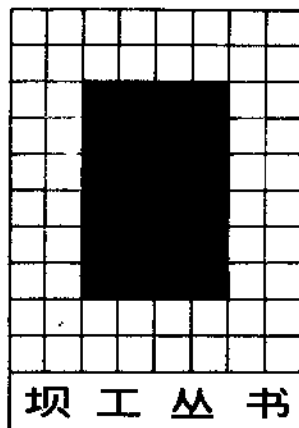


5191
3238

5191
3238



潘家铮

重力坝的设计和计算

中国工业出版社

坝工丛书
重力坝的设计和计算
潘家铮

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南营房)
中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)
北京市书刊出版业营业许可证出字第110号
中国工业出版社第一印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张39·插页3·字数861,000
1965年6月北京第一版·1965年6月北京第一次印刷
印数0001—4,710·定价(科五)5.10元

统一书号: 15165·3538(水电-460)

本书是一本专门介绍混凝土重力坝的设计和计算的书。在设计方面依次叙述了重力坝的布置、断面设计、水力计算及消能设计、混凝土设计、廊道系统、观测监视系统、基础处理及温度控制等方面的内容；在计算方面，论述了稳定计算、应力计算、孔口廊道计算和温度控制计算等。对我国近年来采用较多的宽缝重力坝，专列一章加以介绍。

本书可供水利水电工程设计人员及高等院校有关专业师生参考。

目 录

第一章 概論	1
第一节 重力坝的发展	1
第二节 我国解放后在重力坝设计和施工中的成就	6
第三节 重力坝的工作条件和特点	7
第四节 重力坝的分类	9
第五节 设计要求、设计内容及基本资料	16
第六节 常用的术语和符号	19
第二章 重力坝的布置和細部設計	24
第一节 坝体布置和断面规划	24
第二节 溢流坝的布置和水力计算	30
第三节 阻水和排水设计	60
第四节 坝内的廊道布置	66
第五节 闸墩、导墙和其他结构	71
第六节 坝体混凝土设计	88
第七节 坝体观测设计	101
第八节 基础处理设计	118
第三章 坝体断面设计和稳定分析	139
第一节 作用在坝体上的荷载	139
第二节 荷载组合和安全系数	165
第三节 坝体断面设计的基本原理	169
第四节 坝体经济断面选择	178
第四章 重力坝的应力计算——材料力学计算法	192
第一节 概述	192
第二节 各分应力及边界上应力的计算	194
第三节 成果表示和计算表格	204
第四节 渗透压力所产生的应力的计算	210
第五节 材料力学分析法的改进——基本因素法	219
第六节 坝体变位计算	226
第七节 施工分缝对应力分布的影响及其他计算	234
第八节 试载法计算	249
第九节 重力坝裂缝扩展稳定性的计算	266
第五章 重力坝的应力计算——弹性理论法	288
第一节 概述	288

IV

第二节	无限楔体的經典解答	291
第三节	迭加法的应用	309
第四节	基础內应力計算	336
第五节	渗透压力应力計算	346
第六节	角緣函数	355
第七节	有限差和迭弛法	375
第八节	坝体自振周期計算	390
第九节	坝体应力試驗方法簡介	402
第六章	坝体孔口和廊道的应力分析	412
第一节	概述	412
第二节	无限域內圓孔的計算	415
第三节	无限域中的橢圓孔	432
第四节	无限域中的矩形孔	457
第五节	无限域中的标准廊道	468
第六节	靠近边界的圓孔	480
第七节	裂縫附近的应力集中	490
第八节	大孔口坝体应力分析問題	495
第七章	重力坝的分縫与温度控制	503
第一节	重力坝的各种分縫型式	503
第二节	混凝土坝的温度控制原理与基本措施	509
第三节	重力坝的温度場計算	515
第四节	坝块中温度应力的計算方法	544
第五节	各种分縫方式的設計問題	563
第六节	人工冷却措施	581
第七节	混凝土坝的温度裂縫	589
第八章	寬縫重力坝的設計和計算	595
第一节	寬縫重力坝的特点和断面选择	595
第二节	寬縫重力坝的整体应力分析	607
第三节	渗透压力所产生的应力的分析	632
第四节	寬縫重力坝的基本因素法	650
第五节	分区混凝土重力坝的应力計算	657
第六节	寬縫重力坝局部应力計算	676
第七节	半立体試驗和計算	686

第一章 概 論

第一节 重力坝的发展

为了征服自然和改造自然，人类很早就和河流作斗争了。通过长期的生产斗争，人类逐渐知道修建一些建筑物来控制水流。现在，凡是用来开发水利、免除水害、使河流为人类服务的工程建设，概称为水利工程；水利工程中的各项建筑物都可称为水工建筑物。

