

高水头水工建筑物的 水力计算



苏联C.M.斯里斯基著 毛世民 杨立信译 郑顺炜校订 • 水利电力出版社

高水头水工建筑物的 水力计算

[苏]C.M.斯里斯基著 毛世民 杨立信译 郑顺炜校订

高水头水工建筑物的水力计算
[苏]C.M.斯里斯基著

水利电力出版社

内 容 简 介

本书研究各种高水头水利枢纽泄水建筑物的布置和水力特性,论述高速水流的理论基础及其在计算流速、估算空穴、防范空蚀、计算封闭管道通气所需决策等问题等方面的应用。为了便于读者理解和实际使用,书中推荐了较多的计算方法和公式图表,并附有较多的算例。

本书可供高等院校水工专业的教师和学生参考,也可供水利水电科研和设计人员使用。

С.М.СЛИССКИЙ

Гидравлические Расчеты Высоконапорных

Гидротехнических Сооружений

«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1979

高水头水工建筑物的水力计算

[苏]С.М.斯里斯基著

毛世屏 杨立信译 郑顺祥校订

水利电力出版社出版

(北京三里河路4号)

新华书店北京发行所发行,各埠新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 19印张 430千字

1984年3月第一版 1984年3月北京第一次印刷

印数0001—6820册 定价2.35元

书号 15143·5292

译 者 的 话

本书是高速水流水力学方面的一本专著。内容较丰富，作者有明确的见解和介绍实际使用的方法，并向读者提供了苏联这方面的近况。对从事此项工作的科技工作者，特别是对需要进行此项工作而又接触不多的科技人员，通过它不仅可以充实基础知识，也能得到一些解决工程问题的基本方法。

高速水流水力学还处于探索和发展阶段。国内外发表的论文虽很多，但系统地归类成书的却很少。当前国内外水工建设的趋势是往建高坝发展。最大坝高已达 335 米。百米以上的坝正日益增多。已建、正建和待建的高坝有众多的高速水流问题有待解决。本书的贡献就在于较系统地阐述了其中一部分问题。

本书涉及到高速水流掺气、空蚀、脉动、消能、冲刷及一般水力计算等问题，对动水荷载也略有介绍。但未论述与泄水结构物振动有关的一些必要的基础知识，这不能不引以为憾。

本书有上述提及的优点，但也有不足之处。书中有些观点是值得商榷的，有些方法和资料不一定是恰当的，在翻译过程中已作了一些注释，但从整体来看，这是一部成功的著作。

本书由安徽省水利科学研究所毛世民（1~5、9 章）、南京水利科学研究所杨立信（6~8、10、12 章）、王兴会（11 章）译。南京水利科学研究所柴恭纯（1~5、9 章）、王正泉（6~8、10~12 章）初校。全书最后由水利电力部水利水电规划设计院郑顺炜校订。

安徽省水利科学研究所蒋玉玺及南京水利科学研究所须清华、李葆鉴同志对本译稿提出了宝贵的意见和指导，特此表示感谢。

由于我们水平所限，文中会有不少欠妥和错误之处，恳请读者批评指正。

译 者

序 言

近年来,由于建造高水头水利枢纽,研究高水头建筑物泄流问题的水力学这一分支,得到了迅速发展。设计这类水利枢纽的泄水建筑物时,必须注意高速水流同固体边界和空气介质的互相作用,必须考虑形成驻波和滚波的可能性,可能的局部压降、掺气和空穴现象及它们的后果,以及消能的特点,必须重视封闭管道中无压流和部分有压流的通气等问题。在教科书中对于这类问题涉及不多,而与此同时,高水头泄水建筑物的水力计算问题却大量地散见于论文、学位论文、专著和一些设计导则中。这方面的情报信息是如此之多,以致广大的水工工程师,尤其是水工专业方面大学生在有限时间内不可能对某一问题全面涉猎,更不可能从已有的大量资料中选用所需的最完整、最可靠并且经过实践检验的计算方法。

对于从事高水头泄水建筑物的研究人员和设计人员,这本教学参考书不仅能帮助他们运用高水头建筑物水力学方面已有的某些研究成果,还可以使他们获得有关这一问题的现状、理论基础和各种解答的可靠程度等方面的概念。由于题材太广,不可能对问题的发展历史,所研究的所有解答的理论基础作深入细致的论述,也不可能阐述不同作者对同一问题的大量解答。关于这些方面的内容,读者可查阅所引证的参考文献。

苏联学者在发展高速水流的计算方法方面作出了很大贡献,本书主要引用他们的研究成果以及在苏联定期召开的水工协调会议论文集上,《水工建设》杂志上,全苏水工科学研究院、国立水工建筑物设计院、全苏给排水、水工建筑及工程水文地质科学研究所、格鲁吉亚动能研究所的研究报告上和国外各种出版物上已发表的材料。

本书首先概述泄水建筑物的各种构造型式,它们的水力特性和运用。这些型式,在设计过程中,可作为拟定初步方案的依据。

书中列出的计算例题以及某些参考资料使本书具有实用的性质。虽然在多数情况下,常常针对看来简单的问题叙述计算方法的原理,实践证明,对于大学生来说,还是不易掌握的。

本书尽可能简略地论述许多著名的研究成果,同时也介绍作者本人独创的某些研究成果。

第七章由技术科学博士Л.И.维索茨基教授编写,仅作了文字上的修改。涡流式竖井溢洪道的计算(11-5)由E.B.库兹涅佐娃工程师编写,她也参加了第四章和2-7的编写。

