



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas

PROJECTO

Parte 3: Geologia da engenharia

SHP/TG 002-3: 2019



DECLARAÇÃO DE EXONERAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Este documento foi produzido sem edição formal das Nações Unidas. As designações e a apresentação do material deste documento não implicam a expressão de qualquer opinião por parte do Secretariado da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) sobre o estatuto jurídico de qualquer país, território, cidade ou área das suas autoridades, ou sobre a delimitação das respectivas fronteiras ou limites, sistema económico ou grau de desenvolvimento. Designações como "desenvolvido", "industrializado" e "em desenvolvimento" são utilizadas para fins estatísticos e não expressam necessariamente uma opinião sobre a etapa alcançada por um determinado país ou área no processo de desenvolvimento. A menção de nomes de empresas ou produtos comerciais não constitui uma aprovação por parte da UNIDO. Embora tenha sido tomado grande cuidado para manter a precisão das informações aqui contidas, nem a UNIDO nem os seus Estados Membros assumem qualquer responsabilidade pelas consequências que possam advir do uso do material. Este documento pode ser citado ou reimpresso livremente, mas o seu reconhecimento é necessário.

Directrizes Técnicas para o
Desenvolvimento de Pequenas Centrais
Hidroeléctricas
PROJECTO

Parte 3: Geologia da engenharia

AGRADECIMENTOS

As directrizes técnicas (TG) são o resultado de um esforço de colaboração entre a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e a Rede Internacional de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica (INSHP). Cerca de 80 peritos internacionais e 40 agências internacionais estiveram envolvidos na preparação do documento e na revisão pelos pares, e forneceram sugestões e opiniões específicas para tornar as directrizes técnicas profissionais e aplicáveis.

A UNIDO e a INSHP estão enormemente gratas pelas contribuições recebidas durante o desenvolvimento destas directrizes, em particular, as fornecidas pelas seguintes organizações internacionais:

- O Mercado Comum da África Oriental e Austral (COMESA)
- A Rede Global de Centros Regionais de Energia Sustentável (GN-SEC), particularmente o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da CEDEAO (ECREEE), o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da África Oriental (EACREEE), o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética do Pacífico (PCREEE) e o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética das Caraíbas (CCREEE).

O governo chinês facilitou a finalização dessas directrizes e teve grande importância na sua conclusão.

O desenvolvimento destas directrizes beneficiam extraordinariamente dos pensamentos, das revisões e das críticas construtivas, como também das contribuições de: Sr. Adnan Ahmed Shawky Atwa, Sr. Adoyi John Ochigbo, Sr. Arun Kumar, Sr. Atul Sarthak, Sr. Bassey Edet Nkposong, Sr. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Sra. Chang Fangyuan, Sr. Chen Changjun, Sra. Chen Hongying, Sr. Chen Xiaodong, Sra. Chen Yan, Sra. Chen Yueqing, Sra. Cheng Xialei, Sr. Chileshe Kapaya Matantilo, Sra. Chileshe Mpundu Kapwepwe, Sr. Deogratias Kamweya, Sr. Dolwin Khan, Sr. Dong Guofeng, Sr. Ejaz Hussain Butt, Sra. Eva Kremere, Sra. Fang Lin, Sr. Fu Liangliang, Sr. Garaio Donald Gafiye, Sr. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Sr. Guo Chenguang, Sr. Guo Hongyou, Sr. Harold John Annegam, Sra. Hou ling, Sr. Hu Jianwei, Sra. Hu Xiaobo, Sr. Hu Yunchu, Sr. Huang Haiyang, Sr. Huang Zhengmin, Sra. Januka Gyawali, Sr. Jiang Songkun, Sr. K. M. Dhahesan Unnithan, Sr. Kipyego Cheluget, Sr. Kolade Esan, Sr. Lamysier Castellanos Rigoberto, Sr. Li Zhiwu, Sra. Li Hui, Sr. Li Xiaoyong, Sra. Li Jingjing, Sra. Li Sa, Sr. Li Zhenggui, Sra. Liang Hong, Sr. Liang Yong, Sr. Lin Xuxin, Sr. Liu Deyou, Sr. Liu Heng, Sr. Louis Philippe Jacques Tavernier, Sra. Lu Xiaoyan, Sr. Lv Jianping, Sr. Manuel Mattiat, Sr. Martin Lugmayr, Sr. Mohamedain SeifElnasr, Sr. Mundia Simainga, Sr. Mukayi Musarurwa, Sr. Olumide TaiwoAlade, Sr. Ou Chuanqi, Sra. Pan Meiting, Sr. Pan Weiping, Sr. Ralf Steffen Kaeser, Sr. Rudolf Hüpfel, Sr. Rui Jun, Sr. Rao Dayi, Sr. Sandeep Kher, Sr. Sergio Armando Trelles Jasso, Sr. Sindiso Ngwenga, Sr. Sidney Kilmete, Sra. Sitraka Zarasoa Rakotomahefa, Sr. Shang Zhihong, Sr. Shen Cunke, Sr. Shi Rongqing, Sra. Sanja Komadina, Sr. Tareqemtairah, Sr. Tokihiko Fujimoto, Sr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Sr. Tan Xiangqing, Sr. Tong Leyi, Sr. Wang Xinliang, Sr. Wang Fuyun, Sr. Wang Baoluo, Sr. Wei Jianghui, Sr. Wu Cong, Sra. Xie Lihua, Sr. Xiong Jie, Sra. Xu Jie, Sra. Xu Xiaoyan, Sr. Xu Wei, Sr. Yohane Mukabe, Sr. Yan Wenjiao, Sr. Yang Weijun, Sra. Yan Li, Sr. Yao Shenghong, Sr. Zeng Jingnian, Sr. Zhao Guojun, Sr. Zhang Min, Sr. Zhang Liansheng, Sr. Zhang Zhenzhong, Sr. Zhang Xiaowen, Sra. Zhang Yingnan, Sr. Zheng Liang, Sr. Zheng Yu, Sr. Zhou Shuhua, Sra. Zhu Mingjuan.

Seria muito bem-vinda a provisão de outras recomendações e sugestões para a execução da actualização.

Índice

Prefácio.....	III
Introdução.....	IV
1 Âmbito.....	1
2 Referências normativas.....	1
3 Termos e definições.....	1
4 Disposições básicas.....	1
4.1 Princípios básicos.....	1
4.2 Esboço da investigação.....	2
4.3 Determinação dos parâmetros físicos e mecânicos do solo de fundação.....	3
5 Geologia regional.....	3
5.1 Disposições gerais.....	3
5.2 Topografia e geomorfologia.....	3
5.3 Estrutura geológica.....	4
5.4 Estabilidade tectónica regional e sismicidade.....	4
5.5 Fenómenos geofísicos.....	5
5.6 Hidrogeologia.....	6
6 Investigação geológica de engenharia da área do reservatório.....	6
6.1 Disposições gerais.....	6
6.2 Infiltração do reservatório.....	6
6.3 Imersão no reservatório.....	7
6.4 Bancos de reservatório/estabilidade da inclinação do reservatório.....	8
6.5 Sedimentação do reservatório.....	9
7 Investigação geológica de engenharia da área da barragem.....	9
7.1 Disposições gerais.....	9
7.2 Fase de estudo de pré-viabilidade.....	9
7.3 Etapa do estudo de viabilidade.....	11
8 Investigação geológica de engenharia do projecto condutor de água.....	13
8.1 Disposições gerais.....	13
8.2 Fase de estudo de pré-viabilidade.....	14
8.3 Etapa do estudo de viabilidade.....	15
9 Investigação geológica da engenharia da área da central eléctrica.....	16
9.1 Disposições gerais.....	16
9.2 Fase de estudo de pré-viabilidade.....	16
9.3 Etapa do estudo de viabilidade.....	17
10 Investigação geológica de materiais de construção naturais.....	19
10.1 Disposições gerais.....	19
10.2 Fase de estudo de pré-viabilidade.....	19
10.3 Etapa do estudo de viabilidade.....	20

Apêndice A (Informativo)	Classificação geológica de engenharia do maciço rochoso de fundação da barragem.....	22
Apêndice B (Informativo)	Classificação geológica da engenharia de rochas circundantes....	26
Apêndice C (Informativo)	Classificação da permeabilidade das rochas e do solo.....	30
Apêndice D (Informativo)	Classificação geológica de engenharia de taludes.....	31
Apêndice E (Informativa)	Avaliação da corrosão ambiental com base na água	43

Prefácio

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) é uma agência especializada no âmbito do sistema das Nações Unidas para promover o desenvolvimento industrial global inclusivo e sustentável (ISID). A relevância do ISID como abordagem integrada aos três pilares do desenvolvimento sustentável é reconhecida pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e pelos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) correspondentes, que contarão com o esforço das Nações Unidas e dos países rumo ao desenvolvimento sustentável nos próximos quinze anos. O mandato da UNIDO para o ISID engloba a necessidade de apoiar a criação de sistemas energéticos sustentáveis, uma vez que a energia é essencial para o desenvolvimento económico e social e para a melhoria da qualidade de vida. A preocupação e o debate internacional sobre energia têm crescido cada vez mais nas últimas duas décadas, com as questões da redução da pobreza, dos riscos ambientais e das alterações climáticas a assumirem agora um lugar central.

A INSHP (Rede Internacional de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica) é uma organização internacional de coordenação e promoção para o desenvolvimento global de pequenas centrais de energia hidroeléctricas (PCH), baseada na participação voluntária de pontos focais regionais, sub-regionais e nacionais, instituições relevantes, serviços públicos e empresas, e cujo principal objectivo são as prestações sociais. A INSHP visa a promoção do desenvolvimento global de PCH através da cooperação triangular técnica e económica entre países em desenvolvimento, países desenvolvidos e organizações internacionais, a fim de abastecer as zonas rurais dos países em desenvolvimento com energia ambientalmente saudável, acessível e adequada, o que levará ao aumento das oportunidades de trabalho, à melhoria dos ambientes ecológicos, à redução da pobreza, à melhoria dos padrões de vida e culturais locais e ao desenvolvimento económico.

A UNIDO e a INSHP colaboram no Relatório Mundial de Desenvolvimento de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica desde 2010. Com base nos relatórios, os requisitos e o desenvolvimento de PCH não estavam equiparados. Uma das barreiras ao desenvolvimento na maioria dos países é a falta de tecnologias. A UNIDO, em colaboração com a INSHP, através da cooperação com peritos globais, e com base em experiências de desenvolvimento bem-sucedidas, decidiu desenvolver as directrizes técnicas das PCH para satisfazer a procura dos Estados-Membros.

Estas directrizes técnicas foram elaboradas de acordo com as regras editoriais das Directivas ISO/IEC, Parte 2 (consultar www.iso.org/directives).

Chama-se especial atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos destas directrizes técnicas possam estar sujeitos a direitos de patente. A UNIDO e a INSHP não serão responsáveis pela identificação desses mesmos direitos de patente.

Introdução

Uma Pequena Central Hidroeléctrica (PCH) é cada vez mais reconhecida como uma importante solução de energia renovável para a electrificação de áreas rurais remotas. Contudo, embora a maioria dos países europeus, da América do Norte e do Sul e a China tenham elevados níveis de capacidade instalada, o potencial de uma PCH em muitos países em desenvolvimento permanece desconhecido e é prejudicado por vários factores, incluindo a falta de boas práticas ou normas globalmente acordadas para o desenvolvimento de uma PCH.

Estas Diretrizes Técnicas (DT) para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidrelétricas abordarão as limitações atuais dos regulamentos aplicados às diretrizes técnicas para as PCH, aplicando os conhecimentos especializados e as melhores práticas existentes em todo o mundo. Pretende-se que os países utilizem estas diretrizes para apoiar as suas políticas, tecnologias e ecossistemas actuais. Os países com competências institucionais e técnicas limitadas serão capazes de melhorar a sua base de conhecimentos no desenvolvimento de instalações de PCH, atraindo assim mais investimentos para projectos de PCH, encorajando políticas favoráveis e, conseqüentemente, ajudando no desenvolvimento económico a nível nacional. Estas diretrizes técnicas serão valiosas para todos os países, mas permitem, especialmente, a partilha de experiências e melhores práticas entre países que têm conhecimentos técnicos limitados.

As DT podem ser utilizadas como princípios e fundamentos para o planeamento, estruturação, construção e gestão de PCH até 30 MW.

- Os Termos e Definições nas DT especificam os termos e definições técnicas profissionais comumente usados para PCH.
- As Diretrizes do projecto fornecem directrizes para os requisitos básicos, metodologia e procedimento em termos de selecção do local, hidrologia, geologia, esquema do projecto, configurações, cálculos de energia, hidráulica, selecção de equipamentos electromecânicos, construção, estimativas de custo do projecto, pré-avaliação económica, financiamento, avaliações sociais e ambientais — com o objectivo final de obter as melhores soluções de projecto.
- As Diretrizes das unidades especificam os requisitos técnicos para turbinas nas PCH, geradores, sistemas de regulação de turbinas hidráulicas, sistemas de excitação e válvulas principais, como também para sistemas de supervisão, controlo, protecção e de alimentação eléctrica de corrente contínua.
- As Diretrizes de construção podem ser utilizadas como documentos de orientação técnica para a construção de projectos de PCH.

Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas-Projecto

Parte 3: Geologia de Engenharia

1 Âmbito

Esta Parte das Directrizes da estrutura esclarece as disposições básicas sobre a investigação geológica da engenharia de uma pequena central de energia hidroeléctrica (PCH), especifica os requisitos técnicos para investigação em termos de aspectos da geologia regional e da geologia de engenharia de reservatórios e define os requisitos específicos para a investigação de tecnologias e métodos aplicáveis em várias etapas relativamente a aspectos da geologia de engenharia da área da barragem, da direcção de passagem da água, da área da central eléctrica e dos materiais de construção naturais.

2 Referências normativas

Os seguintes documentos são referidos no texto de tal forma que parte ou a totalidade do seu conteúdo constitui uma exigência deste documento. Para referências datadas, é apenas aplicável a edição citada. Para referências não datadas, é aplicável a última edição do documento referenciado (incluindo quaisquer alterações).

SHP/TG 001, *Directrizes técnicas para o desenvolvimento de pequenas centrais de energia hidroeléctrica — Termos e definições*.

3 Termos e definições

Para efeitos do presente documento, são aplicáveis os termos e definições apresentados em SHP/TG 001.

4 Disposições básicas

4.1 Princípios básicos

4.1.1 A investigação geológica de engenharia deve ser realizada de acordo com a intenção do projecto e as características de engenharia.

