

四川砌石拱坝

SICHUAN QISHI GONGBA

四川省水利勘测设计院

四川人民出版社



四川砌石拱坝

四川省水利勘测设计院编

四川人民出版社

一九七九年·成都

封面设计：邹小工

四川砌石拱坝

四川人民出版社出版 (成都盐道街三号)
四川省新华书店发行 渡口新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张 17.25 字数 340 千
1979年12月第一版 1979年12月第一次印刷
印数：1—1,300 册

书号：15118·20

定价：2.74 元

前 言

在水利、水电建设中，砌石拱坝是我省近年来发展较快的一种坝型。它具有就地取材、经济、安全的优点，受到群众欢迎。随着科学技术的发展，这种具有薄、轻、巧特点的砌石拱坝将会发展得更多、更快、更经济合理。

砌石拱坝，无论在坝型设计、计算方法、基础处理等方面，群众都有不少创造和经验，有待总结、交流和提高。为此，本书对全省修建砌石拱坝的许多好的经验和应予注意的问题作了一定的分析和研究。哪些经验可取，卓有成效；哪些作法不妥，会影响工程质量和安全，从书中可获得较详细的了解。为方便参考，以资借鉴，编写实例较多，如拱坝选型、基础处理、坝体裂缝处理、施工技术等章，汇集的实际工程设计施工资料较为详细。本书可供水利专业人员和水利院校师生参考。

本书主要是根据河口、长沙坝、朝阳、木桥沟、红旗、山虎关、青云等砌石拱坝的设计和总结资料，由罗孝昌、刘昌久、谢其智、杨敦正等同志执笔编写。初稿写成后，四川省水利局及四川省人民出版社曾邀请了荣县水电局、威远县水电局、乐至县水电局、安岳县水电局、内江县水电局、垫江县水电局、达县水电局、乐山县水电局、宜宾地区水电局、乐山地区水电局、涪陵地区水电局、绵阳地区水电局、万县地区水电局、达县地区水电局、自贡市水电局、重庆市水电局、水电部四川勘测设计处、水电部成都勘测设计院、成都工学院、成都水电学校、四川省水利学校、四川省水利局农田水利管理处等单位的工程技术人员、教师、工人和领导干部，对书稿进行了会审。对此，我们表示深切的谢意。

四川省水利勘测设计院

一九七八年七月

符 号 说 明

∇	计算截面高程
T	等截面拱圈厚度, 变截面拱冠厚度
T_A	变截面拱端厚度
ϕ_A	拱圈半中心角
ϕ_a	等截面段中心角
φ_a	变截面段中心角
r	拱圈平均半径
R_u	拱圈外半径
R_d	拱圈内半径
r_d	变截面段拱圈内半径
I_s	拱断面惯性矩
I	梁断面惯性矩
h	计算点的水深
h_u	计算截面上游水深
h_d	计算截面下游水深
Δh	梁的分段高度
h_s	计算点的淤砂深度
H_c	拱冠梁断面形心至坝底距离
H_i	计算点至坝底距离

H	坝高
B	河谷宽
L	坝弧长
P	总水平径向荷载强度
P_d	拱分荷强度
P_c	梁分荷强度
P_w	静水压强
P_u	上游水压强度
P_d	下游水压强度
P_s	砂压力强度
Q_0	水平向总地震惯性力
P_i	总地震惯性力沿坝高的分布
$\bar{P}$	地震动水压力
P_R	反弧段上动水压力强度
P_H	动水压力水平分力强度
P_v	动水压力垂直分力强度
γ_c	砌体容重
γ_w	水容重
γ_s	泥砂浮容重
γ	岩体容重
E_c	砌体弹性模量
E_F	拱基岩弹性模量
E_F'	梁基垂直方向弹性模量
E_F''	梁基水平方向弹性模量
α_t	砌体线膨胀系数
μ	泊桑比
Δt	坝体平均温度最大降低(-), 升高(+)值
ΔS	梁截面中线弧长
ΔS_u	梁截面上游弧长
ΔS_d	梁截面下游弧长
e_1	形心的偏心距离
a_u	形心至上游距离