技术科学博士C.B.索科洛夫斯基教授,技术科学副博士П.Е.雷森科校阅了手稿,提出了许多有益的意见;技术科学博士A.Д.阿利特舒利教授和Г.В.西马科夫教授对手稿的个别章节提出了意见,谨向他们表示感谢。

特别要感谢E.B.库兹涅佐娃工程师,她是本书的第一个读者和评论者,没有她的帮助,本书很难出版问世。

欢迎读者对本书提出批评意见,并请读者将意见寄“动力”出版社,该社的地址是:113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10。

作者

目 录

译者的话

序 言

第一章 高水头水利枢纽的泄水建筑物及其水力特性	1
1-1 高水头建筑物与工程水力学在设计中的作用	1
1-2 高水头水利枢纽的泄水建筑物	3
1-3 高水头水利枢纽泄水建筑物的实例	3
1-4 高速水流对建筑物的作用	22
第二章 高水头泄水建筑物水力计算的基本概念	34
2-1 高水头泄水建筑物不同部位上的水流类型	34
2-2 流速和压力的脉动	34
2-3 动水压强	38
2-4 水力摩阻系数	39
2-5 按照管道内表面状况确定 λ	45
2-6 紊流的时均流速分布	46
2-7 起始段	52
2-8 孔口出流的水舌收缩系数	58
第三章 空穴和空蚀	60
3-1 有关空穴和空蚀的概念	60
3-2 临界压力和临界真空度	61
3-3 不平整体的压强损失系数、空穴数、临界空穴数	62
3-4 估算空穴时考虑压力脉动、间歇性空穴	65
3-5 不平整体的临界空穴数	66
3-6 按临界压力和临界空穴数估算空穴	68
3-7 空蚀	69
3-8 防止空蚀的措施	71
3-9 门槽空穴	72
3-10 消能工和分流设备上的空穴	74
第四章 水流掺气和自由水舌掺气	77
4-1 掺气形成的机理和掺气水流的结构	77
4-2 掺气初生的准则	79
4-3 空气沿水深分布的计算	83
4-4 掺气水流水深的初步计算	89
4-5 抛射水舌和自由跌落水舌的掺气	90
第五章 封闭输水管道中水流的掺气和封闭输水管道的通气	92

5-1	封闭输水管道中的空气运动	92
5-2	封闭输水管道的临界水深	94
5-3	封闭输水管道中水流的掺气	95
5-4	封闭输水管道中跃后为有压流时闸后水跃位置的计算	98
5-5	封闭输水管道中不掺气水流自由表面上部的空气流动	101
5-6	无通气管时在被淹没的闸门后面空间的真空度	103
5-7	通气状况对水深的影响	105
第六章	弯道和渐变段中的急流	108
6-1	急流的特性	108
6-2	急流冲击波的形成	113
6-3	陡冲击波	114
6-4	有陡冲击波时自由水面的形状	119
6-5	缓冲击波	120
6-6	用特性线法进行二元急流的计算	123
6-7	收缩段的计算	129
6-8	平底扩展段的计算	140
6-9	急流弯道	144
第七章	具有双曲槽底的结构物的计算	152
7-1	计算方法的理论基础	152
7-2	应用范围、水力计算的步骤	160
7-3	自由面方程的解法	160
7-4	渐变段的计算	161
7-5	弯段(急转弯段)和扭鼻坎的计算	163
7-6	扩散挑流坎的计算	165
7-7	计算技术	166
第八章	高混凝土坝的溢流堰	170
8-1	高重力坝和支墩坝的非真空溢流堰	170
8-2	真空溢流堰	173
8-3	溢流堰与下游河床的衔接	174
8-4	拱坝和连拱坝的溢流堰	179
8-5	溢流堰各部位的防空蚀措施	180
第九章	有压泄水建筑物和泄水道	182
9-1	有压泄水建筑物的泄流能力	182
9-2	有压泄水管的阻力系数和流量系数	186
9-3	有压泄水管弯道段上的水压力和流速沿断面的分布	189
9-4	进口段进水口的体形	196
9-5	有压泄水管的渐变段	204
第十章	虹吸溢洪道	207
10-1	虹吸管的用途	207
10-2	虹吸管的过水能力、过水部分的尺寸	207

10-3 虹吸管的投入和中断设施。虹吸管的工作情况	210
10-4 工作水头的限制	212
第十一章 高水头水利枢纽的河岸泄水建筑物	214
11-1 陡槽	214
11-2 隧洞式泄水建筑物	221
11-3 竖井式溢洪道	225
11-4 花瓣式竖井溢洪道	240
11-5 涡流式竖井溢洪道	242
11-6 侧槽式溢洪道	249
11-7 闸室	263
第十二章 泄水建筑物下泄水流与下游的衔接。高水头泄水建筑物下游的消能和河床冲刷	269
12-1 高水头建筑物上下游的衔接形式和消能方式	269
12-2 消能工	271
12-3 挑流	271
12-4 自由跌落水舌	274
12-5 高水头建筑物下游的局部冲刷计算	275
附录	279
俄中工程和河流名称对照	283
俄中人名对照	286
参考文献	292

第一章

高水头水利枢纽的泄水建筑物及其水力特性

1-1 高水头建筑物与工程水力学在设计中的作用

由于有计划地发展水利事业，已使苏联的水工建设成为一个先进的工业部门，能够有效地解决发展国家生产力过程中所遇到的重大问题。

战前，苏联开发水资源的途径是修建中、低水头的水利枢纽。直到1936年，只建成一座水头超过40米^①的混凝土坝，即卡拉柯苏河上格尔格比尔水电站的重力拱坝，并开始修建额尔齐斯河石山水电站的重力坝，该坝于1959年竣工。

