

挡水建筑物设计中坝型比选及坝体设计要点探索

邓国林, 汪祺, 李明灿

昭通市水利水电勘测设计研究院, 云南 昭通 657000

DOI:10.61369/WCEST.2026010019

摘 要 : 在水利工程建筑物当中, 其核心是挡水建筑物, 确保其安全性和经济性符号要求至关重要。本文首先研究坝型比选的主要考量因素, 然后重点分析主要坝型设计要点, 希望可以为类似工程的决策与设计提供参考和建议。

关 键 词 : 挡水建筑物; 坝型比选; 设计要点

Comparison and Selection of Dam types and Key Points of Dam Body Design in Water Retaining Structure Design

Deng Guolin , Wang Qi, Li Mingcan

Zhaotong water resources and Hydropower Survey, design and Research Institute, Zhaotong, Yunnan 657000

Abstract : among the hydraulic engineering buildings, the core is the water retaining structure, so it is very important to ensure its safety and economic symbol requirements. This paper first studies the main considerations of dam type selection, and then focuses on the key points of dam type design, hoping to provide reference and suggestions for the decision-making and design of similar projects.

Keywords : water retaining structure; dam type comparison and selection; key points of design

大坝作为关键的挡水建筑物, 承担着防洪、灌溉、供水、发电、调蓄等重要使命。一项水利工程的成功, 很大程度上取决于坝型选择的合理性与坝体设计的可靠性。在项目前期, 面对多样的坝型, 工程师必须进行深入细致的比选工作, 以确定技术可行、经济合理、安全可靠的最优方案。选定坝型后, 精细化的坝体设计则是保障工程长效运行的根本。本文旨在系统梳理坝型比选的主要考量因素, 并归纳不同类型坝体的核心设计原则与要点。

一、坝型比选的主要考量因素

(一) 地形与地质条件

地形与地质是决定坝型最为根本的自然条件。地形决定了坝体的基本形态与工程量。开阔平缓的河谷地带, 便于大规模展开施工, 为重力坝或土石坝提供了理想场地。重力坝可沿坝轴线延伸, 土石坝则能充分利用河谷宽度布置大体积坝体。相反, 在两岸高耸、河谷狭窄且对称的峡口地形中, 拱坝的优势极为明显。这种地形如同天然的拱座, 能够高效承担拱结构传递来的巨大推力, 从而实现薄壁高坝的经济设计。地质条件的重要性更甚于地形。坚固完整、承载力高的基岩是建造混凝土坝, 包括重力坝与拱坝的先决条件^[1]。它们需要地基提供稳定且变形微小的支撑。若坝址覆盖层深厚, 或基岩中存在较多软弱夹层、断层破碎带, 那么对地基变形适应性更强的土石坝便成为更稳妥的选择。

(二) 水文与气象条件

水文特性直接关联工程的安全性及枢纽布置。坝址的洪水流量大小与过程线特征, 决定了泄洪建筑物的规模与型式。混凝土坝, 尤其是重力坝, 坝身体积庞大, 结构坚固, 非常适合在坝身

布置溢流表孔、泄水中孔或底孔, 使泄洪与坝体结合紧密, 枢纽布置相对集中紧凑。而土石坝坝体材料怕水冲刷, 一般不允许坝身过流, 因此必须另外在岸边寻找合适位置开挖引渠, 建造独立的溢洪道, 这对地形地质条件提出了额外要求, 有时会使布置变得复杂困难。气象条件同样深刻影响坝型选择与施工。多雨地区会给出露天作业为主的土石坝填筑施工带来很大干扰, 影响土料含水量控制和工期。严寒地区则对混凝土坝的耐久性构成挑战, 必须考虑抗冻等级设计、温控防裂以及冬季施工保温等措施, 这都会增加工程造价与施工难度。

(三) 建筑材料来源

建筑材料的经济可获得性是影响坝型选择的关键经济与技术因素。土石坝的设计核心就是“就地取材”。如果坝址附近足够距离内, 储藏数量充足、质量满足要求的土料、砂砾料或石料, 那么采用土石坝往往能极大节省建筑材料运输成本, 显现出巨大的经济优势^[2]。相反, 如果当地缺乏合适的填筑材料, 需要远距离运输, 其成本可能急剧上升。在这种情况下, 虽然混凝土坝需要消耗大量水泥、钢材和骨料, 但若这些材料可通过水路或陆路便捷运抵工地, 且综合成本可控, 那么混凝土坝型就可能成为更

作者简介: 邓国林 (1987-), 男, 汉族, 云南昭通人, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程结构设计及工程经济合理性研究。

具竞争力的选项。

（四）施工条件与技术

施工的可行性与便利性是工程从蓝图变为现实的重要环节。不同的坝型对施工场地、技术与设备有着迥异的要求。土石坝施工需要大型的土石方开挖、运输、碾压机械，作业面开阔，料场、运输道路和填筑面都需要占用大量土地。混凝土坝，特别是拱坝，施工则需要精密的模板、混凝土搅拌运输系统和温控冷却设备，工艺要求更为复杂。施工导流方案的难易程度也直接影响决策。在宽阔河谷中，土石坝可采用分期围堰导流，而在狭窄河谷中，混凝土坝的高围堰和隧洞导流可能更具优势。此外，当地的施工技术水平、设备持有能力和建设经验也必须纳入考量。选择一种当地施工队伍熟悉且有能力完成的坝型，对保障工程质量和进度至关重要。

