

# 化工装置厂区防渗注浆关键技术研究

田晓哲

北京东方新星勘察设计有限公司, 北京 100070

**[摘要]**近几年来, 国家对环境保护越来越重视, 而化工装置厂区内危险源众多, 如液氨、柴油、甲醇等, 一旦泄露将对地下水资源和土壤等造成不可逆转的破坏, 因此, 对化工装置厂区进行防渗处理将是一种必然趋势。由于装置厂区建构筑物较多, 特别是已建装置厂区, 进行防渗处理时可采用的处理方法受限, 强夯、土工铺膜、挤密桩等因为施工工艺的限制均不能进行施工, 而注浆由于施工简单, 作业面小, 在调整钻孔注浆角度后可直接在装置下注浆, 且注浆后防渗效果较好, 能起到预期的防渗效果, 因而化工装置厂区防渗注浆施工会在以后的施工中越来越被社会所认可并广泛采用, 具有良好的发展趋势。此文通过对化工装置厂区内防渗注浆关键技术研究, 为今后类似的防渗注浆工程施工提供了理论依据和技术支持。

**[关键词]** 防渗注浆; 装置厂区; 粒径; 封孔; 抬动监测

DOI: 10.33142/ec.v7i6.12107

中图分类号: TG307

文献标识码: A

## Research on Key Technologies for Anti-seepage and Grouting in Chemical Plant Areas

TIAN Xiaozhe

Beijing New Original Star Engineering Investigation and Design Co., Ltd., Beijing, 100070, China

**Abstract:** In recent years, the country has attached increasing importance to environmental protection. However, there are many hazardous sources in chemical plant areas, such as liquid ammonia, diesel, methanol, etc. Once leaked, it will cause irreversible damage to groundwater resources and soil. Therefore, anti-seepage treatment for chemical plant areas will be an inevitable trend. Due to the large number of buildings in plant areas, especially those that have already been built, the treatment methods that can be used for anti-seepage treatment are limited. Due to the limitations of construction techniques, such as dynamic compaction, geotextile membrane laying, and compaction piles, construction cannot be carried out. Grouting, due to its simple construction and small working surface, can be directly injected under the device after adjusting the drilling grouting angle. Moreover, the anti-seepage effect of grouting is good, which can achieve the expected effect. Due to its anti-seepage effect, the anti-seepage grouting construction in the chemical plant area will be increasingly recognized and widely adopted by society in future construction, with a good development trend. This article provides theoretical basis and technical support for similar anti-seepage grouting construction in the chemical plant area by studying the key technology of anti-seepage grouting.

**Keywords:** anti-seepage grouting; plant areas; particle size; sealing the hole; lifting monitoring

### 1 防渗注浆概述

防渗注浆技术是岩土工程的一个分支, 属于地基处理的范畴, 是地下岩土工程建设中不可或缺的一个关键环节。注浆法是将某些固化材料, 如水泥、石灰或其他化学材料灌入基础下一定范围内的地基岩土中, 以填塞岩土中的裂隙和孔隙, 防止地基渗漏, 提高岩土整体性、强度和刚度的一种方法。按其功能分成三类: 渗透注浆、劈裂注浆和压密注浆。防渗注浆属于渗透注浆, 即通过灌浆孔用压力将浆液灌注岩体的裂隙或土的孔隙中, 浆液置换孔隙中的气体和孔隙水, 凝固后将破碎岩体或碎散土颗粒黏结在一起, 从而提高岩土的渗透性和整体性。

防渗注浆工程主要用于坝基防渗处理, 而化工装置厂区的注浆防渗工程在国内的工程实例较少, 特别是在已建装置区, 注浆一般均以加固为主。以某项目为例, 需在已建装置区内进行防渗注浆施工, 要求注浆后注浆效果达到  $4 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-6}$  cm/s, 且在注浆过程中在线监测地表及其