1952年，开始兴建高90米的布赫塔尔明水电站大坝。1953年，着手修建高69米的拉扎努尔拱坝。

近年来，兴建高坝的数量和坝高均有增长：已建成的有马马康、布拉茨克和克拉斯诺雅尔斯克水利枢纽重力坝，其高度分别为57、125和124米，约有20座高土坝的壅水水头超过40米，其中约里河上的塞旺水利枢纽和库拉河上的明格查乌尔水利枢纽的坝高分别为86和80米。近几年来，建成了很多高坝水利枢纽（表1-1）。目前正在修建的坎巴拉金^②和罗贡水利枢纽的水头均超过300米。

根据苏联的设计和依靠苏联的技术援助，许多国家已建成了高坝水利枢纽，其中有埃及的阿斯旺高坝，阿富汗的纳格鲁坝，摩洛哥的曼苏尔—埃达赫比坝和突尼斯的卡斯塞勃坝。

有些国家开始修建高坝的时间比苏联早得多。例如，美国早在1936年就建成了高221米的鲍尔德坝（胡佛坝）。但是，在水工方面，苏联的建设速度居于领先的地位。在已建的和正建的24座200米以上的高坝中，苏联占5座，其中包括世界上最高的坝——罗贡坝。

引水式水利枢纽通常是低水头坝，但在引水式水利枢纽中，水电站压力前池处的泄水建筑物却属于高水头建筑物。此时上下游水位差可能达到相当大的数值。例如，巴克桑河上的巴克桑水电站，其压力前池的泄水陡槽是在水位差98米下工作的，而拉兹丹河上的格尤穆什水利枢纽（塞瓦湖梯级枢纽）的陡槽是在水位差285米以上的情况下工作的。

从设计低水头建筑物转为设计高水头建筑物的实践表明，在大多数情况下工程水力学的水平完全能够满足修建中、低水头建筑物的要求，但不能保证解决高水头建筑物设计中遇到的问题，也不能保证这些建筑物的安全运行。这就促使人们对高速水流在建筑物上的

① 坝的水头按上下游最大水位差计算。坝高以坝顶与坝基最低点的高差计算。水头超过40米（混凝土坝）和50米（土石坝）的水利枢纽和挡水建筑物属于高水头枢纽和建筑物。

② 该水利枢纽未列入表1-1。——译者

表 1-1

苏 联 的 高 坝

水 利 枢 纽	河 流	竣工年份	坝 型	最大静水头 (米)	最大高度 (米)
水 头 超 过 40 米 的 混 凝 土 坝					
英 古 里	英古里河	1978	拱 坝	270	271.5
萨扬舒申斯克	叶尼塞河	修 建 中	重力拱坝	221.9	242
奇尔凯依	苏拉克河	1976	拱 坝	203	233
托克托古尔	纳 伦 河	1976	重 力 坝	180	215
布 列 雅	布列雅河	修 建 中	大 头 坝	128	142
布拉茨克	安加拉河	1966	重 力 坝	106	125
克拉斯诺雅尔斯克	叶尼塞河	1971	重 力 坝	101.3	124
泽 亚	泽 亚 河	1978	大 头 坝	94.3	115
库尔普萨依	纳 伦 河	修 建 中	重 力 坝	93.3	113
安 集 延	卡拉达里亚河	修 建 中	大 头 坝	91	115.5
乌斯特—伊利姆	安加拉河	1975	重 力 坝	89.7	102
基 洛 夫	塔拉斯河	1975	大 头 坝	84	86
鲍 古 昌	安加拉河	修 建 中	重 力 坝	70	87
布赫塔尔明	额尔齐斯河	1966	重 力 坝	67	91
拉扎努尔	里昂尼河	1960	拱 坝	54	69
格尔格比尔	卡拉柯苏河	1936	重力拱坝	52	69.5
马 马 康	马马康河	1963	重 力 坝	46.6	58
石 山 口	额尔齐斯河	1959	重 力 坝	41.8	65
普利亚文	达乌加瓦河	1966	河床式厂 房挡水坝	40	58
水 头 超 过 50 米 的 土 石 坝					
罗 贡	瓦赫什河	修 建 中	土 石 坝	320	335
努 列 克	瓦赫什河	1977	土 石 坝	275	310
查尔瓦克	奇尔奇克河	1972	堆 石 坝	148	168
梅 地 奥	小阿尔马阿金加河	1977	堆 石 坝 (防泥石流)	146.5	146.5
科 雷 马	科雷马河	修 建 中	堆 石 坝	110~115	124
萨尔圣克	捷尔捷尔河	1969	土 坝	116.7	122
塞 旺	约 里 河	1963	土 坝	86	86
斯潘达里扬	沃罗坦河	修 建 中	土 坝	83	89
任 瓦 里	阿拉格维河	修 建 中	卵 石 坝	82	102
帕奇卡马尔	古扎尔达里亚河	1969	土 坝	73	73
明格查乌尔	库 拉 河	1954	土 坝	69	80
维 柳 伊	维柳伊河	1970	土 石 坝	68	75
阿尔帕恰伊	阿尔帕恰伊河	修 建 中	卵 石 坝	67.5	67.5
谢列勃梁 1	沃罗尼雅河	1971	土 石 坝	65	78
乌斯季—汉泰伊卡	汉泰伊卡河	1972	堆 石 坝	54	67.5
谢列勃梁 2	沃罗尼雅河	1972	土 石 坝	50	65

