

水利工程堤防水闸深基坑抢险方案探讨

文 / 高 阳 湖北省汉江河道管理局泽口闸管理分局

黄小婷 湖北省汉江河道管理局潜江东荆河管理分局

高爱军 湖北省汉江河道管理局泽口闸管理分局

摘要：随着社会的发展，人们对水资源需求逐步提高，水利工程中堤防水闸深基坑抢险问题已成为现阶段单位关注的重点。工程单位应结合实际工况，采取专门的支护抢险措施，以保证水闸功能发挥。本文从某实例水闸重建工程出发，基于施工建设阶段的险情问题，提出了合理的险情处置方案，并对结果做出了有效验证，同时提出了一些提升抢险能力的可行性建议，旨在为同类单位提供参考。

关键词：水利工程；深基坑；堤防；水闸；抢险方案

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.079

引言

在当代社会，水利工程作为重要基础设施，在堤防、水闸、深基坑等重要领域都发挥着关键作用，对维持国民经济建设的稳定具有深远影响。但是，受外部条件及工程技术限制，水利工程经常面临堤防溃决、水闸功能失灵、深基坑失稳等安全风险，一旦险情失控，将对生命和经济造成不可估量的损失。在此背景下，系统化研究水利工程抢险方案，并持续改进应急处理机制迫在眉睫。基于此类工程施工期间常遇到的支护结构稳定性保护、混凝土喷射质量控制等技术挑战与风险，本文制定了行之有效的技术方案与周全的组织和管理的措施，对抢险工程成功具有重大现实意义。

一、水利工程堤防水闸深基坑抢险方案的必要性

（一）保障人民生命财产安全

如果堤防出现决口、水闸功能失效或者出现深基坑坍塌问题，这会引起连锁反应，进而导致威胁人们生命财产安全的灾难性后果。首先，堤防、水闸等是保障防洪体系有效运行的重要部分，其功能失效会引发洪水泛滥，进而导致区域居民的生命与财产陷入安全危机。其次，水利安全事故还会使交通、供水、供电等生命系统陷入瘫痪，从而爆发系统性的社会危机，扩大灾难影响。最后，环境遭到破坏。如深基坑问题会破坏土壤整体性进而导致地下水体遭到污染，对长久的生态环境和谐、公共健康构成威胁。

（二）维护水利工程正常运行

堤防水闸深基坑抢险关乎水利工程在水资源统调、防洪抗灾、供水供电等方面的重要职能。首先，可以促使经济稳定。对于农业灌溉、城市供水、工业生产而言，水利工程正常运行是其发展命脉。其次，保护社会安定。科学的抢险方案在突发水利工程事故中能确保其迅速恢复功能，以防社会发生混乱，促进和谐发展。最后，维持生态安全。水利工程具有调节河川径流、维持湿地生态平衡和保护生物多样性的作用，且具有不可替代的关键功能。进行有效抢险不仅能体现生态服务价值，还能确保区域可持续性发展的战略目标。

二、某水利堤防排水闸工程概况分析

在某水利堤防排水闸修复工程中，计划通过新建穿堤箱涵式排水闸以从整体上提升系统可靠性。该工程在创新设计方面采用三级建筑标准，主要结构有出口消力池、进口防护护坡、水闸室和跨堤管箱。计划采用跨堤管箱式布局，工程整体规模长130m，宽是5m，其中闸孔高4.5米，最高过流能力可达 $65\text{m}^3/\text{s}$ 。结构设计上，以混凝土扶壁式挡土墙修筑消力池，从而减缓水流冲击；采用粉喷桩加固技术进行地基处理，以使摩擦系数标准控制在0.25，同时对于中粗砂承载力要求需 $\geq 300\text{KPa}$ 。此外，为确保施工顺利进行，需对工程周围高压电力线路进行专项控制。该线路高程26.54m，并与堤顶净距离控制在2.69m范围内。通过以上综合举措，能从根源上防范深基坑结构失稳与不均匀沉降风险，以保障工程施工质量安全以及堤防系统的长久稳定。

