



中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5087-1999

水电水利工程围堰设计导则

条 文 说 明

主编部门：长江水利委员会长江水利勘测规划设计研究院

批准部门：中华人民共和国国家经济贸易委员会

目 次

3	总则	3
4	设计标准与基本资料	4
5	围堰型式选择	8
6	围堰布置	15
7	围堰断面设计	19
8	围堰基础处理设计	25
9	围堰施工设计	29
10	围堰观测与拆除设计	32

3 总 则

3.0.1 我国在大中型水电水利工程建设中修建了各种型式的围堰,通过围堰设计、施工、运行的实践,积累了丰富的经验。为适应我国水利水电建设事业发展的需要,不断提高围堰设计水平,特编制本导则。1989年能源部(原电力部)和水利部颁发的SDJ338对围堰设计作了原则规定,以该规范为母本,制定本导则。

3.0.2 围堰设计在确保施工及运行安全的前提下,尽量考虑利用当地材料,以求经济合理;围堰设计方案,不仅要考虑施工方便,而且还要考虑后期拆除方便。大中型水利水电工程围堰设计应对围堰型式、平面布置、围堰断面结构及基础处理等进行多种方案研究,并通过综合经济分析比较最后确定。

3.0.3 与永久建筑物相结合的围堰,不仅承担施工导流期挡水任务,且在工程运行后成为永久建筑物的一部分,如纵向围堰的坝体段及导墙段等部位,应按永久建筑物标准设计。三峡工程的混凝土纵向围堰坝体段及下纵段(工程运行后为溢流坝段与右岸电厂的导墙)均按永久建筑物设计。

3.0.4 围堰设计除了执行本导则外,还应符合现行国家、行业标准的有关规定。

4 设计标准与基本资料

4.1 设计标准

4.1.1 围堰级别划分依据 **SDJ338** 第 2.2.1 条。在大江大河上修建围堰，若围堰高度超过 70m，拦蓄库容大于 10m^3 ，围堰失事后果极为严重，围堰级别应相应提高。例如：长江三峡工程二期上游土石围堰最大高度达 82.5m，拦蓄库容 20m^3 ，使用年限 4 年~5 年，围堰失事将直接威胁下游葛洲坝工程和宜昌市的安全，延误三峡工程建设工期，推迟发电，造成长江断航，后果严重，因此二期上游土石围堰按 II 级建筑物设计；三峡工程三期上游碾压混凝土围堰最大高度达 124m，拦蓄库容 147m^3 ，已属高坝大库，使用年限虽 3 年~4 年，但该围堰不仅保护三期基坑施工，还担负着挡水发电和保证通航的重任，长期在高水头下运行，围堰一旦失事，对下游葛洲坝工程及宜昌市将造成重大灾害，致使三峡工程左岸电站发电中断和长江断航，危害极大。因此，三期上游碾压混凝土围堰按 I 级建筑物设计。鉴于三峡围堰工程是特例，故在规范与导则中围堰最高级别仍定为 III 级建筑物。

4.1.2 围堰设计洪水标准常用频率法确定，根据围堰类型和级别，按 **SDJ338** 选用。还应考虑可能遭遇超标准洪水时的紧急措施。围堰设计洪水标准也可采用典型水文年法确定。例如：长江葛洲坝工程围堰设计考虑坝址水文观测系列达 96 年，设计洪水采用典型年法，选择 1954 年实测最大洪水流量 $66800\text{m}^3/\text{s}$ （相当于理论频率重现期约 10 年），作为围堰设计洪水流量，采用 1896 年实测最大洪水流量 $71100\text{m}^3/\text{s}$ （相当于理论频率约 20 年）作为校核流量，对于大江上游土石围堰和上游纵向钢板桩格型围堰担负挡水发电重任，选用 1788 年的历史调查洪水 $86000\text{m}^3/\text{s}$ （相当于理论频率约 120 年）作为保堰流量。巴基斯坦的塔贝拉水利工程围堰设计标准采用 10 年实测最大洪水流量 $21300\text{m}^3/\text{s}$ ；曼格拉水

利工程围堰设计洪水标准则按 1959 年实测最大洪水流量 $23600\text{m}^3/\text{s}$ （相当于 20 年一遇洪水），说明各工程取用的洪水标准不同，因此，围堰设计洪水标准应视本工程实测水文观测系列和具体情况综合分析确定。

4.1.3 过水围堰的挡水标准在重现期 3 年～20 年范围内选定。由于过水围堰在汛期允许淹没基坑，其选择的挡水流量标准不同，每年围堰过水淹没的次数就不同。若围堰设计挡水流量标准太高，导流建筑物工程费用增大，但由于过水次数减少，淹没基坑损失的费用相应减少，而有效施工时间增长，可缩短工期；反之，若围堰设计挡水流量标准太低，导流建筑物工程费用减少，工期增长。因此，过水围堰设计挡水流量标准的选择需进行全面的技术经济比较。我国一些水电工程（如乌江渡、隔河岩）过水围堰设计挡水流量标准采用实测流量分析法，通过对围堰过水次数和停工天数的分析比较，选择合理的挡水流量标准。若实测水文系列较长，视围堰情况也可按实测典型年资料分析选用。

4.2 基本资料

4.2.1 围堰设计所需的坝址水文、气象资料可利用枢纽主体建筑物设计需要的资料。水文资料中频率计算值包括 1%、2%、5%、10%、20% 频率的全年和枯水期时段及分月瞬时最大及日平均流量，典型洪水过程线；枯水期逐月平均流量及 5%、10%、20% 月平均流量。例如：长江葛洲坝工程、三峡工程围堰设计需要枯水期逐月分旬平均流量及 5%、10%、20% 旬平均流量。

坝址水位流量关系曲线通常取围堰轴线的水位流量，但对于河道水位比降较大的坝址，需测出上下游围堰处的水位流量关系。坝址降雨、冰情、气温及风速资料可利用主体建筑物结构设计和施工设计所需要的资料。

4.2.2 围堰设计所需坝址地形、地质资料主要是：围堰范围内的地形、地质图；围堰基础覆盖层、基岩特性，力学指标及渗透资料；用于围堰防渗土料、防冲块石料及堰体填料的料场资料。

4.2.3 围堰平面布置方案研究，需要枢纽总布置图、永久建筑物结构型式和施工程序等资料。对于分期导流方式，纵向围堰位置直接影响枢纽布置方案和施工程序。

4.2.4 围堰施工设计依据施工导截流方式、模型试验及枢纽工程施工总布置、总进度进行布置和安排。

4.2.5 围堰运行期水力学条件应按围堰设计标准及设计洪水流量和导流泄水条件进行水力学计算，求得围堰挡水水位及附近的流速值。对于属Ⅳ级以上的建筑物围堰尚需通过水工模型试验验证，并测出围堰附近的水流流态及流速资料。

对于有漂木和排冰的河道，尚需查明漂木和排冰情况，以便于设计研究漂木和排冰措施。

在有航运要求的河道修建围堰必须尽量减小围堰对航运的影响，并采取措施避免或缩短断航期。

4.2.6 过水围堰运行期的挡水条件按挡水时段的设计流量和导流泄水条件计算围堰挡水位。过水水力学条件可按围堰过水设计洪水流量和导流泄水建筑物联合泄流进行计算，求得围堰过水泄流量及平均流速。鉴于围堰过水最大流速不一定出现在设计洪水流量，因此，应选择几组流量进行计算。同时，对围堰下游消能防冲也应进行水力计算。对于Ⅲ、Ⅳ级过水围堰宜通过水工模型试验测得围堰过水流态及流速资料。

4.2.7 围堰平面布置一般距主体建筑物较近，尤其是纵向围堰因位置限制，靠近主体建筑物布置，需分析研究主体建筑物基础开挖断面和爆破对围堰稳定及堰基渗透的影响。通常，主体建筑物基础开挖采用控制爆破，基岩开挖的开口边线与围堰坡脚距离宜控制在 10m~20m，还需满足基坑排水站和施工道路布置的要求。

