

粉喷桩与土工格栅联合加固及其工程应用

周丹, 赵和仲

(桐庐县交通工程勘察设计有限公司, 浙江 桐庐 311500)

摘要:桥坡段结构物处为防止结构物开裂、位移、基桩受剪破坏及控制工后沉降,采用粉喷桩与土工格栅联合加固软基。联合加固后,可约束地基侧向变形,减小路基挤出量及不均匀沉降,有效地减小了地表的总沉降量,对于预防桥头跳车有良好的效果。

关键词:桥头软基处理;粉喷桩;土工格栅;联合加固;不均匀沉降

中图分类号:U443.15 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)01-0051-04

Reinforcement of DJM Combined with Geogrid and the Engineering Application/ZHOU Dan, ZHAO He-zhong
(Tonglu County Traffic Engineering Survey and Designing Co., Ltd., Tonglu Zhejiang 311500, China)

Abstract: To prevent the bridgehead segment structure cracking, displacement, shear failure and the pile settlement after construction, DJM and geogrid joint reinforcement is used in soft ground reinforcement. It can bind the lateral deformation of the foundation; reduce the differential settlement of embankment and roadbed extrusion, effectively reduce the total settlement amount of the surface with good effect for preventing vehicle bouncing at bridge approach.

Key words: bridgehead soft foundation treatment; DJM(dry-jet-mixed); geogrid; joint reinforcement; differential settlement

0 引言

在软基上的桥台通常采用桩基础,故沉降很小,而与此相连接的填方路堤的沉降量很大,且要经历很长的固结时间,在桥台与填土路堤之间存在显著的差异沉降,这种差异沉降引起纵坡突变,就产生了“桥头跳车”现象。由于跳车对桥台、桥头路面及伸缩缝的冲击作用,使其破坏加速,尤其是对伸缩缝的破坏作用更为明显,大大降低了公路的经济效益和社会效益。为了解决桥头跳车,确保车辆行车舒适和安全,有必要采取一种经济、合理的地基加固方式,以确保工后沉降满足要求。桥头软基处理采用粉喷桩与土工格栅联合加固的方式,能够有效地减少和控制沉降量及工后沉降量,可减小差异沉降,较好的均化地基应力,减小路基挤出量,增强地基的稳定性,并能适应快速加载的要求,缩短建设周期,与其他软基处理方法相比,具有不可代替的优越性。粉喷桩作为一种竖向加固体系,对于提高加固区的承载力、减小地基的沉降变形,增强路基和结构物整体稳定性有明显效果。而土工格栅是一种水平向加固体系,它能将上覆荷载有效地分布到更宽的底层地基,对于防止地基的不均匀沉降有明显作用。将两种技术联合应用,可以相互补充,发挥各自的特

点,起到较好的加固效果。

1 粉喷桩、土工格栅特性及粉喷桩与土工格栅联合加固的优点

1.1 粉喷桩的优缺点

粉喷桩在软基中形成刚度较大的桩体,同时也使桩周土体的性质得到改善,桩体与桩间土体形成复合地基共同承担外荷载,由于桩体作用,地基土抗剪强度增加,承载力大大提高,工后沉降大大减少。粉喷桩加固对稳定路基,减少最大沉降量作用明显。

粉喷桩的缺点是地基的不均匀沉降,主要体现在:(1)在外荷载作用下桩体产生极小的弹性变形量,与桩间土的沉降量相差比较大,从而直接导致不均匀沉降;(2)在加固地基范围内,每根粉喷桩桩体强度和承载力具有差异时,在路堤填土荷载或结构物荷载作用下则产生不同的沉降量。

1.2 土工格栅的作用

(1)能增大压力扩散角,提高地基承载力,减少沉降。土工格栅是良好的受拉材料,能够承受由路堤填料传来的水平推力,即平衡了路堤内不平衡因素。

(2)地基表层土受到约束的反作用力。地基土

收稿日期:2010-06-02

作者简介:周丹(1980-),女(汉族),浙江桐庐人,桐庐县交通工程勘察设计有限公司助理工程师,公路与城市道路专业,从事交通工程勘察设计工作,浙江省桐庐县富春路543号,zhoudandan2864@sina.com。

