

文章编号: 1007-4619(2005)05-0616-07

南水北调西线工程区活动断裂构造遥感研究

魏永明¹, 蔺启忠¹, 王学潮², 魏成阶¹, 李家存¹

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 水利部 黄河水利委员会 勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

摘 要: 根据断裂构造的判读标志,在南水北调西线工程区共存在 NW, NE, SN 和 EW 向四组断裂近 200 条, NW 向断裂为区域性的断裂构造,控制工程区地貌、水系等的发育。其中有 22 条断裂规模较大,对输水线路存在相对较大的影响。野外考察结果表明,区内有 5 条全新世时期的活动断裂和 12 条晚更新世时期的主干和区域性大断裂。通过综合分析发现,5 条全新世时期的活动断裂因为离输水线路较远或未穿越输水线路,而 12 条晚更新世时期的断裂构造则因全新世以来没有活动,因而它们对工程区的影响总体上还是有限的,工程区处于一个相对稳定的区域,而区域构造分析的结果也说明工程区位于一个相对的安全岛内。

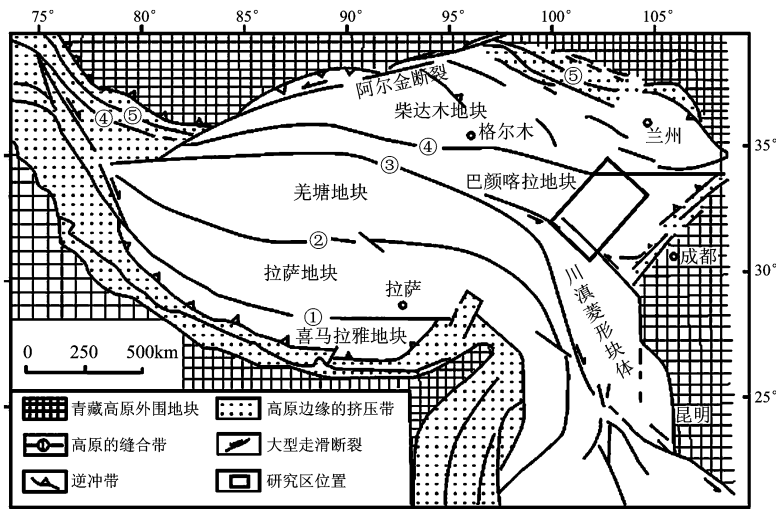
关键词: 活动断裂; 遥感判读; 工程稳定性

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

南水北调西线工程区位于青藏高原东北部,横跨巴颜喀拉山脉东段,调水范围在北纬 31°20′—35°20′、东经 95°00′—102°30′之间(图 1),全长 260 km。工程采用达曲—贾曲(简称达贾)自流方案,即截引雅

砻江支流的达曲、泥曲及大渡河支流的色曲、杜柯河、麻尔曲、阿柯河等河流的水量到黄河支流贾曲的引水方案,计划年调水量 40 亿 m³,可从根本上解决中国西北地区和华北地区的干旱缺水问题并能促进黄河的治理开发。西线工程除最后 16 km 为明渠外,其余全为隧洞,从南向北含阿安、仁达、上杜柯、亚尔堂和克柯河 5 大枢纽。



①雅鲁藏布江缝合带;②班公湖—怒江缝合带;③金沙江—红河断裂;④东昆仑缝合带;⑤西昆仑—祁连山缝合带

图 1 南水北调西线工程区位置图与青藏高原构造简图(据汪一鹏, 1998, 国家地震局地质力学研究所, 2001)

Fig 1 Location of the Western South-North water transfer project area and structural sketch map in Tibeat Plateau

收稿日期: 2003-09-16; 修订日期: 2005-06-01

基金项目: 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院南水北调西线工程科研项目. Copyright © 2005, China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

作者简介: 魏永明(1966—),男,副研究员,1993年7月毕业于北京大学城市与环境学系地貌与第四纪专业并获理学博士学位。现从事灾害地质遥感、大型工程环境遥感评价等方面的研究工作,已发表论文近 20 篇。

南水北调西线工程计划于 2010 年开始实施,国家将耗资约 500 亿元用于该工程的建设。对于关系到对中国西部大开发有重要战略意义的这一巨大工程来说,其工程的安全稳定性极为重要。在工程实施前,查清工程区内的构造活动特别是新构造活动成为保障工程安全稳定的最主要任务。