三、深基坑施工期间的险情分析

在现代水利工程中，堤防和水闸建设是深基坑施工的重要环节，且该技术具有复杂性与风险性并存的特点，施工过程若质量管控不当，则极易引发重大安全事故。因此必须对工程险情充分分析，以保障施工人员生命与财产安全，避免不必要的经济损失。该工程风险主要体现在以下几个方面：一是基坑周围稳定性控制问题。在进行旧排水闸底板拆除时，由于未严格遵循分段分区拆除工作要求，支护与回填作业没有同步操作，且针对高压电线塔等重要建（构）筑物没有完善的动态监测机制，致使对既有建筑结构稳定性造成了不利影响。二是支护结构和土方开挖进度不一致。土方较快的开挖速度和土层动态变化，使施工难度进一步加大。应根据工况制定针对性应急方案。三是边坡加固质量未达到工程标准。主要原因在于施工标准、材料质量、浇筑振捣时间和混凝土喷射厚度均未达到设计要求，即使运用粉喷桩等先进技术，也难以保障支护的整体效果。四是实际施工条件与设计图纸存在差

异。即使监测结果表明原有结构和新荷载传递路径均维持稳定状态，但在具体施工中，受地质条件变化影响，残渣清理与注浆质量控制不力，也会为工程埋下安全风险。其关键点位观测数据如表 1 所示。

表 1 观测位移变化速率统计情况 (mm · h⁻¹)

观测点号	位置	二期方案实施后位移			一期方案实施后位移			险情前后位移		
		ΔH	ΔY	ΔX	ΔH	ΔY	ΔX	ΔH	ΔY	ΔX
1	墙体顶部	0.02	0.07	0.01	-0.02	0.11	0.01	-0.66	-0.26	-0.12
2	墙体顶部	-0.03	0.08	0	-0.00	0.12	0.08	-0.51	-0.60	-0.13
3	墙体顶部	-0.01	0.04	0.01	0.01	0.18	0.02	-0.36	-0.74	-0.07
4	墙体顶部	-0.02	0.04	-0.02	0.05	0.13	0.09	-0.38	-1.18	-0.14
1'	墙体底部	-	-	-	-0.00	0.03	-0.05	-0.39	-0.22	-0.17
2'	墙体底部	-	-	-	-	0.02	-0.09	-0.23	-0.63	-0.02
3'	墙体底部	-	-	-	-	-	-	-0.21	-0.77	-0.22
4'	墙体底部	-	-	-	0.01	0.02	-0.09	-0.18	-0.84	0.30

四、深基坑抢险处置方案

(一) 一期临时应急抢险方案

针对本工程中出现的深基坑位移险情，经相关单位实地调查取证后，确定了用钢结构进行暂时性支护的一期紧急抢险方案。该方案的施工目标是通过实时控制防止位移扩大发展，为后续永久性结构施工奠定基础。此次方案分为三个关键步骤：第一，加固关键位置布设在排水闸底板和电线塔之间，利用长约 4m 的槽钢，以垂直角度直接打到现有底板之上，同时必须保证槽钢和底板之间形成全断面接触，控制间距约为 4m。第二，建立双向支撑体系。即使用 D300mm 的钢管在水平方向上进行支撑，按 5m 间隔进行布置，加固方式采取刚性连接方式，一端与“底板槽钢”焊接；另一端与“挡墙底板”进行焊接，从而有效限制两者间发生相对位移，达到稳定基坑，控制变形作用。然后在竖向设置斜向支撑槽钢，利用三角形稳固原理，在离底板 2m 的位置焊接斜撑、底板槽钢与锚固钢板，使之形成受力整体。第三，进行结构回填与荷载管理。等待支撑系统稳固后，需按照原有设计规范进行基坑回填土方作业。采取分层回填方式，保证每一层压实密度符合设计要求。同时为保护高压电线塔基础稳定，需在其基础周边进行 1 米深的土方开挖，减轻部分负重。并利用彩布条覆盖裸露地面，设立标志，进行严格限速限载管理。根据项目单位观测，该抢险方案可以有效控制位移目标，实现由厘米级向毫米级显著过渡，为接下来的永久治理方案提供了足量时间。

