

4. 水文地质构造

4 水文地质构造

4.1 调查方法

水文地质构造的解析是进行地下水资源评价和在其基础上进行地下水开发、利用规划的最基础的工作。

在本项目区中,从1950年代开始到2004年2月,由新疆地质矿产局、新疆生产建设兵团设计院、乌鲁木齐地质勘察科学技术开发公司、新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计院、新疆维吾尔自治区水文水资源局、玉门石油管理局等调查、研究机关进行了多次水文地质或相关调查。积累了100眼以上的钻孔柱状图资料、抽水试验结果和20点以上的物探调查,以及同位素在内的水质分析等资料,为本调查奠定了基础。

但是,迄今为止的调查多以水源地评价等特定的工作为目的而实施,受到调查目的和调查中采用的技术手段,以及调查工作量等方面的制约,仅依据现存资料不能完全掌握项目工作区——吐鲁番盆地的水文地质构造。

所以,在本项目中,水文地质调查设计包括以下4个主要部分。

1) 水文地质解析

收集所有现存的与本项目区水文地质有关的调查结果、报告书、图表类和其他资料,并进行分析整理。根据这些资料绘制吐鲁番盆地综合水文地质图、吐鲁番盆地水文地质断面图、吐鲁番盆地环境水文地球科学图、吐鲁番盆地第四纪地质图及断面图等,通过对现有资料的再分析和整理重新进行水文地质构造解析。

另外,收集航天飞机地形数据(SRTM)的3秒钟网丝(约90m)地形标高数据SPOT、LANDSAT等卫星画像的数据解析,把握吐鲁番盆地及其周围地区的地形、地质状况。

2) 物理探查

为了推测吐鲁番盆地内的基本深度分布及第四纪地层层相,根据TEM方法实施物探探查。实施TEM方法进行探查的探查点合计200个,我们把探查点均匀分布以掌握盆地的北部及南部的构造,探查点的深度为400~600米。

3) 钻探调查

在为了确认构成吐鲁番盆地的第四纪地层层相和基本深度分布的同时,实施了地下的地质层序及水文地质分布的钻探调查。进行钻探调查的地点在盆地北部有1处,在盆地南部有4处,共计5处,在盆地北部的地点进行了1次钻探调查,在盆地南部的各个地点各进行了2次钻探调查共计9次。调查深度最大400米,钻探调查共计9次深度1900米并在每个钻探调查地点的深层取出未受污染的地质层样品。

4) 抽水实验

为了取得吐鲁番盆地潜水层的分布和潜水层系数,以上述的钻探调查进行了抽水实验。抽水实验分为阶段抽水实验、连续抽水实验、重复抽水实验3类进行,并根据这些试验结果计算出透水系数和储水系数等参数。

4.2 地形与地质

4.2.1 地形

a. 吐鲁番—哈密盆地

新疆地处中国西北边陲，幅员辽阔，地形地貌多样，自然景观奇特。新疆东西长约 2,000km，南北宽 1,600 多 km，总面积 160 万 km^2 ，新疆地形地貌总的轮廓是“三山夹两盆”。北面是阿尔泰山，南面是昆仑山和喀喇昆仑山，横贯中部、把新疆分成南疆和北疆的是山体宽厚的天山山脉。天山和昆仑山之间并以帕米尔高原和阿尔泰山间构成塔里木盆地，面积为 53 万 km^2 ；天山和阿尔泰山之间是准噶尔盆地，面积为 22 万 km^2 。在绵延起伏的天山雪岭中，还有素称“新疆粮仓”的伊犁谷地，中国大陆最低的吐鲁番盆地以及哈密、焉耆、拜城、昭苏等盆地。喀喇昆仑山主峰——乔戈里峰，海拔 8,611m，为世界第二高峰；昆仑山主峰——木孜塔格峰，海拔 7,723m；帕米尔高原的公格尔峰、慕士塔格峰海拔均在 7,500m 以上；天山主峰——托木尔峰，海拔 7,453m；这些都是著名的山峰。

吐鲁番盆地是位于天山山脉东部的山间盆地。吐鲁番盆地在广义上还包括东边相邻的哈密盆地，也称作吐鲁番—哈密盆地（或者吐哈盆地）（参照图 4.2.1）。天山山脉呈东北东—西南西走向，从新疆维吾尔自治区向吉尔吉斯斯坦共和国延伸，全长 1,700 km。位于吐鲁番—哈密盆地周围的天山山脉，盆地北侧的山脉属于东天山山脉，西侧的山脉属于中天山山脉。吐鲁番—哈密盆地是东西走向的狭长的构造盆地，海拔 800 m 以下的等高线呈封闭状。吐鲁番—哈密盆地的大小用海拔 800 m 等高线分布看，东西方向约 500 km，南北方向最大约 120 km。

盆地内的海拔，在吐鲁番盆地一侧较低，海拔 0 m 以下的低地面积达 3,400 km^2 之多。吐鲁番盆地中部的艾丁湖是盆地的最低点，同时也是中国的最低点，其海拔高度为 -155 m。与此相对，哈密盆地不存在海拔 0 m 以下的低地，盆地内的最低海拔为约 45 m。

在吐鲁番—哈密盆地的北侧，有海拔 2,000~4,000 m、呈东西走向的东天山山脉连绵不断，其西北侧分布着准噶尔盆地。另一方面，吐鲁番—哈密盆地的南侧则分布着由西边分叉而来的中天山山脉，其高度为西高东低，从吐鲁番盆地东南部到哈密盆地南部是海拔 1,000~1,200 m 的丘陵地带。

吐鲁番—哈密盆地的西南有 2 个西北西—东南东走向的长轴状较小盆地，在中天山山脉的南侧分布着广漠的塔里木盆地。

b. 吐鲁番盆地集水域

在地形上，吐鲁番盆地和哈密盆地被吐鲁番盆地东部的库木塔格沙漠东边的鞍部（海拔约 295 m）分成两个盆地（参照图 4.2.2）。吐鲁番盆地的北缘是东天山山脉，西缘是中天山山脉，南缘是中天山山脉及其连绵的低山、丘陵。

吐鲁番盆地一般指盆地内的平原部分，其集水域如图 4.2.2 所示，北侧到达东天山山脉的主峰博格达山（海拔 5,445 m），西侧到达海拔 4,500 m 高的中天山山脉的主要山脉。在集水域的南缘海拔西高东低，在托克逊南边的却勒塔格山（海拔 2,591 m）以东是海拔 2,000 m 以下的低山、丘陵地带。

在吐鲁番盆地的中部，托克逊以北到吐鲁番以西分布着海拔 300~600 m 的盐山，吐鲁番北边到鄯善分布着火焰山（最高峰 851 m），两山都呈带状并呈东西走向。如此一来，吐鲁番盆地被盆地中部东西分布的盐山—火焰山分成了北盆地和南盆地。

吐鲁番盆地集水域如图 4.2.3 所示，共有 14 条常年河，这些河流的河水都流入盆地内。其中在盆地内自然流下最终到达南盆地艾丁湖的河水只有白杨河和阿拉沟，二者在托克

逊汇成托克逊河流入艾丁湖。另外，流入南盆地的常年河中，南边的有乌斯通沟、祖鲁木图沟、鱼尔沟、柯尔碱河。另一方面，流入北盆地的河流有 8 条，其中大河沿河、塔尔朗河、煤窑沟、黑沟、恰勒坎河共 5 条河流流入吐鲁番市地区。另外，鄯善县则有二唐沟、柯柯亚河、坎尔其河共 3 条河流。考察这 14 条常年河的流域分布发现，主要流经吐鲁番盆地西南侧天山山脉的河流有乌斯通沟~柯尔碱河共 5 条，主要流域在盆地北侧天山山脉的河流有白杨河~坎尔其河共 9 条。主要流域在盆地北侧天山山脉的河流除白杨河以外，在一般自然状态下都是在进入盆地数公里范围内渗入地下，河流消失。

c. 吐鲁番盆地

为了详细研究吐鲁番盆地内的地形，我们使用 SRTM-3 数据制作了盆地内的地形等高线分布图（图 4.2.4）。并且，在图 4.2.5 中标出吐鲁番盆地南北方向的地形剖面图。从这些图也可明显看出，北盆地比南盆地海拔高，而且地形倾斜度比较陡，而南盆地越往中部地形倾斜度越缓。

北盆地南北宽约 20 km，而东西长约 170 km，是东西走向的狭长的带状盆地。南北方向的宽度在吐鲁番北侧的火焰山西端最窄为约 13 km，之后逐渐变宽，在鄯善的附近达约 35 km。北盆地的面积包括盆地内的基岩分布区为约 4,900 km²。

北盆地的海拔为北高南低，地形倾斜度为 0.8-2%。与北部山地相接部分的海拔为 700-1,200 m，与南部火焰山相接部分的海拔为 300-500 m。沿着主要河流的方向盆地的扇状地比较发达，特别是大河沿河、塔尔朗河、煤窑沟扇状地比其他地区海拔高，呈隆起形状。与此相对，鄯善县的二唐沟、柯柯亚河、坎尔其河沿岸的各扇状地虽然地形倾斜较缓，但扇状地的面积比吐鲁番市主要河流的扇状地面积大。与北盆地南部火焰山相接的地区中，胜金口、连木沁等地的下游由于侵蚀火焰山的侵蚀性河谷比较发达所以地形呈盆状，特别是在胜金口特征显著。另外，北盆地的东部，在鄯善市区北部等几处可以见到由基岩组成的孤立残丘。

划分北盆地和南盆地的盐山和火焰山，大体上呈东西走向的带状分布，但仔细观察，二者都是弯曲分布，在吐鲁番附近盐山和火焰山并不连续。并且，在鄯善附近火焰山也不连续。吐鲁番附近的盐山和火焰山的不连续部分宽约 10 km，北盆地和南盆地在此直接相连。

严密地说，南盆地以艾丁湖为中心，北到盐山—火焰山，东到库木塔格沙漠，西北边缘则以分布在托克逊西北约 30 km 处的东北—西南走向的基岩裸露区为界。南盆地南北宽约 40 km，东西长约 180 km，与北盆地一样是东西走向的狭长盆地，但南北方向的最大宽度在吐鲁番附近为约 50 km，比北盆地要宽。南盆地的面积包括盆地内南部的基岩分布区为约 7,100 km²。

从南盆地中部到东部的大部分都是海拔 0 m 以下的低地，地形等高线以盆地内最低点艾丁湖为中心呈环状分布。地形倾斜度在南盆地周围为 2% 左右，在中部为 1% 前后，在艾丁湖周围为 0.4%，逐渐变小。南盆地西部的海拔为 800~1,500 m，南部在艾丁湖西南为 400 m 左右，在艾丁湖东南变为 0 m 以下。另外，托克逊、吐鲁番、火焰山南缘、与库木塔格沙漠交界处等地的海拔为约 0 m。海拔 0 m 以下的低地面积为约 3450 km²，海拔 -100 m 以下的面积为约 1450 km²。与北盆地相比南盆地扇状地不太发达，只在西南部和西北部有小规模的扇状地。

位于吐鲁番盆地东部的库木塔格沙漠，在广义上也可以包含在南盆地中，却是具有独特地形特征的沙漠。库木塔格沙漠东西宽约 60 km，南北长约 40 km，面积约 1,980 km²，呈东北东—西南西走向。在东部到中部地区西北—东南走向的沙丘阵比较发达，在西部沙丘阵的走向逐渐偏向西，由南北变为东北东—西南西走向，在南部沙丘阵则呈不规则分布。库木塔格沙漠具有比周围地形海拔高的特征，高出 100~200 m，沙漠内的海拔东部较高，为 500~600 m，西部为 100~400 m。并且，在库木塔格沙漠的中北部分布着

东西约 15 km、南北约 6 km 的基岩裸露区，呈东北东 - 西南西走向。

托克逊西北的阿拉沟左岸分布着东北东 - 西南西走向的基岩，基岩的西北边有扇状盆地，被基岩与南盆地分隔开。这个盆地在广义上也可以包含在南盆地中，但从水文地质学观点看最好与南盆地区别对待。

d. 接峰面和切谷面

用 SRTM-3 的约 90 m 地形海拔数据作成的 8 km 栅格的接峰面图和切谷面图如图 4.2.6 所示。制作接峰面图的目的是为了再现侵蚀前的原地形，为了把握吐鲁番盆地周围的侵蚀前原地貌分布，本调查选用较大的 8 km 栅格抽出最高点制作了接峰面图。根据此图，吐鲁番盆地周围的基岩山地被分成数个板块。在盆地北侧的东天山山脉有比周围高出一截的博格达山板块，同时在盆地西部北侧的东天山山脉，有东西走向的原地貌山脊。另一方面，盆地西侧的中天山山脉被分成北侧和南侧两大板块。

吐鲁番盆地周围的切谷面图也与接峰面图一样使用了 8 km 栅格，取出各栅格的最低海拔点制作成了切谷面图。众所周知，切谷面图显示的形状非常类似自然状态时的地下水位分布。考察所制作的峰顶高程图发现，在 8 km 栅格内没有盆地内的火焰山、盐山的高度，而谷底高程海拔则从周围山地向盆地中心平滑下降。并且，在盆地北侧、西南侧等地，谷底高程的拐点作直线分布，由此推断此处存在比较大的地质构造线。

图 4.2.6 的下半部分是吐鲁番盆地东部达朗坎附近的南北剖面图，我们推测，沿这一剖面的自然状态下的地下水位分布与谷底高程的分布相一致，在北盆地高而在南盆地低。

4.2.2 地质

有关吐鲁番—哈密盆地周围广阔的地质分布，如图 4.2.7 所示，平面图和断面图用 Shao et al. (1999) 作成，该地质平面图主要反映的是吐-哈盆地中期中生代以前的地质分布情况。在吐鲁番—哈密盆地南部，寒武纪的结晶片岩类岩石由东向西呈带状分布；在盆地北部，上古生界的海成碎屑物和火山喷出物以断层为界，围绕吐-哈盆地分布。盆地中堆积了从上二叠纪到第四纪的厚度达到 7,000 米以上的地层 (L. Shao et al. 1999)。

吐鲁番盆地及其周围地区的地质层序表如表 4.2.1 所示。另外，表现第四纪的地层分布的地质平面图及地质断面图如图 4.2.8 及图 4.2.9 所示。

盆地内前第四纪地质明显受大地构造所控制，出露有志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系和第三系地层。元古代末期，全区处于剥蚀阶段，因而缺失震旦系、寒武系、奥陶系的沉积地层。由老到新，从高山到平原，均呈近东西向弧形带分布。盆地以北山区以石炭系海相火山碎屑沉积岩为主，构成博格达复背斜的核心；盆地以南山丘区以志留系、泥盆系岩类构成却勒塔格复背斜核心。侏罗系、第三系红色膏岩相构造广泛出露于南北区的山麓和火焰山一带隆起带，盆地基地普遍分布在第三系地层，除鄯善县北零星出漏外，埋伏于盆地各类第四系松散沉积层之下。

