

文章编号: 0451-0712(2005)11-0090-04

中图分类号: U415.1

文献标识码: B

填石路堤压实控制方法研究

卢 达¹, 邓家喜²

(1. 广西交通科学研究所 南宁市 530001; 2. 广西大学 南宁市 530001)

摘 要: 通过分析填石路堤压实施工时的表面沉降量、压实能量与压实密度之间的关系, 建立起填石路堤沉降压缩率、压实度和相对密度标准之间的关系。现场采用沉降压缩率进行压实控制时, 确定的控制标准比压实度控制标准有所提高, 从而解决填石路堤现场压实度难以检测的问题。

关键词: 填石路堤; 压实; 压缩率; 压实度; 相对密度; 计算分析

1 填石路堤压实的重要性

质量好的填石路堤具有强度高、变形小的特点。在山区公路中, 填石路堤的比例很高, 有时还多于填土路堤。填石路堤由于其填料石块尺寸大, 均匀性差, 路堤不同部位的密度和物理力学性质差别很大; 在压实过程中, 填石料不断被压碎、重新排列, 对路堤体密度、强度和稳定性都有重要影响。研究表明, 在公路建设中, 压实工作约占施工项目费用的2%, 设备占工程造价的0.2%, 而密度度每提高1%, 基础承载能力就提高10%; 若是沥青混凝土路面密度度每提高1%, 承载能力和寿命可提高10%~15%。压实工作的重要性显而易见。

压实对填石路堤而言是至关重要的, 然而填石材料由于其不均匀性, 其压实的最大干密度却是模糊不清的。因为最大干密度也是一个相对值, 主要受石料级配控制, 同时与击实功大小有关。石料级配在较小尺度范围内是不确定的, 一般试样尺寸达到最大粒径的3倍以上才能代表平均性质; 填料压碎也影响填料级配, 从而影响最大干密度和现场密度。因此, 室内密度试验值虽然是确定的, 但是其现场密度检测却是非常难的, 最大干密度和现场密度概念不适用于填石料的压实评价, 如何评价压实效果就成了问题。

对于填石路堤压实质量控制, 现行的《公路路基施工技术规范》(JTJ 033-95) 仅规定“以通过12 t以上振动压路机进行压实试验, 当压实层顶面稳定, 不再下沉(无轮迹)时, 可判为密实状态”。由于规范对

填石路堤压实质量控制标准缺乏定量规定, 导致现场操作方法多样化, 目前还没有统一、科学、完善的检测指标与测试方法。现阶段, 对于填石路堤压实质量控制的检测方法主要为沉降差法、压实计法、路基模量法、面波仪法、核子密度仪法以及附加质量法等, 这些方法很大部分都是针对填石料的密度进行测定, 都有各自的特点。

本课题根据填石路堤的实际情况, 改进表面沉降量法压实控制技术, 提出了沉降压缩率法, 这个方法可避免求最大干密度和检测现场密度的困难。

2 表面沉降量与密度的关系

典型的压实沉降曲线如图1所示。

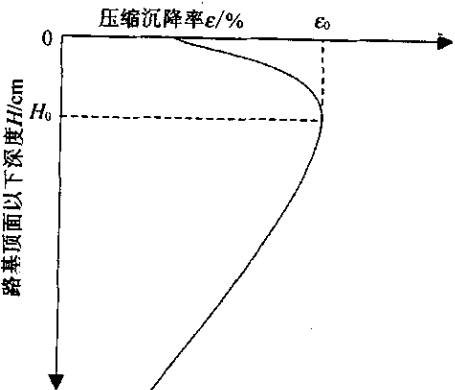


图1 压实沉降曲线

表面压缩沉降量为:

$$\Delta H = \int_0^H \epsilon dH$$

(1)

式中: ϵ 为分层压缩沉降率, %; H 为路基顶面以下深度, cm。

假设压缩率随深度变化规律为抛物线, 得出沉降规律后, 即可计算分层压缩沉降。

为了实际应用, 假设: 每一压实层内沉降是均匀的; 对其下已压实层的沉降可忽略不计。这 2 个假设对应应用是方便的。压缩沉降量是实际测定的, 用沉降量除以压实层初始松铺厚度表示压实层的平均压缩率, 对应用来说误差不大, 因此第一个假设是成立的; 每一压实层都要求压实到不再有明显沉降为止, 因此第二个假设也是成立的。

松铺密度为:

$$\rho_0 = \frac{M}{At}$$
 (2)

