

不同积水厚度条件下路基粉砂质泥岩水分迁移规律研究

资西阳

海南省交通工程建设局

摘要：粉砂质泥岩在我国南方地区广泛分布。粉砂质泥岩具有强度低、易变形特性，且其遇水易软化，而我国南方春、夏季多雨，降雨入渗将会导致粉砂质泥岩路基边坡的稳定性与安全性降低，甚至引发边坡失稳、危害公路安全。本研究采用室内自制的水分迁移试验模型，深入研究了积水厚度对粉砂质泥岩中水分迁移规律的影响，为路基工程现场防水工程的建设提供了一定的指导作用。

关键词：路基工程；积水厚度；粉砂质泥岩；水分迁移；试验研究

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.13.016

一、引言

粉砂质泥岩广泛分布在我国南方地区，具有强度低、易变形特性、遇水易软化的特性^[1-3]。然而，我国南方春、夏季多雨，降雨入渗将会导致粉砂质泥岩路基的迅速软化，同时路基边坡的稳定性与安全性突然降低，甚至引发边坡失稳，严重危害了公路安全^[4-5]。

目前，针对粉砂质泥岩的研究，主要集中在其基本物理力学性质及其在公路路基应用中常见的工程问题与解决方法建议措施几个方向。于怀昌等^[6]依托于杭兰高速公路某段粉砂质路基高边坡的变形破坏问题，对粉砂质泥岩展开了常规三轴压缩试验，并基于弹塑性力学理论建立了考虑岩石应变软化的双线性弹性线软化残余理想塑性四线模型，为粉砂质泥岩高速公路高边坡的设计提供了一定的依据。龙涛、吴启红等^[7, 8]深入研究不风化程度对粉砂质泥岩工程特性的影响。发现岩石中黏土矿物含量随着岩石风化程度的加深而逐渐增加，且其密度相对岩石干密度降低，力学性质弱化，岩体更易软化、崩解。此外，风化状态和出露面积是影响粉砂质泥岩工程性质的重要因素。周怡等^[9]依托于潭衡西高速公路工程，以及耐崩解试验深入研究了第三系粉砂质泥岩的工程性质，最后指出粉砂质泥岩的崩解是由岩石浸水膨胀、胶结物溶解和干湿循环产生的拉应力与张应力共同引起的。

综上所述，目前针对粉砂质泥岩的研究主要是从起基本力学性质及水软化对强度影响的研究^[10]，缺乏对水分在岩体中迁移规律的影响研究。因此，本文基于室内水分迁移试验深入分析了积水厚度对于粉砂质泥岩路基工程性质的影响。

二、试验方案与设计

(一) 试样制备与模型制作

本次试验所用粉砂质泥岩居委取自广东省某高速公路路基工程，取样深度为近地表深度，区域钻孔所得粉砂质泥岩试样如图1所示。粉砂质泥岩颜色成棕黄色，风化程度较高，完整岩芯较难取得。进一步对粉砂质泥岩进行了XRD成分检测，检测结果如图2所示，由图可知，粉砂质泥岩的主要成分为石英，含量达45.96%，其次为伊利石、蒙脱石长石以及绿泥石，含量均高于5%。选取较为完整的粉砂质泥岩，室内制作、加工成 $L \times W \times H = 70\text{mm} \times 70\text{mm} \times 200\text{mm}$ 的长方体试样进行试验。试验模型如图3所示，利用储水槽可以控制积水深度。



