

新型排水管在渗沟结构中的排水性能试验研究

王刚,邹静蓉,李嘉慧,孙毅凯

(中南林业科技大学 土木工程学院,湖南 长沙 410000)

摘要:目前土工布包裹带孔PVC排水管,中间填充碎石(砾石)是大多数高速公路路基工程中最常用的渗沟结构,这种结构在使用前期排水效果不错,但是一旦包裹的土工布破坏,容易造成排水管淤堵甚至整个渗沟失效。为提高渗沟的排水寿命,在室内开展历时半年的新型渗沟结构试验研究,对比塑料盲沟、硬式透水管、带孔PVC管3种排水管在不同渗沟填充结构下的排水性能,系统地研究不同管材在不同反滤层、不同水压力条件下,渗沟排水性能的变化规律。结果表明:①当反滤层为中粗砂时,几种排水管的排水效率比碎石作反滤层有一定的上升;②3种排水管中,塑料盲沟在两种渗沟结构中排水效果最优,其排水效率为带孔PVC管的2倍多;③塑料盲沟填充中粗砂作为反滤层的渗沟结构,能够显著提高渗沟的排水效率。

关键词:渗沟;新型排水结构;塑料盲沟;排水效率;反滤层

中图分类号:U417.3

文献标志码:A

0 引言

公路设置渗沟是为降低地下水位或拦截地下水,使路基工作区保持干燥或中湿状态,保证路基处于稳定状态。渗沟主要有填石渗沟、管式渗沟、洞式渗沟等形式,管式渗沟是公路路界地下排水中最有效的方法之一,尤其适用于地下水流量较大,或排水距离较长的路段^[1]。管式渗沟的排水管可选用各类

带孔的塑料管、软式透水管、水泥混凝土管等材料^[2]。大多数公路的渗沟采用打孔的PVC管,管外填充最小粒径为15 mm的碎石或砾石,再用土工布将碎石包裹,此类渗沟使用初期排水效果较好,但因为碎石是松散集合体,且本身带有棱角,自重大,在碎石和外部土体的共同作用下,土工布容易被刺破,导致渗沟被泥土堵塞失效^[3-4]。为提升高速公路渗沟的排水效果和使用寿命,降低公路养护管理成本,需要进一步针对渗沟设计进行新材料和新结构探索。

- [9] 贺坤龙,李聪林,许伟,等.深厚软土地段施工便道及堆载对高铁桥墩桩基安全性影响分析[J].中外公路,2021,41(3):236-240.
- [10] 王军,马学宁.堆载作用下桩基受力特性分析[J].铁道建筑,2018,58(9):72-75.
- [11] 马学宁,付江,王军,等.不同堆载形式对群桩负摩阻力的影响[J].岩土力学,2018,39(10):3531-3538.
- [12] 杨敏,朱碧堂.堆载下土体侧移及对邻桩作用的有限元分析[J].同济大学学报(自然科学版),2003,48(7):772-777.
- [13] 刘小林.复杂土层条件下堆载对邻近桥梁桩基受力变形的影响及控制研究[J].五邑大学学报(自然科学版),

- 2023,37(1):71-78.
- [14] 尹骥.侧边堆载对管桩桩身侧向变形影响试验研究[J].地基处理,2022,4(S1):99-104.
- [15] 周德泉,张杨龙,曹勇,等.溶洞高度影响嵌岩桩轴力传递及桩侧超载响应试验[J].湖南大学学报(自然科学版),2022,49(7):83-93.
- [16] 杨明辉,朱刘山,罗宏,等.坡地条件下水平受荷单桩 $p-y$ 曲线法试验与数值模拟[J].公路交通科技,2017,34(8):83-90.
- [17] 曹卫平,夏冰,葛欣.水平受荷斜桩双曲线型 $p-y$ 曲线的构建及其应用[J].浙江大学学报(工学版),2019,53(10):1946-1954.

