

1006- 2106(1998) 04- 0097- 03

风化壳型路基边坡的防水研究

徐则民^{*}

杨立中

(成都理工学院水文系,成都 610059)

(西南交通大学,成都 610031)

提 要 本文提出,对于被(砂)粘土层覆盖的风化壳型路基边坡,可以通过对土层的化学处理,使之转化为一道面状的隔水屏障来实现边坡防水之目的,并以成渝线某边坡为例进行了深入研究。结果表明,利用 Na_2CO_3 溶液对边坡表层砂粘土实施灌浆处理或混入 Na_2CO_3 粉末,可以有效降低其渗透性,而且该方法成本低廉、操作程序简单;其防渗机理是, Na_2CO_3 使土体中钙基蒙脱石转变成了钠基蒙脱石。在土层中混入石灰与 Na_2CO_3 粉末的混合物,不仅可以降低土体渗透性,而且可以显著提高土体强度;考虑到处置过程的复杂性,该方案更适于治理路基翻浆冒泥和软土路基加固等领域。

主题词 路基边坡 砂粘土 防水 化学处理 Na_2CO_3

分类号 U213.151 **文献标识码** A

1 引 言

降水引起的边坡渗流场变化是诱发滑坡、溜坍以及泥石流的最活跃、最关键的因素,这早已被人们普遍接受。几十年来,已有许多以“防水”为主要途径的滑坡与溜坍防治方案被相继采用。这些方案,总体上可分为两大类,一类是主动防水方案,另一类是被动防水方案。

主动防水就是把降水或来自坡体范围之外的地表径流拒之于坡体之外,使之通过地面径流排走,切断坡体地下水的补给源。具体形式有浆砌片石护坡、浆砌四合土砖护坡、勾缝、喷浆、抹面、捶面及排水沟等。被动防水则是指降水或其它来源的水已经进入坡体,并引起地下水位抬升后,再采取排水措施。具体的排水方案有盲沟、盲洞、支撑渗沟、边坡渗沟、垂直钻孔群、水平钻孔群、井点排水及虹吸排水法等。

应该说主动排水比被动排水更为可取,因为构成边坡的各类介质的渗透性一般都比较差,被动排水一般不易取得满意效果。

风化壳型路基边坡在我国南方地区分布极其广泛,其最常见的防水方式是坡面排水沟,由于其密度的限制,只有在降雨强度超过坡体入渗速度,产生明显的地表径流时才能充分发挥作

^{*} 本文收稿日期:1998-10-10 徐则民 男 35岁 成都理工学院水文系 博士后 桥梁与隧道工程专业 研究方向:铁路地质灾害;杨立中 教授 西南交通大学副校长

用,因此防水效果不甚理想,特别是对那些已经发生明显变形的边坡。风化壳表层一般由粘土、砂砾石及少量残坡积块石等组成,能否通过对风化壳表层砂粘土本身的处理,使之转化为一道面状隔水屏障,从而切断坡体地下水的补给通道,使大气降水转化为地表径流排出边坡范围呢?本文以成渝线某边坡为例,对这一问题进行了试验研究

2 边坡基本特征及砂粘土层的初始渗透特性

边坡位于成渝—重庆站附近,铁路从坡体中部通过。坡体为侏罗系沙溪庙组砂、泥岩互层,地层外倾,倾角 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。50年代末期,坡体后缘出现拉裂缝。此后,每至雨季,变形加剧,拉裂缝扩展,民房、粪池被拉裂,现已发展成为由三条宽约 1 m 长 80~90 m 的拉裂缝和若干小裂缝组成的宽约 10 m 的拉裂带。

坡面中部和上部有两条横跨边坡的排水沟。80年代末期,在坡体中部铁路边靠坡脚一侧施工了数根抗滑桩,但斜坡变形并未因此被遏制住。1995年雨季,一条拉裂缝扩展 20 余米,粪池、民房被再次拉裂。因此,该边坡有可能发生整体性破坏,即滑坡。根据边坡变形破坏史判断,防止滑坡的最有效途径应是降低雨水渗入量,遏制边坡地下水位的大幅波动。

