

绿色施工背景下新型固砂剂在高等级公路边坡生态防护中的应用研究

贺超

(湖南高速铁路职业技术学院, 湖南 衡阳 421002)

【摘要】为了解决公路砂质边坡稳定性较差且不利于边坡生态防护等问题, 本文提出采用一种基于钾水玻璃的新型固砂剂, 能够有效解决市面上旧有的固砂剂应用常见问题, 同时满足绿色施工要求。经检测, 该新型固砂剂能够满足不同条件下的强度要求以及实际场景中的应用需求。

【关键词】固化剂; 公路防护; 边坡

一、研究背景

在整个工程当中常常需要检测和维护边坡的稳定性, 原因在于边坡是风积形成, 边坡的结构呈现出表面活性低而凝聚力小特点, 因此整体的稳定性比较差, 导致边坡容易失稳进而引发坍塌等事故^[1]。维护边坡稳定性的关键就在于要提高边坡表面的稳定性, 产生一定的强度, 随后采用客土喷播等工艺进一步强化和保护边坡。边坡的表面加固技术除了采用传统的物理防护以外, 目前, 国内外也常常采用化学固砂剂的工艺进行边坡加固, 这种工艺的原理借助了化学反应, 边坡的表面物质能够与固砂剂产生化学反应, 生成物具有一定的厚度, 覆盖在边坡上能够起到防风固砂以及防止水侵蚀的作用, 相比于普通的物理固砂措施更加高效环保。

当前化学固砂剂可以分成以下几种。

1. 石油产品类固砂剂。

石油产品类固砂剂在沥青中的应用十分广泛, 原理是通过将其配制成乳化液喷洒到砂面形成固结层, 优势是操作简单且成本较低, 但不可忽略的缺点是使用寿命容易受到风吹日晒的影响, 通常 2-3 年就需要再次加固。

2. 高分子高吸水树脂类固砂材料。

这类固砂剂业界好评较多, 原因在于其分子量比较大, 喷洒到砂面后可以产生具有一定韧性、黏性、保水性的固化层。此外, 高分子高吸水树脂类固砂材料不仅固化速度十分快, 而且固结后还保持比较高的强度, 可以大大降低施工成本。缺点是使用寿命不长, 受氧化影响明显。

为了解决当前市面上的化学固砂剂常见的问题, 本文提出采用一种新型固砂剂, 其主要配料为钾水玻璃和一种防水的固化剂, 使用较少的胶凝材料。耐水性固化剂主要包含磷酸硅跟硅酸理, 市面上的固化剂经常使用到钠水玻璃, 但本产品的原材料采用了钾水

玻璃, 选择钾水玻璃的原因是考虑到了它的环保性以及作物有益, 钾盐是植物生长所需成分, 因此十分符合当前绿色施工背景。另一方面, 钾水玻璃在化学固砂剂的应用, 能够有效提高固砂剂强度, 在边坡表面形成更厚的防护层。因此该设计具有优越的耐水性、抗冲刷性、环保性, 同时还能很好地保护边坡, 不尝试多余的附加应力。

二、实验设计

(一) 实验准备

1. 使用细砂作为填充的骨料。

配比: 含泥量 < 5%, 曲率系数 $C_c=1.27$, 不均匀系数 $C_u=4.210$ 。

2. 钾水玻璃需要充分地搅拌均匀, 硬化之后会在边坡表面形成一层硬度较强的黏结膜, 这种黏结膜形成的保护层是通过粘结膜的连接形成一层网状结构, 在防护的过程中高效发挥防护网的功能, 从而形成较高的固结强度。

配比: 使用 3 种不同模数 ($M=3.20, 3.30, 3.40$) 的钾水玻璃溶液。

3. 选择磷酸硅作为主要材料不仅是因为价格实惠, 而且磷酸硅经过水解后产生的氢离子能够替代钾水玻璃中的钾离子, 一方面可以作为催化剂提高反应速度, 不产生有害物质, 另一方面还可以提高固砂剂的防水性和韧性, 充分保障了固砂剂的化学性能和环保性能。

