

# 贵阳市西郊水厂跨流域输水线路设计浅析

冉启藻 胡述桢 吴济华

**[提要]** 本文就贵阳市西郊水厂跨流域引水方案提出的依据、输水路线和输水方式的选择以及各方案的综合比较进行了分析探讨,为具体设计管道提供了依据。

**[关键词]** 引水工程 技术经济评价 贵阳市

## 一、跨流域引水的提出

随着城市经济建设的发展、城镇人口的不断增长和人民生活水平的不断提高,一方面城市生活和生产用水量不断增加;而另一方面由于水污染的不断扩散,水资源日益紧缺。为满足城市发展所需的水量,或为改善现有城市的饮用水水质,90年代以来,我国已有不少城市和企业从几十公里,乃至几百公里以外寻找新的水源,敷设了相当长的输水管(渠),并建设了相配套的附属工程。

贵阳市水资源的开发利用,就是一个由小到大,由近及远的典型。

贵阳市地处苗岭中部,属长江和珠江两大流域的分水岭地带,境内河流水系具有明显的河源特性,集水面积小,过境客水少,均为降水补给的山区性小河流,源短流小,坡陡流急,洪枯流量的变化幅度很大。因此,不能直接从河里取水,只能靠筑坝蓄水,作为城市供水水源。

1954年建成黔灵湖水库,以此为水源的延安水厂1955年建成投产,规模为 $2\text{万 m}^3/\text{d}$ 。水厂就在市中心,水源距水厂最近约3km。

1958年,建成小关水库和花溪水库,小关水库在黔灵湖水库上游,是为扩大延安水厂规模而建的,花溪水库距离贵阳市27km,中曹水厂1960年投产即用此水源。

浮子无力造成漏水,这是产品本身设计问题和质量问题造成的;希望有关厂家注意改进。

预计兰新复线长管路了墩水源段(大步到雅子泉)和鄯善水源段的一部分(鄯善到飞跃)共计255km将于1995年年底正式交付运营。届时,延续了卅多年的水槽车供水将不再存在;沿线铁路职工从此将喝上足够的、干净的自来

1960年建成阿哈水库,位于贵阳市南郊,1961年建成投产的河滨水厂即以此为水源。

1980年建成松柏山水库,距贵阳市30km左右,1985年扩建中曹水厂即用此水源。

当贵阳市附近的地面水源开发利用之后,又于1990年建成东郊水厂,利用地下水为水源,不惜抽升150m高程来满足日益增加的城市用水需求。

城市不断发展,用水量还在不断增长,当贵阳市区域内的水资源充分开发利用之后,远远不能满足时,只得在区域外去引水,经过几年的研究论证之后,为了贵阳市的发展、腾飞,不得不痛下决心,从境外调水,在离贵阳市近30km的红枫湖水库取水,通过25.5km的管(渠)洞涵,将原水引入西郊水厂,引水规模 $40\text{万 m}^3/\text{d}$ ,输水线路校核流量 $80\text{万 m}^3/\text{d}$ 。经处理后,重力配水来满足城市用水。

## 二、输水方式的选择

跨流域引水,距离长,地形复杂,投资大,输水线路的设计是否合理,对整个工程影响很大,根据现场条件有两种输水方式:

### 1. 重力输水方案

借助红枫湖水位与水厂之高程差,采用全部重力式输水。输水形式,按不同的地形、地质条件,采用明渠、暗渠、隧洞、渡槽与管道相结合的形式。此方案的最大特点是,充分利用水库水头,节约能耗,整

水。这是一个值得纪念的历史时刻。对长管路设计质量和施工质量的真正考验将正式开始。

△作者通讯处:839001 新疆哈密火车站铁道部

第一工程局给排水工程总公司

电话:(0752)290481

收稿日期:1995-11-20

个线路埋深大,全线在地下水位以下,隧洞长(总长为17.05km),施工条件差,施工周期长等。

## 2. 压力、重力流输水方案

为了减少隧洞长度,创造较好的施工条件,以缩短工期,拟在取水点建取水泵房,提升几何高度33m(以枯水位起算)。原水经提升后,采用压力管道、暗渠、渡槽、隧洞与重力管道流入水厂。

