

# 南水北调西线工程开发论证应注意的几个工程地质问题

□ 李长辉

为实现国家计委、地矿部、水利部共同拟定的“为南水北调西线工程规划、部署、引水线路比选提供区域工程地质特别是区域稳定性评价依据”之目的,青海地矿局于1989~1993年组织和联合有关专业队和院校及科研单位在30万km<sup>2</sup>的工程规划区内开展了相关的野外勘查和专题研究,所提交的报告评审验收被评为优秀。

虽然本次工作采用了目前国内在区域工程地质及区域稳定性勘查、评价中所采用的一切主要工作方法和手段,并由此获得了大量勘查试验研究资料,但由于西线工程浩大、所处地质地理环境特殊、地质构造的非地震潜在破坏活动(如构造应力的集中与工程的地应力综合病害、活动断裂的蠕动与工程的变形位错)等工程地质问题的预测、评价十分棘手,对工程安全的影响又十分敏感,因而随着西

线开发方案论证的逐步深入,一定应注意调查、研究、论证以下有碍工程安全的地质问题。

## 一、主要工程地质问题及其展布特征

巴颜喀拉山调水工程部署区区域工程地质条件与工程建筑的布置之间宏观上存在着九个方面的区域工程地质和区域稳定性问题,即:1)由于构造应力的局部调整和集中,可能会引起布置于构造应力调整集中带的洞室工程出现岩爆、巷道变形破坏等构造应力释放病害问题;2)由于区域性活动断裂全新世~晚更新世晚期活动段断裂所潜在的、今后很可能再次发生粘滑(突然)活动,而引起布置于其上和附近的工程建筑,出现工程断裂和强震的震动破坏问题;3)由于区域性活动断裂全新世~晚更新世晚期活动段断裂所潜在的蠕动变形性,而可能引起布置于其上的工程建筑出现持续变形位错问题;4)由于地温和水热活动异常区的存在,可能会引起穿越于其内的深埋长隧洞工程出现高温热害问题;5)由于部分地区河谷地表水、地下水、断裂带地下水均较丰富,三者之间具有较好的水力联系性,由此可能引起穿越于河谷底部的引水隧洞工程出现断裂带贮水构造的突发性涌水问题;6)由于巴颜喀拉山中、西部地段区冻土极为发育,工程的兴建会不断地打破原有的热平衡环境,会引起布置于其内的部分引水工程和辅助工程出现严重的冻胀、融陷、滑塌等冻土病害问题;7)由于区域性断裂带软岩的存在,而影响了岩体强度,会出现断裂带工程围岩的自稳性下降问题;8)由于通雅大三河引水河段河谷岸坡岩体变形破坏现象都比较普遍,因而库坝存在着岩体结构稳定性问题;9)由于通天河治家、雅砻江温波、大渡河斜杂河段上游2~5级左右地震活动相对集中,河谷基岩裸露、裂隙发育,具有构造应力局部集中释放和地下水渗透的裂隙介质条件,于此建水库,可能会提高2~5级左右地震活动的频率,出现水库诱发地震问题。其中前六个问题主要有碍于引水隧洞工程的安全,后三个问题主要有碍于引水枢纽大坝、水库工程的安全。这些问题,在调水工程部署区内具有地区性和地带性集中分布的规

律。如前五个问题就主要集中分布于西自巴颜喀拉山主峰北侧巴北断裂组的开赖龙埂附近,东至班玛县巴北断裂组通过的多贡麻附近,北起两湖断裂组的黄河同布岗—俄尔金附近,南抵巴中断裂组的尼曲尼什多—巴南断裂组的俄布绒—坡鲁加毛附近。亦即集中分布于巴颜喀拉山多方向地质构造交汇的中部地段区;冻土和与冻土有关的工程地质问题则主要出现于巴颜喀拉山西部丘状高平原地段区;库区天然地震活动和水库诱发地震问题主要出现在治家、温波、斜尔尕库坝附近;隧洞围岩断裂带软岩自稳、库坝岩体结构稳定问题虽分别为引水隧洞和库坝布置中的普遍性问题,但前者在巴颜喀拉山的中、西部地段区,后者在水库诱发地震问题的潜在区,都会在其不利工程建筑工程地质条件的综合影响下而加剧。

