

# 都市型病险水库大坝加高培厚关键技术研究

马婷<sup>1</sup> 王飘<sup>2</sup>

1. 深圳市深水水务咨询有限公司; 2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

**摘要:** 土坝坝工建设中是水利工程中较为重要、广泛应用的水工建筑物,随着城市经济社会的超高速发展,水平不断提升,部分水库已由“郊野型”演变为“都市型”,水库实际功能、大坝下游防洪保护对象的重要性均发生了较大的变化。对水库大坝需要加高培厚的原因采用计算、试验等方法进行综合分析,根据不同原因给出不同对策措施。对于坝顶高程不满足要求这种大坝缺陷,可以考虑坝顶直接加高、戴帽加高、顺坡加高等方法;对坝坡稳定不满足要求,常用的加固措施是培厚坝体、放缓坝坡、填筑压重平台等;对抗震安全不满足要求,采取加密、压重、排水减压措施等措施。大坝加高培厚方案应根据每个水库特点进行综合确定,尽早对都市型病险水库进行除险加固,实施发挥水库效益。

**关键词:** 都市型病险水库; 加高培厚; 坝坡稳定

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.075

## 一、本课题的研究背景和意义

我国是世界上兴修水利最早,拥有水利设施数量最多的国家之一。目前,已建水库8.6万余座,这些水利工程是社会发展和国民经济发展的基础和保障。土坝坝工建设中是水利工程中较为重要、广泛应用的水工建筑物,基于土坝对地质条件要求不高、造价便宜、取材便利、适应性强、施工方案灵活、结构简单等优点,因此得到广泛的应用及研究。

随着运行时间的增长,这些土石坝存在不同程度的渗流破坏、坝体滑坡、防洪标准低、泥沙淤积、坝体裂缝、坝基渗漏、地震液化等问题,因而出现了许多病险库,使工程不能充分发挥效益,甚至发生溃坝,给人民生命和财产带来严重的损失和灾难。

目前全国的病险水库约3万余座,制约着经济社会的可持续发展,都市型病险水库给下游居民、经济体、公共交通等设施造成一定的威胁,一旦失事,可能造成毁灭性的灾害,给社会稳定和国民经济的发展带来很大的负面影响。因此,为保卫城市经济建设,减少洪水可能造成的危害,都市型病险水库的除险加固势在必行,采用正确加固措施,对于土坝及城市经济的安全、公共空间有着重要的意义。

随着经济社会的超高速发展,城市化水平不断提升,没有供水功能的水库已由“郊野型”演变为“都市型”,水库下游由村庄演变为城镇,人口密集、厂房林立,水库实际功能、大坝下游防洪保护对象的重要性均发生了较大的变化。在原水库大坝基础上进行加高增加扩容,加高扩大扩容是较为经济有效的提高水库功能和效益的一种方式。

## 二、项目的难点、重点与对策措施

(一) 水库大坝加高培厚原因与对策措施是项目的重点、难点之一

对水库大坝需要加高培厚的原因采用计算、试验等方法进行综合分析,根据不同原因给出不同对策措施,是项目的重点、难点之一。

一般大坝加高原因主要有以下几种:

(1) 坝顶高程不满足要求

坝顶高程不满足要求,主要的问题是洪水漫坝,风浪越过坝顶。虽然洪水漫坝事故发生很少,但往往是毁灭性的恶性事故,造成的危害很大。

**对策措施:**

对于坝顶高程不满足要求这种大坝缺陷,可以考虑坝顶直接加高、戴帽加高、顺坡加高等方法。对三种不同型式的坝顶加高,都必须满足一个共同的条件,即坝坡的整体稳定安全系数必须有足够的富裕度,加高之后的整体和局部稳定安全系数必须满足规范要求。

1) 从坝顶加高高度不宜过大,一般不超过3m。在强地震区,慎用直接从坝顶加高方式。

2) 从大坝下游坡加高该种加高型式的优点是加高施工期间基本不影响水库运用,加高高度没有特殊的限制,但加高工程量相对较大。对于均质坝,如果坝体还存在填筑质量、内部有裂缝等缺陷,不宜采用这种加高方式。该方案可能存在征地等问题。

3) 从大坝上游坡加高,一般情况,还需要修筑施工围堰,工程量大,降低库水位运行,施工期间水库功能发挥受限,经济损失大。这种加高方式适用于坝前淤积面较高的情况。

(2) 坝坡稳定不满足要求

在早期修建的土石坝中,出现的稳定问题多是稳定安全度不满足要求,虽然难以对大坝立即形成安全威胁,但是存在潜在的不安全因素。有稳定问题的大坝中,稳定不满足要求这种情况占大多数,也应该引起足够的重视。

