

第21篇 水力发电

主 编 竹之内達也 (電源開発)
执 笔 者 池田茂夫 (東京電力)
桑原好一 (電源開発)
桜井好文 (三菱重工業)
須藤久雄 (電源開発)
田高稔康 (電源開発)
高田昌実 (東京電力)
高津利生 (電源開発)
高峰正樹 (関西電力)
柳沼光三 (中部電力)
译者 林春水 邓宣仲 陈瑞滋 余忠荣
校 者 吴鸿寿 黄孟星

目 录

第1章 水文·气象	21-1	6.8 通风空调设备	21-24
1.1 概要	21-1	6.9 防灾设备	21-26
1.2 河流流量	21-1	6.10 电灯动力线设备及色彩调节	21-27
1.3 气象	21-3	6.11 给排水设备	21-27
第2章 水力公式	21-4	6.12 其他附属建筑物	21-28
2.1 水头损失及水位下降量	21-4	第7章 水轮机	21-29
2.2 溢流坝的出流量	21-6	7.1 水轮机概述	21-29
2.3 闸门及截流阀的出流量	21-6	7.2 水轮机的工作原理	21-31
2.4 水锤作用	21-7	7.3 水轮机的结构	21-32
第3章 坝	21-7	7.4 水轮机的特性	21-34
3.1 概要	21-7	7.5 气蚀	21-37
3.2 坝的分类	21-7	7.6 暂态过程	21-38
3.3 混凝土坝	21-9	7.7 模型试验	21-39
3.4 土石坝	21-10	7.8 水轮机的尺寸和重量	21-40
3.5 溢洪道	21-12	7.9 水泵水轮机的启动	21-42
3.6 放水设备	21-13	7.10 抽水蓄能发电的水泵	21-42
3.7 计量设备	21-13	7.11 进水阀	21-42
3.8 模型试验	21-13	7.12 调速器	21-44
3.9 坝的施工	21-13	7.13 调压阀	21-46
第4章 渠道	21-14	7.14 压力油装置	21-46
4.1 引水坝	21-14	7.15 润滑油装置	21-48
4.2 引水口	21-14	7.16 供水和排水系统	21-48
4.3 沉砂池	21-15	7.17 压缩空气系统	21-48
4.4 引水道	21-15	第8章 发电机和电气设备	21-49
4.5 水槽	21-16	8.1 发电机	21-49
4.6 排水道	21-17	8.2 励磁装置和自动调压器	21-52
第5章 压力钢管及闸门	21-18	8.3 发电电动机的启动方式	21-53
5.1 压力钢管	21-18	8.4 变压器和开关装置	21-54
5.2 闸门	21-19	8.5 配电盘、母线、开关柜	21-56
第6章 水电站	21-20	8.6 保护装置	21-57
6.1 水电站概述	21-20	8.7 回路接线方式	21-57
6.2 地面式水电站	21-21	8.8 控制方式	21-58
6.3 地下式水电站	21-21	8.9 水力发电站的集中控制	21-60
6.4 建筑物	21-22	8.10 厂用接线	21-61
6.5 建筑物内的各室	21-23	8.11 事故备用电源	21-61
6.6 基础	21-23	8.12 通信设备	21-62
6.7 起重机	21-24	第9章 电站规划和设计	21-62

9.1 坝址选择.....	21-62	11.3 试运行.....	21-75
9.2 有效水头的确定.....	21-63	11.4 政府机关检查.....	21-75
9.3 引用流量的确定.....	21-63	11.5 绝缘电阻测量.....	21-76
9.4 电站输出功率.....	21-63	11.6 绝缘鉴定试验.....	21-76
9.5 发电方式.....	21-64	11.7 绝缘耐压试验.....	21-76
9.6 水库和调节池.....	21-64	11.8 保护继电器试验.....	21-77
9.7 水轮机型式和台数的选择.....	21-65	11.9 运行控制试验.....	21-77
9.8 综合利用.....	21-66	11.10 切断负荷(输入)试验.....	21-77
9.9 抽水蓄能电站.....	21-66	11.11 负荷(输入)试验.....	21-78
9.10 特殊水力发电和风力发电.....	21-69	11.12 电站的输出试验.....	21-78
第10章 基建工程.....	21-70	11.13 水轮机的效率试验.....	21-78
10.1 施工准备.....	21-70	第12章 运行和维护.....	21-81
10.2 施工程序.....	21-71	12.1 概述.....	21-81
10.3 施工用设施.....	21-71	12.2 运行.....	21-82
10.4 施工用动力设备.....	21-71	12.3 检查.....	21-83
10.5 超重货物和大体积货物的运输.....	21-72	12.4 维修.....	21-85
10.6 水轮机、发电机的安装.....	21-72	12.5 运行故障.....	21-86
10.7 变压器的组装和干燥.....	21-74	12.6 备件.....	21-87
10.8 工程投资和所需器材.....	21-74	12.7 抗灾措施.....	21-87
第11章 检查和试验.....	21-75	12.8 安全措施.....	21-88
11.1 试运行前的初步试验.....	21-75	参考文献.....	21-88
11.2 通水检查.....	21-75		

第1章 水文·气象

1.1 概 要

水力发电事业上的河流流量调查及降雨量、降雪量、气温、水温、风、蒸发量等的气象调查是为了求得水力发电站的规划、设计、建设、维修、运行等所必需的各种资料，它们是水力发电事业最基本的调查。

河流流量的记录，除用于发电规划上，以及决定水力发电站的规模外，还对洪水时，直接在河道上的坝、引水口等电气设施的安全设计和施工，也是必不可少的。

降水量的记录，除用于核对水文站所得的流量、水力发电站的设计、以及水库使用计划等外，对工程施工管理，例如最近，施工较多的土石坝坝体材料的回填施工的可能天数、混凝土的施工计划等的研究也是必不可少的基本资料。

现在在我国，在广大面积上设有许多水文站，以及气象观测站。水文站分为以水力发电规划为目的的水文站和以河流管理为目的的水文站，前者是由电力企业，以及通商产业省所布设，而后者是由建设省所布设。另外气象厅虽在各地普遍布设了气象观测站，但电力企业为了发电计划及运行也有自行设置的。

1.2 河 流 流 量

所谓河流流量是指每1秒钟内通过河道横断面的水量，由过水断面面积与平均流速之乘积求得，单位以 m^3/s 表示。

1.2.1 水文站 测定河流流量的作业称为测流，设有测流设备的场所称为水文站。

新设水文站选择站址时必须注意下列几点：

- (i) 水流不宜过急或过缓。
- (ii) 河槽移动或河床变化少。
- (iii) 没有潜流、回流或死水。

水文站的设备有水位观测设备（自动水位计或水位标尺），测流速设备（测流缆道、测流桥、吊箱、船、浮标投放设备等）等。在这里测定流速的仪器

用流速仪、浮标等。

在水文站测定水位，以自动水位计进行常规观测为原则，但当自记水位计发生故障，或者在其他不得已情况下，可以在每天6时与18时观测水位标尺的水位。而在洪水时，观测水位的间隔时间应不超过1小时，最高水位及其发生的日期，时间尤其是宝贵资料，要另做记录。