水工建筑物的种类很多，有挡水建筑物、引水或输水建筑物、通航建筑物以及其他各种专门性建筑物。但其中挡水建筑物——拦河坝或堰、闸等——往往起着主要作用。在许多水利工程枢纽中，都应用坝、堰、闸等来控制洪水、改善航道、获取动力，以及供给农业、工业和生活用水。如果说挡水建筑物是这些水利工程枢纽中的主导建筑物，这是并不夸大的。

人类修建坝、堰的历史，可以上溯到数千年前。例如我国在二千年以前，就修建过象都江堰这样著名的水利工程，而且迄今尚在发挥作用。当然，早年所修建的堰、坝，还只能是根据一些实践的經驗，按照比較粗糙和近似的准则建造起来的。随着千百年来科学技术的不断进步，堰、坝的设计和建造技术也获得了相应的发展。特别在二十世纪中，堰、坝的设计和计算理论进展更为迅速，堰、坝的建筑物高度和规模也大有发展，各种新颖的坝型被研究出来，其断面日趋经济 and 合理。

拦河坝的类型很多，从建筑材料和结构作用的角度可划分为以下几大类型，即：圉工重力坝（主要的是混凝土重力坝）；散体堆填坝（或称为当地材料坝，主要是土坝和堆石坝）；利用建筑物强度及结构作用维持稳定的拱坝（重力拱坝及薄拱坝）；肋墩坝（大头坝、平板坝和連拱坝）；以及混合式坝。在这许多种坝型中，重力坝是最原始、也是常常采用和比較重要的一种。所谓重力坝，就是主要依靠本身重量来保证稳定的坝。在各国修建的高坝中，直到目前为止，重力坝始终占有相当重要的地位。在表1-1中，根据一些不完整的统计资料，列出了近百年来国外修建的較重要的大坝的总数、坝型組成和重力坝所占的比例。（广义地讲，堆石坝

2 第一章 概 論

表 1-1 近百年來國外大壩修繕統計表(部分資料)
1. 每10年間建造的重力壩數

時 期	壩 高 (米)				總 計	
	30~60	60~90	90~120	120以上	每隔10年	累 計
1850以前	2					2
1850~59	2				2	4
1860~69	2				2	6
1870~79	7				7	13
1880~89	9	2			11	24
1890~99	14				14	38
1900~09	35	3			38	76
1910~19	41	11	3		55	131
1920~29	121	18	5	1	145	276
1930~39	98	36	6	2	142	418
1940~49	85	16	7	3	111	529
1950~59	151	88	17	12	268	797
總 計	567	174	38	18		
設計中的	53	40	19	18		
合 計	620	214	57	36		927

2. 重力壩所占的比例表

時 期	各種壩型總數 (累計數, 下同)	重力壩 (及所占%)	拱 壩	連拱壩	肋墩壩	土 壩	堆石壩
1850以前	6	2(33%)	2			2	
1850~59	11	4(36)	3			2	2
1860~69	16	6(37)	3			5	2
1870~79	26	13(50)	3			7	3
1880~89	38	24(63)	3			7	4
1890~99	56	38(68)	3	1		9	5
1900~09	111	76(68)	6	1		21	7
1910~19	224	131(59)	24	5	5	47	12
1920~29	515	276(54)	75	25	7	108	24
1930~39	793	418(53)	112	31	12	176	44
1940~49	1030	529(51)	155	37	22	236	51
1950~60	1559	797(51)	245	40	48	359	70
總 計	1559	797(51)	245	40	48	359	70
設計中	204	130(64)	22	1	6	30	15
合 計	1763	927(53)	267	41	54	389	85

3. 国外修建各种坝型统计表

国家或地区	坝数	坝型					
		重力坝	拱坝	连拱坝	肋墩坝	土坝	堆石坝
美国	569.5	196	87	19	7	225.5	35
日本	222	185	10	1	1	20	5
意大利	164	84	48	6	14	3	9
西班牙	141	120	12		6	2	1
法国	96.5	49	39.5	4		3	
澳大利亚	53	27	4	1	2	18	1
加拿大	47	31	2	2	1	7	4
瑞士	32.5	16	11.5		3	1	1
墨西哥	32.5	7	3	2	2	14.5	4
英国	31	18			4	9	
葡萄牙	31	9	14		1	4	3
奥地利	21	11	10				
新西兰	19	8	7			3	1
阿尔及利亚	18	9	2	1		3	3
智利	11	1				3	7
阿根廷	10	1	4		3		2
其他地区	264	155	13	5	9	73	9
总计	1763	927	267	41	54	389	85