a_d	形心至下游距离
Δa_g	形心连线水平投影
ΔT_u	分块上游面水平投影
ΔT_d	分块下游面水平投影
K_u	上游面至上核点距离
K_d	下游面至下核点距离
e_u	形心至上核点距离
e_d	形心至下核点距离
A	梁截面积
$\bar{A}$	梁分块平均截面积
ΔW_s	梁分块重量
W_s	累积坝体重量
ΔW_w	分块水重
W_w	累积水重
W_u'	浮托力
W_u''	渗透压力
W_u	扬压力
W	总垂直力
ΔM_s	分块自重对块底重心弯矩
ΔM_w	分块水重对块底重心弯矩
ΔM_u	扬压力对块底重心弯矩
M_s	累积(或总)自重力矩
M_w	累积(或总)水重力矩
M_u	累积(或总)扬压力力矩
M	总弯矩
$\Delta \gamma'$	水砂荷载引起拱冠径向变位
$\Delta \gamma''$	均温变化引起拱冠径向变位
$\Delta \gamma$	拱冠总径向变位
H_o	拱冠轴向力
H_A	拱端轴向力
V_o	拱冠切力
V_A	拱端切力
M_o	拱冠弯矩

M_A 拱端弯矩
 σ_{ou} 拱冠上游应力
 σ_{od} 拱冠下游应力
 σ_{Au} 拱端上游应力
 σ_{Ad} 拱端下游应力

目 录

符号说明

概述	1
第一章 拱坝的选型及布置	13
第一节 对地形地质条件的要求	13
第二节 拱形的选择	14
第三节 布置中须考虑的若干问题	20
第四节 拱坝平面布置程序	25
第二章 砌石拱坝的设计数据、荷载计算及荷载组合	30
第一节 有关设计数据的采用及设计要求	30
第二节 荷载计算及荷载组合	32
第三章 拱坝应力的计算方法和应力控制	42
第一节 各类计算方法	42
第二节 省内砌石拱坝计算的常用方法	45
第三节 “计算应力控制值”	47
第四节 设计砌石拱坝存在的问题	53
第四章 拱坝溢流设计和运行	55
第一节 溢流设计	55
第二节 拱坝的运行	59
第五章 岸坡、边墩稳定与边墩应力计算	60
第一节 岸坡稳定计算	60
第二节 边墩	67
第六章 基础处理	75
第一节 处理措施	75
第二节 基础处理实例	77

第三节 坝基病害处理实例.....	94
第七章 条石拱坝裂缝、坝体渗水及岩基裂缝漏水.....	96
第一节 裂缝.....	96
第二节 坝体防渗	103
第八章 施工	105
第一节 施工技术	105
第二节 施工安排及质量控制	111
第九章 等截面圆弧拱坝设计计算实例	114
第一节 工程概况	114
第二节 设计布置	115
第三节 设计标准及主要数据	116
第四节 水力计算和水工模型试验	116
第五节 拱坝应力分析计算	119
第六节 岸坡稳定计算	124
第十章 曲线大头圆弧拱坝应力计算	183
第一节 按纯拱法计算曲线大头拱圈应力	184
第二节 按拱冠梁法计算梁、拱应力	197
第三节 计算实例	210
附录 I	247
附录 II	252
附录 III	259

概 述

四川省较早的砌石拱坝建于1932年,在重庆市郊嘉陵江支流上,坝高约14米,坝顶溢流,当时主要用于改善航运,至今仍安全运行。在旧中国,由于反动政府的腐败,人民受尽剥削和压迫,水利不兴,各类水工建筑物都不能得到发展,丰富的水利资源不能利用来为生产服务而白白地浪费掉了。

