿侏罗系八道湾组向北传递，形成深部吐谷鲁背斜和更靠近盆地的呼图壁背斜等。在该剖面，深部的吐谷鲁背斜发育在局部的反冲断层上部，变形不明显。在其北部约 6 km 的呼图壁背斜发生明显变形。呼图壁背斜为不对称的滑脱褶皱，基底滑脱层深度约 9 km。背斜南翼长度短，倾角大（ $\sim 12^\circ$ ），北翼宽缓，倾角小（ $\sim 4^\circ$ ）（图 3）（邱建华，2017）。

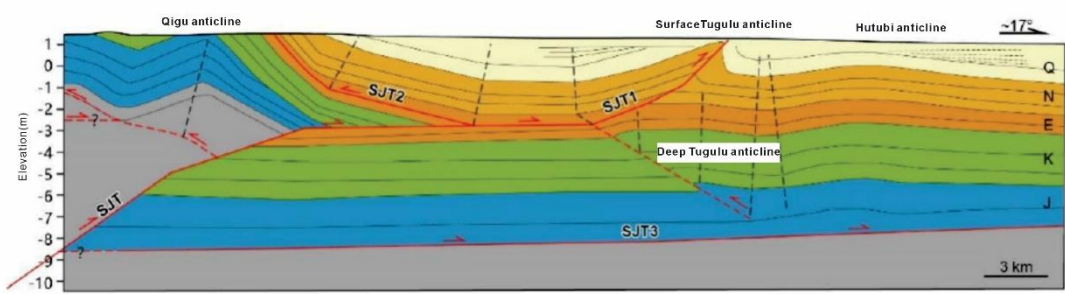


图 3 SJT 沿呼图壁河的构造框架（张伟恒，2022）（石油地震剖面 Line4，见图 2）

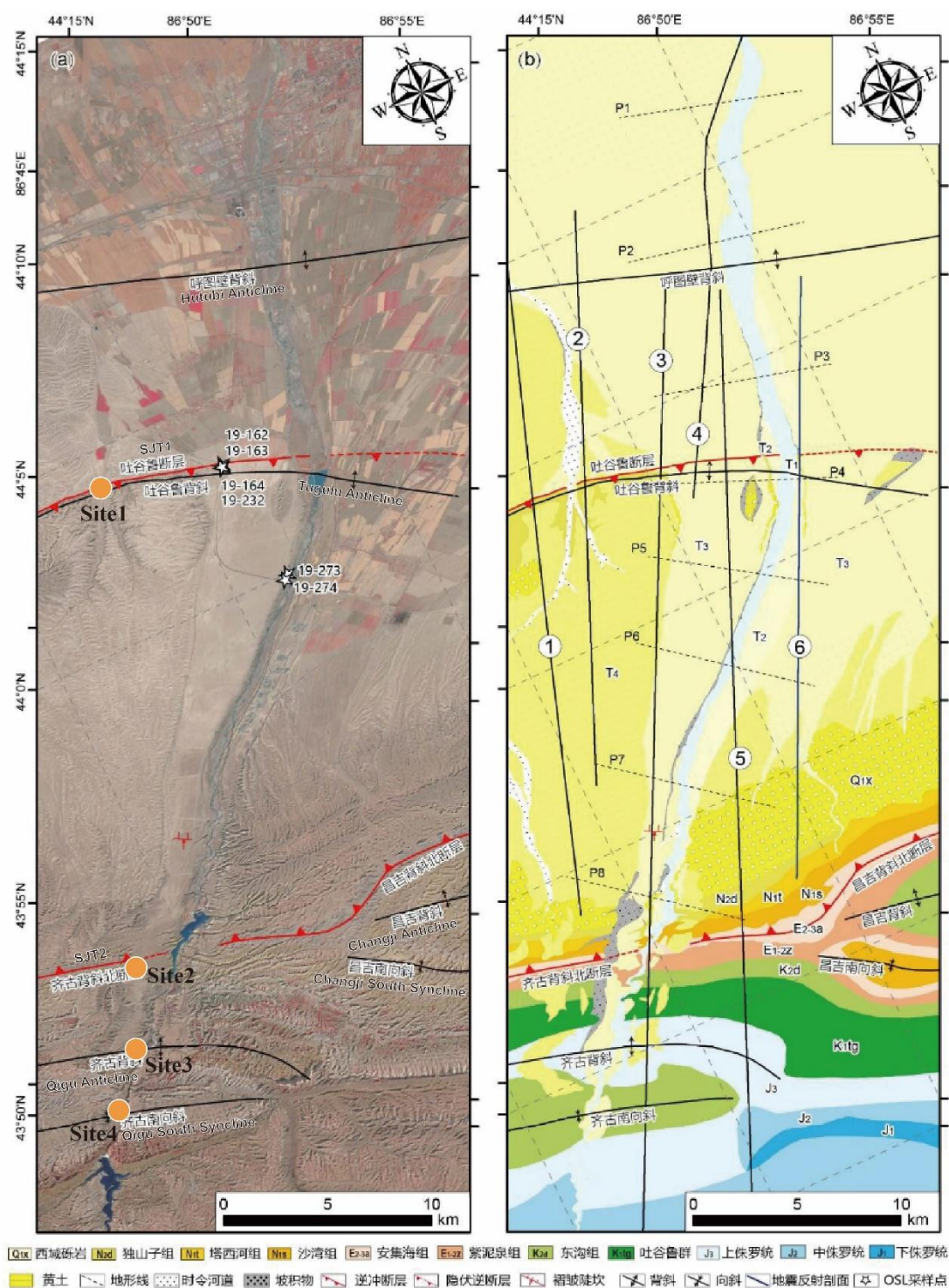


图 4 呼图壁河剖面遥感影像(a)及地质地貌图(b) (位置见图 2)

观察点 1: 吐谷鲁断层陡坎 (SJT1)

位置：呼图壁河西岸生产沟，吐谷鲁背斜段。

特征：吐谷鲁背斜在地表西起玛纳斯河，东至呼图壁河，长约 55 km，宽约 10 km，为近东西向展布的线性背斜（图 5）。在生产沟以西吐谷鲁背斜为深部吐谷鲁背斜和地表吐谷鲁背斜形成的叠加褶皱，SJT1 在吐谷鲁背斜的分段吐谷鲁断层作为突破断层，沿深部吐谷鲁背斜核部的安集海组出露地表，并在背斜南翼形成地表吐谷鲁背斜单斜构造。在生产沟以东，仅发育地表吐谷鲁背斜，吐谷鲁断层在背斜北翼出露。表现为三角剪切变形的褶皱陡坎。累积陡坎高 7-8 m，最大达 10.5 m。1906 年玛纳斯地震同震抬升量为 1.5-1.7 m，同震滑移量为 3.5-9.8 m。最新地表破裂呈“锯齿状”延伸，主要发育在陡坎中下部，局部伴有地堑。