## 三、输水线路选择

输水线路走向的选择,牵涉因素很多,诸如城镇和工矿企业总体规划、工程和水文地质、施工条件、工期要求、资金筹措、工程效益等诸多因素影响。为此我们曾会同业主和地质勘察部门的有关人员,多次反复研讨,踏勘现场,由浅入深进行了三个阶段的选线工作。

### 1. 重力流输水方案

第一阶段(即水源论证阶段),曾选线路如下:自流引清镇电厂尾水,经偏山坡、大中山、四方井以北兰花坡、杉木小庄、杉木大庄、汪家寨、麦平以东,沿游鱼河经仙人桥、大河边、擦耳岩、凯龙庄、绕阿哈水库西北,经五里关至净水厂。

第二阶段(即项目建议书)考虑了三个方案:

(1)直接从红枫湖引水,通过一段暗渠,接长隧洞至大田坝,再接重力输水管直至净水厂。

(2)从清镇电厂尾水排出口引水,通过暗渠接长隧洞至大田坝,再接重力输水管直至净水厂。

(3)从清镇电厂尾水排出口引水,通过暗渠、隧洞、东麦平以东河边出口,然后用重力输水管沿游鱼河边、大河边、擦耳岩、凯龙寨,绕过阿哈水库西北水域,经五里关到净水厂。

第三阶段(可研阶段),通过工程地质勘探,又进行了深入选线。筛选出一条在地质上基本可靠、施工技术上可行、经济上较为合理的输水线路。自后午直接从红枫湖水库引水,通过一段暗渠,接长隧洞,经朱关村、翁井、土地关至大田坝,再接重力输水管至净水厂。此方案隧洞长17.05km,输水管每根长10.57km。

### 2. 压力、重力流输水方案

第一阶段(即水源论证阶段)曾选用线路如下:

自流引清镇电厂尾水,经偏山坡脚、穿山到新院北部、小山坡、新庄、野鸡坡至汪家水库下游,注入三义河上游,经花溪水库入阿哈水库,再提升93m到后坝净水厂。此方案输水线路长,提升水头高而被舍弃。

第二阶段(可研阶段),即在经过输水线路初勘选线工程地质报告提出之后,针对不同的提升高度(25、40、50、60m),拟出多条线路进行技术经济比较,优选出

提升25m为最佳线路。该方案情况如下:自后午红枫湖岸边设取水泵房,提水至前连接池,经清镇水厂、庙儿坡、砖瓦厂、冻厂、东门桥、高家龙潭、上铺、翁井西、土地关至大田坝经后连接池再接重力输水管到净水厂。

第三阶段(初设阶段),是在输水线路工程地质勘察初步设计报告提出之后,进一步对此线路分析研究,优选出提升33m为最佳方案。方案组成为,自后午设取水泵房,提升至前连接池,通过隧洞、明渠、暗渠、渡槽至大田坝,经后连接池,再接重力输水管至净水厂。

## 四、取水、输水线路方案综合比较

不同方案各有利弊,现将其技术经济综合比较情况列于表1。

根据以上比较,重力流方案虽具有低消耗、高效、制水成本低等优点,但由于隧洞过长,埋深较深,全线在地下水位以下,给施工及今后管理带来不可估量的困难,特别是施工难度太大,施工工期长,且难以控制。因此,我们推荐压力、重力流方案。

1994年7月28日,业主、设计、勘察单位在大量地质勘察工作基础上,进一步共同拟定了“贵阳市西郊水厂输水线路勘察工作会议纪要”,明确“鉴于红枫湖水泥厂地段岩深积水水面高程为1253m,湖底面高程为1244m,拟采用钢筋砼隧洞跨越方案,则该输水隧洞水位高程应为1255m左右,以此推算输水隧洞进出口高程”,并根据中段隧洞的工程地质勘探结论:“隧洞面区域场地稳定,勘探洞线为最佳线路,具备成洞条件,洞域围岩稳定占90%以上”。因此,我们认为推荐的输水线路方案为一技术可靠、经济合理的最佳方案。

