

Combination Scheme for Treating Thick Collapsible Loess Foundation

Jian Sun

Shenyang Aluminum Magnesium Design and Research Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110001, China

Abstract

The paper combines engineering examples, compares and analyzes various schemes, and adopts the combination treatment method of compacted pile and cast-in-place pile for thick collapsible loess foundation. It not only meets the design requirements of partially eliminating collapsibility, but also improves the bearing capacity of cast-in-place piles, saving the cost of foundation treatment and ensuring the reliability of the scheme. The paper discusses the selection of design schemes in the design process and the issues that should be paid attention to in the design process, providing reference and guidance for similar projects in the future.

Keywords

large-thickness collapsible loess; compaction pile method; cast-in-place pile

组合方案处理大厚度湿陷性黄土地基

孙健

沈阳铝镁设计研究院有限公司, 中国 · 辽宁 沈阳 110001

摘要

论文结合工程实例, 通过各种方案的对比及分析, 对大厚度湿陷性黄土地基采用了挤密桩与灌注桩组合处理的方法, 在满足部分消除湿陷性的设计要求同时提高了灌注桩的承载力, 既节省地基处理的费用且方案可靠。论文论述了设计过程中设计方案的选取及设计过程中应注意的问题, 为以后对类似工程具有参考和借鉴作用。

关键词

大厚度湿陷性黄土; 挤密桩法; 灌注桩

1 工程概况及地质情况

某工程为脱硫脱硝净化改造项目, 项目的主要建(构)筑主要包括脱硫综合楼、脱硫脱硝系统(含脱硫塔, 60m高)、脱硝系统设备间等。场地位于铜川市董家河工业园区, 场地平坦, 地面高程介于 816.39~816.88m, 地貌单元属黄土塬。

1.1 地层

据勘探揭露, 在勘探深度范围内的地层自上而下依次为素填土(Q4ml)、第四系上更新统风积(Q3^{col})黄土、残积(Q3^{el})古土壤、中更新统风积(Q2^{col})黄土和残积(Q2^{el})古土壤等, 各层地基土的野外特征分述如下:

①层素填土: 土质不均, 松散状态。

②层黄土: $\bar{a}_{1-2} = 0.31\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.10$, 以硬塑状态为主。 $\bar{\delta}_{s,2.0} = 0.072$, 具湿陷性。

③层古土壤: $\bar{a}_{1-2} = 0.27\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.09$, 以硬塑状态为主。 $\bar{\delta}_{s,2.0} = 0.055$, 具湿陷性。

④层黄土: $\bar{a}_{1-2} = 0.29\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.08$, 以硬塑状态为主。 $\bar{\delta}_{s,2.0} = 0.055$, 具湿陷性。

⑤层古土壤: $\bar{a}_{1-2} = 0.35\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.25$, 以硬塑状态为主。 $\bar{\delta}_{s,2.0} = 0.023$, 具湿陷性。

⑥层黄土: $\bar{a}_{1-2} = 0.27\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.06$, 以硬塑状态为主。 $\bar{\delta}_{s,2.0} = 0.020$, 具湿陷性。

⑦层古土壤: $\bar{a}_{1-2} = 0.34\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.16$, 以硬塑状态为主。 $\bar{\delta}_{s,2.0} = 0.028$, 具湿陷性。

⑧层黄土: $\bar{a}_{1-2} = 0.34\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.0$, 以坚硬状态为主。个别土样 $\delta_{s,2.0} = 0.035$, 具湿陷性。

⑨层古土壤: $\bar{a}_{1-2} = 0.23\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.14$, 以硬塑状态为主。 $\bar{\delta}_{s,2.0} = 0.022$, 部分土样具湿陷性。

⑩层黄土: $\bar{a}_{1-2} = 0.26\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.08$, 以硬塑状态为主。部分土样具湿陷性。

⑪层古土壤: $\bar{a}_{1-2} = 0.30\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.20$, 以硬塑状态为主。

⑫层黄土: $\bar{a}_{1-2} = 0.28\text{MPa-1}$, 属中压缩性土; $\bar{I}_L = 0.11$, 以硬塑状态为主。

【作者简介】孙健(1982-), 男, 中国辽宁沈阳人, 硕士, 高级工程师, 从事结构工程研究。

⑬层古土壤： $\bar{a}_{1-2}=0.36\text{MPa}\cdot\text{s}$ ，属中压缩性土； $\bar{I}_L=0.0$ ，以坚硬状态为主。