4.2.8 全河床断流方案、导流隧洞及明渠泄流可能造成对下游围堰的冲刷，一般在导流隧洞及明渠出口平面布置时，尽量使主流远离围堰坡脚。对大、中型导流围堰工程尚需通过水工模型试验，测出下游围堰坡脚处的流速、流态资料，供设计研究围堰防冲保护方案。分期导流方案，利用束窄河床泄流或已建的永久泄水建

筑物泄流，对纵向围堰及下游横向围堰坡脚可能造成冲刷，拟先进行水力学计算分析，必要时通过水工模型试验验证。

4.2.9 围堰设计需了解坝址河段泥沙资料，包括河流泥沙含量、泥沙的物理力学指标、渗透系数，以便分析围堰修建后，上、下游围堰迎水坡脚泥沙淤积范围及淤积厚度。分期导流方案，一期围堰束窄河床后，对河床覆盖层造成冲刷，需分析河床覆盖层冲刷范围及冲刷深度。

5 围堰型式选择

5.1 选择原则

5.1.1 围堰属挡水建筑物，虽系临时工程，但在运行期必须安全可靠，应满足水工建筑物的稳定、防渗及抗冲要求。

5.1.2 围堰系临时建筑物，通常围堰施工安排在一个枯水期修筑至设计高程或度汛高程，以保安全度汛，因此，围堰施工工期紧；同时，围堰在围护的永久建筑物投入运行前，需拆除部分堰体或全部堰体。故在选择围堰型式时，应考虑堰体结构简单、施工方便，在保证围堰施工质量的前提下，有利于加快施工速度和后期拆除。

5.1.3 围堰基础处理使其满足堰体稳定和防渗要求，围堰型式选择时，应结合围堰基础地质（含堰基覆盖层及基岩）条件，尽量简化基础处理方案，在保证施工质量前提下，以加快围堰施工进度。

围堰与岸坡或建筑物连接需满足防渗和稳定要求，应视岸坡地形、地质条件和建筑物的结构特点选择连接简便的接头型式。

5.1.4 围堰型式选择应充分利用当地材料和主体建筑物基础开挖料，在大中型水电工程中应优先选用土石围堰，以便于填筑和拆除。

5.1.5 围堰型式选择应尽可能使堰体与主体建筑物相结合，以节省工程投资。例如辽宁省山美土石坝高 **72.5m**，上游土石围堰高 **18m**，作为土石坝的一部分；三峡工程二期下游纵向混凝土围堰高 **56.5m**，与溢流坝导墙相结合。

5.1.6 围堰是临时建筑物，设计标准不宜太高，在围堰型式选择时要能适应防汛抢险施工需要，在遇超标准洪水时，采取应急措施加高围堰。

5.2 土石围堰

5.2.1 土石围堰的优点是可利用当地材料，堰基易于处理，施工和拆除都较简便，属常用的围堰型式。

5.2.2 土石围堰防渗体填料应视坝址料源情况，综合分析比较选定。坝址附近如有渗透系数小于 $0.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 的土料，应优先采用。

若坝址附近有砾石土料或风化页岩石渣，碾压密实后渗透系数达 $5.0 \times 10^{-3} \text{cm/s} \sim 0.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ，可用作防渗料，采用加大防渗体断面以满足围堰防渗要求。例如：长江葛洲坝二、三江上游土石横向围堰采用砂壤土心墙防渗体；大江下游土石横向围堰高度 $30\text{m} \sim 34\text{m}$ ，河床部位轴线长 780m ，堰基砂砾石覆盖层厚度 $10\text{m} \sim 15\text{m}$ ，平均渗透系数 17m/d ，最大 85m/d ，围堰防渗体采用二江基坑开挖的黏土质粉砂岩石渣和二江围堰拆除的砂壤土及砂砾石混合料，在截流戗堤设砂砾石过渡带，其迎水侧全部抛填混合料，水下边坡 $1:4$ ，水上边坡 $1:3$ ，实测混合料的渗透系数 $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s} \sim 5.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。围堰运行五年，实测最大渗水量 $1200\text{m}^3/\text{h}$ ，随着围堰坡脚处淤积，渗水量逐渐减小。

5.2.3 除土料防渗体以外的其他材料防渗体：

a) 土工膜用于土石坝防渗材料是近 10 年的事。土石围堰防渗体的水上部位应优先选用土工膜防渗。福建省水口水电站二期上、下游土石围堰基础覆盖层厚 24m ，采用泥浆固壁冲击钻造孔成槽浇筑混凝土防渗墙，上部接土工膜心墙，高度 26m ，土工膜防渗面积 $4.44 \times 10^4 \text{m}^2$ ，围堰运行防渗效果良好。

b) 现浇混凝土心墙主要用于堰体水上部位，堰体水下部位结合围堰基础防渗墙采用泥浆固壁冲击钻造孔成槽，浇筑水下混凝土。例如：长江葛洲坝工程大江上游土石围堰水下部位最大深度 40m ，防渗墙采用泥浆固壁冲击钻造孔成槽浇筑混凝土防渗墙，其水上部位防渗心墙高 10m ，采用现浇混凝土防渗墙，围堰运行 5 年防渗效果良好。

c) 目前, 在河床覆盖层中泥浆固壁冲击钻造孔成槽浇筑混凝土防渗墙最大深度已达 68m。但据国内已建防渗墙设计及施工经验, 对于覆盖层深度超过 60m 的防渗墙或在填料未经压实的堰体中建造高度超过 30m 的防渗心墙, 计算防渗墙体拉应力超过混凝土允许拉应力, 需研究采用结构措施。

葛洲坝工程大江上游土石围堰堰体最大高度 50m, 水下填料高度 20m~30m, 防渗心墙采用两排混凝土防渗墙; 三峡工程二期上游土石围堰, 堰体最大高度 82.5m, 水下填料高度达 60m, 防渗心墙设计为两排混凝土防渗墙, 拟使用反循环冲击钻机施工。

d) 沥青混凝土斜墙和心墙可用于围堰防渗体的水上部位。沥青混凝土斜墙下接黏土斜墙铺盖, 其插入黏土斜墙的深度为 $(1/2 \sim 1/3) H$ (水头)。沥青混凝土心墙下接混凝土防渗心墙, 通常在接缝处设止水片, 也可采用铺设沥青含量较高的沥青混凝土加厚层或填以沥青玛 脂等填料, 以防止接缝脱开。

e) 钢板桩心墙因其施工简单, 且钢板桩可重复使用, 故在国外水电工程应用较广泛。通常, 钢板桩高度 12m~15m 为宜, 适合于砂质基础。对于砂砾石覆盖层, 其卵石含量少于 40%, 且粒径大于 20cm 的含量少于 10% 较适宜。例如: 陕西省安康水电站一期围堰基础砂卵石覆盖层厚 8m~15m, 采用插打钢板桩防渗墙, 围堰运行防渗效果较好。

5.2.4 纵向土石围堰的坡脚流速 4m/s~5m/s, 可采用抛块石防冲体保护, 控制块石粒径 0.3m~0.7m, 重量 90kg~500kg, 面层抛 3~4 层粒径大于 0.8m, 重量大于 700kg 的大块石保护。例如: 长江葛洲坝一期土石纵向围堰下游矶头坡脚抛投块石防冲体保护, 块石粒径 0.3m~0.7m; 面层大块石粒径 0.8m~1.0m, 运行 5 年, 汛期最大流速 5.2m/s, 防冲效果良好。若围堰坡脚流速大于 5m/s, 采用块石防冲体保护尚不能保证安全运行需研究专门的防冲措施, 可采用钢筋笼块石或混凝土防冲板保护, 其保护宽度视该部位的覆盖层情况而定, 钢筋笼块石及混凝土防冲板均要考虑适应基础冲塌变形, 以防止围堰坡脚基础覆盖层被水流淘刷。例如:

长江葛洲坝一期土石纵向围堰上游丁坝坡脚流速达 7.2m/s ，采用混凝土块柔性排保护坡脚，混凝土块尺寸 $4\text{m}\times 4\text{m}$ 及 $8\text{m}\times 8\text{m}$ ，厚 $1.2\text{m}\sim 1.7\text{m}$ ，相邻块之间选用可变形的钢筋型式连接，围堰运行5年，防冲效果良好。

5.2.5 土石围堰过水单宽流量小于 $40\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速在 5m/s 以内，可采用铅丝笼块石或大块石（粒径 $0.5\text{m}\sim 0.8\text{m}$ ）保护；流速 $5\text{m/s}\sim 7\text{m/s}$ ，可采用钢筋笼块石、加筋块石、特大块石（重 $3\text{t}\sim 5\text{t}$ ）保护；流速 $7\text{m/s}\sim 10\text{m/s}$ 采用浆砌块石、混凝土块保护。工程实践证明，土石过水围堰仅用单宽流量衡量设计指标尚不够全面。例如：湖北省清江隔河岩工程下游土石过水围堰轴线长度 200m ，堰顶过流量 $8000\text{m}^3/\text{s}$ 时，堰顶单宽流量 $40\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，下游坡面水深 $7\text{m}\sim 4.5\text{m}$ ，最大流速 12.3m/s ，堰顶及下游坡水深 $8.5\text{m}\sim 7.5\text{m}$ ，最大流速 10.2m/s ；堰顶过流量 $13700\text{m}^3/\text{s}$ ，单宽流量 $68.5\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 时，堰顶及下游坡水深 $11\text{m}\sim 10\text{m}$ ，最大流速 7.3m/s ，说明围堰过流量超过 $8000\text{m}^3/\text{s}$ ，堰顶及下游坡水深增大，形成潜堰，流速反而减小。因此，采用单宽流量和流速衡量土石过水围堰设计指标较为全面。土石围堰过水单宽流量大于 $40\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速大于 10m/s ，需仔细分析围堰过水水力条件，并通过水工模型试验研究采取防冲措施以确保安全运行。广西红水河大化水电站土石过水围堰高 17.5m ，设计过流量 $8420\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $104\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速 11.6m/s ，采用 $3.3\text{m}\times 2\text{m}$ ，厚 0.7m 混凝土块保护，实际过流量 $5140\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $70.4\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。贵州省普定水电站土石过水围堰高 15.5m ，设计过流量 $3890\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $75\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速 12.5m/s ，采用 $3\text{m}\times 3\text{m}$ ，厚 0.5m 混凝土块保护，实际过流量 $2600\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $53\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。湖北省清江隔河岩工程下游土石过水围堰高 16m ，覆盖层厚 $8\text{m}\sim 19\text{m}$ ，设计过流量 $13700\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $68.5\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速 12.4m/s ，采用 $10\text{m}\times 10\text{m}$ ，厚 1.5m 混凝土块保护，实际过流量 $10700\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $50.4\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速 11.5m/s 。上述土石过水围堰虽然单宽流量

大于 $40\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 或流速大于 10m/s ，但运行实践证明，采用的防冲保护措施效果良好。

5.3 混凝土围堰

5.3.1 混凝土围堰具有抗冲及抗渗能力大，断面尺寸小，易于与永久混凝土建筑物相连接，堰体可过水等优点，故在我国水电工程中，大多数纵向围堰和横向过水围堰采用混凝土围堰。例如：三门峡、丹江口、水口、五强溪、三峡等大型水电工程的纵向围堰采用混凝土围堰；乌江渡、岩滩、隔河岩等大型水电工程的过水围堰采用混凝土围堰。混凝土围堰常用重力式和拱型。例如：贵州乌江渡上游过水围堰，湖北省清江隔河岩水电站上游过水围堰都做成拱型围堰。

5.3.2 碾压混凝土每米³的水泥用量为 $50\text{kg}\sim 70\text{kg}$ （胶凝材料总量 $140\text{kg}\sim 165\text{kg}$ ，粉煤灰掺量约为 $55\%\sim 65\%$ ），较常态混凝土的水泥用量低。混凝土浇筑方法简单，施工速度快，劳动强度大的立模工作量减少，并取消了冷却水管和接缝灌浆工艺，减少材料用量，节省工程投资。我国在混凝土围堰中已推广采用碾压混凝土，例如：广西岩滩水电站，上、下游过水围堰均采用碾压混凝土围堰，上游围堰高 52m ，轴线长 278m ，碾压混凝土量 17.2万 m^3 ；下游围堰高 42m ，轴线长 260m ，碾压混凝土量 11.3万 m^3 。湖北省清江隔河岩水电站上游过水围堰采用碾压混凝土围堰，围堰高 42m ，轴线长 290m ，碾压混凝土量 11.1万 m^3 。江西省万安水电站上游过水围堰采用碾压混凝土围堰，围堰高 24m ，轴线长 234m ，碾压混凝土量 5.4万 m^3 。福建省水口水电站纵向围堰采用碾压混凝土围堰，围堰高 26m ，轴线长 280m ，碾压混凝土量 28万 m^3 。

5.3.3 纵向混凝土围堰本身抗冲流速可达 20m/s ，但对围堰迎水面的基础需采取相应的防冲保护措施，才能确保围堰安全运行。根据围堰基础的地质情况，在围堰迎水面基础宜研究用混凝土防冲板保护方案，若布置防冲板有困难，也可采取挖防冲槽浇筑混

凝土保护方案。

5.3.4 混凝土过水围堰需通过分析计算，拟定下游消能工及防冲措施，以保护下游河床及两岸基础，并应经过水工模型试验验证。对上游过水围堰尚需考虑大坝施工形象面貌对围堰下游消能工的影响，并按下游水力衔接最不利的工况进行防冲设计。若围堰基础地质、地形条件尚好，可采用挑流消能，以减少下游防护工程量，简化施工；若围堰基础地质、地形条件较差，宜采用底流消能，但下游防护工程量大，需视施工条件及工期的可行性，进行综合分析比较。

5.4 其他型式围堰

5.4.1 浆砌块石围堰所用的石料、砂砾料可以就地取材，所用水泥、钢材、木材的消耗量较混凝土围堰少，投资也较省。较土石围堰工程量小，抗冲性能好，且施工期允许过水。浆砌块石围堰可作纵向围堰和横向过水围堰。浆砌块石围堰需在干地施工，以保证砌石质量。若具备水下施工条件，可将水下部分浇筑混凝土，水上部分采用浆砌块石。例如：隔河岩下游围堰缺口封堵纵向隔墙及导流隧洞封堵期为保证坝下游供水而修筑的土石围堰纵向隔墙均采用浆砌块石。

木笼围堰是木结构框架和散粒填料组成的混合结构，在华东及中南地区修建的水电工程，例如：黄坛口、梅山、新安江、富春江、乌溪江、建溪、柘溪等工程中有应用实例。该种型式围堰具有适用性广、施工快，较土石围堰工程量小，抗冲能力强等优点。可在水深 10m~15m 的河流中进行施工，用作纵向围堰和过水围堰（顶部需设混凝土防冲盖板）有较明显优点。建溪工程的木笼围堰高度达 20m；湖南柘溪水电站上游过水围堰高 34m，下部土石围堰，上部接木笼围堰的木笼土石混合围堰；新安江水电站上游木笼围堰高 14.2m，堰顶过水单宽流量 $32.6\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，下游木笼围堰高 15.7m，堰顶过水单宽流量 $47.3\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。木笼围堰要消耗大量木材，因此应用受到限制。

