



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



小水电技术导则 设计

第3部分：工程地质

SHP/TG 002-3: 2019



免责声明

本导则未经联合国正式编辑。本导则内采用的名称和资料并不代表联合国工业发展组织的秘书处关于各国、领土、城市、地区或其当局的合法地位，以及关于国土、边界的界定、或对经济体系及其发展程度等问题的任何意见和立场。例如“发达的”、“工业化的”和“发展中”等一类词汇只为方便统计，未必表示一个国家或者地区的真实发展程度。本导则中提及的公司名称或者商业产品并非联合国工业发展组织为其代言。本导则尽可能保持内容的准确性，但联合国工业发展组织及其成员国均不对使用本导则可能产生的结果承担任何责任。本导则可被自由引用或转载，但需注明出处。

© 2019 UNIDO/INSHP – 版权所有

小水电技术导则 设计

第 3 部分：工程地质

鸣谢

本导则是联合国工业发展组织（UNIDO）和国际小水电联合会（INSHP）共同合作努力的成果，约 80 名国际专家和 40 家国际机构参与了导则的编制、同行审查，并提出了具体意见和建议，使导则更具实用性和专业性。

UNIDO 和 INSHP 非常感谢许多机构在制定本导则期间作出的贡献，特别是以下国际组织：

——东南部非洲共同市场（COMESA）

——全球区域可持续能源中心网（GN-SEC），特别是西非国家经济共同体可再生能源和能源效率中心（ECREEE）、东非可再生能源和能源效率中心（EACREE）、太平洋可再生能源和能源效率中心（PCREEE）和加勒比可再生能源和能源效率中心（CCREEE）。

中国政府推动了本导则的最终定稿，对其完成具有重要意义。

以下人士为编制本导则作出了贡献，包括有价值的投入、审查和提供建设性意见：Mr. Adnan Ahmed Shawky Atwa, Mr. Adoyi John Ochigbo, Mr. Arun Kumar, Mr. Atul Sarthak, Mr. Bassey Edet Nkposong, Mr. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Ms. Chang Fangyuan, Mr. Chen Changjun, Ms. Chen Hongying, Mr. Chen Xiaodong, Ms. Chen Yan, Ms. Chen Yueqing, Ms. Cheng Xialei, Ms. Chileshe Kapaya Matantilo, Ms. Chileshe Mpundu Kapwepwe, Mr. Deogratias Kamweya, Mr. Dolwin Khan, Mr. Dong Guofeng, Mr. Ejaz Hussain Butt, Ms. Eva Kremere, Ms. Fang Lin, Mr. Fu Liangliang, Mr. Garaio Donald Gafiye, Mr. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Mr. Guo Chenguang, Mr. Guo Hongyou, Mr. Harold John Annegam, Ms. Hou ling, Mr. Hu Jianwei, Ms. Hu Xiaobo, Mr. Hu Yunchu, Mr. Huang Haiyang, Mr. Huang Zhengmin, Ms. Januka Gyawali, Mr. Jiang Songkun, Mr. K. M. Dharesan Unnithan, Mr. Kipyego Cheluget, Mr. Kolade Esan, Mr. Lamyser Castellanos Rigoberto, Mr. Li Zhiwu, Ms. Li Hui, Mr. Li Xiaoyong, Ms. Li Jingjing, Ms. Li Sa, Mr. Li Zhenggui, Ms. Liang Hong, Mr. Liang Yong, Mr. Lin Xuxin, Mr. Liu Deyou, Mr. Liu Heng, Mr. Louis Philippe Jacques Tavernier, Ms. Lu Xiaoyan, Mr. Lv Jianping, Mr. Manuel Mattiat, Mr. Martin Lugmayr, Mr. Mohamedain Seif Elnasr, Mr. Mundia Simainga, Mr. Mukayi Musarurwa, Mr. Olumide TaiwoAlade, Mr. Ou Chuanqi, Ms. Pan Meiting, Mr. Pan Weiping, Mr. Ralf Steffen Kaeser, Mr. Rudolf Hüpfel, Mr. Rui Jun, Mr. Rao Dayi, Mr. Sandeep Kher, Mr. Sergio Armando Trelles Jasso, Mr. Sindiso Ngwenga, Mr. Sidney Kilmete, Ms. Sitraka Zaraso Rakotomahefa, Mr. Shang Zhihong, Mr. Shen Cunke, Mr. Shi Rongqing, Ms. Sanja Komadina, Mr. Tareqemtairah, Mr. Tokihiko Fujimoto, Mr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Mr. Tan Xiangqing, Mr. Tong Leyi, Mr. Wang Xinliang, Mr. Wang Fuyun, Mr. Wang Baoluo, Mr. Wei Jianghui, Mr. WU Cong, Ms. Xie Lihua, Mr. Xiong Jie, Ms. Xu Jie, Ms. Xu Xiaoyan, Mr. XuWei, Mr. Yohane Mukabe, Mr. Yan Wenjiao, Mr. Yang Weijun, Ms. Yan Li, Mr. Yao Shenghong, Mr. ZengJingnian, Mr. Zhao Guojun, Mr. Zhang Min, Mr. Zhang Liansheng, Mr. Zhang Zhenzhong, Mr. Zhang Xiaowen, Ms. Zhang Yingnan, Mr. Zheng Liang, Mr. Zheng Yu, Mr. Zhou Shuhua, Ms. Zhu Mingjuan.

使用中如有其他意见和建议，欢迎提供，以便再版更新。

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	1
4.1 基本原则	1
4.2 勘察大纲	1
4.3 地基土物理力学参数的确定	2
5 区域地质	2
5.1 一般规定	2
5.2 地形地貌	2
5.3 地质结构	2
5.4 区域构造稳定性与地震	3
5.5 物理地质现象	3
5.6 水文地质	3
6 水库区工程地质勘察	3
6.1 一般规定	3
6.2 水库渗漏	3
6.3 水库浸没	4
6.4 库岸(边坡)稳定	4
6.5 水库淤积	4
7 坝址区工程地质勘察	5
7.1 一般规定	5
7.2 预可行性研究阶段	5
7.3 可行性研究阶段	5
8 输水线路工程地质勘察	7
8.1 一般规定	7
8.2 预可行性研究阶段	7
8.3 可行性研究阶段	7
9 发电厂区工程地质勘察	8
9.1 一般规定	8
9.2 预可行性研究阶段	8
9.3 可行性研究阶段	8
10 天然建筑材料勘察	9

SHP/TG 002-3:2019

10.1 一般规定	9
10.2 预可行性研究阶段	9
10.3 可行性研究阶段	9
附录 A (资料性附录) 坝基岩体工程地质分类	11
附录 B (资料性附录) 围岩工程地质分类	13
附录 C (资料性附录) 岩土渗透性分级	15
附录 D (资料性附录) 边坡工程地质分类	16
附录 E (资料性附录) 环境水腐蚀性评价	23

前 言

联合国工业发展组织(UNIDO)是旨在促进全球包容和可持续工业发展(ISID)的联合国专门机构。为联合国和各国未来 15 年可持续发展提供框架的《2030 年可持续发展议程》和联合国可持续发展目标,已将 ISID 列为其可持续发展的三大支柱之一。能源对经济、社会发展和提高生活质量不可或缺,UNIDO 的 ISID 任务明确将支持建立可持续能源体系。过去 20 年里,国际社会对能源的关注和讨论越来越多,扶贫、环境风险和气候变化等问题正成为焦点。

国际小水电联合会(INSHP)是一个协调和促进全球小水电发展的国际组织,各区域、次区域和国家对口单位、相关机构、公共单位和企业自愿加入,以社会效益为其主要目标。INSHP 旨在通过发达国家、发展中国家和国际组织间的三方经济技术合作促进全球小水电发展,为广大发展中国家的农村提供环保、负担得起、充足的能源,从而增加就业机会、改善生态环境、减少贫困、提高农村生活文化水平和经济发展水平。

UNIDO 和 INSHP 自 2010 年起合作编制的《世界小水电发展报告》显示,全球对小水电的需求和其发展程度并不匹配,技术缺乏是大多数国家发展小水电的主要障碍之一。UNIDO 和 INSHP 决定基于成功发展经验并通过全球专家合作,共同编制《小水电技术导则》(简称导则)以满足各成员国的需求。

本导则根据 ISO/IEC 指令第二部分(详见 www.iso.org/directives)的编制规则起草。

提请注意,本导则中的一些内容可能涉及专利权问题。UNIDO 和 INSHP 不负责识别任何此类专利权问题。

引 言

小水电是广泛认可的解决偏远农村地区电气化问题的重要可再生能源。尽管欧洲、北美、南美和中国等大多数国家都拥有很高的装机容量,但许多发展中国家受到许多因素的阻碍(包括缺乏全球认可的小水电好案例或标准),仍有大量小水电资源未得到开发。

本导则将通过应用全球现有的专门知识和最佳实践,解决目前缺乏适用于小型水电站的技术导则的问题,让各国利用这些达成共识的导则来支持他们目前的政策、技术和生态环境。对于机构和技术能力有限的国家,将夯实他们发展小水电的知识基础,从而制定鼓励小水电发展的优惠政策和吸引更多的小水电投资,以促进国家经济发展。本导则对所有国家都是有益的,特别是在技术知识比较缺乏的国家中分享经验和最佳实践。

