

# 高速公路桥台台背回填材料设计与性能提升研究

杨 苏 张国平

陕西高速机械化工程有限公司 陕西 西安 710038

**摘要:** 桥台跳车是现阶段公路交通中常见病害之一,给驾驶者带来不舒适驾驶体验且车辆和驾驶者具有潜在的交通安全,为减小桥台和路基沉降引起的这一病害,本文从桥台回填材料设计和性能提升方面解决病害。分析了泡沫混凝土、泡沫轻质土、轻质膨胀颗粒和水泥基固化土的制备和性能,表明水泥基固化土回填的更经济、易制备、更具潜力。分析了振动搅拌的原理,对照了振动搅拌对水泥基拌合物硬化后的强度,同等强度下,振动搅拌工艺较普通搅拌提升强度8%-15%,表明振动搅拌工艺水泥基固化土性能更优,为高速公路桥台台背回填材料性能提升提供了技术,为提升台背回填质量提供了工程基础。

**关键词:** 高速公路;桥台台背;回填材料;性能提升

## 1 引言

高等级公路在交通运输中舒适度好,高标准、高设计、高速度、高质量是其主要特点。截止2023年底,我国公路通车总里程达到了543.7万km,高速公路已经建成通车运营总里程已达18.4万km,我国的公路里程和高速公路里程均居世界第一。为了达到高效行车、便捷联通的要求,在规划设计中桥涵等相对于低等级公路来说比例要大的多。查阅文献资料,高速路每公里桥涵会有2~3座<sup>[1]</sup>,依照我国高速公路状况,高等级公路桥涵总数目约46万座。同时,随着交通运输需求量的进一步饱和持续的增加,在原有道路进行改扩建也逐步增多,据报道的2023年我国改扩建验收的高速路9处,例如陕西境内京昆高速公路蒲城至涝峪改扩建里程125.878公里,由双向四车道改至120km/h双向八车道,江苏境内京沪高速公路沂淮淮江段260公里改扩建里程,由双向四车道改至时速120km/h双向八车道<sup>[2]</sup>。改扩建项目相比与重新规划建设,从前期准备、规划设计、施工建设和工程费用等更具优势。但在原有的道路基础上改扩建,路网相对更为复杂,涉及到平交路口和立体交叉路口的再设计和建造,人口稠密地区的改道,各种环境保护和其它需求等,公路桥涵等相比正常道路修建比例更高,台背回填场景增加、相关质量要求也更高。

相比较普通低等级公路,高等级公路在运输效率和行车舒适度上具有优势,但是从现有运营的高速公路行驶状况和各种路面病害反馈来看,桥台涵台背与新建路基之间的沉降引起的桥头跳车成为一个常见问题,其不仅影响着驾驶舒适感,还常常引起交通安全并导致交通事故,后续灌浆加固路基和二次重建也时常发生。之所以会产生桥头跳车桥头,是由于桥涵结构体为钢筋混

凝土结构,该类材质结构当作刚性体看待,台背回填材料形成路基多数为素土基材料,当作柔性体看待,在行车载荷反复作用下,柔性体路基会逐步产生沉降,桥台路面产生台阶和纵坡等路面常见病害状况<sup>[3]</sup>。桥头跳车不仅与衔接路面地基沉降有着密切关系,其还与桥台背路基回填材料沉降有着密切关系,相对刚性体桥面的柔性体路基在一段时间的车载荷反复作用下,将会更加密实从而二者形成一定的高度差。因此,控制台背材料的沉降量,对缓解或是避免桥头跳车作用明显,设计并制备沉降量小的台背材料具有重要意义。

## 2 工程背景概述

兵马俑专用线是直达兵马俑的旅游高速公路,沿途交通繁杂,兵马俑专用线公路改扩建工程路线起于连霍高速兵马俑互通立交,向东沿既有兵马俑二级专用公路进行加宽改扩建,止于西安市临潼区代王街道胡家寨村,路线全长6.15公里。同步建设终点连接线0.801公里、支线0.335公里。本项目采用设计速度100Km/h的双向四车道高速公路技术标准,路基宽度26m。新建及拼接桥梁荷载采用公路—I级,桥涵设计洪水频率:1/100。按照项目区基全线共设桥梁(全幅,下同)325米/6座,占路线总长的5.3%。改建兵马俑(枢纽)互通式立交1处,新建临潼北互通式立交1处;设分离式立交1处,通道13处,天桥1座,兵马俑专用线公路改扩建工程台背回填较多,质量要求高,见图1桥涵台背回填示意图。

