

# 残余抗力协同利用的既有挡墙加固机理与实践

舒海斌

宁海县建筑工程质量安全监督站 浙江 宁波 315600

**摘要:**既有挡墙因填土不符合要求、施工质量缺陷及环境变化而出现开裂变形时,科学评估其残余抗力并实施有效加固是岩土工程领域的关键难题。本文以宁海县某边坡挡墙开裂工程为例,通过现场调查与参数反演,揭示填土性质变异、压实度不足、排水失效及锚索施工缺陷等多因素耦合作用下的破坏机理。基于原挡墙残余抗力定量评估,提出“墙背开挖换填+内置衡重式毛石混凝土挡墙+锚索重新锁定”的组合加固技术,建立新旧结构协同承载模型,并构建全周期监测体系。工程实践表明,该方案有效利用原结构剩余强度,显著提升加固结构安全冗余度,为类似条件下既有挡墙利旧加固提供理论依据与工程参考。

**关键词:**既有挡墙;残余抗力;破坏机理;衡重式挡墙;协同承载;监测体系

## 引言

挡土墙广泛应用于工业与民用建筑工程,但因勘察不足、设计参数偏差、施工管控不严或使用功能变更,既有挡墙在使用期或施工期出现开裂、变形甚至失稳的事故屡见不鲜。传统加固思路多倾向于“推倒重建”或“外部增设支护”,造价高、工期长,且对周边环境扰动显著。近年来,岩土工程领域形成“预防性利旧加固”理念<sup>[1]</sup>,即在评估既有结构稳定性的基础上,分析原挡墙残余抗力,进而设计新增结构所需抗力,实现新旧结构协同承载。该理念强调发挥既有结构剩余强度,避免资源浪费,符合绿色建造导向。然而,如何准确评估不同损伤状态下既有挡墙的残余抗力,并确保新旧结构受力变形协调,仍是研究重点。本文依托宁海县某边坡挡墙开裂工程实例,通过现场调查与参数反演,揭示破坏机理,提出基于残余抗力评估的组合加固技术,以期同类工程提供参考。

## 1 工程概况与地质条件

### 1.1 工程概况

工程位于宁海县,东侧为乡道,南侧为民房聚集区。场地拟建6幢厂房(5幢4F、1幢5F),原设计室外地坪标高19.50m(1985国家高程基准)。因东侧乡道地势较低(标高9.5~13m),原设计采用“预应力锚索+钢筋混凝土肋板墙”方案,挡墙高度7~10m,锚索为4 $\phi$ s15.24钢绞线,间距2.5m $\times$ 2.5m,板墙厚350mm,肋柱截面500mm $\times$ 500mm,墙背要求回填透水性的砂性土,压实系数 $\geq 0.94$ 。挡墙于2023年10月完成,11月完成回填。

2024年3月,东侧区段2变形缝最大错位9cm,压顶梁开裂,墙背地表最大沉降1.1m,地裂缝宽10~15cm。区段2中下部出现多条水平拉裂缝(宽0.2~0.3mm),结构已

处承载力极限状态;区段6(扶壁式与锚索挡墙交界处)出现多条斜向裂缝。

### 1.2 工程地质条件

根据边坡勘察报告,场地地层自上而下依次为:

层素填土:杂色,碎石、块石夹少量黏性土,松散~稍密,填龄3~5年。

层含砂粉质黏土:褐黄色,可塑~硬可塑, $\gamma = 18.9\text{kN/m}^3$ ,粘聚力 $c = 28.4\text{kPa}$ ,内摩擦角 $\phi = 16.4^\circ$ 。

层全风化熔结凝灰岩:褐黄色, $\gamma = 19.8\text{kN/m}^3$ , $c = 15\text{kPa}$ , $\phi = 35^\circ$ 。

层强风化熔结凝灰岩:黄褐色,节理裂隙很发育, $\gamma = 20.0\text{kN/m}^3$ , $c = 20\text{kPa}$ , $\phi = 45^\circ$ 。

层中风化熔结凝灰岩:灰褐色,较硬岩, $\gamma = 21.0\text{kN/m}^3$ , $c = 32.6\text{kPa}$ , $\phi = 78^\circ$ 。

### 1.3 设计条件变更

2024年4~6月,建设单位将场地标高由19.50m降至15.65m(降低3.85m),同时厂房基础优化:车间一、二、三东侧两轴由独立基础改为桩基础。变更后墙后荷载显著降低,厂房基础对差异沉降适应性增强,加固施工安全性提高。

## 2 挡墙破坏机理的多因素耦合分析

### 2.1 填土性质变异与侧向压力激增

原设计墙背回填采用砂性土,但施工单位直接采用场地内黏性土(粉质黏土)回填,透水性差,饱和后力学指标劣化。室内试验表明,该类土天然内摩擦角 $18^\circ\sim 22^\circ$ ,饱和后降至 $12^\circ\sim 15^\circ$ ,远低于设计取值的 $30^\circ$ 。基于静止土压力理论反演:原设计 $\phi' = 30^\circ$ , $K_0 = 0.5$ ;现状填土有效内摩擦角 $\phi'\approx 25^\circ$ , $K_0 = 0.577$ 。对9.5m高挡墙( $q = 60\text{kPa}$ ),静止土压力合力由589.4kN增至