**对策措施:**

1) 沿坝坡滑出时的加固,常用的加固措施是培厚坝体,放缓坝坡。

2) 沿坝基面滑出的加固,常用的措施是在滑出点附近填筑压重平台。

(3) 抗震安全不满足要求。

抗震安全问题主要是坝体抗震计算不满足、坝基地震液化、结构抗震措施不到位等问题。

**对策措施:**

1) 抗震计算不满足,可采用大坝培厚等措施。

2) 坝基地震液化,可采用加密、压重、排水减压措施。加密常采用的加密措施有振冲法、振冲-置换桩法、强夯法等。压重材料为自由透水的材料,否则应在地基与压重间设置排水层,压重厚度由计算确定。排水减压措施常用的排水减压措施有排水孔、排水井和排水槽三种。

3) 结构抗震措施不到位,可采用大坝培厚、压重

等措施。

## (二) 水库大坝加高培厚填筑材料的选择是项目的重点、难点之一

对于采用从大坝下游坡加高、从大坝上游坡加高方案，大坝填筑材料的选择是项目的重点、难点之一。

对于扩容加高，若采取大坝下游侧加高培厚，解决稳定、坝顶高程不足的问题，可以选用略差一些的料源，如风化石、石渣料，但需满足坝体反滤关系。

另外还要核算防渗体因加高后，水头增加引起的防渗问题，采取必要措施。对于从大坝上游坡加高方案，若是解决稳定、坝顶高程不足的问题，若原大坝坝体采用了防渗墙等防渗措施，渗流问题不是主要考虑的因素，则填筑材料需选择强度高的土料，强度、含水率等指标是主要考虑的因素；若是解决渗流问题，不论是采用黏土斜墙、均质土料等进行培厚，渗透系数、含水率、强度等指标均是主要考虑的因素。总之填筑材料必须结合大坝加高原因综合分析确定。

## (三) 水库大坝加高培厚新老结合面处理与措施是项目的重点、难点之一

新老坝体结合面处是土坝加高的薄弱部位，为保证新老土体的有效结合，建议新老坝体结合面做如下处理：

(1) 施工过程中对老坝体坝坡进行开挖台阶处理，在每一层铺土前将原坝边坡开挖成台阶，台阶高度以接近铺土厚度为宜；

(2) 由于原坝体表面含水量较小需对老坝坡洒水，充分湿润处理，使老坝体边坡处接近最优含水量；

(3) 将开挖后的水平结合面刨毛处理，增加结合面的结合力，竖向结合缝附近要适当补夯，保证新老坝体结合面的施工质量不能形成薄弱面。

坝体加高培厚前需先对坝面进行削坡处理，根据设计要求，坝面削坡厚度0.5m左右，以清除表层腐殖土、树根和草皮等杂物，坝体与岸坡结合部岸坡削成斜坡，不得有台阶、急剧变坡和反坡。施工中采用挖掘机粗削、人工精削的方法分段进行，削坡杂料用自卸汽车外运至弃渣场。根据加厚体与原坝体材料的不同情况，考虑是否设过渡层、反滤层等。

## 三、大坝加高培厚施工质量控制研究

### (一) 一般规定

1. 坝体填筑必须在坝基、岸坡及隐蔽工程验收合格并经监理工程师批准后，方可填筑。

2. 筑坝材料的种类、石料品质、级配、含水率、含泥量、超径与软弱颗粒及其相应填筑部位、压实标准、质检取样结果均应符合设计要求和本标准规定。

(1) 坝体填筑前，必须进行筑坝材料的现场填筑和碾压试验：

土石方填筑工程开工前，在选定的料场开采区开挖坝料，进行与实际施工条件，并根据获得的试验成果确定填筑施工参数。

### (2) 坝料要求

根据规范《碾压式土石坝设计规范》(SL274-2020)，防渗土料应满足下列要求：

①渗透系数均质坝不大于 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，心墙和斜墙不大于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 。

②水溶盐的易容盐和中溶盐的含量，按质量计不大于3%；有机质含量，按质量计均质坝不大于5%，心墙和斜墙不大于2%，超过此规定应进行论证。

③土坝料源不可使用地表土、沼泽土等具有未分解有机物的土料。同时也需要防止使用液限40%以上与塑性指数高于20的冲击黏土、干硬黏土、遇水后膨胀软化黏土等，并根据《水利工程天然建筑材料勘察规程》等规定针对土工试验与料场进行调查工作。

