

砌石拱坝技术经验汇编

四川省水利电力厅勘测设计院 编
浙江省水利水电勘测设计院

084

水利出版社

砌石拱坝技术经验汇编

四川省水利电力厅勘测设计院
浙江省水利水电勘测设计院 编

水利出版社

内 容 提 要

本《汇编》收入十三篇文章，是从1978年“砌石拱坝技术经验交流会”上选出来的。文中详细介绍了中小型砌石拱坝建设的 技术经验，主要包括：砌石拱坝的选型、简化计算、溢流消能、坝基处理以及砌石材料的物理力学性能研究、模型试验技术、原型观测仪器的埋设和资料分析等。

本书可供省、地、县从事中小型坝工设计、施工的技术人员和高等院校、中等专业学校有关专业的师生参考。

2.84/12

砌石拱坝技术经验汇编

四川省水利电力厅勘测设计院 编
浙江省水利 水电 勘测 设计院

*

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 19印张 431千字

1980年11月第一版 1980年11月北京第一次印刷

印数 0001—5100册 定价 2.35元

书号 15047·4087

前 言

随着我国水利水电建设事业的蓬勃发展，近年来修建了不少中小型砌石拱坝。为了总结交流经验，在原水利电力部规划设计管理局的组织领导下，由水利水电拱坝情报网会同贵州省水利局，于1978年在遵义召开了“砌石拱坝技术经验交流会”。

为了使这方面的技术经验得到进一步的交流和推广，会议选出十三篇文章，由四川省水利电力厅勘测设计院、浙江省水利水电勘测设计院、三三〇工程局设计院和原水利电力部规划设计管理局负责审编，以《砌石拱坝技术经验汇编》的形式出版，供各地参考。

参加本书编辑工作的主要有四川省水利电力厅勘测设计院的谢棋智同志和浙江省水利水电勘测设计院的彭宗庆同志。在审稿编辑过程中，曾得到有关单位和同志的大力支持，在此一并表示感谢。

本书所选文章虽几经审查、修改，但限于编者的水平，错误仍在所难免，欢迎读者批评指正。

水利水电拱坝情报网

一九八〇年五月

目 录

前 言

砌石拱坝体型布置	浙江省水利水电勘测设计院(1)
替代法和位移法	孙扬鑣 徐也平(29)
考虑径向和扭转变位的拱冠梁法——转角平衡法	郎重鸣 冯广宏(59)
拱冠梁法分载的导数解法	冯广宏 郎重鸣(83)
成层异弹模拱坝模型试验技术及其结构计算	武汉水利电力学院水工结构试验室(92)
砌石拱坝设计的某些问题	谢任之(106)
贵州省中小型拱坝溢流的几个问题	贵州省水利设计院(113)
浙江省中小型拱坝坝顶溢流与消能	浙江省水利水电科学研究所(146)
贵州省岩溶地区砌石拱坝的坝址选择和基础处理	戴景春(171)
四川盆地软弱岩基上砌石拱坝的基础处理	四川省水利电力厅勘测设计院 第二勘察规划队(195)
砌体结构模型试验问题的探讨	成都科技大学水科所结构室(219)
长沙坝浆砌条石拱坝观测资料的整理分析	成都科技大学 长沙坝水库工程指挥部(232)
砌石坝的胶结材料	丁朴荣 杨全民(262)

砌石拱坝体型布置

浙江省水利水电勘测设计院*

一、体 型

拱坝的体型选择关系到坝的应力分布状态，而后者的优劣，正是工程好省的基础。体型选择，要结合河谷的地质地形、坝头稳定、溢流消能、筑坝材料、施工条件等一并考虑。本文侧重从坝体应力方面来讨论体型选择。

(一) 拱梁力学特性

从拱梁法概念可知，拱圈分载大小及其应力状态，是拱坝优劣的关键所在。分载大小除受河谷地质地形条件的客观限制外，亦可人为地调正拱梁刚度，改变荷载传递途径。

然单就拱圈而言，其应力可有如下关系：

$$\sigma = f(\varphi, T/R, E_c/E_r, b/a, P)$$

式中 φ ——中心角；

T/R ——拱厚半径比；

E_c/E_r ——坝体坝基弹模比；

b/a ——基础接触面等代矩形边长比；

P ——荷载。

圆弧拱圈中心角的大小，是影响拱截面应力的首要因素。中心角小，拱矢小，拱近于梁。弯矩大，截面应力大而不匀，材料强度不能充分发挥。在砌石拱坝内，允许拉应力值是很低的，应该调正拱型，尽量发挥材料的抗压性能。但是，中心角也不能过大，否则，拱圈轴线与坝头岩石等高线交角过小，于坝头稳定不利。在平直河段里，拱圈中心角一般可选在 $80^\circ \sim 100^\circ$ 之间，拱端轴线与岩岸等高线交角在 40° 左右。当坝轴位于喇叭口地形进口段上，中心角可以稍大一些，但拱轴与岩岸交角要在 40° 以上。

