

# 机场基岩上覆土层地基处治研究

彭超

(湖南省地质矿产勘查开发局, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 为研究机场基岩上覆土层地基垫层强夯法、强夯置换墩法处治工艺,以某地级市机场新建工程为依托,通过标准贯入试验、固体体积率检测、压实度检测等对处治前后地基进行对比分析。结果显示,强夯后土层强度提升幅度为 0.8~2.0,且较深处土层强度增幅较大;基岩上覆土层在经过 4 000 kN·m 强夯处治后,干密度和黏聚力均有所提高、含水率减小且固体体积率可达到 81% 以上的设计要求,但 8 000 kN·m 夯击能对基岩上覆土层的处治效果不好;强夯置换墩法处治后土层强度明显增大,提升幅度为 0.7~2.0 倍,固体体积率达到 82%;建议基岩上覆土层厚度在 2 m 以内的直接采用换填处治,厚度小于 6 m 的采用垫层强夯法处治。

**关键词:** 公路;地基;基岩上覆土层;垫层强夯;强夯置换墩

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2021)01-0072-04

《全国民用机场布局规划》实施以来,为打造全方位综合交通,各地民用机场新建、改扩建项目逐渐增多。受选址限制,较多机场项目存在超高填方、土石方工程量大及其他复杂地质条件等问题。相较于高等级公路建设项目,机场道面结构多采用水泥砼路面,这种刚性结构对地基承载性能有特殊要求,尤其是地基不能发生沉降或不均匀沉降。强夯法作为处治高填方地基的主要方法,在地基加固及沉降控制方面具有重要作用,已成为应用最广、最具经济性的地基处治方式之一。该文针对某机场基岩上覆土层处治工程,对垫层强夯法、强夯置换墩法处治工艺进行研究。

## 1 工程概况

依托工程为某地级市民用机场,场址原始地貌为构造剥蚀丘陵,场地植被丰富,地形起伏较大。最高点位于拟建场址中部,海拔为 359.40 m,最低点位于场址西侧,海拔为 220.00 m,相对高差达 140 m。工程总规划建设用地面积 58.7 万 m<sup>2</sup>,土石方量约 500 万 m<sup>3</sup>。

该项目位于山谷、岩溶洼地、冲沟、岩溶漏斗处,基岩上覆土层还包括 2 层粉质黏土,其具高压缩性,且场区最大填方高度达 80 m,原地基、填筑体存在较大工后沉降和差异沉降隐患,需对机场道槽区基岩上覆土层地基进行处治。

## 2 试验段选取及初步分析

该项目地质条件复杂,存在诸多岩土工程技术

问题,若对基岩上覆土层处治不当,将导致严重的地基沉降与不均匀沉降,甚至影响高填方边坡的安全稳定。为确定合理的地基处治施工工艺、施工参数及质量控制标准,在大面积施工之前,先选取合适试验段进行软弱黏土(主要为基岩上覆土层、岩溶填充物)处治(换填、强夯、复合地基或注浆),通过对处治效果的监测,分析各施工工艺对软弱粉质黏土处治的适用性,确定可靠的土石方填筑和地基处治施工参数,并按该施工参数进行局部区域施工。对施工完成区域原地基、填筑体、边坡进行变形监测,检验施工参数、施工工艺及设计控制指标的有效性,为大面积施工提供可靠的技术支撑。

针对该项目的特点,选取填方区域(需具有一定填方工程量)作为试验段,该区域原地势高差较大,需进行强夯、碾压、筋材破损等试验,具有较好的代表性。

进行处治之前,对基岩上覆土层土体进行物理力学性能分析,结果显示:

(1) 试验区浅层残坡积土最大干密度为 1.48~1.70 g/cm<sup>3</sup>,最佳含水率为 14.5%~28.7%。

(2) 挖方区发育残坡积土最大干密度为 1.66~1.93 g/cm<sup>3</sup>,最佳含水率为 10.2%~19.6%。

(3) 挖方区残坡积土与强风化炭质页岩、砂砾状土体组成的混合料的最大干密度为 2.04~2.11 g/cm<sup>3</sup>,最佳含水率为 5.9%~7.2%。场区表层土料的天然含水量大于最佳含水率,大面积施工时可以根据填料的功能分区,尽量用作边坡和土面区的绿

化用土。

(4) 天然状态下残坡积土的抗剪强度为 50.4~72.5 kPa,内摩擦角为 8.14°~16.94°。填筑石料的抗剪强度为 364.9 kPa,内摩擦角为 31.7°,抗剪强度指标较高。