1.2.2 流速的测定 测定河流流速的方法有：

(i) 流速仪测定法

(ii) 浮标测定法

(iii) 公式测定法

等方法，但在水文站，以 (i) 的方法测定为原则，(ii)、(iii) 的方法只限于由于洪水等而不能使用 (i) 的方法时使用。

(a) 流速仪测定法 用旋杯 (Price) 式流速仪等求得过水断面各处的流速，将其平均流速乘上基本水尺的断面面积算出流量。通常使用的流速仪，根据其转动部分的结构而分为叶片式与螺旋桨式二种。流速仪的转数与流速的关系一般用下式表示。

$$V = an + \beta \quad (1)$$

式中 V ：流速 (m/s)； n ：流速仪的转数； a 、 β ：用系数试验所得的系数。

系数 a 、 β 采用测定之日前一年以内由认可的系数试验所确定的系数。测定时，首先将河流横断面垂直地分为相隔2米以内的适当间隔的断面，分别求得各断面的平均流速。各断面的平均流速如图1所示，在各断面内选择适当间隔的测点，以各个点测得的流速绘制垂直流速曲线，据以求得该断面的平均流速。

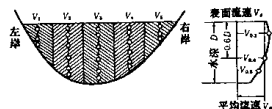


图1 测点与垂直流速曲线

采用流速仪法时,原则上应采用测点数多的精确法,但在水位变动频繁,时间受到限制等不得已的情况下,可采用下列简测法。

(1) 三点法 测定水面下水深的 20%、60% 以及 80% 各点流速的方法。

$$V_m = \frac{1}{4}(V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8}) \quad (2)$$

(2) 二点法 测定水面下水深的 20% 以及 80% 各点流速的方法。

$$V_m = \frac{1}{2}(V_{0.2} + V_{0.8}) \quad (3)$$

(3) 一点法 测定水面下水深的 60% 处流速的方法。

$$V_m = V_{0.6} \quad (4)$$

(4) 表面法 测定表面流速的方法。

$$V_m = 0.8V_s \quad (5)$$

式中 V_m : 平均流速; $V_{0.2}$: 水面下 20% 水深处的流速(其余也照此类推); V_s : 表面流速。

(b) 浮标测定法 是在洪水等时,河流水位急剧变动,不可能使用流速仪的情况下才采用的方法。浮标有表面浮标与浮杆两种。流速测定方法是在水流顺直的适当部位,从河岸和桥上或浮标投下设备等,向流心投下浮标,测量这个浮标流经一定距离所需的时间来测定其流速,其过水断面平均流速的计算与流速仪法相同即: $V_m = 0.8 \times (\text{浮标流速})$ 。另外,浮标流过区间的距离要大于水面宽,当水面宽不足 30m 时取 30m。而且浮标投放要在浮标测定开始点上游 10m 以上处进行。

(c) 公式测定法 在洪水时等用流速仪或浮标进行测定有困难时,可以先求出水面坡降,再用公式计算流速。平均流速用水面坡降、水力半径以及所假定的糙率求得。

$$\text{Manning 公式 } V_m = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{Kutter 公式 } V_m = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI} \quad (7)$$

式中 V_m : 平均流速 (m/s); R : 水力半径; I : 水面坡降; n : 糙率。

1.2.3 流量测定 测定河流流量的方法有:

(1) 根据水文站在一定期间内每月至少三次,而且尽可能从在不同水位时,所测定的流量及当时的水位制定水位流量关系曲线,并在这条水位流量关系曲线上代入用自动水位计等观测到的水位以求得每天流量的方法。

(2) 当已设的水力发电站的用水量等从河流的引水量、泄水量已知时,利用这些记录求得流量的方法。

(3) 用公式去求的方法等。

但在发电规划中往往用(1)的方法来求得流量。

1.2.4 流量记录 水文站的流量调查记录,要整理并保管好遵照“发电水力流量测定规则”作出的流量图表,由通商产业省所指定的水文站将这些流量图表报送通商产业大臣。主要流量图表如下:

基本水尺断面图、实测流量年表、流量曲线图、流量表、水位流量年表、水位流量图、流量历时表、流量历时曲线图、高水位日期表以及某些必须累计流量的水文站的累计流量年表、累计流量图。

(a) 流量曲线图 表示水文站的水位与流量的关系的曲线是以实测流量年表中揭示的水位以及流量为依据,利用最小二乘法、三点法等整理成曲线形式,以纵轴表示水位,横轴表示流量绘制的流量曲线图。流量曲线的一般公式为

$$Q = a + bh + ch^2 \quad (8)$$

式中 Q : 流量 (m^3/s); a 、 b 、 c : 系数; h 为水位 (m)。

(b) 水位流量年表及水位流量图 每天实测水位的平均值及相当于该水位的流量可由曲线方程式求得,每年把它制成一览表,就是水位流量年表,将它用曲线图表示就是水位流量图。

(c) 流量历时表及流量历时曲线图 在水位流量年表上,从流量的最小值到最大值,从小到大按次序排列记载,从一年总天数中按次序减去累计次数,算出各流量所对应的天数,做成的表格就是流量历时表。横坐标取 365 天,纵坐标取流量所表示的图就是流量历时曲线图。此曲线一般成为二次曲线。另外,如将河流流量在一年内的分布状况以量来表示,可区分如下:

枯水量 一年中 355 天以上发生的流量

低水量 一年中 275 天以上发生的流量

中水量 一年中 185 天以上发生的流量

丰水量 一年中 95 天以上发生的流量

35 天流量 一年中 35 天以上发生的流量

年平均流量 一年内总流量的平均值

流量历时曲线为表示河流径流变化概况的曲线,被有效地应用于水力发电站的用水量的选择和年发电量的计算等。

(d) 高水位日期表 表示洪水时,水位与流量之间的关系,是由当年高水位中从最高水位起至第三位止的水位所发生的日期作成的表,可供分析洪水波形、最高洪水位及最大流量等使用。

在我国,用以上流量记录进行发电规划时,至少要用 10 年的连续的记录。

1.3 气 象

1.3.1 降水量、积雪量 降水量是用雨水斗测得的在内径 20cm 的受水器内汇集的雨水,折算为积在地面上的雨水深,单位以毫米表示。当雪、霰、雹等积在受水器内时,要用加热或加融化剂,将其溶化成水,以求得降水量。

降水量的记录以年降水量、月降水量、日降水量以及小时降水量表示。为了测知小时降水量,使用翻斗式雨量计以及与降雨强度计组装在一起的降雨计较为方便。

在山区等通常无人的观测地点观测降水量

时,可采用能够无线遥测的无线电遥测雨量计。当设置这些观测仪器时,为了取得观测地区的代表性的良好的观测值,需要选择避开洼地或高地,或者坡地,并尽可能远离刮风的悬崖边和山棱等地。

降水量随地区、季节、和其他种种因素而有差别,一般说来在同一地区,标高越高就越多。

降雪在我国本州中央地区以北较多,在这些降雪地带的山区的积雪最大深度也有达到 4~6m 的。因此,在这些降雪地带,年降水量中降雪占有相当大的比重,随着春天气温上升就会形成大的径流量。做水库规划时,由于必须掌握积雪引起的融雪水量,所以要用取雪样器 (snow sampler) 或雪量记录仪 (snow recorder) 进行积雪水量的调查。