798.1kN, 增幅35.4%, 直接导致结构受力超限。

## 2.2 压实度不足与工后沉降效应

现场揭露表明, 回填土未分层压实, 实测压实度仅0.82~0.88, 远低于0.94。松散填土在降雨入渗及自重作用下产生工后沉降, 区段2地表最大沉降1.1m, 形成地裂缝。沉降对锚索产生“主动变被动”效应: 锚固段位于稳定岩层, 自由段周围土体下沉, 对锚索施加附加拉应力, 同时产生负摩阻力, 增大墙体附加弯矩。计算表明, 1.1m不均匀沉降在锚索中产生附加拉应力50~80MPa (占设计承载力10%~15%), 部分锚索提前屈服。

## 2.3 排水系统失效与水压力累积

现场泄水孔大部堵塞, 截水沟与排水沟未有效衔接。黏性土渗透系数低, 降雨入渗后水体无法排出, 墙后形成滞水区。反演计算表明, 墙后水位每上升1m, 静止土压力增加约20kN/m, 同时土体有效重度降低, 抗剪强度衰减。区段2回填范围最大、汇水面积大, 变形开裂最严重, 变形缝错位9cm, 与水位影响敏感区段结论吻合<sup>[2]</sup>。

## 2.4 锚索施工质量缺陷

检测发现系统性缺陷: (1) 锚索分布不均: 部分区段间距达3.0~3.5m, 角度偏差 $> 5^\circ$ ; (2) 锚头构造缺失: 多数未设台座, 锁定力仅设计值的60%~75%; (3) 自由段防腐破损, 钢绞线锈蚀。上述缺陷叠加导致锚索体系实际抗力远低于设计值。按现状复核 ( $\varphi' = 25^\circ$ , 锚索效率折减), 原结构肋柱纵筋需求 $3937\text{mm}^2$  (原设计 $1257\text{mm}^2$ ), 缺口率68%; 箍筋需求 $1116\text{mm}^2/\text{m}$  (原设计 $636\text{mm}^2/\text{m}$ ), 缺口率43%, 结构处于承载力极限状态<sup>[3]</sup>。

## 3 加固方案的技术演进与优化

### 3.1 方案比选与选型逻辑

经多方案比选 (锚固法、注浆法、支墩法、墙背换填法), 确定采用“墙背开挖换填+内置衡重式毛石混凝土挡墙”的组合加固方案, 核心逻辑是充分利用原挡墙残余抗力, 通过内置结构分担土压力, 实现新旧结构协同承载。

### 3.2 残余抗力评估与加固设计参数

根据《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》(GB50843-2013)<sup>[4]</sup>, 既有结构加固设计应基于残余抗力确定新增结构荷载比例。评估步骤:

原结构现状抗力计算 ( $\varphi' = 25^\circ$ ): 区段2锚索需求 $855\text{mm}^2$  (原 $570\text{mm}^2$ ), 缺口33%; 肋柱纵筋需求 $3937\text{mm}^2$  (原 $1257\text{mm}^2$ ), 缺口68%; 箍筋需求 $1116\text{mm}^2/\text{m}$  (原 $636\text{mm}^2/\text{m}$ ), 缺口43%。

残余抗力折减: 考虑裂缝, 取折减系数0.6~0.8, 原

结构可承担30%~40%设计荷载。

新增结构设计荷载: 取承担70%静止土压力 (558.7kN)。据此设计内置衡重式挡墙断面: 区段1、2墙高6.0m, 顶宽1.0m, 衡重台宽2.0m; 区段3墙高5.0m, 顶宽0.9m; 区段4墙高4.5m, 顶宽0.8m; 区段5、6墙高4.0m, 顶宽0.8m。验算得抗滑稳定系数 $K_c = 1.474\sim 1.631$  ( $> 1.30$ ), 抗倾覆系数 $K_0 = 1.973\sim 2.351$  ( $> 1.60$ ), 基底偏心距 $e \leq 0.306\sim 0.505\text{m}$  ( $< 0.25$ 倍基底宽), 均满足规范<sup>[5]</sup>。

### 3.3 分区段差异化加固设计

根据各区段特点实施差异化加固:

墙顶结构处理: 破除顶部2.5m混凝土, 解除最上一道锚索, 下部锚索重新锁定。

锚索重新锁定: 清理自由段锈蚀, 重新防腐, 制作标准锚斜托, 分级张拉锁定。

毛石混凝土施工: C25泵送混凝土, 掺MU30毛石 (掺量25%~30%, 粒径 $\leq 200\text{mm}$ ), 分层浇筑 (每层50cm)。

排水系统重构: 重新埋设 $\varphi 100\text{PVC}$ 泄水孔, 间距 $2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ , 进水口设置级配碎石反滤层。