4.1.2 Antes do trabalho de campo, os dados geológicos existentes devem ser completamente recolhidos e analisados, o levantamento do local deve ser realizado, o ambiente natural e as condições de trabalho no local deve ser assimilados, e o esboço da investigação geológica de engenharia deve ser preparado em combinação com o plano de projecto de engenharia.

4.1.3 A investigação deve ser realizada por fases, de acordo com o procedimento de investigação, e o período de investigação e a carga de trabalho devem ser razoáveis.

4.1.4 De acordo com as características do projecto, a complexidade das condições topográficas e geológicas e os requisitos de profundidade da investigação em cada etapa, uma variedade de métodos de investigação deve ser aplicada de forma abrangente para organizar razoavelmente as actividades de investigação. Deve ser realizado um mapeamento geológico adequado, prospecção geofísica, perfuração, exploração de poços e teste interno, complementado por exploração de galeria de acesso e teste de campo in-situ, dependendo da situação.

4.1.5 A investigação de materiais de construção naturais deve cumprir os requisitos de precisão e projecto de cada fase de investigação.

4.1.6 O local do projecto deve evitar, tanto quanto possível, infiltrações graves, deslizamentos de terras e desmoronamentos significativos, solifluxões, massa rochosa perigosa, fluxo de detritos, falhas activas e outros problemas geológicos indesejáveis, bem como relíquias culturais e áreas de protecção ambiental ecológica. Os problemas geológicos ambientais que possam advir da engenharia da construção devem ser analisados.

4.2 Esboço da investigação

4.2.1 Antes da investigação, o esquema de investigação geológica de engenharia deve ser preparado de acordo com o trabalho de investigação e em combinação com o plano de construção.

4.2.2 O esboço da investigação geológica de engenharia deve incluir:

- a) Perfil do projecto, fase de investigação, objectivo e tarefas da investigação, bem como os principais resultados e resultados da avaliação da investigação na fase anterior;
- b) Geologia do local do projecto e condições de trabalho no local;
- c) Regulamentos e especificações e documentos de construção para a investigação;
- d) Requisitos da tarefa de investigação, princípio da disposição para a investigação, método de trabalho e carga de trabalho planeada da investigação;
- e) Requisitos técnicos de investigação e metas de qualidade dos resultados;
- f) Programa de investigação, alocação de recursos e medidas ambientais, de qualidade e de segurança;
- g) Conteúdo, forma e data dos resultados da investigação geológica de engenharia a serem apresentados;

h) Planta da obra de exploração.

4.3 Determinação dos parâmetros físicos e mecânicos do solo de fundação

4.3.1 Os parâmetros geotécnicos do leito rochoso podem ser determinados por analogia geológica de engenharia e julgamento baseado na experiência; podem ser realizados testes de campo e de laboratório quando necessário.

4.3.2 Os parâmetros físicos e mecânicos do solo de fundação devem ser determinados com base em testes de laboratório e de campo, combinados com a analogia geológica da engenharia e o julgamento baseado na experiência.

5 Geologia regional

5.1 Disposições gerais

5.1.1 A investigação geológica regional deve incluir principalmente cinco aspectos, nomeadamente topografia e geomorfologia, estrutura geológica, estabilidade tectónica regional e sismicidade, fenómenos geofísicos e hidrogeologia.

5.1.2 A ênfase fundamental do trabalho de investigação propriamente dito deve ser determinada de acordo com as características geológicas regionais específicas do local do projecto:

- a) Na área cárstica, o desenvolvimento cárstico e as condições hidrogeológicas devem ser investigados com prioridade.
- b) Na área com actividades sísmicas relativamente fortes, a estrutura geológica e as actividades de falhas devem ser investigadas com prioridade.
- c) Na área de distribuição quaternária, o tipo de sedimento quaternário, a história do desenvolvimento do rio e a situação de desenvolvimento do terraço devem ser investigados com prioridade.

5.2 Topografia e geomorfologia

5.2.1 Na investigação topográfica e geomorfológica, as condições topográficas e geomorfológicas devem ser usadas razoavelmente de acordo com a disposição dos edifícios, bem como o tipo, escala e condições de construção dos edifícios.

5.2.2 Durante a investigação topográfica e geomorfológica, as seguintes informações na região devem ser retiradas a partir de imagens de satélite e fotografias aéreas, com base na recolha e análise dos últimos dados topográficos do sítio do projecto:

- a) Grau de acidente geográfico;
- b) Divisão da unidade geomórfica;
- c) Mudança de relevo topográfico;
- d) Situação do corte do solo, como sistema de desenvolvimento, forma, direcção, densidade, profundidade e largura do vale;
- e) Forma, altura e declive da encosta;
- f) Forma, largura e planura do cume;
- g) Largura, profundidade e declive do vale do rio, bem como a situação de desenvolvimento do terraço;
- h) Degraus, elevação, largura, planura, grau de integridade, estrutura e tipo genético do terraço;
- i) Características das diferentes unidades geomórficas e suas interrelações.

5.3 Estrutura geológica

5.3.1 Para a investigação da estrutura geológica, a resistência e permeabilidade da estrutura geológica deve ser totalmente considerada para evitar as dobras e falhas.

5.3.2 Para a investigação da estrutura geológica, os dados geológicos da região devem ser recolhidos, na medida do possível. Os dados geológicos do mapeamento geológico nacional de pequena escala e os projectos concluídos ou planeados próximos do projecto proposto podem ser usados como dados básicos da pesquisa geológica.

5.3.3 Após a análise e classificação dos dados recolhidos, a estrutura geológica no interior da área do projecto proposto pode ser pesquisada no local para verificar a sua precisão.

5.3.4 Quando os dados geológicos não estiverem disponíveis, deve ser realizado um levantamento geológico no interior da e em torno da área do projecto para esclarecer a estrutura geológica regional.

5.3.5 Os métodos gerais de trabalho de campo para o levantamento geológico regional incluem: levantamento e preparação da secção geológica, levantamento geológico de rotas e mapeamento geológico, medição dos elementos de ocorrência, recolha de espécimes e amostras, bem como prospecção geral em região montanhosa.

5.4 Estabilidade tectónica regional e sismicidade

5.4.1 Para o levantamento da estabilidade tectónica regional, é necessário propor pareceres de avaliação sobre a estabilidade estrutural regional, julgar a possibilidade de que o local do projecto hidroeléctrico proposto seja danificado por falhas activas ou actividades sísmicas nos próximos um ou dois séculos, a intensidade dos danos e a probabilidade de danos, e então propor os parâmetros apropriados de movimento do solo para o projeto assísmico.

5.4.2 O levantamento de estabilidade tectónica regional pode ser realizado nos seguintes aspectos:

- a) Pesquisa de antecedentes da estabilidade tectónica regional;
- b) Avaliação da falha activa e pesquisa da actividade da falha;
- c) Análise do risco sísmico e determinação dos parâmetros de terremotos no local;
- d) Avaliação sintética da estabilidade tectónica regional do local do projecto;
- e) Monitorização de falha activa e sismicidade.

5.4.3 A estabilidade estrutural regional e o levantamento sísmico concentram-se na recolha de dados, incluindo a recolha de dados relativos à litologia de formação regional, estrutura geológica, falha activa, parâmetros de movimento do solo ou intensidade básica sísmica, e dados sismológicos históricos, etc. É necessário analisar e julgar a estabilidade geral da estrutura regional da área do projecto, apresentar parâmetros de movimento do solo ou a intensidade básica sísmica da área do projecto e realizar um estudo monográfico da falha activa que possa influenciar o projecto.

5.4.4 A disposição do projecto deve encontrar-se na zona favorável de resistência sísmica, evitando as secções que poderiam produzir desastres secundários em larga escala. As estruturas principais, como a barragem, o descarregador de cheias e a central de energia não devem ser construídas sobre a falha activa.

5.5 Fenómenos geofísicos

5.5.1 Para um fenómeno geofísico, devem ser estudadas a ocorrência e as regras de desenvolvimento, as causas, os factores que influenciam a sua ocorrência e desenvolvimento, as condições e mecanismos de formação e o processo e fases de desenvolvimento para fazer uma avaliação correcta e formular medidas de controlo razoáveis.

5.5.2 Os possíveis fenómenos geofísicos na área do projecto devem ser avaliados preliminarmente a partir da análise de dados geológicos básicos, como topografia e geomorfologia e estrutura geológica. O tipo e grau de desenvolvimento de vários fenómenos geofísicos na área a montante/jusante da bacia podem ser estudados através do levantamento geológico de campo e mapeamento, e os fenómenos geofísicos desfavoráveis na área da albufeira, local da barragem, local da planta e particularmente ao longo da rota de desvio de água devem ser principalmente identificados, e a observação do solo como a exploração de perfuração, a prospecção geofísica e a exploração de poços e canais pode ser organizada quando necessário.

5.6 Hidrogeologia

5.6.1 A influência adversa das águas subterrâneas na construção do projecto deve ser determinada e as medidas de controlo devem ser propostas através do estudo das regras de distribuição e formação das águas subterrâneas, bem como das propriedades físicas e componentes químicos das águas subterrâneas.

5.6.2 O levantamento hidrogeológico inclui principalmente a recolha de dados, investigação do solo, exploração, testes hidrogeológicos, testes químicos da água e observação; os principais trabalhos devem incluir a litologia e as condições de enterro e distribuição dos principais aquíferos, a causa, o tipo, as condições de recarga-descarga das águas subterrâneas em cada aquífero, bem como a situação de distribuição e variação da qualidade e volume da água.

6 Investigação geológica de engenharia da área do reservatório

6.1 Disposições gerais

A investigação geológica de engenharia da área do reservatório deve investigar a infiltração do reservatório, a imersão do reservatório, a estabilidade da margem (talude) do reservatório, a sedimentação do reservatório e o terramoto induzido pelo reservatório. No caso de um talude instável, as condições hidrogeológicas subterrâneas também devem ser avaliadas.

6.2 Infiltração do reservatório

6.2.1 A investigação da infiltração no reservatório deve identificar a topografia e geomorfologia, litologia, estrutura geológica e condições hidrogeológicas da infiltração do reservatório, analisar a forma de infiltração do reservatório, avaliar a possível quantidade de infiltração do reservatório e propor sugestões e medidas para prevenir a infiltração do reservatório.

6.2.2 O estudo da infiltração do reservatório é realizado principalmente por levantamento geológico de engenharia e mapeamento. Devem ser identificadas as seguintes condições que podem causar a infiltração:

- a) A baixa área fina num dos lados da área do reservatório e a elevação do fundo do vale adjacente é inferior ao nível normal da piscina;
- b) A área próxima à curva acentuada do vale do rio do canal a jusante da barragem é fina ou a área fina baixa entre a área do reservatório e o afluente a jusante da barragem;
- c) A bacia do reservatório é uma formação com alta permeabilidade à água, como areia, cascalho de areia e depósitos soltos;
- d) A bacia do reservatório é composta por calcário, gesso e outras rochas solúveis, e a passagem de infiltração é formada pelas cavernas cársticas, tubagens e grelhas;

- e) A bacia do reservatório e a bacia hidrográfica fina são compostas pela estrutura solta de areia e cascalho;
- f) As juntas colunares são desenvolvidas de forma esticada, e a bacia do reservatório e a bacia hidrográfica fina são compostas por basaltos com muitos buracos e cavernas;
- g) A bacia do reservatório é um vale anticlinal, propenso a infiltração externa da água ao longo do estrato permeável;
- h) A bacia do reservatório é um vale monoclinal, o leito permeável é inferior ao nível normal da piscina, e está exposto no vale adjacente, com o potencial de infiltração para o vale inferior adjacente ao longo da direcção da inclinação;
- i) Zona de fractura de falha fortemente permeável e cinturão de junção intensiva, passam por esta região, ou passam pela bacia hidrográfica fina ou área da curva do rio;
- g) O lençol freático é recarregado com água do rio na área do reservatório ou o leito natural do rio já se infiltrou no vale adjacente, e a infiltração agravar-se-á após o enchimento do reservatório;
- k) O nível das águas subterrâneas nas margens do reservatório é inferior ao nível normal da piscina do reservatório, enquanto que a permeabilidade da água do estrato rochoso é forte.

6.3 Imersão no reservatório

6.3.1 A investigação de imersão no reservatório deve descobrir as condições geológicas hidrogeológicas e de engenharia da área a ser imersa, e a distribuição e características relevantes dos edifícios, fábricas e minas, aldeias e vilas, florestas e terras agrícolas, etc., em torno da área do reservatório. Deve ser determinado o alcance da influência da imersão e devem ser propostas medidas de prevenção e controlo.

6.3.2 A investigação de imersão no reservatório deve ser conduzida através de levantamento geológico e mapeamento e exploração geológica leve para investigar a relação entre os estratos rochosos, o nível das águas subterrâneas e a recarga e descarga de águas subterrâneas dentro de uma certa medida acima do nível normal da piscina da área do reservatório.

6.3.3 As secções consideradas impossíveis de serem imersas na área do reservatório devem cumprir as seguintes disposições:

- a) As secções onde as margens do reservatório são compostas por camadas impermeáveis de rocha e solo;
- b) As secções sem ligação hidráulica directa com o reservatório;
- c) As secções que estão separadas por um leito relativamente impermeável e a elevação superior do leito impermeável é superior ao nível normal da piscina do reservatório;

- d) As secções que estão separadas pela ravina com fluxo constante e o nível de água da ravina é superior ao nível normal da piscina do reservatório.

6.3.4 As secções consideradas pouco prováveis de terem salinização secundária na área do reservatório devem cumprir as seguintes disposições:

- a) Região de clima húmido com alta precipitação e boas condições de escoamento;
- b) O grau de mineralização das águas subterrâneas é relativamente baixo; o solo coeso na camada superficial é relativamente fino, a permeabilidade da água do aquífero subjacente é relativamente alta e a condição de drenagem é relativamente boa;
- c) As instalações de drenagem são bem canalizadas.

6.4 Bancos de reservatório/estabilidade da inclinação do reservatório

6.4.1 A investigação da estabilidade das margens do reservatório deve identificar as condições geológicas de engenharia com potenciais factores de instabilidade para as margens do reservatório, tais como um deslizamento e colapso de terras, avaliar as suas influências, determinar as condições geológicas de engenharia da inclinação das margens do solo e prever a extensão do colapso das margens, e propor sugestões sobre medidas de controlo.

