

砂石换填法基坑支护的边坡稳定性研究

邹甲甲

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：砂石换填法在基坑工程中应用广泛，其边坡稳定性直接关乎工程安全与施工质量。研究结合土质条件、地下水情况、基坑开挖参数及施工因素，系统分析影响砂石换填法基坑支护边坡稳定性的关键要素。通过理论分析与工程实践总结，提出优化土质处理、加强地下水控制、合理规划开挖及规范施工等提升稳定性措施，为保障基坑工程安全、提高施工效率提供理论依据与技术参考，对推动砂石换填法在基坑支护中的科学应用具有重要意义。

关键词：砂石换填法；基坑支护；边坡稳定性

引言

随着城市化进程加快，深基坑工程日益增多，砂石换填法作为改善地基土物理力学性能的常用方法，在基坑支护中应用频繁。然而，边坡稳定性受多种复杂因素影响，土质差异、地下水变化、不合理开挖及施工荷载等，均可能引发边坡失稳事故，威胁工程安全与周边环境。深入研究砂石换填法基坑支护边坡稳定性意义重大。本文通过剖析影响因素，提出针对性措施，旨在为基坑工程设计与施工提供科学指导，助力提升工程安全水平与经济效益。

1 砂石换填法与基坑支护概述

1.1 砂石换填法

砂石换填法作为地基处理的重要手段，是将基础底面以下一定范围内的软弱土层或不良土层挖除，然后分层回填级配良好的砂石材料，并经夯实或振密，以提高地基承载力、减少沉降的地基处理方法。其核心在于利用砂石材料本身强度高、压缩性低、透水性良好的特性，通过合理控制砂石的粒径级配、含泥量等指标，形成稳定的换填层。在施工过程中，根据工程实际需求，采用机械碾压、重锤夯实或振动压实等方式，使砂石颗粒相互嵌挤密实，增强地基的整体稳定性。砂石换填法适用于处理浅层软弱地基及不均匀地基，能够有效改善地基土的物理力学性质，降低建筑物的沉降量，提高建筑物的抗震性能，为上部结构提供可靠的支撑基础。在实际工程应用中，通过精确计算换填深度、合理确定砂石配合比和施工工艺，确保换填后的地基满足设计要求。

1.2 基坑支护

基坑支护是为保证地下结构施工及基坑周边环境的安全，对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护措施。在城市建设等地下工程施工中，随着基坑开挖深

度的增加，基坑侧壁土体在土压力、地下水压力等作用下，极易发生坍塌、滑动等失稳现象，基坑支护正是为解决此类问题而存在。其体系包含多种形式，如排桩支护、地下连续墙、水泥土搅拌桩挡墙、土钉墙等。排桩支护通过在基坑周边设置钢筋混凝土桩，形成连续或间隔的桩排，抵抗土体侧压力；地下连续墙则是在地面上采用专门的挖槽设备，沿着深开挖工程的周边轴线，在泥浆护壁条件下，开挖出一条狭长的深槽，清槽后在槽内吊放钢筋笼，然后用导管法灌注水下混凝土，筑成一个单元槽段，如此逐段进行，以形成一道连续的地下墙体。这些支护形式依据工程地质条件、基坑开挖深度、周边环境等因素进行合理选择和组合，同时结合内支撑或锚杆等辅助结构，共同构成稳定的基坑支护体系，确保基坑在开挖及地下结构施工过程中的安全稳定，有效控制基坑变形，避免对周边建筑物、地下管线等造成不良影响。

2 影响砂石换填法基坑支护边坡稳定性的因素

2.1 土质条件

土质条件是影响砂石换填法基坑支护边坡稳定性的基础要素，其物理力学性质直接决定边坡土体的承载能力与抗变形能力。不同类型的土具有独特的颗粒级配、孔隙比及含水量等特性，这些特性相互作用，显著影响边坡的稳定性。例如，黏性土因具有较高的黏聚力，在一定程度上能够抵抗土体的滑动，然而其渗透性较差，当遇水时，孔隙水压力增加，有效应力减小，土体强度降低，易引发边坡失稳。砂土的黏聚力几乎为零，其抗剪强度主要依赖内摩擦角，松散的砂土在振动或外力作用下，极易发生颗粒间的相对移动，导致边坡整体稳定性下降。土的密实度也是关键因素，密实度高的土体，颗粒间的咬合作用强，结构稳定，能更好地承受上部荷载与外部扰动；反之，松散的土体则容易在自重或外部

荷载作用下发生压缩变形,进而破坏边坡的稳定性。土层的分布情况也不容忽视,若存在软弱夹层或不均匀土层,在基坑开挖过程中,应力分布会发生改变,极易在软弱部位形成滑动面,引发边坡坍塌^[1]。

