

# 湿陷性黄土工程特性及路基病害防治措施

黄涛, 韩秋石

(长安大学公路学院, 西安 710064)

**摘要:**湿陷性黄土压缩性大、强度低。在其上修筑路基容易产生较大的沉降量,且常因雨水导致各种工程病害。随着我国道路工程建设的不断发展,在西部地区由湿陷性黄土引起的路基病害问题日益突出,已严重影响到道路的施工建设。介绍了湿陷性黄土的工程特性,针对路基各种病害类型及成因进行了分析,并提出了相应的防治措施。该研究对湿陷性黄土地区路基的设计、施工及养护具有重要的指导意义。

**关键词:**湿陷性黄土;道路工程;路基病害;工程特性;防治措施

**中图分类号:**U416.1

**文献标志码:**A

我国西部地区工程地质条件复杂、道路工程施工难度大,其复杂性主要表现在各种不同特殊土地基的处理上,湿陷性黄土就是其中的一种特殊土。湿陷性黄土主要集中在黄河中游山西、陕西、甘肃的大部分地区,由于其自身的结构特征及其物质成分而带来显著的湿陷性和压缩性等工程特征,对实际工程的施工造成了一定的影响,最终导致工程质量下降。近些年来,湿陷性黄土路基的处理防治问题日益突出,越来越受到国内科研人员和工程师们的重视<sup>[1-7]</sup>。文章通过介绍湿陷性黄土的工程特性,针对路基各种病害形式及成因进行分析,最后提出了相应防治措施,以期为实际工程提供借鉴。

## 1 湿陷性黄土的工程特性

湿陷性黄土由于其自身的结构特征及物质成分而表现出与其它土类不同的性质,其工程特性主要表现在以下三个方面,即湿陷性、压缩性和强度指标。

### 1.1 湿陷性

湿陷性是黄土的本质属性,黄土湿陷性体现在天然黄土在外界一定的压力作用下,受水浸湿后土体的结构迅速发生破坏并产生显著的湿陷变形,同时强度也随之降低的现象。黄土湿陷的原因通常是由于地面积水、地下管道漏水、生活和工业污水等排入地下,或者是由于

天然降水量较大使得地下水位上升而引起。受水浸湿只是湿陷变形发生的外界条件,而黄土的物质组成成分及其结构特征才是产生湿陷变形的内在原因。

干旱或半干旱的气候环境是黄土形成的必要条件,黄土的颗粒组成以粉粒为主,并包含少量的砂粒和粘粒共同排列成支撑性骨架。长期的干旱气候使得土中的水分不断蒸发,土中少量的水分连同溶于其中的盐类形成胶结物,这就产生了颗粒间起加固作用的粘聚力。黄土受水浸湿后,形成的胶结物逐渐溶解消失,骨架颗粒重新排列,强度随之降低。土体在上部图层的自重应力和附加应力作用下骨架结构迅速破坏,土体颗粒移向大孔,颗粒间孔隙减小,从而发生湿陷沉降变形<sup>[8]</sup>。

黄土的湿陷性强弱同黄土中胶结物的含量和成分以及颗粒的组成和分布紧密相关。胶结物含量大,粘粒含量多,则湿陷性较低;反之,粒径大于0.05 mm的颗粒较多,胶结物含量少,则湿陷性较强。此外,黄土的湿陷性还与孔隙比、含水量和所受压力的大小有关。孔隙比愈大,含水量愈低,则湿陷性愈强。在其他情况不变的情况下,随着压力的增大,湿陷量增加,当压力超过某一值后,再增加压力,湿陷量反而减少。

黄土的湿陷性通常采用湿陷性系数 $\delta_s$ 来判定,它表示单位厚度的土层由于浸水在一定的压力作用下产生

的湿陷量,反映了黄土的湿陷程度。根据我国《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004)规定:当  $\delta_s < 0.015$  时,为非湿陷性黄土;当  $0.015 \leq \delta_s < 0.03$  时,湿陷性轻微;当  $0.03 \leq \delta_s < 0.07$  时,湿陷性中等;当  $0.07 \leq \delta_s$  时,湿陷性强烈。

