

# 浅谈深圳铁石二期九围河口生态库正虹吸补水管的设计思路

刘亚通<sup>1</sup> 王学忠<sup>2</sup>

1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 浙江杭州 310000

2. 中国水利水电第五工程局有限公司 四川成都 610000

**摘要:** 铁岗水库作为深圳市一级水源保护区, 补给九围河生态库用水, 首先要保证设计方案的施工对铁岗水库水质不造成破坏及污染。若采用九围河口生态堤坝下埋管势必会对堤坝混凝土防渗墙体造成破坏, 影响堤坝的防渗体系。根据铁岗水库、九围河生态库特征水位、生态堤高程特点, 考虑采取正虹吸管补水思路, 既解决了不破坏堤坝的防渗体系, 又不影响铁岗水库的水质保障工作。

**关键词:** 水源保护区; 防渗体系; 正虹吸管; 水质保障

## 一、正虹吸管设计

### 1. 正虹吸原理

补水管道最高位置高于上游进水水面, 若在虹吸管内造成真空, 使作用在上游水面的大气压强和虹吸管内压强之间产生压差, 则水流即能通过虹吸管最高处引向低处。虹吸管顶管的真空值理论上不能大于最大真空值, 即 10m 水柱高度。实际上, 当虹吸管内压强接近该温度下的气化压强时, 液体将产生气泡, 破坏水流的连续性, 故一般虹吸管内的真空值不大于 7 ~ 8m。

虹吸管工作的条件: 管道内必须先充满水, 且管道不漏气, 管道两头部处于水面以下。故在阀门井内管道上方设置真空管, 外接真空泵。在需要补水时用真空泵将管道内空气抽出形成负压, 水流靠压差升至真空管部位后关闭真空管接口, 让水流形成自流方式进行补水。

### 2. 正虹吸补水管工程地质条件

管道周围地貌类型为低丘陵台地地貌, 微地貌为开阔式冲沟地貌, 库盆依山势呈南北向展布, 地形封闭条件较好, 边坡均为残坡积后形成的缓丘, 两岸坡度较缓 (坡度 15 ~ 20°), 左岸地面丘顶高程 31 ~ 40m。边坡地形平缓, 植被良好, 具有天然稳定边坡, 无不良地质现象发育, 因此库岸稳定性较好, 施工期和运行期一般不会产生失稳。

管道周围无重要建筑物, 山体表露以残坡积粘土和全风化岩为主构成, 属弱 ~ 微透水性, 为相对隔水层, 因此潜水浸润线抬高后影响不大。沟底表层为粉质粘土层, 呈可塑 ~ 硬塑状, 中等压缩性, 天然地基承载力

约 140 ~ 160KPa, 表层含水量较高的土质地基承载力约 140KPa, 可满足管道地基持力层要求。坝址两岸边坡坡度较缓, 地层以残积土砾质粘性土层为主, 其 C、Φ 值较大, 不良地质现象不发育, 稳定性好; 因边坡地层为残坡积砾质粘性土, 渗透系数小, 为相对不透水层。

### 3. 正虹吸补水管具体设计

虹吸补水管由铁岗水库取水向九围河生态库进行补水, 补水工况为铁岗水库最低运行水 23.5m 以上时保证正常补水进行设计。九围河口生态库正虹吸补水工程设计补水量为 1 万 t/d, 当九围河口生态库水位低于 23.0m 时, 开启正虹吸阀门采用真空泵抽取管道内真空, 形成负压让水流形成自流向生态库进行补水。

结合《室外给水设计标准》(GB50013-2018) 要求, 虹吸管设计数量不少于 2 条, 设计流速不宜小于 0.6m/s, 材质宜采用钢管。通过初步计算单管流量为  $Q=0.061 \text{ m}^3/\text{s}$ , 设计流速按照  $v=1.0\text{m/s}$  考虑, 暂不计水流损失的情况下, 算得管道半径  $R=(Q/(\pi v))^{1/2} \approx 0.136\text{m}$ , 取值为 0.15m, 确定虹吸管管道直径为 0.3m。其中具体设计内容包括以下几部分:

(1) 正虹吸管: 起点位于铁岗水库内, 底高程 22.2m, 沿九围河口生态堤坝东侧端头外侧穿巡库路, 经九围河口库岸进入生态库, 共布置 2 条补水管。管材为无缝钢管, 管道规格为 d300mm, 壁厚 10mm, 管道最高位置底高程 28.7m。管道全长 212.0m, 水平方向共设置 3 处拐弯, 转弯半径按不小于 3 倍管径进行设计, 半径取值 1.0m,

