

水利水电工程 地下建筑物设计手册

水利水电规划设计总院 编
水利水电地下建筑物情报网

四川科学技术出版社

1993·成都

9409413

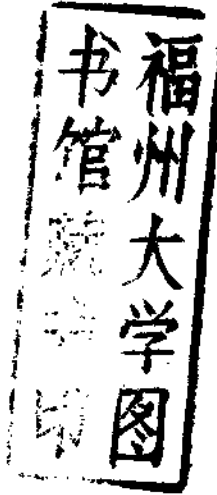


9409413

水利水电工程 地下建筑物设计手册

水利水电规划设计总院 编
水利水电地下建筑物情报网

TV6-62
636



四川科学技术出版社

1993·成都

(川)新登字 004 号

责任编辑:罗孝昌

特约编辑:陈关松 李永新 李其桐 谢授麟

水利水电工程地下建筑物设计手册

水利水电规划设计总院 编
水利水电地下建筑物情报网

四川科学技术出版社出版、发行
(成都盐道街三号)

成都市金桥彩印厂印刷
东南里中学电脑激光照排
ISBN7-5364-2743-3/TV·10

1993年12月第1版 开本 787×1092 1/16
1993年12月第1次印刷 字数 1120千
印数 1-1300册 印张 44.25 插页 4
定 价:40.00元

内 容 提 要

建国四十多年来,我国修建了许多水利水电大型地下建筑物,积累了很多资料和经验,并编制出我国的水工隧洞、调压井、高压管道、水电站地下厂房,以及地质、岩石、锚喷等设计规范,在这些规范编制过程中还进行了大量的试验研究工作,搜集到丰富的资料,其中有的是我国地下工程建设的经验总结,有些是国外的先进技术,非常宝贵。本手册即是利用这些资料编写的,经水利水电规划设计总院两次审查后定稿。

全书共有十章五十七节,内容包括地下建筑物工程地质、围岩测试与分析、水工隧洞、调压井、地下高压管道、地下厂房、锚喷支护及新奥法、地下建筑物的有限元法、模型试验和观测设计。

本手册具有内容广泛、新颖、适用性强等特点,可供从事水利水电、铁路交通、矿山、冶金、国防、教学、科研等行业从事地下工程设计的有关人员使用或参考。

主 编:段乐斋

副 主 编:王永年 周文铎

编写组成员:(按姓氏笔画顺序排列)

王永年 田裕甲 陆宏策 李其桐

杨欣先 周文铎 金章瑄 赵长海

赵代深 段乐斋 谢授麟

陆宗盘和李世强参加了编写工作

序

四十多年来,我国水利水电工程建设取得了举世瞩目的伟大成就,全国已有灌溉面积约5000万ha,水电站总装机容量达4000万kW。在众多的水利水电工程中,地下建筑物占有重要的地位。大量输水、引水、发电以及泄洪、导流建筑物,由于地形地质条件的限制需要修建在地下,埋藏在山体中。

据统计,我国已建和在建的水工隧洞总长达400多公里,地下厂房近40座。早期我国建设的古田一级、流溪河、南水、渔子溪等地下厂房和刘家峡窑洞式地下厂房至今运行良好。80年代以来,相继建设的白山、鲁布革、东风大型地下厂房和广州、十三陵抽水蓄能电站的地下建筑物,最大开挖跨度已达25m,单室洞高50~60m。我国已在岩溶地区复杂的地质条件下建成了长9.7km、洞径9.8m的天生桥二级水电站有压引水隧洞,长15.7km的引大入秦盘道岭无压输水隧洞;我国最大的导流隧洞漫湾导流洞断面尺寸15m×19m,正在建设中的二滩导流洞断面尺寸为17.5m×23m。90年代,我国地下厂房的建设规模更大,正建和将建的天荒坪抽水蓄能电站装机容量180万kW,二滩水电站装机容量330万kW,龙滩水电站装机容量540万kW,全部采用地下厂房。特别引人注目的是小浪底水利枢纽工程,集泄洪、排沙、引水、发电厂房的20余座大型洞室群体于一岸山体布置,纵横交错,堪称地下建筑一绝。

