

# 智能化路基施工分层碾压算法研究

桂岚, 王炜, 陈镇金

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 通过分析路基填筑压实工艺, 研发智能化的路基层位自动辨识算法, 提出采用距离加权平均方法拟合碾压层位的网格控制点位数据, 以满足施工要求的高程精度。实例运用结果表明, 按上述方法处理可满足路基压实遍数及碾压层位厚度要求, 能自动完成高程的平差处理运算且满足施工压实控制的精度要求。

**关键词:** 公路; 智能压实; 路基施工; 自动分层算法

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)01-0098-04

智能压实控制系统通过全球卫星定位(GPS)、无线数据通信(GPRS)、智能化计算机处理和数据分析技术的结合, 实现公路路基压实施工质量管理。路基碾压层位的智能化分层、碾压层位厚度控制、碾压层位碾压后的高程精度处理等是该系统的关键技术。该文开发新型智能化算法处理路基压实自动分层及碾压层位厚度, 同时根据控制网格区域方法对碾压完成的层位高程进行拟合分析, 得到数字地面模型, 并通过工程实测评定该系统的高程定位精度。

## 1 分层碾压施工的算法

公路路基压实施工现场呈带状, 按照里程桩号划分施工工区, 人工监控统计碾压层位, 依据振动压路机操作手的施工经验进行分层碾压, 易导致碾压层位历史数据统计误差和振动碾压机械匹配碾压施工层位错误, 使振动压实施工管理控制参数无法得到有效统一管理。因此, 需实现实时自动智能化完成碾压层位的辨识和分层及对应碾压层位施工机械的自动化辨识管理。

智能化路基施工监控系统采用 C/S(Client/Server, 客户端/服务器)模式进行处理, 碾压层位的自动分层处理及相关辨识处理主要通过服务端操作。根据公路路基压实施工工艺流程进行智能化自动分层辨识算法流程设计:

(1) 系统服务器接收来自客户端的路基结构层位规划设计信息, 按照该信息在即将施工碾压的结构层中自动生成不同碾压层位和对应碾压区域控制点位  $P_i$  (见图 1), 控制点位在每个碾压层的划分采用  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的网格, 启动碾压层位的自动划分处理流程。

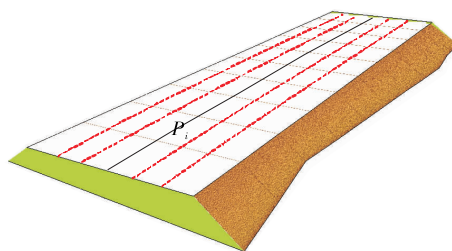


图 1 碾压区域网格控制点位划分

(2) 将振动压路机的当前定位数据  $R_i$  与上一个定位数据  $R_{i-1}$  进行连接处理, 生成振动压路机对应的碾压工作区域, 通过和该区域的控制点位  $P_i$  进行几何图形计算处理, 判定控制点位是否位于压路机的碾压区域, 计算在该碾压区域中振动压路机的高程值  $H_{R_i}$  与碾压控制点位高程值  $H_{P_i}$  的差值  $H$ , 并将此时振动压路机的定位高程  $H_{R_i}$  赋值给该碾压区域的控制点  $H_{P_i}$ 。

(3) 分析碾压区域中控制点位实际碾压遍数  $N_{P_i}$  和路基结构层位中控制点位的设计碾压遍数  $N_s$ ,  $N_{P_i} \geq N_s$  时进行后续算法流程, 否则对该控制点位碾压遍数进行  $N_{P_i} + 1$  处理。

(4) 分析比较处理差值  $H$ 、碾压层设计厚度  $H_r$ 、振动压路机所在碾压层位编号  $R_i^{\text{ID}}$  与碾压区域中控制点位在路基结构层中的碾压层位编号  $P_i^{\text{ID}}$ , 如果  $H > H_r$  且  $P_i^{\text{ID}} > R_i^{\text{ID}}$ , 则振动压路机从路基结构层另外一个碾压层位开始碾压, 同时自动更新振动压路机对应的碾压层位编号  $R_i^{\text{ID}}$  和碾压区域中的控制点位所属层位编号  $P_i^{\text{ID}}$ , 记录此时碾压层位控制点的高程值  $H_{P_i}$  及对应的压路机位置信息, 并向客户端发出指令。

