

基金项目：国家自然科学基金（51708136）；南宁学院科研项目（2019XJ19）

半埋式方案在心圩江下游污水处理厂的应用

□ 李晓强 潘德胜 张 勋

[摘 要] 基于广西南宁市心圩江下游污水处理厂施工的进展情况，结合场地的地质条件，分析导致项目施工进度缓慢的原因，为加快项目施工进度，提出抬高地下处理车间地基的改进方案，即由原本的全埋式方案改为半埋式方案。由于地下处理车间抬高后，地下处理车间底板部分位于第4层粉质黏土层等相对软弱土层中，土层天然地基承载力不能满足地基承载力要求，需进行地基处理，即将地下处理车间桩基础由旋挖成孔灌注桩改采用CFG桩（水泥粉煤灰碎石桩）。结果表明，采用半埋式方案，经过地基抬高处理后，施工工艺难度降低、施工效率提高、施工工期大大缩短，同时污水处理厂的通风采光等条件得到优化，有效地节约项目成本。

[关键词] 半埋式；地基支护；施工进度；经济效益

[文献标识号] B **[中图分类号]** TU992 **[文章编号]** 1672-7045（2020）12-050-04

1 工程概况

广西南宁市心圩江环境综合整治工程PPP项目（心圩江下游污水处理厂工程）位于南宁市西乡塘区明月湖公园内，项目主要包括北区、中区和南区，其东面为心圩江一支流，西面为滨河路，北面为高新大道，场地地貌属邕江北岸Ⅱ级阶地及陇状低丘地貌，场地现状高程约75.60m～79.82m，地势有起伏最大高差4.22m。项目所处地区未见大的崩塌、滑坡、泥石流等不良地质作用，总体上不良地质影响作用一般。

该污水治理厂的建设规模^[1]：占地面积约6hm²，总建筑面积42838.99m²，其中地下污水处理车间面积36549.46m²，调蓄池面积6186.73m²，补水泵房面积102.80m²。建筑层数为地上一层，地下二层。覆土7.60m，风井高出覆土3.60m，埋深为14.55m。其设计规模为旱季60000m³/d，总变化系数取1.35，出水水质执行国标一级A排放标准；雨季污水处理规模维持在60000m³/d不变，还另接纳60000m³/d的初期雨水进行处理后排放。

2 场地地层岩性

根据工程地质勘察报告显示，该项目所处位置地形变化较小，地势较平缓。整个工程区分布的地层主要为第四系人工堆积素填土①、第四系晚更新统冲积成因的硬塑状粉质黏土②、可塑状粉质黏土③、软塑状粉质黏土④、圆砾⑤、古近系（E）强风化泥岩⑥、

中风化泥岩⑦。现根据岩层的成因和特性自上而下具体分述如下^[2]：

（1）素填土①（Q4^{ml}）：灰黄色、褐黄色等，稍湿，松散稍密状（可软塑状态），主要由黏性土、砂、碎石等组成，局部含少许建筑垃圾、生活垃圾。该层土土质不均匀，性质变化较大。

（2）粉质黏土②（Q3^{al}）：褐红、棕黄色，以硬塑状为主，局部可塑状，局部含少量的铁锰质结核及其氧化物，土质较均匀，切面光滑，干强度及韧性高，无摇振反应。

（3）粉质黏土③（Q3^{al}）：褐黄、黄褐色，以可塑状为主，局部软塑状，黏性一般，干强度及韧性中等，无摇振反应。局部相变为粉土、粉砂层。

（4）粉质黏土④（Q3^{al}）：兰灰、深灰色，稍湿～湿，下部饱和，软塑状态，局部相变为粉土、粉砂层，干强度及韧性中等。

（5）圆砾⑤（Q3^{al}）：杂色，饱和，中密状态为主，局部稍密状或密实状，砾石主要成分为石英、硅质岩，局部为中粗砂，间夹有少量黏性土，粒径主要以2mm～20mm为主，磨圆度较好，以亚圆状为主，分选性一般，砾石含量约占55%～70%。

（6）强风化泥岩⑥（E）：强风化，青灰色，硬塑～坚硬状态，局部顶部呈可塑状，局部为粉砂质泥岩，泥质结构，中厚层状构造，局部夹薄层泥质粉砂岩等，偶见少量生物贝壳，上部可冲击钻进，岩芯取