受到路堤填料竖向荷载的作用,必定要产生侧向变形。在加筋路堤中,由于加筋体的存在,通过筋体与地基土之间的界面作用,地基土表层的侧向变形受到加筋体的约束,从而限制了地基表层的侧向变形。

(3)拱的作用。在加筋堤中,由于加筋体是良好的受拉材料,路堤在横断面上就像一根受弯的梁,加筋体在其中发挥着类似钢筋混凝土梁中钢筋的作用,这样就调整了地基的沉降变形,显著减小最大沉降量。

(4)土工格栅的缺点是竖向承载作用较小。

1.3 粉喷桩与土工格栅联合加固的优点

粉喷桩通过置换和挤密作用提高加固区的承载力,对于减小地基沉降变形有明显作用。土工格栅通过地基土与格栅界面的摩擦力的传递来改变土体中的应力分布,限制土体的侧向变形,使地基的稳定性提高,同时使其上部施加的荷载能均匀分布在地层中,从而提高地基承载力,减小地表沉降量。两种加固技术相联合,充分利用两种方法的优点,可以相互协调,共同发挥作用,有效地发挥桩与桩间土的相互作用,同时土工格栅又能很好地发挥调整作用,保证路堤的稳定性和变形均匀性,使加固作用更加合理有效。

2 粉喷桩与土工格栅联合加固效果比较

为了研究粉喷桩与土工格栅联合加固效果,根据宁波地区某工业园区某工程试验路段的测试资料,从以下几个方面与粉喷桩加固进行比较。

2.1 沉降量与沉降速率

表1为沉降与相应计算平均沉降速率成果统计。

表1 在填土高度达到界限高度(3.3 m)时的沉降与沉降速率统计表

加固方法	桩的沉降(中部)		土的沉降(中部)	
	沉降值	沉降速率	沉降值	沉降速率
	/mm	/(mm·d ⁻¹)	/mm	/(mm·d ⁻¹)
粉喷桩与土工格栅(K0+310)	119	0.65	126	0.70
粉喷桩(K0+345)	242	1.34	287	1.61

从表1可看出,在填土高度相同的情况下,经过加设土工格栅的沉降量和沉降速率基本是未加土工格栅的50%,说明土工格栅在软基处理中能支撑土体垂直变形,起减少地基沉降的作用。同时由于沉降速率的减小,相对可加大填土速率,减少工期,可见联合加固效果较好。

2.2 深层土的侧向位移

施工加载期,测量各土层侧向挤出量,用侧向位移速率控制施工加载速率,以保证施工期间地基稳定安全。深层土的侧向位移量的大小和土质情况有关,还与加载速率有关,加载速率快,侧向挤出量大,反之亦然。侧向变形主要在施工加载瞬间发生,随着加荷停止,侧向变形也很快趋于停止。因此深层土的侧向位移观测一般在工程施工期进行。表2为试验路段在临界荷载之前的侧向变形情况。

表2 试验路段在临界荷载之前的侧向变形情况

加固方法	测斜管	最大侧	发生侧向	加固区深	最大侧	$(\delta'/\delta_{\max})/\%$
		向位移深度/m	位移的最大深度/m	度处侧向位移 δ' /mm	向位移 δ_{\max} /mm	
粉喷桩与土工格栅(K0+310)	ZK3	6.0	17.0	10	61	16.4
	ZK4	6.0	19.2	14.4	64	22.5
粉喷桩(K0+345)	ZK5	6.0	18.1	14	124	11.3
	ZK6	6.0	18.6	23	109	21.1