⑭层黄土： $\bar{a}_{1-2}=0.36\text{MPa}\cdot\text{s}$ ，属中压缩性土； $\bar{I}_L=0.17$ ，以硬塑状态为主。

勘察期间，各勘探点在勘探深度内均未遇见地下水。场地及附近未发现影响场地稳定性的不良地质作用，适宜建筑。

1.2 黄土湿陷性评价

据土的湿陷性试验结果按 GB50025—2018 规范第 4.4.4 条计算了自重湿陷量的计算值 Δ_{zs} 。计算时从天然地面起算^[1]。

自重湿陷量的计算值 $\Delta_{zs}=304.4\sim 882.0\text{mm}$ ，大于 70.0mm，因此，场地为自重湿陷性黄土场地。

按 GB50025—2018 规范第 4.4.6 条规定，计算了湿陷量的计算值 Δ_s ，按计算结果，各建（构）筑物地基湿陷量 Δ_s 介于 740.2~1527.5mm，按 GB 50025—2018 第 4.4.6 条并结合地区建筑经验，综合判定各拟建（构）建筑物地基湿陷等级为 IV 级（很严重）。

1.3 地基土承载力特征值

综合确定的各层地基土承载力特征值 (f_{ak}) 如表 1 所示。

1.4 拟建场地总体地质概况

①场地及附近无不良地质作用，场地所在区域地质构造是稳定的，适宜进行工程建设。

②拟建场地为自重湿陷性黄土场地；地基湿陷等级为 IV 级（很严重）。场地自重湿陷性黄土厚度达 20~30m，属于大厚度湿陷性黄土。

③场地地下水埋深大于 80m，埋藏较深，可不考虑其

对浅基础的影响。

④场地土对混凝土结构及钢筋混凝土结构中的钢筋具微腐蚀性^[2]。

⑤抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度值为 0.10g，设计地震分组为第三组，设计特征周期为 0.45s；场地属抗震一般地段，建筑场地类别为 II 类；不考虑地震液化影响。

⑥季节性冻土标准冻深为 38cm。

1.5 场地内拟建建（构）筑物相关设计参数

拟建建（构）筑物有关设计参数如表 2 所示。

按 GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》划分，工程重要性等级为二级，场地等级为二级（中等复杂场地），地基等级为一级（复杂地基），岩土工程勘察等级为甲级。

2 地基基础方案论证

2.1 地基均匀性评价

拟建建（构）筑物的基础埋深及假定 ± 0.00 高程，各建筑物地基均匀性评价见表 3。

2.2 天然地基

拟建场地为自重湿陷性黄土场地，地基湿陷等级为 IV 级（很严重）。按 GB50025—2018 规范第 6.1.1 条，乙、丙类建筑应消除地基的部分湿陷量，故天然地基方案不成立。

按 GB50025—2018 规范第 6.1.5 条规定，当地基湿陷等级为 IV 级（很严重）时，对多层建筑宜采用整片处理，地基处理厚度不应小于 3m 或 4m，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于 200mm。据此确定各拟建建（构）筑物地基处理最小厚度见表 4。

表 1 地基土承载力特征值 (f_{ak})

地层	②层 黄土	③层 古土壤	④层 黄土	⑤层 古土壤	⑥层 黄土	⑦层 古土壤	⑧层 黄土
f_{ak} (kPa)	150	170	180	190	180	200	190
地层	⑨层 古土壤	⑩层 黄土	⑪层 古土壤	⑫层 黄土	⑬层 古土壤	⑭层 黄土	
f_{ak} (kPa)	210	230	240	250	260	270	

表 2 拟建建（构）筑物有关设计参数

建筑物名称	层数	总高 (m)	结构类型	建（构）筑物基础		基础底面处平 均压力值 P_k (kPa)	按 GB 50025— 2018《湿陷性 黄土地区建筑 标准》划分	按 GB 50007—2011《建 筑地基基础设计 规范》规定地基 基础设计等级
				类型	埋置深度 (m)			
脱硫综合楼	3	14.0	框架	独础	2.0	200	丙类建筑	乙级
脱硫脱 硝系统	脱硫塔	/	/	筏板	2.5	350	乙类建筑	乙级
	事故浆液箱	/	/	筏板	2.5	250	丙类建筑	乙级
脱硝系统设备间	1	5.0	框架	独础	2.0	200	丙类建筑	乙级
液氧储罐	/	/	/	筏板	2.0	200	丙类建筑	乙级

