

# 软土地基的桥梁隧道施工技术探讨

裴生立

山东省路桥集团有限公司 山东 济南 250014

**摘要:** 在桥梁隧道工程中,软土地基因承载力低、易变形等特性,对施工技术提出高要求。本文聚焦软土地基的桥梁隧道施工技术,从桥梁基础、下部及上部结构施工,到隧道开挖、支护、防排水及衬砌施工等方面展开探讨,分析施工沉降、变形及土体稳定控制等关键技术要点,并从施工工艺、材料、设备及管理层面提出优化方向,为提升软土地基桥梁隧道施工质量与安全性提供参考。

**关键词:** 软土地基;桥梁隧道;施工技术;沉降控制;优化方向

引言:软土地基广泛分布于各类地质环境中,其高含水量、低强度及高压缩性等特性,给桥梁隧道工程带来诸多挑战。在桥梁施工中,软土地基易引发桩基沉降、桥墩变形等问题;隧道施工中,则可能导致开挖面失稳、衬砌开裂等隐患。因此,深入研究软土地基的桥梁隧道施工技术,通过科学合理的施工方法与关键技术控制,对于保障工程结构安全、提升施工质量、延长使用寿命具有重要意义。

## 1 软土地基桥梁施工技术

### 1.1 软土地基桥梁基础施工技术

桩基施工技术依托桩体与软土间摩阻力及端承力传递上部荷载,有效规避软土地基承载力不足问题,施工中需严格控制桩身垂直度与混凝土浇筑质量,避免桩体出现断裂或沉陷。桩基施工是桥梁基础施工的关键环节,其质量直接关系到桥梁的整体稳定性<sup>[1]</sup>。在软土地基中,桩基施工不仅要考虑桩体自身的强度和稳定性,还要考虑桩与周围软土的相互作用,确保荷载能够有效传递。沉井施工技术通过预制沉井结构逐步下沉至设计标高,利用自身重量克服软土阻力,下沉过程中需做好土体稳定控制,防止沉井倾斜或偏移。换填施工技术选取强度高、稳定性好的材料替换软土地层,提升地基承载性能,换填过程需保证分层铺设与压实质量,确保换填层与原地基衔接紧密。夯实加固施工技术借助机械夯实作用,减小软土孔隙比、提高土体密实度,增强地基承载力,施工中需合理控制夯实力度与频次,避免过度夯实破坏土体结构。

### 1.2 软土地基桥梁下部结构施工技术

桥墩施工技术需结合软土地基变形特性,合理选择桥墩结构形式,施工过程中注重模板安装精度与混凝土浇筑工艺,减少结构变形。桥墩是桥梁下部结构的重要组成部分,其稳定性直接影响到桥梁的整体安全。在软

土地基中,桥墩的设计和施工要充分考虑软土的变形特性,选择合适的结构形式,并在施工过程中严格控制模板安装和混凝土浇筑质量,减少结构变形。桥台施工技术重点解决软土地基沉降对桥台稳定性的影响,施工中需做好台背回填处理,控制回填材料质量与压实度,避免桥台出现位移或开裂。支座安装施工技术需保证支座与桥墩、梁体衔接紧密,根据软土地基沉降特点选取适配支座类型,安装过程中严格控制支座标高与水平度,确保支座能够有效传递荷载、适应梁体转动与位移需求。

### 1.3 软土地基桥梁上部结构施工技术

预制构件架设施工技术需提前在工厂完成构件预制,运输至施工现场后精准架设,架设过程中控制构件定位精度,避免因软土地基不均匀沉降导致构件衔接偏差。现浇梁施工技术需结合软土地基变形规律,合理设置施工支架,支架搭设需满足承载力与稳定性要求,浇筑过程中控制混凝土初凝时间与浇筑速度,减少梁体裂缝产生。桥面铺装施工技术需保证铺装层平整度与压实度,选取抗裂、耐磨材料,施工中做好防水层铺设,避免雨水渗透影响软土地基稳定性,同时兼顾铺装层与梁体的衔接性,提升桥面整体承载性能。

## 2 软土地基隧道施工技术

### 2.1 软土地基隧道开挖施工技术

台阶法开挖技术按照自上而下的顺序划分台阶分层开挖,台阶高度控制在3~5m,台阶长度控制在5~10m,契合软土地体变形特性,开挖过程中及时完成初期支护,支护滞后开挖面距离不超过3m,减少土体暴露时间以控制沉降。CD法开挖技术将隧道断面分为左右两部分分步开挖,每部分分层厚度不超过2m,每部分再分层推进,通过分区支护提升开挖过程中的土体稳定性,适配软土地层易坍塌的施工难点<sup>[2]</sup>。CRD法开挖技术在CD法基础上进一步细化分区,将隧道断面划分为多个小导坑

逐一开挖支护, 导坑尺寸控制在 $2.5\text{m}\times 3.0\text{m}$ , 有效限制软土地体变形, 适用于地质条件更为复杂的软土地段。双侧壁导坑法开挖技术先开挖隧道两侧导坑并完成支护, 导坑间距控制在 $8\sim 12\text{m}$ , 再开挖中间核心土, 利用两侧导坑支护结构约束中间土体变形, 能有效应对软土地基承载力低、沉降量大的问题。