和土坝也是依靠坝体材料重量来维持稳定的。但在习惯上，我们常以重力坝一词来专指依靠自重维持稳定的圬工坝。土坝和堆石坝另被列为“当地材料坝”或“散体堆填坝”这一种类型。）

分析表列资料可见，重力坝在各种坝型中所占的比例，一般保持在50%左右。这充分说明这一种坝型的重要性（其次则为土坝及拱坝）。

修建重力坝的材料通常为混凝土和石料。但目前，凡是重要的、永久性的和较高的重力坝，几乎全是用混凝土修建的。因此，一般所称的重力坝，几乎就专指混凝土重力坝而言。本书所讨论的内容，也就限于岩石地基上混凝土重力坝的设计和计算问题。

如前所述，人类修建坝的历史可追溯到数千年前。但早期修建重力坝时，对于其工作情况、所承受的荷载的性质和数量、坝体内的应力分布、对建筑材料的要求等都是不够了解的，所以其断面常常很大，而型式、布置上却不很合理，材料上和施工上的缺陷很多。因此，残存到现在能继续发挥作用的就不多见了。重力坝按科学原理设计和建造，实际上是十九世纪以后的事。下面拟简单地叙述一下重力坝设计理论的进展历史。

魏格曼 (E. Wegmann) 在研究了西班牙和法国早期所修建的重力坝后会指

出，在1850年以前所修建的坝，大都是设计不良的：体积十分庞大，断面不够合理，还有一些工程在基础处理上存在着问题。分析历史资料得知，在十九世纪五十年代，尚无成熟的设计准则可资遵循。

在1850~1860年，法国的工程技术人员开始拟出了一些科学的设计准则，从而使重力坝的设计理论大大地前进了一步。目前仍在应用的两条基本设计原则，即（1）重力坝内的应力不应超过某一极限和（2）重力坝任何部分不能发生滑动破坏，也就是当时由萨济耳利（De Sazilly）在总结了一些实践经验后提出的。

在1881年，英国兰金（J.M. Rankine）发表了一条设计重力坝的重要原则，即：在坝体内，主要是在坝的上游面，不能产生拉应力。他根据应力线性分布的假定，将上述原则更具体地表达为：坝内合力线的位置应保持在断面宽度的三分点以内。这一条著名的古典准则——三分点准则，直到目前仍然是重要的参考公式。兰金的另一贡献是，他指出重力坝下游面最危险的应力是平行坝面方向的主应力。

在此以后，许多工程技术人员都已知道用“抗滑稳定”和“三分点准则”来设计重力坝。但后来，发现某些重力坝虽然其设计能够全部满足上述要求，却仍然发生了事故。这就不能不使人怀疑是否尚有某些重要的设计因素未为人所知。这样就逐渐发现和注意到坝内渗透水所起的破坏作用。利威（M. Levy）在1895年明确地指出了在坝体上游面的裂缝中存在着显著的水压力作用，他并提出了另一条著名的设计原则，即为了防止这些渗透水压力可能造成的失事危险，坝体上游面应力应该保持为压应力，其数值不应小于该点的水压力。更重要的是，他正确地建议在上游面内设置垂直的排水系统和视察廊道来作为一道“保护”。他认为这些措施正象蒸汽锅炉中的安全阀一样重要。在此以后，经过许多人的努力探究，作用在重力坝上的一种主要和隐蔽的荷载——扬压力——的性质，就逐渐明确了。

进入二十世纪后，对重力坝的设计和计算工作就更加深入了。1922年魏格曼所著“坝的设计和施工”^①一书中，已总结了以下一些设计准则：（1）压力线位置，不论在库满或库空情况，都要位于断面的三分点内；（2）坝体内或基础上的最大压应力不能超过某一极限；（3）沿任何水平面上的摩擦力应能阻止坝体滑动；（4）坝顶应有足够的厚度和超高以抵抗波浪作用和漂浮物的冲击。这时，书上的标准断面已有60米高，最大压力已约达15公斤/厘米²。

我们应该补叙，在坝体应力分析方面，从十九世纪末到二十世纪初也已有很大进展。如前所述，在十九世纪八十年代，兰金已经提出了三分点原则，实际上已将材料力学中的线性算法应用到重力坝分析上去了。1898年，利威应用弹性理论方法全面地计算重力坝的应力分布。他用古典的弹性理论得出了无限楔形体在重力和

^① Edward Wegmann: Design and Construction of Dams, 7th edition, John Wiley and Sons.