浙江富春江水电站上游过水围堰，高度 28m，采用竹笼背水侧设土石支撑体的竹笼土石混合围堰，围堰顶部采用竹筋混凝土面板保护，溢流单宽流量 $30\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。

宁夏八盘峡水电站三期上游围堰采用草土围堰高达 17m，实际挡水高度 14m。

5.4.2 美国马克兰德水电站厂房施工围堰采用双排圆筒形格体，高度达 35m；美国肯塔基水电站围堰采用花瓣形，格体高度为 29.87m。

葛洲坝工程二期纵向围堰采用干地施工，先浇筑混凝土基座，上接钢板桩格型围堰，圆筒形格体直径 19.87m，高 19.5m，在混凝土面上插打钢板桩形成圆筒格体，再回填砂砾石料。

6 围堰布置

6.1 布置原则

6.1.1 围堰平面布置的原则。

6.1.2 围堰与岸坡接头设计应保证堰体与岸坡接合面具有良好的防渗性能，并防止岸坡附近的堰体产生不均匀沉陷而开裂及土石围堰防渗体产生水平劈裂。土石围堰与混凝土建筑物的连接型式，应使围堰不致产生裂缝，防止与防渗体接触带产生渗透变形，以保证围堰稳定，并使结合面具有良好的防渗性能。

6.1.3 围堰布置应考虑水力学条件及防冲要求：

a) 纵向围堰布置既要考虑沿线堰体坡脚附近水流平顺，还需兼顾上、下游横向围堰坡脚附近的流态、流速情况，避免水流紊乱对横向围堰坡脚造成危害性冲刷。例如：葛洲坝一期土石纵向围堰因围护二期纵向围堰上、下游端部弯段施工的需要，上游横向段与纵向段的相接处和下游横向段与纵向段的相接处形成凸出部位（称矾头），起到挑流作用，矾头部位坡脚流速达 $5\text{m/s} \sim 7\text{m/s}$ ，纵向段沿线及下横段坡脚处为回流区，流速 $1\text{m/s} \sim 2\text{m/s}$ ，对矾头部位进行重点防冲保护，运行实践证明此设计是成功的。

b) 过水围堰布置需考虑堰顶过水的流态、流速情况，尽量使水流平顺、均匀宣泄，避免水流集中及水流紊乱，而对堰体和两岸及下游基础造成危害性冲刷。

c) 围堰与导流泄水建筑物（包括临时的导流建筑物和永久泄水建筑物）进出口的距离应视导流泄水建筑物泄流的流态及流速情况而定，一般距进口 $10\text{m} \sim 50\text{m}$ ，距出口 $30\text{m} \sim 100\text{m}$ ，或在导流泄水建筑物进出口修筑一定长度的导墙，以防止导流泄水建筑物泄流对围堰坡脚造成危害性冲刷。

6.1.4 围堰位置应考虑基础覆盖层及基岩条件，围堰防渗轴线宜选择在覆盖层较薄和基岩条件较好的部位，以减少围堰基础防渗

处理工程量。

6.1.5 围堰布置应尽量避免两岸溪流进入基坑，同时堰体与岸坡接头需防止两岸溪沟的水流对围堰坡脚的冲刷。围堰布置若较难避开两岸溪沟对堰体的影响，可研究将溪沟改道引至围堰坡脚的下游。例如：葛洲坝工程大江下游土石围堰与右岸坡接头位于紫阳河（实测最大流量 $20\text{m}^3/\text{s}$ ）出口处，设计采用打一条长 138m 的改道隧洞（宽 4m ，高 4.5m 的圆拱直墙断面）将紫阳河出口向下游移 200m 引入长江，避免了紫阳河出口水流对围堰坡脚的冲刷，运行效果良好。

6.2 断流围堰布置

6.2.1 围堰轴线布置原则。

6.2.2 上、下游横向围堰迎水坡脚距导流泄水建筑物进出口的距离，通常，距导流泄水建筑物进口，混凝土围堰为 $10\text{m}\sim 30\text{m}$ ，土石围堰为 $30\text{m}\sim 50\text{m}$ ；距导流泄水建筑物出口，混凝土围堰为 $30\text{m}\sim 50\text{m}$ ，土石围堰为 $50\text{m}\sim 100\text{m}$ 。以防止导流泄水建筑物泄流对围堰坡脚造成危害性冲刷。

6.2.3 上、下游横向围堰通常布置为直线，若为围护永久建筑物施工需要，围堰可布置为折线，例如：葛洲坝工程二期上、下游土石横向围堰为围护大江船闸及导航墙施工，围堰布置为折线。对于横向混凝土围堰及浆砌块石围堰，为减少工程量，视地形、地质条件也可布置呈拱形或曲线形。

6.2.4 上、下游横向过水围堰轴线通常与河道水流向垂直布置，使堰顶泄流均匀、平顺，避免水流集中及紊乱水流对堰体和两岸及下游基础造成危害性冲刷。

6.3 分期围堰布置

6.3.1 分期围堰布置，主要是合理拟定纵向围堰的位置。通常，在大江大河上修建纵向围堰，水深、流急，其施工难度较大。因此，纵向围堰位置大多选在坝址河床漫滩基岩较高处，以避开河

道主流区。纵向围堰位置还应根据枢纽布置要求，考虑导流流量和导流期间的水力学条件及对通航的影响，围堰及河床的防冲保护措施等因素，综合分析比较，以确定最优布置方案。通常，对在岩基和覆盖层厚度小于 3m 的河床，一期围堰束窄河床程度可控制在 40%~60%，例如：新安江、西津水电站一期围堰束窄河床程度为 60%，青铜峡水电站一期围堰束窄河床程度达 70%。对河床较宽，且纵向围堰建在覆盖层基础上，一期围堰束窄河床程度取用 30%~40%，例如：大化水电站一期围堰束窄河床程度为 40%，罗马尼亚与南斯拉夫在多瑙河上合建的铁门水电站一期围堰束窄程度为 35%。但在大江大河上修建纵向围堰影响因素较多，一期围堰束窄河床程度宜采用 30%左右，例如：长江葛洲坝工程和三峡工程因受地形、地质条件和施工通航等因素的制约，一期围堰束窄河床程度分别为 25%和 30%。三峡工程，一期围堰束窄河床的范围必须考虑一期工程施工期的通航要求，其围护的建筑物为混凝土纵向围堰和导流明渠，但为满足二期施工通航要求，除导流明渠在流量 20000m³/s 以下通航外，另在左岸建一座全年通航的临时船闸。

6.3.2 横向围堰与纵向围堰的布置主要考虑尽量缩短纵向围堰的长度，横向围堰与纵向围堰的交角通常为 120°~90°。

6.3.3 混凝土纵向围堰与横向围堰相接，通常在混凝土围堰上设混凝土刺墙插入土石围堰防渗体内以使防渗体封闭。土石纵向围堰与土石横向围堰相接，其接头处的防渗体必须封闭，满足防渗要求。两期共用的纵向围堰需考虑两侧的上、下游段与横向围堰防渗体的接头型式，既要求与一期上、下游横向围堰防渗体形成封闭接头，同时预留的与二期上、下游横向围堰防渗体接头，还需考虑在一期导流期间的防冲保护措施。

6.3.4 纵向围堰的长度一般伸出上、下游横向围堰坡脚 10m~30m，也可在与纵向围堰相接的堰体坡脚设置块石防冲体，防止泄流对围堰坡脚造成的危害性冲刷。

6.3.5 纵向围堰尽量是两期共同，但两期共用的纵向围堰大多采

用混凝土围堰或钢板桩格型围堰，在大江大河中修建施工难度较大，通常先修一期围堰，围护形成基坑再修筑二期纵向围堰。一期纵向围堰布置主要满足围护一期工程永久建筑物的施工和一期导流水力学条件的要求，通常布置为平行河道的直线。为围护二期纵向围堰上、下游端部弯段施工，在上、下游横向段与纵向段相接处需布置呈凸出的形状，应对其堰体坡脚重点防冲保护。二期纵向围堰分为三段：中间为坝体段，属永久建筑物，位于坝体上游的称上纵段，位于坝体下游的称下纵段。二期纵向围堰平面布置中间段为直线，上、下纵段常呈弯段，以满足永久建筑物泄流条件要求。对采用三期导流的混凝土纵向围堰，二、三期共用。例如：长江三峡工程，福建闽江水口工程均采用三期导流方式，其纵向围堰为二、三期共用的混凝土纵向围堰。