影响拱圈截面应力均匀与否的第二个因素是 T/R 值。此比值小，渐趋薄环匀压状态。与中心角配合得宜，常可全部消除水压拉力，且于基岩变形也较适应。这也表明，强度高的材料作成小的 T/R 值拱圈，更能发挥材料的抗压性能。

悬臂梁的应力问题，在窄而深的河谷地形里，问题不太突出。在满足拱圈造型的前提下，从施工角度而言，坝面倒悬度宜便于施工。

当拱坝坝址河谷地形宽浅，坝顶弦长与坝高之比 $L/H > 3.5$ 时，按拱梁变位一致条件方程，梁分到的荷载比例较大，应力不易满足要求。以往，常常用增厚坝体来减小应力，

* 本文由彭宗庆编写。

但截面渐趋厚重，从而，拱坝也就失去了它的优越性。近些年来，由于设计和施工的进展，宽浅式河谷地形，常可人为地调正拱梁刚度比值，削减悬臂梁的应力，由 $L/H < 3.5$ 的限制已大为放宽。低坝在 $L/H = 5 \sim 7$ 左右，仍有较好的经济效果。

为了减少梁基迎水面的拉应力，分块施工的拱坝，可使孤立的悬臂梁梁块倒悬于基面之外，让自重产生偏心矩，平衡水压产生的弯矩。此时，应注意倒悬施工问题，以及空库时坝身的安全。

(二) 布置

根据对拱圈和悬臂梁应力性态分析，结合坝址河谷地形、筑坝材料、施工方法，一般有两种布置型式可供选择。

1. 定圆心拱坝 图1各高程拱圈中心选在同一铅垂线上，即平面图中的同一点上。迎水面为柱状直立，背水面渐次收坡。

这种体型，在两岸陡峻的U形河谷里比较合适。此时，坝顶中心角与坝底中心角相差不多，均能接近 $80^\circ \sim 100^\circ$ 左右。应力状态好，坝面无倒悬，施工放样和坝体砌筑均方便。但若河谷两岸坡度缓坦，定圆心必然造成中下层拱圈圆心角过小，应力恶化。此时，就不宜选用此型。

2. 变圆心拱坝 图2各高程拱圈中心点是变动的，但中心角保持在 $80^\circ \sim 100^\circ$ 之间。这种体型的剖面曲线，可根据悬臂梁应力的需要，结合施工、溢流等考虑。

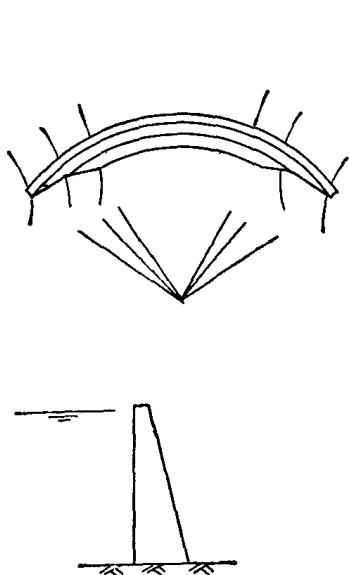


图 1

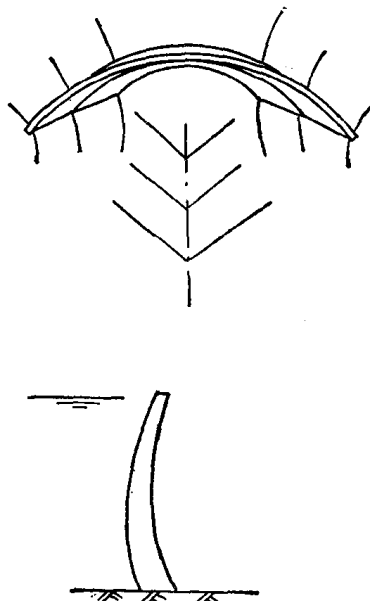


图 2

在V型或梯形河谷里，若仍采用定圆心拱坝布置，坝顶中心角与坝底中心角必然相差较大。坝顶中心角若取得过大，对坝头稳定不利。但坝底中心角过小，拱圈应力又不好。解决问题的办法，就是使各高程中心角保持在 $80^\circ \sim 100^\circ$ 之间，拱轴与岩岸交角在 40° 左右，而使各高程拱圈圆心点相应变动。