## 五、输水管渠的设计

整个输水工程由西、中、东三段组成。西段为压力流,中段与东段为重力流。

(一)西段:从取水泵房至前连接池,采用钢管或球墨铸铁管,管径为DN1600mm,两条共长8.392km,主要为埋地铺设,管顶最小埋深为1m,穿过低洼地处采用架空铺设。穿铁路和公路的地方,作特殊处理,采用涵洞和钢筋砼外包加固。

线路中间设连通井一座,以保证事故时能通过70%的事故水量,连通井平面尺寸为 $\phi \times 5m$ ,深度为5m,混凝土结构。在低洼处设泄水井,共6座,平面尺寸为 $3 \times 2m$ ,深度为4~6m,在高出设排气井,共4座,平面尺寸为 $2.5 \times 2.5m$ ,深度为3~6m,安装有自动排气阀,以保证管道安全运行。

(二)中段:从前连接池至后连接池,共长

给水排水 Vol. 22 No. 2 1996

红枫湖取水重力流、压力流方案综合比较表 表 1

比较项目	重力流方案	压力流方案(提升 33m)		
取水方式	虹吸管及取水塔	虹吸管、集水井、泵房		
输水方式	完全重力流	先压力流、后重力流		
主要工程特性	取水头	钢喇叭口 2×DN1800mm	钢喇叭口 2×DN1800mm	
	虹吸管	钢管 2×DN1800, L=360m(双管总长)	钢管 2×DN1800, L=360m(双管总长)	
	取水塔	29.4×21.8×20.26m	集水井	
	取水泵房		32.4×27.7×20.20m 泵房 44.0×20.20×20.20m	
	变电室	24m <sup>2</sup>	435.2m <sup>2</sup>	
	加氯间	120m <sup>2</sup>	120m <sup>2</sup>	
	综合楼	580m <sup>2</sup>	980m <sup>2</sup>	
	取水站用地	6.5 亩(办公、宿舍,不含厂外道路)	14.0 亩(办公、宿舍,不含厂外道路)	
	值班人数			
	输电线路	12 人	20 人	
	用电负荷	2×3km 124kW(计算负荷)	2×3km 3041kW(计算负荷)	
	输水线路	钢管		0.86km
		暗渠		6.37km
渡槽			0.84km	
明渠			0.50km	
隧洞		17.05km	8.99km	
管道		21.14km(双管总和)	21.14km(双管总和)	
地质条件	工程地质评价	可行	可行	
	成洞条件较差段长	8.07km	4.201km	
	地下水位	全线在地下水位以下	5.32km 段在地下水位下有 0.4km 埋深较浅	
	埋深	全线大于 20m		
隧洞施工条件	支洞数及长度	7 个支洞 798.8m	2 个支洞 226.2m	
	开挖方式	矿工开洞法	矿工开洞法	
	出渣方式	主洞:双轨斗车运渣 支洞:卷扬机牵引	主洞:双轨斗车运渣 支洞:卷扬机牵引	
	施工通风	双管送风抽风	双管送风、抽风	
	施工排水	引至支洞抽排	自流排水	
	掌子面控制洞长	1km(最大洞长)	1.38km(最大洞长)	
	预计施工工期	3a	2.5a	
	施工条件评价	较复杂	较简单	

