

载荷试验在评价湿陷性土换填处理效果中的应用

王洪峰

(华北有色工程勘察院有限公司, 河北 石家庄 050021)

摘要 浅层平板载荷试验是测定地基土层承载力的核心检测方法, 其显著的优势在于试验受力条件与工程实际工况高度契合, 操作流程简单易用, 试验结果直观且便于技术人员理解与应用。结合刚果(金)南部湿陷性土地区换填地基处理方案, 利用浅层平板载荷试验的方法验证换填地基土承载力特征值, 检验地基处理效果。该方法作为一种直接可靠的原位测试手段, 在缺乏本地工程经验的地区, 为评价地基处理质量提供了关键依据。

关键词 载荷试验; 换填地基; 湿陷性土

中图分类号: TU413.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.19.002

0 引言

刚果(金)岩土勘察规范缺失、经验匮乏, 工程多参考中国标准。依托南部矿区建设项目, 针对Ⅱ级非自重湿陷性粉质黏土地基, 设计采用级配碎石换填处理。为验证处理效果, 采用浅层平板载荷试验检测换填后承载力。该方法受力条件与实际工况吻合, 结果直观可靠, 可为当地同类工程评价地基处理质量提供关键依据。

1 工程概况

拟建厂区位于刚果(金)南部某矿区内, 主要建筑物为浓密洗涤车间, 结构形式为钢结构, 基础形式为独立基础, 要求承载力特征值 f_{ak} 不小于 170 kPa。根据设计基础的埋深, 基础持力层位于②层粉质黏土。

1.1 场地地层土质概况

根据勘察报告成果, 本场地地层情况如下:

主要地层由人工填土、粉质黏土、含砾粉质黏土、砾砂、残积土、粉砂质泥岩等构成。自上而下分述如下:

①层人工填土: 灰褐色, 稍湿, 稍密, 以碎石土为主, 粒径 5 mm ~ 50 mm, 充填粉质黏土。该层层厚 0.2 m ~ 2.3 m。

②层粉质黏土: 红褐色, 硬塑, 稍有光泽, 干强度中等。该层层厚 1.2 m ~ 19.0 m。

③层含砾粉质黏土: 红褐色、黄褐色, 硬塑, 稍有光泽, 含角砾 10% ~ 20%, 砾径 2 mm ~ 5 mm 不等, 岩芯呈碎块状。该层层厚 0.80 m ~ 6.80 m。

③₁层砾砂: 灰白色、红褐色, 稍密, 湿, 砾径 2 mm ~

5 mm 不等, 含量 25% ~ 50% 不等, 砂质不纯, 粉质黏土充填, 主要矿物成分为石英、长石、白云石等。该层层厚 1.00 m ~ 11.70 m。

④层残积土: 母岩为白云质砂岩, 不见原岩结构, 风化成块石、碎石、角砾、砾砂、细砂等, 土质不均, 灰白色, 稍密~密实, 湿, 碎石、砾、砂的主要矿物成分为石英、长石和白云石等, 粉质黏土填充。该层层厚 3.00 m ~ 11.80 m。

④₁层粉质黏土: 紫红色、红褐色, 此层为粉砂质泥岩的残积土, 不见原岩结构, 风化成黏性土状, 可塑, 含黏土矿物。该层层厚 1.00 m ~ 15.00 m。

⑤层全风化白云质砂岩: 灰白色, 基本不见原岩结构, 岩芯呈碎石土状、砂土状, 局部岩芯呈短柱状, 主要矿物成分为长石、石英和白云石等。该层层厚 2.00 m ~ 11.00 m。

⑤₁层全风化粉砂质泥岩: 紫红色, 基本不见原岩结构, 岩芯呈泥柱状, 碎块状, 手掰易断, 手捻易碎, 含黏土矿物^[1]。

各天然地基土层承载力特征值见表 1。

1.2 场地地基土湿陷性情况

根据勘察报告成果, ②层粉质黏土具有湿陷性, 场地为Ⅱ级非自重湿陷性场地。

1.3 地基处理方法

由于基础持力层具有湿陷性, 根据勘察报告②层粉质黏土具有湿陷性, 未经处理不得作为持力层, 且天

作者简介: 王洪峰(1991-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 岩土工程。

表 1 场地主要土层承载力特征值

土层序号	土层名称	承载力特征值 (kPa)
②	粉质黏土	130
③	含砾粉质黏土	130
③ ₁	砾砂	140
④	残积土	170
④ ₁	粉质黏土	160
⑤	全风化白云质砂岩	230
⑤ ₁	全风化粉砂质泥岩	220