作用特性, 控制急流的方法, 空穴和空蚀, 掺气和水流稳定性等问题进行深入的研究, 并在技术文献中广为阐述。在苏联, 对高速水流领域中工程水力学的工作实行协作, 并为此定期召开协调会议。在全世界水工技术方面, 国际水力学研究协会 (МАГИ) 常就当前水力学中迫切的问题召开会议, 广泛交流这一领域中的研究成果。国际大坝委员会 (СИГБ) 则研究大坝的设计和施工问题, 总结大坝的运行经验。

根据许多科研机构研究的成果,已制定出一些能够避免高速水流对建筑物各构件不利作用的计算方法、建议和结构措施。在解决这些问题时,苏联的水工技术取得了很大的成就。

当前,苏联主要面临着在西伯利亚和中亚细亚的河流上修建大量的高水头水利枢纽的任务,需要进行高速水流的研究,以提高计算的可靠性和制定既安全又经济的设计方案。

1-2 高水头水利枢纽的泄水建筑物

水利枢纽中泄水建筑物的型式、组成和布置取决于设计流量、上下游水位差、枢纽的用途和型式、坝址的地形和地质条件以及运行要求。

在确定泄水建筑物的泄流能力时,应考虑所有过水建筑物(包括船闸、水电站的水轮机等)共同宣泄洪水。如果运行上需要,泄水建筑物还应保证向下游排沙和宣泄漂浮物。

泄水建筑物按水力学特征可分为有压式和无压式(视水道沿程有无自由水面而定);按结构型式可分为开敞式和封闭式(闭合的横断面);按布置部位可分为坝身式和河岸式(位于坝体外)。

坝身式泄水建筑物可以是表孔(溢流堰)或深孔。在大多数情况下,高水头混凝土坝的溢洪道都做成溢流堰。它的优点是:坝体不受孔洞削弱,可以不设闸门或使闸门工作条件较为简单,且能宣泄水库中的漂浮物。

混凝土坝坝体中的深孔泄水建筑物(泄水道和泄水孔)是圆形或矩形封闭断面泄水道。深孔泄水道中的水流可以沿程都是有压流,也可以靠上游的某一段是有压流。在必须从水库深部放水(例如灌溉用水或放空水库),以及在大坝施工期间水库蓄水过程中进行施工导流时,可以采用深孔泄水建筑物。

河岸式泄水建筑物用于土石坝以及位于峡谷中的混凝土坝的水利枢纽上,通常做成陡槽或无压的、全部有压的或部分有压的泄洪隧洞。

1-3 高水头水利枢纽泄水建筑物的实例●

一、坝身泄水建筑物

混凝土高坝的泄水建筑物通常做成非真空剖面溢流堰的型式,其末端设置挑流鼻坎,将下泄水流抛出。在平面上,堰顶可以是直线形、折线形(在拱坝和重力拱坝上装闸门的溢流堰)或曲线形的(无闸门的连拱坝及拱坝)。

溢流坝的实例如图1-1所示。克拉斯诺雅尔斯克水利枢纽的溢流坝(图1-1,a)做成非真空堰顶,下泄水流与直线形溢流面平顺衔接,经挑流鼻坎被抛到100米远处。坝上有7个

● 国外泄水建筑物的实例主要引自参考文献[118]。

$b \times H = 25.0 \times 10.0$ 米的溢流孔 (b ——孔的净宽, H ——正常蓄水位时的堰顶水头)。当上游为超高水位时, 水头增大到11米, 堰顶单宽流量达到70 米³/秒·米, 而鼻坎处达到65 米³/秒·米。

法国蒙特涅尔水电站重力拱坝的溢流堰 (图1-1, 6)) 有两个11.0×9.0 米的溢流孔, 当堰上水头为14.0米时, 堰顶单宽流量为114 米³/秒·米。水流从鼻坎抛出的距离达170米。

在西班牙圣·埃斯特班重力拱坝的溢流堰 (图1-1, 8))。堰顶处, 设有6 扇高6.2 米的弧形门, 孔口宽15 米。溢流堰在平面上收缩, 消力池的首部宽55 米。消力池中的单宽流量为82 米³/秒·米。该坝溢流堰在闸门全开时与普通溢流堰一样, 但当闸门部分开启时孔口成为有压的。这种方案可以减小闸门的尺寸。