从表2可看出,经过加设土工格栅的深层土的最大侧向位移比未加土工格栅要小很多,说明土工格栅限制土体的侧向变形,可见粉喷桩与土工格栅联合加固效果优于粉喷桩加固。

3 工程实例

3.1 工程概况

宁波地区某科技园创业大道工程某桥桥头两端软基处理。路基宽度为24 m,即3.5 m人行道+1.5 m绿化+3.5 m×4行车道+1.5 m绿化+3.5 m人行道。软基地段地貌上普遍属第四系滨海积和湖沼积平原,软土呈流塑状态,具有高压缩性,大孔隙化,高含水量,极低抗剪性,极低承载力及中等灵敏性的特性,孔隙比 $e=1.007\sim 1.875$,内摩擦角 $\varphi=0.6^\circ\sim 4.6^\circ$,压缩模量 $E_s=1.15\sim 4.9$ MPa,液性指数 $I_L=0.98\sim 2.113$,灵敏度 $S=3.6$ 左右,承载力 $\delta_0=40\sim 65$ kPa。一般地段软土层厚度有5~14 m不等,工程地质条件复杂,地基物理性质差。

针对软土地基上桥台可能发生诸如桥台开裂、位移、基桩受剪破坏等情况,为保证桥台与路堤相邻处差异和工后沉降不大于0.1 m,本项目设计根据地质资料计算,桥坡段采用长12 m、直径50 cm粉喷桩,采用湿喷法施工,布桩形式采用梅花桩,因考虑到需处理软基的面积较大,为了保证路堤的稳定性及满足其承载力要求,并考虑建设成本,桥头两端沿路线方向分为I、II两个处理区域,I区桩间距为1.5 m,II区桩间距为1.8 m。土工格栅下铺20 cm碎石层,上覆盖20 cm碎石层。土工格栅及级配碎

石侧向宽出搅拌桩 50 cm,并使土工格栅往路基内回折 2 m。土工格栅端部及搭接处用 U 型钉固定在

地面上,且搭接宽度为 20 cm。桥头地基加固方案参见图 1。

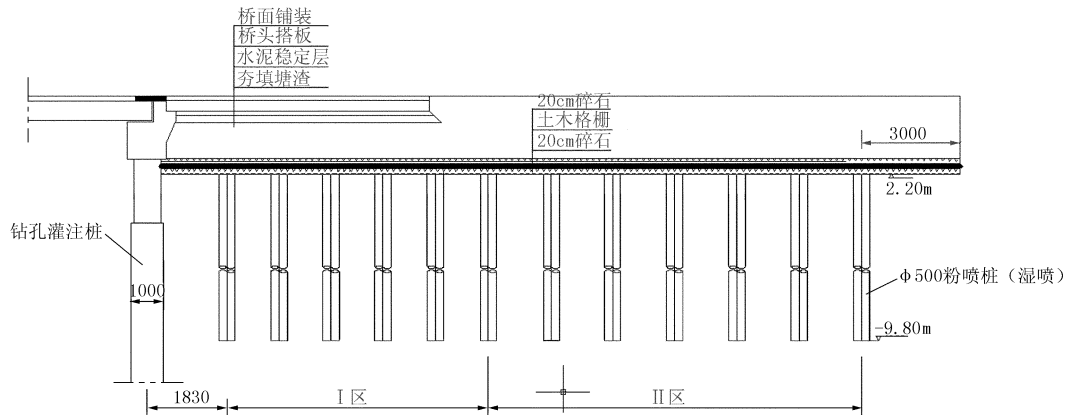


图1 桥头地基加固方案

3.2 粉喷桩(湿喷法)搅拌的施工工艺

3.2.1 设备要求

(1)粉喷桩(湿喷法)搅拌施工机械必须配置经国家计量部门确认的具有能瞬时检测并记录出浆量的断浆控制仪。

(2)搅拌头翼片的板数、宽度与搅拌轴的垂直夹角、搅拌头的回转数、提升速度应相互匹配,以确保加固深度范围内土体的任何一点均能经过 20 次以上的搅拌。

(3)送浆管路的长度不宜大于 60 m。

3.2.2 施工步骤

(1)平整场地,清除地上及地下障碍物;

