

基于 EON, 3ds max 和 AutoCAD 的土方工程施工仿真

来炳恒¹, 李昌华¹, 侯筱婷²

(1. 西安建筑科技大学信息与工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 针对土方工程的施工具有工期长、劳动繁重和施工条件复杂等特点, 以及土方工程的不可验证性, 采用虚拟现实技术对其施工过程进行模拟。以某水电工程为例, 地形模型采用 AutoCAD 和 3ds max 相结合的方式构建, 设备模型在 3ds max 中采用实体模型构建。在运输场景部分, 将 3ds max 中建立的关键帧连同模型一起导入 EON 并在 EON 中设置 animation 节点的参数; 在挖土场景, 采用多个 place 节点的方法来实现对挖土机的挖土操作控制; 在场景交互部分, 采用 EON 自带的鼠标节点 (ClickSensor) 和键盘节点 (KeyboardSensor) 实现场景和用户的交互。研究表明, 通过优秀的虚拟现实软件 EON 将虚拟现实技术应用在土方工程的施工模拟阶段, 发现工程中可能出现的质量问题和安全隐患, 通过模拟能够更加完善土方工程的施工。经验证, 土方工程的虚拟施工能够对真实的土方工程具有一定的指导和借鉴价值。

关键词: 虚拟现实; Eon Studio; 3ds max; 土方工程

中图分类号: TU726; TP391.9; TV53⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)02-0302-05

工业和民用建筑的施工, 首先都要进行土方工程, 而土方工程的施工具有工期长、劳动繁重和施工条件复杂等特点, 其施工的难易程度, 直接受地形、地质、水文、施工季节及施工场地周围环境等因素的影响。

国外关于虚拟施工技术的研究是一个热点问题^[1-2], Glasgow Strathclyde 大学信息科学和土木工程系研究了交互协同方式的施工过程可视计划; 美国 Albert 大学的 Simaan Abourizk 等人开发了施工综合管理系统 Symphony, 用于对土木工程施工的组织和管理; Dundee 大学研究的 Naives 项目希望允许设计者在结构中漫游, 观察某种作用的表现, 并模拟这种作用的执行, 同时在这个过程中连续地提示正在观察的信息; 美国国家标准和技术学会建筑防火研究实验室(BFRL)的 Vineet R. Kamat 和 Julio C. Martinez, 应用离散事件仿真(Discrete-Event Simulation)方法, 对挖土机、塔式起重机和行进式起重机等施工机械进行了三维动态可视化仿真; Prasant V. Rekapalli 和 Julio C. Martinez 应用 VITASCOPE++ 三维动画系统对土方工程的仿真系统进行验证; Robert A. Rodgers^[3] 的利用 4d-CAD 实现 J space 时间表模拟器。

国内关于此方面的研究很少, 也少有较成熟的软件系统。张希黔和石毅上海正大广场钢结构吊装施工方案虚拟仿真系统开创了国内虚拟施工的先河, 国内大多数的研究都是水利系统的, 具体的研究如下: 钟登华^[4]等人关于水电站系统的仿真施工研究; 李国成、王靖涛^[5-6]关于对复杂结构施工的虚拟现实研究, 包含了在虚拟的环境中如何实现复杂建筑施工的仿真试验, 获取优化的施工方案及对施工人员进行培训; 这些大多都是关于某一项工程的研究, 没有适合的关于土方开挖和运输调度的虚拟现实仿真系统的研究, 并且采用的软件多为自己开发的, 因此, 本文将使用通用的虚拟现实软件 Eon Studio 来开展土方开挖和设备调度的研究工作。

如何提高施工效率, 使施工过程更加有条不紊地进行, 这是土方工程施工中需要解决的问题。下文将从四个方面对虚拟土方工程运输施工系统进行详细的介绍, 即模型的构建(地形和设备模型)、动画的制作(3ds max 中的关键帧技术)、模型的导入(菜单导入和采用专用 EON 插件 Eon Raptor)、土方工程施工。

1 模型的构建

1.1 地形模型的构造

生成地形的方法是用 AutoCAD 等高线在 3ds max 中生成地形, 具体步骤如下:

1) 将 DWG 格式的地形文件打开, 把多余的图层删掉, 只剩下等值线, 将这些等值线按高程重新分图层, 保存; 2) 在 3ds max 中 Import (导入) 保存好的 DWG 文件; 3) 由于导入的 DWG 文件是平面的, 这时要按图层名选择不同高程的等值线, Z 方向移动到预定高程; 4) 选择所有等值线, 选 compound objects 里的 terrain 按钮, 即可得到三维地形。将三维地形转换为四边形, 保存为 3ds 格式。

收稿日期: 2013-08-06

修改稿日期: 2014-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(50878176) 西安建筑科技大学青年基金项目(QN1123)

作者简介: 来炳恒(1982-), 女, 博士研究生, 工程师, 主要从事虚拟施工技术的研究。E-mail: 25041903@qq.com

1.2 设备模型的构建

3ds max8 是优秀的三维建模软件,在 3ds max8 中采用实体模型的构造方法分别建立挖掘机和汽车的模型,并保存为 x.max (或 x.ds) 格式供 EON 使用 (x.ds 格式可以直接在 EON 中通过菜单导入的方式导入到 EON 中)。

2 3ds max 中的动画的制作

动画以人类视觉的原理为基础,即快速查看一系列相关的静态图像,就会感觉到这是一个连续的动画,一般把每一单独图像为一帧。

3ds max 几乎可以为场景中的任意参数创建动画,还可以设置修改器参数的动画、材质参数的动画等。制定动画参数之后,渲染器承担着着色和渲染每个关键帧的工作,从而生成高质量的动画。

具体实现的动画过程分为以下三个部分:

- (1) 挖掘机挖土,并把土放入卡车上;
- (2) 将倒掉的土运输到弃土地点,并弃土;
- (3) 车辆返回装土点,重新进行第一步,如此循环。直到完成工程。

首先为了研究的方便,对土方施工过程进行简化,将土方施工的动画主要分为三个部分:即装土过程、运输过程,以及返回过程。在 3ds max 中将对运输过程采用关键帧的方法先建立动画,然后将这些信息导入到 EON 中,返回过程所建立的方法与运输过程一致。而对于装土过程将无法采用此方法,需要在 EON 中进行设置,具体的设置方法将在下面的内容中详细介绍,这里就不再描述。

3 模型导入

虚拟现实的环境不仅给人以三维的图形显示,还能够实现交互,与现实的环境更加逼真。本文使用的软件是 Eon Studio,它是一个完全基于 GUI 的设计工具,可以轻松导入各种 3D 模型。模型导入后,可以通过 EON 直观的图形设计界面方便地为模型添加各种行为。作为优秀的虚拟现实软件,软件内部集成了很多控件和结点以供使用,同时为了适应不同领域的开发应用,它也具有可扩展性,用户可以自己建立控件,并支持在此基础的编程,使得软件具有可扩展性^[7]。Eon Studio 支持导入 x.ds 文件,导入方法分为两种,即从菜单导入 x.ds 文件和利用 Eon Raptor 插件导入 x.ds 文件。具体的导入方法如下:

3.1 3D Studio 格式文件的菜单导入

在本文中,由于地形数据较大,在 3ds max 里面导出数据为 x.ds 时,3ds max 提示数据量太大,导出失败。如果将地形分割,分别导出,在 EON 导入后,要将各分块的地形拼接在一起,而这个过程的误差和工作量都是很大的,因此,本文使用另一种方法,即使用插件 Eon Raptor 来导入 3D 格式文件。

3.2 使用插件(EON Raptor)导入 3D 格式文件^[8]

EON Raptor 是 3ds max 和 Autodesk VIZ 的 VR 外挂程序,可以实时浏览大型且复杂的 3D 内容,不用任何程序语言的基础就可以自行创作 VR 程序,并且在很短的时间内发布至网络上,不管是在线发布或刻录成光盘都不需任何费用。

使用 Eon Raptor 的操作步骤:

- (1) 先在 3ds max 中制作模型与动画(即完成模型和建立关键帧),也可以包括贴图等;
- (2) 在使用 EON Raptor 的过程中随时浏览制作的结果;

