

水工隧洞的 设计理论和计算

(第二版)

汪胡桢 原著
顾慰慈 修订

水利电力出版社

水工隧洞的设计理论和计算

(第 二 版)

汪胡桢 原著
顾慰慈 修订

水利电力出版社

内 容 提 要

本书比较全面和系统地介绍了水工隧洞设计的基本原理和计算方法。第一版自1979年问世以来,受到广大读者的欢迎,通过10多年的实际使用也发现了一些问题和不妥之处,同时由于科学技术的迅速发展,在水工隧洞的衬砌、计算等方面也应用了一些技术,水工隧洞的喷锚衬砌就是近几十年内发展起来的一项新技术,同时由于新规范的制订,法定计量单位的推广使用,所以本书修订时在某些内容、计算方法、使用符号和单位等方面都作了相应的增补和修改,并将新旧符号和单位列表对照。全书共分十六章,内容包括:水工隧洞的布置和水力计算;衬砌的结构和材料;水工隧洞的荷载;各隧洞及各种形式衬砌的计算;水工隧洞的有限单元分析法以及水工隧洞的喷锚衬砌等。为了便于读者掌握本书所述内容,并在实践中运用,书中列举了大量例题,便于自学。

本书深入浅出,文字通俗易懂,可供从事水工隧洞设计的工程技术人员阅读,亦可供水利电力专业院校师生参考。

水工隧洞的设计理论和计算

(第二版)

汪胡桢 原著 顾慰慈 修订

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 31.25印张 709千字

1977年9月初版

1990年2月第二版 1990年2月北京第二次印刷

印数10921—14080册

ISBN 7-120-00937-0/TV·306

定价 20.40 元



原 著 前 言

为了适应从事水利水电工程设计的工程技术人员的需要，我们经过广泛地搜集资料和调查研究，编写了这本《水工隧洞的设计理论和计算》。为了使读者易于理解和掌握本书的内容，我们在阐述一些有关的基本原理时，力求深入浅出，通俗易懂；在推导一些算式时，力求条理分明，便于掌握。同时，为了便于在实践中应用，本书列举了大量的计算例题，以更加具体的方式说明水工隧洞设计计算的方法和步骤。

本书内容较多，对于面临设计任务的读者，建议先读有关水工隧洞总论的第一、二、三等章，然后再根据本单位工程所采用的衬砌形式，选读有关的章节。

有限单元法，是本世纪中叶新发展起来的力学计算方法，是与同时期发展起来的电子计算机相辅而行的。应用这种方法，使得水工隧洞的设计计算更加科学合理，并使精密度很高的计算，可以利用电子计算机迅速地完成。随着我国国民经济的迅速发展，电子计算机在水利水电方面的应用已日益广泛。为此，本书专设一章，比较详细而系统地介绍了有限单元法和电子计算机的应用知识。

由于作者理论水平较低，实践经验不多，书中必然会有一些缺点和错误，热诚地欢迎读者批评、指正。

作 者

1976年9月

修 订 说 明

本书自1977年9月第一版问世以来,受到了广大读者的欢迎和爱护,同时也对本书提出了希望和建议,这是作者十分感谢的。

在本书出版10多年的时间里,通过实际使用,也发现了第一版中所存在的问题和不妥之处,同时由于科学技术的迅速发展,感觉到有必要对原书进行全面修订。

修订版基本上保持了本书第一版的结构体系,但考虑到原书中水工隧洞的分叉段衬砌一章的计算方法尚不够成熟,故在修订版中删去了这一章。

修订版除对第一版中各章节进行了全面修订之外,对第二章、第十一章、第十二章和第十四章(即第一版的第十五章)进行了改写,对第四章、第五章、第九章和第十五章(即第一版的第十六章)中的有关节次,作了较大的修改。对全书中的计算用表和全部计算例题,均按法定计量制进行了修订和改写。由于水工隧洞的喷锚衬砌是近几十年内发展起来的一项新技术,并已成功地应用在国内外的许多水工隧洞上。因此,在本书的修订版中增加了隧洞喷锚衬砌一章,以供读者参考。