我国水力资源丰富,至今开发的仅占可开发量的10%,大量有待开发的水力资源大都集中在西南、西北地区。这里山高谷窄,岸坡陡峻,河谷深切,地下建筑物常常是水电站的重要组成部分。正在设计的澜沧江、雅砻江、金沙江上的水电站,单项工程装机规模达500万kW~1000万kW,规模巨大的地下建筑物正等待我们去建设。宏伟的南水北调中线、西线工程,从长江及其上游引水,愈于公里跨流域引水送京、津、冀地区,穿越高山和复杂地质区,也避免不了兴建长输水隧洞。可以预计,随着我国水利水电工程更大规模的建设,地下建筑物的兴建也会越来越广泛,其工程量、投资和工期将在整个工程中占有更重要的地位。为加快水利水电工程建设,我们必须重视地下建筑物技术水平的提高,做好地下建筑物的设计。

地下建筑物涉及的专业领域非常广泛。一个好的地下建筑物的设计,不但需要掌握地下结构设计的理论和方法,还需要了解工程地质、岩体力学、围岩测试和施工工艺。为了适应水利水电工程建设发展的需要,在总结以往地下建筑物建设的基础上,编写一部能够较全面反映我国地下建筑物的理论研究、设计方法和科研成果的设计手册,作为从事地下工程设计人员的工具书,是迫切需要的。

水利水电规划设计总院委托水利水电地下建筑物情报网,组织对地下工程有丰富实践经验的专家,撰写这本手册。我认为这本手册具有如下特色:(1)内容较完整全面;(2)选编的资料较新;(3)与我国现行技术标准基本协调一致;(4)纳入了部分国外先进技术;(5)叙述简明扼要;(6)切合实际便于应用。手册有理论、公式、图表,并提供了部分工程实例和已建工程的有关资料。为适应工程设计的需要,编写了水工隧洞、调压井、高压管道和地下厂房四章;考虑到地下建筑物的共同特性,又编写了工程地质、围岩测试分析、锚喷支护、有限元法、模型试验和观测设计六章。我相信,这本内容广泛、实用性强的我国第一本水利水电地下建筑物设计手册问世后,必将对我国从事地下建筑物设计的广大技术人员会有很大的帮助。

参加编写的十多位专家,都是肩负着繁重的设计、科研和教学任务的老专家。他们在经费短缺的情况下,克服了种种困难,利用节假日和休息时间,默默耕耘,完成了如此巨大而繁重的工作,将自己宝贵的经验和丰富的信息资料,无私的奉献出来,是值得庆贺和学习的。趁此机会我向多次参加手册审查、提出不少宝贵意见的专家和教授们表示感谢。

当然,由于地下工程涉及的领域非常广泛,对国内建设的经验和新的工程实例未能一一搜集纳入,疏漏和不足之处在所难免,我希望广大读者抱着爱护的态度,给以指正和补充,使之不断完善,更希望在今后不久的将来,有一批年轻的从事地下建筑物设计的专家,以更新和更先进的技术来充实修订这本手册。

许百立

1993年6月

全面总结

国内外的先进经验

不断提高

地下工程的设计水平！

何璟 一九九三·七

水利部副部长何璟题词

百川汇海、巨细兼
收、地下工程智识
之宝库

题水利水电地下建
筑物设计手册

潘家铮
九三年六月

前 言

我国水力资源丰富,理论蕴藏量 6.76 亿 kW,可开发的达 3.78 亿 kW,占世界首位。中华人民共和国成立以来,在党和人民政府的领导下,兴修水利,发展水电,取得了伟大的成就。到 1992 年底,水电总装机容量约 4000 万 kW,仅占可开发水力资源的 10.6%。西南和西北地区可能开发的水力资源占全国的 77.7%。而这两个地区山高谷窄,河床切割较深,工程布置比较困难。地下工程常常是水电站建筑物的主要组成部分,而且规模较大,施工条件艰巨。根据我国经验,在水力枢纽中地下工程的投资,一般约占总投资的 30%~50%,且又往往控制了施工工期,影响着水电建设的速度。因此,要加快水电建设的速度,必须重视地下工程的设计和施工。

