

南水北调西线雅砻江调水线路的工程地质条件比选

李金都

(中国地质大学工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:从南水北调西线工程雅砻江调水线路的工程地质条件出发,分析论证了三大自流引水线路和两大抽水引水线路的优劣,并对3条自流引水线路进行了比选,推荐出优化的引水线路。

关键词:南水北调工程;雅砻江;调水线路;工程地质条件

中图分类号:P622.2;TV212.3

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)07-0025-03

南水北调西线工程地处青藏高原的东部,是一项试图将长江上游部分水量引入黄河上游的跨流域调水工程。根据国家计委和水利部安排,我们完成了雅砻江调水方案的规划研究。

1 调水线路的布置

从雅砻江到黄河的调水方式有比降为1/3 000的直线型全隧洞自流线路和通过地面泵站、压力管道、蓄壅水库、洞堰及隧洞的接力扬水抽水线路。各调水线路年输水量 $45 \times 10^8 \text{ m}^3$,按照规划方案,我们对3条自流线路和2条抽水线路进行了工程地质勘察和研究。

a. 温坡水库—达日河自流线路(简称温—达线)。在四川石渠县温坡乡政府处的雅砻江上建与线路相配套、坝高192m的温坡枢纽,从水库左岸支沟进洞,以北东 43° 方向穿越江黄分水岭巴颜喀拉山,至黄河支流达日河左岸的青海省达日县建设乡南4km处出洞,线路总长106.7km。

b. 长须水库—达日河自流线路(简称长—达线)。在石渠县长须乡政府南约4km的雅砻江上建坝高270m的长须枢纽,从长须库区左岸支沟俄木其进洞,以北东 24° 方向穿越巴颜喀拉山,至达日沟左岸达日县建设乡政府南6km处出洞,线路总长94km。

c. 长须水库—恰恰弄自流线路(简称长—恰线)。从长须库区(与线路配套的枢纽坝高150m)的俄木其沟进洞,以北东 55° 方向穿越巴颜喀拉山,在黄河右岸的恰恰弄沟头直接入黄,线路总长131km。

d. 长须水库—达日河抽水线路。根据入黄高程的不同布置有两个方案,与两方案配套的长须枢纽坝高167m。①“4 180m”方案:在长须库区俄瓦尔沟

口建抽水泵站,通过3km长的压力管道,将库水从海拔3920m提至4173m的蓄水库,继而再通过两个各长约7km的隧洞及1个泵站、2个蓄壅水库,以接力形式输水到巴颜喀拉山南麓,再以隧洞方式穿山到达日河,线路总长81km,其中隧洞累计长74.5km。②“4 280m”方案:在长须库区龙振干玛沟口建抽水泵站,通过长2km的压力管道,将库水从海拔3965m提至4215m的蓄水库,再通过2个蓄壅水库、3段隧道、1个泵站送水到巴颜喀拉山南麓,以隧洞及洞堰的方式穿山渡沟调水至达日河,线路总长64km,其中隧洞累计长54km。

2 调水线路区工程地质条件

调水线路所经区域海拔高程在3 800~5 280m之间。巴颜喀拉山主峰一带,海拔5 002~5 260m,切割深度小于500m,属极高山区,冰川地貌发育,调水线路主要以隧洞方式穿过该区;巴颜喀拉山以南,海拔4 200~4 700m,切割深度在700m左右,属中等切割高山区,该地貌单元具有坡谷深切,山顶浑圆,水系呈树枝状,植被发育等特点,调水线路抽水方案以地面水工建筑物为主的方式通过该区;巴颜喀拉山以北到黄河间,海拔3 900~4 600m,切割深度多为320~360m,其间山坡平缓,水系呈梳状,植被茂盛,沼泽广布。调水河段河谷地貌总的特征,雅砻江以峡谷为主,比降较大,I—III级阶地发育;黄河以宽谷为主,比降较小,I级阶地断续发育。沿线大型滑坡、泥石流等不良物理地质现象较少。