### 3 上覆土层地基处治

#### 3.1 处治方法选取

根据勘探报告,道槽填方区、填方边坡稳定影响区覆土层厚度为 10~20 m。对于道槽区浅覆土层的处治,一般根据沉降计算确定处治深度,根据工程经验,采用换填法或垫层强夯法使原地基形成一定厚度硬壳层,即可满足沉降要求。而对于高填方边坡稳定影响区,由于亚层土体抗剪强度低、埋深厚,根据边坡稳定性计算结果,当高填方边坡存在深层滑移可能性时,需对高填方边坡稳定影响区地基进行深层处治或采用抗滑桩等进行支护,其中深层地基处治工法有垫层强夯法、强夯置换墩法、复合地基法等。该项目选取垫层强夯法、强夯置换墩法进行试验,分析各工法对场区土层处治的适用性。

##### 3.1.1 垫层强夯法

垫层强夯法适宜处治土层厚度为 6~12 m 的道槽填方区或填方边坡稳定影响区,它主要是使道槽区土基形成一定厚度硬壳层,从而提高边坡区土体抗剪强度。根据能级不同,垫层强夯法分为:1) 2 遍点夯 4 000 kN、满夯 1 000 kN,碎石垫层厚度 1.5 m;2) 2 遍点夯 8 000 kN、满夯 2 000 kN,碎石垫层厚度 2.5 m。强夯处治试验参数见表 1。

表 1 基岩上覆土层强夯处治试验参数

夯点 间距	夯点 布置	夯击 数/遍	单点击 数/击	最后 2 击 平均夯沉 量/cm
4.5 m(<4 000 kN)	正方形	2	10~12	≤5
5.5 m(>4 000 kN)				≤10
d/4 搭接	搭接形	1	4~5	≤5

碎石的技术要求为:最大粒径不大于 15 cm;含泥量不大于 7%,且级配良好;不均匀系数  $C_u \geq 5$ ,曲率系数  $C_c = 1$ 。

处治前试验内容:采用标贯试验获取土体锥尖阻力沿深度的分布,每试验区检测 2 点,检测深度为整个上覆土层。

处治后试验内容:采用标贯试验获取土体锥尖阻力沿深度的分布,每试验区检测 2 点;碎石垫层固

体体积率检测(要求强夯后碎石固体体积率不小于 81%),每试验区检测 3 点。

##### 3.1.2 强夯置换墩法

该方法用于垫层强夯法不适用、需处治土层厚度小于 15 m 的填方边坡稳定影响区或道槽填方区,要求墩长穿透需处治土层,强夯能级根据需处治土层厚度确定。初始夯击能  $E$  按下式确定:

$$E = 940(H - 2.1) \quad (1)$$

式中: $H$  为需穿透土层厚度。

根据土层情况,分别采用两种处治工艺:

(1) 墩体直径取 1.1~1.2 倍夯锤直径,墩体材料采用级配良好的块石、碎石等坚硬粗粒材料,最大粒径不大于 40 cm,含泥量不超过 7%。

(2) 墩顶铺设一层厚 60 cm 压实垫层,并铺设防水土工织物和高强土工布。压实垫层材料与墩体材料相同,粒径不大于 10 cm。防水土工织物可采用“两布一膜”,置于褥垫层中间。

### 3.2 处治结果及分析

#### 3.2.1 垫层强夯法

在试验区进行强夯夯沉量和地面隆起观测,夯沉量观测在夯锤边缘固定位置进行,地面隆起观测点布置在距夯点中心 2、3.5、5、6.5、8 m 处。根据观测数据绘制的逐点夯沉量曲线及地面隆起曲线分别见图 1、图 2。由图 1 可知:4 000 kN·m 强夯点夯至 10 击时,累计沉降量超过 1.58 m,已达到最后 2 击平均夯沉量小于 5 cm 的停夯标准。由图 2 可知:4 000 kN·m 强夯点夯时,原地面最大隆起位于夯坑边缘,最大隆起量约 18 cm;距夯点 3 m 以外变形隆起很小,隆起量均不超过 15 mm。

在强夯处治前后对试验区上覆土层取原状土样,取样位置位于标准贯入试验范围内。现场取样后采用蜡封法将土样封存,在实验室进行相关物理力学性质试验,结果见表 2。由表 2 可知:基岩上覆

