

低路基毛细水影响与治理

羊 晔, 刘松玉, 邓永锋

(东南大学交通学院, 南京 210096)

摘 要: 毛细水的影响是高速公路低路基设计面临的难题。阐述了毛细水对低路基的影响, 分析了毛细水的作用机理, 指出毛细水上升高度和速度的主要影响因素: 土质、密实度、水分及温度。针对低路基中毛细水引发的“翻浆”、“车辙”等工程问题, 提出了改变土质、水分隔断及化学处理三种毛细水防治措施。

关键词: 毛细水; 低路基; 车辙

作者简介: 羊晔(1978—), 男, 江苏盐城人, 东南大学交通学院岩土工程研究所博士研究生, 从事特殊地基处理研究。

0 引 言

高速公路设计中, 在人口及路网相对密集地区, 为满足高速公路两侧居民生活、生产的需求, 通常采用主线上跨被交道路的设计方案, 导致路基设计高度普遍较高。据统计, 我国已建成高速公路平均填土高度多数在 3.0~3.8 m 之间^[1]。但是, 当路基填土较高时, 必然会带来占用土地多、软基处理费用高等问题, 加之施工质量控制等因素, 路堤及地基工后沉降较大, 也影响了运营后的行驶舒适性, 且较高的路堤与周边环境难以协调, 行车安全性也较差。

我国土地资源紧缺, 珍惜土地资源、合理利用土地和切实保护耕地是我国的一项基本国策。根据交通部印发的《关于在公路建设中实行最严格的耕地保护制度的若干意见》的指导思想, 高速公路建设采用低路堤和浅路堑方案, 节约不可再生的土地资源, 走可持续发展的道路。低路基设计有诸多优点, 如节约耕地、节省投资、与环境景观和谐等, 但在地下水位埋深较浅的路段, 由于毛细水的上升, 路基土干湿状态发生变化, 导致路基的强度降低或失稳, 直接影响路面结构的强度和稳定性, 因此采用低路基设计时, 毛细水的影响及防治的研究显得尤为重要。

1 国内外研究现状

国内外在土的水分迁移研究方面都曾开展了

大量的研究工作。国外在 20 世纪 30 年代进行大规模城市建设的时候, 在大量的城市建设工程中, 遇到的这个难题, 就是地下水位以上土体中的水的流动。使用“毛细作用”这个术语来描述水从地下水位向上的流动, 因为这种流动与水在毛细管中的运动相似。

Hogentogler 和 Barber 首先提出了两个问题, 一是水越过大坝不透水心墙, 造成沿下游坝面的渗流问题; 二是截水沟没能有效截止地下水的流动。毛细水的冻融造成土坡失稳和路基破坏。这些问题引发了至少 20 年对土中毛细水流动的研究。

Terzaghi(1943)在他的著作《理论土力学》中, 推导出土在孔隙度 n 和渗透系数 k 假设不变情况下, 毛细水的上升公式; Valle-Rodas(1944)用试验证明, 在毛细区内砂的含水量不同。此后主要的研究者有 Lambe(1951), Blake 和 Crony(1957), Bishop(1960), Aitchison(1967)等^[2]。

我国在毛细水的应用研究, 大多是集中在农田水利部门、土壤盐渍化地区和季冻区的研究, 在高速公路方面研究还很少, 而且大多也仅限于特殊地基如盐渍地基和冻土地基的研究。我国高速公路密集的华东沿海地区, 公路沿线自然条件和地质条件有别于冻土区, 低路基毛细水影响的研究还较少。

2 毛细水对低路基的影响

通常将填方高度小于 1.0~1.5 m 的矮路堤

或与地面相平甚至低于地面的浅路堑设计称为低路基方案。毛细水是指路基下的地下水,在毛细管作用下,上升到路基^[3]。低路基设计中,在地下水位埋深较浅的路段,由于毛细水的上升,水分发生迁移,导致路基病害,如图1所示。

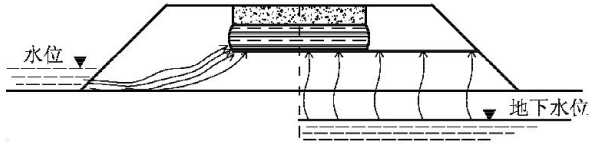


图1 毛细水浸湿示意图

毛细水的上升,使不同深度的土具有不同的含水量;土的含水量又因与地下水位距离的增加而减小。靠近地下水位的土,几乎完全为水所饱和,再往上则土的含水量逐渐降低。因此,毛细水的上升仅在一定高度范围内有害。当毛细水使土的含水量相当于塑性下限时,此高度称为毛细水上升危险高度,其范围称为毛细水上升危险区。不同种类的土,其毛细水上升高度不同,并随粉粒及黏粒成分的增加而增大。因此,一般的路基设计采用高路基,高出毛细水上升的危险区,而低路基设计则须考虑排(隔)水结构物,或其他方法控制毛细水上升对路基的危害。

