



大型垃圾回填坑地基处理技术在园博园湿地建设的应用

霍 铮¹ 刘学燕²

(1 北京市丰台区永定河管理所 100165 2 北京市水利规划设计研究院 100048)

摘要 根据永定河生态修复过程中对河道补水水质、水量的要求，结合永定河丰台段的地质条件，建设人工湿地对永定河园博湖水体进行循环净化。通过大型垃圾回填坑地基处理技术的应用，使得园博园湿地的建设成为可能；并通过运行管理，提出了在后期维护管理过程中运行及监测重点，对人工湿地工程在严重缺水城市建设时的选址提供了新的思路。

关键词 人工湿地 地基处理 生态修复 水源净化

中图分类号 X53; X524 **文献标志码** B

文章编号 1673-4637(2015)06-0011-05

永定河是北京的母亲河，但 20 世纪 80 年代以来由于北京水资源匮乏，永定河三家店以下河道逐渐断流、干涸，永定河生态环境日趋恶劣。为改变这一局面，北京市逐步实施永定河生态环境改善工程，永定河丰台段自 2010 年起先后建设了宛平湖、晓月湖和园博湖(三湖)。但永定河的生态修复，水源是根本制约因素^[1]，因此再生水成为了三湖主要的补水水源。由于现状再生水质满足不了三湖功能需要，因此建设园博园湿地以提升再生水质。由于条件所限，园博园湿地建设范围均为历史遗留下来的采砂坑，后期回填土至现状地面高程。本文针对园博园湿地地基处理的研究，提出大型垃圾回填坑地基处理技术在建设中的应用方案，以及后期的维护管理等内容。

1 地基处理上存在的问题

园博园湿地及其周边区域回填土厚度为 0.8~23.7 m 不等，回填土为杂填土，成分复杂，含有大量建筑垃圾和生活垃圾，见图 1 和图 2。

由于表层大面积分布的填土层的物理力学性质较差，且局部填土层深度较深，因此湿地结构下的

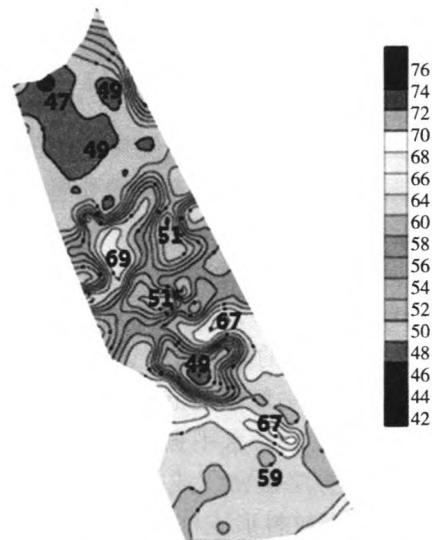


图 1 回填土底板等高线 m

地基处理问题变的尤为复杂和重要，必须采用切实可行的地基处理方案，保证地基处理的效果。

2 地基处理解决方案

2.1 地基处理工法比较

地基处理中的重点问题是如何增加地基土的密

收稿日期：2015-06-31

作者简介：霍 铮(1981—)，男，工程师。



图2 回填土等高线 m

实度，减小其压缩性和不均匀性，防止其发生大的局部沉降和变形^[2]。处理杂填土地基的常用方法主要有换填垫层法、强夯法、振冲法、土(灰土)挤密桩法和柱锤冲扩桩法等^[3]。

换填垫层法适用于浅层软弱地基及不均匀地基的处理，由于工程量大、工程费用高、工期长和对环境影响大等原因，通常用于深度在3.0 m以内的地基处理。

强夯法是将夯锤提高到高处使其自由落下，给地基以冲击和振动能量，将地基夯实的处理方法^[4]。适用于处理碎石土、砂土和低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。处理深度一般为4.0~10.0 m，处理后地基沉降量一般不大于50 mm。强夯施工所产生的振动对邻近建筑物或设备会产生影响，影响范围一般在15.0~25.0 m以内。