附近建构筑物的抬动情况。

### 2 关键技术分析与研究

#### 2.1 注浆材料

将水泥浆或黏土水泥浆注入岩土以堵塞裂隙、充填孔隙, 形成防渗帷幕, 提高岩土体整体渗透系数。采用这种粒状材料的浆液, 应考虑可注性问题。原则上只要注浆材料的颗粒尺寸  $d$  小于被注土的有效孔隙或裂隙的尺寸  $D_p$  时, 即净空比  $R$  ( $R=D_p/d$ ) 大于 1, 浆液就是可注的。但是, 在注浆过程中, 当浆液浓度较大时, 材料可能以两粒或多粒的形式同时进入孔隙或裂隙, 从而堵塞浆液的通道, 因此不仅要满足  $R$  大于 1, 还要考虑群粒堵塞作用的影响。相反, 若选用  $D_p$  偏大或  $d$  值偏小, 则可能使很多孔隙不能受浆, 使注浆效果很低, 甚至无效。

因此, 在设计注浆材料时, 除应满足  $R$  值的要求外, 还要根据具体的地层情况确定一个合理的注浆标准。

首先, 对可注性问题的研究, 进行三个假定:

当净空比  $R \geq 2 \sim 3$  时, 可以防止群粒的堵塞

(2) 土的有效孔隙尺寸  $D_p$  与土颗粒直径  $D$  的关系:  
 $D_p = D \times e$  ( $e$  为有效孔隙比, 其值一般为  $0.195 \sim 0.125$ )  
 若取净空比  $R = 2 \sim 3$ ,  $R = D_p / d = D \cdot e$ , 即  $D/d = 10 \sim 15$ 。

(3) 不均匀土以  $D_{15}$  代表  $D$ , 注浆材料以  $d_{85}$  代表  $d$ , 可得:

$$N = D_{15} / d_{85} \geq 10 \sim 15$$

式中:  $N$ —可注比值;  $D_{15}$ —土中小于此直径含量为 15% 的颗粒尺寸;  $d_{85}$ —注浆材料中小于此直径含量为 85% 的颗粒尺寸。此公式是评价土中可注性的简化公式。即只要  $N$  值大于  $10 \sim 15$ , 就将有 85% 的灌浆材料充填大部分土体中。经过现场试验证明, 只要注浆材料满足上式的要求, 经过注浆后, 土体的渗透系数会降低至  $10^{-6} \sim 10^{-7}$  m/s, 下表为三个不同土体场地的注浆结果。

表 1 三个不同土体场地的注浆结果

场地代号	被注土的 $D_{15}$ (mm)	注浆材料的 $d_{85}$ (mm)	$N$	注浆后渗透系数 (cm/s)
A	1.0	0.03	33	$3 \times 10^{-7}$
B	0.9	0.06	15	$1 \times 10^{-6}$
C	1.0	0.08	12.5	$3 \times 10^{-6}$

因此, 我们可以根据场地的土质和裂隙情况, 确定注浆材料的颗粒尺寸分布, 满足注浆施工的可注性要求, 从而达到化工装置厂区防渗的目的。

## 2.2 水泥砂浆封孔法

### 2.2.1 水泥砂浆封孔法优势介绍

注浆防渗施工中常用的封孔方法为止浆塞封孔, 即根据要求在需要封孔的位置安装止浆塞, 止浆塞一般为橡胶制品, 能够承受一定的压力, 对止浆塞加压使其膨胀后和孔壁贴合, 达到封孔的效果。一般情况下此封孔方法能够满足注浆施工, 按照要求施工时质量能够得到保证但存在如下缺点:

(1) 止浆塞为橡胶制品, 时间长以后容易老化, 且重复多次使用后本身的收缩性变弱, 止浆效果变差;

(2) 止浆塞加压膨胀后由于表面橡胶内含钢丝网状结构, 表面较硬, 遇孔壁不规则时和孔壁间存在缝隙, 不能有效的起到止浆作用;

(3) 对于松散土层, 止浆塞即使加压至最大压力也无法与孔壁紧密贴合或与孔壁贴合压力较小, 不能起到止浆作用;

(4) 遇孔壁不规则或止浆塞与孔壁间产生负压时, 止浆塞在泄压后很难拔出, 有时依靠装载机机械仍无法拔出, 造成止浆塞的非正常损耗;

