

文章编号: 1007-2993(2026)03-0351-07

大厚度回填场地地基处理技术分析

韩树军¹ 李 博¹ 张海东² 高 越²

(1. 中铁长春东北亚博览房地产开发有限公司, 吉林长春 130000; 2. 辽宁省建筑设计研究院岩土工程有限责任公司, 辽宁沈阳 110005)

【摘要】 长春市某大型博览中心项目占地面积约 50 万 m², 建设场地原始地形起伏较大, 最大高差约 20 m, 场坪需做挖高填低整平处理, 按设计标高整平后场地填土厚度分布不均, 填土最大厚度达 16 m。填方区需根据拟建功能及承载要求进行回填整平与地基处理。结合场地地质条件、填方厚度及拟建(构)筑物使用功能, 秉持绿色地基的设计理念, 分区域采用强夯、冲击碾压、碎石桩、搅拌桩及灰土垫层等组合形式进行地基处理。地基处理施工检测、建筑工后沉降监测及项目运行状况表明, 本项目大厚度回填土地基处理效果满足设计与规范要求, 解决了大厚度回填土的施工质量及工后沉降问题, 实现了安全可靠、经济合理的目标, 可为类似工程提供参考。

【关键词】 复杂场地; 大厚度; 地基处理

【中图分类号】 TU472

【文献标识码】 A

doi: 10.20265/j.cnki.issn.1007-2993.2024-0596

Advanced technology for foundation treatment of large thickness backfill

HAN Shujun¹ LI Bo¹ ZHANG Haidong² GAO Yue²

(1. China Railway Changchun Northeast Asia Expo Real Estate Development Co., Ltd., Changchun 130000, Jilin, China; 2. Liaoning Architectural Design Institute Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shenyang 110005, Liaoning, China)

【Abstract】 The project of a large-scale exhibition center in Changchun City covers an area of approximately 500,000 square meters. The original terrain of the construction site is undulating with a maximum height difference of about 20 meters. The apron needs to be leveled by cutting and filling to achieve the designed elevation. After leveling, the thickness of the fill soil on the site is uneven, with the maximum thickness reaching 16 meters. The fill area needs to be backfilled, leveled and have its foundation treated according to the intended function and bearing requirements. Combining the site's geological conditions, fill thickness, and the intended function of the planned buildings (structures), applying the concept of green foundation, the foundation treatment is carried out in different areas using a combination of methods such as dynamic compaction, impact rolling, crushed stone piles, mixing piles, and lime-soil cushion layers. The construction inspection of foundation treatment, post-construction settlement monitoring of the building, and project operation status all indicate that the treatment effect of the thick backfilled foundation for this project meets the design and specification requirements. It has solved the problems of construction quality and post-construction settlement of thick backfilled soil, achieved the goals of safety, reliability, economic rationality, and can provide a reference for similar projects.

【Key words】 complex site; large thickness; foundation treatment

0 引言

为满足工程建设的需要, 低洼场地需采用回填处理以满足竖向设计的要求, 特别是在地形起伏较大的地区, 常常采用挖高填低的方式形成建设用地。我国在大厚度回填土地基处理方面有许多工程实践及相关研究^[1], 研究方向多为高填方路基、机场地基等, 回填材料多为粗颗粒土, 而针对细粒土填料的研究较少^[2-3], 并且对于大厚度回填土的研究, 大多侧重于理

论预测和沉降机理研究^[4], 结合现场实际情况进行地基处理方法的研究工作往往受场地条件的限制, 开展较少。

此外, 场地回填面临诸多技术性问题需要在回填处理设计前予以充分考量, 更需要在项目实施的全过程中贯彻可持续发展理念^[5], 这包括: (1) 填料的选择应性能良好且因地制宜; (2) 地基处理方法的选择应合理且符合现场条件; (3) 填筑体强度、沉降及稳

作者简介: 韩树军, 男, 1981 年生, 大学本科, 高级工程师, 主要从事岩土工程及结构工程方面的研究。E-mail: 48855135@qq.com
通信作者: 高 越, 女, 1991 年生, 硕士, 工程师, 主要从事岩土工程方面的研究。E-mail: gaoyue0@126.com

