

水工结构与 固体力学论文集

朱伯芳论文选集

水利电力出版社

305473

SELECTED PAPERS OF ZHU BOFANG
ON HYDRAULIC STRUCTURES AND
SOLID MECHANICS

水工结构与 固体力学论文集

朱伯芳论文选集



水利电力出版社

水工结构与固体力学论文集
朱伯芳论文选集

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 13.25印张 290千字
1988年7月第一版 1988年7月北京第一次印刷
印数0001—1890册 定价 3.60元
ISBN 7-120-00018-7/TV·8

内 容 提 要

本书为我国著名水工结构和固体力学专家朱伯芳高级工程师数十年科研成果的精华。全书共选收论文31篇，内容涉及到温度应力、粘弹性、徐变理论、渗流、有限元方法、结构优化设计等多方面的问题及水坝、隧洞、船坞、孔口、弹性地基梁等结构计算方法。书中阐述的理论和方法都是作者独创的成果，其中不少在国内外已得到广泛应用，有的已纳入我国有关坝工设计规范。

为了便于进行国际学术交流，各篇论文都附有英文内容提要。

本书可供水利、土建、力学等方面的工程技术人员和科研人员使用，也可供有关高等院校师生参考。

序 言

朱伯芳同志从事水利科学研究已三十余年，发表了一系列的论著。他十分重视从工程实践中提炼研究课题。例如在实际工程中，基础梁往往出现裂缝，表明存在着较大的温度应力，他研究了这个问题，提出了《基础梁的温度应力》一文，使问题得到解决，已广泛应用于水利和土建工程中。又如我国兴建了一大批大型船坞与水闸，也因温度应力问题而出现了恼人的裂缝，经过朱伯芳同志研究后，发表了《软基上船坞与水闸的温度应力》一文，这个问题得以迎刃而解。

朱伯芳同志在研究工程技术问题时总持着非常严谨的态度。例如，对于地下洞室上方的山岩压力，国内外惯用普氏法进行计算。殊不知普氏立法时首先假定地下洞室存在于散沙形的土壤中，显然与坚实的岩石有根本性的差异。朱伯芳同志改从岩石介质着手研究，考虑了山岩的初应力、岩体的蠕变和建造衬砌的时间因素，最后计算出洞室上方所受的山岩压力，著成《粘弹性介质内地下建筑物所受山岩压力》一文，时越四年，国外才始有同类的研究成果出现。

此外，他还致力于探讨固体力学的普遍规律。例如，他发表的《在混合边界条件下非均质粘弹性体的应力与位移》一文中提出的两个定理，现已对非均质粘弹性结构的分析起到一定的指导作用。他又提出了混凝土徐变压力分析的隐式解法和子结构法，使计算效率提高了几十倍。此后他还提出了拱坝优化的合理数学模型和一套有效的求解方法；与一些同志合作，在国际上先人一步，把优化方法应用于实际拱坝工程获得成功。到目前为止已应用于十几个工程，一般可节约投资20%之多。

朱伯芳同志多年来对于水利科学的研究成果已在国内外水利

水电工程界逐渐产生深远的影响，有的已为我国水利、水电、土建、交通部门在实际工程中所采用，有的已纳入我国的坝工设计规范，有的已被国外所采用。现在水利电力出版社把他关于水工结构和固体力学的论文三十一篇编成选集，予以出版，水利工程界必将先睹为快，我因而乐为之序。

原水利部顾问

中国科学院技术科学部学部委员

中国水利学会、中国水力发电工程学会、

中国土木工程学会名誉理事

华北水利水电学院名誉院长

全国政治协商会议委员

汪胡楨

1985年1月

作者简介



朱伯芳

朱伯芳同志系我国著名水工结构和固体力学专家，1928年10月生于江西省余江县。1951年毕业于上海交通大学土木工程系后，参加治淮工程，先后承担了佛子岭、梅山两连拱坝和我国第一个拱坝（响洪甸）的设计，1958年到水利水电科学研究院从事混凝土高坝的研究。现任水利水电科学研究院高级工程师，兼任天津大学及华北水利水电学院教授。

我国每年水工混凝土浇筑量近千万立方米。温度应力对于水工混凝土具有很大影响，不少情况下对其应力，特别是拉应力，起着控制作用，而温度应力的变化规律又比较复杂。朱伯芳同志从1956年开始，对混凝土温度应力进行了系统的研究，随后提出了一系列研究成果，包括弹性基础梁、船坞和水闸、单层和多层浇筑块、孔口和隧洞等各种结构的温度应力计算方法、寒潮应力计算方法、有热源水管冷却计算方法、水库温度计算方法等，在我国各大型水利水电工程和船坞工程中得到了广泛应用。有的已纳入我国坝工设计规范，有的国外也已采用。

