

浅谈湿陷性黄土路基设计与处理措施

张 安

山西晋城公路规划勘察设计有限公司 山西 晋城 048000

摘 要：随着国家基础设施建设的持续推进，公路工程不断向更广泛的区域延伸，湿陷性黄土地区成为众多公路项目必经之地。本文聚焦湿陷性黄土路基设计与处理措施。首先剖析湿陷性黄土的物理、力学性质及湿陷机理，阐述其对路基造成的沉陷、边坡失稳、路面损坏等危害。接着从勘察、横断面、地基处理、排水等方面阐述设计要点，并详细介绍换填垫层、强夯、挤密、深层搅拌桩、预浸水等常见处理措施。旨在为湿陷性黄土地区路基工程提供科学合理的设计思路与有效的处理方法，保障路基的稳定性与耐久性，降低工程病害发生概率，提升道路使用性能与运营安全。

关键词：湿陷性；黄土路基；设计；处理；措施

引言：湿陷性黄土是我国北方地区广泛分布的特殊性土，其显著特点是在一定压力作用下受水浸湿后会产生剧烈的附加沉降，给路基工程带来极大隐患。在道路建设中，湿陷性黄土路基若处理不当，易引发路基不均匀沉陷、边坡滑塌、路面开裂等病害，不仅影响道路的正常使用寿命，还可能导致工程维护成本增加、使用寿命缩短。因此，深入研究湿陷性黄土的特性及对路基的危害，制定科学合理的设计方案和处理措施，是确保湿陷性黄土地区道路工程安全稳定的关键。并结合湿陷性黄土的工程特性，探讨其对路基的危害及相应的设计与处理措施，为同类工程提供借鉴。

1 湿陷性黄土特性分析

1.1 物理性质

湿陷性黄土的物理性质具有显著特殊性，其颗粒组成以粉粒为主，占比通常在60%~70%，黏粒含量较少，一般低于20%，砂粒含量多在10%以下。外观多呈浅黄色或褐黄色，结构疏松，孔隙发育，孔隙比通常大于1.0，部分可达1.5以上。天然含水量较低，多在10%~25%之间，液限一般为25%~35%，塑限约15%~20%，塑性指数较小，多在10~15之间。

1.2 力学性质

湿陷性黄土的力学性质与其含水量和受力状态密切相关。在天然状态下，其具有较高的强度，压缩性较低，抗压强度可达100~300kPa，抗剪强度指标中的内摩擦角一般为15°~25°，黏聚力在10~30kPa之间。但当受到水的浸湿后，力学性质会发生剧烈变化，强度显著降低，压缩性急剧增大。在一定压力作用下，其压缩系数可从天然状态的0.1~0.3MPa⁻¹增至1.0MPa⁻¹以上，抗剪强度也会大幅下降，内摩擦角和黏聚力均明显减小，这使

得黄土在遇水后极易发生变形破坏。

1.3 湿陷机理

湿陷性黄土的湿陷机理可从其微观结构和受力平衡角度解释。黄土在形成过程中，由于风力搬运和沉积作用，颗粒间形成了以点接触为主的架空结构，且颗粒间存在易溶盐（如碳酸盐、硫酸盐等）胶结物，这些胶结物在干燥状态下能维持结构的稳定性。当黄土遇水时，易溶盐胶结物发生溶解，颗粒间的联结力减弱，同时水的浸入使土颗粒表面润湿性增强，孔隙水压力升高。在外部压力作用下，架空结构被破坏，颗粒发生重新排列，孔隙体积迅速减小，从而产生显著的附加沉降，即表现出湿陷性^[1]。

2 湿陷性黄土对路基的危害

2.1 路基沉陷

湿陷性黄土路基在遇水后易发生显著沉陷，且多呈现不均匀性。由于黄土分布的差异性及水分渗透的不均衡，路基各部位沉降量差异较大，可能出现局部凹陷或整体下沉。这种沉陷会导致路基结构内部产生附加应力，使路基的承载能力大幅下降，无法有效传递上部荷载。严重时，沉陷区域会形成明显的变形带，破坏路基的整体性，进而影响道路的平顺性，给行车安全带来隐患，同时也会加剧路基其他病害的发生。

2.2 边坡失稳

湿陷性黄土路基的边坡在水分作用下极易失稳。黄土遇水后强度急剧降低，抗剪能力大幅下降，难以维持边坡的原有平衡状态。随着水分的持续渗透，边坡土体的自重增加，内部孔隙水压力上升，导致边坡土体沿软弱面发生滑动或坍塌。边坡失稳不仅会造成路基宽度缩减，还可能引发滑坡等地质灾害，损坏周边设施，若处

理不及时,还会进一步扩大危害范围,增加工程修复难度和成本。

2.3 路面损坏

湿陷性黄土路基的病害会直接反映在路面上,导致路面出现多种损坏形式。路基的不均匀沉陷会使路面产生不规则的裂缝,如横向裂缝、纵向裂缝或网状裂缝,这些裂缝会逐渐扩大并贯穿路面结构。同时,路基沉降还会引起路面的错台、凹陷,破坏路面的平整度。此外,水分通过路面裂缝渗入路基,又会加剧黄土的湿陷,形成恶性循环,使路面结构过早破坏,降低其使用寿命,增加养护维修的频率和费用。

