

前台大型淤地坝工程设计方案

马龔斌

宁夏河海工程咨询管理有限公司 宁夏 银川 750000

摘要：前台大型淤地坝总库容为58.01万m³，为大2型淤地坝，工程等别为V等，主、次要建筑物和及临时建筑物级别均为5级；设计洪水标准为20年一遇，校核洪水标准为200年一遇；设计淤积年限为20年，抗震设计烈度采用Ⅷ度。淤地坝由土坝、放水建筑物和泄洪洞三大件组成。在左坝肩桩号0+075.8处垂直与坝体布置泄洪洞一座，由进口段、涵洞段、明渠、陡坡、消力池、尾水明渠及海漫组成，总长188m。放水建筑物布置于坝体沿右坝坡布设，与坝轴线呈79度夹角，由卧管、消力井、坝下涵洞、明渠、陡坡、消力池、尾水明渠等组成，总长126.95m。

关键词：淤地坝；放水建筑物；泄洪洞

1 淤地坝坝体

(1) 填筑材料及坝型选择

坝体上游左右岸开挖区均为(Q3)黄土层，储量大于10万m³，开挖便利，运输方便，土料主要成分为壤土，其各项指标均满足均质坝上坝土料要求。故坝体利用当地黄土填筑，坝型为碾压式均质土坝。

(2) 填筑标准

根据《淤地坝技术规范》(SL/T804-2020)^[1]坝体压实度不应低于0.94，《小型水利水电工程碾压式土石坝设计规范》(SL189-2013)^[2]坝体压实度应为0.95~0.97，本次淤地坝设计地震烈度为Ⅷ度，填土压实度结合两个规范取0.96。土壤含水量控制在最优含水量13.9%的-2%~+2%之间。

(3) 坝体沉降

坝体总沉降根据《淤地坝技术规范》(SL/T804-2020)采用分层总和法计算，公式为

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_i}{1 + e_{0i}} h_i$$

式中：

S—总沉降量(m)；

n—分层数目；

e_{0i}—第i层土起始孔隙比；

e_i—第i层土上部荷载作用下的孔隙比；

h_i—第i层土层厚度(m)；

根据上述公式，将坝体分为77层，每层层厚0.5m，最后一层初始孔隙比0.935，上部荷载作用下下部土层的最大孔隙比0.666，计算得坝体总沉降量为0.50m，为坝体总高度17.3m的2.89%。施工期沉降量取总沉降值的80%，即0.40m；竣工后沉降量为0.10m，占坝体总高度的0.4%，设计建议施工时坝体回填至设计高程以上0.10m。

(4) 土坝结构设计

坝顶：根据《淤地坝技术规范》(SL/T804-2020)^[1]，碾压坝坝高10~20m时，其坝顶设计宽可选3~4m，本次坝顶兼顾交通，宽度可放宽至5.0m，向下游倾斜2%坡度，坝顶长83.5m，坝顶高程1607.3m，最大坝高17.3m，坝顶防护采用铺设15cm厚砂砾石。坝顶两侧沿坝长方向设路缘石，铺设总长度167m。

坝坡：该淤地坝最大坝高17.3m，设计上游坝坡坡比为1:2.5，在1603.7m高程处设1级马道，马道宽9.0m(利用原有围堰堰顶)；下游坝坡坡比为1:2.25~1:2.5，采用在原临时围堰上加高并对坝坡进行修整，下游坝坡在1600.0m高程处设1级马道，马道宽1.5m。

护坡：上、下游坝坡均采用植物护坡^[3]，护坡范围为除坝后排水体之和坝前淤泥面以下范围坝坡。护坡面积为0.44hm²。

坝面排水：上下游坝坡与岸坡结合处、下游马道均设排水沟，排水沟为矩形现浇混凝土结构，尺寸为：底宽0.3m，高0.4m，边墙及底板厚0.15m，混凝土标号：C25，排水沟总长123m。