随着科学技术的发展,地下工程的设计理论产生了根本的变革。过去地下工程设计中,采用的围岩是荷载的观点,即将洞室的围岩当成荷载,混凝土或钢筋混凝土衬砌结构,承担围岩的荷载和其他荷载(如内、外水压力等),以维持围岩的稳定。随着工程实践经验的积累和岩石力学的发展,认为围岩不再是单一的荷载来源,而是承担洞室荷载的主要结构,这即是围岩结构的观点。洞室结构的主体是围岩,衬砌或支护仅是加固围岩的措施。当围岩能够自稳时,衬砌的作用仅是表面保护,以防止围岩风化和减少水头损失;而对于地质良好的围岩就可不必增加任何保护。因此,地下工程的设计,正向着不衬砌和薄衬方向发展。这一认识已被从事地下工程广大的设计者所接受。因此,一个优秀的地下建筑物设计,必须是在充分考虑利用围岩自身的承载能力的基础上,因地制宜地采取相应的措施,以维持围岩的稳定,并满足工程运用的要求。

为了适应今后水利水电建设发展的需要,节约投资,提高设计水平,加快水利水电建设速度,促进水利水电事业的发展,编写一部反映我国地下工程建设经验和科研成果的设计手册,作为从事水利水电地下工程设计人员的工具书,是迫切需要的。

在我国水工隧洞、调压井、高压管道、水电站厂房,以及地质、喷锚、施工等设计规范的编制中,各编制组都收集了大量资料,并进行了大量的试验研究工作。反映我国地下工程设计建设的经验总结和国外的先进技术的资料,尽管各规范的编制组,除编制出上述规范及其条文说明外,还提供了专题报告、文献资料等,但还未能系统地整理予以发表。为此,水利水电地下建筑物情报网,通过网长会,倡议在规范资料的基础上,组织有关专家,编写一本《水利水电工程地下建筑物设计手册》。这一倡议得到水电规划设计总院的同意,并得到有关规范参编单位领导的支持,使手册编写工作顺利完成。

本手册编写组成员由段乐斋、王永年、周文铎、李其桐、谢授麟、赵代深、赵长海、金章瑄、杨欣先、田裕甲、陆宏策组成。陆宗盘、李世强同志参加了编写工作。第一、二、七、九、十章由王永年汇稿;第三、四章由段乐斋汇稿;第五、六、八章由周文铎汇稿;最后由段乐斋统编。水电规划设计总院会同地下建筑物情报网组织有关专家进行了审查。

本手册立足于我国水利水电地下工程设计经验和科研成果,内容以设计经常使用的方法、步骤、公式、图表为主,对常遇的一些专门问题,也予以介绍,并力求与我国现行规范一致,同时也介绍了当代国外的有关先进技术成果。

本手册是一部综合性的地下建筑物设计工具书,它具有如下特色:

1. 内容比较完整。手册中不仅包括了水利水电地下工程中的水工建筑物,而且还纳入了有关的地质、岩石、模型试验及电算等基本知识和资料。

2. 内容比较实用。各章中除了给出常用的基本设计方法、步骤、公式、图表外,还提供了工程实例和已建工程的有关资料。

3. 选编的资料较新。手册不仅尽量吸收了一些较成熟的科研成果和技术革新成果,而且对国外先进经验和有关的规定,凡认为与我国情况符合的,也作了详细的介绍。

4. 叙述简练扼要。在表达方式上多采用公式、图表,文字叙述力求简练和条文化,便于使用和查阅。

本手册脱稿后,我们仍感到有不足之处,如资料的来源,未能涉及最近几年在地下工程建设中所取得的最新成果和以概率论和数理统计为基础的可靠度理论;另外,内容的设置和安排尚有不妥之处。这些都有待通过实践,吸收广大科技人员的意见,在再版时改正。

本手册自筹备至脱稿,历时近三年,参加编写的有10多位同志,肩负着繁重的设计、科研和教学等任务,他们克服了人力、经费等种种困难完成了编写工作。水利水电规划设计总院许百立总工程师,曾多次组织专家进行讨论,为手册顺利出版作出了贡献。在此向所有参加编写、审稿的单位和个人表示感谢。