在吐鲁番盆地内部，最近得到了石油探矿等成果，以上述为依据，可以得出以下结论，盆地堆积的地层为二叠纪以上地层，地表露出的为侏罗纪地层。盆地内的侏罗纪地层，主要分布在火焰山南部，构成了火焰山的主要地层。侏罗纪以外新的地层白垩纪及第三纪的地层只分布于火焰山的北部。第三纪的红色石膏岩在吐鲁番盆地南北部的山地及火焰山分布较多。第四纪的堆积地层主要为未凝固的砂砾质堆积物，除了在盆地内部平原广泛分布外，同时分布于周围山地的谷部

煤层主要分布于吐鲁番盆地的侏罗纪地层，该地层被认为是孕育了吐鲁番盆地内石油

与天然气的地层。另一方面，从水文地质学的观点来看，地下水主要存在于第四纪的砂—砂砾层里，吐鲁番盆地的水文地质基础大部分存在于第三纪地层中。

第三纪的岩相，以火焰山与盐山等地表出露的石膏质泥岩与粉砂质岩作主体。根据石油试钻有关的资料显示，不仅是第三纪泥岩等细粒堆积物，砂岩和砾岩等也分布于吐鲁番盆地中。

表 4.2.1 吐鲁番盆地地层表

界	系	统	代号	分布	厚度(米)	岩性及接触关系
新生界	第四系		Q	南北盆地及河谷、山麓	厚度达1,000	详见第四系地质
	第三系	新	N	北盆地山前白杨河出山口之南、西、西北及火焰山、盐山隆起带	427—1,358	桔红、土黄色混岩、粉砂岩及砾岩夹有薄层石膏，白杨河一带为红色陆相碎屑岩
		老	E	白杨河东侧、塔朗、煤窑沟、二塘沟两侧山前地带，火焰山北侧却勒塔格山前	120—402	却勒塔格山前为红色砂砾岩、粘土质粉砂岩，其他地方为棕红、桔红、灰绿、土黄杂色砂质泥岩、砾岩
中生界	白垩系		K	火焰山	最大厚度710	棕红、桔红、绿色砂岩、泥岩、粉砂岩，属内陆相碎屑沉积岩，页状层理发育，并夹有石膏细脉
	侏罗系		J	科牙依之北、西、却勒塔格山、博格达山前，中部火焰山南坡	457—1,404	为黄绿、灰绿、黄褐、灰紫、灰黄等杂色砂岩、泥岩、粉砂岩、砾岩、炭质页岩夹煤层，科牙依、煤窑沟地区，煤层13层之多，最大厚度11.25米，煤质好，却勒塔格山前含煤极薄，无开采价值
	三叠系		T	大河沿子河出山口之东、科牙依之北	650	砖红色泥质砂岩、红褐色钙质砂岩、砾岩，科牙依一带为灰绿色、紫红色泥岩、粉砂岩
上古生界	二叠系		P	却勒塔格山大热泉子一带（呈北西—南东向条带状）		厚层、中厚层状紫红色砾岩，中—粗粒复矿砂岩，灰绿色长石硬砂岩，钙质、泥质粉砂岩
中生界	石炭系	上统	C ₃	大河沿子河以东山区	5,788	灰绿色、紫红色辉石安山粉岩，粉岩、凝灰岩凝灰质砂岩粉砂岩
		中统	C ₂	白杨河（山区）两岸、科牙依以北、西及却勒塔格山北坡	1,686	凝灰质粉砂岩、凝灰硅质岩、灰岩透镜体，艾丁湖之南博尔托乌拉山北坡为黄色、黄褐色、灰绿色中粗复矿砂岩、细砂岩、粉砂岩、薄层灰岩
		下统	C ₁	却勒塔格山中中部	石炭系总厚上万	灰绿色中—酸性喷发岩、斜长粉岩、安山粉岩、凝灰岩、凝灰砾岩、凝灰质粉砂岩、石灰岩
	泥盆系		D	却勒塔格山	上万	暗灰色、灰色绢云母片岩、钙质片岩、大理岩、灰岩、粉砂质泥岩、粉砂岩（受侵入破坏严重）
	志留系		S	却勒塔格山	数千	灰绿色泥岩、粉砂岩、绿泥石片岩、长石石英砂岩、大理岩、凝灰岩、凝灰砾岩
下古生界	元古界		P _{ix}	却勒塔格山	4,008	为变质岩，以黑云母、斜长石、角闪石、石英等组成的结晶片岩和片麻岩，鳞层状或不等粒花岗变晶结构，片麻岩，片状、变斑状、眼球状构造，结晶体平行排列明显，与下伏地层不整合接触

4.2.3 第四纪地质

在吐鲁番盆地中，除了南北部山区、火焰山以及鄯善北部个别区域以外，广泛分布着第四系沉积物。

第四系沉积物由山前向盆地中心呈环带状分布，在成因上呈现洪积—冲洪积—冲积—冲湖积—湖积—沼泽沉积—化学沉积及风积；在岩性上为卵石—砾石—砂砾石—各种砂层夹土层—各种土层夹砂层—盐沼土—沙漠砂；反映的地段形态表现为山前倾斜砾质平原—土质平原—湖积平原及风成沙漠。图 4.2.8为吐鲁番盆地第四纪地质图。

北盆地沉积着数十米至一千米的第四系卵砾石、砂砾石、砂及少量粘性土层，最大沉积厚度出现于北盆地中部。北盆地大部分地区的第四系沉积厚度大于 100m，由东向西由于不均匀的地质构造活动分为 3 个沉积中心。西部煤窑沟以南最大厚度大于 1,000 米；中部连木沁北东最大厚度大于 700 米；东部以鄯善火车站为中心，最大厚度大于 600 米。赋存着丰富的潜水，水位埋深大于 30 米，最深大于 200 米。该区潜水目前还很少为人们所利用。因为北盆地大部分的第四系沉积物中缺失粘土层，所以形成单一的潜水含水层。在较大的地面坡度和较厚的第四系沉积物的地形和地层条件下，水位埋深多大于 30 米，最深达到 300 米。

该区位于火焰山北侧一线。由第四系冲洪积卵砾石、砂砾石、砂及粘性土层组成，沉积厚度 50-500 米。储存着丰富的潜水、承压力和小面积自流水。自流水主要分布于亚尔湖和胜金台，在七克台南部亦有少量自流水分布。潜水、承压水、自流水埋藏浅、水质好，水量丰富，沿火焰山北侧各沟口有大量泉水溢出。

南盆地是一个以艾丁湖为中心的封闭盆地。沉积着数十米厚的第四系卵砾石、砂砾石、砂和粘性土层，艾丁湖区沉积有湖相盐渍土和芒硝盐层。南盆地的第四系沉积物中含有数层粘土层，将含水层分为不同的含水层单元，既有潜水含水层也有承压水含水层。因为承压水含水层多为深层含水层，所以难以形成泉而出露于地表。但是，根据机井调查（水资源利用现状调查的）和钻探调查的结果整理而成的自流井分布位置分布图可以看出承压含水层中的自流含水层多分布于南盆地的西部和中部。

4.2.4 地质构造

吐鲁番盆地为北天山褶皱带东段山间构造断陷盆地，具有地槽型封闭自流盆地特征，有较厚的中生界覆盖层，褶皱强烈，构造断裂较多。

在大地构造单元上，属北天山地槽褶皱带范畴，包括博格达复背斜，吐鲁番山间断陷盆地及却勒塔格复背斜等三级构造区表 4.2.2为吐鲁番盆地的地质构造概要，图 4.2.10为吐鲁番盆地的地质构造图。另外，图 4.2.11为吐鲁番盆地周围的地质构造发达模式图（张、2000）。

地质年代早期—华力西构造期，由于南北向构造主应力作用下，形成博格达复背斜山地和却勒塔格复背斜山丘区，同时终止海相沉积，吐鲁番盆地的“雏形”就已形成。燕山期使侏罗系以前地层隆起，扩大了山体规模和范围，形成陆地；白垩纪时期遭受强烈剥蚀，老第三系则形成内陆湖相沉积；强烈喜马拉雅造山运动再次使博格达山迅速上升，并在下降增强的山间盆地及山前拗陷内沉积了新第三系地层。在燕山、喜山期，盆地整体却持续沉降，并由于南北向大地构造应力作用，产生了一些断裂、褶皱及次一级的断陷凹地和火焰山背斜隆起。这些构造形迹和剧强的分异运动后形成天山基本形态，为盆地轮廓最终形成定了格局。

第四系以来，主要服从于各时期古气候和古地理环境的变化，受控于新构造运动，最大特点是具有受地壳上升和下降所控制的轮回性变化，形成各种类型的地貌形态和沉积

物。

以火焰山背斜隆起，雁木西背斜隆起为主，形成的东西向延伸的火焰山—盐山将盆地分为南北两部分。依据实测阶地资料及地层综合对比分析，由于褶皱断块上升，在燕山、喜山期的构造运动中，火焰山上升高度 400—500 米，在新构造运动时期上升高度约 270 米左右。盐山及其他丘陵地带，其隆起高度 50—200 米，库姆塔格一带的丘陵，在中更新世后期气候转暖蒸发加强，由于地形的隆起是分力受阻，在西北风盛行和有沙源的条件下，停积了大量风积沙，逐渐演变成了今天的沙漠景观。

在火焰山—盐山以北的盆地中（北盆地），由于新构造运动表现为差异性升降，一些断陷凹地持续下降，而其边缘和博格达山前地带则呈缓慢抬升状态，早新世、中新世形成的松散堆积，受其影响，只出露于丘陵顶部和高阶地上，更新世早期，气候趋于寒冷，三区上升，水文网发育，降水和冰雪融水增多，发源于博格达山的各条河流洪水等水量增大，携带大量的侵蚀碎屑物质被搬运到盆地中堆积，形成了广泛的冲洪积平原。其后，在博格达山前各大河谷的谷口都形成了较大的冲洪积扇，在山前各洪沟前还形成有一系列小洪积锥。更新世晚期，由于发生了第四系以来第二次较强烈的新构造运动，在博格达山麓和山前全面隆起，使北盆地成为北高南低的倾斜平原，这一变化使各大河流的水动力条件发生了改变，水利坡度增大，水流侵蚀力和搬运力增强，在北盆地中不再以堆积作用为主，而是切割形成了一系列近南北向的有较固定河道的平原河流。河流切穿火焰山、盐山，将大量侵蚀产物运至南盆地堆积。从更新世晚期至现代，北盆地只是在河床和火焰山山前有部分松散堆积，形成谷地堆积和细土带。

火焰山—盐山以南的盆地（南盆地），新构造运动继承了喜山期构造运动，表现为整体缓慢下降。第四纪时期，盆地为发源于山区的各条河流及突发性洪水的最终汇聚地，发育形成了广阔的冲洪积平原和山前地带的冲洪积扇和洪积锥。随着全球性气候逐渐干旱，河流注入盆地的水量逐渐减少，而蒸发水量大于补给的水量，盆地沉降速度大于搬运堆积速度，因此形成海拔高度-155 米的艾丁湖为中心的低盆地。在这样的自然环境条件下，即以艾丁湖和古南湖为沉降中心的地表地下径流场，到此，吐鲁番盆地地貌轮廓才基本形成。在漫长的盆地地质形成过程中，盆地除了堆积河、洪水搬运来的物质，形成戈壁平原和绿洲平原外，近一万年的全新世，在湖水趋于干涸的湖盆地带，演变接受了湖水沉积、化学沉积和现代沼泽沉积，从而形成了湖积盐渍平原，并且发生了湖泊退缩，河流改道等变迁。

现代盆地的气候变得更极端干旱，以及近代人类工程—经济活动，盆地面貌仍在深刻变化着。

表 4.2.2 构造简表

二级构造单元	三级构造单元	延伸方向	断裂 褶皱	组成岩性时代及产状
北天山 地槽褶皱带	博格达 复背斜	东西向延伸	褶皱	由中下石炭统地层所组成, 后期的侵入岩活动频繁, 使复背斜产状零乱
		近东西向	断裂	山前大断裂为压性, 压扭性逆断裂, 高角度50°—60°北盘为上盘 ()
	吐鲁番 坳陷	近东西向	褶皱	(1) 火焰山背斜,核部为侏罗系地层,翼部由白垩系及第三系组成,两翼不对称,北陡南缓,南翼有倒转 (2) 盐山雁木西背斜,核翼都由第三系组成,两翼基本对称,南翼稍陡 (3) 七泉湖背斜,核翼为侏罗系地层,两翼对称,倾角45°,背斜北为一向斜,由第三系地层组成,对称倾角35°—45° (4) 二塘沟背斜,由石炭系C ₃ 组成,两翼对称,倾角35°
				断裂
	却勒塔 复背斜	285°	褶皱	却勒塔格复背斜,轴部地层为元古界志留系变质岩,两翼为石炭系浅海相碎屑岩组成,倾角60°—70°
		275° 280°—275° 275°—280°	断裂	(1) 桑树园子断裂,为压性、压扭性的逆断裂,是全区最早的纵断裂,切割最新的地层是石炭系,断层面倾向西南,倾角60°—70°() (2) 拱拜系断裂,也为逆断裂,断层面倾向北东,倾角 45°—75°() (3) 苏巴什断裂,为逆断裂,断层面多倾向西南,倾角60°() 上述三大断层基本平行,属纵断层(压性,压扭性)也有东西方向延伸的正断层和横向断层—性质为平推断层