坝坡踏步：上游坝坡设置踏步，位于坝顶桩号0+028m；下游坝坡设置踏步，位于坝顶桩号0+060m。踏步为C25混凝土结构，踏步净宽1.0m，每阶台高0.2m，长0.4m。

2 泄洪洞

(1) 泄洪洞布置

泄洪洞^[4]布置于左坝肩坝轴0+075.8由进口段、涵洞段、明渠段、陡坡段、消能段、尾水明渠及海漫段组成，溢洪道进口段底板高程为1603.65m，设1孔，宽1.5m，高2.0m，最大下泄流量为6.7m³/s。

(2) 进口段

进口段为八字形钢筋混凝土结构挡土墙，底板和

挡土墙为整体式结构。顺水流方向长4.5m, 底板高程1603.65m, 底板厚0.3m, 进口宽4.5m~1.5m, 边墙高0.5~2.3m, 边墙顶部宽0.3m, 底板下均设0.1m厚的C20素混凝土垫层。进口左右两侧各设长2m的挡土墙, 边墙顶部宽0.3m, 边坡1:0.3。

(3) 涵洞段

进口段后接涵洞段, 涵洞段坡比为1:100, 高程1603.65~1603.55m, 单孔结构, 长10m, 底宽1.5m, 高2m, 顶板厚0.3m, 进口箱涵顶高程1605.95m。侧墙顶宽为0.3m, 底板厚0.3m, 为现浇钢筋混凝土结构, 底板下设0.1m厚C20混凝土垫层。

泄洪洞设计泄量为6.7m³/s, 比降为1:100, 其正常水深为1.14m, 临界水深为1.27m, 正常水深小于临界水深, 渠道为急流, 明渠为陡坡明渠。根据能量方程, 按分段求和法计算, 水面线始端水深为明渠临界水深。计算结果见表1。

明渠水面线按能量方程式计算:

$$h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + iL = h_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \frac{V^2}{c^2 R}$$

经计算, 明渠水深为1.14m, 流速3.91~3.92m/s, 泄洪洞底宽1.5m, 设计洞高取2.0m。

表1 泄洪洞水力计算结果表

项目名称	泄洪洞
底宽 (m)	1.5
洞高 (m)	2.0
比降	1/100
水平长 (m)	10
糙率	0.015
流量 (m ³ /s)	6.7
进口水深 (m)	1.14
末端水深 (m)	1.14
末端流速 (m/s)	3.92

(4) 明渠段

涵洞段出口接明渠段, 明渠段水平长13.8m, 明渠段坡比为1:100, 进口高程1603.55m, 末端高程1603.41m, 明渠段为现浇钢筋混凝土整体式矩形断面, 底宽1.5m, 边墙高为2.0m, 底板厚0.3m, 底板下设0.1m厚C20混凝土垫层。明渠15m后开始转弯, 转弯半径15m, 圆心角14°, 弧长3.8m。

明渠水面线按上文能量方程式计算。经计算, 明渠水深为1.14m, 流速3.92m/s, 底宽1.5m, 设计边墙高取2.0m。

(5) 陡坡段

明渠出口接陡坡段, 水平长46m, 比降为1:3.0,

进口高程为1603.41m, 出口高程为1588.00m, 落差15.31m, 底宽1.5m, 底板厚0.3m, 底板下设0.1m厚C20混凝土垫层, 墙顶宽0.3m, 前20m边墙高2.0~1.0m; 后21.66m边墙高1.0m。

陡坡水面线按上文能量方程式计算。经计算, 陡坡水深为1.14~0.35m, 流速3.92~12.87m/s, 陡坡底宽1.5~3.0m, 设计边墙高取2.0~1.0m。

(6) 消力池

陡坡后接消力池, 消力池为底流消能, 池底高程1588.00m, 长10m, 为矩形断面, 边墙高2.5m, 边墙顶宽0.3m, 底宽为3.0m, 底板厚0.4m, 底板下设0.1m厚C20混凝土垫层。池末设消力坎, 坎高0.5m。