上经曝晒易干裂。

（7）中风化泥岩⑦（E）：青灰色，主要由黏土矿物组成，泥质结构，中厚层状构造，风干易开裂，遇水软化。岩芯较完整，呈柱状、短柱状。

3 各岩层参数的研究

为准确确定项目范围内各岩土层的物理力学性质指标和最终确定项目施工改进方案提供依据，采用标准贯入试验、重型动力触探试验和土工试验对各岩层参数进行研究分析。

3.1 标准贯入试验

标准贯入试验是利用质量为63.5kg的重锤，按照规定的落距76cm自由下落，将标准规格的贯入器打入土层中，根据贯入器在贯入一定深度得到的锤击数来判断土层的性质。其目的是通过所测得的标准贯入击数N判断砂土的密实度，黏性土和粉土的稠度，并计算土的强度和变形指标，从而评价土的物理状态、判断土的力学性能、确定地基土的承载力等。标准贯入试验参数见表1。

表1 标准贯入试验参数表

地层编号	岩土名称	统计次数	标贯修正后击数N			标准差	变异系数	修正系数	修正击数标准值N	承载力特征值fak（kPa）
			最大值	最小值	平均值					
②	粉质黏土	45	16.3	10.0	13.7	1.193	0.087	0.978	13.4	334.80
③	粉质黏土	24	12.7	6.3	8.2	1.343	0.165	0.941	7.7	200.50
④	粉质黏土	40	3.4	1.6	2.6	0.518	0.200	0.945	2.4	84.00
⑥	强风化泥岩	19	32.9	26.6	30.8	1.888	0.061	0.975	30	>680.00
⑦	中风化泥岩	12	53.2	47.6	49.5	1.896	0.038	0.980	48.5	>680.00

3.2 重型动力触探试验

重型动力触探试验是利用40kg～60kg的触探头进行锤击（自由落距76cm），通过一定的锤击能量将一定规

格的圆锥探头打入土层中，根据贯入一定深度的锤击数来判断土层工程性质。在现场测试时，记录每打入10cm的锤击数为重型动力触探击数N63.5，碰到密实碎石土层，当连续3次N63.5>50击时，可终止试验。重型动力触探试验参数见表2。

表2 重型动力触探试验参数表

地层编号	岩土名称	统计段次(m)	基本值			标准差	变异系数	修正系数	修正击数标准值N63.5	承载力特征值fak（kPa）
			最大值	最小值	平均值					
①	素填土	4.0	6.8	2.9	4.6	1.114	0.245	0.933	4.3	179.00
⑤	圆砾	9.5	12.8	8.2	10.6	0.943	0.089	0.984	10.4	416.00

3.3 土工试验

土由固体颗粒、水分和空气三相组成。土的三相组成中每一种成分的质量、体积的相对比的变化，都会引起土的物理力学性质的改变。土的基本物理指标包括密度、颗粒密度、含水率、干密度、饱和密度、有效重度、孔隙比、孔隙率、饱和度9项，通过土的物理性质试验、力学性质试验、水理性质试验和特殊性质试验，研究各地土层的性质，确定地基承载力。土工试验参数见表3。

表3 土工试验参数表

岩土层及编号	天然含水量ω（%）	天然孔隙比e ₀	液性指数IL	直剪试验		压缩模量Es1-2（MPa）	承载力特征值fak（kpa）
				内摩擦角标准值φ _k （°）	黏聚力标准值C _k （kPa）		
素填土①	34.34	1.02	0.09	14.19	38.08	11.94	163.60
粉质黏土②	30.45	0.90	0.04	15.30	46.98	11.21	186.80
粉质黏土③	29.52	0.85	0.32	14.66	17.62	5.93	179.40
粉质黏土④	31.43	0.89	0.76	6.61	7.25	4.53	155.24
强风化泥岩⑥	22.89	0.67	0.04	12.99	53.13	16.58	260.20

4 设计方案的改进

4.1 施工方案的改进

埋式污水治理厂是目前城市污水处理的最佳方案，可以有效节约城市土地资源和改善城市景观，充分将工程与绿化结合^[3]。但埋式污水处理厂的施工难度较大、建设成本高，在具体工程建设中，需要根据该工程实际情况选择埋式类型。