(二) 二期永久抢险方案

尽管基坑位移通过临时钢结构可以有效控制，但对于后续工程面临的剩余底板拆除、永久支护体系构建以及粉喷桩工艺整合等技术挑战，紧急预案仍存在局限性。为保证汛期前建成结构稳定的排水闸消除安全隐患，本

文结合实际工程，对地下连续墙、锚索支护及预填土逐节施工三种永久抢险方案进行了可靠比选。首先，地下连续墙方案是指建立一堵新的、更坚固的地下连续墙，从而代替老旧的挡土墙。新的结构墙对支护效果具有永久保护优势，但拘泥于场地狭小限制，其施工较为大型、剧烈，容易对高压电线塔地基的稳定性造成扰动，故不予采纳。其次，锚索支护方案。在现有的挡土墙上安装两道预应力锚索，利用套管钻进坚固基岩进行锚定。该方案有明显限制和固定挡土墙位移、防止其坍塌或变形的作用。但由于基岩埋藏过深，不仅使施工成本激增还极大地增加了施工难度，若是控制不好反向拉力，极易导致挡墙发生墙体破坏风险。因此该方案也不具有可行性。最后，预填土逐节施工方案。该方案的核心在于在一个安全平台下，安全地分步实现永久性施工。该方案先按照 20 米高的标准，以土或其他材料进行基坑回填。同时在计划要拆除的底板区域施工“粉喷桩”，并加设高效快速的松木桩作为过渡期的安全保障，以防土体坍塌。然后，基坑稳固后，分阶段开槽、拆除旧的 4 号箱涵底板并进行粉喷桩置换作业。最后，将第一阶段回填土再次开挖进行混凝土浇注，实现将临时钢结构支护永久地包裹到 4 号箱涵之中，达到永久保护目的。安全、可控、风险低是该方案的突出优势，经综合研究，确定预填土逐节施工方案作为最终实施方案。

(三) 稳定性校核

为保证堤防水闸安全运行，工程单位需对两段施工方案的主要工况进行稳定性复核，内容包括对底板拆除后潜在风险的预测、一期临时抢险方案的实施效果评估，以及二期永久性方案的整体稳定性验证。以抗倾覆和抗滑稳定性关键参数作为计算指标，可以精确得出工程全周期范围内的安全状态。主要工况设定为：一，模

拟底板拆除后的表现状态，主要观察墙后土压力、土体自重以及墙体自重等荷载情况；二，在一期方案执行后，加入斜向和横向支撑所带来的额外荷载；三，在二期方案执行完毕后，考虑基坑内侧中填土压力对结构稳定的影响作用。为使各工况抗滑稳定性计算精准，施工单位应结合地质勘察真实数据开展计算。本工程勘测报告显示，挡墙后方碎石土的内摩擦角 $\phi=11.0^\circ$ ，饱和容重为 21.9kN/m^3 ，粘聚力 $c=25\text{kPa}$ ，天然容重为 19.6kN/m^3 。根据上述参数，采用公式 $K_e=f \Sigma W / \Sigma P$ 进行抗滑稳定性计算。其中 K_e 代表抗滑稳定系数； f 代表摩擦系数，取 0.25 ； ΣW 为竖向荷载总和（ kN ）；