4. 选择硅酸铯溶液作为提高固砂剂耐水性的主要材料, 在经过反应后生成的保护层具有较强的耐水性和韧性。

配比: 模数为 4.8, 浓度为 2g/mL。

5. 为进一步提高产品与砂砾混合干燥后形成的保护膜的保护性, 采用硅溶胶进行胶凝, 强化黏结性能和耐候性能。

(二) 实验方案

1. 确定风积砂的属性, 从而进行筛分、击实和直

剪实验。

2. 按照上文中所述配比方法, 将钾水玻璃和固化剂配置成浆液。注意计算和把握好配置过程中的含水量, 需要符合试块的试验需求, 浆液当中已经包含的水分在计算时要扣除。

3. 配置完成以后与选定好的风积砂均匀搅拌, 在倒入模具之前选用润滑油处理模具, 防止试块粘连, 最后倒入制作的试验试块时要注意刮毛, 填筑完成以后坚持压实情况。

4. 制作不同配比和龄期的试验试块, 检测两种变量对固砂剂强度的影响。

5. 改变试验试块的干湿环境, 检测干、湿两种环境对固砂剂强度和耐水性的影响。

6. 改变试验试块的温度环境, 检测湿冻、干冻对固砂剂抗冻性的影响。

三、实验结果分析法

(一) 不同模数下试块强度的变化

不同模数变量环境 ($M=300, 320, 340$, 单位 $\times 10^{-2}$) 设置下的钾水玻璃制作试样 (选取的对应比例数据: 磷酸硅占钾水玻璃固含量, 百分比分 3 种情况, 即 4%, 6%, 8%)。检测在压强为 14d 的条件下试块的无侧限抗压强度, 试验结果见图 3.1。

表 3.1 14d 下无侧限抗压强度

组号	钾水玻璃模数 $\times 10^{-2}$	磷酸硅占钾水玻璃固含量的百分比 /%	抗压强度 /kPa
1	300	0.04×10^2	678.33
2	300	0.06×10^2	996.89
3	300	0.08×10^2	793.47
4	320	0.04×10^2	800.21
5	320	0.06×10^2	1059.34
6	320	0.08×10^2	823.07
7	340	0.04×10^2	997.62
8	340	0.06×10^2	1419.1
9	340	0.08×10^2	1096.25

选择磷酸硅溶液, 经过水解后生成的氢离子替代钾水玻璃中不稳定的钾离子, 并与原溶液中的 $H_2Si_4^{2-}$ 和 $H_3SiO_4^-$ 两种属性各异的阴离子自然地发生反应, 而后生成全新的物质, 即硅酸二聚体, 这一物质仍不是最终的生成物, 还将继续反应, 继而生成多硅酸。此时, 多硅酸作为一种低分子量的单体, 经聚合反应后最终生成高分子化合物二氧化硅, 二氧化硅的浓度一旦超过阈值就会形成一种具有防护作用的凝胶网络结构, 最终与边坡的砂砾结合。另外, 氢离子替代钾离子还能够参与到钾水玻、硅酸铯和硅溶胶的反应中, 充分混合之后同样会生成防护层, 这种防护层是一种立体骨架状的硅凝胶, 并且在不断反应中硅凝胶的质量在不断提高, 相应的强度也随着增大。

钾水玻璃模数与固砂剂的强度呈线性正相关, 因此, 在固化剂量相同的条件下, 钾水玻璃模数的增大

意味着固砂剂的固砂效果越好。根据钾水玻璃的化学分子式 $K_2O \cdot M SiO_2$, 其模数 M 就是 K_2O 与 SiO_2 的摩尔系数, 因此 M 越大, 硅酸盐的浓度也就越大, 有助于立体骨架状硅凝胶的形成, 在试验时也发现, 参与实验的试块最先形成防护层的位置为能够顺利接触到外界空气的部分, 其根本的原因在于, 钾水玻璃天然具有易脱水性质, 它能够在硅胶渐趋凝结的过程中不断硬化, 从而在外部构成一个具有相当硬度的保护层。