本导则适用于装机容量 30 MW 及以下的小型水电站,可作为小型水电站规划、设计、建设和管理的技术性指导文件。

- 《小水电技术导则 术语》给出了小型水电站常用的专业技术术语和定义。
- 《小水电技术导则 设计》给出了小型水电站设计的基本技术要求、方法学和程序,专业涵盖了电站选址规划、水文、工程地质、工程布置、动能计算、水工、机电设备选型、施工、工程造价估算、经济评价、投资、社会与环境评价等。
- 《小水电技术导则 机组》对小型水电站水轮机、发电机、调速系统、励磁系统、主阀和监控保护及直流电源系统设备提出了具体的技术要求。
- 《小水电技术导则 施工》对小型水电站施工技术提出了规范性指导意见。
- 《小水电技术导则 管理》对小型水电站项目管理、运行维护、技术改造和工程验收等技术方面提出了规范性指导意见。

小水电技术导则 设计

第 3 部分:工程地质

1 范围

本部分规定了小型水电站工程地质勘察工作中对区域地质和水库工程地质等方面的勘察技术要求,以及坝址区、输水线路、发电厂区和天然建筑材料等方面在不同设计阶段下的勘察技术和方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改)适用于本文件。

SHP/TG 001 小水电技术导则 术语和定义

3 术语和定义

SHP/TG 001 界定的术语和定义适用于本文件。

4 基本规定

4.1 基本原则

4.1.1 应根据设计意图和工程特点,因地制宜地进行工程地质勘察。

4.1.2 在开展野外工作前,应充分收集和分析已有的地质资料,进行现场踏勘,了解现场自然环境和工程条件,结合工程设计方案,编制工程地质勘察大纲。

4.1.3 勘察工作应按勘察程序分阶段进行,勘察周期和勘察工作量应合理。

4.1.4 应根据工程特点、地形地质条件的复杂程度以及各勘察阶段勘察深度的要求,综合运用各种勘察方法,合理布置勘探工作。开展地质测绘、物探、钻探、坑槽探及室内试验等勘探工作,视情况辅以硃探及现场试验工作。

4.1.5 天然建筑材料的勘察工作应满足各勘察阶段的精度和设计要求。

4.1.6 工程场地应尽量避免严重渗漏、大型滑坡体和崩塌体、蠕变体、危岩体、固体迳流(泥石流)丰富、活动性断层等不良地质以及文物、生态环境保护区。应对工程建设可能引起的环境地质问题进行分析。

4.2 勘察大纲

4.2.1 开展勘测工作之前,应根据勘测任务书,结合设计方案,编制工程地质勘察大纲。

4.2.2 工程地质勘察大纲应包括下列内容:

- a) 工程概况、勘察阶段、勘察目的及任务,以及前阶段勘察的主要成果和评估意见;
- b) 工程区地质概况以及现场工作条件;
- c) 勘察工作依据的规程规范以及设计文件等;
- d) 勘察任务要求、勘察工作的布置原则、工作方法以及计划布置的勘探工作量;

- e) 勘察技术要求和产品质量目标；
- f) 勘察进度安排、资源配制以及环境、质量、安全保证措施；
- g) 计划提交的工程地质勘察成果内容、形式和日期；
- h) 勘探工作平面布置图。

4.3 地基土物理力学参数的确定

4.3.1 基岩物理力学参数可采用工程地质类比和经验判断方法确定,必要时进行室内试验及现场测试。

4.3.2 土基物理力学参数应在室内试验及现场测试成果基础上,结合工程地质类比和经验判断方法确定。

5 区域地质

5.1 一般规定

5.1.1 区域地质勘察内容主要包括地形地貌、地质结构、区域构造稳定性与地震、物理地质现象、水文地质等五个方面。

5.1.2 应根据工程区具体区域地质特征,确定实际勘察的工作重点:

- a) 在岩溶地区,应重点勘察喀斯特发育情况和水文地质条件;
- b) 在地震活动性较强的地区,应重点勘察地质构造和断裂活动情况;
- c) 在第四系分布区,应重点勘察第四纪沉积物的类型、河流的发育史和阶地的发育情况等。

5.2 地形地貌

5.2.1 地形地貌调查应能根据建筑群中各种建筑物的布局、建筑物的型式、规模以及施工条件,合理利用地形地貌条件。

5.2.2 地形地貌调查工作应在收集和分析各类最新工程区地形资料的基础上,利用卫片、航片了解区域内的下列信息:

- a) 地形形态的等级;
- b) 地貌单元的划分;
- c) 地形起伏的变化;
- d) 地面切割的情况,例如沟谷的发育系统,形态、方向、密度、深度及宽度;
- e) 山坡形状、高度、坡度;
- f) 山脊的形态、宽度、平整程度等;
- g) 河谷的宽度、深度、坡度,阶地发育情况;
- h) 阶地级数、高程、宽度、平整和完整程度,结构、成因类型;
- i) 不同地貌单元的特征及其相互关系等。

5.3 地质结构

5.3.1 地质结构调查,应充分考虑地质结构的强度和渗透性,避开褶皱和断层。

5.3.2 地质结构调查应尽可能收集区域内的地质资料。国家小比例尺地质填图和拟建项目附近已建或将建建设工程项目的地质资料可作为地质研究的基础资料。

5.3.3 对已收集资料进行分析整理后,可对拟建项目区范围的地质结构进行现场地质测绘,复核其准确性。

5.3.4 无可利用地质资料时,应对项目区及其周边一定范围内进行地质调查,明确区域地质结构。

5.3.5 区域地质调查的一般野外工作方法包括:地质剖面的测制,路线地质调查与地质填图,产状要素的测定,标本和样品的采集和轻型山地工作等。

5.4 区域构造稳定性与地震

5.4.1 区域构造稳定性调查应提出区域构造稳定性的评估意见,对拟建小型水电站项目场地判断今后一两百年内,受活动断层或地震活动破坏的可能性,破坏强度和破坏概率,提出小型水电站工程抗震设计所需的地质学参数。

5.4.2 区域构造稳定性调查可包括下列内容:

- a) 区域构造稳定性背景研究;
- b) 活动断层判断和断层活动性研究;
- c) 地震危险性分析和场地震动参数确定;
- d) 工程场址的区域构造稳定性综合评价;
- e) 活动断层监测和地震监测。

5.4.3 区域构造稳定性与地震调查应收集有关区域地层岩性、地质构造、活动断层、地震动参数或地震基本烈度、历史地震等资料。应分析判断工程区区域构造总体稳定程度,提出工程区地震动参数或地震基本烈度,对工程有影响的活动断层应开展专题研究。

5.4.4 工程布置宜选择在抗震有利地段,应避免可能产生大规模次生灾害的地段,大坝、溢洪道、厂房等主体建筑物不宜建在活动断层上。

5.5 物理地质现象

5.5.1 对物理地质现象应研究其发生发展规律,产生原因,影响其发生发展的因素,形成条件和机制,发展的过程和阶段等,作出正确的评价,制定合理的防治措施。

5.5.2 应从地形地貌、地质结构等基础地质资料的分析,初步判断项目区可能发育的物理地质现象,通过现场地质测绘,了解流域内上、下游各种物理地质现象的类型、发育程度,重点查明项目库区、坝址、厂址及引水线路沿线的不利物理地质现象,必要时布置钻探、物探、坑槽探等野外勘察手段和长期观测。

5.6 水文地质

5.6.1 应对地下水的分布和形成规律、地下水的物理性质和化学成分进行研究,查明地下水对小水电工程建设的不利影响,并提出防治措施。

5.6.2 水文地质调查的主要工作内容是收集资料、地面调查、勘探、水文地质试验、水化学试验和观测工作等,工作的重点应包括主要含水层的岩性、埋藏分布条件,各含水层地下水的成因、类型、补径排条件及其水质水量的分布和变化情况。

6 水库区工程地质勘察

6.1 一般规定

水库区工程地质勘察应调查水库渗漏、水库浸没、库岸(边坡)稳定、水库淤积及水库诱发地震等问题。在边坡不稳定的情况下,应对地下水文地质条件进行评估。

6.2 水库渗漏

6.2.1 水库渗漏调查应查明有无产生水库渗漏的地形地貌条件、岩性及地质结构条件、水文地质条件,分析研究水库渗漏的形式,评价可能产生的水库渗漏量,提出防治水库渗漏的建议措施。

6.2.2 水库渗漏研究工作的主要方法是工程地质测绘,应查明下列可能产生渗漏的条件:

- a) 库区一侧存在低凹单薄的河间地块,邻谷底高程低于正常蓄水位;
- b) 邻近坝下游河道的河谷急转弯地块单薄或水库与坝下游支流间存在低凹单薄地块;
- c) 库盆为砂、砂砾石和孔隙大的松散堆积物等透水性强的地层;
- d) 库盆由灰岩、石膏等可溶岩构成,岩溶洞穴、管道及溶蚀裂隙形成渗漏通道;
- e) 结构松散的砂砾组成库盆及单薄分水岭;
- f) 柱状节理张开发育,具有大量气孔和洞穴的玄武岩构成库盆和分水岭;
- g) 库盆为背斜谷,易沿透水地层向外渗漏;
- h) 库盆为单斜谷,透水层低于正常蓄水位,并在邻谷出露,有沿倾斜方向向低邻谷渗漏的可能;
- i) 有不好的强透水断层破碎带及节理密集带等通过,或横穿单薄分水岭,或穿越河湾地块;
- g) 库区地段的河水补给地下水或天然河床已向邻谷漏水,水库蓄水后将加剧永久性渗漏;
- k) 库岸地下水位低于水库正常蓄水位,同时岩层透水性强。