3 湿陷性黄土路基设计要点

3.1 勘察设计

勘察设计需全面揭示湿陷性黄土的工程特性,为路基设计提供精准依据。首先,通过详细的地质调查,明确黄土分布区域的地形地貌、地层结构及不良地质(如陷穴、冲沟)的分布规律,绘制详细的地质平面图与剖面图。钻探工作应按网格布点,间距控制在20~50m,钻探深度需穿透湿陷性黄土层,确保获取完整的土层剖面。取样时,每5m取一组原状土样,测定天然含水量、密度、孔隙比、液塑限等物理指标,同时通过室内压缩试验确定湿陷系数、湿陷起始压力及压缩模量,划分湿陷等级(I~IV级)和湿陷类型(自重或非自重)。现场原位测试需结合静力触探、动力触探判断土层密实度,通过浸水载荷试验模拟实际受力条件下的湿陷量。勘察报告还需分析地下水埋深、补给方式及水质对黄土的影响,提出针对性的处理建议,确保后续设计方案的科学性与可行性。

3.2 路基横断面设计

路基横断面设计需兼顾湿陷性黄土的变形特性与工程经济性。填方路段应根据黄土的压实度要求(不低于93%)确定填土高度,当高度超过8m时,设置2~3级台阶,台阶宽度1.5~2m,向内倾斜3%,台阶间铺设土工格栅增强整体性。挖方路段边坡设计需结合湿陷等级,I~II级黄土采用1:1.5坡率,III~IV级采用1:1.75~1:2.0,并每隔10m设置2m宽平台,平台内侧设截水沟。路基顶面设2%~3%双向横坡,路肩边缘设0.5m宽碎落台。对于填挖交界段,需将挖方段边坡开挖成台阶,台阶高度0.6m,宽度不小于1m,分层碾压搭接长度不小于2m。高填方路基(高度>20m)需进行沉降验算,计算工后沉降量,若超过规范限值(一般≤30cm),应采用堆载预压或超载预压(超载量为设计荷载的1.2倍),预压时间根据固结度确定(通常6~12个

月)。横断面设计还需预留50~100cm的加宽值,应对可能的不均匀沉降^[2]。

3.3 地基处理设计

地基处理设计的核心是消除湿陷性并提高承载力,需根据湿陷等级和土层条件选择适配方案。对于I级非自重湿陷性黄土(湿陷量<50cm),若土层厚度<3m,采用换填法,换填3:7灰土或级配砂石,分层碾压(压实度≥96%),垫层宽度超出路基坡脚0.5~1m;若土层厚度3~5m,采用冲击碾压法,碾压遍数20~30遍,压实度控制在94%以上。对于II~III级湿陷性黄土(湿陷量50~200cm),中厚层(5~15m)采用强夯法,单点夯能3000~6000kN·m,夯点间距4~6m,分3~4遍夯击,最后以低能满夯,处理深度可达6~12m;或采用灰土挤密桩,桩径40~50cm,桩距1.0~1.5m,按等边三角形布置,桩长穿透湿陷层,桩体压实度≥93%,复合地基承载力特征值≥180kPa。对于IV级自重湿陷性黄土(湿陷量>200cm),采用深层搅拌桩(水泥土桩),桩径50~60cm,桩距1.2~1.8m,水泥掺量15%~20%,桩端进入非湿陷层≥1m,形成刚性桩复合地基,同时设置0.5m厚碎石垫层协调变形。处理范围应超出路基两侧坡脚1.5~2m,确保边缘地基稳定。

3.4 排水设计

排水设计需构建全方位的防排水体系,阻断水分与湿陷性黄土的接触。地表排水系统中,边沟采用梯形断面,底宽0.6m,深度0.8m,沟壁采用M7.5浆砌片石砌筑,内侧抹2cm厚水泥砂浆防渗;截水沟设置在挖方坡顶5m处,断面尺寸同边沟,与边坡平台截水沟相连,形成排水网络。填方路段坡脚外侧设1.5m宽防渗铺盖,采用30cm厚灰土(灰剂量10%)碾压密实,上铺0.5mm厚HDPE土工膜,膜体接缝采用热熔焊接,搭接宽度10cm。地下排水方面,当路基范围内存在上层滞水时,设置盲沟,沟宽0.5m,深度1.0~1.5m,沟内填充级配碎石,四周包裹透水土工布(渗透系数>1×10⁻³cm/s)。对于地下水丰富区域,在路基底部设置30cm厚碎石排水垫层,垫层内埋设φ100mm双壁波纹管,坡度0.5%,将水引入边沟。