观察要点：识别吐谷鲁断层，观察断层上盘地层的变形特征；识别生产沟东岸低阶地吐谷鲁断层陡坎。

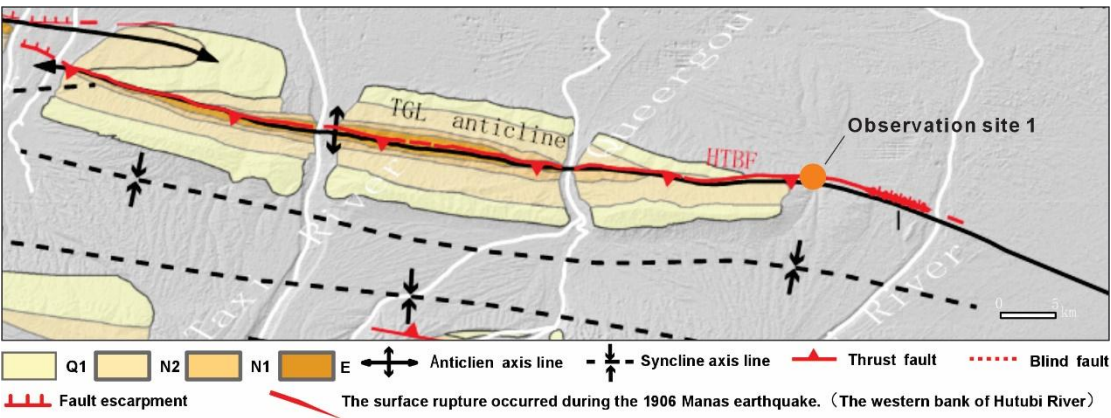


图 5 吐谷鲁背斜地质地貌图及观察点 1 位置



图 6 生产沟西岸吐谷鲁断层露头剖面



图 7 生产沟东岸低阶地吐谷鲁断层陡坎

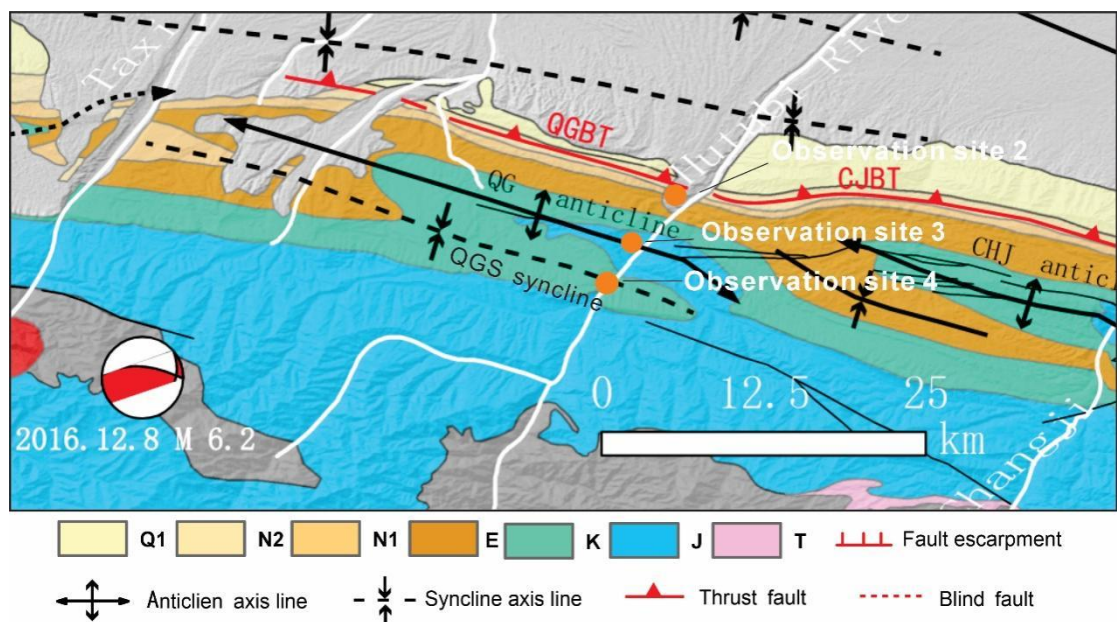


图 8 齐古褶皱带地质图及观察点 2、3、4 位置

观察点 2：齐古背斜北翼

位置：呼图壁河西岸，齐古背斜北翼。

特征：前寒武系古老结晶岩系构成了准噶尔盆地及周缘的基底，其埋藏在前陆盆地巨厚的沉积盖层之下。北天山前陆冲断带内主要沉积了中-新生界的地层，主要由以泥岩、粉砂岩、砂岩、砾岩等组成的湖泊相、河流相、冲积扇相等沉积为主（图 9）。

中生界地层包括三叠系的褐红色砾岩、砾砂岩和粗砂岩，厚度 650-800 米，它们超覆在石炭系-二叠系等不同地层之上。侏罗系是以陆相沉积为主的砂岩、砾岩，局部夹有煤层，厚度 ~2700m。白垩系由下统为吐谷鲁群（ K_{1tg} ）和上统东沟组

(K_{2d}) 组成，是一套以浅水湖泊相和沼泽相沉积为主的粉砂岩、砂岩、泥岩互层的地层。其中，吐谷鲁群是一套灰绿色泥岩、砂质泥岩、砂岩、粉砂岩组成的不均匀互层的厚层（680-2000m）的湖相地层，该套地层是一套重要的构造滑脱面，它的埋深较深，图 1c 中将其命名为 SJTL。