式中: M 为摊铺层的总质量; A 为摊铺层的面积; t 为摊铺层厚度。

碾压 n 遍后, 密度为:

$$\rho_n = \frac{M}{At_n} = \frac{M}{At(1 - \frac{\Delta H_n}{t})}$$
 (3)

式(2)已采用碾压层的总质量和面积不变的约定。由式(3)可得:

$$\rho_n = \frac{\rho_0}{1 - \epsilon_n}$$
 (4)

同理, 有:

$$\rho_{\max} = \frac{\rho_0}{1 - \epsilon_{\max}}$$
 (5)

式中: ϵ_{\max} 为最大压缩率, %。

用压实度的概念, 评价填石路堤的密实情况, 则压实度为:

$$K = \frac{\rho_n}{\rho_{\max}} \times 100\%$$
 (6)

式中: K 为压实度, %; ρ_{\max} 为最大干密度, g/cm³。根据式(6), 由沉降压缩率评价压实度的公式为:

$$K = \frac{1 - \epsilon_{\max}}{1 - \epsilon_x} \times 100\%$$
 (7)

3 按能量等效概念确定压实遍数

压实设备对压实效果有决定性影响, 振动轮的轴重和激振力越大, 压实效果越好。压路机的振动频率一般为 25 Hz, 振幅一般为 1.66 mm。直接采用一定工作质量和激振动力的振动压路机进行压实, 按能量等效概念确定压实遍数。标准重型击实试验的击实能量为 2.68 J/cm³, 现场压实能量按式(8)计算:

$$E = \frac{2AfNL(W + F/2)}{vLBh}$$
 (8)

式中: E 为振动碾的压实能量, J/cm³; A 为振幅, mm; W 为振动轮的轴重, kN; F 为激振力, kN; f 为振动频率, Hz; N 为振动碾压遍数; v 为振动碾压速度, cm/s; L 为振动轮接地长度, cm; B 为压实宽度, 可取为振动轮接地宽度 $B = \sqrt{D}$, cm; h 为压实层厚度, cm; D 为振动轮直径, cm。

压实能量除与压路机的参数有关之外, 还与碾压遍数、层厚、碾压速度有关, 压实能量不应低于重型击实标准击实功, 即 2.68 J/cm³, 相当于质量为 180 kN、激振力为 300 kN 的重型振动压路机碾压 8 遍的压实功。表 1 推荐的碾压遍数, 是在 A 为 1.66 mm、 v 为 5 km/h、层厚 h 为 50 cm 的条件下计算得到。在压实能量计算公式中 B 是估计值, 其余可查压路机的参数确定。

表 1 振动碾压遍数选用

激振力 kN	下列轴重(kN)下碾压遍数/遍					
	100	120	140	160	180	200
250	12	11	10	10	9	8
300	11	10	9	9	8	8
350	10	9	9	8	8	7

4 沉降压缩率的检测方法及其效果评价

4.1 沉降压缩率的检测方法

检测的方法和频率是: (1) 每 20 m 测 1 个断面, 每个断面测 4 处; (2) 每次摊铺 5 层的最后 1 层前, 按照检测频率要求布置网格测点, 以测点为中心, 在正交的 2 个轴上以 25 cm 的距离各选择 1 个辅助测点, 以 5 个点的标高平均值作为该处的标高; (3) 摊铺层每一层碾压后, 测定对应各测点的标高, 碾压到规定的振动压实遍数后, 测量对应各测点的最终标高。以松铺标高与原标高之差为松铺厚度, 以压实后标高与松铺标高之差为压实沉降量, 沉降率为沉降量与松铺厚度的百分比。

4.2 沉降压缩率评价标准的理论推算

填石料的密度只与级配和石料品种有关, 密度公式为:

$$\rho = (1 - n / \sqrt[8]{C_u}) G_s$$
 (9)

式中: ρ 为填石料的密度, g/cm³; n 为与压实有关的系数, 松散状态时, $n = 0.46$, 最紧密状态时, $n = 0.30$; C_u 为石料的不均匀系数; G_s 为视密度, g/cm³。用压实度的概念, 评价填石路堤的密实情况, 则

压实度为:

$$K = \frac{\rho_n}{\rho_{\max}} \times 100\% \quad (10)$$

式中: K 为压实度, %; ρ_{\max} 为最大干密度, g/cm^3 。

将式(9)代入式(10), 得:

$$K = \frac{1 - n \sqrt[8]{C_{u0}}}{1 - 0.30 / \sqrt[8]{C_{u\max}}} \times 100\% \quad (11)$$