6.3.6 纵向围堰背水坡脚距永久建筑物基础开挖边坡开口线不宜小于 **10m**，若布置有困难，可在背水坡脚处设置临时挡墙。对永久建筑物基础开挖较深时，应对围堰基础岩层中的软弱层面稳定进行核算。

7 围堰断面设计

7.1 断面设计要求

7.1.1 不过水围堰堰顶高程按设计洪水的静水位加波浪高度，再加安全超高，围堰的波浪高度包括风浪沿围堰边坡的爬高和风浪壅高，计算公式可参照《水工设计手册》第四卷第十八章土坝中的有关公式。表 5.1.1 不过水围堰堰顶安全超高下限值引自 SDJ338 表 2.2.5。其他类型围堰如钢板桩格型围堰、框架填石围堰、竹笼围堰、草土围堰等安全超高值可按土石围堰值取用。

7.1.2 过水围堰堰顶高程按设计洪水的静水位加波浪高度，不计安全超高值。

7.1.3 围堰顶宽主要考虑施工和防汛抢险要求。

a) 土石围堰高度 20m~50m，堰顶宽度 7m~10m。可根据围堰实际情况确定，通常，对高围堰堰顶宽度取用大值，低围堰堰顶宽度取用小值。

b) 混凝土围堰、浆砌块石围堰堰顶宽度 3m~6m，若有交通要求，其堰顶宽度不宜小于 5m。

c) 钢板桩格型围堰平均宽度为 $0.85D$ （圆筒格体直径），框架填石围堰宽度为高度的 1.0 倍~1.3 倍。竹笼围堰高度 10m~15m，顶宽 5m~10m。

7.1.4 围堰设计初拟断面参照国内外水电工程已建的各种型式围堰断面尺寸，建议如下主要参数，在围堰设计时需结合本工程围堰基础地质和围堰填料物理力学指标，通过结构计算最后确定围堰断面。

a) 土石围堰：堆石体边坡 1:1.2~1:1.5，砂砾石及石渣边坡 1:2~1:1.8；堰体高度 8m~10m，增设一道宽 1.5m~2m 的马道；防渗土料心墙顶宽 1m~2m；边坡 1:0.2~1:0.5；防渗体与堰壳之间反滤层最小厚度 0.5m~1.0m。

b) 混凝土围堰：迎水坡 $1:0 \sim 1:0.15$ ；背水坡 $1:0.6 \sim 1:0.75$ 。

c) 浆砌块石围堰：迎水坡 $1:0 \sim 1:0.2$ ；背水坡 $1:0.65 \sim 1:0.8$ 。

d) 钢板桩格型围堰：圆筒形格体直径 (D) 为高度 (H) 的 $0.9 \sim 1.4$ 倍；相邻两圆筒中心距 $2L = (1.05 \sim 1.15) D$ ；圆筒与连弧交角 $30^\circ \sim 90^\circ$ 。

e) 框架填石围堰：围堰宽度 $B = (1 \sim 1.3) H$ (围堰高度)。

f) 竹笼围堰：围堰宽度 $B = (1.1 \sim 1.5) H$ (围堰高度)。迎水坡 $1:0.1$ ，背水坡 $1:0.6$ 。

g) 草土围堰：围堰宽度 $B = (2 \sim 2.5) H$ (围堰高度)。边坡 $1:0.2 \sim 1:0.5$ 。

7.2 水 力 计 算

7.2.1 围堰束窄河床后，改变了该段河道的天然水流状态，在围堰上游形成壅水区，被束窄河段水面跌落，纵向和横向均产生收缩，过水断面减小，流速加大，水流通过收缩断面后，水位又逐步降落至下游水位。束窄河床的壅水高度（实际为最大收缩断面与上游水位之差）计算可利用能量方程推导出的近似公式计算；通过束窄河床的水力计算，求出壅水高度和束窄段最大收缩断面的平均流速，以便确定上游横向围堰及纵向围堰沿线的水面线，横向围堰及纵向围堰堰顶高程和研究围堰及河床的防冲保护方案。对Ⅲ级、Ⅳ级建筑物围堰束窄河床的水位及流速分布和壅水高度还有赖于水工模型试验验证。

7.2.2 过水围堰溢流水力计算可参照《水工设计手册》第六卷第二十八章消能与防冲中的有关公式，在设计洪水标准范围内通过选择最不利情况进行水力计算，求出堰体及下游河床最大流速，研究改善水力条件及防冲保护方案，对按Ⅳ级以上建筑物设计的围堰宜通过水工模型试验验证。

7.2.3 土石围堰渗流计算确定堰体浸润线位置及堰体内渗流压力

分布，以验算围堰边坡稳定，拟定堰基防渗铺盖及堰体斜墙或基础防渗墙和堰体心墙的厚度及长度；确定渗流坡降（引起堰体及堰基管涌和流土的渗透坡降），以便核算堰体及堰基的渗透稳定和防渗体的抗渗强度；确定墙体及堰基的渗流量，作为基坑排水设计的依据。土石围堰渗流计算可参照《水工设计手册》第三卷第十五章渗流计算中有关公式。对于高度大于 50m，且按Ⅲ级建筑物设计的土石围堰渗流计算可采用有限元法，并用电拟法（电流水流动力比拟法）实验对公式计算成果进行校核修正。

7.2.4 混凝土围堰基础为岩基时，需计算沿基础软弱层面的渗透稳定的渗流量，以便研究采取防渗处理措施；若堰基为有压渗流，要确定沿堰体基岩面的水头分布或扬压力线，以便核算堰体的稳定性。

对于建在覆盖层上的混凝土围堰，除计算渗流量外，需验算堰基是否会发生渗透变形（管涌、流土等）而引起覆盖层基础渗透破坏。通常，计算堰基下游渗流出口的渗流坡降，若计算值小于覆盖层的容许坡降，则需采取防渗处理，并在堰基下游渗流出口处设置反滤层盖重以防止堰基渗透变形。

7.2.5 通常，围堰渗流计算按迎水侧设计水位、背水侧无水和迎水侧设计水位、背水侧最高水位（即基坑抽水前水位）两种水位组合条件计算即可。但对按Ⅲ级建筑物设计的重要围堰，尚需核算迎水侧最高洪水位（即校核水位或保坝水位）、背水侧无水和迎水侧最高洪水位、背水侧最高水位（即汛期基坑未抽水水位）两种水位组合条件。

7.2.6 围堰防渗体及堰基的安全渗透比降，一般采用：黏土为 5~10，壤土为 4~6，轻壤土为 3~4；防渗体与堰基础接触面的安全渗透比降，一般采用：黏土 2.5~5.0，壤土 2~3，轻壤土 1.5~2.0。围堰防渗体及堰基的安全渗透比降可结合本工程的具体情况，参照上述参数初步拟定，再根据试验成果经论证后确定。

7.3 稳定计算

7.3.1 围堰稳定计算安全系数中土石围堰和混凝土围堰的抗滑稳定系数取用 **SDJ338**。其他型式围堰稳定计算安全系数，钢板桩格型围堰稳定计算内容及安全系数为参照国外水电工程钢板桩格型围堰设计计算公式及安全系数；浆砌块石围堰、框架填石围堰、竹笼围堰、草土围堰稳定计算内容及安全系数系参照国内已建的围堰工程施工实践经验并与土石围堰及混凝土围堰采用值类比而拟定。