6.3 水库浸没

6.3.1 水库浸没调查应查明可能浸没区的水文地质、工程地质条件以及库区周边建筑、厂矿、村镇、森林、农田等的分布及相关特征,确定浸没影响范围,并提出防治措施。

6.3.2 水库浸没应通过地质测绘及轻型地质勘探工作,调查库区正常蓄水位以上一定范围内的岩层地层、地下水位及地下水补排关系。

6.3.3 库区内判定为不可能浸没地段的应符合下列规定:

- a) 库岸由相对不透水岩土层组成的地段;
- b) 与水库无直接水力联系的地段;
- c) 被相对不透水层阻隔,且该不透水层顶部高程高于水库正常蓄水位;
- d) 被有经常水流的溪沟阻隔,且溪沟水位高于水库正常蓄水位。

6.3.4 库区内判定为不可能发生次生盐渍化地段的应符合下列规定:

- a) 处理湿润性气候区,降水量大,径流条件好;
- b) 地下水矿化度较低;表层粘性土较薄,下部含水量透水性较强,排泄条件较好;
- c) 排水设施完善。

6.4 库岸(边坡)稳定

6.4.1 库岸稳定调查应查明库区滑坡、崩塌等潜在不稳定库岸的工程地质条件,评价其影响,查明土质岸坡的工程地质条件,预测坍塌范围,提出库岸稳定防治措施的建议。

6.4.2 应通过工程地质测绘和轻型勘探手段,了解库岸形态、地层岩性、物理地质作用,判定库岸在未蓄水状态的稳定性,分析预测蓄水后,在库水、水库波浪作用下,土质岸坡风浪塌岸、冲刷塌岸的可能性和范围。

6.4.3 应查明岩质库岸的地形地质条件,如坡面形态、排水条件、物质组成、岩体结构、特别是岩体内软弱层带的发育及组合特征等,结合水文、气象和水库水深、水库调度方式,分析预测岩质库岸滑坡、岩崩的可能性。

6.4.4 近坝库区不稳定边坡应布置坑探、物探、槽探及钻孔等勘探工作,查明边坡的类型、性质、分布范围、规模、控制性结构面性状以及地下水文地质条件。预测和评价不同库水位条件下的边坡稳定性和可能变形破坏的范围、规模;评估变形失稳后可能产生的影响。

6.5 水库淤积

6.5.1 水库淤积调查内容应包括水库上游河流及冲沟的冲刷、侵蚀情况,以及库区内固体径流的来源,对水库淤积问题作出评价,并提出防治措施的建议。

6.5.2 水库淤积应重点研究在库区内固体径流的来源,应通过工程地质测绘,了解库区工程地质条件,分析固体径流来源地段的岩体成因类型及物质成分,水流的冲刷切割强度,斜坡特点、稳定程度及破坏形式,泥石流的分布及活动情况,以及固体物质被水流搬运的情况等。

7 坝址区工程地质勘察

7.1 一般规定

坝址区工程地质勘察宜根据预可行性研究、可行性研究两个不同设计阶段的精度要求开展工程地质勘察工作,内容主要包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质以及物理地质现象等基本地质条件,对坝址区主要工程地质问题进行评价。

7.2 预可行性研究阶段

7.2.1 预可行性研究阶段应对选址方案的工程地质条件和主要工程地质问题进行初步分析,从工程地质角度论证兴建水电站的可能性。应重点调查以下内容:

- a) 坝址所在河段的河流形态、河谷地形地貌特征;
- b) 坝址区的地层岩性、基岩类型、软弱岩层的分布情况以及第四系沉积物的成因类型、组成物质、基本性质和分布情况等;
- c) 坝址区的主要地质构造,尤其是大规模断裂破碎带的发育位置、类型、产状、规模及组成物质;
- d) 坝址和近坝地段岩体的风化、卸荷、滑坡体、崩塌体、危岩体等物理地质现象;
- e) 坝址区内强透水层、岩溶、古河道等分布情况。

7.2.2 预可行性研究阶段坝址区工程地质勘察以收集资料和地质测绘为主,在选择工作方法和进行勘察工作布置时,应满足以下要求:

- a) 地质测绘:工程地质条件较为单一时可结合水库区地质图,不单独绘制坝址区工程地质图;工程地质条件较为复杂时,宜绘制 1:2 000~1:1 000 坝址区工程地质图;
- b) 勘探工作布置:以坑探、槽探为主,一般不布置重型的勘探工作;工程地质条件较为复杂时,可采用少量的物探和钻探工作,一般布置于挡水坝轴线部位;
- c) 物探剖面的布置根据坝址区地形地质条件布置,并结合勘探剖面布置;
- d) 钻孔一般布置于挡水坝轴线部位,钻孔间距不宜大于 100 m,且河床及两岸坝肩部位均应布置;
- e) 岩基坝址,河床部位的钻孔深度不宜小于 1 倍坝高;两岸坝肩钻孔宜布置于坝顶高程以上,孔深应进入相对隔水层,可溶岩区钻孔深度应深入地下水位不少于 10 m;
- f) 土基坝址,钻孔深度不宜小于 1 倍坝高;当坝基分布有软土层或强透水层时,钻孔孔深应进入坚实土层或基岩相对隔水层 5 m~10 m;
- g) 钻孔均应分段做水文试验,基岩做压水试验,无法进行压水试验的破碎基岩及覆盖层可进行注水试验或抽水试验;
- h) 覆盖层可根据土层性质的不同进行取样、标准贯入试验或圆锥动力触探;
- i) 地质参数可采用工程地质类比和经验判断方法确定,必要时可进行现场及室内试验。

7.3 可行性研究阶段

7.3.1 可行性研究阶段坝址区工程地质勘察应开展地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、物理地质现象等基本地质条件以及主要工程地质问题调查,对各比选坝址存在的主要工程地质问题进行初步评价,通过各项坝址方案的比选,推荐代表性坝址方案,并对选定坝址方案进行地质认证。本阶段工程地质勘察应包括以下内容:

- a) 初步查明各比选坝址区的地形地貌形态特征,特别是冲沟、垭口、古河道、河床深槽等;
- b) 初步查明各比选坝址区地层岩性,特别是软弱岩层及易溶岩、膨胀岩等不良岩层或夹层的分布情况;初步查明第四系沉积物的分布、成因、基本性质、组成物质,特别是软土、膨胀土、分散性土、粉细砂层、古河槽以及湿陷性黄土的分布情况;
- c) 初步查明各比选坝址区的主要断裂及破碎带的发育位置、类型、产状、规模及组成物质,尤其应重视顺河向断层和缓倾角断层的调查,并按左岸、右岸、河床等部位分别进行裂隙统计;
- d) 初步查明各比选坝址区内物理地质现象,如岩体风化程度、卸荷深度、滑坡体、崩塌体、倾倒地、危岩及潜在不稳定体的规模及分布情况;
- e) 初步查明各比选坝址区内岩土层的渗透性、相对隔水层的埋藏条件、地下水位、地表水与地下水的补排关系以及对混凝土的腐蚀性等水文地质条件,特殊地区还应重视古河道的调查;
- f) 可溶岩地区应初步查明岩溶的发育规律和分布情况,调查主要溶洞和渗漏通道的分布、规模、充填情况;初步查明地下水的赋存特点、水动力特征以及补给关系;初步查明相对隔水层的特征,初步分析可能产生渗漏的地段和类型,对处理方案提出建议;
- g) 提出各类岩土体的物理力学参数;对坝基岩体进行工程地质分类,参见附录 A。

7.3.2 在选择工作方法和进行勘察工作布置时,应满足以下要求:

- a) 地质测绘应绘制 1 : 2 000~1 : 500 坝址区工程地质图;
- b) 勘探工作布置应采用少量的物探和钻探工作,各比较坝址应结合建筑物的布置至少有一条代表性勘探剖面线:
 - 1) 土石坝勘探线应沿大坝防渗线或坝轴线布置;
 - 2) 重力坝及拱坝等混凝土坝勘探线应沿大坝轴线布置;
 - 3) 一般堰坝勘探线应沿轴线布置;辅助勘探剖面线可根据建筑物的位置和需要而定;
- c) 物探、坑槽探的布置应根据坝址区地形地质条件布置;钻孔一般布置于主勘探线部位,钻孔间距不宜大于 50 m,且河床及两岸坝肩部位均应布置:
 - 1) 岩基坝址,河床部位的钻孔深度不宜小于 1 倍坝高;两岸坝肩钻孔宜布置于坝顶高程以上,孔深进入相对隔水层不应小于 10 m,可溶岩区钻孔深度应深入地下水位不少于 10 m;
 - 2) 土基坝址,钻孔深度不宜小于 1 倍坝高;当坝基分布有软土层或强透水层时,钻孔孔深应进入坚实土层或基岩相对隔水层 5 m~10 m;
 - 3) 可溶岩地区钻孔深度应进入相对隔水层或弱溶蚀化岩层,各钻孔间宜进行地震波穿透及层析成像技术测试;
- d) 混凝土坝两岸坝肩宜有平硐控制,平硐深度应以揭穿岩体强风化带和卸荷带,查明软弱夹层和其他不利结构面;
- e) 应进行下列试验:
 - 1) 钻孔均应分段进行水文试验,
 - 2) 基岩做压水试验,
 - 3) 无法进行压水试验的破碎基岩应进行注水试验;
 - 4) 第四系覆盖层应进行注水试验或抽水试验;
 - 5) 岩溶地区钻进过程中应观测地下水位,必要时进行示踪试验;
- f) 至少取地表水和地下水水样各 1 组进行水质分析,评价其对混凝土及钢结构的腐蚀性,参见附录 B;
- g) 当需要利用覆盖层作为坝基时,应根据土层性质的不同进行取样、标准贯入试验或圆锥动力触探;各土层取样有效组数不宜少于 6 组;
- h) 基岩采用工程地质类比和经验判断方法结合现场及室内试验确定;土基物理力学参数应在现