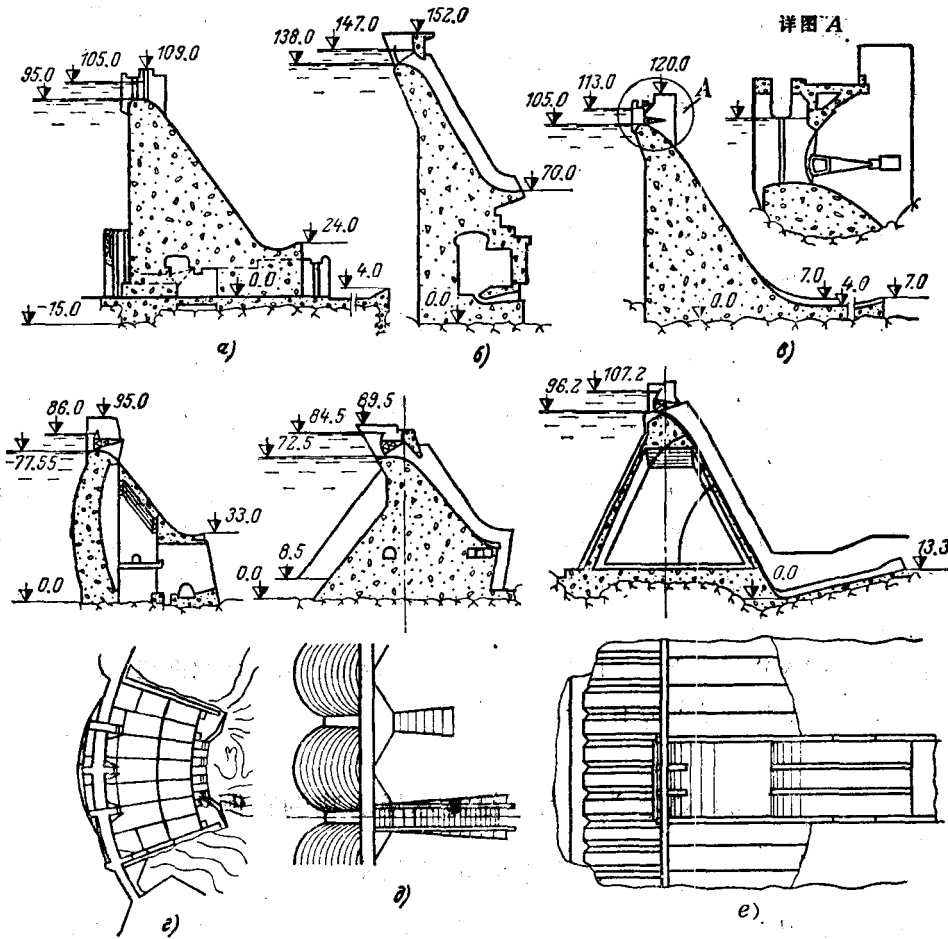


图 1-1 溢流坝的典型剖面

葡萄牙皮柯脱水利枢纽采用一种新颖的方案 (图1-1, 2))。溢流面板支承在坝体下游处专设的支墩上, 溢流堰有四个20.0×8.6 米的孔口, 非常洪水位时, 堰顶水头达15.0 米, 单宽流量达130 米³/秒·米, 鼻坎上的单宽流量为173 米³/秒·米。

在高的连拱坝上, 溢流堰可与重力式支墩结合在一起, 例如法国格朗瓦尔坝 (图1-1,

0))就是这样布置的,其溢流孔口尺寸为 10.0×13.0 米。

日本的井川坝(图1-1, e))有三个 11.0×11.0 米的孔口。孔口下游溢流面板支承在三个头部宽度各为14.0米的支墩上。

为了在洪水期间泄洪和为农业灌溉或削减洪峰泄放库水,在混凝土坝坝体内设置深式泄水管道。通过它的水流,沿管长可以部分呈压力流,亦可全程呈压力流,水流出泄水管后,一般汇入溢流坝面下泄。

具有深式泄水道的混凝土坝的实例见图1-2。日本的绿川坝(图1-2, a))有两个溢流孔口,并在孔口之间设有三个深孔。流经底孔的水流,通过设有弧形闸门的压力短管到达出口,然后汇入溢流堰面下泄。

日本高山坝(图1-2, b))除设有六个溢流孔外,还设有四个与溢流堰面衔接的深式压力泄水短管,在管道出口处用弧形闸门封闭。

美国利贝坝(图1-2, c))有两孔溢流堰和三个深式泄水孔。此坝与绿川坝和高山坝不同,在该深孔的压力短管后面没有接溢流堰面,而是接一段倾斜的无压泄水管道。

美国底特律坝(图1-2, d))的泄水建筑物布置成三层,一层为溢流堰,两层为深式泄水孔。下层深孔用于施工导流。当水库蓄水到上层深孔时,即用混凝土将下层深孔封堵。泄水管的孔口用 1.73×3.05 米的平面闸门封闭。当溢流堰和上层深孔同时过水时,下泄水流在溢流坝面上汇合。

在美国夏斯塔坝(图1-2, e))的坝体内,埋设了由直径为2.6米的钢管,组成的多层深式泄水道。

萨扬舒申斯克水电站(图1-2, f))是不设溢流堰和河岸溢洪道、仅有深式泄水道的水利枢纽的一个例子。该坝设有三层深式泄水道,其中下面两层是临时泄水建筑物。水流从11个永久性深式泄水道流入平面上收缩的消力池。消力池的首端宽123米,末端宽97米。总流量 $13500 \text{米}^3/\text{秒}$ 。消力池首部的单宽流量约为 $110 \text{米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$,海漫上的单宽流量为 $140 \text{米}^3/\text{秒} \cdot \text{米}$ 。

在图1-2, g)上,列出了葡萄牙卡斯特洛·杜·波德重力拱坝的有压段。该坝高115米,泄水孔出口用 14×10 米的弧形闸门封闭。为了在孔口全开时保持有压流状态,出口的宽度小于堰顶处泄水道的宽度。

具有深式泄水道的拱坝见图1-3。安哥拉的坎本贝坝(图1-3, a))有七个布置在上部的压力泄水孔。其出口尺寸为 8.0×10.0 米。主闸门处的孔口底坎位于正常蓄水位以下25.0米。

在美国的邦达莱拱坝上(图1-3, b)),设有七个深式泄水孔,其出口尺寸为 5.0×6.4 米。孔口底坎位于正常蓄水位以下61米。在法国圣·克鲁阿拱坝(图1-3, c))的孔口底坎位于正常蓄水位以下约82.0米。共有两个泄水孔,出口断面尺寸为 4.5×4.0 米。在泄水管道的上游面设有履带式事故检修闸门。