收稿日期:2023-07-20(修改稿)

基金项目:湖南省交通科技项目(编号:201911)

作者简介:王刚,男,硕士研究生.E-mail:2412457120@qq.com

塑料盲沟、硬质透水管等新型土工合成材料盲沟管以其集水性好、空隙率大、适应土体变形、耐久性好、重量轻、施工方便等特点,在中国地下排水工程中得到逐步推广应用^[5-7]。塑料盲沟以合成树脂为主要原料,在热熔状态下通过喷嘴挤压出细的塑料丝条,形成三维立体网状结构。硬质透水管是以高密度聚乙烯为主要原料,经高温挤出,冷却后成型的1/3边封闭、2/3边具有均匀小孔的管材。白成亮等^[8]、吴福生等^[9]、武良金等^[10]对塑料盲沟进行了相关的水力性能试验,得出了不同型号塑料盲沟的通水量试验式;刘建华等^[11-13]研究了塑料盲沟的材料性能,提出了表征塑料盲沟材料排水性能的通水能力系数这个关键指标;顾卫等^[14]将塑料盲沟引入到边坡排水中,结果表明塑料盲沟对客土层的底部排水起到了较好的效果;彭响兰等^[15]依托张桑高速公路应用塑料盲沟进行了标准化排水渗沟试验与工程应用。关于硬质透水管的研究资料较少,曾平安等^[16]对硬式透水管用于高速公路边缘排水设施的施工工艺进行了探索。这些研究主要针对排水盲沟的排水特点和施工应用,是针对排水管进行的局部研究。渗沟是一个整体结构,要提高其排水效率,除了考虑排水管、土工布和反滤层的综合设计外,渗沟结构也是影响其排水效率的一个重要因素,但渗沟结构优化设计方面的研究报道甚少。

本文通过研究不同的管材在不同渗沟结构、不同水压力等条件下的排水性能变化规律,找出排水效率最优的排水管及相应的渗沟结构,该研究成果可为多雨地区改进渗沟设计提供新途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 排水管材

排水管材分别采用塑料盲沟、硬式透水管和PVC管(传统盲管),如图1所示。排水管的基本参数见表1。

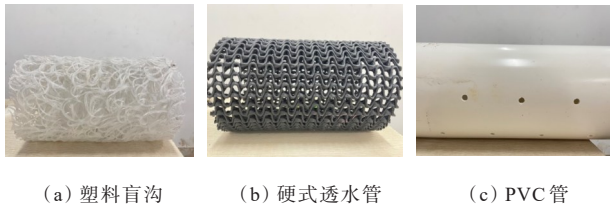


图1 排水管材示意图

表1 排水管参数

排水管类型	颜色, 形状	尺寸/cm	单位长度质量/(g·m ⁻¹)	空隙率/%
塑料盲沟	白,中空圆形	外径:15 内径:8.5	1 539.33	88.82
硬式透水管	黑,中空圆形	外径:15 内径:13	1 479.33	75.09
PVC管	白,中空圆形	外径:16 内径:14.4	2 734.83	17.33

1.1.2 试验用土工布

塑料盲沟、硬式透水管和带孔的PVC管外包土工布采用厚度0.5 mm的薄型无纺土工布1,包裹滤料的土工布采用厚度1.7 mm的无纺土工布2,土工布厂家提供的参数如表2所示。

表2 土工布参数

土工布类型	质量/(g·m ⁻²)	拉伸强度/kPa	有效孔径O ₉₅ /mm	厚度/mm	渗透系数/(cm·s ⁻¹)
土工布1	100	1.4	0.16	0.5	0.42
土工布2	300	3.1	0.06	1.7	0.16