一些边界力作用下的应力分布解答。1913年卡罗塞 (S. D. Carothers) 得出了更全面的一些经典解答。后来苏联喀列尔金 (Б. Г. Галеркин) 成功地用弹性理论解决梯形断面的计算, 更使此法的实际应用发展了一步。约与此同时, 以材料力学中正应力呈线性分布假定为基础的应力算法也日益发展、完整。我们可以指出以下一些文献: 1908年, 歇尔 (E. P. Hill) 发表了求重力坝内部剪应力的近似法; 1909年, 克因 (W. Cain) 发表了计算重力坝内应力的一篇较完整的论文。1910年以后的二十年中, 这个方法已被研究得相当完整和定型, 达到可以实用的程度。

在1920年前, 重力坝设计发展的另一方向, 是研究如何在应力分析问题日趋明确的基础上, 进一步提高材料的工作应力。当然, 相应地也推动了在工程材料 (混凝土) 和施工技术上的进步。

1930年以后至今的数十年中, 重力坝的设计、计算和施工更有了很大的进展。这主要是由于生产上的需要所推动的。由于要兴建巨大的水库来满足大型水电站、大型防洪和灌溉工程的需要, 世界各国在1930年以后修建了许多重力式高坝。坝高, 断面大, 工程量多, 就出现了一系列新的问题要求解决。在应力计算方面, 精确的弹性理论法又得到发展来研究较困难和复杂的应力问题, 如“角缘函数”或“自应力”理论 (1936)、拟板原理 (1930~1934)、迭弛法 (1947~1951)、孔口和廊道附近的应力集中计算 (1930~1940) 等。在应力试验方面, 偏光弹性试验开始大量用来研究重力坝的应力 (1930~1936), 其后拟板试验 (1934年)、电测试验和应变网试验, 也有所采用。

应力计算的另一条发展方向, 则为考虑重力坝的空间结构作用。1933年, 美国一些工程技术人員提出试验法的原理, 其后得到了发展, 不久即应用到铰接式和整体式重力坝的分析上去, 并且也用以分析重力拱坝和薄拱坝。

在荷载研究方面, 韦斯特格德 (H. M. Westergaard) 于1933年近似地解决了地震时坝面上的动水压力问题, 并提出了实用的公式。这个课题近来经过日本畑野正、小坪清真等人和我国学者们的研究, 已更较明确 (1956~1962)。斜面上的动水压力问题, 经美国赞格用电拟法研究, 也得出许多资料。对于波浪压力、冰压力和淤沙压力等也已积累了许多观察资料和半经验公式。

由于高坝的断面较为巨大, 必须分缝分块浇筑; 而且必须解决温度应力问题, 于是, 发展了各种分缝型式和设计理论, 缝面的处理设计、坝体的温度应力计算理论和温度控制设计均随之出现。在施工方面, 混凝土的生产、运输和浇筑的规模日益扩大, 大规模机械化浇筑混凝土和大体积混凝土的质量控制、温度控制等问题, 都有了丰富的实践经验。

对于坝体混凝土的各项要求, 也进一步明确了, 材料的各种性能都有很大的提高。最大计算应力, 可以达到 80~100 公斤/厘米², 甚至更高。单宽流量达 120 米³/秒/米的溢流道及消能工已非罕见。此外, 各种新式的重力坝坝型的出现, 各

种观测重力坝变形和应力的仪器的发明和应用，都是最近数十年中的成就。

第二节 我国解放后在重力坝設計 和施工中的成就

我們伟大的祖国，是世界上历史悠久的国家之一。我們勤劳智慧的祖先在水利工程方面的光輝成就，是全世界人民所熟知的。至今，还有一些数千年前修建的古老的水工建筑物在为我们服务，这些建筑物設計的巧妙和施工质量的良好，在当时都是属于第一流的。但是，由于长期的封建統治，特别是近百年来清代皇朝和国民党的反动統治，以及帝国主义的侵略和压迫，我国水利科学技术的进展受到了严重阻碍。例如在国民党統治的年代里，几乎没有修建过一个較大的水利工程，以致水利不兴，水害日亟，黄河和淮河等更是經常成災。在这一段黑暗的年代中，我国的水利科学正和其他各种科学一样，得不到应有的发展，而远远落后于国际水平。