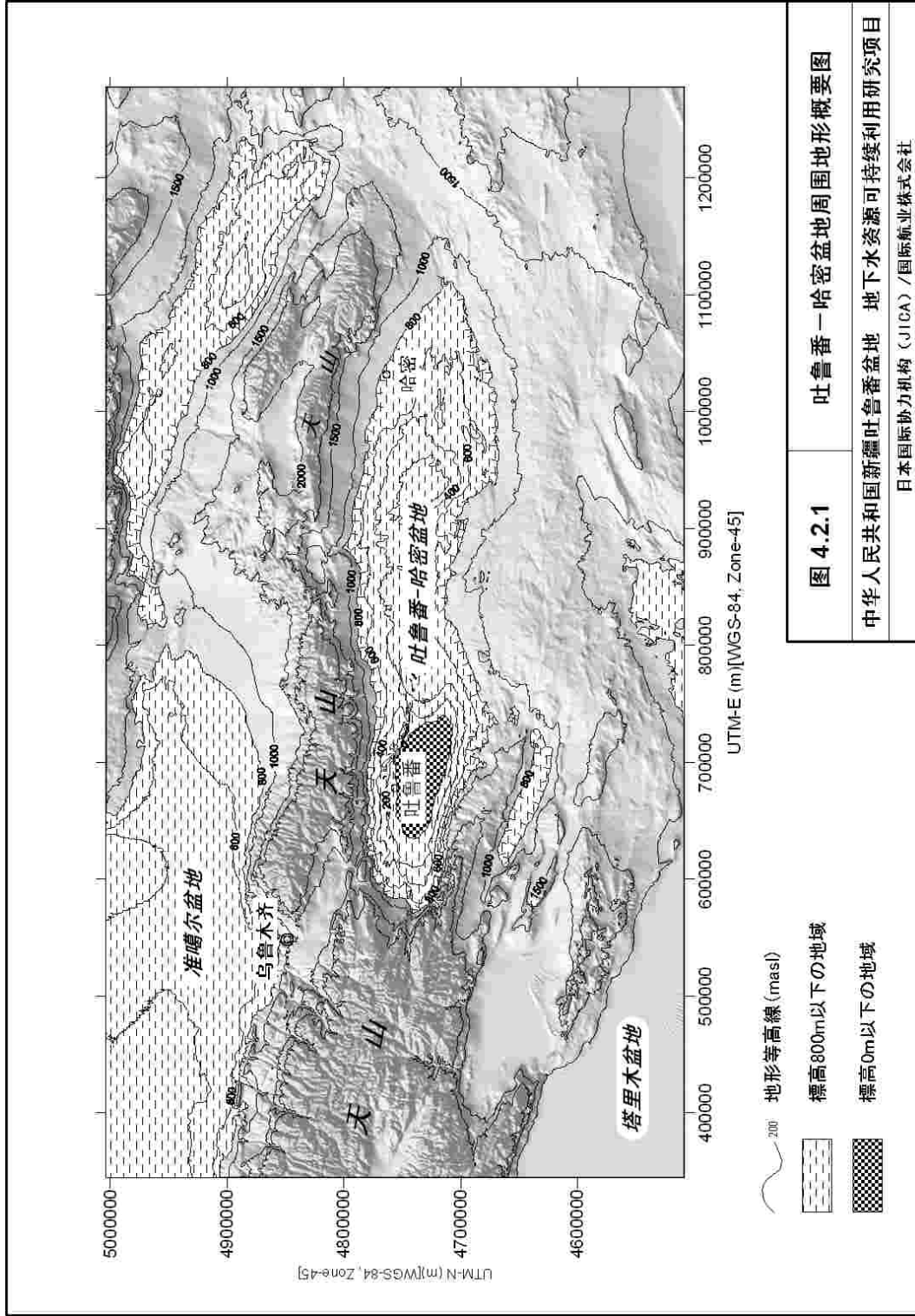
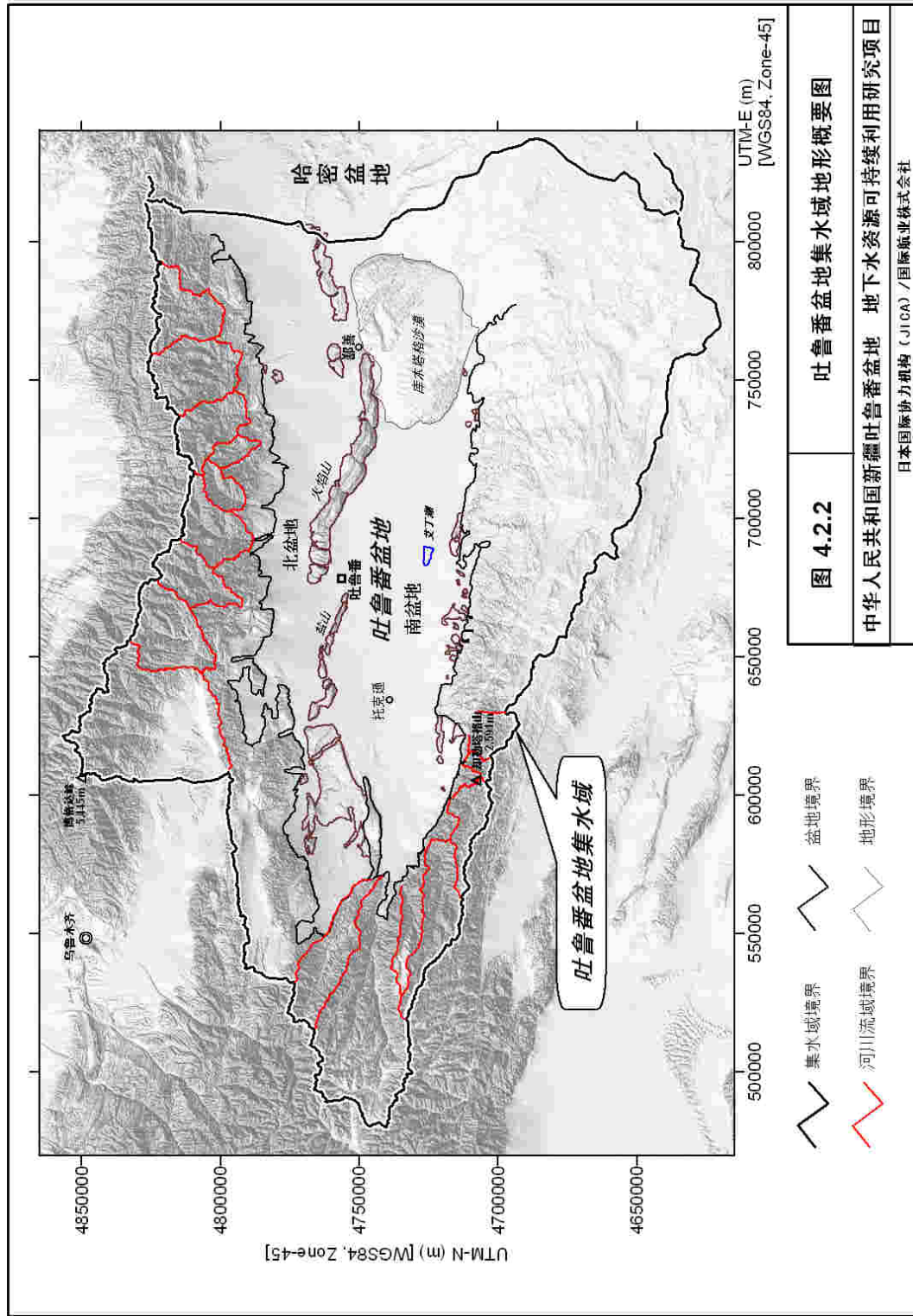
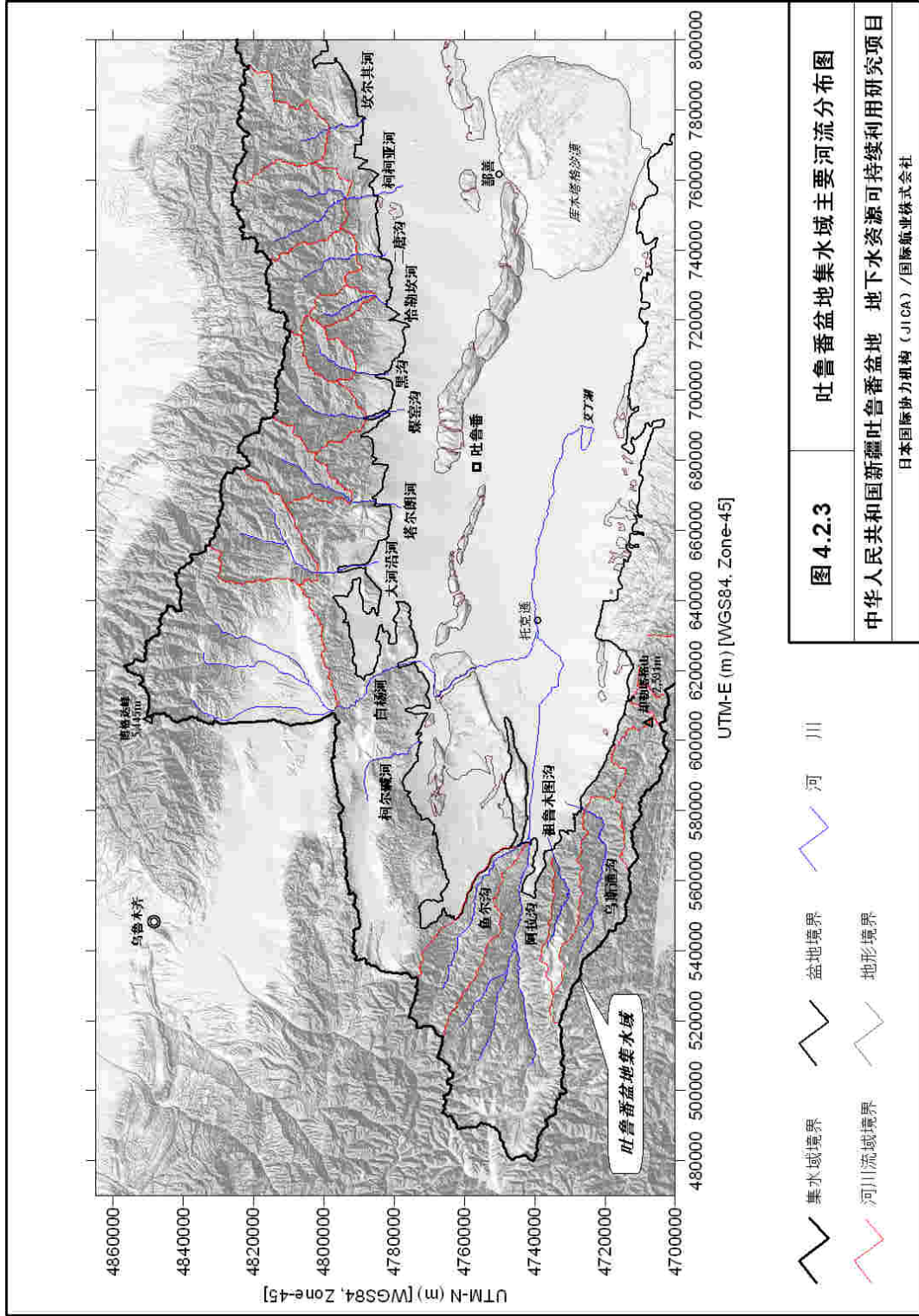


