

浅谈地基基础加固的复合注浆技术

李娟斌^{1,2}

(1. 兰州理工大学土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州市城关区九州管委办, 甘肃 兰州 730047)

摘要:文章就地基基础加固中的复合注浆法这一较新的加固技术, 从其特点、作用机理、设计计算、施工工艺、质量检验等方面进行了分析, 并介绍了其在地基和桩基础工程加固中的应用。以期在今后得到更为广泛的使用。

关键词:地基加固; 复合注浆; 设计计算

中图分类号: TU471.8

注浆技术目前已成为我国岩土工程技术领域的一个重要分支, 它在土建、市政工程、水利电力、交通能源、隧道、地下铁道、矿井、地下建筑等许多领域有着广泛的应用。目前常用的注浆方法有静压注浆法和高压喷射注浆法, 在地基基础加固中, 有时应用其中一种注浆方法难以有效地解决工程实际问题, 工程的安全可靠性也难以保证。因此我国在旋喷注浆技术的基础上, 开发研究出了复合注浆技术。复合注浆法能充分发挥静压注浆和高压旋喷注浆这两种注浆加固方法各自的优点, 是一种经济、有效、安全可靠的新加固技术, 适用于各类地基和桩基础工程的加固。

1 复合注浆概述

1.1 复合注浆的定义

复合注浆是将静压注浆和高压旋喷注浆进行时序结合发挥两种注浆技术优势的一种新型注浆技术。实际工程中是先采用高压旋喷注浆成桩柱体, 再采用静压注浆增强旋喷效果, 扩散加固浆液, 防止固结收缩, 消除注浆盲区。将复合注浆方法应用于地基和桩基础加固中, 能充分发挥静压注浆和高压旋喷注浆这两种注浆加固方法各自的优点, 克服各自的缺点, 从而达到最大的适用地层范围和最佳的加固效果, 保证加固的成功率和安全性。

1.2 复合注浆的特点

1) 复合注浆适用地层范围广, 既适用于加固渗透性大的砂卵石层, 又可适用于渗透性较差的粘土、粉土和粉细砂层及淤泥等软弱土层, 还可以用来加固溶岩地层的地下溶洞。

2) 复合注浆浆液扩散范围大, 不仅对高压喷射流喷射破坏土体的极限范围之内土体进行转换加

固, 而且对喷射破坏土体的极限范围之外的土体以充填、渗透、挤密和劈裂等方式进行注浆加固, 在成桩的同时对地基土有灌浆加固作用。

3) 复合注浆法能定向定位定深度, 能形成连续的圆柱状的旋喷桩体, 旋喷桩体顶部无收缩, 与原基础混凝土或桩混凝土结合紧密。能直接承受上部荷载, 承载力较高。固结体强度较高, 且固结体强度可根据设计需要进行调节。其强度范围为 5~30Mpa, 与只用高压喷射注浆形成的固结体相比, 复合注浆法形成的连续的圆柱状的旋喷桩体, 其各方面的性质都有了提高。

4) 复合注浆钻孔施工口径较小, 对既有建筑物基础和地面损害和扰动小, 可调节浆液的凝固时间, 施工期建筑物附加沉降小。经济可靠, 耐久性好。

5) 复合注浆施工简便, 施工机具适合既有建筑物狭窄和低矮的现场施工, 施工时基本无噪音, 材料对环境无污染, 可满足办公和生活要求并保护环境。

2 复合注浆的作用机理

2.1 高压喷射流对土体的喷射切割作用

复合注浆首先采用高压浆(或水)喷射流对地基土进行喷射, 从一定范围内将地基土体原有的结构破坏, 使地基土体由原来的固体变成流态的泥浆体。复合注浆法形成旋喷桩固结体的直径大小主要取决于高压喷射流对土体的切割范围。

2.2 浆液对土体的渗透、劈裂、挤密作用

复合注浆法采用高压旋喷注浆后再进行静压注浆, 静压注浆浆液对土体的加固主要有渗透、劈裂、挤密三方面的作用。对不同地层注浆, 这三种作用方式在注浆过程中所起的作用主次地位也有所不同, 但在任何一种地层中这三种作用都会同时存在。

2.3 浆液与土的搅拌置换固结作用

复合注浆采用高压旋喷注浆时, 钻杆在旋转提升过程中, 喷射流对土体进行冲切破坏, 在喷射流后部形成空隙, 在喷射压力作用下, 迫使土粒向着与喷嘴移动的方向相反的方向移动, 从而与喷射流浆液搅拌混合, 一部分细小的土粒被喷射浆液转换, 随浆液带到地面, 其余的土粒与浆液搅拌混合。浆液与土混合后, 经一系列水化作用后形成固结体。