7.3.2 围堰设计荷载一般包括围堰自重、设计洪水位的静水压力、浮托力、渗透压力、土压力、泥沙压力、风浪压力等，应根据围堰型式及其运用条件确定。对属Ⅲ级建筑物的围堰，尚需核算校核洪水位（或保坝洪水位）的静水压力和施工荷载作用下围堰的稳定。作用在围堰上的荷载计算方法可参照《水工设计手册》第三卷第十七章主要设计标准和荷载计算中的计算公式。

7.3.3 土石围堰边坡稳定计算公式和浆砌块石围堰稳定计算参照《水工设计手册》第四卷土石坝中的有关公式。

框架填石围堰、竹笼围堰稳定计算可参照混凝土围堰按纯摩擦公式计算堰体沿建基面的抗滑稳定和沿背水侧底部倾覆稳定。

钢板桩格型围堰稳定计算内容及计算方法可采用《导流与截流》^①一书中所列公式。

7.3.4 混凝土围堰稳定计算内容及计算方法可参照《水工设计手册》第五卷混凝土坝中有关公式。

7.3.5 过水围堰应根据围堰型式确定其稳定计算公式，对不同运行水位和工况（充水、过流、退水）进行计算，围堰断面按最不利的运用条件设计。建在软基和深覆盖层上的过水围堰，应校核沿基础中最不利层面的抗滑稳定。

^① 《导流与截流》，书号为 ISBN7—120—02119—2/TV.814，水利电力出版社，1995 年出版。

7.3.6 过水围堰的结构设计除进行堰体稳定和强度计算外，必须对溢流面及其坡脚的消能防冲结构进行专项设计。对混凝土过水围堰、浆砌块石过水围堰，主要是拟定溢流面的型式及下游坡脚的防冲结构型式。若围堰建在基岩上，且下游河床地质条件较好，宜采用挑流消能；若围堰建在覆盖层上，宜采用面流消能，在围堰下游坡脚设陡坎及护底，保护堰体坡脚，防止围堰过水时造成下游坡脚冲刷破坏。对土石过水围堰，需研究围堰进水端及堰顶溢流结构型式、下游坡护面结构、下游坡脚消能防冲结构型式、围堰两岸基础的防冲措施。堰顶溢流结构型式通常采用平顶形、曲线形或圆弧形。堰体坡脚的防冲结构型式通常采用：

1) 坡脚护底顺坡式，保护堰体坡脚及下游河床覆盖层，护底长度视覆盖层厚度而定。对流速小于 5m/s 可采用粒径 $0.5\text{m}\sim 0.8\text{m}$ 的大块石或铅丝笼块石保护；流速 $5\text{m/s}\sim 7\text{m/s}$ ，可采用 $3\text{t}\sim 5\text{t}$ 重特大块石或钢筋笼块石保护；流速大于 7m/s ，采用 $3\text{t}\sim 5\text{t}$ 重特大块石串混凝土块柔性排保护。

2) 坡脚设挡墙的陡坡式，挡墙一般采用混凝土结构，宜建在基岩上。

3) 坡面挑流平台式，借助平台挑流形成面流消能，例如：富春江水电站二期上游过水围堰在堰体溢流坡面设挑流平台。

7.4 应力计算

7.4.1 混凝土重力式围堰应力计算通常按材料力学公式计算。对于按Ⅲ级建筑物设计的围堰宜用平面问题的有限单元法求解堰体和基础的应力及位移，其计算公式参见《水工设计手册》第五卷第二十一章重力坝中坝体应力计算公式。

7.4.2 围堰系临时建筑物，混凝土重力式围堰堰基截面允许拉应力 $0.1\text{MPa}\sim 0.15\text{MPa}$ ，堰体截面允许拉应力 0.2MPa 。葛洲坝二期纵向围堰系Ⅲ级建筑物，围堰采用混凝土基座上插钢板桩格型围堰，最大高度 38.5m ，混凝土基座高 19m ，堰基截面计算拉应力为 0.12MPa ；清江隔河岩水电站上游碾压混凝土过水围堰，最大

高度 42m，堰基截面设计计算拉应力达 0.15MPa，围堰运行 4 年，未发现异常情况。

7.4.3 混凝土拱围堰应力计算通常采用拱冠梁法，对按Ⅲ级建筑物设计的围堰宜用有限元法进行拱围堰应力分析计算。

7.4.4 土石围堰建在压缩性较大地基上，且高度大于 20m，应进行堰体沉降计算。对按Ⅲ级建筑物设计的围堰，尚需分析计算堰体沉降量及沉降过程，其计算公式可参照《水工设计手册》第三卷第十四章沉陷计算中的有关公式。

7.4.5 围堰高度大于 50m，且按Ⅲ级建筑物设计的土石围堰，需用有限单元法计算堰体和堰基的应力应变，其计算公式可参照水深大于 30m 深水抛土施工的堰体或建在粉土砂质（即淤砂土）基础的土石围堰，应核算塑流稳定，其分析计算方法可参照《土坝设计》（水利电力出版社）一书的有关公式计算。

8 围堰基础处理设计

8.1 一般规定

8.1.1 围堰基础处理主要满足强度和防渗要求。对土石围堰可采用放缓堰坡以适应地基要求，但渗流控制（包括渗透稳定和控制渗流量）是围堰基础处理设计的关键。建在岩石基础上的围堰，主要是控制沿断层及裂隙节理等构造带的渗漏与冲蚀，并需降低两岸堰肩的浸润线，由于裂隙漏水，增高浸润线，影响两岸堰肩的稳定性。建在砂砾覆盖层基础上的围堰，则需控制渗流量及基础的渗透变形，并降低堰体及堰肩的浸润线，防止堰基渗透破坏，保证堰体稳定。

8.1.2 围堰基础砂砾石覆盖层的防渗处理采用垂直防渗可较完全地截断堰基渗流，技术上可靠，对属Ⅲ级～Ⅳ级建筑物的围堰宜优先选用。

对于砂砾石覆盖层较深的围堰基础，垂直防渗体应嵌入相对不透水岩层，若采用悬挂式的防渗体，虽可增加渗径长度，但对减少渗流量和降低下游出逸坡降，效果不显著，一般上部用防渗墙，下部接防渗帷幕嵌入相对不透水岩层。水平防渗铺盖施工简便，但必须结合下游排水减压设施，才能有效地解决堰基渗透问题，当堰基砂砾石渗透系数较大时，用黏土铺盖防渗可靠性较差。因此，对围堰基础砂砾石覆盖层的防渗处理方案应视砂砾石层的深度、级配情况、围堰型式、施工及后期拆除条件等综合分析选定。

8.1.3 堰基覆盖层防渗体若采用黏土防渗槽，其墙底应挖除全风化带至弱风化岩石，嵌入基岩接触面的渗径长度，按接触面的安全渗透比降确定；若采用混凝土防渗墙或柔性材料防渗墙、钢板桩防渗墙，墙底嵌入弱风化岩石 0.5m～1.0m；若采用灌浆帷幕，其幕底嵌入弱风化岩石 1.0m～2.0m。若围堰基础全强风化带透水

性很小，经过分析论证，防渗体可嵌入强风化带 $1.0\text{m}\sim 2.0\text{m}$ 。堰基防渗体与岸坡的接头必须使防渗封闭，通常使防渗体嵌入岸坡相对不透水岩层，嵌入深度应按防渗体与岸坡接触面的安全渗透比降确定。堰基防渗体与建筑物的接头防渗应封闭，按接触面的安全渗透比降拟定防渗体嵌入深度。

