

# 路基防护工程施工技术在公路工程中的应用

丁朋

新疆北新路桥岩土工程勘察设计有限公司，陕西渭南，714000；

**摘要：**公路工程中的路基防护施工旨在保证路基结构的安全坚固，从而能够为公路车辆的正常运行提供保障。当前时期的公路建设里程不断增长，路基防护施工对于高速公路运营管理的作用也更为突出，体现了路基防护施工手段创新的必要性。本文主要结合公路工程的施工实例，探讨路基防护工程的施工应用路径。

**关键词：**公路工程；路基防护；施工技术；应用

**DOI：**10.69979/3029-2727.26.01.007

## 引言

路基防护工程普遍具有工序烦琐、场地环境复杂、工期较长等显著特征，路基防护的施工方案合理性将直接关系到公路工程的使用安全，还会对公路运营寿命产生不可忽视的影响。通常来讲，公路工程的路基防护施工技术应包括深层搅拌桩、粉喷桩、土石混合桩、锚杆框架梁等，以上各种形式的路基防护方案都应得到因地制宜地采用。因此如何将路基防护技术合理应用于公路施工的全过程，应成为公路工程实现可持续发展的关键。

## 1 路基防护工程施工技术的基本类型

### 1.1 深层搅拌桩技术

深层搅拌桩的成型原理在于：公路施工人员利用机械设备将改良剂与路基土体相混合，以期显著改善土体的稳固性能，并能够避免进行大面积的土体换填或挖掘作业。在路基防护施工方面，深层搅拌桩尤其适用在软土路基处理的特殊场合。具体在布置深层搅拌桩的过程中，公路施工人员通常可以考虑采取干法或者湿法的两种实现方案，以上两种方案分别适用于较干燥以及较湿润的路基土体加固。

依据路基防护施工的基本要求，深层搅拌桩的最大深度应控制在 25m 左右，而桩体的平均直径大约为 1.5m。但是需要注意的是，深层搅拌桩的施工过程需要用到钻杆等机械设备，易导致较高强度的机械运行噪声。施工人员在搅拌改良剂与路基土的混合物时，还有可能排放较多废热以及固体废弃物，造成周边生态环境受到不利的影响<sup>[1]</sup>。由此可见，深层搅拌桩的路基防护施工作业易受到多个方面的因素作用。技术人员只有充分考虑了深层搅拌桩施工中的潜在影响，才能够经过前期试验而

制定最具可行性的方案<sup>[2]</sup>。

### 1.2 粉喷桩技术

粉喷桩的技术原理在于利用工程机械来喷射高强度的压缩空气，从而将水泥打入软弱的地基土层深部。在此基础上，受到机械切割的破碎地基土体能够与水泥浆液进行均匀的混合，并导致软弱地基的颗粒土体产生化学反应或物理反应，建立水稳定性与整体性较好的“柱状增强体”<sup>[3]</sup>。

粉喷桩技术在本质上属于竖向的地基加固处理方式，该方法可有效改善公路软土地基的承载性能。由桩间土与桩体组合形成的复合地基能够更好地适应高速公路的特殊运行环境，在一定程度上也提升了公路基层与面层的荷载极限值。近些年来，粉喷桩的路基防护施工方法已获得较为广泛的应用，在高速公路的路基加固施工方面起到突出的保障作用<sup>[4]</sup>。

### 1.3 土石混合桩技术

土石混合桩主要作用于高速公路的软弱土层，旨在全面提高路基土体的稳定性以及承载力。土石混合桩既具备软弱路基土体的深层压实功能，而且还可以改善原有的路基性质。具体需要将路基碎石土与石灰、水泥等改良剂进行均匀地混合，并利用旋挖机械将其打入指定的路基加固区域，最终形成坚固而稳定的土石混合桩。现阶段的工程研究结论表明，采用土石混合桩的施工技术能够在很大程度上减轻路基变形或沉降造成的影响，并能够提升 5 倍左右的土体压缩模量，以及提升 3 倍左右的软土抗剪强度。

