

公路膨胀土路堑边坡防护方案探讨

毛新虎

(山西省交通科学研究院, 山西 太原 030006; 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 针对膨胀土路堑边坡的公路工程特点, 总结以往膨胀土路堑边坡的防护措施, 根据以往膨胀土路堑边坡的防护成败资料和经验, 以保持边坡土体天然含水量状态的相对稳定, 保持边坡土体结构的相对完整性, 保持边坡土体足够的抗剪强度和防护工程能适应边坡膨胀土体可能产生的膨胀变形与膨胀力不遭破坏。首先用 DAH 混合溶液改良膨胀土边坡的表层土, 使 DAH 混合溶液与膨胀土产生离子交换发生化学反应, 从而使表层膨胀土体改变性能, 成为正常土, 然后结合以往路堑边坡处理方法进行综合处理。实践证明, 此方法不但充分利用了膨胀土, 节约了工程投资, 而且又绿化、美观了边坡, 使其与周围环境相协调, 从而为膨胀土地区公路路堑边坡处理提供了一种切实可行的防护措施。

[关键词] 膨胀土; 路堑边坡; 无砂大孔骨架; DHA 混合液

[中图分类号] P642.22 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)04-0049-05

[作者简介] 毛新虎(1967—), 男, 山西夏县人, 山西省交通科学研究院高级工程师, 长安大学博士研究生, 现从事岩土工程和地质灾害防治研究工作。

在膨胀土地区, 无论是路堑或路堤, 极其普遍而严重的边坡变形与基床变形, 都是其他土质路基中所罕见, 尤其是近十几年来, 随着高速公路的修建, 尽快选择合理的路堑边坡防护方案, 用合理的费用, 既确保边坡稳定, 又能使边坡景观与环境协调, 同时不耽误施工工期是当前施工中急需解决的问题。

1 膨胀土路堑边坡的公路工程特点

膨胀土吸水膨胀, 失水收缩, 具有裂隙性, 超固结性, 是工程上的一种特殊土。膨胀土的这些特性, 使得膨胀土路堑边坡与正常土路堑边坡有着不一样的特点。首先, 膨胀土表层存在一个大气影响区, 对区域内膨胀土受大气影响显著。开挖完成后的膨胀土坡面如不及时进行防护, 受大气影响干燥时会产生大量的裂隙, 下雨时裂隙将成为水流入渗的通道。这些裂隙随时间的推移会向深处发展, 逐步把土体内原存在的结构裂隙进一步连接扩张, 从而使得膨胀土内水分的迁移十分显著, 导致膨胀土

体强度产生变化。水分少时膨胀土收缩, 强度高; 水分多时特别是接近饱和时膨胀土膨胀, 强度很低。其次, 膨胀土边坡的上覆压力越大, 其膨胀性越大, 通常坡脚的膨胀性比坡顶要大得多。再次, 膨胀土由于其超固结性, 在边坡开挖过程中, 随着上覆土层重量的卸除, 引起土体结构松弛和应力释放, 使得开挖土体范围内产生膨胀变形, 局部松动, 随着开挖的不断进行, 上部的松动对下覆土层会产生牵引力, 这样一级一级的下去, 形成膨胀土边坡的渐进破坏。因而膨胀土路堑边坡的处理不是简单的坡比设计, 或常规的稳定验算就能解决的问题, 而是一个与工程地质密切相关的综合性技术问题。在防护方案的选择上, 需充分了解膨胀土的工程特性、工程地质条件、大气影响深度及土体的结构性能, 才能得出满意的防护方案。

2 公路膨胀土路堑边坡以往防护措施

路堑边坡防护措施大体可分为植物防护、工程防护、骨架加植物防护 3 大类。

2.1 坡脚挡护

一般设计挡土墙加固坡脚, 边坡较高或进行病害整治时, 有时设计成桩板墙或桩间挡土墙。对中

[收稿日期] 2004-01-02

[基金项目] 国家自然科学基金项目(10071045); 山西省交通厅科技项目(2001-08)

强膨胀土或边坡较高地段,多采用先加桩然后开挖边坡,以防止施工过程中形成滑坡,如南昆铁路永乐车站强膨胀土高边坡于加固桩施工完后再分层开挖边坡,桩前分层挂挡土板,效果较好。