变圆心拱坝，其梁剖面呈曲线形者，称双曲拱坝。双曲拱坝，若梁布置得宜，可以用

梁自重造成预压应力，以平衡梁基迎水面处由水压形成的巨大拉力，还能改善两岸坝肩的抗滑稳定条件。但主要缺点是施工放样和倒悬砌筑较难。

变圆心双曲拱坝悬臂梁，倒悬度大小有三种安排办法。

图 3 拱冠梁剖面向下游倒悬，岸坡剖面保持直立。图 4 拱冠剖面保持直立，岸坡剖面向上游倒悬。图 5 拱冠剖面向下游倒悬，岸坡剖面向上游倒悬。

三种方案的倒悬度大小和位置不同，对施工和悬臂梁应力都有不同的影响，应根据施工条件和应力成果以定取舍。一般为了避免倒悬度过大，造成施工困难，常取图 5 分散倒悬方案。

悬臂梁的应力，受河谷宽高比影响很大。有的拱坝虽采取自重倒悬，但仍不能解决梁基迎水面拉应力过大问题。此时，一个办法是允许悬臂梁开裂，听其刚度自然削弱，而将荷载转嫁到拱上去。另一个办法是将梁基切断，设置沥青底滑缝。二者相较，允许自行裂缝的办法其裂缝形状不整齐，位置不易控制，修补困难。在中小型拱坝中，人为地事先设置一道水平缝，可以粘贴橡皮止水，或填筑粘土防渗。由于底缝难于传递水平剪力，外载全由水平拱系承担，而拱的应力是设计者易于灵活掌握的。

悬臂梁拉应力，因底缝设置而大大松弛，梁中其他截面拉应力均大幅度降低。这样，即使在宽浅式河谷里，坝体也可设计较薄。

底缝设置如图 6，该图系浙江光明水库拱坝实例。

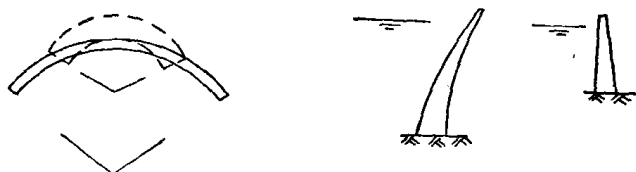


图 3



图 4



图 5



图 6

坝体特征尺寸为

$$L/H=5, T/H=0.1, H=20^m。$$

此为变圆心双曲拱坝，设置底滑缝。底缝刷沥青匀而薄，不能传递拉力，但能传递竖向压力。底缝的设置，一般选在离河床面上数十厘米处，以便施工操作。缝面混凝土浇抹

平整后, 刷热沥青匀而薄, 使缝厚小于 1 毫米, 上铺砂浆, 再分块浇筑混凝土坝块, 使块重将缝面压实嵌合。当封拱灌浆形成正体拱圈后, 即可在迎水面处粘贴薄板橡皮将缝封隔止水。光明水库拱坝, 为了观察沥青底滑缝的运行止漏情况, 暂未粘贴止水橡皮。从 1976 年运行至今, 除个别点施工不慎, 因沥青膜在施工时被破损而漏水外, 一般不漏。

(三) 一组算例

为了了解不同河谷地形、构造特征等对坝体应力分布的影响, 兹选录一组工程实例数据。数例是按拱圈中心角小于 100° , 坝顶弦长与坝高之比 $L/H = 5 \sim 2.5$ 进行选择的。计算按拱梁法径、切、扭全调整进行。从这一组算例中可进行分析比较, 审度应力与体型的关系。