ΣP 为水平荷载总和（ kN ）。抗倾覆稳定性则通过公式 $K_0=\Sigma M_y / \Sigma M_0$ 进行有效评估。其中， K_0 代表抗倾覆稳定系数； ΣM_y 是稳定力矩总和（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）； ΣM_0 表示倾覆力矩总和（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）。此外，为确保稳定性复核更具价值，通常还需结合工程经验和以往数据综合评估。工程师不仅要分析数值还要借助实际工况与相同案例，从而对建构的真实结构状态进行全面分析，以此验证抢险方案的可靠性。确保在实际应用中，既满足安全建设标准，又能合理把控施工风险，最终使水闸结构的长期安全与稳定运营目标得以达成。通过对各工况进行稳定性参数的计算分析，其结果如表 2 所示。

表 2 各工况稳定性计算结果

工况	$\sigma_{\min}/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-2})$	$\sigma_{\max}/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-2})$	K_0	K_e	η
二期支护措施实施后工况	156.4	138.3	10.3	1.9	1.14
一期支护措施实施后工况	137.9	156.9	9.9	1.15	1.15
拆除底板后工况	134.7	160.1	9.8	0.9	1.19
判定标准	≤ 300	≤ 300	≥ 1.5	≥ 1.2	≤ 2.0

由表 2 结果可知，拆除底板后墙体抗滑稳定性不满足设计要求，但抗倾覆稳定性符合标准；同时结果也显示，在一期支护作业完成后，抗滑稳定指标有显著提升，挡墙受力情况明显改善，虽未全部达到设计要求，但为二期支护作业创造了坚实的基础条件；二期支护结束后，抗倾覆与抗滑稳定性参数均达到设计标准，这说明深基坑险情已得到有效控制。综上表明，本工程抢险方案具备可靠的执行性与时效性。



五、提升深基坑抢险能力的建议

根据险情分析，提升深基坑工程的安全防控能力，还应从源头和管理上着力把控，实现防患于未然。具体体现在三个环节：一是对设计与施工的风险评估进行强化。勘察阶段要明确施工现场的水文地质条件，尤其是承压水层与透水夹层分布情况要着重探明；设计阶段采取保守方针提高整体施工安全系数，特别对关键施工参数要做好充分安全储备；施工阶段推行“动态设计+信息化施工”作业步骤，在对地质条件实时监测的基础上，及时优化施工参数。二是构建智慧化的监测预警平台。充分利用物联网、云计算、BIM 和人工智能等先进技术，

构建全流程、自动化、一站式的深基坑安全检测平台。特别针对异常数据信息，建立自动推送报警机制，并提供参考性险情处理方案，以为风险研判与科学决策提供依据。三是完善应急预案与演练机制，包括全方面验证预案可操作性、通信顺畅性、队伍合作力以及物资完整性等内容。通过定期演练，可以及时发现方案问题，做到优化改进，以便在关键时机快速响应。

结语

综上所述，堤防水闸深基坑抢险工程具有技术复杂、风险程度高、工期紧迫的突出特点。为确保抢险成功，依托工程实际，必须准确预判潜在险情、设计科学合理的一期临时应急方案与二期永久抢险方案，以及强化工程管理水平，以此通过一套系统化的抢险举措，可以为水利工程的安全、稳定与持久提供稳固保障。未来，工程单位应持续对堤防水闸深基坑抢险方案进行深入探讨，以此推动我国水利事业向更高水平迈进。

参考文献

- [1] 肖克龙. 水利工程堤防水闸深基坑抢险方法探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (26): 202-204.
- [2] 刘欣. 堤防水闸运行管理应落实防汛行政首长负责制[N]. 法治日报, 2023-05-12(005).
- [3] 韩小萍. 水利工程堤防水闸深基坑抢险方案研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(12): 115-117.
- [4] 孙健. 大西海子水库应急防洪工程建设方案探析[J]. 陕西水利, 2021, (05): 217-219+224.
- [5] 水利部办公厅关于切实做好堤防水闸安全度汛工作的通知[J]. 中华人民共和国水利部公报, 2021, (01): 35-36.