表3 地基持力层情况及均匀性评价

建筑物编号	假定 ±0.00 高程 (m)	基础埋深 (m)	基础底面高程 (m)	持力层	地基均匀性评价
脱硫综合楼	817.00	2.0	815.00	①、②	基底下①层土结构松散,成分不均,故地基均匀性差
脱硫脱硝系统	脱硫塔	2.5	814.50	①	
	事故浆液箱	2.5	814.50	①	
脱硝系统设备间	817.00	2.0	815.00	①	
液氧储罐	817.00	2.0	815.00	①	

表4 各拟建建(构)筑物地基处理最小厚度

建(构)筑物名称	处理厚度 (m)	计算剩余湿陷量 (mm)
脱硫综合楼	20.3	194.7~200.3
脱硫脱硝系统	脱硫塔	150.0~183.2
	事故浆液箱	189.8
脱硝系统设备间	20.2	191.6
液氧储罐	18.3	192.8

2.3 换填垫层法

根据表4计算结果,由场地工程地质条件和建筑物基础埋深、荷载及基础形式,垫层换填厚度过大,不经济,故垫层方案不成立。

2.4 挤密桩

结合建筑荷载及地区建筑经验,拟建脱硫综合楼、事故浆液箱、脱硝系统设备间、液氧储罐可采用挤密桩处理地基。

挤密桩可采用沉管挤密工艺或孔内深层强夯法(DDC法)工艺。对沉管挤密工艺,成孔直径不宜小于400mm,桩间距不宜大于900mm。对DDC法,成孔直径为400mm,夯扩后桩径不宜小于550mm,桩间距不宜大于950mm。当桩长不小于最小处理厚度时,可保证剩余湿陷量不大于200mm。当桩长、桩间距、排距等参数适宜时,可消除地基的湿陷性,桩身填料采用拌合均匀的2:8灰土,复合地基承载力可达到250kPa,能满足设计要求^[3]。

采用挤密桩处理地基时,施工前应进行试桩工作,以确定该工法有关设计、施工参数及适宜性,复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定。其设计、施工和质量检验应符合有关规范规定。处理后,并应在其上铺设厚度不小于0.50m的3:7灰土垫层。

当采用挤密桩处理地基时,按GB50025—2018规范规定,尚应采取结构措施和检漏防水措施。

2.5 钻孔灌注桩

根据场地工程地质条件和建筑物基础埋深、荷载及基础形式,拟建脱硫塔基地压力较大,宜采用挤密法消除上部湿陷性土层的湿陷量后,再进行钻孔灌注桩施工。

根据场地岩土工程条件,钻孔灌注桩桩径宜为0.6m或0.7m,桩端持力层可选⑩层黄土及以下各层地基土。

根据各层地基土的物理力学性能指标,按照GB50025—2018《湿陷性黄土地区建筑规范》和JGJ94—2008《建筑桩

基技术规范》确定的钻孔灌注桩基础各层土的极限侧阻力标准值 q_{sik} 和极限端阻力标准值 q_{pk} 列于表5。

表5 钻孔灌注桩(挤密处理后)桩基估算参数

地层	极限侧阻力标准值 q_{sik} (kPa)	极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)
②层黄土	60 (-30)	
③层古土壤	65 (-30)	
④层黄土	70 (-30)	
⑤层古土壤	72 (-30)	
⑥层黄土	70 (-30)	
⑦层古土壤	75	
⑧层黄土	72	
⑨层古土壤	78	
⑩层黄土	76	2600
⑪层古土壤	80	2700
⑫层黄土	78	2600

注:括号内为未采取预处理消除湿陷性时,桩侧负摩阻力值。

3 组合方案

由于脱硫塔按乙类建筑要求,采用挤密桩处理地基厚度已无法达到规范所要求的厚度,见GB50025—2018《湿陷性黄土地区建筑标准》第6.1.4、6.1.5条,方案超出规范要求。