场及室内试验成果基础上,结合工程地质类比和经验判断方法确定。

8 输水线路工程地质勘察

8.1 一般规定

输水线路工程地质勘察宜根据预可性研究、可行性研究两个不同设计阶段的精度要求进行,调查和研究输水线路沿线及各建筑物区的工程地质、水文地质条件,对沿线可能遭遇的主要工程地质问题进行评价。

8.2 预可行性研究阶段

8.2.1 预可行性研究阶段应对输水线路各比较方案的工程地质条件和主要工程地质问题进行调查,重点调查以下内容:

- a) 输水线路区的地形地貌形态特征及物理地质现象,特别是滑坡体、崩塌体、泥石流等分布情况;
- b) 线路区地层岩性、岩土层的分段、有无特殊岩土层分布等情况;
- c) 线路区的主要地质构造,尤其是断裂破碎带的发育位置、类型、产状、规模及组成物质;
- d) 区内水文地质条件,特别是可溶岩区。
- e) 隧洞工程中各个洞口的工程地质条件以及影响洞身稳定的不良地质现象。

8.2.2 在选择工作方法和进行勘察工作布置时,应满足以下要求:

- a) 以收集区域地质资料及地质测绘为主;重点地段可布置物探和钻探等勘探工作。地质测绘的范围宜包括轴线两侧 1 km,比例尺选用 1:50 000~1:10 000;
- b) 渠道沿线以地质测绘为主,必要时沿中心线布置物探剖面,工程地质复杂地段宜垂直于轴线布置辅助测线,物探方法应根据探测目的和岩土层的物理特性选择;
- c) 隧洞沿线以地质测绘为主,隧洞进出口、傍山浅埋段、过沟段以及其他工程地质条件复杂地段宜布置物探剖面,必要时可布置钻孔,钻孔深度进入隧洞洞底高程以下 10 m;
- d) 钻孔应进行压水(注水)试验,承压水分布地段应进行抽水试验;
- e) 地质参数可采用工程地质类比和经验判断方法确定,必要时可进行现场及室内试验。

8.3 可行性研究阶段

8.3.1 可行性研究阶段输水线路工程地质勘察主要开展地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质等基本地质条件以及主要工程地质问题调查,初步评价其对各类输水建筑物的影响,为选定合适的输水线路方案进行地质认证,应初步查明下列内容:

- a) 输水线路区的地形地貌形态特征及物理地质现象,特别是滑坡体、崩塌体、泥石流等分布情况;
- b) 线路区地层岩性、岩土层的分段、有无特殊岩土层分布等情况;
- c) 线路区的主要地质构造,尤其是断裂破碎带的发育位置、类型、产状、规模及组成物质;
- d) 线路区内水文地质条件,特别是可溶岩区;
- e) 隧洞工程中各个洞口的工程地质条件以及影响洞身稳定的不良地质现象;
- f) 隧洞穿越含煤地层、油页岩及含沥青的地层时,应进行有害气体的研究;大规模的侵入岩体应进行放射性元素的测试和研究。
- g) 提出各类岩土体的物理力学参数;对隧洞围岩进行初步分类,参见附录 B。

8.3.2 在选择工作方法和进行勘察工作布置时,应满足以下要求:

- a) 以收集资料和地质测绘为主。地质测绘的范围宜包括轴线两侧 1 km,输水线路比例尺宜选用 1:10 000~1:5 000;渠道傍山段、高填方、深挖方及工程地质条件复杂渠段应专门进行地质测绘,比例尺宜采用 1:2 000~1:1 000。隧洞进出口、傍山浅埋段、过沟段以及其他工程地

质条件复杂地段应采用比例尺 1:2 000~1:1 000 进行地质测绘；

- b) 渠道应沿中心线布置物探剖面,工程地质复杂地段宜垂直于轴线布置辅助测线,物探方法应根据探测目的和岩土层的物理特性选择；
- c) 在物探剖面的基础上,渠道工程宜沿中心线布置勘探剖面,勘探点应布置在跨河、跨沟及工程地质条件复杂地段,间距不宜大于 1 000 m,勘探方法宜为坑探、槽探和钻探为主,钻探深度宜进入设计底板高程以下 10 m；
- d) 隧洞沿线宜进行地质测绘,必要时沿中心线布置物探剖面,探明隧洞地段覆盖层厚度、岩体风化程度、岩溶发育情况等；
- e) 隧洞进出口、傍山浅埋段、过沟段以及其他工程地质条件复杂地段宜布置钻孔,钻孔深度进入隧洞洞底高程以下 10 m；
- f) 钻孔应进行压水(注水)试验,承压水分布地段应进行抽水试验；
- g) 地质参数应根据现场及室内试验,结合工程地质类比和经验判断方法确定。

9 发电厂区工程地质勘察

9.1 一般规定

发电厂区工程地质勘察宜根据预可性研究、可行性研究两个不同设计阶段的精度要求进行,调查和研究发电厂房、压力管线及厂后边坡等工程地质条件,对发电厂区主要工程地质问题进行评价。

9.2 预可行性研究阶段

9.2.1 预可行性研究阶段宜对发电厂区的工程地质条件和主要工程地质问题进行调查,重点调查以下内容：

- a) 厂址区地形地貌形态特征；
- b) 厂址区的地层岩性,覆盖层的成因、组成物质和分布情况；
- c) 厂址区的主要地质构造,断裂破碎带的发育位置、类型、产状、规模及组成物质；
- d) 厂址区的岩体风化程度、卸荷情况、滑坡体、崩塌体以及泥石流等物理地质现象；
- e) 厂房边坡的稳定性。

9.2.2 工程地质勘察以收集区域地质资料及地质测绘为主,工程地质条件复杂的厂区可采用少量的物探和钻探工作。

- a) 工程地质条件较为单一,且离水库区较近时,厂区工程地质测绘可结合水库区地质图进行,不单独绘制厂区工程地质图;工程地质条件较为复杂时,宜绘制 1:2 000~1:1 000 厂区工程地质图；
- b) 工程地质条件较为复杂时,可采用少量的物探和钻探工作,一般布置于厂区及厂后边坡；
- c) 物探剖面宜沿压力管线中心线布置,调查压力管线地段覆盖层厚度、岩体风化程度、卸荷情况等；
- d) 钻孔间距根据厂区工程地质条件而定,孔深宜进入建基面高程以下 10 m~20 m；
- e) 地质参数可采用工程地质类比和经验判断方法确定,必要时可进行现场及室内试验。

9.3 可行性研究阶段

9.3.1 可行性研究阶段发电厂区工程地质勘察主要开展各比选厂址的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质等基本地质条件以及主要工程地质问题调查,通过各比选厂址方案的比选,推荐代表性厂址方案,初步查明各比选厂址区以下内容：

- a) 地形地貌形态特征；

- b) 地层岩性,包括覆盖层的成因、结构、基本性质、组成物质、分布情况;
- c) 主要地质构造,尤其是断裂破碎带的发育位置、类型、产状、规模及组成物质;
- d) 岩体风化程度、卸荷情况、滑坡体、崩塌体以及泥石流等物理地质现象;
- e) 厂房后边坡的稳定问题;
- f) 水文地质条件,重点评价厂房基坑岩土体的渗透特性、压力前池的渗漏和渗透变形、地表水及地下水对混凝土和钢结构的腐蚀性。

9.3.2 在选择工作方法和进行勘察工作布置时,应满足以下要求:

- a) 厂区工程地质测绘可结合坝址区工程地质图进行,未包括在坝址区的应单独绘制厂区工程地质图。地质测绘比例尺宜选用 1:2 000~1:1 000,绘制范围应包括各比较方案的调压井、压力管线、厂房及开关站等建筑物场地。
- b) 勘探工作以物探和钻探为主,结合坑探及槽探,一般布置于调压井、厂后边坡(包括压力前池、压力管线)、厂房及开关站;
- c) 勘探剖面应结合建筑物轴线布置,对于影响建筑物安全的边坡也应布置勘探剖面;
- d) 调压井、压力前池、压力管线、厂房及开关站部位的钻孔,应深入建基面以下 5 m~10 m;当地基为覆盖层时,钻孔深度应根据持力层的分布确定;
- e) 调压井、压力前池及厂房部位的钻孔应进行压水(注水)试验;当地基为第四系主要含水层时,宜开展钻孔抽水试验;
- f) 至少取地表水和地下水水样各一组进行水质分析,评价其对混凝土及钢结构的腐蚀性;
- g) 压力前池、压力管线、厂房及开关站地基为覆盖层时,应根据土层性质的不同进行取样、标准贯入试验或圆锥动力触探;各土层取样有效组数不宜少于 6 组;
- h) 地质参数应根据现场及室内试验,结合工程地质类比和经验判断方法确定。

10 天然建筑材料勘察

10.1 一般规定

天然建筑材料勘察工作应按不同设计阶段的精度要求以及不同建材种类、数量进行;当天然建筑材料影响基本坝型时,应在可行性研究阶段的工程地质勘察中进行详查;选用料源时,应充分考虑工程开挖料的综合利用;采用外购时,应对外购天然建筑材料的质量进行复核,评估其供应能力。

10.2 预可行性研究阶段

10.2.1 预可行性研究阶段应对工程所需的天然建筑材料进行普查。

10.2.2 收集和分析利用区域内有关资料的基础上,对工程区周边进行地质调查,天然建筑材料料场的选用应充分考虑安全和环境因素,其质量和储量可根据工程地质类比和经验判断方法初步判断是否满足工程需要。