(2)整套设备依实际地形安装就位,并调平;

(3)预搅下沉至设计加固深度;

(4)边喷浆、边搅拌提升至预定停浆面;

(5)重复搅拌下沉至设计加固深度;

(6)根据设计要求,喷浆或仅搅拌提升直至预定的停浆面;

(7)关闭搅拌机械。

3.2.3 注意事项

(1)每个作业点施工前必须先打不少于 5 根的工艺试验桩,以检验机具性能及施工工艺中的各项技术参数,其中包括最佳的灰浆稠度、工作压力、钻进和提升速度。

(2)按照试桩确定的配比制备水泥浆,并存放在集料斗中,水泥浆的水灰比宜为 0.45 ~ 0.55。

(3)搅拌头预搅下沉时电机的工作电流不得超过 60A。

(4)施工中应采用流量泵控制喷浆速度,注浆泵出口压力应保持在 0.4 ~ 0.6 MPa。

(5)设备就位后必须平整,确保施工过程中不发生倾斜和移动,机架和钻杆的垂直度偏差不大于 1.0%,施工中采用吊锤观测钻杆的垂直度,如发现偏差过大,必须及时调整。

(6)钻机桩位对中偏差不得大于 20 mm。

(7)制备好的水泥浆不得有离析现象,停置时间不得超过 2 h,若停置时间过长,不得使用。

(8)严格按照试桩确定的参数控制喷浆量和搅拌提升速度。为保证施工质量、提高工作效率、减小水泥浪费,应尽量连续施工。输浆阶段必须保证足够的输浆压力,连续供浆。供浆必须连续,应安装断浆检测装置以及时发现断浆情况。如因故短时间停浆,应将搅拌头下沉到停浆点 0.5 m 以下,待恢复供浆后再喷浆搅拌。如停浆 40 min 以上,必须对输浆管路全面清洗,防止水泥浆在管路中凝结影响施工。

(9)严格控制搅拌机的下沉和提升速度,提升和下沉速度不得超过 1.0 m/min,桩顶接近设计标高时,搅拌机自地面以下 1 m 喷浆搅拌提升出地面时,应采用慢速以保证桩头施工质量。当灰浆到达出口后应原位喷射搅拌 30 s。

(10)应定期检查搅拌叶片的直径大小,如因磨损使叶片直径小于设计桩径时应更换叶片。

3.3 质量检测

(1)在施工过程中,应随时核对每一根桩的成桩时间、提升速度、搅拌次数、加固料用量等是否符合设计和工艺要求,及早发现问题,对不合格桩应标注清楚,并立即提出补救措施。

(2)对龄期 1 天的桩进行桩身完整性质量检验,抽检数量不应少于总桩数的 5%。

(3)施工完成后的全面检查:桩身强度可抽查 2

根,每侧1根。全面检测时间可依工期要求而定,如果时间允许,可在桩全部达到30天的养护期后进行;若时间紧迫,可在最后一批桩成桩3~7天内进行。

3.4 填土过程及工后沉降分析

填土的过程也是一个调整应力分配的过程,填土结束后,桩与桩间土压力值很快调整稳定,说明桩与桩间土的荷载分配与荷载水平有关。桩体承担了大部分荷载,对加固区承载力的提高发挥了重要作用。桩体产生了水平位移及竖向沉降,由于桩体的挤土作用,路堤边坡及坡脚处地基土产生隆起,土工格栅在路堤受压过程中起到了类似抗拉膜的作用,以控制地基的不均匀沉降。

