

Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Projecto de Engenharia

Método para Melhoramento do Solo

1. Generalidades e Campo de Aplicação

O melhoramento do solo, geralmente, se refere a métodos de construção que melhoram as propriedades do solo através da calda de cimento e outros materiais de calda, incluindo vários métodos de mistura, métodos de melhoria de estacas sintéticas, métodos de substituição, métodos de drenagem, métodos de melhoria química, etc., a fim de aumentar / melhorar a carga admissível, impermeabilidade, propriedades de deformação, etc, de modo atender os requisitos do projecto. A presente secção aplica-se a obras de melhoramento do solo, principalmente, feita em materiais à base de cimento, incluindo mas não limitado a estacas injectadas de alta pressão, estacas moldadas de solo-cimento (por método húmido e seco), etc, de modo utilizar equipamentos mecânicos para melhorar as propriedades do solo para solos / camadas de solos fracos através de mistura de cimento.

A garantia da qualidade do método do melhoramento do solo deve incluir os seguintes requisitos básicos:

- ✓ Requisitos da inspecção para controlo de qualidade dos materiais de estacas;
- ✓ Requisitos da precisão geométrica da instalação, incluindo o desvio em relação ao centro (horizontalidade) e inclinação (verticalidade);
- ✓ O diâmetro, largura de sobreposição, desvio através do teste para verificação da escavação aberta;
- ✓ Testes para verificação da integridade e capacidade de carga, incluindo teste de resistência à compressão uniaxial de perfuração, integridade, profundidade, teste de penetração, ensaio dinâmico e de carga estática, etc.

Os requisitos acima mencionados devem estar de acordo com os requisitos dos relativos projecto, cadernos de encargos, normas, leis e regulamentos.

2. Requisitos dos Documentos de Garantia de Qualidade de Projecto de Engenharia

Os seguintes devem ser submetidos para aprovação e registo em cada fase de construção de melhoramento do solo.

Antes da execução

- ✓ Relatórios do estudo geológico;
- ✓ Monitorização dos edifícios vizinhos e medidas de protecção;
- ✓ Registos da vegetação original (se aplicável);
- ✓ Plano de monitorização;
- ✓ Informações de equipamentos de execução. Incluindo equipamentos de perfuração / injeção de calda de cimento, bomba de injeção, equipamento de mistura de calda, equipamento de compressão do ar, equipamentos de mistura para estacas moldadas com calda de solo-cimento (húmido e seco);

- ✓ Verificação da posição da estaca, precisão e sensibilidade do manómetro e medidor de caudal, etc;
- ✓ Informações detalhadas sobre estacas injectadas de alta pressão, estacas moldadas com calda de solo-cimento (húmido e seco), incluindo dosagem e especificações dos materiais de injeção, cimento, agregado, silicato de sódio, estabilizador, etc;
- ✓ Plano de construção, incluindo transporte, armazenamento, preparação e planeamento do estaleiro, equipamentos mecânicos, procedimento de construção, controlo de qualidade e de execução, controlo de segurança, medidas de contingência, desenhos de execução, etc;

Durante o processo da construção ou durante a recepção

- ✓ Perfil da escavação (incluindo elevação do local de obra e campo de aplicação);
- ✓ Relatórios do teste de amostra de solo / rocha;
- ✓ Registos e relatórios do material de estacas;
- ✓ Os registos da execução na obra, incluem:
 - Registos para modelo do equipamento de execução e outros equipamentos complementares;
 - Registos de planta de localização da estaca em planta e o seu número da referência;
 - Registos sobre a descrição das camadas do solo e água subterrânea e a quantidade do solo, quantidade da remoção de lama, etc;
 - Registos da pressão durante a execução;
 - Registos da proporção e dosagem da calda de cimento;
 - Registos da velocidade de aumento e de rotação durante a execução de estacas, etc;
 - Registos da localização das estacas adicionais, diâmetro, comprimento e números das estacas;
 - Registos do deslocamento da cabeça de estaca (horizontalidade, verticalidade e inclinação), etc.
- ✓ Relatórios dos ensaios no local (incluindo relatório da resistência da estaca, diâmetro, relatório do ensaio da perfuração de estacas e ensaio dinâmico e estático da estaca, etc);
- ✓ Plantas de telas finais de estacas;
- ✓ Relatórios periódico de monitorização.