建设初期，结合项目所处区域的地质条件、地质构

造、水文环境条件、各岩土层参数及承载能力等综合因素，拟采用全地埋式施工方案。全地埋式污水治理厂占用空间少，无噪音和臭味，且对周边环境的影响比较小。该方案将污水治理厂整体埋置于地下，顶部用土覆盖，并在其顶部覆土进行绿化种植^[4]。所有生产活动均在地下进行。但由于全地埋式方案是将污水治理厂完全埋在地下，土方工程量大，结构复杂，施工难度较大，同时工程完工后，需要进行回填，施工程序繁多，导致项目不能在施工期限内完成。项目建设成本较高，且不能合理地利用自然风和自然光照明，导致工程量增大，经济效益低，此外还会增加工作人员的安全和健康隐患^[5]。因此，需要对地基方案进行改进，改用半地埋式方案。

半地埋式施工方案需要将原设计的地下处理车间抬高，即将现地下处理车间抬高6.30m，将负一层楼面标高由原来的71.70m抬高至78.00m。抬高后地下处理车间周围培土填高，屋顶覆土厚度则大致维持原来厚度，培土范围外围的设计地面标高为77.70m。与全地埋式施工方案相比，半地埋式施工方案不用将污水治理厂全部埋于地下，开挖方量小，可在一定程度上加快施工进度，提高施工效率。生产工作在离地面不深处或在地面上进行，通风采光条件良好，同时对工作人员的安全和健康影响较小，可节约建设成本，有效提高社会效益。部分半地埋式剖面见图1。

将地下处理车间抬高后，因地下处理车间地基抗浮稳定验算的地下水水位与周边地面持平，即77.70m，取消地下处理车间原施工方案设计的抗压兼抗拔桩，地基的抗浮问题则尽量采用地下处理车间自重及覆土

重量解决。同时，在屋顶略增厚覆土增加重量或者在地下处理车间周边布设地下水水位观察井、地下水导流盲沟等，通过管理抗浮方式或疏导地下水（至东边罗赖沟）方式解决抗浮问题。地下处理车间周边培土填高部分宜采用或部分采用透水性材料，使地下处理车间周边培土中地下水上层滞水不至于长期留存，对地下处理车间抗浮有利。

4.2 支护方案的改进

在原全地埋式施工方案中，地下处理车间桩基础采用Φ800旋挖成孔灌注桩，总桩数1767根，混凝土强度为C30（水下混凝土）。根据《岩土工程勘察报告》反映情况，地下处理车间根据不同区域标高，桩端可能位于圆砾层或强风化岩层。各基桩的单桩竖向抗压承载力特征值及单桩竖向抗拔承载力特征值要求详见表4。

表4 旋挖成孔灌注桩参数一览表

编号	底板顶 标高	底板底 标高	桩长 (m)	桩数 (根)	单桩竖向 抗压承载 力特征值 (kN)	单桩竖向 抗拔承载 力特征值	桩身 纵筋
GZH01	67.30	66.10	13	226	2100	500	12C18
GZH02	64.60	63.40	11	871	2000	700	12C20
GZH03	65.25	64.05	13	210	2300	950	16C20
GZH04	63.60	62.40	15	96	2800	1050	16C22
GZH05	62.30	61.00	14	34	2600	1000	16C22
GZH06	66.85	65.65	14	112	2200	600	12C20
GZH07	65.25	64.05	14	102	2600	850	12C22
GZH08	70.70	69.95	13	112	1900	400	12C16
GZH09	61.10	59.90	12.80	2	2600	1000	16C22
GZH10	66.50	65.35	12.25	2	2100	500	12C18

