



CECS 68 : 94

中国工程建设标准化协会标准

氢氧化钠溶液(碱液)加固湿陷性黄土地基

技 术 规 程

**TECHNICAL REGULATION ON SODIUM HYDROXIDE
SOLUTION GROUTING FOR STRENGTHENING
COLLAPSIBLE LOESS FOUNDATION**

前 言

现批准《氢氧化钠溶液(碱液)加固湿陷性黄土地基技术规程》**CECS 68 : 94** 为中国工程建设标准化协会标准,推荐给各有关单位使用。在使用过程中,请将意见及有关资料寄交西安市环城西路陕西省建筑科学研究院中国工程建设标准化协会湿陷性黄土委员会(邮政编码 **710082**),以便修订时参考。

中国工程建设标准化协会

1994 年 12 月 20 日

目 次

1	总 则	(1)
2	勘察和设计	(2)
3	施 工	(5)
4	工程验收	(8)
附录 A	20℃时碱液几种浓度的换算表	(9)
附录 B	施工记录表	(10)
附录 C	碱灰混合加固	(12)
附录 D	本规程用词说明	(13)
附加说明		(14)

1 总 则

1.0.1 为指导设计、施工人员正确使用氢氧化钠溶液(即碱液,下同)加固湿陷性黄土地基,并做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,特制定本技术规程。

1.0.2 本规程适用于处理非自重湿陷性质土地基上以及以黄土为填料的填土地基上已有建筑物的湿陷事故。

1.0.3 当通过技术经济比较确认可采用碱液加固地下水位以上的湿陷性黄土地基以及以黄土为填料的填土地基时,其设计、施工和监理可参照本规程有关规定执行。

1.0.4 本规程未规定事项应按国家现行的有关标准、规范执行。

2 勘察和设计

2.0.1 碱液加固地基的设计应在掌握较详细的岩土工程勘察资料的基础上进行。勘察工作应查明黄土地层的时代、成因、湿陷性黄土层的厚度、湿陷系数随深度的变化、湿陷类型和湿陷等级的平面分布、水文地质和其他工程地质等条件。

2.0.2 每幢单独建筑的勘探点数量不宜少于 3 个,其中 2/3 以上应为探井,并全部为取土勘探点。探井取样时,其竖向间距不宜大于 1m,土样直径不小于 10cm,半数以上勘探点的勘探深度应穿透湿陷性黄土层。

2.0.3 对下列情况不宜采用碱液加固:

- (1)对于地下水位以下或饱和度大于 80%的黄土地基;
- (2)已掺入沥青、油脂和其他石油化合物的黄土地基。

2.0.4 自重湿陷性黄土地基能否采用碱液加固,取决于其对湿陷的敏感性。自重湿陷敏感性强的地基不宜采用碱液加固。对自重湿陷不敏感的黄土地基经过试验认可并拟采用碱液加固时,应采取卸荷或其他措施以减少灌液时可能引起的较大附加下沉。

2.0.5 当土中可溶性和交换性的钙、镁离子含量较高(大于 $10\text{mg} \cdot \text{eq}/100\text{g}$ 干土)时,可只采用碱液一种溶液加固;否则,需用碱液和氯化钙两种溶液进行加固。

2.0.6 通过技术经济比较,也可采用碱液与生石灰桩的混合加固方法,见附录 C。

2.0.7 碱液加固地基的深度应根据场地的湿陷类型、湿陷等级和湿陷性黄土层厚度并结合建筑物类别与湿陷事故的严重程度等综合考虑后确定。一般应消除外荷湿陷范围内黄土层的湿陷性,加固深度一般不宜超过 5m。

如外荷湿陷影响深度较大,且为丙、丁类建筑时,可只消除基础底面下相当于 $1.0 \sim 1.5b$ (b 为基础宽度) 深度范围内黄土层的湿陷性。

对于自重湿陷不敏感或不很敏感的黄土地基,可消除外荷湿陷影响深度内黄土层的湿陷性,该深度可近似按 $2.0 \sim 3.0b$ 确定。

2.0.8 如黄土的湿陷性强,湿陷性黄土层的厚度大,而建筑物湿陷事故又较严重时,可考虑采用其他深层加固方法;如拟采用碱液加固方法,应在经过全面技术经济比较后确认采用碱液加固更为有利时方可应用。