图1 区域钻孔所得粉砂质泥岩试样

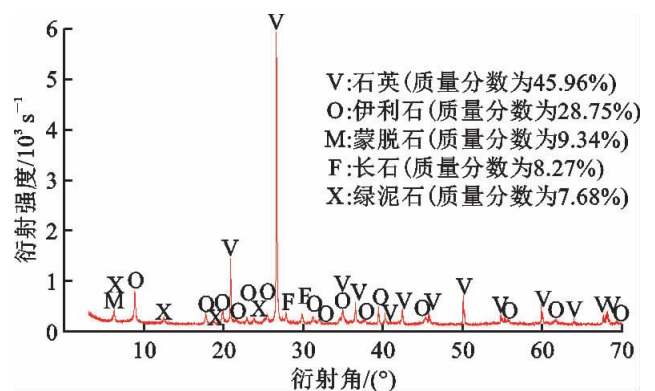


图2 粉砂质泥岩XRD成分检测结果

(二) 试验方案

为研究积水厚度对粉砂质泥岩内部水分迁移规律的影响，基于上述试验模型，室内设计了5mm、20mm及35mm的不同积水深度条件下的试验，渗水持续时间为

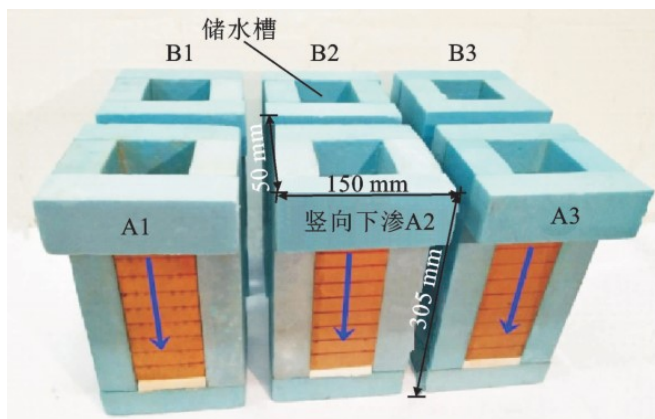


图3 水分迁移试验模型

700h。为有效、定量评价积水厚度对水分迁移的影响，通过引入累计深入量及入渗率两个参数进行探讨，其计算方法分别如下式（1）、（2）所示：

$$L = \frac{V}{A} \quad (1)$$

$$v = \frac{L}{t} \quad (2)$$

式中，L为累计深入量（mm），V为水分的入渗体积（mm³），A为入渗面积（mm²），v为入渗率（mm/h），t为入渗时长（h）。

将制备完成的试样烘干后放入模型中，向三组储水槽分别倒入清水直至积水厚度分别达到5mm、20mm及35mm，初始十个小时内每隔1h时对储水槽中积水的厚度及入渗深度进行一次测量，此后每隔8个小时进行一次测量。

三、试验结果分析与讨论

降雨深入粉砂质泥岩后会导致岩体软化，粉砂质泥岩边坡内部原有的应力平衡状态被破坏，边坡失稳，积水厚度对水分迁移的影响是研究水分对粉砂质泥岩稳定性研究的重要内容。

（一）累积入渗量随时间变化规律

图4为在700h试验段内不同积水厚度条件下粉质砂岩中水分的累积入渗量随时间变化关系，由图4可知，不同积水厚度条件下累积入渗量-时间曲线表现出相同的变化规律，即累积入渗量逐渐升高但变化速率逐渐降低，累积入渗曲线最终趋向于某一恒定值，可以观察到，累积入渗量L最终稳定值为62mm。分析认为，这是由于粉砂质泥岩中存在大量的亲水性岩石成分，即蒙脱石，因此吸水能力随着水分的增加而逐渐降低，最后达到饱和状态，因此趋于稳定。

进一步可以观察到，对于不同积水厚度条件下，达到累计渗透量稳定值所用的时间不同。积水厚度为5mm

条件下该时间为543h，积水厚度为20mm条件下该时间为485h，及时厚度为35mm下该时间为302h，由此可见，积水厚度越大，则粉质砂岩内累积入渗量达到稳定值所用的时间越短。

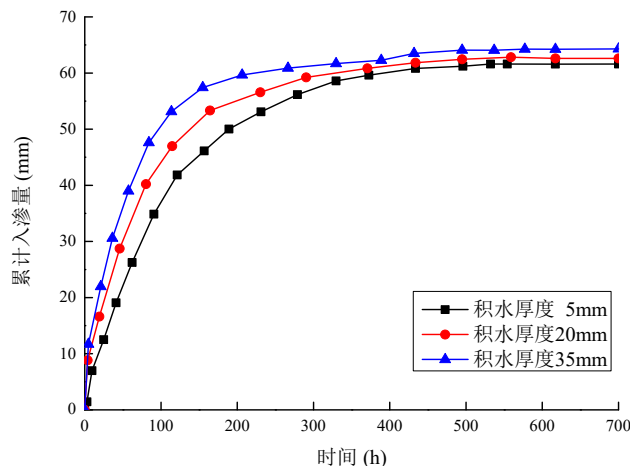


图4 不同积水厚度条件下累积入渗量随时间变化关系

（二）入渗率随时间变化规律

图5为在700h试验段内不同积水厚度条件下粉质砂岩中水分的入渗率随时间变化关系，由图5可知，不同积水厚度条件下入渗率-时间曲线均表现出相同的变化规律，即入渗率不断降低，这也与累积入渗曲线所得出的试验结果一致。进一步可以观察到，对于不同积水厚度条件下粉质泥沙岩的入渗率存在某一临界值，即在此临界值之前，积水厚度大的试样水分入渗率高，积水厚度小的试样水分入渗率低；而当超过该临界值时，入渗率表现出相反的规律，即积水厚度大的试样水分入渗率低，积水厚度小的试样水分入渗率高。由图5可知，该临界时间点为接近500小时处，此时入渗率为0.27mm/h。

