深厚换填法可行性论证及工程实例

谢荣平　　曾剑华
（徐州市水利工程咨询中心，徐州，221002）（徐州市水利建筑设计研究院，徐州，221002）

提　要　结合工程实际就地取材，通过试验论证了用水撼粉砂深厚换填泵站出水池地基的可行性，工程完成后经检测完全满足地基设计强度和变形的要求。

一　工程概况

泵站工程基坑开挖深且面积大，而出水建筑设施则设置较浅且位于开挖回填区内，地基必需进行处理。一般遇类似工程，一是采用浆砌块石充填；二是采用桩基。能就地取材，利用填土做出水池地基，既节省资金又可以缩短工期。本文结合范楼泵站工程利用水撼粉砂进行地基处理。范楼泵站设计流量 13m³/s，装机容量 1250kW。出水池为钢筋混弹簧土“U”型槽，与站身分开，相距 4.6m，出水池基宽 8.5m，基底高程 34.2m。出水池基坑实际开挖为 29.0～30.0m，换填厚度 5.0m。

二　粉砂击实加密与水撼加密的比较试验

1. 试验用土料

土料取自废黄河河漫滩拟选料场，颗粒级配见表 1。

表 1　土样颗粒级配表

颗粒组成%	0.05～0.25	0.005～0.05	<0.005
j1	79.0	17.0	4.0
j2	74.0	20.0	6.0
j3	82.0	15.0	3.0

2. 击实加密试验

击实试验标准为 GBJ123-88，击锤质量 2.5kg、试样筒体积 948cm³、层数 3、每层 25 击。求得最大干密度 1.59g/cm，最优含水量 22.3%。最大干密度状态下的固结试验见表 2。

表 2 击实加密土样固体试验表

压力 (kg/cm²)	试验条件	单位沉降量 s_i (mm/m)	压缩系数 a_v (MPa⁻¹)
0.5～1.0	浸水	14.05～22.36	0.11
0.5～1.0	不浸水	6.70～12.88	0.11
1.0～2.0	浸水	22.36～31.72	0.16
1.0～2.0	不浸水	12.88～22.15	0.15

3. 水撼加密试验

试坑长×宽×深=2.5m×2.5m×2.0m，底部掏 ϕ30cm 的排水洞，设滤层以利排水，固分层填土每层 50～60cm 左右，加水将土淹没并采用 2.2kW 插入式混凝土振捣器，振捣器插入点间距 30cm 左右，随着振捣器的插入振捣，待无明显下沉迹象，周围不冒气泡时，将振捣器缓慢拔出，振捣器从插入至拔出的时间一般为 20～25s。振捣完成后，再进行下一层。试验完成后经过 24h 排水固结，分别进行物理力学指标测试和加载试验。

(1)物理力学指标

含水量 9.9%～25.7%，湿密度 1.87～1.97g/cm³，密度 1.56～1.60g/cm³，孔隙比 0.734～0.686，内聚力 C=1～2kPa，内摩擦角 ϕ=35°，压缩系数 $a_{1\text{-}2}$=0.1MPa⁻¹，压缩模量 Es=17.34～16.86MPa。试验结果见表 3。

表 3 水撼加密土样固结试验表

压力 (kg/cm²)	试验条件	单位沉降量 s_i (mm/m)	压缩系数 a_v (MPa⁻¹)
0.5～1.0	浸水	7.00～12.50	0.10
0.5～1.0	不浸水	3.50～8.00	0.10
1.0～2.0	浸水	12.50～18.50	0.10
1.0～2.0	不浸水	8.00～13.05	0.10

从两个方案的固结试验来看，浸水压缩系数 0.1～0.16MPa⁻¹，不浸水压缩系数 0.1～0.15MPa⁻¹，相差甚微但都表现在击实加密试验的成果中。试验结果都表明单位沉降量差别较大，浸水固结与不浸水固结的单位沉降量之比为 1.4～2.1 倍，并与荷载成反比。

(2)载荷试验

最大荷载强度为 246.3kPa，最大沉降量为 6.63mm。范楼站出水池设计地基反力为 8.5kPa，水撼粉砂完全可以满足强度要求。根据 P-S 曲线，当 P=85kPa 时，沉降量仅为 1.0mm，载荷试验回弹曲线表明水撼粉砂压缩过程是不可逆的。考虑到实际施工水撼粉砂厚度比试验的厚度大，最终累积沉降量会比试验值大，但只要分层密实达到试验质量要求，也不会产生较大累积沉降。通过两个试验结果对比，水撼加密要比击实加密的效果好些，无论地基承载力还是沉降都能满足地基设计要求。