定性应满足设计要求;(4)特殊环境下,填筑体应耐久可靠,满足耐久性的要求^[6]。

本文结合具体工程,就复杂地质环境条件下的场地回填处理进行了探究,选取场地内挖方区的粉质黏土作为填料进行场地回填,采取一系列针对性措施,解决了大厚度回填土施工质量及工后沉降等问题,以期类似工程提供参考。

1 工程概况

1.1 项目基本概况

某博览中心项目位于长春市,项目主要由展厅和室外展场构成,项目用地面积 50.23 万 m²,总建筑面积 34.16 万 m²,其中地上建筑面积 29.91 万 m²,地下建筑面积 4.25 万 m²,项目规划平面图见图 1,拟建建筑基本设计情况见表 1。

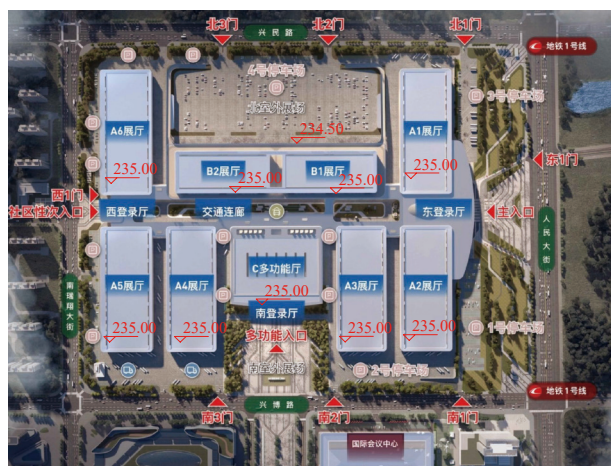


图 1 建筑地面标高示意图

Fig. 1 Diagram of building ground elevation

表 1 拟建建筑基本设计情况

Tab. 1 Basic information of the building

建筑物名称	地坪设计标高/m	地基处理顶标高/m	基础形式	处理后的承载力/kPa
博览中心	235.00	234.60	复合地基+桩基础	120
室外展场	234.50	233.60	复合地基	120

拟建场区属波状台地地貌。场地原为村落,拆迁后场地存在生活垃圾、建筑垃圾、废弃水井、鱼塘、树木等。场地地势北高南低,地形起伏较大,鱼塘区塘底高程为 219.00~224.50 m;场地一般高程 220.30~239.00 m。按场地竖向规划设计(见图 1),需挖高填低对场地进行整平处理,最大挖方深度约为 8 m,挖方量约 83 万 m³,最大填方深度约为 16 m,填方量约 112 万 m³。同时需要对展馆地坪及室外地坪进行回填地基处理。

1.2 气候条件

拟建场区气候属欧亚大陆东部中温带大陆性半

湿润-半干旱季风气候,年平均气温 4.1~4.9℃,7月份平均气温 23℃,1月份平均气温为-17℃。标准冻结深度为 1.70 m,冻融周期较长。

1.3 工程地质及水文地质条件

拟建场地自上而下地层依次为:杂填土①、粉质黏土②、有机质粉质黏土②₁(淤泥仅在鱼塘区揭露)、粉质黏土③、全风化砂质泥岩④、全风化砂岩④₁、强风化砂质泥岩⑤、强风化砂岩⑤₁、中等风化砂质泥岩⑥。场地典型地质剖面见图 2。

其中回填材料主要为第②层粉质黏土:黄褐色,可塑状态,中压缩性,具有冻胀性,冻胀等级为 III 级冻胀,该层土的物理力学性质见表 2。

场地地下水类型属于上层滞水,主要赋存于填土及粉质黏土层,分布不均,水量不大,水位随钻孔地面高程变化而起伏,未形成统一水面。地下水主要受大气降水补给,通过地下径流和地表蒸发进行排泄,且场地地下水位随季节变化,一般 6—9 月为丰水期,水位年变化幅度为 1.00~2.00 m。