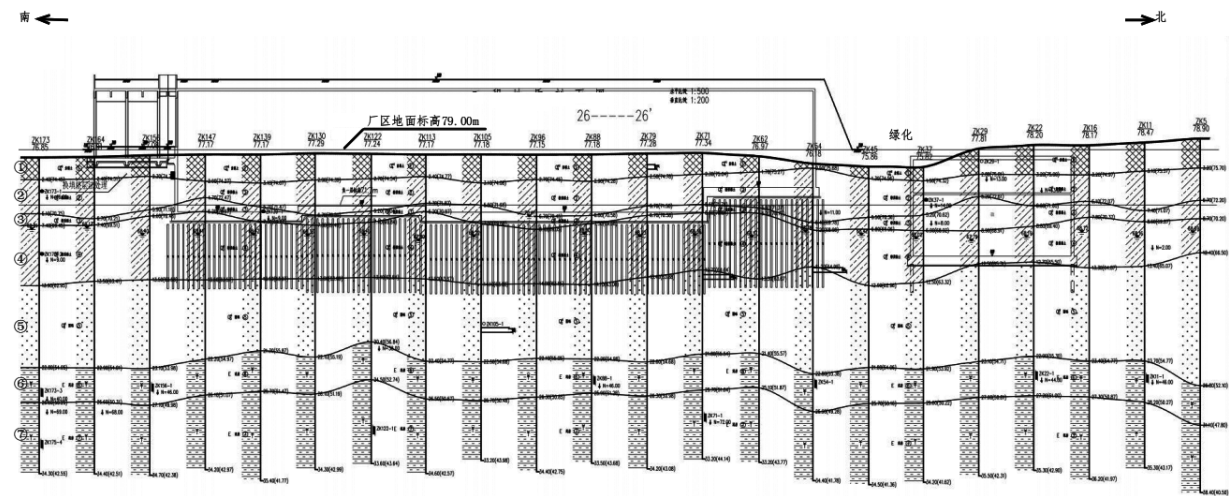


图1 部分半地埋式剖面图

采用半地埋式方案后，地下处理车间底板部分位于第4层粉质黏土层等相对软弱土层中，土层天然地基承载力不能满足地基承载力要求，需进行地基处理。结合项目施工具体进展和成本等综合情况，地基处理改采用CFG桩（水泥粉煤灰碎石桩）复合地基，桩径400cm，采用普通硅酸盐水泥，强度等级不低于42.5MPa。总桩数9446根，桩端以圆砾层为持力层，原则上进入圆砾层深度不小于1m。各CFG桩详细参数见表5。

表5 CFG桩参数一览表

编号	桩顶标 高	桩底标高	桩长 (m)	桩数 (根)	单桩竖 向承载 力特征 值	复核地 基承载 力特征 值
CFG桩01	72.25	64.25~61.25	8~11	1583	290	190
CFG桩02	69.55	63.55~60.55	6~9	4655	320	210
CFG桩03	70.20	63.20~61.20	7~9	1504	300	200
CFG桩04	69.60	62.60	7	865	320	210
CFG桩05	71.20	63.20~61.20	8~10	790	290	190
CFG桩06	68.85	60.85	8	49	290	190

5 结语

以广西南宁市心圩江下游污水处理厂项目为工程背景，研究地基抬高处理方案对改进项目施工进度的作用，根据采用该方案进行施工处理的具体情况，得出以下结论：

（1）所提出的地基抬高处理方案，主要根据项目

的环境条件，针对施工缓慢、作业效率低及效果差等问题，可行性、适用性和可操作性强，社会效益良好。

（2）根据项目施工进度表明，经过采用地基抬高处理方案进行地基处理，可以有效降低施工难度，加快施工进度，缩短施工周期。

[参考文献]

- [1]张晟.店埠河水陆联运码头后方陆域地基处理方案[J].中国水运(下半月),2019,19(8):166-167.
- [2]张晟,席荣,张黎.宣州综合码头工程后方陆域地基处理方案[J].工程与建设,2017,31(2):251-254.
- [3]张浩,刘川,李秋婷,等.马来西亚某人工岛集约型半地埋式污水站的设计[J].水处理技术,2020,46(4):136-140.
- [4]罗曼丽.地埋式城市生活污水处理厂建设型式比选[J].建材与装饰,2016(27):176-177.
- [5]王敬东.浅谈全地埋污水处理厂工程的项目管理控制[J].建设监理,2019(6):10-13+50.

[作者简介]

- 李晓强，广西北投环保水务集团有限公司，董事、常务副总经理，高级工程师。
- 潘德胜，广西南宁北投心圩江环境治理有限公司，工程管理部副部长，工程师。
- 张 勋，广西南宁北投心圩江环境治理有限公司，工程管理部业务副主管，硕士。