

山地城市排洪管涵基槽开挖与支护技术分析

——以某职业技术学院排洪管涵工程为例

刘跟容^{1,2*}

1. 四川一州劳务有限责任公司; 2. 中国五冶集团有限公司第四工程分公司

摘要: 山地城市建设过程中, 大规模场地平整往往改变原有地表径流系统, 导致区域排洪能力下降, 同时面临工程沿线填方边坡、高陡边坡及风化岩层交替分布的复杂地质条件。本文提出“放坡喷护+支护桩+扶壁式挡土墙”的分区支护体系, 并采用分层开挖、动态支护和全过程监测相结合的施工方法。结合工程实例, 对支护体系选型、施工关键技术及安全控制措施进行了分析。结果表明, 该支护体系能够有效控制边坡变形和坡体失稳风险, 满足超危大基槽施工安全要求。研究成果可为类似山地城市排洪管涵深基槽工程提供技术参考。

关键词: 排洪管涵; 危大工程; 边坡支护; 山地城市

DOI: 10.65976/3078-8145.2026.03.007

引言

随着城市排涝体系建设不断完善, 排洪管涵工程逐渐成为海绵城市和区域防洪体系建设的重要组成部分。与传统市政管网工程相比, 大型排洪管涵工程具有埋深大、开挖范围广、施工周期长等特点^[1]。当工程位于山区或大面积场平区域时, 由于地形条件复杂、地层差异明显, 深基槽开挖极易引发边坡失稳、坍塌及地表变形等安全问题。

近年来, 学者针对深基坑开挖支护技术开展了相应研究。基槽开挖^[2-4]以控制变形、限时成槽、分层分段为原则^[5-7], 主要包括分层分段逆作法、纵向台阶放坡及支护复合开挖、盆式开挖。支护体系主要按受力模式与构造形式^[8]分为悬臂式、锚拉式、内支撑式、复合式四大类。然而, 超危大排洪管涵基槽受空间与安全约束, 狭长条形深槽空间效应显著, 支护变形与受力不均, 对于长距离排洪管涵深基槽工程的研究相对较少。尤其是在山地城市回填区域, 基槽开挖沿线地层变化频繁, 统一支护模式往往难以兼顾安全性与经济性。

本文依托某职业技术学院排洪管涵工程, 针对最大开挖深度 10.4 m 的超危大基槽, 分析不同地质条件下支护体系的适应性及施工关键技术, 为类似工程提供参考。

1 工程概况

项目位于四川盆地西缘丘陵地貌区。场地原始地形为天然冲沟, 经场平后形成大面积填方区域。由于原有排水沟系被部分掩埋, 导致场区雨洪汇流能力下降, 暴雨期间存在严重积水隐患。

拟建排洪系统采用 2.0 m × 2.5 m 钢筋混凝土箱涵形式, 排洪管涵总长度约 1850 m, 其中开挖深度超过 5 m 的危险性较大工程长度约 870 m, 最大开挖深度达到 10.4 m, 管涵基础承载力要求 ≥ 150 kPa。根据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》^[9], 该工程属于超过一定规模危险性较大的基槽开挖工程, 需组织专家论证后方可实施。

根据勘察成果, 场区地层主要包括人工填土层、强风化砂岩及中风化砂岩。

其中人工填土厚度约 3~6 m, 局部厚度更大, 压实度不均, 强风化砂岩结构较破碎, 中风化砂岩完整性较好, 整体稳定性较高。工程沿线局部存在粉质黏土夹层, 其抗剪强度较低, 是影响边坡稳定的重要因素。主要地层如表 1 所示。地下水主要为大气降雨补给, 季节性上层滞水, 场区未发现稳定地下水位, 因此边坡稳定主要受降雨影响。

表 1 工程主要地层类型及特点

地层类型	特点
人工填土层	粉质黏土、碎石土为主, 压实度不均匀
强风化砂岩	岩体破碎, 节理裂隙发育, 局部呈碎块状
中风化砂岩	岩体较完整, 强度较高, 整体稳定性较好

