

公路工程施工中软土地基施工技术的有效应用

李文国

(惠民县公路事业发展中心, 山东 滨州 251700)

摘要: 在公路工程项目中, 对软土地基采取施工处置十分常见。本文以软土土层的物理工程特性为基础, 介绍表层排水法、砂垫层法、稳固剂表层处理法、强夯法、换填法、土工合成材料法、水泥搅拌桩法、静力排水固结法、碎石桩法、抛石挤淤法、反压护道法等软土地基施工技术方法, 再以工程案例为借鉴, 为公路工程施工中软土地基施工技术的有效应用提供一定的行业参考。

关键词: 公路工程; 工程; 软土地基; 施工技术

中图分类号: U416.1; U445.55 **文献标志码:** A



由于公路工程的施工作业路线较长, 有时还会跨越多个不同的行政区域, 因此在公路工程施工的过程中, 会遇到各种不同的地质情况。软土地基作为不良地质的表现形式, 对公路工程施工质量影响较大。因此, 本文梳理总结软土地基的工程性质, 分析比较公路工程软土地基的常见处理方法。在实际公路工程软土地基的施工案例中检验软土地基施工技术的有效性, 对保证公路工程的质量安全而言具有一定的参考价值。

1 公路工程软土地基的工程特性

要对公路工程遇到的不良软土地基进行处置, 首先需要厘清软土地基的工程特性。

公路工程软土地基的工程特性即物理特性, 主要指标包含含水量、孔隙率、土基渗透性和土层压缩性^[1]。

(1) 软土地基的含水量普遍介于40%~60%之间。同时, 软弱土基的液限值通常介于35%~65%之间, 液限值越大, 土层内的自然含水量也就越大。此外, 由于自然含水量和自然孔隙比之间呈正比关系, 故而软弱土层地基的高含水量和高孔隙比是其抗剪能力不足的重要原因。

(2) 软土地基普遍具备高含水量的特点, 使其内部的含水量长期处于饱和状态, 导致土壤的渗透系数变得非常小。再加上公路工程的地基在固结过程中, 承受初始阶段的外部荷载时, 需要有一定的孔隙压力才行, 因而软土地基的高含水量对孔隙压力造成不良

影响, 最终导致地基强度不足。

(3) 软土地基的压缩性一般均较高, 位于软弱土层的地基达到正常固结状态时的压缩系数应该介于 $0.5 \text{ MPa}^{-1} \sim 1.5 \text{ MPa}^{-1}$ 之间, 最大时可能达到 4.5 MPa^{-1} 。由于软弱土层的固结状态对公路工程地基的强度影响较大, 因此公路工程软土地基的压缩性系数是重要的理论参考指标值。

由此可以从软弱土层的工程物理特性得知, 公路工程软土地基在固结过程和抗剪切作用力方面, 不具备任何优势, 当公路工程遭遇软土基层时, 检测其含水量、孔隙率、土基渗透性和土层压缩性, 对选择适宜的土基处理技术而言非常重要。

2 公路工程软土地基的常见处理办法

公路工程在遭遇不良软土地基时, 受软弱土基层高含水量、低抗剪强度、高压缩性以及较弱的渗透性等不利特性因素影响, 不能直接作为公路工程项目的地基层, 因此必须采取一定的技术措施和手段, 对不良软土基层进行改良, 使其具备足够的强度和抗剪切能力。常见的公路工程软土地基处理方法有表层排水法、砂垫层法、稳固剂表层处理法、强夯法、换填法、土工合成材料法、水泥搅拌桩法、静力排水固结法、碎石桩法、抛石挤淤法、反压护道法等。

2.1 表层排水法

表层排水法是最为传统且最为成熟的公路工程软土地基改良方法。该方法的特点是在有软土基层的层面上实行开挖沟槽, 使软土基层中的内含水可以通过

作者简介: 李文国(1983—), 男, 汉族, 山东惠民人, 大学本科, 高级工程师, 研究方向: 公路与桥梁工程。

沟槽土壤与空气直接接触, 诱使高含水量的孔隙得到释放, 从而减少深度较浅的软土层含水量。但是这种方法并不适用于土层深度较大的软土地基, 此外当软土面层开挖沟槽较多时, 也会影响道路桥梁施工设备的运行。

2.2 砂垫层法

砂垫层法是在软土基层的顶部铺设一定厚度的砂垫层, 对软土基层的工程特性进行改良。砂垫层的铺设厚度一般在0.6~1.0 m之间。这种方法适用于较为平坦的宽阔线路路面基层或桥面基层。当公路工程遇到土方高填方或深路堑基层时, 砂垫层的厚度一般较大, 由于砂垫层的流动性和散落性较高, 因此无论是太厚的砂垫层还是太薄的砂垫层, 施工难度和投资都比较大^[2]。