在这些由拱坝(图1-3, a), b), c))组成的水利枢纽中,没有设置其他泄水建筑物。

在西班牙巴埃斯水利枢纽(图1-3, d))上,除设置深式泄水管外,管后接陡槽。深式泄水管的直径为2.5米,闸门设在管道出口,承受约75米水头。其后接带鼻坎的短陡槽。

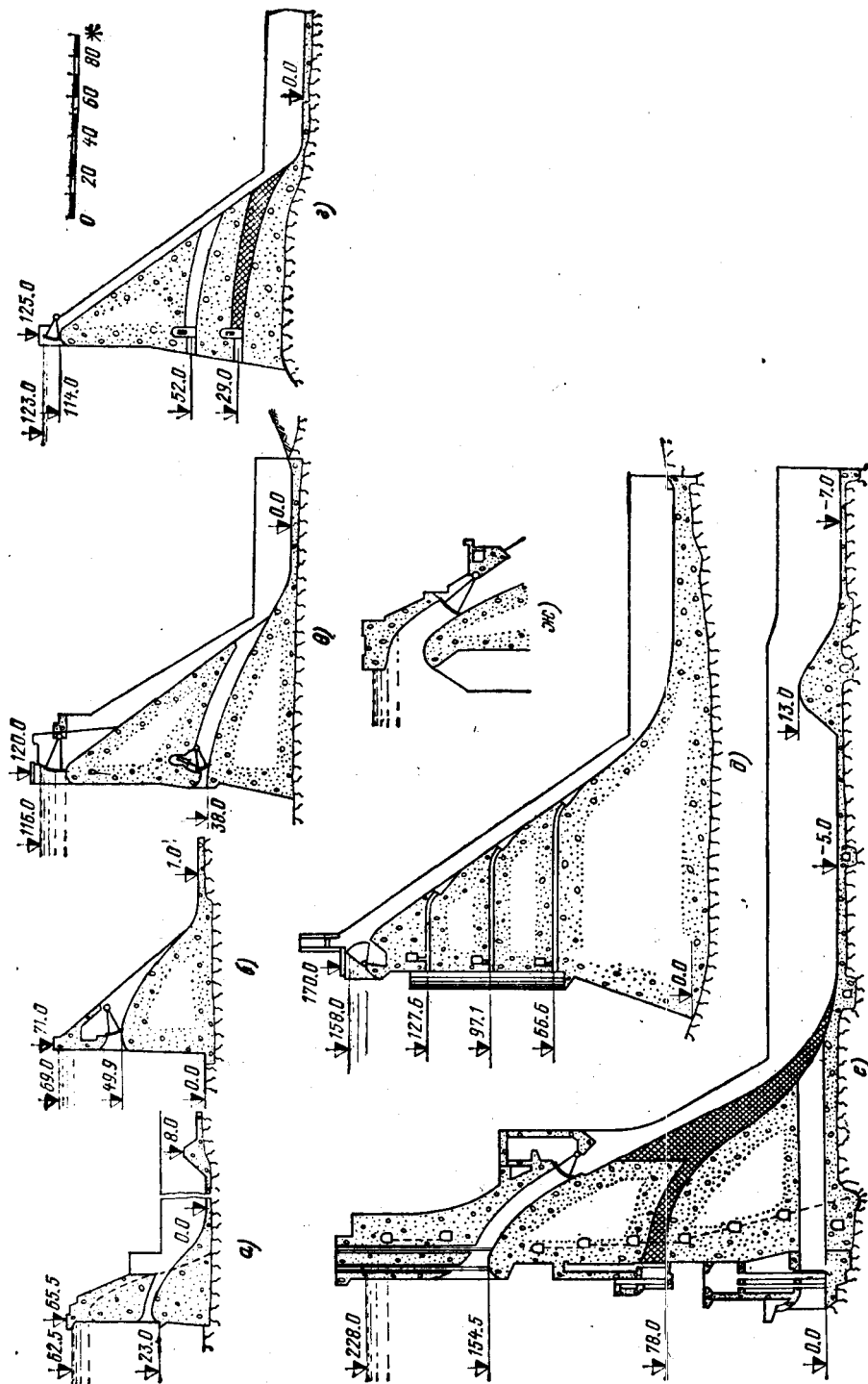


图 1-2 设有深式泄水道的混凝土坝

英古里水电站拱坝（图1-3，*б*）的一个比较方案是设置多层泄水建筑物。除（表层）●溢流堰和（中层）泄水管外，还设有四个直径为5米的圆形深层压力泄水管，其出口断面的净直径为4.5米。

