

高速公路桥梁施工中的地基处理技术

张 默 徐义东

山东省路桥集团有限公司 山东 济南 250000

摘 要: 高速公路桥梁施工涉及多种复杂地质条件,地基处理质量直接关乎桥梁结构安全与使用寿命。本文围绕换填、压实夯实、排水固结、注浆加固及桩体复合地基等常用技术,系统阐述各类方法的施工机理与工艺要点,并结合不同桥型对地基承载与变形控制的差异化需求,探讨标准化施工流程与分层衔接工艺。针对施工过程中的材料管控、工序质量控制及常见技术问题提出防控措施,为提升高速公路桥梁地基处理施工水平提供技术参考。

关键词: 高速公路桥梁;地基处理;软土地基;复合地基;施工工艺

引言: 高速公路线路跨越区域广,沿线地质条件多变,桥梁基础所承受的地层环境差异显著。软土、杂填土、风化岩层交错分布的现实状况,对地基处理技术的适配性与施工精度提出了更高要求。换填、压实、注浆、桩基复合等技术手段在实际工程中各有侧重,如何依据场地特性与桥型荷载特征合理选用工艺,并在施工全流程中把控质量,成为保障桥梁结构长期稳定运行的关键所在。

1 高速公路桥梁地基基础特性与施工要求

1.1 桥梁地基基本类型与结构特点

高速公路桥梁施工现场岩土组成存在明显差异,场地条件的不同会形成属性各异的地基形态,适配不同的桥梁布设方式。天然地基保留场地原始的岩土堆积状态,土层整体分布较为稳定,土体均匀程度直接影响基础承载能力的初始状态^[1]。人工地基经过针对性的填筑、压实与加固处理,土体密实度与整体结构性得到有效提升,可以满足大跨度桥梁对基础承载的作业需要。软土地基内部含水比例高,土体孔隙发育、结构松散,整体抗变形能力偏弱,极易受到外部荷载的影响产生形变。岩石地基岩体排布紧密,整体刚度与结构完整性表现良好,在外力作用下产生的沉降幅度较小,结构状态更加稳定。

1.2 高速公路桥梁地基施工工况特征

高速公路桥梁线路延伸距离远,建设跨度覆盖多种地形地貌,施工现场的作业条件存在明显的区域差别。多数桥梁点位布置在野外露天环境,地表起伏变化频繁,场地规整处理难度偏大,现场可利用的作业空间容易受到自然地形约束。沿线水系分布交错,部分施工区域毗邻河道与沟渠,土层长期处于水浸状态,土体物理

指标会随水环境作用产生持续变化。场地内部地质层次排布杂乱,软土、杂填土、风化岩层相互交错叠加,不同区域的土层稳定状态存在明显区别。

1.3 桥梁地基处理的施工基本原则

高速公路桥梁地基处理作业需要结合现场真实地质状态推进,依据土层结构特征与承载基础条件制定适配的施工方案。施工推进过程注重对原有地层的保护与改良,控制施工扰动范围,规避不当作业破坏原生稳定土层,保持场地基础结构的完整状态。结合桥梁整体受力与荷载传递特点选用适配工艺,针对性改善土体密实程度,提升地基整体承载水平,优化土体抵抗沉降与形变的能力。依照循序渐进的作业节奏排布施工工序,分层开展土体加固、结构规整与层级压实等施工内容,稳步完成地基改良作业。

1.4 不同桥型对应的地基施工需求

小型简支桥梁结构受力均衡,整体荷载分布相对平稳,对地基整体承载水平要求较低,施工过程重点把控基础沉降的均匀程度。连续梁桥梁体跨度更大,荷载传递路径覆盖范围更广,地基施工需要着重提升整体结构刚度,减少不均匀形变的产生。刚构桥梁受力节点相对集中,局部位置承受的荷载强度更高,地基施工需要强化受力关键区域的土体加固强度。大跨度悬索桥与拱桥自身自重荷载大,整体受力体系复杂,对地基承载强度、结构稳定性及抗形变能力都有着更高的施工标准。

2 高速公路桥梁施工常用地基处理技术类型

2.1 换填类地基处理技术

换填类处理技术多用于浅层软弱地基的改造作业,通过挖除场地内部稳定性较差的软弱土层,替换强度更

高、稳定性更好的优质填料, 换填深度一般为 0.5 ~ 3.0 m。施工过程分层完成填料铺设与压实作业, 每层铺填厚度控制在 20 ~ 40 cm, 逐层控制填筑厚度与压实质量, 改善浅层土体松散、承载力不足的问题^[2]。填料多选用碎石、砂砾、素土等稳定性优良的材料, 碎石粒径一般为 5 ~ 40 mm, 依托材料自身高强度特性优化基础受力条件。技术操作流程简洁, 作业干扰范围较小, 适配浅层软土、杂填土等不良地质的基础改造工作。