### 1.2 压缩性

土体的压缩性反映了地基土在外界荷载作用下产生压缩变形的大小。对湿陷性黄土地基,压缩变形为地基土在天然含水量条件下受外界荷载作用所产生的变形,它不包括地基土浸水后产生的湿陷变形。评价湿陷性黄土的压缩性指标通常为压缩系数  $a$ ,它定义为压缩试验所得  $e-p$  曲线上某一压力段的割线的斜率。工程上一般采用  $100 \sim 200$  kPa 压力区间内对应的压缩系数  $a_{1-2}$  评价土的压缩性,压缩性强弱判定标准为:当  $a_{1-2} \geq 0.5 \text{ MPa}^{-1}$  时,为高压缩性土;当  $0.5 \text{ MPa}^{-1} > a_{1-2} \geq 0.1 \text{ MPa}^{-1}$  时,为中压缩性土;当  $a_{1-2} < 0.1 \text{ MPa}^{-1}$  时,为低压缩性土。

### 1.3 强度指标

湿陷性黄土的强度指标除了与颗粒组成和粘粒含量有关外,还取决于土体的含水量和密实程度。湿陷性黄土的强度大小实际上由土体内的内聚力确定,而内聚力通常分为原始内聚力和加固内聚力。原始内聚力由土体颗粒间的电分子引力所产生,它主要取决于土体的颗粒组成、粘粒含量以及密实程度。当粘粒含量越多,土体越密实,则原始内聚力越大,反之越小。加固内聚力主要由化学胶结作用产生,如黄土中的碳酸钙、石膏、硫酸镁、氯化钠等溶液,当水分蒸发时而发生凝胶作用,溶液会以薄膜形式包裹在土粒表面,对土粒起胶结作用<sup>[9]</sup>。天然含水量低的黄土,由于土体内部存在架空结构,密度较低,原始内聚力较低,而加固内聚力较大。土体受水浸湿后发生胶溶作用使加固内聚力减小,强度较低,最终湿陷。

## 2 湿陷性黄土路基病害形式及成因

根据我国工程实际调查情况分析,湿陷性黄土地区路基病害形式主要有三种:路基沉陷、路基陷穴、路基边坡破坏。

### 2.1 路基沉陷

黄土路基受水浸湿后,在外界荷载压力作用下,黄土结构迅速破坏并产生显著沉降,导致路基沉陷破坏。路基沉陷的主要破坏形式为纵向沉陷、横向沉陷,如图 1 所示。

湿陷性黄土路基沉陷的原因主要有黄土压缩变形大,道路排水不畅,施工前勘察不详细等。具体可以体现为:



(a) 纵向沉陷



(b) 横向沉陷

图 1 路基沉陷破坏

(1) 由于黄土基底本身压缩变形大且强度不够,倘若施工时预压不充分,或未采取任何换填措施,一旦有水侵入就会导致路基沉陷<sup>[10]</sup>。

(2) 因路基边坡滑塌或崩塌而产生的落物会阻塞边沟,导致道路排水不畅。若不及时进行清理养护,会使滞水下渗引起路基局部被掏空,最终引发路基沉陷。

(3) 施工前,未对基底进行详细勘察,基底存在未被完全压实的陷穴或坑洞,导致后期路基沉陷。

### 2.2 路基陷穴

湿陷性黄土在地表水的冲蚀和地下水的溶蚀作用下,形成暗沟、暗洞、暗穴等破坏结构,统称为路基陷穴,按形态结构通常分为竖井状陷穴和漏斗状陷穴,如图 2 所示。路基陷穴发生的原因具体体现为:

(1) 土体结构是路基产生陷穴的根本原因。湿陷性黄土主要成分为粉土颗粒,其土质疏松,且细微颗粒容易受水潜蚀。同时黄土中易溶于水的盐含量丰富,其中控制强度的结构状碳酸钙在酸性雨水的条件下,其结构迅速破坏,导致土质更加松软,利于地下水进一步渗透。土体大孔隙和裂隙发育又为雨水的进一步渗透提供了条件,加速了潜蚀<sup>[11]</sup>。

