

成型软岩填料路堤强夯补强现场试验研究

李建望

(湖北建科建设工程有限公司, 湖北武汉 430000)

【摘要】 软岩的主要特点是粘土矿物成分含量高、强度低、性能不稳定、易风化、易软化、且易崩解, 路用性能较差, 在铁路、公路中的应用受限制。国内对软岩填料的工程性质认识不足, 其填筑的铁路或公路路基, 经多年运行后, 在交通循环荷载作用或自然条件侵蚀下产生严重的路基病害。试验研究运用强夯法对成型软岩路堤进行补强, 加强路堤填筑密度以改善其路用性, 检测证明其强夯效果显著。

【关键词】 强夯补强; 成型路堤; 软岩填料; 试验研究; 动力触探

【中图分类号】 U 416

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2011.05.007

The Dynamic Compaction Experimental Research Which Used on Molding Subgrade of Soft Rock Stuffing

Li Jianwang

(Hubei Jianke construction project Co., LTD, Wuhan 430000, Hubei, China)

【Abstract】 The main characteristic of soft rock is high element content, low strength, unstable feature, easy weathering and disintegration, poor adaption, which was limited on railway and highway. The stuffing's engineering character is not exactly understood, through the years' traffic circulation load or natural erosion, Serious disease will be caused by filling with stuffing's railway and highway road. This experimental research used dynamic compaction for molding subgrade reinforcing, strengthened the density of the filled stuffing to improve its adaption, as a result, the dynamic compaction's effect significantly after testing.

【Key words】 dynamic compaction; molding subgrade; soft rock filling; experimental research; dynamic penetration

0 引言

我国现行铁路设计规范将软岩填料划为 C 或 D 组填料, 一般认为软岩不宜直接用作填筑高标准铁路路基, 必须通过改良来加以控制其不利影响^[1-4]。为此, 对未经改良的成型软岩路堤必须通过加固措施来降低路基运行期间发生病害风险率。根据填料性质以及参照既有补强施工经验^[5-7], 本试验尝试运用强夯法来对成型软岩路堤进行补强加固, 主要探讨强夯补强法在成型软岩路堤中的适用性, 以及围绕该方法展开一系列验证试验研究, 较系统地提出了成型软岩路基加固方法与工程技术, 将对我国铁路建设具有重要意义。

1 试验工点概况及填料物理力学基本性质

试验工点位于新建向莆铁路江西境内抚州段,

为丘陵地区, 铁路通过区域方圆 80 km 范围内, 土石条件全部为千枚岩和泥岩, 暴露后风化迅速, 遇水即崩解, 通过对崩解后的土石成分分析, 岩石风化后为粉质土。向莆铁路为设计时速 200 km 客货共线铁路, 部分基床底层及以下采用全一弱风化软岩岩块填料, 路基填筑时尽管 K_{30} 、孔隙率、 E_{vd} 、密实度等检验指标均满足常规路基验标要求^[1], 但对于软岩填筑路基来说孔隙率偏大, 因而会使水较快渗入, 促使软岩岩块崩解、风化成细小颗粒, 最终被渗透水体带走, 路基体内填料结构会出现架空现象, 因而线路运营后产生沉降变形的可能较大, 给路基的安全、经济造成巨大影响和损失。为此, 经多方决定已采用风化软岩岩块填料填筑地段需进行强夯补强, 在此之前还需进行现场试验以研究其加固效果。

表 1 软岩路基强夯补强试验工点概况

试验工点里程	路基填料及组成	原设计基本概述
DK125+185~+235 段	基床以下路堤采用残坡积黏性土和千枚岩全风化层夹强风化岩块 C 组填料,基床底层采用千枚岩全风化层夹强风化岩块掺 5% 石灰改良	填高 7.0~7.4 m,路堤基床表层填筑厚 0.5 m 的级配碎石,下部换填 0.1 m 的中粗砂内夹铺一层两布一膜。边坡坡率 1:1.5,地基采用水泥砂浆桩加固。目前已经施工至基床底层,填层顶面标高为 94.475 m,填高 6.1~6.3 m
DK147+325~+375 段	基床表层以下路堤采用全一弱风化紫红色泥岩、泥质粉砂岩、粉细砂岩等 C 组填料填筑	路基填高 6.8~8.1 m,路堤基床表层填筑厚 0.5 m 的级配碎石,下部换填 0.1 m 的中粗砂内夹铺一层两布一膜,路堤边坡坡率 1:1.5。目前已经施工至基床底层顶面,填层顶面标高为 85.41~85.62 m,填高 5.72~7.22 m
DK178+120~+140 段	基床表层以下路堤采用全一弱风化青灰色钙泥质粉砂岩、砂砾岩等 C 组填料填筑	路堤填高 12.6~13.3 m,正线基床表层填筑厚 0.5 m 的级配碎石,下部换填 0.1 m 的中粗砂内夹铺一层两布一膜,路堤一级边坡坡率 1:1.5,二级边坡坡率 1:1.75。目前已经施工至基床以下路堤,填层顶面标高为 104.8~105.2 m,填高 4.8~5.1 m

