

1980

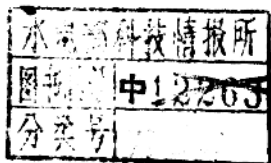
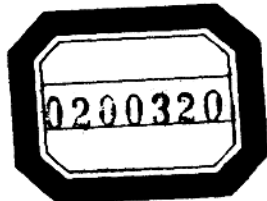
中国水力发电工程学会
水电站及水工结构专业会议

高拱坝学术讨论会论文选集

中国水力发电工程学会编

电力工业出版社





中国水力发电工程学会水电站及水工结构专业会议

1980年



005881 水利部信息所

高拱坝学术讨论会论文选集

中国水力发电工程学会编

电力工业出版社

Chinese Society of Hydroelectric Engineering Subcommittee of Power Station and Hydraulic Structures
SELECTED PAPERS
Symposium on High Arch Dam 1980

*
Edited by
Chinese Society of Hydroelectric Engineering

204/903

中国水力发电工程学会水电站及水工结构专业会议
1980年高拱坝学术讨论会论文选集
中国水力发电工程学会编

*
电力工业出版社出版
(北京德胜门外六铺炕)
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营
水利电力印刷厂印刷

*
850×1168毫米 32开本 71印张 189千字 1插页
1982年4月第一版 1982年4月北京第一次印刷
印数 0001—1870册 定价 1.00元
书号 15036·4312

前 言

中国水力发电工程学会于1980年11月，在成都召开了高拱坝学术讨论会。参加会议的有来自全国各水力发电科研设计技术部门及有关高等院校的部分专家、教授和技术人员，共120余人。

经过大会和分组会议，交流了拱坝的选型、温度荷载计算、应力分析、动力计算、坝肩稳定及泄洪消能等方面的专题研究成果，并作了广泛深入的讨论。这是一次成功的学术讨论会，通过会议交流了经验和沟通了情况，对促进我国拱坝建设的发展有重要意义。为此决定出版本次会议论文选集。

鉴于会议交流的学术论文甚多，而本书篇幅有限，故只选择其中具有代表性的十四篇专题论文，编录为“1980年高拱坝学术讨论会论文选集”，供广大从事水利水电建设的科研设计技术人员、及水利水电大专院校的教师和研究生参考使用。

编 者

目 录

前 言

龙羊峡重力拱坝三维有限元分析·····	王小润 梁宗南 (1)
开设大孔口的拱坝应力分析·····	谭新贤 (25)
关于考虑扭转的拱冠梁法的边界截面 分荷问题·····	曾兼权 (38)
拱坝的动力计算 (内力平衡分载法) ·····	陈正作 (51)
双曲拱坝的优化·····	朱伯芳 黎展眉 (67)
石门拱坝右坝肩稳定计算的若干问题·····	林景铭 (83)
坝基稳定的块体模型有限元计算与 试验研究 ·····	周维垣 杨若琼 (100)
拱坝温度荷载的计算 ·····	黎展眉 (118)
高斯数值积分方法在变截面拱坝应力 分析中的应用 ·····	黎展眉 (135)
挑越式厂坝联合泄洪建筑物的水力学问题 ·····	崔广涛 (146)
拱坝两侧挑流对撞式溢洪道对撞水流消能率的 计算及其设计的初步意见 ·····	胡诚义 郑明珠 (166)
对高低坎挑流消能率的探讨 ·····	
····· 郝中堂 周均长 孔才英 吴庆鸿 (176)	
高水头溢洪道几个水力学问题的研究 ···	刘宣烈 郑国华 (190)
紧水滩拱坝坝肩稳定分析 ·····	张芝琪 (203)