(2) 水的潜蚀作用是路基产生陷穴的直接原因。当渗透水力梯度较大时,在动水压力作用下,黄土中的粉、粘粒被带走,扩大了黄土内的渗流通道。渗流断面扩大后,加速了水流的侵蚀和搬运作用。

(3)湿陷性黄土地区特殊的水文气候条件为路基陷穴的产生提供了外部条件。黄土地区雨水少但集中,特别是在暴雨后,大量地表雨水迅速汇集且带有一定压力,雨水渗流到黄土中形成陷穴。

(4)微地形地貌特征也对陷穴产生一定影响。陷穴通常发生在一边靠山,一边临深沟地段,有时也发生在半填半挖处、路堑与路堤接岔处,或地形起伏多变化处。



(a) 竖井状陷穴



(b) 漏斗状陷穴

图2 路基陷穴破坏

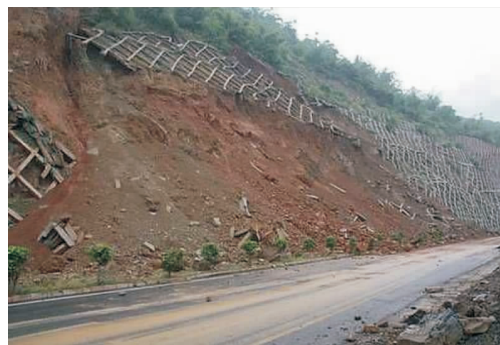
### 2.3 路基边坡破坏

当路面两侧排水沟,边坡两侧边沟及坡面缺少防护措施时,雨水沿坡面漫流至坡脚,会使坡面冲刷、坡脚水土流失,最终导致边坡失稳破坏。湿陷性黄土路基边坡破坏的主要形式包括边坡滑塌、边坡崩塌以及边坡冲刷,如图3所示。边坡产生破坏的原因多种多样,除了与水有关外,还与路基压实度、边坡断面设计形式有关。此外,黄土遇雨水湿陷,加剧了边坡的失稳破坏。

## 3 湿陷性黄土路基病害防治措施

针对上面列举的三种主要路基病害形式,可以采取一些有效的防治措施:

(1)完善排水设施。湿陷性黄土路基的破坏很大程度上是由于道路排水不畅所引起的,所以应对路基排水设计予以足够重视。施工过程中,应设置临时排水措施,以防止雨水对路基填筑过程中的破坏。对高等级路面,由于路面较宽,路面雨水不宜速排,故在边坡上应布



(a) 边坡滑塌



(b) 边坡崩塌



(c) 边坡冲刷

图3 路基边坡破坏

置急流槽或跌水用以将雨水引排到路基范围以外。对路堑地段,应设置好堑顶截水沟,避免坡顶雨水沿坡面滑流冲刷坡面并侵蚀路基。对雨量较充沛地区,排水沟截面尺寸应相应增大,以确保将聚集的雨水快速排除至路基范围以外。

(2)改进地基处理。合理的地基处理方法是防止路基病害发生的有效措施。填筑前应将路基范围内的草皮、树根等杂物清除掉,且将表层含腐殖质部分的土体挖除,一般处理深度应大于15 cm。同时,应对基底隐蔽的坑洞进行整平,并予以预压。待填筑完成后,应采用机械设备对填筑部分进行压实并达到规定的压实度要求,以确保填筑质量。若地基土为软弱土体,应采取必要的措施来提高基底的整体强度。一般采用的方法有:灰土或素土垫层换填法、重锤夯实及强夯法、石灰土或