由于工作区海拔高度均在 4km 左右,加之其气候变化异常,而交通又十分不便,因此进行大面积的野外地质工作难度较大,前人在工区的地质工作基础十分薄弱,区域性大断裂在工程区如何延伸、断裂性质及活动性等的研究十分少见。很显然,应用常规的野外地质工作方法所取得的成果远远满足不了南水北调西线工程的安全稳定性分析的需求,而用一种耗时少、经费投入又不多且出成果快的新方法、新技术已势在必行。鉴于遥感数据具有获取信息量大、控制较大的区域、断裂构造等在影像上线性特征又十分明显等特点,近 20 年来迅速发展的遥感技术正好能满足这一要求。

2 南水北调西线工程区活动断裂构造的遥感判读

按照项目的合同要求,在工程区选取了 4 景 ETM 影像,其轨道号和日期分别为: 132 /038 (左下), 2001-10-09; 132 /037 (左上), 2001-10-09; 131 /037 (右上), 1999-11-14; 131 /038 (右下), 1999-10-29。通过优化波段组合(7, 4, 1 波段组合)、几何精度校正、遥感影像融合、图像镶嵌及图像信息增强等遥感图像处理步骤,得到了无云、少雪覆盖的清晰图像,完全能满足工程区活动断裂构造等的遥感判读需要。

根据断裂构造的色调和形状等直接判读标志及地层和岩体被错断、地貌形态及其差异、水系格局及其演变、泉水出露的展布、现代地貌形态被破坏等间接判读标志^[1-3],在南水北调西线工程区共判读断裂构造近 200 条,基本上沿着北西(NW)、近南北(NS)、北东(NE)和近东西(EW)向分布,北西向断裂为区域内的主要断裂(图 2)。其中,自南向北的甘孜—玉树断裂(F2)、生康南北向断裂(F30)、温拖断裂(F3)、鲜水河断裂带北延段(F14)及分支断裂—旦都—丘洛断裂(F25)和东谷北西向断裂(F30)、大塘坝断裂(F28)、长须干玛断裂(F5)、泥曲断裂(F7)、色达断裂(F16)、日科—查卡断裂带(F27)、桑隆—约木达东西断裂(F32)、桑日麻断裂

东南延伸段(F8)、宁它—灯塔断裂(F24)和亚尔堂断裂(F23)、甘德—阿坝南支断裂(F10-1)、阿坝盆地顺河断裂(F33)、甘德—阿坝北支断裂(F10-2)、果洛山主峰断裂(F35)、果洛山东花岗岩体边界断裂(F36)、阿坝盆中断裂(F34)、久治断裂(F11)和赛尔曲北支断裂(F12-1)等 22 条断裂规模较大。在这 22 条断裂中,鲜水河断裂带北延段(F14)、色达断裂(F16)、日科—查卡断裂带(F27)、桑日麻断裂东南延伸段(F8)、宁它—灯塔断裂(F24)和亚尔堂断裂(F23)、阿坝盆地顺河断裂(F33)、甘德—阿坝北支断裂(F10-2)的影像特征更突出,对工程区的工程稳定性影响相对更大一些。

鲜水河断裂带北延段(F14 鲜水河主干断裂的北延部分) 鲜水河断裂带北延段是指著名的鲜水河大断裂在炉霍以西向西北延伸的分支断裂,位于工程区的西南部,影像上线性特征十分明显,主要展布于甘孜县的旦都、侏倭、张曲一带,总体走向 320°,长约 60km。该断裂控制一系列的断裂谷与水系分布,在主干断裂附近河流支流同步反扭,反映了断裂以左旋走滑活动为主。

色达断裂(F16) 色达断裂线性构造影像清晰、平直,位于工程区的中部偏南,从色达县城以西到城东南 20km 处的洛若乡段基本上沿色曲河分布。在色达县城附近,色达断裂左旋错动色曲多条支流迹象十分明显,错距可达数百米。色达断裂在工程区内长 90km,总体走向北西 330°。

日科—查卡断裂带(F27) 日科—查卡断裂带在 ETM 图像上线性构造特征十分突出,规模巨大,横贯南水北调西线工程区的中部,破碎带数百米到数公里宽,主要由两条断裂构成。它是巴颜喀拉主峰断裂分支的东南延伸的北支部分,总体走向北西 320°。