2.2 边坡防护

主要防护措施有浆砌护坡及骨架内植草护坡。骨架护坡要求挖槽将骨架完全嵌入边坡,骨架内要及时植草,为保证草籽成活率,襄石铁路采用三维植被网中种草籽取得较好效果。南昆铁路那百段中强膨胀岩稳定坡率为 $1:4 \sim 1:6$,有的甚至刷至 $1:8$ 才稳定。全封闭护坡底部应设 $0.10 \sim 0.15$ m 厚砂垫层,并加密泄水孔,护坡顶部设 $1.5 \sim 2.0$ m 宽浆砌片石封闭,防止地表水渗入护坡背部。南昆铁路部分浆砌护坡未按以上要求施工导致护坡开裂、变形。当边坡较高时,骨架内植草护坡应带排水槽,并根据不同膨胀土类型及边坡坡度将骨架加深 $0.2 \sim 0.3$ m,骨架间距不宜太大。

2.3 支撑渗沟

边坡潮湿以及堑顶外为水田或水塘地段,设置支撑渗沟效果明显。从南昆铁路、广大铁路等既有边坡看,设置支撑渗沟地段边坡稳定性好,用其处理边坡塌滑也是成功的。支撑渗沟间距一般为 $6 \sim 10$ m,渗沟间设骨架内植草护坡或全封闭护坡。

另外还有土钉墙和加强堑顶排水等处理措施。

3 膨胀土路堑边坡防护新思路

由以往膨胀土路堑边坡处理方法和工程实践可以看出,植物防护主要就是种草、铺草皮或植树。但用植物防护不能有效防止雨水的入渗,更不能缓解膨胀土超固性在开挖过程中所造成的影响。工程防护不能处治膨胀土的大气影响深度,在大气影响的作用下,同样可以引起土体湿度的变化,导致坡内产生胀缩变形,若膨胀土是以水平胀缩为主的土体,则其所产生的巨大胀缩力将会把护坡顶裂,甚至整个坡面防护整体被毁坏。“土钉”加固膨胀土边坡是一种新技术,但它有局限性,只适用于干坡,且要注意排水,在降雨量大、温差大、干湿变化频繁的地区则不宜使用,其具体施工工艺有较大的难度,费用偏高。

根据以往膨胀土边坡防护成败的资料和经验,膨胀土边坡的防护,第一要保持边坡土体天然含水量状态的相对稳定,防止地面水与地下水渗入路堑

边坡。把膨胀土的大气影响深度及边坡内外的排水处理好了才能达到保持含水量稳定的要求。第二,要保持边坡土体结构的相对完整性,防止土体的风化作用。即在边坡开挖过程中,对膨胀土的超固性所带来的影响采取一定的防护措施。第三,要保持边坡土体足够的抗剪强度,防止土体强度的衰减。也就是说,膨胀土边坡的坡比设计要合理,尽可能防止水分在膨胀土边坡内产生显著地变化。第四,防护工程应能适应边坡膨胀土体可能产生的膨胀变形与膨胀力而不遭破坏。因而防护工程的设置要充分考虑以上因素,正确采用才是有效可行的。

根据高速公路膨胀土边坡的特点,首先使用化学溶液和膨胀土中化学元素充分反应,即试用 DAH 混合溶液改良膨胀土边坡的表层土,然后结合以往路堑边坡处理方法进行综合处理,应该说这种处理方法比原有方法更优一步。其主要方法是用 DAH 混合溶液喷洒开挖膨胀土边坡的表层土,由于 DAH 混合溶液能与膨胀土产生离子交换发生化学反应,使表层膨胀土体改变性能,成为正常土,具有较高地强度。同时 DAH 混合溶液的有效渗透深度在 60 cm 以上,在 1.5 m 左右范围内的土体都可以得到明显地改善。而且 DAH 混合溶液喷洒是从顶往下喷,随着溶液边喷边入渗土体往里往下流,使得边坡下部的改良范围要比上部的改良范围深。通过这样的处理,相当于使开挖的膨胀土边坡表层有一层上稍薄下较厚的好土封闭层,既可缓解膨胀土的超固结性对边坡开挖的影响,又可抵挡膨胀土所产生的水平胀缩变形,同时还充分利用了膨胀土,节约工程投资。经 DAH 喷洒改良后的坡面,除了起到上述作用外,还有一个作用就是有效处理了膨胀土的大气影响深度,提高了膨胀土边坡的稳定性。