巴颜喀拉山调水工程部署区区域工程地质、区域稳定性条件分布的地区差异性和工程地质问题发育程度的地带不均一性,致使评价区内巴颜喀拉山东部、南部地段区的区域工程地质、区域稳定性条件与调水工程安全间的矛盾少而小,适宜于调水工程的布置,进而西线调水在地质条件是可能的,调水工程地质条件的安全要求是有较高保障的,为此该报告特别提出和推荐通雅大(三河一线)联合调水方案,作为西线开发的代表方案。

## 二、现拟调水方案地质条件的适宜性

西线调水初步规划研究方案地质条件的优劣,取决于调水枢纽大库高坝、深埋大洞径长引水隧洞布置地带,区域性工程地质条件与规划工程安全之间的矛盾或问题的多少与严重程度。为此,对西线初拟的十二个主要调水工程方案与地质条件的适宜性进行初步评估,供工程规划筛选、决策。

调水方案与地质(区域工程地质及区域稳定性)条件的适宜性,按不适宜、较适宜、适宜三级划分,则通天河歌扎、联建与雅砻江温达三条自流调水方案为不适宜方案。三方案存在着较多严重的工程地质问题(图1、表1),方案整体与区域地质构造及其现代活动性条件的适宜性

差,方案局部调整后也难于适宜;通天河治多、雅砻江长达、大渡河斜贾三条单河抽水方案和雅砻江长恰、通雅联合长恰二个自流调水方案以及通雅联合莫长恰抽水-自流调水方案为较适宜方案。这六个方案都潜在有较多和局部存在有较严重的工程地质问题,需要进行重点详勘,为工程规划设计提供依据。且总体而言,由于治多抽水方案将受治家枢纽潜在水库地震的严重制约,长达抽水方案引水隧洞的工程地质制约因素多、潜在的工程地质问题比较严重,因此二抽水方案必需要进行(如治多的引水枢纽、长达的隧洞出口)布置上的调整;雅砻江我章自流、通雅大联合我章自流和通雅大联合莫我章抽水-自流三方案为适宜方案。且三个方案的最终方案就是一个方案,因为同我章与莫我章方案为通雅大联合调水的二个比选而择其一的方案,而雅砻江我章自流方案则同时包含在通雅大联合我章和莫我章调水方案中。

在西线调水初步规划研究的三个单河抽水、五个单河自流、二个多河联合自流、二个多河联合抽水-自流,总计四种比选调水方式、十二个比选调水线路方案中,与区域地质构造及其现代活动性条件相适宜的调水方案是三河一线通雅大联合莫我章抽水-自流和通雅大联合我章自流二个比选调水方案;较适宜方案主要是二河一线通雅联合莫长恰抽水-自流和同长恰自流二个分别与通雅大联合莫我章抽水-

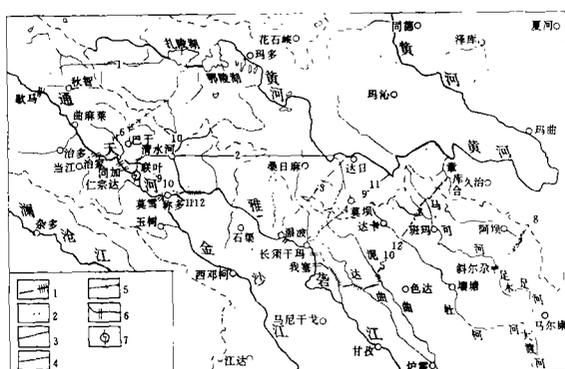


图1 西线调水方案布置示意图

1. 联合自流方案隧洞、渠道
2. 联合抽水-自流方案抽水线路
3. 联合自流方案比选隧洞
4. 单河自流隧洞
5. 单河抽水隧洞、渡槽
6. 枢纽坝址
7. 抽水用电电站

自流、同我章自流调水方案的比选方案。

因而适宜的或较适宜的调水方案都是多河一线通雅大联合或通雅联合调水方案。这是因为在通天河的所有抽水、自流比选方案中,在地质构造条件上只有将通天河河水先抽入或先自流入雅砻江的调水方案才能与地质构造条件相适应;而在雅砻江抽水、自流方案中,也只有我章、长恰自流方案是适宜的和较适宜的调水方案,但它们也同时都是多河一线通雅大或通雅联合调水方案中的雅砻江至黄河段的自流调水方案段。即通天河至雅砻江的抽水或自流二个比选引水段在进入雅砻江后,都是与雅砻江-大渡河至黄河段的我章或雅砻江至黄河段的长恰二个比选自流引水段相连,经规划比选论证后,组成一个统一的通雅大或通雅联合多河一线调水整体方案。