振冲法是在振冲器水平振动和高压水的共同作用下，使松砂土层振密，或在软弱土层中成孔，然后回填碎石等粗粒料形成桩柱，并和原地基土组成复合地基的处理方法。振冲法适用于处理砂土、粉土、粉质黏土、素填土和杂填土等地基。处理深

度4.0~15.0 m。处理后地基沉降量一般不大于100 mm。

土(灰土)挤密桩法是利用横向挤压成孔设备成孔，使桩间土得以挤密。用土(灰土)填入桩孔内分层夯实形成土(灰土)桩，并与桩间土组成复合地基的地基处理方法。灰土挤密桩法适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基，可处理地基的深度为5.0~15.0 m。处理后地基沉降量一般不大于100 mm。

柱锤冲扩桩法是反复将柱状重锤提到高处使其自由落下冲击成孔，在成孔及成桩过程中，通过对原状土的动力挤密、强力夯实、动力固结及充填置换等作用，使软弱地基土得到加固^[5]。柱锤冲扩桩法适用于处理杂填土、粉土、黏性土、素填土和黄土等地基，对地下水位以下饱和松软土层，应通过现场试验确定其适用性。地基处理深度不宜超过6.0 m(现场试验处理深度可达9.0 m)，复合地基承载力特征值不宜超过160 kPa。

根据回填土厚度、现场试验条件及造价等因素，针对上述处理方案，进行初步筛选，最终选取了强夯和柱锤冲扩渣土桩2种方案进行了现场地基处理试验，以检验处理效果，确定施工工艺及控制参数。

2.2 现场地基处理试验

2.2.1 试验目的

①为确定强夯、柱锤冲扩渣土桩复合地基承载力及变形参数提供参考。

②确定地基加固处理后地基土密实度的提高程度。

③对强夯、柱锤冲扩渣土桩复合地基处理效果进行综合评价。

2.2.2 强夯试验方案

本次强夯试验选取了2块40 m×40 m的试验场地，分别命名为1#场地及2#场地，具体试验参数见表1。

表1 强夯试验场地施工参数

试验场地	夯点间距/m	夯点数量/次	单击夯击能/(kN·m)		夯锤重量/t	夯锤落距/m	单点击数/次
			点夯能级	满夯能级			
1#	5.0×5.0	113	5 000	1 000	40	14.0	9
2#	5.0×5.0	113	3 000	1 000	40	8.5	7

点夯单点击数以最后2击平均夯沉量≤5 cm控制。根据现场试夯结果，1#场地单点9击满足要

求，2#场地单点7击满足要求。满夯时，锤印搭接不小于1/4锤直径，击数1击。

2.2.3 柱锤冲扩渣土桩试验方案

渣土桩试验场地编号为3#。施工采用柱锤冲扩成孔，桩体材料取用现场渣土。设计桩径为600 mm，设计桩长9.0 m，有效桩长8.0 m。具体柱锤冲扩渣土桩的施工参数见下表2。

2.2.4 试验项目及数据分析

本次试验为查明强夯和柱锤冲扩渣土桩地基处理方案对场区地基土的加固效果，主要采用了标准贯入试验、孔内波速测试、不同深度多点位移监测及静荷载等检测方法和手段，见表3。

表2 柱锤冲扩渣土桩施工参数

桩径/mm	设计桩长/m	保护桩长/m	工作面标高/m	桩间距/m	布置型式	桩身材料	桩数/个
600	9.0	1.0	地表	1.5×1.5	正方形	现场取渣土	65

表3 各场地检测项目与数量

检测项目	单位	标 贯	钻孔内波速测试	多点位移监测	静载荷
强夯试验	工前检测	个	6	6	2
	工后检测	个	6	6	
柱锤冲扩渣 土桩试验	工前检测	个	6	6	2
	工后检测	个	6	6	

