

南水北调西线工程仁青里—岗龙引水线路 主要工程地质问题研究

赵自强, 随裕红

(黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

摘要:在扼要介绍南水北调西线工程仁青里—岗龙引水线路断层及其特征的基础上, 分8段详细论述各洞段的主要工程地质问题, 并从10个方面进行综合工程地质评价, 为线路优化提供地质依据。

关键词:引水线路; 南水北调; 断层; 地质评价

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2001)07-0047-03

南水北调西线工程仁青里—岗龙引水线路是雅砻江调水区重要规划方案之一。本线路大部分隶属青海省果洛藏族自治州的达日县、甘德县和四川省甘孜藏族自治州的石渠县, 是一条近直线自流引水线路, 它是从雅砻江仁青里库区长须贡玛乡附近的俄木其河左岸引水, 穿越巴颜喀拉山后于甘德县岗龙乡附近黄河右岸入黄, 长164 km, 全部为深埋隧洞(图1), 年引水量50亿 m^3 。

线路横跨雅砻江、黄河两大流域, 海拔一般为4200~4600 m, 山脉呈北西—南东向展布, 地势总体南西略高于北东; 按照巴颜喀拉褶皱系二级构造单元划分, 线路区属北巴颜喀拉复向斜带、中巴颜喀拉断皱带两个二级构造单元; 出露的地层有三叠系、第

四系及印支期、燕山期中酸性侵入岩, 其中三叠系中统甘德组(T_2g)、上统巴颜喀拉山群上、下岩组(T_3by_2, T_3by_1)、昌马河组上段(T_1c^2)为主要地层单元, 岩性多为浅变质砂岩、板岩以及砂板互层; 区内地质构造十分发育, 断裂以NW向为主。

1 穿越线路区的主要断层

在1:10万的TM假彩色合成影像上, 断裂构造的影像特征及展布方向较为清晰, 经目视解译、计算机辅助处理分析并结合区域调查资料, 穿越引水线路区的主要断层共有21条, 其中规模和切割深度较大的有协窝沟—纳西塘断层(F_1)、俄木其—日裸断层(F_4)、尼曲河断层(F_8)、尼科—泥拉断层(F_9)、直日啊—

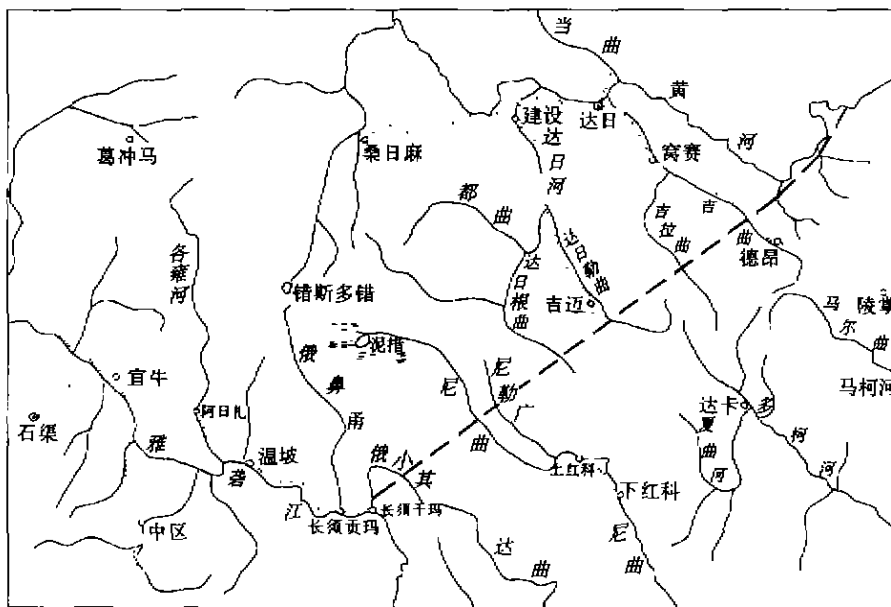


图1 仁青里—岗龙引水线路引水线路及交通位置

聂格强断层(F_{11})、达尔洛曲南断层(F_{13})、扎马窝-桑支贡玛断层(F_{14})、日姆-江合勒断层(F_{21})。这些断层均为逆断层,破碎带宽30~200m不等,据CSAMT深层物探联合反演图, F_8 、 F_9 、 F_{11} 、 F_{13} 、 F_{14} 存在明显的低阻异常,断层切割深度大于1000m。 F_1 、 F_9 、 F_{14} 、 F_{21} 分别处在区域上的清水河北断裂的长须贡玛段、主峰断裂的下红科段、桑日麻—南木达断裂的南木达断层段和甘德南北支断裂的龙格寺断层段。