边坡被一层厚度为 1~2 m,由原岩风化形成的砂粘土覆盖,其矿物成分见表 1,粘土矿物的主要成分是伊利石,其次是高岭石和蒙脱石(表 2)。

表 1 砂粘土的矿物成分

矿物名称	粘土矿物	石英	长石
含量 (%)	18.31	31.8	49.90

表 2 砂土矿物的类型

矿物名称	蒙脱石	伊利石	高岭石
含量 (%)	20.70	57.00	22.30

对采自现场的砂粘土样品,利用三种不同形状、不同尺寸的渗透装置(第一个是用有机玻璃板制成的有效尺寸为 $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ 的板式渗透仪;第二个是用有机玻璃管制作的截面积为 37.392 cm^2 、有效渗透长度 28 cm 的管式渗透仪;第三个是用 PVC 管制成的截面积为 44.1786 cm^2 、有效渗透长度 25 cm 的管式渗透仪)进行了长时间的反复渗透试验。结果发现,砂粘土的渗透系数(K)随过水时间(t)的增大而衰减,并满足负幂函数关系。砂粘土的饱和渗透系数为 $7.2 \times 10^{-5} \sim 4.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$,渗透系数的最大值(饱和砂粘土,在 $36^{\circ}\text{C} \sim 39^{\circ}\text{C}$,相对湿度 50~60% 的条件下,蒸发 7 天后,测定的渗透系数)为 $3.0 \times 10^{-3} \sim 5.6 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$,两者至少相差两个数量级。

可以看出,砂粘土的饱和渗透系数是较低的,已基本接近饱和粘土的 K 值。它之所以能够成为雨水的下渗通道,是因为经过经烈的蒸发释水后,其 K 值可以达到很高的水平,变为透水乃至强透水介质。当然,随着过水时间的加长,它会再次变为隔水介质。本文的目的在于,通过对砂粘土的处理,使其在经历强烈蒸发后也不透水,或缩短其从透水介质向隔水介质转化的时

间,从而达到减小雨水渗入量的目的。

3 砂粘土最佳防渗方案的试验研究

根据边坡砂粘土的物质组成及结构特征,初步确定了三种防渗方案,期望通过对比试验,从中筛选出一种最佳方案。该方案应该满足高效、低成本及施工简便三个基本条件。

基本的试验过程是将取自现场的团块状砂粘土捣碎($\phi \leq 5 \text{ mm}$),装入(或混入某种添加剂后)渗透装置,装样过程中分层适当拍实,同一组样品(包括处理的和未处理的)在装样过程中遵循等密度原则:进行化学处理(土样用水或溶液饱和时,在 $1 \sim 4 \text{ cm}$ 液柱下从装置上部给水)后,将土柱放入一个巨型烘箱,烘箱的温度和相对湿度分别控制在 $36^\circ\text{C} \sim 38^\circ\text{C}$ 和 $60\% \sim 70\%$,以模拟现场两次降雨之间的强烈蒸发过程。7天(或更长时间)以后取出;进行渗透试验,测定水力传导系数(及其随时间的变化状况)。在制作每组处理样时,都同时制作一个未处理样,以评价处理效果。

在进行渗透试验时,为了不破坏砂粘土的结构,更贴近降水补给条件,实行上部给水;所有土柱渗透,上部均保持 1 cm 水柱。

水力传导系数按下式计算:

$$K = QL \Delta H S \quad (1)$$

式中, K 值为水力传导系数(cm/min); Q 为流量(cm^3/min); L (cm) 为有效渗透长度; S (cm) 为过水断面面积; ΔH (cm) 为水头差。

试验的第一种防渗方案是在砂粘土中混入石灰^[2-6]。结果表明,该方法可以有效降低砂粘土的渗透性。当土灰比低于 $5:1$ 时, K 值波动不大,基本控制在 $3.3 \times 10^{-5} \text{ cm/s} \sim 8.3 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 之间。而未处理土的 K 值则呈负幂函数的形式大幅度衰减,最大 K 值达到 $5.9 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$,比处理土高 3 个数量级;试验结束时,未处理土的最小 K 值为 $3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,仍比处理土高一个数量级。该方法对于边坡砂粘土的防渗来说,可操作性比较差,但对于人工回填土的防渗处理较为方便,如路基土、各类废物处置场粘土衬料及夹层的防渗处理等。

