

## 机场高填方填料振碾与冲压处理对比试验

陈涛<sup>1,2</sup>, 郭院成<sup>1</sup>, 谢春庆<sup>3</sup>

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 中国人民解放军空军 94353 部队, 河南 商丘 476100;  
3. 成都军区空军勘察设计院, 四川 成都 610004)

**摘要:** 填料压实质量是机场高填方工程成败的关键。振动碾压、冲击压实是目前机场高填方填料分层填筑压实的两种常见处理方法, 它们具有不同的工作性能。针对西南某山区高填方机场中风化块碎石填料的压实处理, 采用振碾及冲压两种工法进行压实试验, 并分别进行了沉降量检测、压实度检测、经济效益等方面的综合对比分析, 以确定合适的压实方法和施工参数。研究表明冲压处理的施工单价比振碾处理稍高, 但其处理效果和工艺效益均优于振碾处理; 振碾有效影响深度为 60 cm, 最大压实度仅为 90.3%; 冲压有效影响深度为 120 cm, 冲压 20-30 遍后压实度达到 93%, 且施工速度快。由此, 确定了用于指导整个工程填筑施工的冲压施工参数, 该施工参数在工程应用中取得了良好的压实效果和经济效益。

**关键词:** 机场工程; 填料; 振碾; 冲压; 试验; 施工参数

**中图分类号:** U416 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)04-0020-05

随着我国经济发展和西部大开发战略的实施, 近十年来在地形、地貌及地质背景条件复杂的西南云、贵、川、渝、藏等省区, 其铁路、公路建设高速发展的同时, 航空运输业也取得了长足进展, 一大批民用机场, 特别是支线机场, 相继建成或改扩建<sup>[1]</sup>, 如云南大理机场、红河机场、文山机场; 贵州铜仁机场、兴义机场、荔波机场、毕节机场; 四川攀枝花机场、九寨黄龙机场、康定机场; 重庆万州机场、黔江机场、江北机场; 西藏邦达机场、贡嘎机场、林芝机场、阿里机场等。此外还有不少机场正处于紧张施工或设计论证阶段, 如昆明新机场、四川稻城机场。与中东部相比, 这些地区的机场建设主要面临两大特殊问题:

1) 为了减少占用耕地, 同时为满足机场净空要求, 机场多建设在荒山荒坡区, 机场建设当中势必牵涉到土石方的深挖高填问题。填方高度一般在 30 m 以上, 九寨黄龙机场最大达 104 m; 填方量多在  $6 \times 10^7 \text{ m}^3$  以上, 在建的昆明新机场填方量预计达  $1.08 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。如此高的填方高度和填方量, 高填方地基与填体的变形及稳定问题将会十分突出。

2) 场区填料来源主要为山体爆破土石混合体填料, 石方占很大的比例(土石比为 1:9-3:7), 并且粒径大(最大达 80 cm), 粗巨粒土填筑地基的压实方法及其检测评价, 目前尚无规范可循。工程实践表明, 机场高填方工程中高填方体的工后沉降、强度、密实度及施工费用将是整个工程建设的重要制约因素, 是工程建设成败的关键。因此, 填筑体填料压实的处理方法及施工工艺就显得至关重要<sup>[2]</sup>。

振动碾压、冲击压实是目前粗巨粒土填料分层填筑的 2 种常见处理方法<sup>[1,3-9]</sup>, 二者具有不同的工作性能, 这样就带来了不同的施工功效, 如对一般工程, 碾压机要求填料最大粒径为 30 cm, 冲压为 50 cm; 碾压机有效压实深度 0.4 m-0.7 m, 冲压机为 0.8 m-1.5 m。

本文针对西南某山区高填方机场中微风化碎石填料采用振动碾压及冲击压方法进行处理, 通过压实效果的对比试验选择合理的填筑体处理方法及施工工艺, 得出用于指导整个工程填筑施工的压实处理施工参数, 并在工程中应用并取得了成功。

收稿日期: 2008-02-26

作者简介: 陈涛(1979-), 男, 河南信阳人, 博士生, 主要从事机场、道路岩土工程研究; E-mail: ct888af@sina.com  
郭院成(1965-), 男, 河南辉县人, 教授, 博士生导师, 主要从事复合地基及基坑支护等岩土工程研究。