①标准贯入试验。标贯试验结果主要用以评价地基土密实度的变化。从试验数据分析表明，上述方案的竖向挤密作用对本场地房渣填土有明显的加固效果，其中5 000 kN·m 强夯对本场地的影响深度大致为9.0 m以内，标贯击数平均提高幅度达53%；3 000 kN·m 强夯对本场地的影响深度大致在6.0 m左右，标贯击数平均提高幅度为29%；柱锤冲扩渣土桩对本场地的影响深度大致为6.0 m左右，标贯击数平均提高幅度为39%。

②孔内横波波速测试。从试验数据分析表明，强夯在3.0 m深度以内波速提升比较明显，6.0 m深度内平均提高幅度为3%；柱锤冲扩渣土桩在5.0 m深度以内波速提升比较明显，6.0 m深度内平均提高幅度为9%。

③多点位移监测。从试验数据分析表明，5 000 kN·m 强夯在8.0 m深度处竖向位移量仍大于10 mm，至9.0 m深度处约为0，故可判断影响深度大概在8.0~9.0 m之间；3 000 kN·m 强夯在7.0 m深度位移量已小于10 mm，8.5 m深度读数接近0，由此判断影响深度大概在6.0~7.0 m之间；柱锤冲扩渣土桩每个深度的位移量相关性较差，且位移量随深度分布没有明显的规律性，而且位移值普遍较小，在0.1~2.9 mm之间，由此判断柱锤冲扩桩在加固土体的过程中主要施加的是横向挤密作用，而对土体的竖向位移影响较小。

④静荷载。试验场地地基处理前进行静荷载试验，在荷载加至500 kPa时依然未出现明显破坏迹象，证明其承载力特征值不小于设计要求的(处理后的)180 kPa。深挖2.5 m后的试验沉降量有所增加，在加载后期亦出现沉降加剧的现象，这说明场地上部土体密实度较

好，表层土体可能存在1层硬壳层。但由于现场条件有限，不能做到持续注水，可能会影响到浸水试验的效果。

2.2.5 试验结论

就影响深度而言，单击夯击能5 000 kN·m 强夯深度约为8.0~9.0 m，单击夯击能3 000 kN·m 强夯深度约为6.0~7.0 m，柱锤冲扩渣土桩基本与桩长一致，可达9.0 m；就处理效果而言，单击夯击能5 000 kN·m 强夯效果最好，其他2种处理方法效果稍差但相差不明显。

本次地基处理前后，标贯试验结果变化比较明显，且变化趋势也较为明朗，试验结果易于分析；横波速度试验对比结果变化较小，无明显的规律性，且与标贯结果吻合度不高；多点位移检测取得了一定成果，但仅测量了夯点间土体竖向位移量，未能得出夯点下土体竖向位移的变化；静荷载试验虽然应用在本场地时由于地基土强度过高而未能得出有效的结论，但其作为评价地基承载力最直接的试验手段，针对承载力较低的一般渣土仍然适用。

2.3 工程地基处理技术方案

根据地基处理试验情况及经济技术比较，确定了园博园湿地的地基处理方案。根据不同区域杂填土厚度、以及避免对京石客运专线产生不利影响的因素，采用以强夯为主、不同的地基处理方法相结合的方式，达到较好的地基处理效果，合理降低工程费用。进行地基处理后，地基承载力不小于120 kPa，表层土(0.5 m深度以上)压实系数不小于93%，每个湿地单元内地基不均匀沉降量不大于100 mm，全部潜流湿地范围内地基不均匀沉降量不大于200 mm。使垃圾回填坑的场地达到了