6.4.2 A forma, litologia de formação e função físico-geológica das margens do reservatório devem ser identificadas através da engenharia de levantamento geológico e mapeamento e meios gerais de prospecção, a estabilidade da margem do reservatório no estado sem represamento deve ser julgada, e a possibilidade e extensão de quedas de margens da inclinação do banco de solo induzidas por ondas e decaimento sob o efeito de água e ondas do reservatório deve ser estudada e prevista.

6.4.3 As condições geológicas e topográficas dos bancos de rocha reservatório devem ser verificadas, tais como a forma do talude, condições de drenagem, composição dos materiais, estrutura do maciço rochoso e, particularmente, o desenvolvimento e as características combinadas de intercalações fracas no maciço rochoso. A possibilidade de deslizamento de terras e desabamento de pedras para os bancos de rochas do reservatório deve ser analisada e prevista em combinação com a hidrologia, meteorologia, profundidade da água do reservatório e modo de escalonamento do reservatório.

6.4.4 A fim de determinar o tipo, natureza, faixa de distribuição, escala, controlo das características estruturais da superfície e condições hidrogeológicas subterrâneas do talude instável próximo da área da barragem e do reservatório, devem ser providenciados poços e valas de teste, prospecção geofísica, perfuração e outras obras de exploração. A estabilidade da inclinação e a extensão e escala das possíveis deformações e falhas sob diferentes condições de nível de água do reservatório devem ser previstas e avaliadas. Devem ser avaliados os possíveis efeitos da deformação e da instabilidade.

6.5 Sedimentação do reservatório

6.5.1 A investigação da sedimentação do reservatório deve incluir a situação de erosão e erosão dos rios a montante e do barranco do reservatório e a fonte do escoamento de sedimentos na área do reservatório. Os problemas de sedimentação do reservatório devem ser avaliados e devem ser propostas sugestões sobre medidas de controlo.

6.5.2 O principal trabalho da avaliação da sedimentação do reservatório é descobrir a fonte do escoamento de sedimentos na área do reservatório. As condições geológicas de engenharia da área do reservatório devem ser identificadas através do levantamento e mapeamento geológico de engenharia, para analisar e estudar o tipo genético e a composição material dos maciços rochosos nas secções de origem do escoamento sedimentar, a força de lavagem e corte do fluxo de água, as características do talude, grau de estabilidade e formas de danos, distribuição e atividade do fluxo de detritos, bem como a situação das substâncias sólidas transportadas pelo fluxo de água.

7 Investigação geológica de engenharia da área da barragem

7.1 Disposições gerais

A investigação geológica de engenharia na área da barragem deve ser realizada de acordo com os requisitos de precisão de duas fases diferentes do estudo de pré-viabilidade e estudo de viabilidade, incluindo principalmente as condições geológicas básicas, tais como topografia, litologia de estrato, estrutura geológica e geologia física, para avaliar os principais problemas geológicos de engenharia na área da barragem.

7.2 Fase de estudo de pré-viabilidade

7.2.1 Na fase de estudo de pré-viabilidade, as condições geológicas de engenharia e os principais problemas geológicos de engenharia do esquema de selecção do local devem ser analisados preliminarmente, para demonstrar a viabilidade da construção da central hidroeléctrica a partir da perspectiva da geologia de engenharia. O conteúdo a seguir deve ser incluído na investigação:

- a) A morfologia do rio e as características topográficas do vale do rio chegam ao local onde se encontra a barragem;
- b) Litologia de estratos, tipos de rochas, distribuição de estratos fracos, causa, estrutura, propriedade básica, material de composição e situação de distribuição de sedimentos quaternários na área da barragem;
- c) Principal estrutura geológica da área da barragem, particularmente a posição de desenvolvimento, tipo, ocorrência, escala e material de composição da zona de fractura em grande escala;
- d) Intempéries, descargas, deslizamentos de terras, colapsos, rochas perigosas e outros fenómenos físicos e geológicos da massa rochosa no local da barragem e nas proximidades da área da barragem;

- e) Distribuição de leito fortemente permeável, cárstico e curso de rio fóssil na área da barragem.

7.2.2 Na fase de estudo de pré-viabilidade, a investigação geológica de engenharia centra-se principalmente na recolha de dados e no levantamento e mapeamento geológico. Na selecção dos métodos de trabalho e na organização do trabalho de investigação devem ser cumpridos os seguintes requisitos;

- a) Levantamento geológico e mapeamento: Quando a condição geológica de engenharia é relativamente simples, o mapa geológico da área do reservatório pode ser adoptado, enquanto o mapa geológico de engenharia da área da barragem não pode ser traçado separadamente; quando a condição geológica de engenharia é relativamente complexa, recomenda-se o desenho de um mapa geológico de engenharia à escala 1:2000 a 1: 1000 da área da barragem.
- b) Organização do trabalho de investigação: Principal para explorar a mineração e trincheiras. Normalmente não são organizados trabalhos de prospecção detalhada; quando a condição geológica de engenharia é relativamente complexa, uma pequena quantidade de prospecção geofísica e exploração de perfuração pode ser organizada, que normalmente é aplicada para o eixo da barragem de retenção.
- c) O perfil de prospecção geofísica deve ser organizado de acordo com as condições geológicas e topográficas da área da barragem combinada com o perfil de exploração.
- d) A perfuração deve ser disposta no eixo da barragem de retenção, o espaçamento entre furos não deve ser superior a 100 m e a perfuração deve ser disposta no leito do rio e nos ombros da barragem de ambas as margens.
- e) Para uma barragem baseada em rocha, a profundidade da perfuração no leito do rio não deve ser inferior à altura da barragem. A perfuração nos ombros da barragem em ambas as margens deve ser disposta na elevação acima do coroamento da barragem, e a perfuração deve ir para o leito de confinamento relativo. A profundidade de perfuração na área cárstica não deve ser inferior a 10 m abaixo do nível do lençol freático.
- f) Para um local de barragem baseado no solo, a profundidade de perfuração não deve ser inferior à altura da barragem; se a camada macia ou o leito altamente permeável estiver distribuído na fundação da barragem, a profundidade de perfuração deve ser de 5 m a 10 m no leito de confinamento relativo da camada de solo sólido ou rocha base.
- g) Os testes hidrológicos devem ser feitos para todos os furos, os testes de pressão de água devem ser feitos para rocha-mãe, os testes de injeção de água ou os testes de bombeamento devem ser feitos para rocha-mãe quebrada que não pode ser testada pela pressão da água e sobrecarga.
- h) A amostragem, ensaios de penetração padrão ou ensaios de penetração dinâmica do cone podem ser conduzidos para a sobrecarga pelas propriedades da camada.
- i) Os parâmetros geológicos podem ser determinados por analogia geológica de engenharia e julgamento baseado na experiência. Os testes no local e no interior podem ser realizados quando necessário.

7.3 Etapa do estudo de viabilidade

7.3.1 Na fase de estudo de viabilidade, a investigação geológica de engenharia na área da barragem envolve principalmente a investigação das condições geológicas básicas como a topografia e geomorfologia, litologia de estrato, estrutura geológica e hidrogeologia e fenómenos geológicos físicos, bem como os principais problemas geológicos de engenharia em cada área de barragem, e a avaliação preliminar dos principais problemas geológicos de engenharia. Através da comparação e selecção dos esquemas de barragens, são recomendados esquemas representativos de barragens, e os esquemas de barragens seleccionados são certificados geologicamente. Os seguintes conteúdos devem ser incluídos nesta fase:

- a) Identificação preliminar das características topográficas e geomórficas de cada local de barragem seleccionado, especialmente ravinhas, substrato rochoso, canais anteriores do rio e sulco profundo do leito do rio;
- b) Identificação preliminar da litologia de estrato de cada local de barragem seleccionado, especialmente a distribuição de rocha fraca, cárstico, rocha expansiva e outras rochas más ou entre camadas; identificação preliminar da distribuição, causa, propriedade básica e composição dos sedimentos quaternários, especialmente a distribuição de solo mole, solo expansivo, solo disperso, areia sedimentosa, canal passado e loesse dobrável
- c) Identificação preliminar do local de desenvolvimento, tipo, ocorrência, escala e composição das principais falhas e zonas fracturadas no local seleccionado da barragem, especialmente a investigação de falhas ao longo do rio e de falhas em ângulo baixo. As fissuras devem ser medidas pela margem esquerda, margem direita e leito do rio.
- d) Identificação preliminar dos fenómenos físicos e geológicos nos locais seleccionados da barragem, tais como o grau de erosão da massa rochosa, a profundidade de descarga, o tamanho e distribuição de um deslizamento de terras, colapso, corpo de despejo, rocha perigosa e corpo potencialmente instável;
- e) Identificação preliminar da permeabilidade das camadas rochosas e do solo e das condições de enterramento das camadas relativamente resistentes à água, condições hidrogeológicas, tais como a relação de recarga e descarga entre água superficial e subterrânea, e a agressividade do betão em cada área de barragem seleccionada. A investigação de antigos canais fluviais em áreas especiais também deve merecer atenção;
- f) Identificação preliminar do desenvolvimento e distribuição do carso, investigação da distribuição, escala e enchimento da caverna principal e canal de infiltração; inicialmente investigar o armazenamento das águas subterrâneas, características dinâmicas da água e relações de abastecimento. Identificação preliminar das características dos estratos relativamente resistentes à água, análise preliminar da área e tipo de vazamento possível, e oferecendo uma sugestão para o esquema de tratamento.
- g) Devem ser propostos os parâmetros físicos e mecânicos de todos os tipos de rochas e solos. Classificar o leito da barragem por geologia de engenharia. Para mais detalhes, consulte o Apêndice A.

7.3.2 Ao seleccionar os métodos de trabalho e organizar o trabalho de investigação, os seguintes requisitos devem ser cumpridos:

- a) Levantamento geológico e cartografia; de um mapa geológico de engenharia à escala 1:2000 a 1: 500 para a área da barragem.
- b) Esquema dos trabalhos de exploração: deve ser adoptada uma pequena quantidade de trabalhos de exploração e perfuração geofísica. Cada área comparativa de barragem deve ter pelo menos uma linha de secção de exploração representativa em conjunto com a planta do edifício:
 - 1) A linha de exploração de uma barragem de terra e enrocamento deve ser disposta ao longo da linha de controlo de infiltração ou do eixo da barragem.
 - 2) A linha de exploração de barragens de betão, como barragens gravitacionais e barragens em arco, deve ser disposta ao longo do eixo da barragem.
 - 3) A linha de exploração das barragens gerais deve ser disposta ao longo do eixo. A linha da secção de exploração auxiliar pode ser determinada de acordo com a posição e a demanda das estruturas civis.
- c) A prospecção geofísica e a exploração do poço deve ser organizada de acordo com as condições geológicas e topográficas da área da barragem. Os furos são normalmente dispostos na posição da linha principal de exploração, no leito do rio e nos ombros da barragem em ambas as margens. O espaçamento entre furos não deve ser superior a 50 m:
 - 1) Para uma barragem baseada em rocha, a profundidade da perfuração no leito do rio não deve ser inferior à altura da barragem. A perfuração nos ombros da barragem em ambas as margens deve ser disposta na elevação acima do coroamento da barragem, e a perfuração deve ser feita a menos de 10 m no leito de confinamento relativo. A profundidade de perfuração na área cárstica não deve ser inferior a 10 m abaixo do nível de água subterrâneo.
 - 2) Para um local de barragem baseado no solo, a profundidade de perfuração não deve ser inferior à altura da barragem; se a camada macia ou o leito altamente permeável estiver distribuído na fundação da barragem, a profundidade de perfuração deve ser de 5 m a 10 m no leito de confinamento relativo da camada de solo sólido ou rocha base.
 - 3) A perfuração na área cárstica deve ir para o leito de confinamento relativo ou para os estratos de rocha fracamente dissolvidos; o espaçamento entre os furos perfurados deve ser penetrado com ondas sísmicas e testado com a técnica tomográfica.
- d) Para barragens de betão, particularmente a barragem de betão em arco, deve ser previsto um controlo da galeria de acesso para os ombros da barragem em ambas as margens; a galeria de acesso deve ser suficientemente profunda para expor a zona de clima intenso e a faixa de descarga da massa rochosa para verificar a camada intercalada fraca e outras superfícies estruturais adversas.

- e) Devem ser realizados os seguintes testes:
- 1) O orifício de perfuração deve ser testado hidrologicamente em secções.
 - 2) O leito rochoso deve ser submetido ao teste de pressão da água.
 - 3) O leito rochoso fracturado que não pode ser submetido ao teste de pressão de água, deve ser submetido ao teste de injeção de água.
 - 4) A sobrecarga do Quaternário deve ser submetida ao teste de injeção de água ou ao teste de bombeamento.
 - 5) Durante o processo de perfuração na área cárstica, o nível das águas subterrâneas deve ser observado e, se necessário, devem ser realizados testes de rastreamento.
- f) Pelo menos um grupo de águas superficiais e um grupo de amostras de águas subterrâneas devem ser recolhidas para análise da qualidade da água, a fim de avaliar a sua agressividade para as estruturas de betão e aço. Para mais detalhes, consulte o Apêndice B.
- g) Quando a sobrecarga é necessária como fundação da barragem, a recolha de amostras, o teste de penetração padrão ou os testes de penetração dinâmica cónica devem ser realizados de acordo com a natureza da camada de solo; os grupos efectivos de amostragem em cada camada de solo não devem ser inferiores a 6.
- h) A base rochosa deve ser determinada por analogia geológica de engenharia e a avaliação baseada na experiência, em conjunto com os testes de campo e de laboratório. Os parâmetros físicos e mecânicos da base terrestre devem ser determinados com base nos resultados dos testes de campo e de laboratório, combinados com a analogia geológica da engenharia e o julgamento baseado na experiência.

8 Investigação geológica de engenharia do projecto condutor de água

8.1 Disposições gerais

A investigação geológica de engenharia do projecto condutor de água deve ser realizada de acordo com os requisitos de precisão de duas fases diferentes de projecto de estudo de pré-viabilidade e estudo de viabilidade. As condições geológicas e hidrogeológicas de engenharia ao longo da linha condutora de água e das áreas de construção devem ser investigadas e estudadas, e os principais problemas geológicos de engenharia que podem ser encontrados ao longo da linha devem ser avaliados.