日科—查卡断裂带是一条明显的地貌界线,将南水北调西线工程区划分为西南和东北两大部分,它也是工作区南北水系的分界线,对工程区内其南北两侧的断裂构造与环形构造的分布及其活动性等也具有明显的控制作用。

桑日麻断裂东南延伸段(F8) 桑日麻断裂规模比较宏大,工程区外最新活动段发生过 1947 年达日 7 $\frac{3}{4}$ 级地震,工程区内为其向东南延伸部分,位于工程区中部。在知钦乡(西)—西穷南—鱼托乡—金木达(东)一带基本沿杜柯河分布,总体走向 295°—305°,经过金木达东南的约木达沟以后继续

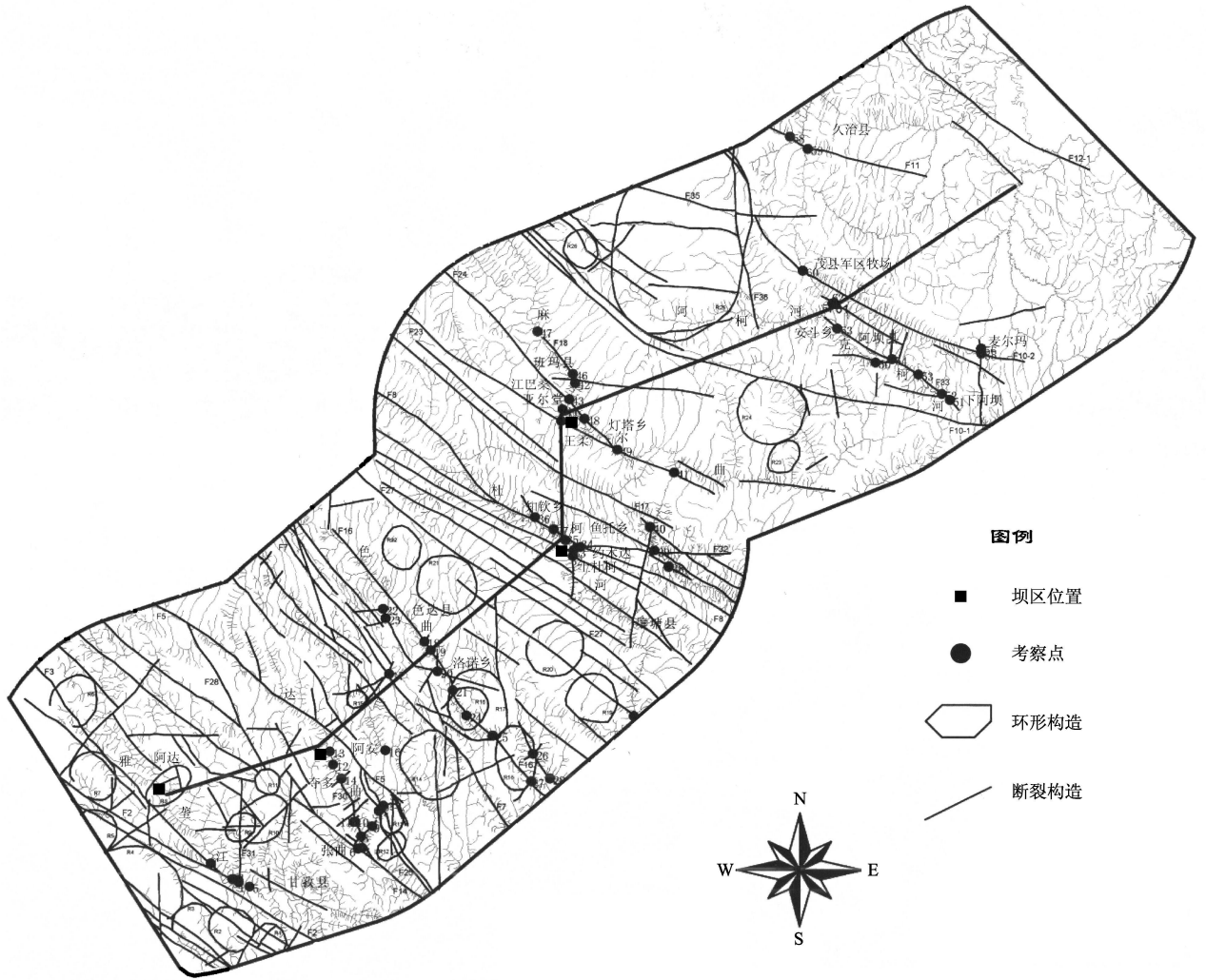


图 2 南水北调西线工程区 ETM 影像断裂及环形构造遥感解译图

Fig 2 Remote sensing interpretation map for fault and ring-shaped structures in ETM image in the Western South-North water transfer project area