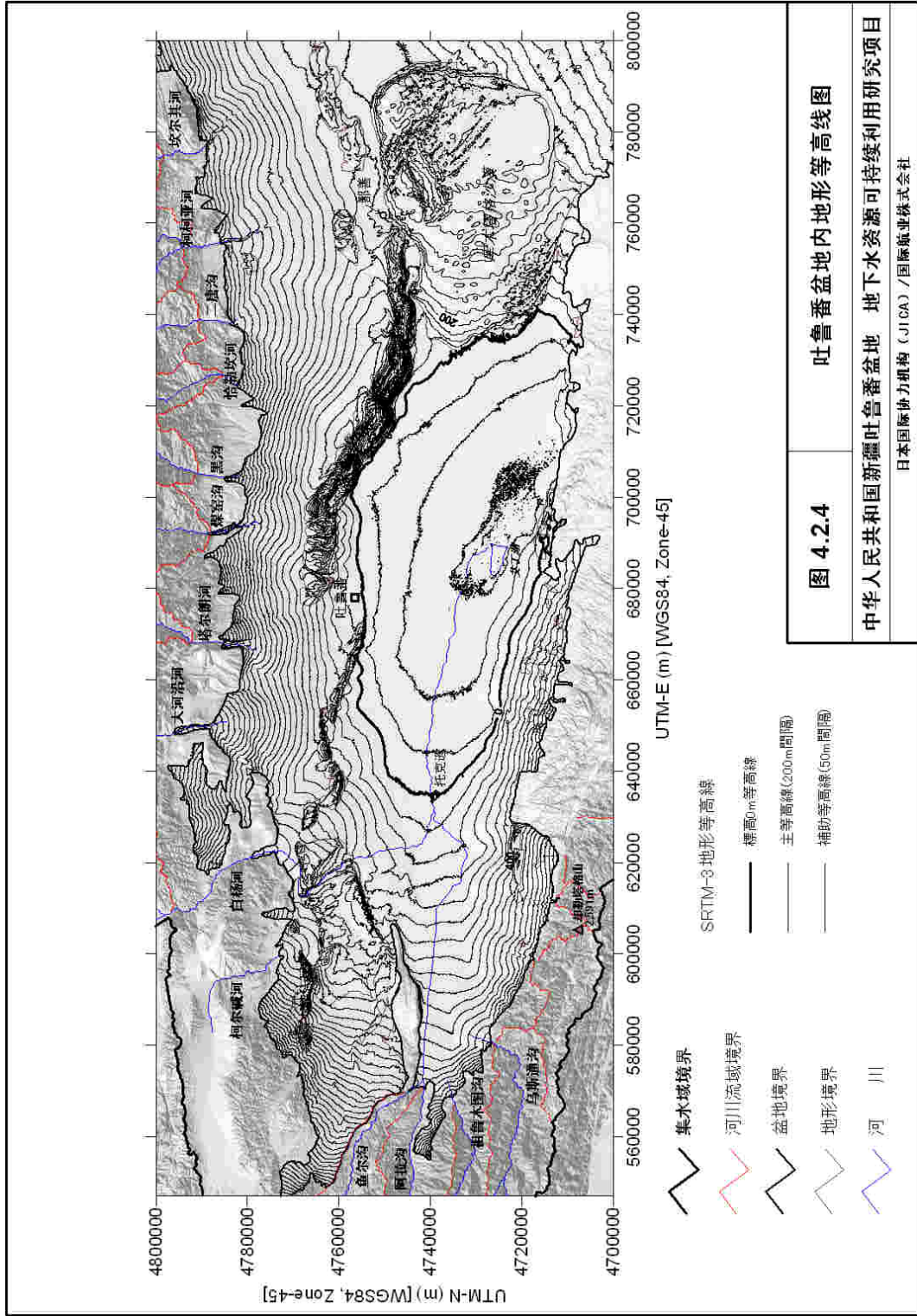
图 4.2.1 吐鲁番-哈密盆地周围地形概要图

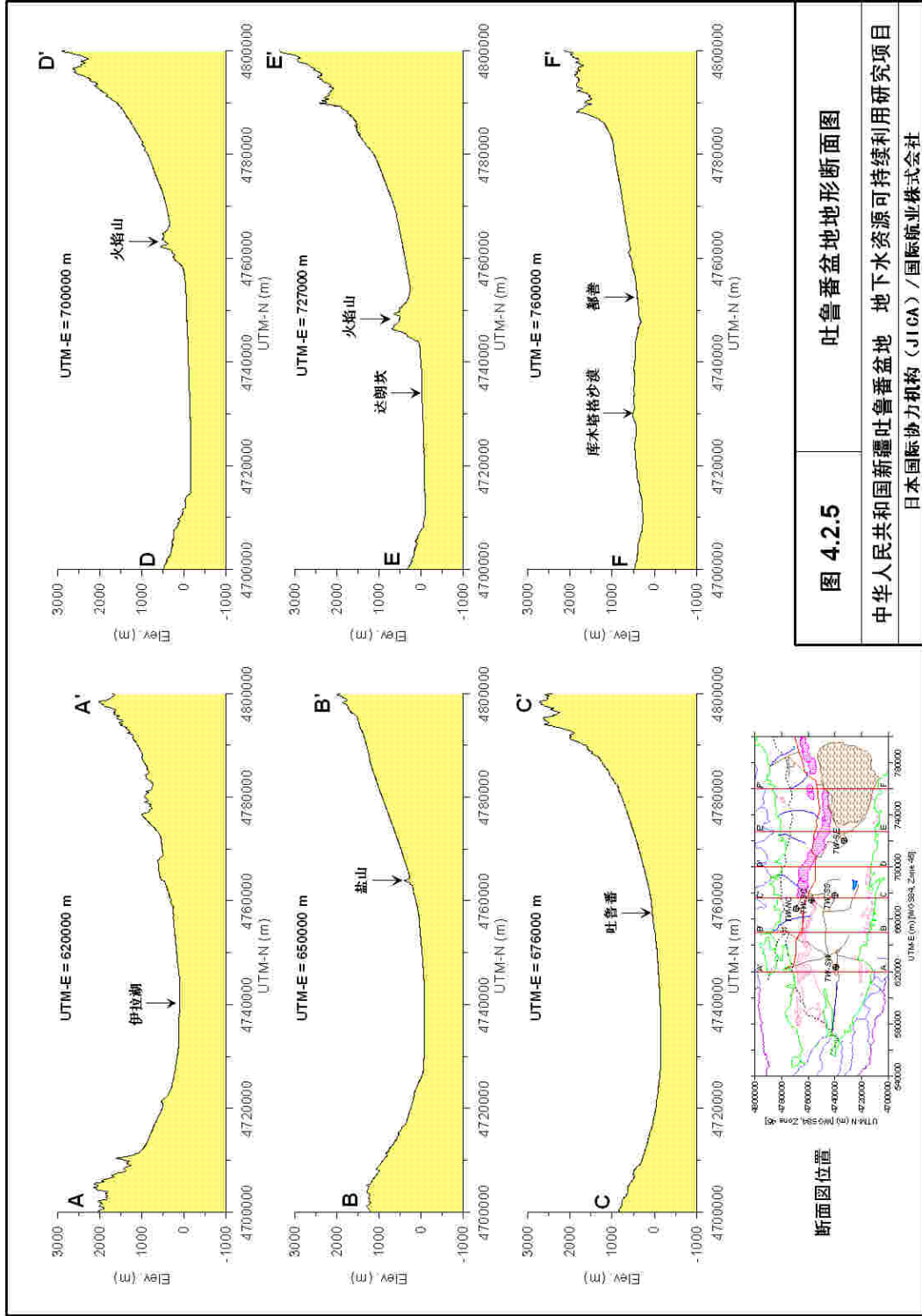
中华人民共和国新疆吐鲁番盆地 地下水资源可持续利用研究项目

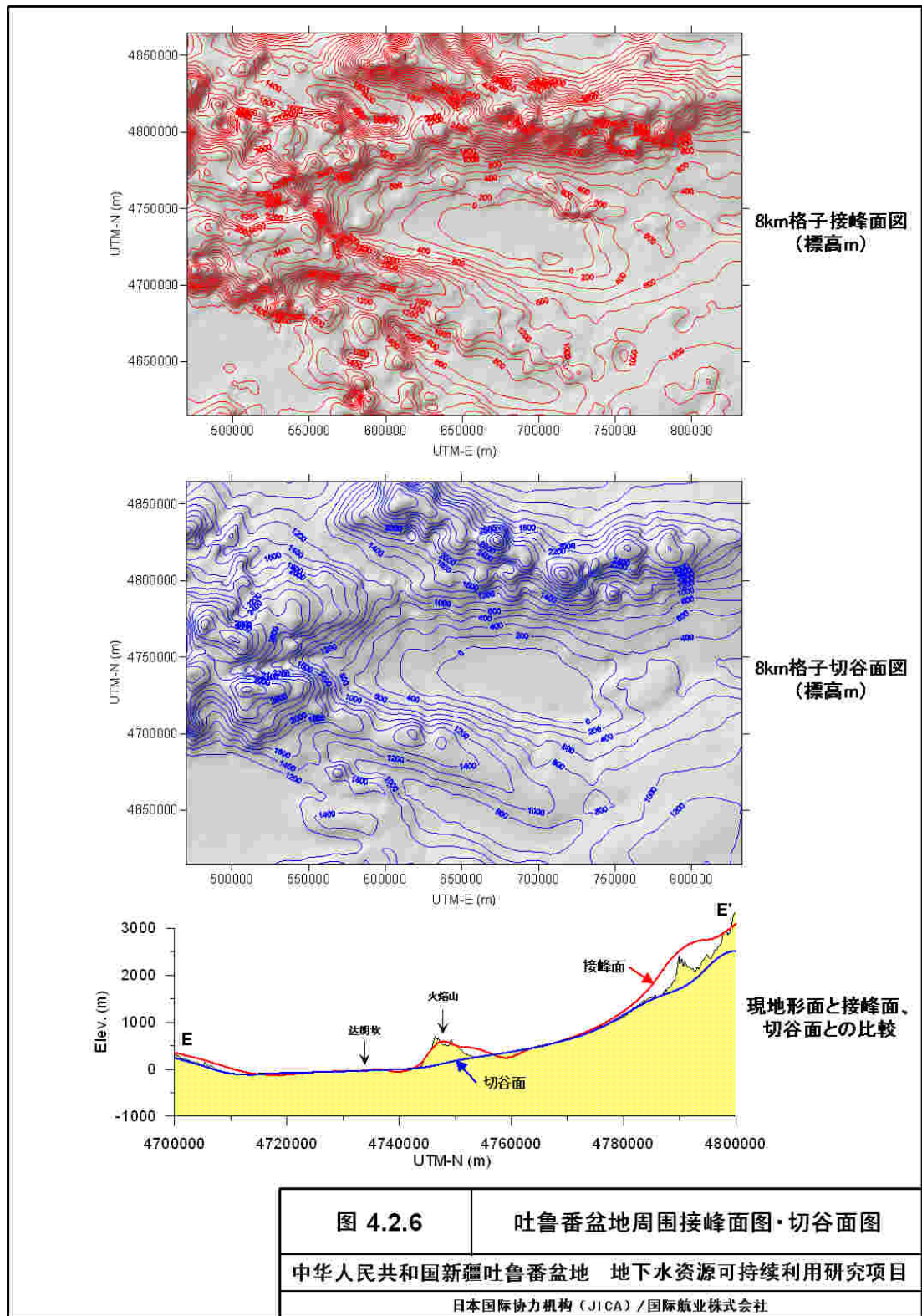
日本国际协力机构 (JICA) / 国际航业株式会社

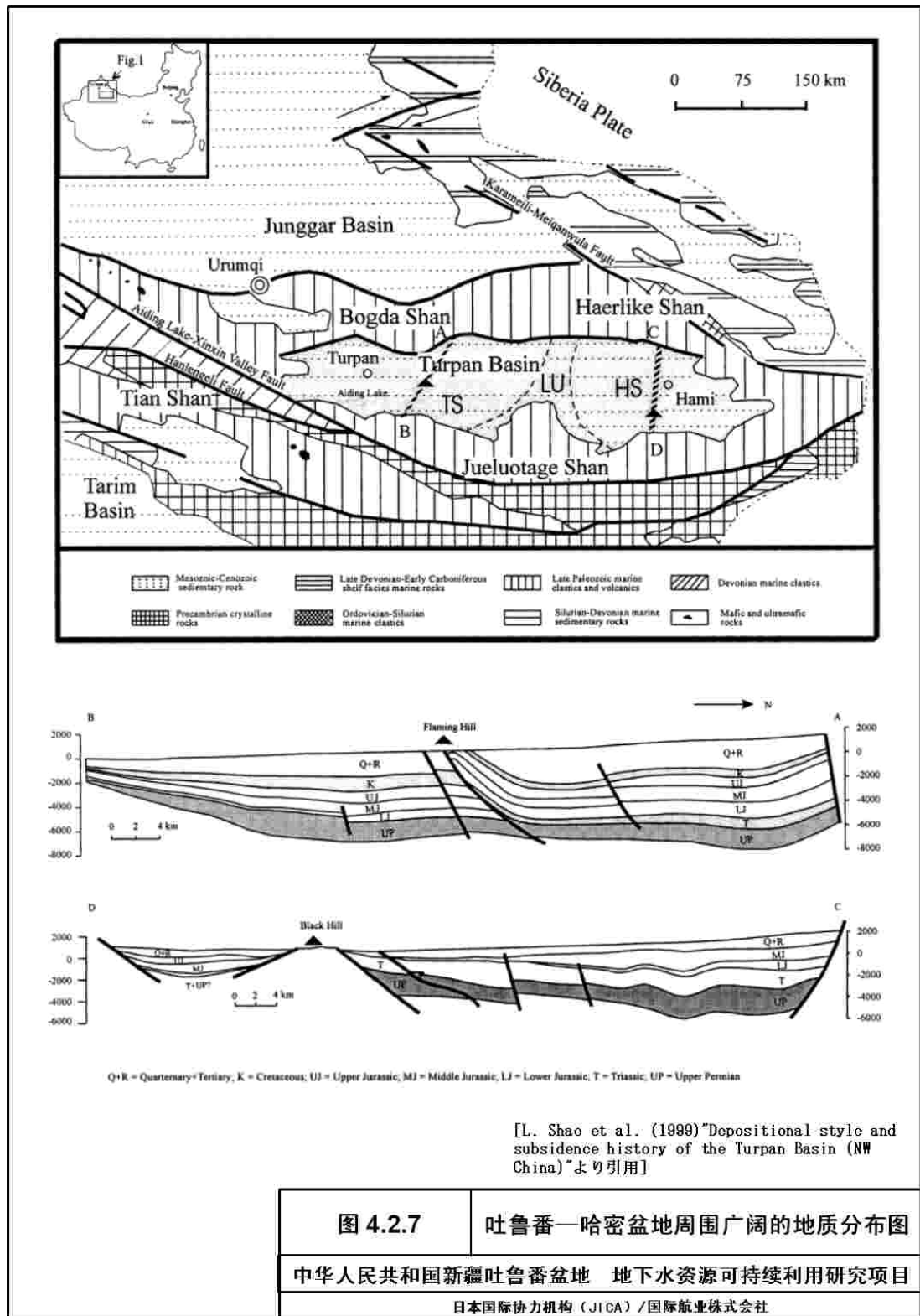


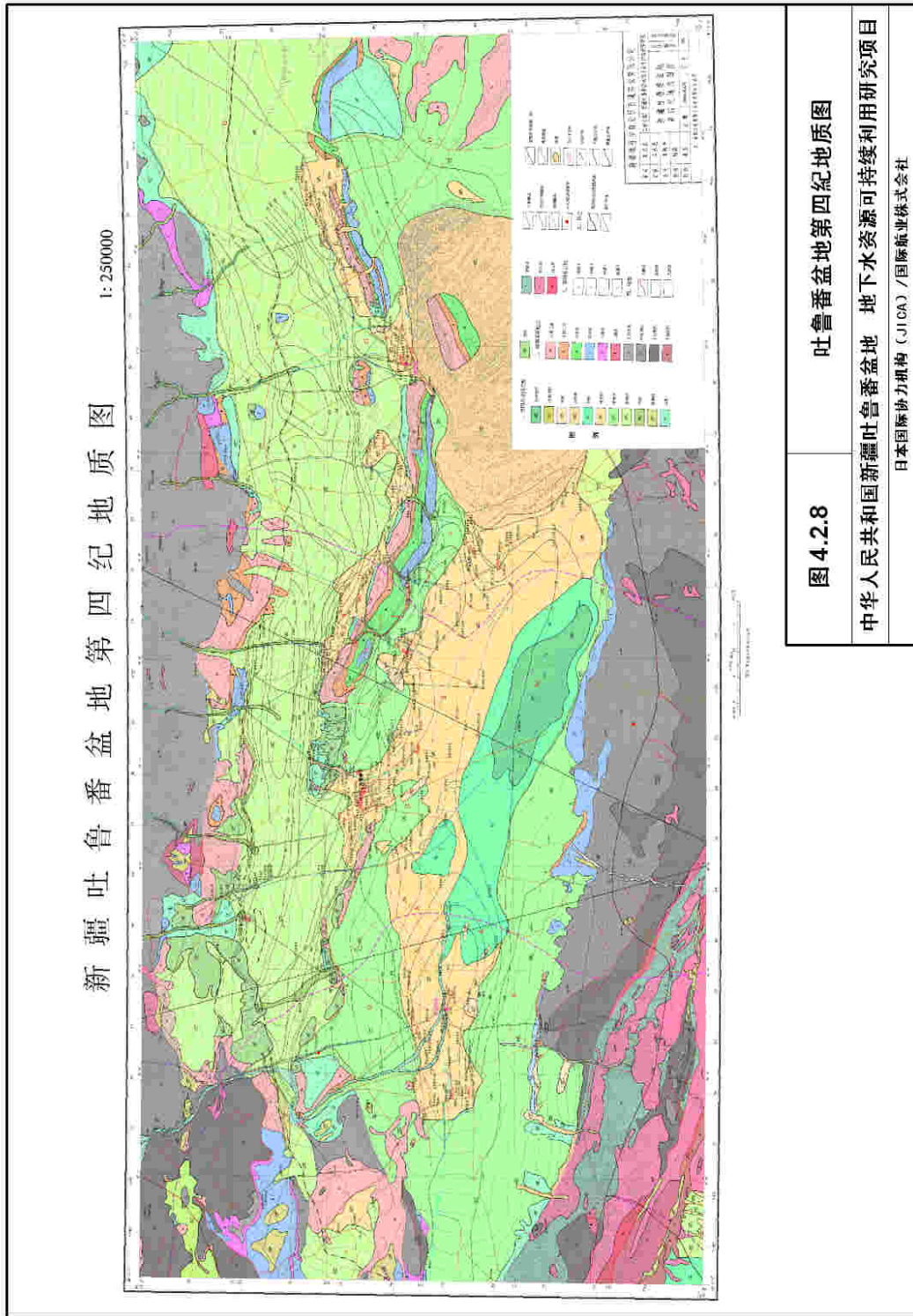


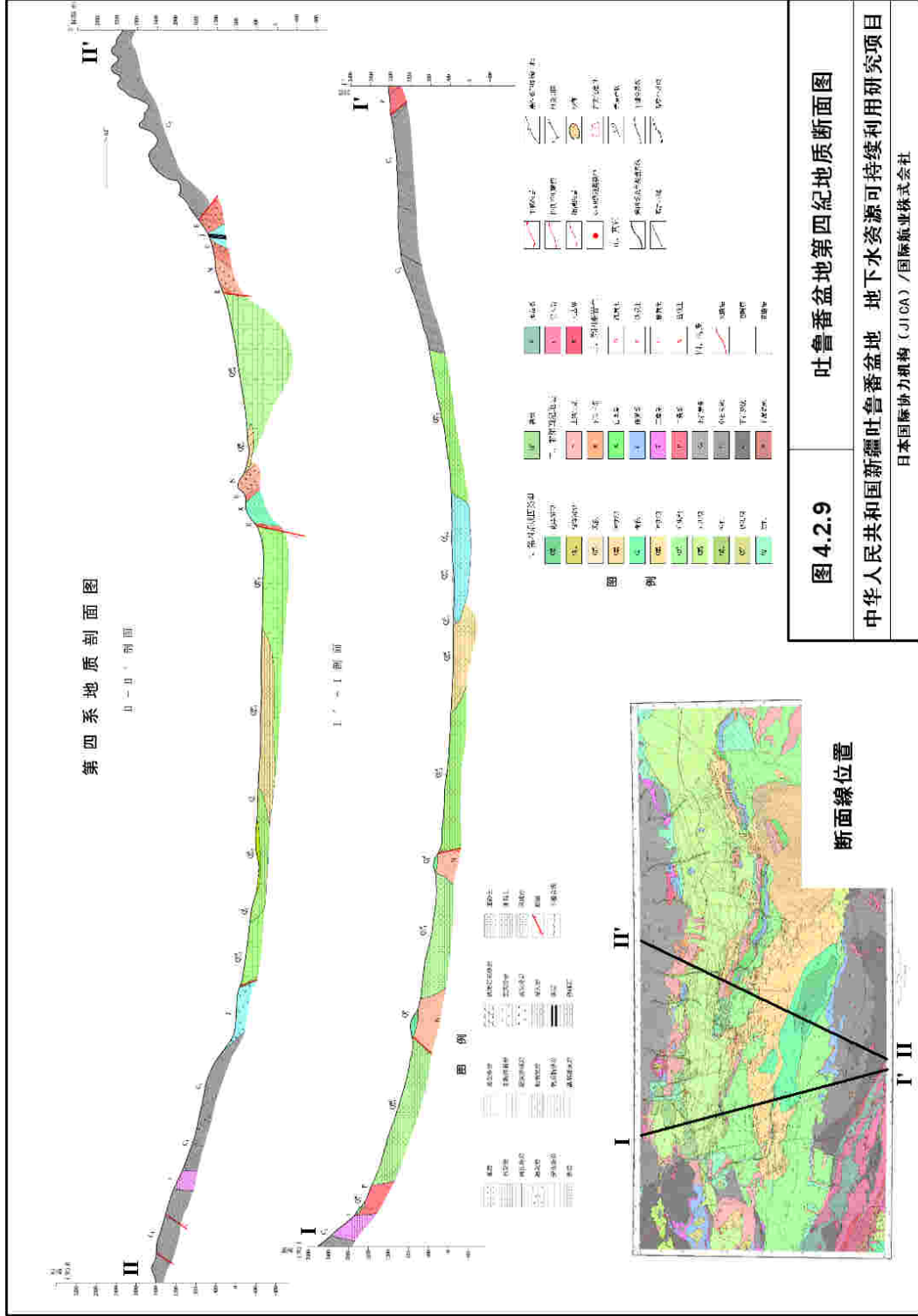


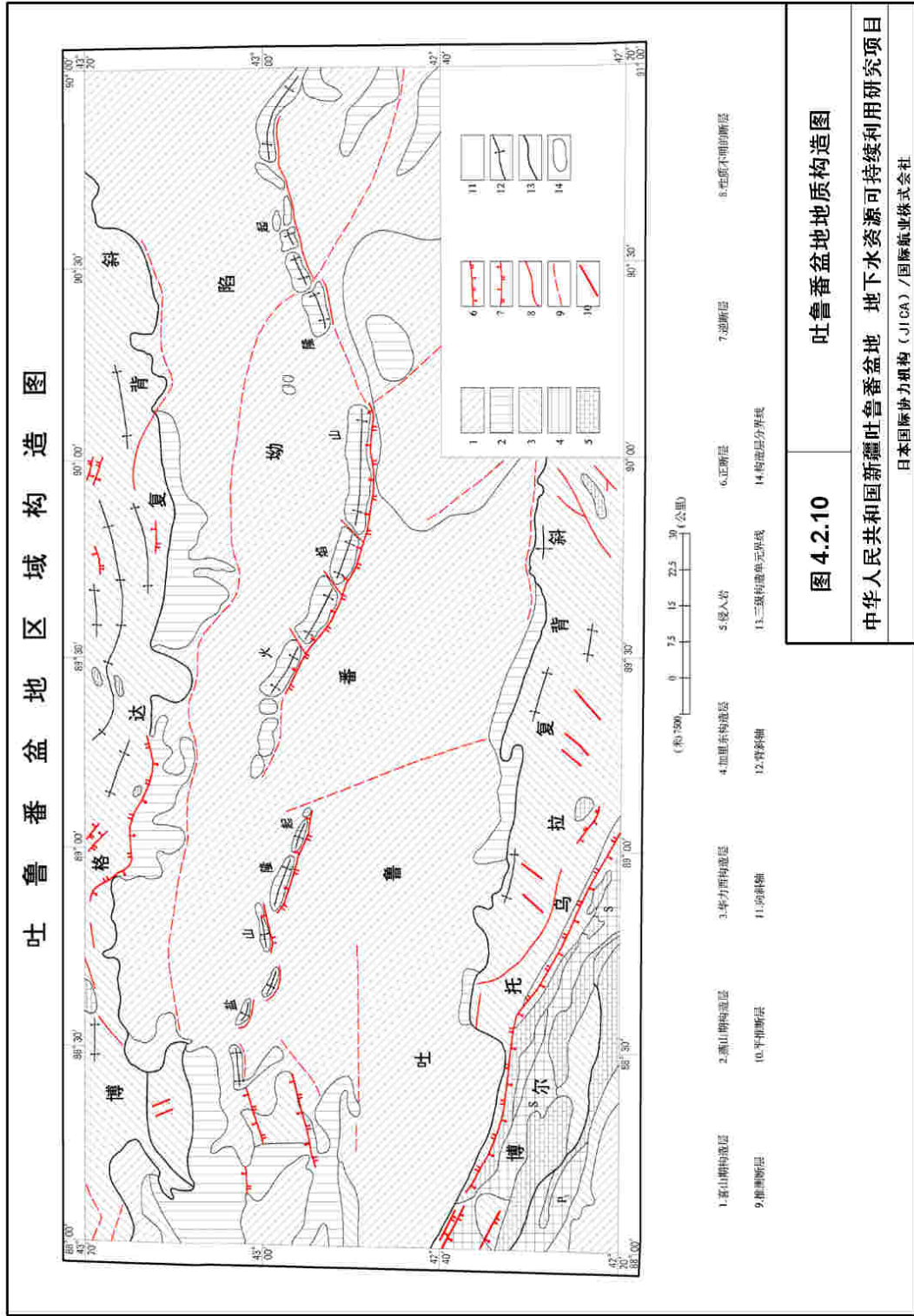


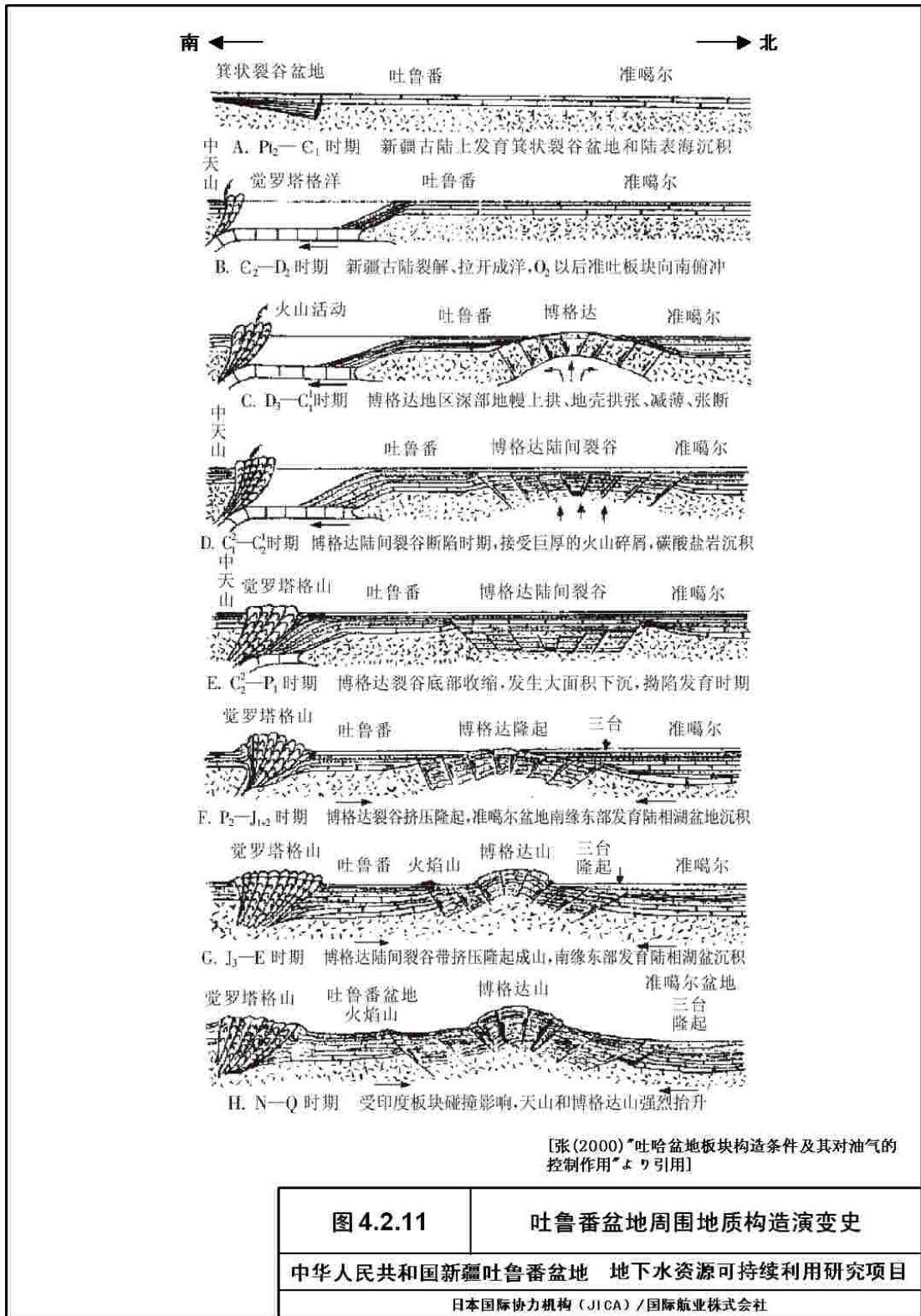












4.3 物探工作结果

为了能确切掌握吐鲁番盆地地下水盆构造和含水层构造的大致情况，本项目在盆地全区实施了大面积的时间域瞬变电磁（TEM）测深法物探工作。

4.3.1 物探工作实施体制与工期

在本调查中，确切把握吐鲁番盆地内的地下水盆的构造和含水层构造为目的，以过渡的现象（时间领域）电磁探查法（TEM法）的物理探查来实施的。

本次物探野外工作主要技术人员和主要技术装备见下表。

表 4.3.1 物探工作实施体制

	项目主管单位	工作实施单位
人员构成	JICA调查团 团员1名	新疆生产建设兵团勘测规划设计院 主要技术人员 高级工程师4名 工程师1名 其他技師3名 野外作业人员 8名
工作内容	对工作实施单位的指示、调查实施前培训、工作实施监督、成果验收。	依照TOR实施调查工作、野外作业和室内处理分析，提交工作成果。

野外作业和室内工作按如下日程表实施。

表 4.3.2 物探工作调查工期表

作業内容	2004年						
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
工作实施单位TOR指示 各项培训工作 野外作业监督成果验收	1	20				22	31
野外作业实施	1		8		19 25	22	8
数据处理解析 撰写工作报告				1			25

4.3.2 工作方法