## 1 工程概况

西南某山区高填方机场最大填方高度约 55 m,属典型的深挖高填工程。挖方区主要为岩石,岩性以白云岩为主,其次为灰岩。挖方区覆土很少,填料土石比为 2:8,覆土主要为坡残积红粘土。对于挖方区的中微风化岩石将其爆破为碎石做为填料用于填方。该填料击实试验采用取土区料场和碾压试验施工现场摊铺料进行试验,用湿土法制样 12 组<sup>[10]</sup>。填料击实试验的最大干密度在  $1.73\text{g}/\text{cm}^3 - 1.84\text{g}/\text{cm}^3$  之间,平均为  $1.78\text{g}/\text{cm}^3$ ;最优含水率在 15.2% - 17.5% 之间,平均为 16.0%。

根据场道设计,对爆破碎石填筑的高填方体要求为<sup>[11]</sup>:

- 1) 工后沉降量小于 4 cm;
- 2) 不均匀沉降坡差小于 1.5‰;
- 3) 压实度要求:0 - 80 cm 达到 93%,大于 80 cm 达到 90%;
- 4) 回弹模量值(每层)大于 25 MPa。

## 2 试验参数

该高填方机场振动碾压试验施工采用自卸汽车运土,进占法铺料,推土机整平。采用进退错距法进行碾压,行车速度 2 km/h - 3 km/h,相邻碾迹的搭接宽度不小于碾宽的 1/10。振动碾压试验参数见表 1。

冲击压实试验采用厦门厦工公司生产的 3YCT32 型冲击式压实机进行,现场施工采用回转法进行碾压,行车速度 12 km/h - 14 km/h,冲击能量为 32 kJ。冲击压实试验参数见表 2。

表 1 振碾试验参数表

Tab. 1 Parameter of vibration compaction test

编号	填筑厚度/cm	检测振碾遍数
A1	60	2 - 12
A2	80	2 - 12
A3	100	2 - 12

表 2 冲压试验参数

Tab. 2 Parameter of impacting compaction test

编号	填筑厚度/cm	检测冲压遍数
B1	80	5 - 30
B2	100	5 - 30
B3	120	5 - 30

## 3 试验检测结果分析

### 3.1 振碾试验结果

#### 3.1.1 沉降量检测

不同铺填厚度随振碾遍数的沉降观测曲线见图 1。图 1 表明:

1) 在相同铺料厚度的条件下,该中微风化料的沉降量随着碾压遍数的增加而相应增加。铺料振碾 10 - 12 遍时,沉降速率均为 1mm/遍,说明从第 10 遍开始,沉降逐渐趋于稳定。碾压 12 遍时,层厚 60 cm 的累计沉降为 30.0 mm,层厚 80 cm 为 33.0 mm,层厚 100 cm 为 36.0 mm。

2) 在相同碾压遍数的条件下,随着铺料厚度的增加累计沉降量相应增加。振碾 8 - 12 遍时,不同层厚的中微风化铺料的累计沉降差稳定在 3.0 mm 左右。

#### 3.1.2 压实度检测

压实度检测采用灌砂法进行,在试坑上层取样,3 种铺填厚度的取样深度均在 30 cm 左右。振动碾压试验在碾压 6 - 12 遍时每遍分别进行了压实度检测,压实度检测结果如图 2 所示。图 2 表明:

1) 总体上铺料厚度 60 cm、80 cm、100 cm 的压实度偏低,均未达到 93% 的压实度,最大压实度为铺厚 60 cm 碾压 10 遍后的 90.3%。表明振碾有效影响深度大致为 60 cm。

2) 该中微风化填料的压实度初期随振碾遍数增加而相应增加,振碾一定遍数后,随碾压遍数的增加而减小。层厚 60 cm 的铺料振碾 10 遍时,压实度达到最大为 90.3%;层厚 80 cm 的铺料碾压至 12 遍时,压实度达到最大为 89.8%,之后随碾压遍数的增加而减小;层厚 100 cm 的铺料碾压到 12 遍时,压实度达到最大