其次,结合以往处理方法,在改良后的边坡表面挖槽浇注无砂大孔混凝土骨架,并在相应的骨架部位上砌砖形成格子式的排水沟槽,整体上就形成了膨胀土边坡的里外排水系统。首先无砂大孔混凝土骨架的孔隙较大,可达到 20% 以上,水和空气可以迅速透过,具有良好地排水性能,渗入到膨胀土边坡里的水及土体内的裂隙水可通过无砂大孔混凝土骨架得以排出坡体外。其次骨架上还砌有格子式的沟槽排水,使得表面水流对坡面冲刷被分成了一小格一小格,形成“格室”效应,每一骨架内的水流在该范围内通过相应的排水沟槽排走消散。

减少了坡面的整体冲刷,削弱了坡面的整体膨胀性,进一步提高了边坡的稳定性。

4 高速公路膨胀土路堑边坡防护设计

4.1 DAH混合液改良设计

首先对需处理的边坡用麻花钻钻取10个左右的原状土进行室内DAH混合溶液改良的室内试验,试验内容主要是DAH混合溶液掺配比例的确定,可通过掺配前后试样的物理性质试验、水理性质试验、力学性质试验及根据现场实际情况所增设的一些特殊试验,用土体的界限含水量、自由膨胀率、胀缩总率、饱水后的剪切强度得出DAH混合溶液的掺配比例,并以此作为施工控制。在现场施工中,DAH喷洒完毕后,需每隔一定深度取样进行室内试验,检验处治效果,达不到要求时须补喷,直到满足要求为止。

4.2 边坡内部排水系统设计

内部排水系统主要由无砂大孔混凝土折形骨架构成,骨架由土骨架和支骨架组成,土骨架的规格宽深为 $0.6\text{ m}\times 1.0\text{ m}$,支骨架的规格为 $0.4\text{ m}\times 0.6\text{ m}$,土骨架间距为 8 m ,支骨架上下间距为 3.5 m 。骨架的浇筑待坡面的改良达到设计要求后,按设计深挖槽,然后在槽内浇注无砂大孔混凝土。骨架表面与坡面持干,在浇筑骨架前,在骨架底用 5 cm 厚的石灰土捶面,然后用 2 cm 厚的水泥砂浆抹面,这样可以防止水分下渗。抹完面后就可在其上浇筑无砂大孔混凝土骨架。

4.3 边坡表面排水系统设计

表面排水系统的设计主要是减少膨胀土坡面受到雨水冲刷膨胀后使膨胀性削弱。做好无砂大孔骨架后,需在骨架的相应位置砌出高出骨架一定高度的红砖做为表面排水系统。在主骨架两边各砌一排红砖构成排水沟,在支骨架下边缘砌一排红砖作为拦水块。主骨架两边的红砖高出主骨架面 10 cm ,支骨架下边缘的红砖高出支骨架面 5 cm 。红砖下部埋入坡面土中,红砖规格为 $5\text{ cm}\times 23.5\text{ cm}\times 11.5\text{ cm}$ 。在雨水冲刷坡面时,使得每一骨架内的水流通过支骨架下边缘的拦截从而汇集到主骨架的排水沟里流走。在主骨架红砖与骨架所构成的排水沟槽中,砖的表面及沟槽内用M5砂浆抹面,抹面厚度为 2 cm ,砖与砖之间用M10砂浆勾缝。同样支骨架与作为拦水块的红砖表面及支骨

架表面也用M5砂浆抹面,厚度为 2 cm ,砖与砖之间用M10砂浆勾缝。

4.4 铺草皮设计

在膨胀土路堑边坡浇筑好骨架以后,先检测改良后坡面的pH值,待pH值在 $6\sim 9$ 左右就可以进行植草。植草的种类不能选用蒸发率较大的植物,应选用蒸发率较小的植物,这样可使膨胀土的大气影响区域保持相对的稳定。草皮应选择适于本地气候环境成活率高的品种。

5 膨胀土路堑边坡防护施工工艺

5.1 坡面准备

按设计或变更坡比修整好边坡,清除表面浮石、松土,当边坡有坑洼时应嵌补填平,使坡面平顺整齐;在边坡上由上至下用铁钎打出 $\Phi 25\text{ mm}$,深 $0.8\sim 1.0\text{ cm}$,间距 1 m 的梅花状小孔。当边坡高度 $>10\text{ m}$ 时,边坡要分级开挖并设置台阶。

5.2 喷洒DAH溶液

选择天气晴好时,将DAH混合液按设计比例掺配好后,搅拌均匀,用绿化喷播车结合水泵将混合溶液喷洒到修整好的边坡上,直到边坡不能吸收为止,这样为渗透喷洒一次,天气晴好时待一天后,再渗透喷一次,喷洒时应由上至下进行,坡顶以上 6 m 范围内也应喷洒,喷洒次数按试验确定。