1. 例一

荷载及尺寸如表 1。

$$L/H = 5, T/H = 0.1, H = 20^m, \\ E = 2.6 \times 10^6 T/m^2, E_c/E_r = 1.$$

图 7 表示多拱梁法计算时的拱梁布局及拱梁编号。表 2 ~ 9 表示拱梁各交点处的应力。

根据表 2 ~ 9 可以看出, 拱冠梁根部迎水面处拉应力是很大的。

在宽浅式河谷低坝工程中, 悬臂梁根部迎水面的过大拉应力, 是坝块自重倒悬所不能解决的。为此, 考虑设置沥青底滑缝方案, 将荷载转嫁到拱上去。

为了便于计算和进行比较, 采用壳体差分法对同一尺寸的拱坝, 按设置底滑缝和不设底缝的常规构造方案均进行计算^[1]。

图 8 表示差分网格分布情况及编号。表 10 ~ 13 表示各网格点处的应力。

2. 例二

荷载及尺寸如表 14。

$$L/H = 3, T/H = 0.16, H = 125^m \\ E = 3.4 \times 10^6 T/m^2, E_c/E_r = 1$$

图 9 表示多拱梁法计算时的拱梁布局及拱梁编号。表 15 ~ 22 表示拱梁各交点处的应力。

3. 例三^[2]

$$L/H = 2.5, T/H = 0.22, H = 157^m, \varphi = 80^\circ \sim 90^\circ.$$

图 10 表示在多拱梁法计算时的拱梁布局及编号。表 23 ~ 34 表示拱梁各交点处的应力。

图 11、12、13、14 分别表示在荷载组合为 (正常水位 + 温降 + 自重) 情况下, 梁分到的径、切、扭荷载及各梁的径向变位。

4. 成果分析 根据多拱梁三向全调整方法, 选择河谷宽高比 $L/H = 5 \sim 2.5$ 的典型工程试算分析, 可以看到下列特点:

- (1) 拱圈中心角选在 $80^\circ \sim 100^\circ$ 之间, 水压时拱圈基本不出现拉应力。
- (2) 拱圈拉应力主要是温降造成的。极值位置在顶拱边端。

表 1

荷 载 及 尺 寸

高 程 (m)	水 载 (T/m^2)	温 降 ($^{\circ}C$)	T (m)	R (m)	T/R	φ
$\nabla 75$	0.0	-11	1.0	63	0.016	88°
	3.4	-10.2	1.2	58	0.021	88°
	6.7	-9.8	1.4	55	0.025	86°
$\nabla 65$	10	-9.4	1.6	49.2	0.032	84°
	13.4	-9.0	1.8	44	0.041	83°
	16.7	-8.7	2.0	38.5	0.052	83°
$\nabla 55$	20	-8.7	2.0	32	0.052	82°

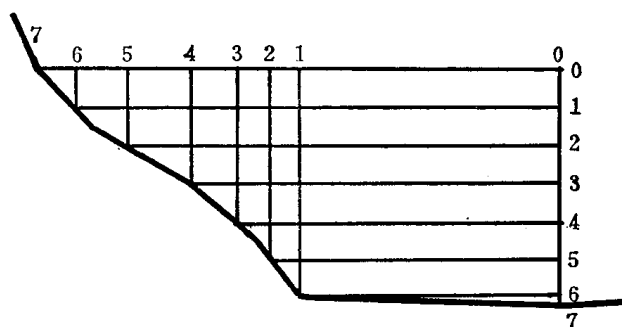


图 7

表 2

梁 应 力

水压

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
								0
	-0.31 0.08	1.1 -1.24	3.4 -3.5	3.4 -3.4	4.7 -4.7	6.3 -6.3	3.2 -3.1	1
		0.12 0.4	3.4 -2.7	5.9 -4.9	8.1 -7.0	8.3 -7.1	6.2 -4.6	2
			-3.8 3.0	3.3 -3.6	5.0 -4.4	5.5 -5.2	8.3 -7.2	3
				-4.7 4.2	-0.6 0.7	3.1 -2.6	3.8 -1.6	4
					-3.6 3.3	-0.7 1.2	-8.6 12.2	5
						-3.8 2.8	-34.7 39.8	6
							-46 51.3	7

注 1. 各表格应力单位均为 kg/cm^2 ;