## 3 新型台背回填材料分析

台背回填是在桥台和路基已经建好的情况下所进行的工序,如上所述,在行车载荷的反复作用下,假设地基不产生变形,随着时间周期的延长,台背回填材料的性能将会影响到桥台与台背之间的落差高度,台背材料

的性能不佳，将导致二者之间的高度超出标准规定值，同时还可能增加工程造价，因此，分析现有台背材料并采用合适的方法提升其使用性能十分重要。

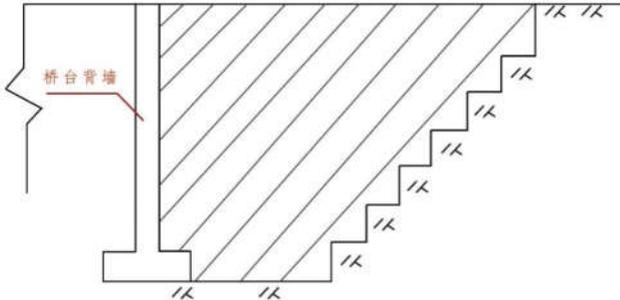


图1 桥台台背回填示意图

### 3.1 泡沫混凝土

泡沫混凝土是一种轻质混凝土，其是采用较多几乎无物理质量的气泡替代了质量大、粒径大的粗骨料，相比与传统的级配混凝土，泡沫混凝土的质量更轻，节约了石料，环保型和经济性更好。泡沫混凝土制备方法是采用发泡机将发泡剂水溶液制备成泡沫，依据设计的泡沫混凝土配比，将制备好的泡沫加入到由水泥、骨料、掺合料、外加剂和水等制成的拌合物中。通过搅拌设备搅拌一定的时间，从而使泡沫与水泥拌合料充分融合，形成均匀的拌合料，JG/T 266—2011《泡沫混凝土》进行规定进行养生及相关性能测试，最后可得到符合性能要求的泡沫混凝土。泡沫混凝土的性能与泡沫含量和水灰比有着直接关系，在泡沫含量45%-70%之间变动，泡沫混凝土的密度在1200kg/m<sup>3</sup>至800kg/m<sup>3</sup>间波动；28d抗压强度在5.9Mpa至2.1Mpa间波动，泡沫混凝土抗压强度远小于普通混凝土，且随着泡沫含量的增大，其抗压强度也随之减小，其孔隙率和吸水性也随着泡沫含量而增大。随着水灰比的增加，泡沫混凝土的密度随之减小，抗压强度也随之减小，与普通混凝土具有相同的变化趋势。



图2 泡沫混凝土

### 3.2 泡沫轻质土

泡沫轻质土是一种轻质多孔材料，其由泡沫、土壤、固化剂和水经搅拌制备而成，水泥作为其中固化剂材料，容重为4~15kN/m<sup>3</sup>，具有较高的强度和良好的变形模量。与泡沫混凝土制备相似，通过发泡设备，将发泡液与压缩空气进行混合，制备高质量的泡沫。按照工程需要设定的泡沫轻质土配合比，土壤、固化剂和水配置好水泥浆，将发好的泡沫经发泡机挤压到水泥浆中，通过工业搅拌机使各成分充分搅拌均匀。泡沫轻质土有轻质、保温、隔音、抗冲击等特性，施工工艺简单，造价低等特点。性能方面，泡沫轻质土强度可以根据项目需要在0.5~35MPa范围内调节；泡沫轻质土容量较小，与普通填土相比，容量只有普通填土的1/3~1/2，在实际使用时不会增加附加应力，泡沫轻质土单价相较于传统混凝土约为后者的1/2。然而，泡沫轻质土本质是一种多孔材料，强度调节过高，弹性模量进一步增加，韧性相对变差，抗疲劳性不能得到保证，耐久性需进一步验证。