5.3 无砂大孔骨架浇筑

骨架浇筑分为5个步骤进行:

(1)挖沟槽。由边坡顶至坡底按骨架设计位置、尺寸和形式放样开挖,开挖宽度为设计宽度,开挖深度至基底处治层深度。

(2)沟底处理。开挖后及时对沟底用石灰土捶面作为基底,以防水分沿沟底渗入边坡,捶面厚度为 5 cm ,石灰土中石灰含量应 $\leq 6\%$,施工中保证捶面与原坡面紧密结合。

(3)在石灰土捶面上做 2 cm 厚的水泥石灰砂浆抹面,3种材料的体积比为 $1:2:7$ 。

(4)浇筑无砂大孔骨架。沟底处理好后就可以浇筑无砂大孔混凝土骨架,浇筑由下至上进行,将按照设计配合比拌制好的混凝土均匀倒入开挖好的沟槽,不用砌筑,不用振捣,只须将其表面修整,大致与原坡面齐平即可。无砂大孔骨架 7 d 强度一般 $>3\text{ MPa}$,能达到 28 d 设计强度的 75% 。

(5)完成表面排水系统。骨架浇筑完 $2\sim 3\text{ d}$ 后,

在主骨架及支骨架内按设计砌筑红砖,作为排水沟槽及拦水块,主骨架两边的红砖应比主骨架面高出 10 cm,支骨架下边缘的红砖比支骨架面高出 5 cm,红砖下部埋入坡面土中。主骨架排水沟槽底部及两侧和砖面用 2 cm 厚 M5 砂浆抹面,砖与砖之间用 M10 砂浆勾缝,拦水块在骨架和红砖之间用 M5 抹面,厚度为 2 cm,作为防水层,砖与砖之间同样用 M10 砂浆勾缝,这样在骨架上就形成了坡面排水槽。

5.4 铺草皮

为了防止冲刷及美化环境,骨架之间框格内种植草皮。由于坡面喷洒过 DAH 改良溶液,改良后的表层土在初期呈碱性($\text{pH} \geq 12$)不能种草,因此只能在 1 个月以后进行。种植之前应测试土壤的 pH 值,当 pH 在 6.49 左右时种植草皮比较容易成活。铺设时,将坡面修整到符合尺寸要求,将表面 2 cm 的土翻松,将准备好的草皮由坡脚向上满铺于框格中,用长约 20 cm 的木钉或竹钉将草皮钉牢,以后每天浇水养护,直到草皮生根返青成活。

6 结论与建议

(1)以往膨胀土路堑边坡处理方法,只注重处理措施的选择,其主要思路是将膨胀土覆盖起来,不使其受水浸湿,从而不会产生膨胀或收缩,使路堑边坡不受损坏,从而保证路堑边坡的稳定性,是一种被动的处理措施。笔者从膨胀土的化学成分考虑入手,利用化学反应,配置一种新化学溶液 DAH 混合溶液,在路堑边坡上喷洒。其主要方法是用 DAH 混合溶液喷洒开挖膨胀土边坡的表层土,使表层膨胀土体改变性能,成为正常土,具有较高地强度。通过这样的处理,相当于使开挖的膨胀土边坡表层有一层上稍薄下较厚的好土封闭层,既可缓解膨胀土的超固结性对边坡开挖的影响,又可抵挡膨胀土所产生的水平胀缩变形,有效处理了膨胀土的大气影响深度,提高了膨胀土边坡的稳定性,同时还充分利用了膨胀土,节约工程投资。

(2)用新的处理膨胀土路堑边坡施工工艺也方便,DAH 混合溶液改良坡面时,只需按设计和要求在坡面上插出梅花状小孔,然后用喷枪进行喷洒即可。根据土质的实际情况喷 3~5 次即可。无砂大孔混凝土骨架施工时只需将混凝土拌和均匀,倒入开挖好的沟槽中即可,不用砌筑、不用振捣。骨架

施工完毕以后,在其上根据设计用砖砌排水沟槽,待骨架内改良土的 pH 值达到适宜时就铺植草皮,从而完成全部施工,既可防止雨水对坡面的表面冲刷,又有绿化美观、与周围环境相协调的作用。该方法与其他防护方案相比,具有施工简便、节约投资、充分利用膨胀土的特点,有着巨大的社会效益。

(3)本方法主要是进行室内 DAH 混合溶液改良的室内试验,试验内容主要是 DAH 混合溶液掺配比例的确定。DAH 喷洒完毕后,需每隔一定深度取样进行室内试验,检验处治效果,达不到要求时须补喷直到满足要求为止。