3. Inspeção, Ensaio e Recepção

Os itens para a inspeção do método de melhoramento do solo representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Inspeção do Método de Melhoramento do Solo									
Itens para Inspeção	Objectivos	Desvio da Localização			Controlo de Execução	Controlo de Material	Frequência da Inspeção	Norma a Cumprir	Nota
		Nível	Elevação	Gradiente					
Controlo do Ponto de Referência		✓	✓		✓		100% Inspeção	a, b, c	
Monitorização de Segurança da Obra e Edifícios Vizinhos ¹					✓		Se Necessário ①	a, b, c	
Número do Lote e Classe do Material						✓	100% Inspeção	a, b, c	
Qualidade Visual						✓	100% Inspeção	b, c	
Dimensão Normalizada						✓	100% Inspeção	b, c	
Armazenamento e Transporte do Material						✓	100% Inspeção	b, c	
Verificação de Equipamentos ²					✓		Antes da execução	a, b, c, d	
Controlo da Precisão de Execução ³		✓	✓	✓	✓		100% Inspeção	a, b, c, d	
Proporção da Calda de Cimento ⁴					✓		100% Inspeção	b, d	
Qualidade do Cimento e Aditivo					✓		100% Inspeção	b	
Quantidade do Cimento					✓		100% Inspeção	b	
Pressão de Injecção da Calda do Cimento ⁵					✓		100% Inspeção	c	
Caudal da Calda do Cimento ⁶					✓		100% Inspeção	c	
Pressão do Ar ⁷					✓		100% Inspeção	c	
Aumento da Velocidade ⁸					✓		100% Inspeção	c	
Tratamento da Cabeça de Estaca					✓		100% Inspeção	b	
Teste da Qualidade de Instalação de Estacas ⁹					✓		≥3 un. ou conj.	b, c	Antes da execução
Sondagem à Percussão ¹⁰					✓		1% , ≥ 3 un. (mistura)	b, c	Dentro de 3 dias após instalação
						2% , ≥ 6 un. (injecção)			
Inspeção da escavação ¹¹					✓		≥5% (mistura)	b, c	Dentro de 7 dias após instalação
						2% , ≥ 6 un. (injecção)			

Nota: Itens para Inspeção

- 1 – Monitorização de segurança do local da obra e vizinhança
Durante o processo de execução, deve garantir a monitorização de segurança dos edifícios da vizinhança do local da obra através de medidor de assentamento, inclinómetro, medidor de fendilhação, instrumento de medição do pico da velocidade da partícula (sismómetro) para a compreensão do comportamento da estrutura de vizinhança afectada devido a vibrações causadas pelos equipamentos da obra e monitorização da segurança.
- 2 – Verificação dos equipamentos
Deve incluir, geralmente, os equipamentos de cravação de estacas, bomba de injeção, equipamento de mistrura, máquina de compressão de ar, equipamento de mistura de calda solo-cimento (húmido e seco), manómetro, e todos os outros componentes e equipamentos de execução.
- 3 – Controlo da precisão de execução
O controlo da precisão de execução deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de GB50202 《建築地基基礎工程施工品質驗收規範》[1]、JGJ 79 《建築地基處理技術規範》[2]、JGJ120 《建築基坑支護技術規範》[3], onde a tolerância do desvio da precisão deve estar de acordo com o seguinte:

Estacas de injeção

Ref.	Itens de Inspeção	Controlo da Tolerância		Método de Inspeção
		Un.	Parâmetro	
1	Localização da Abertura	mm	≤50	Medição pelo instrumento
2	Verticalidade da Abertura	%	≤1.0	Medição pelo teodolito
3	Profundidade da Abertura	mm	±200	Medição pelo instrumento
4	Profundidade Inserido no Maço Rochoso	--	De acordo com projecto	Medição pelo instrumento
5	Pressão de Injeção	De acordo com os parâmetros definidos		Medição pelo instrumento
6	Sobreposição da Estaca	mm	> 200	Medição pelo instrumento
7	Diâmetro da Estaca	mm	≤50	Medição pelo instrumento
8	Tolerância do Desvio do Centro da Estaca	--	≤0.2D	Medição com régua metálica a partir de 500mm. D como diâmetro da estaca

Estacas moldadas com calda de solo-cimento(húmido e seco)

Ref.	Itens de Inspeção	Controlo da Tolerância		Método de Inspeção
		Un.	Parâmetro	
1	Velocidade do Levantamento da Cabeça do Equipamento	m/min	≤0.5	Medição da distância e tempo do levantamento da cabeça do equipamento
2	Nível da Base da Estaca	mm	±200	Medição pelo instrumento
3	Nível da Cabeça da Estaca	mm	-50,+100	Medição pelo instrumento
4	Tolerância do Desvio do Centro da Estaca	mm	<50	Medição pelo instrumento