8.2 Fase de estudo de pré-viabilidade

8.2.1 Na fase de estudo de pré-viabilidade, devem ser investigadas as condições geológicas de engenharia e os principais problemas geológicos de engenharia nos esquemas de comparação da linha condutora de água, com os seguintes conteúdos como foco:

- a) As características topográficas e geomorfológicas e os fenómenos físicos e geológicos na área da linha condutora de água, especialmente a distribuição de deslizamento de terras, colapsos e fluxos de detritos;
- b) Litologia da formação, segmentação das camadas de rocha e solo e distribuição das camadas especiais de rocha e solo na área da linha;
- c) A principal estrutura geológica da área da linha, particularmente a posição de desenvolvimento, tipo, ocorrência, escala e composição da zona de fractura;
- d) Condições hidrogeológicas na área da linha, particularmente na área cárstica;
- e) Condições geológicas de engenharia em cada abertura dos túneis, bem como os fenómenos geológicos adversos que afectam a estabilidade do túnel.

8.2.2 Na selecção dos métodos de trabalho e na organização do trabalho de investigação, devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

- a) A investigação geológica de engenharia é realizada principalmente para recolher dados geológicos regionais e para levantamento e mapeamento da geologia; a prospecção geofísica e a exploração de perfuração podem ser organizadas nas secções importantes. O enquadramento do levantamento geológico e mapeamento deve abranger 1 km em ambos os lados do eixo. A escala de medição deve ser 1: 50 000 a 1: 10 000.
- b) Para os canais, o levantamento e mapeamento geológico deve ser utilizado principalmente, e o perfil de prospecção geofísica deve ser disposto, se necessário, ao longo da linha central; nas secções com condições geológicas complexas de engenharia, a linha de levantamento auxiliar deve ser disposta na vertical do eixo; os métodos de prospecção geofísica devem ser seleccionados de acordo com o propósito da prospecção e as características físicas das camadas rochosas e do solo.
- c) Para os túneis, o levantamento e cartografia para geologia é usado principalmente ao longo da linha central. A perfuração deve ser disposta na entrada/saída do túnel, a secção rasa enterrada ao lado da colina, a secção de passagem de vala e outras secções com condições geológicas complexas de engenharia; a perfuração pode ser ajustada se necessário e a profundidade da perfuração deve ser inferior a 10 m abaixo da elevação do fundo do túnel.
- d) Os testes de bombeamento (injecção) devem ser realizados para os furos perfurados; os testes de bombeamento devem ser realizados para as áreas de distribuição de água confinadas.

- e) Os parâmetros geológicos podem ser determinados por analogia geológica de engenharia e julgamento baseado na experiência; testes de campo e de laboratório podem ser realizados quando necessário.

8.3 Etapa do estudo de viabilidade

8.3.1 A investigação geológica de engenharia para o projecto condutor de água na fase de estudo de viabilidade inclui principalmente a investigação da topografia e geomorfologia, litologia de formação, estrutura geológica e geologia hidrológica, bem como os principais problemas geológicos de engenharia e avaliação preliminar do seu impacto nos vários tipos de estruturas condutoras de água e a certificação geológica deve ser conduzida para a selecção do esquema adequado de linhas condutoras de água. Os seguintes conteúdos devem ser inicialmente investigados:

- a) As características topográficas e geomorfológicas e os fenómenos físicos e geológicos da área da linha condutora de água, especialmente a distribuição de deslizamento de terras, colapsos e fluxos de detritos;
- b) Formação litologia da área do percurso, segmentação das camadas de rocha e solo e se as camadas especiais de rocha e solo estão distribuídas nesta área;
- c) A principal estrutura geológica da área do percurso, particularmente a posição de desenvolvimento, tipo, ocorrência, escala e composição dos materiais da zona de fractura;
- d) Condições hidrogeológicas na área da rota, particularmente na área cárstica;
- e) Condições geológicas de engenharia nas aberturas dos túneis, bem como os fenómenos geológicos adversos que afectam a estabilidade do túnel;
- f) Se o túnel passar pelo estrato carbonífero, o xisto betuminoso e o betuminoso, devem ser estudados os gases nocivos; os elementos radioactivos devem ser testados e estudados em grandes massas intrusivas;
- g) São propostos os parâmetros físicos e mecânicos dos vários corpos rochosos e do solo; o túnel que envolve as rochas deve ser classificado preliminarmente. Para mais detalhes, consulte o Apêndice B.

8.3.2 Na selecção dos métodos de trabalho e na organização da investigação devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

- a) Enfoque na recolha de dados e levantamento geológico e cartográfico. O enquadramento do levantamento geológico e mapeamento deve abranger uma área de 1 km em ambos os lados do eixo. A escala de medição para o projecto condutor de água deve ser 1: 10 000 a 1: 5000; o levantamento e mapeamento geológico específico deve ser realizado para a secção do canal adjacente ao morro, bem como o alto enchimento, escavação profunda e o canal com condições geológicas de engenharia complexa. A escala de mapeamento deve ser 1: de um mapa geológico de engenharia à escala 1:2000 a 1: 1000. O levantamento geológico e mapeamento da entrada/saída do túnel, da secção enterrada rasa ao longo do monte, da secção do barranco e outras secções com condições geológicas complexas de engenharia geológica devem ser realizados com a escala de 1: de um mapa geológico de engenharia à escala 1:2000 a 1: 1000.

- b) O perfil de prospecção os canais, o levantamento e mapeamento geológico deve ser utilizado principalmente, e o perfil de prospecção geofísica deve ser disposto, se necessário, ao longo da linha central; nas secções com condições geológicas complexas de engenharia, a linha de levantamento auxiliar deve ser disposta na vertical do eixo; os métodos de prospecção geofísica devem ser seleccionados de acordo com o propósito da prospecção e as características físicas das camadas rochosas e do solo.
- c) Com base no perfil de prospecção geofísica, o perfil de exploração deve ser disposto ao longo da linha central do canal, e os pontos de exploração devem ser dispostos nas secções transversais aos rios e valas e secções com condições geológicas de engenharia complexas, e o espaçamento não deve ser superior a 1000 m; a prospecção deve ser realizada principalmente por poços e valas de teste, e a exploração da perfuração; a profundidade de exploração da perfuração deve ser 10 m abaixo da elevação do pavimento de projecto.
- d) O levantamento e mapeamento geológico deve ser realizado ao longo do túnel. Os perfis geofísicos devem ser dispostos ao longo da linha central quando necessário para explorar a espessura da sobrecarga, o grau de desgaste da massa rochosa e o desenvolvimento cárstico da secção do túnel.
- e) A perfuração deve ser disposta na entrada/saída do túnel, a secção rasa enterrada ao lado da colina, a secção do barraco e outras secções com condições geológicas complexas de engenharia; a profundidade da perfuração deve ser inferior a 10 m abaixo da elevação do fundo do túnel.
- f) Os testes de bombeamento (injecção) devem ser realizados para os furos perfurados; os testes de bombeamento devem ser realizados para as áreas de distribuição de água confinadas.
- g) Os parâmetros geológicos devem ser determinados por testes de campo e de laboratório, combinado com a analogia geológica de engenharia e avaliação baseada na experiência.

9 Investigação geológica da engenharia da área da central eléctrica

9.1 Disposições gerais

A investigação geológica de engenharia da área da central eléctrica deve ser realizada de acordo com os requisitos de precisão do estudo de pré-viabilidade e do estudo de viabilidade. Os principais problemas geológicos de engenharia da área da central devem ser avaliados através da investigação e estudo das condições geológicas de engenharia da central eléctrica, da conduta forçada e do talude por detrás da central eléctrica.

9.2 Fase de estudo de pré-viabilidade

9.2.1 Na fase de estudo de pré-viabilidade, devem ser investigadas as condições geológicas de engenharia e os principais problemas geológicos de engenharia na área da central eléctrica, com enfoque nos seguintes conteúdos:

- a) Características morfológicas da topografia e geomorfologia da área vegetal;
- b) Litologia da formação, assim como a causa, material de composição e distribuição da sobrecarga da área da central;
- c) Principal estrutura geológica da área da planta, posição de desenvolvimento, tipo, ocorrência, escala e composição dos materiais da zona de fractura;
- d) Fenómenos físicos e geológicos, como o grau de erosão da massa rochosa, descarga, deslizamento de terras, colapso e fluxo de detritos na área da planta;
- e) Estabilidade do talude da central de energia.

9.2.2 A investigação geológica de engenharia envolve principalmente a recolha de dados geológicos regionais e o levantamento e mapeamento geológico. Uma pequena quantidade de prospecção geofísica e exploração de perfuração pode ser realizada na área da planta com condições geológicas complexas de engenharia.

- a) Quando a condição geológica de engenharia é relativamente simples e o projecto está próximo da área do reservatório, o levantamento e mapeamento geológico pode ser combinado com o mapa geológico da área do reservatório, e o mapa geológico de engenharia da área da planta pode não ser necessário; quando a condição geológica de engenharia é relativamente complexa, de um mapa geológico de engenharia à escala 1:2000 a 1: à escala de 1:2000 a 1:1000.
- b) Quando a condição geológica de engenharia é relativamente complexa, uma pequena quantidade de prospecção geofísica e exploração de perfuração pode ser disposta na área da central e no talude por detrás da central.
- c) O perfil de prospecção geofísica deve ser organizado ao longo da linha central da conduta forçada com o objectivo de investigar a espessura da sobrecarga, o grau de erosão da massa rochosa e as condições de descarga nas secções do conduta forçada.
- d) O espaçamento entre furos deve ser determinado de acordo com as condições geológicas de engenharia da área da planta, e a profundidade da perfuração deve ser de 10 m a 20 m abaixo da elevação da superfície da fundação.
- e) Os parâmetros geológicos podem ser determinados pela analogia geológica de engenharia e pela avaliação baseada na experiência; se necessário, podem ser realizados testes de campo e de laboratório.

9.3 Etapa do estudo de viabilidade

9.3.1 Na etapa do estudo de viabilidade, a investigação geológica de engenharia da área da central eléctrica leva a cabo principalmente a investigação das condições geológicas básicas, como topografia, litologia de estrato, estrutura geológica, hidrogeologia e grandes problemas geológicos de engenharia de cada área seleccionada da central. Através da comparação e selecção de diferentes esquemas de área de centrais seleccionadas, a área representativa da central deve ser recomendada. Os seguintes conteúdos em cada área de central seleccionada devem ser verificados preliminarmente:

- a) Características morfológicas da topografia e da geomorfologia;
- b) Litologia da formação, assim como causa, material de composição e distribuição;
- c) Estrutura geológica principal, posição de desenvolvimento, tipo, ocorrência, escala e composição dos materiais da zona de fractura;
- d) Fenómenos físicos e geológicos, como o grau de erosão da massa rochosa, descarga, deslizamento de terras, colapso e fluxo de detritos;
- e) A estabilidade do talude na parte de trás da central de energia;
- f) As condições hidrogeológicas, que se focam na avaliação das características de infiltração na cava de fundação da central, deformação da câmara de carga causada pela infiltração e fuga, águas superficiais e subterrâneas corrosivas para as estruturas de betão e aço, etc.

9.3.2 Na selecção dos métodos de trabalho e na organização da investigação devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

- a) Na área da central, o levantamento e mapeamento de engenharia podem ser realizados em combinação com o mapa geológico de engenharia da área da barragem. O mapa geológico de engenharia da área da central deve ser traçado separadamente, caso não esteja incluído na área da barragem. A escala de medição para o levantamento geológico e mapeamento deve ser 1: de um mapa geológico de engenharia à escala 1:2000 a 1: 1000; o enquadramento do mapeamento deve incluir os esquemas alternativos do veio de compensação, da conduta forçada, da central de energia, do pátio de distribuição e outras estruturas.
- b) O trabalho de investigação é realizado principalmente pela prospecção geofísica e exploração de perfuração, e é normalmente organizado no poço de compensação, nos taludes na parte de trás da central de energia (incluindo a câmara de carga e as condutas forçadas), na central de energia e no pátio de distribuição, combinado com a exploração, mineração e escavação de valas.
- c) O perfil de exploração deve ser organizado em conjunto com o eixo das estruturas civis; o perfil de exploração também deve ser organizado nos taludes que possam afectar a segurança das estruturas civis.
- d) A perfuração em locais como o poço de compensação, a câmara de carga, a conduta forçada, a central de energia e o pátio de comutação deve ser feita 5 a 10 m abaixo da superfície da fundação; quando a fundação estiver localizada sobre a sobrecarga, a profundidade da perfuração deve ser determinada de acordo com a distribuição do estrato de rolamento.

- e) Os testes de bombeamento (injecção) devem ser realizados para a perfuração no poço de compensação, na câmara de carga e na central de energia; quando a fundação é o aquífero principal do quaternário, o teste de bombeamento da perfuração deve ser realizado.
- f) Pelo menos um grupo de amostras de águas superficiais e um grupo de amostras de águas subterrâneas devem ser recolhidas para análise da qualidade da água, a fim de avaliar a sua corrosividade para as estruturas de betão e aço.
- g) A recolha de amostras, o teste de penetração padrão ou teste de penetração dinâmica cónica devem ser realizados de acordo com as diferentes propriedades do solo quando a fundação da câmara de carga, da conduta forçada, da central de energia e do pátio de distribuição é a sobrecarga, e o número de grupos de amostragem eficazes em cada camada de solo não deve ser inferior a 6.
- h) Os parâmetros geológicos devem ser determinados de acordo com os testes de campo e de laboratório, combinados com a analogia geológica de engenharia e o julgamento baseado na experiência.

10 Investigação geológica de materiais de construção naturais

10.1 Disposições gerais

A investigação dos materiais naturais de construção deve ser feita de acordo com os requisitos nas diferentes fases de projecto e os tipos e quantidades de materiais de construção; quando os materiais naturais de construção afectam o tipo básico de barragem, deve ser feita uma investigação detalhada na investigação geológica de engenharia na fase de estudo de viabilidade; a utilização abrangente dos materiais de engenharia de escavação deve ser totalmente considerada na selecção das fontes de materiais; quando é adoptada a externalização, a qualidade dos materiais naturais de construção adquiridos deve ser revista e a sua capacidade de fornecimento deve ser avaliada.

10.2 Fase de estudo de pré-viabilidade

10.2.1 Na fase de estudo de pré-viabilidade, será realizado um levantamento geral dos materiais naturais de construção necessários ao projeto.

10.2.2 A investigação geológica em torno da área de projecto deve ser realizada com base na recolha e análise dos dados relevantes na região. Os factores de segurança e ambientais devem ser plenamente considerados na selecção do campo de materiais de construção naturais; a sua qualidade e reservas podem ser avaliadas preliminarmente de acordo com a analogia geológica da engenharia e a avaliação baseada na experiência para satisfazer as necessidades do projeto.