转弯角度均大于 90°。纵向共设置 3 处平段，两侧库区和顶部平段。两侧边坡沿线均按照岸坡塑造和自然地面坡度进行设计，其中 K0+021.85m~K0+106.16m 段坡度为 77‰，K0+142.24m~K0+206.14m 段坡度为 109‰。基坑最大开挖深度为 4m，超过 2m 的基坑采用钢板桩支护开挖，虹吸管平面布置图及纵剖面图详见图 1.3.1、1.3.2。

(2) 阀门井：位于虹吸管的 29.0m 高程平段，井的桩号 K0+132.99m，净空尺寸为长 1.4m，宽 2.0m，高 1.8m，外接预制井圈至地面高程。井内每根管道设置蝶阀 1 套，伸缩节 1 套，真空管 1 根，真空管用于外接真空泵。真空泵属于移动式设备，外接用电纳入九围河口生态库附近配电房统筹考虑。

(3) 镇墩：主要设置在管道拐弯的地方和进出口位置，

共设置 9 个镇墩，镇墩采用钢筋混凝土结构，标准尺寸长 1.5m，宽 1.9m，高 1.3m，基础设置锚筋。

(4) 支墩：主要设置在管道两侧边坡斜面位置，按照 20m 左右设置 1 个，共有 4 个支墩，镇墩采用素混凝土结构，标准尺寸长 1.0m，宽 1.9m，高 0.65m，基础设置锚筋。

(5) 施工围堰：由于虹吸管进口位于铁岗水库中，施工时间段现状水位 24.50m 高于虹吸管进口设计水位，且处于汛期，同时确保施工不影响水库水质等因素，在虹吸管进口设置一道土围堰，围堰两侧边坡 1:1。考虑安全超高 +0.5m，围堰顶部高程 25.0m，宽度 3.0m。围堰外侧加一道双侧防渗土工膜，防渗膜上下分别采用编制袋装土进行压脚和压顶。