1.4 地基处理的设计要求

建筑物区域需满足地基承载力、变形^[7]和稳定性要求。场区(含建筑室内外)各场地的荷载类型及地基处理设计要求见表 3。

2 地基处理方案比选

2.1 常用地基处理方式

当前我国地基处理技术的发展已较为成熟,常用的地基处理方式包括:换填法、振冲碎石桩法、灰土挤密桩法、水泥粉煤灰碎石桩法、水泥搅拌桩法、冲击碾压法、强夯法和强夯置换法等^[7]。从施工效率和加固效果出发,对于大面积回填场地通常采取冲击碾压或强夯的方式进行地基处理,必要时配合其他的地基处理方式进行补充加固^[8]。

2.2 回填材料的选择

选择适宜的回填材料是保证回填工程质量的关键因素,回填材料的选择应考虑以下因素:

(1)经济性

从经济角度讲,填料最好就地取材,本工程采用挖方区土料作为回填材料,可大大降低工程造价。

(2)绿色环保

采用挖方区土料作为回填材料,不仅可以减少土方运输的能量消耗和排放,还能减少对原土地资源的破坏,最大限度地节约资源、保护环境、减少污染。国家大力提倡绿色发展,此类回填材料符合绿色建筑、绿色岩土工程的发展趋势^[9]。