从工程技术的应用优势角度分析，应用土石混合桩的路基加固处理技术不会造成大规模的固体废弃物（废

弃渣土)形成,可减轻路基防护施工造成的生态破坏后果。公路工程的设计人员应结合路基实际情况来选择土石混合桩的类型,并应当准确计算桩体的混合料配比。公路施工部门还要加大对打桩设备、搅拌混合料的速度与频率等参数指标控制,进一步加强对固体废弃物的运送处置。

#### 1.4 粉煤灰(液态)回填技术

液态粉煤灰回填的路基防护施工,主要利用液态粉煤灰来实施回填路基的加固处理作业。其中的液态粉煤灰需经过特殊的转化处理,将火电厂排放的粉煤灰转变成流动状的路基填充材料。在路基防护施工中使用液态粉煤灰的工艺方法,集中表现在流动性良好、重量较轻、操作便捷等重要优势,并能够改善路基土体的均匀度以及密实度,还可减轻路基土体承受的上部压力<sup>[5]</sup>。

例如在应对公路台背的不均匀沉降、桥头跳车等常见问题的过程中,公路施工部门需重视液态粉煤灰的回填方法的采用。在液态粉煤灰的渗透与加固作用下,经处理的公路路基边坡将会更加坚固、稳定,该措施还符合火电厂粉煤灰的二次利用要求。与级配砂砾的传统填料相比,液态粉煤灰的施工材料来源更加广泛,可防止处理后的公路路基出现二次沉降的情况。

### 2 路基防护工程施工实例

#### 2.1 工程概况

某高速公路设计为双线6车道的结构形式,设计最大行车速度达到120km/h,拟采用的路基平均宽度为32.9m。工程勘察人员经过前期勘测,确定该公路的某一区段属于高填方路基,并且设计为深层开挖结构。该区域的路基边坡土体已经全部风化,而且含有大量的破碎风化状岩石<sup>[6]</sup>。基于此,公路施工部门拟采用路基防护的施工解决方案。

表 1 路堑边坡深挖施工的技术参数指标

编号	施工项目	参数指标
1	锚杆	90kN 设计拉力、M30 砂浆灌注、3 根 30mm 锚杆
2	锚索	500kN 设计拉力、M30 砂浆灌注、125mm 钻孔 (5 束锚索)
3	框架梁	C35 混凝土

### 3 路基防护工程施工技术在公路工程中的有效应用

#### 3.1 前期测量放线

测量放线属于非常重要的路基防护施工步骤,其对

具体针对上述高速公路的特殊路基结构区域而言,施工部门拟采取如下的详细技术方案:主要采用桩板墙作为围护结构,共设有20个抗滑桩,其中最短的桩体长度达到15m,最长的桩体长度达到26m。公路路基防护体系中的抗滑桩最大开挖深度达到10.2m,对于抗滑桩的直径设计为1.8m×2.1m。在抗滑桩施工方面,采用人工开挖与机械开挖相结合的方法:其中的桩板墙体高度达到11.8m,平均厚度达到47.5cm,布置为C30的混凝土浇筑结构形式。公路工程的设计人员经过全面考虑,拟采用单桩高1.1m、直径4.9m的抗滑桩间隔布置形式。

#### 2.2 施工方案

依据高速公路的基本施工要求,公路施工部门需安排专业人员负责测试与校准仪器设备,其中涉及1个搅拌站、BX2-100型号的两台交流焊机、XPZ30E型号的一台电动空气压缩机;G14型号的三部风镐设备,此外还配有钢筋剪断机、钢筋矫直机、钢筋折弯机、拉拔器、气压潜孔钻机、自动化的全站仪等。公路施工人员在运送混凝土时,主要借助20t规格的专用运输车;同时配备两台拌合料的插装式震击器、一台自动注浆机设备。

上述公路工程的路基防护施工主要采用了锚索桩、框架梁、格子梁相结合的工艺方案,具体涉及如下的施工顺序进行:在坡面土体开挖之前,应确保全面完成坡口部位的排水与截水操作。按照从上至下的基本操作顺序,控制在2.5m左右的每一层级间隔距离。施工人员在完成坡面土体的挖掘作业后,应继续实施锚杆布置、框架梁的现场浇筑等操作。并且在混凝土的机械化搅拌过程中,需保证达到80%以上的混凝土强度标准,然后再去实施张拉锚索施工。