### 3.3 轻质膨胀颗粒

轻质膨胀颗粒材料采用膨胀材料与水泥按照配合比搅拌均匀。轻烧白云石是小颗粒，成分中含有活性氧化钙等物质，可与土体产生的物理、化学反应，白云石等具有膨胀性能，在内部膨胀形成挤压从而增加土体的密实性，最终通过化学胶结而具有更好的整体性，利于改变土体的应力应变，增大土体的抗压、抗剪强度，减小土体在路面荷载和行车重复荷载附加应力下的沉降。相关研究表明水泥：浮石：轻烧白云石=1：2：6配合比情况下的密度为2.15g/cm<sup>3</sup>，不会因为轻质膨胀颗粒的填入而增加路基土更多的附加应力。轻质膨胀颗粒材料掺入量的增大，试样土的强度增大；随龄期的增长，试样土的强度增大，见图3所示。根据增长的规律，高龄期之后抗压强度增长较慢，可认为是45d龄期前水泥和膨胀颗粒已充分反应，包括完成了各种物理和化学反应，形成了新的连结物质，具有胶结效果；随着龄期的进一步增加，未有更多的新型物质产生，后续的龄期变化也不明显<sup>[4]</sup>。

### 3.4 水泥基固化土

水泥基固化土是以素土、水泥、固化剂和水为材料，通过搅拌方式均匀拌合，依靠固化技术得到高强度土质板状材料。其中的固化剂与土发生化学反应生成CaSiO<sub>3</sub>、mCaO·nAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等胶凝性物质，产生土质硬化，在此过程中，水泥也逐步发生水化作用，起到胶凝剂作用，最终形成具有较高强度的板状土质新材料。在水泥量固定情况下，相同龄期的固化土其强度均随固化剂用量的增加强度逐渐增大，其中7d和28d龄期下，固化

剂含量增至0.025%时,强度出现轻微下降,7d龄期下的抗压强度增长较慢,随后抗压强度增长较快,表明前期水泥反应慢,胶结能力差,强度改善不明显,后期水泥充分反应,强度提升较快。另外,在固化土制备和使用中,固化剂存在一个较合理的区间,掺入固化剂可提高填土的无侧限抗压强度,复合固化剂结合水泥综合加固土体可起到较好的改良效果。

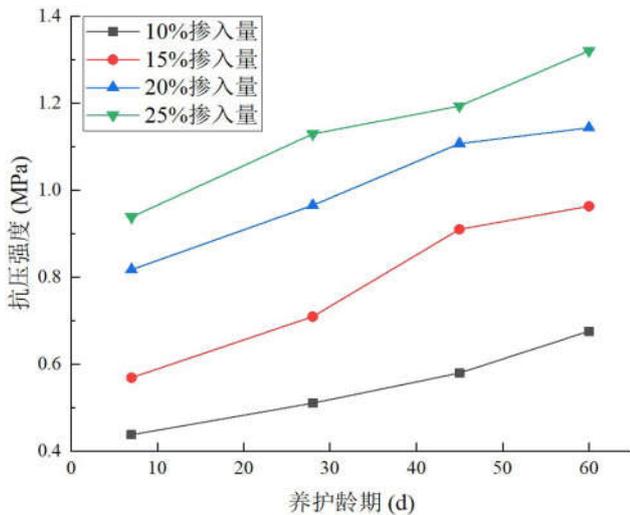


图3 轻质膨胀颗粒掺入量的抗压强度

通过上述分析可知,从环保性和经济性评价,泡沫混凝土基本沿用了传统混凝土的制备方法,其成本高且环保性差。采用素土作为主要原料更好,在桥梁建设及改扩建中,废弃土可以有效利用,节约了开采成本和运输成本;相比较三种素土原料台背材料,水泥基固化土密实度高,工艺简单,更具有优势。

#### 4 振动搅拌固化土性能提升技术

##### 4.1 振动搅拌原理

图4所示为振动搅拌机的原理图。振动搅拌的原理是在传统的搅拌设备的原理上,在拌合物搅拌的同时对其施加一定频率的振动,拌合物在转动的同时也承受一定的激振力,创新性的采用振动搅拌一体化技术<sup>[5-6]</sup>。相比与传统的强制振动,该技术同时实现了流体的扩散运动和对流运动,通过这种附加的高频率振动,克服了普通搅拌中由于搅拌叶片线速度分布不均形成的搅拌低效区,从而使得搅拌更均匀。同时,搅拌过程中的振动不均使得微观颗粒分散更均匀,见图5,也加速了水泥颗粒的水化反应,大大提升了搅拌效率和混凝土的密实性。