为 89.3%。

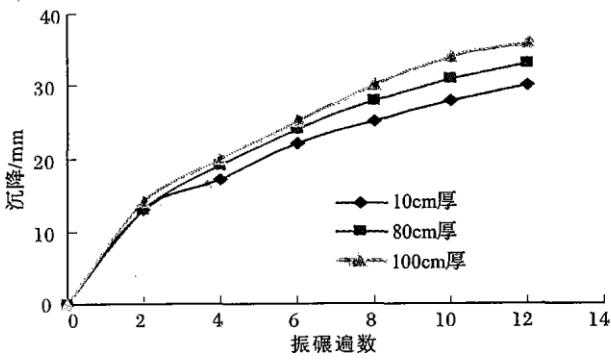


图 1 不同铺厚填料振碾遍数与沉降关系曲线  
 Fig.1 Relation between number of vibration compaction and subsidence for different thickness

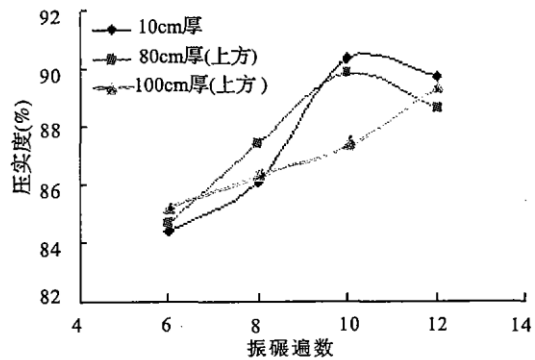


图 2 不同铺厚填料振碾遍数与压实度关系曲线  
 Fig.2 Relation between number of vibration compaction and compaction degree for different thickness

### 3.2 冲压试验结果

#### 3.2.1 沉降量检测

不同铺填厚度随冲压遍数的沉降观测曲线见图 3 所示。图 3 表明:

1) 相同的碾压遍数条件下, 累积沉降随着铺料厚度的增加而增加。冲压至 30 遍时, 3 种铺厚填料沉降均基本趋于稳定, 层厚 80 cm、100 cm 和 120 cm 的累计沉降分别为 144 mm、162 mm、173 mm。

2) 在相同铺料厚度条件下, 累计沉降随着碾压遍数的增加而增加。层厚 80 cm 冲压 10 遍的累计沉降为 78.0 mm; 10 遍后, 随着冲压遍数的增加累积沉降呈线性增长。层厚 100 cm 和层厚 120 cm 铺料冲压 20 遍后, 随着冲压遍数的增加累积沉降的增长趋于平缓。

#### 3.2.2 压实度检测

冲压压实度检测采用灌砂法进行, 在试坑上层取样, 3 种铺填厚度的取样深度均在 30 cm 左右。在冲压 5、10、20 和 30 遍时进行压实度检测, 压实度检测成果见图 4 所示。图 4 表明:

1) 层厚 80 cm 和 100 cm 的铺料压实度在冲压 20 遍之前随冲压遍数的增加而增加, 20 遍之后随冲压遍数的增加而减小, 最大压实度分别为 98% 和 97.9%。

2) 层厚 120cm 的铺料压实度随冲压遍数的增加而持续增加, 20 遍以后, 随着碾压遍数的继续增加, 压实度增加幅度变缓。30 遍时压实度达到 95.7%。

3 种铺料厚度冲压 20 - 30 遍后均达到 93% 的压实度。表明冲压有效影响深度可达到 120 cm。

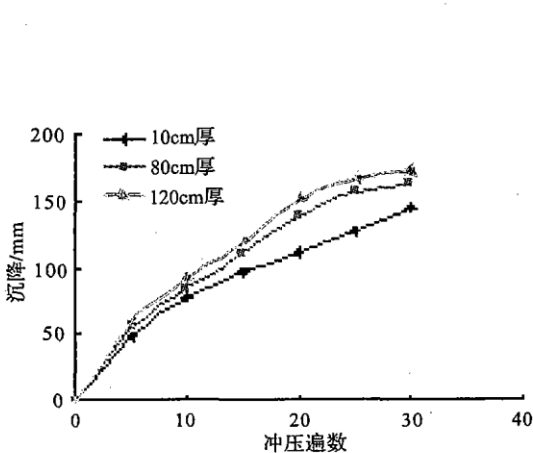


图 3 不同铺厚填料冲压遍数与沉降关系曲线  
 Fig.3 Relation between number of impacting compaction and subsidence for different thickness