线路区出露的地层主要为三叠系、第四系,其次为印支期、燕山期侵入的中酸性岩浆岩体。三叠系地层一般呈带状以多次重复出露为特征,走向 $300^\circ \sim$

330°,倾向 NE 或 SW,倾角 50°~70°,岩性为砂岩夹板岩、砂板岩互层、板岩夹砂岩的一套浅变质碎屑岩系。第四系主要沿河谷广泛发育,其成因类型主要有冲积、冲-洪积、洪积及冰碛-冰川堆积等,沿线岩浆岩呈株状零星分布,岩浆侵入受区域构造控制,其长轴方向与区内构造线一致,岩石类型主要有辉绿辉长岩、黑云母石英二长岩、石英正长岩、花岗闪长岩、花岗岩等。调水线路穿越中巴颜喀拉山复背斜带和北巴颜喀拉山复向斜带两个二级构造单元,区内构造线呈北西向展布,一系列近于平行的褶皱和断裂构成该地区的基本构造格架。次级褶皱发育的复式背向斜,多呈紧密状产出,成生于印支期。沿线规模较大的北西向断层共有 13 条,近东西向断层有 1 条,其中桑日麻—南木达断裂,其断裂带宽,岩层挤压破碎,具活动性,曾于 1947 发生达日 7 级地震,沿断裂带现今仍保存有长 120 km,宽 10~25 km 的地震变形带。沿线断层走向 300°~300°,倾向 NE,倾角 50°~75°,大多为顺层发育的陡倾角逆冲断层,断层带及其影响带均较宽,其中有 4 条断层顺河发育,地下水源补给充分。洞线区赋存的松散岩类孔隙水、冻结层上水、风化带网状裂隙水等因洞室埋深大对围岩稳定影响甚微,影响较大者主要为构造裂隙水,沿线局部还见有温泉出露。构造裂隙水的 pH 值为 7.5 左右,矿化度小于 0.2 g/L,属无色无味的 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ 或 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 型水。根据区域抽水试验资料,砂岩 $K = 0.03 \sim 0.21 \text{ m/d}$,板岩 $K = 0.01 \sim 0.194 \text{ m/d}$,均属微~中等透水,砂板岩互层 $K = 0.04 \sim 0.313 \text{ m/d}$,属微~较严重透水。

线路区冻土以海拔高程 4200 m 为界,以下为季节冻土区,其厚度小于 5 m;以上为多年冻土区,已揭露的连续多年冻土厚度为 0.8~1.2 m,最厚达 50 m。随着海拔高程的增高冻土厚度逐渐增大。

从沿线工程地质条件分析,自流线路的主要工程地质问题有深大长隧洞的围岩稳定,活动性断裂的影响,大量涌水、岩爆、高地温等;抽水线路的主要工程地质问题有冻土冻害、浅埋洞室围岩稳定、地面水工建筑物的防震等问题。

3 调水线路的比选

3.1 自流方案的优劣

由于采用全线深埋长隧洞引水,避开了地表的冻土冻害、岩体的风化崩塌、滑坡与泥石流等不良地质现象对地下隧洞的影响;同时,深埋隧洞的抗震稳定性、对地表原有地质环境的保护及运行管理条件等比抽水方案要好。

但是,自流引水方案的最短隧洞也在 90 km 以

上,属目前世界上最长的隧洞,其施工难度很大,设置支洞、斜井工程量大;温—达线要通过长沙贡玛—大塘坝断裂带,该断裂带由数个断层组成,宽度达 6 km;三条自流线路均要通过桑日麻—南木达活动断裂带,该段地震基本烈度较高(Ⅶ—Ⅷ度),区域稳定性较差。隧洞本身的工程地质问题复杂,诸如,破坏岩体围岩稳定、岩爆、涌水、高地温、高地震烈度区的隧洞抗震防护等问题。

3.2 抽水方案的优劣

抽水方案通过库坝、泵站及隧洞等地面建筑的结合使用,在同等坝高的条件下,极大地缩短了隧洞总长度,再通过设置支洞、斜井、洞堰等建筑,使隧洞施工相对方便,如“4 180 m”及“4 280 m”两方案的隧洞部分,上覆岩体厚度较小,岩爆及高地温问题较小,洞线区顺河断层发育少,施工开挖过程中,出现大量涌水的洞段相对会少;隧洞穿越的大断层也不多。