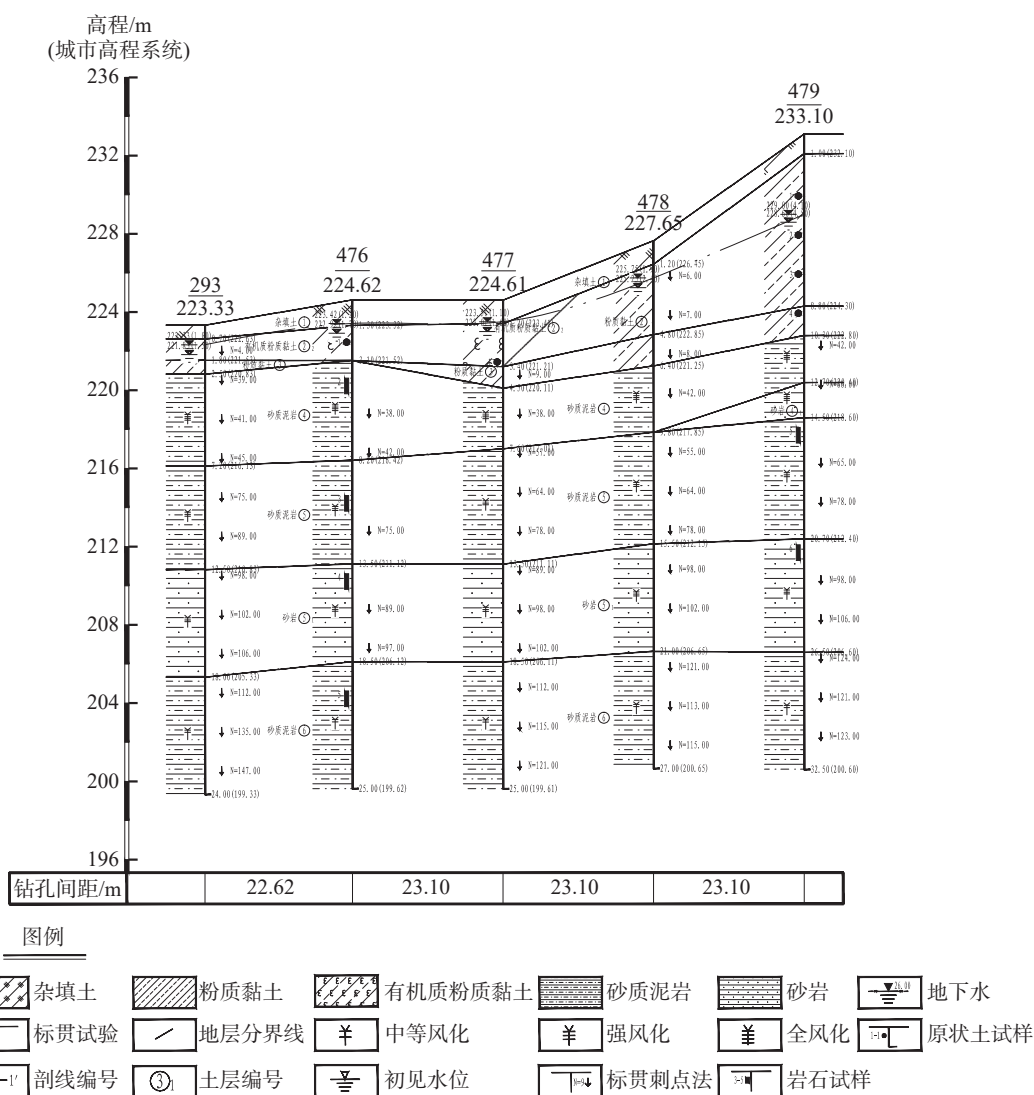


图 2 典型地质剖面

Fig. 2 Typical geological profile

表 2 回填材料主要物理力学指标

Tab. 2 Main physical and mechanical indicators of backfill materials

天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	孔隙比 e	天然含水率 $w/\%$	塑限含水率 $w_p/\%$	最优含水率 $w_{op}/\%$	冻胀 类别
19.3	0.790	27.6	21.5	20.8	冻胀

表 3 场区的荷载类型及地基处理设计要求

Tab. 3 Load types of the site and design requirements for foundation treatment

区域	荷载 /kPa	承载力 /kPa	沉降 /mm
室内展厅、室外展场、室外重型车道路	30	120	200
消防通道区域	25	120	
室外非重型车道路区域活荷载	10	120	

(3)可靠性

回填材料应具有良好的物质组成且性能稳定,

不应使用冻土、湿陷性土、膨胀土、污染性土及有机质土含量大于 5% 的土料作为填料^[10]。优质的填料一般为级配良好的砂或碎石土及性能稳定的山皮石、粉煤灰、矿渣等。本场地挖方土料为粉质黏土,采用素填土作为填方地基的填料,不会因粒径过大而导致压不密实的情况,其压实效果易于管控。

2.3 地基处理方法的选择

(1)对于鱼塘底部的淤泥,采用振冲碎石桩的方法在淤泥层内设置排水通道,对淤泥进行挤密并加速排水固结,从而控制工后沉降,也为组合地基处理创造条件,防止淤泥在上部荷载作用下产生较大的沉降。相比于将淤泥挖除并换填的方法,碎石桩的方法能够减少因开挖引起的鱼塘侧壁土体坍塌或需要采取支护措施,且减少弃土量。

(2)对于不同厚度的回填土区分别采用强夯及冲击碾压的处理方式。强夯法对于回填土的处理深度

较大,冲击碾压适用于每层填土厚度 ≤ 1.0 m的情况,因此回填厚度 > 3 m的区域,采用分层强夯处理,每层厚度 ≤ 4 m,单击夯击能为 $2000 \text{ kN}\cdot\text{m}$;对于回填厚度 ≤ 3 m的区域,采用 25 kJ 型冲击式压路机进行分层冲击碾压处理,每层厚度 ≤ 1.0 m。施工时应控制每层填土的摊铺厚度、含水率、填料的成分。分层压实有利于控制压实填土的质量。分层强夯能夯实回填土,有效地减小地基变形,并且后填的土层可对下方填土起到一定预压作用^[11]。

(3)对于地基变形要求较高的室内展厅、室外展场、室外重型车道路区及管线区,在强夯回填处理的基础上,增设搅拌桩处理,以提高地基抵抗变形的能力^[12]。

(4)对于建筑物及其周边 6 m 范围内,在强夯及冲击碾压处理的基础上,增设 300 mm 厚 $3:7$ 灰土垫

层对地基处理顶部进行封闭处理,灰土垫层选用 $20 \sim 25 \text{ t}$ 振动压路机进行压实,以阻止地表水入渗,对于已完成的回填土地基起到保护作用^[13]。