8.1.4 堰基覆盖层下的基岩，岩溶发育或漏水量大的断层破碎带，通常采用灌浆处理。

8.2 防 渗 处 理

8.2.1 铺盖可减少渗流量和渗透水压力，常与下游排水减压设施联合作用，以有效地控制堰基渗流，适用于土石围堰基础覆盖层渗透系数小于 60m/d ，且无大的集中渗漏带，铺盖的长度、厚度及密度可根据围堰的高度，堰基覆盖层的厚度及防渗土料的特性综合分析确定。例如：湖北省丹江口水利枢纽二期上游土石围堰最大高度 44m ，堰基砂卵石覆盖层厚度 14m ，表层为中细砂，渗透系数 $25\text{m/d}\sim 55\text{m/d}$ ，下层为砂卵石，渗透系数达 $103\text{m/d}\sim 294\text{m/d}$ ，采用黏土心墙内铺盖（在堰体底部）防渗，铺盖在低土石围堰保护下干地施工，铺盖长度按 4 倍水头，厚度采用靠心墙处为 4m ，首端 2m ，围堰运行防渗效果良好。

铺盖防渗不宜用于土石纵向围堰和土石过水围堰，对上游土石过水围堰，若围堰顶过水时，上游坡脚处的流速小于 1m/s ，且采取措施能有效地防止铺盖的土体受水流的冲刷，也可采用铺盖防渗。

8.2.2 截水槽适用于堰基砂砾石覆盖层厚度 15m 以内的土石围堰。采用水下开挖至基岩或相对不透水层，回填防渗土料或其他防渗材料。截水槽底宽根据挡水头及回填土料与基岩接触面的渗透坡降和水下开挖施工条件确定。一般截水槽底宽 $3\text{m}\sim 5\text{m}$ ，边坡 $1:1\sim 1:1.5$ 。例如：长江葛洲坝工程二江上游土石围堰高度 14m ，堰基砂卵石覆盖层厚 $7\text{m}\sim 19\text{m}$ ，渗透系数 $200\text{m/d}\sim 300\text{m/d}$ ，采用 4m^3 索铲开挖截水槽，开挖边坡 $1:1$ ，底宽 6m ，挖至最深处，遇

流沙层，下放钢板沉井（宽 3m，长 15m）至基岩回填黏土截水墙，围堰运行防渗效果良好。

8.2.3 在围堰基础覆盖层及水下部位的堰体中采用泥浆固壁冲击钻机造孔成槽浇筑混凝土或柔性材料，形成连续防渗墙适用于堰基砂砾石覆盖层厚度大于 20m 的围堰。例如：福建省闽江水口水电站二期上游土石围堰高度 44.5m，堰基砂卵石厚度 7m~25m，采用柔性混凝土防渗墙上接堰体土工膜心墙。每 m³ 柔性混凝土水泥用量 170kg、砂 748kg、小石 888kg、黏土 85kg、膨润土 40kg、水 275kg 及外加剂。水胶比 0.93，砂率 45.7%，坍落度 20.2cm，扩散度 38.0cm。抗压强度 R_{28} 为 2.9MPa，抗拉强度 R_{28} 为 0.291MPa。弹性模量 823.2MPa，抗渗指标 S6，渗透系数 6.01×10^{-9} cm/s，围堰防渗效果良好。

8.2.4 钢板桩防渗墙是采用振动沉拔桩机将钢板桩打入堰基覆盖层至基岩，靠钢板桩连成封闭的防渗墙，钢板桩防渗墙适用于堰基为砂土冲积层或砂砾石层，卵石含量小于 40%，无大漂石的覆盖层，且厚度小于 15m，以利钢板桩插打施工。例如：安徽省史河梅山水库上游土石围堰高度 16.5m，堰基砂卵覆盖层厚 10m~12m，砂卵石中卵石含量较少，采用钢板桩防渗墙上按堰体的木板心墙围堰，运行防渗效果良好。

8.2.5 围堰基础砂砾石层采用灌浆防渗处理时，必须研究砂砾石层的性质与级配，判断其可灌性，并通过灌浆试验最后确定。例如：浙江省富春江水电站三期下游土石围堰高度 12m，堰基砂砾石覆盖层厚 7m~15m，采用水泥灌浆（二排孔）处理；黄河龙羊峡水电站上游土石围堰高度 53m，堰基砂卵石覆盖层厚 13m，采用水泥灌浆（三排孔）处理；葛洲坝一期土石纵向围堰下游横向段高度 21m，堰基砂砾石覆盖层厚 8m~16m，采用水泥黏土灌浆三排孔处理，围堰运行实践表明，灌浆防渗可满足要求。

高压喷射灌浆适用于砂壤土、中细砂等细颗粒地基和砂砾石覆盖层堰基。根据一些工程实践经验与试验资料，堰基砂砾石层采用高压喷射灌浆宜控制砂砾石厚度小于 40m，且卵石最大粒径

小于 40cm。例如：广东省珠江飞来峡工程在厚度 25m 的砂砾石覆盖层和河南省黄河小浪底工程在厚度 25m 的夹黏性土砾卵漂石覆盖层中进行高压喷射灌浆试验，通过围井开挖检查，取样做压水及注水试验，结果表明，防渗效果符合设计要求。

8.3 其 他 处 理

8.3.1 围堰基础覆盖层厚度较浅，且具备水下开挖条件，对土石围堰可将其防渗体范围覆盖层开挖至基岩；对混凝土围堰尚需具备水下清基、立模浇筑混凝土等水下施工条件，再采用水下开挖将围堰基础覆盖层全部挖除。

围堰与岸坡接头部位的堰体的基础以及位于河床基岩较高处的堰体基础，具备水上开挖条件，土石围堰防渗体基础宜开挖至基础相对不透水层，混凝土围堰基础宜开挖至基岩可利用岩体。

8.3.2 堰体基础是砂基，软土地基为消除液化并提高砂基密度，常选用振冲加固和强夯加固。振冲法加固在我国土石坝坝基的应用，例如：1978 年官厅水库为抗御 7 度地震，预防下游坝基液化，用振冲法加固，砂基相对密度达 0.8；河北省石家庄石津灌区总干渠首段田庄电站，地基下层为均匀细砂层，采用振冲加固。

强夯法加固可消除粉细砂液化并提高密度，珠海及深圳国际机场用强夯法处理地基，相对密度由不足 0.6 提高至 0.8 以上。

9 围堰施工设计

9.0.1 围堰虽属临时性的挡水建筑物，但对所围护的永久建筑物极为重要，必须按设计要求进行修筑，在保证围堰施工质量前提下，加快修筑速度，为永久建筑物提前施工创造条件，以满足工程施工总进度的要求。

9.0.2 围堰施工组织设计应依据围堰水工设计所确定的围堰型式、平面布置、断面结构、基础处理方案和围堰施工技术要求以及所围护的永久建筑物施工总进度等条件，研究围堰施工程序、施工方法、施工布置及施工进度，拟定所需施工机械设备及劳动力数量和设计概算。在研究围堰施工方案时，应尽量采用先进的施工技术，提高围堰施工水平，在保证施工质量前提下，加快工程建设。

9.0.3 土石围堰施工所需的料场包括防渗体、反滤过渡区、堰壳、护坡、截流戗堤堆石体、排水棱体等和主体建筑物的开挖，均需通过勘察查明储量，并取样进行试验，提出料场勘察试验报告，作为围堰料场开采、运输规划和围堰施工组织设计的依据。

9.0.4 土石围堰心墙与斜墙防渗土料填筑施工过程中，应做好防雨和保护措施。心墙及斜墙防渗体填筑稍向上游倾斜，以利排泄雨水。根据雨情预报，雨前应用碾压机械快速压实表层松土，施工机械开出防渗体填筑面，并保持填筑面平整以防雨水下渗，且避免填筑面积水，雨后对填筑面晾晒或处理，经验收合格后方可复工。对狭窄场面防雨，宜用苫布覆盖，做好防渗体填筑面保护，下雨或雨后禁止车辆通行。