2.3 稳固剂表层处理法

稳固剂表层处理法是将生、熟石灰, 以及水泥还有土壤离子稳固剂等混合而成的一种改良材料, 按照一定的比例将这种改良材料掺和在公路工程区域的软弱土层中。一般在采用稳固剂表层处理法前, 需要使用特定的机械将一定深度的软土层排水晾干。表面稳固剂改良材料的一次摊铺厚度可为0.3~0.6 m, 偏薄或偏厚都不利于改良软弱土层的性能。这种方法受地下水天气的影响较大, 如果改良材料摊铺期间遭遇地下水上浮或者遭遇突然降雨天气, 将严重影响软弱土层的改良质量。

2.4 强夯法

强夯法是使用范围最广泛、使用频率最高的公路工程软土基层处理方法。所谓强夯法, 就是使用机械将一定质量的夯锤起吊至一定高度后, 对软土层进行反复夯击, 夯锤的质量取值一般在15~45 t之间, 夯击的起吊高度一般在10~50 m之间。强夯法虽然操作简单, 但是这种方法仅适用砂土软土层, 对纯软土层并不适用, 因此强夯法在适用过程中存在一定的局限性。

2.5 换填法

前文所叙述的表层排水法、砂垫层法、稳固剂表层处理法、强夯法之所以能得以实施, 是基于软弱土层还具备可改良的性质特征。换填法一般是软土层工程特性较差, 不具备任何改良价值的情况下使用的方法。所谓换填法, 就是使用具备作为地基基层性能的材料用于更换不具备任何改良价值的软弱土, 通常使用石渣、炭渣、砂石、鹅卵石、矿渣等用作换填料。此外, 为使换填取得预估的效果, 在换填完成后, 一般还会使用夯实机械, 使换填料的密实度达到一定的标准。

2.6 土工合成材料法

土工合成材料法是以人工合成的方式将一些分子

聚合物材料加工制作成为不同类别的软弱土改良产品。这种改良产品必须具备岩土工程材料的性能和作用, 从而实现对基层土壤、基层岩石结构功能的加强及保护作用。土工合成材料产品在其功能特性上通常具有过滤、隔离、加筋、防渗、防护等特点, 能有效提升土基的荷载承受能力与抗剪切能力。特别值得一提的是, 在土工合成材料中加筋, 一是利用准黏聚力原理提升软弱土基层的弹性模量, 提高其侧向应力强度; 二是利用摩擦和加固原理, 通过土与土之间、土与土工合成材料之间复杂的摩擦作用, 提升软弱土基层的整体稳定性。

2.7 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩法最早是由美国人发明的, 这种方法常也被称作外掺聚合法。该方法对软弱土基层的加固原理是通过钻出一定口径、一定数量、一定深度的井洞后, 向井洞内灌入一定比例的水泥、砂石混合物, 从而将软弱土基层改良为一个由土体和砂石桩柱共同形成的复合体, 以提升软弱土体的稳定性和荷载承受能力。这种方法在运用时也存在一定的局限, 当软弱土基层的 $pH < 4$ 或者软弱土基层的天然含水量 $> 65\%$ 时, 采取这种方法能取得的改良效果非常有限^[3]。

2.8 静力排水固结法

静力排水固结法是在软弱土基层的顶部, 形成有效、持续的静力荷载, 通过静力荷载的持续性碾压, 将软土基层中的水分慢慢排出, 从而改变软土基层的孔隙比, 以利于软土土壤粒子之间形成有效的固结。当然, 在使用静力排水法期间, 软土基层内土壤粒子的超静水压力在逐渐流失的过程中, 固结土体的应力就得到相应增强, 抗剪切作用的效能得到明显提升。目前采用的排水固结形式, 需要特别注意两个环节: 一是在水平方向上敷设排水垫层时, 要注意设置竖向排水体; 二是要控制好塑料排水板的长度和插入土体的深度。

2.9 碎石桩法

碎石桩法是利用管状设备的冲击应力, 先在软弱土基层中形成一个冲击孔, 对冲击孔内壁和内道进行清理, 然后向冲击孔内掺加水泥、碎石等填充料, 以此提高土体的整体性能。该方法的实质是从挤密砂振冲的技术原理中得来的, 虽然这种方法对改良软土基层有一定的效果, 但是水泥、碎石等材料的消耗量较大, 投资成本较高。由于使用效果较好, 截至目前, 一些资金投入十分充足的公路工程项目倾向使用碎石桩法对软土基层进行改良。

2.10 抛石挤淤法

抛石挤淤法当公路工程遭遇淤泥质软土基层时, 通过向淤泥质土基层里面抛掷大量的不同的粒

的石头、石块、碎石等把淤泥质土给挤压出去，从而形成不同粒径石料作为骨架，使软土填充石料缝隙达到复合状态，以提升软土基层整体稳定性的效果。在实际的工程应用中，抛石挤淤法的管控难点就在于如何确定不同粒径石料的抛掷数量，在石料抛掷完成后如何将石料从无规律性通过摊铺找平达到缝隙的有规律性填充。

