常见道路软基处理方法的适用性对比研究

刘旭波

宁波仁湖工程设计有限公司 浙江 宁波 315500

摘要：本文对比研究了常见道路软基处理方法的适用性，道路软基具有高含水量、高孔隙比、低强度和高压缩性等特性，难以满足道路工程的承载要求。文章分析了换填法、排水固结法、深层搅拌法、强夯法等多种软基处理方法的原理、施工流程及适用条件，并从地质条件、工程要求、经济成本 and 环境影响等角度进行了对比。研究发现，不同处理方法在适用性上存在显著差异，需根据具体情况合理选择，以确保道路软基处理的有效性和经济性。

关键词：道路软基；处理方法；适用性；对比研究

引言：道路软基处理是道路工程建设中的关键环节，软土地基因其不良的工程特性，往往导致道路结构破坏、沉降过大等问题，严重影响道路的安全和使用寿命。因此，选择合适的软基处理方法至关重要。本文旨在通过对比分析常见道路软基处理方法的适用性，为道路工程建设提供科学指导，以确保道路工程的稳定性和安全性，满足交通运输需求。

1 道路软基的基本特性与处理要求

1.1 道路软基的定义与分类

道路软基是指在道路工程建设范围内，天然含水量大、压缩性高、承载能力低的软弱土层。这类土层在外部荷载作用下易产生较大的沉降和变形，难以满足道路工程的承载要求。根据成因和物质组成，道路软基可分为多种类型。淤泥质软基是常见的一种，主要由河流、湖泊等水体沉积形成，含有大量的淤泥，具有高含水量、高孔隙比的特点；冲填土软基多是由人类活动形成，如水利工程建设中冲填的泥沙等，其工程性质因冲填材料和冲填方式的不同而存在较大差异；还有泥炭质软基，含有大量未完全分解的植物残体，有机质含量高，压缩性极强。

1.2 道路软基的工程特性

道路软基的工程特性主要体现在多个方面。高含水量是其显著特征之一，含水量通常在30%以上，部分甚至超过100%，这使得土体呈流塑或软塑状态，强度极低。高孔隙比也是软基的重要特性，孔隙比一般大于1.0，部分可达2.0以上，土体结构疏松，压缩性大。低强度是软基难以满足工程要求的关键原因，其天然地基承载力通常小于100kPa，无法承受道路建设带来的荷载。高压缩性使得软基在荷载作用下会产生较大的沉降，且沉降持续时间长，若沉降量超过允许范围，会导致路面结构破坏。另外，软基还具有触变性和流变性。触变性是指软

基受到扰动后，其强度会急剧下降，待扰动停止后，强度又会逐渐恢复，但难以恢复到原来的水平；流变性则是指在长期荷载作用下，软基会发生缓慢的变形，这种变形会持续较长时间，对道路的稳定性产生不利影响^[1]。

1.3 道路软基处理的基本要求

道路软基处理需满足多方面的基本要求。在强度方面，处理后的地基应具有足够的承载能力，能够承受道路结构自重和车辆荷载，确保道路不会因地基强度不足而发生破坏。稳定性是另一个重要要求，处理后的软基应能保证道路在施工和使用过程中不会出现滑动、坍塌等失稳现象，维持道路的整体结构稳定；沉降控制也是关键，需将地基的沉降量控制在允许范围内，避免因过大的沉降导致路面开裂、桥头跳车等问题。同时，沉降的速率也应得到控制，防止沉降过快影响道路的正常施工和使用。另外，处理方法还应考虑经济性和环境友好性，在满足工程要求的前提下，尽量降低处理成本，减少对周边环境的影响。

2 常见道路软基处理方法及原理

2.1 换填法

换填法是通过将基础底面以下一定范围内的软土挖除，换填为强度较高、压缩性较低、性能稳定的材料（如砂石、灰土、素土等），并分层夯实或碾压至设计要求的密实度，从而提高地基承载力，减少地基沉降。其施工流程大致如下：首先进行场地平整，清除地表的杂草、杂物等；然后根据设计要求的换填深度和范围，开挖软土，开挖过程中要注意边坡稳定，必要时进行支护；接着进行换填材料的摊铺，材料应分层摊铺，每层厚度根据压实设备的性能确定，一般为20-30cm；最后采用压路机等设备进行压实，直至达到设计的压实度。换填法适用于软土层厚度较薄（一般小于3m）的情况，对于深厚软土层，采用换填法会增加工程量和成本，且处