9.0.5 混凝土围堰通常采用干地开挖基础覆盖层及浇筑混凝土。因此，混凝土围堰施工设计需研究围护混凝土围堰施工的土石围堰施工进度、基坑排水、混凝土围堰基础开挖和混凝土浇筑施工工期及施工网络。在汛前应将混凝土围堰浇筑至枯水位以上，以

满足度汛要求，低水位时堰体可继续上升。

9.0.6 混凝土围堰施工可采用汽车直接入仓，胶带机输送混凝土入仓和起重机吊混凝土料罐入仓等方案。例如：长江葛洲坝工程二期纵向围堰上纵段、下纵段混凝土基座均采用汽车直接入仓浇筑混凝土，闸坝段采用起重机吊混凝土料罐入仓浇筑混凝土；清江隔河岩水电站上游碾压混凝土围堰全部混凝土（常态混凝土和碾压混凝土）均采用汽车直接入仓浇筑。为保证汽车直接入仓浇筑混凝土的施工质量，设计提出四条措施（对入仓汽车轮子要派专人在仓面外冲洗干净，不允许将泥块泄入仓面；浇筑层厚小于1.5m；常态混凝土初凝前，应先在混凝土面上垫钢板，汽车在钢板上通行；混凝土初凝后，强度未达到5MPa前，不允许汽车在混凝土面上行走）以控制施工质量。对混凝土围堰施工质量控制应根据围堰的重要性参照SDJ207—82《水工混凝土施工规范》有关混凝土施工质量控制与检查的条款执行。

9.0.7 混凝土围堰采用碾压混凝土施工，其施工设计应研究碾压混凝土施工布置、施工程序、施工强度和所需施工机械设备。根据已建工程的实践经验，围堰碾压混凝土采用通仓薄层（厚25cm~35cm）连续上升。平均月上升高度15m~20m，最高月上升高度可达30m。例如：湖北省清江隔河岩上游碾压混凝土围堰最大日上升高度1.2m。碾压混凝土围堰施工技术要求和施工质量控制可参照SL53—94《水工碾压混凝土施工规范》执行。

9.0.8 混凝土围堰水下清基使用挖石船、索铲、抓斗等机械可开挖覆盖层厚10m以内的堰基清渣，例如：贵州省乌江渡水电站上游混凝土过水围堰水下清渣水深5m~10m，流速1.2m/s~1.8m/s，覆盖层厚3m~8m，使用的吸砂机出渣筒直径600mm，供风量80m³/min，吸出重达157kg的块石。在机械开挖至基岩面后，潜水工下水检查并对建基岩进行表面清理。水下混凝土浇筑通常采用导管法，其施工技术要求和质量控制参照SDJ207—82《水工混凝土施工规范》特种混凝土的有关规定执行。对两岸水深小于2.5m的部位，可采用从岸边端进法浇混凝土料出水面，并以混凝

土赶水，振捣密实。

9.0.9 钢板桩格型围堰施工程序，先施工圆筒，再施工相邻圆筒之间的连弧段，圆筒施工程序为：安装样架，安装插钉钢板桩至合龙，钢板桩底部防渗处理，圆筒在填料回填到 $2H/3$ （格体高度），拆除样架，圆筒内继续回填料至设计高程。连弧段的施工程序与圆筒相同。一般，一个钢板桩格体施工时间为 $25d\sim30d$ ，其中圆筒需 $20d\sim25d$ ，连弧段施工期 $5d\sim7d$ 。在干地施工的钢板格型围堰，其施工程序与水中施工格体的程序大致相同，但仅插放钢板桩合龙，不需要打桩，所以工期可缩短，例如：长江葛洲坝工程二期纵向钢板桩格型围堰施工，一个钢板桩格体施工时间为 $10d\sim15d$ ，其中圆筒施工期 $8d\sim12d$ ，连弧段施工期 $2d\sim3d$ 。

草土围堰施工按其施工条件可分为水下堆筑和干地堆筑两种。按其所用的草料型式分为散草法、捆草法和埽捆法三种。

草土用量，水深 $5m$ 以下每 m^3 草土体用草 $65kg\sim75kg$ ，用土 $0.5m^3\sim0.6m^3$ ；干地堆筑草土体每 m^3 用草 $30kg\sim65kg$ ，用土 $0.6m^3\sim0.7m^3$ 。

10 围堰观测与拆除设计

10.0.1 围堰运行期间，通常进行的观测项目：

a) 围堰变位（垂直位移和水平位移）观测，在堰体顶部及坡面设置固定标点，观测其铅直方向及垂直围堰轴线的水平方向的位置变化。垂直位移观测可与水平位移观测配合进行。观测断面应选择在最大堰高、合龙地段、堰基地形、地质变化较大处及堰体施工质量存在问题的地段，一般在堰顶、下游堰肩及堰趾各设一排位移标点，间距 100m，观测横断面不得小于 3 个。

b) 上、下游水位观测，在上游围堰的上游坡面和下游围堰的下游坡面各设一组水尺，观测其水位，在基坑集水坑附近设置水尺观测基坑水位。

c) 渗水量观测，通常将堰体背水坡脚排水沟的渗水集中引入基坑内的集水坑，可在各排水沟分段设几个量水堰进行观测。也可用基坑排水站的排水量推算围堰渗水量。对土石围堰还需布置 2 个测压管横断面，以观测堰体浸润线的变化。

d) 堰体表面观测通过监测人员的眼看、耳听、手摸等方法察看堰体裂缝、堰坡局部塌陷和背水坡脚处翻沙冒水等现象。

e) 过水围堰，堰顶过水时的表面流速及流态观测，通常在水流表面投放浮标，用交汇法测定浮标行迹，定出流向，并可测出表面流速；采用目测或摄影方法观测水流表层现象如回流、漩涡、折冲水流、水花翻涌等的位置及范围。一般沿围堰轴线布置 3 个（河床中、左岸边、右岸边）断面进行观测。

10.0.2 对围堰高度大于 50m，且属 III 级建筑物的重要围堰和采用新型式、新结构、新材料、新工艺的围堰，应进行原型观测设计。例如：长江葛洲坝大江上游土石围堰担负挡水发电的重任，起到了土石坝的作用，对原型观测进行了专项设计。葛洲坝二期纵向钢板桩格型围堰在我国水电工程中尚属首次使用，也对原型

观测进行了专项设计。湖北省清江隔河岩水电站上游过水围堰采用碾压混凝土围堰，也进行了原型观测设计。

a) 土石围堰观测设计根据围堰型式及地形、地质条件和运行特点增加专门性观测项目，选择 2 个~4 个观测断面，埋设沉降计、位移计、倾斜仪、引伸仪、土压计、孔隙压力计以观测堰体内部变形和应力（堰体内部位移及土体应力应变，堰体总应力及孔隙压力，防渗体的应力应变，堰基渗压观测等）。

b) 混凝土围堰观测设计根据围堰地形、地质条件和堰体结构特点增加专门性观测项目，选择 2 个~3 个典型断面作为重点观测部位，埋设应变计、测缝计、测压管、扬压力观测孔、测斜仪等观测堰体内部应力应变和基础扬压力等。

10.0.3 根据永久建筑物运行要求，确定围堰拆除范围、拆除宽度及高程。分期导流的一期围堰拆除范围及拆除断面还需满足二期导流及截流泄水要求，以达到安全导流和胜利截流之目的。

10.0.4 围堰拆除施工需根据拆除范围及拆除工程量，研究确定围堰拆除程序、拆除方法、施工进度和所需要的施工机械设备。围堰拆除一般安排在汛后开始，随着枯水期水位逐月下降，堰顶高程可随挡水位下降。通常，围堰拆除程序为先拆堰顶及背水侧，分层下降，可利用堰体经济断面挡水，以减少水下拆除量。各月拆除高程及拆除部位应视围堰型式和各月挡水位拟定。围堰拆除施工工期紧，任务重，应尽量加快拆除速度以满足工程施工总进度的要求。