2.0.9 碱液加固地基施工前,一般应在现场进行单孔或群孔灌液试验,以确定加固半径、加固深度、溶液的浓度、灌液量和灌注速度等参数。

2.0.10 碱液加固土层的厚度 h 可按下式估算:

$$h = l + r \quad (2.0.10)$$

式中 l ——灌注孔的长度,从注液管底部到灌注孔底部的距离(m);

r ——有效加固半径(m)。

2.0.11 碱液有效加固半径 r 与每孔注入的碱液量、碱液浓度、温度和土性(含水量、孔隙比、渗透系数)等有关,一般应通过现场试验确定。试验时如碱液的浓度和温度符合 3.0.8 条和 3.0.11 条的规定,有效加固半径和碱液灌注量之间的关系可近似按下式确定:

$$r = 0.6 \sqrt{\frac{V}{nl \times 10^3}} \quad (2.0.11)$$

式中 V ——每孔的碱液灌注量(L),试验前可按加固要求达到的有效加固半径近似按(2.0.13)式进行估算;

n ——被加固土的原始孔隙率。

当无试验条件或工程量较小时, r 可按经验值确定,一般取 $0.4 \sim 0.5m$ 。

2.0.12 碱液灌注孔的平面布置一般可沿条形基础的两侧或单独

基础的周边各布置一排。孔距可根据加固要求确定。当加固要求较高并要求加固土体连成一片时,孔距(中至中)可取 $1.8 \sim 2.0r$, 约 $0.7 \sim 0.9\text{m}$; 当事故较轻或土质稍好时,孔距可适当加大至 $3.0 \sim 5.0r$ 。

2.0.13 每孔的碱液灌注量(以 L 计)可按下式估算:

$$V = \alpha \beta \pi r^2 (l + r) n \quad (2.0.13)$$

式中 α ——碱液充填系数,可取 $0.6 \sim 0.8$;

β ——工作条件系数,考虑碱液流失等影响,可取 1.1 。

按上式求得的 V 并乘以灌注孔数即为碱液加固所需溶液的总用量。

2.0.14 加固设计应进行以下两方面验算。

(1) 加固土体与基础底部接触面处承压力的验算:

$$\frac{F + G}{A} \leq f \quad (2.0.14)$$

式中 F ——每一加固体所分担的上部结构传至基础顶面的竖向力设计值(kN);

G ——基础自重设计值和基础上的土重标准值(kN);

A ——加固土体与基础底面的接触面积(m^2);

f ——加固土体承载力的设计值,一般应通过现场试验确定;当无试验资料时,可近似取 $300 \sim 400\text{kPa}$ 。

(2) 加固土体底面标高处黄土承载力的验算,可按一般软弱下卧层承载力验算,应符合《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)的有关规定。

3 施 工

3.0.1 施工机具包括成孔机具、溶液桶、输送管、注液管等。

3.0.2 灌注孔可用洛阳铲、螺旋钻取土成孔或用带有尖端的钢管打入土中成孔。孔的直径一般为 6~12cm,如土的渗透性较大,或土的均匀性较差,成孔直径宜取低值,并打管成孔;如土的渗透性较小或饱和度较大,则孔径宜取高值,并用洛阳铲或螺旋钻成孔。打孔要保证垂直度,在垂直和平行于基础方向的平面容许偏差各不大于 5cm 和 10cm,偏斜度不大于 1%。

3.0.3 灌注孔达到预定处理深度后,在孔中填入粒径为 20~40mm 的石子,直到注液管的下端标高处,而后将内径为 20mm 的钢注液管插入孔中,管底以上 30cm 的高度内填入粒径为 2~5mm 的绿豆砂,其上用素土或 2:8 灰土分层捣实直到地表。抛填石子不要太快,石子含泥量低于 3%。

3.0.4 盛碱液桶可用厚 3~4mm 的钢板焊成容积为 200~400L 的容器。在容器底部输液口装设 $\varnothing 20\text{mm}$ 的阀门。

3.0.5 溶液输送管可用 $\varnothing 25\text{mm}$ 的胶皮管,溶液经输液管和注液管自流渗入灌注孔四周的上中,形成加固土体。

3.0.6 加固前应对所用烧碱进行化学定量分析,以确定各种化学成分的含量。加固用烧碱应符合下列规定:

3.0.6.1 固体烧碱或液体烧碱溶质中 NaOH 含量不宜低于 85%;

3.0.6.2 碳酸钠(Na_2CO_3)的含量不得超过 5%;

3.0.6.3 固体烧碱中不溶于水的杂质含量不得超过 2%。

为降低成本,也可采用工厂废碱液。废碱液中 NaOH 含量应大于 50g/L。

3.0.7 氯化钙溶液中的杂质含量在每一升溶液中不得超过 60g, 悬浮颗粒不得超过 1%。

3.0.8 碱液可用固体烧碱或液体烧碱配制。加固每立方米黄土所需 NaOH 用量约为干土质量的 3% 左右, 即 35~45kg。

碱液浓度不应低于 80g/L, 也不宜超过 120g/L, 常用浓度为 90~100g/L。

双液加固时, 氯化钙溶液的浓度一般为 50~80g/L。

3.0.9 溶液的加碱量应符合下列规定:

3.0.9.1 采用固体烧碱配制每立方米浓度为 M 的碱液时, 每立方米水中的加碱量按下式计算:

$$G_s = \frac{1000M}{P} \quad (3.0.9-1)$$

式中 G_s ——每立方米碱液中固体烧碱的投放量(kg);

M ——配制碱液的浓度(g/L), 计算时应将 g 化为 kg;

P ——固体烧碱中 NaOH 含量的百分数(%)。

3.0.9.2 采用液体烧碱配制每立方米浓度为 M 的碱液时, 液体烧碱的投放量按下式计算:

$$V_1 = 1000 \frac{M}{\rho N} \quad (3.0.9-2)$$

加水量 V_2 为:

$$V_2 = 1000 \left[1 - \frac{M}{\rho N} \right] \quad (3.0.9-3)$$

式中 V_1 ——所投放液体烧碱的体积(L);

V_2 ——所加水的体积(L);

ρ ——液体烧碱的比重;

N ——液体烧碱的重量百分浓度(%)。

配制溶液时, 应先放水, 而后徐徐放入碱块或浓碱液。

3.0.10 在灌注溶液过程中, 应对碱液浓度随时用波美比重计检核, 使其符合规定要求。20℃时碱液的浓度(以每升溶液中含溶质的克数表示, g/L)与百分浓度、波美浓度和溶液比重的换算关系

见附录 A。

3.0.11 碱液应在盛溶液桶中加热到 90°C 以上,并保持温度不低于 80°C 。当用蒸汽加热时,可直接将蒸汽管插入溶液中;必要时也可采用蛇形管。

3.0.12 碱液的灌注速度以 $2\sim 5\text{L}/\text{min}$ 为宜。如平均灌注速度超过 $10\text{L}/\text{min}$,应查明孔洞位置并填实,重行灌液。如灌注速度小于 $1\text{L}/\text{min}$,要查明是否系土的可灌性差,或注液管被堵塞,或灌注孔中气体不能顺利排出,并应及时进行疏导或修改设计。

每孔的碱液灌注量一般不应低于设计值。当土层的可灌性差时,在取得设计人员同意后可适当减少碱液灌注量。

3.0.13 灌液施工中应合理安排灌注顺序和控制灌注溶液的速度。为减少灌液对建筑物可能发生的附加下沉(在灌注溶液 $3\sim 4\text{h}$ 后,附加下沉一般即行停止),宜跳孔灌液并分段施工。一般相邻两孔灌注时间的间隔不宜少于 3d 。同时灌液的两孔,相距应不小于 3m 。

3.0.14 当采用双液加固地基时,应先灌注碱液,隔 $8\sim 12\text{h}$ 后,再灌注氧化钙溶液,其用量为碱液的 $1/2\sim 1/4$ 。

3.0.15 施工中应防止污染水源,注意安全操作,并备工作服、胶皮手套、风镜、围裙、鞋罩等。皮肤如沾上碱液,应立即用 5% 浓度的硼酸溶液冲洗。

3.0.16 溶液灌注完毕后立即拔出注液管,并冲洗干净。同时清理洗净盛溶液的容器。孔洞用细砂填实,其上部用水泥砂浆或灰土封实。

3.0.17 采用碱液(或双液)加固已有建筑物地基时,在灌液过程中,应对建筑物进行沉降监测。灌液期间应每日观测一次。如附加下沉速率超过 $2\text{mm}/\text{d}$ 或累计下沉量超过 1cm 时,应采取卸荷或支护措施,或隔 $3\sim 5\text{d}$ 后再行施工。

4 工程验收

4.0.1 碱液加固地基的验收应在施工完毕 30d 后进行,并以施工记录和沉降观测记录为依据。

4.0.2 加固土体通过开剖或钻孔取样作无侧限抗压强度试验和水稳性试验。取样部位应在加固土体中部,试块数不少于 3 个,其一个月龄期的无侧限抗压强度的平均值不得低于设计值的 90%。

加固土体的外型和整体性,一般可对有代表性的加固土体进行开剖,量测其加固体的半径和有效加固厚度。有条件时也可用触探法(如标准贯入试验)检验。

地基经碱液加固后,应继续进行 1~3 年沉降观测,按加固前后沉降观测结果的变化,或用触探法量测加固前后土中阻力的变化,确定加固质量。

4.0.3 碱液加固地基验收时,应提交下列资料:

- (1)岩土工程勘察报告;
- (2)材料试验报告(如烧碱和氯化钙成分含量分析试验报告)。
- (3)建筑物地基处理前后的沉降观测报告;
- (4)加固土体开剖检验报告;
- (5)施工记录(参照附录 B);
- (6)灌注孔平面位置竣工图。

4.0.4 对重要工程并有试验条件时,尚应提交下列资料:

- (1)现场灌液试验报告;
- (2)加固体浸水载荷试验报告;
- (3)加固体试块强度试验报告;
- (4)触探法测定土中阻力变化试验报告。

附录 A 20℃时碱液几种浓度的换算表

20℃时碱液几种浓度的换算表

表 A

g/L	百分浓度	波美浓度(°Be)	溶液比重
52.69	5	7.4	1.0538
63.89	6	8.8	1.0648
75.31	7	10.2	1.0758
86.95	8	11.6	1.0869
98.81	9	12.9	1.0979
110.9	10	14.2	1.1089
135.7	11	16.8	1.1309
161.4	12	19.2	1.1530

附录B 施工记录表

碱液加固地基施工记录

施工单位: _____
孔 号: _____

工程名称 _____
第 页 共 页

孔 深(m)	注液管埋深(m)	孔 长(m)	成孔日期	成孔人签名	埋管日期	埋管人签名

碱 液 灌 注 记 录

日 期	桶 序 号	每 桶 溶 液 量 (L)	加 碱 量 (kg)	碱液浓度 (g/L)	碱液温度 (℃)	注液开始 时 间 (时-分)	注液结束 时 间 (时-分)	灌注速度 (L/min)	灌 注 人 签 名	备 注

施工负责人: _____ 记录员: _____ 质量检验员: _____

碱灰混合加固地基施工记录

施工单位: _____
 孔 号: _____

工程名称 _____
 第 页 共 页

一、石灰桩施工记录

灰土桩孔位	成孔日期	孔 深(m)	回填日期	封孔厚度(m)	填灰量(kg)	施工人员签名	备 注

二、碱液加固地基施工记录

孔 深(m)	注液管埋深(m)	孔 长(m)	成孔日期	成孔人签名	埋管日期	埋管人签名	备 注

日 期	桶 序 号	每 桶 深 液 量 (L)	加 碱 量 (kg)	碱液浓度 (g/L)	碱液温度 (℃)	注液开始 时 间 (时-分)	注液结束 时 间 (时-分)	灌注速度 (L/min)	灌 注 人 签 名	备 注

施工负责人:

记录员:

质量检验员:

附录 C 碱灰混合加固

碱灰混合加固是把碱液加固法与生石灰桩加固法结合使用的一种新的加固方法,它具有减少附加下沉、增大加固半径、节约烧碱用量和降低造价等优点。

石灰桩的直径一般为 **15~20cm**,可用洛阳铲或锤击钢管成孔,孔深与碱液灌注孔相同。成孔后,在孔中分层填入粒径为 **2~5cm** 的生石灰块,每层虚铺 **3cm**,用夯锤(锤重 **150~200N**)夯实,每层夯击 **10~15** 次,落距一般大于 **50cm**。石灰块夯填到基础底面标高处,而后用 **2:8** 灰土夯填封顶,其厚度不小于 **1m**。当基础埋深较小时,不小于 **80cm**。生石灰块中不得夹杂有未烧透的石灰石和煤块,也不得使用粉状灰(面灰)。

碱液灌注孔与石灰桩的中距一般为 **40~50cm**。在每个灌注孔的四周可布置 **2~4** 个生石灰桩孔,生石灰桩孔应布置在碱液加固半径范围以内。

每一灌注孔(包括四周的石灰桩孔)的加固半径应通过现场试验确定;当无试验资料时,加固半径可按式(2.0.11)估算,并增大 **20%~30%**,加固厚度和碱液灌注量也可近似参照式(2.0.10)和式(2.0.13)估算。

碱液的灌注宜在四周的生石灰桩孔夯填完成后立即进行,其间隔时间不应超过 **4h**。

本附录未规定的事项可参照第二章和第三章的有关规定执行。

附录 D 本规程用词说明

一、为便于在执行规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1. 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

2. 表示严格,在正常情况下都应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;反面词采用“不宜”。

二、条文中指明应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的规定”。非必须按所指定的标准和规范执行的写法为“可参照……”。

附加说明

本规程主编单位和主要起草人名单

主 编 单 位:西安建筑科技大学

主要起草人:钱鸿缙 涂光祉 樊超然