压力注浆加固湿陷性黄土地基

尚继红　　魏佳中
（铁道部科学研究院西北分院，兰州，730000）

提　要　本文根据兰州市某纺织厂老 1 万锭主厂房柱基下沉事故的原因分析，介绍了用压力注浆法加固既有建筑物下湿陷性黄土地基的工程实践与处理效果。

一　前　言

用压送的手段把具有一定胶凝时间的浆液(即主剂、溶剂和外加剂的液态混合物)注入到松散土层中，浆液凝固后固结土的颗粒充塞土的孔隙和裂隙，使土层的力学性质得以改善，对于湿陷性黄土地基来说，既可消除黄土的湿陷性，又可达到提高地基土承载力的目的，称其为压力注浆法。压力注浆作为地基加固的一种方法，具有设备和工艺简便灵活，施工占用空间小，对市政环境影响小，工期短，见效快以及适应范围广等独有的特性。在工程地质和水文地质较为复杂的地下工程和地基基础处理工程中，成为保证工程质量和建(构)筑物安全等方面的经济而有效的方法，已被社会广泛认可。本文将介绍压力注浆法加固某厂房独立柱基下湿陷性黄土地基的全过程。

二　场地及建筑物概况

某毛纺织厂老 1 万锭主厂房位于兰州市西固区中段，黄河南岸Ⅱ级阶地上。场区地层自上而下为：混凝土地坪 0.15m，杂填土垫层 0.5~2.5m，轻亚粘土层 11.10~13.60m，粉细砂层 0.2~1.3m，再向下为卵石层，卵石层深度多为-13.65~-15.80m。地下水位在-6.7~-7.5m 处。水中 SO_4^{2-}含量为 3097~3808mg/L，按照 TJ21-77 规范规定来评价，该水对混凝土具中等—强结晶性侵蚀。饱水的轻亚粘土承载力均≤5~12t/m²。

该厂房于 1974 年建成并投入使用，总建筑面积 24006m²，共设有 180 根独立柱，柱与柱之间的间距为 10.4m，排距为 12.0m。柱基均为杯口型承台，其中三角形承台 40 个，矩形承台 140 个。尺寸分别为 2.2m×2.2m 或 2.4m×2.4m，埋深一般在 1.6m 左右。每个承台下各设有四根爆破桩，单根桩长均为 8.5m，桩径 300~400mm，扩大头直径约为 1.0~1.2m 左右(见图 1 所示)。