然地基承载力不能满足建筑物荷载要求, 设计院采用换填法进行地基处理。

处理方法: 基底之下土层采用碎石土或级配碎石换填层, 换填深度不小于 1 m, 换填宽度每边宽出基础边 0.6 m, 碎石土或级配碎石分层夯实, 每层厚度 250 mm ~ 300 mm, 压实系数 0.97^[2]。

2 浅层平板载荷试验概况

2.1 试验要求

1. 在浓密机车间场地进行 6 个浅层平板载荷试验点, 具体位置覆盖整个场地, 且布置于独立基础所在位置。

2. 按规范要求加载分级为 8 级, 加载方式采用慢速维持荷载法。

3. 选用的承压板为方形刚性承压板, 面积为 1.0 m²。

4. 数据采集: 每一级荷载成功加载后, 根据时间的间隔, 第一次到第三次的加载时间为 10 min, 第四次和第五次的加载时间为 15 min, 后续试验的加载间隔为 30 min 读取一次沉降变形量, 每一级加载中, 在两小时内, 每 1 h 的沉降变形量少于 0.1 mm 时, 即可判断为稳定, 进行下一次及的加载试验。

5. 终止的加载条件如下:

(1) 在承压板附近的地层出现明显被从侧向挤出;
(2) 沉降量出现陡然增加, 压力和沉降的变化曲线出现陡然下降段; (3) 在单一加载等级下, 二十四个小时内均未出现稳定段; (4) 沉降变形量 s 和承压板的宽度或原型承压板的直径的比值等于或大于 0.06 时;
(5) 如果进行的是验证性的试验, 但达到设计规范所要求的最大加载值时。当 (1) ~ (3) 之一时, 其上一级的加载量即可作为极限荷载。

6. 要求最终确定换填土层承载力 f_{ak} 不小于 170 kPa。

2.2 试验装置及设备

试验装置由加荷系统、堆重平台反力装置、数据控制采集系统组成。试验加荷、补压、卸荷、荷载量测、沉降量测均由静载荷测试分析仪自动控制完成, 以获取荷载~沉降 ($p \sim s$) 关系曲线^[3]。主要设备为 RS-JYC 桩基静载自动测试分析仪、500 kN 油压千斤顶、全自动电动油泵、堆重平台反力装置、基准梁、1.0 m² 承压板等。

1. 压力传感器的测量误差为 0.5%, 位移传感器的测量误差为 0.1% FS, 分辨率为 0.01 mm。

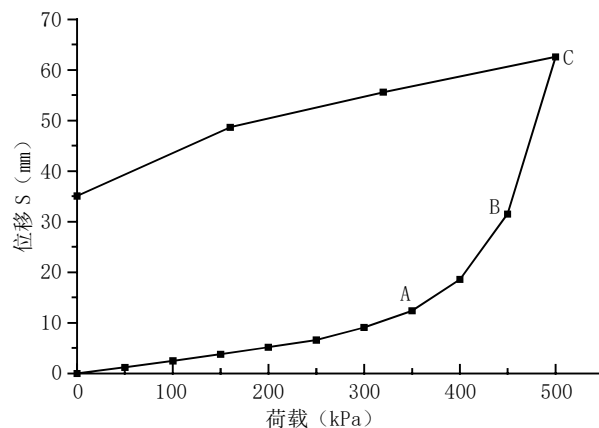
2. 最大加载时的极限压力不大于千斤顶、油泵、油管额定压力的 80%。

3. 反力装置可提供的最大反力大于最大加载量的 1.2 倍。

2.3 试验点承载力确定方法

根据规范要求, 一般情况下, 首先要绘制压力和沉降的变形曲线, 如果有特殊需要, 还需要提供每一级的加载作用下的沉降量与观测时间以及地表变形情况的变化曲线。

典型的压力沉降变形曲线会出现明显的三个阶段, 如图 1 所示。

图 1 典型静力载荷试验的 $p-s$ 曲线 (沉降变形曲线)

其中, 0 ~ A 段称为弹性变形阶段, 该段变化曲线的主要特征为接近线性变化, 可以反映试验土层的弹性变化特征, A 点为比例界限, 该点所对应的荷载 P 称为临塑荷载。

A ~ B 段称为塑性变形阶段, 该段的变形特征为曲线的曲率明显增大, 说明试验土层从弹性变形已经过渡到了弹塑性变形阶段, 并趋向于进入破坏。

BC 段称为破坏变形阶段, 该段的变形特征为出现了陡降趋势, C 点所对应的加载量为破坏荷载, 在该级

荷载作用下压板的沉降通常不能稳定或总体位移太大, C点荷载的前一级荷载(不一定是B点)称为极限荷载^[4]。

如果出现绘制出的沉降变形曲线的直线段未通过坐标原点0, 则可以根据直线段的变化趋势确定出曲线的起始点, 并对沉降变形的曲线进行适当的修正。

建筑物的地基应有足够的强度和稳定性, 也就是说, 地基要有足够的承载能力和抗变形能力。确定地基的承载力时, 既要控制强度, 一般至少确保安全系数不小于2, 又要确保建筑物不产生过大沉降。但具体到各类工程时侧重点有所不同, 这与工程的使用要求和环境有关。