本工程主要难点如下。

(1) 基槽开挖深度大。最大深度达到 10.4 m, 属于超危大工程, 边坡失稳风险高。

(2) 地层变化复杂。沿线存在填土、强风化岩及中风化岩交替分布现象, 统一支护方案难以满足要求。

(3) 局部临近高填方边坡。K0+525 ~ K0+571 段存在高填方边坡, 开挖后可能引起坡体整体滑移。

(4) 雨季施工影响显著。场区受降雨影响明显, 边坡浸水后强度降低, 易诱发浅层滑塌。

因此, 必须建立针对不同地段特点的差异化支护体系。

2 分区支护体系与深基槽施工关键技术

针对不同区段地质条件及边坡稳定要求, 项目采用分区支护设计思路。

2.1 分区支护体系设计

对于 K0+469.8 ~ K0+652.7 及 K0+854.7 段, 地层主要为中风化砂岩, 整体稳定性较好, 采用放坡喷护支护体系。经边坡稳定分析后采用 1 : 0.75 放坡开挖, 并在坡面喷射 50mm 厚 C20 混凝土进行封闭防护。充分利用岩体自身强度, 通过减载放坡提高边坡稳定性, 同时利用喷射混凝土防止雨水冲刷及风化剥蚀, 与桩锚支护相比, 可显著降低工程造价。

K0+469.8 ~ K0+525.0 段西侧边坡受场地限制, 无法满足放坡条件, 采用支护桩支护体系。支护桩直径 1.0m, 桩间距 3.0m, 桩顶设置 C30 钢筋混凝土冠梁形成整体受力体系。支护桩承担主动土压力, 通过桩体弯曲刚度控制边坡变形。桩间喷射混凝土形成封闭面层, 提高坡体整体性。

K0+525.0 ~ K0+571.1 段邻近高填方边坡, 若采用单一放坡方案, 将导致开挖范围过大并影响既有边坡稳定, 因此采用“支护桩 + 扶壁式挡土墙”联合支护方案。支护桩负责控制深层位移, 扶壁式挡土墙承担上部填土荷载, 两者共同构成复合支护结构。该体系兼顾结构安全与施工经济性, 是本工程的重要技术特点。

Y12 ~ Y13 段存在粉质黏土夹层。为防止浅层滑塌, 采用 1 : 1.5 放坡, 并设置 Φ8@250 × 250 钢筋网, 喷射 100 mm 厚 C20 混凝土。钢筋网与喷射层共同形成柔性加固结构, 提高边坡整体抗剪能力。

2.2 深基槽施工关键技术

为避免一次开挖引起应力集中, 施工采用分层开挖方式。每层开挖深度控制在 2 m 以内。开挖完成后立即进行喷护或支护施工, 形成“开挖一层、支护一层”的动态施工模式, 该措施有效控制了坡体卸荷变形。支护桩采用旋挖钻成孔。成孔后立即进行钢筋笼吊装和混凝土灌注。施工过程中严格控制: 桩位偏差 ≤ 50 mm, 垂直度 ≤ 1%, 桩径偏差 ≤ 50 mm, 保证支护体系受力性能。喷护施工采用湿喷工艺, 喷射顺序由下向上进行, 混凝土一次喷射厚度控制在 30~50 mm。对于挂网段, 先完成钢筋网安装, 再实施喷射施工。

3 安全控制与工程效果分析

为验证排洪管涵深基槽支护方案的合理性, 选取典型深槽断面作为分析对象。该断面基槽最大开挖深度为 10.4 m, 边坡坡率为 1 : 0.75, 坡面采用 50 mm 厚 C20 喷射混凝土进行封闭防护。根据现场地层条件, 计算模型中将边坡岩土体简化为人工填土、强风化砂岩和中风化砂岩三层结构, 采用极限平衡法对边坡稳定性进行分析。计算工况分为四类: 天然工况、暴雨工况、施工超载工况和暴雨 + 施工超载工况。根据安全系数公式:

$$F_s = \frac{c + \gamma H \cos \theta^2 \tan \phi}{\gamma H \sin \theta \cos \theta} \quad (1)$$