CONTENTS

Preface

Three-Dimensional Finite-Element Analysis of Lōngyánxiá Gravity-Arch Dam.....	Wáng Xiǎorùn Liǎng Zōngnán (1)
Stresses Around the Large Opening in Arch Dam	Tán Xīnxián (25)
The Load-Distribution Problems on Boundary Sections by the Crown Cantilever Method in Consideration of Twist	Zēng Jiānquán (38)
Dynamic Calculation of Arch Dam Internal stress balacing method	Chén Zhèngzuò (51)
The Optimization of Double-Curvature Arch Dam.....	Zhū Bófāng Lí Zhǎnméi (67)
Some Problems Related to the Right Abutment Stability Calculation of shimen Arch Dam.....	Lín Jǐngmíng (83)
Finite Element Evaluation and Experimental Study With Model Blocks for Dam foun- dations' stability.....	Zhōu Wéiyuán Yáng Ruòqióng (100)
Calculation of Temperature Load in Arch Dam	Li Zhǎnméi (118)
Application of the Gauss Integration to Stress Analysis of Arch Dam With Variable Thick- ness Arches	Li Zhǎnméi (135)
Some Hydraulic Problems of the Overflow Dam	

With Deflector Bucket Incorporating With the Power House	Cuī Guǎngtāo (146)
Estimation of the Energy Dissipated by the Impact of Jets from Spillways at Two Sides of an Arch Dam.....	Hú Chéngyì Zhèng Míngzhū (166)
On the Rate of Energy Dissipation of Impinging Jets from Spillway Buckets at Different Ele- vations	Hǎo Zhōngtáng Zhōu Jūncháng Kǒng Cáiyīng Wú Qínghóng (176)
Study on Some Hydraulic Problems of High Dam Spillways.....	Líu Xuānliè Zhèng Guóhuó (190)
Abutment Stability Analysis of Jīnshuǐtān Arch Dam	Zhōng Zhīqí (203)

龙羊峡重力拱坝三维有限元分析

王小润 梁宗南

本文通过有限元法计算,对龙羊峡重力拱坝受力后的整体变形与应力分布规律、特点以及在各种情况下的工作状态进行了分析,同时比较了各单项荷载所起的作用及其关系。由于客观原因整体结构模型试验尚未进行,故只能与拱梁法计算相比较。此外,结合龙羊峡坝体的具体布置对采用三维有限元法成果的合理性、误差、存在问题等作了一定的分析,可作为改善坝体的结构与布置的依据。

一、单元划分与边界条件的处理

(一) 单元划分

有限元法的计算精度除取决于基本单元形式(几何形状及单元节点数)及由节点参数所构造的位移函数多项式的项次完整性外,单元的划分状况诸如单元布局的合理性、数量、尺寸、形态等都是影响精度的重要因素。龙羊峡坝体采用20节点曲边六面体单元进行划分时,遵循以下几点:

1. 为便于成果整理与分析尽量使单元的节点分布作到横平竖直;
2. 由于断面较厚,为了解内部位移与应力的分布,以及能够较精确地由坝体与基础界面点的接触应力推求坝体传递给基础的作用力,在坝体径向布置数排单元;
3. 尽量与拱梁法的拱梁网格一致,以便比较;
4. 单元的三方向尺度要相当;
5. 尽量避免出现退化六面体单元;
6. 基础单元要反映实际开挖地形线;

7. 要满足程序要求, 使任一单元的节点编号的最大点号差 ≤ 100 (全约束点除外)。

综合以上几点, 将坝体划分为 86 个单元, 连同基础共 148 个单元。竖向包括基础共分六层, 坝体径向分为三排, 拱向分为 14 行。除极个别单元退化后形态不好, 绝大多数都较规整。参见图 1。

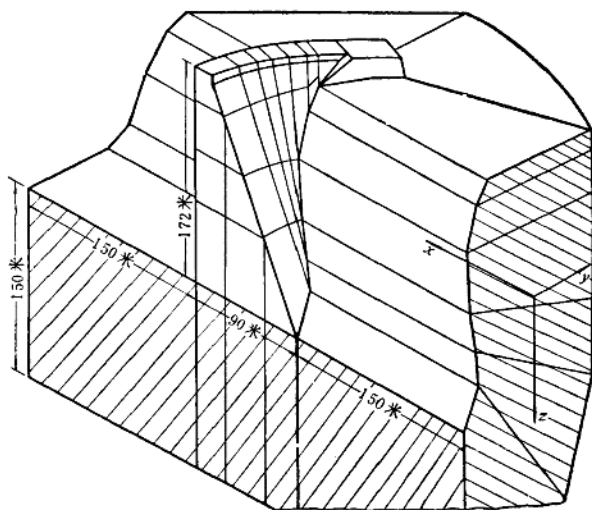


图 1

(二) 节点编号

有限元法计算的核心部分即建立单元的刚度矩阵, 然后根据叠加原理, 综合成整体刚度矩阵, 从而建立节点力与外荷载的平衡方程。在应用直接法求解该方程组时, 刚度矩阵的半带宽决定了所需机器的容量, 而节点号的编排是否适当则直接涉及带宽的大小。除按上述第 7 项要求选择适当的编号方法外, 还要便于信