针对不同类型软岩填筑材料,共分为 3 个不同试验工点,其基本概况见表 1。

填料主要为全一弱风化软岩岩块,填料最大粒径控制指标为 15 cm。风化软岩岩块的水理性见表 2,根据一般物理试验(干燥抗压强度、天然抗压强度、饱和抗压强度)结果:石英千枚岩(弱风化)分别为 66.6、15.9、10.8 MPa;泥质粉砂岩(弱风化)分别为 61.1、35.5、26.3 MPa;钙泥质粉砂岩(强风化)分别为 37.3、26.7、9.59 MP。风化软岩岩块的抗压强度低,即 $R < 30$ MPa,强风化岩块饱和抗压强度小于 10 MPa(强风化千枚岩甚至不能制样进行抗压试验),膨胀性不明显,按膨胀土分类属非膨胀土,遇水有少量崩解,风化程度越严重,崩解量越大。

表 2 风化软岩(泥岩、千枚岩)崩解性及膨胀性指标

岩性	耐崩解指数 (2次循环) /%	自由膨胀率 /%	蒙脱石 含量/%	阳离子 交换量 CEC (NH ₄ ⁺)/ (mmol·kg ⁻¹)
绢云千枚岩 (强风化)	89.4	0	2.97	78.85
石英千枚岩 (弱风化)	98.5	3	1.44	41.32
泥质粉砂岩 (弱风化)	98.3	22	6.72	145.63
钙泥质粉砂岩 (强风化)	94.6	20	6.86	143.42

2 试验方案及主要技术参数^[2]

1) 根据不同填筑材料强夯时的有效加固深度不

同,强夯夯锤重采用 15~25 t,单击夯击可根据现场确定。

2) 夯点的夯击次数,应按现场试夯得到的夯击次数和夯沉量关系曲线确定,且应同时满足下列条件:最后两击的平均夯沉量不大于 50 mm;夯坑周围地面不应发生过大的隆起;不因夯坑过深而发生起锤困难。

3) 夯击遍数可采用点夯 2~3 遍,最后再以低能量夯击满夯一遍,满夯时搭夯面积不少于 1/4 夯锤面积。

4) 夯点布置及夯距:点夯夯击点可按方形或梅花形布置;第一遍点夯的夯点间距要大,使得深层土得到加固,然后中间补插第二遍夯击点。夯点间距通常是 5 m 左右,具体夯距和夯点距离路堤边坡最近距离由试夯确定。

5) 强夯试验面积控制:强夯试验面积宜为 800~900 m²。

6) 沉降位移桩布置:沉降位移桩按断面布置,不少于 4 个断面,断面间距 10~15 m,桩布置在路基两侧:路基边坡、坡脚外 2 m 及坡脚外 10 m,每个断面共 6~8 个桩。

强夯法的许多设计参数还是经验性,影响因素又很复杂繁多,目前为止还不能做精确的理论计算和设计,设计时常采用工程类比法和经验法;因此,为验证实际参数符合预定目标,需在正式施工前做强夯试验即试夯,以校正各设计、施工参数,考核施工机具能力,为正式施工提供依据。

为验证强夯效果和强夯影响深度,强夯前后在强夯试验场地各布置 5 个钻孔进行取芯、孔内测试,

根据取芯和孔内测试结果进行对比分析;强夯后检测一般在强夯结束一周后进行。

3 强夯补强试验步骤及内容概要

1)夯前准备工作:强夯前应查明场地范围内地下构造物、管线和其他设施的位置及标高等参数,并采取必要措施加以妥善处理,以免强夯施工时造成损坏;当强夯施工所产生的振动会对临近建筑物或其他设施产生有影响时,应采取防震、隔振或其它必要措施;布设沉降位移观测桩;进行夯前钻孔取芯、孔内测试。