3. 坝体各部位的填筑必须按设计断面进行，应保证防渗体和反滤层的有效设计厚度。建基面凹凸不平时，防渗体应从低处开始填筑。

4. 不影响行洪的坝体部位可先行填筑，横向接坡坡度应符合设计要求。

5. 防渗体填筑时，应在逐层取样检查合格后，方可继续铺填。反滤料、坝壳砂砾料和堆石料的填筑，应逐层检查坝料质量、铺料厚度、洒水量，严格控制碾压参数，经检查合格后，方可继续填筑。

6. 填筑过程中，应保证观测仪器埋设与监测工作的正常进行，采取有效措施，保护埋设仪器和测量标志完好无损。

7. 软黏土地基上的土石坝和高含水率的宽防渗体及均质土坝的填筑，必须按设计要求控制填土速度。

### (二) 填筑质量控制

开展均质土坝碾压施工时，应结合施工需求与特征针对坝体分区实行良好的填筑处理，各个区域还应配置合理的碾压施工设备，并从两侧岸坡同时开始碾压施工。各区域应划分为3块施工区，使用流水施工法进行施工处理，也就是一个小施工区域进行铺料填筑施工、一个进行碾压处理，一个进行质量取样检测，同时各小施工区域也应根据坝轴线进行分布规划。运用碾压试验明确的施工参数（即碾压遍数、铺土厚度、含水量）等数据为控制点进行现场施工检查。进行料源控制时，应对含水量土块大小、土质情况以及杂质含量等进行科学管理，工作面的铺料应与坝轴线相平行，铺料厚度应较为均匀，规格不合格料块应进行击碎处理，并清除含有的各种杂质。开展防渗体内铺料工作时，车辆需要使用进占法进行倒退铺土处理，保证车辆在松土上运行，防止进入到压实土层上，这可避免对压实层出现剪力破坏现象。根据相关标准进行逐层挖坑取样试验，明确坝体实际压实度。碾压施工时也应重视接头位置碾压施工控制工作，保证各层之间错开相应的距离，而布置分段条带时应与坝轴线相互平行。在岩石或混凝土基础60cm厚度范围内采用薄层碾压，一般控制在15cm左右，含水率控制在最优含水率的 $\pm 3\%$ 。分段之间的高差应控制在合理范围内，分段间的接坡比应保持在1:3左右。在碾压施工结束后，需要检测坝体机构的特征与各个位置的特性，例如：坝肩连接位置因保证取样具有代表性，并明确碾压施工时是否存在相应的问题。另外，深入分析铺土厚度，若存在问题应及时制定解决方案，对于质量不合格位置应进行返工处理，进而确保均质土坝碾压施工质量不断提升。

## 四、结论

(1) 经过几十年的运行以及水库下游保护范围、人口及经济发生了变化，大坝可能存在坝顶高程不满足

要求、坝坡稳定不满足要求、抗震安全不满足要求,上述问题对大坝运行构成一定的安全风险,除险加固是必要的。

(2)《都市型病险水库大坝加高培厚关键技术研究》即对水库大坝需要加高培厚的原因采用计算、试验等方法进行综合分析,根据不同原因给出不同对策措施。对于坝顶高程不满足要求这种大坝缺陷,可以考虑坝顶直接加高、戴帽加高、顺坡加高等方法。对坝坡稳

定不满足要求,常用的加固措施是培厚坝体、放缓坝坡、填筑压重平台等。对抗震安全不满足要求。采取加密、压重、排水减压措施等措施。一座病险坝往往不止一种病险情况,因此在拟定加固处理方案时应根据各种病险情况的安全需求,采取综合措施处理。