息填写与检查,减少出错机会。一般以按连续单元数目少的方向顺序先排号的循环方式所得到的同一单元点号差小,且均匀。因径向单元分为三排,连续单元数最少,先行排号,然后从上至下、由左到右循环编排,故最大点号差为 $93 < 100$ 。

(三) 负载处理

水压力,泥沙压力,地震动水压力,均按面力法向分布强度计算。坝体自重作为均匀分布体力,按整体作用处理。地震惯性力就其本身的性质而言,当属分布于体内与物体质量和运动加速度有关的体积力。但由于程序限制,只能将它化为准静载作用于坝体,我们采用了两种处理方法,一是将地震惯性力按“水工建筑物抗震设计规范”(SDJ10-78)将水平地震惯性力作为分布面力沿径向作用于坝体;另一法是将地震惯性力作为仅在单元内均匀分布的体力,需预先求得各个单元在地震时的化引容重。

(四) 基础变形与约束条件的处理

基础的变形对坝体结构的变形及受力特性的影响是很大的,由于程序所限,基础仅作线弹性处理,由两个独立的弹性常数 E 及 μ 反映基础的物理特性。同时考虑到岩体自重所产生的变形与应力业已形成,因此假定基岩容重为零,这样处理后,坝体的变形比较符合实际,基础内的应力不包含岩体自重应力。

基础选取范围为坝体的上下游向各150米,深150米,近乎坝高的一倍。边界点一般作为全约束点,当实际地形不足150米时按自由点处理。

(五) 温度变化

因温度边界条件尚未取得足够资料,故暂先按经验公式计算均匀变温引起的温度应力。

(六) 解题规模

单元总数148;结点总数1019;全约束点271;材料种类数10(其中基础9种);自由度总数2244;最大半带宽279;刚度矩阵所需容量765786(半字长单元);解题及打印时间3.5小时。

二、成果分析

通过成果分析, 希望对坝体受力后的整体变形与应力分布规律及特点有一定的了解, 对各单项荷载所起的作用及相互关系有较明确的认识, 为改善坝体结构与布置提供依据。

(一) 位移

顺流向水平位移在拱向呈概率曲线型正态分布, 沿梁向上大下小呈抛物线型分布; 垂流向水平位移沿拱向呈反对称正弦曲线型分布, 沿梁向近于线性分布; 铅直向位移沿拱向呈平坦的悬链线型曲线分布, 沿梁向近于线性分布。以上三种变位曲线型的连续性、光滑度、变形趋势等都较合理。在正常情况下顺流向水平最大位移点约在坝顶以下50米处。拱冠处由自重与水压力分别作用所产生的顺流向水平位移的方向相反, 泥沙压力的作用又很小, 三者组合后的作用使得最大位移点不在坝顶, 说明自重作用反应较强。见表1。在特殊情况下, 由于地震力的作用使得最大

表 1 上游面拱冠处顺流向水平位移 (毫米)

高 程	自 重	水 压 力	泥 沙 压 力	正 常 情 况
2607	16.8	-24.64	0.177	-8.09
2580	14.85	-20.8	0.072	-9.28
2560	11.18	-18.01	-0.002	-9.66
2540	8.05	-15.11	-0.08	-9.48
2520	5.41	-12.41	0.172	-8.87

位移点移至坝顶拱冠处, 最大位移值达 33.81 毫米。将惯性力分别化作面力和体力相比较, 面力的竖向扭转作用显著较强, 它使得上游面铅直位移减少, 而下游面增加, 见表2 (上、下分别表示上、下游面, 下表同此)。由于河谷不对称, 右岸中心角大,

故三方向位移在数值上均较左岸约大25~30%。

表 2 拱冠断面铅直向位移 (毫米)