全国解放后,在党和政府的领导下,群众积极兴修水利,修建了各种水坝。1960年以前,以修建土坝为主;以后,砌石拱坝即逐渐发展,在近二十年来,发展尤为迅速。据1977年的不完全统计,省内已修建砌石拱坝800余座(其中,高15米以上的200余座)。

四川盆地丘陵区河谷出露的岩层,多为白垩系或侏罗系的砂岩、页岩,或砂页岩互层,其水文、工程地质条件都较简单,易于找到适于修建拱坝的坝址。这类砂岩的湿抗压强度多为300~500公斤/厘米²,用为砌坝材料,能满足中等高度拱坝强度要求,且易于开采成方正条形,就地取材,颇为方便。

拱坝不是靠坝身重量来保持稳定,而是通过拱的作用将荷载大部份传至两岸,另一部份通过坝体传至河床基础。它主要靠两岸岩体支承,靠岩体重量维持稳定。因拱形结构的特点,可以较充分地利用材料强度,获得拱型结构所具有的较高的整体安全因素,是一种较为优越的坝型。

砌石拱坝可以在坝顶溢流,这对枢纽布置是一有利条件。如果水库枢纽因受地形限制,开溢洪道困难,就可采取坝顶溢洪方式。例如威远县长沙坝水库、垫江县红旗水库、达县沙滩河水库,都是采取坝顶溢洪。溢流段坝高分别为:47.44米、45.3米、52米。又如威远县河口水库,坝高57米;青神县官厅水库,坝高52.8米,因开溢洪道有利,故修成非溢流拱坝。所以说拱坝对地形条件是灵活适应的。

砌石拱坝的施工技术不复杂,一般经过训练的石工即能掌握采料和安砌工艺。胶结材料采用水泥砂浆,简便易行。在施工期中受洪水影响不大,可以在坝顶临时溢洪,洪水期暂时停修,洪后续修。工期长的工程可以分年施工,逐年蓄水受益。这些作法,均已在中、小河流上修建拱坝的实践中获得充分证明。

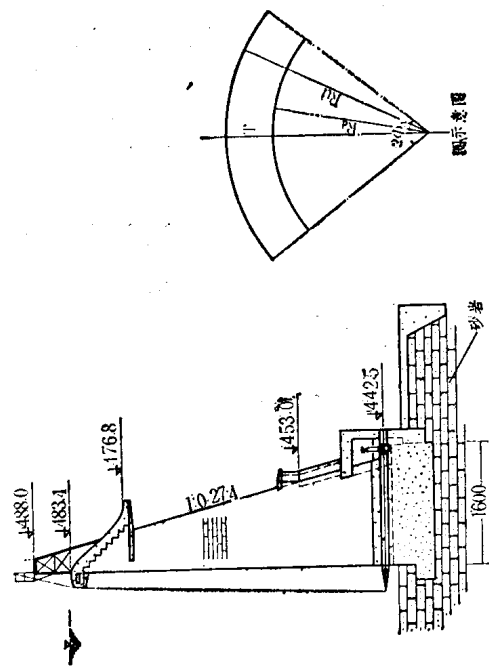
砌石拱坝的经济效益较高。由于拱形结构的特点,使得坝体单薄轻巧,工程量小,取料占地少。经比较证明,在适宜条件下,一般砌石拱坝与同等规模的砌石重力坝相

比,工程量可以节约 $1/3 \sim 1/2$,当坝高超过 50 米时,工程量可以节约 $1/2 \sim 2/3$ 。若与同规模的土坝相比,每亩灌溉面积所负担的填土方和砌石方的比值为 $15 \sim 25$ 倍。因此,在新近建设的水利工程中,只要地质、地形条件适合,材料来源方便,群众都乐于修建砌石拱坝,它几乎是优先考虑的一种坝型。但是,大量修建砌石拱坝是近年的事,对其客观规律尚认识不足,如坝体裂缝、渗水和基础处理等,也存在一些急待解决的问题。