多河联合调水的长线(通雅大)方案,在工程规划布置上虽然基本避让开了活动断裂、构造应力集中、强震、地热异常、断裂带地下水、冻土、水库诱发地震等主要区域性工程地质问题,且隧洞单长短、顺程每年还可增加约30亿立方米的引水量,但与短线(通雅)方案相比,其线路总长增加了130.7千米,其中隧洞累长增加了36.9千米。短线工程方案的不足之处,主要在于其单长131千米的主干隧洞横置于巴颜喀拉山中部多方向地质地球物理构造交汇区段,西距1947年达日莫坝7.7级地震震中12千米,东距1949年达日德昂6级地震震中16.5千米;于河水流量较大的尼曲、达尔勒曲、吉曲等河床下方穿越,附近断裂带地下水的泉流量介于1538~8990立方米/日,因而该主干隧洞的工程地质条件比较复杂。

### 三、尚需进行的地质工作和地区

由于西线通雅大三河各调水河段高程远较黄河各受水河段高程低,其间又为巴颜喀拉山所隔,致使无论选用自流或抽水调水方式,都需要构筑高拦河大坝和开掘深埋长引水隧洞工程,以缩短引水线路长度或降低抽水扬程。且当选用抽水调水方式时,尚需同时规划抽水电站工程。因而拦河高坝,特别是深埋长引水隧洞是

西线调水的关键工程。为此建议,下一个工作阶段,应围绕高坝、大库、深埋长隧洞工程开发方案,在开展较大比例尺的综合性地质勘查的同时,进行有针对性的专题性工程地质研究工作,获取工程设计所需地质构造资料和依据。

#### (一)活断裂的工程地质勘查与研究

本次工作发现在雅砻江温波、长须规划引水枢纽附近以及它们向黄河的引水线路通过区,与断裂相伴的地面地质形变破坏现象比较发育,局部还出现了鼓包、陷坑群以及地面沟谷同步转折现象;在甘孜绒坝岔还见有建于断裂影响带(F23)通过段民房墙体非地震发生时的斜歪开裂现象;在达日莫坝7.7级地震附近的断裂断层岩年龄有分期现象。因而查明达日莫坝地震断裂活动期次,查明赖以计算断裂活动地质速率的地面水系、沟谷同步弯转是否是断裂活动的结果?或断裂累年持续(蠕动)活动现象?还是累次突发活动的迭加结果?将有助于(如长恰引水)隧洞工程的最大防震性考虑,特别是存不存在隧洞工程的抗断性设防问题。

#### (二)断裂带地下水与河谷地表水、潜水的水力联系性勘察

现规划的雅砻江至达日黄河引水隧洞工程,将于河水径流量较大的尼曲、达日河、吉曲等河谷底部穿越。而该区地表断裂不仅发育,且其多与河谷交切。天然状态下该区基岩地下水亦多赋存于构造裂隙发育带内,且也都向河谷运移,并排泄于河谷。但隧洞工程出现后,会引起局部地下水向隧洞发生运移、汇集、排泄。若隧洞工程发生较大涌水,则其水源会主要来自断裂带地下水或通过断裂带而得到补给。因此,查明该区断裂带地下水的富水程度及其与河谷地表水、潜水的水力联系,将有助于预测隧洞开挖过程中的涌水问题以及如地温、地下水热活动方面的水文地质条件。

#### (三)浅部岩体质量、地质结构调查与勘察

按现有工程规划,可以认为调水特别是自流式引水的关键工程是隧洞工程,而隧洞的难易性在很大程度上取决于岩体地质结构条件,取决于大断裂带的宽度、岩性及其破碎与胶结

程度、展布与相互连续性。因此,查明隧洞穿越段地面及其以下 2km 以内的地质结构特征,深、表部断裂的联系性,岩体的完整性,将有助于隧洞工程难易性对比。

(四)库首坝前区岩体稳定性调查与勘察

通雅调水河段河谷束放现象频繁,且区域性工程地质条件类似,可供选择的引水枢纽较多,深入查明库首坝前区高陡砂、板岩层状岸坡岩体结构稳定性的控制性因素或是否存在区域性顺河断裂等问题,将有助于判断它们对工程规划的影响性和对枢纽的选择。