如下表,为路堑边坡深挖施工的技术参数指标设计:

于改善公路边坡的安全性能起到不可忽视的作用。具体需要由两名以上的专业技术人员负责前期的测量放线操作,并应当确保公路边坡的表面平整度符合基本要求。技术人员应准确定位锚固梁的深度及范围,利用机械设备来探查公路路基所在区域的地质情况,对于前期测量

得出的异常地质情况应妥善做好记录。路基防护工程的测量放线人员还要具备良好的警惕性，善于察觉潜在的施工风险，依据工程图纸的设计坡度来修整公路边坡结构。

### 3.2 钻孔与清孔

锚杆钻孔的施工要点主要包含如下：首先将钻机起吊至某一指定高度，然后安装并固定钻机设备，控制在100mm以内的锚杆孔高度误差以及50mm以内的横向安装误差。施工人员需利用钻孔机辅助实施钻孔作业，直至达到指定的钻孔深度标准，并应当保持1分钟以上的钻孔稳定时间<sup>[7]</sup>。公路施工人员具体在从事钻孔作业阶段，应密切查觉是否存在缩孔的情况；在发生缩孔事故时应重新实施水泥浆的灌入操作，等待泥浆完全凝固之后才能够继续从事钻孔施工。清孔施工采用高压气枪为主的机械设备，集中清理孔内残留的杂物与碎屑，并应当核实孔深与孔位的误差率。例如，“钻孔锚杆法”的路基防护施工步骤主要包括场地平整、钻机就位、孔位角度检查、锚杆体的下放、泥浆灌注、锚具安装与张拉等，以上各阶段的施工质量都需要得到全面的把控。具体在从事钻孔锚杆施工的全过程中，公路施工部门应安排至少两名施工人员予以相互配合实施，并要加大对施工操作人员的人身安全防护力度，避免由于锚杆倾斜等因素而造成施工人员遭受事故伤害。

如下图，为“钻孔锚杆法”的施工流程图：

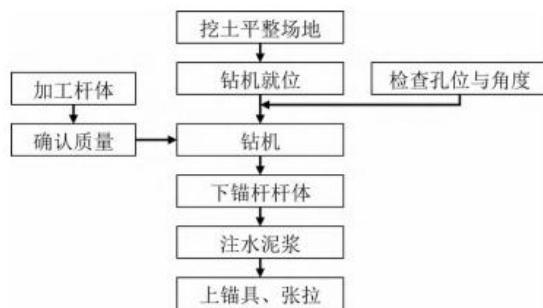


图1：“钻孔锚杆法”的施工流程图

### 3.3 灌注水泥砂浆

制作锚索主要采用工厂预制或者现场制作的两种实施方法，施工人员在安装框格梁之前，首先需要彻底清理公路边坡部位的表土层，然后依次实施拼装骨架、确定锚具部位、振捣混凝土等工序。“锚定注浆”应当位于安装锚杆之后，其中水泥砂浆的水灰比需要控制在0.5左右。具体可选择M30的水泥砂浆材料，并需要限

定1.0MPa以内的注浆压力指标。插入注浆管应当位于孔底上部的40cm左右，然后匀速注入水泥浆液，直至浆液高度达到孔口所在的位置。公路施工人员应等待第一次的灌浆操作结束之后，才能够继续从事后续的灌浆作业。施工人员还需要及时察觉附近地表的冒浆以及裂缝发生趋势，在灌浆压力稳定后的五分钟左右，应当终止本次灌浆施工。在锚定注浆的工序完成后，施工部门应至少设计7d的养护时间长度。直至灌注混凝土的实际强度已超出设计指标的70%，才能够终止混凝土养护工作。