在 3ds max 中选择 EON Raptor Web Studio 的 Raptor Window,在显示的窗口中能看到导入 EON 中的景象,然后选择 Save As,将文件存成 x.eon 格式。当修改 3ds max 内容时,选择 Refresh 重新刷新显示的窗口中的景象,等认为合适时再保存。

- (3) 利用操作容易的向导将 3D 文件转换成互动内容。

4 基于 EON 的土方工程施工

本工程以某水电工程为开发实例,主体工程所需料源主要为砼骨料。水库永久建筑物及其临建工程混凝土总量约为 $4.78 \times 10^5 \text{ m}^3$,经计算,需各级成品骨料共 $1.09 \times 10^6 \text{ t}$,其中粗骨料 $7.2 \times 10^5 \text{ t}$,细骨料 $3.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。

碾压混凝土拱坝坝顶高程 884.0 m,顶宽 8.0 m,最大坝高 98.5 m。土石方总开挖量 $6.7 \times 10^5 \text{ m}^3$,坝体碾压砼 $3.784 \times 10^5 \text{ m}^3$,砼及钢筋砼浇筑 $9.3 \times 10^4 \text{ m}^3$,固结灌浆 $2.3 \times 10^4 \text{ m}$,帷幕灌浆 $1.95 \times 10^4 \text{ m}$,以机械化

施工为主. 挖掘机设备的型号为卡特挖掘机 320B, 卡车为东风渣土车. 前面提到过, 装土过程和运输过程采用的动画设置方式有所区别. 这一节将详细介绍各施工过程的三维动画实现, 具体内容如下:

4.1 运输场景

导入 EON 后在模拟树中可以看到模型的节点, 通过设置每个汽车模型的 animation 节点参数使动画在 EON 中运行起来. 即将“Active”参数设置为“yes”(默认情况下该参数的值为“no”), 在 EON 中执行将显示动态的运输场景. 如果需要控制运输场景在什么时间产生动画, 可以添加时钟节点 TimeSensor, 用 TimeSensor 节点控制 animation 节点; 或者通过添加 ClickSensor 节点和 KeyboardSensor 节点来实现通过鼠标的点击和键盘等控制运输过程, 实现在 EON 场景中运输场景的交互动画. 如图 1 和图 2 所示. 与此同时, 为了增加场景的显示效果, 使场景不太突兀, 可以使用 EON 中 Environments 一类的元件 SkySphere. 显示效果在图 3 中显示.