本书中所讲述的水工隧洞衬砌的配筋计算,是以《混凝土结构设计规范 TJ10-74》和《水工钢筋混凝土结构设计规范SDJ20-78》为依据的。但考虑到《混凝土结构设计规范 TJ10-74》(简称现行规范)目前正在进行修订,修订后的新规范称国家标准《混凝土结构设计规范》(简称新规范),估计《水工钢筋混凝土结构设计规范SDJ20-78》也将随之进行修订。新规范在结构基本计算原则、材料的强度、混凝土的强度分级、构件断面的强度计算公式、裂缝的控制原则、裂缝宽度的计算、符号的采用等方面,均有较大的变动。为了便于读者将现行规范与新规范进行比较,一旦需要,能够掌握新规范的有关规定和配筋计算方法。在本书附录E中,简单地介绍了按新规范进行衬砌配筋计算的方法,配筋的有关规定和数据,混凝土的强度分级,并将现行规范和新规范所采用的有关符号列表对照。

李月素同志参加了第一版的计算校核与部分修订工作。在本书的修订过程中,曾参考了史文田、沈之良等同志对本书第一版所提出的宝贵意见,在此表示深切的谢意。本书稿最后经汪胡桢审阅定稿。

限于时间和作者的水平,书中仍可能存在一些错误和不妥之处,希望读者不吝指正。

本书全部采用了法定计量单位,为了便于读者与原工程单位进行比较和对照,兹将书中所采用的法定计量单位和原工程单位列表于下,以供参考。

名称	法定计量单位	原工程单位	换算关系
力	kN	吨	1吨=9.807kN*
压强、应力、 弹性模量	kPa	吨/米 ²	1吨/米 ² =9.807kPa*
力矩	kNm	吨米	1吨米=9.807kNm
长度	m	米	1米=1m

名称	法定计量单位	原工程单位	换算关系
角度	(°)	度	
弧度	rad	弧度	
面积	m ²	米 ²	1米 ² =1m ²
体积	m ³	米 ³	1米 ³ =1m ³
速度	m/s	米/秒	1米/秒=1m/s
加速度	m/s ²	米/秒 ²	1米/秒 ² =1m/s ²
时间	s, min, d	秒、分、天	
容重	kN/m ³	吨/米 ³	1吨/米 ³ =9.807kN/m ³ *
流量	m ³ /s	米 ³ /秒	1米 ³ /秒=1m ³ /s
弹性抗力	kN/m ³	公斤/厘米 ³	1公斤/厘米 ³ =9807kN/m ³ *
热量	J	卡	1卡=4.1868J
水头	m	米	1米=1m
钢筋面积	cm ²	厘米 ²	1厘米 ² =1cm ²
导热系数	W/m·k	大卡/米·小时·°C	1大卡/米·小时·°C=1.163W/m·k
比热	J/kg·k	大卡/公斤·°C	1大卡/公斤·°C=4186.8J/kg·k

* 在本书的一些计算例题中, 近似地取: 1吨=10kN, 1吨/米²=10kPa, 1吨/米³=10kN/m³, 1吨米=10kNm, 1公斤/厘米³=10³kN/m³。