10.3 可行性研究阶段

10.3.1 可行性研究阶段应对工程建设所需的块石料、砂砾料及土料等天然建筑材料进行调查;调查工作应由近及远,对天然建筑材料进行定性和定量的研究,并应充分考虑拟选料场的安全和环境因素,分析天然建筑材料开采对环境的影响。

10.3.2 调查工作以收集资料、地质调查以及地质测绘为主,必要时布置坑探、槽探及钻探。

10.3.3 各种天然建筑材料调查储量应达到设计需要量的 2 倍。

10.3.4 选定的块石料根据产地经验判断,岩石强度及质量远超过设计要求时,可用工程地质类比和经验判断方法确定岩石物理力学指标,估算其储量。

10.3.5 覆盖层及岩石风化剧烈的块石料场,应进行勘探,勘探孔宜按网格状布置,间距宜小于 100 m,孔深应深入拟开挖底高程 5 m~10 m。

10.3.6 块石料场应取岩样,测定岩石的密度、抗压强度。选定的块石料如果用作混凝土人工骨料,应进行吸水率、坚固性、压碎值以及碱活性的测试工作。

10.3.7 砂砾料料场宜按以下要求布置坑探:

- a) 分布广而稳定、有用层厚的砂砾料料场,探坑间距 100 m~200 m;
- b) 条带状分布且有用层变化较大的砂砾料料场,探坑间距 50 m~100 m;
- c) 每个料场布置的探坑不应少于 3 个,探坑深度应达最大开挖深度以下 1 m。

10.3.8 砂砾料料场探坑应取样进行筛分试验,计算各级配砂砾料的储量;砂料应进行有机质、含泥量的测定。

10.3.9 土料料场勘探点宜按以下要求布置:

- a) 面积大、地形平缓、有用层厚及土层单一的土料料场,勘探点间距 100 m~200 m;
- b) 面积小、地形起伏、有用层厚度变化大、土层结构复杂的土料料场,勘探点间距 50 m~100 m;
- c) 每个料场布置的勘探点不应少于 3 个,勘探点深度应达最大开挖深度以下 0.5 m~1 m。

10.3.10 土料料场应取样进行常规试验及击实试验,常规试验主要包括天然含水率、密度、比重、液限、塑限、颗粒分析以及有机质含量、水溶盐含量等。

10.3.11 为了掌握土料的可压实性,需要进行击实试验,以确定土料的密度与含水量关系,对于某些易膨胀土,还应测定其膨胀性、化学成分和粘土矿物。

10.3.12 应进行开采条件和环境地质影响调查,主要包括料场与拟建工程区的距离、现有交通情况,料场内地下水位和富水性,料场开采后对植被的破坏情况以及对地质环境的影响,预测其发展趋势,必要时提出治理和修复的初步建议。

附 录 A
(资料性附录)
坝基岩体工程地质分类

小型水电站工程坝基岩体工程地质分类应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 坝基岩体工程地质分类

类别	岩体特征	岩体工程性质评价	岩体主要特征值
A 坚硬岩($R_b > 60$ MPa)			
I	A_{I1} : 岩体呈整体状或块状、巨厚层状、厚层状结构, 结构面不发育~轻度发育, 延展度差, 多闭合, 岩体力学特性各方向的差异性不显著	岩体完整, 强度高, 抗滑、抗变形性能强, 不需作专门性地基处理, 属优良混凝土坝地基	$R_b > 90$ MPa $V_p > 5\ 000$ m/s $RQD > 85\%$ $K_v > 0.85$
II	A_{II} : 岩体呈块状或次块状、厚层结构, 结构面中等发育, 软弱结构面局部分布, 不成为控制性结构面, 不存在影响坝基或坝肩稳定的大型楔体或棱体	岩体较完整, 强度高, 软弱结构面不控制岩体稳定, 抗滑、抗变形性能较高, 专门性地基处理工程量不大, 属良好混凝土坝地基	$R_b > 60$ MPa $V_p > 4\ 500$ m/s $RQD > 70\%$ $K_v > 0.75$
III	A_{III1} : 岩体呈次块状、中厚层状结构或焊接牢固的薄层结构, 结构面中等发育, 岩体中分布有缓倾角或陡倾角(坝肩)的软弱结构面, 存在影响局部坝基或坝肩稳定的楔体或棱体	岩体较完整, 局部完整性差, 强度较高, 抗滑、抗变形性能在一定程度上受结构面控制, 对影响岩体变形和稳定的结构面应做局部专门处理	$R_b > 60$ MPa $V_p = 4\ 000 \sim 4\ 500$ m/s $RQD = 40\% \sim 70\%$ $K_v = 0.55 \sim 0.75$
	A_{III2} : 岩体呈互层状、镶嵌状结构, 层面为硅质或钙质胶结薄层状结构, 结构面发育, 但延展差, 多闭合, 岩块间嵌合力较好	岩体强度较高, 但完整性差, 抗滑、抗变形性能受结构面发育程度、岩块间嵌合力, 以及岩体整体强度特性控制, 基础处理以提高岩体的整体性为重点	$R_b > 60$ MPa $V_p = 3\ 000 \sim 4\ 500$ m/s $RQD = 20\% \sim 40\%$ $K_v = 0.35 \sim 0.55$
IV	A_{IV1} : 岩体呈互层状或薄层状结构, 层间结合较差, 结构面较发育~发育, 明显存在不利于坝基或坝肩稳定的结构面、较大的楔体或棱体	岩体完整性差, 抗滑、抗变形性能明显受结构面控制, 能否作为高混凝土坝地基, 视处理难度和效果而定	$R_b > 60$ MPa $V_p = 2\ 500 \sim 3\ 500$ m/s $RQD = 20\% \sim 40\%$ $K_v = 0.35 \sim 0.55$
	A_{IV2} : 岩体呈镶嵌或碎裂结构, 结构面很发育, 且多张开或夹碎屑和泥, 岩块间嵌合力弱	岩体较破碎, 抗滑、抗变形性能差, 一般不宜作为高混凝土坝地基, 当坝基局部存在该类岩体时, 需做专门处理	$R_b > 60$ MPa $V_p < 2\ 500$ m/s $RQD < 20\%$ $K_v < 0.35$
V	A_V : 岩体呈散体结构, 由岩块夹泥或泥包岩块组成, 具有散体连续介质特征	岩体破碎, 不能作为高混凝土坝地基, 当坝基局部地段分布该类岩体时, 需做专门处理	

表 A.1 (续)

类别	岩体特征	岩体工程性质评价	岩体主要特征值
B 中硬岩($R_b=30\sim 60$ MPa)			
I	—	—	—
II	B_{II} :岩体结构特征与 A_I 相似	岩体完整,强度较高,抗滑、抗变形性能较强,专门性地基处理工程量不大,属良好混凝土坝地基	$R_b=40\sim 60$ MPa $V_p=4\ 000\sim 4\ 500$ m/s $RQD>70\%$ $K_v>0.75$
III	B_{III1} :岩体结构特征与 A_{II} 相似	岩体较完整,有一定强度,抗滑、抗变形性能一定程度受结构面和岩石强度控制,影响岩体变形和稳定的结构面应做局部专门处理	$R_b=40\sim 60$ MPa $V_p=3\ 500\sim 4\ 000$ m/s $RQD=40\%\sim 70\%$ $K_v=0.55\sim 0.75$
	B_{III2} :岩体呈次块或中厚层状结构,或硅质、钙质胶结的薄层结构,结构面中等发育,多闭合,岩块间嵌合力较好,贯穿性结构面不多见	岩体较完整,局部完整性差,抗滑、抗变形性能受结构面和岩石强度控制	$R_b=40\sim 60$ MPa $V_p=3\ 000\sim 3\ 500$ m/s $RQD=20\%\sim 40\%$ $K_v=0.35\sim 0.55$
IV	B_{IV1} :岩体呈互层状或薄层状,层间结合较差,存在不利于坝基(肩)稳定的软弱结构面、较大楔体或棱体	同 A_{IV1}	$R_b=30\sim 60$ MPa $V_p=2\ 000\sim 3\ 000$ m/s $RQD=20\%\sim 40\%$ $K_v<0.35$
	B_{IV2} :岩体呈薄层状或碎裂状,结构面发育~很发育,多张开,岩块间嵌合力差	同 A_{IV2}	$R_b=30\sim 60$ MPa $V_p<2\ 000$ m/s $RQD<20\%$ $K_v<0.35$
V	同 A_V	同 A_V	—
C 软质岩($R_b<30$ MPa)			
I	—	—	—
II	—	—	—
III	C_{III} :岩石强度 $15\sim 30$ MPa,岩体呈整体状或巨厚层状结构,结构面不发育~中等发育,岩体力学特性各方向的差异性不显著	岩体完整,抗滑、抗变形性能受岩石强度控制	$R_b<30$ MPa $V_p=2\ 500\sim 3\ 500$ m/s $RQD>50\%$ $K_v>0.55$
IV	C_{IV} :岩石强度大于 15 MPa,但结构面较发育;或岩石强度小于 15 MPa,结构面中等发育	岩体较完整,强度低,抗滑、抗变形性能差,不宜作为高混凝土坝地基,当坝基局部存在该类岩体,需专门处理	$R_b<30$ MPa $V_p<2\ 500$ m/s $RQD<50\%$ $K_v<0.55$
V	同 A_V	同 A_V	—