3 毛细水作用机理分析

毛细现象产生的物理原因是由于水与空气分界面上存在着表面张力,而液体总是力图缩小自己的表面积,以使表面能变得最小;另一方面,毛细管管壁的分子与水分子之间有引力作用,这个引力使与管壁接触的水面呈向上弯曲状,这种现象称湿润现象。表面张力与毛细现象紧密联系在一起,当液体和气体的界面不是平的而是弯曲的(凹的或是凸的),在两者之间就出现压强差,由于表面张力的作用是表面各种力的合力,在平衡时它必须为界面两侧的压强差所抵消。当毛细管的直径较细时,毛细管内水面的弯曲面相互连接,形成内凹的弯液面状,如图2所示^[4]。这种内凹的弯液面表明管壁和液体是互相吸引的(即可湿润的),如果管壁与液体之间不互相吸引,称不可湿润的,那么毛细管内液体弯液面的形状是外凸的。

在毛细管内的水柱,由于湿润现象使弯液面

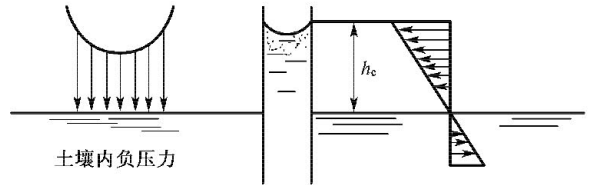


图2 毛细水上升高度示意图

内凹时,水柱的表面积就增加了,这时由于管壁与水分子之间的吸引力很大,促使管内的水柱升高,从而改变弯液面形状,缩小表面积,降低表面自由能。但当水柱升高改变了弯液面的形状时,管壁与水之间的湿润现象又会使水柱面恢复为内凹的弯液面状。这样周而复始,毛细管内的水柱上升,直到升高的水柱重力和管壁与水分子间的引力所产生的上举力平衡为止^[5]。

理论上毛细水上升的最大高度,可表示为

$$h_c = \frac{2T_s \cos \alpha}{\rho_w g r} \quad (1)$$

式中, T_s 为水与空气间的表面张力; α 为接触角; r 为毛细管的半径; ρ_w 为水的密度; g 为重力加速度。

工程中常用海森(A. Hazen)的经验公式进行计算:

$$h_c = \frac{C}{ed_{10}} \quad (2)$$

式中, h_c 为毛细水上升高度(m); e 为土的孔隙比; d_{10} 为土的有效粒径(m); C 为系数,与土粒形状及表面洁净情况有关, $C = 1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 。

4 影响毛细水上升高度和速度的因素

实际工程中,影响毛细水上升高度的因素很多,主要因素有土质、密实度、水分和温度^[6, 7]。

4.1 土质

(1) 粒度

毛细水上升的高度和速度与土的粒度有极其密切的关系。通常毛细水的高度与土粒间的毛细管直径成反比,毛细管直径约等于土粒直径,即土粒越细,毛细水上升越高。当粒径大于0.1 mm,土颗粒表面能很低,表面吸附作用几乎没有,很难形成毛细机构;当粒径处于0.05~0.005 mm时,土

颗粒间的毛细作用比较强烈;但当粒径小于 0.005 mm 或更小时,因为颗粒的分散性极大,表面能相当高,土中的水多为土粒强烈束缚,如果这种粒径的含量超过 50%,土颗粒间孔隙过小,毛细阻力大,从而毛细水迁移比较困难。

(2) 土颗粒的矿物成分

以石英、长石、云母为主要矿物成分的土,土颗粒一般较粗,孔隙直径较大,颗粒表面凝结的水量也较小,毛细作用也差。而以蒙脱石矿物为主的黏性土中,土颗粒具有较强的吸附力,土中水大部分被强烈地吸附于薄膜中,可移动性不大,阻塞了毛细通道,所以其毛细作用较弱。高岭石质黏土,其表面化学活动性很弱,亲水性小,矿物成分处于较为松散的聚集状态,从而使其有较大的可移动薄膜水,所以能够形成较为通畅的毛细孔隙,故这种土的毛细作用强烈。