2.2 压实夯实类地基处理技术

压实夯实类技术依托机械外力作用改变土体内部结构, 缩减土体孔隙空间, 提升原状土层密实程度。常规施工依托碾压、强夯等机械作业方式, 对表层及浅层土体施加冲击与挤压作用, 重塑土体堆积结构。作业过程根据场地土层状态调整机械作业参数, 控制夯实力度与作业频次, 均匀提升整片场地的土体密实度。该类技术适用于填土、粉土等松散土层的加固处理, 可以有效改善土体压缩性, 提升浅层地基的整体承载能力。

2.3 排水固结类地基处理技术

排水固结类处理技术主要针对高含水、高压缩性的软土地基开展加固作业, 通过搭建排水通道加速土体内部水分排出。施工过程在土层内部设置竖向排水结构, 配合表层排水铺设, 缩短水体渗透路径, 加快土体固结沉降速度。随着内部水分持续排出, 土体孔隙比逐步降低, 土层密实状态稳步提升, 土体压缩特性得到有效改善。技术适配天然软土、淤泥土等饱和含水地层, 能够逐步提升软土地基的整体稳定性。

2.4 注浆加固类地基处理技术

注浆加固类技术借助压力输送方式将固化浆液注入土体内部, 填充土体孔隙与岩层裂隙位置。浆液在土体内部逐步凝固固化, 与原生土体结合形成整体固结结构, 优化土层整体性与密实程度。施工过程根据地质条件调整浆液配比与注浆压力, 把控注浆扩散范围, 保障加固区域均匀成型。技术可以精准处理局部软弱土层与破碎岩层, 提升深层土体的结构强度, 改善地基局部受力薄弱的状态。

2.5 桩体复合地基处理技术

桩体复合地基技术通过在地基内部布设各类加固桩体, 结合桩体与桩间土体共同承担上部结构荷载。不同类型的加固桩体贯穿软弱土层, 深入下层稳定地层, 依托桩体高强度特性传递上部荷载。桩间土体经过辅助压实与加固处理, 保持稳定受力状态, 与桩体形成协同受力体系。该类技术多用于深层软弱地基处理, 能够有效

控制地基沉降变形, 适配大跨度、高荷载桥梁基础的施工场景。

3 高速公路桥梁地基处理标准化施工工艺

3.1 地基预处理施工工序

高速公路桥梁地基正式加固作业开展前, 需要完成系统化的场地预处理作业, 为后续加固施工提供稳定作业条件。清理施工场地表层堆积的浮土、杂物及植被土层, 去除结构松散、不具备承载价值的表层土体^[3]。对高低起伏的原始场地进行规整处理, 平整作业区域地表轮廓, 搭建连续平整的施工基面。排查场地内部隐藏的浅层缺陷, 清理局部空洞、软弱夹层等不良土体结构。疏导场地表层积水, 梳理简易排水通路, 减少积水滞留对浅层土体状态造成的影响, 保持施工场地土体处于干燥稳定的作业状态。

3.2 各类地基处理技术实操施工流程

不同类型地基处理技术遵循专属的标准化实操流程, 适配差异化的土体加固需求。换填处理作业依次完成软弱土层开挖、基底修整、分层填料铺设、逐层压实的递进式工序。压实夯实处理按照场地分区顺序推进, 先完成表层土体稳压作业, 再逐步开展强夯与复压作业, 均匀改善土体结构。排水固结处理先行布设竖向排水体, 再铺设表层排水垫层, 依托排水结构持续完成土体脱水固结。注浆加固依照定点钻孔、浆液配置、压力注浆、孔口封堵的步骤开展, 保证浆液填充充分均匀。桩体复合地基严格遵循点位布设、成孔成桩、桩身养护、桩间土规整的施工顺序, 稳步完成复合结构构建。

3.3 地基分层施工与衔接施工工艺

桥梁地基加固施工多采用分层作业模式, 逐层推进土体改良与结构压实作业。每层施工厚度保持均匀统一, 把控单层压实程度与加固质量, 避免单次作业厚度过大造成加固不充分的问题。上下施工层之间做好界面处理, 规整层间接触面形态, 清除松散浮土, 强化层间结合紧密性。相邻施工区段作业完成衔接处理, 修整区段搭接位置的土体结构, 消除衔接部位的施工缝隙与压实偏差。分层施工节奏保持连贯统一, 缩短层间间隔时长, 维持土体结构受力状态的一致性。

3.4 特殊地质条件下地基施工操作要点

软弱土层分布区域施工需要放缓作业节奏, 减小单次机械作业强度, 避免土体结构受到过度扰动。含水偏高的湿软地质优先完善排水措施, 提前疏导积水, 降低土体含水率后再开展加固作业。土层分布不均的复杂场地细化分区施工方式, 针对不同土体类型匹配对应的施