##### 4.2 振动搅拌固化土性能策略

根据振动搅拌原理,采用振动能够使得拌合物更加均匀,振动搅拌分散水泥等微观颗粒已在水泥稳定碎石、混凝土土等水泥基拌合物中得到验证<sup>[7-8]</sup>,强化了微

观结构并提升了宏观强度,同等条件下,振动搅拌拌合物硬化后抗压强度提升8%-15%。固化土成分中,素土和水泥都是微观颗粒,泥浆同时也具有一定的黏性,传统的搅拌方法难以使得微观的水泥颗粒和土颗粒更好的分散,同时固化剂也难以均匀分布,形成的固化土性能差,变异系数大。因此,借鉴已有的搅拌经验和先进的振动技术,探讨适应于固化土生产和微宏观性能提升工艺,能够获得高质量的固化土,也能推广到其它类型固化土的制备。

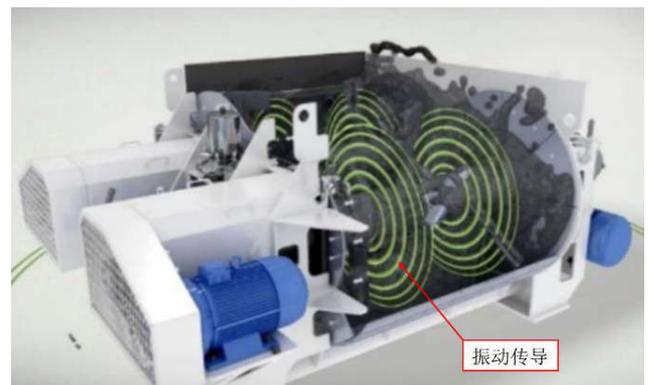


图4 振动搅拌机

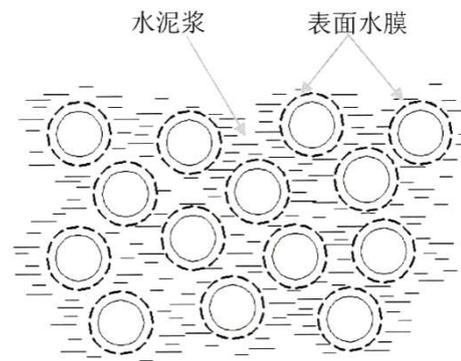


图5 振动搅拌颗粒分散均匀性

#### 5 结语

本文以提升桥台台背回填质量为目标,从台背材料回填对公路沉降引起的病害为基础,分析了现阶段常见的四种台背回填材料泡沫混凝土、泡沫轻质土、轻质膨胀颗粒和水泥基固化土制备原理和性能和经济性,分析表明水泥基固化土对于台背回填更具优势。进一步分析采用振动搅拌提升水泥基拌合物的性能,同等条件下,振动搅拌强化了水泥基拌合物硬化后的微观结构并提升了宏观强度,给水泥基固化土性能提升提供了策略,为固化土台背回填提供了工程指导。

#### 参考文献

[1]谈宜群.泡沫混凝土性能及其在台背填筑结构中的应用研究[D].南昌:南昌航空大学王爽,杨燕.提质扩容步

履不停[J].中国公路.2024 (01):41

[2]李涛.公路桥头跳车原因分析及防治探讨[J].智能城市,2020,6(19):49-50.

[3]周世松.轻质膨胀颗粒防治桥涵台背路基跳车技术研究[D].石家庄:石家庄铁道大学

[4]赵悟,王东恒,杨泽文,等.双立轴振动搅拌机激振器动力学仿真研究[J].机械设计与制造.2024(08):370-374.

[5]冯忠绪,赵利军,蒋文志.搅拌设备设计讲座(第二十二讲)振动搅拌对混合料细观与微观均匀性的影响[J].

工程机械,2019(02):64-70

[6]Fa Yang, Yunshi Yao, Xinxin Wanget.al. Preparation of Recycled and Multi-Recycled Coarse Aggregates Concrete with the Vibration Mixing Process[J]. Buildings,2022,12(09):1369 ( 1-17 )

[7]王增强,尹壮飞,赵宏魁,等.岚罗高速振动搅拌水稳碎石工程应用及质量控制[J].城市建筑.2023,20(02):146-149.