作 者

1989年3月

目 录

原著前言

修订说明

第一章 水工隧洞的布置和水力计算	1
第一节 水工隧洞的路线	1
第二节 水工隧洞的分类	5
第三节 水工隧洞的进口段	5
第四节 水工隧洞的渐变段	8
第五节 水工隧洞的洞身段	9
第六节 水工隧洞的出口段	17
第七节 水工隧洞的局部水头损失	19
第八节 水工隧洞的水面曲线	20
第九节 高流速泄水隧洞的掺气	25
第二章 衬砌的结构和材料	26
第一节 引言	26
第二节 不同断面形状的隧洞的衬砌	26
第三节 衬砌的厚度	28
第四节 混凝土和钢筋混凝土衬砌设计的有关数据和规定	29
第五节 混凝土衬砌的强度计算	34
第六节 钢筋混凝土衬砌的配筋计算及抗裂计算	35
第七节 砖石衬砌的设计	43
第八节 衬砌的细部构造	45
第三章 水工隧洞的荷载	48
第一节 引言	48
第二节 山岩压力	49
第三节 地层弹性抗力	52
第四节 地层摩擦力	54
第五节 衬砌自重	54
第六节 均匀内水压力	55
第七节 满洞水压力	56
第八节 外水压力	56
第九节 灌浆压力	57
第十节 温度应力	58
第十一节 地震荷载	62
第四章 无压隧洞——洞顶拱衬砌	67
第一节 引言	67
第二节 弹性中心	67
第三节 变位的相容	68

第四节 拱座变位的影响	70
第五节 拱座的变位	70
第六节 拱座地层反力和变位	71
第七节 由 X_1 和 X_2 对拱座引起的变位	71
第八节 由荷载对拱座引起的变位	72
第九节 刚臂的长度	72
第十节 未知力 X_1 和 X_2	73
第十一节 形变位的计算	73
第十二节 载变位的计算	74
第十三节 由荷载引起的弯矩 M_p 和轴向力 N_p	75
第十四节 由地层弹性抗力引起的 M_p	75
第十五节 衬砌的强度计算	76
第十六节 计算例题	77
第十七节 等厚度的洞顶拱	84
第十八节 厚度按余弦规则变化的洞顶拱	85
第五章 无压隧洞——封闭式圈门形衬砌	86
第一节 引言	86
第二节 衬砌的变位法分析	86
第三节 杆件的形常数	88
第四节 杆件的载常数	93
第五节 结点的变位	101
第六节 杆端的弯矩和剪力	103
第七节 杆件的内力	103
第八节 计算例题	104
第六章 无压隧洞——马蹄形衬砌	121
第一节 引言	121
第二节 变位平衡方程	121
第三节 拱座变位的影响	122
第四节 拱座的变位	122
第五节 由 X_1 、 X_2 对拱座引起的变位	123
第六节 由荷载 P 对拱座引起的变位	124
第七节 刚臂的长度	124
第八节 未知力 X_1 和 X_2	124
第九节 形变位的计算	125
第十节 载变位的计算	125
第十一节 由荷载引起的弯矩	125
第十二节 由地层弹性抗力和摩擦力引起的变位	126
第十三节 δ_n 的计算	128
第十四节 高壁拱的内力	129
第十五节 底拱的内力	129

第十六节 计算例题	129
第七章 无压隧洞——重力墙式衬砌	151
第一节 引言	151
第二节 边墙上的荷载	152
第三节 边墙底的倾角	153
第四节 拱座的角变位	154
第五节 拱圈的静力分析	155
第六节 拱圈计算的校核	155
第七节 拱圈的内力	156
第八节 边墙的内力	156
第九节 边墙底部水平位移的校核	157
第十节 底板的内力	157
第十一节 计算例题	157
第八章 无压隧洞——偏压衬砌	168
第一节 引言	168
第二节 边墙上的荷载	168
第三节 边墙的角变位	171
第四节 拱座受单位力作用时的变位	171
第五节 临空边墙受力后的角变位	173
第六节 拱顶的内力	174
第七节 拱圈的内力	176
第八节 校核计算	177
第九节 边墙底的压强	177
第十节 底板的内力	177
第十一节 计算例题	177
第九章 无压隧洞——定型衬砌	200
第一节 引言	200
第二节 计算公式	201
第三节 计算例题	207
第四节 完建时期衬砌的计算	207
第五节 通水时期衬砌的计算	214
第十章 无压隧洞——半圆拱等厚度的圈门形衬砌	220
第一节 引言	220
第二节 未知作用力 X_1 与 X_2	220
第三节 衬砌的内力	221
第四节 校核公式	221
第五节 刚臂长度	222
第六节 形常数	223
第七节 边墙顶点的单位变位	224
第八节 载常数	224