### 3.4 安装模板与浇筑混凝土

模板安装的重点就是在公路边坡表面布置短锚杆，具体可采用钢丝来固定短锚杆与钢模板。在浇筑混凝土的实施阶段，公路施工人员应当留心观察周边区域是否存在裂缝或者其他的安全隐患，并应当将1.5cm以上的膨胀缝预留在指定部位。施工人员需等待浇筑混凝土操作完成后的一天左右，采用洒水润湿或者草袋覆盖等方法来从事养护管理，通常限定于7d的养护时间长度。

## 4 路基防护工程施工技术在公路工程中的创新趋势

### 4.1 引进人工智能的自动监测仪器

物联网的监测设备具有实时获取数据的特征，其能够有效取代传统的路基防护施工监测手段，并可以为路基施工人员提供更加精准的决策支撑。因此在未来的路基防护施工实践中，公路施工部门需结合实际情况加以改进，充分发挥物联网工具在路基边坡沉降监测方面的功能。公路施工企业还要安排专业人员负责展开全天候的土体沉降监测，做到及时察觉并处置路基边坡沉降、渗漏等隐患，确保高速公路的车辆安全运行。

### 4.2 多种工艺的有机结合

公路路基防护施工的工期较长并且流程较为复杂，公路施工人员只有准确掌握了路基加固防护的工艺原理，才能够将其合理应用于路基边坡的使用性能改善。在此前提下，公路施工部门应着眼于打破单一的施工方案局限，尝试采用多种形式相结合的全新施工理念，并应当结合公路路基的特殊地质环境予以创新。例如近些年来，锚索框格梁的路基施工方法迅速获得重视。该方法旨在突破传统的边坡加固处理技术，使得公路边坡的受力结构更加科学合理。

#### 4.3 增进专业与工序衔接

公路工程的路基防护施工应建立在多工序、多专业有机协调的基础上，改进路基防护施工方案的着力点就在于打破传统的工序界限，增进相关负责人员之间的沟通协调。随着 BIM 建模技术手段的广泛应用，现阶段的公路施工企业可以通过建立 BIM 的立体化、直观化与协同化模型加以完善。引进 BIM 技术作为支撑的公路路基防护施工流程更加简便，对有限的公路施工资源进行最优化的配置利用。

### 5 结束语

综上所述，公路工程若要发挥最基本的使用价值，则不能够缺少路基防护的施工技术手段。近年来，公路工程的路基防护施工形式持续获得创新，但总体上仍存在有待解决的技术难题。因此为了更好发挥路基防护施工的保障功能，最根本的就是要加强工程放线测量以及现场勘察力度，充分依靠机械化、数字化的技术手段用于提供支撑。公路施工部门还需要打破传统的专业局限，在深度共享施工信息的前提下优化工程资源配置，以期获得最优的工程综合效益。

### 参考文献

- [1] 王金枝, 满伟. 玄武岩纤维复合层对公路路基防护性能研究 [J]. 中国新技术新产品, 2025(18): 98-100.
- [2] 王翠艳. 新型生态固土材料在公路路基边坡防护中的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2025, 48(09): 33-36.
- [3] 余勇. 公路路基施工中坡面稳定性分析与防护技术研究 [J]. 汽车周刊, 2025(09): 91-93.
- [4] 张智. 路基防护工程施工技术在公路工程中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2025(02): 119-121.
- [5] 贾晓霞. 论路基防护与排水施工技术在高速公路工程中的应用 [J]. 交通科技与管理, 2024, 5(09): 74-76.
- [6] 毛新玲. 锚索框格梁施工技术在公路高边坡防护工程中的应用 [J]. 交通世界, 2024(12): 32-34.
- [7] 李广玲. 浅析软土路基施工技术在高速公路工程施工中的应用 [J]. 四川水泥, 2024(04): 211-213+216.
- [8] 陈圆圆. 市政道路工程路基防护工程施工技术要点研究 [J]. 运输经理世界, 2021, (30): 43-45.

作者简介：丁朋，男，（1991.7-），毕业院校长安大学；所学专业道路桥梁与渡河工程，当前就职单位新疆北新路桥岩土工程勘察设计有限公司，职务：项目经理，工程师。