(五)地应力测量和应力-形变场研究

鉴于深埋长隧洞的安全洞轴向选择与区域构造应力场主压应力轴向较为密切,采用普遍认为比较好的地应力测量方法和手段,实地取得一些地应力测量数据,并以此研究隧洞工程

通过区应力-形变场的“静、动态”变化及地质构造活动特征,将十分有益于深埋大、洞径长隧洞的主要安全指标选取。

(六)重点地质工作地区

1. 通雅大联合引水工程规划部署区

下一个工作阶段需要重点开展综合性地质勘查、研究的西线调水规划工程部署的地区,在实现西线最大可能调水量和在引水工程与地质构造相适应的前提下,宜首选通雅大联合引水工程规划部署区。其范围西起通天河德曲河口附近,东止黄河章库合附近,包括通天河同加一仁宗达—联叶—莫雪和雅砻江温波—长须—我塞枢纽库坝区,全长约 410km,宽约 50km。

2. 巴北断裂活动性调查区

巴北断裂(组)展布于巴颜喀拉山脊带,西线引水隧洞必须穿越,同时也是(下转第 30 页)

表 1 西线调水方案主要工程地质问题及规划指标表

方 案			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
单 河 抽 水	通天河	治多(6)			4				V	V		V	190	104.2	30.3	90	较
	雅砻江	长达(7)		3	3	V		V	V	V	V		167	75/60	57/26	45	较
	大渡河	斜贾(8)			1						V	V	250	24	24	50	较适
单 河 自 流	通天河	歇扎(1)		1	9	V		V	V	V	V		206	181	181	55	不
		联建(2)	1	1	9	V	V	V	V	V			348	267.7	243.8	100	不
	雅砻江	温达(3)	1		7	V	V	V			V	V	152	123	123	40	不
		长恰(4)	1	3	7	V		V		V	V		175	131	131	45	较
		我章(5)		2	6						V		170	167.9	50.4	80	适
通 雅 大 或 通 雅 联 合	自 流	同长恰(9)	1	3	8	V		V		V	V	V	315 175	104.7	131	150	较
		同我章(10)		2	7							V	V	315 170	221.6	50.4	180
	抽 水— 自 流	莫长恰(11)	1	3	8	V		V		V	V		205 175	142	131	150	较
		莫我章(12)		2	7						V		205 170	178.9	50.4	180	适

备注:一、隧洞工程地质问题:1. 穿越全新世活动断裂条数;2. 穿越晚新世晚期活动断裂条数;3. 穿越主要区域性活动断裂条数;4. 地应力—地下水—软岩综合形变破坏;5. 热害;6. 构造涌水;7. 冻土。二、枢纽库坝工程地质问题:8. 坝前库首岩体结构稳定;9. 坝前库首顺河断裂;10. 水库诱发地震。三、工程规划指标:11. 拦河坝坝高,m;12. 隧洞总长,km;13. 隧洞最大单长,km;14. 最大规划引水量,亿立方米/每年。四、方案与地质构造条件的适宜性:15. 不适宜;方案存在着较严重的工程地质问题,方案整体适宜性差,局部调整仍难于适宜;较适宜;方案潜在有较多和局部存有较严重的工程地质问题,需要进行重点详勘,为工程设防提供依据;适宜;方案整体适宜性好,区域性工程地质问题较少、较轻,方案仍需随规划和地质工作的深入作局部调整;(1)为插图、插表中的引水方案编号;V示调水方案存在有该类主要工程地质问题。

中国各大造山带的中间变质杂岩带,曾是其两侧不同时期洋盆(见下文)的岛弧带,沟弧盆体系明显,两侧的洋壳先后多向岛弧俯冲碰撞,因此在岛弧上形成大量花岗岩。阿尔卑斯却没有这种岛弧带,沟弧盆体系很不明显。