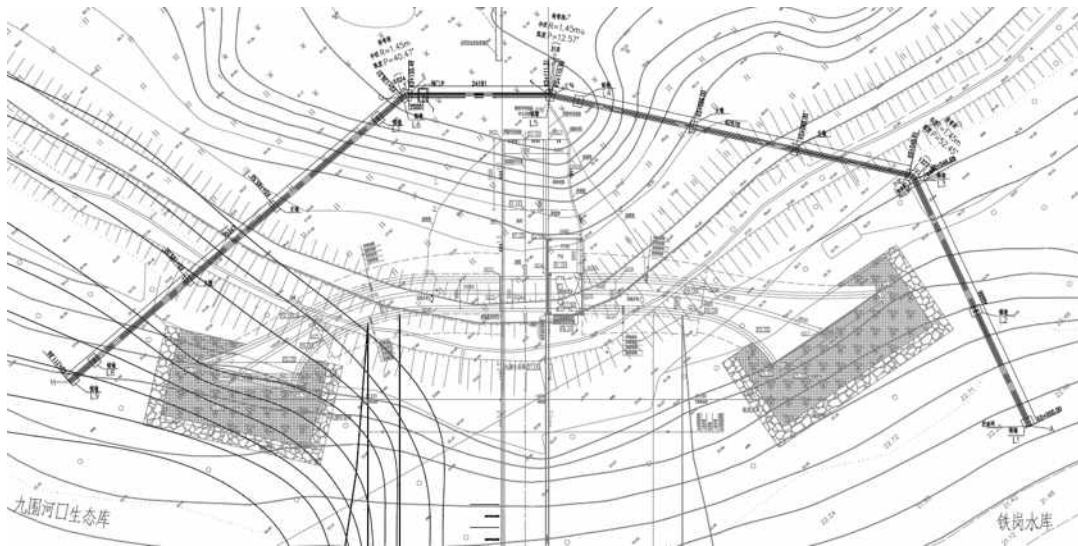


图 1.3.1 正虹吸管平面布置图

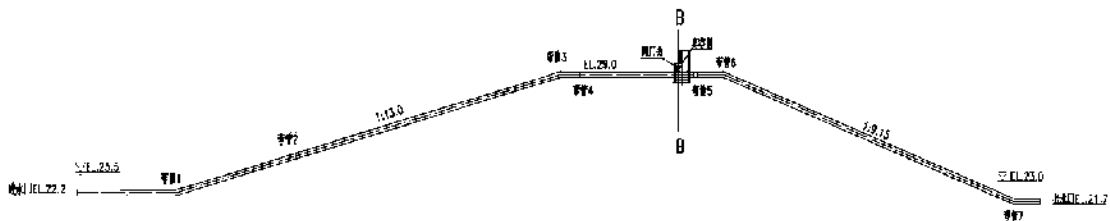


图 1.3.2 正虹吸管纵剖面示意图

## 二、正虹吸管的水利计算

### 1. 虹吸管的输水能力计算复核

虹吸管长度 212m，按短管淹没出流进行计算。当不计

行近流速影响时，采用曼宁公式计算谢才系数 C。

$$(1) C = 1/n \times R^{1/6} = 1/n \times (A/X)^{1/6} = 1/n \times (D/4)^{1/6} = 1/0.012 \times (0.3/4)^{1/6} = 54.12$$

式中:

n: 摩阻系数, 钢管一般取值 0.012;

A: 虹吸管过水断面面积 (m<sup>2</sup>);

X: 湿周, 管道的截面周长 (m);

D: 虹吸管断面直径 (m);

(2) 沿程阻力系数:  $\lambda = 8g/C^2 = 8 \times 9.8/54.122 = 0.027$

式中:

g: 重力加速度 (m/S<sup>2</sup>, 一般取值 9.8)

(3) 水头损失系数:  $\sum \zeta = \zeta_{进} + 3\zeta_{弯管} + \zeta_{阀} + \zeta_{其他} = 0.5 + 2 \times 0.3 + 0.2 + 0.1 + 0.138 \times 2 = 1.676$ .

表 2.1.1 水头损失系数汇总表

部位	进口	弯管 1 $\theta = 52^\circ$	弯管 2 $\theta = 13^\circ$	蝶阀	弯管 3 $\theta = 40^\circ$	其他 (进出口滤网)
损失系数	0.5	0.3	0.2	0.1	0.3	0.138

水头损失系数根据《水力学》附表水头损失取值, 其他个别钢制焊接钢管弯管夹角较小, 局部水头损失可忽略不计。

(4) 管道系统的流量系数:  $\mu C = 1/(\lambda \times L/D + \sum \zeta)^{1/2} = 1/(0.027 \times 212/0.3 + 1.676)^{1/2} = 0.391$

L: 进出口斜坡段在内的虹吸管总长度 (m);

(5) 每根虹吸管的输水能力:  $Q = \mu CA(2gz)^{1/2} = 0.391 \times 0.152 \times 3.14 (2 \times 9.8 \times 0.5)^{1/2} = 0.086 \text{ m}^3/\text{s} > 0.061 \text{ m}^3/\text{s}$  (满足输水能力的要求)

z: 上、下游水位差 (m);

2. 虹吸管的最高安装高程计算复核:

虹吸管中最大真空一般发生在管子最高位置, 即发生在阀门井真空管断面处, 具体分析如下:

以水库上游水位为基准面, 基准面至堤顶弯管中心线的高差为 Z<sub>S</sub>, 对基准面断面及外坡堤顶弯头前 B 断面 (如图 1.2.2 所示) 列能量方程式:

(1)  $0 + P_a/r + a_1 v_1^2/2g = Z_s + P_B/r + a v^2/2g + (\lambda \times LB/D + \sum \zeta B) \times v^2/2g$

式中: LB 为从虹吸管进口至 B 断面的管长,  $\sum \zeta B$  为从虹吸管进口至 B 断面的水头损失系数之和;

(2) 取  $a_1 v_1^2/2g = 0$ ,  $a = 1.0$ , 则  $P_a/r - P_B/r = Z_s + (1 + \lambda \times LB/D + \sum \zeta B) \times v^2/2g$ ;

(3) 若要求管内真空值不大于某一允许值, 即  $(P_a - P_B)/r \leq h_v$

式中:  $h_v$  为允许真空值,  $h_v$  取值为 8m。

(4)  $V = Q/A = 0.086/(0.152 \times 3.14) = 1.217 \text{ m/s}$ ,

(5) 则  $Z_s + (1 + \lambda \times LB/D + \sum \zeta B) \times v^2/2g \leq h_v$ ,  
即  $Z_s \leq h_v - (1 + \lambda \times LB/D + \sum \zeta B) \times v^2/2g = 8 -$