但是,抽水线路需修建库坝、泵站、洞堰等地面建筑物,抗震性能较地下建筑物差;且建筑物多位于季节性冻土与多年冻土分界带,冻土类型复杂,冻土地貌发育,冻害会随之带来地面建筑物的基础冻胀与融沉及边坡不稳定等问题。

显然,仅就地质条件而论,自流和抽水两种引水方式各有利弊,但是结合抽水线路具有耗能高(仅一条抽水方案耗电 61.4 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,相当于龙羊峡电站的年发电量)、运营管理不便的特点综合比选,自流方式要好于抽水方式。

3.3 自流引水方案三条洞线的比选

3.3.1 温—达线的优劣

温—达线具有与枢纽容易配套的优点;隧洞中Ⅱ类围岩洞段累计长近 60 km,约占隧洞总长的 56%,优良围岩较多;线路总长在三条隧洞中居第二位,比长—达线长 12.7 km,比长—恰线短 24.3 km。

但是,隧洞进口及前段将要穿越宽 6 km 的长沙贡玛—大塘坝断裂带,为Ⅳ类围岩,稳定性差;施工开挖过程中可能发生岩爆的洞段长约 10 km,并存在高地温问题;出口段成洞条件不好,洞口边坡稳定性差。

3.3.2 长—达线的优劣

该线路总长在三条自流引水隧洞中最短,开挖工程量相对较小;洞线穿越的较大断层最少(共 7 条),隧洞进口完全避开了长沙贡玛—大塘坝断裂带,进出口边坡基本稳定,并且具有较好的成洞条件;隧洞中Ⅱ类围岩洞段累计长近 66 km,约占隧洞总长的 70%,优良围岩段在三条洞线中居首位;沿线无岩浆岩体分布,岩爆及高地温等特殊工程地质问题相对较小,洞线大部分穿越地震基本烈度 6 度区,稳定性相对较好。

(下转第 29 页)

中密状,承载力标准值 $f_k = 180 \sim 200 \text{ kPa}$; 允许水力坡降 $J = 0.18 \sim 0.20$.

h. 砾砂、圆砾,砾石占 30% ~ 50%,圆砾中含卵石约 20%. 中密状,砾砂 $f_k = 260 \sim 280 \text{ kPa}$; 允许水力坡降 $J = 0.20 \sim 0.25$. 圆砾承载力标准值 $f_k = 280 \sim 300 \text{ kPa}$; 容许水力坡降 $J = 0.25 \sim 0.30$.

由河流侵蚀堆积形成阶地型的圩堤堤基,与上述滨湖三角洲的地层又有不同. 具典型的二元结构. 如赣东大堤 0 + 300 ~ 12 + 800 段,堤基地层为第四系全新统冲积层,上部岩性一般为粘土和壤土,下部为细砂、砾砂和砾卵石层等. 粘土和壤土层厚分别为 0.5 ~ 6.7 m, 0.9 ~ 4.7 m, 呈可塑状,局部为淤泥质粘土或砂壤土,层薄,呈零星分布. 土的主要物理力学指标为: 粘土,天然含水量 $W = 26\% \sim 30.5\%$, 孔隙比 $e = 0.75 \sim 0.85$, 压缩系数 $a_{1-2} = 0.25 \sim 0.28 \text{ MPa}^{-1}$, 凝聚力 $c = 30 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 14^\circ \sim 16^\circ$, $f_k = 160 \sim 200 \text{ kPa}$; 允许水力坡降 $J = 0.4 \sim 0.45$. 壤土,天然含水量 $W = 20\% \sim 31\%$, 孔隙比 $e = 0.60 \sim 0.90$, 压缩系数 $a_{1-2} = 0.22 \sim 0.35 \text{ MPa}^{-1}$, 凝聚力 $c = 18 \sim 30 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 15^\circ \sim 20^\circ$, $f_k = 160 \sim 220 \text{ kPa}$; 允许水力坡降 $J = 0.20 \sim 0.25$. 淤泥质粘土,天然含水量 $W = 38\%$, 孔隙比 $e = 0.9 \sim 1.0$, 压