2.2 地下水情况

地下水对砂石换填法基坑支护边坡稳定性的影响极为复杂且重要。地下水的存在改变了土体的力学性质,增加了土体的重度,降低了土体的抗剪强度。当基坑内地下水位较高时,水会填充土体孔隙,产生孔隙水压力,使得土体颗粒间的有效应力减小,导致土体抗剪强度降低。例如,在砂性土中,地下水的渗流作用会产生动水压力,若动水压力超过土体的抗渗强度,就会引发流砂现象,使边坡土体颗粒被水流带走,造成边坡局部坍塌,进而影响整体稳定性。地下水的升降变化也会对边坡稳定性产生不利影响。地下水位快速下降时,土体孔隙中的水迅速排出,孔隙水压力骤减,有效应力突然增大,土体结构来不及调整,可能导致边坡产生较大的沉降和位移;地下水位上升时,土体处于饱和状态,强度降低,同时水对边坡土体的侵蚀和软化作用加剧,进一步削弱边坡的稳定性。地下水的流动还可能引起土体的潜蚀作用,在土体内部形成空洞,破坏土体的完整性,增加边坡失稳的风险。

2.3 基坑开挖深度与坡度

基坑开挖深度与坡度是影响砂石换填法基坑支护边坡稳定性的直接因素。随着基坑开挖深度的增加,边坡土体所承受的自重应力增大,使得边坡下滑力相应增加。根据土力学原理,土体的下滑力与开挖深度的平方成正比,当开挖深度超过一定限度时,边坡土体的抗滑力若无法与之平衡,就会导致边坡失稳。例如,在相同土质条件下,开挖深度较大的基坑,其边坡更容易出现坍塌现象。基坑开挖坡度也对边坡稳定性起着关键作用。较陡的开挖坡度会减小边坡土体的抗滑力臂,增大下滑力,降低边坡的安全储备;较缓的开挖坡度虽然可以增加抗滑力,但会占用更多的施工场地,增加工程成本。基坑开挖过程中,边坡的形态和轮廓也会发生变化,不合理的开挖方式可能导致边坡局部应力集中,引发土体的局部破坏,进而扩展至整个边坡,造成边坡失稳。在基坑开挖前,需要根据土质条件、周边环境等因素,科学合理地确定开挖深度和坡度,以确保边坡的稳定性^[2]。

2.4 施工工艺与荷载作用

施工工艺与荷载作用对砂石换填法基坑支护边坡稳定性有着重要影响。在施工工艺方面,砂石换填的质量

直接关系到边坡的稳定性。换填过程中,若砂石的级配不合理、压实度不足,会导致换填层的承载能力和抗剪强度不达标,无法有效支撑边坡土体,增加边坡失稳的风险。例如,砂石粒径过大或过小,都会影响其压实度和整体强度;压实机械的选择不当或压实遍数不足,也会使换填层存在松散区域。基坑开挖的施工顺序和方法也至关重要。如果采用不合理的开挖顺序,如先开挖中部后开挖周边,会导致边坡土体应力释放不均衡,引发边坡变形;快速开挖可能使土体来不及适应应力变化,产生较大的超孔隙水压力,降低土体强度。在荷载作用方面,基坑周边的堆载、车辆行驶等外部荷载会增加边坡土体的附加应力。当这些荷载超过边坡土体的承载能力时,会改变边坡的应力分布,增大下滑力,破坏边坡的稳定性。例如,在基坑周边大量堆放建筑材料或重型车辆频繁通行,会使边坡土体承受过大的压力,导致边坡出现裂缝甚至坍塌。

3 提高砂石换填法基坑支护边坡稳定性的措施

3.1 优化土质处理与换填设计

(1) 砂石换填前,需对基坑原始土质开展全面勘察与分析。采用现场取样与室内土工试验相结合的方式,精准测定土体含水量、孔隙比、抗剪强度等物理力学指标。若遇淤泥质土、湿陷性黄土等不良土质,应预先处理,可掺入生石灰、水泥等固化剂改良土体,提升其承载与抗变形能力,降低因土质问题引发边坡失稳的风险。(2) 合理选择砂石换填材料是关键,砂石的粒径、级配、含泥量等指标对换填效果影响显著。应优先选用级配良好、质地坚硬的砂石,最大粒径不超过50mm,含泥量控制在3%以内。需依据基坑工程特点与受力需求,科学设计换填厚度,使其满足基底应力扩散要求,通过计算确保换填后复合地基承载力达标,使换填层有效分散上部荷载,增强边坡土体整体稳定性。(3) 换填施工过程中,要严格把控砂石压实质量,采用分层填筑、分层压实工艺。每层填筑厚度根据压实机械类型确定,一般控制在20-30cm,用振动碾、平板夯等设备压实,压实度须达设计要求的95%以上。通过环刀法、灌砂法等检测手段实时监测压实质量,保证换填土体密实度均匀,防止因局部压实不足造成边坡不均匀沉降或滑动。