10.3 Etapa do estudo de viabilidade

10.3.1 Na fase de estudo de viabilidade, devem ser investigados materiais naturais de construção, tais como rocha, areia e cascalho, e os materiais do solo para a construção do projecto. A investigação deve ser realizada de perto para longe e a investigação qualitativa e quantitativa dos materiais de construção naturais deve ser realizada. Os factores de segurança e ambientais do campo material planeado devem ser plenamente considerados, e o impacto da mineração de material de construção natural sobre o meio ambiente deve ser analisado.

10.3.2 A investigação deve concentrar-se na recolha de dados, levantamento geológico e mapeamento geológico, e levantamentos de poço, canal e perfuração devem ser organizados quando necessário.

10.3.3 As reservas investigadas de vários materiais naturais de construção devem ser o dobro dos requisitos do projecto.

10.3.4 Os blocos de pedra seleccionados serão avaliados com base na origem. Se a resistência e qualidade das rochas excederem em muito os requisitos de projecto, os índices físico-mecânicos das rochas podem ser determinados pela analogia geológica da engenharia e pela avaliação baseada na experiência para estimar as reservas.

10.3.5 A área da pedreira com uma sobrecarga fortemente desgastada e as rochas devem ser investigadas; os furos de investigação devem ser dispostos em forma de treliça e o espaçamento deve ser inferior a 100 m; a profundidade do furo deve ser de 5 m a 10 m abaixo da elevação do fundo a ser escavado.

10.3.6 Devem ser recolhidas amostras de rochas da área da pedreira para medir a densidade e a resistência à compressão das rochas. Se as pedras de bloco seleccionadas forem utilizadas como agregados artificiais do betão, a absorção de água, a solidez, o valor de britagem e a actividade alcalina das rochas devem ser testadas.

10.3.7 Os Poços de Teste devem ser dispostos para a área da pedreira de cascalho de areia de acordo com os seguintes requisitos:

- a) No que diz respeito à área da pedreira com cascalho de areia amplamente distribuído e estável e uma camada produtiva espessa, o espaçamento entre os Poços de Testes deve ser de 100 m a 200 m.
- b) Em relação à área da pedreira onde o cascalho arenoso é distribuído em forma de tira e as camadas produtivas variam notavelmente, o espaçamento entre os Poços de Testes deve ser de 50 m a 100 m.
- c) Pelo menos três Poços de Testes devem ser dispostos em cada área de pedreira, e a profundidade do poço deve ser de 1 m abaixo da profundidade máxima de escavação.

10.3.8 A área da pedreira de cascalho arenoso deve ser amostrada para teste de triagem para calcular as reservas de materiais de cascalho arenoso em todos os níveis. A matéria orgânica e a percentagem de sedimentos da areia devem ser medidas.

10.3.9 Os pontos exploratórios do campo de material do solo devem ser organizados de acordo com os seguintes requisitos:

- a) No que diz respeito ao campo de material de solo com uma grande área, terreno plano, uma camada produtiva espessa e uma única camada de solo, o espaçamento entre os pontos exploratórios deve ser de 100 m a 200 m.
- b) Em relação ao campo de material do solo com uma pequena área, terreno ondulado, uma espessura altamente variável da camada produtiva e uma estrutura complexa da camada de solo, o espaçamento entre os pontos exploratórios deve ser de 50 m a 100 m.
- c) Pelo menos três Poços de Teste devem ser dispostos em cada campo de material, e a profundidade do poço deve ser de 0,5 m a 1 m abaixo da profundidade máxima de escavação.

10.3.10 Devem ser recolhidas amostras do campo de material do solo para teste de rotina e teste de compactação; o teste de rotina inclui principalmente o conteúdo natural de água, densidade, gravidade específica, limite de líquido, limite de plástico, análise de partículas, conteúdo orgânico e conteúdo de sal solúvel em água.

10.3.11 A fim de saber qual a compatibilidade do material do solo, os testes de compactação devem ser realizados para determinar a relação entre a densidade e o conteúdo de água do material do solo; para alguns solos expansivos, a expansibilidade, componentes químicos e minerais argilosos também devem ser medidos.

10.3.12 A investigação do impacto das condições de mineração e da geologia ambiental deve ser realizada, incluindo principalmente a distância entre a área da pedreira e a área proposta para o projecto, a estrada de acesso existente, o nível das águas subterrâneas e a propriedade de produção de água da área da pedreira. Os danos à vegetação o impacto sobre o ambiente geológico após a mineração deve ser previsto, e sugestões sobre tratamento e restauração devem ser apresentadas quando necessário.

Apêndice A
(Informativo)

Classificação geológica de engenharia do maciço rochoso de fundação da barragem

A classificação geológica de engenharia do maciço rochoso de fundação da barragem das instalações de PCH deve cumprir os regulamentos da Tabela A.1.

Tabela A.1 Classificação geológica de engenharia do maciço rochoso de fundação da barragem

Tipo	Características do maciço rochoso	Engenharia de massas rochosas avaliação das propriedades	Valor característico principal da massa de rocha
Uma rocha dura ($R_b > 60$ MPa)			
I	A _I : A massa rochosa encontra-se numa estrutura monolítica ou compacta, e na enorme formação espessa ou de rocha grossa. As superfícies estruturais estão pouco desenvolvidas ou não se desenvolvem e são principalmente fechadas com pouca extensão. As diferenças nas propriedades mecânicas do maciço rochoso em diferentes direcções não são óbvias.	A massa rochosa é completa e tem alta resistência, resistência à derrapagem e resistência à deformação, pelo que não é necessário nenhum tratamento especial de fundação. Isto pertence à fundação da barragem de betão de alta qualidade.	$R_b > 90$ MPa $V_p > 5\ 000$ m/s $RQD > 85\%$ $K_v > 0.85$
II	A _{II} : A massa rochosa encontra-se numa estrutura em bloco ou compacta, e na formação de rochas espessas. As superfícies estruturais estão moderadamente desenvolvidas, e as superfícies estruturais fracas não são controláveis e estão parcialmente distribuídas. Não existe um corpo em cunha ou pirâmide em grande escala que afecte a estabilidade da fundação da barragem ou do ombro da barragem.	O maciço rochoso é completo e de alta resistência, a resistência à derrapagem e à deformação e as superfícies estruturais fracas não controlam a estabilidade do maciço rochoso, pelo que não é necessário um grande volume de trabalho para o tratamento especial das fundações. Isto pertence à fundação da barragem de betão de alta qualidade.	$R_b > 60$ MPa $V_p > 4\ 500$ m/s $RQD > 70\%$ $K_v > 0.75$
III	A _{III1} : O maciço rochoso está em estrutura semi-compacta, e na formação de rochas médias ou finas. As superfícies estruturais estão moderadamente desenvolvidas e as superfícies estruturais fracas, com mergulhos de baixo ângulo e inclinações acentuadas (encontros de barragem) estão distribuídas pela massa rochosa. Existe um corpo em cunha ou pirâmide que afecta a estabilidade da fundação parcial da barragem ou do ombro da barragem.	A massa rochosa é relativamente completa, pobre em completude parcial e alta em força. A resistência à derrapagem e a resistência à deformação são controladas, em certa medida, pelas superfícies estruturais. É necessário um tratamento especial parcial das fundações para tratar a deformação e estabilidade do maciço rochoso.	$R_b > 60$ MPa $V_p = 4000 \sim 4500$ m/s $RQD = 40\% \sim 70\%$ $K_v = 0,55 \sim 0,75$

Tabela A. 1 (continuação)

Tipo	Características do maciço rochoso	Engenharia de massas rochosas avaliação das propriedades	Valor característico principal da massa de rocha
Uma rocha dura ($R_b > 60$ MPa)			
	<p>A_{III2} : A massa rochosa encontra-se numa estrutura intercalada ou incrustada e na formação de rochas médias ou espessas. A superfície de formação encontra-se numa estrutura estratificada de cimentação siliciosa ou de calcite. As superfícies estruturais são desenvolvidas e, na sua maioria, fechadas com pouca extensão. A interligação entre as rochas é boa.</p>	<p>A força da massa rochosa é alta e carece de completude parcial. A resistência à derrapagem e a resistência à deformação são controladas pelo grau de desenvolvimento das superfícies estruturais, a interligação entre as rochas e as características gerais de resistência do maciço rochoso. O tratamento de fundação é necessário para melhorar a completude da massa rochosa.</p>	<p>$R_b > 60$ MPa $V_p = 3000 \sim 4500$ m/s $RQD = 20\% \sim 40\%$ $K_v = 0,35 \sim 0,55$</p>
IV	<p>A_{IV1} : A massa rochosa está numa estrutura intercalada ou estratificada fina. A ligação entre camadas é pobre, e as superfícies estruturais estão relativamente bem desenvolvidas. As superfícies estruturais e o grande corpo em cunha ou corpo em pirâmide afectam a estabilidade da fundação da barragem ou do ombro da barragem.</p>	<p>A massa rochosa não está completa. A resistência à derrapagem e a resistência à deformação são controladas pelas superfícies estruturais. Se pode ser usado para a barragem de betão elevado depende da dificuldade e do efeito do tratamento.</p>	<p>$R_b > 60$ MPa $V_p = 2500 \sim 3500$ m/s $RQD = 20\% \sim 40\%$ $K_v = 0,35 \sim 0,55$</p>
	<p>A_{IV2} : O maciço rochoso está incrustado ou em estrutura clássica cataclástica. As superfícies estruturais estão bem desenvolvidas e são principalmente abertas ou com detritos e lama. A interligação entre as rochas é pobre.</p>	<p>A massa rochosa está partida e carece de resistência à derrapagem e resistência à deformação. Este maciço rochoso não pode ser usado para barragens de betão elevado. Quando esta massa rochosa é utilizada numa fundação parcial de barragem, é necessário um tratamento especial.</p>	<p>$R_b > 60$ MPa $V_p < 2500$ m/s $RQD < 20\%$ $K_v < 0,35$</p>
V	<p>V : O maciço rochoso está numa estrutura solta, consiste em rochas com lama ou rodeado de lama, e tem características de meio contínuo solto.</p>	<p>A massa rochosa está partida e não pode ser usada para barragens altas de betão. Quando esta massa rochosa é utilizada numa fundação parcial de barragem, é necessário um tratamento especial.</p>	

Tabela A. 1 (continuação)

Tipo	Características do maciço rochoso	Engenharia de massas rochosas avaliação das propriedades	Valor característico principal da massa de rocha
Rochas semiduras B (Rb = 30 MPa~60 MPa)			
I	—	—	—
II	B _{II} : A estrutura de massa rochosa do B _{II} é semelhante à da A _I .	A massa rochosa é completa, tem alta resistência e relativamente alta resistência à derrapagem e à deformação, por isso não é necessário muito trabalho para o tratamento especial das fundações. Isto pertence a uma boa fundação de uma barragem de betão.	Rb = 40~60 MPa Vp = 4000 ~ 4500 m/s RQD>70% Kv>0.75
III	B _{III1} : A estrutura do maciço rochoso de B _{III} ₁ é semelhante à de A _{II} .	A massa rochosa é relativamente completa e tem a força adequada. A resistência à derrapagem e a resistência à deformação são controladas em certa medida pelas superfícies estruturais e pela resistência das rochas. É necessário um tratamento especial parcial das fundações para tratar as superfícies estruturais que afectam a deformação e estabilidade do maciço rochoso.	Rb = 40 ~ 60 MPa Vp = 3500 ~ 4000 m/s RQD = 40% ~ 70% Kv = 0,55-0,75
	B _{III2} : O maciço rochoso encontra-se numa estrutura sub-compacta, na formação de rochas médias ou espessas e na estrutura estratificada de cimentação siliciosa ou de calcite. As superfícies estruturais estão moderadamente desenvolvidas e são principalmente fechadas. A interligação entre as rochas é pobre. Existem raras superfícies estruturais penetrantes.	O maciço rochoso é relativamente completo e carece de uma completude parcial. A resistência à derrapagem e a resistência à deformação são controladas pelas superfícies estruturais e pela resistência das rochas.	Rb = 40~60 MPa Vp = 3000 ~ 3500 m/s RQD = 20% ~ 40% Kv = 0,35-0,55
IV	B _{IV 1} : A massa rochosa está na estrutura intercalada ou estratificada fina. A ligação entre camadas é pobre. Existem superfícies estruturais fracas e um grande corpo em cunha ou corpo em pirâmide que afectam a estabilidade da fundação da barragem ou do ombro da barragem.	O mesmo que o da A _{IV 1} .	Rb = 30 ~ 60 MPa Vp = 2000 ~ 3000 m/s RQD = 20% ~ 40% Kv<0,35
	B _{IV 1} : A massa rochosa está partida ou tem uma estrutura estratificada fina. As superfícies estruturais são bem desenvolvidas e principalmente abertas. A interligação entre as rochas é pobre.	O mesmo que o da A _{IV 2} .	Rb = 30 ~ 60 MPa Vp<2000 m/s RQD<20% Kv<0,35

Tabela A. 1 (continuação)

Tipo	Características do maciço rochoso	Engenharia de massas rochosas avaliação das propriedades	Valor característico principal da massa de rocha
Rochas semiduras B (Rb = 30 MPa~60 MPa)			
V	O mesmo que o da Av.	O mesmo que o da Av.	—
C Rocha macia (Rb<30 MPa)			
I	—	—	—
II	—	—	—
III	C _{III} : Com uma força de rocha de 15 MPa a 30 MPa, a massa rochosa está na formação monolítica ou na grande formação espessa. As superfícies estruturais não estão ou estão apenas moderadamente desenvolvidas. As diferenças de propriedades mecânicas da massa rochosa em diferentes direcções não são óbvias.	A massa rochosa é completa e a resistência à derrapagem e à deformação são controladas pela força da rocha.	Rb<30 MPa Vp = 2500-3500 m/s RQD>50% Kv>0,55
IV	C _{IV} : Quando a resistência da rocha é superior a 15 MPa, as superfícies estruturais estão relativamente bem desenvolvidas; se a resistência da rocha é inferior a 15 MPa, as superfícies estruturais estão moderadamente desenvolvidas.	A massa rochosa é completa e carece de força, resistência à derrapagem e resistência à deformação. Este maciço rochoso não pode ser usado para barragens de betão elevado. Quando esta massa rochosa é utilizada em fundações parciais de barragens, é necessário um tratamento especial.	Rb<30 MPa Vp<2500 m/s RQD<50% Kv<0,55
V	O mesmo que o da Av.	O mesmo que o da Av.	—

Apêndice B
(Informativo)

Classificação geológica da engenharia de rochas circundantes

A.1 A classificação geológica da engenharia de rochas circundantes das instalações de PCH deve cumprir os regulamentos da Tabela B.1.