(5) 止浆塞及其连接的软管重量在 25kg 以上, 有时为保证止浆效果甚至用更长、更重的止浆塞, 止浆塞的安装和拔塞均由工人操作, 尤其当注浆孔较深时需要的人工较多, 而且施工效率较低。

由于止浆塞封孔有一定的局限性, 现场根据实际情况研究了水泥砂浆封孔法, 此方法具有如下优点:

(1) 基本适用于任何地层, 尤其是松散土层和强度较低、较破碎的岩层, 止浆效果良好;

(2) 操作简单, 施工人员只需通过简短的培训即能掌握, 方便大面积推广;

(3) 彻底杜绝当止浆塞被土层或岩层卡住, 不能提出孔口从而造成止浆塞非正常损耗的现象;

(4) 当按照要求进行封孔后, 封孔效果有保证, 能与孔壁贴合良好, 有效的减少了在注浆过程中孔口跑浆、冒浆的现象;

(5) 注浆过程简单, 消除了常规注浆时止浆塞频繁安装和拔出的情况, 提高了工作效率;

(6) 降低注浆过程中的劳动强度, 减少了施工人员的数量, 节约成本;

(7) 由于封孔效果良好, 注浆过程中能正常产生压力, 注浆量和注浆压力能满足设计要求, 从而能保证了注浆效果。

### 2.2.2 水泥砂浆封孔法的主要施工方法及关键技术

主要施工方法: 根据现场施工要求分段注浆, 在分段的位置采用水泥砂浆进行封孔, 即封孔厚度为 1m 左右, 封孔材料采用砂: 水泥=1:2 的水泥砂浆, 水胶比 0.6 左右, 水泥为 P.042.5 普通硅酸盐水泥, 砂为中细砂, 为加快水泥砂浆硬化速度, 砂浆中掺入早强剂, 掺量为 10% 左右, 另为加强封孔效果还可掺入适量的膨胀剂, 掺量为 3% 左右。每段封孔时均先安装一支 PVC 管, 管外直径宜小于孔半径 20mm 左右, 将 PVC 管插入封孔位置以下 1m 左右。另外为提高封孔标准, 还应按照以下方法进行: 将膨胀带绑扎在 PVC 管的预定位置, 即需要封孔的位置, 使绑扎形成向上的喇叭口, 喇叭口内用丝带子填实, 且喇叭口端部的直径应大于成孔直径 5cm 以上, 这样能更好地保证封孔效果。

#### 关键技术:

(1) 严格控制封孔位置, 为到达封孔效果必须保证每段的封孔厚度;

(2) 封孔材料水泥砂浆要严格按照配合比进行搅拌, 拌制后及时运至现场进行封孔避免时间过长影响砂浆材料的封孔效果;

(3) PVC 管应按要求下至封孔位置以下约 1m, 为保证注浆效果, 可在 PVC 管的端部打设花眼;

(4) 封孔后的注浆时间间隔必须在 12 小时以上, 即等到水泥砂浆达到一定强度以后再进行注浆。

### 2.2.3 现场试验结果分析

通过多次现场试验分析, 采用水泥砂浆封孔后, 在注浆过程中注浆压力能达到最大压力为 2.0MPa, 同时注浆量也有显著提高, 最大注入率达到 320L/m。并且, 通过

对多个场地不同土质条件进行试验,水泥砂浆封孔基本没有出现漏浆、跑浆现象,能够满足注浆压力条件。可以看出,水泥砂浆封孔法基本适用于任何地层,尤其是松散土层和强度较低、较破碎的岩层,止浆效果良好。(下表为不同场地地质条件达到最大注浆压力结果)

表 2 不同场地地质条件达到最大注浆压力结果

土质类型	最大注浆压力 (MPa)		备注
	下部封孔	上部封孔	
松散土层	1.26	1.12	
中密土层	1.61	1.30	
强风化岩土体	2.03	1.78	