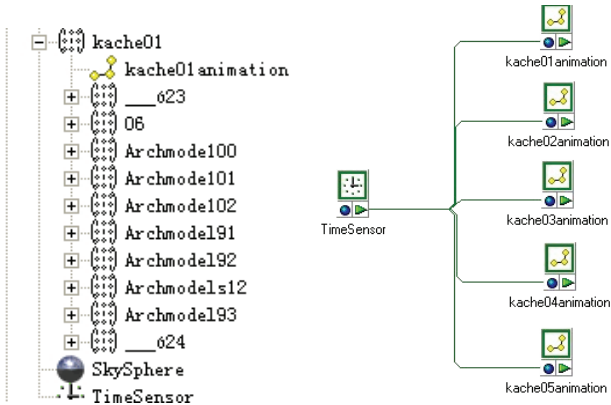


图 1 一辆卡车的模拟树和时钟节点逻辑结构图

Fig.1 A truck simulation tree and timesensor logical structure

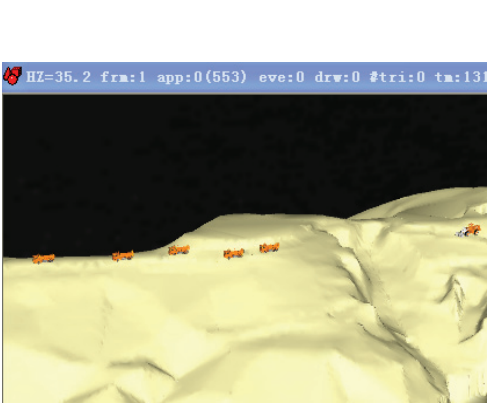


图 2 运输场景动态显示截图

Fig.2 Transport scenes

4.2 装土场景

这一场景中的动画相对比较复杂, 不能在 max 中利用关键帧导入 EON 的方法来进行操作, 需要给运动的部件下面创建 Place 节点并设置 Place 节点的 movement 和 time to move 参数来调整各方向移动的角度(或距离), 和发生移动的时间(即运动的速度). 与此同时, 由于 place 节点只能放在需要设定动作的节点下面, 因此, 对于挖土机这一挖土动作, 其实是由多个部件的多个动作按顺序执行后得到的结果. 因此, 需要使用多个 place 节点, 并且由于动作的连续性, 因此一个 place 节点可能触发另一个 place 节点. 具体的模拟树结构见图 3 所示, 以及各 place 节点之间的逻辑关系图见图 4. 在动画系统中添加时钟节点来控制施工的进度, 通过设置时钟节点参数使施工按照预定的时间进行仿真. 如果在此过程中发现存在施工过程过慢或过快, 可以修改时钟节点参数和 place 节点参数. 如果想对画面进行暂停, 可以使用 ClickSensor 节点和 KeyboardSensor 节点进行操作.

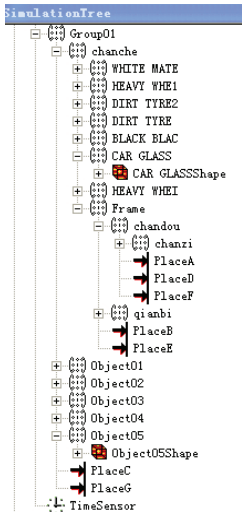


图 3 挖掘机的模拟树

Fig.3 Excavator simulation tree

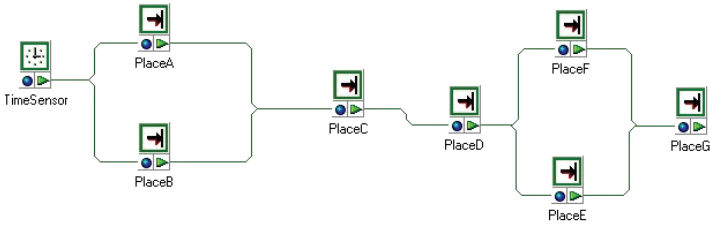


图 4 Place 和 TimeSensor 节点逻辑关系图

Fig.4 Place node and Timesensor logic diagram

弃土场景和装土场景类似,需要对设备设置多个运动节点从而完成卸土过程,这里就不再详细描述.但整体的土方装运系统的显示效果是非常好的.

4.3 动画的扩展

前面一节完成了通过调整时钟和添加鼠标和键盘控制节点来调整运输动画的过程.这就是最简单的交互过程,交互也是虚拟现实系统与一般的三维系统最大的区别.在虚拟现实系统中,通过人与虚拟环境的交互,能够使人有身临其境的感觉,从而对真实的系统构建予以指导.

EON 开发环境支持 Java script 和 VB

Script 两种脚本语言的二次开发功能,提高了灵活性与实用性;控件 EonX 可以嵌入到常用高级编程语言中控制 EON 发布文件的浏览,它所定义的 TControl2 类提供了类的方法,可以通过定义类的对象来使用这些方法实现与 EON 中的 Script 交互.此外, Eon Studio 还有其独立的扩展开发包 EON SDK,它能与 VC++ 结合开发出新的功能节点或模块^[9].

5 结论

土方工程的复杂性和不可验证性使得土方工程在施工过程中存在很多的安全隐患和施工问题,采用虚拟现实技术在虚拟环境中对土方工程进行模拟,能够发现工程中可能存在的问题,本文中的虚拟现实系统利用 EON 自带的交互节点实现了一定的交互性,对工程的实施起到了一定的指导作用.鉴于目前的研究,有几点需要注意及研究的内容:(1) 本文只针对该工程进行应用,因为不同的土方工程,地形和设备等都不同,内容相对比较复杂和多样,因此,考虑对 EON 进行二次开发,从而能将不同的地形数据和设备模型导入进来,进行模拟仿真,以应用在不同的土方工程中;(2) 随着研究的逐步深入,在今后将进一步利用 EON 的优势实现手动控制施工过程,起到调整施工进度,优化施工布局的目的;(3) 关于土方工程施工的优化策略问题也在研究中.