4 湿陷性黄土路基处理措施

4.1 换填垫层法

换填垫层法是处理浅层湿陷性黄土路基的常用手段,特别适合湿陷性土层厚度不大、湿陷程度较轻的区域。施工时,首先需要将路基范围内的湿陷性黄土彻底挖除,清除过程中要避免对下部非湿陷性土层造成过多扰动。随后选用性能稳定的材料进行填充,常用的有灰土、砂石等,其中灰土需将石灰与黏土按合适比例充

分拌和,确保混合均匀;砂石则要保证颗粒级配合理,不含过多杂质。施工过程中需严格遵循分层开挖与回填的原则,每层开挖到一定深度后,立即铺设相应厚度的垫层材料,再用压实机械反复碾压密实,使垫层与下部土层紧密结合,形成整体受力结构。

4.2 强夯法

强夯法借助重锤从高处自由落下产生的强大冲击力,对湿陷性黄土路基进行夯实处理,从而改善土体性质。该方法适用于处理中厚层湿陷性黄土,能够在较大深度范围内对土体结构进行改良。施工前需要对场地进行平整,清除地表的障碍物,并根据路基的实际情况,合理确定夯点的布置形式、间距以及夯击次数等参数。重锤下落时,巨大的能量传递到土体中,促使土体颗粒重新排列、相互挤压,从而减少孔隙体积,降低黄土的湿陷性。在夯击过程中,要注意控制好夯击力度和相邻夯击之间的间隔时间,避免因过度扰动导致土体结构破坏。

4.3 挤密法

挤密法通过在湿陷性黄土中打入桩体,利用桩体的挤压作用使周围土体密实,进而消除黄土的湿陷性。常用的桩体材料包括灰土、砂石等,可根据场地的地质条件、工程要求等选择合适的桩型和布置方式,如梅花形布置或正方形布置等。施工时,先采用专用的成孔机械在预定位置钻孔,成孔过程中要注意控制孔的垂直度和深度。然后将预先拌合好的填充材料分层填入孔内,并逐层夯实,使桩体具有足够的强度。桩体形成后,与周围被挤密的土体共同构成复合地基,协同承担上部荷载,从而提高地基的承载能力,减少沉降量。

4.4 深层搅拌桩法

深层搅拌桩法是利用特制的深层搅拌机械,将水泥等固化剂与湿陷性黄土在地下深处进行强制搅拌,使固化剂与土体发生一系列物理化学反应,形成具有一定强度和稳定性的柱状桩体。该方法适用于处理深度较大、湿陷性较强的黄土路基,能够有效改善深层土体的性质。施工时,搅拌机械按照预定的桩位下沉,同时通过注浆管向土体中喷射固化剂,当机械到达设计深度后,再缓慢提升并继续搅拌,确保固化剂与土体充分混合均匀。桩体形成后,不仅自身能够承受一定的荷载,还能

与周围土体协同工作,共同承担上部结构传来的压力,从而有效提高地基的承载能力和抗变形能力。深层搅拌桩法施工过程中振动小、噪音低,对周围环境的影响较小,适合在城市区域或周边有敏感建筑物的场地使用。

4.5 预浸水法

预浸水法是在工程正式施工前,对湿陷性黄土路基进行预先浸水处理,使黄土在自重压力或适当附加压力作用下发生湿陷,提前完成大部分沉降量。该方法适用于处理自重湿陷性黄土,尤其适合大面积、厚度较大的黄土区域,能够从源头上解决自重湿陷带来的问题。施工时,首先需要在场地周边设置严密的围堰,以控制浸水范围,防止水分外溢。然后按照一定的速率缓慢向场地内注水,使水分能够逐渐渗入土体内部,避免因注水过快导致地表冲刷或局部隆起。在浸水过程中,要持续监测土体的沉降量、湿陷速率等指标,及时掌握湿陷情况。待土体沉降趋于稳定后,再进行后续的工程施工。预浸水法能从根本上消除黄土的自重湿陷性,大幅减少工程建成后的沉降隐患。但该方法所需的时间较长,且受气候条件影响较大,在干旱地区由于水源不足或蒸发过快,可能会影响处理效果^[3]。

结束语

综上所述,湿陷性黄土路基的设计与处理需紧密结合其特殊工程性质,从勘察、横断面规划到地基处理、排水系统构建,形成系统性方案。换填垫层、强夯、挤密等处理措施各有适用场景,需根据实际条件科学选用。通过针对性设计与合理施工,可有效控制黄土湿陷带来的危害,保障路基稳定性与耐久性。这不仅是道路工程质量的重要保障,也为湿陷性黄土地区基础设施建设提供了关键技术支撑,对推动区域交通发展具有重要实践意义。

参考文献

- [1]杜月林.谈湿陷性黄土路基病害及处理策略研究[J].山西建筑,2021(9):139~141.
- [2]梁宝军,樊先锋.浅析湿陷性黄土路基病害及处理措施[J].科学与财富,2021(24):310.
- [3]杜建平.湿陷性黄土路基处理方法及控制要点分析[J].公路交通科技(应用技术版),2020(6):64-66,69.