综上所述,单一的处理方式无法同时满足大厚度回填土地基处理的承载力及变形要求。因此需根据项目实际情况及地质条件将场地分解为多个工况,对每个工况采取最有效的地基处理方式进行处理,以达到最佳的地基处理效果。经多轮方案优化比选论证后,拟建场地分区采用组合形式的地基处理方案,具体设计方案见下文。

3 地基处理设计方案

根据场区地质条件及建筑物的使用功能,将整个场区按照填方高度及填方区域划分为9个地基处理分区,分别为A-1, A-2, A-3, B-1, B-2, B-3, C-1, C-2, C-3(见图3),各区域对应的地基处理方式见表4。

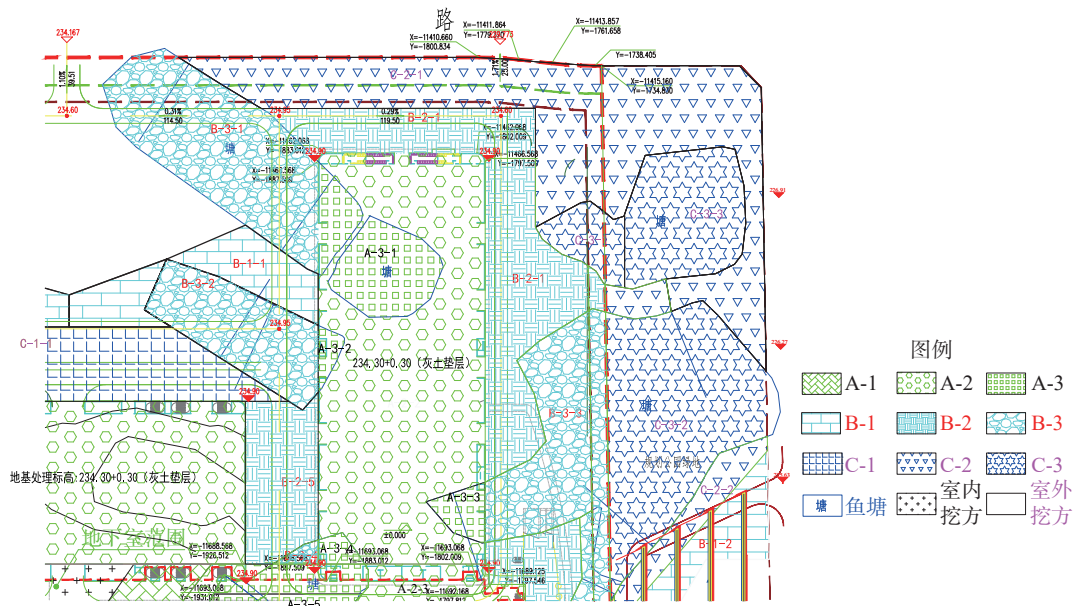


图3 地基处理平面布置图(局部代表性区域)
Fig. 3 Foundation treatment layout plan (Locally representative area)

表4 各区域对应的地基处理方式
Tab. 4 Foundation treatment methods for each area

处理区域	分区	地基处理方式
室内展厅	A-1: 填方厚度 < 3 m的区域	分层冲击碾压+灰土垫层
	A-2: 填方厚度 ≥ 3 m的区域	分层强夯+搅拌桩+灰土垫层
	A-3: 鱼塘范围填方厚度 ≥ 3 m的区域	碎石桩+分层强夯+搅拌桩+灰土垫层
室外重点区域(室外展场、室外重型车道路区及管线区)	B-1: 填方厚度 < 3 m的区域	分层冲击碾压
	B-2: 填方厚度 ≥ 3 m的区域	分层强夯+搅拌桩
	B-3: 鱼塘范围填方厚度 ≥ 3 m的区域	碎石桩+分层强夯+搅拌桩
室外非重点区域(室外停车场、室外道路及绿化区)	C-1: 填方厚度 < 3 m的区域	分层冲击碾压
	C-2: 填方厚度 ≥ 3 m的区域	分层强夯
	C-3: 鱼塘范围填方厚度 ≥ 3 m的区域	碎石桩+分层强夯