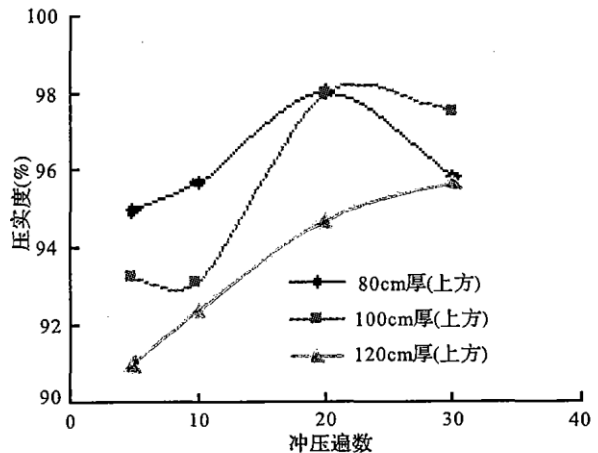


图 4 不同铺厚填料振碾遍数与压实度关系曲线  
 Fig.4 Relation between number of impacting compaction and compaction degree for different thickness

### 3.3 综合分析比较

通过振动碾压和冲击压实两种工法的压实试验,表明对于相同铺厚、相同碾压遍数的铺料,冲压的压实度和沉降量均大于振碾的压实度和沉降量,并且振碾的压实度检测普遍不能满足设计要求,而冲压的压实度检测绝大多数能够满足设计要求。

试验表明振碾的施工单价为 2.68 元/m<sup>3</sup>,冲压的施工单价为 3.50 元/m<sup>3</sup>,冲压施工单价高于振碾施工单价,但是处理相同立方的中微风化填筑料,冲击碾压所用的台班少,且效果和工效好。

综合分析比较冲击压实施具有铺料厚度大,施工速度快等优点,同时其压实效果较好,因此对该中微风化料的填筑压实采用冲压法较好。

## 4 参数确定与效果检验

### 4.1 施工参数确定

通过以上现场冲击压实试验,最终确定用于本工程冲击压实的施工参数见表 3。

表 3 冲击压实的施工参数

Tab.3 Working Parameter of impacting compaction

处理工法	铺料厚度 /cm	填料的最大粒径 /cm	控制干密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	碾压机具	碾压遍数	行车速度 /(km·h <sup>-1</sup> )	行车方式
冲击压实	80-100	60	1.74	32KJ 冲击式压路机	20-25	12-14	回转法

### 4.2 效果检验

冲压填筑完成后,在填筑体面层进行了多点载荷试验,结果表明:冲压后压实面的极限荷载在 440 kPa - 480 kPa 之间,平均为 453 kPa;碾压面的回弹模量在 49.9 MPa - 50.5 MPa 之间,平均为 50.2 MPa,模量较高且均匀分布,完全满足设计要求<sup>[11]</sup>,说明冲压压实效果较好。根据其它项目资料<sup>[1,4,12]</sup>,冲压机具按 12 km/h 的速度进行冲压,深度 0.8 m 处的平均垂直土动压力可达 1 366 kPa,相当于填筑近 60 m 层厚所产生的静压力,这可以大幅减小高填方引起下层中微风化碎石填料蠕变产生的变形。在该工程中,分层填筑至设计高程后,根据 5 个月已观测数据来看,填高 40 m 处的工后沉降仅为 2.1 cm,完全满足场道的设计要求<sup>[11]</sup>。

## 5 结论

1)本工程对于相同铺厚、相同碾压遍数的铺料,冲压的压实度和沉降量均大于振碾的压实度和沉降量,并且振碾的压实度检测普遍不能满足设计要求,而冲压的压实度检测绝大多数能够满足设计要求。

2)冲击压实是一种较新的压实工艺,它不仅能大幅减小高填方碎石填料蠕变产生的变形;而且能够很大程度上改良填料的级配,增加密实度,对处理碎石填料高填方工程非常有效。

3)冲击压实具有铺料厚度大,施工速度快捷等优点。本工程进行冲压时,冲压机具行驶速度不小于 12 km/h;每层填料的虚铺厚度一般为 1.0 m;冲击压实遍数为 20 - 25 遍。按此施工参数进行施工后,填筑体强度及变形均满足机场设计要求。