向 SE 方向延伸 15km 左右出工区。

宁它—灯塔断裂 (F24) 和亚尔堂断裂 (F23)

宁它—灯塔断裂和亚尔堂断裂为亚尔堂坝址周围两条 NW 向断裂,在灯塔乡以东交汇并继续沿 120° 方向出工区,位于工程区的中部偏北。在灯塔乡以西,北支宁它—灯塔断裂经过江巴桑、木羊沟等地,走向 330°,南支经过亚尔堂南的王柔村、班前乡,走向 300°。从规模上看,北支断裂比南支大一些。

阿坝盆地顺河断裂 (F33)

位于工程区的东北部,该断裂在 1:20 万区域地质图上未见到,但从影像上看,该断裂从克柯河和阿柯河的交汇处,沿阿柯河向 SE120° 方向至下阿坝断裂线性构造形迹十分清晰,全长至少 60km。而在阿坝县城以西,阿柯河左

岸(北岸)的支流入口处河流被左旋扭动的痕迹十分明显,显示出阿坝盆地顺河断裂对现代水系的强烈控制作用。

甘德—阿坝北支断裂 (F10-2)

亦称阿坝盆地北缘断裂,在工作区内控制阿坝盆地的北部边界,为区域性的大断裂,位于工程区的东北部。从阿坝县城以东的麦尔玛北至阿坝县甲尔多西北的茂县军区第二牧场以南 500m 地段断裂走向为 305° 左右,茂县军区第二牧场以南 500m 以西,该断裂走向转为 330°—340°。

上述断裂中,除鲜水河断裂带北延段及阿坝盆地顺河断裂未穿越输水线路外,其余断裂均穿越输水线路。

除断裂构造外,在 ETM 影像上还判读出 26 个大小不等、成因不同的环形构造,其中有 22 个分布在西南部,仅 4 个在东北部(图 2)。据初步分析,他们对工程区的稳定性起到积极的作用。

3 南水北调西线工程区断裂构造的野外验证及主要活动断裂的初步确定

野外考察的主要目的就是室内判读的所有断裂构造进行实地验证,在此基础上确定出主要活动断裂尤其是前面描述的 7 条断裂构造的性质及其活动时代等,并对工程稳定性的影响进行初步评价。

此次野外考察共设 63 个考察点(图 2),因为交通不便等原因验证了 31 条断裂,对工程区内 22 条重要断裂验证了其中的 14 条断裂,验证结果表明判读断裂构造的正确率达到 90% 以上。

3.1 主要断裂构造活动性质及活动时代的初步判定

鲜水河断裂带北延段

鲜水河断裂带是中国西部一条巨大型走滑型活动断裂。本次实地调查重点是其北延段能否到达输水线路,张曲为野外观察点。

在张曲,可见到北西向的鲜水河断裂带北延段切错达曲支流柯尔弄 I 级阶地底部砂砾石层和上覆黄土。该处断裂向上破裂位错一直达到地表,属全新活动断裂。断层面近于直立,断裂走向 300° ,且有宽的变形构造带。变形带内砾石顺断面定向排列,有明显的水平擦痕。从砾石的牵引变形及断层特征分析,断裂显示为逆走滑运动特征。该点西北 1—2 km 山脊和东南 1 km 柯尔弄河南岸一级阶地上存在有哑口地貌。

据实地调查,鲜水河断裂带北延段通过张曲向西北延伸不远就逐渐消失,没有到达输水线路。

桑日麻断裂东南延伸段

沿杜柯河(知钦一金木达东南约木达沟段)对桑日麻北西向断裂东南延伸段做了详细考察,并在约木达沟、金木达东南、鱼托村东及知钦等地共布设多个观察点。该断裂破碎带十分发育,宽 50—100 m,走向 295° — 305° ,倾向南,倾角大于 80° 。在鱼托村东还可见清晰的水平和垂直运动擦痕,显示该断裂为左旋走滑逆断层。在杜柯河左岸,断裂破碎带之上的二级阶地未遭受破坏,下为砾石层,上为 Q^3 黄土层,说明 Q^3 以来桑日麻北西向断裂东南延伸段没有活动痕迹,而有关测年数据亦表明该断裂