表 1 所示为我国各地的降水量记录。

1.3.2 温度、湿度、风以及蒸发量 大气的温度称为气温,地面观测以离地面 1.25~2.00m 为基准。

需要的气温资料是:月最高及最低气温、月平均气温、年平均气温等,其单位以℃表示。观测时使用水银温度计、最高及最低温度计并装在百叶箱内。观测时间,通常定时观测即可,但有必要连续测定时,可使用自动记录的温度计。

表 2 所示为我国各地的气温。

湿度观测是根据热敏部分由于球与湿球的二根水银温度计构成的通风干湿计的读数计算求得,其

表 1. 降水量记录 (1941~1970 年)

(单位: mm)

地 名	最大年	平均年	最小年	最大日	最大一小	各 月 平 均 降 水 量											
	降水量	降水量	降水量	降水量	时降水量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
網 走	1158	848	603	107	37	61	43	56	47	66	77	87	101	108	89	68	53
札 幌	1360	1141	885	147	50	118	83	75	64	59	73	96	112	150	104	104	111
盛 岡	1669	1279	1022	200	63	66	54	82	99	89	120	173	143	179	106	87	82
東 京	2167	1503	1038	393	89	49	65	98	122	145	192	140	153	182	203	96	58
靜 岡	3735	2355	1763	256	95	76	96	180	242	231	345	244	275	255	193	131	79
金 沢	3294	2662	2141	234	77	327	195	172	153	149	201	244	171	267	214	220	344
青 山	2520	1801	1342	266	52	111	91	118	131	134	240	239	174	230	147	92	94
京 都	2052	1638	1150	289	83	56	64	112	145	162	252	239	158	204	122	76	50
鳥 取	2866	2042	1676	179	58	223	187	140	113	113	173	215	115	238	169	149	203
広 島	2128	1644	1128	340	79	51	64	168	150	166	262	276	112	220	111	73	45
高 知	3672	2645	2024	371	107	62	83	166	273	291	389	353	329	344	176	116	69
福 岡	2434	1705	1206	270	73	77	77	97	134	144	273	252	161	237	101	79	74
鹿 兒 島	3450	2433	1697	306	89	91	108	144	235	273	493	347	246	205	107	101	83

资料来源:东京天文台编著,理科年表,昭和50年版。

表2 气温 (1941~1970年)

(单位: °C)

地 名	最高	最低	各 月 平 均 气 温												年平均
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
綢 走	36.0	-29.2	-6.6	-7.1	-2.6	3.9	9.3	12.6	17.2	19.0	15.7	9.9	3.0	-3.0	5.9
札 幌	35.8	-23.9	-5.1	-4.4	-0.6	6.1	11.8	15.7	20.2	21.7	16.9	10.4	3.7	-2.3	7.8
札幌	37.2	-20.6	-2.6	-2.0	1.4	8.0	13.8	17.7	21.8	23.2	18.1	11.5	5.5	0.1	9.7
東 京	38.4	-9.2	4.1	4.4	7.6	13.5	18.0	21.3	25.2	26.7	23.0	16.9	11.7	6.6	15.0
静 岡	38.5	-6.8	5.7	6.3	9.2	14.0	18.0	21.4	25.2	26.4	23.3	17.9	13.2	8.1	15.7
金 沢	38.5	-9.7	2.6	2.6	5.7	11.5	16.5	20.4	24.8	26.2	21.9	15.8	10.6	5.7	13.7
富 山	36.1	-25.5	-2.6	-2.1	1.6	8.7	14.2	18.5	22.6	23.3	18.8	12.1	6.1	0.8	10.2
京 都	38.6	-9.4	3.5	4.0	7.2	13.1	18.0	21.8	26.1	27.3	23.2	16.7	11.1	6.0	14.8
局 取	36.5	-7.0	3.7	3.8	6.8	12.2	16.7	20.5	25.2	26.3	22.0	16.0	11.3	6.6	14.3
广 岛	36.8	-8.6	4.1	4.6	7.6	13.0	17.4	21.1	25.5	26.9	22.8	16.8	11.5	6.6	14.8
高 知	38.4	-7.6	5.2	6.4	9.8	14.9	18.9	22.1	25.9	26.8	23.9	18.2	13.0	7.8	16.1
福 岡	36.7	-8.2	5.9	6.0	9.0	13.9	18.1	21.7	26.5	27.2	23.3	17.3	12.5	7.8	15.7
鹿 兒 島	37.0	-6.7	6.7	7.8	11.0	15.6	19.4	22.7	26.9	27.3	24.7	19.1	14.2	8.9	17.0

资料来源: 东京天文台编集, 理科年表, 昭和50年版。

值为普通大气 1m³ 中所含有的水蒸气量和当时的温度下的饱和蒸气量之比, 以百分率表示。

风速和风向是指不断变动的大致是水平方向的大气流动在观测时的前十分钟内的平均值。风速观测用风速仪, 其单位以 m/s 表示。风向一般以 16 等分的方位表示, 是指风吹来的方向。观测时用风向仪。

这些温度、湿度及风与蒸发量的大小有密切的关系, 尤其在积雪地带, 由于与积雪、融雪以及河流

的结冰、融冰的时期有关, 所以除了水力发电站的建设规划外, 即使在发电站的运行上也是必需的资料。

观测蒸发量用大型蒸发器 (口径 120cm, 深 25cm 的圆筒型容器) 或小型蒸发器 (口径 20cm, 深 10cm 的圆筒型容器)。蒸发量是放入蒸发器中的水在一定时间内减少的量, 以 mm 表示。在我国, 陆地上一天的蒸发量在 2.5~3.5mm, 水库等地一天则在 1.6~2.7mm, 一般认为比在陆地上用蒸发器测定的要小。

第2章 水力公式⁽¹⁾

2.1 水头损失及水位下降量

2.1.1 摩擦水头损失 h_f

$$h_f = \frac{2gn^2}{R^{1/3}} \frac{L}{R} \frac{v^3}{2g} \quad (9)$$

式中 n : Kutter 糙率系数; L : 渠道长度; R : 水力半径; v : 平均流速。

2.1.2 管道上除摩擦阻以外的水头损失

(1) 进口的水头损失 h_e

$$h_e = f_e \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

式中 f_e : 进口损失系数 (表3); v_1 : 流进后的平均流速。

(2) 拦污栅的水头损失 h_g

$$h_g = \beta \sin \theta \left(\frac{t}{b} \right)^{4/3} \frac{v_1^3}{2g} \quad (11)$$

式中 β : 栅柱的断面形状系数 (图2); θ : 栅的倾角; t : 栅柱的厚度; b : 栅格的净距; v_1 : 栅上游水流的平均流速。

(3) 断面变化引起的水头损失 h_{ge} , h_{gc}

① 原书误为 v , 上下文不一致, 应为 v_1 。——译者注

$$h_{ge} = f_{ge} \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (\text{逐渐扩大的情况下}) \quad (12)$$

$$h_{gc} = f_{gc} \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{逐渐收缩的情况下}) \quad (13)$$