2. 各栏格内, 左上角为上游面数值, 右下角为下游面数值。

表 3

拱 应 力

水压

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号	纯 拱 法 拱冠应力
7.9 5.1	7.0 6.3	8.5 7.6	11.6 8.2	12.7 10.6	10.2 14.7	8.1 22.3	18.2 7.6	0	
	5.1 7.1	7.2 7.7	11.4 7.9	12.2 12.6	13.7 17.2	10.6 23.4	24.9 14.1	1	16
		7.3 7.2	9.3 8.3	9.8 11.6	9.6 11.7	6.7 16.6	29.8 20.3	2	31.5
			7.8 10.3	10.8 12.3	12.3 16.1	12.3 20.2	25.2 17	3	40.0
				9.3 11.7	8.5 13.9	9.8 13.9	21.8 16	4	43.0
					6.3 12.3	8.6 10.1	13.1 10.7	5	45.0
						4.9 4.2	6.6 7.2	6	54.0
								7	

表 4

上 游 面 主 应 力

水压

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
7.9	7	8.5	11.6	12.7	10.3	8.1	18.2	0
	5.5 -0.8	9.7 -1.4	14.5 0.3	17.2 -1.7	19.7 -1.3	15.5 1.6	25.4 2.8	1
		7.9 -0.5	9.6 3.3	9.8 5.9	9.8 8.0	8.6 6.5	30 6.4	2
			9.9 -6.3	16.1 -1.8	18 -0.5	17.3 0.6	25.5 8.5	3
				9.9 -4.9	9.2 -2.3	12 1.0	21.8 3.9	4
					6.6 -7.0	9.0 -1.1	13.1 -9.3	5
						6.0 -5.1	6.6 -36.6	6
							-46	7

表 5

下 游 面 主 应 力

水压

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
5.1	6.3	7.6	8.2	10.7	14.7	22.3	7.6	0
	7.1 0.1	8.2 -1.8	8.9 -4.6	14.3 -5.1	18.3 -5.8	23.7 -6.8	14 -3.2	1
		10.8 -3.2	10.7 -5.2	13.2 -6.6	13.7 -9.0	18 -8.5	20.4 -4.9	2
			10.7 3.3	11.3 -4	15.2 -5.2	20.3 -5.3	17.2 -7.8	3
				19 -2.9	17.5 -3	16.2 -4.9	16.1 -1.7	4
					16.9 -1.2	16.5 -5.1	14.7 8.8	5
						13.6 -6.5	7.1 42	6
							51.4	7

表 6

梁 应 力

温降

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
								0
	-4 3.8	-3.2 3.1	-0.8 0.7	-0.7 0.7	0.89 -0.86	2.4 -2.3	-0.3 0.48	1
		-8.1 8.6	-4.5 5.4	-3.1 4.2	-0.5 1.7	0.41 0.85	-1.7 3.3	2
			-10.6 9.9	-4.3 4.2	-3.7 3.8	-3.3 3.7	-0.8 2	3
				-5.6 5.2	-4.8 4.9	-2.5 3.2	-3.5 5.7	4
					-0.4 0.1	-1.7 2.3	-11.4 14.9	5
						0.1 -1.3	-30.2 35.3	6
							-38.3 43.6	7

表 7

拱 应 力

温降

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号	纯 拱 法 拱冠应力
-32.3 -16.9	-27.2 -19.6	-17.1 -17.7	-7.9 -14	-4.3 -8.9	-5.5 -2.9	-7 6.1	4.8 5.8	0	
	-22 -11.2	-16.8 -14.5	-10.5 -16.2	-8.7 -10.2	-6.7 -5.1	-9.8 2	5.3 -2.6	1	
		-17.6 -15.2	-13.6 -15.9	-13.2 -12.5	-13.8 -12.9	-16.8 -7.3	5.1 -4	2	
			-15.7 -14.1	-12.2 -14.2	-12.6 -9.4	-13.1 -4.9	-2.3 -9.9	3	
				-11.1 -16	-15.4 -11.2	-16 -10.7	-6.2 -12.4	4	
					-14 -14.5	-16.1 -13.3	-13.1 -15.2	5	
						-18.8 -18.5	-18.5 -18.1	6	
								7	