《建筑地基检测技术规范》(JGJ 340-2015)中4.4.3对于单个试验点的土(岩)地基承载力特征值确定应符合下列规定:

1. 当p-s曲线上有比例界限时, 应取该比例界限所对应的荷载值。

2. 地基土平板载荷试验, 当极限荷载小于对应比例界限荷载值的2倍时, 应取极限荷载值的一半; 岩石载荷试验, 当极限荷载小于对应比例界限荷载值的3倍时, 应取极限荷载值的1/3。

3. 当满足该规范第4.3.5条第5款(加载至要求的最大试验荷载且承压板沉降达到相对稳定标准)情况, 且p-s曲线上无法确定比例界限, 承载力又未达到极限时, 地基土平板载荷试验应取最大试验荷载的一半所对应的荷载值, 岩石载荷试验应取最大试验荷载的1/3所对应的荷载值。

4. 当按相对变形值确定天然地基及人工地基承载力特征值时, 可按表2规定的地基变形取值确定, 且所取的承载力特征值不应大于最大试验荷载的一半。当地基土性质不确定时, 对应变形值宜取0.010b; 对有经验的地区, 可按当地经验确定对应变形值。

表2 按相对变形值确定天然地基即人工地基承载力特征值

地基类型	地基土性质	特征值对应变形值 s_0
天然地基	高压缩性土	0.015b
	中压缩性土	0.012b
	低压缩性土和砂性土	0.010b
人工地基	中、低压缩性土	0.010b

本次浅层平板载荷试验的目的是验证换填土层地基承载力特征值 $f_{ak} > 170$ kPa, 因此本次最大试压荷载为340 kPa, 若加载至340 kPa未达到换填土层的极

限荷载, 即表明换填土层承载力特征值 $f_{ak} > 170$ kPa, 换填效果达到预期目的^[5]。

2.4 浅层平板载荷试验成果分析

本次浅层平板载荷试验针对场区②层粉质黏土换填土层开展检测, 共布设6个试验点, 均匀覆盖车间独立基础区域。试验采用慢速维持荷载法, 分8级加载, 最大试验荷载设定为340 kPa, 用以验证地基承载力是否满足170 kPa设计指标。试验全程严格规范操作, 数据采集准确可靠。各级加载条件下, 各试验点沉降变形稳定, 未出现沉降突增、土体侧向挤出等失稳问题。加载至340 kPa时, 换填碎石土层荷载-沉降曲线整体呈线性弹性变化, 无明显拐点、比例界限及极限破坏特征。依据《建筑地基检测技术规范》(JGJ 340-2015)判定, 换填地基承载力特征值大于最大试验荷载的一半, 即大于170 kPa。试验结果表明, 级配碎石换填处理效果良好, 地基承载力满足工程设计要求^[6]。

3 结束语

本文采用浅层平板载荷试验, 对刚果(金)南部矿区湿陷性土换填地基的处理效果开展检测验证。试验结果表明, 经级配碎石换填夯实处理后的地基承载力特征值满足170 kPa的设计要求, 地基加固效果良好, 可为当地同类湿陷性土地基处理工程提供参考。本次仅为验证性试验, 无法精准确定地基极限承载力。未来可丰富原位试验数据, 建立本地化承载力评价体系, 进一步探究换填地基长期变形与水文稳定性, 完善区域岩土工程设计依据。

参考文献:

- [1] 李云瑜, 贾世平, 苏天涛. 湿陷性黄土地区多桩型挤密桩复合地基加固效果对比研究[J]. 兰州理工大学学报, 2024, 50(05):147-152.
- [2] 余波江. 湿陷性黄土地区工程地基基础方案优选分析[J]. 安徽建筑, 2024, 31(07):131-133.
- [3] 师晨辉. 湿陷性黄土场站刚-柔性桩复合地基承载特性研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2024.
- [4] 徐文涛. 湿陷性黄土地基高能级增强夯击试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2023.
- [5] 孙晨东. 浸水状态下湿陷性黄土地区长短桩基础负摩阻力研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2023.
- [6] 钟琳. 湿陷性黄土可控劈裂注浆桩单桩承载力特性研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2022.