二灰挤密桩法、预浸水处理法。

(3) 优化边坡设计。合理的边坡设计是保证路基边坡稳定的前提条件,应根据具体情况使设计与实际工程情况相符合。对于高度在 30 m 以内的填方路基,可根据基底的受力情况采用折线形或阶梯型边坡;对于填土高度较低的路基,可采用一坡到底的型式。边坡坡度大小可根据边坡高度和路基填料的性质以及施工方法进行选择。路基填筑时应使两侧留有富余,待填至设计标高后,再进行边坡整平、拍实处理,以保证整个路基范围内土体压实度满足设计要求。对路堑路基,在选线前应做周密细致的实际地质勘查研究。若遇稳定性较差的山体,应尽可能的避让,尤其是在山体易产生滑坡的地段。

(4) 加强边坡防护养护。边坡的防护和养护措施是路基稳定的重要保证。对新建路线,应及时种植草皮,以便快速形成植被,防止雨水的冲刷。对路基容易引起冲刷的部位,应采用石灰、粉煤灰、砂子组成的三合土作护面加固。对不稳定山体,应削方减荷或设置挡土墙结构物来提高边坡的稳定性。在雨季前,对边坡进行检修,铺好草皮、清除坡底杂物、疏通排水设施。雨季时应特别执行雨前、雨中、雨后三巡制度,严防冲沟、滑坡及陷穴等灾害发生。

#### 4 结束语

在前人研究的基础上,对湿陷性黄土的工程特性作了相关介绍,且针对各种工程实际病害情况进行了分析,并提出了病害防护措施,期望能在以后的设计和施工中得到应用。湿陷性黄土对路基的危害性是潜在并巨大的,为了确保路基及其附属结构物的安全和正常使用,湿陷性黄土地区的路基处理防治工作必须引起足够

的重视。从工程勘察设计开始,应认真细致调查后作出合理的路基及边坡设计方案;施工建设过程中,务必严格按照设计规范施工;待施工建设完成后,须对路基定期检测其变形及病害情况。以此做到防患于未然,杜绝湿陷性黄土对路基造成危害。

#### 参考文献:

- [1] 李彦武.黄土地区路基病害分析及防治对策[J].公路 2009(8):218-221.
- [2] 聂双成.浅述黄土路基病害及防治措施[J].公路交通科技,2010(2):39-42.
- [3] 詹祥元.湿陷性黄土路基病害分析与处理[J].南阳理工学院学报,2011,3(6):84-86.
- [4] 贾存亮.浅谈湿陷性黄土路基的常见病害及防治[J].科技信息,2013(13):376,392.
- [5] 曹升堂,梁静媛,段磊.黄土路基塌陷及治理措施研究[J].交通标准化,2013(8):72-74.
- [6] 张少康,王其玉,李科.湿陷性黄土路基病害的判定与处置研究[J].市政技术,2013,31(3):23-25.
- [7] 郭得平,李菊红.浅析湿陷性黄土地区公路病害防治[J].甘肃科技,2009,25(17):130-131,116.
- [8] 王晓谋,基础工程[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [9] 闫小波,高等级公路湿陷性黄土路基处理技术研究[D].西安:长安大学,2002.
- [10] 张志清,张兴友,胡光艳.湿陷性黄土公路路基病害类型及成因分析[J].路基工程,2007(5):160-162.
- [11] 李彦武,黄土地区公路路基病害分析与防治对策研究[D].西安:长安大学,2001.

## Engineering Properties of Collapsible Loess and Controlling Measures of Subgrade Disease

HUANG Tao, HAN Qiu-shi

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** The collapsible loess has a large compressibility and a low strength. It often produces a larger settlement when the subgrade is built on it, and the rain often leads to all kinds of engineering diseases. With the continuous development of road construction in China, subgrade diseases problems caused by the collapsible loess have become increasingly prominent in the western region, which has seriously affected the construction of the road. In the paper, the engineering properties of collapsible loess are described, various disease forms and causes are analyzed and some controlling measures are put forward, which has an important guiding significance to the design, construction and maintenance of the subgrade in collapsible loess area.

**Key words:** collapsible loess; road engineering; subgrade disease; engineering properties; controlling measure