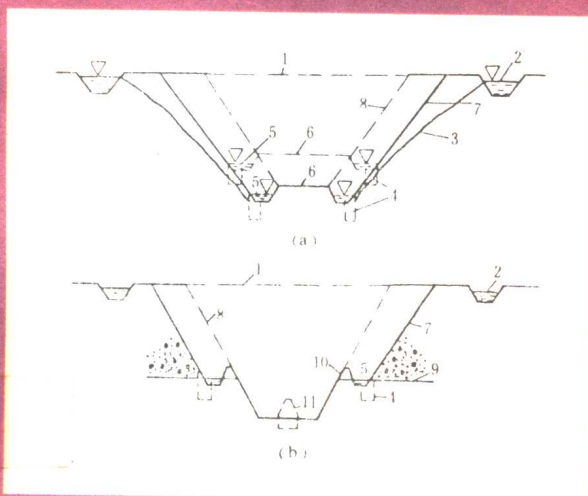


水力发电 丛书
技术知识

第十四分册

土石工程和 地下工程施工

董振华 林文华



中国电力出版社

水力发电技术知识丛书

第十四分册

土石工程和地下工程施工

董振华 林文华

中国电力出版社

内 容 提 要

本书着重介绍了水利水电工程建设中的土石方工程和地下工程的施工程序、施工方法、施工布置及与之相适应的机械选型配套等方面的基本技术知识,并简要介绍了国内外一些有关的先进技术和方法,对进一步研究土石方工程和地下工程的施工方法及提高实际建设的施工效率有着现实的意义。本书可供水利水电有关专业科研人员、水利水电工程建设人员、大专院校有关专业师生及其他有关人员在工作和学习中参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土石工程和地下工程施工/董振华,林文华编. -北京:

中国电力出版社, 1996

(水力发电技术知识丛书)

ISBN 7-80125-117-2

I. 土… II. ①董…②林… III. ①水利工程:土方工程-工程施工②水利工程:石方工程-工程施工③水利工程:地下工程-工程施工④水力发电工程-工程施工 IV. ①TV541 ②TV554

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 00196 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

顺义县天竺颖华印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1996 年 9 月第一版 1996 年 9 月北京第一次印刷

787×1092 毫米 32 开本 6.5 印张 142 千字

印数 0001—1140 册 定价 6.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

《水力发电技术知识丛书》

编辑委员会

主任	施嘉炆				
副主任	陆钦佩	舒扬荣	刘颂尧		
编委	(按姓氏笔划为序)				
	于开泉	王伊复	王圣培	伍正诚	冯尚友
	李毓芬	刘颂尧	沈晋	谷云青	陈叔康
	张勇传	汪景琦	施嘉炆	陆钦佩	唐集尹
	舒扬荣	董毓新	程学敏	杨德晔	

关于编写《水力发电技术知识丛书》的说明

为了水力发电战线广大职工学习科学技术，适应现代化水电建设和生产的需要，中国水力发电工程学会组织编写了一套《水力发电技术知识丛书》。《丛书》是从普及水力发电科学技术知识的角度出发，着重介绍水力发电的基本概念和基础知识，对我国的经验、国外水平以及发展前景也作适当介绍。

读者对象以具有中学文化程度以上的各级管理干部为主。使他们能系统地了解水力发电的科技知识，提高业务能力和管理水平。中学文化程度的技术工人，通过学习可为掌握专业技术打下初步基础，并提高技术水平。有某种专业的技术干部，通过学习也可了解相邻专业的一般知识。

本《丛书》共分二十五个分册：

- 第一分册 水力发电概况
- 第二分册 水能规划和综合利用
- 第三分册 水能经济
- 第四分册 水电工程地质
- 第五分册 水电工程勘测
- 第六分册 水文测验和水文计算
- 第七分册 泄洪和进水建筑物
- 第八分册 引水工程及发电厂房
- 第九分册 过船过鱼过木建筑物
- 第十分册 水工机械设备