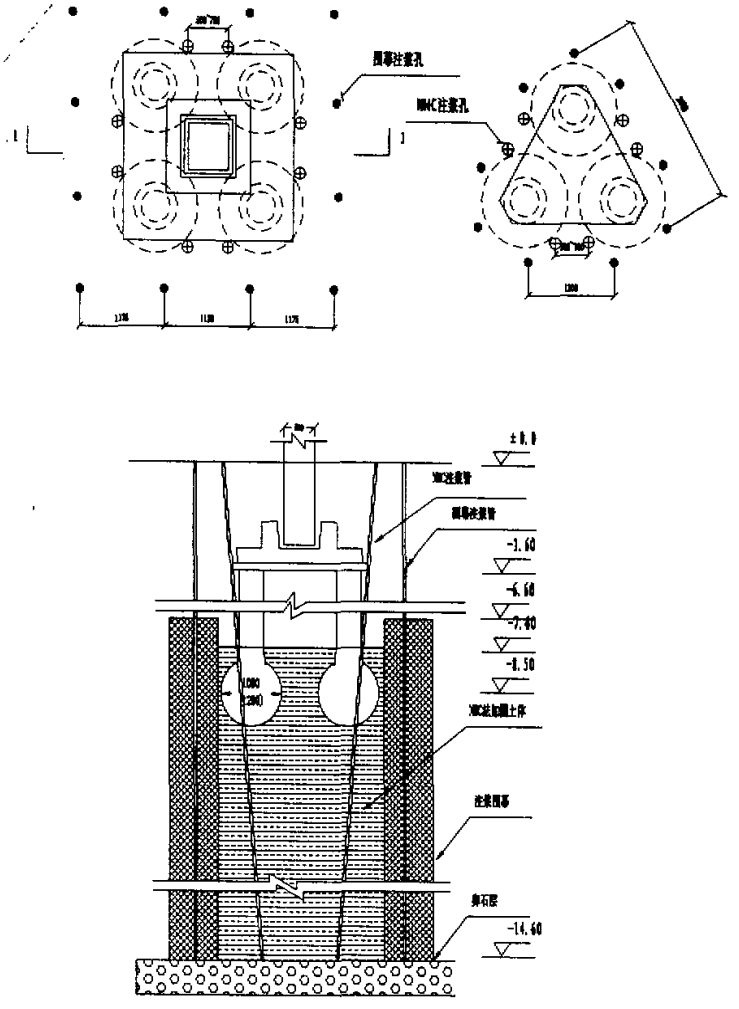


图 1　注浆孔平面布置图

三　柱基下沉变形的原因

经现场调查和补充地质勘探，初步分析并查明了该厂房柱基下沉变形原因有以下几点：

1. 地下水位上升是引起厂房柱基下沉的主要原因

根据数年来不同单位所做的地质资料分析，兰州市西固地区地下水位从 50、60 年代就开始缓慢上升，从上述水文地质资料可知 1972 年地下水位在-13.0m 处，1980 年地下

水位在-11.0m 处，1991 年地下水位在-8.0m 处，1997 年地下水位已上升到-7.2m 左右，最高达-6.3m 处。25 年内地下水位总上升了 5.8~6.7m，由于厂区内地下水位的上升，地基土的持力层由原来的稍湿—硬塑状变为目前的软塑—流塑状，土层的压缩性也由原先的低—中等压缩性变为高压缩性。其地基土层的承载能力，由原来建房设计时的 15t/m² 下降到现在的 5~12t/m²，原有的爆破桩基础已完全丧失了支撑上部荷载的能力。

2. 地表水的侵入也是引起柱基下沉的重要原因

前面已经提到，该厂老 1 万锭主厂房已于 1974 年建成并投入使用。20 余年的运行，使得地坪、地沟早已是凹凸不平，破坏严重。目前的大部分地坪、地沟是经过修补后继续使用的，且仍残缺不全。各车间，尤其是染整车间日用水量相当大，且高含 SO_4^{2-}物质。这些生产用水通过该地坪或地沟的破裂处渗入到地基土中，造成地基土湿陷变形，从而拉动爆破桩基础下移，引起整个建筑物下沉变形。

四　加固工程设计

根据业主的要求，在加固补强工程施工期间，尽可能不影响或少影响各分厂和车间的正常生产，而且还要完成加固施工任务，达到稳定整个建筑物的目的。经过方案的反复比选和投资检算，最终选用了压力注浆法对该厂房的全部独立柱基进行加固补强。其中，注浆帷幕采用较大压力注入水泥、粉煤灰、黄土等材料混合而成的浆液，即称之为劈裂注浆法，帷幕内主体加固，采用较小压力注入硅酸盐类+水玻璃等材料混合而成的浆液，即称之为 NHC 硅化法。注浆孔的平面布置及加固深度和范围如图 1 所示。

1. 帷幕注浆施工参数

材料配比：水泥:粉煤灰:黄土:水=1∶3∶4∶4.5(其中：水泥必须是可抗硫酸盐的，即抗硫水泥，以防 SO_4^{2-}物质对水泥物、化性质的改变，直接影响加固效果及注浆体的强度)

浆材比重：1.75~1.80t/m³

注浆压力：600~800kPa

注浆量：250L/m³(每立方土)

2. NHC 硅化法注浆施工参数

材料配比：稀释后水玻璃(NS):稀释后碳酸盐类(NHC)=1:1

NS(水玻璃)比重：1.12~1.14　*M*(模数)=3.0

NHC(碳酸盐类)参入量：2.6%~2.8%

注浆压力：150~300kPa

注浆量：300L/m³（每立方土）

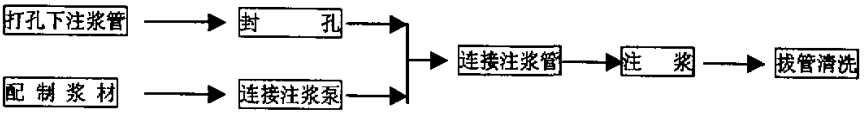
3. 加固范围及工程数量

对该厂老 1 万锭主厂房的所有柱基，其加固深度帷幕从-6.6m~-14.6m；NHC 法加固从-7.6m~-14.6m(即从爆破桩扩大头中心线以上 0.9m 处向下至卵石层顶面的全部土层)。总加固土方数量：体积 17513.18m³。