属早中更新世的活动断裂(中国科学院地质与地球物理研究所热释光样品的测年结果为 $(167 \pm 8.3) \times 10^3$ 年^[4],中国地震局地质力学所电子自旋共振样品测年结果为 $(480 \pm 21) \times 10^3$ 年^[5])。

宁它一灯塔断裂和亚尔堂断裂

在断裂带上布设了多个观察点,在江巴桑北和王柔村处断裂活动迹象更明显。

在江巴桑北东 200 m 公路旁,可见宁它一灯塔断裂的破碎带。在麻尔曲河右岸,破碎带宽至少 40 m,断层走向 320° — 330° ,倾向 50° — 60° ,断层面近直立,此处破碎带表现为哑口地形。破碎带表面出露的晚更新世的黄土层有被严重扰动的痕迹,表明自 Q^3 黄土形成以来该断裂还有过活动迹象。破碎带内主断层面上可见清晰的水平和垂直错动擦痕,从擦痕方向分析,该断层为左旋走滑逆断层。

在亚尔堂南的王柔村,可见亚尔堂断裂的破碎带。此处同样可见哑口地貌,哑口处破碎带宽 60 余米和 Q^3 黄土堆积被扰动的痕迹,不过扰动程度不如北支宁它一灯塔断裂明显。

在上述两条断裂的其它观测点以及它们向东南延伸到灯塔乡附近交汇后的观测点上断裂的破碎带也十分明显,左旋走滑的特征也较清新。

阿坝盆地顺河断裂

从断裂的东南端下阿坝处到西北端安斗乡东南的鸭花姐村布设了多个观察点。总体上,断裂破碎带发育,带宽至少 20 m,断层走向 320° — 330° ,在阿坝县城东南 1 km 处的壤洛村还可见挤压破碎带中的入字型结构和透镜体构造。该断裂在阿坝县城以西左旋错断克柯河多条支流的迹象十分明显,显示左旋走滑特征。

根据中国地震局地质力学所在二级阶地上所挖探槽剖面显示的测年结果表明^[5],该断裂在 1.6—0.9 万年前有强烈活动,为全新世早期的活动断裂。

对于色达断裂、日科一查卡断裂带、甘德—阿坝北支断裂也做了详细的野外考察。根据考察结果和有关测年数据表明,色达断裂为晚更新世时期以左旋走滑为主的逆冲断裂,日科一查卡断裂带自第四纪以来没有活动,为前第四纪断裂,甘德—阿坝北支断裂为晚更新世早期的高角度逆冲断层。

3.2 活动断裂构造时代的初步确定及其活动性初步分析

通过野外考察和测年数据及其它资料的综合分析,对工程区内 22 条重要断裂的活动时代及其活动

性的初步分析如下:

全新世活动断裂

在工程区内有 5 条断裂为全新世活动断裂。它们是鲜水河断裂带北延段、阿坝盆地顺河断裂、果洛山主峰断裂、甘孜—玉树断裂带和赛尔曲北支断裂等。野外考察验证了甘孜—玉树断裂带、鲜水河断裂带北延段和阿坝盆地顺河断裂。甘孜—玉树断裂带和赛尔曲北支断裂分别位于工程区的西南端和东北端,因它们离输水线路较远,虽然全新世以来还有强烈活动,但对工程区的影响有限,其余三条影响相对较大,应引起重视。

晚更新世活动断裂

除温拖断裂、大塘坝北西向断裂、果洛山花岗岩体东侧南北向断裂未做验证外,生康南北向断裂、且都—丘洛断裂、东谷北西向断裂、色达断裂、约木达—桑隆近东西断裂、亚尔堂断裂和宁它—灯塔断裂、甘德—阿坝南支断裂、阿坝盆中断裂、甘德—阿坝北支断裂等 9 条做了实地验证。不过由于这些断裂在全新世以来没有活动,所以尽管规模较大,但它们对工程区的稳定性影响比较有限。

早、中更新世活动断裂

在南水北调西线工程区,第四纪以来的早、中更新世有过活动的断裂有桑日麻断裂和久治断裂 2 条。这类断裂,即使规模很大,且穿过工程区输水线路(如桑日麻断裂),但因晚更新世以来无新活动,故对工程区的稳定性影响较小。