如前所述,省内砌石拱坝多建在盆地丘陵区,坝址的水文、工程地质条件都较简单,无严重不良地质现象;但坝址基岩完整性较差,大多裂隙发育,间以破碎带,故较高的拱坝,基础处理的工程量是比较大的。如长沙坝水库、河口水库等,都经过大量的开挖,去掉破碎岩层,在软弱岩层带,加做混凝土或钢筋混凝土基础,并在坝肩坝基作帷幕、固结灌浆等处理,以提高基础的完整性和稳定性,使其达到设计要求。但由于运行期较短,目前虽未出现重大问题,在长期运行后,灌浆是否会逐渐减效,尚待观测。故在这类基岩修建拱坝,对基础处理问题,无论在设计和施工中都应慎重对待。关于坝体裂缝问题,也有多种原因,这与基岩条件、各种荷载情况、气温变化和施工质量等都有关系。但是,各坝又各有其主要原因,这些问题,相信在群众大量修建砌石拱坝的实践中,并结合科研工作,是可以得到更深刻的认识而加以解决的。

近年来,砌石拱坝兴建地区已由少数地、县发展到多数地、县,由小河流发展到中等河流,坝高由 10 米左右发展到 50 多米,有溢流的和非溢流的,拱型多样,并由单曲拱向双曲拱发展。在设计和施工方面,也采取了一些有效措施,突破了以往对拱坝在地形要求方面的限制,如乐至县反修水库坝高 27 米,坝长高比达到 7.8。计算方法的精度和速度也有提高,电算技术也在拱坝计算中开始应用,进一步加快了设计工作。

为了使读者能较明瞭我省砌石拱坝兴建概况,在后面选出 10 座有代表性的拱坝,将其布置图、结构尺寸示出。



I—I 剖面

主要尺寸表

高程	中心角 $2\phi_4$	半径 (米)		拱厚(米) T
		内半径 R_d	外半径 R_u	
488.00		71.94	73.80	1.86
483.44	110°	70.80	73.80	3.00
473.44	100°44'	68.06	73.80	5.74
463.44	91°34'	65.32	73.80	8.48
453.44	71°20'	62.58	73.80	11.22
452.68	69°44'	62.37	73.80	11.43
446.00	56°06'	60.54	73.80	13.26
441.00	46°06'	59.17	73.80	14.63
436.00	38°04'	57.80	73.80	16.00