Tabela B.1 Classificação geológica da engenharia de rochas circundantes

Tipo de rocha circundante	Estabilidade das rochas circundantes	Principais características geológicas de engenharia das rochas circundantes	Túnel sem revestimento auto-estabilização e deformação	Tipo de suporte
I	Estável	As rochas duras são novas e com pouca erosão. As rochas alojadas encontram-se na grande formação espessa e as diferentes formações rochosas estão firmemente ligadas. O maciço rochoso é uma estrutura totalmente compacta com alta resistência e está completo. Portanto, não se desenvolvem fissuras nas juntas e não existe uma combinação estrutural desfavorável da superfície ou emergência de águas subterrâneas. A formação rochosa está bem formada. As rochas são estáveis a longo-prazo, com blocos que caem ocasionalmente.	A eclosão de rochas pode ocorrer em áreas profundamente enterradas ou de grande tensão.	Haste de ancoragem aleatória ou não suportada
II	Basicamente estável	As rochas duras são rochas com pouca erosão e em estrutura compacta, ou formação de rochas médias ou espessas. O maciço rochoso é completo com alta resistência e superfícies estruturais. Diferentes formações rochosas estão bem ligadas. Não existe combinação de superfície estrutural instável ou formação de rochas macias. A água subterrânea move-se ligeiramente e o ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a superfície estrutural principal é superior a 30°. As rochas médias são pouco resistentes às intempéries e têm uma estrutura compacta. O maciço rochoso está numa estrutura geral ou numa formação rochosa espessa e está completo. Com a fissura na junta não desenvolvida, não existe uma combinação estrutural de superfície desfavorável ou formação de rochas macias. A água subterrânea move-se ligeiramente e o ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a superfície estrutural principal é superior a 45°. A inclinação da formação rochosa é superior a 45°.	Basicamente estável. As rochas circundantes podem manter-se estáveis por um longo tempo em geral com a queda parcial dos blocos. As rochas na formação de rochas planas ou no topo da fractura podem colapsar parcialmente.	Geralmente não é suportado. Alguns são reforçados com betão pneumaticamente instalado em combinação com a haste de ancoragem. A abóbada na formação rochosa plana deve ser suportada atempadamente.

Tabela B.1 (continuação)

Tipo de rocha circundante	Estabilidade das rochas circundantes	Principais características geológicas de engenharia das rochas circundantes	Auto-estabilização e deformação e deformação	Tipo de suporte
III	Estabilidade parcialmente deficiente	<p>As rochas duras estão numa estrutura estratificada fina e pouco erodida e moderadamente envelhecida. Não há formação de rochas macias. Significativamente afectada pela estrutura rochosa, a fissura na junta desenvolve-se. A massa rochosa não está completa e tem lama ou película de lama intercalada na superfície quebrada. As diferentes formações rochosas não estão bem unidas. A água subterrânea move-se ligeiramente e o ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a superfície estrutural principal é superior a 45°. A inclinação da formação rochosa é superior a 30°.</p>	<p>A estabilidade das rochas circundantes é controlada pela fraca superfície estrutural. Podem ocorrer pequenos e médios colapsos. Os túneis sem revestimento podem ser estáveis a curto-prazo. As rochas relativamente macias têm estabilidade alta, mas força insuficiente. Portanto, podem ocorrer deformações plásticas ou colapsos pequenos e médios parciais. A estabilidade a curto-prazo pode ser mantida.</p>	<p>Parafusos e gunite combinados ou malhas de gunite-parafusos; haste de ancoragem do sistema de abóbada</p>
		<p>As rochas duras são principalmente intercaladas com rochas duras médias, rochas macias, rochas pouco erodidas ou muitas rochas moderadamente erodidas. Afectada pela estrutura da rocha, a fissura na junta desenvolve-se. Existe uma superfície estrutural fraca penetrante ou uma combinação parcialmente desfavorável. O maciço rochoso carece de completude e apresenta-se como uma estrutura compacta. A água subterrânea move-se medialmente. Ocorrem muitos gotejamentos ou fluxos aerodinâmicos ao longo da fractura ou superfície estrutural fraca. O ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a superfície estrutural principal é superior a 45°.</p>		
		<p>As rochas de dureza média são rochas com pouca erosão e intercaladas com rochas ígneas com erosão moderada, rochas metamórficas e rochas sedimentares na formação rochosa média. A massa rochosa não está completa, por isso a fissura na junta desenvolve-se e há uma superfície estrutural fraca e penetrante. A água subterrânea move-se medialmente. Ocorrem muitos gotejamentos ou fluxos aerodinâmicos ao longo da fractura ou superfície estrutural fraca. O ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a superfície estrutural principal é superior a 30°.</p>		
		<p>As rochas relativamente macias, até mesmo a litologia, estão pouco erodidas e estão numa formação de grande espessura. A massa rochosa está completa, e a fissura na junta não se desenvolve. Não existe material de enchimento na junta fechada ou superfície estrutural fraca de controlo. A massa rochosa tem baixa resistência às intempéries e sua força diminui rapidamente após ser exposta à atmosfera e à água. As águas subterrâneas movem-se ligeiramente. O ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a formação rochosa é superior a 30°.</p>		

Tabela B.1 (continuação)

Tipo de rocha circundante	Estabilidade da rocha circundante	Principais características geológicas de engenharia das rochas circundantes	Auto-estabilização e deformação e deformação	Tipo de suporte
IV	Estável	<p>As rochas duras estão intercaladas com rochas macias, de modo que as rochas pouco erodidas estão intercaladas com rochas significativamente erodidas. Com a fissura na junta desenvolvida, a massa rochosa está relativamente partida. A superfície de formação rochosa constitui facilmente blocos instáveis ou combinações de superfícies estruturais desfavoráveis com as outras superfícies estruturais. As águas subterrâneas movem-se fortemente. O ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a superfície estrutural principal, e entre a linha do túnel e a formação rochosa é inferior a 30°.</p>	<p>As rochas circundantes têm um curto período de auto-estabilização, por isso a abóbada geralmente desmorona-se e as paredes laterais são instáveis. O efeito do tempo é óbvio, pelo que podem ocorrer deformações e fracturas importantes. O comportamento reológico das rochas moles é óbvio, pelo que pode ocorrer uma deformação plástica significativa.</p>	<p>Durante a escavação é necessário um apoio atempado. Com a malha de gunite-parafusos e a estrutura em arco de aço utilizada, é necessário um suporte seguido de perto ou um suporte avançado quando o diâmetro do túnel é superior a 5m. Se necessário, um revestimento completo pode ser fornecido. Preste atenção à segurança do período de enquadramento das rochas.</p>
		<p>As rochas medianamente duras estão numa estrutura estratificada fina. A zona de fraca erosão é na camada fraca intercalada. Com a fissura na junta desenvolvida, a massa rochosa está partida com a lama parcialmente contida. Diferentes formações rochosas têm ligação deficiente. A água subterrânea move-se medialmente. O ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a falha da formação rochosa, e entre a linha do túnel e a formação rochosa é inferior a 30°.</p>		
		<p>As rochas relativamente macias ou moles são principalmente rochas com pouca erosão. Com a fissura na junta relativamente desenvolvida, normalmente a formação rochosa desloca-se. Assim, formam-se combinações desfavoráveis de superfícies fracas e outras superfícies estruturais. As águas subterrâneas movem-se ligeiramente. O ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a falha da formação rochosa é superior a 30°.</p>		

Tabela B.1 (continuação)

Tipo de rocha circundante	Estabilidade das rochas circundantes	Principais características geológicas de engenharia das rochas circundantes	Auto-estabilização e deformação e deformação	Tipo de suporte
V	Extremamente instável	As rochas medianamente duras estão intensamente erodidas. Afectada pela estrutura geológica, a massa rochosa está partida com a fissura na junta altamente desenvolvida, irregular, aberta com lama, com pouca força de oclusão, e surge em blocos de fragmentação irregular. A água subterrânea move-se medialmente. O ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a superfície estrutural é inferior a 30° e a inclinação é suave.	A auto-estabilização não é possível, pelo que as paredes laterais e as abóbadas cofres podem colapsar ou deformar-se facilmente. O colapso ocorre frequentemente durante a escavação. Ocorrem até mesmo desabamento de tetos de cavernas e assentamentos no solo, resultando em deformações e danos graves.	Com más condições de escavação, é necessário um suporte próximo ou avançado, ou um revestimento transversal total.
		As rochas moles ou relativamente moles estão moderadamente erodidas e significativamente erodidas. Afectado pela estrutura geológica, o maciço rochoso está partido, com uma a fissura na junta desenvolvida, e aberto com lama, tem uma formação de rocha macia e diastrofismo ao longo da formação rochosa. Existem muitos corpos cortados voltados para cima. A água subterrânea move-se a partir de um nível médio de resistência, o que acelera a erosão da massa rochosa e reduz a resistência ao cisalhamento na superfície estrutural. O ângulo de intersecção entre a linha do túnel e a superfície estrutural é superior a 30° e a inclinação da formação rochosa é inferior a 30°.		
		Pedras completamente erodidas na estrutura solta irregular de solo de cascalho. O movimento da água subterrânea passa de médio a forte.		

Apêndice C
(Informativo)

Classificação da permeabilidade das rochas e do solo

A classificação de permeabilidade de rochas e solo das centrais de PCH deve cumprir os regulamentos da tabela C.1.

Tabela C.1 Classificação da permeabilidade das rochas e do solo

Classificação de permeabilidade		Padrões de permeabilidade		Características da massa rochosa	Solo
		Coefficiente de permeabilidade K (mm/s)	Taxa de permeabilidade q (Lu)		
Permeabilidade infinitesimal		$K < 10^{-5}$	$q < 0,1$	Rocha intacta, incluindo massa rochosa com fissuras com abertura equivalentes inferiores a 0,025 mm	Argila
Permeabilidade ligeira		$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	$0,1 \leq q < 1$	Incluindo massa rochosa com fendas com aberturas equivalentes entre 0,025 mm a 0,05 mm	Argila-lodo
Baixa permeabilidade	Inferior	$10^{-4} \leq K < 10^{-3}$	$1 \leq q < 3$	Incluindo massa rochosa com fissuras com abertura equivalente de 0,05 mm a 0,1 mm	Lodo, areia fina
	Média		$3 \leq q < 5$		
	Alta		$5 \leq q < 10$		
Permeabilidade média		$10^{-3} \leq K < 10^{-1}$	$10 \leq q < 100$	Incluindo massa rochosa com fissuras com abertura equivalente de 0,1 mm a 0,5 mm	Areia e cascalho
Alta permeabilidade		$10^{-1} \leq K < 1$	$100 \leq q$	Incluindo massa rochosa com fissuras com abertura equivalente de 0,5 mm a 2,5 mm	Gravilha-cascalho, cascalho
Permeabilidade média		$1 \leq K$		Incluindo através de cavidades ou massa rochosa com fissuras com abertura equivalente superior a 2,5 mm	Rochedos com diâmetro de grão uniforme

Apêndice D
(Informativo)
Classificação geológica de engenharia de taludes

A classificação de permeabilidade de rochas e solos das centrais de PCH deve cumprir os regulamentos da tabela D.1.

Tabela D.1 Classificação geológica geral da engenharia de taludes

Base de classificação	Nome da classificação	Descrição da característica de classificação
Relacionamento com a engenharia	Talude lateral natural	Talude que não é transformado manualmente
	Talude de engenharia	Talude que é transformado manualmente
Litologia	Talude de rocha	O talude é constituído por rochas
	Talude de solo	O talude é constituído por camadas de solo
	Talude com combinação de de rochas e solo	O talude é constituído por rochas numa parte e camadas de solo noutra parte
Deformação	Talude sem deformação	Talude de rochas e corpos de solo sem deformação e deslocação
	Talude deformado	Talude de rochas e corpos de solo com deformação e deslocação
Ângulo do talude θ	Talude ligeiro	$\theta \leq 10^\circ$
	Talude	$10^\circ < \theta \leq 30^\circ$
	Talude íngreme	$30^\circ < \theta \leq 45^\circ$
	Talude acentuado	$45^\circ < \theta \leq 65^\circ$
	Talude extremamente acentuado	$65^\circ < \theta \leq 90^\circ$
	Talude adverso	$90^\circ < \theta$
Altura do talude de engenharia H(m)	Talude muito alto	$150 \leq H$
	Talude alto	$50 \leq H < 150$
	Talude médio	$20 \leq H < 50$
	Talude baixo	$H < 20$
Volume instável do talude V(m ³)	Deslizamento de terras muito grande	$10 \times 10^6 \leq V$
	Deslizamento de terras grande	$1 \times 10^6 \leq V < 10 \times 10^6$
	Deslizamento de terras médio	$100 \times 10^3 \leq V < 1 \times 10^6$
	Deslizamento de terras pequeno	$V < 100 \times 10^3$

Tabela D.2 Classificação dos taludes de rocha

Tipo de talude	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Principais deformações possíveis e modos de fracturas	Relacionamento com a engenharia	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Talude de rocha com rochas compactas	Rocha magmática ou rocha sedimentar sobre a formação de grande espessura, com litologia relativamente uniforme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corte e enchimento de fissuras nas juntas 2. Características de erosão 	Frouxidão, fissuras e deformação são os modos principais onde ocorreram regularmente fissuras de descarga e, ocasionalmente, desmoronamento	Normalmente, é relativamente estável. Embora, tenhamos de prestar atenção à combinação de juntas desfavoráveis e analisar a possibilidade de colapso parcial; quando ocorrem fissuras de descarga, prestar atenção a um colapso parcial causado por fugas de estruturas condutoras de água no talude.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Massa de rocha âncora que pode ter desmoronado parcialmente. 2. A drenagem de taludes deve ser disposta adequadamente para evitar a instabilidade parcial do talude causada pelo enchimento de água através de fissuras.
O estrato está na mesma direcção que o do talude de rocha em estrutura ligeiramente inclinada.	Rochas muito alojadas com a superfície do talude e a superfície de formação rochosa na mesma direcção. O ângulo do talude é superior ao do ângulo da formação rochosa e a superfície da formação rochosa é cortada pela superfície do talude.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ângulo do estrato 2. Força de cisalhamento da superfície da formação rochosa 3. Características de desenvolvimento e enchimento das juntas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deslizamento por estiramento 2. Deformação superior ou deformação por solifluxão devido à raiz macia do talude 3. Solifluxão ao longo dos estratos de rochas macias 	A superfície da formação rochosa pode ser frequentemente cortada devido à escavação. Se existirem estratos rochosos macios, pode ocorrer facilmente um deslizamento da estratificação (especialmente em dias de chuva). Em dias de chuva, a estrutura civil pode ser instável.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prevenção de deslizamento da estratificação no caso de estratos rochosos macios 2. Ancoragem parcial 3. Remoção e enchimento de estratos rochosos macios 4. Engenharia de apoio utilizada para a prevenção de deslizamentos 5. Drenagem da água
O estrato está na mesma direcção que o talude de rocha em estrutura inclinada.	Rochas muito alojadas com a superfície do talude e a superfície de formação rochosa na mesma direcção. O ângulo do talude é inferior ao ângulo da formação rochosa e a superfície da formação rochosa não é cortada pela superfície do talude.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desenvolvimento e enchimento de fissuras nas juntas, especialmente desenvolvimento de juntas 2. Desenvolvimento de estratos rochosos macios 3. Impactos da água nas fissuras 4. Vibração 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solifluxão, deformações e aterros na superfície da formação rochosa. 2. Desmoronamento parcial 3. Deslizamento 	Normalmente, é relativamente estável. Embora a deformação do talude e solifluxão possam ser causadas pela escavação em formações de rochas finas e regiões com muitos estratos de rochas macias distribuídos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. O talude da escavação não deve ser superior ao ângulo da formação rochosa. A formação rochosa não pode ser cortada. Uma pista de transporte não pode ser preparado quando o talude for alto. 2. Verificar as características de distribuição das juntas e analisar as superfícies estruturais combinadas sem factores desfavoráveis de resistência à derrapagem.