1.1.3 试验土样

试验用土样分别为中粗砂(C_u=4.0)以及最小粒径15 mm的碎石(C_u=1.54)。其级配曲线及基本物理性参数如图2及表3所示。

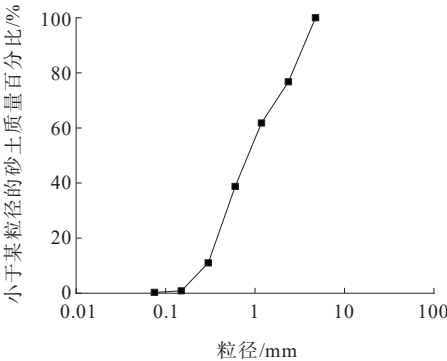


图2 砂土级配曲线

表3 试验中粗砂、碎石基本物理参数

材料	e_{\max}	e_{\min}	$\rho_{d\max}/(g\cdot cm^{-3})$	$\rho_{d\min}/(g\cdot cm^{-3})$	G_s
中粗砂	0.76	0.44	1.82	1.49	2.62
碎石	1.16	0.96	1.39	1.26	2.72

注: e_{\max} 、 e_{\min} 分别为最大、最小孔隙比; $\rho_{d\max}$ 、 $\rho_{d\min}$ 分别为最大、最小干密度; G_s 为土粒质量密度。

1.2 试验装置

该装置主体为有机玻璃箱,内空尺寸为60 cm×

50 cm×85 cm(长×宽×高),分别模拟两种渗沟结构对比不同排水材料的通水能力,为了节约时间,上覆土层采用透水性较好的中粗砂和碎石。

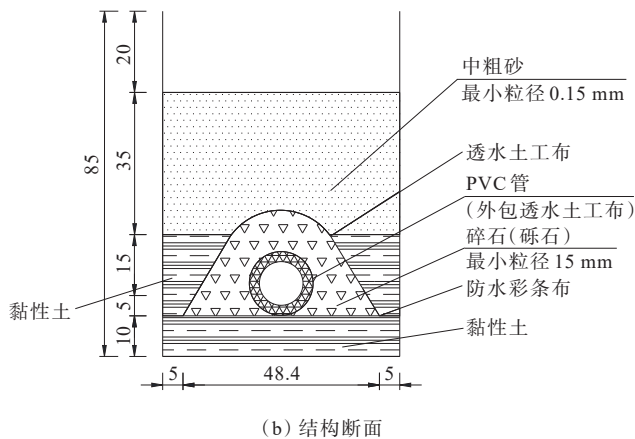
结构 A:在模型箱底部填入 10 cm 厚的击实后黏性土,并在上面铺设一层防水布,防止水流入模型箱底部,然后将排水管包裹透水土工布放置其中,确保排水管在正中间的位置并且设 2% 纵坡,再将碎石反滤层填入模型箱内并用土工布包裹,在碎石反滤层的两侧填入黏性土并击实,黏性土不能超过碎石反滤层的高度,最后铺设一层 30 cm 厚的中粗砂。管材都须伸出模型外,并在出水口处接住排出的水。

结构 B:与结构 A 的区别在于结构 B 是用中粗砂作为反滤层。装好排水管后,直接铺 50 cm 厚的中粗砂。

试验模型 A、B 两种渗沟结构如图 3、4 所示。



(a) 结构模型

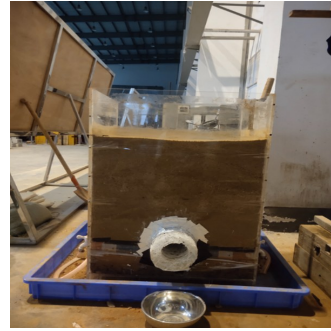


(b) 结构断面

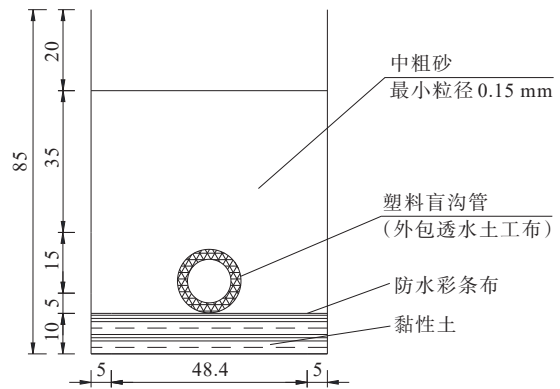
图 3 渗沟结构 A(单位:cm)