式中: F_s 为边坡安全系数; c 为土层粘聚力 (kPa); γ 为土体内摩擦角; H 为基坑深度 (m); θ 为坡角。计算结果如表 2 所示。

表 2 典型断面边坡稳定性计算结果

工况	安全系数	稳定性评价
天然工况	1.48	稳定
暴雨工况	1.25	基本稳定
施工超载工况	1.32	稳定
暴雨 + 施工超载工况	1.17	接近控制值

根据《建筑边坡工程技术规范》^[10], 由计算结果可知, 天然工况下边坡安全系数为 1.48, 满足施工期边坡稳定要求。暴雨工况下, 由于雨水入渗导致岩土体强度参数降低, 安全系数下降至 1.25, 说明降雨是影响边坡稳定的主要不利因素。在暴雨和施工超载共同作用下, 安全系数降至 1.17, 边坡稳定储备进一步降低。因此, 施工过程中应严格控制坡顶堆载, 雨季应加强截排水措施, 避免地表水进入坡体。

为进一步分析施工过程中边坡变形规律, 选取坡顶水平位移和地表沉降作为主要监测指标^[11], 监测数据如表 3 所示。监测结果表明, 随着基槽分层开挖深度增加, 边坡变形呈逐渐增大趋势。当每层开挖完成并及时喷护后, 位移增长速率明显减小, 说明“分层开挖、分层支护”的施工方法能够有效控制边坡变形。

从监测结果可以看出, 坡顶水平位移最大值为 18.1 mm, 坡顶沉降最大值为 12.2 mm, 均处于可控范围内。边坡变形主要集中在土方开挖阶段, 喷护完成后变形增长趋缓, 说明喷射混凝土封闭防护对提高坡面整体性和抑制浅层变形具有明显作用。

综合稳定性计算和变形监测分析可知, 本工程采用的放坡喷护、支护桩及扶壁式挡土墙联合支护方案能够适应不同区段地质条件, 边坡整体稳定性满足施工要求。暴雨及坡顶堆载是影响边坡稳定的关键因素,

表3 典型监测点变形数据

施工阶段	开挖深度 (m)	坡顶水平位移 (mm)	坡顶沉降 (mm)
初始阶段	0	0.0	0.0
第一层开挖	2	2.3	1.6
第二层开挖	4	5.1	3.4
第三层开挖	6	8.6	5.8
第四层开挖	8	12.4	8.1
开挖至槽底	10.4	16.8	11.3
喷护完成后	10.4	17.5	11.8
箱涵施工阶段	10.4	18.1	12.2

施工过程中应重点加强雨季排水、坡顶荷载控制和动态监测。

4 结论

本文针对长距离排洪管涵深基槽工程,采用分区支护设计提高支护体系适应性。对于中风化砂岩地层,1:0.75放坡配合50mm厚喷射混凝土具有良好的技术经济性,支护桩与扶壁式挡土墙联合支护体系能够有效控制高填方边坡变形,分层开挖与动态支护施工模式是保证超危大基槽安全施工的关键措施。工程实践表明,该支护体系及施工组织方法能够满足超危大排洪管涵基槽施工要求,具有良好的适应性和推广价值,可为山区场平区域、大埋深排洪管涵及类似线性深基槽工程的设计与施工提供参考。

参考文献:

- [1] 孙成强.山区建筑排洪对策分析[J].东北水利水电,2020,38(2):58-60.
- [2] 胡昔正.建筑工程基槽开挖及桩基施工处理技术研究[J].四川水泥,2019(5):275.
- [3] 秦艳彬.基槽开挖技术与质量控制措施研究[J].珠江水运,2023(6):80-82.
- [4] 何银华,孙守勇.市政工程施工中的深基坑开挖支护关键技术探究[J].建材发展导向,2025,23(15):43-45.
- [5] 赵特庆.基坑开挖稳定性分析与支护结构优化设计[J].四川水泥,2026(1):77-78+81.
- [6] 耿鹏超,卢仲鑫,高天明.复杂环境下软土基坑开挖三阶段倒边支护设计与应用[J].施工技术(中英文),2026,55(6):99-103.
- [7] 任卓韬,韩正.深基坑开挖支护技术在市政工程施工中的应用[J].工程与建设,2026,40(2):310-312+316.
- [8] 向春华.市政工程施工中的深基坑开挖支护关键技术探究[J].城市建设理论研究(电子版),2026(17):96-98.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部令第37号《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》[S].
- [10] GB 50330-2002 建筑边坡工程技术规范[S].
- [11] 高元鹏.建筑工程深基坑开挖支护监测与优化设计分析[J].中国住宅设施,2025,(10):149-151.