消力池采用底流式水跃消能, 消力池采用设计洪水调洪后所对应的泄量, 设计下泄流量 $Q = 6.7\text{m}^3/\text{s}$ 。消力池底宽为2.5m, 矩形断面, 跃前水深为一级陡坡末端水深0.35m。跌后水深 h_2 计算公式为:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} [\sqrt{1 + 8 \times Fr_1^2} - 1]$$

计算结果 h_2 为2.08m,

水跃长度根据经验公式:

$$L_j = 6.9 (h_2 - h_1) = 11.94\text{m}$$

设计消力池首端及末端设置消力坎, 一级消力池长度 $L_k = 0.80 \times L_j = 9.6\text{m}$ 。

计入安全超高, 则一级消力池边墙高为2.5m, 长度 L_k 定为10.0m。

(7) 尾水明渠

消力池后接尾水明渠, 总长103.7m, 明渠比降1:100, 进口底高程1588.5m, 为矩形断面, 边墙高1.4m, 边墙顶宽0.2m, 底宽为2.0m, 底板厚0.3m, 底板下设0.1m厚C20混凝土垫层。

尾水明渠设计泄量为6.7m³/s, 比降为1:100, 其正常水深为0.85m, 临界水深为1.30m, 明渠水面线按上文能量方程式计算, 经计算, 明渠水深为0.85m, 流速3.3~2.5m/s, 底宽2.0m, 设计边墙高取1.4m。

(8) 海漫段

消力池末端接海漫, 为格宾结构, 尺寸为5m×5.6m×0.5m (长×宽×厚)。

3 放水建筑物

(1) 放水建筑物布置

放水建筑物布置于坝体右岸沿坝坡布设, 由卧管、消力井、坝下涵洞、明渠、陡坡、消力池、尾水明渠等组成, 总长126.95m, 下泄流量为0.51m³/s。

根据《淤地坝技术规范》(SL/T804-2020)^[1], 放

水建筑物放水流量按4~7d泄完设计频率一次洪水总量确定。设计频率洪水总量为12.96万m³，计算的放水流量为0.21~0.38m³/s。加大流量为0.25~0.46m³/s。

(2) 卧管

卧管布置于坝体右岸沿坝坡布设，卧管顶高程1606.7m，总高度10，坡比1:2.5，每台高0.4m，共25阶，断面尺寸1.0×0.8m，进水孔直径0.3m，每台设1个进水孔，最低进水口高程1596.7m，最高进水口高程1606.7m（该孔作为排气孔）。

卧管输水廊道断面按照设计流量0.51m³/s。设计输水廊道底宽0.8m，坡比为1:2.5，按明渠均匀流公式计算得正常水深为0.06m。

廊道高度应取卧管水深的3~4倍，为0.18~0.24m，设计高度取为0.6m，满足要求。

(3) 消力井

消力井为圆形，直径3m，深2.2m，壁厚0.3m，底板及顶板厚0.3m，基础设0.1m厚C20素混凝土垫层+0.5m厚2:8水泥土。

卧管消能采用消力井，根据《淤地坝技术规范》（SL/T804-2020）^[1]，消力池计算计算公式如下：

消力井深度： $d = 1.1 \times h_2 - h$

第二共扼水深： $h_2 = \frac{h_0}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_0^3}} - 1 \right)$

消力井长度： $L_2 = (3 \sim 5) \times h_2$

则： $h_2 = 0.70\text{m}$ ； $d = 0.59\text{m}$ ； d 取0.6m， $L_2 = 2.1 \sim 3.5\text{m}$ ，取3.0m。