本项目的物探工作共实施了 204 测点的时间域瞬变电磁法（TEM）测量。如图 4.3.1 所示，为了全面掌握吐鲁番盆地的地下水盆电阻率构造，分别在北盆地安排了 57 测点、南盆地安排了 147 测点。为了将电阻率构造与实际的地下地质情况进行对比解释，在钻探调查地点或其附近均布置了相应测点。测点位置坐标均由技术人员在现场用简易

GPS 测量确定，水平坐标误差在 20 m 以内。本次工作采用仪器为加拿大凤凰公司（Phoenix）生产的 V5 多功能电磁仪系统进行数据采集，发射机采用 T4 系统实施时间域瞬变电磁测深法。为了比较本方法同其他电磁法观测结果进行对比、工作实施单位还补充性地用美国 Geometric 公司的 EM-4 连续电导率剖面仪（Electrical Conductivity Imaging System）实施了频率域电磁法的实验性测试。

表 4.3.3 物探工作内容

项目	物探工作
观测数量	时间域瞬变电磁（TEM）测深法 南盆地147测点（包括钻探调查地点） 北盆地57测点（包括钻探调查地点） 预备观测22点 MT法观测（工作实施单位自行实施） 北盆地5点 南盆地12点
观测仪器	时间域瞬变电磁（TEM）测深法 Phoenix公司 V5接收系统、T4发射机 电磁法 Geometric公司EM-4（Electrical Conductivity Imaging System）
数据处理解析方法及软件	多层光滑反演（Smooth Inversion） 美国Interpex 公司TEM专用反演软件TEMIX

4.3.3 TEM时间域瞬变电磁测深法的原理、观测仪器及解析方法

a. TEM 时间域瞬变电磁测深法原理

时间域瞬变电磁法简称 TEM 测深法、是一种通过观测地下物质（沉积物、地下水、岩石及矿石等）导电性差异，间接地推断解释地质构造或地下水分布的物探方法。TEM 的具体观测方法如下。首先在地面布置一正方形或长方形电线线框（发射线框），然后向线框内通入一定电压的直流电流、用观测线圈观测切断电流后的瞬时磁场随时间的衰减率。本方法的特点是无须直接向输送电流。

观测的原理如图 4.3.2所示、当切断发射线框电流后的瞬时里在线框下产生涡电流、该涡电流在数十毫秒内、如同烟圈向地下深部扩散并衰减。在涡电流产生的同时还产生了二次磁场、二次磁场同涡电流一样衰减。由于该涡电流（二次磁场）的衰减特征受地下物质电性的影响、所以通过观测磁场衰减特征，可以利用电磁学理论反过来推断地下物质的电性分布（反演）。一般地说地下电阻值越高，切断电流后的涡电流（二次磁场）越强、同时向地下扩散和衰减的速度越快。如此可通过 TEM 测深法观测到深度方向的电性变化规律（电阻率分布）、间接推断出岩石或沉积物类型及地下水的分布情况。