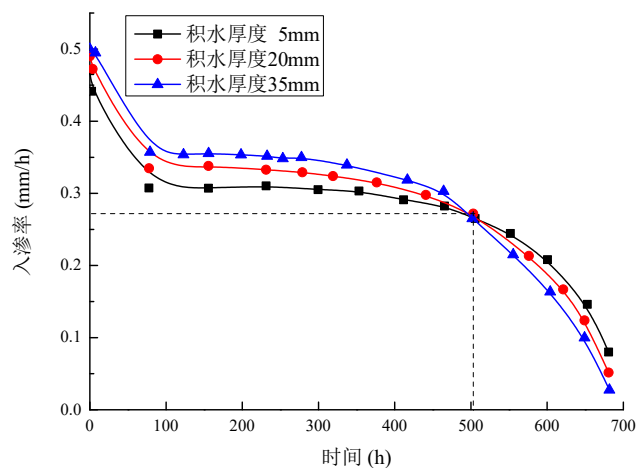


图5 不同积水厚度条件下入渗率随时间变化关系

表1 累积入渗量及入渗率与积水厚度关系对比

时间 (h)	累积入渗量 (mm)			入渗率 (mm/h)		
	h=5mm	h=20mm	h=35mm	h=5mm	h=20mm	h=35mm
1	0.71	2.23	2.54	0.47	0.49	0.50
100	36.95	42.08	49.15	0.30	0.33	0.35
300	57.12	59.35	60.48	0.29	0.32	0.33
500	61.09	61.30	62.05	0.27	0.27	0.27
700	61.15	61.37	62.08	0.08	0.05	0.04

(三) 积水厚度影响分析

表1分别给出了入渗时间t=1, 100, 300, 500, 700h共计五个时间下的粉质泥沙岩累积入渗量及入渗率与积水厚度之间的关系。首先分细累积入渗量与积水厚度的关系, 由表可知, 无论在哪个时间段下, 累计渗水量与积水厚度之间始终成正比, 以t=100h为例, 此时三种不同积水厚度条件下粉砂质泥岩内渗水量分别为36.95mm、42.08mm及49.15mm, 由此可见, 积水厚度越大, 累计渗水量越大。分析认为, 这是由于积水厚度越大, 则水头越大, 水的势能越高, 因此其对粉砂质黏土的渗透压力也就越大。此外, 进一步分析入渗率与积水厚度之间的关系, 可见以t=500h为临界点, 在此之前, 积水厚度大则入渗速率大, 在此临界值之后规律则相反。分析认为, 这是由于在500小时左右积水厚度大的实验组粉砂质泥岩均已经接近达到吸水饱和状态, 而积水厚度小的粉砂质泥岩却仍然具有一定的吸水能力。

四、结论

为研究积水厚度对降雨条件下粉砂质泥岩中的水分迁移, 为粉砂质泥岩路基设计与加固提供一定的指导作用, 室内设计了积水厚度为5、20及35mm三个条件下、渗透时长为700小时的粉砂质泥岩水分迁移试验研究。得出主要结论如下:

- (1) 累计渗透量随时间不断增大, 但增大速率逐渐降低; 入渗率随时间降低, 但降低速率越来越快。
- (2) 累计渗透量与积水厚度之间成正比, 积水厚度越大则累计渗透量越大。
- (3) 对于不同积水厚度条件下粉质泥沙岩的入渗率存在某一临界值, 即在此临界值之前, 积水厚度大的试样水分入渗率高, 积水厚度小的试样水分入渗率低; 而当超过该临界值时, 入渗率表现出相反的规律。

参考文献

[1] 于怀昌, 赵阳, 刘汉东, 黄志全, 李亚丽. 三轴应力作用下水对岩石应力松弛特性影响作用试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34 (02): 313-322.

[2] 李亚丽, 于怀昌, 刘汉东. 三轴压缩下粉砂质泥岩蠕变本构模型研究[J]. 岩土力学, 2012, 33 (07): 2035-2040+2047.

[3] 于怀昌, 李亚丽, 刘汉东. 粉砂质泥岩常规力学、蠕变以及应力松弛特性的对比研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31 (01): 60-70.

[4] 付宏渊, 陈小薇, 陈镜丞, 曾铃, 邱祥. 温、湿度对粉砂质泥岩边坡岩体抗剪强度的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2019, 39 (01): 25-33.

[5] 杨建林, 王来贵, 李喜林, 赵国超, 李闯. 粉砂质泥岩遇水损伤规律及化学改性研究[J]. 硅酸盐通报, 2016, 35 (06): 1883-1890.

[6] 于怀昌, 李亚丽. 粉砂质泥岩常规三轴压缩试验与本构方程研究[J]. 人民长江, 2011, 42 (13): 56-60+106.

[7] 吴启红, 彭振斌, 陈安, 周怡. 常吉高速公路白垩系粉砂质泥岩风化特性研究[J]. 工程勘察, 2009, 37 (12): 36-39.

[8] 龙涛, 彭振斌, 周怡. 谈潭衡西高速公路白垩系粉砂质泥岩风化特性[J]. 山西建筑, 2010, 36 (14): 266-268.

[9] 周怡, 彭振斌, 陈安. 潭衡西高速公路第三系粉砂质泥岩崩解特性研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2009, 24 (04): 52-55.

[10] 赵晓彦, 李昆鹏, 肖典, 曾彩云, 张良. 基于分形理论的粉砂质泥岩酸雨崩解特征研究[J/OL]. 工程地质学报: 1-8 [2020-03-27].