3 复合注浆的设计计算

3.1 复合注浆固结体设计

1) 复合注浆固结体直径。经大量实验研究及工程应用表明, 复合注浆固结体直径与土质有关以及与注浆工艺参数有关, 针对不同的土层需采用与之相适应的喷射压力和提升速度。在地基基础加固中, 复合注浆固结体直径平均值设计为 500~600mm。在对缺陷桩基的加固补强中, 复合注浆固结体直径平均值设计为 500~800mm。

2) 复合注浆固结体强度。经大量实验研究及工程检测结果表明, 复合注浆固结体强度与土质有关以及与喷射次数有关。在地基基础加固中, 复合注浆固结体强度极限值设计为 5.0~15.0MPa。在对缺陷桩基的加固补强中, 复合注浆固结体强度极限值设计为 8.0~25.0MPa。

3.2 复合注浆的注浆量设计

3.2.1 复合注浆的旋喷注浆量设计

复合注浆加固地基基础时的旋喷注浆量计算有两种方法, 即体积法和喷量法, 取其中大者作为设计喷射浆量。

1) 体积法:

$$Q = \frac{\pi D_e^2 K h \alpha (1 + \beta)}{4}$$

式中:

Q—需要用的浆量(m^3);

D_e —旋喷体直径(m);

K—填充率(0.75~0.9);

h—旋喷长度(m);

β —损失系数(0.1~0.2);

α —折减系数(0.6~1.02)

2) 喷量法:

以单位时间喷射的浆量及喷射持续时间, 计算出浆量, 计算公式为

$$Q = H/Vq(1+\beta)$$

式中:

Q—需要用的浆量(m^3);

H—喷射长度(m);

q—单位时间喷浆量(m^3/\min), 与喷射压力与喷嘴直径有关;

β —损失系数, 通常(0.1~0.2);

v—提升速度(m/\min)

复合注浆加固地基基础时先采用高压旋喷法形成旋喷桩, 发挥加固效果的主要是旋喷桩, 旋喷注浆的水泥用量也较多。对既有建筑物地基基础加固时, 一般旋喷注浆水泥用量设计为 180~220kg/m。对缺陷桩补强时, 由于需采用较慢的提升速度以及复喷的方式, 因而注浆量较大, 一般来说旋喷注浆水泥用量设计为 300~600kg/m。如地层中出现旋喷返浆不正常现象, 则需加大浆液用量。

3.2.2 复合注浆的静压注浆量设计

复合注浆的静压注浆量可按下式计算:

$$Q = K \cdot V \cdot n$$

式中:

Q—灌浆浆液总用量(m^3);

V—灌浆加固对象的土量(m^3);

n—土的孔隙率;

K—经验灌注系数, 其取值为 0.3~0.8

由于复合注浆中的静压注浆的目的主要是为了增加浆液的扩散范围, 提高旋喷固结体质量, 使固结体不收缩并与原基础结合紧密, 同时增加了固结体周边土体的强度, 从而增加了旋喷桩的承载力。在复合注浆中, 静压注浆起辅助作用, 其水泥用量相对也较少。

通常情况下, 复合注浆法用于加固既有建筑物地基基础时, 旋喷后静压注浆的水泥用量设计为 300~800 公斤/孔。复合注浆法用于对缺陷桩补强时, 旋喷后静压注浆的水泥用量设计为 500~1500 公斤/桩。

3.3 复合注浆主要注浆参数设计

1) 旋喷注浆压力: 在既有建筑物地基加固注浆时常采用单管高压旋喷, 其压力常用 20~25MPa; 在对桩基缺陷进行加固补强注浆时采用单管高压旋喷或三重管高压旋喷, 注浆压力常用 25~30Mpa;

2) 喷射提升速度: 在既有建筑物地基加固注浆时采用 20cm/min; 在对桩基缺陷进行加固补强注浆时采用 10cm/min~15cm/min;

3) 喷射旋转速度: 20r/min~40r/min;

4) 静压注浆压力: 在既有建筑物地基加固注浆时采用 0.3~2.0Mpa; 对桩基缺陷进行加固补强注

浆时采用 $0.3\sim 5.0\text{Mpa}$; 注浆压力需根据每个工程的不同土质条件及注浆部位进行注浆压力设计;

5) 浆液水灰比: 旋喷注浆时采用 $1:1\sim 1.2:1$, 静压注浆时采用 $0.5:1\sim 1.2:1$ 。

3.4 复合注浆的浆液材料

1) 主剂: 采用水泥浆为主剂, 对既有建筑物地基加固注浆时水泥一般采用 425 # 早强型硅酸盐水泥。对桩基础缺陷进行加固补强注浆时, 为了获得较高的固结体强度, 采用高标号的 525 # 普通硅酸盐水泥。