## 2.2 软土地基隧道支护施工技术

喷射混凝土支护技术采用高压喷射方式将混凝土均匀覆盖于隧道开挖轮廓面, 快速形成支护结构, 填补土体裂隙、约束土体变形, 增强开挖面稳定性。喷射混凝土厚度一般根据围岩条件确定, 对于软土地基, 喷射混凝土厚度宜为 $10\sim 20\text{cm}$ 。锚杆支护技术将锚杆植入软土地层深部, 通过锚杆与土体的粘结作用传递支护力, 加固周边土体, 减少土体位移, 与喷射混凝土配合形成联合支护体系。锚杆长度一般根据软土地层厚度和支护要求确定, 通常为 $3\sim 8\text{m}$ 。钢支撑支护技术根据隧道断面尺寸加工钢支撑, 安装后及时与喷射混凝土结合, 依托钢支撑的高强度特性承受土体压力, 有效控制软土地体收敛变形。管棚支护技术在隧道开挖前预设管棚结构, 利用管棚的超前支护作用加固开挖前方土体, 阻挡土体坍塌, 为后续开挖施工提供安全保障, 适用于软土地层超前支护需求, 管棚直径一般为 $89\sim 159\text{mm}$ , 间距为 $0.3\sim 0.5\text{m}$ 。

## 2.3 软土地基隧道防排水施工技术

防水卷材铺设技术选取适配软土地基变形的防水卷材, 按照规范要求铺设于隧道衬砌表面, 铺设过程中控制卷材搭接宽度与铺设平整度, 杜绝卷材破损或搭接不严导致的渗水问题。止水带安装技术在隧道衬砌施工缝、变形缝处安装止水带, 合理控制止水带安装位置与固定方式, 确保止水带与衬砌混凝土紧密结合, 阻断渗水通道。排水盲管布设技术沿隧道周边布设排水盲管, 结合软土地层渗水量合理设置盲管间距, 引导地下水排出, 降低隧道内部水压, 避免地下水渗透破坏衬砌结构。衬砌防水施工技术在衬砌混凝土浇筑过程中掺入防水剂, 提升混凝土自身抗渗性能, 同时优化浇筑工艺, 减少混凝土裂缝, 形成衬砌自身防水屏障。

## 2.4 软土地基隧道衬砌施工技术

初期衬砌施工技术紧随隧道开挖工序进行, 采用喷射混凝土与钢支撑、锚杆联合支护形式, 快速形成初期支护结构, 承受土体初期压力, 控制软土地体变形。二次衬砌施工技术在初期支护变形稳定后进行, 采用模筑混凝土施工, 浇筑过程中控制混凝土配合比与浇筑速度, 确保衬砌厚度均匀、强度达标, 进一步增强隧道结构承载力与稳定性。衬砌背后回填技术针对衬砌与围岩

之间的空隙进行回填处理, 选取强度适宜、压缩性小的回填材料, 采用分层回填、分层压实的方式, 确保回填密实, 避免回填不密实导致衬砌受力不均, 进而引发结构开裂或变形。

## 3 软土地基桥梁隧道施工关键技术要点

### 3.1 施工沉降控制技术要点

施工沉降控制需结合软土地基固结特性, 贯穿施工全过程, 通过精准监测数据调整施工参数。施工前需完成地基沉降基准观测, 建立完善的沉降监测体系, 实时跟踪沉降速率与累计沉降量<sup>[3]</sup>。开挖及支护施工中, 合理控制施工进度, 避免开挖扰动过大引发地基不均匀沉降。桥梁基础施工中, 优化桩基施工工艺, 控制成孔质量与混凝土浇筑速度, 减少桩基施工对周边软土地层的扰动。隧道施工中, 缩短土体暴露时间, 及时完成支护结构施工, 通过分层开挖、分层支护的方式逐步释放土体应力, 有效抑制沉降发展。同时优化回填工艺, 确保回填材料密实度, 减少回填层后期沉降, 保障施工全过程沉降量控制在规范允许范围。

### 3.2 施工变形控制技术要点

施工变形控制核心在于规避软土地体受力不均引发的结构及土体变形, 需结合施工各环节特点制定针对性控制措施。隧道开挖阶段, 合理划分开挖断面与开挖顺序, 优化开挖参数, 避免局部土体受力集中导致的收敛变形。支护施工中, 确保支护结构安装精度与施工质量, 使支护结构与土体紧密结合, 充分发挥支护作用, 约束土体变形。桥梁下部结构施工中, 控制模板安装精度, 优化混凝土浇筑工艺, 减少结构浇筑过程中的变形, 同时根据软土地基变形规律, 合理设置支座, 适配结构后期变形需求。施工过程中持续开展变形监测, 根据监测数据动态调整施工方案, 及时遏制变形超标问题, 保障桥梁隧道结构形态稳定。