表 8

上 游 面 主 应 力

温降

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
-32.3	-27.2	-17	-7.9	-4.3	-5.4	-7	4.8	0
	-22.3 -4	-17 -4	-12 0.6	-13.6 4.2	-13.2 7.4	-12.6 5.2	6.7 -1.8	1
		-19.1 -7	-15 -3.4	-13.7 -2.6	-14 -0.2	-17 0.6	5.5 -2.1	2
			-21 -6.4	-18.4 1.3	-17.8 1.1	-16.5 0.1	0.7 -3.8	3
				-11.2 -5.7	-15.7 -4.6	-16.7 -1.8	-6.1 -3.7	4
					-15.3 0.9	-16.5 -1.5	-14.4 -11	5
						-19.1 0.8	-18.5 -32	6
							-38.4	7

表 9

下游面主应力

温降

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
-17	-19.6	-17.7	-14	-8.9	-2.9	6.1	-5.8	0
	-13.6 6.6	-15.5 4.4	-16.2 0.7	-11.2 1.5	-7 1.0	-3.2 2.8	-5.5 0.5	1
		-19 13	-20.2 9.9	-17 8.6	-17 6.7	-12.1 5.7	-4.1 3.5	2
			-14.2 11	-14.2 4.6	-9.5 4	-5.6 4.4	-10.2 2.4	3
				-19.8 9.2	-14.8 8.6	-13.5 6	-11.4 6	4
					-15.4 1.0	-16.3 5.4	-15.5 16	5
						-20.5 0.6	-18.1 37.2	6
							43.8	7

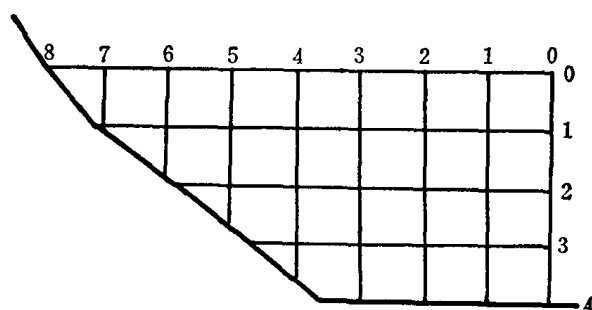


图 8

(3) 拱圈压应力: 截面正应力, 一般在拱冠上游面较大。主应力值, 在拱端下游面的约近于拱冠上游面的正应力值。拱圈压应力值一般均小于纯拱法拱冠压应力值。

(4) 拱冠梁根部迎水面拉应力: 水压时一般数值较大, 但随高程增加而迅速衰减。温降时, 衰减的趋势减慢。但当 L/H 较小且坝又厚的窄深式河谷高坝, 梁根部迎水面温降拉应力值较小。当 L/H 大而坝又薄的宽浅式河谷低坝, 悬臂梁根部迎水面温降拉应力值大。

(5) 悬臂梁根部迎水面拉应力值过大问题: 在窄深式河谷的高坝工程中, 易于被分块施工的双曲拱坝坝块自重倒悬所抵消。如图10及相应的表所示。在宽浅式河谷低坝工程

表 10

网 格 法 梁 应 力

水压

8	7	6	5	4	3	2	1	0	梁号 拱号
-6.3	-3.3	1.48	1.78	1.77	2.16	2.97	3.76	4.08	0
1.96	1.89	1.74	1.82	1.87	2.15	2.61	3.01	3.16	
	10.66	11.13	11	10.95	11.88	13.72	15.38	16.02	1
	-4.86	-6.55	-6.48	-5.97	-7.11	-8.58	-9.87	-10.44	
		8.44	9.86	10.02	11.04	13.55	15.86	16.78	2
		-1.32	-1.58	-1.87	-4.6	-8.92	-12.84	-14.46	
			3.36	7.93	3.18	3.53	3.78	3.84	3
			3.1	7.25	7.29	2.76	2.72	5.06	
				-6.25	-15.49	-26.66	-34.52	-37.64	4
				11.66	17.29	23.97	28.91	30.95	

表 11

网 格 法 拱 应 力

水压

8	7	6	5	4	3	2	1	0	梁号 拱号
-1.95	1.65	7.42	8.90	8.84	10.81	14.84	18.77	20.39	0
9.92	9.45	8.76	9.10	9.34	10.73	13.03	15.04	15.83	
	4.39	11.28	15.83	17.38	19.50	23.73	27.93	29.65	1
	12.55	11.27	12.23	14.46	16.35	17.35	17.57	17.56	
		11.8	15.83	18.57	19.30	23.67	28.64	30.66	2
		14.58	12.63	14.59	17.44	17.63	16.60	16.08	
			21.65	17	11.98	14.02	18.07	19.81	3
			5.49	9.36	13.48	13.80	12.03	11.34	
				6.58	1.89	-4.03	-4.01	-4.17	4
				0.02	3.54	7.80	8.21	8.62	