3.2 加强地下水控制

(1) 基坑施工前需开展详细的水文地质勘察工作,掌握地下水的类型、水位埋深、含水层厚度、渗透系数等关键参数,以此为依据制定科学合理的地下水控制方案。对于地下水位较高的区域,可采用降水井、轻型井点等降水方法,将地下水位降至基坑底面以下0.5-1.0m,

有效降低地下水对边坡土体的浮力与渗透压力,提高土体的有效应力与抗剪强度。(2)合理设置截水沟与排水沟,在基坑周边地表设置截水沟,拦截地表水流入基坑,截水沟的断面尺寸与坡度应根据基坑周边汇水面积与降雨量计算确定,确保排水顺畅。在基坑内部设置排水沟与集水井,排水沟沿基坑底四周布置,坡度不小于0.3%,集水井间距根据排水量确定,一般为20-30m,通过水泵及时将集水井内的积水抽排至基坑外,避免基坑内积水浸泡边坡土体,影响其稳定性。(3)对于渗透系数大的地层,可采用帷幕灌浆、高压旋喷桩等止水帷幕技术,在基坑周边构筑连续帷幕,截断地下水渗流路径,减少基坑内外水力联系。其深度与厚度应依水文地质及基坑开挖深度设计,保障止水效果,防止地下水从帷幕底或两侧渗入引发边坡失稳坍塌^[3]。

3.3 合理确定开挖深度与坡度

(1)确定合理开挖深度需综合基坑地质条件、周边环境及支护结构类型,运用土力学理论与数值模拟方法分析。土质佳且周边无重要建(构)筑物的基坑,可适当加深开挖,但须经稳定性验算确保边坡安全;土质差或周边环境复杂的基坑,应严格控制开挖深度,以防边坡失稳。开挖深度应与设计工况适配,遵循分阶段、分层开挖原则,严禁超挖。(2)边坡坡度确定要全面考量土体抗剪强度、地下水状况及基坑暴露时间。借助边坡稳定性分析软件,对不同坡度进行验算,选取满足安全系数要求的坡度。通常,砂土、粉土等稳定性差的土体,边坡坡度不宜过陡,可采用1:1.5-1:2.0;黏性土等稳定性较好的土体,坡度可适当加大,但同样需经稳定性验算,确保施工及使用阶段安全。(3)开挖时需依实际地质动态调整开挖深度与坡度。遇地质条件与勘察报告不符,如软弱夹层、地下水异常等情况,应即刻组织设计、施工单位会商,重新评估边坡稳定性,视情调整方案,采取增设支护、放缓坡度等措施,并严控开挖速度防边坡失稳。

3.4 规范施工工艺与控制荷载

(1)严格依施工方案与技术规范开展砂石换填施工,强化过程质量控制。摊铺砂石时,确保厚度均匀,

杜绝局部过厚或过薄;压实作业遵循“先轻后重、先慢后快”原则,按规定的压实遍数与行驶速度操作,保证压实质量。做好施工记录,详细记录每层填筑厚度、压实度等指标,以便质量追溯与把控。(2)合理管控基坑周边施工荷载,严禁在基坑边坡坡顶附近堆放大量建筑材料、土方等重物,防止超载使边坡土体应力增大、引发失稳。施工机械停放与运行应远离边坡边缘,结合土体承载能力确定安全距离,一般大型施工机械与边坡边缘距离不宜小于3m。若存在无法避免的临时荷载,要进行荷载计算与稳定性验算,并采取相应防护措施,保障边坡安全。(3)强化施工监测,在基坑边坡及周边设置位移监测点、沉降监测点,运用全站仪、水准仪等设备,实时监测边坡水平位移、沉降变形等指标。监测频率依施工进度与基坑安全状况调整,基坑开挖期间每天至少监测1-2次;若变形速率加快或出现异常,加密监测并及时反馈数据,以便施工与设计单位采取应急措施,确保基坑边坡施工安全稳定^[4]。

结语

综上所述,砂石换填法基坑支护边坡稳定性受土质、地下水、开挖参数及施工等多因素共同作用。通过系统研究各影响因素,并提出优化土质处理、强化地下水控制、合理规划开挖及规范施工等措施,可有效提升边坡稳定性。未来,需进一步结合新技术、新理论,深化对复杂工况下砂石换填法基坑支护边坡稳定性的研究,完善相关技术体系,为基坑工程安全高效建设提供更有力保障。

参考文献

- [1]朱尚军.整体超深淤泥质土基坑支护和基础施工处置方法分析[J].安徽建筑,2024,31(8):137-139.
- [2]尚成明.内支撑支护体系基坑肥槽回填技术[J].建筑技术,2024,55(24):3043-3046.
- [3]胡海波.基于岩土工程勘察数据的基坑边坡稳定性分析[J].石材,2025(4):31-33,147.
- [4]王立,张景蕾.水工环地质条件与基坑边坡稳定性[J].中国金属通报,2024(8):182-184.