结合场地环境条件和场区已有地基处理经验,考虑到经过灰土挤密桩对一定厚度湿陷性黄土地基的预处理,应该没有水头下降、地基因水下沉的情况出现,采用挤密桩处理是可靠的;考虑到未处理土层浸水的可能性很小,且通过挤密桩消除了中性点以上土层的自重湿陷性,如出现浸水,未处理湿陷性的土层侧摩阻力采用非湿陷性的土层的取值方法,保守起见,按照饱和状态下的正摩阻力计取,仍是可靠的^[4]。

根据以上分析认为针对本项目地基处理方案可做如下优化:

①脱硫综合楼、事故浆液箱、脱硝系统设备间、液氧储罐均可采用灰土挤密桩处理地基。灰土挤密桩采用沉管挤密成孔,等边三角形布桩,桩间距采用900mm,桩长采用12m,孔内填料为2:8灰土或1:7水泥石土,桩顶铺设0.5m厚3:7灰土或1:7水泥石土垫层,地基处理外放宽度为

6m(自基础外边缘算起)。

②脱硫塔地基方案。首先,采用素土挤密桩消除上部土层湿陷性,之后采用钻孔灌注桩基础方案,桩长可取32~35m,未处理湿陷性的土层侧摩阻力按照饱和状态下的正摩阻力计取;其他满足预处理地基要求的灌注桩,2~6层土侧摩阻力按正摩阻取值,未处理湿陷性的土层侧摩阻力按照饱和状态下的正摩阻力(30kPa)计取,见规范第5.7.5条。计算所得单桩承载力特征值2600kN,按此方法经过设计大大提高了灌注桩的承载力。

③建(构)筑物室外基槽回填建议采用1:9水泥石,压实系数不应小于0.95。

④建(构)筑物防水应采用严格的防水措施,使用与维护应严格执行GB50025《湿陷性黄土地区建筑规范》相关规定。

⑤脱硫综合楼采用条形基础^[5]。

4 现场问题

由于焙烧烟气脱硫脱硝净化系统综合楼南侧外1.6m处有已建管网支架,无法进行挤密桩施工,不能满足挤密桩外放的宽度要求,后将挤密桩处理范围至管网支架边,并要求管网支架至路边约5.5m范围内采用1m厚3:7灰土处理,因此将脱硫综合楼改为灌注桩基础。该处灌注桩的承载力根据地勘报告,2~6层土侧摩阻力按负摩阻取值(按地勘报告所提供数值实取),单桩承载力特征值按800kN设计。

现场反馈需明确基槽范围,基槽回填处理要求如下:

①脱硫综合楼和脱硫塔基础回填采用1:9水泥石,回填范围同挤密桩外放尺寸,即超出建筑物外墙基础外缘的宽度不小于6.5m。

②除脱硫综合楼和脱硫塔基础外,其余设备基础(含支架基础、水池等),基槽回填采用素土,且建筑地坪下需做500厚1:9水泥石垫层,压实系数均不小于0.95。

③所有建构筑物均需设置地坪。

④基础回填优先采用1:9水泥石,若现场能保证灰

土质量,也可采用3:7灰土进行基础回填。

5 结论

①本工程场地自重湿陷性黄土厚度达20~30m,地基湿陷等级为IV级(很严重),属于大厚度湿陷性黄土。如仅采用挤密桩,只能部分消除湿陷性,无法满足脱硫塔的地基处理深度;如仅采用灌注桩,单桩承载力低。如采用(DDC法)工艺,大面积施工质量不易保证,并且后两种处理方案成本高。

②采用挤密桩+灌注桩的组合处理方案中,经济密桩处理的土层侧摩阻力按照正摩阻力计取,未处理湿陷性的土层侧摩阻力按照饱和状态下的正摩阻力计取,经过设计大大提高了灌注桩的承载力。

③其他次要建筑(构)筑物、设备基础采用挤密桩处理后的地基,基槽回填应有严格的质量要求,并按规范要求采取严格的防水措施。

④采用本方案的关键问题是防水,尤其是侧面防水,因此整片地基处理范围宽出基础外的宽度必须满足规范的要求。

⑤采用挤密桩+灌注桩的组合处理方案可节省地基处理的费用且方案可靠。使用期间观察监测,经2018年开始建设并投产后经观测未发生地基沉降现象。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准.GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [2] 中华人民共和国国家标准.GB 50025—2018 湿陷性黄土地区建筑标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [3] 中华人民共和国行业标准.JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [4] 中华人民共和国行业标准.JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [5] 中华人民共和国国家标准.GB 50021—2001 岩土工程勘察规范(2009年版)[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.