2 引水线路工程地质分段及主要工程地质问题

a. 进口—戈洛永扎那玛段。引水高程3874m,洞底高程3865~3860m,上覆岩体厚度135~1085m,地表地形陡峻,发育俄木其河、日棵河等较大水系。沿洞线主要穿过 T_{2g} 长石石英砂岩夹粉砂质板岩和 T_{1c^2} 的砂板岩互层,岩石坚硬,岩体结构呈层状。洞线穿越 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 断层,断层与洞线呈 $50^\circ\sim 85^\circ$ 夹角,对地下洞室围岩稳定相对有利。本段围岩以Ⅲ类为主,属稳定性较差段,背斜核部及断层交汇影响带为Ⅳ~Ⅴ类。洞口段距清水河北活断裂(F_1)较近, F_2 从洞口通过,岩体节理发育,且处在达曲推覆体前缘地带,因此进洞条件较差;洞室穿过 F_4 和 F_5 两断层交汇影响带及背斜核部,上覆岩体很薄, F_4 顺俄木其、日棵发育,向下延伸150m左右。该段岩体破碎,可能会出现洞室坍塌、涌水等问题。

b. 戈洛永扎那玛—云果段。洞底高程3860~3854m,埋深445~1000m,地形切割程度一般,无较大水系。岩性为 T_{2g} 长石石英砂岩夹粉砂质板岩和 T_{1c^2} 的砂板岩互层,岩石坚硬,整体块状或层状结构。洞线能以较短距离穿越 F_7 和背斜核部,断层较少,节理不甚发育,除断层与背斜核部外,岩体相对完整,本段综合评价为Ⅱ类基本稳定围岩,断层影响带及背斜核部为Ⅳ类。主要工程地质问题为高地应力和局部高地温问题。

c. 云果—三那段。洞底高程3854~3849m,埋深420~750m,地表地形切割剧烈,有尼曲、泥拉河等较大水系。岩性主要为 T_{2g} 和 T_{3by_2} 的长石石英砂岩、长石砂岩夹粉砂质板岩,岩质类型为坚硬岩-中硬岩,层状结构。穿越 F_8 和 F_9 两条断层, F_9 为区域上的主峰断裂。本段为稳定性较差的Ⅲ类围岩,断层影响带及背斜核部为Ⅳ~Ⅴ类。 F_8 和 F_9 两条断层破碎带较宽,切割深度大于1000m,且均为顺河发育断层,因此断层影响带及背斜核部岩石破碎,存在塌方掉块及涌水、突水问题。

d. 三那—沙那段。洞底高程3849~3840m,埋深500~925m,沿线地势较高,水系众多,低洼地带

沼泽和冻胀丘非常发育,主要穿过 T_{3by_1} 、 T_{3by_2} 、 T_{2g} 的砂岩夹板岩及砂板互层。岩石坚硬,层状结构,主要穿越 F_{10} 和 F_{11} 两条断层。本段以Ⅱ类围岩为主,围岩基本稳定,断层影响带、背斜核部为Ⅳ类;断层影响带和背斜核部,围岩可能产生坍塌问题; F_{11} 顺河发育,据物探资料,该断层切割深度大于1000m,超过上覆岩层厚度,地下涌水的可能性较大。