(5) 在步骤 4 的基础上分析验证振动压路机所

属碾压层位编号  $R_i^{\text{D}}$  是否开始碾压施工处理,如果没有,则对其进行下一层碾压施工处理,同时向客户端发出指令。

(6) 当振动压路机开始路基结构层中另外一个碾压层的压实施工时,检查本次碾压层位中是否依旧存在归属于本层碾压施工的振动压路机编号,如

果不存在,则结束本层的振动碾压,并记录此时碾压层位的控制点高程值  $H_{P_i}$  及对应的压路机位置定位信息,同时对客户端发出通知。

(7) 数据库服务器收到来自客户端的路基结构层位压实监控结束的命令后,结束整个自动分层处理操作(见图 2)。

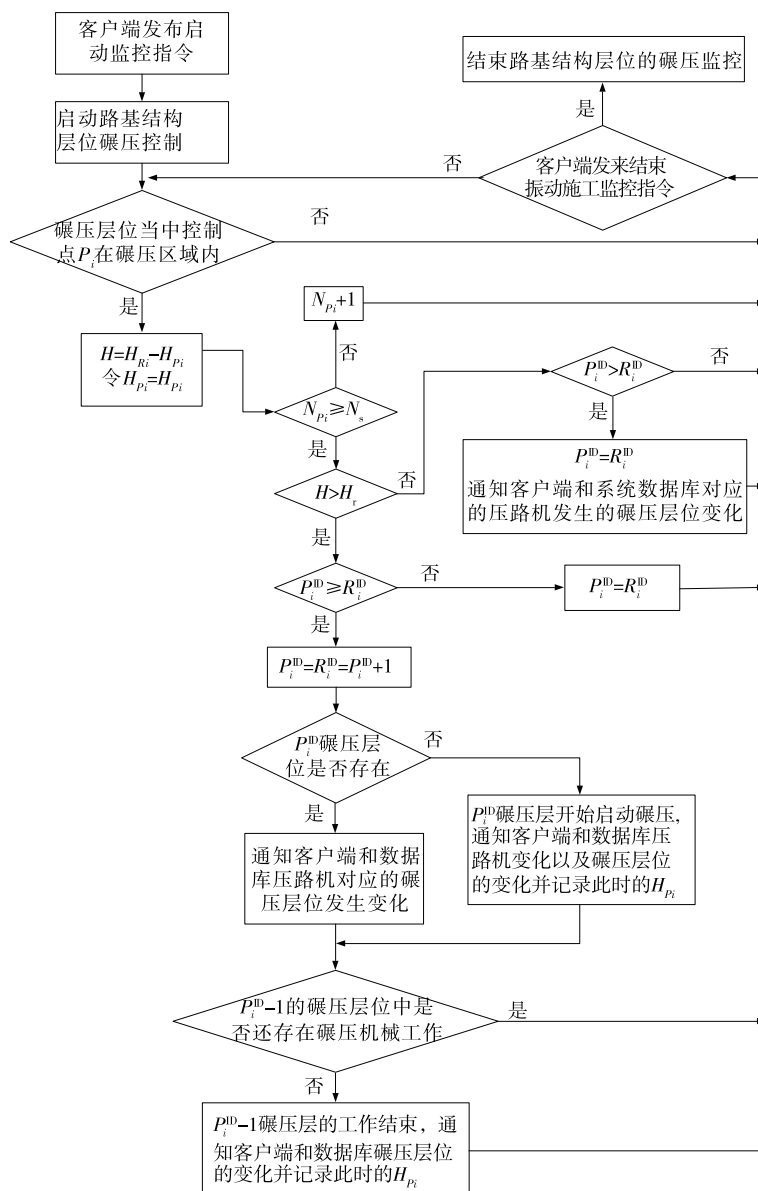


图 2 公路路基压实自动分层流程设计

## 2 碾压层位的高程精度控制

路基碾压层厚评定分为施工碾压过程中实时碾压厚度计算和层位碾压施工完成后压实厚度计算两部分,前一部分已在第 1 节作了说明,下面介绍振动压实层位完成后压实厚度计算、相应高程数据精度

处理及改正处理措施。

### 2.1 碾压层位控制点位高程取值

根据数据库服务器对碾压层位压路机碾压定位信息和碾压层位时间序列信息测定每个网格控制点位最后一遍碾压后高程值,采用距离加权值平均处理方法得到网格控制点位碾压后高程值。在路基碾