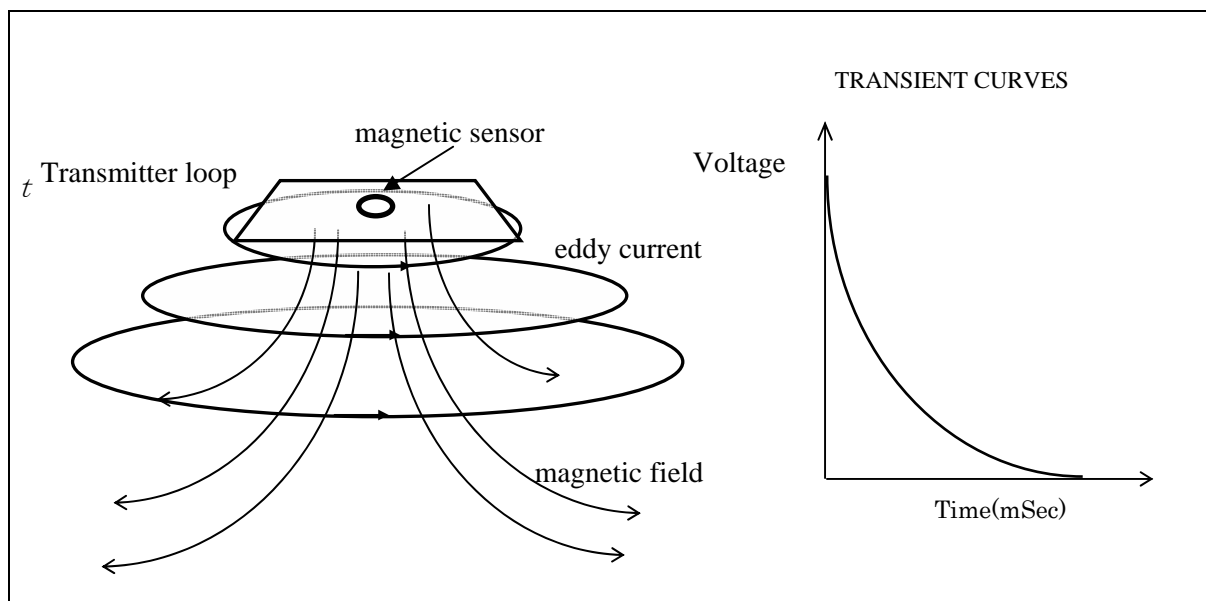


图 4.3.2 TEM 时间域瞬变电磁测深法的原理

b. 观测仪器

本次实施时间域瞬变电磁测深工作使用仪器为加拿大凤凰公司（Phoenix）生产的 V5 多功能电磁仪系统进行数据采集，发射机采用 TEM 系统。

该仪器针对不同的勘探深度可选择不同的发射频率和数据采集时间道。为了确保勘探深度和效率，在野外作业的开始阶段通过实施多次实验观测，选择了 200 m×200 m 发射线圈，27.5 A 发射电流、单一分量（Z 分量）接收线圈，和 25Hz(0.106-8.446 msec)、8.33Hz(0.532-25.340 msec)及 4.17Hz (0.637-50.69 msec) 发射频率及时间道。为了确保观测数据质量，在每一测点至少观测两次，检查数据的重复性。在重复性不好的测点还适当增加观测次数，或适当移点以回避干扰源。

c. 解析方法

数据处理使用美国 Interpex 公司 TEM 解析软件 TEMIX 的多层光滑反演（Smooth Inversion）方法。将得到的一维反演结果制作成平面分布及剖面分布图，通过电阻率的分布特征分析地质构造。

多层光滑反演方法是，首先给定层数，计算程序将自动计算各层层厚及电阻率值。由于该计算从半无限均一介质开始自动拟合，无须向通常反演方法那样事先确定起始参数。所以本方法不受主观因素影响，适用于电阻率构造的影像化来反映电阻率分布的区域性特征。但是该方法的分辨率受观测地点地质条件的影响，从数米到数十米变化不一。

4.3.4 反演结果

a. 主要地层的视电阻率值

吐鲁番盆地的第四纪地层主要由冲洪积相沉积物（卵砾石、砂、粉砂、粘土）湖相沉积物（粉砂、粘土、盐渍土壤）构成。本地区既往物探测井资料的主要层相电阻率值通常如表 4.3.4所示。

表 4.3.4 吐鲁番盆地第四系地层主要层相电阻率值（既往资料）

层相	电阻率 (Ωm)	
	孔内测井	电探
干燥砂砾层	100~200	数100~数1000
含水砂砾层	40~100	100~300
砂（粗砂~细砂）层	20~50	20~60
粉砂~粘土	数~20	数~20
盐化土壤		10以下
第三纪泥岩·砂岩	8.4~27	15
中生代砂岩·砾岩		100以上

通过以上资料可以认识到、在本地区存在以下的地质界线时，其电性差异可利用 TEM 测深法观测到，即有可能利用本方法推断以下地质界线。

- ① 干燥砂砾层（高电阻率）与砂砾含水层（中电阻率）的界线
- ② 粉砂~粘土层（低电阻率）与砂或砂砾含水层（中电阻率）的界线
- ③ 砂砾层或砂层与第三系层的界线
- ④ 粉砂~粘土层与中生代基底的界线

但是第四系底部的粉砂~粘土层与第三系泥岩的界线，由于两者的电阻率值相似、难以用电阻率界线分辨。

b. TEM 测深反演结果

通过对观测数据的多层光滑反演解析求得的各测点的深度方向一维电阻率构造如图 4.3.3和图 4.3.4所示。图中横轴表示电阻率值(Ωm)对数值、纵轴表示从地表的深度(m)，宽层表示高电阻率层、窄层表示低电阻率层。由于各测点地下电阻率分布和周围干扰源不同，造成勘探深度不一。一般说来，上位部为低电阻率层时，由于低阻体对电流有屏蔽作用，使得涡电流难以向深部扩散，直接影响勘探深度。本次物探工作的实施地区，上部层位为 $30\Omega\text{m}$ 以下的低阻区很多，从解释结果看有 15%的观测点未能达到 400m 深度。

如图 4.3.5所示，将反演解析结果按测点坐标位置叠加在卫星影像图上，依据电阻率同地表地质的特征进行区域性的分区，统计求得不同区域的电阻率背景值。统计结果如表 4.3.5所示。

表 4.3.5 电阻率值的统计结果

范围	点数	电阻率值 Ωm		
		平均	测点平均值	
			最大	最小
全区	204	141	1,174	2
北盆地全区	57	243	1,174	13
南盆地全区	147	102	828	2
A地区	56	247	1,174	13
B地区	85	47	151	10
C地区	53	205	828	8
D地区	10	9	19	2

以下简述各地区的电阻率构造和地质主要特征。

b.1 A地区

为北盆地全区一带，以冲洪积层为主的地区。沉积环境比较单一，为天山南麓河流形成的冲洪积扇叠加分布、主要以卵砾石、砂砾、砂等较粗粒沉积物构成。各测点的平均电阻率值在 1,174~13 Ωm 之间、全区平均 247 Ωm 和、显示高电阻率背景。多数测点有浅部高阻（200~1000 Ωm 以上）、向深部由中阻（100~200 Ωm ）变为低阻（45 Ωm 以下）的单调变化特征。

b.2 B地区

为南盆地北部至中央部一带、主要分布由粉砂~粉砂质粘土、砂砾等互层。影像表明该区西部为以砂~砂砾层为主、东部为细粒的粉砂或粉砂质粘土层为主的冲洪积物。各测点平均电阻率值范围在 151~10 Ωm 之间、全区平均为 47 Ωm 、显示低电阻率背景。各测点电阻率值大致可划分为高电阻率（100~200 Ωm ）层、中电阻率（25~100 Ωm ）层、和低电阻率（35 Ωm 以下）层 3 层、向深度方向显现为中→高→低的测点较多。

b.3 C地区

为南盆地南部至西端的山间盆地一带、分布广泛的以砂砾~砂为主体冲洪积层。各测点的平均电阻率值在 828~8 Ωm 之间、全区平均为 205 Ωm 显示高电阻率背景值。如将电阻率值划分为高电阻率（200~1000 Ωm ）、中电阻率（100~200 Ωm ）和低电阻率（50 Ωm 以下）、向深度方向显示高→低→中变化的测点较多。

b.4 D地区

为艾丁湖周边一带、主要分布湖相细粒沉积物和盐化土壤层。各测点平均电阻率值为 19~2 Ωm 、全区平均为 9 Ωm ，显示极低电阻率的背景。

4.3.5 视电阻率构造的平面分布特征

为了进一步分析反演解析得到得电阻率在不同深度的平面分布特征,分别绘制了从地表深度 20、100、200、300、400 m 及 600 m 的电阻率平面分布图。其成果如图 4.3.6 ~图 4.3.11所示。图中电阻率值用对数表示、从 $1 \Omega\text{m}$ (=log 值: 0) 至 $1000 \Omega\text{m}$ (=log 值: 3) 随电阻率值的增加用由淡蓝色、绿色、黄色至红色表示。

以吐鲁番盆地中央火焰山及盐山为界,北盆地与南盆地的地质环境差异很大,在电阻率构造的平面分布上也有明显不同。以下分别叙述两盆地的电阻率特征。

a. 北盆地的电阻率构造平面分布特征

在地表下 20 m 的深度,电阻率值大致显现为西高东低趋势。以火焰山西端为界东侧多在 $40 \sim 100 \Omega\text{m}$ 以下、西侧多在 $100 \Omega\text{m}$ 以上。另外冲洪积扇的中轴部相对显现高电阻率、在距离较远得两河流中间部位通常可见有显现低电阻率的趋势。

在 100 m 深度黄色~红色的 $100 \Omega\text{m}$ 以上的范围占全区的 6 成以上、反映具有高电阻率的砂砾层分布广泛。盆地中部的大河沿、七泉湖、柯柯亚及鄯善车站附近可见 $300 \Omega\text{m}$ 以上的高电阻率区,在连木沁至鄯善县城附近的地区可见 $20 \Omega\text{m}$ 以下的低电阻率带,可以认为反映粉砂等的细粒层、或第三系泥岩基底。

200 m 深度的电阻率平面分布规律同 100 m 深度相比在大局上没有很大差异。但是可见呈东西方向延续的高电阻率区域被若干南北方向低电阻率带切割,高阻带有缩小的趋势。

在 300~400 m 深度以上的趋势愈发明显,至 600 m 深度主要的高电阻率区域基本消逝,相对的高阻区也在 $100 \Omega\text{m}$ 左右,大部分地区显示为 $100 \sim 30 \Omega\text{m}$ 的电阻率值。

b. 南盆地的电阻率构造平面分布

在地表附近的 20m 深度的电阻率值整体可分为 $20 \Omega\text{m}$ 以下的盆地中央部低阻带和 $100 \Omega\text{m}$ 以上的南西部高阻带。 $20 \Omega\text{m}$ 以下的淡蓝色显示的低电阻率带广泛分布于南盆地整个东部和西部的中央部部位。同地表粉砂质土壤和湖相沉积物分布基本吻合。高电阻率区域分布在托克逊城区北部的盐山南侧和盆地的西南界线一带,同山前砂砾冲洪积层的分布基本一致。

在 100 m 深度,盆地中央部绝大范围相对上部电阻率值均可见增加趋势,在盆地东部一带的电阻率值为 $20 \Omega\text{m}$ 至 $60 \Omega\text{m}$ 左右、反映该深度同上部层的粉砂质土壤相比含有更多的粗粒砂质沉积物。南西部的高电阻率带比上部有扩大趋势,反映砂砾层在此深度分布较广。吐鲁番市北的火焰山前可见 $100 \Omega\text{m}$ 以上的高电阻率带,反映砂砾~砂的较粗粒层的分布情况。

在 200~300 m 深度、盆地西部的 $100 \Omega\text{m}$ 以上的高电阻率带基本收敛,盆地整体电阻率大约在 $20 \sim 90 \Omega\text{m}$ 范围内。在吐鲁番城区以南一带,略显高阻的 $30 \sim 100 \Omega\text{m}$ 的中电阻率、有分别向南东和南南西两侧扩展的特征。到 300 m 深度,南盆地东端的电阻率值进一步降低,在达浪坎村附近显示为 $10 \Omega\text{m}$ 以下的低电阻率带。

在 400 m 深度、吐鲁番城区以南的 $30 \sim 100 \Omega\text{m}$ 中电阻率层主要向南西方向延展,而沿火焰山南东一侧的延展在此深度已经基本消失。盆地东部的大部分地区,基本为 $10 \Omega\text{m}$ 或以下的低电阻率带。在 600 m 深度、南盆地整体为 $10 \sim 30 \Omega\text{m}$ 的低电阻率区。

艾丁湖周边一带在所有深度均显示为 $10 \Omega\text{m}$ 以下极低阻。可认为基本只反映了表层的盐化土壤及粉砂~粘土的湖相沉积层。在 300 m 以深的 $3 \Omega\text{m}$ 以下的极低电阻率,应是由地表盐化层土壤层的屏蔽引起的,不反映真实电阻率构造。

4.3.6 电阻率构造的剖面分布

通过前述平面分布分析结果、可以基本掌握吐鲁番盆地全区的电阻率构造再不同深度的平面分布特征。为了进一步分析电阻率构造在深度方向与地下水盆构造的关系,分别在北盆地选择了 NB 和 NBE、在南盆地选择了 SB、SBE 和 SBW,和贯穿南北两盆地的 NS 共 6 条测线、编制了电阻率构造剖面图。各测线的电阻率剖面图如图 4.3.12~图 4.3.17 所示。图中的电阻率值为对数表示、颜色的划分与平面图相同。以下对各剖面电阻率构造特征分别描述。

a. 纵断北盆地的 NB 剖面与横断北盆地东部的 NBE 剖面

图 4.3.12所示 NB 剖面以东西方向纵切北盆地,连接了西端 N001 到东端 N054 测点间的各个测点。剖面长约 160 km。地形为向南缓倾山前冲洪积扇。在测线方向、N001 测点海拔高度约 1240 m、位于测线中央的 N028 测点海拔高度约 350 m、高差近 900 m。剖面图的纵横比例尺不同、高差相对被夸大显示。在剖面上可见测线电阻率构造以 N028 测点附近为界,东部和西部有明显不同的特征。

在北盆地中央部实施的 TW-NC 地点的钻探调查结果显示、该地地表至孔底 400 m 深度均以砂砾层为主、在 280 m 附近达到地下水位。该井位近旁的观测点 N015 的解析结果表明,在 100 m 以浅为 1000 Ωm 以上高阻、200 ~300 m 间为 200 Ωm 中阻、450 m 以深为 30 Ωm 以下的低阻。将此结果同 TW-NC 的地层情况对比可见、北盆地的 300 Ωm 以上的高电阻率层应反映干燥砂砾层、300~100 Ωm 的中电阻率层应反映含水砂砾层、30 Ωm 以下的低电阻率层应反映砂~粉砂质粘土的细粒层,或第三系基底的泥岩层。

测线西半部的 N001~N026 范围的电阻率值、大体呈现由地表向下递减的趋势。N026 点以西可见较厚的 100~1000 Ωm 高电阻率层。此高阻层可同砂砾层相对应、如果假设红色的 300 Ωm 以上的高电阻率反映干燥砂砾层、则电阻率值为 300 Ωm 以下部位反映含水砂砾层、在局部可见的 100 Ωm 以下低电阻率反映砂~粉砂的细粒层。在 N001~N026 范围电阻率显示向深部的单调降低趋势、可认为地下水位单一自由含水层。从电阻率构造可以推测、地下水位大至为 200~300 m。由于 N021 位于火焰山北面附近、可见低电阻率值低于两侧,反映含水层上升到地表附近。另外在 N021~N024 测点间可见在深度 300 附近有中低电阻率层、可认为反映有细粒层的存在。有关基底深度、在 N004 点深度 250 m 附近可见 20 Ωm 以下的低阻、从地表基岩分布情况看、该地点为基底较浅部位、可认为该低电阻率反映基底泥岩。从该点向东,测线向盆地中央部延伸、在测线上没有直接观测到反映基底的低电阻率层、从浅部的延伸趋势可以推测基底深度可达 1000 m。