在手册编辑出版过程中,《水电站设计》编辑部付出了辛勤的劳动,在此向他们表示谢意。

最后,诚恳地欢迎广大读者,对手册中的疏漏和错误,给予批评指正。

编者

目 录

第一章 地下建筑物工程地质	(1)
第一节 地下建筑物的基本地质因素.....	(1)
第二节 岩体应力.....	(16)
第三节 围岩分类.....	(25)
第四节 围岩稳定分析.....	(56)
第二章 围岩测试与分析	(77)
第一节 测试内容与方法.....	(77)
第二节 围岩测试的基本要求.....	(80)
第三节 室内岩石物理力学性质测试.....	(84)
第四节 原位岩体测试.....	(105)
第五节 岩体应力测试.....	(132)
第六节 围岩原位观测.....	(143)
第七节 测试成果分析与数据选用.....	(153)
第三章 水工隧洞	(179)
第一节 洞线选择.....	(179)
第二节 断面形状及尺寸.....	(186)
第三节 水力计算.....	(193)
第四节 高速水流的防蚀设计.....	(208)
第五节 围岩加固设计原则.....	(232)
第六节 不衬砌隧洞.....	(237)
第七节 隧洞衬砌应力计算.....	(243)
第八节 灌浆、排水及构造.....	(250)
第四章 调压井	(254)
第一节 调压井的功能.....	(254)
第二节 调压井的设置准则.....	(256)
第三节 调压井的形式和布置.....	(258)
第四节 调压井尺寸的确定.....	(268)
第五节 结构设计.....	(290)
第五章 地下高压管道	(329)
第一节 钢板衬砌.....	(329)
第二节 预应力混凝土衬砌.....	(354)
第三节 钢岔管.....	(363)
第四节 钢筋混凝土岔管.....	(419)
第六章 地下厂房	(423)
第一节 厂区总布置.....	(423)
第二节 厂房内部布置与体型设计.....	(436)

第三节	支护设计·····	(439)
第四节	排水防潮设计·····	(464)
第五节	厂房内部主要结构·····	(471)
第七章	锚喷支护及新奥法·····	(503)
第一节	锚喷支护设计的基本原理与新奥法发展概况·····	(503)
第二节	锚喷支护的材料·····	(507)
第三节	锚喷支护的主要类型·····	(519)
第四节	工程类比法的锚喷支护设计·····	(528)
第五节	锚喷支护的理论设计·····	(539)
第六节	施工监控设计与新奥法及其实例·····	(548)
第八章	地下建筑物的有限单元法·····	(561)
第一节	弹性问题的有限单元法·····	(561)
第二节	弹塑性问题的有限单元法·····	(574)
第三节	渗流问题的有限单元法·····	(582)
第四节	岩体结构面的有限元计算·····	(586)
第五节	地下建筑物的有限元计算·····	(592)
第六节	国内外有限元程序简介·····	(601)
第九章	模型试验·····	(605)
第一节	模型的相似准则·····	(605)
第二节	模型材料·····	(606)
第三节	岩体不连续面力学性能的模拟·····	(613)
第四节	岩体力学性能和应力释放模拟·····	(618)
第五节	模型加载装置·····	(622)
第六节	模型试验实例·····	(624)
第十章	观测设计·····	(649)
第一节	观测设计的内容和要求·····	(649)
第二节	观测仪器的选型·····	(652)
第三节	观测仪器的埋设布置·····	(676)
第四节	观测技术要求·····	(679)
第五节	观测资料整理分析的技术要求和方法·····	(681)
第六节	工程实例·····	(686)

第一章 地下建筑物工程地质

第一节 地下建筑物的基本地质因素

一、岩体的力学性质

岩体的力学属性不同,岩体稳定性不同,设计计算理论方法也不同:

(1)坚硬岩体,可按弹性理论计算;半坚硬岩体,可按块体平衡理论计算;较软弱岩体,基本上按塑性理论计算;破碎岩体,可按散体理论计算。

(2)完整岩体,可用连续介质力学原理分析;碎裂岩体,可用碎裂介质力学分析;松散岩体,可用散体介质力学分析;块裂岩体,可用块裂体力学分析。

二、岩体结构

岩体是指一定工程范围内的自然地质体,它由结构面和结构体组成。结构面包括岩体中原生或次生的地质不连续面,如层理、节理、断层等,各种岩体结构面类型如表 1—1—1 所列。结构体系由不同产状的结构面组合切割而形成的岩体单元块体,其类型见表 1—1—2。岩体结构的类型及其对围岩稳定的影响见表 1—1—3。

三、地质构造

地质构造一般指岩层的成层结构、产状、褶曲、断裂构造等。地下建筑物布置、围岩稳定与地质构造因素紧密关联。不同地质构造单元和洞室在地质构造单元中的不同位置对围岩稳定的影响见表 1—1—4。

四、岩体抗力

地下建筑物衬砌受各种力(内水压力、围岩压力、自重等)的作用产生向围岩方向的变形,引起岩体的反力,从而使岩体负担了作用在衬砌上的力,即岩体抗力。

(一)影响岩体抗力的因素

影响岩体抗力的因素主要有:

- (1)节理裂隙产状、间距、宽度、充填情况等;
- (2)洞室所处围岩(顶部及侧向)厚度;
- (3)爆破振动与内水压力过大致使围岩拉裂形成的裂隙;
- (4)围岩应力大小;
- (5)引起衬砌变形的荷载(内水压力及围岩压力等)大小与方向;
- (6)衬砌的刚度及其与围岩的接触情况。

表 1—1—1 结构面的类型及其特性

成因类型	地质类型	主要特征			工程地质评价
		产状	分布	性质	
原 生 结 构	沉积和成岩作用过程中所形成的界面:层理、层面、软弱夹层、沉积间断及不整合面	结构面是岩层的结合面,在构造和风化作用下易于分开	一般呈层状分布,延续性较强,在海相地层中分布较稳定,陆相地层中分布不稳定,呈交错层尖灭	随岩层的性质、厚度、构造影响和次生作用不同而不同。层理层面平整结合良好,不整合面不平整,由碎屑泥质物构成,软硬相间;层面易层间错动,原生软弱夹层易揉皱泥化	沿结构面易滑动,尤其是原生软弱夹层及不整合面易引起岩体失稳 结构面频率很高时,由于岩层很薄(如千枚岩)更易出现压曲失稳
	岩浆侵入、喷溢冷凝所形成的结构面侵入体与围岩接触面,在火山岩中有流线、流层、原生冷凝节理	结构面受侵入体形状的控制,方位不定,岩浆作用与构造破裂有紧密关系 接触面延伸较远,较稳定,原生节理往往短小密集	接触面是沿着侵入体与围岩的界限分布;流线流层和冷凝节理有时在侵入体的边缘	熔融接触面致密;破碎接触面呈破裂状态;挤压破碎带渗透性强;间歇性喷溢的软弱夹层胶结差;原生节理一般张开,较粗糙,易为泥质充填	一般不造成大规模的岩体破坏,但有时与其它结构面组合也可形成滑移和坍塌
	区域变质作用形成的结构面,片理、板理、剥理及其片麻状构造	产状与岩层或构造线方向一致	片理分布极密,变质岩中软弱夹层延展较远	结构面光滑平直;片理在岩体深处往往闭合成隐闭结构面;软弱层易风化或泥化	在变质较浅的沉积变质岩(如千枚岩)中常见坍塌;软弱夹层对围岩稳定影响较大
构造结构面	节理、断层、劈理、隐微裂隙及层间错动	构造结构面在各种岩性中都存在,产状与构造线呈一定关系;层间错动与岩层产状一致	压性断裂规模大,平行区域构造线;张性断裂较小,与区域构造线垂直;扭性断裂延伸较远	张性断裂不平整,常为次生充填;剪扭断裂较平直,具羽状裂隙;压性断裂面呈波状起伏,破碎带的物质组成和特性影响岩体的稳定	对岩体稳定影响较大,多因构造结构面的组合造成边坡和围岩失稳
次生结构面	卸荷裂隙、风化裂隙、风化夹层、次生夹泥层、架空结构层	结构面受地形及原生结构面的控制	往往呈不连续状透镜体分布,且主要在地表风化带内发育	一般有泥质充填,次生夹泥层颗粒细嫩,亲水性强,易泥化	由于泥质物的充填以及极薄泥膜的存在,构成了极不利的工程地质条件,自然及人工边坡易发生危害,对浅埋及傍山洞室围岩稳定亦有影响