随着工后沉降值的增大,路堤中线和路肩处的沉降差值越来越大,由此引起格栅变形而产生拉力,分担了一部分荷载,从而使路堤中心荷载逐步向两侧传递,同时可以减少横向的不均匀沉降差。这说明了:(1)土工格栅可以使上部荷载传递得到有效的调整;(2)在填土过程中,土工格栅能够发挥截面摩擦作用,有利于路基的压实,从而提高了路基的抗变形、抗剪切能力。值得注意的是,当格栅埋设深度较浅、路基填土不密实或格栅锚固长度较短时,格栅界面作用发挥较差,因此施工中应严格控制锚固长度,确保边界填土的压实度。

经联合加固后,根据其他试验段一系列检测数据分析,此方法在加固区桩间土的压缩量占总沉降量的16%~40%之间,而下卧层占60%~84%之间;下卧层压缩量占据了总沉降量的主要部分,这充分说明了粉喷桩在加固区发挥了很好的加固作用,有效地减小了地表的总沉降量,达到了减小加固区沉降量的目的。也说明了采用联合加固法后能够充分地发挥粉喷桩的作用。另外由于土工格栅的协调作用,使桩土应力比达到了一个较高值,相比粉喷桩单独加固时有了一定的提高。这说明了粉喷桩和土工格栅联合加固法能够使粉喷桩更好地发挥其竖向承载作用。粉喷桩与土工格栅联合加固技术能够充分发挥其各自优点,最大限度地调整路堤的受力状态,使受力更为合理。

粉喷桩与土工格栅联合处理软基,可以减小差异沉降,较好的均化地基应力,减小路基挤出量,增强地基的稳定性。复合地基上加铺一层约20 cm +

20 cm厚的碎石垫层,可以提高复合地基承载力,从而避免不均匀沉降的发生。采用碎石垫层辅助加固,因垫层具有较高的强度及应力扩散能力,同时还可以减小地基的总沉降量,并加速下卧软土层的排水。对避免复合地基不均匀沉降是一种非常行之有效的方法。

经粉喷桩与土工格栅联合处理的桥头,通车后桥头无明显下沉或跳车现象,车过桥头平稳舒适,软基处理取得令人满意的效果。

4 结语

(1)经联合加固后的路堤,桩顶和桩间土沉降量大致相同,说明了土工格栅充分发挥了扩散和调整应力、协调桩土变形的作用,减小差异沉降,对路基稳定安全十分有利。

(2)联合加固后,加固区桩间土的压缩量大幅减小,下卧层压缩量占据了总沉降量的绝大部分,这充分说明了粉喷桩在加固区内发挥了良好的加固作用,达到了减小加固区沉降量的目的。

(3)土工格栅对调整荷载分配、提高路基抗变形、抗剪切能力发挥了重要作用。横向变形也得到了有效控制。联合加固法可以限制侧向位移,增加路堤的整体稳定性,便于快速施工。

(4)粉喷桩软基处理是属于隐蔽工程的一种,一旦完成就很难对粉喷桩进行修补或改造,因此要求施工人员必须有强烈的责任心。另外需要有一个健全的施工全过程质量控制原则,使其能良好地对施工人员进行指导和约束。

参考文献:

- [1] 刘春,赵洪波,白世伟.土工格栅在治理软土路基沉降问题中的研究[J].岩土力学,2003,12(6):1070-1073.
- [2] 杨为民,密荣山,李占强,等.水泥粉喷桩复合地基的工程特性[J].北京科技大学学报,2002,24(1):1-4.
- [3] 邱怪,钱国超,刘松玉.粉喷桩处理高速公路软土地基内附加应力及沉降计算分析[J].公路交通科技,2001,(2):56-59.
- [4] 蔡燕飞.粉喷桩在软土地基中的应用[J].广东土木与建筑,2001,(9).
- [5] 宋修广.水泥粉喷桩的理论研究与分析[D].江苏南京:河海大学,2000.
- [6] 郑刚,姜忻良.粉喷桩复合地基承载力研究[J].岩土力学,1999,20(3):16-19.