式中: C_{u0} 为压实前的不均匀系数。

由相对密度的概念^[2]有:

$$D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\% \quad (12)$$

式中: D 为相对密度; e_{\max} 为最小密度实验时的孔隙比; e_{\min} 为最大密度实验时的孔隙比。

根据赤司等人^[2]对相对密度的研究有:

$$D = \frac{\frac{1}{\rho_{\min}} - \frac{1}{\rho}}{\frac{1}{\rho_{\min}} - \frac{1}{\rho_{\max}}} \times 100\% \quad (13)$$

式中: ρ 为试验的干密度; ρ_{\max} 为最大密度试验时的试验干密度; ρ_{\min} 为最小密度试验时的试验干密度。

根据式(11)、(13)建立压实度与相对密度的关系为:

$$K = \frac{1 - 0.46 / \sqrt[8]{C_{u0}}}{(1 - 0.30 / \sqrt[8]{C_{u\max}}) - (0.46 / \sqrt[8]{C_{u0}} - 0.30 / \sqrt[8]{C_{u\max}}) D} \quad (14)$$

由相对密度的概念和紧密状态时相对密度不小于 0.85 的要求, 可推出压实度的要求。若忽略不计压实前后不均匀系数的变化, 则不同级配石料压实达到相对密度大于 0.85 时^[2], 压实度要求见表 2。由表 2 可见, 在任何情况下要达到密实要求, 压实度要求都不小于 96%。对填石路堤, 下路堤的压实度要求宜不低于 96%, 上路堤及路床的压实度要求不低于 98%。

表 2 达到紧密状态时压实度要求

C_u	2	5	10	15	20	40
$K/\%$	96.3	96.9	97.3	97.5	97.6	97.9

5 采用沉降压缩率法的实例

在广西壮族自治区河池~南宁公路某标段进行了试验路段的铺筑, 试验段共填筑 6 层, 试验段采用了如下的施工工艺。

(1) 测量放线: 恢复路基中线, 测量标高, 根据设

计图纸以及现场的标高放出坡角线, 打出坡角线桩, 注明桩号, 标上填筑高度。

(2) 清表: 把试验段范围内的草皮、树根等不适合材料清除, 并运至弃土场, 并对基底进行翻松、整平、碾压, 压实度经检测符合要求后上料进行填筑(仅第一层)。

(3) 地面横坡大于 1:5 时, 用推土机推土质台阶, 台阶宽度为 1~2 m, 向内倾斜的坡率为 2%~4%, 并用压路机压实(仅第一层)。

(4) 设置排水系统: 用人工配合在路基两旁开挖排水沟(仅第一层)。

(5) 上料: 填料的最大粒径不超过 30 cm, 超粒径石料尽量在采石场使用放小炮的方法或液压炮机进行解小, 使石料符合要求。

(6) 卸料: 根据每车料的方量和拟定的松铺厚度(45 cm), 算出每车料的松铺面积, 打方格网, 在路基的两边撒白灰留出码砌的位置, 派专人指挥倒车。

(7) 整平: 采用 220 kW 的推土机进行整平, 根据路基上埋设的木桩控制填层的厚度不大于 45 cm。填料粒径大于 25 cm 的石料, 要摆放平稳, 用小石找平、石屑填塞, 最后压实。

(8) 碾压。

① 碾压前布好点, 记录好碾压前的标高。

② 碾压速度先慢后快, 振动由弱震到强震逐渐加强, 先碾压两边, 再碾压中间。压实路线纵向互相平行, 达到无漏压、无死角, 确保碾压均匀。

③ 碾压过程中继续进行填屑, 压实至顶面稳定、无下沉、石块咬合紧密、表面平整、无轮迹为止。

④ 每层碾压后, 人工撒上粉料, 用光轮压路机调平, 用水准仪测量标高, 记录数据。

(9) 试验设备。

试验采用的主要机械性能参数如下: 羊足碾(YZTY18, 最大振动力 40 t); 自重为 18 t、最大振动力为 50 t 的压路机和自重为 25 t、最大振动力为 60 t 的压路机; 220 kW 推土机。试验结果见表 3。

(10) 试验认为能满足填石路堤施工质量要求的机械组合情况及其碾压遍数见表 4。

(11) 压实效果的检测方法。

① 根据现行的《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95)“以通过 12 t 以上振动压路机进行压实试验, 当压实层顶面稳定, 不再下沉(无轮迹)时, 可判为密实状态”的规定, 采用 YZTY18 振压 2 遍后的沉降量见表 5。