附 录 B
(资料性附录)
围岩工程地质分类

小型水电站工程围岩工程地质分类应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 围岩工程地质分类

围岩类别	围岩稳定程度	围岩主要工程地质特征	毛洞自稳能力和变形	支护类型
I	稳定	坚硬岩,新鲜~微风化,层状岩为巨厚层,且层间结合牢固,岩体呈整体~块状结构,强度高、完整,节理裂隙不发育,无不利结构面组合和明显地下水出露	成型好,可长期稳定,偶有掉块,深埋或高应力区可能有岩爆	不支护或随机锚杆
II	基本稳定	坚硬岩,微风化块状或中、厚层状,岩体强度高,较完整,结构面粗糙,层间结合良好,结构面无不稳定组合及软弱夹层,地下水活动轻微,洞线与主要结构面走向夹角大于 30°	基本稳定,围岩整体能维持较长时间稳定,局部可能有掉块,平缓层岩或裂隙顶部易局部坍塌	一般不支护,部分喷混凝土结合锚杆加固,遇平缓岩层拱顶需及时支护
		中硬岩,微风化,岩体呈整体结构或厚层状,岩体较完整,无不利结构面组合,节理裂隙较发育,无软弱夹层,地下水活动轻微,洞线与主要结构面走向夹角大于 45°,岩层倾角大于 45°		
III	局部稳定性差	坚硬岩,薄层状,微风化夹弱风化,无软弱夹层,受构造影响严重,节理裂隙发育,岩体完整性差,裂面有夹泥或泥膜,层间结合差,地下水活动轻微,洞线与主要结构面走向夹角大于 45°,岩层倾角大于 30°	围岩稳定受软弱结构面组合控制,可发生小~中等坍塌,毛洞短时间内可稳定。完整的较软岩,稳定性较好,但强度不足,局部会产生塑性变形或小~中等坍塌,可短期稳定	喷锚支护或喷锚挂网,拱顶系统锚杆
		坚硬岩为主,夹中硬岩或较软岩,或呈互层状,微风化夹较多弱风化岩,受构造影响节理裂隙发育,有贯穿性软弱结构面或局部存在不利组合,岩体完整性差,呈块状结构,地下水活动中等,沿裂隙面或软弱结构面有大量滴水或线流,洞线与主要结构面走向夹角大于 45°		
		中硬岩,微风化夹弱风化火成岩、变质岩,中厚层沉积岩,岩体完整性差,节理裂隙发育,有贯穿性软弱结构面,地下水活动中等,沿裂隙面或软弱结构面有大量滴水或线流,洞线与主要结构面走向交角大于 30°		
		较软岩,微风化,岩性均一,巨厚层状,无软弱夹层,岩体完整,节理裂隙不发育,闭合无充填,无控制性软弱结构面,岩体抗风化能力低,暴露大气和湿水后,强度降低较快,地下水活动轻微,洞线与岩层走向夹角大于 30°		

表 B.1 (续)

围岩类别	围岩稳定程度	围岩主要工程地质特征	毛洞自稳能力和变形	支护类型
IV	不稳定	坚硬岩与软岩互层,弱风化夹强风化,节理裂隙发育,岩体较破碎,层面和其他结构面易构成不稳定块体或存在不利结构面组合,地下水活动强烈,洞向与主要结构面走向及岩层倾角夹角均小于 30°	围岩自稳时间很短,拱顶常有坍塌,边墙也有失稳现象,时间效应明显,可能产生较大的变形破坏,软岩流变显著,可产生较大的塑性变形	开挖后需及时支护,喷锚挂网,设钢拱架,开挖洞径大于 5 m 时需支护紧跟或超前支护,必要时可全部衬砌,需注意施工期安全
		中硬岩,薄层状,弱风化带夹软弱夹层,岩体节理裂隙发育,破碎,局部夹泥,层间结合差,地下水活动中等,洞线与岩层走向夹角及岩层倾角均小于 30°		
		较软岩或软岩,弱风化为主,节理裂隙较发育,层间错动常见,多为软弱面与其他结构面形成不利组合,地下水活动轻微,洞线与岩层走向夹角大于 30°		
V	极不稳定	中硬岩,强风化,岩体破碎,受地质构造影响,节理裂隙很发育,无规则,且张开夹泥,咬合力差,呈不规则碎裂块体状,地下水活动中等,洞线与结构面夹角小于 30°,倾角平缓	难于自稳,边墙、拱顶极易坍塌变形,经常是边挖边塌,甚至出现冒顶和地面下陷,变形破坏严重	成洞条件差,开挖需支护紧跟或超前支护,全断面衬砌
		较软岩或软岩,弱风化夹强风化,岩体破碎,受地质构造影响,节理裂隙发育,多张开有泥,有软弱夹层和顺层错动带,有大量临空切割体,地下水活动中等~强烈,加速岩体风化和降低结构面抗剪强度,洞线与结构面夹角大于 30°,岩层倾角小于 30°		
		全风化,多呈松散碎石土状不均一散体结构,地下水活动中等~强烈		

附 录 C
(资料性附录)
岩土渗透性分级

小型水电站工程岩土渗透性分级应符合表 C.1 的规定。

表 C.1 岩土渗透性分级

渗透性分级		渗透性标准		岩体特征	土类
		渗透系数 K (mm/s)	透水率 q (Lu)		
极微透水		$K < 10^{-5}$	$q < 0.1$	完整岩石, 含等价开度小于 0.025 mm 裂隙的岩体	粘土
微透水		$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	$0.1 \leq q < 1$	含等价开度 0.025~0.05 mm 裂隙的岩体	粘土—粉土
弱透水	下带	$10^{-4} \leq K < 10^{-3}$	$1 \leq q < 3$	含等价开度 0.05~0.1 mm 裂隙的岩体	粉土, 细粒土质砂
	中带		$3 \leq q < 5$		
	上带		$5 \leq q < 10$		
中等透水		$10^{-3} \leq K < 10^{-1}$	$10 \leq q < 100$	含等价开度 0.1~0.5 mm 裂隙的岩体	砂, 砂砾
强透水		$10^{-1} \leq K < 1$	$100 \leq q$	含等价开度 0.5~2.5 mm 裂隙的岩体	砂砾—砾石, 卵石
极强透水		$1 \leq K$		含连通空洞或等价开度大于 2.5 mm 裂隙的岩体	粒径均匀的巨砾

附录 D
(资料性附录)
边坡工程地质分类

小型水电站工程岩土渗透性分级应符合表 D.1 的规定。

表 D.1 边坡一般性分类

分类依据	分类名称	分类特征说明
与工程关系	自然边坡	未经人工改造的边坡
	工程边坡	经人工改造的边坡
岩性	岩质边坡	由岩石组成的边坡
	土质边坡	由土层组成的边坡
	岩土混合边坡	部分由岩石部分由土层组成的边坡
变形情况	未变形边坡	边坡岩(土)体未发生变形位移
	变形边坡	边坡岩(土)体曾发生或正在发生变形位移
边坡角度 θ	缓坡	$\theta \leq 10^\circ$
	斜坡	$10^\circ < \theta \leq 30^\circ$
	陡坡	$30^\circ < \theta \leq 45^\circ$
	峻坡	$45^\circ < \theta \leq 65^\circ$
	悬坡	$65^\circ < \theta \leq 90^\circ$
	倒坡	$90^\circ < \theta$
工程边坡高度 $H(m)$	超高边坡	$150 \leq H$
	高边坡	$50 \leq H < 150$
	中边坡	$20 \leq H < 50$
	低边坡	$H < 20$
失稳边坡体积 $V(m^3)$	特大型滑坡	$10 \times 10^6 \leq V$
	大型滑坡	$1 \times 10^6 \leq V < 10 \times 10^6$
	中型滑坡	$100 \times 10^3 \leq V < 1 \times 10^6$
	小型滑坡	$V < 100 \times 10^3$

表 D.2 岩质边坡分类

边坡类型	主要特征	影响稳定的主要因素	可能主要变形破坏形式	与工程关系	处理原则与方法建议
块状结构岩质边坡	岩浆岩或巨厚层沉积岩,岩性相对较均一	1. 节理裂隙的切割情况及充填物情况 2. 风化特征	以松弛张裂变形为主,常有卸荷裂隙分布,有时出现局部崩塌	一般较稳定,但应注意不利节理组合,分析局部塌滑的可能性;当有卸荷裂隙分布时,注意边坡上输水建筑物漏水引起边坡局部失稳	1. 对可能产生局部崩塌的岩体可采用锚固处理 2. 做好边坡排水,防止裂隙充水引起边坡局部失稳
层状同向缓倾结构岩质边坡	坚硬层状岩石,坡面与层面同向,坡角大于岩层倾角,岩层层面被坡面切断	1. 岩层倾角大小 2. 层面抗剪强度 3. 节理发育特征及充填物情况	1. 顺层滑动 2. 因坡脚软弱导致上部张裂变形或蠕变 3. 沿软弱夹层蠕滑	层面因施工开挖常被切断,若岩层中有软弱夹层,易产生顺层滑动;雨后更易滑动,不利于建筑物边坡稳定	1. 防止沿软弱层面滑动 2. 局部锚固 3. 挖除软层并回填处理 4. 采用支挡工程防滑 5. 做好排水
层状同向陡倾结构岩质边坡	坚硬层状岩石,坡面与层面同向,坡角小于岩层倾角,岩层层面未被坡面切断	1. 节理裂隙特别是缓倾角节理发育情况及充填物情况 2. 软弱夹层发育情况 3. 裂隙水作用 4. 振动	1. 表层岩层蠕滑弯曲,倾倒 2. 局部崩塌 3. 滑动	一般较稳定,但在薄层岩层和有较多软弱夹层分布地区,施工开挖可能诱发边坡倾倒蠕变	1. 开挖坡脚不应大于岩层倾角,勿切断坡脚岩层,坡高时应设置马道 2. 注意查明节理分布特征,分析有无不利抗滑的组合结构面
层状反向结构岩质边坡	层状岩石,坡面与层面反向	1. 节理裂隙分布特征 2. 岩性及软弱夹层分布状况 3. 地下水、地应力及风化特征	1. 蠕变倾倒,松动变形 2. 坡脚有软层分布时上部张裂变形 3. 局部崩塌、滑动	一般较稳定,但在薄层岩层和有较多软弱夹层分布地区,施工开挖可能诱发边坡倾倒蠕变	1. 注意查明节理裂隙分布特征,适当削坡防止局部崩塌、滑动 2. 局部锚固
层状斜向结构岩质边坡	层状岩石,岩石走向与坡面走向呈一定夹角	节理裂隙发育特征	1. 崩塌 2. 楔状滑动	一般较稳定	注意查明节理裂隙产状,分析产生楔状滑动的可能性,必要时适当清除或锚固
碎裂结构岩质边坡	不规则的节理裂隙强烈发育的坚硬岩石边坡	1. 岩体破碎程度 2. 节理裂隙发育特征 3. 裂隙水作用 4. 振动	1. 崩塌 2. 坍塌	易局部滑塌,影响建筑物安全;透水;不利坝肩稳定及承受荷载	1. 适当清除,合理选择稳定坡脚 2. 表部喷锚保护 3. 做好排水