选取具有代表性的 A-3-1 区进行详细说明,该区域地基处理剖面示意图见图 4。A-3-1 区原为鱼塘,塘底为淤泥质土,鱼塘内淤泥厚度约 3 m,塘底标高 222.40 m,该区域位于展馆内部,需要将填土回填至 234.60 m,回填厚度 12.20 m。由下至上采用的地基处理方式依次为:

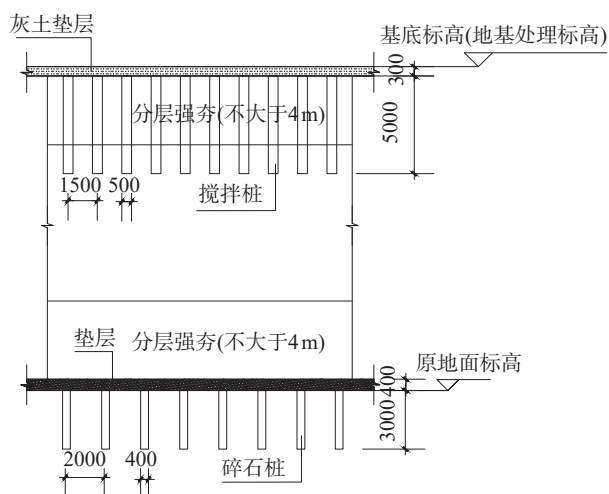


图 4 A-3-1 区地基处理剖面图(单位:mm)
Fig. 4 Foundation treatment cross-section diagram of A-3-1 (Unit: mm)

(1)先在鱼塘底部铺设 400 mm 厚碎石垫层,一方面满足施工机械行走的要求,另一方面与碎石桩形成联通的排水通道。接着施工碎石桩,碎石桩桩径 400 mm,有效桩长大于 3.00 m 且穿过淤泥层 500 mm,采用正方形的布桩方式,桩间距为 2.00 m。碎石桩及碎石垫层中的大块填料应避开主体桩基础的桩位,以免对主体桩基础施工造成影响。

(2)采用场地内的素土进行回填,分 3 层进行回填及强夯处理,每层填土厚度≤4 m,压实度不小于 92%。

(3)强夯至 234.30 m 后,于强夯土层顶部施工搅拌桩,搅拌桩桩径 500 mm,桩长 5.00 m,采用正方形布桩,桩间距 1.50 m。对地面以下 5 m 范围内的主要受力层土体进一步加固。

(4)最后在搅拌桩顶部铺设 300 mm 厚 3:7 灰土垫层至 234.60 m。处理范围为建筑物及其周边 6 m 区域。

4 地基处理效果

4.1 施工质量检测

A-3-1 区地基处理施工过程中,分别对每层填土的压实度进行检测;地基处理施工结束后,对地基的压实度、均匀性及承载力进行检测。

(1)压实度监测

采用环刀现场取样,取样位置为每层强夯土体

中部,对每层填土的压实度进行检测,检测结果表明,强夯处理后各土层的压实度均>92%,满足设计要求(见表 5)。

表 5 压实度检测成果表
Tab. 5 Foundation treatment methods for each area

取样位置	平均干密度 (g·cm ⁻³)	最大干密度 (g·cm ⁻³)	压实度 /%
第一层224.30 m	1.68	1.78	94.3
第二层228.30 m	1.66	1.78	93.2
第三层232.00 m	1.66	1.78	93.2

(2)均匀性检测

采用轻型动力触探对强夯处理后的地基均匀性进行检测,检测结果表明, $N_{10(\min)}=17$ 击, $N_{10(\max)}=20$ 击,平均击数 18.5 击,均匀性较好。

(3)承载力检测

采用平板载荷试验对强夯处理后及搅拌桩处理后的地基承载力进行检测,结果见表 6、表 7。

表 6 强夯地基承载力检测成果表
Tab. 6 Test results of dynamic compaction foundation bearing capacity