试验的第二种防渗方案是在砂粘土中混入石灰后,再灌入 Na_2CO_3 溶液。结果表明,当土灰比低于 $5:1$,用 0.1 m/l 的 Na_2CO_3 溶液回灌时,不仅可以使处理土转化为完全的隔水介质(土体经强烈蒸发后,无干裂缝出现)而且可以显著提高其强度。该方法适用于小方量人工回填土的处理,实施过程中,可以在土体中混入石灰和 Na_2CO_3 粉末。研究发现,该方案的防渗机理是石灰的填隙作用和 CaCO_3 的胶结作用。

试验的第三种防渗方案是用 Na_2SO_3 溶液对砂粘土实施灌浆处理。

在两个 $S = 37.932 \text{ cm}^2$, L 分别为 28 cm 和 26 cm 的有机玻璃管制的渗透装置中装入砂粘土后,分别用自来水和 0.1 m/l Na_2CO_3 溶液渗透。结果发现, Na_2CO_3 溶液在砂粘土中的下渗速度远低于自来水。两个柱体完全饱和后,放入烘箱。13天后取出,用自来水进行渗透试验。未处理砂粘土在上部给水 9 分钟后,底部就开始渗水,但是,用 Na_2CO_3 溶液处理过的柱体在给水 94 小时后,仍无水渗出。这初步说明, Na_2CO_3 溶液可以有效降低砂粘土渗透性。

为进一步证实 Na_2CO_3 溶液的防渗功效,将上述两个柱体再次放入烘箱,蒸发释水时间延长至 20 天。20 天后进行渗透试验的结果见图 1。

未处理和处理土的 $\max K$ 分别为 0.727 cm/min 和 0.180 cm/min 。由于 $\max K$ 值和渗透试验结束时的 K 值相差太大,故图 1 中没有反映这两个特征值。

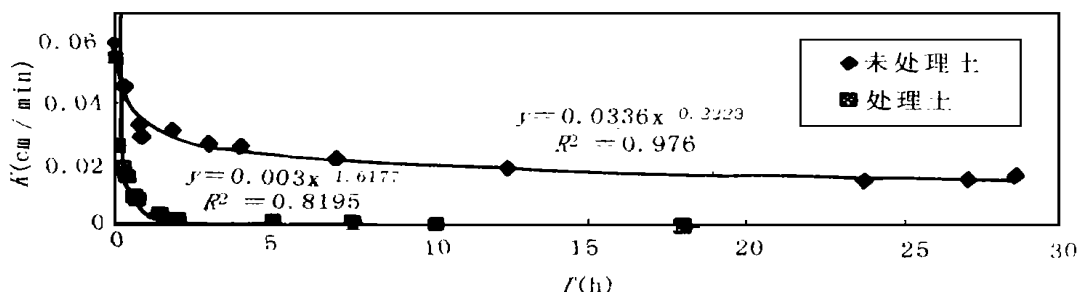


图 1 用 Na_2CO_3 溶液处理粘土与未处理粘土的 $K-T$ 图

综合两个试验过程,可以初步判定,砂粘土用 Na_2CO_3 溶液处理后,其渗透性能明显变差,这表现为处理土经过蒸发后,在遇水过程中,其 K 值衰减明显加快。在第一过程中,由于处理土柱上部在遇水后的很短的时间内就演变为隔水介质,导致整个柱体在 94 小时内无水渗出;在第二次渗透中,处理土的 K 值在两个小时内衰减两个数量级,而未处理土仅衰减一个数量级;在整个渗透过程中,处理土的 K 值总共衰减了五个数量级,而未处理土仅衰减了一个数量级。 K 值能快速衰减对于防渗处理是十分重要的,因为,即使处理土具有较大的初始 K 值,一旦与水相遇,它的 K 值就会在很短的时间内衰减到很低的水平,仍然可以发挥隔水介质的作用。

为了确定上述实验结果的可重复性并确定 Na_2CO_3 溶液的最佳浓度,进行了浓度与防渗效果的关系试验。第一组为 0.005 0.01 m/l Na_2CO_3 溶液处理土和未处理土,结果见图 3。