第九节 拱座处的角、线变位	241
第十节 衬砌各断面的内力	242
第十一节 底板的内力	247
第十二节 计算例题	247
第十一章 圆形隧洞在内水压力作用下的衬砌计算	257
第一节 引言	257
第二节 混凝土衬砌	257
第三节 混凝土衬砌的计算例题	259
第四节 钢筋混凝土衬砌	260
第五节 钢筋混凝土衬砌的计算例题	264
第十二章 圆形隧洞在组合荷载作用下的衬砌计算	267
第一节 引言	267
第二节 内水压力作用下衬砌的轴向力	267
第三节 山岩压力对衬砌产生的内力	268
第四节 由衬砌自重对衬砌引起的内力	269
第五节 无水头满洞水压力对衬砌产生的内力	269
第六节 地下水压力对衬砌产生的内力	270
第七节 衬砌断面和钢筋的设计	271
第八节 计算例题	273
第十三章 有压圆隧洞——组合衬砌	277
第一节 引言	277
第二节 组合衬砌的材料与其性能	278
第三节 组合衬砌的计算原理	280
第四节 计算例题	282
第五节 钢板衬砌近似设计法	284
第六节 围岩里的应力	288
第十四章 新型水工隧洞及渐变段衬砌的内力计算	293
第一节 引言	293
第二节 内力计算的原理	294
第三节 刚臂的长度	296
第四节 形常数 δ_{11} 和 δ_{12}	296
第五节 均布垂直山岩压力引起的内力	297
第六节 衬砌自重引起的内力	299
第七节 满洞水重作用下衬砌各截面的内力	301
第八节 反力引起的内力	304
第九节 垂直山岩压力、衬砌自重、满洞水重和它们的反力对衬砌截面所产生的内力	307
第十节 内水压力引起的内力	311
第十一节 侧向土石压力作用下衬砌各截面的内力	317
第十二节 计算例题	318
第十五章 水工隧洞的有限单元分析法	327

第一节 引言	327
第二节 连续体的离散化	327
第三节 结点力和结点变位的关系	329
第四节 变位与坐标的关系	330
第五节 单元里任意点的应变和变位的关系	332
第六节 单元里任意点的应力和应变的关系	333
第七节 单元里任意点的应力和变位的关系	334
第八节 结点力和结点变位的关系	335
第九节 结点荷载	337
第十节 结点力与结点荷载的平衡方程	339
第十一节 单元中点的应力	342
第十二节 围岩非均质情况下的计算	344
第十三节 电子计算机的计算程序	349
第十四节 计算[例题I]——无压隧洞	350
第十五节 计算[例题II]——有压隧洞	355
第十六章 水工隧洞的喷锚衬砌	363
第一节 引言	363
第二节 喷锚衬砌的作用	363
第三节 喷锚衬砌的类型及其使用条件	365
第四节 喷锚衬砌的材料	366
第五节 喷混凝土衬砌的计算	369
第六节 锚杆加固的计算	380
第七节 喷混凝土与锚杆组合式衬砌的计算	389
附录A 数值积分	394
附录B 弹性地基梁	396
附录C 弹性地基圆弧梁	406
附录D 线性方程和矩阵代数	410
附录E 水工隧洞衬砌按国家标准《混凝土结构设计规范》设计配筋的方法	436
附录F 工程费的计算	452
附录G 附表	462
表G-1 $F_1 \sim F_4$ 函数值表	462
表G-2 $G_1 \sim G_4$ 和 C 、 D 函数值表	470
表G-3 $\phi_1 \sim \phi_4$ 函数值表	480
表G-4 $\phi_{1,0} \sim \phi_{1,1}$ 函数值表	481
表G-5 $\phi_{1,1} \sim \phi_{1,2}$ 函数值表	481
表G-6 光面圆钢筋的断面积	482
表G-7 α 、 r_0 、 A_0 、 γ_0 系数表	483
表G-8 A_0 与 α 值计算表	484
附录H 铁摩辛柯弹性地基梁公式	485
参考文献	488