点位	单桩复合地基 承载力/kPa	试验最大 荷载/kPa	载面板 面积/m ²	最大沉降量 /mm	极限承载力 /kPa
S1	120	240	2.25	9.43	>240
S2	120	240	2.25	11.26	>240
S3	120	240	2.25	13.85	>240

表 7 单桩复合地基承载力检测成果表
Tab. 7 Test results of bearing capacity for single pile composite foundation

桩号	夯实地基 承载力/kPa	试验最大 荷载/kPa	载面板 面积/m ²	最大 沉降量/mm	极限承 载力/kPa
C1234	120	240	2.25	17.21	>240
A492	120	240	2.25	11.11	>240
A418	120	240	2.25	9.34	>240

4.2 沉降量的估算

本工程填方地基的沉降量主要包括:①填土在自重应力下的固结沉降;②填土在附加荷载下的沉降。根据 A-3-1 区的地基处理后检测结果,每层土的压缩模量可达 10 MPa,填土重度按 18 kN/m³ 计,地面大面积均布荷载按 30 kPa 计。不考虑地面荷载随深度的衰减作用。采用沉降计算的简化方法^[3],按照式(1)估算填方地基的沉降量。

$$s_s = \sum \frac{P_{z+p0}}{E_s} \times h \quad (1)$$

式中: s_s 为地基最终压缩沉降量, mm; p_z 为层中点处的自重应力, kPa; p_0 为层中点处的附加应力, kPa; E_s 为层中点处的压缩模量, MPa; h 为地基土的厚度, m。

经过估算, A-3-1 区室内地坪的沉降量为 170.56 mm(见表 8), 满足设计及规范对于地基变形的要求。

表 8 沉降量估算表
Tab. 8 Settlement estimation

计算位置	p_z /kPa	p_0 /kPa	E_s /MPa	h /m	s_s /mm
填方地基层底	109.8	30	10	12.20	170.56

4.3 施工后的沉降观测

沉降监测于填方地基处理后进行, 由于施工场地所限, 沉降数据采集线临时设在填土表层土体中。截至目前, 地基沉降变形已趋于稳定, 沉降-时间关系曲线如图 5 所示。

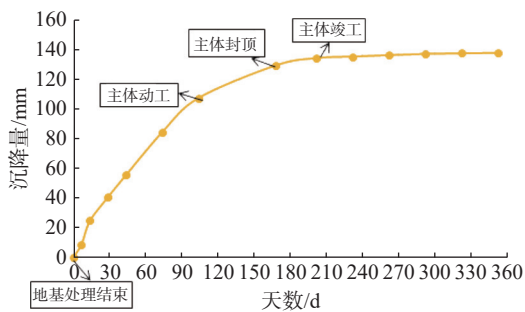


图 5 沉降-时间关系曲线
Fig. 5 Observed settlement with time

A-3-1 区域最大沉降量为 138.5 mm, 沉降变形在前 6 个月变化较快, 从第 7 个月开始逐渐趋于稳定。

4.4 运营期间的使用情况

该博览中心于 2023 年建成并投入使用, 截至目前已成功举办了多场国际性展会。运营期间未发现地面沉降或结构裂缝等现象, 回填土处理后的工后沉降在允许范围内, 验证了本工程地基处理的安全性及可靠性。

5 结论

(1) 在填料选取方面, 秉持绿色地基理念, 就地取材, 采用场地挖方区粉质黏土作为回填土料, 在确保回填土质量的前提下, 极大地节约了工程成本和施工周期。

(2) 在地基处理方式的选择上, 提出了更为精细化的分区处理方式: 根据填土厚度划分填土的压(夯)实方式, 对于填土厚度 ≥ 3 m 的区域采用强夯的处理

方式, 对于填土厚度 < 3 m 的区域采用冲击碾压的处理方式; 根据建筑物的重要性及承载力或变形要求, 增设搅拌桩及灰土垫层的处理方式; 针对特殊的鱼塘区域, 采用碎石桩加速塘底淤泥的排水固结; 采取强夯联合碎石桩、搅拌桩、灰土垫层的组合地基处理方案, 解决了大厚度的回填土地基的工后沉降问题。