e. 沙那—瓦写段。洞底高程3840~3833m,埋深420~740m,地表较大水系主要有达尔勒曲,冻胀丘、沼泽发育。岩性为 T_{3by_1} 、 T_{3by_2} 的砂岩夹板岩、砂板互层及岩浆岩,岩石坚硬,岩体结构类型为整体块状,局部碎裂和散体结构。发育 F_{13} 、 F_{14} 、 F_{15} 、 F_{16} 四条断层和达尔勒曲复背斜,洞线与断层交角 $70^\circ\sim 80^\circ$ 。本段总体属Ⅲ类围岩,稳定性较差,断层和背斜核部通过处为Ⅳ~Ⅴ类。线路穿越岩浆岩体且埋深较大,局部存在岩爆、高地温问题;根据区域稳定分析,洞线在本段处在次不稳定区。洞线穿越较多断层和复式背斜核部,其中 F_{13} 和 F_{14} 为区域上的桑日麻—南木达断裂带,两条断层顺河发育或切割较大水系,破碎带宽50~100m,深度延伸超过1000m,断裂带西侧分布有1947年达日7.75级地震形变带,岩体挤压强烈, F_{15} 和 F_{16} 断层带内岩石破碎,带内岩体呈碎裂状,因此以上洞段出现坍塌、冒顶、涌水、突水的可能性较大。

f. 瓦写—查尔根段。洞底高程3833~3819m,埋深175~780m,较大水系主要有吉拉曲和吉曲,岩性主要为 T_{2g} 和 T_{3by_1} 的砂岩夹板岩及砂板互层。岩石坚硬,岩体结构为层状,断层及影响带附近为碎裂结构。洞线在本段穿过 F_{17} 和 F_{18} 两条断层。本段为基本稳定的Ⅱ类围岩,断层影响带及背向斜核部为Ⅳ类。洞线穿越 F_{17} 和 F_{18} 两条较大断层和较多背向斜构造核部,线路在吉日阿附近距1949年杂科南侧的6.0级地震震中12.5km,以上地段岩体完整性差,岩石破碎,易发生坍塌、掉块现象。据物探资料, F_{17} 和 F_{18} 切割深度分别大于150m和1000m,两条断层均顺河发育,地下水有丰富补给源,在断层通过处及影响带可能有涌水现象发生。

g. 查尔根—江合勒段。隧洞长14km,洞底高程3819~3814m,埋深80~300m,地表为浅切割的高山区,水系发育,主要有黄河及其支流。穿过 T_{2g} 地层的长石石英砂岩、长石砂岩,细砂岩、粉砂岩夹粉砂质板岩组,岩石坚硬,以层状结构为主。发育有 F_{19} 和 F_{20} 两条断层和查尔根复背斜, F_{19} 和 F_{20} 处在甘德南区域活断裂带上,与洞线夹角 $80^\circ\sim 90^\circ$,为稳定性较差的Ⅲ类围岩段,断层和背斜核部通过处为Ⅳ~Ⅴ类。 F_{19} 和 F_{20} 均横穿黄河,分别顺也克恰河、侧尺河发育,

背斜核部顺查尔根河发育,上覆岩体相对较薄,地表水与地下水连通性较好,涌水问题可能较严重。

h. 江台勒一出口段,隧洞走向 28° , 长度 14 km, 洞底高程 3814 ~ 3810 m, 埋深 50 ~ 550 m. 岩性主要为 T_2g 的长石石英砂岩、长石砂岩、细砂岩、粉砂岩夹粉砂质板岩, 岩石坚硬, 层状结构. 发育有 F_{21} 、 F_{22} 、 F_{23} 、 F_{24} 四条断层, 断层与洞线夹角 $70^\circ \sim 85^\circ$, 其中 F_{21} 为甘德南北支区域活断裂, 本段主要为稳定性较差的 III 类围岩, 断层破碎带及向斜核部为 IV 类. 洞线在较短距离内需穿越较多断层和复式向斜核部, F_{21} 又为甘德南北支区域活断裂, 破碎带宽 100 ~ 200 m, 可能有坍塌、冒顶现象发生; F_{23} 、 F_{24} 横穿黄河且顺河发育, 上覆岩体相对较薄, 存在涌水问题; 隧洞出口距 F_{24} 较近, F_{24} 两侧岩石破碎、片理化及糜棱岩化强烈, 破碎带宽 100 ~ 200 m, 受其影响出口条件较差。