注: 15 米钻孔深度为例, 下部封孔位置在 8 米左右, 上部封孔位置在 3 米左右。可以根据现场土层情况, 对封孔位置做出相应调整。

### 2.3 建筑物抬动监测及中控预警系统

#### 2.3.1 抬动监测方法介绍

在建筑物周围进行防渗注浆施工过程中, 均要随时监测地面及其附近建筑物的抬动情况, 根据变形达到的设计允许变化量的程度 (百分比), 相应措施依据《地基处理设计总说明》7.3 第 (2) 条规定。对于装置下注浆, 当变形接近允许值 75%, 需马上停止加压, 并将注浆压力降低至 0.6 Mpa 以下, 根据实际变形发展情况处理, 并适当增大水灰比。当变形进一步发展, 必须马上停止注浆; 等变形停止, 再在该区域继续施工或补注浆, 设计注浆压力改为 0.6 Mpa, 并添加缓凝剂。

针对现场实际情况, 对建筑物抬动观测常用的监测方法: 精密水准仪监测方法和地面抬动监测装置 (千分表) 监测法。这两种监测方法均需要派专人在现场进行监测, 并对监测人员的专业水平有一定的要求, 耗费较多的人力资源, 特别是注浆在夜间也施工时, 更增加了监测的难度。因此, 我们根据现场实际情况, 发明了一种抬动监测及中控预警系统, 它能持续地随时监测到建筑物的沉降与抬升变形, 达到预警设定数值时, 发出报警信号, 及时调整注浆作业。实现了在注浆施工过程中对建筑物的变形进行实时监测, 避免变形进一步扩大, 确保施工安全。并且, 此

系统能够同时设置几十个监测点, 由一个预警终端机控制, 很大程度上减少了人工时的消耗量, 降低了施工成本。

(下表为三种建筑物抬动监测方法对比分析)

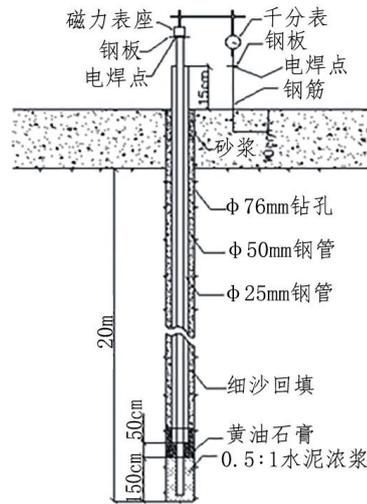


图 1 千分表安装示意图

通过对比以上三种抬动监测方法, 抬动监测及中控预警系统既克服了精密水准不能同时监测多点和不能实现实时观测的不足, 同时也解决了千分表只能监测地表抬动变形的缺点。因此, 抬动监测及中控预警系统在注浆施工的应用, 能够满足现场注浆施工质量和施工安全, 更具实用性。

#### 2.3.2 抬动监测及中控预警系统实验原理

在建筑物周围不同角度安装激光发射器 A, 建筑物附近非同时施工区域不会发生抬高变形的 (如管廊、其他建筑物等) 装置对应安装激光接收器 B, 发射器射出的光束以 20m 距离直径不超过 5mm 为标准, 激光接收器前端有直径 3~5mm 小孔, 调整对应位置和角度。光束射入小孔到接收器, 视为正常状态。

当被监测建筑物抬动竖向变形 3~5mm 或者倾斜变形 2~3mm 左右时, 光束偏离小孔, 接收器无激光照射触发电路系统, 通过无线发射装置 C 发出报警信号, 无线报警信