2)试夯:通过试夯确定夯击能、夯击遍数,并确定夯点中心距边坡最小距离,以满足最大程度地对路堤进行补强而又不使成型路堤产生溜坍、变形破坏。

3)强夯施工及变形观测。

4)进行夯后钻孔取芯、孔内测试。

5)强夯后路基密实度、强度检测:成型路堤经强夯后,其强度一般随着时间增长而逐步恢复和提高,不同土质填料主要因固结排水性能差异致使其强度恢复时间不同,对于碎石和砂土填料,强夯后可间隔一周左右方能进行质量检测^[8]。本次试验研究采用的风化软岩填料按《铁路路基设计规范》应归属于砾石—碎石土填料,其填筑路基内排水通道较一般细粒土好,受外荷载作用下固结时间也较短,因此强夯后的检测亦可在一周后进行。

4 强夯试验结果

通过试夯确定的强夯补强试验具体技术参数见表3。

对试夯结果分析可知,强夯施工技术参数不仅与路堤加固高度有关,还与填料性质有较大关系。DK125+185~+235段采用强度较低且高风化程度千枚岩填料,因其刚度较低,在外荷载作用下土体传递应力的扩散角较大,致使夯点距离边坡较远处亦能对边坡稳定性产生不利影响。例如DK178+120~+140段采用强度较高的青灰色钙泥质粉砂岩时单点夯击能可达到3000~3500 kN·m,而且夯点中心距边坡距离只有2.0 m,强夯时路堤边坡依然能保持稳定。在强夯过程中对路基边坡坡顶、坡中、坡脚外2 m及坡脚外10 m布设沉降位移桩进行观测。根据观测数据分析:DK125+185~+235试验段强夯机采用1500 kN·m的夯击能强夯补强时,夯点距离路基边缘宽度为3.25 m,对路基边坡具有较好的补强作用,水平位移观测平均值在

25 mm以内;DK147+325~+375试验段强夯机采用3000 kN·m的夯击能强夯补强时,夯点距离路基边缘宽度为2.75 m,边桩水平位移在57 mm以内;DK178+120~+140试验段强夯机采用3000~3500 kN·m的夯击能强夯补强时,夯点距离路基边缘宽度为2.0 m,位移观测平均值在30 mm以内。因此强夯后路基边坡位移较小,而且坡顶水平位移最大,至坡脚、坡脚外处逐渐减小,强夯对路基边坡稳定性影响不大。

表3 强夯补强试验具体试验技术参数

试验工点里程	单点夯击能/(kN·m)	夯击遍数	夯点布置及间距	夯点中心距边坡距离/m
DK125+185~+235段	1500	2遍点夯+1遍满夯		3.25
DK147+325~+375段	3000	2遍点夯+1遍满夯	梅花形布置,间距5 m	2.75
DK178+120~+140段	3000~3500	2遍点夯+1遍满夯		2.0

5 强夯效果评价

5.1 强夯夯点及夯后沉降对比

通过对现场强夯夯点的测量和强夯前后场地标高的测量和对比,强夯结果统计见表4。

从试验数据统计表中可以看出,强夯对成型路堤的平均夯沉量分别为21.1、30.5、24.3 cm,分别为路堤自身高度的3.38%、4.22%~5.33%、4.86%。强夯使成型路堤竖向压密,而侧向变形量很小,说明强夯对成型路堤补强效果较为明显。第一试验段内夯击能最小,路堤平均夯沉量也较小,可见夯击能越大对路堤夯沉量也越大。从强夯第一遍和第二遍效果来看,第一遍的夯实效果较第二遍好。从强夯单点累计夯沉量及单击夯沉量的差异变化来看,强夯对消除路基填筑压实质量不均匀性有较好效果。

根据现场强夯施工情况来看,强夯区路堤中部不同位置的平均夯沉量基本相近,而路堤两侧的平均夯沉量与路堤中部相差较大,说明路堤填筑过程中中部的填筑压实质量控制要好于路堤两侧。第一、二遍最大,最小单点夯沉量的夯点较分散,且与周围夯点夯沉量差较大的情况表明,路基填筑压实质量的不均匀性是局部、分散和无规律的。