高 程 (米)		正 常 情 况	特殊情况(体力)	特殊情况(面力)
2607	上	12.44	8.03	5.02
	下	11.74	9.78	8.62
2580	上	12.34	8.18	5.42
	下	11.55	10.99	10.2
2560	上	11.67	7.99	5.53
	下	11.43	11.73	12.04
2540	上	10.82	7.61	5.54
	下	11.07	10.28	9.88
2520	上	9.96	7.28	5.77
	下	10.77	11.79	12.39
2500	上	9.08	7.04	5.94
	下	9.95	10.91	11.4

(二) 主应力

主应力值及其分布规律参见图2~图5。由图知现设计所取断面与平面布置,其空间受力状态在正常情况下是较为理想的,上游面除周边及上1/3两岸拱端的“三角区”存在着允许的7~12公斤/厘米²拉应力外,绝大部分坝面全是三向受压,且较均匀。最大压应力在拱顶,为16.5公斤/厘米²,一般均在10~15公斤/厘米²。下游坝面在1/2坝高以上受力状态较均匀,基本是单向受拉。1/2坝高以下承受压应力较大,最大主压应力为31公斤/厘米²,拉应力一般仅为1~2公斤/厘米²,最大拉应力不在拱顶而在拱端“三角区”为3~5公斤/厘米²。上、下游面的最大主应力线均由坝顶的水平向逐渐以向下的斜拱形式倾向坝基。当承受九度地震作用时,坝体的潜在承载能力得到充分发挥,使上游面梁向压应力显著减小,拱向压应力相应加大。最大主拉应力为22.9公斤/厘米²,拉力区仍局限于坝体上游周边及两个“三角区”。