表 3 三种建筑物抬动监测方法对比分析

名称	原理	适用范围	优缺点
精密水准仪	在原有装置周围安置数个水准观测点, 注浆过程中, 测定布设于建筑物上测点的高程变化, 达到跟踪监测地基基础的变形情况, 确保施工过程安全的目的。	建筑物及地表土层	优点: 精密度高, 操作简单 缺点: 观测抬动时, 只能做到对某个时间节点进行监测, 而不是全天候实时监测。
千分表	抬动观测孔采用地质钻机施工, 金刚石钻头钻进。钻孔结束后及时按技术要求安装抬动观测装置, 所有钢管的连接全部采用丝扣连接。千分表观测人员每隔一段时间观测一次。(安装示意图见下图)	地表土层	优点: 精密度高 缺点: 千分表观测人员每隔一段时间才能观测一次, 不能及时反映出抬动情况。并且, 千分表监测只适用于观测地表抬动变形, 建筑物抬动监测装置安装困难。
抬动监测及中控预警系统	根据注浆施工区域, 确定各监测点, 然后进行仪器安装, 由一个中控系统控制, 并且根据需要, 可以设置多个监测点同时进行监测。	建筑物及地表土层	优点: 能不间断随时监测到建筑物的变形, 并且可以设置多个监测点同时进行监测 缺点: 仪器技术要求较高

号发送到距离 3 公里以内办公室中控无线接收终端 D，终端显示屏显示报警发射器位置代码并蜂鸣报警。管理人员迅速通知对应位置现场施工人员停止注浆作业，同时专业测绘工程师观测建筑物水准点高程变化，并根据变形量及设计技术要求修订注浆作业安排。

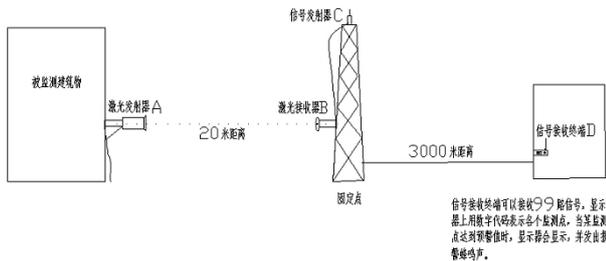


图 2 抬动监测及中控预警系统安装示意图

### 2.3.3 实验结果

通过多次试验，本次研究的抬动监测及中控预警系统均能成功监测到建筑物抬动变形，并通过与精密水准仪复测，抬动变形量均在 5mm 以内，就会触发报警。而预警终端机经过多次改进，可以查询到各个监测点时的报警时间。总之，抬动监测及中控预警系统在化工装置厂区进行建筑物抬动观测，实现了在注浆施工过程中对建筑物的变形进行实时监测，避免变形进一步扩大，确保施工安全。

### 3 结论与展望

本文针对化工装置厂区防渗注浆工程的特点，主要从注浆材料、水泥砂浆封孔以及对建筑物进行抬动监测时所用到的抬动监测及中控预警系统等三点关键技术进行分析研究。通过开展一系列相关的现场与室内试验，对三点关键技术效果进行归纳：

(1) 防渗注浆施工设计时，注浆材料颗粒直径与被注岩土体颗粒直径关系；

(2) 水泥砂浆封孔法基本适用于任何地层，尤其是松散土层和强度较低、较破碎的岩层，止浆效果良好；

(3) 抬动监测及中控预警系统能持续地随时监测到建筑物的沉降与抬升变形，避免了变形进一步扩大，确保了施工安全。

随着国家对环境保护的越来越重视，对化工装置厂区地下进行防渗处理将是一种必然趋势，将会带动防渗注浆技术的发展。本文仅对防渗注浆施工的三点关键技术进行分析，但防渗注浆施工复杂、影响因素多以及自身水平和时间的限制，尚有其他技术问题需要进一步完善和解决。总之，希望本文所提到的水泥砂浆封孔法和建筑物抬动监测及中控预警系统会在以后的防渗注浆施工中被社会所认可并广泛采用。

#### [参考文献]

- [1]郭金敏,李永生. 注浆材料及其应用[D]. 江苏:中国矿业大学出版社,2008.
  - [2]张良辉. 渗入灌浆理论评述及其发展方向[N]. 石家庄铁道学院学报,1995-05-03(3).
  - [3]杨志全. 水泥浆液在小粒径砂石体中注浆理论及模拟实验研究[D]. 云南:昆明理工大学,2008.
- 作者简介：田晓哲（1987.6—），男，毕业院校：石家庄铁道大学四方学院，学历：本科，所学专业：工程管理，当前工作单位：北京东方新星勘察设计有限公司，职务：职员，所在职务的年限：12 年，职称级别：工程师。