第二组为 0.05 0.5 0.75 及 1.0 m/l Na_2CO_3 溶液处理土和未处理土。由于未处理土和处理土之间的 K 值相差悬殊,无法在一个坐标系内表示。图 3 和图 4 分别为未处理土和处理土的 $K-T$ 图解。

从图 2 3 4 可以看出,六个浓度级别的 Na_2CO_3 溶液都具有明显的防渗效果, Na_2CO_3 溶液的防渗能力具有良好的可重复性;总体上看,浓度越高,效果越好;对于所研究的砂粘土, 0.05 m/l 可以作为 Na_2CO_3 溶液的下限浓度。

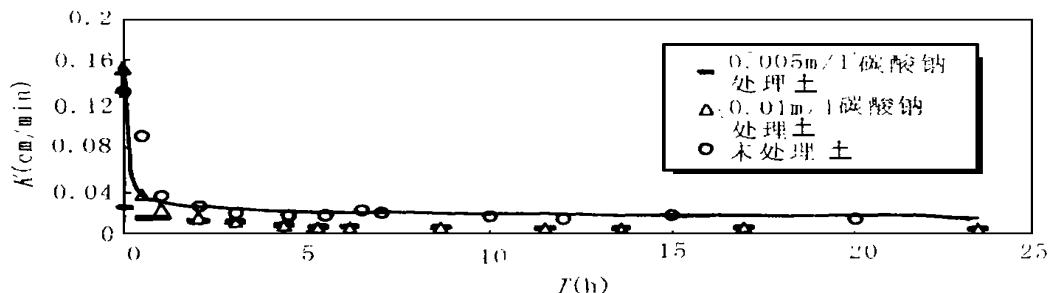
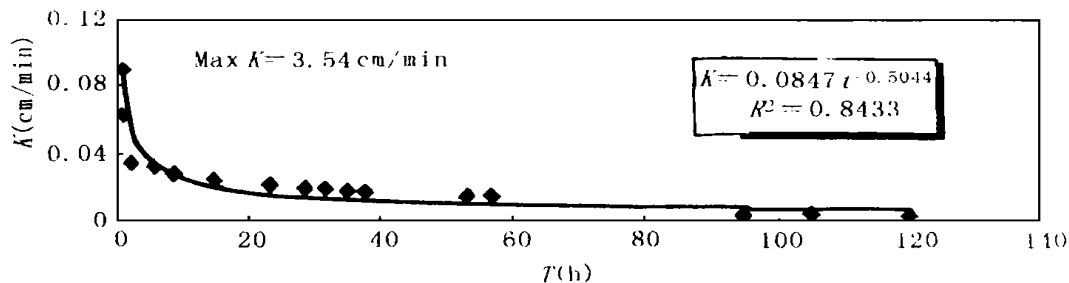
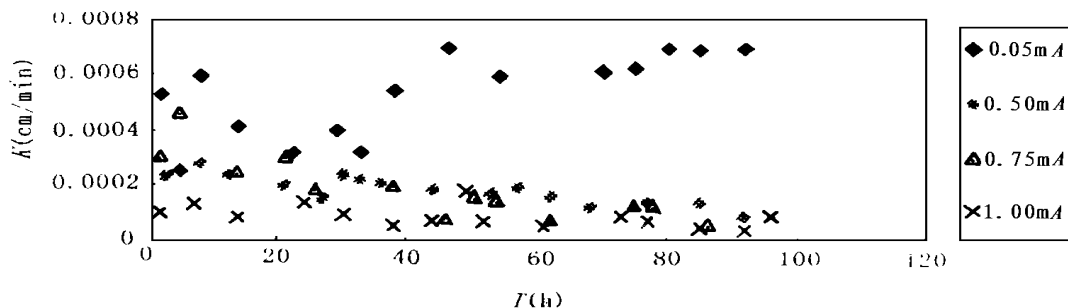