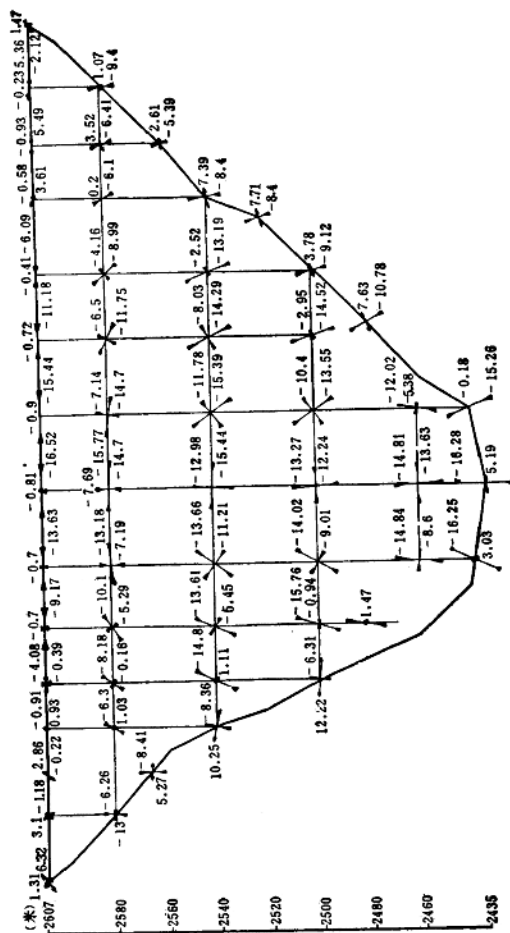


图 2 上游面主应力分布图（正常情况） 单位：公斤/厘米²

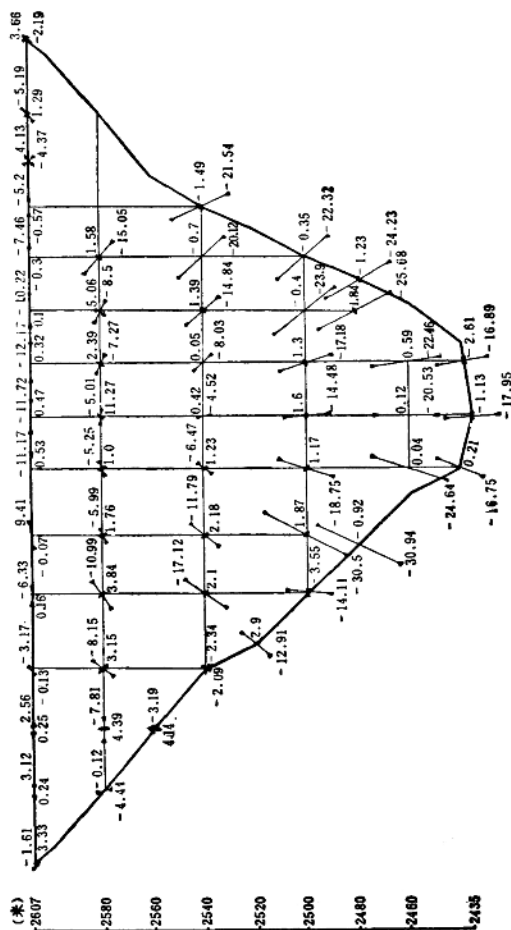


图 3 下游面主应力分布图 (正常情况) 单位: 公斤/厘米²

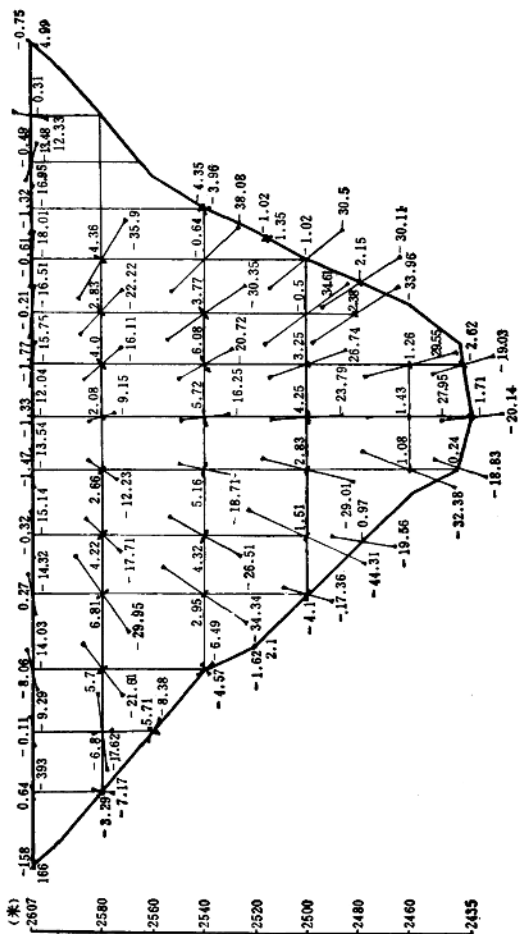


图 5 下游面主应力分布图 (特殊情况) 单位: 公斤/厘米²

下游面的主压应力普遍提高至10~30公斤/厘米²，最大值达44.3公斤/厘米²，另一向基本受拉，拉应力也有所提高，主拉应力一般为3~5公斤/厘米²，最大值7公斤/厘米²。最大主拉、压应力值基本上能满足设计控制强度指标。

(三) 六个标向应力

1. 径向正应力 σ_r ：在断面内是非线性分布的，上游面节点处的 σ_r 值近似于该点的法向作用荷载强度，参见图6。仅在基础处有所出入，分析其原因可能是在该处坝与基础相交单元形成凹折点，单元形状、大小相差较大，应力的突变较明显而影响该处 σ_r 的精度。

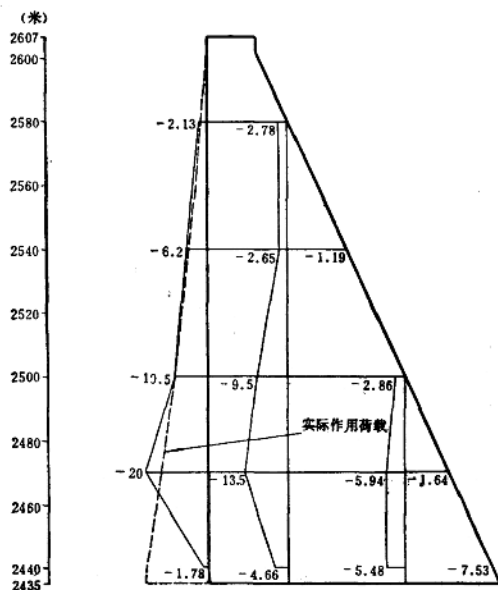


图6 正常情况 σ_r 正应力值 单位：公斤/厘米²