(4)建议在中-强膨胀土公路路堑边坡处理中用新方法,并设观测装置,与其他处理方法进行处理效果和经济效益比较,以便确定此方法处理效果和应用价值,继续加以改进。

7 工程实例

广西兴六高速公路沿线穿越大量的膨胀土地段,主要集中在五标段和六标段,该地段膨胀土自由膨胀率为 30%~80%,湿法重型标准压实度为 90%时的 CBR 试验的膨胀率为 3%~10%,同时各向异性明显,竖向收缩与横向收缩比为 0.77,极值为 0.34,竖向膨胀与横向膨胀比为 0.29,极值为 0.16,是一水平胀缩为主的膨胀土,这一范围内的挖方膨胀土路堑多为中偏强膨胀土。对于开挖路堑边坡,选择合理的防护方案,用合理的费用,既确保边坡稳定,又能使边坡景观与环境协调,同时不耽误施工工期,选择了笔者所提的方法处理路堑边坡。

根据兴六高速公路膨胀土边坡的特点,先是 DAH 混合溶液改良膨胀土边坡的表层土,然后在其上挖槽浇注无砂大孔混凝土骨架,骨架边坡再铺草皮,实践证明,是一种有效地膨胀土路堑边坡处理方法。

[参 考 文 献]

- [1] 廖世文. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984.
- [2] 肖世国. 膨胀力作用对膨胀土堑坡整体稳定性分析的影响[J]. 路基工程, 2001, (1): 1~3.
- [3] 孟黔灵. 膨胀土的裂隙性对边坡稳定性的研究[J]. 公路, 2001, (10): 137~140.
- [4] 陈雷. 膨胀土路基设计及施工综述[J]. 路基工程, 2001, (5): 35~37.

Discuss of cutting slope treatment project for expansive soil on highway

MAO Xin-hu

(*Shanxi Institute of Traffic Science, Taiyuan 030006, China; School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China*)

Abstract: The cutting slope of expansive soil is the construction formed by digging the soil when the highway goes across expansive soil. It changes natural condition, destroys natural physiognomy, and demolishes natural balanceable conditions of rock stress. The cutting slope of expansive soil exposes soil to a certain embedding depth to atmosphere, which directly takes action with weathering agency like rainfall, evaporation and temperature, and changes environmental and hydro-geological conditions within the slope soil. The paper, by countering the characteristic of highway engineering for the cutting slope to expansive soil, summarizes the past protective measures for cutting slope of expansive soil. In order to maintain the relative stability of natural moisture content of slope soil, keep the relative integrity of its structure, remain its enough shear strength and prevent swelling deformation and swelling force of expansive soil from being destroyed, the paper put forward a new method of using DAH mixed solution to improve the surface soil of expansive soil slope according to the past information and experience of dealing with the cutting slope of expansive soil. The chemical reaction will bring about between DAH mixed solution and the elements of expansive soil to produce ion exchange, so as to change the property of the surface expansive soil into normal soil. Besides, the paper makes full use of the past methods to cope with the cutting slope of expansive so that it can look for a better new method to deal with the cutting slope. In fact, the new method not only makes full use of expansive soil and economizes the engineering investment, but also afforest the slope and cause it to coordinate with the surroundings. In allusion to the characteristic of the cutting slope of expansive soil, the paper tries to put forward an economy as well as reasonable project for dealing with the cutting slope of expansive soil, and provides reference basis for building highway in the area of expansive soil.

Key words: swelling clay; cutting slope; big hole framework without sand; DHA mixing liquid

[英文审定: 苏生瑞]

(上接第 27 页)

Analysis of the influences of jadeite types on the refractivity and specific density

XIE Xing, WANG Chong-li, LIANG Ting

(*School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China*)

Abstract: The contents of jadeite's mineral composition and rock types will influence the refractivity and specific density of jadeite directly. On the basis of the study on the mineral composition and rock types of jadeite, the authors determine that the specific density and refractivity of jadeite ranges from 2.93 to 3.60 and from 1.593 to 1.750 respectively, the specific density and refractivity of jadeite with high quality ranges from 3.178 to 3.240 and from 1.644 to 1.657 respectively, and offers the objective basis for jadeite's quality appraisal through setting up several charts of the relation between jadeite's specific density refractivity and its mineral composition.

Key words: jadeite; rock types; refractivity; specific density

[英文审定: 杨家喜]