(3) 颗粒组成的均匀度

颗粒组成不均匀的土壤其毛管力大于颗粒组成均匀的土壤的毛管力。

4.2 密实度

土粒在外压力作用下不断靠拢,使土的内摩擦阻力和黏结力也不断增加,重新排列成密实的新结构,同时土粒的不断靠拢,使水分进入土体的通道减少而阻力增加,其次当土粒紧接在一起,相邻土粒表面的结合水膜相互重叠,阻碍毛细水的活动,从而减少了毛细水上升的高度。

4.3 水分

当其他条件相同时,随着土壤含水量的增加,其毛细作用力减小,但其运动的速度却随土壤含水量增加而增加。

4.4 温度

在温度梯度作用下,土的相态平衡状态遭到破坏,水分将由土水势较高的暖端向土水势较低的冷端迁移。

5 毛细水引起的工程问题

低路基工程中,由于毛细水上升,导致路基土压实度不足或松软,在水、荷重、动荷载作用下局部或较大面积的竖向变形,主要表现为“翻浆”、“车辙”和纵向不平整。

(1) 翻浆

传统意义上的翻浆定义,是指在寒冷地区天

暖解冻时,路面下的冻土开始融化,使路基土层饱水软化,在行车作用下造成路面破裂,从裂缝中冒出泥浆的现象。这种翻浆也称为冻融翻浆,是季节性冰冻地区的主要病害之一。对非冰冻地区,在路基低洼,受地下水、地面水的影响,或者由于路面水排水不畅、地面水泄漏等,都可能使路基土壤含水量过大,路面整体强度减弱,从而导致与冻融翻浆相同的路面损坏。目前,工程中对地面排水及预防已经有大量研究成果,地面排水处理较好,但对毛细作用引起的地下水位的上升所致的破坏研究较少。

(2) 车辙

路基是路面结构的支撑体,车轮荷载通过路面结构传至路基。所以路基土的应力应变特性对路基路面结构的整体强度和刚度有很大影响。

路基承受着车轮荷载的多次重复作用,每一次荷载作用之后,回弹变形即时消失,而塑性变形则不能消失,残留在土基之中。随着作用次数的增加,产生塑性变形的积累,总变形量逐渐增大。低路基中,地下水在毛细作用下将向路基顶面迁移,从而导致路基顶面当量回弹模量的降低,将使路面各结构层在荷载作用下的应力、应变响应发生相应的变化。当每一次加载作用在土体中产生的累积剪切变形,形成能引起土体整体破坏的剪裂面,最后达到破坏,此时过大的塑性变形将导致各种沥青路面产生车辙和纵向不平整,或引起水泥混凝土路面的板块断裂。

土基在重复荷载作用下产生的塑性变形积累,土要取决于:

① 土的性质(类型)和状态(含水量、密实度、结构状态)。

② 重复荷载的大小即相对荷载。

③ 荷载作用的性质,即重复荷载的施加速度、每次作用的持续时间以及重复作用的频率。

6 毛细水的防治方法

根据毛细水影响因素的分析,可从改变土质、水分隔断、化学处理^[6,7]三方面研究毛细水对低路基的危害的处理方法。

6.1 改变路基土质

(1) 选择适当而良好的土填筑路基

选择毛细水上升弱的土填筑,或部分置换毛

细水上升剧烈的土,如图 3(a)所示。砂土透水性好,毛细水上升高度很小,具有较大的摩擦系数。采用砂土修筑路基,强度高、水稳定性好。但砂土黏结性小,易于松散,车辆通过时容易产生较深的车辙,可掺入黏性土,以改善路基质量。粉土毛细水上升高度大,为最差的筑路材料。

(2) 充分压实土基

试验证明,在最佳含水量时将黏土压实至最大密实度,毛细水的移动几乎完全停止,毛细水不能通过,因而黏土经充分压实可起隔离层作用。土的密实度与最大密实度愈接近,含水量与最佳含水量愈接近,则毛细水移动速度愈低。