5	Diâmetro da Estaca	--	$\leq 0.04D$	Medição com régua metálica. D como diâmetro da estaca
6	Verticalidade	%	≤ 1.0	Medição pelo instrumento
7	Sobreposição da Estaca	mm	> 200	Medição pelo instrumento

4 – Proporção da calda do cimento

Estaca de injeção de alta pressão

Deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2], a classe do cimento deve ser de 42.5 do tipo Portland comum e o traço entre cimento-água deve ser de 0.8~1.2.

Estaca moldada com com calda de solo-cimento (húmido e seco)

Deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ120 《建築基坑支護技術規範》 [4], o traço entre cimento-água deve ser de 0.6~0.8. O teor de cimento deve ser de 15% a 20 % da massa natural do solo.

5 – Pressão de injeção da calda de cimento

Estaca de injeção de alta pressão

Deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2], a pressão de injeção deve ser superior a 20MPa.

Estaca moldada com com calda de solo-cimento (húmido e seco)

Deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2], a pressão de injeção deve ser superior a 5MPa para bomba de execução pelo método húmido e 0.5MPa pelo método seco.

6 – Caudal da calda de cimento

Estaca de injeção de alta pressão

Deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2], o caudal deve ser superior a 30 L/min.

7 – Pressão do ar

Estaca de injeção de alta pressão

Deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2], a pressão deve ser superior a 0.7 MPa.

8 – Aumento da velocidade

Estaca de injeção de alta pressão

Deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2], o aumento da velocidade deve ser 0.1~0.2m/min.

Estaca moldada com com calda de solo-cimento (húmido e seco)

Deve estar de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas da relativa especialidade. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2], o aumento da velocidade e o número de aumento pelo método húmido devem estar de

acordo com os requisitos de execução; a altura devido ao aumento de velocidade não deve ser superior a 15mm para cada rotação da cabeça efectuada via método seco.

9 – Teste da qualidade de instalação de estacas

Deve efectuar o teste da qualidade de instalação de estacas antes da execução, submetendo os parâmetros como velocidade, quantidade de pulverização, verificar a uniformidade do corpo da estaca e o seu diâmetro, ao mesmo tempo, entender a resistência e a eficiência da execução para trabalhos de perfuração e levantamento.

10 – Sondagem à percussão

De acordo com os requisitos de JGJ79 [2], após 3 dias da instalação da estaca, deve proceder a sondagem à percussão (N10) para a verificação de uniformidade. É utilizado a quantidade de energia produzido por um martelo (de peso 10kg) para condução de um som sónico na profundidade e verificar o tipo da cada de solo alçando, de modo confirmar e avaliar a qualidade da execução da fundação.

11 – Verificação da escavação

De acordo com os requisitos de JGJ79 [2], após 7 dias da instalação da estaca, deve proceder para a verificação da cabeça da estaca através da escavação de pouca profundidade, onde a profundidade deve exceder a 0.5m abaixo da superfície da calda, confirmar a uniformidade do corpo da estaca, medir o diâmetro da estaca e verificar a largura da sobreposição.

Frequência da Inspeção

- – No caso em que os resultados tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção; ou os resultados / parâmetros tenham grande influência no projecto ou qualidade, deve ter especial consideração.

Norma a Cumprir

- a – GB50202 《建築地基基礎工程施工品質驗收規範》 [1]
- b – Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos
- c – JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2]
- d – JGJ 120 《建築基坑支護技術規範》 [4]

Inspeção, Ensaio e Recepção (Continuação)

Os itens para o ensaio e recepção do método de melhoramento do solo representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Ensaio do Método de Melhoramento do Solo									
Itens para Inspeção	Objectivos	Análise do Solo	Materiais de Estaca	Integridade de Estaca	Capacidade de Estaca	Frequência Recomendada do Ensaio	Norma a Cumprir	Critério de Aceitação	Nota
Estudo Geológico		✓				Se Necessário ①	a, b, c	-	
Tempo Inicial de Coagulação			✓			Antes da Execução	c	i	
Fluidez / Viscosidade da Calda			✓			Antes da Execução	c	i	
Teste Interna da Proporção da Resistência da Calda do Cimento ¹			✓			Antes da Execução	a, c	i	
Material da Estaca	Teste da Resistência à Compressão da Calda do Cimento ²		✓			Se Necessário ②	c	-	
Teste de Penetração ³					✓	Se Necessário ②	a, c	ii	
Teste da Extracção do Núcleo e Resistência à compressão da Amostra ⁴			✓	✓		2%(estacas de injeção de alta pressão) ou 0.5%(estaca moldada de calda de solo-cimento), ≥ 6 un.	a, b, c	ii	
Ensaio de Carga Estática da Fundação Composta e Estaca Individual ⁵					✓	③	a, b, c	ii	