式中 f_{ge} 、 f_{gc} ：逐渐扩大及逐渐收缩时的损失系数（图 3、4）； v_1 、 v_2 ：逐渐扩大或逐渐收缩前后的平均流速。

表 3 f_e 值

进口形状	f_e
圆形喇叭口	0.1
方形喇叭口	0.2
直角	0.5

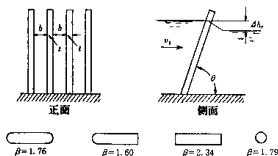


图 2 拦污栅的形状

(4) 弯曲及折角的水头损失 h_b 、 h_{be}

$$h_b = f_{b1} \cdot f_{b2} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{弯曲水头损失}) \quad (14)$$

$$h_{be} = f_{be} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{折角水头损失}) \quad (15)$$

式中 f_{b1} ：弯管的曲率半径 ρ 与管径 D 之比所确定的损失系数（图 5 (a)）； f_{b2} ：弯管中心角为 θ 时与为 90° 时的损失之比（图 5 (b)）； f_{be} ：折角损失系数（表 4）； θ ：折角； v ：管内平均流速。

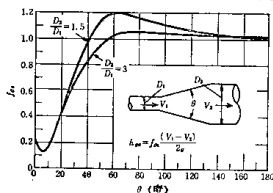


图 3 逐渐扩大损失系数

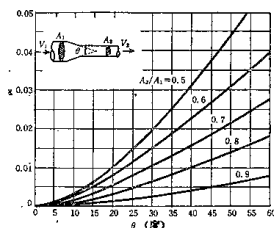


图 4 逐渐缩小损失系数

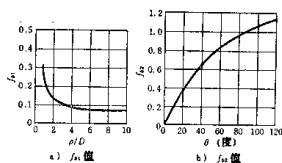


图 5 弯曲损失

表 4 折角损失系数

θ°	15	30	45	60	90
f_{be}	0.022	0.073	0.183	0.365	0.99

但 h_b 、 h_{be} 不包括摩擦损失。

(5) 截流阀的水头损失 h_r

$$h_r = f_r \frac{v^2}{2g} \quad (16)$$

式中 f_r ：截流阀损失系数（平板阀门及转动阀门取 0；蝴蝶阀门取 t/D ， t ：阀体最大厚度， D ：阀体直径；针阀取 0.5）； v ：阀门上下游的管内平均流速。

2.1.3 明渠水头损失引起的水位下降量

(1) 进口水位下降量 Δh_e

$$\Delta h_e = (1 + f_e) \frac{v_e^2}{2g} \quad (17)$$

式中 f_e ：进口损失系数（表 3）； v_e ：流进后的流速。

(2) 拦污栅引起的水位下降量 Δh_g

$$\Delta h_r = h_r + \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (18)$$

式中 h_r : 拦污栅引起的水头损失; v_1 、 v_2 : 拦污栅上、下游的平均流速 (图 2)。

(3) 断面变化引起的水位下降量 Δh_p

$$\Delta h_p = h_p + \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad (19)$$

式中 h_p : 断面变化引起的水头损失 [根据式 (12)、(13)], v_1 、 v_2 : 断面变化前后的平均流速。

(4) 闸墩引起的水位下降量 Δh_p

$$\Delta h_p = \frac{Q^2}{2g} \left\{ \frac{1}{c \cdot b_1^3 (H_1 - \Delta h_p)^2} - \frac{1}{b_2^3 H_1^2} \right\} \quad (20)$$

式中 c : 闸墩断面形状系数 (图 6); b_1 : 闸墩上游的渠道宽度; b_2 : 从渠道宽度上扣除闸墩所占总宽度后的宽度; t : 一座闸墩的宽度; H_1 : 闸墩上游水深。

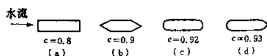


图 6 闸墩形状系数

2.2 溢流坝的出流量

2.2.1 标准型溢流坝的自由溢流量

$$\left. \begin{aligned} Q &= c B H^{3/2} \\ c_d &= 2.200 - 0.0416 \left(\frac{H_d}{W} \right)^{0.99} \\ c &= 1.60 \frac{1 + 2\alpha(H/H_d)}{1 + \alpha(H/H_d)} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

式中 Q : 流量; B : 溢流宽; H : 溢流水头; H_d : 设计水头; W : 坝高; α : 常数; c : 流量系数; c_d : 当 $H = H_d$ 时的流量系数 (图 7)。

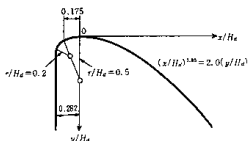


图 7 标准溢流坝形状 (Harrold 型)

2.2.2 考虑闸墩影响的自由溢流量

$$\left. \begin{aligned} Q &= n c' B H^{3/2} \\ c' &= c \left\{ 1 - M_d \left(\frac{H}{H_d} \right)^{3/2} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

当 $n = 1$ 或 $n \geq 2$ 且 $b/S' \geq 0.8$ 时

$$M_d = 0.0756 \left(\frac{H_d}{B} \right)^{1/2}$$

当 $n > 2$ 且 $b/S' < 0.8$ 时

$$M_d = 0.0756 \left(\frac{H_d}{B} \right)^{1/2} \left\{ \frac{1}{n} + 1.465 \frac{n-1}{n} \left(\frac{b}{S'} \right)^{1.7} \right\}$$

式中 n : 跨距数; c' : 考虑了闸墩影响的流量系数; B : 跨距净宽; M_d : 对设计水头时流量系数的修正值; S' : 由坝顶到闸墩上游端的水平长度; b : 闸墩宽度; Q 、 c 、 H 、 H_d : 见式 (13)。

2.3 闸门及截流闸的出流量

2.3.1 水平梁底上闸门的自由出流量

$$Q = c_a a B \sqrt{\frac{2g(h_n - c_a a)}{1 - (c_a a/h_n)^2}} \quad (23)$$

式中 Q : 流量; a : 闸门开启高度; B : 出流量; c_a : 收缩系数; h_n : 上游水深 (图 8)。

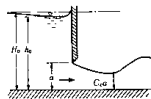


图 8 水平梁上闸门的出流量

2.3.2 溢流坝闸门的出流量

$$Q = c a B \sqrt{2g h_1} \quad (\text{平板闸门}) \quad (24)$$

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g c B (H_1^{3/2} - H_2^{3/2})} \quad (\text{弧形闸门}) \quad (25)$$

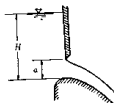


图 9 溢流坝顶闸门的出流

⊖ 疑是 t 之误。

⊖ 疑是式 (21) 之误。——译者注

式中 a : 闸门开启高度; B : 出流宽; c : 流量系数; h_1 : 以坝顶为基准的上游水深; H_1 : 闸门关闭时以坝顶为基准的总水头; H_2 : 以闸门底面为基准的总水头 (图 9)。

2.3.3 高压闸门及阀门的出流量

$$Q = caB\sqrt{2g(H_e - c_e a)} \quad (\text{高压闸门}) \quad (26)$$

$$Q = cA\sqrt{2gH_e} \quad (\text{高压阀门}) \quad (27)$$

式中 Q : 流量; c_e : 收缩系数; a : 闸门开启高度; A : 阀门前的水管断面面积; B : 出流宽; H_e : 闸门或阀门前的有效水头; c : 流量系数 (表 5)。