表4 强夯夯点及夯后沉降统计表

试验工点里程	夯击遍数	最小单点累计夯沉量/cm	最大单点累计夯沉量/cm	平均夯沉量/cm	夯击次数
DK125+185 ~+235段	第一遍	24.30	48.50	35.83	5~6
	第二遍	26.50	43.00	36.45	5~6
	满夯后	10.20	38.50	21.10	
DK147+325 ~+375段	第一遍	46.50	91.00	68.29	5~9
	第二遍	32.00	80.50	54.32	5~9
	满夯后	26.30	33.00	30.50	
DK178+120 ~+140段	第一遍	38.00	97.50	64.50	6~9,个别10~11
	第二遍	39.00	83.00	53.21	7~9,个别10
	满夯后	21.90	28.40	24.30	

5.2 强夯前后钻探取芯、孔内测试效果评价

对强夯前后路基进行钻探取芯、孔内测试,其重型动力触探测试统计结果见表5(验证孔与原孔间距0.5 m)。

表5 不同深度重型动力触探击数平均值统计表

试验工点里程	动探测试阶段	0~3m 动探击数平均值	3~6m 动探击数平均值	全孔动探击数平均值
DK125+185 ~+235段	夯前	7.55	9.88	8.71
	夯后	9.19	11.92	10.55
	夯后—夯前	1.64	2.04	1.84
DK147+325 ~+375段	夯前	10.16	13.32	11.74
	夯后	12.32	13.57	12.94
	夯后—夯前	2.16	0.25	1.2
DK178+120 ~+140段	夯前	12.24	12.5	12.37
	夯后	15.47	14.52	14.99
	夯后—夯前	3.23	2.02	2.62

将强夯前后各试验区内钻探取芯、孔内测试进行对比(见图1)发现,采用千枚岩全风化夹强风化岩块填料填筑的成型路堤,强夯前填土密实度基本上只达到稍密,接近中密状态(动力触探的平均击数为6~10),而采用泥质粉砂岩、粉细砂岩全—弱风化岩块填料填筑段动探值大部分在10~15击,较千枚岩全风化层夹强风化岩块填料填筑高。

强夯前后孔内动探测试发现,强夯前路堤最大、最小动探值差异较大,且有小于5击的填层,通过强夯后动力触探检测发现,此类点位没有发现,说明强

夯使因填筑压实质量控制不到位、填料粒径较大、级配不良而处于松散状态层位得到有效密实。

结合图1可以看出,成型路堤经强夯后,其动力触探检测值整体得到提升,路堤密实度也整体加强。根据试验结果分析,针对不同填料选用上述夯击能经行强夯,其有效影响深度在5~6 m,而且表层3.0 m以内的强夯效果比3.0 m以下的强夯效果要好。

5.3 路基强夯补强后检测结果

路堤强夯补强施工后,需采用22 t振动压路机静压1遍、弱振2遍、强振5遍将表面整平密实,然后对该段路堤进行检测,其结果见表6。根据检测结果可知,强夯后路堤的压实度和孔隙率较理想,K值达90%以上,n值均小于27%,强夯后路堤密实度较一般碎石类填料填筑标准($n < 31%$)有较大提高,基体内孔隙率继续减小,路堤进一步得到密实,其密实度可较原来增加5%左右^[6-7]。但同时巨大的夯击能使路面表层受到强烈扰动,颗粒变细而软化,相关研究表明^[8],强夯后路基表面扰动松弛区为地表至地下0.5 m范围。致使路堤表面力学性能有所下降(对比填筑试验段,在相当密实度情况下)。为增进其力学性能,建议增加碾压遍数。

6 结论

1)经现场试验证明,强夯法对风化软岩岩块填料填筑的成型路堤进行补强是有效的(见图1),强夯施工可采用点夯两遍、满夯一遍,夯点间距为5 m,点夯时单击夯击能宜为1500~3500 kN·m。具体施工参数应根据填高、填料特性进行试夯确定。