第一章 水工隧洞的布置和水力计算

第一节 水工隧洞的路线

水工隧洞是水利枢纽中的一个重要组成部分，它的路线（包括高程）必须与水利枢纽的建设任务协调一致，同时还必须和周围环境及自然条件（如地形、地质、水文、水文地质、施工条件等）相适应，最后通过几个可能方案的技术经济比较来选定。

在选择路线与进口高程时，必须考虑以下事项：

（1）在平面布置上要使路线最短最直。在纵剖面上要使隧洞洞顶以上有足够的岩体厚度，即埋置深度，这样才能利用岩体减压拱的作用，以减小山岩压力，并能充分利用围岩的弹性抗力，达到减小衬砌厚度的目的。对于有压隧洞，洞身部位的最小覆盖厚度一般按洞内静水压力小于洞顶以上围岩重量的要求来确定。

（2）水工隧洞穿过的山体，最好是坚固系数较高、节理间距较大的岩体。路线最好与岩层层面、构造断裂面、主要软弱带等有较大的夹角。在整体的块状结构的岩体中，其夹角不宜小于 30° 。在层状岩体中，特别是层间结合疏松的高倾角薄岩层，其夹角不宜小于 45° 。路线最好避开严重的断层破碎带，避开地下水丰富的地区，避开旧矿洞与软弱的矿脉，以减少施工中的困难。当地质方面的缺点无法避免时，可以通过结构设计或施工措施来加以克服，但这就使建设所需的费用增加和时间延长。

（3）隧洞路线在平面上不能是直线时，则应使插入的曲线段越少越好。曲线段的曲率半径必须超过洞径（或洞宽）的5倍，转角不宜超过 60° 。曲线段的首尾部分应设置直线段，其长度不宜小于5倍洞径（或洞宽）。高速有压隧洞在平面上采用曲线布置时，其弯曲半径和转角应通过试验来确定。高速无压隧洞，在平面上应尽量避免设置曲线。

洞身段如设置竖曲线时，低流速有压隧洞的竖曲线半径一般不宜小于2倍洞径（或洞宽），低流速无压隧洞一般不宜小于5倍洞径（或洞宽）；高流速隧洞的竖曲线，其型式和半径应通过水工模型试验确定，以免产生汽蚀等破坏因素。

如果设有支洞，则应选择合适的分岔角。从水力学方面来看，分岔角越小，流态越好。从结构上看，过小的分岔角使岔尖过窄，两洞间岩壁较薄，对结构强度不利。根据已建工程的经验，主支洞的分岔角宜在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 范围内选取。

（4）隧洞的进口处一般需布置闸门，出口处根据需要布置调压井、消能设备等。因此，在选择进出口的位置时，对地形、地质条件，必须作周密考虑。进口位置最好放置在水库库面宽广的山包凸出的岸边，以免进水时在水面造成落差。进口的位置最好选择在悬崖、陡坡覆盖土不会大量滑坍的岸边处，以便施工时很快能够安全进洞；避免将进口选择在山体及山麓堆积物不稳定而容易滑坡的地区。如果进口处是缓坡地形，则进口后面很长一段隧洞的埋置深度势必小于3倍洞宽，衬砌因受力过大而造价增高。尤其应避免把这段

洞身建成明渠，致使两侧必须采用高峻的岸坡或挡土墙，经常受到坠石、坍塌的威胁。为了选择较为有利的进洞地形地质条件，宁可延长一些洞线。进出口方向以与山坡方向交角较大为宜。

(5) 水工隧洞的纵坡应满足水力条件、运行和维修要求，并应考虑施工的方便。纵坡一般应大于1‰，以便施工或检修时排出积水。隧洞沿程的纵坡不宜变化过多，不宜设置平坡和反坡，以免施工和检修时洞内积水，给维修造成困难。如果不得已必须插入反坡段时，则应在马鞍底设置排水廊道和排水阀，以泄放积水，在马鞍顶设通气孔或阀，以便排放该处存积的空气。