缩系数 $a_{1-2} = 0.50 \text{ MPa}^{-1}$, 凝聚力 $c = 8 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 6^\circ \sim 8^\circ$, 承载力标准值 $f_k = 80 \text{ kPa}$; 允许水力坡降 $J = 0.20 \sim 0.25$. 砂壤土,天然含水量 $W = 15\%$, 孔隙比 $e = 0.62$, 压缩系数 $a_{1-2} = 0.20 \text{ MPa}^{-1}$, 凝聚力 $c = 10 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 22^\circ$, 承载力标准值 $f_k = 140 \text{ kPa}$; 允许水力坡降 $J = 0.15 \sim 0.20$. 砂类土中,中、细砂的内摩擦角 $\varphi = 28^\circ \sim 26^\circ$, $f_k = 140 \sim 120 \text{ kPa}$; 允许水力坡降 $J = 0.20 \sim 0.10$. 砾砂及砾卵石层,内摩擦角 $\varphi = 36^\circ \sim 40^\circ$, 承载力标准值 $f_k = 250 \sim 300 \text{ kPa}$; 允许水力坡降 $J = 0.25 \sim 0.35$.

3 结 语

综上所述,湖区内各圩堤的工程地质条件复杂,各项地质单元差异性较大. 由于上述堤防均为逐年加高培厚而成,建堤时间、施工条件、填筑土料的差异,导致各堤身质量的不同. 一般来讲,建堤时间长、运行多年的堤身土较为密实,堤身质量较好. 新建圩堤或碾压不够密实的老堤,质量较差,在高水位下,在圩堤内坡和坡脚处容易产生渗水,汛期集中漏水. 因此,对鄱阳湖堤坝区工程地质研究越来越引起了当地政府和专家的注意.

(收稿日期:2001-07-02 编辑:张志琴)

(上接第 26 页)

但该线进口高程较高,与其配套的长须枢纽坝高需 270 m,而与长—恰线配套枢纽坝高仅 150 m 就满足要求,因此,总体工程投资会随之增大,而且,长须枢纽的工程地质条件较差,问题较多,不宜建巨型高坝;隧洞出口处出水水流与河流交角过大,对输水的流泄不利.

3.3.3 长—恰线的优劣

该线路隧洞出口洞段岩性单一,构造简单,成洞条件较好,出口边坡稳定,出水水流与河流交角合理;与线路配套的长须枢纽坝高为 150 m,同长—达线相比,枢纽工程投资较小. 但长—恰线要通过地震烈度 9 度区,区域构造稳定性差;洞线所穿越较大的断层多达 10 余条,居三条线之首;隧洞中 II 类围岩洞段累计长为 52 km,约占隧洞总长的 40%,优良围岩最少;隧洞进口及前段断裂发育,断层交汇,穿俄木河谷隧洞段上覆岩体厚仅 16 m,呈碎石状散体结构,存在塌方、冒顶、涌水等严重问题,为 V 类围岩,成洞条件差;该线最长,也是迄今世界上最长的隧洞.

通过上述对三条自流引水隧洞方案的分析比较,仅就隧洞地质条件而言,以长—达线为优,温—

达线和长—恰线次之.

3.4 抽水引水方案的比选

“4180 m”方案的工程地质条件有较多不利因素,加之洞线较长(比“4280 m”方案长 20 km),故以“4280 m”方案作为优选方案推荐(具体比选内容略).

西线南水北调工程的实施对我国西北、华北地区未来的经济发展和加快开发黄河水电资源都具有重要的战略意义,工程规模宏大,涉及面广,调水线路的引水方式方案,关系重大. 因此,除了进行沿线工程地质条件的比选外,还应综合水工、施工、运行、管理、投资等诸多因素进行技术经济条件的论证,以选定更合理的方案.

参考文献:

- [1] 李金都,陈书涛. 南水北调西线调水区地质条件与关键工程地质问题分析[J]. 人民黄河, 1999, 21(2): 22 ~ 24.

(收稿日期:2001-06-25 编辑:熊水斌)