表 3 压实试验结果汇总

层位	平均松铺厚度/cm	平均压实厚度/cm	平均松铺系数	测量点数	平均沉降量/cm	平均沉降率/%
第 1 层	44.8	40.3	1.11	3	4.5	10.04
第 2 层	44.2	39.8	1.11	28	4.4	9.95
第 3 层	43.8	40.0	1.11	28	3.8	8.68
第 4 层	45.0	40.4	1.1	28	4.6	10.22
第 5 层	44.8	40.4	1.1	28	4.4	9.82
第 6 层	44.4	40.2	1.1	28	4.2	9.46

表 4 机械的组合情况及其碾压遍数 遍

机械	羊足碾		18 t 压路机		25 t 压路机	
	静压	振压	静压	振压	静压	振压
第 1 层	1	3				3
第 2 层	1	4				2
第 3 层	1	6				
第 4 层	1	3		3		
第 5 层			1	7		
第 6 层					1	6

表 5 填层第二层沉降量 m

桩号	左	中	右
+250	0.004	0.003	0.001
+270	0.003	0.001	0.003
+280	−0.008	0.003	0.003
+290	0.003	0.003	0.004
+300	−0.004	−0.003	−0.004
+310	0.004	0.004	0.003
+335	−0.001	0.004	0.002

②采用沉降压缩率法评定路基压实度。
根据采用沉降压缩率法压实效果评定的要求,压实度应大于 96%,该层压实符合要求(表 6)。

表 6 填层第二层的压实度

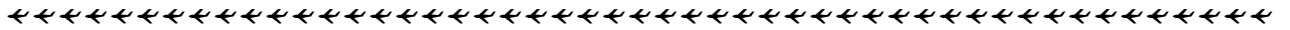
沉降压缩率/%			压实度/%		
左	中	右	左	中	右
9.49	10.27	9.80	97.23	98.07	97.56
10.67	9.50	10.34	98.51	97.24	98.15
10.09	9.58	9.30	97.88	97.32	97.03
9.58	10.47	10.51	97.32	98.29	98.34
8.86	9.93	8.89	96.56	97.70	96.59
9.82	9.34	10.67	97.58	97.07	98.51
10.09	9.61	10.02	97.88	97.36	97.80

6 结 语

填石现场的沉降压缩率一般在 4%~10% 之间,国外一些国家采用压缩率为 4%~6% 进行压实控制^[2]。由于填石料在摊铺时的初始密度就较高,压实度多数已达到 90% 以上,在填石路堤的最大干密度、压实密度难以确定的情况下,对密度的检测存在检测困难的问题,很多时候只是近似地观测到一些偏差大、统计上也没有什么意义的数据,在实际的施工作业中起不到控制压实质量的作用。根据相对密度的概念和紧密状态时相对密度不小于 0.85 的要求,我们在现场采用沉降压缩率的方法进行压实控制,确定的控制标准比压实度控制标准有所提高,具有可操作性,从而解决了填石路堤现场压实度难以检测的问题。

参考文献:

[1] JTJ 033—95,公路路基施工技术规范[S].
[2] 日本土工学会. 郭熙灵,文丹,译. 粗粒料的现场压实[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
[3] 梁军林,等. 广西河池(水任)至南宁高等级公路填石路堤修筑技术研究课题报告[R]. 2005.



南 京 长 江 三 桥 正 式 通 车

2005 年 10 月 7 日,全国第一、世界第三跨径的斜拉桥——南京长江三桥正式建成通车。
南京长江三桥是上海至成都国道主干线的重要组成部分,全长约 15.6 km。其中,跨江大桥长 4.744 km,主跨为 648 m 的钢箱斜拉桥,在同类型桥中居国内第一、世界第三,也是国内第一座钢塔斜拉桥和世界首座弧线型钢塔斜拉桥。南京三桥总投资 33.63 亿元,于 2003 年 8 月正式开工建设,历时 26 个月建成通车,比计划工期提前近 22 个月。在今年 9 月 28 日的交工验收中,获得主桥 98.118 分、全桥 97.45 分的国内同类型桥梁最高分,质量等级为优良。
南京长江三桥的建成,对完善全国干线公路网、构建南京都市圈交通大格局、促进东部地区与中西部地区的经济联系将起到重要作用,对推动南京市沿江开发战略的深入实施,推进南京城乡统筹发展,提升南京综合竞争力和辐射力等将起到重要作用。