- 第十一分册 水工建筑物的运行维护和观测
- 第十二分册 水电工程的施工组织和管理
- 第十三分册 水工混凝土工程施工
- 第十四分册 土石工程和地下工程施工
- 第十五分册 施工导流工程
- 第十六分册 水轮机和辅助设备
- 第十七分册 发电机和电气设备
- 第十八分册 水电站集中控制、继电保护和自动化
- 第十九分册 机电设备的安装
- 第二十分册 机电设备的运行维护
- 第二十一分册 水电站水库调度
- 第二十二分册 水电站经济运行
- 第二十三分册 小型水电站
- 第二十四分册 抽水蓄能电站
- 第二十五分册 潮汐电站

本《丛书》各分册承蒙从事水电事业的有关单位和院校的专家、教授大力支持，以大量时间和精力进行编写和审校，特此一并致谢。

《水力发电技术知识丛书》编辑委员会

1982年8月

前 言

土石方工程和地下工程是水利水电工程建设的重要组成部分，其中有些项目又是工程建设的先行工序，它们直接受到工程地质、水文地质和施工条件的制约，通常是整个水利水电枢纽工程中控制施工进度的主要环节之一。因此，加快土石方工程和地下工程的施工速度，提高其施工质量，对于水利水电建设具有十分重要的意义。

本书的主要内容，就是针对土石方工程和地下工程的不同对象，介绍制定合理的施工程序、施工方法、施工布置以及与之相适应的机械选型配套等方面的基本技术知识，并简要介绍国内外一些有关的先进技术和方法。

全书共分四章，第一章土石方工程概述、第二章土石方开挖、第三章土石坝填筑工程由武汉水利电力大学董振华编写；第四章地下工程由福建水口水电站工程建设公司林文华编写初稿，董振华进行了修改和补充。

本书由刘颂尧同志主审。主审人所提宝贵意见和出版社的同志付出的辛勤劳动，对本书能与读者见面起了很大作用，敬致谢忱！

作 者

1995年6月

目 录

关于编写《水力发电技术知识丛书》的说明

前言

第一章 土石方工程概述	1
第一节 土石方工程在水电建设中的重要地位	1
第二节 水电建设中土石方工程的类型及其特点	3
第三节 土石及其分级	5
第四节 土石的主要物理力学性质	9
第二章 土石方开挖	15
第一节 露天土方开挖	15
第二节 土方运输	34
第三节 挖运设备的配套	40
第四节 露天石方开挖	43
第三章 土石坝填筑工程	64
第一节 碾压式土石坝施工规划	64
第二节 土石料试验	70
第三节 土石坝基础处理	77
第四节 土石料挖运方案	95
第五节 坝面作业及其主要施工机械	104
第六节 土石坝施工中的几个特殊问题	120
第四章 地下工程	125
第一节 概述	125
第二节 地下工程的地质勘探与围岩稳定的基本条件	132
第三节 地下工程施工	144

第一章 土石方工程概述

第一节 土石方工程在水电建设中的重要地位

俗话说“开工动土”。可见任何一种建筑物的施工，都离不开土石方工程。首先，各种建筑物都要座落在土石地基上，它们的全部重量最终都要靠土石来承受；其次，许多建筑物是以土石作为主要建筑材料的，有些建筑物还是直接在土石中建成的，土石象钢材、混凝土等建筑材料一样，承受着施加给建筑物的各种外部荷载。

在水利水电建设中，土石方工程的规模更大，应用范围也更广。仅以筑坝来讲，近半个世纪以来，全世界土石坝的数量不断增加。据统计，1930年高于20m的坝中，混凝土坝和土石坝数量的比例是65：35，到1958年比例变为34：66，土石坝占了多数；1966年到1968年在63个国家新建的925座坝中，土石坝就有700座，占75.5%；有些国家近年来主要修建土石坝，如美国1966~1968年修坝370座，土石坝占90%，共填筑土石方3.66亿 m^3 ，加拿大1967~1969年共修土石坝53座，占筑坝总数的2/3。从筑坝的高度方面讲，高土石坝的数量日益增多。据统计，国外在40年代以前修建的高于100m的土石坝只有6座，50年代有11座，60年代有47座，70年代约20多座；高度最大的是前苏联的努列克（Нурек）心墙土石坝，坝高为300m；体积最大的是巴基斯坦