图 2 处理土与未处理土的 $K-T$ 图解

图 3 未处理土的 $K-T$ 图解图 4 用不同浓度碳酸钠溶液处理土的 $K-T$ 散点图

为确定 Na_2CO_3 溶液防渗能力的时效性,高水力梯度下,用自来水,对经 Na_2CO_3 溶液处理的砂粘土进行长时间的“洗碱”,待排出水的 pH 达到 7 以后,放入烘箱蒸发,最后用自来水进行渗透试验。结果表明, K 值并未发生反弹, Na_2CO_3 溶液的防渗功效是稳定的。

室内试验用的土样,无论在结构上,还是在构成上都和现场的原状土有着明显差别,根据室内试验确定的处置方案在野外是否可行,还有待研究。为此,开展了小规模现场试验(图 5),试验时间为 6 月末至 7 月初;试验过程和室内试验基本相同,只是蒸发过程是天然的而不是人工的,蒸发时间为 7 天,平均气温高于 36°C 。试验选用了 0.05 m/l 和 0.1 m/l 两个浓度级别的 Na_2CO_3 溶液。用 0.1 m/l Na_2CO_3 处理的土柱在 16 小时的渗透过程未渗水;0.05 m/l Na_2CO_3 溶液处理土和未处理土的 $K-T$ 图解见图 6。

小规模现场试验结果表明, Na_2CO_3 溶液在降低边坡砂粘土的渗透性方面是有效的。但由于边坡砂粘土的物质组成在空间上极不均匀,现场试验是选在含砾石比较少的地段进行的,试验结果可能带有一定的不确定性。

室内及现场实验表明,利用 Na_2CO_3 溶液对边坡砂粘土进行化学处理不仅可以大幅度降低其渗透性,缩短其由透水介质向隔水介质转化的时间,有效地拦截入渗的降水,而且防渗效果稳定。实施过程中,可以采用地表浅坑回灌或

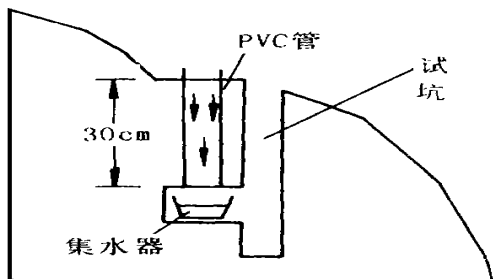


图 5 现场试验示意剖面

灌浆的方式将 Na_2CO_3 溶液注入处置体,也可以在砂粘土表层埋入 Na_2CO_3 粉末,由雨水带入土层

综合考虑防渗效果、可操作性及处理成本等因素,在试验的三种防渗方案中,用 Na_2CO_3 (溶液)处理砂粘土应成为首选的最佳方案。

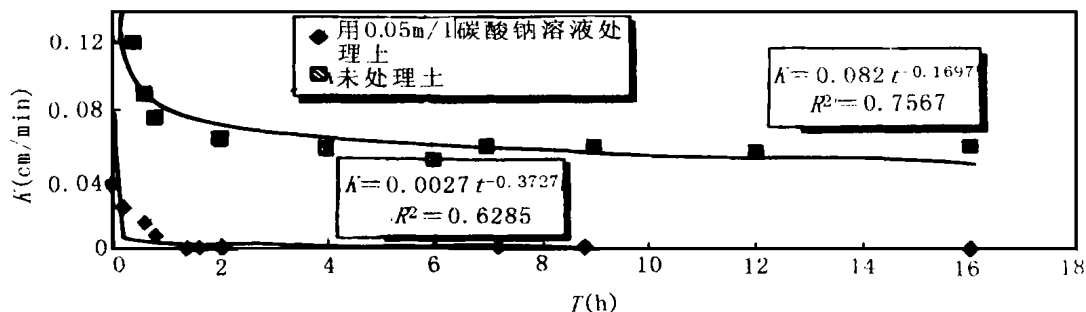


图 6 现场处理土与未处理原状土的 $K-T$ 图

Na_2CO_3 的防渗机理研究^[1]表明, Na_2CO_3 在水溶液中电离产生的高浓度 Na^+ , 在其水解产生的高浓度 OH^- 造成的强碱性环境中, 置换了呈厚板状、集和体结构相对紧密的钙基蒙脱石结构层之间被吸附的 Ca^{2+} , 使之转变为呈针状、海绵状及树枝状、集和体结构相对疏松的钠型蒙脱石, 导致土体有效空隙的几何尺寸变小, 甚至变为无效空隙, 从而引起有效孔隙度和渗透系数的衰减, 甚至将土体完全转化为隔水介质。也就是说 Na_2CO_3 是通过蒙脱石的“转型”, 使之发生“永久性”内膨胀来实现土体防渗的。