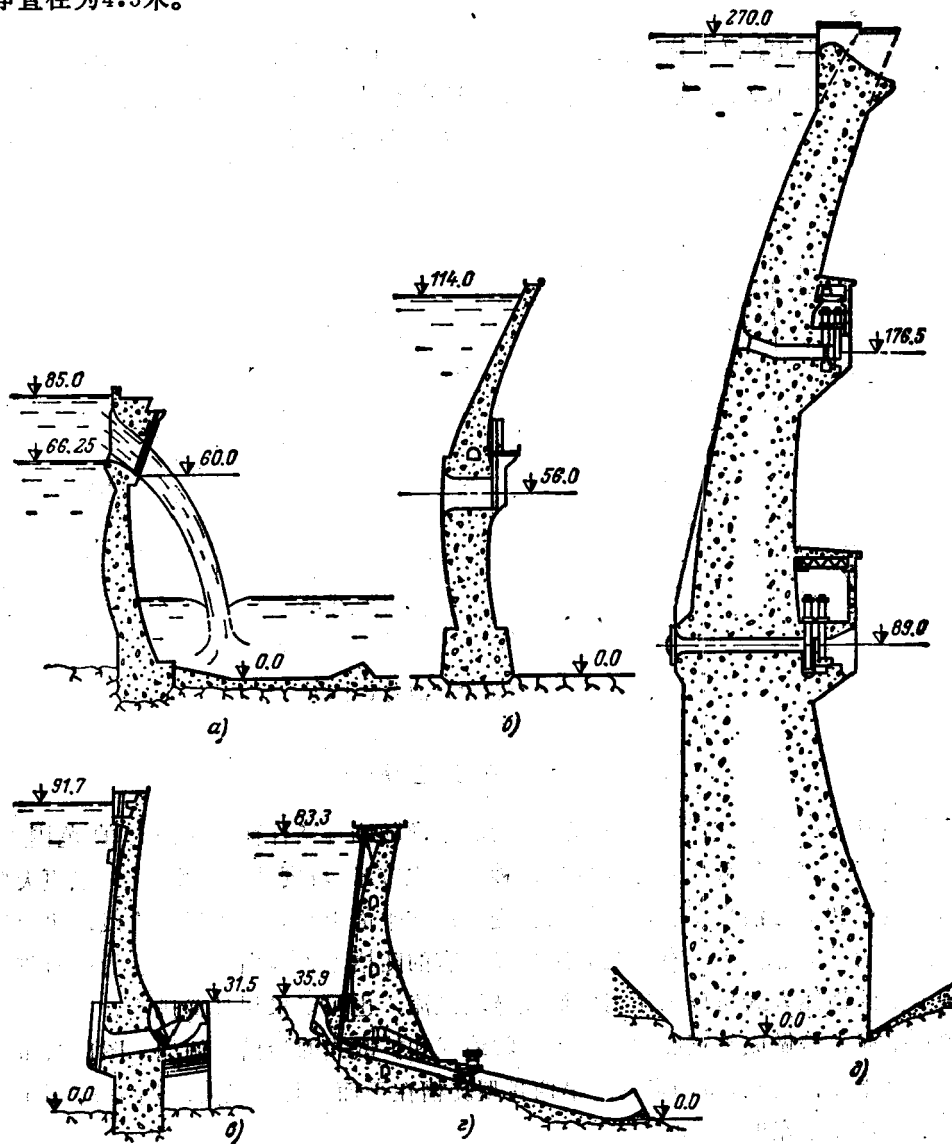


图 1-3 设有深式泄水道的拱坝

在混凝土高坝中很少采用虹吸式溢洪道。西德的奥克尔拱坝，高73米，坝上的虹吸溢洪道是由四条管道一组，共两组管道构成的，管道的横断面高0.9米，在出口处断面高度缩到0.5米（图1-4，*а*）。出口面积为喉部断面面积的一半，这样，当虹吸管总水头为22米时，可以保证整个管道为有压流。两组虹吸管的泄流量为152米³/秒。

● 加注层次以避免中、深层混淆。——译者

雷特黑里赫斯博坦坝的虹吸溢洪道（图1-4, 6）^[183]由四条横断面高度为1.2米的管道组成，其中两条管道的宽度为3.5米，另两条为1.75米。虹吸管的水头为12米，泄流量为110.0米³/秒。

葡萄牙高110米的蒙福尔特拱坝的虹吸溢洪道（图1-4, 8）在13米水头下工作，虹吸管顶部断面的高度为0.9米。它的下部有反坡，这样不设挑流鼻坎就能保证把虹吸管充满。

图1-4, 2)为苏格兰鲁布里赫坝的虹吸溢洪道。设一组四条虹吸管，宣泄流量为68米³/秒。

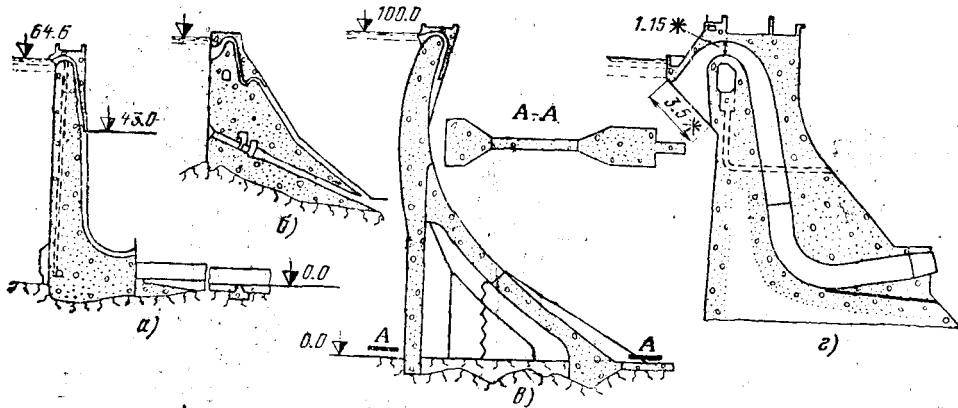


图 1-4 设有虹吸溢洪道的混凝土坝

二、河岸式泄水建筑物

陡槽是最常用的河岸式泄水建筑物。陡槽的参数随当地条件而在相当大的范围内变化：它的泄流能力可从每秒几立方米变到每秒数千立方米；坡度从几度变到45°或更大些；有的陡槽的坡度和宽度沿程不变，有的沿程变化，在平面上其轴线可以是直线，也可以是曲线；有的陡槽是天然糙率，有的是人工加糙；有的陡槽不设纵向导墙，有的则有纵向导墙。陡槽下游的消能方式可以采用消力池或鼻坎挑流，也可以采用悬臂挑流。