的塔尔百拉斜墙堆石坝，填方为 1.36 亿 m^3 。

建国以来，我国也修建了大量的土石坝。据初步统计，1949~1972 年，除台湾省外，全国共建成高度大于 15m 的坝 12517 座，其中土石坝为 12444 座，占 99.4%，但这些土石坝基本上是中小型坝，高度不大。近年来虽修建了碧口、石头河两座百米以上的土石坝，但在高坝建造中所占的比重是很小的。

从上述情况可以看出，仅筑坝一个方面就可以说明土石方工程在水利水电建设中占有的重要地位和所起的重要作用。

在水利水电建设中，土石方工程不仅使用广泛、作用重要，而且工程量往往很大，对其质量的要求也非常高。因此，实现土石方工程施工机械化和自动化，对于保证工程质量、加速工程进度、减轻繁重的体力劳动、降低工程造价等等，都有十分重大的意义。

随着水利水电建设的迅速发展，我国土石方工程施工机械化的水平也正迅速提高，推土机、铲运机、挖掘机、自卸汽车以及各种碾压机械等，已采用得比较普遍。但从整体来讲，机械化水平还很低，自动化水平就更差。结果是，土石方工程施工期限一般太长，花费的劳力太多，工程质量也还不够高。因此，提高土石方工程施工的机械化水平和自动化水平，仍然是当前和今后急待研究解决的重大问题之一。

国外当前采用大型机械、自动控制 and 电视遥控进行土石方工程施工的经验表明，这是一条提高工效、加快进度、保证质量和提高经济效益的有效途径。例如，美国的渥洛维尔 (Oroville) 土石坝，坝高 236m，总工程量近 6000 万 m^3 ，由于采用了专门设计的大型机械施工，4 年就完成了填筑任务。

当然，不可能也不应该要求土石方工程施工机械化程度都要达到百分之百，因为在水利水电建设中，情况十分复杂，总有相当一部分土石方工程是机械难以完成的，有些地方土石方工程量过小或相当分散时，也不利于机械施工，必须使用人力或半机械化方法进行；但在工程量比较集中、在工程的主体部分，应充分使用机械，并力求使之自动化。也应该看到，在土石方工程量日益巨大的情况下，机械化程度稍差，必然会加重人工施工的比重，这对顺利实现土石方工程的高速优质施工将会带来很大困难。例如，一个土石方工程量为1亿 m^3 的工地，当其施工机械化程度为98%时，就将有200万 m^3 的工程量需要用人工去完成，假如人工完成土石方的效率为 $2\text{m}^3/(\text{工日})$ ，则需要100万个工日。若机械化程度更低时，所需的工日当更为可观。所以，只要条件许可，就应尽可能提高机械化施工的水平，并使之达到高度自动化。

第二节 水电建设中土石方工程的类型及其特点

和在其他国民经济建设部门中一样，水电建设中的土石方工程也分为挖方和填方两种类型。

用各种施工方法（机械的、爆破的或人工的）挖除一部分土石，使其形成设计要求规格的建筑物，或腾出空间以座落建筑物基础，这样的工程称之为挖方。前者如渠道、隧洞等，后者如建筑物的基坑等。

用各种施工方法（机械的、爆破的或人工的）把土石按一定形状、一定尺寸和一定质量堆积成建筑物，或使其形成建筑物基础，这样的工程称之为填方。前者如土石围堰、土

石坝等，后者如填方路基、抬渠等。

在挖方工程中，从地表向下开挖，形成上部开口的具有一定形状的建筑物或基坑的挖方，叫做明挖，如渠道、坝或电站厂房的基坑等；在地表以下一定深度处进行开挖，形成一定形状断面的建筑物的挖方，叫做洞挖或地下工程开挖，如隧洞、地下厂房等。