朱伯芳同志对粘弹性和混凝土徐变理论也进行了系统的研究，提出了非均质粘弹性体的比例变形条件和两个基本定理，给出了混凝土弹性模量、徐变度和应力松弛系数的一套比较好的表达式，提出了混凝土徐变应力分析的隐式解法、子结构法和简谐徐变应力分析的等效模量法，使计算精度和效率得到提高。过去国内外在计算隧洞山岩压力时采用基于散体理论的普氏公式，与岩体实际情况不符合，早在1960年朱伯芳同志就提出了考虑山岩

初应力、徐变和建造衬砌时间等因素、按连续介质计算隧洞山岩压力的新途径和新方法，比国外类似工作早四年。

十年动乱中，朱伯芳同志被下放到三门峡工地，虽身处逆境，仍日以继夜地工作，与宋敬廷等同志合作，建立了我国第一个不稳定温度场和温度徐变应力的有限元程序，接着又建立了渗流、复杂基础、弹性厚壳等一系列有限元程序、为我国双牌、乌江渡、三门峡、朱庄、龙羊峡等水利水电工程提供了大量计算成果，还提出了渗流杂交元等新的有限元计算方法。

对于一个工程设计来说，应力分析只是强度校核的一个手段，最终目的是要拿出一个好的设计方案来，因此就有一个优化问题。朱伯芳同志在坝工优化设计方面也进行了较多的研究工作，他提出了双曲拱坝优化设计的合理的数学模型和一套有效的求解方法，并与有关同志合作，把拱坝优化设计应用于二十几个实际工程获得成功，平均节省工程量达20%，经济效果显著，他还提出了内力展开法及浮动应力指数法等新的优化计算方法。

朱伯芳同志提出了一种新坝型，即混合型支墩坝，支墩用砌石，坝面用混凝土以利防渗。国内已建成两座。

朱伯芳同志出版了三本专著：“水工混凝土结构的温度应力与温度控制”（1976年，与王同生、丁宝瑛、郭之章合著），“有限单元法原理与应用”（1979年），“结构优化设计原理与应用”（1984年，与黎展眉、张璧城合著）。

朱伯芳同志关于水工混凝土温度应力的研究成果1982年获国家自然科学奖，关于拱坝优化设计的研究成果1984年获水利电力部重大科技成果奖。

朱伯芳同志在我国开辟了混凝土温度应力、徐变理论、拱坝优化等研究领域、培养了一批人才。

朱伯芳同志为中国水利学会科技咨询中心咨询委员及水工结构专业委员、中国水力发电学会计算机应用专业委员会副主任委员、中国土木工程学会计算机应用学会理事、“工程力学”常务编委、“计算结构力学及应用”编委及“基建优化”编委等。

ABOUT THE AUTHOR

Prof. Zhu Bofang is a famous scientist of hydraulic structures and solid mechanics in China. He was born in October, 1928 in Yujiang county, Jiangxi Province. In 1951, Prof. Zhu graduated in civil engineering from Shanghai Jiaotong University, and then participated in the work of harnessing the Huai He River, being responsible for the design of two multiple-arch dams and one arch dam, which was the first one of its kind in China. In 1958, he was transferred to the Beijing Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Research, where he was engaged in the research work of high concrete dams. He is now a senior engineer of the Institute and Professor of the Tianjin University and the North China College of water Conservancy and Hydroelectric Power.

Prof. Zhu has been working on temperature stresses in mass concrete since 1956. He wrote a series of important papers in this topic, putting forward formulas for calculating the temperature stresses in beams on elastic foundation, in docks and locks, in concrete blocks of single lift or multiple lifts, around openings, and in tunnel lining. He has also worked out method for calculating temperature stresses in mass concrete caused by cold wave, method for determining water temperature in reservoir, and method

for computing the effect of pipe cooling in mass concrete with heat resources. Many of his formulas and calculation methods have found popular use in the design of hydro projects. Some have been adopted in the Chinese design specification for dams and also recognized abroad.

For many years Prof. Zhu has also been working on the theory of viscoelasticity and creep of concrete and has made striking contribution. As early as 1960 he proposed a new idea of determining rock pressure in tunnelling, regarding the rock mass as a continuum and taking account of the initial stress, creep, and time lag between blasting and lining. Similar idea came out abroad four years later.

During Cultural Revolution, Prof. Zhu was transferred to Sanmenxia, Henan Province, where he, despite the hardships, worked out a series of finite element programmes applied to solving the practical problems in many hydro projects.