表 5 各种闸的流量系数

闸 型	流量系数 c
锥 形 闸	0.8
空 心 喷 嘴 闸	0.7
针 阀	0.582
管 阀	
管嘴45°自由出流	0.52
管嘴30°管内出流	0.72

2.4 水锤作用

慢关时的水锤压力 (Allievi 的联列方程式)

$$\left. \begin{aligned} H'_1 - 1 &= 2\rho(1 - \psi_1\sqrt{H'_1}) \\ H'_1 + H'_2 - 2 &= 2\rho(\psi_1\sqrt{H'_1} - \psi_2\sqrt{H'_2}) \\ H'_2 + H'_3 - 3 &= 2\rho(\psi_2\sqrt{H'_2} - \psi_3\sqrt{H'_3}) \\ &\dots\dots\dots \\ H'_{i-1} + H'_i - 2 &= 2\rho(\psi'_{i-1}\sqrt{H'_{i-1}} - \psi_i\sqrt{H'_i}) \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

$$\left. \begin{aligned} H'_i &= (h_i + H_0)/H_0, \\ \rho &= \alpha v_0/2gH_0, \quad \theta = T/\mu \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

式中 下脚标 1, 2, 3, ..., i , 以 t 作为从闸门开动时起测定的时间, 表示在 $t = t_1, t_1 + \mu, t_1 + 2\mu, \dots, t_1 + (i-1)\mu$ 时刻的值。但 $0 < t_1 < \mu$, $\mu = 2L/a$; L : 管道长度; a : 水锤波传播速度; h_i : 在阀门位置处的 i 周期时的水锤压力水头; H_0 : 在阀门位置处的 $t = 0$ 时的静压水头; v_0 : 在阀门位置处 $t = 0$ 时的流速; $\psi_i = 1 - (i/\theta)$, $\theta = T/\mu$; T : 阀门关闭所需时间。

第3章 坝^{(2)~(4)}

3.1 概 要

坝的起源,是以确保灌溉或生活用水为目的的,但在今天除水力发电外还要加上洪水调节、工业用水等的目的。发电的坝,除专以发电为目的的专用坝外,兼顾上述几个目的综合利用的坝也已建设起来了。另外,也有为防止溪流等泥沙流失的防沙坝。

在国外高度从数 m 到超过 300 m 的坝也已建设起来。

我国由于有地震和集中的暴雨,地质条件也较差,坝周围也在进行开发建设等,筑坝条件比外国一般要求高,但正在克服这些不利条件并建设着安全、经济的坝。而在今天,在坝的建设中,还要对坝在施工中及完工后对周围环境的影响给予各种考虑。

另外,关于坝的结构,必须遵守根据河流法的

河流管理设施等结构法令,而且对发电用的坝,要根据电力工业法采用有关发电用水力设备的技术标准。而且关于高度在 15 m 以上的坝的设计有日本大坝会议的坝的设计标准。

3.2 坝 的 分 类

坝虽然可以按其使用目的、功能或结构加以分类,但最一般的是根据坝体使用的主要材料而分为混凝土坝和土石坝。

混凝土坝又依其设计理论分为重力坝、支墩坝及拱坝。在我国,将堆石坝与土坝总称为土石坝。土石坝又根据完成防渗功能的因素分为均质坝、土石混合坝及斜墙坝。

这些坝的实例如表 6 以及图 10~15 所示。

坝根据其规模以及使用目的,除考虑地形、地质、水文、气象、地震外,也要根据坝体材料、运输等各种条件选定坝型。重力坝在地形上的限制最少,而拱

表6 我国坝的实例

坝 名	型 式	坝 高 (m)	体 积 ($10^3 m^3$)	目 的
佐久間 田子倉 草木	重 力 坝	155 145 140	1094 1950 1367	发 电 发 电 防洪、灌溉、生活及工业用水、发电
畑薙第一 内 の 倉 横 山	空 心 重 力 坝	125 83 81	587 200 292	发 电 防洪、灌溉、发电 防洪、发电、灌溉
黒 部 奈 川 池 原	拱 坝	186 155 116	1360 660 647	发 电 发 电 发 电
清 願 寺 山 王 海 梶 新	均 质 坝	57 37 27	542 276 284	灌溉、防洪 灌 溉 灌 溉
高 瀬 手 取 川 御 母 衣	土 石 混 合 坝	176 153 131	11400 10102 7950	发 电 发电、防洪、生活及工业用水 发 电
深 山 多多良木 石 淵	斜 墙 坝	76 65 53	1967 1462 443	灌溉、发电、生活用水 发 电 防洪、灌溉、发电

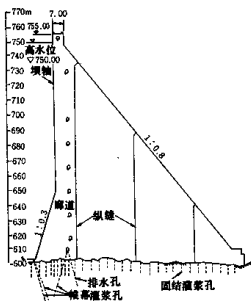


图10 重力坝实例（奥只見坝非溢流部分标准断面）

坝则河谷愈狭窄愈有利。当坝肩倾角陡的情况下，土石坝必须注意不均匀沉陷。由于土石坝与混凝土坝相比将荷载传递到宽广的地基上，所以对基础的地质条件有利，根据坝的规模，坝也可以建在砂砾基础或土质基础上。混凝土坝可利用坝体设溢洪道，

而且在施工中可在坝内设置导流孔处理河水，但土石坝不适于溢流当然不可能坝身导流，同时在设计洪水流量和非溢流部分的高度必须大于混凝土坝，在这一点上是不利的。

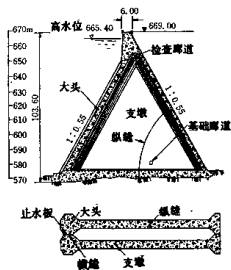


图11 空心重力坝实例（井川坝标准断面）

近来在我国，由于适于筑混凝土坝的坝址已被开发以及土石坝方面容易用机械化施工而使成本降低，土石坝的建设多起来了。

还有将溢洪道设在重力坝上而其他部分做成土石坝的,也有建设拱坝与重力坝组合在一起的混合坝的。

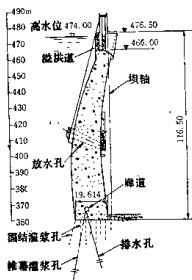


图12 拱坝实例 (新豐根拱坝坝顶断面)

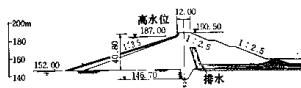


图13 均质坝实例 (相坝坝标准断面)



图14 土石混合坝实例 (九頭竜坝标准断面)

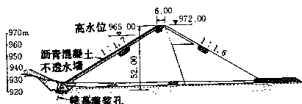


图15 斜墙坝实例 (大津坝坝标准断面)

3.3 混凝土坝

3.3.1 坝体混凝土 坝体混凝土要求具有较大的耐久性和不透水性,并具有所需的强度和单位容重,与普通混凝土比较,旱干混料的坍落度要求

在5cm以下,骨料的最大尺寸使用150mm左右的例子居多。

混凝土在硬化时,由于水泥的水合作用而发热,此后在逐渐冷下去的过程中收缩并易产生裂纹。裂纹对于坝体的整体性、不透水性、耐久性有不良影响,并威胁着坝体的稳定性,所以防止裂纹的发生极为重要,在设计、施工上要给予种种注意。需要注意的主要项目如下:

- (i) 使用发生水合热少的水泥,如中热水泥;
- (ii) 减少单位水泥用量,或使用发热少的混合材料,如用灰粉代替部分水泥;
- (iii) 采用预先冷却混凝土骨料,以谋求混凝土的浇筑温度降低的预冷;
- (iv) 为谋求发散发自然热而限制浇筑混凝土的速度;
- (v) 采用埋管冷却;
- (vi) 设置收缩缝。