新生界地层在北天山前陆冲断带内古近系、新近系和第四系的胶结、半胶结和松散堆积物组成。古近系和新近系地层多为河流相和湖相沉积，表现为向上粗化序列的沉积特征，与白垩系吐谷鲁群呈平行不整合。它们的厚度在整个前陆盆地保持相对稳定（5000-8000 米厚）。

齐古背斜北翼古近系地层由老到新依次为紫泥泉子组（E_{1-2z}）、安集海河组（E_{2-3a}）和沙湾组（E_{3-N_{1s}}）。紫泥泉子组厚 400-550 米，角度不整合或平行不整合在白垩系东沟组之上，在北天山前陆冲断带西段厚度逐渐减薄。安集海河组为一套巨厚（厚度为 500-1200m）的灰绿、深灰色湖相泥岩沉积（图 2.2），该套地层是另一套重要的构造滑脱面，它的埋深较浅图 1c 中将其命名为 SJTU。

新近系自下而上依次为塔西河组（N_{1t}）和独山子组（N_{2d}），具有河泛滥平原沉积为特征。塔西河组为河湖相灰绿

色泥岩、砂质泥岩，100-300m 厚。它是北天山前陆冲断带的次要滑脱面，在局部区域调节构造变形。独山子组是一套巨厚（~2000m）的灰色砾岩和苍棕色粉砂岩互层地层。

第四系主要包含上更新统西域组（ Q_{1x} ）、中更新统乌苏群（ Q_{2w} ）和晚更新统新疆群（ Q_{3-4} ）以来的沉积。西域组岩性为灰色砾岩，厚度为 350-2000m，局部夹少量黄灰色砂岩和砂质砾岩。它与下伏独山子组渐变连续过渡沉积，表现为具有穿时性的生长地层特征。乌苏群通常高于现今的冲洪积相或河流相沉积，一般具有二元结构，上部为土黄色风成砂质黄土，下部为灰黑色河流相砾石层，与下伏所有地层呈角度不整合接触。