2) 外加剂: 常用外加剂为速凝剂、早强剂等。速凝剂常采用水玻璃, 水玻璃加量一般为水泥用量的 $2\%\sim 4\%$ 。采用双液进行静压注浆时, 水玻璃用量可为水泥用量的 $10\%\sim 100\%$ 。早强剂为氯化钙和三乙醇胺, 其加量一般为水泥用量的 $2\%\sim 4\%$ 。

4 复合注浆的施工工艺

4.1 注浆钻孔施工

对桩基的桩身缺陷或桩底持力层缺陷进行加固时, 先采用地质钻机在桩中进行钻孔抽芯或在桩侧进行钻孔, 对桩身缺陷加固时需在桩中钻孔抽芯至缺陷位置以下 1m 左右, 对桩底持力层缺陷加固时需根据设计桩底持力层要求从桩中或桩侧钻孔抽芯至完整持力层以下 3m 左右。钻孔孔径一般开孔为 110mm 或 101mm , 终孔直径为 101mm 或 91mm , 钻孔垂直度保证小于 1% 。

4.2 建立孔口注浆装置

注浆钻孔施工完成以后, 在注浆孔口建立注浆装置。孔口注浆装置采用预埋的方式固定在桩顶注浆孔口, 采用水泥浆或水泥水玻璃浆液将孔口装置与钻孔之间的间隙固定密封。孔口注浆装置既要满足静压注浆要求又要满足高压旋喷注浆的要求。

4.3 采用高压旋喷方式喷射清水进行冲洗扩孔

孔口注浆装置埋设 $1\sim 2$ 天后, 先采用高压旋喷方式喷射清水对缺陷位置进行冲洗, 喷射清水时需按设计规定的工艺参数(喷射压力、提升速度、旋转速度)进行喷射, 将注浆管分段下入孔底, 每段注浆钻杆需连接紧密并采用麻丝密封。旋喷清水采用从下而上的方式。旋喷清水一般采用单管旋喷注浆方式, 清水一般喷射 $1\sim 3$ 遍, 经喷射清水后, 可扩大喷射直径和增加固结体的强度。

4.4 采用高压旋喷注浆方式进行注浆

按要求进行清水喷射洗孔和扩孔后, 再采用高压旋喷注浆方式进行旋喷注浆。将注浆管分段下入

孔底后, 从下而上进行旋喷注浆, 旋喷注浆一般采用单管旋喷注浆方式。

4.5 采用静压注浆方式进行注浆

高压旋喷注浆结束后, 利用孔口注浆装置封住孔口进行静压注浆。静压注浆开始时采用较稀的浆液和较低的注浆压力, 随后逐渐增加浆液浓度及加大注浆压力, 直至设计注浆量和注浆压力为止。一般静压注浆在浆液终凝前需进行 $2\sim 3$ 次灌注。静压注浆可以采用单液也可采用双液注浆。

4.6 封孔

静压注浆结束后, 若注浆孔口冒浆, 需对孔口进行封闭处理, 防止浆液流出; 若注浆结束后孔内浆液有流失, 需补灌浆液到注浆孔内浆液饱满为止。

5 复合注浆的质量检验

5.1 检验内容

- 1) 固结体的整体性和均匀性;
- 2) 固结体的有效直径;
- 3) 固结体的垂直度;
- 4) 固结体的强度特性;
- 5) 固结体的溶蚀和耐久性能;
- 6) 固结体与承台或基础连接程度。

5.2 检验方法

1) 开挖检验。待浆液凝固具有一定强度后(一般在施工完成 28 天后), 即可开挖检查固结体垂直度和固结形状。

2) 钻孔取芯。在已注浆好的土体中钻取芯样检查, 并将芯样做成标准试件进行室内物理力学性能试验。

3) 标准贯入试验。在注浆固结体深度内进行标准贯入试验。

4) 沉降观测。这是检验既有建筑物地基基础复合注浆法加固效果的必要方法。

6 复合注浆的应用

6.1 复合注浆在既有建筑物地基加固中的应用

1) 建筑物沉降或沉降差超过有关规定, 建筑物出现裂缝、倾斜, 影响正常使用, 甚至危及建筑物安全, 需采用复合注浆加固地基。2) 已有建筑物需要加层改造, 或建筑物用途改变, 增加荷载, 原地基承载力和变形不能满足要求, 需采用复合注浆提高地基的承载力。3) 在已有建筑物地基或相邻地基中修建地下工程, 或邻近深基坑开挖等, 采用复合注浆加固地基, 防止建筑物受周边影响。(下转第 200 页)