从经验得知,大体积混凝土块在15~20m的间隔产生裂纹。因此大坝要设置收缩缝并分割成15~20m的混凝土块,浇筑成柱状让其收缩,一般采用让可能发生的裂纹全部集中在这种收缩缝内的分块施工法。要在垂直于坝轴线的收缩缝,即横缝的上游面附近作为止水片埋设铜片或聚氯乙烯片以防止通过收缩缝漏水。当需要坝体具有整体性时,除在收缩缝充分张开后进行向缝内注入乳状水泥的灌浆施工外,往往还设置齿形键槽。为了控制混凝土硬化过程中的温度上升,缩短最终达到稳定温度的时间,早日完成坝的建设,往往在坝内埋设冷却盘管进行冷却水循环的所谓埋管冷却的人工冷却。

这种分块施工法虽然已经有多年的实践,但由于设置模板,混凝土浇筑等施工较复杂,所以迫切要求研究发展先将混凝土浇筑成无缝的整体,然后用刀具截断以设置收缩缝的方法等既经济而又合理的施工法。

另外,对于小规模坝,有关这些接缝的构造和温度控制的条件可以较宽。

3.3.2 重力坝 混凝土重力坝依靠坝体自重抵抗着水产生的压力和其他作用于坝上的载荷,以防止坝的滑动和倾侧,这种坝的断面形状大致呈三角形,上游面往往接近于铅直,下游面多为1:0.8左右的坡面。由于基岩的抗剪力小,最近也看到在上游面设置大的齿墙坝的实例。

虽然坝轴的平面形状为直线的较多,但为了使坝体位于良好岩基上,也有采用折线或平缓曲线

的。

重力坝与别的形式的混凝土坝比较,坝的体积大,但具有下列优点:(i)由于坝体所要求的强度低,混凝土单位体积的水泥用量较少,而且形状简单,模板的设置和混凝土的浇筑较容易,故混凝土的单价便宜。(ii)由于作用于基础上的应力小,因而处理基础所需的工程费用少。(iii)可以利用坝体下游面作为溢洪道的一部分或利用坝体较容易地设置引水口和压力管道等附属建筑物。

3.3.3 支墩坝 支墩坝是以支墩支撑挡水板构成的坝。如将此挡水板换成一系列的拱就成为连拱坝。如在支墩上游端以称为大头的厚的壁头代替挡水板承受水压,在支墩下游端也设凸缘部分并形成一个面以增加坝体的刚性,并可作为溢洪道的一部分而加以利用的坝为空心重力坝。这种坝型有如下优点:(i)由于减少扬压力并依靠加在上游坝面上的水重增加坝的稳定性,可以节约混凝土用量。(ii)岩基上的应力分布较好,处理基础的施工也较容易。(iii)混凝土的散失较好。(iv)维护、检查较容易。另一方面,也有如下的问题:(i)模板的设置以及其他施工复杂。(ii)混凝土的单位水泥用量较多。(iii)坝底宽,基础开挖量多。(iv)有必要对地震时沿坝轴方向的动态进行研究。空心重力坝一般适用于河谷宽阔的地形,而且高度适用于中等规模的坝。

3.3.4 拱坝 拱坝是将坝轴向上游方面弯曲,使得作用于坝上的力的一部分由坝体自重抗衡而大部分则通过拱的作用而传递于两岸岩基上。因此不仅是河床,山腰的基岩也要坚固。

拱坝的形状有圆弧、多心圆弧、抛物线等,根据地形则有对称和不对称之分。有不仅在水平面上而且在垂直面上也弯曲的称为双曲型的拱坝,而且也有比得上重力坝的具有厚断面的被称为重力拱坝的拱坝。双曲型拱坝通过拱的作用承受外力的比例较大,而重力拱坝则由重力作用承受的比例较大,由于拱的作用减少而对基岩的要求缓和了。有时也采用随着从拱顶向着向拱肩靠近而逐渐增加其厚度的变厚拱。

如上所述,拱坝可以根据其形状与厚度的选择相当自由地改变坝体和基础发生的应力,由于能适应地形和地质条件进行合理的设计,故与重力坝比较有可以相当大地减少坝的体积的优点,但其反

面,有如下缺点。(i)所要求的强度高,所以混凝土的单位水泥用量大。(ii)设置模板复杂。(iii)处理基础所需的费用多。(iv)设置引水口、压力管道等的自由度少。(v)由于断面单薄,气温变化会引起温度应力,所以要细致地进行温度控制和接缝灌浆。

可以经济地建造拱坝的河谷宽度和坝高的比一般取 3:1,但如想一些办法即使在河谷更宽的坝址也可以经济地建造拱坝。

3.4 土石坝

3.4.1 土石坝的材料 土石坝除以土料、砂砾料及石料作为回填料使用外,也有使用沥青混凝土和混凝土作为不透水材料的。土质、砂砾及石子各种材料的性质视捣固能量而异,并且在施工中也因破碎成细粒而改变其性质,而且由于其性质受到土料的含水比的影响较大,所以要考虑使用条件并进行材料试验以决定设计值。

(a) 土料 土料是作为不透水材料使用的。土料要具有所要求的渗透系数与抗剪强度,最好变形小,捣固施工容易。土料对于一定的捣固能量有干密度最大的含水比,称为最优含水比。一般如用最优化含水比附近的含水比进行施工,则大多能满足上述各条件。作为参考,在图 16 示出土石坝使用的土料的级配曲线。

(b) 砂砾料 砂砾料一般作为半透水性材料或是透水材料使用。砂砾料必须坚硬并具有所要求的抗剪强度及排水性。当砂砾料作为过滤层材料使用以谋求不透水区等的水力的稳定时,要选择具有恰当的级配而细粒及过大尺寸的材料少的砂砾。土石坝所使用的砂砾料级配曲线的实例如图 17 所示。

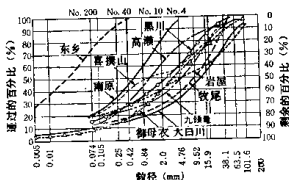


图16 土料级配曲线

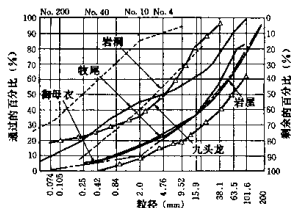


图17 砂砾料级配曲线

(c) 石料 石料一般作为透水性材料或半透水性材料使用。石料必须具备适合于其使用场所的设计条件的抗剪强度与排水性。坚硬、密度大、细粒极少、级配好的材料一般抗剪强度大，排水性也好，回填后的变形也小，所以是最合适的石料。虽然风化了细粒较多的材料的抗剪强度低，排水性能也差，但如适当选择使用场所与其设计值，可以作为回填料使用。

(d) 沥青混凝土 沥青混凝土一般作为不透水材料使用。沥青混凝土是沥青、骨料、填料及掺合剂的加热混合物，需要具有所要求的水密性、强度以及柔软性，最好是承载面的稳定性和耐久性大的材料。