经过分析可知, 磷酸硅浓度的改变对试块强度产生的影响是先增后减的变化, 当浓度在 6 的时候, 强度达到了峰值。其原因在于, 代替钾水玻璃发生反应的氢离子是有碳酸硅分解的, 因此随着碳酸硅浓度的增大产生的氢离子含量研究增大。在未到达阈值前由于参与反应的氢离子含量不足以和其他离子反应, 因此所生成的凝胶结构比较少, 试块强度也就比较低; 超过阈值的氢离子含量会直接降低硅酸在凝结聚合时的均匀程度, 以至于使钾水玻璃虽然顺利固化, 但是无法保证其结构均匀, 而且也会导致有一定量的化合物、吸水离子仍存在于胶体结构里, 让试块强度大打折扣。

(二) 龄期划分下的试块强度对应情况

该处模数变量环境选择情况: $M=3.20$, 依然用钾水玻璃制作试样 (对应比例的数据情况: 磷酸硅占钾水玻璃固含量百分比是 6%)。检测在压强分别为 14, 28, 90, 180d 的条件下试块的抗压强度, 从试验结果可以看到试块的抗压强度与压强呈现正相关, 龄期增大的同时抗压强度也随之增强, 在开始强度随着龄期增大而迅速变大, 但在改时期所形成的凝胶网络结构并不稳定; 当龄期超过 100d 后压强增大速率逐渐变缓慢, 也渐趋形成稳定性更好的凝胶网络结构, 还会和砂粒进一步地粘结, 其强度随之进阶。其中, 没有参与反应的钾水玻璃则自动进行脱水, 经历一定时间后, 就会凝结, 呈现特殊的形状 (立体骨架状), 此时是硅凝胶性质, 其硬化过程也是试块强度提升的过程。

(三) 不同饱水下试块强度变化

该处模数变量环境选择情况: $M=3.40$, 并用钾水玻璃制作试样 (对应比例的数据情况: 磷酸硅占钾水玻璃固含量百分比是 6%)。检测饱水 1, 3, 5d 的情况以检测雨水对应用固化剂后的边坡影响, 试验结果见表 3.2。

表 3.2 不同饱水对试块强度的影响

试样龄期 /d	饱水前强度 /kPa	饱水 1 d 强度 /kPa	饱水 3 d 强度 /kPa	饱水 5 d 强度 /kPa
7	1 024.12	723.41	656.43	624.71
28	1534.37	1 224.82	1 079.25	1 033.46

根据不同饱水时间对试块强度的影响试验可以看到在最初,试块强度下降尤为迅速,但在饱水时间递增情况下,其下降速度渐缓,且越来越稳定。在饱水时间值增加到3d后,这种稳定性最为明显。例如,根据龄期为7的数据折线图来看,当饱水时间增大到了1d,强度降低27.32%;饱水3d后,强度降低34.69%;饱水5d后,强度降低39.13%。相对照来看,28d龄期的试样饱水1d后,强度降低19.84%;饱水3d后,强度降低30.11%;饱水5d后,强度降低31.97%。

由上述可见,基于对实验时变量饱水时间的差异化设置,参与实验的试块在不同饱水时间下表现出的强度不尽相同,但都处于较高的强度。但是没有参与到化学反应中的钾水玻璃则会对试块造成负影响,这是因为这类钾水玻璃经过自动脱水后会生成立体骨架状的硅凝胶保护层,硅凝胶容易受到饱水的破坏,因此影响到固砂剂的保护性。但另一方面,经过脱水后的硅凝胶会形成一种具有疏水性的物质,能够继承硅凝胶的职责作为保护试块的保护层,提高固砂剂的耐水性。

四、现场施工工艺

上述中,第二章所涉及的试验可合理证明该固化剂同时在强度、耐水性、抗冻性方面表现优秀,非常适用于现代施工作业环境。将产品应用于实际公路边坡的生态防护应用当中,情况如下。