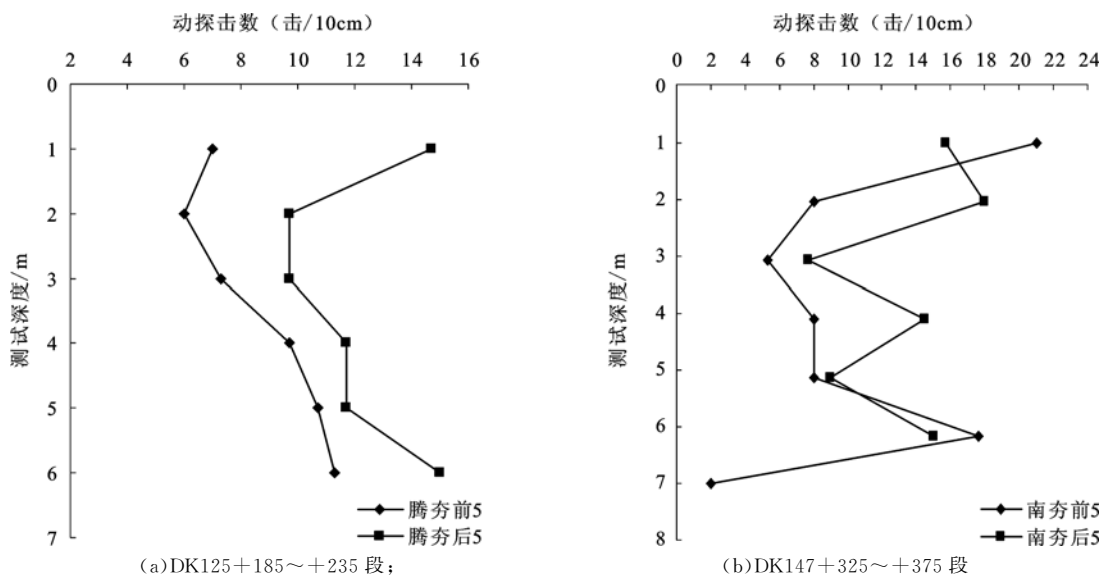


图1 强夯补强前后5#孔内重型动力触探击数与测试深度关系曲线

2) 试验数据统计分析表明,强夯对成型路堤平均夯沉量为路堤自身高度的3.38%~5.33%。强夯施工时产生的水平位移较小,而且坡顶水平位移最大,至坡脚、坡脚外处逐渐减小。强夯使成型路堤竖向压密,而侧向变形量很小,说明强夯对成型路堤补强效果明显。夯击能基本上全部被路堤本身填料所吸收,强夯施工不会引起边坡的溜坍和变形破坏。

表6 强夯后路基检测结果表

检测工点里程	点位	K/%	K_{30} /(MPa·m ⁻¹)	n/%	E_{vd} /MPa
DK178+120~+140段	+120左6m	90	142	27	45
	+120右6m	100	144	19	35
	+130左6m	91	147	26	33
	+130右6m	93	131	24	71
	+140左6m	106	125	14	29
	+140右6m	97	122	21	54
平均值		96	135	22	45

3) 通过强夯前后孔内动探测试发现,强夯前路堤最大、最小动探值差异较大,且有小于5击的填层,通过强夯后的动探检测,此类点位没有发现,表明强夯使因填筑压实质量控制不到位、填料粒径较大、级配不良而处于松散状态层位得到有效密实。

4) 成型路堤经强夯后,其动探检测值整体得到提升,路堤密实度也整体加强。根据试验结果分析,针对不同填料进行强夯,其有效影响深度在5~6m,而且表层3.0m以内比3.0m以下的强夯

效果要好。同时,在填筑高度为3~6m内,有加固体和邻近结构物地段,可适当降低夯击能。

5) 从强夯后路堤检测结果来看,路堤的压实度和孔隙率较理想,但同时巨大的夯击能使路面表层填料颗粒扰动、变细而软化,使得其力学性能有所下降。为增进其力学性能,建议增加碾压遍数。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 铁建设函[2005]285新建时速200公里客货总线铁路设计暂行规定[S]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 铁建设函[2005]285新建时速200公里客货总线铁路工程施工质量验收暂行标准[S]. 北京:中国铁道出版社,2004.
- [3] 魏永幸,等. 红层泥岩填筑时速200公里铁路高路堤实用性研究[J]. 成都:科技技术通讯,2005(1):1-8.
- [4] 魏永幸. 利用红层泥岩填筑高速铁路路基技术的试验研究[J]. 铁道工程学报,2009(12):39-43.
- [5] 方金创. 土石混填路基强夯加固的应用[J]. 珠江水运,2005(8):44-46.
- [6] 易代红. 强夯补强在高速公路填土路基中的应用[J]. 黑龙江交通科技,2010(9):16-17.
- [7] 康勇. 强夯再压实处治山区高填石路堤沉降的适用性探讨[J]. 中国西部科技,2010(6):52-54.
- [8] 左名麒,等. 地基处理实用技术[M]. 中国铁道出版社,2005.

收稿日期:2011-06-14