(e) 混凝土 混凝土作为不透水材料使用。混凝土必须具备所要求的水密性、强度以及耐久性。

3.4.2 均质坝 坝体的大部分由接近于均质的透水性小的材料所组成，并以坝体整个断面起不透水和保持对于滑动破坏的安全性的功能的坝称为均质坝。由于坝体的大部分一般用抗剪强度低的土料筑成，所以不适于修建高坝，坝面坡度一般比其他形式的土石坝平缓。在我国修建的坝也有高达40m以上的，但多数是30m左右的。

均质坝的断面简单而容易施工，并且有可能使用比土石混合坝的不透水区的材料的渗透系数稍大的材料作为坝体材料，另外还有可以在除岩基以外的基础上筑坝的优点。

对于均质坝，为了防止浸润线从坝体下游的坡面渗出，并使得施工中的孔隙水压消散，要设置适

当的排水设备。排水设备的型式有下游坡前（贴坡式）排水、水平（褥垫式）排水、立式（棱体）排水以及这些型式的混合式排水。

3.4.3 土石混合坝 由不透水区以及几种不同透水性的区域所构成的坝称为土石混合坝。这种坝型一般是不透水区起防渗作用，而以透水区为主体的整个坝体对于滑动破坏起保持安全性的作用。区的布置因坝的规模、回填料的性质与数量、水库的用途和其他条件而不同，但多以不透水区为中心，在其上下游侧按半透水区、透水区的顺序布置。设计各区的边界时，要求土料的渗透系数及级配不致于突变。在土石混合坝中，大致靠近坝体中央处设有薄的不透水区的称为心墙坝，具有倾斜的薄的不透水区的称为斜墙坝。

土石混合坝由于使用渗透系数小的材料的区域占坝体体积的比例小，所以孔隙水压的消散快，浸润线的降低也大。另外，抗剪强度大的材料可以用于透水区，所以高坝往往采用这种坝型。

3.4.4 斜墙坝 用沥青混凝土、钢筋混凝土以及其他材料修建，并将起防渗作用的表面不透水墙设置在具有对滑动破坏起稳定作用的坝体上游面的坝称为斜墙坝。

斜墙坝的坝体，可以用接近于土料到粗颗粒的石料，其选择范围较广，但由于蓄水以及地震引起的坝体变形将在不透水墙上产生裂缝，因此为了不致丧失不透水功能，有必要进行适当的设计与施工。最近修建的斜墙坝的坝体，多数是将材料铺成比较薄的层并捣固，以抑制沉降的设计。

沥青混凝土表面斜墙，一般由底层、排水层以及不透水层构成，并在表面设置保护膜。也有不设排水层的实例。不透水墙的厚度30cm左右的实例较多。钢筋混凝土斜墙的厚度采用水深的1%左右，但其最小厚度要考虑到施工要求与气象作用，一般取30cm左右。

3.4.5 土石坝的安全性 土石坝的坝体及基础对于滑动破坏及渗透破坏必须是安全的。

对滑动破坏的安全性的校核，用圆弧滑动切条法进行，其安全系数取1.2以上。

校核稳定性的情况有：当水库水位在正常高水位而渗流处于稳定状态时，在竣工后不久有施工中的孔隙水压残留时；对于蓄水位突降的水库在蓄水位从正常高水位突降至低水位，并有孔隙水压残留

时等。

作用于坝体的地震的影响,一般用坝体自重乘上坝体震度以算出地震力的震度法。但是对高坝以及进行特殊的设计的坝也有用有限元法等进行动态分析或振动模型实验来校核其安全性的。

对于管涌或流砂等渗透破坏必须校核坝体和基础的渗透流速和水力坡降,并进行不超过容许值的设计。另外,对于未经捣固的均匀系数小的砂等还需要进行地震时的液化研究。

3.5 溢洪道

3.5.1 溢洪道的设置 为了泄洪在坝上设置溢洪道。溢洪道有利用坝体设置的,也有与坝体相邻或离开坝体而设置的。混凝土坝的溢洪道大部分设置在坝体上,但也有根据地形离开坝体而设置的。由于土石坝不可能在坝体上设置溢洪道,一般设在与坝体相邻或离开坝体处。另外,采用土石坝与混凝土坝的混合形式时,溢洪道设置在混凝土坝部分。

3.5.2 溢洪道的型式 溢洪道由进口部分、导流部分以及减能工事构成,这些部分有如表7所示的型式。

表7 溢洪道的型式

进口部分		导流部分	减能工事
溢流式	正面溢流型	坝体下泄式 槽式	水平护坦型
	侧槽型 井式型		水跃式 倾斜护坦型 挑水坎型
孔口式		隧洞式	挑流式 (消雪跳跃式) 自由跌水式

溢洪道的各部分要考虑洪水流量与其坝度、坝型、规模及目的、坝址的地形及地质以及下游情况等,选择最适当的型式。图18表示溢洪道的典型例子。

图(a)及图(b)为设有坝顶溢流式溢洪道与放水孔的例子,是以调节洪水为目的的混凝土坝的典型形式。在这种情况下,设计要使放水孔起调节洪水的作用而溢流式溢洪道起紧急用溢洪道的作用。对于发电专用的坝不设这类放水孔,一般以溢流式溢洪道做为常用溢洪道。图(a)的导流部分为坝体下泄式,图(b)缺导流部分,由于从溢洪道放出的水流具有很大的能量,如不采取减能有冲

刷河床并破坏建筑物的危险。水跃式减能工事は使在护坦上产生水跃,以消散水流动能的减能方式。水跃由于由下游的水位控制,所以除根据分流河流水位设水平护坦外,还有设置倾斜护坦、挑水坎和副坝的设计,而且,往往还兼用滑块、缓冲墩、尾槛等建筑物以调整水跃水深和水跃长度。

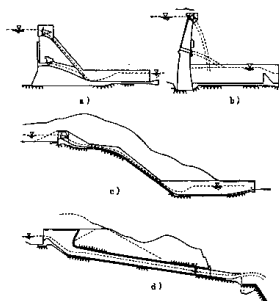


图18 溢洪道示例

图(a)为水平护坦型水跃减能工事。自由跌水式减能工事往往用于拱坝上,它或利用射流所形成的水垫的减能效果,或设置副坝抬高下游水位的人工减能池的水垫减能方式,图(b)为这种型式。

图(c)为槽式溢洪道,是在接近坝体或者离开坝体的马鞍形部位等处设置明渠泄洪的方式。土石坝的溢洪道多采用这种型式,但拱坝也有实际例子。图(c)减能工事は水平护坦型水跃式。

图(d)的隧洞式溢洪道是在山腰上挖掘隧洞而设置溢洪道的方式,一般作为明流设计。这种减能工事は作为滑雪跳跃式的例子,是将水流冲向空中,喷入下游河床,由水垫来减能的方式。

溢洪道通常设有闸门,但也有不设闸门而由洪水位上升经溢流坝顶自由溢流的泄洪方式。

3.5.3 坝的设计洪水流量 溢洪道必须具有泄放坝的设计洪水流量的能力。坝的设计洪水流量一般以坝址过去为洪水记录和雨量记录为依据而决定的。而在没有这些记录时,也可参考邻近流域的水文气象资料来决定。在我国,混凝土坝可在坝址