4 结束语

(1)通过对边坡表层(砂)粘土的化学处理,使之转化为防水屏障,是风化壳型边坡防水的一个有效途径。该类屏障不仅可以保护边坡,防止雨水下渗,而且在变形方面,可以和坡体最大限度地保持一致,克服线状排水沟排水量有限和刚性面状防护的易于破坏的缺点。

(2)大量的室内试验及小规模现场实验表明,对于所研究的边坡, Na_2CO_3 (溶液)可以使其表层砂粘土转化为一道有效的防水屏障,而且具有成本低廉、工序简单之特点。该处理方法对于同类边坡的处理具有重要的借鉴意义。

(3)试验表明,在土层中混入石灰与 Na_2CO_3 粉末的混合物,不仅可以降低土体渗透性,而且可以显著提高土体强度。该处置方案对于治理路基翻浆冒泥和软土路基加固具有重要意义。

参考文献

- 1 Xu Zemin, Yang Lizhong. Study on the mechanism of Na_2CO_3 solution reducing permeability of clay [J]. Proceedings of the international symposium on engineering and environmental geophysics. Chengdu, China, 1997
- 2 S. D. Voronkevich. Engineering geochemistry: problem and applications [J]. Applied Geochemistry, Vol. 9, 1994
- 3 C. S. Doorothea, et al. Chemical manipulation of soil for sealing landfills [J]. Applied Geochemistry, Vol. 11, 1996

- 4 R. D. Schuiling. Geochemical engineering: some thoughts on a new research field [J], Applied Geochemistry, Vol. 5, 1990
- 5 R. D. Schuiling. Geochemical engineering [J]. 6th International IAEG Congress, 1990
- 6 C. D. F. Roger, et al. The role of lime migration in lime pile stabilization of slopes [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1996, 29: 273~ 284

A STUDY ON THE WATER PREVENTION FOR WEATHERED CRUST-SUBGRADE SLOPES

XU Zemin

(Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059)

YANG Lizhong

(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract The paper proposes that the sand clay layer covering on weathered crust-subgrade slopes may be transformed to a waterproof barrier by way of chemical manipulation to prevent water permeating into slope bodies, and studies the problem taking some slope on Chengyu railway. The results indicates that it may reduce effectively the permeability of the sand clay to grout it with Na_2CO_3 solution or mix it with Na_2CO_3 powder and the disposal way is simple and inexpensive. The water prevention mechanism is for Na_2CO_3 solution to transform Ca-montmorillonites into Na-montmorillonites. Mixing the sand clay with lime and Na_2CO_3 powder may not only reduce its permeability but also increase its strength remarkably and in view of the complexity of the disposal process, the scheme is fit for the treatments of roadbed soft soils.

Keywords subgrade slope; sand clay; water prevention; chemical manipulation; Na_2CO_3

兰渝铁路建设研讨会召开

1998年11月3日至5日,中国铁道学会秘书处、铁道工程学会、甘肃省铁道学会、四川省铁道学会、兰渝铁路协作会在四川省广元市联合召开了兰州至重庆铁路建设研讨会。参加会议的有甘、川、渝三省市和铁道部所属科研、设计、运营部门、大专院校的42位领导、专家、教授和工程技术人员。与会专家学者一致认为,在当前形势下,加快建设兰渝铁路,是十分必要的、紧迫的,也是可行的。会议就运量分析、资金筹措、前期工作等提出了许多建设性的建议。

兰渝铁路北起甘肃省会兰州,途经甘肃省中南部、四川省东北部,南至重庆直辖市。线路全长1165公里,其中新建线路1043公里,共经过8个地(市、州)、25个县(市、区),吸引区面积约10万平方公里,人口近3600万。

(吴音供稿)