1949年中华人民共和国成立，結束了这一段黑暗时代。在党和毛主席的正确领导下，我国人民奋发图强，自力更生，已迅速地扭轉了这种落后的局面。我們正在以矫健的步伐胜利前进。在短短的两个五年計劃期間，我們已經取得了巨大的成就。在毛主席的“一定要把淮河修好”的伟大号召下，我們已在淮河流域上修建了一連串的水庫，較大的就有佛子岭水庫、梅山水庫、响洪甸水庫、磨子潭水庫和南湾水庫等，还有许多水閘工程。过去被資本主义国家专家們认为无法治理的黄河，也正在迅速改变面貌，第一个巨大的工程——三門峽水利樞紐已矗立在黄河上了。在水力发电方面，許多大中型的水电站，如官厅、黄坛口、獅子滩、上犹江、流溪河、新安江等已先后投入运行，在规划、設計和建設中的水电站为数更多。我們深信，我国人民在伟大的党和毛主席的正确领导下，一定能够依靠自己的双手，迅速改变一穷二白貧困落后的面貌，把我国建設成为一个伟大的社会主义强国。

随着解放后水利水电建設事业的飞跃发展，我国的大坝設計和施工水平也正在不断提高。新安江、三門峽等工程的拦河坝，均为高达百米以上的混凝土重力坝，还有采用了高百米以上的肋墩坝的工程，佛子岭（坝高七十余米）和梅山（坝高八十余米）水庫的連拱坝均可列入世界最高的連拱坝之列。至于我国修建的土石坝更为数众多，其中如密云、官厅等水庫的土坝均为規模巨大的工程。根据我国的一些具体条件，目前在各种坝型中，重力坝采用較多，而其設計和施工技术方面的发展也較迅速，現略加叙述如下。

在应力分析和研究方面，我国技术人員和学者改进了材料力学分析法（1957～1958，參見第四章第二节和第五节），使其大为簡化，較国外沿用的計算公式和表

格为方便。宽缝重力坝的应力计算问题是在我国首先作了详尽的研究和试验的（1957~1959）。在大孔洞重力坝设计方面，我国的力学家和设计人员对复联体的迭弛计算作了理论上的推展和演算（1956），并做了模型试验研究（1961）。在温度应力和温度场的分析理论方面，我国学者也作出了许多贡献（1957~1961）。在1960年以后，我国更大力研究了重力坝应力的电模拟解法和应用电子计算机计算坝体应力的问题。与理论分析相结合，我国自第一个五年计划时期开始，即研究和掌握了各种模型应力试验技术，包括光测、电测和其他试验，不仅能解决平面问题，而且在探索空间试验问题方面也做了大量工作。我国的许多学校和研究机构，与设计部门密切配合，研究和试验了重力坝在振动力学和水力学上的许多问题，如地震应力分析、地震时坝面水压力问题、溢流中的脉动、震动和气蚀问题等，都得到了许多有价值的资料。

在新坝型的设计研究中，我们曾设计了大孔洞重力坝、溢流式厂房重力坝，至于宽缝重力坝更在我国得到了广泛的应用。此外，我国对一些有发展前途的坝型如腹孔坝、装配式重力坝等，也进行了科学研究和试验工作。

最后还要提一下在施工技术上的进展。我国在解放后迅速地修复和新建了许多大中型拦河坝工程。我国目前较大的重力坝（如三门峡、新安江等工程的拦河坝），其体积在一百数十万立方米至数百万立方米，都是在短短几年内修建完成的。在施工中还涌现出许多新技术，如大块高层浇筑，特大骨料混凝土及重型震捣器的采用，大量块石的埋设，新颖的导流和防渗措施，高度机械化施工，复杂的地基处理等等。所有这些对重力坝的施工都具有重要意义。从上述极不完整的资料中，已可看出解放后我国水利建设与水利科学的成就是多么巨大。

第三节 重力坝的工作条件和特点

在本章第一节中已经说明，重力坝主要依靠它的自重来保证稳定，起到挡水作用。坝体的巨大重量，在任何一个断面上产生足够大的摩擦力来抵抗水压力以及其他外荷载，不使发生滑动。同时，自重也在坝体内，特别在上游面产生可观的压应力，以抵消外荷载在坝体上引起的拉应力，使坝体不致发生应力上的破坏。所以，重力是保证重力坝安全运行的主要因素，这也是这类坝型被称为重力坝的原因。

既然重力坝是利用自重来维持稳定的，则和其他利用结构作用维持稳定的坝型——如拱坝或肋墩坝——相比较，重力坝的断面和相应的工程量常较巨大，而坝体内的应力则较低。以拱坝与相同高度的重力坝比较，前者的体积只为重力坝的80%（重力拱坝）~15%（薄拱坝），甚至更少。肋墩坝也常可比重力坝节约20%~40%的工程量。所以重力坝常须耗用较多的建筑材料（水泥），这可以认为是重力坝的一个较大的缺点。