理效果不佳。该方法施工工艺简单、直观，处理效果显著，能快速提高地基强度，但换填材料的运输和开挖会产生较高的成本，且对周边环境有一定的扰动。

2.2 排水固结法

排水固结法的原理是通过在软土地基中设置排水体（如砂井、塑料排水板等），改善地基的排水条件，然后施加预压荷载（如堆载预压、真空预压等），使软土中的孔隙水排出，土体发生固结，孔隙比减小，强度提高。施工流程主要包括：先进行场地清理和平整，然后铺设砂垫层，砂垫层起到排水和传递荷载的作用；接着按设计要求布置排水体，砂井可采用沉管法等施工，塑料排水板则通过插板机插入软土中；之后施加预压荷载，堆载预压需分级加载，避免因加载过快导致地基失稳，真空预压则通过抽真空形成负压，促使土体排水固结；最后在地基达到设计要求的固结度和强度后，卸载并进行后续施工；排水固结法适用于处理淤泥、淤泥质土、冲填土等饱和软土，这些土类具有良好的排水固结特性。该方法处理成本相对较低，能有效提高地基的承载力和稳定性，但处理周期较长，一般需要数月甚至数年，且对预压荷载的控制要求较高^[2]。

2.3 深层搅拌法

深层搅拌法是利用特制的深层搅拌机械，在地基深处将软土和固化剂（如水泥、石灰等）强制搅拌，使软土与固化剂发生一系列物理化学反应，形成具有一定强度和整体性的水泥土桩或水泥土墙，从而提高地基承载力，改善地基的变形特性。首先进行设备定位，将搅拌桩机对准设计桩位；然后启动搅拌桩机，使搅拌头旋转下沉，直至达到设计深度；接着边提升搅拌头边喷入固化剂浆液，使固化剂与软土充分搅拌混合；最后重复搅拌下沉和提升过程，以确保搅拌均匀，形成符合要求的水泥土桩；深层搅拌法适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土等软土，对于含有大块石、树根等障碍物的土层，施工难度较大。该方法施工过程中无振动、无噪音，对周边环境影响小，施工速度快，处理深度较大，但受地质条件影响较大，当软土中含有有机质较多时，会影响固化效果。

2.4 强夯法

强夯法是利用起重设备将重锤（一般为10-40t）提升至一定高度（一般为8-20m）后自由落下，产生强大的冲击能量，在地基中产生冲击波和动应力，迫使土体孔隙压缩、土体颗粒重新排列，从而提高地基土的密实度，降低孔隙比，增加地基承载力，减少地基沉降。首先进行场地平整，清除地表的障碍物，并铺设一定厚度的砂

石垫层，以扩散夯击能量，保护夯锤和便于机械行走；然后根据设计的夯点布置图，确定夯点位置并做好标记；接着按照规定的夯击次数和夯击能进行强夯施工，每夯击一遍后，应对场地进行平整，再进行下一遍夯击；最后进行满夯，将表面松土夯实；强夯法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等。对于高饱和度的软土，强夯法处理效果较差，需要结合其他方法（如排水固结法）一起使用。该方法处理效果显著，能大幅提高地基承载力，施工速度快，成本相对较低，但施工过程中会产生较大的振动和噪音，对周边建筑物和构筑物有一定的影响，在城市市区或周边有敏感建筑物的区域使用受到限制。

2.5 其他常见道路软基处理方法

高压喷射注浆法是一种先进的软基处理方法，它运用高压泵的压力，将水泥浆液等固化剂经由特制的喷嘴，以极高的速度喷射至软土内部。这一过程中，高速射流不仅能够切割并破坏土体结构，还能促使浆液与土体充分混合并搅拌，进而形成具备高强度和稳定性的水泥土固结体。这种方法在处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土以及人工填土等多种软土类型时均表现出色。施工过程中，还能根据实际需要，灵活调整固结体的形状，如柱状或壁状，以适应不同的地基加固需求^[3]。值得注意的是，在面对含有大量纤维质和有机质的土层时，高压喷射注浆法的处理效果可能会受到一定影响。灰土挤密桩法是另一种有效的软基处理方法。它主要通过沉管、冲击或爆破等工艺手段，在土层中创造出桩孔。随后，将灰土等材料填入桩孔，并逐层进行夯实。灰土的挤压作用以及灰土与桩间土之间发生的物理化学反应，能够显著提高地基的承载能力，同时减少地基的沉降量。这种方法尤其适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等。其处理深度一般可达5-15米，且施工工艺相对简便，成本也相对较低。因此，灰土挤密桩法在道路软基处理领域具有广泛的应用前景。