1.3 试验方法

试验中,考虑不同排水盲沟、不同积水量和不同渗沟结构对排水的影响。排水管分别采用塑料盲沟、硬式透水管和带孔的 PVC 管,分别在 A、B 两个模型箱内加入 12 000 cm³、16 000 cm³、20 000 cm³ 的固定水量,模拟一定量的积水。记录每 0.5 h 排水盲管排出的水量。



(a) 结构模型



(b) 结构断面

图 4 渗沟结构 B(单位:cm)

2 结果与分析

2.1 空隙率对排水管排水性能的影响

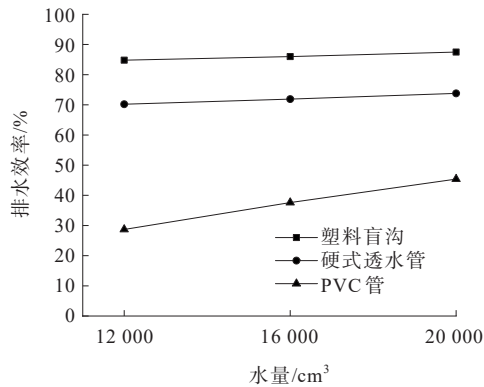
(1) 排水效率(排出的水量占总水量的比值)

在两种不同的渗沟结构中,不同水量条件下各种管材的排水效率以及相同水量条件下各管的排水量对比如图 5 所示。

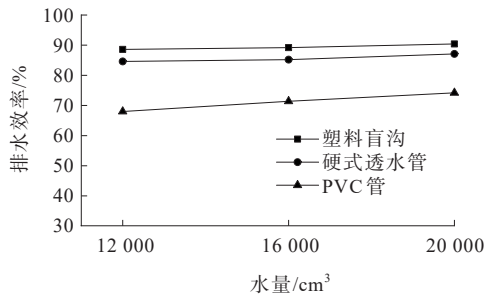
由图 5 可以发现:① 不管 A 或 B 渗沟结构,不同水量条件下塑料盲沟的排水效率都是最高的,其次是硬式透水管,排水效率最低的是 PVC 管。分析原因为 3 种不同的排水管材中,空隙率最大的是塑料盲沟接近 90%,其次是硬式透水管 78% 左右,而 PVC 管的空隙率仅有 17% 左右,远远小于塑料盲沟以及硬式透水管;② 不同固定水量下,3 种排水管的排水效率几乎平行,说明各管的排水效率与管的空隙率成正比。这也反映出空隙率越大的管材其排水效率越高。