压区域中,任意点位的高程值都会受到周围点位的高程影响,但高程影响大小和点位之间的距离呈现负相关关系,求网格控制点位高程值时可将网格控制点位作为圆心,取一定范围的半径画出圆形区域,并搜索在圆形区域中碾压层位振动压路机的位置数据信息,从而反算出相应网格点高程。碾压层位施工完成后的高程精度修正算法如下:

(1) 如图3所示,在碾压层中网格控制点  $P_i$  坐标为  $(x_0, y_0)$ ,以此为圆心进行圆形区域辨识,该范围压路机点位  $R_i$  的坐标为  $(x_i, y_i)$ ,得到压路机点位到控制点位的距离为:

$$D_i = [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]^{\frac{1}{2}}$$

控制网格点位对应高程为:

$$H_o = \frac{\sum (H_i / D_i)}{\sum (1 / D_i)}$$

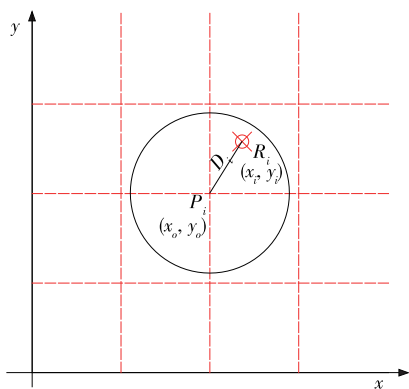


图3 碾压区域网格控制点位高程计算

(2) 为保证路基压实高程数据满足施工质量要求,对碾压结束后区域控制网格点位  $P_i$  的高程数据进行验证计算。网格控制点位实际碾压后高程与设计高程的差值  $H > H_r$ ,表示该控制点位碾压后高程值符合要求,没有超过下一层的标高;若  $H \leq H_r$ ,则说明该网格控制点位存在高程误差,需进一步处理。

(3) 控制网格点位  $P_i$  的高程差  $H$  超过范围时,将点位  $P_i$  参考步骤1中的距离加权值平均方法进行处理,增大区域圆形的半径,以包含到周围其他高程位置正确的控制点位(见图4),通过搜索该范围内控制网格点位高程数据,计算得到  $P_i$  改正后的正确高程位置信息。

## 2.2 碾压层位厚度计算

通过数据库中存储的碾压层位中各控制点位  $P_i$  的定位信息及对应时间序列,可得出不同路基结

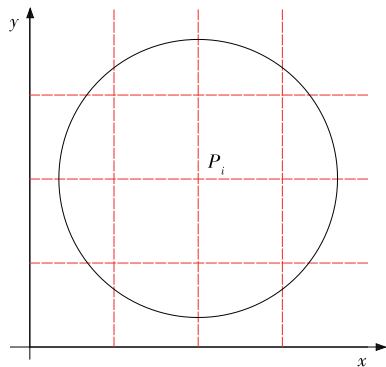


图4 网格控制点位高程计算处理

构层位中碾压层的最终压实高程,记为  $H_{(m,n,k)}$ 。其中: $(m,n)$ 为同一个碾压层位中平面化矩阵序列情况,可对该层位的网格控制点位进行平面定位处理; $k$ 为路基相同结构层中不同碾压层位顺序,用于确定碾压层位的上下层位。在相同路基结构层位中,根据 $(m,n)$ 可找到历史碾压层位中压实高程  $H_{(m,n,k-1)}$ ,如果  $H_{(m,n,k-1)}$  不存在,则说明该层位不需要计算施工压实厚度。碾压层厚度  $\Delta H$  的计算公式为:

$$\Delta H = H_{(m,n,k)} - H_{(m,n,k-1)}$$

## 3 工程实际应用

湖南省某高速公路路基工程第一标段全长9.36 km。针对不利天气,路基工程中采取以下处理措施:做好施工点的防雨防浸,确保雨水不会对基坑和桩基产生太大影响;积极做好施工机械、材料储备和人员调度,在确保工程质量的前提下按照进度计划正常施工。根据试验路段的施工经验,要求路基压实次数在6遍以上,同时要求碾压层的压实定位数据位于路基施工压实碾压区域中,不出现定位数据点位漂移的情况。