(3) 填土地基处理施工检测、建筑工后沉降监测及项目运行状况表明, 本项目大厚度回填土地基处理效果满足设计与规范要求, 解决了大厚度回填土的施工质量及工后沉降问题, 实现了安全可靠、经济合理的目标, 可为类似工程提供参考。

参考文献

- [1] 王林, 薛钊, 陈波. 复杂场地及地质条件下地基处理技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(17): 208-210. (WANG L, XUE Z, CHEN B. Foundation treatment technology under complex site and geological conditions[J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2024(17): 208-210. (in Chinese))
- [2] 曹光棚, 宋二祥, 徐明. 山区机场高填方地基工后沉降变形简化算法[J]. 岩土力学, 2011, 32(S1): 1-5, 26. (CAO G X, SONG E X, XU M. Simplified calculation methods of post-construction settlement of high-fill foundation in mountain airport[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(S1): 1-5, 26. (in Chinese))
- [3] 周涌泉. 高填方路基施工关键技术研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(11): 5-8. (ZHOU Y Q. Research on key technologies for high fill roadbed construction[J]. Journal of Highway and Transportation Research (Applied Technology Edition), 2020, 16(11): 5-8. (in Chinese))
- [4] 张国龙. 高填方地基沉降试验研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016. (ZHANG G L. Experimental study on the settlement mechanism of high filled foundation[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016. (in Chinese))
- [5] 董鹏程, 汤伟, 郭胜娟. 某高填方地基处理设计[J]. 土工基础, 2021, 35(4): 434-437. (DONG P C, TANG W, GUO S J. Ground improvement design of a large fills[J]. Soil Engineering and Foundation, 2021, 35(4): 434-437. (in Chinese))
- [6] 顾素恩. 复杂环境下场地形成工程中地基处理研究[D]. 南京: 东南大学, 2018. (GU S E. Research on foundation treatment of site formation engineering under complex environment[D]. Nanjing: Southeast University, 2018. (in Chinese))
- [7] 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. (ZHENG G, GONG X N, XIE Y L, et al. State-of-the-art techniques for ground improvement in China[J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(2): 127-146. (in Chinese))
- [8] 杨校辉. 山区机场高填方地基变形和稳定性分析 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2017. (YANG X H. Analysis of foundation deformation and stability of high fill of airport in mountainous area[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2017. (in Chinese))
- [9] 秦 旋, 荆 磊. 绿色建筑全生命周期风险因素评估与分析: 基于问卷调查的探索 [J]. 土木工程学报, 2013, 46(8): 123-135. (QIN X, JING L. Risk ranking and assessment in the whole life cycle of green building: an empirical investigation from construction industry[J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46(8): 123-135. (in Chinese))
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑地基处理技术规范: JGJ 79—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013. (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for ground treatment of buildings: JGJ 79—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013. (in Chinese))
- [11] 焦永伟, 赵鹏涛, 李航天, 等. 分层强夯法在某地区高填方场地中的应用研究 [J]. 勘察科学技术, 2023(5): 42-45,50. (JIAO Y W, ZHAO P T, LI H T, et al. Research on application of layered dynamic compaction method in high fill sites in a certain area[J]. Site Investigation Science and Technology, 2023(5): 42-45,50. (in Chinese))
- [12] 杜清超, 刘海源, 李成芳. 组合地基处理技术在高填方建筑场地中的应用 [J]. 重庆建筑, 2018, 17(8): 47-49. (DU Q C, LIU H Y, LI C F. Application of combined foundation treatment technology in high filling sites[J]. Chongqing Architecture, 2018, 17(8): 47-49. (in Chinese))
- [13] 高 阔. 严寒地区大面积深厚回填土地基处理关键技术 [J]. 工程质量, 2024, 42(2): 25-30. (GAO K. Key technologies for large area deep backfill foundation treatment in severe cold regions[J]. Construction Quality, 2024, 42(2): 25-30. (in Chinese))

收稿日期: 2024-12-20