测线东半部 N028~N054 范围的电阻率构造比较复杂。在 N028 测点显示为 100 Ωm 以下的低电阻率、成为测线东半部和西半部的电阻率构造界线。在 N31 ~N042 之间,上部的 100 Ωm 以上的高电阻率带在深度 300 m 以上范围基本呈水平分布、其下为低电阻率~中电阻率~低电阻率的分层构造。更东侧的 N046~N054 测点范围内,从地表开始显现为低电阻率~中高电阻率~低电阻率的分层构造。如假设上部的高电阻率反映以砂砾为主体的冲洪积层、下部的 20 Ωm 以下的低电阻率层反映粉砂质粘土的不透水层、则在该层下部存在的 20 Ωm 以上的略高中电阻率层显示该地有承压含水层的存在、其深度大约在地表以下 100~300 m 左右。N046~N054 位于火焰山北缘附近、可见该中电阻率层上升到地表附近、反映该承压含水层的地下水上升到地表附近。最下部的低电阻率层可认为是反映基底表面、在 N031~N054 之间大约深度为 600~300 m,由西向东逐渐变浅。

为了确认 NB 剖面 N037 点附近的电阻率构造南北方向变化特征、如图 4.3.13所示,建立了横断北盆地东部的 NA01~NA035 测点组成的 NBE 剖面。该剖面地形为天山南麓山前冲洪积扇,海拔高度由北部 1000 m 到火焰山东北端的 400 m 呈单调下降。电阻

率构造从北部的山前至盆地中央分布着 $100 \Omega\text{m}$ 以上的较厚高电阻率层、可同山前冲洪积扇砂砾层相对应。在 N039 以南, 从地表向下均显示 $10\sim 40 \Omega\text{m}$ 低电阻率、可认为同以砂~粉砂质粘土为主的细粒沉积物的分布相对应。由于此地附近有基底出露地表、可认为 $10 \Omega\text{m}$ 的低电阻率层反映第三纪基底泥岩层。

b. 贯穿北盆地~南盆地的 NS 剖面

图 4.3.14 所示选择的 NS 剖面大致呈南北方向贯穿北盆地与南盆地的中央部位, 连接从北盆地的 N017 至南盆地南缘的 S106 间各测点、长约 60 km。地形为北盆地的山前缓倾斜冲洪积扇、火焰山盐山缺口、及南盆地内的平坦冲洪积地形。艾丁湖附近海拔高度为 -160 m、测线上的高差约为 880 m。

剖面上可见以火焰山盐山缺口为界、电阻率构造有明显的差异, 反映北盆地与南盆地的沉积环境不同。N018 测点以北地段、同北盆地的 NB 及 NBE 剖面电阻率构造相同, 主要为 $100 \Omega\text{m}$ 以上高电阻率层、反映有较厚的砂砾层分布。在 400 m 以深的 $100 \Omega\text{m}$ 以下较低电阻率层、可认为是反映砂~粉砂~粘土等细粒沉积物。N016 测点与 N015 测点有明显不同, 显示多层构造、并有 $20 \Omega\text{m}$ 以下的低电阻率层分布。可认为是随着靠近火焰山基底变浅的反映。

N018 测点以南基本进入南盆地、整体显示 $10\sim 40 \Omega\text{m}$ 的低电阻率背景值。可推测该区分布以细砂~粉砂质粘土等细粒层为主的沉积物。在 N018 测点附近实施的 TW-SC 钻探结果表明、该地从地表至孔底主要为砂质~粉砂质粘土、在深度 $80\sim 120 \text{m}$ 之间可见砂砾层。N018 测点的电阻率构造显示整体为 $30 \Omega\text{m}$ 以下的低电阻率、在深度 $60\sim 120 \text{m}$ 处有略高于 $30 \Omega\text{m}$ 的偏高阻层、该深度同钻探调查的结果的含砂砾层基本一致。在 SA03 以南的南盆地范围内电阻率显示多层构造、可以认为略高于 $30 \Omega\text{m}$ 的偏高阻层有可能性反映了相对含砂砾质多的含水层。SA05 以南进入艾丁湖周边地区、表层盐化土壤显现为 $3 \Omega\text{m}$ 以下极低电阻率层。在其下部的 $10 \Omega\text{m}$ 以下低电阻率层可认为是粉砂质粘土~粘土的湖相沉积物的反映。

c. 纵断南盆地的 SB 剖面

图 4.3.15 所示 SB 剖面以东西方向纵断南盆地、连结西部的 S007 测点到东部的 S132 测点间的各测点、长约 150 km。在 S007~S027 范围为山前缓倾斜冲洪积扇、东部为平坦的冲洪积地形。测线上的高差约 750 m。

在测线西侧的 S007~S027 间、可见有 $100\sim 300 \Omega\text{m}$ 以上的高电阻率层分布、电阻率分布特征与北盆地冲洪积层相似、反映为卵砾石层。其下部的 $100 \Omega\text{m}$ 以下略低电阻率层、可认为是第四纪底部细粒层或基底表面的反映。现有地质资料显示、在盆地南西界线的中生界砾岩和砂岩层与第四纪层呈不整合接触。砂岩和砾岩的常见电阻率值为数十~数百 Ωm 、因此可以认为该区间 400 m 以深的 $100 \Omega\text{m}$ 以上的高电阻率反映中生代基底的砂岩和砾岩层。

从 S036 往东为南盆地内较平坦的冲洪积平原、电阻率背景值呈以 $100 \Omega\text{m}$ 以下的多层构造。以下通过在本测线上的实施的 3 个钻探调查结果的对比、探讨电阻率层与地质构造的相关关系。

在 S041 近旁实施的 TW-SW 钻探调查结果表明、除在 $120\sim 180 \text{m}$ 和 $230\sim 280 \text{m}$ 两区间有含砾石层以外、至地下 300 m 整体以细粒粉砂质粘土层为主。同此结果对比、可推断在 S041 至 S075 间的深度 100 m 部位存在的 $30\sim 100 \Omega\text{m}$ 中电阻率同该钻井的 $120\sim 180 \text{m}$ 的砾层相对应。可以认为, 在南盆地内比背景值略高的 $30\sim 100 \Omega\text{m}$ 电阻率层反映含水砂砾层。在 S095~S085 间地下 250 m 以深处也可看到与此相当的电阻率层、估计同 TW-SW 的下部含砾层相对应。

在 S099 近旁实施的 TW-SS 钻探调查结果表明、该地从地表至 250 m 孔底以粉砂质粘土为主、在深度 40~100 m 间确认有砂质层存在。在电阻率剖面上、深度约 20~100 m 之间可以圈出 30~60 Ωm 的略高电阻率、在剖面上显示较好的连续性。因此可以认为该层基本反映钻探的砂质层,其分布深度也基本一致。另外在 S099 至 S095 之间、可见深部电阻率有横向不连续分布。现有地质资料表明在该地点有 NNW-SSE 方向的推断断层通过,可以认为电阻率的横向不连续分布起因于该断层。

TW-SE 钻探结果表明,该地点在深度 240 处达到了基底泥质岩。从该点 TW-SE 测点电阻率构造的结果看、20 Ωm 以下的低电阻率深度基本同钻探基岩深度对应。因此认为第三纪泥岩层在上部含水层覆盖时,其电阻率在 20 Ωm 左右以下。但是基底的电阻率值因岩性和覆盖层的情况而变,不能一概认为都是低阻的。

d. 横断南盆地东部的 SBE 剖面与西部的 SBW 剖面

图 4.3.16 所示 SBE 剖面以近南北向横断南盆地东部的中心、连接北端 SA06 和南端 SA10 测点间的各测点、长约 45 km。地形平坦主要分布冲洪积层湖相沉积物。全测线在海拔 0 m 以下、SA10 测点为-160 m 的最低点、测线高差约 120 m。

从 SBE 剖面的电阻率构造可以看出、从北端 SA06 至 SA09 点一带主要显示为呈绿色的 10~50 Ωm 低电阻率层。反映该区主要分布砂~粉砂质粘土的细粒沉积物互层、其总厚度约为 300 m。在深度 200 m 附近可见淡蓝色低电阻率夹层、可认为是粉砂质粘土为主体的不透水层。相反 30~50 Ωm 略高阻值的范围可认为是砂层的反映。在 SA06~S112 测点间、可见在深度 300 m 附近有略高电阻率层分布,证明了深部含水层的存在。此结果同 TW-SE 基底岩(240 m)上部的砂层基本吻合。有关基底深度、如果以 20 Ωm 以下为界线划分第三纪泥岩、剖面下部的低电阻率界线则基本反映了基底表面深度。在 S120 与 SA10 之间为艾丁湖的湖相粘土及盐化土壤层、整体显示 5 Ωm 以下极低电阻率。

图 4.3.17 所示 SBW 剖面以北东-南西方向横断南盆地西部、连接 S023~S057 点间各测点、长约 50 km。南西端 S023 测点的海拔高度约 500 m、向北东倾斜,到 S049 测点约为海拔高度 40 m。

从测线南端到 S032 测点、可见有 100~1000 Ωm 高电阻率带分布。此高电阻率带被一较薄低电阻率层分为上下二段。通过前述的分析可以认为上部高阻带反映山前的干燥砂砾层。深部的高阻带如前述的 SB 剖面西端相同、可以认为是中生代基底岩的反映。在 S032~S049 测点间分布的白杨河(托克逊河)的河流冲洪积层基本为 10~40 Ωm 的低电阻率。其中、在地表下 40 m 附近和 240~300 m 的深度分别可见略高于 30 Ωm 略高阻带。此特征同 SB 剖面所见的电阻率构造基本一致。在 S049 以北的 100 Ωm 以上高电阻率层反映分布在盐山南侧的以砂砾为主的冲洪积层。

4.3.7 有关成果的探讨

a. 有关地质及地下水层与电阻率的关系

通过前述解析、基本掌握了本地区分布的第四系以及基底岩性的 TEM 测深法电阻率值特征,其结果如表 4.3.6 所示。

表 4.3.6 调查地区地质与 TEM 测深法电阻率值

电阻率值(Ωm)	主要分布范围	地质
300~1000 以上	北盆地、南盆地南西部	干燥砂砾层
100~300	吐鲁番盆地全区	含水砂砾层、中生代基底岩
30~100	南盆地、北盆地东部	砂~粉砂层(含水层) 中生代基底岩
10~30	南盆地、北盆地东部	粉砂~粘土 第三纪泥岩基底
10 以下	南盆地艾丁湖周边	粘土、盐化土壤

根据以上电阻率值划分、通过电阻率的平面及剖面分布特征大致掌握地下水盆构造的整体分布。

b. 有关含水层构造

从北盆地电阻率构造图(图 4.3.12)所示的 NB 剖面可以看出、显示高电阻率的砂砾层延续到地下深部、地下水为单一自由含水层,水位最深处在地下约 300 m 或更深。从 NS 剖面推断、水位高度由北向南从海拔 600 m 降至 300 m 左右、从地表的水位深度在火焰山北麓附近为 50 m 以浅。从恰勒坎河以东的北盆地东部、可见从盆地北侧向南侧、显示高电阻率的砂砾层逐渐变薄、地下水层也由单一的自由地下水含水层过渡为多层含水层。在图 4.3.13 所示 NBE 剖面上、地下水水位从北向南由海拔 600 m 降至 400 m 左右、在 N039 附近分为多层含水层、可见上部地下水水位上升到地表附近的表现。

在南盆地、除南西部山前分布的砂砾冲洪积层、盆地全区主要由 10 Ωm 至最大 100 Ωm 的低电阻率背景砂砾~粉砂质粘土互层组成。可以认为,在低电阻率背景中的 30 Ωm 以上的略高电阻率带、反映了砂砾比率较高含水层位。因此可以通过电阻率分布、大致推断出地表附近的含水层和深部的承压含水层的区域分布情况。在图 4.3.15 所示 SB 剖面的 S036 测点至盆地东缘、图 4.3.17 所示 SBW 剖面的 S049~S032 测点间、图 4.3.14 所示 NS 剖面 N018~SA05 间、及图 4.3.16 所示 SBE 剖面 SA06~SA09 间各区间、均可以推断上部含水层的水位大致在地下 30 m 以浅至 0 m、分布广泛并具有较好得连续性。下部承压含水层、在 SB 及 SBW 剖面比较明显明瞭、从地表深度为 200~300 m 间略有起伏变化、基本上连续分布。该下部含水层在盆地东部及艾丁湖周边、有同上部含水层合流的趋势。

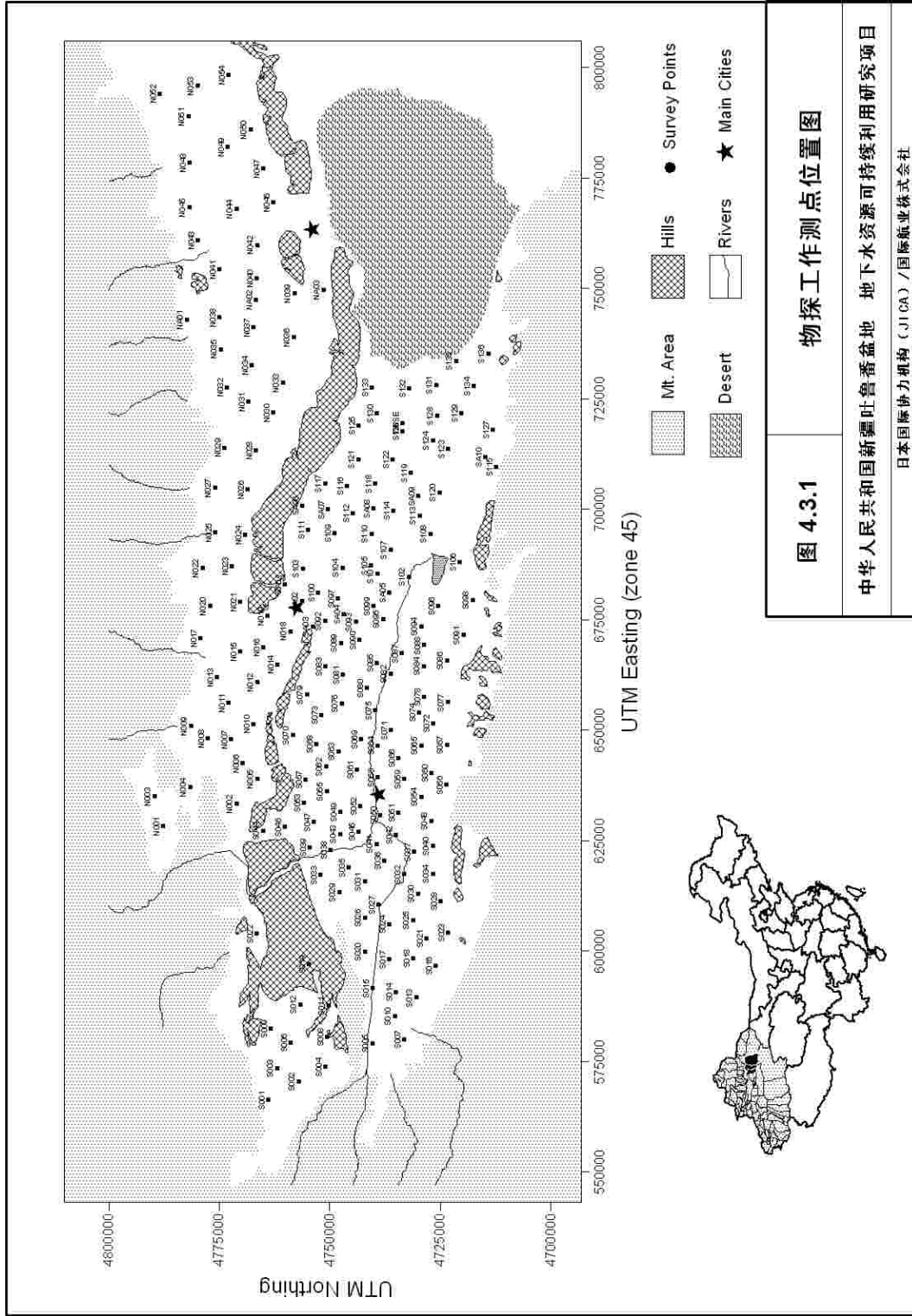
c. 有关基底深度

通过对前述的电阻率构造平面及剖面特征分析、并同既往的地质资料相对比、探讨了 TEM 电阻率构造所反映的基底深度的区域性分布特征。由既往资料可知,北盆地基底深度最深可达 1000 m 以上、超出了本调查使用设备的勘探深度。另外由于南盆地全区电阻率背景值为低阻、屏蔽现象直接影响了勘探深度、存在没有达到基底的测点。这些测点的基底深度是通过参考地质资料、从 TEM 电阻率剖面分布特征的整体趋势推测出来的。推测从地表的基底深度分布推测结果如图 4.3.18 所示。