工程建设需要，进而实现了大型垃圾坑的生态修复和土地的重新利用，见表4。

表4 地基处理分区面积统计

编 号	地质条件	处 理 方 案
I	杂填土厚度<3.0 m	强夯 1 500 kN·m + 双向土工格栅+100 mm 厚细粒土+高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜+300 mm 厚细粒土
II	杂填土厚度 3.0 ~ 6.0 m	强夯 3 000 kN·m + 双向土工格栅+100 mm 厚细粒土+高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜+300 mm 厚细粒土
III	杂填土厚度 6.0 ~ 12.0 m	强夯 5 000 kN·m + 双向土工格栅+100 mm 厚细粒土+高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜+300 mm 厚细粒土
IV	杂填土厚度>12.0 m	强夯 5 000 kN·m + 双向土工格栅+100 mm 厚细粒土+膨润土防水毯+高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜+300 mm 厚细粒土
V	高铁 50.0 m 内, 杂填土厚度<3.0 m	开挖分层回填压实+双向土工格栅+100 mm 厚细粒土+高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜+300 mm 厚细粒土
VI	高铁 50.0 m 内, 杂填土厚度>6.0 m	柱锤冲扩渣土桩+双向土工格栅+100 mm 厚细粒土+膨润土防水毯+高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜+300 mm 厚细粒土

3 运行过程中的监测与管理

由于上述地基处理方案的最大影响深度不超过10.0 m，而湿地建设范围内的回填土深度最深达23.7 m，因此，部分区域的深度回填土仍没有完全密实处理，其压缩性和不均匀性仍然较大，存在局部沉降的隐患，应对湿地结构物进行系统的持续性监测，防止由于外部干扰，特别是渗漏、客水等原因造成其发生大的局部沉降和变形。

3.1 日常管理

建立观察监测制度，完善巡查记录。

每日对湿地101处的观测井进行观测，并形成观测井检查记录表，见表5。排除周边渗水原因，若确定为湿地单元池漏水，则立刻寻找漏水点，进行补漏工作。

每周对湿地149个阀门井进行检查，防止因阀门损坏造成渗漏。同时对单元池边墙及隔墙进行巡视，检查墙体是否出现裂缝或位移。

表5 园博园湿地观测井检查记录

时 间	东 4 号井		东 7 号井		南 2 号井		南 4 号井		北 1 号井		东 2 号井		东 6 号井	
	井尺 水位	今日 涨水												
12-08	59	0	129	-4	49	-2	1	0	8	-3	65	2	36	0
12-09	59	0	124	-5	48	-1	1	0	5	-3	67	2	37	1
12-10	59	0	122	-2	47	-1	1	0	3	-2	67	0	37	0
12-11	59	0	119	-3	41	-6	1	0	3	0	67	0	37	0
12-12	59	0	114	-5	38	-3	1	0	3	0	67	0	37	0
12-13	59	0	111	-3	37	-1	1	0	3	0	67	0	37	0
12-14	58	-1	109	-2	37	0	1	0	4	1	67	0	37	0
原因分析	前期绿化浇水所致				附近污水井渗漏				前期绿化浇水所致					

每2周对湿地单元池边墙进行定点位测量，并形成测量记录，见表6，判断边墙是否发生沉降，通过连续监测，并对监测数据进行整理、分析。园博园湿地2013年11月竣工验收，经过1年运行，湿地范围内91个沉降基点的变化趋于稳定，目前每次观测幅度变化在0~2 mm之间。

3.2 汛期管理

汛期或暴雨对湿地造成的影响分为2个方面，一方面是客水，即周边区域径流，另一方面是降落在湿

地池内的雨水。

园博园湿地建于永定河丰台段新右堤滩地上，潜流湿地的设计高程高于周围地形，基本不受外来客水影响。但应警惕极端强降雨天气产生的客水在湿地周边范围形成持续下渗，对深度回填土造成影响从而发生大的局部沉降和变形。极端强降雨过后应每日对观测井及单元池墙体进行巡查，同时对墙体进行定点位测量，如发现明显的持续性的沉降或位移应及时进行处理。

对于池体内降水应在汛期或暴雨阶段进行持续观

表6 构筑物沉降观测记录(部分)

编号	设计高程/m	完工复测高程/m	实测高程/m (2014-11-20)	差值/mm	实测高程/m (2014-12-04)	差值/mm	实测高程/m (2014-12-18)	差值/mm
16	70.200	70.229	70.236	7	70.234	5	70.235	6
17	70.200	70.238	70.248	10	70.247	9	70.246	8
18	70.400	70.415	70.400	-15	70.400	-15	70.399	-16
19	71.000	70.998	70.975	-23	70.974	-24	70.973	-25
20	70.200	70.172	70.167	-5	70.166	-6	70.167	-5
21	71.000	70.865	70.812	-53	70.811	-54	70.812	-53