3 工程地质综合评价

a. 仁青里—岗龙引水线路区处在北巴颜喀拉复向斜带、中巴颜喀拉褶皱带内, 褶皱和断层非常发育, 总体上以北西向展布的构造为主, F_1 、 F_9 、 F_{14} 、 F_{21} 断层分别为区域上的清水河北、主峰、桑日麻—南木达、甘德南活断裂, 破碎带及向下延伸较大, 对整个引水区起构造控制作用。

b. 根据区域稳定性评价, 引水区大部分洞段处于稳定、基本稳定区, 少部分为次不稳定区, 其中稳定洞段 76 km, 包括进口至纳尔冬 27 km 和柯尔罗至出口 49 km; 基本稳定洞段长 74 km, 为纳尔冬至柯尔罗段(云果至三那段除外); 次不稳定洞段长 14 km, 为云果至三那段, 地震基本烈度大致以错尔根为界, 以南为 7 度区, 以北 8 度区, 分别占引水线路长度的 35% 和 65%。线路沙那一洼里格段距 1947 年达日 7.75 级地震和 1949 年杂科南侧的 6.0 级地震震中较近, 发震构造为桑日麻—南木达断裂, 因此活断裂和地震问题应作为本引水线路的首要工程地质问题。

c. 根据岩质类型、岩体结构、地应力状态、地下水活动等因素, 对线路区洞室围岩进行了初步分类, 从分类情况来看, II 类围岩占 50%, III 类围岩占 40%, 其余 10% 为 IV ~ V 类。

d. 现代构造应力场的最大主压应力方向约为 $NE53^\circ$, 与洞线方向近于一致或夹角较小, 隧洞总体应力状态较好, 对洞室围岩侧墙稳定有利. 但因线路埋深为 50 ~ 1085 m, 在长达 164 km 的洞线内, 穿越局部高地应力或应力集中带仍是难免的, 这些地段洞壁易向外膨胀或发生剧烈岩爆, 对围岩稳定不利。

e. 沿线路需穿过较多的断层和背向斜构造, 但岩层走向、褶皱轴向与断层走向均呈 $300^\circ \sim 320^\circ NW$

向展布, 与洞线呈 $65^\circ \sim 80^\circ$ 大角度相交, 因此洞线能以较短距离穿越主要断层破碎带、节理裂隙密集带及褶皱核部, 对地下洞室围岩的稳定比较有利。

f. 引水线路大部分属中等或浅切割高山地区, 可对工程造成危害的外动力地质现象并不发育, 滑坡、崩塌、泥石流等规模较小. 线路区主要为 T_2g 、 T_1c^2 、 T_3by_2 、 T_3by_1 地层, 岩性为长石石英砂岩、长石砂岩夹粉砂质板岩或砂板岩互层, 岩石坚硬. 整体块、层状结构, 有利于工程兴建。

g. 线路进出口分别靠近 F_1 和 F_{24} , F_1 为区域上清水河北断裂, 两条断层附近岩石破碎、片理化及糜棱岩化强烈, 破碎带宽 50 ~ 200 m, 受其影响隧洞进出口条件较差。

h. 线路区冻土分布具有明显的垂直分带性, 海拔 4200 ~ 4300 m 以下为季节冻土, 以上为多年冻土, 冻土厚度一般不超过 20 m, 对于埋深 50 ~ 1085 m 左右的地下隧洞洞身无任何危害, 隧洞进出口边坡稳定有一定影响。

i. 穿越洞线的断层达 21 条, 其中有多条如 F_8 、 F_9 、 F_{11} 、 F_{18} 等断层均向下延伸超过 1000 m, 且顺河发育, 与地表水有密切的水力联系, 洞室局部洞段塌方、涌水及突水问题严重。

j. 隧洞在沙那一瓦写段需穿过 3 km 左右的二长花岗斑岩和石英二长岩体, 埋深 500 ~ 740 m, 具备储存高能量的条件, 存在高地温、岩爆问题。

(收稿日期: 2001-07-18 编辑: 马雪峰)

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

《河海大学学报(自然科学版)》(双月刊, 公开发刊)是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊, 主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章, 可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

本刊创办于 1957 年, 是我国中文核心期刊, 在国内工程技术界和学术界有较大影响. 曾获得全国优秀高校自然科学学报二等奖, 以及全国水利系统优秀期刊、江苏省优秀期刊称号. 本刊每逢单月出版, 国内外公开发行, 邮发代号: 28-63. 2002 年每期定价: 8.00 元, 全年订费 48.00 元. 欢迎广大读者在全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系. 联系地址: 南京市西康路 1 号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部; 邮政编码: 210098; 联系电话: (025)3786343; E-mail: xb@hhu.edu.cn