注: 图中高程以米计, 尺寸以厘米计

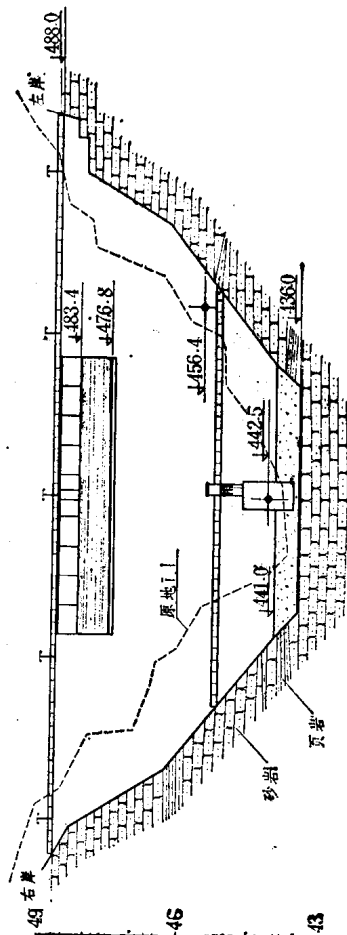


图 0-1 威远县长沙坝拱坝

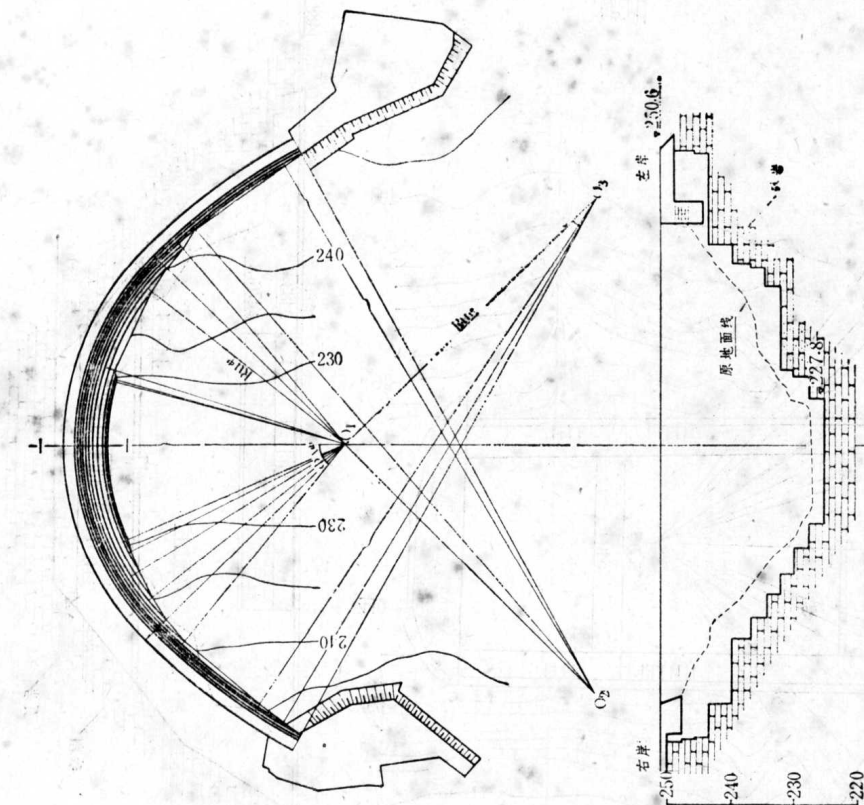
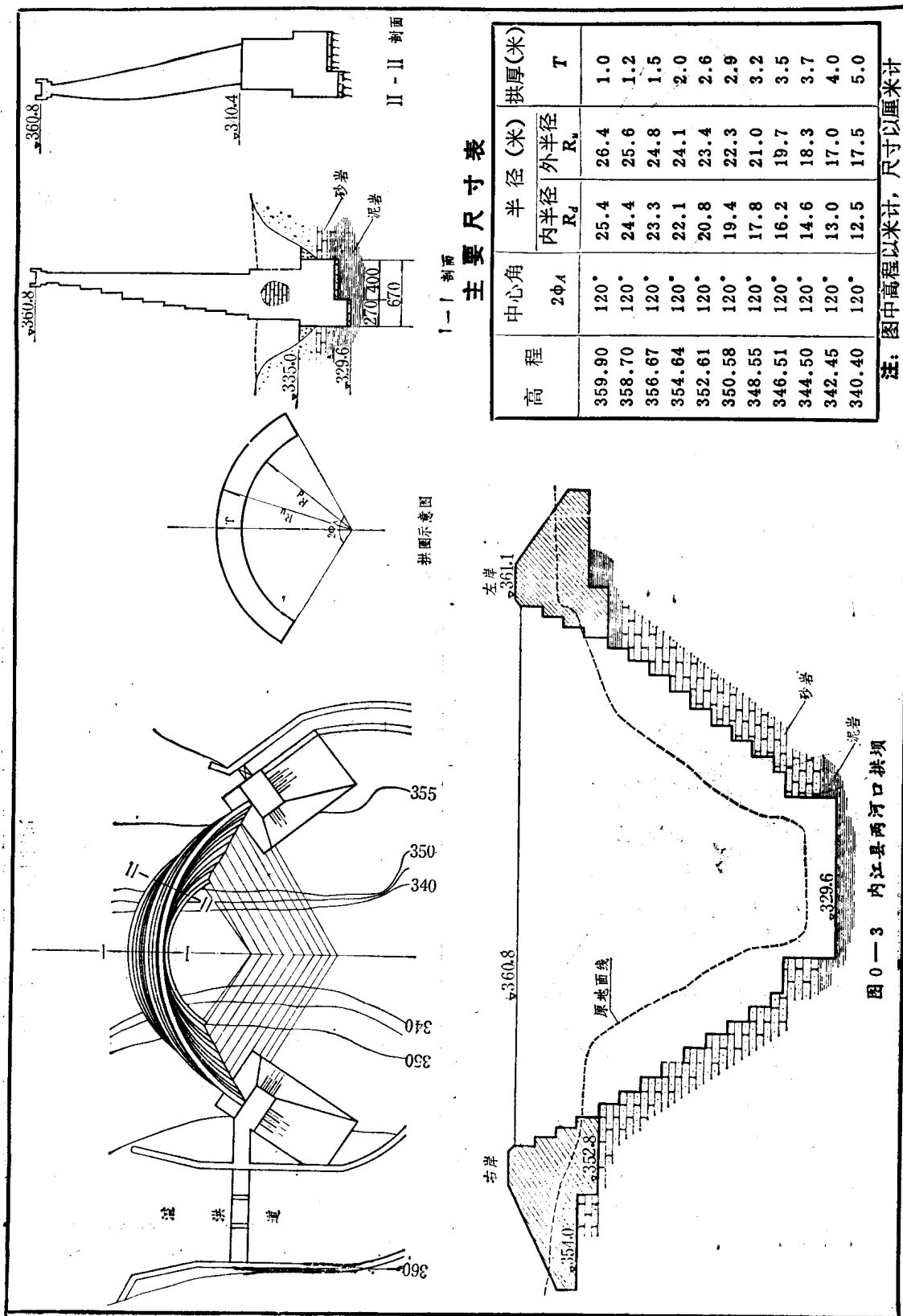