参考文献 References

- [1] REKAPALLI P V, MARTINEZ J C. Martinez. Discrete-event simulation-based virtual reality environments for construction operations: technology introduction [J]. American Society of Civil Engineers, 2011, 137: 214-224.
- [2] 侯筱婷, 李昌华, 来炳恒. 虚拟施工关键技术研究[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(7): 1196-1260.
HOU Xiaoting, LI Changhua, LAI Bingheng. Research on the key techniques of the virtual construction [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2011, 30(7): 1196-1260.
- [3] RODGERS R A. A 4D-CAD implementation utilizing j space schedule simulator [D]. USA Blackburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [4] 钟登华, 陈永兴, 常昊天, 等. 沥青混凝土心墙堆石坝施工仿真建模与可视化分析[J]. 天津大学学报, 2013, 46(4): 285-290.
ZHONG Denghua, CHEN Yongxing, CHANG Haotian, et al. Construction simulation modeling and visual analysis of rockfill dam with asphalt concrete core[J]. Journal of Tianjin University, 2013, 46(4): 285-290.
- [5] 李国成, 王靖涛. 复杂结构施工的虚拟实现[J]. 建筑结构学报, 2002, 23(2): 75-78.
LI Guocheng, WANG Jingtao. Implementing the construction of complex structure in virtual environment[J]. Journal of Building Structures, 2002, 23(2): 75-78.
- [6] 李国成, 王靖涛. 虚拟现实技术用于复杂结构施工研究[J]. 土木工程学报, 2003, 36(2): 95-99.
LI Guocheng, WANG Jingtao. Studies on application of virtual reality technique to complicated construction[J]. China Civil Engineering Journal, 2002, 23(2): 75-78.
- [7] 王岚, 刘怡, 梁忠先. 虚拟现实 EON Studio 应用教程[M]. 天津: 南开大学出版社, 2007: 49-50.
WANG Lan, LIU Yi, LIANG Zhongxian. Virtual reality EON Studio application tutorial[M]. Tianjin: Nankai University Press, 2007: 49-50.
- [8] 北京易用视点动漫科技有限公司. Eon_raptor 将 MAX 模型转换成生动的 3D 互动程序[DB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/70de1ec14028915f804dc2ed.html>.
Beijing Yiyong Shidian Technology Co., LTD. Eon_raptor MAX model will be converted into vivid 3D interactive program[DB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/70de1ec14028915f804dc2ed.html>.
- [9] 方传磊, 苏群星, 刘鹏远, 等. EON中基于Script的功能扩展研究[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(3): 799-801.
FANG Chuanlei, SU Qunxing, LIU Pengyuan, et al. Research on function extending in EON based on Script [J]. Science Technology and Engineering, 2008, 8(3): 799-801.



图5 挖土关键帧

Fig.5 Excavator keyframes

Simulation of earthworks based on EON, 3ds max and AutoCAD

LAI Bingheng¹, LI Changhua¹, HOU Xiaoting²

(1. School of Information and Control Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. School of Science, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: In view of the earthwork construction with long duration, heavy and complicated construction conditions, and earthworks that cannot be verified, virtual reality technology is used to simulate the process of its construction. As a hydropower project for an example, AutoCAD and 3ds max combination of building is used in the terrain model and entity model building is used in 3ds max. In the transporting section, 3ds max key frame is built together with the model of import in the EON and the parameters of the animation node is set up; In digging scene, multiple place nodes is used to control the excavator digging operation. In interaction part of the scene, the built-in mouse node (ClickSensor) and keyboard nodes (KeyboardSensor) implementation scenarios and user interaction are used. Research shows that through excellent virtual reality software EON virtual reality technology is applied in earthwork construction simulation stage, and possible quality problems and potential safety problems in engineering are found, through the simulation earthwork construction of virtual real earthworks is verified to have certain guidance and reference value.