使重力坝断面增大的原因，除材料的强度未得到充分利用外，还由于重力坝与基础接触面积大，其上的扬压力很大，以致坝体材料的自重也未得到充分利用。所以在现代重力坝设计中，如何减少扬压力的数值，是一个极重要的课题。

由于重力坝的断面较大，它的温度应力和收缩应力也较严重。施工中生产混凝土的能力和相应的运输、浇捣和温度控制要求都比较高。这又是重力坝的另一个缺点。

混凝土重力坝虽然具有以上一些缺点，但它更具有以下一些极其重要的优点：

(1) 混凝土重力坝对坝区的地形地质条件的适应性较好。几乎在任何形状的峡谷中均能修建重力坝。同时，由于基础面上的压应力不高，因此对地基的要求也可以比拱坝或肋墩坝为低。

(2) 由于重力坝内部应力不高，所以对材料性能的要求也较低，除局部地区外，可以采用较低标号的混凝土。并且由于坝体断面大，可以大量堆放块石和采取其他有效措施，以降低单位水泥用量。在施工上，有利于采用大规模的机械化浇捣方法，以加快速度。在放样、立模、浇捣和保证混凝土质量等问题上都比较简单，混凝土的单价往往是较低的。

(3) 在坝体的潜在安全性上来说，重力坝胜于轻型的肋墩坝或当地材料坝。因为，和肋墩坝——如连拱坝或平板坝——相比，由于重力坝断面尺寸大，应力低且分布较均匀，与基岩的接触面积广，不论是抵抗长期渗漏、意外的荷载、震动或战争中的破坏，重力坝的安全性均较高。以重力坝与土坝或堆石坝相比时，则由于重力坝在任何破坏面上除摩擦力外必然存在着可观的抗剪断强度，其最终稳定破坏安全系数至少在2以上，一般常达3~5以上（具体数值与地形、地质条件及工程处理措施有关），安全性显然较土坝或堆石坝为高。其次，当遭遇超过设计考虑的洪水时，重力坝上的溢流量稍增大一些，或在原设计的挡水坝上发生溢流时，虽将引起不利后果，但尚不一定失事，而当地材料坝若发生漫顶情况，是极易招致全面性的破坏的。

不过，重力坝与拱坝相比时，应该认为，在一般情况下后者的潜在安全性将更高一些。

重力坝的维护、修复或扩建，都比其他型式的坝来得简单、方便。

(4) 另一个优点，可能也是一个主要的优点，就是重力坝枢纽上的泄水问题一般比其他坝型容易解决。重力坝的基本断面形状，很适宜于做成顶部溢流的溢流坝，而可以泄放很大的流量。在坝体内设置泄水底孔的问题，也比其他坝型简单。而泄洪问题在其他坝型，特别是当地材料坝、薄拱坝和轻型肋墩坝，就较难解决，多数不得不另外开辟溢流道或泄水隧洞来解决，这就大大增加了工程量、造价和复杂性。我国大部分河流的特点，都是水量丰沛，洪水泄量巨大，因此很适宜于采用重力坝。我国目前最高的几座大坝，如三门峡水利枢纽工程、新安江水电站等的拦河

坝，都采用了重力坝，这不是偶然的。

重力坝尚有其他一些优点，如结构作用明确，变位和应力的计算及研究比较简单，有利于采用分期导流方式施工，钢材的耗用量较少，必要时便于分期施工或分期加高，与水电厂的结合和输水系统布置都比较容易。所以，重力坝至今仍为一种重要的坝型。

第四节 重力坝的分类

重力坝可以从不同的角度来分类，现在略予解释和讨论如下。

一、按高度分类

重力坝按其坝高可以分为低坝、中等高度的坝和高坝三类。当然其间并无严格的区别。一般讲来，坝高小于30米的可称为低坝，坝高大于70米的可称为高坝，在其间的可称为中等高度的坝。目前国外已完成的较高的重力坝有：瑞士的大狄克逊坝，高284米；美国的包尔德坝，高224米；印度的巴克拉坝，高207米；美国的沙斯塔坝，高160米；日本的佐久间坝，高160米。