6.2 水分隔断

(1) 设置地下排水沟

降低地下水的水位,并有效防止因补给增加地下水水位的上升,如图 3(b)所示。

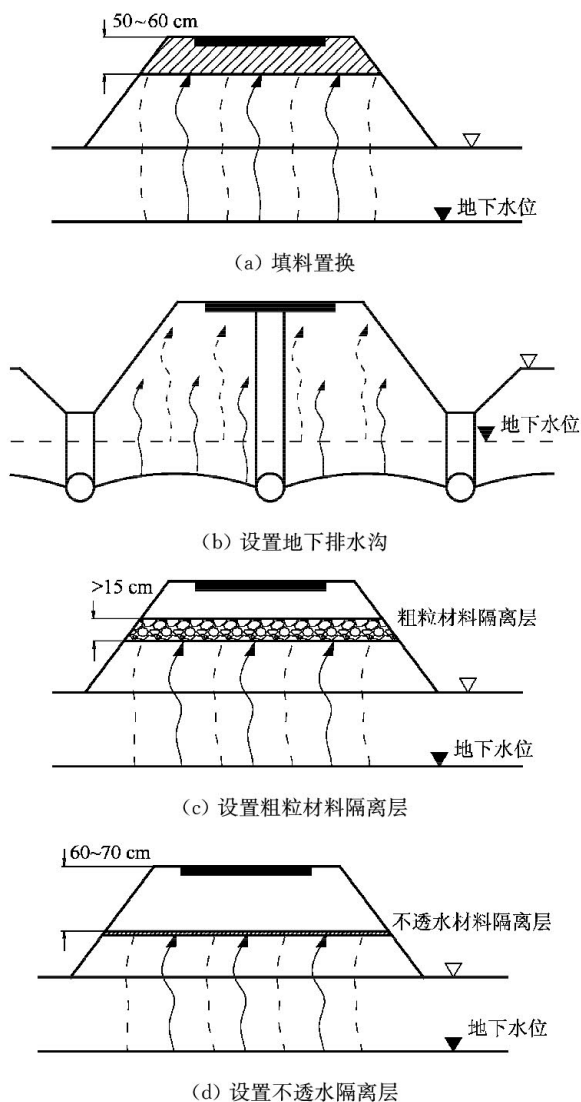


图 3 毛细水防治措施示意图

(2) 设置粗粒隔离层

砂石材料隔离层用以疏干土基,如图 3(c)所示。设置隔离层在隔断毛细水上升通道的同时,还可以增进路基的整体强度,削弱或控制土基的不均匀变形,其厚度可通过计算确定。在毛细水隔离层设置中,主要应该考虑材料的选取及合理厚度的确定。确定隔离层厚度的前提是能够估算出毛细水最大上升高度。在实际工作中,对特定的工程地质条件,提出了一些估算毛细水上升高度的经验公式。隔离层也可作为缓冲层,使下面土的盐胀变形得到缓冲,不破坏地基表面的平整。这种方法在我国硫酸盐含盐地层地区已经得到广泛的应用。

(3) 设置不透水隔离层

设置不透水隔离层,隔绝毛细水上升,如图 3(d)所示。采用土工布隔断毛细水,是行之有效的方法。土工布可以为单层,也可为双层。选择土工布时应根据使用位置和目的,对渗透系数、顶破系数、耐冻性和耐老化性等提出具体要求。用于盐渍土地区的土工布还应具有长期对硫酸盐、氯盐等盐类的抗腐蚀性。

6.3 化学处理

合理掺加石灰。在地基土中掺入石灰以后,使石灰与土相互作用,从而产生结晶构造和火山灰反应,逐步形成凝胶结构使土的强度、水稳定性、内聚力、内摩擦角得以提高。同时石灰的结晶作用及与火山灰作用还可以消耗掉了土中一定量的水分,降低土的含水量。

7 结 语

低路基设计节约耕地,节省投资,与环境景观和谐,符合我国可持续发展的国策。低路基工程中,由于毛细水上升,导致路基土干湿状态发生变化,路基的强度降低或失稳,引起“翻浆”、“车辙”等现象,极大地影响了高速公路的通行性和舒适性。在我国高速公路密集的华东沿海地区推广低路基设计,毛细水的影响及防治仍须深入的研究。

参 考 文 献

- [1] 温学钧,王海燕. 平微区高速公路合理路堤高度[J]. 长安大学学报:自然科学版,2002,22(1):14~16.

- [2] D G 弗雷德隆德, H 拉哈尔佐. 非饱和土力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [3] 方左英主编. 路基工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.
- [4] 朱明双. 高速公路路基土水分迁移试验研究[D]. 长春: 吉林大学.
- [5] 刘爱国. 毛细现象的能量来源[J]. 大学物理, 1994 (12).
- [6] 徐家任, 程家驹编著. 道路工程[M]. 上海: 同济大学出版社, 1995.
- [7] 邓学钧编. 路基路面工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.