(3)综合考虑目前都市型水库特点是坝顶、防浪墙、大坝稳定性不足水库大坝进行加高培厚,综合考虑方案如下,具体水库根据实际情况选择加高培厚方案。

都市型水库坝顶、防浪墙、大坝稳定性不足加高培厚方案汇总表

序号	问题原因	边界条件、差值(米)	方案
1	坝顶不满足要求	$\leq 0.3$	加高坝顶,坝顶凿毛,重新浇筑坝顶,重建坝顶排水沟、路面等。若防浪墙不满足安全防护高度100cm要求,防浪墙顶做安全护栏。
2	坝顶不满足要求	$1.0 \cong \text{差值} > 0.3$	坝顶直接加高,拆除坝顶,上下游重建挡墙、坝顶,重建坝顶排水沟、路面等,上下游挡墙可采用“L”型混凝土挡墙。
3	坝顶不满足要求	$> 1.0$	加高坝顶,拆除坝顶以及下游坝坡以下100~200cm厚,下游坝坡开挖成台阶状,上下游重建挡墙坝顶,下游采用土料培厚,重建下游护坡及排水棱体。
4	防浪墙顶不满足要求	$\leq 0.3$	加高防浪墙,若防浪墙与坝顶高差大于100cm,坝顶同步加高。
5	防浪墙顶不满足要求	$1.0 \cong \text{差值} > 0.3$	坝顶直接加高,拆除原坝顶防浪墙,上下游重建挡墙、坝顶,重建坝顶排水沟、路面等。上下游挡墙可采用“L”型混凝土挡墙。
6	防浪墙顶不满足要求	$> 1.0$	加高坝顶,拆除原坝顶防浪墙以及下游坡以下100~200cm厚,下游坝坡开挖成台阶状,上下游重建挡墙、坝顶,下游采用土料培厚,重建下游护坡及排水棱体。重建后防浪墙与坝顶高差不大于100cm。
7	上游坝坡稳定不满足要求	/	一般上游坡进行培厚,若坝顶高程不满足,同步加高坝顶。
8	下游坝坡稳定不满足要求,一般下游坝坡进行培厚。	/	一般下游坡进行培厚,若坝顶高程不满足,同步加高坝顶。
9	防渗不满足	/	一般上游坡进行培厚,大坝采用黏土斜墙进行防渗,拆除大坝上游坝坡,开挖成台阶状,填筑防渗土料培厚加固。若坝顶高程不满足,同步加高坝顶。
10	大坝需要扩容,上下游加高培厚	/	坝及排水棱体。重建后防浪墙与坝顶高差不大于100cm。

(4)大坝加高培厚应严格控制施工质量,包括填筑料源选择、填筑料指标、施工碾压参数、新老坝体结构面处理、坝顶施工、排水棱体施工,应严格按照设计要求、规程规范施工,确保施工质量。

## 五、建议

《都市型病险水库大坝加高培厚关键技术研究》仅对大坝加高培厚基本原则进行分析、阐述,大坝加高培厚方案应根据每个水库特点进行综合确定,建议尽早对都市型病险水库进行除险加固,并尽早实施发挥水库效益。

我国水库大坝主要以土石坝为主,70%为20世纪80年代以前建设,土石坝对土质、压实性及技术要求高,受到当时经济、技术制约,大坝设计不规范、建设水平相对落后、管理水平低,且与建设标准存在一定差距。经过几十年的运行以及水库下游保护范围、人口及经济发生了变化,大坝可能存在坝顶高程不满足要求、坝坡稳定不满足要求、抗震安全不满足要求,建议尽早对都市型病险水库进行除险加固,实施发挥水库效益。

## 结束语

我国水库大坝主要以土石坝为主,70%为20世纪80年代以前建设,土石坝对土质、压实性及技术要求高,受到当时经济、技术制约,大坝设计不规范、建设水平相对落后、管理水平低,且与建设标准存在一定差距。经过几十年的运行以及水库下游保护范围、人口及经济发生了变化,大坝可能存在坝顶高程不满足要求、坝坡

稳定不满足要求、抗震安全不满足要求,建议尽早对都市型病险水库进行除险加固,实施发挥水库效益。

## 参考文献

- [1]李双喜.新疆库巴格水库坝型比选分析[J].水科学与工程技术,2019(05)
  - [2]天际.病险水库除险加固工程建设进行时[J].中国水利.2009(02).
  - [3]金帮琳.山河水库除险加固分析与探讨[J].大坝与安全.2009(01).
  - [4]徐国英,蔡长香.新建县病险水库除险加固工程的探讨[J].中国新技术新产品,2010(08).
  - [5]漆兰,杨再松.小型病险水库除险加固设计科技传播[J].2010(16).
  - [6]牛文龙.土石坝加高培厚工程稳定非稳定渗流安全分析研究[J].陕西水利,2022(002):000.
  - [7]徐榕圻.谈论水库土石坝设计的关键点[J].大科技,2020.
  - [8]刘鹏.某小(1)型水库碾压式土石坝初步设计探讨[J].中国水运月刊,2018.
  - [9]蔡汝奇.试论小型水库土石坝的除险加固[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(3):4.
  - [10]王月.中小型水库土石坝除险加固施工技术实践应用研究[J].技术与市场,2022,29(6):2.
- 作者简介:马婷,1988年5月1日、女、河南、本科、中级职称、都市型病险水库加高培厚。