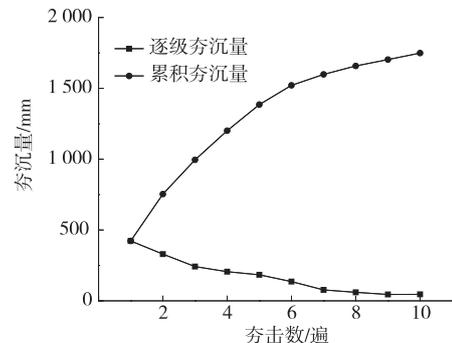


图 1 4 000 kN·m 强夯夯沉量与夯击数关系曲线

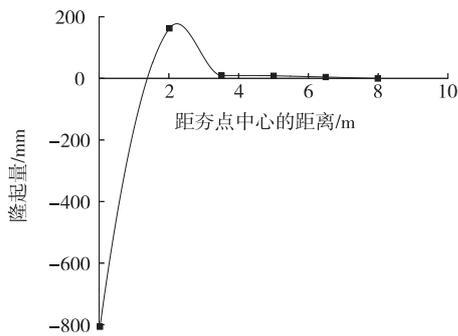


图2 4 000 kN·m强夯施工引起的地面隆起变形曲线

土层在经过 4 000 kN·m 强夯处治后,干密度、黏聚力均有所提高,含水率比天然含水率减小 5%,表明土体性质得到显著改善。

为进一步验证强夯处治效果,对 4 000 kN·m 垫层强夯区域处治前后土体进行标准贯入试验,共选取 5 个测区,每个测区布置 6 个测点,取其均值作为标准贯入试验结果(见表 3)。由表 3 可知:在垫层强夯后,原地面基岩上覆土层强度明显提高,提高幅度为 0.8~2.0 倍。

表2 强夯处治前后土体物理力学性质试验结果

时间	含水率/%	比重	块体密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )		孔隙比	饱和度/%	孔隙度/%	液限/%	塑限/%	塑性指数	液性指数	抗剪强度(快剪)	
			湿	干								摩擦角/(°)	黏聚力/kPa
处治前	32.8	2.74	1.86	1.4	0.95	93.9	48.9	43.8	25.7	18.1	0.39	12.75	32.4
处治后	27.8	2.74	1.92	1.5	0.82	92.6	45.1	42.6	25.5	17.1	0.13	12.82	87.2

表3 4 000 kN·m垫层强夯处理前后标准贯入试验结果

检测区域	N 值击数(N30 击数)均值		强度提升倍数
	处理前	处理后	
1	15.2	8.3	0.8
2	17.9	8.9	1.0
3	20.2	11.9	0.7
4	21.1	10.9	0.9
5	21.8	7.2	2.0

对 8 000 kN·m 垫层强夯处治区域进行标准贯入试验,试验结果见表 4。由表 4 可知:8 000 kN·m 夯击能对基岩上覆土层的处治效果比 4 000 kN·m 的差,可能是由于高能级强夯会使土体产生破坏,导致其抗剪强度不足。

对强夯(4 000 kN·m)后垫层进行固体体积率检测,结果见表 5。由表 5 可知:强夯试验区固体体积率可达到 81% 以上的设计要求。

表4 8 000 kN·m垫层强夯处治后标准贯入试验结果

检测区域	试验点深度/m	标贯击数/[击·(30 cm) <sup>-1</sup> ]	探杆长度/m	校正系数	标贯修正击数/[击·(30 cm) <sup>-1</sup> ]	标贯修正平均击数/[击·(30 cm) <sup>-1</sup> ]
1	2.70~3.15	9	3.3	0.992	8.9	
2	4.50~4.95	13	5.1	0.944	12.3	
3	6.40~6.85	19	6.9	0.902	17.1	13.67
4	8.60~9.05	17	9.3	0.855	14.5	
5	11.00~11.45	19	11.7	0.815	15.5	

表5 垫层强夯后碎石层固体体积率

检测区域	固体体积率/%	
	1# 点	2# 点
1	81.2	81.0
2	81.6	81.8
3	81.3	82.4

### 3.2.2 强夯置换墩法

对试验区强夯置换墩法处治前后土体进行标准贯入试验,结果见表 6。由表 6 可知:强夯置换墩法处治后地基承载力均满足规范要求,土层强度明显增大,提升幅度为 0.7~2.0 倍。强夯置换墩法对土

体的改良效果明显,提升幅度与垫层强夯法相当。

表6 强夯置换墩法处治前后标准贯入试验结果

检测区域	N 值击数(N30 击数)均值		强度提升倍数
	处理前	处理后	
1	12.5	7.2	0.7
2	18.3	7.6	1.4
3	19.6	6.5	2.0
4	15.8	6.5	1.4
5	18.9	6.7	1.8