### 3.1 分层碾压施工算法的验证

运用智能化路基施工监控系统对该标段路基压实施工过程进行监控,得到图5所示自动分层效果图,其中下路堤的施工监控自动划分为3个层位,系统显示最后碾压层位的压实遍数效果。部分控制点位数据见表1。

由表1可知:碾压次数满足施工压实控制次数6遍的要求,碾压层厚满足大于30 cm、小于最大碾压层位厚度35 cm的要求,说明上述分层碾压算法满足自动压实分层运行条件。

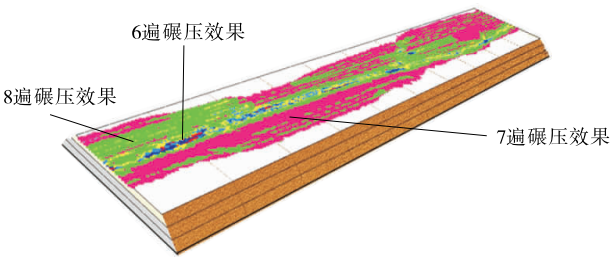


图 5 碾压施工自动分层效果

表 1 碾压施工自动分层部分控制点位统计

桩号	位置	所属层位	压实遍数/遍	碾压层位厚度/cm
K0+720	左侧	1	7	31.2
		2	6	32.4
		3	7	33.5
	右侧	1	6	35.6
		2	6	33.7
		3	8	31.2
K0+740	左侧	1	6	33.4
		2	7	30.5
		3	7	33.7
	右侧	1	6	31.9
		2	8	31.8
		3	7	32.8
K0+760	左侧	1	6	34.6
		2	7	32.3
		3	7	30.9
	右侧	1	6	31.4
		2	6	33.8
		3	6	35.7
K0+780	左侧	1	7	34.1
		2	8	32.5
		3	7	33.9
	右侧	1	7	32.5
		2	6	31.2
		3	7	32.6
K0+800	左侧	1	8	32.4
		2	7	33.6
		3	7	32.8
	右侧	1	8	31.9
		2	6	33.0
		3	7	31.2

3.2 碾压层位高程精度

根据上述测试数据,对路基结构层位中具体碾

压层位进行高程数据分析验证。提取数据库中振动压路机在第 3 层碾压层位的最终压实数据,采用全站仪标记第 3 层碾压层位碾压区域中桩附近左侧和右侧控制点位所在平面位置,利用水准仪读取平面控制网格点位碾压完成后的高程精度信息。将人工读取得到的区域控制网格点位高程和数据库中高差改正后的高程进行对比,结果见表 2。

表 2 部分网格控制点位高程对比

桩号	位置	网格控制点位高程/m	实测网格点位高程/m	相对差值/cm
K0+720	左侧	108.33	108.58	-2.5
	右侧	108.15	108.46	-3.1
K0+740	左侧	108.63	108.35	2.8
	右侧	108.56	108.41	1.5
K0+760	左侧	108.35	108.18	1.7
	右侧	108.01	108.22	-2.1
K0+780	左侧	108.25	108.09	1.6
	右侧	108.13	107.96	1.7
K0+800	左侧	108.19	107.87	3.2
	右侧	108.11	107.83	2.8

由表 2 可知:网格控制点位实测高程与系统数据中距离平差处理后的数字网格高程之间的相对误差为±3.5 cm,满足公路路基施工高程控制精度要求,说明上述高程精度处理算法可满足工程实测项目的需求。

4 结语

利用智能化路基施工监控系统,运用文中算法可获得路基碾压施工精确化层位划分结果,且满足施工压实碾压遍数控制参数条件,高程定位精度满足施工高程差±5 cm 的要求。需注意的是,运用该系统进行压实监控时,要对移动站的 GPS 天线位置进行空间定位标定处理,以减少人为误差。

参考文献:

[1] 张昱.基于 GIS 的机群智能化施工监控系统的研究与实现[D].长沙:长沙理工大学,2005.  
[2] 刘建粉,张睿哲,吕海莲.基于智能客户端的 ERP 系统设计[J].河南科学,2008(5).  
[3] 钟桂良.碾压混凝土坝仓面施工质量实时监控理论与