2.11 反压护道法

与前面几种方法处理整体软土基层不同，反压护道法是针对处理路基两侧软土层的方法。该方法的关键在于一定要使用渗水性能好、自身稳定性好的砂质材料，在处理路基两侧时填筑成具有一定宽度和一定高度的护道。路基可以凭借护道来抵消源自流动质土的凸向应力，以保护软土基层的稳定性。使用反压护道法时要注意以下三个方面的问题：一是反压护道的设置级数越多，其保护路基稳定性的效能越好；

二是反压护道的宽度与其保护能力成正比，反压护道的宽度越宽，其保护路基的效能越好；三是在设置反压护道的同时，一定要注意在护道上形成一定横向坡度，便于排水^[4]。

表层排水法、砂垫层法、稳固剂表层处理法、强夯法、换填法、土工合成材料法、水泥搅拌桩法、静力排水固结法、碎石桩法、抛石挤淤法、反压护道法都是针对公路工程项目软土基层的有力处置措施，熟悉和掌握这些方法，对公路工程项目软土基层的施工和管理而言非常关键^[5]。

3 公路工程软土地基的施工技术应用案例分析

某公路工程项目是某市拟建的一条交通主干道，该主干道全长大概160 km，跨越多个不同的行政区县。该道路在施工的过程中，遇到一处区域面积较大的软弱土地基层，通过实验室检测，该软弱土地基层的部分工程特性参数如表1所示。

表1 某公路工程项目部分土基工程特性参数

| 参数指标 | 十字板抗剪强度 (MPa) | 固结系数 (cm/s) | 灵敏度 | 压缩系数 | 快剪内聚力 (kPa) | 快剪摩擦角 (°) |
|---------|---------------|-------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| 实验室检测数值 | 23.5~48.5 | 4.05~33.5 | 2.6~13.8 | 0.68~1.62 | 4.5~10.6 | 4.2~11.3 |

由实验室检测的土壤工程特性参数来看，这一软土基层属于淤泥质土。由于对淤泥质土采取改良的措施，效用不明显，因此工程项目部在经过充分的考虑后，决定采用抛石挤淤和回填改良土相结合的方法对软土基层进行处理。

如图1所示，在开展抛石挤淤的过程中，首先需要测定原淤泥面的标高，其次根据路基标高面的需求，从一个方向到另一个方向渐进式地抛掷不同粒径、不同级配的片石，将淤泥逐渐向一个方向挤出。在此过程中，当淤泥高面超过路基标高面时，就需要使用机械将淤泥挖掘转运至弃土场，在片石抛掷的过程中，使用碾压机械反复碾压，使片石达到一定的密实度。

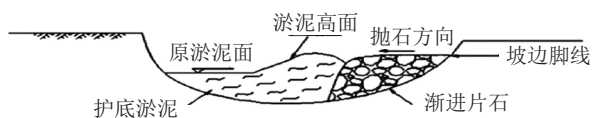


图1 抛石挤淤施工示意图

当淤泥质土被全部挤出公路工程土基区域面后，使用仪器设备对片石的密实度进行检测。当片石的密实度符合公路工程项目的土基设计标准后，在片石顶部回填改良土至路基基层顶标高，从而完成对软弱土基层区域的处理。该项目使用上述方法对软弱土基层进行处理后，道路桥梁达到了设计标准要求的功能强度，效果良好。

4 结束语

公路工程项目由于线路长，设计区域面大，在实

施过程中遇到软弱土基层的可能性较大。因此，熟悉、了解公路工程软土基层的物理特性，明晰软土地基含水量、孔隙比、压缩性、渗透系数等对土基的不良影响，是开展软土地基处置工作的基础。有效掌握表层排水法、砂垫层法、稳固剂表层处理法、强夯法、换填法、土工合成材料法、水泥搅拌桩法、静力排水固结法、碎石桩法、抛石挤淤法、反压护道法等软土地基处置方法的原理的适用范围，对灵活开展软土地基处置工作十分必要。本文以工程案例为借鉴，以期对淤泥质土基层的施工处置提供一定参考。

参考文献

- [1] 王志宇.公路桥梁软土地基施工的关键技术分析[J].技术与市场, 2021, 28(12): 110-111.
- [2] 黎霞.软土地基施工技术分析及其在公路桥梁施工中的应用[J].黑龙江交通科技, 2021, 44(11): 12, 14.
- [3] 黄群杰.软土地基施工技术在公路桥梁施工中的应用分析[J].黑龙江交通科技, 2021, 44(9): 130, 132.
- [4] 樊江勇.公路桥梁施工中软土路基处理技术[J].交通世界, 2021(23): 151-152.
- [5] 刘尾, 龚海燕.公路桥梁施工中软土地基施工的技术要点分析[J].黑龙江交通科技, 2021, 44(4): 16-17.