#### 6. 蛇绿岩变形变质特征:

在阿尔卑斯,非洲板块与欧洲板块碰撞所形成的缝合带,地表显示不甚清楚,蛇绿岩零星出露,少见呈条带展布,更少见层序完整或组合较齐全的。有的蛇绿岩变质微弱,保留完好的枕状构造,有的蛇绿岩变形变质甚强烈,肉眼很难辨认原生构造和原生矿物。在一河谷见非洲板块的岩石及其与欧洲板块之间的蛇绿岩紧密接触,非洲板块的岩石与蛇绿岩均成糜棱岩,已分不出组成蛇绿岩的超镁铁岩或玄武岩的各种组分。这种已成糜棱岩的蛇绿岩,在国内各大造山带中极难见到,不仅中生代就是古生代的蛇绿岩也能很容易地分出其组合的各种岩石,甚至晚元古代的蛇绿岩也少见到成为糜棱岩。

雅鲁藏布江蛇绿岩,其形成和侵位时期大体接近于阿尔卑斯蛇绿岩,但二者面貌差异悬殊,前者大量出露于地表,明显呈条带展布,层序清楚,组合成员较齐全。两地的蛇绿岩虽然时代相近,也都由板块俯冲碰撞而侵位并成为蛇绿混杂堆积,显出很大差异,表明各有特殊性。

#### 7. 造山带的变形变质特征:

阿尔卑斯的变形变质很不均一,有的地段变形变质非常微弱,而另一些则非常强烈。一般讲,推覆滑动面及其两侧变形变质强烈,而推覆体内部往往较微弱,可见是以动力变质为主。国内各大造山带,变形变质较均匀,特别是古生代造山带,变质程度最低也都为浅变质岩系,换句话说,中国各大造山带多是以区域变质为主。

#### 8. 造山期后的隆升特征:

阿尔卑斯河谷一般具3级阶地,而像我国天山常见5~6级阶地,表明有可能自晚第三纪以来,我国造山带垂向隆升比阿尔卑斯频繁,这与青藏高原断续隆升可能有联系。

#### 9. 造山机制:

阿尔卑斯只有一条带状展布不甚明显的蛇

绿岩,表明只有一期洋盆,只有一次俯冲碰撞造山,即单旋回造山。中国各大造山带,其中间变质杂岩两侧的造山亚带内往往各有一条蛇绿岩带,有的甚至有二条蛇绿岩带。两侧造山亚带的蛇绿岩带,其形成和侵位时间早晚有别,表明造山带至少存在过两期洋盆,至少先后有两期俯冲碰撞造山,即多旋回造山。

#### 10. 造山模式:

阿尔卑斯与中国各大造山带,既然造山机制不同,那么造山模式有别也就不足为奇了。阿尔卑斯的造山模式是单向俯冲碰撞而形成的单旋回开合造山带。中国各大造山带的造山模式多为双向俯冲碰撞(两侧都向岛弧方向)而形成的多旋回开合造山带。

基于上述印象,我认为阿尔卑斯既不同于昆仑,也不同于秦岭,更不同于华南,不能将国内的造山带与阿尔卑斯做简单地对比,更不能将阿尔卑斯造山模式简单地用于中国造山带。

考察阿尔卑斯使我认识到,地质构造有较强的区域性,不同地区的造山带有不同的特征。中国的造山带具有中国特色,既不同于阿尔卑斯,也可能不同于美洲的造山带,用一种模式很难概括全球的各种造山带。中国地质学家有条件也应该创建具有国际影响的理论和模式,以不负“天赐地利”。“广阔天地大有作为”,这句话对中国地学工作者,尤其对青年地质学家更加适用。

(中国地质科学院地质研究所)

~~~~~  
(上接第10页)引水工程规划部署区内最重要的一条区域性活动断裂,1928~1989年间共发生5级以上地震12次,最高震级7.7级。6级左右地震的重复时限多在50年以内。断裂的平均滑移速率为每年4.5mm或14.0mm。为此建议对巴北断裂(组)进行综合性工程地质勘查、研究,并分段评价其活动性和对引水隧洞工程的潜在危害性,以便于西线深埋大、洞径长越岭引水隧洞工程的布置。其范围西起黄河源头羊喀拉折(黄委会歌扎引水线)、东止大渡河甫斯口(青海省水利厅直贾引水线),长约650km,宽约40km。(青海地矿局第二水文地质队)