表 D.3 土质边坡分类

边坡类型	主要特征	影响稳定的主要因素	可能主要变形破坏形式	与工程关系	处理原则与方法建议
粘土边坡	以粘粒为主，一般干时坚硬，遇水膨胀崩塌。	1. 矿物成分，特别是亲水、膨胀、溶滤性矿物含量 2. 水的作用 3. 冻融作用	1. 含膨胀性亲水矿物粘土易形成滑坡，高边坡因坡脚蠕变可导致高速滑坡 2. 因冻融产生剥落 3. 坍塌	作为水库或渠道边坡，因蓄水、输水可能引起部分粘土边坡变形滑动，注意库岸大范围粘土边坡滑动带来不利影响；寒冷地区工程边坡因冻融剥落而破坏	1. 防水、排水 2. 削坡压脚 3. 对冻融剥落边坡：植草或护砌覆盖，坡体内排水，保持坡面干燥
砂土边坡	以砂粒为主，结构较疏松，凝聚力低为其特点，透水性较大，包括厚层全风化花岗岩残积层	1. 颗粒成分及均匀程度 2. 含水情况 3. 振动 4. 外水及地下水作用 5. 密实程度	1. 饱和砂性土边坡，在振动力作用下，易产生液化滑坡 2. 管涌、流土 3. 坍塌和剥落	在高地震烈度区的渠道边坡或其他建筑物边坡，地震时产生液化滑坡。机械振动也可能产生局部滑坡。基坑排水时易产生管涌、流土	1. 排水 2. 削坡压脚 3. 预先采取振冲加密、封闭措施，并注意排水
黄土边坡	以粉粒为主，质地均一。一般含钙量高，无层理，但柱状节理发育，天然含水量低，干时坚硬，部分黄土遇水湿陷，有时呈固结状，有时呈多元结构	主要是水的作用，因水湿陷，或水对边坡浸泡，水下渗使下垫隔水粘土层泥化等	1. 崩塌 2. 张裂 3. 湿陷 4. 高边坡可能出现高速滑坡	渠道边坡因通水可能出现滑坡；库岸边坡因库水浸泡可能坍岸或滑动；地下水位抬高，可能出现黄土湿陷，谷坡开裂崩塌；湿化引起古滑坡复活	1. 防水、排水，尽可能避免输水建筑物漏水 2. 合理削坡 3. 对坍岸、古滑坡做好监测及预测
软土边坡	以淤泥、泥炭、淤泥质土等抗剪强度极低的土为主，塑流变形严重	1. 土性软弱（低抗剪强度高压缩性塑流变形特性） 2. 外力作用、振动	1. 滑坡 2. 塑流变形 3. 坍滑，边坡难以成形	渠道通过软土地区因塑流变形而不能成形，坡脚有软土层时，因软土流变挤出使边坡坐塌	1. 彻底清除 2. 避开 3. 反压回填 4. 排水固结
膨胀土边坡	具有特殊物理力学特性，因富含蒙脱石等易膨胀矿物，内摩擦角很小，干湿效应明显	1. 干湿变化 2. 水的作用	1. 浅层滑坡 2. 浅层崩解	边坡开挖后因自然条件变化、表层膨胀、崩解引起连续滑动或坍塌	1. 尽可能不改变土体含水条件 2. 预留保护层，开挖后速盖压保湿 3. 注意选择稳定坡角 4. 加强排水，砌护封闭

表 D.3 (续)

边坡类型	主要特征	影响稳定的主要因素	可能主要变形破坏形式	与工程关系	处理原则与方法建议
分散性土边坡	属中塑性土及粉质粘土类, 含一定量钠蒙脱石, 易被水冲蚀, 尤其遇低含盐量水, 表面土粒依次脱落, 呈悬液或土粒被流动的水带走, 迅速分散	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低含盐量环境水 2. 孔隙水溶液中钠离子含量较高, 介质高碱性 3. 土体裸露, 水土接触 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 冲蚀空洞、孔道 2. 管涌、崩塌和溶蚀孔洞 3. 坍塌、崩塌和滑坡 	堤坝和渠道边坡在施工和运行中随机发生变形破坏或有潜在危机	<ol style="list-style-type: none"> 1. 尽量不用作地基和建筑材料 2. 全封闭, 使土水隔离 3. 设置反滤 4. 改良土的性状 5. 改善工程环境水, 增大其含盐量
碎石土边坡	由坚硬岩石碎块和砂土颗粒或砾质土组成的边坡, 可分为堆积、残坡积混合结构、多元结构	<ol style="list-style-type: none"> 1. 粘土颗粒的含量及分布特征 2. 坡体含水情况 3. 下伏基岩面产状 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 土体滑坡 2. 坍塌 	因施工切挖导致局部坍塌, 作为库岸边坡因水库蓄水可导致局部坍塌或上部坡体开裂, 库水骤降易引起滑坡	<ol style="list-style-type: none"> 1. 合理选择稳定坡角 2. 加强边坡排水, 防止人为向坡体注水 3. 库岸重要地段蓄水期应进行监测
岩土混合边坡	边坡上部为土层、下部为岩层, 或上部为岩层、下部为土层, 多层重叠	<ol style="list-style-type: none"> 1. 下伏基岩面产状 2. 水对土层浸泡, 水渗入土体 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 土层沿下伏基岩面滑动 2. 土层局部坍塌 3. 上部岩体沿土层蠕动或错落 	叠置型岩土混合边坡基岩面与边坡同向且倾角较大时, 蓄水、暴雨后或振动时易沿基岩面产生滑动	<ol style="list-style-type: none"> 1. 合理选择稳定坡角 2. 加强边坡排水, 防止人为向坡体注水 3. 库岸重要地段蓄水期应进行监测

表 D.4 变形边坡分类(按变形特征)


变形类型	边坡分类名称		示意剖面	主要特征	影响稳定的主要因素	与水利水电工程关系	处理原则与方法建议
张裂变形	岩质边坡	张裂变形边坡		岩体向坡外张裂, 但未发生剪切位移或崩落滚动, 有微量角变位, 多发生于厚层或块状坚硬岩石中, 特别当坡脚有软弱层(如煤层、断层破碎带)分布时	<ol style="list-style-type: none"> 1. 坡脚软垫层进一步软化或被淘蚀架空 2. 振动 3. 暴雨、排水不畅 4. 应力释放 	强烈透水对坝肩防渗不利; 垂直于裂缝的变形大, 不利于拱坝坝肩承压; 崩塌岩体失稳造成灾害	<ol style="list-style-type: none"> 1. 防止坡脚软垫层被进一步软化和人为破坏 2. 控制爆破规模和方法 3. 固结灌浆或锚固 4. 必要时爆破减载

表 D.4 (续)

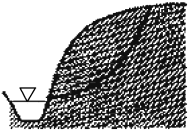
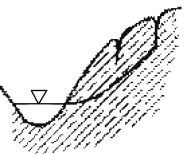
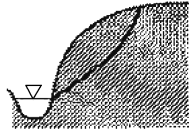