水利水电建设中的土石方挖方和填方工程，由于建成后在运转期间除了承受巨大的荷载外（这一点和其他国民经济建设中的土石方挖方和填方工程是一样的），还要经受水的长期作用，大多数情况下水又是具有很大压力或流速的（这一点和其他国民经济建设中的土石方挖方和填方工程不相同）。因此，对它们的质量要求就要高得多。

对于挖方工程，其质量应保证：

1) 在水的长期作用下，挖方工程应具有很高的稳定性，不发生边坡失稳、地基下陷和土石被水流冲刷、掏空等现象；

2) 挖方工程的施工过程应不造成设计开挖边界以外土石的破坏，以便使其在水的作用下不产生严重的渗漏，或发生渗透变形；

3) 挖方工程的形状、尺寸应符合设计要求，不增加修整、修饰及砌护等的工程量。

对于填方工程，要求具有下述质量：

1) 填方体应具有设计要求的密实度，能承受施加给建筑物的外部荷载；

2) 填方体具有要求的抗渗性能，不能严重漏水，或者在渗水情况下不得产生变形；

3) 填方体施工过程中，各段之间的连接必须经过专门的处理，以免形成薄弱环节。

应当看到，水电建设中的挖方工程（如坝或电站厂房基坑等）往往要开挖到地下水位以下很深的地层中去，开挖工作是在围堰的拦护并在连续不断地抽水排水条件下进行的，所以，施工条件十分复杂，从而也使得施工方法和施工组织极为复杂。因此，在组织施工时，要特别重视这些特点，以使开挖工作能顺利进行。

第三节 土石及其分级

地球的外壳是由各种岩石组成的。在外壳的最外层，由于受到存在于地球内部的各种内力（地热、地壳升降、火山作用等）的影响，和各种外力（太阳热能、水、气和生物）的物理风化作用，形成了正在经受风化的岩石和岩石风化以后的产物。构成地壳最外层的这部分材料，大体上可分成松散的和坚硬的两大类。前一类称之为土，它是岩石风化以后的产物，其特点是具有松散性；后一类称之为岩石，它是一种裂隙性介质，但具有相对的整体性。

土石在天然埋藏状态下的性质是多种多样的，结构的变化也是非常复杂的。就同一种土或岩石而言，从地表到地下的性状也有很大的不同。因此，在土石方工程施工中，如果不对土石进行细致而科学的分级，就会给选择适宜的施工方法和机具、计算工人和机械的生产率、确定各项生产指标、制定工程单价和编制工程概预算等工作带来很大的困难。

土石的分级是一个非常复杂的问题，除了需对土石的特性进行深入的研究外，还必须考虑各类工程及其工艺所提出的要求。因此，土石的分级有着各种各样的方法。

在水利水电建设中，当前主要是根据土石开挖的难易程

度来作为分级的依据。我国原水利电力部 1965 年颁布的《水利水电建筑安装工程工、料、机械施工指标》中所提出的土石方工程的各项定额，就是以这种分级作为标准制定的。

表 1-1 是我国水电建设中常用的土石分级标准，其中，前 4 级为土的分级，后 12 级为岩石的分级。

表 1-1 土石分级表

土的等级	土的名称	自然湿容重 (kg/m ³)	外观及其组成特性	开挖工具
I	砂土、种植土	1650~1750	疏松、粘着力差或易透水，略有粘性	用铁锹或略加脚踩开挖
II	壤土、淤泥、含根种植土	1750~1850	开挖时能成块，并易打碎	用锹，需用脚踩开挖
III	粘土、干燥黄土、干淤泥、含少量砾石的粘土	1800~1950	粘手、看不见砂粒，或干硬	用镐、三齿耙开挖或用锹需用力加脚踩开挖
IV	坚硬粘土、砾质粘土、含卵石粘土	1900~2100	结构坚硬，分裂后成块状，或含粘粒、砾石较多	用镐、三齿耙等开挖