变形缝设置: 纵向每10m设置一道变形缝, 缝宽20mm, 内填沥青麻丝。

## 4 新旧结构协同承载机理

内置衡重式挡墙与原锚索肋板墙形成“叠合式”受力体系:

竖向荷载传递: 内置挡墙基底直接坐落于 $\textcircled{3}$ 层强风化熔结凝灰岩, 避免对原结构地基额外加载。

水平土压力分担: 土压力先作用于原墙背, 经原结构传递至内置挡墙, 内置挡墙通过衡重台将部分水平力转化为竖向力, 剩余水平力由基底摩擦及被动土压力平衡。计算表明内置挡墙承担60%~70%总水平力, 与残余抗力评估匹配。

变形协调控制: 采用“分段跳槽开挖、随挖随填”工艺 (每段 $\leq 10\text{m}$ , 每层 $\leq 2\text{m}$ ), 施工期间原挡墙最大水平位移增量 $\leq 3\text{mm}$ , 裂缝未扩展。

## 5 施工过程控制与监测体系

### 5.1 关键施工流程

遵循“先卸荷、后加固、再锚定”顺序:

场地卸荷。分三步: 先卸土1.5m, 解除第一道锚索并切割上部1.5m挡墙; 再卸土1.0m, 切割1.0m挡墙; 最后卸土1.35m至设计标高, 解除外露锚索。

毛石混凝土施工。分段跳槽开挖 ( $\leq 10\text{m}$ ), 分层浇筑 ( $\leq 2\text{m}$ ), 随挖随填。

锚索处理与锁定。分级张拉： $0 \rightarrow 0.25\sigma_{con} \rightarrow 0.5\sigma_{con} \rightarrow 0.75\sigma_{con} \rightarrow 1.0\sigma_{con}$ →锁定，每级持荷2~3min。

排水与裂缝修补。泄水孔重新埋设，裂缝采用化学灌浆法处理。

## 5.2 全周期监测体系

建立“变形-应力-裂缝”三位一体监测体系：

变形监测：纵向每15~20m设沉降点，区段变形缝两侧设水平位移点。施工期监测1次/1~2d，报警值累计10mm或速率2mm/d。

应力监测：典型区段锚索安装测力计，基底埋土压力盒，报警值设计值的80%。

裂缝监测：布设裂缝计，监测频率1次/d，报警值  $\geq 0.1\text{mm/d}$ 。

截至2024年10月，加固后挡墙水平位移累计  $\leq 2.5\text{mm}$ ，沉降  $\leq 1.8\text{mm}$ ，锚索应力波动  $\leq 5\%$ 设计值，裂缝无扩展，结构稳定。

## 6 技术经济分析与创新点

### 6.1 技术经济指标对比

与原“外部增设锚索+肋柱”方案对比，本方案工程估算由93.6万元降至80.6万元（-13.9%），施工周期由45d缩至30d（-33.3%），且不占用墙外空间，优势显著。

### 6.2 技术创新点

基于残余抗力评估的利旧加固设计方法：通过受力反演定量评估原结构剩余承载力，确定新增结构荷载比例，实现协同承载。

锚索重新锁定与防腐综合处治技术：提出“自由段清理防腐+锚斜托制作+分级张拉”工艺，使既有锚索恢复70%~85%设计承载力。

内置衡重式挡墙与原结构协同工作机制：经理论分析与监测验证，内置挡墙分担土压力，原结构维持整体稳定。

全周期动态监测与预警体系：建立“变形-应力-裂缝”三维监测网络，实现加固效果即时评估与风险管控。

## 7 结论与建议

### 7.1 结论

既有挡墙破坏是多因素耦合结果：填土性质变异致侧压力增35.4%，压实度不足引发1.1m沉降，排水失效造成水压力累积，锚索缺陷致预应力损失25%~40%，结构进入极限状态<sup>[6]</sup>。

“墙背开挖换填+内置衡重式毛石混凝土挡墙+锚索重新锁定”方案实现了新旧结构协同承载，抗滑移系数1.474~1.631，抗倾覆系数1.973~2.351，基底偏心距满足规范。

基于残余抗力评估的利旧加固设计方法，可定量确定新增结构荷载比例（60%~70%），分段跳槽开挖有效控制变形。

### 7.2 建议

邻近挡墙的建（构）筑物基础宜采用桩基础并避开既有锚索。

排水系统应定期检查疏通，确保泄水孔正常工作。

加固后持续监测不少于一个水文年，验证长期稳定性。

### 参考文献

- [1] 既有挡墙预防性利旧加固设计和应用[J]. 低温建筑技术, 2024(5).
- [2] 既有重力式挡墙的失稳原因及加固措施分析[J]. 福建建设科技, 2024(2).
- [3] 黄焱. 预应力锚索抗滑桩加固既有挡墙的优化设计研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- [4] 建筑边坡工程鉴定与加固技术规范: GB50843-2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [5] 建筑边坡工程技术规范: GB50330-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [6] 建筑地基处理技术规范: JGJ79-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.