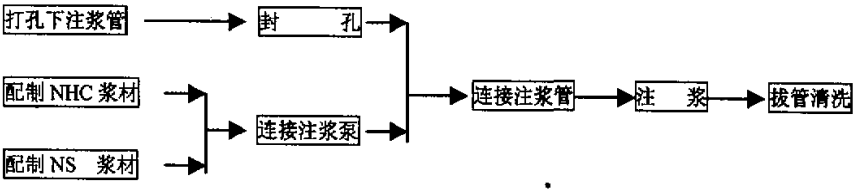
五　工程施工

因要求整个施工期间不影响或少影响厂内的正常生产，所以该工程的施工均为分段或分片进行。每段或每片都在先完成帷幕施工的前提下，然后再进行帷幕内的主体注浆加固施工。其工艺流程为：

1. 帷幕注浆



2. 帷幕内主体注浆加固



六　工程质量控制与加固效果检查

1. 工程质量控制

(1)黄土、粉煤灰质量采用现场验收(含腐殖质土不超过 3%)的方法控制；

(2)水泥、NS 质量采用查验出厂合格证的方法控制；

(3)制浆质量采用称量和比重计测量等方法控制；

(4)注浆量采用计量表对单孔分层注入浆液量和单孔总注入浆液量进行控制；

(5)加固土深度以注浆管与花管的打入深度(一般要求管尖要触及到卵石层顶面或稍进入卵石层内)来控制。

2. 加固效果检查

为了了解压力注浆法加固该厂房独立柱基下湿陷性黄土地基的效果，对本工程来说，因受到现场条件的限制，无法进行实地解剖、取样、进行室内试验等项检查，所以只能选用动态观测和标准贯入度试验[1]来进行检查验证。

(1)动态观测

对该厂房总高度仅有 6.0m 的建筑物来说，进行动态观测只需采用沉降观测就可以了，不需要进行倾斜观测。即在整个厂房内 180 根柱身距地面一定高度处(即与人的视线高度基本平齐部位)分别布置观测点，并在厂房外建立了三个半永久性水准基点，选用 Ni004 水准仪及配套的铟钢尺进行观测，全部动态观测点与水准基点是从 1996 年 10 月份建立的，施工前每两月观测一次，施工期间每月观测一次 10，施工结束后每三个月观测一次。加固前柱基累计下沉量为 7.8~25.6mm；加固期间柱基累计下沉量为 2.4~9.9mm；加固完成

后一年内柱基累计下沉量为-0.8~-0.6mm，依据变形观测规范，证明建筑物已处于稳定状态。

(2)标准贯入度试验

针对该项工程的具体情况，此次试验的抽查数量按加固柱基数的 5%进行，试验位置均由业主方代表任意指定。试验结果表明：加固后的地基土承载力均在 200~540kPa 之间，完全可以满足建筑物的受力要求，与未加固土层的承载力 40~120kPa 相比提高了很多。所以说，此次加固达到了加固柱基下地基土层、提高地基承载力、稳定建筑物的目的。

七 结束语

通过选用两种不同的注入浆液，以不同压力的注浆方法，加固湿陷性黄土地基的工程实践，我们认为对拟加固底面积较大的独立柱基，根据对应土层的物理性能以及所选材料的力学性质和被压入浆液的扩散范围，来确定其压力大小和相应的注浆量，既可节省人力财力，又能达到预期的目的，是一种处理既有建筑物独立柱基下湿陷性黄土地基的较理想方法。

参考文献

[1] 尚继红等：《一种快速检测地基加固效果的方法》，载《地基基础工程》，1996.6。