晚更新统新疆群为广布于北天山前陆地区的山前洪积扇、风成黄土等堆积物，最大厚度为 350m。它覆盖在所有地层之上，在活动构造变形的区域与其下的乌苏群呈不整合接触。

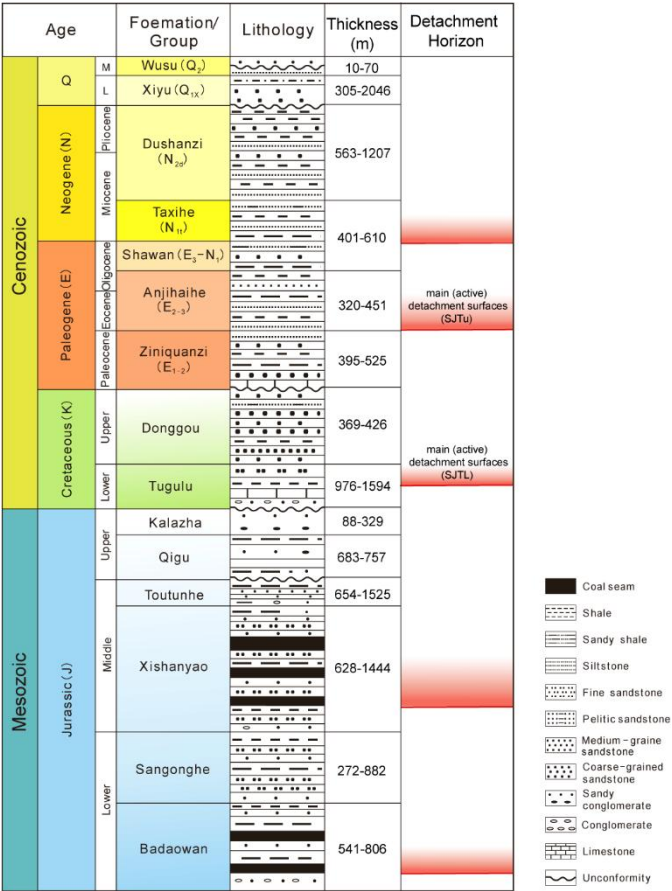


图 9 北天山前陆冲断带地层柱状图（姚远，2024）

观察要点：观察齐古背斜北翼新生代地层（沙湾组(E₃-N_{1s})至西域组(Qp_{1x}))。



图 10 齐古大桥北侧齐古背斜北翼新生代地层及反冲断层

观察点 3：齐古背斜核部

位置：呼图壁河西岸，齐古背斜核部。

特征：齐古逆断裂褶皱带位于准噶尔盆地南缘中段天山北麓，作为北天山山前重要的冲断构造，西起清水河鼻状构造，东与昌吉背斜呈右阶排列，南接天山山前，北临霍玛吐背斜，背斜轴面走向近 EW 向，长 17 km，宽 3 km。以齐古断褶带呼图壁河东侧剖面为例，从南往北依次发育齐古向斜和齐古背斜构造，侏罗系和白垩系地层构成褶皱的主体。在最南端的齐古南向斜南翼，喀拉扎组地层厚度约 160 m，与上覆清水河组呈不整合接触关系。在齐古南向斜北翼（即齐古背斜南翼），喀拉扎组地层缺失，清水河组以不整合接触关系叠覆于齐古组之上，在野外可见明显的削截现象。整个齐古背斜的核部因剥蚀而缺失，在背斜北翼同样可见清水河组直接不整合于齐古组之上，喀拉扎组地层完全缺失。齐古背斜两翼的倾角不同，其南翼缓而北翼陡，呈现不对称的褶皱形态，齐古背斜南翼地层倾角为 32° ，北翼地层倾角为 45° 。