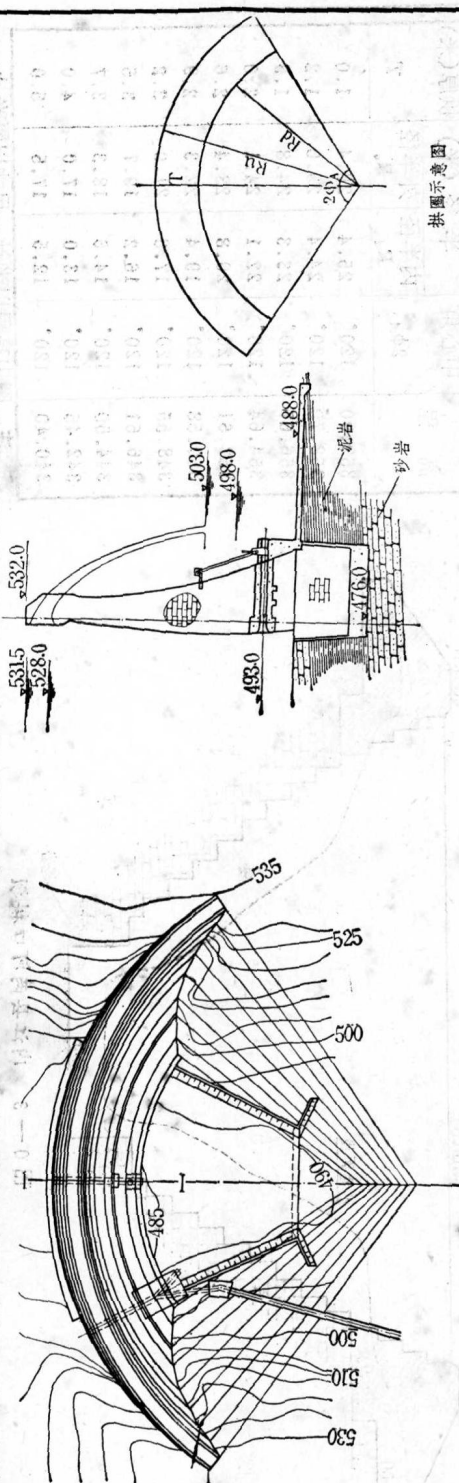
图 0—2 潼南县青云拱坝

主要尺寸表

高程	中半中心角 $\phi_{A中}$		边半中心角 $\phi_{A边}$		外半径 (米)		拱厚
	左	右	左	右	$R_{A中}$	$R_{A边}$	
250.6145°	45°	45°	17°20′	16°	40	90	1.7
247.8045°	45°	45°	17°20′	16°	40	90	2.1
245.8145°	45°	45°	17°20′	16°	40	90	2.5
243.8245°	45°	45°	16°	13°20′	40	90	2.9
241.8045°	45°	45°	4°20′	12°	40	90	3.3
239.8051°	51°				40	—	3.7
237.8242°30′	47°30′				40	—	4.3
235.8139°	39°				40	—	4.9
233.8418°	32°				40	—	5.5
231.8415°30′	26°30′		—	—	40	—	6.1
229.8416°	24°		—	—	40	—	6.2
227.80	—	—	—	—	40	—	6.2

注：图中高程以米计，尺寸以厘米计





拱圈示意图

I-I 剖面

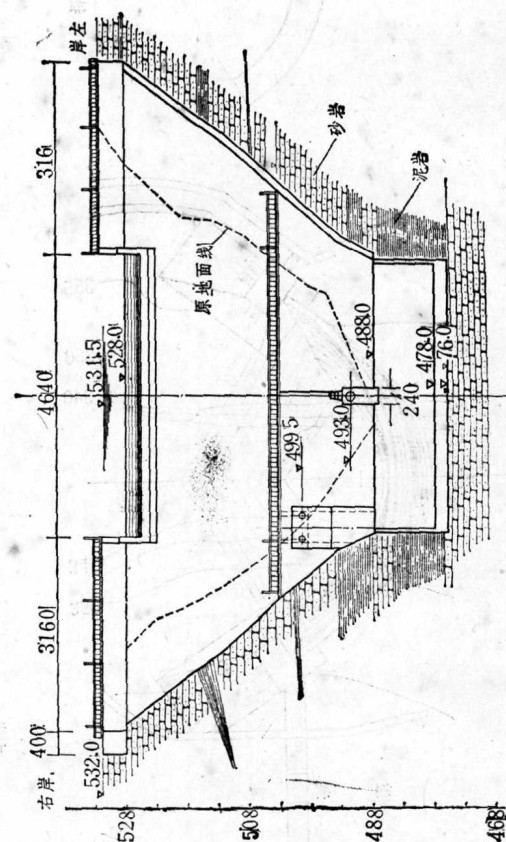


图0-4 达县沙滩河拱坝

主要尺寸表

高程	中心角 $2\phi_A$	内半径 R_d	外半径 R_u	拱厚(米) T	上游面至 拱轴线距 离(米)
532	110°	55.30	57.30	2	-0.5
528	110°	54.80	57.80	3	0
523	107°	53.05	57.05	4	0.5
518	102°	51.50	56.50	5	1.0
513	98°	49.55	55.55	6	1.5
508	92°	47.50	54.50	7	1.7
503	85°	44.75	53.45	8.7	1.9
498	81°	41.90	52.30	10.4	2.0
493	75°	38.75	50.75	12	1.7
488	71°	35.80	48.80	13	1.0
476	71°	34.80	49.80	15	2.0