2.2 渗沟结构对排水管排水效率的影响

不同渗沟结构下各管的排水效率对比如图 6 所示。



(a) A结构



(b) B结构

图5 不同水量条件下各管的排水效率对比

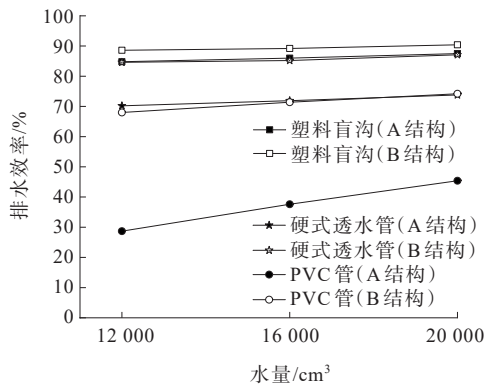


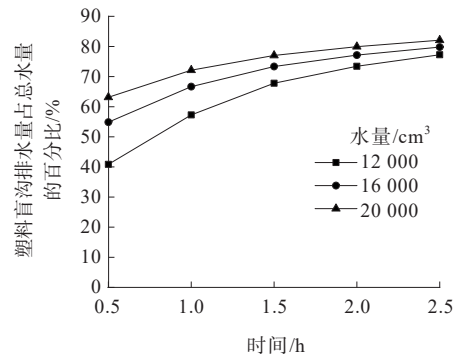
图6 不同渗沟结构中各管排水效率对比

从图6可以看出:①各种水量条件下,中粗砂反滤层渗沟结构中各管的排水效率优于碎石反滤层渗沟结构。分析认为B结构采用的中粗砂过滤层的空隙率为10.85%,小于A结构的碎石过滤层空隙率17.6%,因此中粗砂的饱水性高于碎石。而A结构中有两层土工布,上层的土工布淤堵也会阻碍水流;②同等条件下,B结构的排水效率均高于A结构。塑料盲沟在两种结构中排水效率相差不大,由于管材自身的空隙率大,塑料盲沟在A、B两种结构中都能高效地将水排出。反观空隙率较小的带孔PVC管,它在两种结构中排水效率相差较大,B结构为A结构的

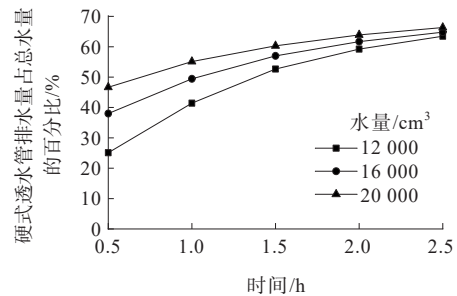
2倍左右,说明传统的带孔PVC管A渗沟结构的排水效率低,大量的水会滞留在渗沟结构中。

2.3 水压力对排水管排水效率的影响

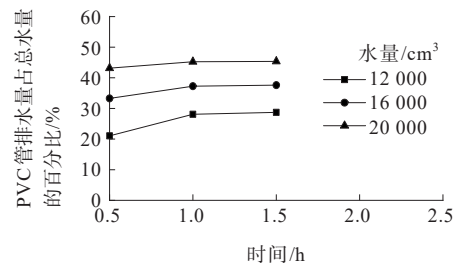
随着固定水量增大,作用在排水管上的水压力增大,在两种不同的渗沟结构中,不同水量条件下各管的排水量对比如图7所示。



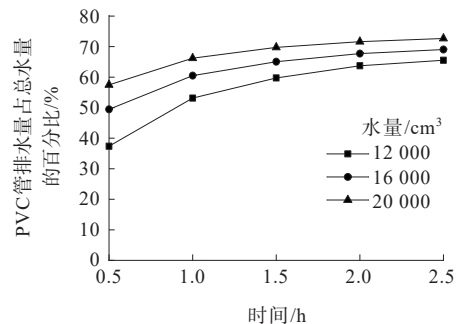
(a) 塑料盲沟(A结构)



(b) 硬式透水管(A结构)



(c) PVC管(A结构)



(d) PVC管(B结构)

图7 不同水量条件下排水管排水量对比

从图 7(a)~(c)可以看出:随着水量的增加即水压力的增大,排水管的排水效率增加明显。以图 7(a)为例,前 0.5 h 的排水效率分别为 40.86%、54.86%、63.14%,但是 2.5 h 后不同水量的排水效率基本相同,达到 80% 左右。说明水量越大,前期排水越多,后期排水效率增加减少;相反水压小的情况下,前期排水效率低,但后期仍然可以达到相同的排水效率。塑料盲沟和硬式透水管空隙率相似,最终达到的排水效率受初始水压力影响很小。空隙率小的 PVC 管[图 7(c)],随水压力增大排水效率增加,但效率明显低于另外的两种排水管,这种排水效率的差距一直保持到排水末期(1.5 h 后),说明带孔 PVC 管排水效率受水压影响较大。