表 12

网 格 法 梁 应 力 (底缝)

水压

8	7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
0.6	0.90	1.31	1.62	1.58	1.96	2.90	4.01	4.51	0
1.44	1.54	1.73	1.95	2.20	2.51	2.70	2.66	2.59	
	6.25	8.95	10.42	10.79	11.18	13.10	15.12	15.90	1
	-2.65	-5.30	-6.17	-6.14	-7.23	-8.45	-9.58	-10.16	
		-1.4	6.79	9.55	10.20	13.78	17.39	18.88	2
		1.29	-0.15	-1.76	-6.41	-10.78	-14.17	-15.65	
			5.75	5.31	4.83	8.55	11.99	13.61	3
			15.7	9.18	2.24	-4.44	-10.64	-12.95	
				8.6	6.53	4.06	1.35	-0.02	4
				4.11	6.04	5.02	0.43	-2.01	

表 13

网 格 法 拱 应 力 (底缝)

水压

8	7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
3.35	4.70	6.57	8.09	7.90	9.79	14.50	20.03	22.55	0
7.15	7.71	8.64	9.74	10.99	12.55	13.52	13.29	12.95	
	6.49	10.01	14.36	16.01	19.13	24.83	31.46	34.49	1
	10.59	10.98	12.87	16.29	18.81	19.31	17.69	16.59	
		10.30	12.77	16.29	20.69	27.33	35.64	39.47	2
		11.15	14.24	17.72	20.77	21.43	18.77	17.05	
			8.59	11.59	15.74	20.88	30.58	34.88	3
			12.87	15.08	17.25	19.12	16.06	14.22	
				18.16	6.49	5.12	14.30	18.55	4
				3.30	4.03	9.92	9.77	9.69	

表 14

荷 载 及 尺 寸

高 程 (m)	水 载 (T/m^2)	温 降 ($^{\circ}C$)	T (m)	R (m)	T/R	φ
▽148	0.0	-5.6	5	247.5	0.020	94°
▽128	12	-4.5	7	222.5	0.031	85°
▽108	32	-3.3	11	197.0	0.056	85°
▽88	52	-2.6	15	170.0	0.090	89°
▽68	72	-2.1	19	141.5	0.135	90°
▽48	96	-2.0	20	109.5	0.183	89°
▽28	124.1	-2.0	20	77	0.260	64°
▽23	124.1	-2.0	20	77	0.260	64°

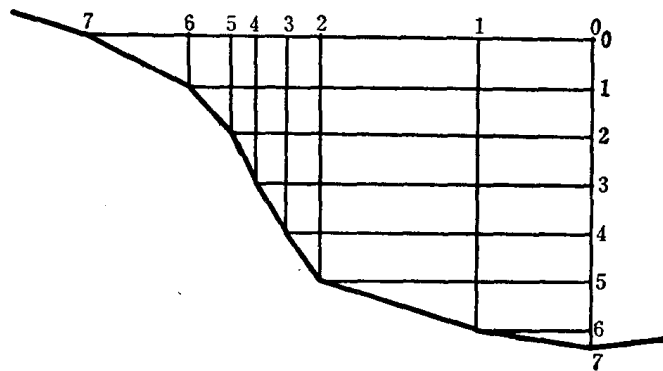


图 9

表 15

梁 应 力

水压

7	6	5	4	3	2	1	0	梁 号 拱 号
								0
	-3.2	0.5	2.8	6.2	11.2	11.9	15.6	1
	3.2	-0.5	-2.8	-6.2	-11.2	-12.1	-15.8	2
		-11	-3.7	2.3	9.7	13.6	19.1	3
		11.3	3.8	-2.3	-9.9	-13.9	-19.5	4
			-10.5	-8	0.56	3.5	13.1	5
			10.9	8.3	-0.58	-3.6	-13.5	6
				-18.2	-12.6	-7.6	4.3	7
				18.5	13.2	8.0	-4.4	8
					-37.3	-20.5	-7.4	9
					38.5	21.2	7.6	10
						-21.6	-47.5	11
						20.8	50.7	12
							-65.3	13
							70	14