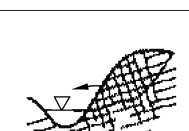
变形类型	边坡分类名称		示意剖面	主要特征	影响稳定的主要因素	与水利水电工程关系	处理原则与方法建议
滑动变形	土质滑坡	粘土滑坡		粘土干时坚硬,遇水崩解膨胀,不易排水,连续降雨或遇水湿化可使强度降低,易滑	1. 水的作用: 暴雨浸水,人为注水,排水不畅 2. 振动: 地震、爆破 3. 开挖方式不当: 切脚, 头部堆载, 先后上开挖	滑坡区不宜布置建筑物, 滑坡对渠道边坡不利; 注意丘陵峡谷库区移民后库区蓄水后出现滑动	1. 注意开挖方式和程序 2. 坡面及坡体排水 3. 支挡结构如抗滑桩等
		黄土滑坡		垂直裂隙发育,易透水湿陷,黄土塬边或峡谷高陡边坡的滑坡规模较大,当有粘土夹层时,连续大雨后易滑			
		砂土滑坡		透水性强,当有饱和砂层时,因振动可能产生液化滑坡,因暴雨排水不畅易滑动			
		碎石土滑坡		土石混杂,结构较疏松,易透水,多为坡残积层,常沿基岩接触面滑动			
	岩质边坡	均质软岩滑坡		滑体主要受软岩强度控制,滑面常呈弧形、切层,与软弱结构面不一定吻合,特别是大型滑坡	1. 岩石强度 2. 水的作用 3. 边坡坡度和高度	滑坡规模一般较大,条件恶化后可能复活,滑坡区不易布置建筑物	1. 避开 2. 清除或部分清除 3. 排水
		顺层滑坡		一般沿岩层层面而产生的滑坡,滑体形态主要受岩层层面控制	1 软弱夹层或顺层面抗剪强度 2 淘蚀切脚, 开挖不当	作为建筑物边坡危及建筑物安全,不宜作渠道边坡	1. 清除或部分清除 2. 排水 3. 规模小时支挡或锚固
		切层滑坡		滑面切过层面,滑体形态受几组节理裂隙的控制	1. 节理切割状况 2. 岩体强度 3. 水的作用 4. 缓倾结构面及软弱夹层	不宜做渠道或其他建筑物边坡	1. 清除或部分清除 2. 排水 3. 规模小时支挡或锚固
		破碎岩石滑坡		节理裂隙密集发育,滑面产生于破碎岩体中,滑面形态受破碎岩体强度控制	1. 节理裂隙切割状况 2. 岩体强度 3. 水的作用	透水强烈不利于坝肩防渗,不宜做渠道边坡	1. 削坡清除 2. 排水 3. 规模小时支挡

表 D.4 (续)

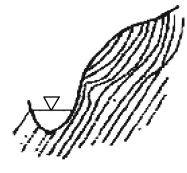
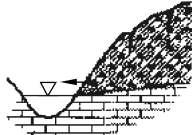

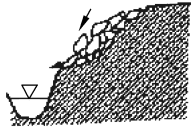
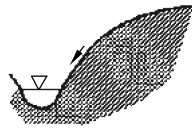
变形类型	边坡分类名称	示意剖面	主要特征	影响稳定的主要因素	与水利水电工程关系	处理原则与方法建议
蠕动变形	岩质边坡	倾向型蠕动变形边坡	 <p>岩体向外倾斜,层序未乱,但岩体松动,裂隙发育,层间相对错动,倾向幅度向深部逐渐减小,边坡表面有时出现反坎</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 开挖切脚 2. 振动 3. 充水并排水不畅 	对抗渗不利,沉陷变形大,不利于承受工程荷载,开挖切脚常引起连续坍塌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 自上而下清除,开挖坡脚不宜大于自然坡脚 2. 坡面及坡体排水防渗 3. 变形速度快者,应留开挖保护层
	松动型蠕动变形边坡	 <p>岩层层序扰动,岩块松动架空,与下部完整岩层无明显完整界面,多系倾向型进一步发展而成</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 开挖切脚 2. 振动 3. 充水并排水不畅 	对抗渗承载不利,开挖切脚常引起连续坍塌,库岸大范围松动体蓄水后可能变形,不宜做大坝接头、洞脸、渠道和建筑物边坡	<ol style="list-style-type: none"> 1. 维持原状不予扰动,保持自然稳定 2. 坡面及坡体排水 3. 自上而下清除,开挖坡脚不宜大于自然坡脚 	
	扭曲型蠕动变形边坡	 <p>多出现塑性薄层岩层,岩层向坡外挠曲,很少折裂(注意和构造变形相区别),有层间错动,但张裂隙不显著</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 岩石流变效应 2. 水的作用 3. 振动 4. 开挖卸荷及开挖方式不当 	局部顺层滑动或缓慢扭曲变形,影响建筑物安全,除表层外,一般透水不甚强烈	<ol style="list-style-type: none"> 1. 削坡清除,开挖坡脚应适当 2. 预留开挖保护层 3. 局部锚固 	
	塑流型蠕动变形边坡	 <p>脆性岩体沿下垫塑性软弱夹层缓慢流动,或挤入软岩中</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 塑性层因水的作用进一步泥化 2. 软层的流变效应 	切脚后边坡缓慢滑动或局部坍塌,影响建筑物安全,作为渠道及水库边坡易于滑动	<ol style="list-style-type: none"> 1. 坡面及坡体排水 2. 局部锚固 3. 沿塑流层将上部岩体清除 	

表 D.4 (续)

变形类型	边坡分类名称		示意剖面	主要特征	影响稳定的主要因素	与水利水电工程关系	处理原则与方法建议
蠕变变形	土质边坡	土层蠕变变形边坡		因土层塑性蠕变、流动导致上部土体开裂、倾倒或沿蠕变层带产生微量位移,严重者可发展成滑坡或坍塌,常为滑动变形前兆	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水的作用 2. 坡脚或破体内土层遇水软化流变 3. 长期重力作用下坡体土层流变 	遇水、遇振动易发展成滑坡,不宜作渠道或其他建筑物边坡	<ol style="list-style-type: none"> 1. 按稳定坡脚开挖 2. 清除 3. 坡面及坡体排水
崩塌变形	岩(土)质边坡	崩塌变形边坡		陡坡地段,上部岩(土)体突然脱离母岩翻滚或坠落坡脚,坡脚常堆积岩土块堆积体	<ol style="list-style-type: none"> 1. 风化作用、冰冻膨胀 2. 暴雨、排水不畅 3. 振动 4. 坡脚被淘蚀软化 	变形破坏急剧影响施工建筑安全;堆积物疏松,强烈透水,对防渗不利;堆积物不均沉陷变形	<ol style="list-style-type: none"> 1. 清除危岩,保护建筑物 2. 局部锚固、支挡 3. 用堆积物作地基时,需进行特殊防渗加固处理
坍塌变形	岩(土)质边坡	坍塌变形边坡		边坡岩(土)体解体坐塌,并伴随局部或整体滑动,滑面多不平整,局部可能崩塌,为滑动、崩塌、蠕变松动等复合型变形边坡	<ol style="list-style-type: none"> 1. 塑流层蠕变 2. 暴雨、排水不畅 3. 振动 4. 不利的岩性组合和结构面 	堆积物疏松,透水性大,易不均匀沉陷变形,浸水后局部可能继续滑动	<ol style="list-style-type: none"> 1. 坡面防渗,坡体排水 2. 清除 3. 局部支挡
剥落变形	岩(土)质边坡	剥落变形边坡		高寒地区粘性土边坡因冻融作用表层剥落,南方硬质粘土边坡因干湿效应而剥落,强风化泥质岩层剥落,影响不深,但可连续剥落	<ol style="list-style-type: none"> 1. 冻融作用 2. 干湿效应 3. 风化 	使渠道或其他工程边坡表部疏松解体,增加维护困难	<ol style="list-style-type: none"> 1. 护砌植草或坡面覆盖 2. 排水 3. 预留保护层

附录 E
(资料性附录)
环境水腐蚀性评价

E. 1 环境水对混凝土腐蚀性评价应符合表 E. 1 的规定。

表 E. 1 环境水对混凝土腐蚀性判别标准

腐蚀性类型	腐蚀性判定依据	腐蚀程度	界限指标
一般酸性型	pH 值	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	$pH > 6.5$ $6.5 \geq pH > 6.0$ $6.0 \geq pH > 5.5$ $pH \leq 5.5$
碳酸型	侵蚀性CO ₂ 含量 (mg/L)	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	$CO_2 < 15$ $15 \leq CO_2 < 30$ $30 \leq CO_2 < 60$ $CO_2 \geq 60$
重碳酸型	HCO ₃ ⁻ 含量 (mmol/L)	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	$HCO_3^- > 1.07$ $1.07 \geq HCO_3^- > 0.70$ $HCO_3^- \leq 0.70$ —
镁离子型	Mg ²⁺ 含量 (mg/L)	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	$Mg^{2+} < 1\ 000$ $1\ 000 \leq Mg^{2+} < 1\ 500$ $1\ 500 \leq Mg^{2+} < 2\ 000$ $Mg^{2+} \geq 2\ 000$
硫酸盐型	SO ₄ ²⁻ 含量 (mg/L)	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	$SO_4^{2-} < 250$ $250 \leq SO_4^{2-} < 400$ $400 \leq SO_4^{2-} < 500$ $SO_4^{2-} \geq 500$

E. 2 环境水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价应符合表 E. 2 的规定。

表 E.2 环境水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性判别标准

腐蚀性判定依据	腐蚀程度	界限指标
Cl ⁻ 含量(mg/L)	弱腐蚀	100~500
	中等腐蚀	500~5 000
	强腐蚀	>5 000

E. 3 环境水对钢结构的腐蚀性评价应符合表 E. 3 的规定。

表 E.3 环境水对钢结构的腐蚀性判别标准

腐蚀性判定依据	腐蚀程度	界限指标
pH 值、 $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 含量(mg/L)	弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	pH 值 3~11、 $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) < 500$ pH 值 3~11、 $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) \geq 500$ pH < 3、 $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 任意浓度



**UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION**

Vienna International Centre
P.O. Box 300 · 1400 Vienna · Austria
Tel.: (+43-1) 26026-0
E-mail: info@unido.org
www.unido.org



**INTERNATIONAL NETWORK
ON SMALL HYDROPOWER**

136 Nanshan Road
Hangzhou · 310002 · P.R.China
Tel.: (+86-571)87132793
E-mail: secretariat@inshp.org
www.inshp.org