前第四纪活动断裂

包括长须干玛断裂、泥曲断裂、日科—查卡断裂带等。这些断裂都是老断裂,后期也没有发现继承性活动。虽然规模很大,但对工程区的稳定性影响很小。

4 活动断裂构造对南水北调西线工程区的影响评价

4.1 区域地质构造单元特征

根据前人的研究成果,工作区位于呈北西西向展布的二级新构造单元昆仑—巴颜喀拉地块内(简称巴颜喀拉地块)(图 1)。块体四周被强烈活动的断裂带围限,北界为库塞湖—玛沁(东昆仑)断裂带(库—玛断裂),南界为玉树—甘孜—鲜水河断裂带,西界为阿尔金断裂带,东界为龙门山断裂带,这些断裂带均是大地震频繁发生的构造带,是块体运动引发应力集中和释放能量的主要场所。而在巴颜

喀拉块体内部,新构造活动相对较弱,主要表现为西南高东北低的掀斜式抬升,垂直差异运动不甚明显,除达日发生了 7- $\frac{3}{4}$ 级地震外至今无 7 级以上的强震发生,而在工作区内 6.5 级以上的地震没有历史记录,因此相对来说是一个安全岛。

4.2 全区断裂构造分布特征

南水北调西线工程区存在 4 组断裂构造

南水北调西线工程区内存在着 NW, NE, 近 SN 以及近 EW 向等 4 组断裂构造,其中 NW 向断裂构造(断裂走向 290°—330°)规模最大,活动性最强,其延伸方向与本区的大多数山脉、水系的走向近于一致,为本区内的主要断裂构造,具有区域性的特征。近 SN 向、NE 向以及近 EW 向这 3 组断裂规模均不大,活动性也不及 NW 向断裂强。

6 条区域或主干 NW 向断裂构造对工程区的地貌控制作用特别明显

从 TM 图像上和解释结果可以清晰地看到,整个南水北调西线工程区从南向北被甘孜—玉树断裂、长须干玛断裂、日科—查卡断裂带、亚尔堂断裂、甘德—阿坝南支断裂及久治断裂等 6 条断裂以大约 50—60 km 的等间距分割为 5 个部分。甘孜—玉树断裂与长须干玛断裂之间在地形地貌上为轻微—中等切割的高山区(玉树—义敦断褶带)、长须干玛断裂与日科—查卡断裂带之间在地形地貌上为强烈切割的高山极高山区(南巴颜喀拉复向斜带)、日科—查卡断裂带与亚尔堂断裂之间在地形地貌上为轻微—中等切割的高山区(中巴颜喀拉断褶带,即复斜带)、亚尔堂断裂与甘德—阿坝南支断裂之间在地形地貌上为强烈切割的高山极高山区(北巴颜喀拉复向斜带)、阿坝南支断裂与久治断裂之间在地形地貌上为轻微—中等切割的高山区(阿尼玛卿断褶带)。

以日科—查卡断裂带为界西南与东北断裂构造格局明显不对称

NW 向的日科—查卡断裂带是巴颜喀拉主峰断裂分支的东南延伸部分。以日科—查卡断裂带为中轴线,其西南与东北的断裂构造格局明显不对称。在工程区内该断裂带两侧的断裂构造密度完全不同,其西南侧断裂较多,占据全区断裂构造的 70% 以上,断裂的活动性较强,褶皱构造相对较少;而其东北侧断裂相对较少,活动性也较弱,褶皱构造较工程区西南侧多一些。

4.3 全区断裂构造分布对工程区的稳定性评价

从上述分析可知,南水北调西线工程区内 NW 向断裂对全区的地貌、水系等起到明显的控制作用,因此对输水线路及相关的坝区影响也较大。前述的这些断裂,有的横跨输水线路及相关的坝区,有的虽然未穿越输水线路或到达相关的坝区,但离输水线路或相关的坝区的位置较近,对输水线路或相关的坝区的影响也不容忽视。不过通过仔细分析发现,所有的这些断裂或是因为晚更新世以来没有新活动,或者即便是晚更新世以来有活动痕迹,但因为在输水线路或坝区附近有坚硬的花岗岩体或其它方向断裂的阻隔作用,活动强度还未达到对输水线路或坝区有致命性的破坏程度。因此可以说南水北调西线工程区内 NW 向断裂的活动对输水线路及相关的坝区有一定影响,但远未达到破坏性的程度,工程区是相对安全的。