### 3.3 施工过程中的土体稳定控制要点

土体稳定控制是软土地基桥梁隧道施工的核心前提, 需从土体加固、施工扰动控制、排水防护等多方面协同推进。施工前需对软土地层进行预处理, 通过换填、夯实等技术提升土体密实度与承载力, 为后续施工奠定稳定基础。隧道开挖过程中, 严格控制开挖扰动范围, 避免过度扰动导致土体结构破坏, 引发坍塌风险。施工过程中做好排水处理, 及时排出软土地层中的地下水, 降低土体含水量, 提升土体抗剪强度与稳定性。桥梁基础施工中, 合理选择施工工艺, 减少桩基成孔、沉井下沉等工序对周边土体的扰动, 避免土体产生滑动或坍塌。此外, 需根据软土地层特性, 优化施工时序, 确

保各工序衔接合理,形成土体稳定的闭环控制,保障施工安全。

#### 4 软土地基桥梁隧道施工技术优化方向

##### 4.1 施工工艺优化

施工工艺优化需立足软土地基工程特性,结合现有施工技术短板,通过工艺革新提升施工效率与质量。针对软土地基开挖扰动大、沉降控制难等问题,优化隧道开挖分层厚度与推进速度,结合地层变形监测数据动态调整开挖节奏,减少土体暴露时间与扰动范围<sup>[4]</sup>。桥梁基础施工中,优化桩基成孔与混凝土浇筑工艺,采用精准定位技术控制桩身垂直度,改进浇筑连续性,减少桩体缺陷。支护施工环节,优化喷射混凝土配比与喷射压力,完善锚杆安装与锚固工艺,强化支护结构与土体的衔接效果。优化工序衔接逻辑,合理规划各施工环节时间节点,避免工序脱节导致的施工延误与质量隐患,实现施工工艺精细化、高效化升级。

##### 4.2 施工材料优化

施工材料优化核心是选取适配软土地基变形特性、强度与耐久性兼具的材料,提升工程结构稳定性与使用寿命。针对软土地基沉降与变形特点,优化混凝土配合比,掺入高性能掺合料提升混凝土抗裂性与抗渗性,适配软土地体的不均匀变形。支护材料选用上,采用高强度、耐腐蚀的锚杆与钢支撑材料,提升支护结构的承载能力与抗老化性能,延长使用寿命。防水材料优化聚焦抗变形与密封性,选取柔韧性强、抗撕裂的防水卷材与止水材料,适配软土地基的后期沉降,杜绝渗水隐患。回填材料选用压缩性小、密实度高且与软土地层适配性好的材料,优化材料级配,提升回填层稳定性,减少后期沉降变形。

##### 4.3 施工设备优化

施工设备优化需结合软土地基施工难点,引入智能化、高效化设备,提升施工精度与效率,降低人为操作误差。隧道开挖设备优化方面,采用小型化、高精度开挖机械,搭配智能监测系统,实现开挖过程精准控制,减少土体扰动。桥梁基础施工中,优化桩基施工设备,采用自动化成孔与浇筑设备,提升成孔质量与浇筑效率,减少施工过程中的人为干预。支护施工设备选用高

效喷射混凝土机械与锚杆安装设备,确保支护材料铺设与安装的均匀性和密实度。引入智能化监测设备,实现施工过程中沉降、变形及土体稳定性的实时监测,为施工参数调整提供数据支撑,通过设备升级推动施工技术向智能化、精准化发展。

##### 4.4 施工管理优化

施工管理优化需围绕软土地基施工特殊性,构建精细化、规范化管理体系,保障施工全过程有序推进。建立完善的施工管理制度,明确各岗位职责,规范施工流程,杜绝管理漏洞导致的质量与安全隐患。优化施工人员管理,加强专业技能培训,提升施工人员对软土地基施工技术的掌握程度,规范操作流程,降低人为失误影响<sup>[5]</sup>。完善施工监测管理,建立全方位监测机制,明确监测频率与标准,及时整理分析监测数据,为施工方案调整提供科学依据。优化施工进度管理,结合软土地基施工特性合理制定进度计划,动态调整施工节奏,平衡施工进度与工程质量,确保施工任务有序完成。

#### 结束语

软土地基的桥梁隧道施工涉及多环节、多技术的协同应用,需从施工工艺、材料、设备及管理等多维度综合优化。通过精准控制施工沉降与变形、强化土体稳定措施,并不断革新施工技术与管理模式,能够有效应对软土地基带来的施工难题,确保桥梁隧道工程在复杂地质条件下的安全性与稳定性,为同类工程建设提供可靠的技术支撑与实践经验。

#### 参考文献

- [1]赵锡伟.软土地基的桥梁隧道施工技术探讨[J].建筑工程技术与设计,2021(20):379.
- [2]万颜畅.软土地基桥梁隧道施工技术改进措施分析[J].工程技术研究,2022,7(5):79-81.
- [3]王长辉.软土地基对桥梁隧道施工产生的危害及处理措施研究[J].运输经理世界,2021(6):97-98.
- [4]任振华.软土地基对桥梁隧道施工的危害和处理对策[J].建筑技术研究,2022,5(3):52-54.
- [5]田媛媛.软土地基桥梁隧道施工技术改进研究[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(8):1981-1982.