Tabela D.2 (continuação)

Tipo de talude	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Principais modos de deformação e de fractura possíveis	Relacionamento com a engenharia	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Talude com rochas em formação inversa	Rochas alojadas com a superfície do talude na direcção oposta à da superfície de formação rochosa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Características da distribuição da fissura na junta 2. Distribuição da litologia e dos estratos de rochas macias 3. Características da pressão e erosão na crosta da água subterrânea 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inclinação e deformação frouxa da solifluxão 2. A deformação ocorre na parte superior quando os estratos de rocha macia estão localizados no sopé do talude. 3. Desmoronamento e deslizamento parciais 	Normalmente, é relativamente estável. Embora a deformação do talude e solifluxão possam ser causadas pela escavação em formações de rochas finas e regiões com muitos estratos de rochas macias distribuídos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar as características de distribuição da fissura na junta e cortar adequadamente o talude para evitar o desmoronamento e deslizamento parciais. 2. Ancoragem parcial
Talude com rochas em formação diagonal	Rochas alojadas com a direcção da rocha e a superfície do talude que formam um ângulo	Desenvolvimento de fissura na junta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desmoronamento 2. Deslizamento esfenooidal 	Normalmente, é relativamente estável.	Verificar a ocorrência da distribuição de fissuras nas juntas, analisar a possibilidade de um deslizamento esfenooidal e, se necessário, limpar devidamente ou ancorar o talude.
Talude de rocha com rochas partidas	Talude com rochas duras que apresentam fissuras nas juntas irregulares significativamente desenvolvidas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Grau de esmagamento do corpo rochoso 2. Desenvolvimento de fissura na junta 3. Impactos da água nas fissuras 4. Vibração 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desmoronamento 2. Colapso 	O colapso parcial pode ocorrer facilmente, afectando a segurança da estrutura civil; permeável à água, desfavorável à estabilidade do ombro da barragem e ao suporte da carga	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpar correctamente e seleccionar um sopé de talude estável. 2. Protecção de ejeção da âncora na superfície 3. Drenagem da água

Tabela D.3 Classificação dos taludes de solo

Tipo de talude	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Principais modos de deformação e de fractura possíveis	Relacionamento com a engenharia	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Talude de argila	Constituído principalmente por argila e é duro quando seco e desmorona-se após algum tempo depois de molhado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Composição mineral, especialmente conteúdo de minerais hidrofílicos, de expansão e solúveis. 2. Efeitos da água 3. Efeitos do descongelamento 	<ol style="list-style-type: none"> 1. A argila com mineral hidrofílico expansivo pode facilmente causar um deslizamento de terras; a inclinação elevada pode causar um deslizamento de terras de alta velocidade devido à solifluxão no sopé do talude. 2. Descasque causado pelo descongelamento 3. Colapso 	Pode ocorrer um deslizamento de terras no reservatório ou no talude do canal de argila resultante do represamento e entrega de água. Prestar atenção ao impactos adversos causados pelo deslizamento de argila de grande alcance; taludes de engenharia em regiões frias podem ser descascados ou quebrados por descongelamento.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impermeabilização e drenagem de água 2. Calçador do talude de corte 3. Talude com descasque causado por descongelamento: plantação de relva ou cobertura de protecção, drenagem de água do talude e secagem do talude
Solo arenoso e talude	Tem características principalmente de areia, construção solta, coesão de baixa força e elevada permeabilidade à água, e inclui granito completamente erodido na formação de rochas espessas e elúrio.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Componente granular e coeficiente de uniformidade 2. Contém humidade 3. Vibração 4. Efeitos de água externa e água subterrânea 5. Taxa de compactação 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Em taludes com solo arenoso saturado podem ocorrer facilmente deslizamentos de terras de liquefacção com o efeito da força vibratória. 2. Tubulação e escoamento do solo 3. Colapso e descascamento 	O talude do canal ou outro talude da estrutura civil, numa área de elevada intensidade sísmica, sofre deslizamentos de terras de liquefacção quando ocorre um terremoto. A vibração mecânica também pode causar um deslizamento de terras parcial. A tubulação e o escoamento do solo podem ocorrer na drenagem da cava de fundação.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Drenagem da água 2. Calçador do talude de corte 3. Tomar as medidas de vibro-compactação e de fecho com antecedência e prestar atenção à drenagem.
Talude de Loess	Inclui principalmente partículas de pó em textura uniforme. Contém alto teor de cálcio, baixa humidade natural sem estratificação. A sua junta colunar desenvolve-se. Está seco, e quando está seco, apresenta colapsos parciais na estrutura de solidificação ou múltiplos colapsos quando molhado.	É afectado principalmente pela água. Pode colapsar com água, o talude é molhado com água, a argilização ocorre devido à infiltração de água.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desmoronamento 2. Fendas de tensão 3. Colapso 4. O talude alto pode sofrer um deslizamento de terras de alta velocidade. 	O talude do canal pode sofrer deslizamento de terras causado pela água; o talude da margem do reservatório pode colapsar ou deslizar devido à imersão da água do reservatório; o nível de água subterrânea pode subir ou causar o colapso de Loess e fendas de brae; a humidificação causa o reaparecimento de deslizamentos de terras antigos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. A impermeabilidade e drenagem devem impedir, tanto quanto possível, que a estrutura condutora de água vazze. 2. Corte razoável de taludes 3. Monitorização e plantação de árvores da margem de deslizamento e antigos deslizamentos de terras.

Tabela D.3 (continuação)

Tipo de talude	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Principais deformações possíveis e modos de fracturas	Relacionamento com a engenharia	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Talude de solo macio	Constituído principalmente por solo com baixa resistência ao cisalhamento, como lodo, turfa e solo mucoso, e apresenta uma deformação do fluxo de plástico significativa.	1. Solo macio (características de baixa resistência ao cisalhamento, alta compressibilidade e deformação plástica do fluxo) 2. Processo exógeno e vibração	1. Deslizamento de terras 2. Deformação plástica de fluxo 3. Desmoronamentos; é difícil formar um talude;	O canal não se pode formar quando passa pela área do solo macio devido à deformação do fluxo plástico; quando o sopé do talude é de solo macio, o talude pode desmoronar devido à deformação do fluxo.	1. Remoção minuciosa 2. Evitar 3. Enchimento por contrapressão 4. Solidificação da drenagem da água
Talude de solo expansivo	Tem propriedades físicas e mecânicas especiais. O seu ângulo de atrito interno é pequeno para montmorillonita rica e outros minerais expansíveis e efeitos óbvios de acção seca-húmida.	1. Mudanças climáticas secas e húmidas 2. Efeitos da água	1. Deslizamento de terras rasas 2. Desintegração da camada superficial	Deslizamento contínuo ou desmoronamento causado por alterações das condições naturais e expansão e desintegração da camada superficial após a escavação de taludes	1. Não alterar, tanto quanto possível, a água contida no solo. 2. A camada protectora está reservada. Cobrir logo após a escavação para preservar a humidade. 3. Seleccionar um ângulo de talude estável. 4. Reforço de drenagem e encerramento de protecção
Talude de solo dispersivo	É constituído por argila plástica média e argila limosa com uma certa quantidade de montmorillonita de sódio, que pode ser lavada com água, especialmente água com baixa salinidade. O solo de superfície pode cair sucessivamente e ser lavado pelo fluxo de água em suspensão líquida ou partículas de solo e ser rapidamente disperso.	1. Água ambiental com baixa salinidade 2. Solução de água em furos com alto teor de sódio e meio alcalino elevado 3. Terra nua em contacto com a água	1. Furos e passagens de lavagem 2. Tubagem, colapso e furos de corrosão 3. Colapso, desmoronamento e deslizamento de terras	A barragem e o talude do canal tem deformação aleatória e fractura ou crise potencial durante a construção e operação.	1. Não deve ser utilizado como fundação ou material de construção. 2. Totalmente fechado, separando a água do solo 3. Preparação do filtro carregado 4. Melhoria das características do solo 5. Melhoria da água em ambiente de engenharia para o aumento da salinidade

Tabela D.3 (continuação)

Tipo de talude	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Principais deformações possíveis e modos de fracturas	Relacionamento com a engenharia	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Talude de solo com cascalho	Este talude é constituído por fragmentos de rocha dura e partículas de solo arenoso ou de cascalho, e surge em estruturas de acumulação, estruturas mista de rocha deslizante e múltiplas estruturas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conteúdo de partículas de argila e características de distribuição 2. Água de talude contendo 3. Ocorrência subterrânea 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deslizamento de terras do solo 2. Colapso 	Colapso parcial causado pela escavação da construção. Ao ser utilizado como talude da margem do reservatório, o talude pode colapsar parcialmente ou fender na parte superior, devido ao enchimento do reservatório. O declínio acentuado da água no reservatório pode causar deslizamento de terras.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar correctamente um ângulo estável do talude. 2. O reforço da drenagem do talude impede a injeção de água no talude. 3. Monitorizar as principais secções da margem do reservatório no período de armazenamento.
Talude com combinação de rochas e solo	O talude é a camada de solo na parte superior e a formação rochosa na parte inferior, ou a formação rochosa na parte superior e a camada de solo nas partes inferiores, com múltiplas camadas sobrepostas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ocorrência subterrânea 2. Camada de solo embebida em água e com água a escorrer para o corpo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. A camada de solo desliza ao longo do subterrâneo. 2. A camada de solo adere parcialmente. 3. A massa rochosa superior arrasta-se ou desloca-se ao longo da camada do solo. 	Quando a inclinação entre a rocha do leito do talude misto de rocha sobreposta e o talude é grande, pode ocorrer um deslizamento de terras ao longo da rocha após represamento, tempestade e vibração.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar correctamente um ângulo estável do talude. 2. O reforço da drenagem do talude impede a injeção de água no talude. 3. Monitorar as principais secções da margem do reservatório durante o período de armazenamento.

Tabela D.4 Classificação de talude deformado (por características de deformação)

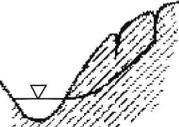
Tipo de deformação	Talude do talude		Perfil esquemático	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Relação com os recursos hídricos e engenharia hidroeléctrica	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Deformação por fissuras de tensão	Talude de rocha	Talude com deformação por fissuras de tensão		<p>A massa rochosa expande-se para fora do talude com ligeira mudança de ângulo, mas não ocorre deslocação causada por cisalhamento ou rolamento por espalação. A ligeira mudança de ângulo ocorre principalmente em rochas duras na formação de rochas espessas ou na estrutura compacta, especialmente quando existem camadas macias (como faixas de carvão e zonas de fractura de falhas) no sopé.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. A camada macia no sopé do talude é ainda mais amolecida ou arrastada pela água 2. Vibração 3. Tempestade e drenagem obstruída 4. Alívio do pressão 	<p>A baixa permeabilidade à água é desfavorável à impermeabilização do ombro da barragem; a grande deformação vertical em relação às fissuras é desfavorável à pressão de uma barragem de arco; a massa rochosa em desagregação causa desastres quando instável.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prevenir a situação em que a camada macia no sopé do talude é ainda mais amolecida ou danificada manualmente. 2. Controlar a escala e o método de explosão. 3. Gunitagem ou ancoragem de consolidação 4. Descarga de cargas explosivas, se necessário
Deformação deslizante	Deslizamento de terras do solo	Deslizamento de terras argilosas		<p>A argila é dura quando seca e adere quando molhada. Dificuldade de drenagem, chuva contínua ou humidificação pode reduzir a força e causar facilmente um deslizamento do talude.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efeitos da água: molhado por chuvas intensas, injeção manual de água e dificuldade de drenagem 2. Vibração: terremoto e exposição 3. Modo de escavação impróprio: corte do sopé, carregamento da cabeça e o deslizamento de terras são escavações de baixo para cima inadequadas para a disposição da estrutura civil. 	<p>O deslizamento de terras é desfavorável ao declive do talude; prestar atenção ao deslizamento após o represamento da área do reservatório e à realocização de pessoas da área do reservatório em áreas de montes e desfiladeiros.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prestar atenção ao modo e procedimento de escavação. 2. Drenagem da superfície do talude e do corpo do talude 3. Estrutura de suporte, pilha antiderrapante, etc.
		Deslizamento de terras de Loess		<p>Desenvolvem-se fracturas verticais e facilitam a permeabilidade e fixação da água. O deslizamento de terras no rebordo do planalto de Loess e o taludo íngreme do desfiladeiro são significativos. Quando existe uma camada de argila, o talude pode deslizar facilmente após chuva forte e contínua.</p>			

Tabela D.4 (continuação)