有压隧洞在最不利的条件下运行时，在其立面上应使全线洞顶以上的压力余幅不小于2 m。

斜井的坡度，从施工方面着想，不宜大于45°。如果再陡，可考虑建成竖井。斜井应设在坚固的岩体里，有足够的覆盖层，以免因渗漏而造成滑坡事故。

(6) 隧洞的进口高程应根据水源的水位变化情况确定（将在第三节里详述）。隧洞的进出口应与水利枢纽中其它建筑物保持一定距离，以防用爆破方法开挖时其它建筑物受到损害，以及施工场地互相干扰。如果水库所建的坝是土坝或堆石坝，则进口应距离坝坡50m以上，出口应距离坝坡100m以上，以免水流冲刷坝坡。隧洞进出口水流是否对环境产生影响最好在事前做水工模型试验加以验证。

(7) 对于长隧洞，每隔500m左右应设置直井或旁洞，以便增加工作面，加快施工进度，并便利出碴。直井应利用山顶低洼的地方，旁洞应利用接近山坡的地方。

(8) 如流量很大，需要的洞宽超过10~15m或更大，以及地质条件不利，难以开挖大断面的隧洞时，须采用两个或两个以上的平行隧洞。隧洞间应保持一定距离，此距离叫岩柱宽度。岩柱宽度应按岩体性状、隧洞的压力水头、布置上的需要、隧洞横断面的尺寸、施工爆破产生的影响和运行条件而定，一般不小于2倍洞径（或洞宽）。在有条件的情况下，最好用有限单元法或光弹性试验求出岩柱中的岩石应力，据此而确定。在分析时应考虑到邻洞的爆破力。平行隧洞可按需用水量的逐步扩大分期兴建。有条件时最好采用隧洞挖掘机进行施工，以免岩体被爆破所损害。

(9) 当隧洞路线经过山坡时，如果岩层走向与山坡相似，并且岩层破碎，则隧洞衬砌将因受到偏压作用而增加造价。如有这种情形，应尽量将隧洞路线向山体深处移动。建筑在山坡里的隧洞衬砌应保证不漏水，以免地层被水浸透造成滑坡事故。

每一个初步方案均应用平面图和纵剖面图表示，并作出费用估计。平面图中要表示出地形、隧洞与其它建筑物的关系、进出口位置、闸门位置、施工旁洞或直井、堆碴地点等；纵剖面图中应表示出地质构造、断层、破碎带及其它地质特点，以及进出口和闸门等位置、底坡的坡率等。在纵剖面图的下面，应附说明表。说明表应按隧洞纵向长度列出逐段的岩体坚固系数、弹性抗力系数（根据钻孔资料和导坑试验结果）、洞底高程、衬砌形式等。图1-1为某一实际工程所编制的隧洞设计图。