（五）工程功能与运行要求

水库的功能需求是多样化的。例如，以防洪为主的水库可能要求汛前快速泄空库容，这会导致水位频繁且迅速地升降。混凝土坝结构坚固，能够较好地适应这种水位的反复变化。而土石坝的上游坝坡在库水位骤降时，坝体内孔隙水压力消散若跟不上水位下降速度，则会危及边坡稳定，设计时需要特别加固。又如，水库如需承担航运任务，可能需要设置船闸；如需保护鱼类洄游，则需考虑鱼道建设。这些附属建筑物与不同坝型的结合难度与协调性各不相同。生态流量下泄的持续性要求，也需在泄水建筑物设计中予以保证。因此，坝型选择必须满足工程的核心功能与运行调度要求。

（六）经济性与环境影响

经济比较绝非仅仅对比坝体本身的混凝土方量或土石方量，而是要进行全面的全生命周期费用分析。这包括主体建筑工程、导流工程、地基处理工程、附属建筑物、征地移民安置费用以及后期的运行维护成本等。有时某种坝型本体造价稍高，但因其工期短、导流易、附属设施简单，总造价反而更低。与此同时，现代工程决策必须高度重视环境影响评价。大坝建设会改变河流生态、淹没土地、影响景观并可能涉及移民。不同坝型由于其体积、淹没范围、施工方式及建材来源的不同，对环境的影响程度与方式也存在差异。例如，当地材料坝可能因大量取土采石而破坏局部生态环境。

二、主要坝型设计要点

（一）重力坝设计要点

断面设计是重力坝坝形确立的基础。理论上的基本断面为三角形，但实际工程中需进行优化调整。上游坝面常设计为垂直或略微向上游倾斜，这有助于利用部分水重增加抗滑稳定性。下游坝面则需保持一定坡度，形成一个坚实的梯形断面。设计过程中，必须通过精确的抗滑稳定计算和坝体应力分析来确定最终尺寸。抗滑稳定计算旨在确保坝体在水压力等水平推力作用下不会沿地基滑动。应力计算则需验证坝体内部，特别是下游坝趾和上游坝踵处的压应力与拉应力均在材料允许范围内。最终目标是寻

找到安全性与经济性最佳平衡的断面轮廓。

稳定性分析是重力坝设计的核心环节。其重点在于系统验算坝体沿建基面或地基内潜在深层软弱结构面的抗滑稳定性。这需要全面考虑所有可能作用的荷载组合。主要荷载包括坝体与附属设备的自重，这是维持稳定的根本。其次是上游库水产生的巨大静水压力，以及由于渗流在坝基底面产生的向上扬压力，扬压力会抵消部分坝体有效重量，对稳定不利。此外，还需计入可能存在的泥沙淤积压力，以及根据坝址地震烈度确定的地震作用力。设计需保证在最不利的荷载组合下，坝体仍具有足够的安全储备^[9]。

防渗与排水系统是保障重力坝基础稳定的关键措施。由于混凝土坝体和岩基均存在微小裂隙，库水渗透难以完全避免。设计关键在于有效管理渗流。通常在地基前沿进行深孔帷幕灌浆，形成一道阻渗屏障，大幅减少渗漏量。紧接着在帷幕下游设置排水孔廊道系统，将已渗入的积水主动汇集并排走。这一者结合能显著降低作用在坝底上的扬压力，从而直接提升坝体的抗滑稳定性，是重力坝设计中不可或缺的一环。

材料选择与构造细节直接影响坝体的耐久性与整体性。坝体混凝土除需满足设计强度外，还必须具备较高的抗渗性能以防止内部渗漏，以及在寒冷地区的抗冻融循环能力。由于混凝土浇筑时会产生热量收缩，需合理设置永久性横向伸缩缝，将长坝体分为若干独立坝段以适应温度变化，防止产生有害裂缝。对于高大坝体，有时还需设置纵向施工缝以满足分层浇筑要求，后期需进行压力灌浆确保整体性。对于承担泄洪任务的坝身溢流段，其混凝土表面需要采取特殊的抗冲耐磨保护措施，确保长期运行安全。

（二）拱坝设计要点

坝形优化是拱坝设计的精髓所在。设计者需根据具体的河谷地形，通过缜密的力学计算与反复迭代，寻求一组最优的几何参数。优化的核心目标是使坝体在承受设计荷载时，应力分布尽可能均匀且处于理想状态，避免出现过度的局部拉应力或压应力集中，同时力求混凝土工程量最省。常见的坝形中，单曲拱坝主要在水平截面上呈弧形，而双曲拱坝不仅在水平向弯曲，在垂直方向上也呈弯曲或变厚的形态，后者空间受力性能更为优越，能更好地适应宽阔的河谷，是现代高拱坝的主流选择。