Key words: virtual reality; EON Studio; 3ds max; earthwork

(本文编辑 桂智刚)

(上接第301页)

- [3] 冯忠绪,朱伟敏,姚运仕,等. 振动压路机名义振幅的探讨[J]. 筑路机械与施工机械化,2005,(10):49-51.
FENG Zhongxu, ZHU Weimin, YAO Yunshi, et al. Nominal amplitude discussion of vibratory roller[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2005, (10):49-51.
- [4] 周德成,杜文靖,赵登峰,等. 振动压路机名义振幅求解方法研究[J]. 建筑机械化,2003(6):12-14.
ZHOU Decheng, DU Wenjing, ZHAO Dengfeng, et al. Solution research of nominal vibration amplitude for vibrator roller[J]. Construction Mechanization, 2003,(6):12-14.
- [5] GB/T18148-2000 压实机械压实性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社. 2004.
GB/T18148-2000 Testing method of the compaction performance of rollers and compactors[S] Beijing: China Standard Press
- [6] 李立民, 冯忠绪, 张艺莎, 等. 中国与外国双钢轮振动压路机的主要差距[J]. 长安大学学报,2011,31(3):102-105.
LI Limin, FENG Zhongxu, Zhang Yi-sha, et al. Main performance difference of double-drum vibration roller made in China compared with that made in other countries[J]. Journal of Chang'an University, 2011,31(3):102-105.
- [7] 宁鹏,张敏,魏文澜. 振动压路机振幅的探讨[J]. 山东交通学院学报,2012(4):75-77.
NING Peng, ZHANG Min, WEI Wenlan. The Amplitude Discussion of Vibratory Roller[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2012(4):75-77.
- [8] 侯劲汝. 双钢轮振动压路机振幅不均匀性的试验研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
HOU Jingru. Experimental Study on Double-drum vibratory roller uneven amplitude [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [9] 冯忠绪,姚运仕,冯建生. 热沥青混合料碾压过程的离析现象[J]. 长安大学学报,2006,26(3):96-99.
FENG Zhongxu, YAO Yunshi, FENG Jiansheng. Rolling Segregation of Hot Asphalt Mixture[J]. Journal of Chang'an University, 2006,26(3):96-99.
- [10] 张兴旭. 振动压路机减振性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
ZHANG Xingxu. Research on vibratory roller's damping performance[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [11] 侯劲汝, 沈建军, 徐倩. 双钢轮振动压路机振幅不均匀性的分析[J]. 长安大学学报,2010,30(6):100-103.
HOU Jingru, SHEN Jian-jun, XU Qian. Analysis on uneven amplitude of tandem vibratory roller[J]. Journal of Chang'an University, 2010,30(6):100-103.
- [12] FACAS Norman W, MOONEY Michael A, FURRER Reinhard. Anisotropy in the spatial distribution of roller-measured soil stiffness[J]. International Journal of Geomechanics 2010(10):129-135.
- [13] 冯忠绪. 工程机械理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 251-253.
FENG Zhongxu. Theory of construction machinery[M]. Beijing: China Communications Press, 2004: 251-253.

Discussion on the amplitude of vibrating drum of vibratory roller

ZHAO Lijun, FENG Zhongxu, ZHAO Liping, WEI Wenlan

(Department of Education Key Laboratory of Construction Technique and Equipment, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Amplitude is a main parameter of vibratory roller, but the nominal vibration amplitude concept is based on particle vibration theory without consideration of uneven amplitude problem or amplitude variation during the compaction process. Through analysis and trials, the amplitude is divided into 3 kinds: design amplitude, nominal amplitude and work amplitude. The nominal amplitude is close to the design amplitude and the work amplitude is slightly larger than the nominal amplitude. Furthermore, the work amplitude is uneven in practical work, which is not indicated and has no corresponding test standard in national standard, so we suggest the average amplitude of several measuring points along the vibration drum width direction be used in national standard so as to increase amplitude unevenness to measure the degree of uneven amplitude. The amplitude unevenness must be less than 5% for single drum roller, and one wheel of double drum roller. And the unevenness between the front and rear wheels of double drum roller should also be less than 5%.

Key words: vibratory roller; design amplitude; nominal amplitude; work amplitude; average value; amplitude unevenness

(本文编辑 吴海西)