在费用估计中，工程数量可按拟定的坑道断面进行估计。各方案中共同的工程项目，如闸门等，可酌定费用的近似数目，列入费用估计中。

表 1-1

岩 块 的 物 理 力 学 性 质

组成岩体的岩石		容 重 (10kN/m ³)	吸 水 量 (%)	弹 性 模 量 E (10 ³ kPa)	泊 松 比 ν	抗 压 强 度 (10 ³ kPa)	抗 拉 强 度 (10 ³ kPa)	弯 曲 时 抗 拉 强 度 (10 ³ kPa)	抗 剪 强 度 (10 ³ kPa)	内 摩 擦 角 ϕ (度)
火 成 岩	花 岗 岩	2.50~2.75	0.1~2.0	300~700	0.2~0.125	1200~2500	40~70	100~200	50~80	45~60
	辉 长 岩	2.92~3.05	2~5	600~1000	0.2~0.125	1500~2000	50~80	100~220	40~85	
	流 纹 岩	2.45~2.60	0.4~4.0	100~200	0.2~0.1	800~1600	50~90	100~220	40~110	
	安 山 岩	2.30~2.75	0.2~8.0	120~150	0.2~0.11	400~3200	50~110	130~250	50~120	
	玄 武 岩	2.75~3.00	0.2~1.5	200~1000	0.2~0.14	800~4200	60~120	140~260	50~130	50~55
	辉 绿 岩	2.90~3.10	0.3~0.7	300~900	0.2~0.125	1200~2500	60~130	120~260	60~100	
	粗 晶 玄 武 岩	3.00~3.05	0.1~0.5	800~1100	0.25	2000~2500	150~350		250~600	55~60
	英 安 岩	2.50~2.75	0.5~5.0	80~180	0.2~0.09	800~1600	30~80	90~200	30~100	
	凝 灰 岩	1.30~2.20	8~35	—	0.2~0.1	50~600	5~45	30~80	10~40	
	闪 长 岩			700~1000	0.25	1800~3000	150~300			
沉 积 岩	砾 岩	2.10~2.50	1~8	150~170	0.2~0.07	100~1200	15~60	40~160	20~60	
	坚 固 石 灰 岩	2.6~2.85	0.1~0.8	500~800	0.2~0.1	500~2000	40~70	50~150	30~70	35~50
	石 灰 岩	2.20~2.60		100~800		300~2000				
	伟 晶 石 灰 岩	1.55~2.30	2~16		0.125	40~600	10~35	25~70	50~150	
	白 云 岩	2.20~2.70	0.2~4	400~800	0.36	400~840	800~2500	150~250		
	页 岩	2.45~2.72	0.2~0.4	100~350	0.20~0.26	100~1000	20~100	30~100		15~30
变 质 岩	砂 岩	2.0~2.6		50~500		200~170	40~250		80~400	35~50
	大 理 岩	2.65~2.75	0.1~0.5	600~800	0.2~0.11	500~1800	50~80	80~120	35~80	35~50
	片 麻 岩	2.60~2.78	1~5	250~600	0.2~0.09	800~2500	40~70	80~200	30~70	
	石 英 岩	2.65		1500~3000		100~300			200~300	50~60
	泥 板	2.60~2.70		1000~2000		70~200				

岩体坚固系数应根据当地情况或试验室试验结果来确定。根据一般经验,其值可取为岩块抗压强度的1%。岩石的物理和力学性质的变化范围,可参考表1-1所列。

第二节 水工隧洞的分类

水工隧洞可按其用途和工作时的水力条件来分类。

1. 按隧洞的用途

按照水工隧洞的用途,可分为:

(1) 发电引水隧洞:从水库通过隧洞引水入厂房,进行发电;或者利用隧洞穿过山岩从河道引水进厂房进行发电。

(2) 灌溉或城市供水的输水隧洞:从水库或河道引水,通过隧洞输往下游农田进行灌溉;或者输往下游城市,供工业及居民用水的需要。

(3) 泄洪隧洞:用以排泄水库的洪水。

(4) 排沙隧洞:在多泥沙的河流上,为了防止水库淤积,利用隧洞泄水冲沙。

(5) 排水隧洞:为了检修水工建筑物,或者由于其它原因需要放空水库时,则利用排水隧洞进行放水。

(6) 施工导流隧洞:在建筑物施工期间用以将河水从建筑物上游泄放到建筑物下游河道中去。

(7) 尾水隧洞:用来排泄水电站发电以后的水量。

按照隧洞工作时的水力条件:

(1) 无压隧洞:隧洞在工作时水流并未充满全部断面,洞内水面距洞顶保留一定的净空。

(2) 有压隧洞:隧洞在工作时水流充满全部断面,并且洞顶存在一定的内水压力。

通常,灌溉和供水隧洞、渠道上的输水隧洞、通航和浮运隧洞等,为无压隧洞;发电引水隧洞为有压隧洞;泄洪隧洞可以是无压隧洞,也可以是有压隧洞。有的隧洞,由于在洞身中部设置高压闸门,闸门后设有通气孔,故闸门上游部分的隧洞为有压隧洞,下游部分为无压隧洞。