续表 1

比较项目	重力流方案	压力流方案(提升 33m)		
取水方式	虹吸管及取水塔	虹吸管、集水井、泵房		
输水方式	完全重力流	先压力流、后重力流		
主要工程经济比较	场地准备费	27.5 万元	27.5 万元	
	头部及虹吸管	399.83 万元	399.83 万元	
	取水塔	1647.96 万元		
	取水泵房集水井		5430.26 万元	
	变电室	58.38 万元	511.1 万元	
	附属建筑	77.6 万元	105.6 万元	
	平面布置	140.17 万元(含输电外线)	232.42 万元(含输电外线)	
	征地费	39.0 万元	34.0 万元	
	小计	2390.44 万元	6790.71 万元	
	输水工程	钢管		310.42 万元
		暗渠		3621.22 万元
		渡槽		745.76 万元
		明渠		274.98 万元
隧洞		20135.47 万元	10737.17 万元	
管理	3922.26 万元	3431.97 万元		
小计	24057.73 万元	19121.52 万元		
运行费用	年用电费用	22.49 万元	322.34 万元	
	7 年用电费用	157.40 万元(只是取水)	2256.38 万元(只是取水)	
	10 年用电费用	224.85 万元	3223.40 万元	
	工资福利费	4.80 万元(4000 元/年·人)	11.20 万元(4000 元/年·人)	
年运行费	27.29 万元	333.54 万元		
7 年运行费	191.00 万元	2334.78 万元		
10 年运行费	272.85 万元	3335.40 万元		
取水、输水基建费合计	26448.17 万元	25912.23 万元		
基建费+10 年运行费	26475.46 万元	26245.77 万元		
基建费+7 年运行费	26639.17 万元	28168.61 万元		
基建费+10 年运行费	26721.02 万元	29247.63 万元		
运行管理条件	运行管理简单 受外界干扰小	运行管理复杂 受外界干扰大		
主要优点		1. 充分利用水头、节约能源、耗电省制水成本低	1. 一次投资较省	
		2. 管理简单方便、管理人员少	2. 施工工期较短,工期较易保证	
		3. 受外界干扰小	3. 施工较易	
		4. 输水线路安全可靠好	4. 施工排水费用较少	
主要缺点		1. 一次投资稍多	1. 利用水头较前方案少,耗电高,制水成本高	
		2. 施工工期较长,难控制	2. 管理较复杂	
		3. 有一定的施工难度	3. 线路安全性不及重力流方案	
		4. 生产运行中事故排除困难(指隧洞内)		

12.67km, 其中明渠 3.14km, 隧洞 6.5km, 渡槽 1.63km, 暗渠 1.1km。

1. 前、后连接池, 主要是起管道与渠道的连接作用, 平面尺寸为  $10 \times 6\text{m}$ , 高 2.4~5.4m, 首尾端均设有螺杆式启闭闸板控制, 钢筋混凝土结构。在后连接池中还设有侧墙的放水闸板, 作为阿哈水库的补充水源。

## 2. 断面控制的水力学计算

采用基本公式

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} \quad (1)$$

式中  $\omega = bh$

$$R = \omega / X = bh / (2h + b)$$

$$C = (1/n) \cdot R^{1/6}$$

$$= (1/n) [bh / (2h + b)]^{1/6}$$

代入 (1) 式, 则为:

$$Q = (1/n) bh [bh / (b + 2h)]^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

设计流量为 40 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 校核流量为 80 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

计算结果采用数据为  $b = 2 \times 1.7\text{m}$ ,  $h = 2\text{m}$ ,  $n = 0.015$ ,  $i = 1/1200$ 。

3. 明渠: 根据地形变化情况, 共布置 21 处明渠, 长度从 12m~1088.722m, 共计 3410m。明渠底宽为  $2 \times 1.7\text{m}$ , 高为 2.4m, 钢筋混凝土结构, 边墙断面为 220~450mm 变断面, 内为直壁, 外为均匀变坡。中隔墙断面为 220~450mm, 双面均匀变坡, 底板厚 450mm, 均采用现浇。渠顶采用钢筋混凝土预制槽盖板盖住, 既可作道路, 又能使渠道密封。