对不同深度强夯置换墩法处治区域进行固体体积率检测,结果见表 7。由表 7 可知:各区域不同处

治深度土体的固体体积率均大于 81%，满足设计要求。表明该工艺处治效果可行，后期可推广应用。

表 7 强夯置换墩法处治后固体体积率检测结果

检测区域		固体体积率/%	
		1# 点	2# 点
1 区	7 m 强夯置换墩	84.6	84.1
	15 m 强夯置换墩	83.6	83.3
2 区	7 m 强夯置换墩	86.2	84.5
	15 m 强夯置换墩	83.7	82.1

### 4 结论

(1) 强夯后土层强度明显增大，提升幅度为 0.8~2.0 倍，且较深处土层强度增幅较大。

(2) 基岩上覆土层经过 4 000 kN·m 强夯处治后，干密度、黏聚力均有所提高，含水率比天然含水率减小 5%，且土层强度显著增强，固体体积率能达到 81% 以上的设计要求。8 000 kN·m 夯击能对基岩上覆土层的处治效果不好，其原因是高能级强夯会对土体产生破坏，导致土体抗剪强度不够。

(3) 强夯置换墩法处治后土层强度增大，提升幅度为 0.7~2.0 倍，固体体积率达到 82% 以上。

(4) 基岩上覆土层厚度在 2 m 以内时，采用换填处治，挖出土料可用于土面区封土及绿化用土；基岩上覆土层厚度小于 6 m 时，采用垫层强夯法处

治，点夯 2 遍加满夯 1 遍，点夯能级为 4 000 kN·m，满夯能级为 1 000 kN·m；点夯击数按 10~12 击和最后 2 击平均夯沉量小于 10 cm 进行双重控制。

### 参考文献:

[1] 侯森,任庚,韩黎明,等.承德机场高填方地基工后沉降预测[J].地下空间与工程学报,2017,13(增刊1):279-284.

[2] 郑刚,龚晓南,谢永利,等.地基处理技术发展综述[J].土木工程学报,2012,45(2):127-146.

[3] 张洁琦.某机场高填方道槽区快速沉降稳定关键技术[J].施工技术,2016,45(7):123-125.

[4] 李健,王海明,关新春.不同飞机荷载下机场跑道实测动力响应[J].科学技术与工程,2018,18(16):294-299.

[5] 吴红刚,冯文强,艾挥,等.山区机场高填方边坡工程实践与研究[J].防灾减灾工程学报,2018,38(2):385-400.

[6] 彭俊国,朱彦鹏,马效瑞.山区高填方机场土石混合料的强度实验[J].兰州理工大学学报,2019,45(4):120-125.

[7] 周利民.强夯置换法在机场地基中的研究应用[J].施工技术,2017,46(增刊2):202-206.

收稿日期:2020-04-09

\*\*\*\*\*

(上接第 71 页)

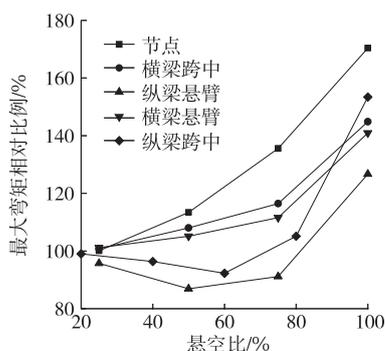


图 17 各工况下最大弯矩相对比例

(1) 锚头下方悬空导致所有梁体的弯矩绝对值都增大，悬臂端和跨中悬空导致部分梁体弯矩绝对值增大、部分减小。

(2) 相对于悬臂和跨中悬空，锚头下方悬空造成的框架最大弯矩绝对值增长程度较大，锚头下方悬空对梁体内力的影响大于悬臂悬空和跨中悬空，对梁体内力的影响大，为最不利悬空位置。

### 参考文献:

[1] 彭兴,姜睿,张玉芳,等.典型软弱破碎岩石边坡预应力锚索框架失效原因分析[J].铁道建筑,2016(3):104-107.

[2] 朱哈迺,汪会帮,尚岳全.边坡锚固中锚墩框架梁受力体系分析[J].中国公路学报,2004,17(1):20-23.

[3] 黄志毅.预应力锚索框架梁的内力计算与离心模型试验研究[D].成都:西南交通大学,2014.

[4] 马洪生.锚索框架梁加固边坡的静动模型试验及抗震设计方法[D].成都:西南交通大学,2016.

[5] 丁秀美,黄润秋,臧亚君.预应力锚索框架作用下附加应力的 FLAC3D 模拟[J].成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(4):339-345.

[6] 吕庆,孙红月,尚岳全,等.预应力锚固作用下破碎岩质边坡表层压缩效应[J].浙江大学学报(工学版),2006,40(12):2168-2173.

[7] 马洪生,黄志毅.公路边坡锚索框架梁内力计算及参数影响分析[J].路基工程,2015,40(3):38-41.

收稿日期:2020-07-02