$(1 + 0.027 \times 106/0.3 + 0.3 + 0.2 + 0.138) \times 1.217^2/2 \times 9.8 = 7.11 \text{ m}$

故虹吸管最高点与上游水面高程应满足  $Z_s \leq 7.11 \text{ m}$ 。

(6)  $Z_s = 29.0 - 23.5 = 5.5 \text{ m} \leq 7.11 \text{ m}$  (经复核虹吸管能正常工作)

### 三、正虹吸管施工应注意问题:

(1) 进出口位置距离九围河口连通闸防护体部位应采用钢板桩支护开挖施工, 避免大开挖放坡对原有建筑物造成破坏或基础扰动, 其他部位今天开挖支护形式可根据现场实际地质条件通知参建各方现场确认后进行调整。

(2) 施工前应探明本工程范围涉及到的燃气、电力、电信、给排水等各种管线。施工作业前, 会同建设、监理等参建单位和权属单位共同制定地下管线保护专项施工方案并严格落实。严禁在未查明地下管线、设施资料, 未制定并落实保护措施的情况下, 盲目开工、冒险作业, 其他应符合《城市工程管线综合规划规范》(GB50289-2016) 的相关规划要求。

(3) 为确保虹吸管后期运行正常, 达到设计质量合格标准, 提出以下质量控制及检测标准: 对首次采用的钢材、焊接材料、焊接方法或焊接工艺, 必须在焊接前按设计要求和有关规定进行焊接试验, 并应根据试验结果编制焊接工艺指导书; 沟槽内焊接时, 应采取有效技术措施保证管道底部的焊接质量; 钢管内外侧应做相应的防腐措施, 焊缝焊接质量应达到 2 级焊缝要求; 焊缝内无裂纹, 未熔合未焊透。

(4) 管道上部设置的真空管开口安装尺寸应与真空泵厂家气管相匹配, 同时真空管顶部相应侧设置开关阀。真空泵 1 台, 设备应选择尺寸满足阀门井进入尺寸, 且设备宽度不大于 50cm, 抽气速不小于 200L/min, 真空度选取接近 0, 具体相关参数应与厂家进行沟通。

(5) 镇墩施工基础应水平面施工, 严禁平行于管道轴线, 基础锚筋若与管道有冲突可适当微调位置, 镇、支墩宜一次性浇筑成型。

(6) 钢板桩打入前应将桩尖处的凹槽底口封闭, 避免泥土挤入, 锁口应涂以黄油或其它油脂。采用单独打入法施工, 在一根打入后, 应把它与前一根焊牢, 防止倾斜又避免被后打的桩带入土中。在软土中打板桩时, 施工过程中应用

仪器随时检查、控制、纠正板桩向前进方向的倾斜。如果发生倾斜时,用钢丝绳拉住桩身,边拉边打,逐步纠正。

(7)管沟开挖应分段施工,放坡开挖原则上按7~9m,钢板桩支护开挖15~20m,应配备相应的临时基坑监测措施;有支护段开挖至支撑标高下方约30cm后,及时进行支撑施工,待支撑施工完毕,方可进行下部开挖;挖土以机械为主,人工为辅,最后30cm以下土体必须用人工开挖,不得留有陡坡;开挖的弃土禁止堆放在坡顶两侧,堆土应堆在基槽边0.8m以外,堆土高度控制在1.5m以内。

(8)管道施工完后进行基坑回填时,应均匀、对称、分层铺填并夯压密实。回填土不能含有腐蚀性杂物,相应的压实度应严格执行图纸典型断面图中不同部位的指标要求,采用相适应的设备进行施工,严禁破坏管道。要有排水措施,如设置抽排水泵,基坑不得泡在水中,尤其应防止产生浮管

现象。其他应符合《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268-2008)的相关施工要求。

#### 四、结论

该正虹吸管补水工况为铁岗水库最低运行水位23.5m以上时,保证正常补水进行设计。该补水管设置为双管,单管输水流量经计算为0.086m<sup>3</sup>/s,双管同时工作时可满足九围河口生态库补水工程量1万t/d的需求。经过正虹吸管施工完成后进行的首次通水试验结果来看,正虹吸管能够正常工作,说明虹吸管最高安装高程满足实际允许真空值的要求。

#### 参考文献

[1]姚伯龙.虹吸管在水利工程中的应用[J].中国科技博览,2012(30):161-161.

[2]吴世凯.虹吸管的设计与应用[J].东北水利水电,1993(08):002-004.