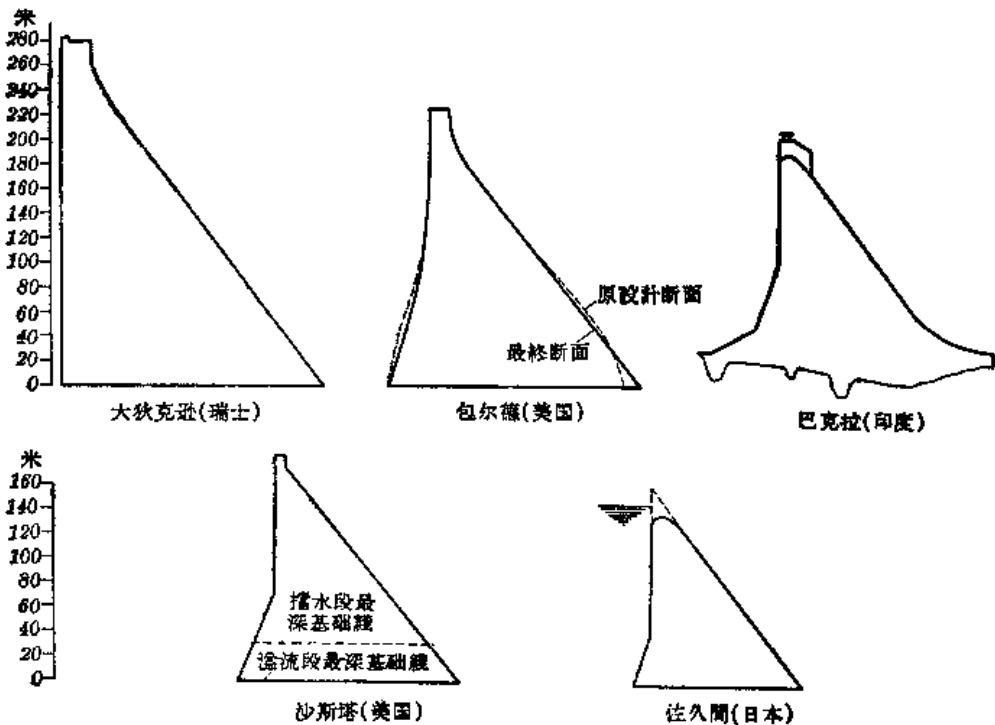


图 1-1 国外几个典型重力高坝的断面比较

斯塔坝，高184米，大古力坝，高168米；日本的佐久间坝，高150米；苏联的布拉茨克坝，高125米等。其他在百米左右的高坝，也已修建了百余座。图1-1表示某些高坝断面的比较。

坝体的高度愈大，在设计上和施工上的要求也愈高，问题也愈多。这是因为：

(1) 坝高愈大，作用的水头、承受的其他荷载和内部的应力都随之增大，因而不论对坝体材料的强度、密度、抗渗性，对基础的处理，对某些细部构造（如止水、防渗等措施），都有较高的要求。对于应力、变形和水力计算等也要求作更精确的分析。

(2) 坝高愈大，溢流落差、流速愈大，下游冲刷消能等问题也愈严重。

(3) 坝体愈高，断面尺寸必然愈大，这就引起了施工浇筑、分缝分块和温度收缩应力计算、设计等一系列问题。

(4) 坝体愈高，工程数量愈大，失事的后果亦极严重。因此要求有更正确合理的工程布置和断面设计，以求在确保安全的基础上最大限度地减少工程量、投资和劳动力。

因此，高坝与低坝的设计内容和要求不一定是相似的。某些问题在低坝中可能无关重要，而在高坝设计中却成为关键问题。

二、按坝体在空间的结构作用分类

重力坝沿河谷断面的长度，少则十数米，多者达数公里，因此通常必须分为若干坝段施工，两相邻坝段间的分缝称为横缝。随着横缝缝面处理措施的不同，坝体在空间的结构作用也有所不同。根据不同的横缝缝面处理措施，可以划为三大类（参见图1-2）：

1. 悬臂式重力坝 各横缝做成永久性的温度伸缩缝，中间填有柔性填料。因此，在外荷载作用下，各坝段得视为可独立变形，互不牵涉。在作应力分析时，亦可分坝段独立进行。

2. 铰接式重力坝 各横缝间做有垂直键槽，使缝面上能传递一定的剪力（指沿上下游方向的剪力）。在承受外荷载——如上游面水压力——作用时，各坝段间将有一定的牵涉作用。可以这样设想，河床中央部分的坝段最高，在水压力作用下变形也最大，愈向两岸，坝高愈低，变形也愈小。但由于缝面间的约制作用，各坝段不能完全独立变形，在缝面间将产生一定的剪力，使中央部分的坝段的变形减小而岸坡部分的坝段的变形增加。换言之，各坝段两侧面承受着一定的剪力作用，悬臂梁除发生在垂直平面内的弯曲外，尚有一定的扭转作用，坝体中除在垂直平面内产生应力外，在水平断面上也产生某些应力，亦即坝体起有一定程度的空间作用。