续表

岩石级别	岩石名称	天然湿度下平均容重 (kg/m ³)	凿岩机钻孔 (min/m)	坚固系数 f
V	1. 砂藻土及软的白垩岩	1550		1.5~2.0
	2. 硬的石炭纪的粘土	1950		
	3. 胶结不紧的砾岩	1900~2200		
	4. 各种不坚实的页岩	2000		
VI	1. 软的有孔隙的节理多的石灰岩及贝壳石灰岩	1200		2.0~4.0
	2. 密实的白垩岩	2600		
	3. 中等坚实的页岩	2700		
	4. 中等坚实的泥灰岩	2300		
VII	1. 水成岩、卵石经石灰质胶结而成的砾岩	2200		4.0~6.0
	2. 风化的节理多的粘土质砂岩	2200		
	3. 坚硬的泥质页岩	2800		
	4. 坚实的泥灰岩	2500		
VIII	1. 角砾状花岗岩	2300	6.8 (5.7~7.7)	6.0~8.0
	2. 泥灰质石灰岩	2300		
	3. 粘土质砂岩	2200		
	4. 云母页岩及砂质页岩	2300		
	5. 硬石膏	2900		
IX	1. 软的风化较甚的花岗岩、片麻岩及正长岩	2500	8.5 (7.8~9.2)	8.0~10.0
	2. 滑石质的蛇纹岩	2400		
	3. 密实的石灰岩	2500		
	4. 水成岩、卵石经硅质胶结的砾岩	2500		
	5. 砂岩	2500		
	6. 砂质石灰质的页岩	2500		

续表

岩石级别	岩石名称	天然湿度下平均容重 (kg/m ³)	凿岩机钻孔 (min/m)	坚固系数 <i>f</i>
X	1. 白云岩	2700	10 (9.3~10.8)	10~12
	2. 坚实的石灰岩	2700		
	3. 大理石	2700		
	4. 石灰质胶结的致密的砂岩	2600		
	5. 坚硬的砂质页岩	2600		
XI	1. 粗粒花岗岩	2800	11.2 (10.9~11.5)	12~14
	2. 特别坚实的白云岩	2900		
	3. 蛇纹岩	2600		
	4. 火成岩、卵石经石灰质胶结的砾岩	2800		
	5. 石灰质胶结的坚实的砂岩	2700		
	6. 粗粒正长岩	2700		
XII	1. 有风化痕迹的安山岩及玄武岩	2700	12.2 (11.6~13.3)	14~16
	2. 片麻岩、粗面岩	2600		
	3. 特别坚硬的石灰岩	2900		
	4. 火成岩、卵石经硅质胶结的砾岩	2900		
XIII	1. 中粗花岗岩	3100	14.1 (13.4~14.8)	16~18
	2. 坚实的片麻岩	2800		
	3. 辉绿岩	2700		
	4. 玢岩	2500		
	5. 坚实的粗面岩	2800		
	6. 中粒正长岩	2800		

续表

岩石级别	岩石名称	天然湿度下平均容重 (kg/m ³)	凿岩机钻孔 (min/m)	坚固系数 f
XIV	1. 特别坚实的细粒花岗岩	3300	15.6 (14.9~18.2)	18~20
	2. 花岗片麻岩	2900		
	3. 闪长岩	2900		
	4. 最坚实的石灰岩	3100		
	5. 坚实的玢岩	2700		
XV	1. 安山岩、玄武岩、坚实的角闪岩	3100	20 (18.3~24)	20~25
	2. 最坚实的辉绿岩及闪长岩	2900		
	3. 坚实的辉长岩及石英岩	2800		
XVI	1. 钙钠长石玄武岩和橄榄石质玄武岩	3300	24 以上	25 以上
	2. 特别坚实的辉长岩、辉绿岩、石英岩及玢岩	3000		

第四节 土石的主要物理力学性质

土石作为工程对象具有各种不同的性质，这些性质又往往随所处环境（湿度、温度、埋置深度等）的不同而变化。这方面的问题在《土力学》、《岩石力学》中有专门的研究和讨论。对于水电工程施工来讲，主要是要了解和掌握那些对施