消力井总高度按下式计算：

$$H = D + h$$

则： $H = 0.6 + 1.4 = 2.0\text{m}$ ，取2.2m。

经上述计算，确定消力井直径为3m，净高度取为2.2m。

(4) 涵洞

涵洞水平长59.5m，比降1/100，进口高程1595.0m，末端高程1594.40m，断面尺寸1.0×1.4m，涵洞为现浇钢筋混凝土箱涵，洞壁厚0.3m，底板下设0.1m厚C20素混凝土垫层。基础设0.1m厚C20素混凝土垫层+0.5m厚2:8水泥土。涵洞末端两侧各设1.5m长的浆砌石挡土墙，墙高3.0m，顶宽0.3m，外侧边坡1:0.4。

涵洞设计流量为0.30m³/s，设计底宽1.0m，纵向比降为1:100，按明渠均匀流公式计算得正常水深为0.18m。

根据《淤地坝技术规范》（SL/T 804-2020）^[1]，大型淤地坝方涵宽度不应小于0.8m，高度不应小于1.2m，且洞内水深应小于涵洞净高的75%。本次设计坝下涵洞底宽

取1.0m，净高取1.4m，满足无压过流条件。

(5) 明渠、陡坡及消力池

明渠水平长3.3m，比降1/100，进口高程1594.40m，末端高程1594.37m，底宽1m，墙高1.0~1.4m，侧墙厚0.2m，底板厚0.3m，底板下设0.1m厚C20素混凝土垫层。涵洞后开始转弯，转弯半径8.0m，圆心角23°，弧长3.3m。

明渠出口接比降为1:5.0的陡坡，进口高程为1594.37m，出口高程为1589.0m，落差5.37m，水平长26.85m，底宽1m，底板厚0.3m，底板下设0.1m厚C20素混凝土垫层，墙顶宽0.2m，墙高1.0~0.8m。

陡坡后接消力池，消力池为底流消能，池底高程1589m，长2.5m，为矩形断面，边墙高1.0m，墙顶宽0.2m，底宽为1.0m，底板厚0.3m底板下设0.1m厚C20素混凝土垫层，池末设消力坎，坎高0.2m。

陡坡末端接消力池，采用底流式水跃消能，消力池采用设计下泄流量 $Q = 0.3\text{m}^3/\text{s}$ 。消力池底宽为1m，矩形断面，跃前水深为一级陡坡末端水深0.07m。跌后水深 h_2 上文水跃计算结果 h_2 为0.48m，水跃长度根据经验公式 $L_j = 6.9(h_2 - h_1) = 2.83\text{m}$ 。

设计消力池首端及末端设置两道消力坎，一级消力池长度 $L_k = 0.80 \times L_j = 2.26\text{m}$ 。

计入安全超高，则一级消力池边墙高为1.0m，长度 L_k 定为2.5m。

(6) 尾水明渠

消力池后接尾水明渠，总长34.79m，明渠比降1:100，进口底高程1589.20m，为矩形断面，边墙高0.8m，边墙顶宽0.2m，底宽为1.0m，底板厚0.3m，底板下设0.1m厚C20混凝土垫层。明渠末端与泄洪洞尾水明渠连接。

结束语

淤地坝工程建设，拦沙蓄水淤地，有效利用和保护水土资源，使有效的水土资源得到充分的利用，巩固退耕还林成果。其次，区域水土流失得到基本控制，可有效地减少进入下游河道的泥沙特别是粗颗粒泥沙，延缓下游河道淤积，从而减轻了下游河道的防洪压力。最后，淤地坝建设可有效防止沟道下切、扩张，稳定沟坡，减轻水土流失；减小洪涝灾害给农业生产造成的损失和对人民群众的生命财产带来的威胁。

参考文献

- [1]《淤地坝技术规范》（SL/T804-2020）。
- [2]《小型水利水电工程碾压式土石坝设计规范》（SL189-2013）。
- [3]《水土保持工程设计规范》（GB51018-2014）。
- [4]《溢洪道设计规范》（SL253-2018）。