表 1 烘干马鹿血与冻干马鹿血中有效成分含量比较

有效成分	烘干马鹿血	冻干马鹿血
蛋白质(%)	36.1	94.5
脂肪(%)	0.14	0.15
铁(%)	0.28	0.31
钙(%)	0.12	0.1
锌(%)	0.005	0.006

2.2 冻干马鹿血粉碎方法的选择

鹿血属珍贵原料,采用提取方法,其中的许多有效成分不被提取出来,会造成原料的浪费;采用一般粉碎方法,其功效作用不能充分发挥。鉴于此,我们选择超微粉碎技术对其进行进一步深加工。

鹿血的细胞尺度一般在 $10\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 左右。经过细胞超微粉碎工艺作业,粉碎后得到的鹿血粉可以达到 300 目筛(300 目筛孔内径为 47μ)全通,其粒度分布中心 $D_{50} \approx 12 \sim 15\mu\text{m}$, 上限尺寸 $< 47\mu\text{m}$ 。在粉碎过程中,受到强烈的正向挤压力和切向剪切力的作用,细胞被挤压、剪切,细胞壁被撕裂、断开,细胞被破碎成碎片或被压破。分析证明:中药材粉至 300 目,综合细胞尺度破壁率可达到 86.5% 以上。实践中对 300 目的微粉用电子显微镜观察,已经很难看到完整的细胞。冻干鹿血经过超微处理

后,其粒度更加细微均匀,比表面积增加,孔隙率增大,细胞壁破碎。其有效成分被充分释放出来,能较好地分散、溶解在胃肠液里,且与胃肠粘膜的接触面积增大,更易被胃肠道吸收,从而大大提高了生物利用度。在超微粉碎过程中,经控制可不产生过热现象,甚至可在低温状态下进行,并且粉碎速度快,有利于保留鹿血中的生物活性成分及各种营养成分,从而提高功效。

2.3 配方选择

基于对马鹿血药性、药理的认识和成份的分析,参考现代药理的研究成果,筛选出滋补肝肾益精明目、扶正固本、药食同源的天然食用植物药人参、黄芪、茯苓、枸杞等,按中医理论组方,从中药中提取精华,配制出裕丰胶囊。配方经中国医学科学院保健食品专家李连达院士的审核,认为配方合理。通过北京联合大学功能实验验证,鹿血胶囊具有明显的抗疲劳作用。

参考文献:

- [1] 张荣庆.项目技术由清华大学海洋科学与工程研究中心
- [2] 食品卫生检验方法 理化部分(一)[S].2003

(上接第 173 页)4)深基坑支护和止水防渗。

6.2 复合注浆在工程桩基施工中的加固补强应用

1)复合注浆可用于加固处理持力层较弱的工程灌注桩;设计所要求的坚硬持力层过深或施工时未达到坚硬持力层,可采用桩内预留孔或钻孔方式采用复合注浆加固。2)有桩身质量问题的灌注桩:如桩身局部松散破碎,贯通性蜂窝、断桩等缺陷桩。3)需要扩底的预制桩:在桩施工前在预定的桩底区域复合注浆,可以大幅度提高桩的承载力,减小桩基础变形量。4)桩底下软夹层、溶洞、溶沟、土洞的处理:由于岩溶地区地质情况复杂多变,施工后的桩基础常发现软夹层、溶洞、土洞等,处理起来常使工程人员棘手,应用复合注浆法处理简便又经济,加固效果可靠。

7 结语

静压注浆和高压旋喷注浆技术在地基和基础加固应用中有大量成功的工程实例,也有不少失败的经验教训。复合注浆法将两种注浆方法进行时序上的结合,能充分发挥这两种注浆加固方法各自的优

点,克服各自的缺点,从而达到最大的适用地层范围和最佳的加固效果,保证加固的成功率。实践证明其社会效益和经济效益非常显著,值得在国内大力推广应用。迄今为止,在国内复合注浆法在地基加固和桩基加固工程中虽然已得到了一定的应用,但还不够成熟,在如何提高固结体的均匀性、整体性、溶蚀性及其有效直径等方面还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准,建筑地基处理技术规范·JGJ79-2002, J220-2002,北京:中国建筑工业出版社,2002
- [2] 邱小佩.复合注浆法处理缺陷性混凝土桩基础,建筑技术开发,1996.3
- [3] 叶书麟.地基处理.北京:中国建筑工业出版社,1988
- [4] 叶观宝.地基加固新技术.北京:机械工业出版社,2002
- [5] 吕西林.建筑结构加固设计.北京:科学出版社,2001.2
- [6] 梁仁旺.扩底后注浆桩施工工艺及承载机理的探讨.太原理工大学学报,2002.2
- [7] 韩金田.复合注浆法在地基基础加固中的应用研究.岩土工程界,2001.9