北盆地的基底以鄯善县城区~柯柯亚河一线为界东西两侧的基底构造有明显不同。西侧盆地基底深度基本在 400~600 m 以上、冲洪积扇的中心部位最深可达 1000 m 以上。在柯柯亚河以东、可见基底隆起后向东再次变深的趋势、第四纪层厚基本为 300~500 m。

南盆地的基底深度、从西向东有明显的变浅趋势。在包括吐鲁番市的火焰山盐山缺口

处基底深度约为 400~500 m、此深度的分布由吐鲁番城区向托克逊县西部扩展延伸。根据既往资料表明南盆地西部以托克逊县为中心的地区基底深度可达深 700 m 以上,通过本次 TEM 电阻率构造可以间接地推测出深度在 500 m 以上的大致范围。在该地区显示 30~50 Ωm 电阻率的砂砾~粉砂互层的厚度可达 400 m、成为南盆地中地下水最丰富的地段。吐鲁番市~艾丁湖一线以东、基底深度大致为 400~200 m。南部的艾丁湖周边地区基底深度约为 100~200 m、是南盆地内最浅的地区。



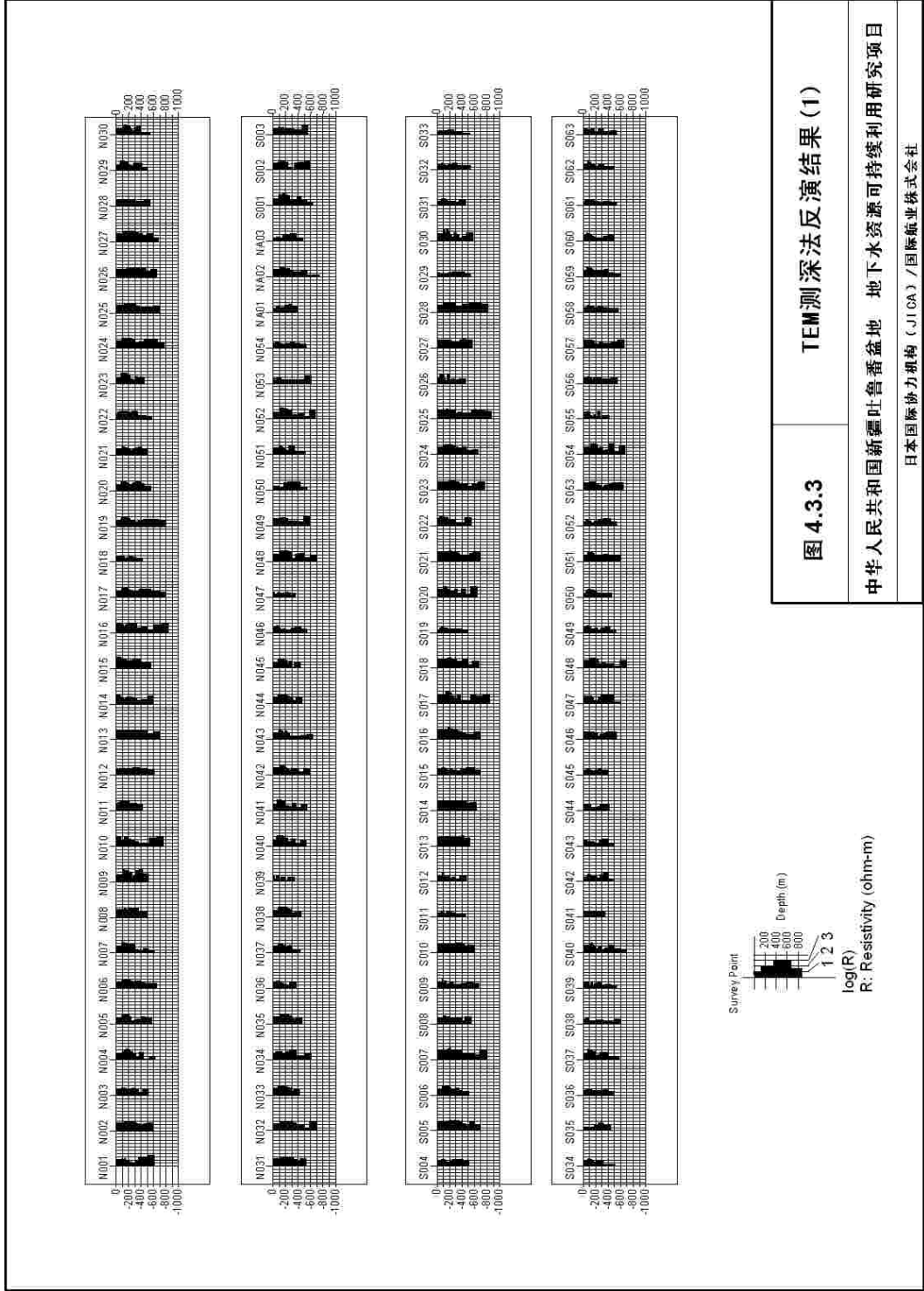


图 4.3.3 TEM测深法反演结果 (1)

中华人民共和国新疆吐鲁番盆地 地下水资源可持续利用研究项目

日本国际协力机构 (JICA) / 国际航业株式会社

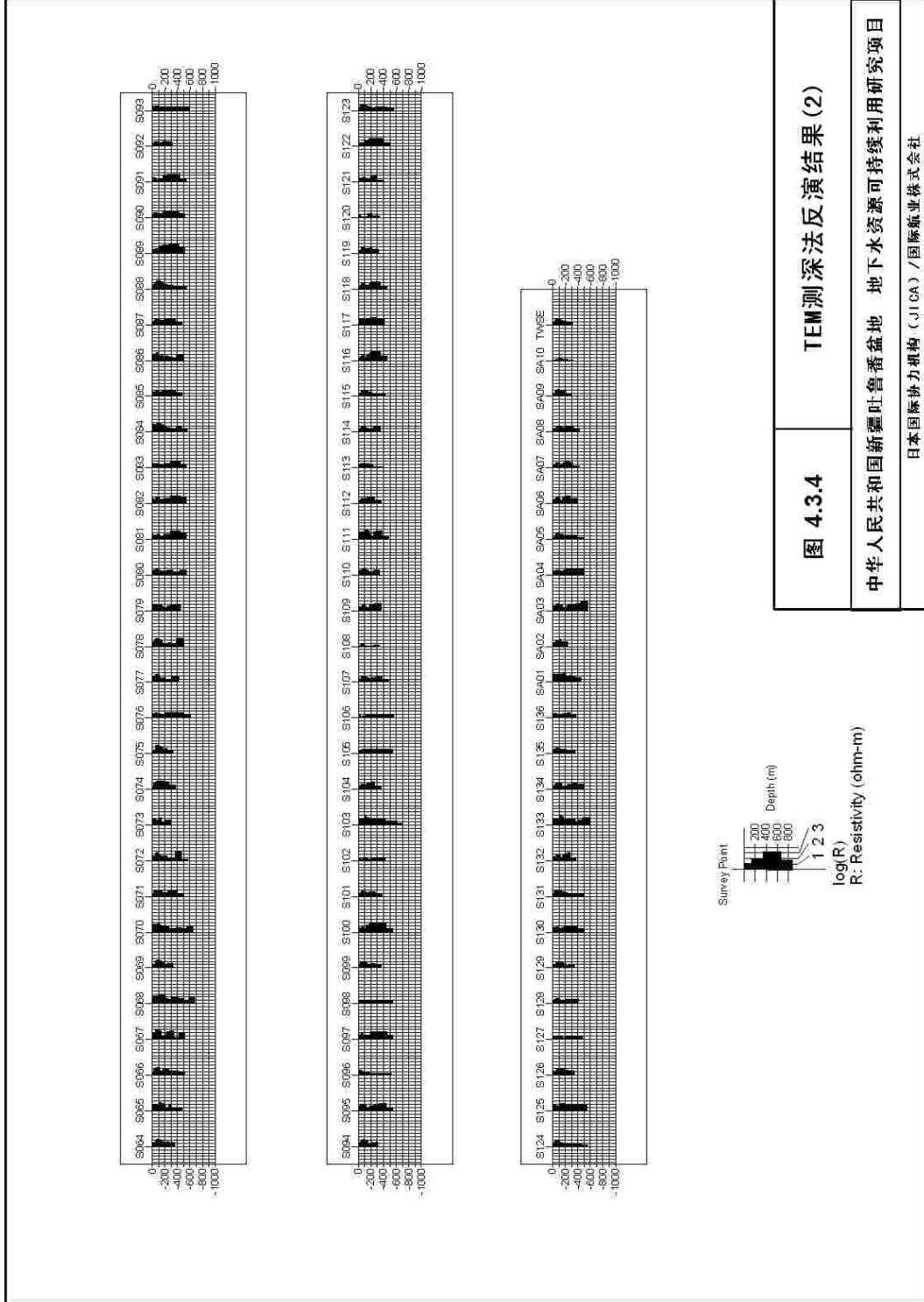


图 4.3.4 TEM测深法反演结果(2)
中华人民共和国新疆吐鲁番盆地 地下水资源可持续利用研究项目

日本国际协力机构 (JICA) / 国际航业株式会社

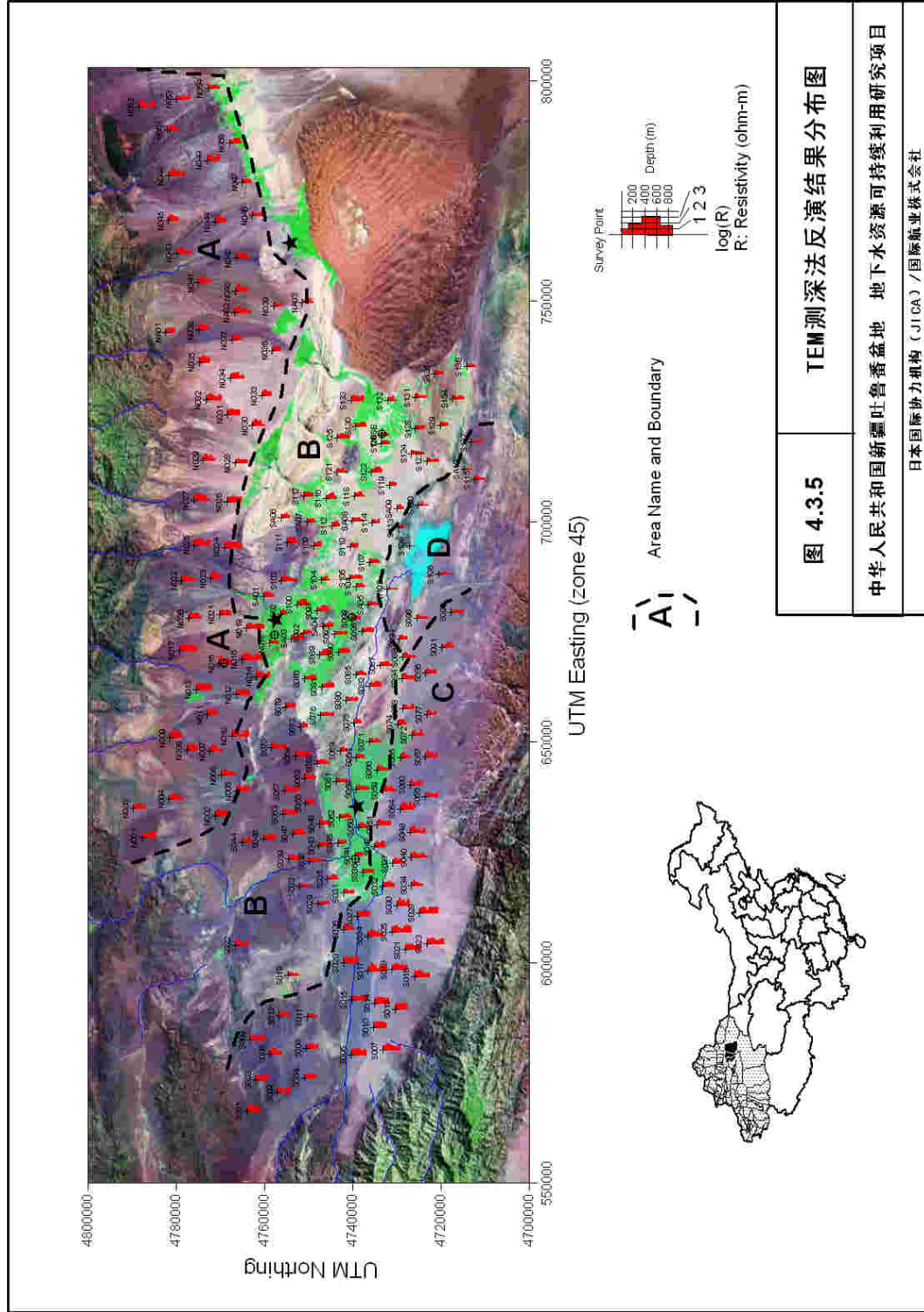


图 4.3.5 TEM测深法反演结果分布图

中华人民共和国新疆吐鲁番盆地 地下水资源可持续利用研究项目

日本国际协力机构 (JICA) / 国际航业株式会社