在水力计算上,有压隧洞和无压隧洞有着明显的区别。无压隧洞按明渠流计算,有压隧洞按管流计算。

在结构上,一般隧洞都可以分为四段,即进口段、渐变段、洞身段和出口段。兹分别在本章第三节至第六节中讲述。

第三节 水工隧洞的进口段

流入隧洞的水是通过隧洞进口进入的。从水源表面取水的,叫浅水进口,或叫开敞式进口;从水源深处取水的,叫深水进口。深水进口又可以按照进口后洞身水流流态的不同分为两种。如果洞内水流是有压的,则称为深式长管进口;如果洞内水流是无压的,则称

为深式短管进口。

无压隧洞可用浅水进口。如果是引水隧洞，那么，进口的洞顶要比洞前最高水位高，至少要高40cm左右，好让空气进入隧洞，成为自由水面。洞底高程要比最低水位还要低，才能在最低水位时使足够的水流进隧洞。

有压隧洞要用深水进口。引水的深水进口应该设在最低水位以下至少0.5~1.0m，随流量而定，免得引水时在水面形成旋涡，带进空气，并增加进口处的水头损失。洞口应该比将来泥沙淤积面高些，以免引水时带进泥沙。

采用浅水或深水进口，究竟凭什么标准来决定呢？以从水库取水为例，首先要搞清楚水文账，就是在一定保证率之下，一年中各个月份里究竟有多少可靠的来水量、库周可能有多少地下水补给量、以及多少最可能的降雨量。从库水位最低月起，根据最低水位时水库面积，估计到月底时这些增加的水量将使库水位增加多少。再估计每个月份里的引水量，库面可能有的蒸发量，坝底和库周可能渗掉的水量，计算出到这个月底时这些损耗水量将使库水位降低多少。把估计增加的水位数减去估计降低水位数，如果得正值，就表示库水位在升高；如果得负值，就表示库水位在降落。就这样一个月一个月地进行计算，算出月终时的水位高程，画成一张阶梯形图，叫洞前水位过程线，如图1-2所示。从这张图上，可以一目了然地看出隧洞引水时每个月份的洞前水位，最高水位、最低水位都容易决

定。水库最后淤积面高程也要画入这张图里。有了这张图，进口的高程就可以确定下来。

如果从天然河道里取水，那末要从水文记录里找出一年中一定频率的水位过程线，并因在建筑滚水坝等建筑物后，取水点的水位要被这些建筑物抬高，故应把水位的高度换算为洞前水位的高度。这样得到的洞前水位过程线和图1-2相似，不过它是一条比较光滑的曲线而不是阶梯形的线。根据这张图可定出最高水位和最低水位，最后把进口高程确定下来。

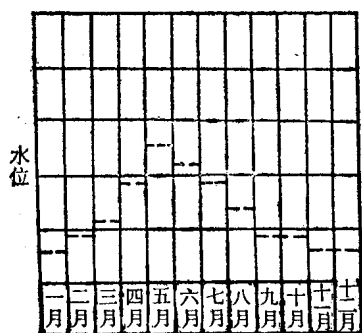


图 1-2 洞前水位过程线

凡是洞前水位过程线中高水位和低水位差别不大的，就表示水位变化范围比较小。这时不论是为了引水或泄水都可采用浅水进口。如果情形相反，水位变化范围较大，那么，只有采用深水进口。

浅水进口有许多好处。比如作用于闸门上的水压力比较小，可以采用露顶而结构简单的闸门。所用闸门启闭机械也比较简单而轻便。进口建筑物的造价比较低，操作和检修都方便而容易。这些好处都不是深水进口所能得到的。尤其是为了灌溉农田而从水库引水的进口，如果采用浅水进口，引取的水是水库表面的水，水温较高，对于农作物的生长是有好处的。

在进口段里一般都要布置一道拦污栅，一道检修闸门，一道工作闸门。深水进口还要加一个通气孔。进口段常采用矩形或圈门形结构，底坡是水平的，长度以能布置闸门为度。有压泄水隧洞的工作闸门往往布置在出口处。