陡槽在平面上常做成等宽度的，但也有收缩式和扩散式的陡槽。例如，图1-5, a)上的陡槽是从64米宽扩大到121.9米的。墨西哥型陡槽在平面上收缩很大，图1-5, 6)上的陡槽收缩到不足原来宽度的1/4。

在水利枢纽中，本来为宣泄设计流量只需用一条陡槽，但在很多水利枢纽中却采用了两条陡槽，这是因为在有的情况下这样做可以减少工程量，或者是为了改善陡槽的水力条件。希腊洛特霍尔水利枢纽（图1-6, a)）的陡槽布置在两岸并与支墩坝相接，两条陡槽进口段的宽度分别为16.5米和14.0米。因为坝址处两岸岸坡陡峻接近45°，显然，设置一条宽陡槽就要对岸坡进行大量开挖，从而加大了工程量。西班牙昌德里水利枢纽的两条陡槽，宽度均为5米，位于右岸陡峭的山坡上（图1-6, 6)）。枢纽的水头为85米，在每条陡槽的末端处设置扭鼻坎，高出下游水位约50米。陡槽中的单宽流量达60米³/秒·米。

在西班牙阿尔门德罗水利枢纽中，设有两条平行的陡槽（图1-7），每条泄量均为

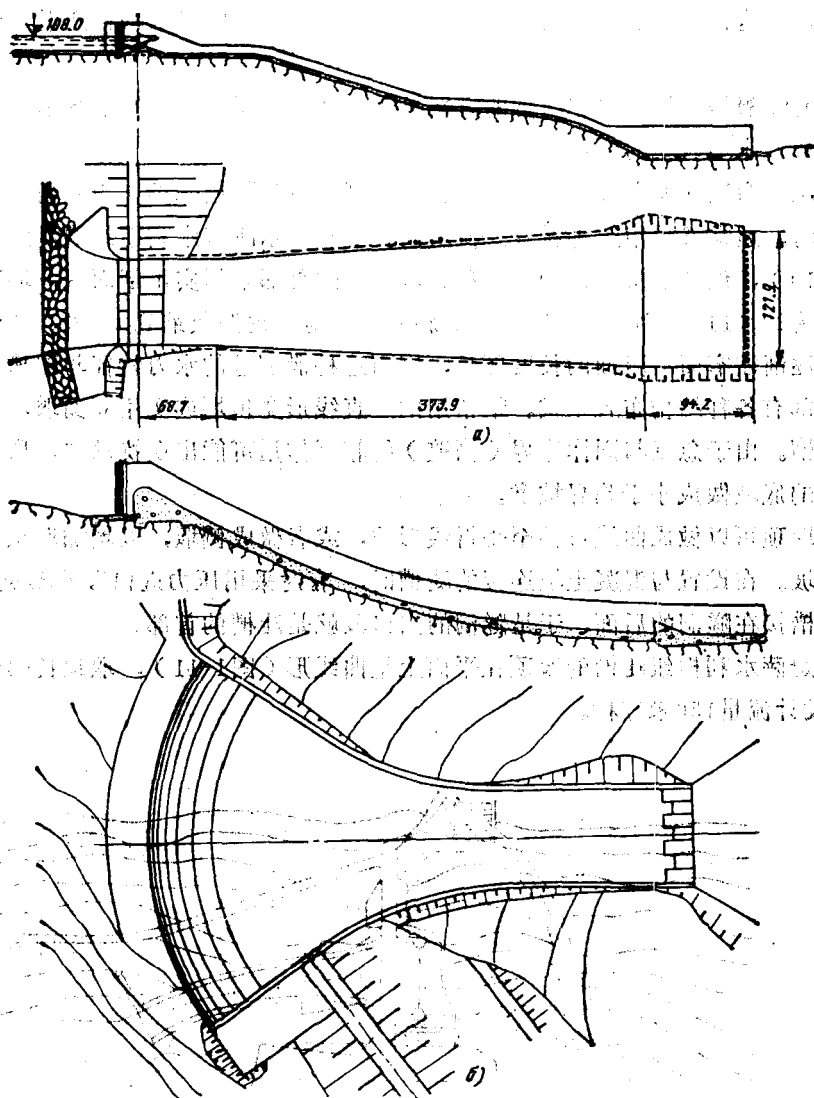


图 1-5 陡槽

a) 印度拉母昌加水利枢纽中在平面上扩散的陡槽, b) 在平面上收缩的墨西哥型陡槽

1500米³/秒。陡槽进口处的孔口宽度都是15.0米, 一条陡槽的挑流鼻坎出水边的高程比另一条陡槽的低6.8米。陡槽在平面上由15米宽收缩到2.5米, 在垂直平面内用扭鼻坎将水流扭向(图1-7, b))。陡槽末端的单宽流量为600米³/秒·米。

墨西哥马尔潘苏水利枢纽有两条并列布置的陡槽(图1-8)。设计流量分别为11100和10650米³/秒。泄量稍小的陡槽是主溢洪道。它设有三个15.0×15.0米的溢流孔, 槽底是变坡的, 末端接一深水消力池, 池底比堰顶低93.7米●(图1-8, b))。当陡槽末端处的单宽流量为209米³/秒·米时, 消力池水深达25米。第二条陡槽仅用于宣泄非常洪水, 它有四孔, 孔口尺寸为15.0×18.7米, 其堰顶比主溢洪道堰顶高4.0米●。在第二条陡槽的末

● 此数值与图示数值不符, 但差值甚小, 仅0.1米。——译者

● 原文为低4.0米。与图不符。——译注