观察要点：观察背斜核部地层的弯曲变形及背斜两翼上侏罗统齐古组(J_{3q})与下白垩统吐谷鲁群(K_{1t})的不整合接触关系；识别背斜核部发育的南倾正断层。

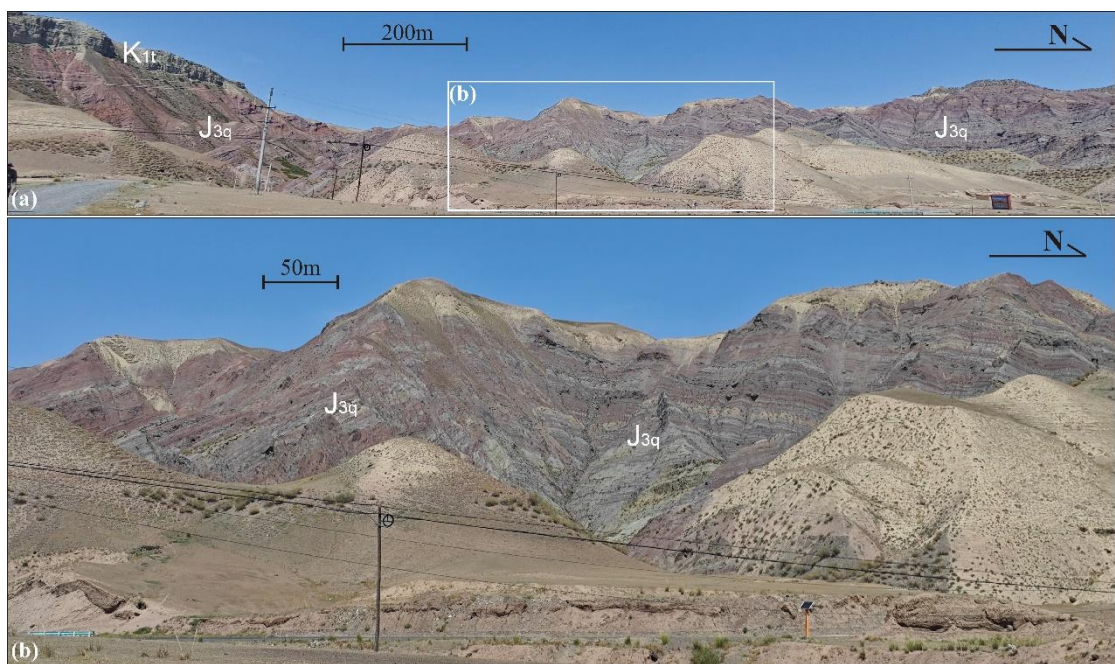


图 11 呼图壁河西岸齐古背斜核部



图 12 呼图壁河东岸齐古背斜核部

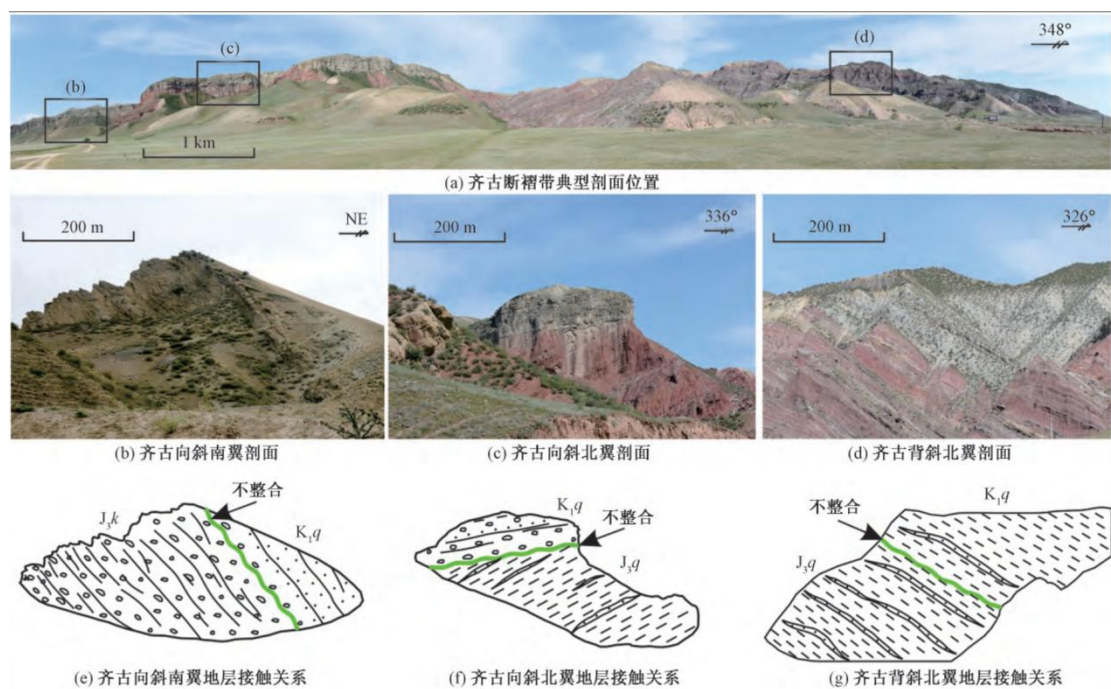


图 13 呼图壁河岸齐古断褶带特征图(周彦希等, 2021)

观察点 4：齐古南向斜核部

位置：呼图壁西岸，齐古南向斜核部。

特征：齐古南向斜地处准噶尔盆地南缘、齐古背斜南侧，褶皱出露主体地层为下白垩统吐谷鲁群，可见灰绿色、棕红色泥岩、砂岩和粉砂岩组成的不均匀互层。向斜岩层向下弯曲，核部为吐谷鲁群上部较新地层，两翼地层相向倾斜、时代相对变老，褶皱转折端圆滑。后期河流下切形成深切峡谷，完整出露褶皱剖面；峡谷顶部为宽阔平缓台面，发育多级河流阶地：褶皱形成后，新生代区域间歇性抬升，河流持续下切，古河谷

被抬升至峡谷上方，随之演变为图中连续展布的多级河流阶地。

观察要点：观察齐古南向斜核部地层的弯曲变形及向斜两翼地层；识别呼图壁河东岸河流阶地并观察阶地面变形特征。



图 14 呼图壁河东岸齐古南向斜核部及阶地地貌