4. 隧洞: 全线为 8 个, 长度从 47~4549.218m, 共计 6.5km, 隧洞横断面为圆拱直墙式, 净空底宽为  $2 \times 1.7\text{m}$ , 直线段高 2m, 顶盖为圆弧形, 半径  $R = 2353\text{mm}$ , 中隔墙结构断面为 200~450mm, 高度为 2300mm, 两边均匀变坡, 钢筋砼结构。周边衬砌厚度根据围岩情况确定:

当  $f = 7 \sim 8$ ,  $K_0 = 70 \sim 90$  (MPa/cm) 时  
衬砌厚度为 450mm。

当  $f = 4 \sim 6$ ,  $K_0 = 20 \sim 50$  (MPa/cm) 时  
衬砌厚度为 500mm。

当  $f = 1 \sim 2.5$ ,  $K_0 = 2 \sim 8$  (MPa/cm) 时  
衬砌厚度为 550mm。

长隧洞中有跨暗河段, 其断面为  $1.7 \times 2.5\text{m}$ , 中间为公用墙, 全部为钢筋砼现浇结构, 竖向墙厚为 450mm, 顶板及底板厚为 300mm。

最长一条隧洞长为 4549.218m, 按施工工期安排, 布置支洞两个, 共计长 226.2m, 施工时为施工支洞, 完工后作为运行时检修之用。支洞横断面也是圆拱直墙式, 宽 4.1m, 高 4.0m。

5. 暗渠: 共四段, 长度从 38~863.82m, 总共长度为 1.1km, 构造形式为双孔矩形断面, 每孔尺寸为  $1.7 \times 2.4\text{m}$ , 全部为现浇钢筋砼结构, 四壁结构断面均为 300mm。

6. 渡槽: 有 8 段, 短的长 22m, 最长的一条为 644m, 共计长 1.63km。架空高度, 从地面至槽底板为 1.6m 至 22m 不等。槽墩中心间距为 10m, 槽墩构造分两种情况, 当高度小于或等于 8m 时, 采用实体重断面结构, 下大上小, 材料可充分采用当地石材, 就近采用。

当高度大于 8m 时, 采用排架式槽墩, 可预制拼装, 也可现浇, 视现场情况而定。

钢筋混凝土渡槽槽身采用预制, 每节净长为 9980mm。若沿途地形复杂, 修临时道有困难时, 也可采用现浇。

槽身横断面为二单孔矩形槽拼成, 每单孔矩形槽净空尺寸为  $1.7 \times 2.7\text{m}$ , 侧墙及底板厚度为 200mm, 槽顶采用  $200 \times 300\text{mm}$  断面柱杆, 中心间距 250mm, 顶上采用钢筋砼预制槽盖板封盖。双槽平行铺设, 中间只留 50mm 安装缝隙。

(三) 东段: 从后连接池至净水厂, 采用钢筋混凝土管或球墨铸铁管, 管径为 DN1600mm, 当水量为 40 万  $\text{m}^3/\text{d}$  时, 平行铺设两条, 共计长度为 17.194km。一般为埋地铺设, 管顶埋深最小为 1m, 个别穿越河道处, 采用钢管架空铺设。

在东段中, 设连通井两座, 每座平面尺寸为  $6 \times 5\text{m}$ , 深度为 4~5m; 泄水井 12 座, 每座平面尺寸为  $3 \times 2\text{m}$ , 深度为 4~6m; 排气井 12 座, 每座平面尺寸为  $2.5 \times 2.5\text{m}$ , 深度为 4~5m。

## 六、结束语

贵阳市西郊水厂跨流域长距离输水线路方案, 经历了水源选择、可行性研究、初步设计几个阶段的分析研究, 比较筛选出前述的优化方案。在设计中, 我们充分注意了输水线路的地质条件、施工条件以及今后运行的需要, 既考虑了近期, 又顾及了远期发展的要求。通过上述几个阶段的设计工作, 积累一些宝贵的经验, 这无疑对今后开展这方面的工作是十分有利的。

△作者通讯处: 610081 成都市曹家巷 81 号

中国市政工程西南设计研究院

电话: (027) 3333777 转

收稿日期: 1995-11-24