工程区除了 NW 向断裂带以外,还有近 NS 向、NE 向和近 EW 向这 3 组断裂在全区内均有分布。总的来说这 3 组断裂在工区内规模都不大,活动性也不十分强烈,即使有些规模比较大,但它们在工程区内不成系统,对工程区的稳定性影响很有限。从某种意义上讲,这些断裂对于 NW 向断裂的活动起到一定的抑制作用,减弱了 NW 向断裂对输水线路或坝区的不利影响,可以说这 3 组断裂的存在对输水线路或坝区的稳定性在一定程度上是有利的。

5 结 论

(1)在南水北调西线工程区内存在 4 组不同的断裂构造,它们基本上沿着 NW、NE、近 SN 以及近 EW 向分布,其中 NW 向断裂构造(断裂走向 290° — 330°)规模最大,活动性最强,为本区内的主要断裂

构造,具有区域性的特征。

(2)尽管工程区内有 5 条全新世时期和 12 条晚更新世时期的区域性 NW 向活动断裂构造,对输水线路及相关坝区的工程稳定性构成了一定威胁,但通过仔细分析发现,5 条全新世时期的活动断裂均未穿越输水线路,离相关坝区也有一定距离,12 条晚更新世时期的活动断裂全新世以来没有新活动,因此它们的威胁相对来说是有限的,远未达到致命的程度,工程区处于一个相对稳定的区域。

参 考 文 献 (References)

- [1] Chen S P. Remote Sensing Analysis for the Earth Science[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1990 [陈述彭. 遥感地学分析[M]. 北京:测绘出版社, 1990.]
- [2] Wei C J. Practice and Progress of Remote Sensing Applications in the Studies on Large-scale Project Environment[A]. Pro of New Progress of Remote Sensing Science[C], Beijing: Science Press, 1995 [魏成阶. 大型工程环境遥感应用的实践与进展[A]. 遥感科学新进展论文集[C], 北京:科学出版社, 1995.]
- [3] Pu J J. Interpretation Principle and Method of Remote Sensing Images[M]. Beijing: Chinese Scientific and Technological Publishing House, 1992 [濮静娟. 遥感图象目视解译原理与方法[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1992.]
- [4] Lin Q Z, Wei Y M, Wu F Q, et al. Summary Report on "Remote Sensing Studies of Active Faults in the Western South-north Water Transfer Project Area in China"[R]. 2002 [蔺启忠, 魏永明, 伍法权等. "南水北调西线工程第一期工程活动断层遥感研究"总结报告[R]. 2002.]
- [5] Ran Y K. Report on Fault Activity Estimate in the Western South-north Water Transfer Project Area in China[R]. 2003 [冉永康. 南水北调西线工程第一期工程断裂活动性评价报告[R]. 2003.]
- [6] Wang Z H. Applications of Remote Sensing Techniques in the Surveying Monitoring and Prevention of Geological Disasters[J]. Journal of Environment of Remote Sensing(China), 1992, 7(3): 190-195 [王治华. 遥感技术在地质灾害调查、监测和防治中的应用[J]. 环境遥感, 1992, 7(3): 190-195.]

Remote Sensing Studies on Active Faults in the Western South-North Water Transfer Project Area in China

WEI Yong-ming¹, LIN Qi-zhong¹, WANG Xue-chao², WEI Cheng-jie¹, LI Jia-cun¹

(1. Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences Beijing 100101, China;

2. Institute of Survey and Planning Committee of the Yellow River Water Conservancy, Ministry of Water Conservancy Zhengzhou 450003, China)

Abstract According to the interpretation marks of active faults about 200 faults were interpreted which strike northwest-northeast-south-north and east-west respectively. Northwest-trending faults have the largest scale and regional feature controlling the development of landforms and water systems in the Project Area. Among them, 22 faults have relatively larger effects on water transfer project. Through the field observation, it has been shown that there are 5 active faults in Holocene and 12 huge active faults in later Quaternary. However, it has been discovered by synthetical analyses that these active faults don't have critical threat on the water transfer project because of long distance from the water transfer project or not passing through it or other factors. In summary, the water transfer project will be stable relatively through active faults analysis.

Key words active faults; remote sensing interpretation; project stability