表 1-1-2 结构体的类型












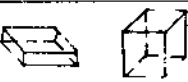



岩类	结构面成因	构造变形强度	结构面组合形式	结构体形状	图式	组合成结构体的结构面成因类型			
层状岩体	构造结构面	缓倾岩层区	棋盘格式	长方(柱、块)体		层面与高角度的 X 型扭性断裂			
			人字型	楔形体		层面人字形断裂			
层状岩体	构造结构面	急倾岩层区	歹字型	似楔形(梯形)体		层面压性断裂与人字型断裂			
						层面压性断裂与张性断裂			
			米字型	角锥体		扭性断裂、层面和反倾向的压性断裂			
						层面压性断裂与扭性断裂相交的扭性断裂与层面			
		陡立岩层区	州字型	方(柱、块)体		张性断裂、层面与逆掩断层			
						三棱柱体		倾扭性断裂与逆掩断层面	
								四面体	
			倒转岩层区	十或梯字型	棱柱体		张性、扭性断裂与反倾向冲断层、层面		
							立方体		张性、扭性断裂与层面、压性断裂
									侵入岩原生节理
块状岩体	原生结构面	棋盘格式	立方体		侵入岩原生节理				
					多角柱体		喷出岩原生节理		
		米字型	方(柱、块)体				扭性断裂与平缓的原生节理		
					十字型	棱柱体		压性断裂, 张性断裂, 扭性断裂与平缓的原生节理	
		楔形体							
				多角柱(块)体					

表 1-1-3 岩体结构类型及其对围岩稳定的影响

岩体结构类型	地质背景	完整状态		结构面特性	岩石饱和状态下抗压强度 (MPa)	水文地质特征	围岩稳定性评价
		结构面间距 (cm)	完整性系数 K。				
整体块状结构	岩性单一的构造变形轻微的巨块岩浆岩、巨厚层沉积岩、整体性好的变质岩	>100	>0.75	节理不发育, 延展性差, 多数成闭合粗糙状态; 无充填或少夹碎屑, 一般不超过两组节理, $\text{tg}\varphi \geq 0.6$	>60	地下水作用不明显, 主要为裂隙水	岩体不受结构面切割时, 整体稳定性好, 一般不支护; 受结构面切割的岩体, 当结构面间距小于洞室的跨度或高度、或位于洞口时, 有可能沿结构面塌落; 当构造应力较大、洞室开挖后围岩应力大于岩体强度时, 可能出现岩块剥落或岩爆现象
块状结构	岩性单一的大块岩浆岩、厚层沉积岩、整体性较好的变质岩	100 ~ 50	0.75 ~ 0.35	节理较发育, 呈闭合状态; 少数节理有充填物, 节理面有一定的结合力, 一般只有三组以下的节理, $\text{tg}\varphi = 0.4 \sim 0.6$	>30	裂隙水甚微, 可出现渗水、滴水现象, 对半坚硬岩石可能软化	整体强度较高, 在大和特大洞室临空面与软弱结构面存在不利组合时, 可能出现剪切破坏和连锁反应; 深埋掘进时, 岩体中细微裂隙的存在, 可能导致发生岩爆; 软化系数较低的岩石, 在地下水的长期作用下会使失稳情况加剧
层状结构	构造变形轻的中厚层的层状岩层, 其单层厚度大于 30cm	50~30	~ 0.30	层面明显, 层间结合力差, 一般 $\text{tg}\varphi = 0.30 \sim 0.50$	>30	地下水作用明显, 雨量充沛地区向斜构造, 地下水丰富的地层存在渗透压力; 地下水对岩层软化作用明显	围岩破坏取决于岩石软弱结构面的组合与地下水的活动, 中厚层与薄层岩层互层且有地下水活动时, 会出现较大范围的围岩破坏