工工艺,缩小场地加固差异。岩层破碎区域控制注浆参数,提升浆液填充饱和度,填补岩体裂隙缺陷,强化破碎岩体的整体结构性。高低落差较大的施工场地分步修整坡面结构,逐层加固边坡土体,维持施工过程的场地整体稳定性。

4 高速公路桥梁地基施工质量控制与技术优化

4.1 地基施工原材料质量管控要点

原材料品质直接决定高速公路桥梁地基加固的成型质量,是施工质量管控的基础环节。地基填筑所用的碎石、砂砾、素土等骨料,需要保持质地坚硬、颗粒均匀,具备连续稳定的级配结构,杜绝淤泥、杂草、杂质混入施工用料。注浆加固使用的各类胶结材料需要做好密闭存放,规避潮湿环境影响材料属性,保证材料固化性能稳定达标^[4]。所有进场施工材料均需开展细致的外观与指标筛查,严格把控含水率、粒径、密实度等关键参数,不符合施工标准的材料禁止投入现场作业。不同功能的施工材料实行分区隔离堆放,规范现场物料管理模式,避免混杂混用造成的施工质量偏差。

4.2 施工工序质量管控方式

桥梁地基施工工序具备较强的连续性,各环节施工操作都会影响地基整体成型效果。现场施工需要严格遵循标准化作业流程,规范各类施工机械的作业节奏与操作方式,杜绝随意更改工序、违规操作的行为。分层填筑、压实、注浆等核心作业环节,需要精准把控单层施工厚度、作业范围与施工力度,保证土体加固效果均匀统一。每道工序施工完成后,及时核对现场施工成型状态,排查表层平整度、土体密实状态等关键施工指标,确认施工质量达标后,再推进下一阶段施工内容,形成连贯的工序管控模式。

4.3 地基施工常见技术问题防控措施

高速公路桥梁野外施工场景复杂,地质条件的差异性容易引发各类施工技术问题。土体压实作业中容易出现局部压实度不足、土层疏松的问题,可通过分区均衡施工、局部定点补压的方式优化施工缺陷。注浆施工容易出现浆液扩散不均、孔隙填充不充分的情况,通过微调注浆压力、优化布孔间距的方式,让浆液充分渗透土体孔隙与岩层裂隙。软土地基施工过程中,高强度机械作业容易扰动原生土体结构,施工期间可以适度放缓作业节奏,降低单次施工扰动强度,规避土体变形与局部不均匀沉降问题。

4.4 地基处理技术的适配性优化方法

各类地基处理技术拥有专属适用工况,需要结合现场地质条件灵活调整施工工艺。浅层软弱土层施工可优化换填与碾压夯实工艺,调整填料配比与压实参数,适配浅层土体的加固改造需求。深层土体加固作业可优化注浆与复合桩基施工流程,合理调整施工深度与点位布局,提升深部土层承载性能。含水率偏高、水系密集的施工区域,优化排水固结施工布局,调整排水体布设密度,加快土体脱水固结速度。结合不同桥梁结构的荷载传递特征,针对性调整地基加固范围与作业强度。

4.5 新型地基处理技术的应用与改良

岩土工程技术的持续更新,为桥梁地基加固施工提供了更多新型技术选择。针对传统地基处理工艺在复杂地质施工中的短板,结合高速桥梁施工场景改良新型技术的作业流程与施工参数,适配野外多变的施工环境。优化新型技术配套的机械化作业模式,调整设备运行参数与施工步骤,提升地基加固的成型精度^[5]。针对破碎岩层、不均匀软土等特殊复杂地质,细化新型技术的施工操作细节,强化工艺对特殊工况的适配能力,丰富桥梁地基处理的施工技术体系。

结束语

高速公路桥梁地基处理是一项系统性工程,涉及地质勘察、方案比选、工艺实施与质量管控等多个环节。换填、压实夯实、排水固结、注浆加固与桩体复合等技术各具适用场景,施工中需紧密结合地层特征与桥型受力特点灵活调配。材料品质把控、工序衔接规范与常见问题的提前防控,构成了地基处理质量保障的完整链条。持续吸收新型技术并加以改良,有助于丰富施工技术体系,推动桥梁地基处理作业向更高精度与更强适应性方向发展。

参考文献

- [1] 周若星. 高速公路桥梁施工中的地基处理技术 [J]. 时代汽车,2025(24):153-155.
- [2] 薛晓宇. 高速公路桥梁施工中的地基处理技术研究 [J]. 交通世界,2024(33):131-133.
- [3] 师燕华,王春晓. 公路桥梁施工中软土地基的处理技术探析 [J]. 中国设备工程,2022(12):196-197.
- [4] 费载德,李广华. 高速公路工程施工中软基处理关键技术 [J]. 运输经理世界,2023(33):22-24.
- [5] 柯于仟,田青. 公路桥梁工程桥头接线沉降段路基路面施工技术研究 [J]. 现代工程科技,2026,5(2):89-92.