坝肩稳定是拱坝安全命脉所系。由于荷载最终传向两岸，因此两岸坝肩岩体的稳固性直接决定了大坝的安危。设计前期必须对坝肩区域进行极为详尽的地质勘探，彻底查明岩性、断层、节理裂隙、软弱夹层的分布与性质。在此基础上，必须对可能构成潜在滑移面的岩体结构进行三维抗滑稳定分析。若稳定性不足，则必须实施系统性的工程加固。常见措施包括使用预应力锚索或锚杆对关键岩体进行深层锚固，通过高压灌浆提高岩体整体性与抗变形能力，以及设置周密的排水系统以降低岩体内渗透压力。

地基处理要求达到极为严苛的标准。无论是河谷底部的坝基还是两岸的坝座，作为拱结构的最终支撑点，必须具有足够的承载能力、整体性和抗变形刚度。任何过大的或不均匀的沉降变形都会在坝体内诱发有害应力。因此，设计需根据地基地质条件的缺陷，采取针对性的处理方案。这通常包括彻底开挖清除表层松动破碎岩体，对深部存在的断层破碎带或软弱夹层进行混凝土置

换或高压固结灌浆。

温度控制与接缝处理是拱坝施工与运行期的特殊挑战。混凝土在硬化过程中产生的水化热，以及建成后外界环境的季节性温度变化，都会使坝体产生显著的胀缩变形。若处理不当，由此引发的温度应力可能导致裂缝。因此，设计必须将温度作为一项重要荷载来考虑。在施工阶段，需采用分块分层浇筑、预冷骨料、埋设冷却水管等措施严格控制混凝土温度。坝体需设置一系列临时性的收缩缝，将大坝分割为若干独立柱状块体，待混凝土充分冷却收缩、温度趋于稳定后，再对这些缝腔进行高压灌浆。

（三）土石坝设计要点

坝体分区与材料设计是土石坝构建的科学基础。设计者不会采用均质材料，而是根据工程需要将坝体划分为功能明确的不同区域。通常，坝体中心或上游侧会设置一道连续的防渗体，例如采用黏土填筑的心墙或斜墙，其核心指标是低渗透性。防渗体两侧或下游则为支撑性坝体，通常采用透水性较好的砂砾石或爆破石料填筑，要求具备较高的抗剪强度。在不同材料交界的区域，设计尤为关键。必须设置精心设计的反滤层与过渡层。

渗流控制是土石坝安全设计中最关键的环节。其理念是“上堵下排”。上游的防渗系统必须构成一道完整封闭的防线。无论是土质防渗体、混凝土防渗墙还是沥青混凝土面板，都必须从上至下连续不间断，并且要与地基的防渗设施如灌浆帷幕或地下连续墙可靠连接，形成立体防渗体系。然而，完全杜绝渗流既不可能也不经济。因此，在下游侧必须设计高效可靠的排水系统，例如堆石棱体排水或褥垫排水^[4]。

坝坡的坡度直接决定了填筑工程量，也决定了其安全系数。设计必须对多种典型工况进行验算。施工期需考虑填筑过程中边坡的稳定。水库正常蓄水后的稳定渗流期，是分析下游坡稳定的关键工况。而最为危险的工况之一往往是上游库水位快速下降时期，此时坝体内孔隙水来不及排出，会形成向外的水压力，严重削弱上游坝坡的抗滑能力。

土石坝对地基的处理原则是解决两大问题，即渗透稳定和过量变形。对于坝基表层的软弱土层、松散腐殖质必须予以清除。对于深厚的砂砾石覆盖层等强透水层，则需要采取垂直防渗措施将其截断，其根本目的是确保坝基不发生有害的渗漏，并控制沉降变形在允许范围内^[5]。

三、结语

挡水建筑物的坝型选择与设计十分复杂，成功的决策与设计源于对工程所在地自然条件、社会条件及工程目标的深刻理解与精准把握。坝型比选必须坚持系统分析、综合权衡的原则，从技术、经济、环境等多维度进行论证。而在具体设计过程中，则需紧紧抓住不同坝型的结构特点和力学本质，针对其稳定性、防渗性、对地基的适应性等核心问题展开精细化设计。随着材料科学与施工技术的进步，坝工设计理念也在不断发展，但是其设计仍然需要坚持“安全可靠、经济合理、技术可行、环境友好”的原则。未来借助智能技术，坝型比选、坝体设计都将更加科学可靠。

参考文献

- [1] 吴彬. 挡水建筑物设计中坝型比选及坝体设计要点研究 [J]. 河南科技, 2025, 52(17): 42-45.
- [2] 黄悠悠. 后滩水库挡水建筑物大坝结构设计分析 [J]. 陕西水利, 2019(7): 200-201.
- [3] 张寿红, 李星. 南安山水库挡水建筑物的坝型比选 [J]. 建材与装饰, 2021, 17(24): 295-296.
- [4] 颜达涛. 水库工程中的坝型方案布置及比选探讨 [J]. 黑龙江水利科技, 2018, 46(12): 129-131.
- [5] 洪流. 某水库工程挡水建筑物及泄水建筑物设计研究 [J]. 水利科学与寒区工程, 2022(001): 005.