测，视具体雨量大小，调节湿地本身的进水水力负荷。当湿地表面发生严重积水现象时可将排空管打开，及时排放湿地内的积水。

3.3 冬季管理

北京冬季气温较低，月平均气温为-3.3℃，冬季结冰期约为110 d，冻土期约为100 d，冻土深度一般为0.5~0.8 m，最大冰层厚度0.58 m。

对于永定河的湖水而言，在冬季大部分湖面结冰，水温较低，产生水华现象可能性较小。因此湿地在冬季可停止运行。但为保证湿地水生植物安全过冬，冬季需利用单元池边墙超高将湿地水位抬升，形成冰盖以达到保温效果。因此在冬季应增加对湿地边墙的检查频率，由每周1次增加为每周2次，在寒流或大风降温天气过后应视具体情况对边墙进行2~3 d的持续观测，防止因结冰冻胀造成边墙位移，从而发生渗漏。

4 结束语

采用人工湿地进行河水循环净化实现河道水质维

(上接第3页)

4 结论

(1)北京市耕地面积22.1万hm²，其中灌溉面积占96%。全年农业总产值仅占全市GDP的0.83%，农业万元GDP耗水量为559.2m³/万元，是全市万元GDP耗水量的28倍。农业生产用水量巨大，经济贡献率低。灌溉用水主要以地下水为主，是加剧地下水超采的主要原因。

(2)调减耕地面积，扩大绿色生态空间建设，可以大幅降低灌溉用水量，减少地下水超采规模，显著减少化肥、农药用量，给城市居民保留绿水青山，有利于水资源涵养、水环境面源污染防治和城市生态文明建设。

(3)山前生态涵养区、河道下游平原区、城市河道沿线、主干道路和河道两岸是构建生态绿地和湿地的重要区域，应坚持因地制宜、平战结合的原则。初步

护，是永定河生态修复的关键保障。而大型垃圾回填土地基处理技术的应用使得园博园湿地建设得以实现，水质净化的功能得以发挥。同时也对以后类似的人工湿地工程在严重缺水城市建设时的选址上开拓了新的思路，具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] 杨柳,任珺,陶玲,等.河流生态治理技术的研究现状[J].能源与环境,2009(2):61~62.
- [2] 张硕,刘学燕,王利军.复合型人工湿地技术在永定河生态修复中的应用研究[C]//中国水利学会2014学术年会论文集.北京:中国水利协会,2014:1 088~1 094.
- [3] 孔鹏.浅谈地基处理技术的几种常用方法[J].山西建筑,2009,35(28):115~116.
- [4] 中国工程建设标准化协会.CECS279—2010强夯地基处理技术规程[S].2010.
- [5] 王思远,刘熙媛.柱锤冲扩桩法加固机理研究[J].建筑科学,2008,24(9):63~67.

(责任编辑:张少文)

估算，通过调减耕地、新建林地和湿地等措施，全市可新增绿色生态用地41.7万hm²，其中生态林地37.0万hm²、湿地4.7万hm²。

(4)全市应围绕政府购买生态服务、林地补贴农民收益、加大政策支持保障等方面构建保障体系，出台保障措施，确保消解耕地调减带来的社会问题。

参考文献

- [1] 北京市水务局.北京市水资源公报(2014)[R].2014.
- [2] 北京市统计局.北京统计年鉴2014[R].2014.
- [3] 田浩春,马福生,郝仲勇,等.粮田与林地耗水量对北京市地下水回补的影响[J].北京水务,2013(6):1~3.
- [4] 刘亚琼,杨玉林,李法虎.基于输出系数模型的北京地区农业面源污染负荷估算[J].农业工程学报,2011,27(7):7~12.
- [5] 戴美琪.城市生态园林的功能和发展思路[J].湖南林业科技,2006,33(4):31~33.

(责任编辑:林跃朝)