(一) 现场浆液配制

计算每平方米坡面固化剂浆液各配比使用量将溶液混合,根据要求和计算公式,边坡的固砂要求加深10厘米,由于实际工程中考虑到搅拌过程中会产生误差,选择砂体质量的2%-4%质量的钾水玻璃,最终确定钾水玻璃的含量为6kg/m²;添加固化剂的含量不低于钾水玻璃的4%不高于8%,能够发挥出固化剂的最大性能,最终最终确定固化剂的含量为0.12-0.24kg/m²;添加硅酸铯的含量不高于钾水玻璃的2%,最终确定硅酸铯的含量为0.12kg/m²;添加硅溶胶的含量不高于钾水玻璃的3%,最终最终确定硅溶胶的含量为0.18kg/m²。最后是将上述材料加水混合,制作成合适浓度的溶液(约为20%-25%)。其中,要提高溶液质量,须于制作中确保搅拌操作的充分性,使搅拌操作时长尽量超过10分钟。

(二) 喷涂灌浆系统构造情况和配置要求

该系统内的施工机械组成要素多,包括特制喷头、循环管道、加压泵、材料仓储场所、搅拌机(桶)、供水设施等。其中,系统配置时,用于加压的泵材多会倾向于选择普通泵,亦或化学灌浆泵。另外,该系统作业时,也要求相应机械的浆液搅拌效果必须达到均匀程度,以适应设计要求,高标准作业。

(三) 风积砂边坡喷洒施工

1. 经过清理工序后,在边坡的纵向设置标示线,每条标示线间隔为5-7m,然后进行上文中叙述的施工

操作。

2. 在喷涂浆液的过程中建议采用雾状喷洒,可以防止浆液流出对边坡造成影响的同时还易于控制喷洒速度。喷洒的浆液能渗透边坡内部即算完成。

3. 施工的过程需要注意对灌浆量的确定,灌浆过程中的速度及控制,计算好浆材浓度等,以及喷涂时的施工安全和技术问题。

4. 为了提高项目工程的稳定性,需要提高对浆液检测的频度,检测指标包括灌浆量、灌浆浓度等。

5. 喷涂主要目的在于湿润边坡,施工时要注意浆液的喷涂不可一步到位,而需要多次反复,在每一次的厚度上叠加,从而保障其稳定性和防护性。第一次喷涂的厚度不宜过厚,目的是完成边坡的湿湿润,方便后续均匀喷涂;第二次喷涂速度要慢于第一次,不宜在喷涂区域反复叠加,可以结合客土喷播技术,进行绿化覆盖。

6. 最后,在完成施工后为了提高使用寿命,要彻查边坡的加固情况,检查加固后的深度、强度等,确定好检查频率,一旦发现不合格应及时进行补喷。

(四) 养护方法

在施工完成后需要及时喷涂腐殖酸以提高固砂剂的使用寿命,喷洒腐殖酸的用量为2-3kg/m²,浓度在3-5%。

五、结论

(一) 固砂剂能够作为防护层有效提高边坡的强度。其中钾水玻璃的钾离子能够作为植物生长的肥料,促进绿色生态工程的进一步落实。采用客土喷播技术易于工程的顺利展开。

(二) 改变钾水玻璃的模数可以改变固化剂的强度,高模数的钾水玻璃在早期拥有更高的强度。

(三) 改变龄期可以改变固化剂的强度,强度增大速率随着龄期增加逐渐降低。

(四) 改变龄期和饱水时间可以改变固化剂的强度,饱水时间增加固化剂强度降低,但经过3d之后强度处于稳定状态。

(五) 项目落地和应用以后,经检查后发现固砂剂强度良好,边坡无明显受损,植物生长情况良好,符合绿色施工背景要求。

参考文献:

[1] 王雄. 公路工程新型边坡防护技术[J]. 交通世界, 2021(33):109-110.

基金项目 湖南高速铁路职业技术学院校级课题(GTYYC2018-06)

作者简介: 贺超(1992—),男,湖南湘乡人,讲师,主要从事道路与桥梁工程研究。