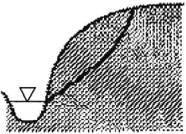
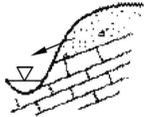
Tipo de deformação	Talude do talude		Perfil esquemático	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Relação com os recursos hídricos e engenharia hidroeléctrica	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Deformação deslizante	Deslizamento de terras do solo	Deslizamento de terras de argila		<p>Tem alta permeabilidade à água, portanto pode ocorrer um deslizamento de terras de liquidação por variação quando existe uma camada de areia saturada. O talude pode deslizar facilmente quando é difícil drenar água devido a uma tempestade.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efeitos da água: molhado por chuvas intensas, injeção manual de água e dificuldade de drenagem 2. Vibração: terremoto e exposição 3. Modo de escavação impróprio: corte do sopé, carregamento da cabeça e o deslizamento de terras são escavações de baixo para cima inadequadas para a disposição da estrutura civil. 	<p>O deslizamento de terras é desfavorável ao declive do talude; prestar atenção ao deslizamento após o represamento da área do reservatório e à realocização de pessoas da área do reservatório em áreas de montes e desfiladeiros.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prestar atenção ao modo e procedimento de escavação. 2. Drenagem da superfície do talude e do corpo do talude 3. Estrutura de suporte, pilha antiderrapante, etc.
		Deslizamento de terras em solo de cascalho		<p>Tem terra e pedra misturada, surge em estruturas soltas, tem alta permeabilidade à água, principalmente no elúrio do talude, e desliza sempre ao longo da superfície de contacto do porão.</p>			
Deformação deslizante	Talude de rocha	Deslizamento de terras homogéneo de rochas macias		<p>A massa deslizante é controlada principalmente pela força da rocha. A superfície deslizante surge sempre em arco ou camada cortada, que nem sempre é consistente com a superfície de estrutura fraca, especialmente para deslizamentos de terras em grande escala.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Força das rochas 2. Efeitos da água 3. Inclinação e altura do talude 	<p>O deslizamento de terras é em grande escala, pode voltar a ocorrer após a deterioração das condições e é impróprio para a disposição das estruturas civis.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evitar 2. Remoção ou remoção parcial 3. Drenagem da água

Tabela D.4 (continuação)

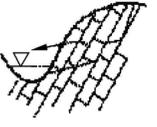
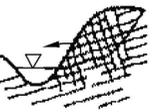
Tipo de deformação	Talude do talude		Perfil esquemático	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Relação com os recursos hídricos e engenharia hidroeléctrica	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Deformação deslizante	Talude de rocha	Deslizamento de terras da estratificação		O deslizamento de terras ocorre geralmente ao longo da formação rochosa, que é controlada principalmente pela formação rochosa em estado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estratos rochosos macios ou resistência ao cisalhamento da estratificação 2. Corte por erosão e escavação inadequada 	Se for usado como talude da estrutura civil, afectará a segurança da estrutura civil. É impróprio como talude de canal.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remoção ou remoção parcial 2. Drenagem da água 3. Suporte ou ancoragem quando a escala é pequena.
		Em deslizamento de terras sequencial		A superfície deslizante corta a camada, de modo que o estado da massa deslizante é controlado por vários grupos de fissuras nas juntas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corte de juntas 2. Força da massa rochosa 3. Efeitos da água 4. Superfície estrutural ligeiramente inclinada e camadas de rocha macia 	Não é adequado para ser talude de canais ou outras estruturas civis.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remoção ou remoção parcial 2. Drenagem da água 3. Suporte ou ancoragem quando a escala é pequena.
		Deslizamento de terras das rochas de paredes esmagadoras		As fissuras nas juntas estão densamente desenvolvidas. A superfície deslizante ocorre a partir do maciço rochoso fracturado e a superfície deslizante é controlada pela resistência do maciço rochoso fracturado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corte de fissuras nas juntas 2. Força da massa rochosa 3. Efeitos da água 	A permeabilidade à água não é muito propícia à impermeabilização do ombro da barragem. É impróprio como talude de canal.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corte e limpeza de taludes 2. Drenagem da água 3. Suporte quando a escala é pequena.

Tabela D.4 (continuação)

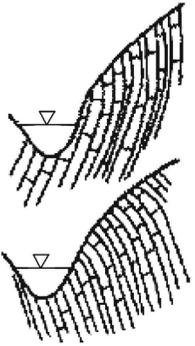
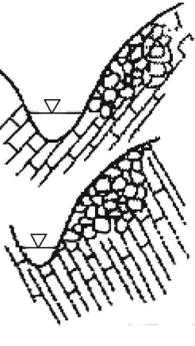
Deformação de deformação	Talude do talude		Perfil esquemático	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Relação com os recursos hídricos e engenharia hidroeléctrica	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Deformação por solifluxão		Talude de deformação da solifluxão do aterro		A massa rochosa inclina-se para fora; a sucessão dos estratos está fora de ordem e o maciço rochoso afrouxa; desenvolve-se a fractura; o movimento relativo entre os estratos; a amplitude do aterro reduz-se gradualmente em profundidade; as margens invertidas ocorrem por vezes na superfície do talude.	1. Ângulo de escavação 2. Vibração 3. Enchimento de água e dificuldade de drenagem	Anti-permeabilidade desfavorável; grande deformação de subsidência; desfavorável ao suporte de cargas de engenharia; colapso contínuo causado pelo ângulo de escavação	1. Remoção de cima para baixo; o ângulo de escavação não deve ser superior ao ângulo do talude natural. 2. Impermeabilização para drenagem da superfície do talude e do corpo do talude 3. Se a deformação for rápida, deve ser reservada uma camada protectora de escavação.
		Talude de deformação por solifluxão frouxa		A sucessão dos estratos está fora de ordem; as rochas soltam-se e não estão obviamente separadas da formação rochosa completa inferior. Esta condição ocorre após a ocorrência de uma descarga significativa.	1. Ângulo de escavação 2. Vibração 3. Enchimento de água e dificuldade de drenagem	É desfavorável à impermeabilização e ao rolamento; o ângulo de escavação causa frequentemente um colapso contínuo. Os corpos soltos em grande escala na margem do reservatório podem deformar-se após o represamento, por isso é inadequado servirem de taludes dos encontros da barragem, superfície de túneis, canais e estruturas civis.	1. Manter o estado original e naturalmente estável. 2. Drenagem da superfície do talude e do corpo do talude 3. Remoção de cima para baixo; o ângulo de escavação não deve ser superior ao ângulo do talude natural.

Tabela D.4 (continuação)

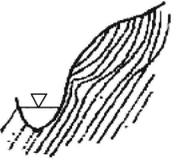
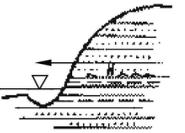
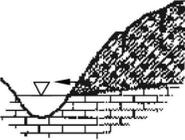
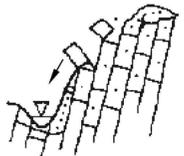
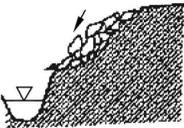
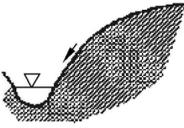
Tipo de deformação	Talude do talude		Perfil esquemático	Característica principal	Principal factor que afecta a estabilidade	Relação com os recursos hídricos e engenharia hidroeléctrica	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Deformação por solifluxão	Talude de rocha	Talude de deformação de solifluxão distorcida		<p>A formação de rochas finas plásticas ocorre frequentemente; a formação rochosa curva para fora com poucas fracturas (prestar atenção à diferença da deformação tectónica); o movimento entre os estratos ocorre com fracturas de separação não óbvias.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efeitos da deformação do fluxo de rochas 2. Efeitos da água 3. Vibração 4. Descarga de escavação e modo de escavação incorrecto 	<p>O deslizamento parcial da estratificação ou a distorção lenta afecta a segurança da estrutura civil. Excepto nas camadas superficiais, a permeabilidade da água não é geralmente elevada.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corte do talude para remoção; o ângulo de escavação deve ser apropriado. 2. Reservar camada de protecção da escavação 3. Ancoragem parcial
		Talude de deformação por solifluxão do fluxo plástico		<p>As rochas frágeis movem-se lentamente ao longo dos estratos inferiores de plástico de rocha macia.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mais argilização ocorre no leito dúctil sob os efeitos da água. 2. Efeito da deformação fluida na formação macia. 	<p>Talude após o peça de corte move-se lenta ou colapsa parcialmente, o que afecta a segurança da estrutura civil. O talude pode deslizar facilmente quando usado como canal ou talude do reservatório.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Drenagem da superfície do talude e do corpo do talude 2. Ancoragem parcial 3. Remover a massa rochosa superior ao longo da formação do fluxo plástico.
Deformação por solifluxão	Talude de solo	Talude de deformação de solifluxão do solo		<p>A deformação ou fluidez da solifluxão do plástico do solo pode causar fracturas, inclinação ou ligeiro movimento na massa superior do solo ao longo da formação da deformação fluente, ou mesmo a um deslizamento de terras ou colapso em situações graves. É um prenúncio de deformação por deslizamento.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efeitos da água 2. O solo no sopé do talude ou o corpo partido do solo pode apresentar deformações fluidas quando molhado. 3. Deformação fluida do talude sob os efeitos da acção da gravidade a longo-prazo 	<p>Pode ocorrer deslizamento de terras quando o talude entra em contacto com água ou vibração. Este talude não deve ser utilizado como talude do canal ou da estrutura civil.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Escavação no sopé do talude estável 2. Limpar 3. Drenagem da superfície do talude e do corpo do talude

Tabela D.4 (continuação)

Tipo de deformação	Talude do talude		Perfil esquemático	Característica principal	Principais factores que afectam a estabilidade	Relação com os recursos hídricos e engenharia hidroeléctrica	Princípio de tratamento e métodos e sugestões
Deformação por colapso	Talude de rocha (solo)	Talude de deformação por desmoronamento		<p>Talude íngreme; o corpo superior da rocha (solo) é subitamente separado da rocha mãe, rola ou cai sobre o sopé do talude. Os blocos de solo acumulam-se frequentemente no sopé do talude.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erosão e expansão por congelamento 2. Tempestade e drenagem obstruída 3. Vibração 4. Amolecimento da erosão por água no sopé do talude 	<p>A deformação pode afectar rapidamente a segurança da estrutura civil da construção; a acumulação é solta com alta permeabilidade à água e é desfavorável para ver a prova de página; os detritos afundam-se e deformam-se de forma desigual.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Remover as rochas perigosas para proteger a estrutura civil. 2. Ancoragem e suporte parcial 3. Quando as fundações são construídas com detritos, é necessário um tratamento especial de impermeabilização e reforço.
Deformação por colapso	Talude de rocha (solo)	Talude de deformação por colapso		<p>O corpo da rocha do talude (solo) desmorona-se e desliza parcial ou totalmente. A superfície de deslizamento não é regularmente plana. O talude pode aderir parcialmente e é um talude deformado do tipo composto com deformação deslizante, deformação por solifluxão e frouxidão.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deformação por solifluxão de formação de fluidez plástica 2. Tempestade e drenagem obstruída 3. Vibração 4. Associação litológica e superfície estrutural desfavoráveis 	<p>Resíduos soltos com alta permeabilidade à água podem afundar-se ou deformar-se facilmente de forma desigual. Pode continuar a deslizar parcialmente depois de estar molhado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Superfície do talude ver página de prova e drenagem do corpo do talude 2. Limpar 3. Suporte parcial
Deformação por descasca	Talude de rocha (solo)	Talude de deformação de descasca		<p>Taludes de argila em áreas altas e frias descascam na camada superficial devido a processos de congelamento-descongelamento. Os taludes de argila dura nas áreas do sul podem descascar devido aos efeitos secos e húmidos; a formação de rochas lodosas com erosão intensa descasca, o que não tem efeitos profundos. O descascamento contínuo é permitido.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efeitos do descongelamento 2. Efeitos de seco-molhado 3. Erosão 	<p>Os canais ou outros taludes de engenharia são soltos nas superfícies e colapsam, aumentando a dificuldade de manutenção.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cobertura de taludes de plantação de relva para protecção 2. Drenagem da água 3. A camada protectora está reservada.

Apêndice E
(Informativa)

Avaliação da corrosão ambiental com base na água

E. 1 A avaliação da corrosão do betão na água ambiental deve estar em conformidade com os regulamentos da Tabela E.1.

Tabela E.1 Normas de avaliação da corrosão do betão na água ambiental

Tipo de corrosão	Base de avaliação da corrosão	Grau de corrosão	Indicadores de limites
Ácido geral	Valor de pH	Não-corrosivo Fraco - corrosivo Moderado - corrosivo Forte - corrosivo	pH > 6,5 6.5 ≥ pH > 6,0 6.0 ≥ pH > 5,5 pH ≤ 5.5
Tipo calcário	Teor de CO ₂ de corrosão (mg/L)	Não-corrosivo Fraco - corrosivo Moderado - corrosivo Forte - corrosivo	CO ₂ < 15 15 ≤ CO ₂ < 30 30 ≤ CO ₂ < 60 CO ₂ ≥ 60
Tipo bicarbonato	HCO ₃ ⁻ Conteúdo (mmol/L)	Não-corrosivo Fraco - corrosivo Moderado - corrosivo Forte - corrosivo	HCO ₃ ⁻ > 1,07 1,07 ≥ HCO ₃ ⁻ > 0,70 HCO ₃ ⁻ ≤ 0,70
Magnésio	Conteúdo de Mg ²⁺ (mg/L)	Não-corrosivo Fraco - corrosivo Moderado - corrosivo Forte - corrosivo	Mg ²⁺ < 1000 1000 ≤ Mg ²⁺ < 1500 1500 ≤ Mg ²⁺ < 2000 Mg ²⁺ ≥ 2000
Sulfato	SO ₄ ²⁻ Conteúdo (mg/L)	Não-corrosivo Fraco - corrosivo Moderado - corrosivo Forte - corrosivo	SO ₄ ²⁻ < 250 250 ≤ SO ₄ ²⁻ < 400 400 ≤ SO ₄ ²⁻ < 500 SO ₄ ²⁻ ≥ 500

E.2 A avaliação ambiental por acção da água da corrosão de varões no betão armado deve estar em conformidade com os regulamentos da Tabela E.2.

Tabela E.2 Normas para avaliação ambiental por acção da água da corrosão de varões na estrutura de betão armado

Base de avaliação da corrosão	Grau de corrosão	Indicadores de limites
Conteúdo Cl (mg/L)	Fraco - corrosivo Moderado - corrosivo Forte - corrosivo	100~500 500~5 000 >5000

E.3 A avaliação ambiental por acção da água da corrosão em estrutura de aço deve estar em conformidade com os regulamentos da Tabela E.3.

Tabela E.3 Normas da avaliação por acção da água da corrosão ambiental em estruturas de aço

Base de avaliação da corrosão	Grau de corrosão	Indicadores de limites
valor de pH, (Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻) conteúdo (mg/L)	Fraco-corrosivo Moderado-corrosivo Forte-corrosivo	valor de pH: 3-11, (Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻) < 500 valor de pH: 3-11, (Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻) ≥ 500 pH<3, (Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻) qualquer concentração