200年一遇的流量,过去最大洪水流量,或从与坝址流域的水文或气象相似的流域过去最大洪水的水文或气象看,该坝将发生的可以预计到的洪水流量之中,取最大流量作为坝的设计洪水流量。土石坝的设计洪水流量取混凝土坝的1.2倍。这是因为考虑到土石坝在洪水漫顶时的危险程度,比混凝土坝大的原故。

还有关于减能工的设计流量要考虑到洪水流量与其发生的频度而决定。

调节洪水用的放水孔的设计放水流量通常要根据下游河道的安全流量等来决定。

3.6 放水设备

水库除为满足灌溉、自来水、工业用水外,还为维持河流用水以及为坝的维修检查而降低水位的目的而设置放水设备。以调节洪水为目的而设置的放水设备往往称为放水孔。混凝土坝的放水设备设在坝体内,但土石坝多有利用施工中的临时导流隧洞来设置的实例。放水设备的形式以及规模要考虑到根据其设置目的、河流流态以及其他条件而定。

3.7 计量设备

水库要根据其坝型与规模而设置计量设备。计量设备除为施工管理以及竣工后的维修管理的目,还为将来的设计以及施工方法的研究的目的而设置。在混凝土坝除测量漏水量、扬压力以及变形外,还要测量坝体混凝土的温度、裂缝间距等。再有,除应变、应力外有时也测量地震时的动态。土石坝的情况除测量漏水量、坝顶以及坡面的变位外,还测量孔隙压力等。有时也测量坝内应力、变位以及地震加速度等。不仅对坝体,也要根据需要进行对基础的测定。

水库竣工后,通常在从蓄水开始至达到高水位期间,从达到高水位后至确认水库处于稳定状态的期间,以及在其以后的期间内逐渐地减少测量次数。近年来已有采用自动化计量设备的机会。

在坝上除有雨量计等气象观测装置外,还可根据需要设置水位仪和淤砂计量设备。

3.8 模型试验

当进行坝的设计时,除数值解析外,常常进行模型试验。为了研究坝内应力和稳定性,需要进行结构模型试验。结构模型试验除静态试验外,还有为了弄清地震时坝的动态的动态试验。为了研究溢洪道与放水设备的放水能力和减能效果,要进行水力模型试验。还有,为了土石坝的渗流分析,也有用电气模拟模型和粘性流体模型进行的试验。

3.9 坝的施工

当进行坝的施工时,要设临时排水渠与截流围堰使河流改换方向。改换河流的方法有在山腰挖掘隧洞的临时排水隧洞,或让水流从河流的一部分流过而将其余部分截流,并逐侧进行施工的半河截流等,但要考虑坝型、河流流态、地形、地质及其他来选择适当的方法。

坝基要从地质勘探结果预先设定挖掘面,再根据山体的实际情况边修正边挖掘。为了改良基础地基而进行的灌浆,除从挖掘面进行外,也有从坝体内的廊道或从山体内的基础处理隧洞进行的。灌浆一般注入水泥乳剂,但也有采用粘土或化学材料的。根据需要可进行用混凝土置换断层破碎带等,或以预应力钢筋加强岩基。

混凝土坝的混凝土浇筑除小规模者外,往往使用缆索起重机。在国外常常使用悬臂起重机。土石坝多用自卸车运输回填料,并用压路机进行碾压。不仅对不透水区,连透水区也进行碾压的坝多起来了。关于碾压机除足碾压机和轮胎碾压机外,也有用振动碾压机的。这些施工机械要选择在施工的各个阶段,例如在土石坝回填时材料的提取装载、运输、铺平以及碾压的各个阶段,具有相互取得平衡的能力的机械。

在施工中常常要准确地掌握工程完成情况,为满足设计要求的施工,要进行适当的质量管理。

蓄水多从临时排水渠的闭锁闸门开始。蓄水开始的时期要根据流态、蓄水量、坝型等来决定,蓄水时要注意坝体、基础以及周围山体的动态,一面注意安全,一面使水位上升。

第4章 渠道

4.1 引水坝

主要为引水式水电站的取水而设在河流上的低坝称为引水坝，一般，多为溢流式混凝土重力坝，有以整个坝长作为固定坝而使超出引水量的流量溢走的情况和在全部或一部分坝长上设置闸门作为活动堤坝的情况。

活动堤坝可以减少上游回水的影响，由于流下的泥沙不致淤积到固定坝的溢流顶以上，所以有能够确保引水所必需的水深的优点。

在引水口处的坝高，取能够保持引入最大工作水量所必需的水深，并且，在坝的上游有房屋、田地等时，坝高要降低到充分安全的高度以限制溢流水土，并用溢流闸门维持引水位。

对流出泥沙多的河流，在洪水期泥沙将从引水口流入渠道内，所以要设置冲砂闸，以使在涨水时冲走引水口前淤积的泥沙。

此外往往为逆水性鱼类设置鱼道并放出必要的水量使鱼有逆水而上的可能。

4.2 引水口

引水口是将河道、水库、调节池等的水引向水渠的设备。一般说来，与引水式水电站的无压渠道相连时称为无压式引水口，与堤坝、引水混合式水电站等的压力管道相连时称为压力式引水口，可考虑到下列条件而设置

(i) 经常能引进计划引水量，可以根据需要调节流量。

(ii) 水头损失小。

(iii) 不流进泥沙、漂木等。

(iv) 不因洪水、山崩等而受到损害。

(v) 完工后的各种维修作业容易。

(vi) 在抽水蓄能发电站的引水口，抽水时要具有作为放水口的作用。

无压式引水口通常设在与坝相邻之处，可以在引入计划引水量时不受由坝引起的泥沙淤积等的影响，并按不受洪水、漂木、流砂、漂雪等破坏的要

求而设置。进口套管的流速以尽量小为宜，通常采用 $0.5 \sim 1.0 \text{ m/s}$ 左右。

压力引水口的结构要求能够不受水库、调节池的工作水深的变化和泥沙淤积的影响而引水；当发电站的站址与坝成为整体，或设在与坝极为接近的地方时，引水口往往设在坝体内；发电站设在离开坝的地方时，则要比引水口工程费与压力管道的工程费的增减，往往将引水口离开坝而设置。

为减少水头损失，引水口进口部分做成喇叭口形，引水道进口底板上的水深，要考虑由于漩涡而吸入空气，一般采用引水道直径的2倍以上。还有，在大量地引水而担心发生涡流时可以设置防止涡流的工事等。另外，在抽水蓄能发电站的情况下，由于共用放水口，所以要对抽水时的涡流，也要对墙面分离时的偏流以及拦污栅的振动等给予充分注意。

为了水渠的检查维修并且防止洪水时泥沙的侵入，在引水口设有节制闸。还有，为了下游灌溉用的温水的引水以及为了维持河道原来的作用，往往在节制闸前设置防止水质污染用的分层引水设备。

引水口的附属设备，可以设置为防止漂木、垃圾等流入水渠的拦污栅，并为了处理拦污栅前的垃圾往往设置将垃圾用耙子自动往上耙的除尘机。另外，为了防止洪水时等有许多漂木、垃圾流入，可在水库、调节池等所设置的引水口处，设置防漂木装置（网场）。

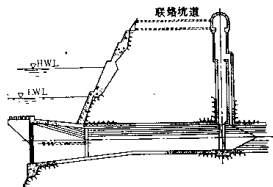


图19 压力引水口的例子