注: (1) 图中高程以米计, 尺寸以厘米计
(2) 以顶层拱圈外弧为坝轴线

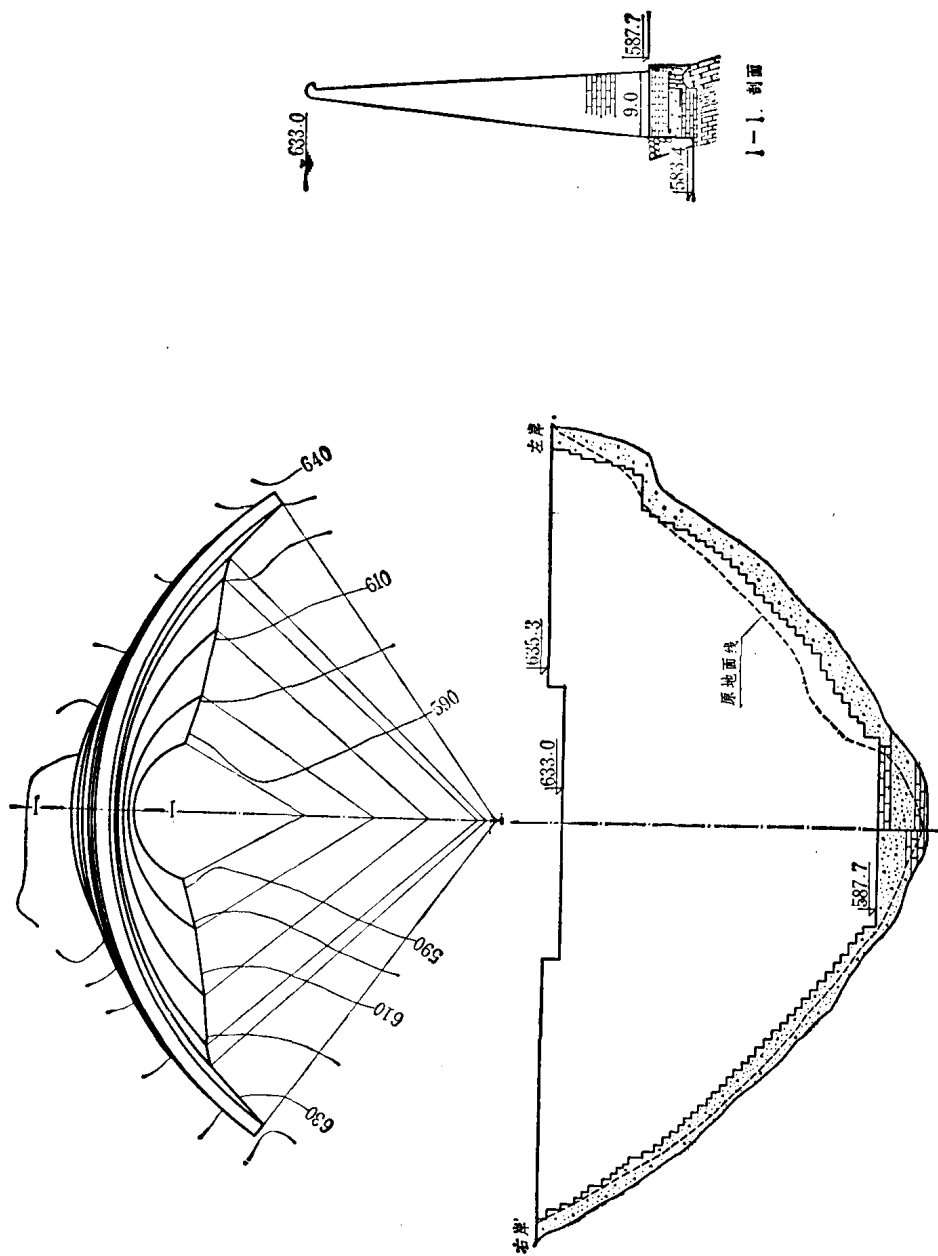


图0—5 垫江县红旗拱坝 (注: 图中尺寸以米计)