3 常见道路软基处理方法的适用性对比分析

3.1 基于地质条件的适用性对比

不同的地质条件对道路软基处理方法的选择有重要影响。从软土类型来看，换填法适用于各类软土，但更适合软土层较薄的情况；排水固结法对于淤泥、淤泥质土等饱和软土效果显著；深层搅拌法在淤泥、淤泥质土、粉土等软土中应用广泛；强夯法则适用于碎石土、砂土等非饱和或低饱和度软土。对于软土厚度，换填法适用于厚度小于3m的软土；排水固结法可用于厚度较大的软土，但厚度过大会增加处理周期；深层搅拌法的处

理深度较大,可用于较厚的软土层;强夯法对软土厚度的适应性较强,但深厚软土处理效果欠佳;从含水量和孔隙比来看,高含水量、高孔隙比的软土更适合采用排水固结法,通过排水降低含水量和孔隙比;强夯法在低含水量、低孔隙比的软土中处理效果更好;换填法和深层搅拌法对含水量和孔隙比的适应范围相对较广,但过高的含水量会影响换填材料的压实效果和深层搅拌法的固化反应。

3.2 基于工程要求的适用性对比

不同的道路等级和荷载要求对地基承载力和沉降控制有不同的标准。对于高等级道路(如高速公路、一级公路),对地基承载力和沉降控制要求较高,深层搅拌法、强夯法(在适宜地质条件下)等能提供较高的地基强度,可满足其要求;换填法在软土层较薄时也能满足高等级道路的要求;排水固结法由于处理周期长,在对工期要求紧的高等级道路工程中应用受到一定限制。对于低等级道路,对地基的要求相对较低,换填法、灰土挤密桩法等成本较低的处理方法可能更为适用。在沉降控制方面,排水固结法能有效减少工后沉降,适用于对沉降要求严格的工程;换填法和深层搅拌法也能较好地控制沉降;强夯法在控制沉降方面效果显著,但在高饱和度软土中可能会出现较大的后期沉降^[4]。

3.3 基于经济成本的适用性对比

从前期勘察设计费用来看,各类方法差异不大,但复杂地质条件下,深层搅拌法、高压喷射注浆法等对勘察精度要求更高,费用可能稍高。施工材料费用方面,换填法的材料费用较高,尤其是当换填材料运距较远时;排水固结法的材料费用主要为排水体和预压材料费用,相对较低;深层搅拌法的主要材料为固化剂,费用适中;强夯法的材料费用较低,主要为夯锤和设备的折旧费用。设备租赁费用方面,强夯法需要大型起重设备和夯锤,租赁费用较高;深层搅拌法、高压喷射注浆法等专用设备的租赁费用也较高;换填法和排水固结法的设备相对简单,租赁费用较低。工期成本方面,排水固结法工期最长,工期成本较高;强夯法、换填法施工速

度快,工期成本较低;深层搅拌法工期适中。综合来看,换填法成本较高,排水固结法成本相对较低,强夯法和深层搅拌法成本适中。

3.4 基于环境影响的适用性对比

施工过程中产生的噪音方面,强夯法施工时重锤落下会产生巨大的噪音,对周边环境影响较大;换填法的开挖和压实过程也会产生一定噪音,但相对较小;深层搅拌法、高压喷射注浆法等施工噪音较低。强夯法产生的振动较大,可能对周边建筑物和构筑物造成损害;换填法的振动较小;深层搅拌法等基本不会产生振动影响。扬尘和废弃物方面,换填法的开挖和材料运输会产生较多扬尘和废弃物;强夯法施工扬尘较少;排水固结法和深层搅拌法产生的废弃物也相对较少^[5]。总体而言,深层搅拌法、排水固结法等对环境的影响较小,强夯法和换填法对环境的影响相对较大。

结束语

综上所述,道路软基处理方法的适用性受多种因素影响,需根据地质条件、工程要求、经济成本 and 环境影响等综合考虑。在实际工程中,应合理选择处理方法,结合现场实际情况进行优化设计和施工,以提高道路软基处理的效果和经济性。未来,随着技术的不断进步和创新,将有更多高效、环保的道路软基处理方法涌现,为道路工程建设提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]陈绿红.公路工程软基处理技术及质量控制探究[J].江西建材,2022(12):197-198+201.
- [2]吕庆龙.市政道桥工程沉降段路基路面的施工技术研究[J].四川建材,2023,49(11):196-198.
- [3]徐耀辉.市政道桥工程中沉降段路基路面施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(01):155-157.
- [4]陈明.张华.道路工程软土地基施工质量监测技术研究[J].公路工程,2020,45(2):130-136.
- [5]张加岐.某沿海市政道路软基处理方法分析[J].江西建材,2022(5):226-227,230.