水压力对带孔 PVC 管排水效率的影响与渗沟结构有关。如图 7(d)所示的 B 结构中,不同水压力下 PVC 管排水效率随着时间推移逐渐减小,2.5 h 后均接近 60%。与图 7(c)相比可知:A 结构中 PVC 管的排水效率随时间变化不大,0.5 h 排水效率分别是 21.06%、33.29%、43.15%,1.5 h 后排水效率为 28.72%、37.6%、45.37%,说明碎石过滤层中的大空隙截留了大量水,无法排出。因此 B 结构中小空隙的中粗砂能增大排水效率。

总的来说,水压力对排水管排水效率影响不大。塑料盲沟和硬式透水管这种大空隙率排水管排水效率受水压力影响不大,带孔 PVC 管排水效率受渗沟结构影响较大,在水流较小条件下,排水效率主要受排水管通水性能控制。

3 结论

(1) 空隙率越大的管材排水效率越高,塑料盲沟相对于其他两种管材,排水效率最高,稳定为 85%~90%,积水在短时间内快速排出。

(2) 中粗砂过滤层(B 渗沟)结构排水效率普遍优于碎石过滤层(A 渗沟)结构,表明空隙率小的 PVC 管排水效率受结构类型的影响较大,B 结构大约为 A 结构排水效率的 2 倍。

(3) 水压力对排水管排水效率影响不大。表明在水流较小条件下,排水效率主要受排水管通水性能控制。

(4) 试验结果表明:与传统的带孔 PVC 管 A 渗沟结构相比,新型的塑料盲沟 B 渗沟结构的排水效率高,长期排水性能好,该结构为多雨地区公路渗沟地下排水提供了一种新设计方法。

参考文献:

- [1] 邓学钧.路基路面工程[M].3版.北京:人民交通出版社,2008.
- [2] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.土工合成材料长丝纺粘针刺非织造土工布:GB/T 17639—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [3] 宋俊杰,曲以波,李建民.土工合成材料在公路排水系统中的应用现状[J].公路交通科技(应用技术版),2009,5(3):12-14.
- [4] 陈军,彭正红.土工合成材料在公路排水设计中的应用[J].城市道桥与防洪,2010(11):51-54,6.
- [5] 中华人民共和国水利部.土工合成材料应用技术规范:GB/T 50290—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [6] 罗大天,李嘉慧,邹静蓉.多雨地区高速公路排水系统有效性评价方法研究[J].中外公路,2023,43(3):30-36.
- [7] 谢祥根,张怀宇.高速公路排水路面的设计与施工技术研究[J].中外公路,2021,41(1):54-58.
- [8] 白成亮,刘会迎,杨世胜.塑料盲沟取代传统碎石盲沟的可行性讨论[J].公路与汽运,2006(4):103-105.
- [9] 吴福生,张树奎,刘家豪.塑料盲沟水力学性能试验[J].灌溉排水,2001(3):79-80.
- [10] 武良金,吴福生,刘永强,等.塑料盲沟材料性能指标初探[J].河海大学学报(自然科学版),2003,31(3):264-267.
- [11] 刘建华,郭忠印.塑料盲沟材料性能测试分析与应用技术探讨[J].公路,2004,49(11):113-117.
- [12] 刘建华.公路地下排水设计理论与土工合成材料应用研究[D].上海:同济大学,2005.
- [13] 刘建华,郭忠印,丁志勇,等.公路排水设计中的土工合成材料应用技术[J].同济大学学报(自然科学版),2006,34(4):484-489.
- [14] 顾卫,邵琪,许映军.塑料盲沟用于边坡客土层底部排水的实验研究[J].应用基础与工程科学学报,2010,18(3):379-389.
- [15] 彭响兰,蒋平,杨波,等.张桑高速公路标准化排水渗沟试验与工程应用[J].湖南交通科技,2018,44(3):58-60,172.
- [16] 曾平安,欧阳衡,陈志方,等.曲纹网状 PE 硬式透水管盲沟在高速公路路面基层水侵病害防治中的应用[J].广东建材,2020,36(1):28-31.