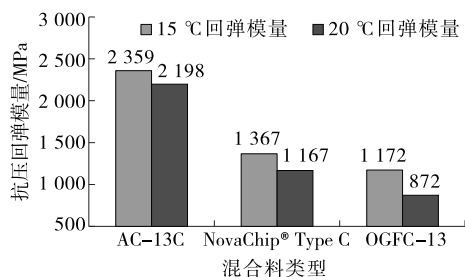


图 10 3种沥青混合料抗压回弹模量对比

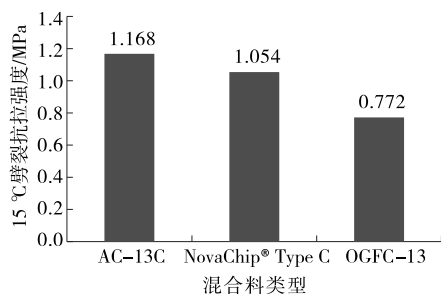


图 11 3种沥青混合料劈裂抗拉强度对比

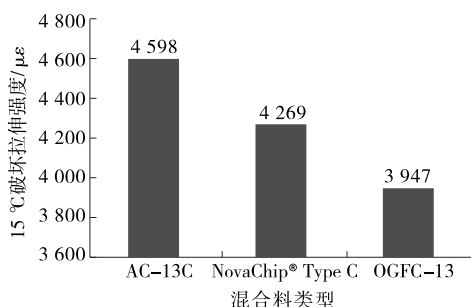


图 12 3种沥青混合料劈裂破坏拉伸应变对比

—13C型沥青混合料的最高,沥青混合料类型对路面结构抗压强度及抗压回弹模量的影响较大。

由图 11、图 12 可知:AC—13C 型沥青混合料的劈裂抗拉强度最优,是 OGFC—13 型沥青混合料的 1.35 倍;AC—13C 型沥青混合料的破坏拉伸应变最大,OGFC—13 型混合料的最小;3 种沥青混合料都表现出较高的韧性。

### 3 结论

(1) 密级配 AC—13C、开级配 OGFC—13、半开级配 NovaChip® Type C 3 种沥青混合料的动稳定度都满足相关规范的要求,都具有较高的高温稳

定性能;沥青混合料的空隙率对其水稳定性有明显的影响,随着空隙率的增大,其抗水损能力降低。

(2) 密级配 AC—13C、开级配 OGFC—13、半开级配 NovaChip® Type C 3 种沥青混合料的低温抗裂性能都满足相关规范的要求,高粘度改性沥青及改性 Novabinder™ 能改善大空隙沥青砼的低温开裂性能。

(3) 密级配 AC—13C、开级配 OGFC—13、半开级配 NovaChip® Type C 3 种沥青混合料的摆值都满足相关规范的要求,且三者之间相差较小,其中 NovaChip® Type C、开级配 OGFC—13 沥青混合料具有很好的排水性能,比较适合降雨较多的地区;3 种混合料的抗压强度和回弹模量都随着温度的增高而减小;AC—13C 型沥青混合料的破坏拉伸应变最大,OGFC—13 型沥青混合料的最小,3 种沥青混合料都表现出较高的韧性。

### 参考文献:

- [1] 姚飞.高速公路沥青路面的预防性养护技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2010.
- [2] 陆键,张国强,项乔君,等.高等级公路综合养护评价与预测技术[M].北京:科学出版社,2010.
- [3] 吕胜.温拌橡胶沥青 OGFC 混合料路用性能研究[D].大连:大连海事大学,2014.
- [4] 何锐,武书华,管勤,等.沥青路面层间粘结性能影响因素试验研究[J].中外公路,2015,35(2).
- [5] 杨彦海,沈阳,高镜雄,等.空隙率、路面构造深度对超薄磨耗层粘层油洒布量的影响[J].中外公路,2014,34(2).
- [6] 孙强,明璐飞,王光男.沥青路面层间粘结性能试验研究[J].石油沥青,2015,29(3).
- [7] 李亚明.超薄磨耗层的研究与应用[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [8] 杨易,陈华鑫,宋莉芳,等.超薄磨耗层层间粘结效果影响因素研究[J].广西大学学报:自然科学版,2015,40(1).
- [9] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].

收稿日期:2017—05—02

(上接第 101 页)

应用[D].天津:天津大学,2012.

[4] 左军军.建筑在雨季施工的问题和技术措施初探[J].建

材与装饰,2015(49).

收稿日期:2017—09—17