Nota: Método de Inspeção

1 – Teste interna de proporção da resistência da calda de cimento

Antes da execução, quando não possui dados sobre a resistência do solo ou sem informações sobre o tipo e quantidade da proporção de água, cimento, e aditivos, deve realizar o teste interna de proporção da resistência da calda de cimento para a verificação da resistência à compressão após 28 dias de instalação. Deve coleccionar amostras na parte superior, intermédia e inferior durante a investigação geológica através do equipamento de perfuração (é recomendado utilizar tubo metálico ou em PVC de 1m, $\phi 76$ mm de diâmetro, seladas com cera na parte superior e inferior, e coleccionar duas amostras) para o teste interna de proporção da resistência da calda de cimento.

2 – Teste da resistência à compressão da calda do cimento

Deve recolher no lugar apropriado a calda do cimento não solidificado e realizar amostras em cubo de 100x100x100mm, devidamente colocado em cura de 28 dias para teste da resistência à compressão da calda do cimento.

3 – Teste de penetração

O teste de penetração deve ser realizado de acordo com os requisitos de ASTM D 1586 [5] de modo verificar o parâmetro N.

- 4 – Teste da extracção do núcleo e resistência à compressão da amostra
Após cura de 28 dias, deve extrair amostra do núcleo da estaca através do equipamento de perfuração (é recomendado a utilização de cabeça de perfuração não inferior a $\phi 110\text{mm}$), em 5 conjuntos em diferente profundidade, 3 amostras em cada conjunto para realização do teste da resistência à compressão. Os furos perfurados devem ser preenchidos com calda de cimento.
- 5 - Ensaio de carga estática da fundação composta e estaca individual
De acordo com os requisitos de JGJ79 [2], após 28 dias de instalação da estaca, a recepção da fundação composta deve ser garantida com o ensaio de carga estática onde é colocada cargas na placa de carga ou na cabeça da estaca, incrementando a carga de forma gradual e monitorizando o seu assentamento de modo confirmar a sua carga admissível. Os pormenores do método do ensaio de carga estática da fundação composta e estaca individual deve ser consultado JGJ79 [2].

Frequência Recomendada da Inspeção

- ❶ – No caso em que os resultados do estudo geológico tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção devem ter especial consideração.
- ❷ – No caso em que os resultados tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção; ou os resultados / parâmetros tenham grande influência no projecto ou qualidade, deve ter especial consideração.
- ❸ – Deve garantir de acordo com os requisitos dos cadernos de encargos / especificações técnicas das relativas especialidades. Caso não estiver especificado, deve considerar os requisitos de JGJ 79 [2], onde a frequência do ensaio estático não deve ser menor que 1%, e não deve ser inferior a 3 ensaios para sub-estrutura de fundação composta (considerado 3 conjuntos para caso de mistura multi-axial).

Norma a Cumprir

- a–JGJ 79 《建築地基處理技術規範》 [2]
- b–JGJ 106 《建築基樁檢測技術規範》 [3]
- c–Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos

Critério de Aceitação

- i – No caso dos resultados não estarem de acordo com os requisitos, deve melhorar o processo de execução e o re-dimensionamento para uma nova verificação.
- ii – No caso dos resultados não estarem de acordo com os requisitos dos regulamentos ou relativas especificações técnicas, recomenda-se a verificação para dois elementos de estacas vizinhas adicionais. No caso em que os resultados não estão de acordo com os requisitos do ensaio, devem ser submetidos proposta remediável para o adequado trabalho de reforço.

4. Regulamentos citados / Documentos técnicos de referência

- [1] GB50202 《建築地基基礎工程施工品質驗收規範》
- [2] JGJ 79 《建築地基處理技術規範》
- [3] JGJ 106 《建築基樁檢測技術規範》
- [4] JGJ 120 《建築基坑支護技術規範》
- [5] ASTM D1586, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils
- [6] GB 50007 《建築地基基礎設計規範》
- [7] JGJ 94 《建築樁基技術規範》