3. 整体式重力坝 在这类重力坝中，横缝仅作为一临时的施工缝或温度缝，在

以后将采用适当的工程措施——常为水泥灌浆——将其封堵密实，使各坝段结合成整体，从而能更全面地起空间结构作用。

这三类重力坝的工作特性及其优缺点可以简单地比较如下。

在结构作用上，悬臂式重力坝最为简单明确，各坝段主要依赖悬臂梁作用承受各自的荷载，主要的应力为垂直平面上的应力，应力和变形分析都可按平面问题处理，也比较简单，容易求出较精确的成果。在各坝段中，中央部位的坝体由于其坝高最大，应力和变形也最大，往往成为控制断面。

整体式重力坝恰与之相反，它的结构作用远为复杂，各坝段不能独立地进行计算，而须按整体考虑，因此分析工作是比较困难的。其中央部位的坝段由于受到岸坡部位坝段的帮助，最大应力和变形都比相应的悬臂式重力坝为小，因此从理论上讲，整体式重力坝的断面和工程量可以比悬臂式的小一些。但岸坡部分的坝体，由于受到空间结构作用的影响，其工作条件往往较相应的悬臂式重力坝岸坡部分为差，它不仅将承受较大的荷载，发生较大的变形和应力，而且还产生可观的扭转作用和相应的水平面上的拉应力及剪应力。

在施工上，悬臂式重力坝比较简便，整体式重力坝需在横缝中布置相应的灌浆系统以及必要的温度控制设备，在混凝土浇筑后，须经过适当的冷却处理，使缝张开，再灌浆填缝，所以施工比较复杂，工期亦较长。但在高坝情况，横缝经妥善封堵后，沿缝面的渗漏可以得到有效的防止，这是整体式重力坝的一大优点。

坝体在运行期中，由于气温的变化，不免产生一定的温度应力。在这方面，悬臂式重力坝的温度应力问题要比整体式来得小，正如静定结构的温度应力比超静定结构为小一样。

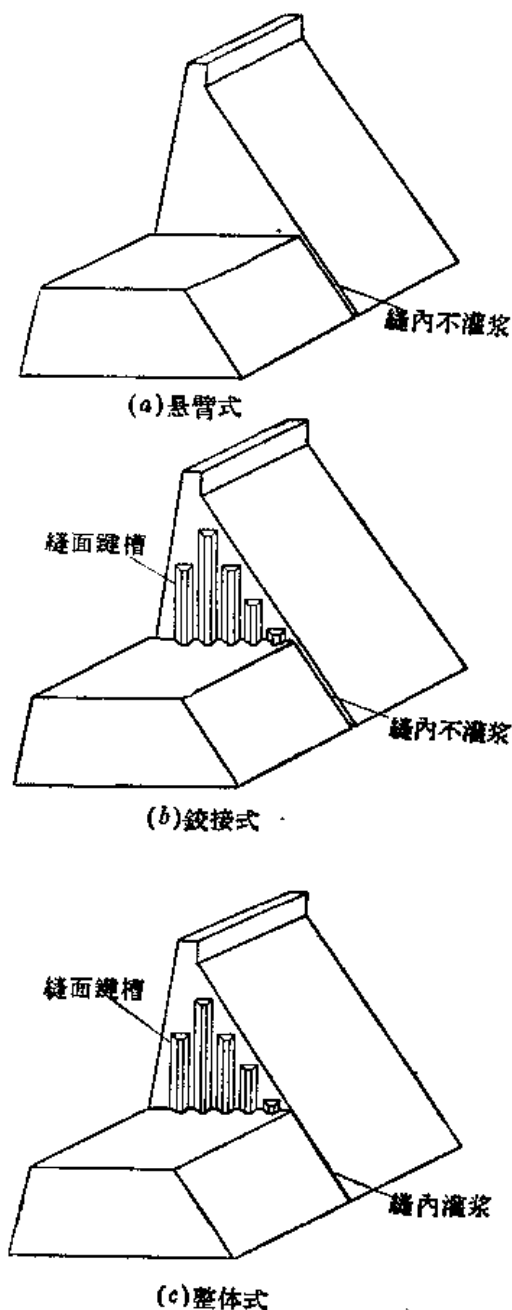


图 1-2 悬臂式、铰接式及整体式重力坝示意图