三　工程设计与施工

1. 工程设计

根据水撼粉砂试验及实测出水池开挖边坡断面，设计本着技术可靠、节省投资和易于实施的原则进行。范楼站场地地震烈度为Ⅶ度，即工程为抗震构造设防。根据规范可不考虑粉砂土的地震液化因素。考虑水撼粉砂的厚度较大，为保证地基处理能达到预想的效果，设计水撼粉砂分层厚度 30cm，为增加水平方向的排水性，水撼粉砂中每 90cm 增设 40cm 厚度水撼中粗砂一层，为加强垂直方向排水效果，除利用站身排水棱体外，另设置了三眼集水井，以利及时抽排集水。

2. 施工

土源要求土质纯净，不含杂草、粘土块等。集水井共设置三眼，间距 10m。基底铺设一层 30cm 厚中粗砂，注水浸泡 10min 后，用插入式振捣器振实，然后再用平板振捣器振动一遍。在振实的底层中粗砂上铺设粉砂土，厚约 50cm，铺设面积达到 40～50m² 后，注水浸泡 20min，水面超过土层 5cm，采用插入式振捣器振捣。每次插入粉砂土中的振捣时间一般为 20s 左右，振实标准根据以下现象判断：粉砂土表面停止沉陷，振捣器周围不再冒气泡。振捣点距控制在 30cm 左右，避免出现漏振，插点均匀排列，采用的方式有行列式和交错式。及时抽除集水井中的集水，以利排水畅通。

四　质量检测

施工过程分层取土样测试，全部完成后又进行了静力触探试验，其结果见表 4。

表 4　水撼粉砂检测结果表

土样	ω (%)	R (g/cm³)	R_d (g/m³)	e	C (kPa)	ϕ (°)
1 号	18.90～19.3	1.97～1.95	1.66～1.63	0.66～0.63	8	40～41
2 号	21.6～21.8	1.96～1.95	1.61～1.60	0.67～0.68	7～9	35～37

土样	锥尖阻力 (MPa)	侧壁阻力 (MPa)	比贯入阻力 (MPa)	压缩模量 (MPa)	承载力标准值 (kPa)	承载力设计值 (kPa)
1 号	3.36	0.028	3.95	11.5	158	
2 号	4.0	0.024	4.7	13.0	167	
3 号	2.46	0.015	2.89	9.0	152	

根据试验结果，水撼粉砂处理地基符合试验要求：静力触探比贯入阻力在 2.8～4.7MPa 之间，考虑完建后地下水位较高，出水池对沉降要求比较严格,故对承载力标准值适当折减，承载力设计值取 115kPa，满足地基设计要求。

施工完成后在出水池四周设沉降观测点连续观测 6 个月，最大累计沉降量 11mm，完全满足《泵站技术规范》(SD 204-88)规定的“中型泵站不应超过 20cm，最大容许沉降差不超过 5～8cm 的要求。

五　经济技术比较

水撼粉砂处理与采用浆砌块石充填和桩基础方案相比，工程进度快，易于实施，无需专用施工设备，工程造价是最低的。据测算：水撼粉砂处理地基，每 100m³ 投入人工约 35 个工日，水 20～30m³，2.2kW 插入式振捣器 5 个台班。总共完成水撼粉砂 2366.5m³，工程经费 8.62 万元，较浆砌块石充填和井柱桩节省投资 7.31 万元和 13.08 万元，详见表 5。

表 5　工程经费比较表

项　目	水撼粉砂	浆砌块石充填	井柱桩基础
工程量	水撼砂 712.5m³ 水撼粉砂 1654m³	浆砌块石 678m³，土方开挖、回填 2969m³	井柱桩 24 根，钻孔深 288m，混凝土 226m³，钢筋 4t，土方 2367m³
工程经费	8.62 万元	15.93 万元	21.70 万元
与水撼粉砂比较		+7.31 万元	+13.08 万元

参考文献

[1] 林宗元主编：《岩土工程治理手册》(第一版)，沈阳，辽宁科学技术出版社，1993。

[2] 地基处理编委会：《地基处理手册》(第一版)，北京，中国建筑工业出版社，1998。