### 参考文献:

- [1] 谢春庆.粗巨粒土填筑地基施工工艺与控制研究[D].成都:西南交通大学,2003.  
XIE Chunqing Construction Process and Quality Control of High-fills of Gravels[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2003. (in Chinese)
- [2] 甘厚义,周虎鑫.关于山区高填方地基处理问题[J].建筑科学,1998,(6):16-22.  
GAN Houyi, ZHOU Huxin. Research into the Treatment of High Filled-up Ground with Large Stones in Mountain Areas[J]. Building Science, 1998,(6):16-22. (in Chinese)
- [3] 何兆益,赵川,朱洪洲,等.万州五桥机场高填方碾压施工控制试验研究[J].重庆交通学院学报,2001,20(3):69-71.  
HE Zhaoyi, ZHAO Chuan, ZHU Hongzhou, et al. The Study on Fill Construction Controlling of Wanzhou Wuciao Airport High Embankment[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2001, 20(3):69-71. (in Chinese)
- [4] 周立新,黄晓波,杨志夏.某填方粉土冲击压实处理试验研究[J].工程地质学报,2005,13(3):367-370.  
ZHOU Lixin, HUANG Xiaobo, YANG Zhixia. Testing on Impacting Compaction of a Filled Silt Mass in a Project[J]. Journal

of Engineering Geology, 2005, 13 (3):367-370. (in Chinese)

- [5] Scott C R, Pearce R W. Soil Compaction by Impact[J]. Geotechnique, 1975, 21(4):201-204.
- [6] Robert W Leubke. Solving Typical Subgrade Problems with Geotextile [J]. Railway Track and Structures, 1982, 16(3):81-87.
- [7] De Mello V F B. Reflection on Decisions of Practical Significance to Embankment Dam Construction, 17th Rankine lecture [J]. Geotechnique, 1977, 27(3):279-354.
- [8] Zienkiewicz O C, Parekh C J. Transient Field Problems: Two-dimensional and Three-dimensional analysis by Iso Parametric Finite Elements [J]. Int J Number Methods Eeng, 1970, (2):184-189.
- [9] XU Yongfu. Discussion of Impact of Soil Type and Compaction Conditions on Soil Water Characteristics [J]. J of Geotech & Geo Environ Eng, ASCE, 2003, (12):286-291.
- [10] JTJ051-93. 公路土工试验规程[S].  
JTJ051-93. Test Methods of Soils for Highway Engineering[S]. (in Chinese)
- [11] MH5014-2002. 民用机场飞行区土(石)方与道面基础施工技术规范[S].  
MH5014-2002. Technical Specification for Construction of Earthwork(rockwork) and Pavement Foundation for Airfield Area of Civil Airports[S]. (in Chinese)
- [12] 史保华, 司剑峰, 朱小力, 等. 冲击压实技术在机场工程软基处理中的应用研究[J]. 中国公路学报, 2001, 14(3):33-38.  
SHI Baohua, SI Jianfeng, ZHU Xiaoli, et al. Application Study of Impact Compaction Technology in Airport Soft Ground Engineering[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(3):33-38. (in Chinese)

(编辑:姚树峰)

## Comparing Experiment Analysis of the Vibration Compaction with the Impacting Compaction for Treating the Stone Filling of High-fill Airport

CHEN Tao<sup>1,2</sup>, GUO Yuan-cheng<sup>1</sup>, XIE Chun-qing<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2. The Air Force 94353 Army of the PLA, Shangqiu 476100, Henan, China; 3. Survey and Design Institute of Chengdu Military Command Air Force, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** The compaction quality of filling is very crucial to high-fill airport construction. In recent years the vibration compaction and impacting compaction are two common compaction methods for treating the stone filling of high-fill airport, and they have different working capability. For treating the stone filling of high-fill airport in southwest mountainous areas, the methods of vibration compaction and impacting compaction are adopted to perform compaction test, furthermore, the economic effect and the compaction results of settlement observation, compacting degree test are compared and analyzed synthetically in order to determine an appropriate treating method and working parameters. The experiment results indicate that the economic unit price of the impacting compaction is a bit higher than that of the vibration compaction, but the treating effect of it is better than that of the vibration compaction for this project: the valid effect depth of the vibration compaction is 60cm, and the biggest compaction degree is only 90.3%; the valid effect depth of the impacting compaction is 120cm, and the compaction degree of 93% can be obtained when treating 20 to 30 times, what's more, the treating speed is faster. Thus, the impacting compaction method is taken in use and the reasonable working parameters are defined, which bring both a good compaction effect and an obvious economic benefit in the project practice.

**Key words:** airport engineering; filling; vibration compaction; impacting compaction experiment; working parameter