Prof. Zhu has been paying great attention to the optimum design of dams during recent years. He has proposed the rational mathematical models for optimum design of arch dams and a series of effective methods of solution, which have been successfully applied to several practical projects, resulting in twenty percent economy of dam volume.

From 1976-1984 he published three books: 'Thermal Stress and Temperature Control of Concrete Hydraulic Structures, 1976' (with co-authors Wang Tongshen, Ding Baoying, and Guo Zhizhang); 'Prin-

principles and Applications of Finite Element Method, 1979'; 'Principles and Applications of Optimum Design of Structures, 1984' (with co-authors Li Zhanmei and Zhang Bicheng). He was awarded the National Prize of Natural Science in 1982 for his excellent research Work in temperature stress of hydraulic concrete, and the Major Scientific Prize of the Ministry of water Resources and Electric Power in 1984 for his prominent research work in optimum design of arch dams.

Prof. Zhu is an academic member of the Consultancy Center of Science and Technology of the Chinese Society of Hydraulic Engineers, the vice chairman of the Computer Science Committee of the Chinese society of the Hydroelectric Power Engineering. He is also a member of the Hydraulic Structure Committee of the Chinese Society of Hydraulic Engineers, a member of the Computer Science Committee of the Chinese Society of Civil Engineering, a member of the standing editorial board of the Journal of 'Engineering Mechanics', and a member of the editorial board of the Journal of 'Computational Structural Mechanics and Applications, and that of the Journal of "optimization of Capital Construction"

目 录

序言

作者简介

基础梁的温度应力	1
软基上船坞与水闸的温度应力	14
论拱坝的温度荷载	30
重力坝和混凝土浇筑块的温度应力	48
无限域内圆形孔口的简谐温度应力	67
库水温度估算	77
有内部热源的大块混凝土用埋设水管冷却的降温计算	92
大体积混凝土表面保温能力计算	102
基础温度变形及其对上部结构温度应力的影响	117
在混合边界条件下非均质粘弹性体的应力与位移	131
粘弹性介质内地下建筑物所受的山岩压力	142
混凝土的弹性模量、徐变度与应力松弛系数	161
关于混凝土徐变理论的几个问题	173
混凝土结构徐变应力分析的隐式解法	182
异质弹性徐变体应力分析的广义子结构法	193
晚龄期混凝土及一般粘弹性体简谐温度徐变应力分析的 等效模量法和等效温度法	201
粘弹性地基梁(非文克尔假定)	211
渗流场中考虑排水孔作用的杂交元	219
计算拱坝的一维有限单元法	233
混凝土坝水管冷却效果的有限元分析	248
双曲拱坝的优化	265
双曲拱坝优化设计中的几个问题	281

复杂结构满应力设计的浮动应力指数法	303
拱坝的满应力设计	313
结构满应力设计的松弛指数	324
结构优化设计的两个定理和一个新的解法	332
渗透水对非均质重力坝应力状态的影响	344
地震时地面运动相位差引起的结构动应力	355
对宽缝重力坝的重新评价	358
大头坝纵向弯曲的稳定性	367
钢筋混凝土和预应力混凝土构件的徐变分析	389

CONTENTS

Preface

About the Author

Temperature Stresses in Beams on Elastic Foundations	(13)
Temperature Stresses in Docks and Sluices on Soft Foundations	(29)
On the Temperature Loading of Arch Dams	(46)
Thermal Stresses in Gravity Dams and Massive Concrete Blocks	(66)
Simple Harmonic Temperature Stresses around a Circular Hole in an Infinite Domain.....	(76)
Prediction of Water Temperature in Reservoirs	(91)
Effect of Pipe Cooling in Mass Concrete With Internal Source of Heat	(100)
The Design of Superficial Thermal Insulation of Mass Concrete	(116)
Temperature Deformations of the Foundation and their Influence on the Stresses in the Superstructures.....	(130)
Stresses and Deformations in the Nonhomo Genous Visco-Elastic Media under Mixed Boundary Conditions	(141)
Rock Pressure on the Underground Structure in Visco-elastic Media.....	(160)

Modulus of Elasticity, Specific Creep and Coefficient of Stress Relaxation of Concrete	(171)
Some Problems in the Theory of Creep in Concrete.....	(181)
An Implicit Method for the Stress Analysis of Concrete Structures Considering the Effect of Creep	(192)
Substructure Method for Stress Analysis of Non-homogeneous Elasto-Creeping Solids.....	(200)
Method of Equivalent Modulus and Method of Equivalent Temperature for Analyzing Stresses in Matured Concrete and Other Viscoelastic Bodies due to Harmonic Variation of Temperatures.....	(210)
Viscoelastic Beam on a Viscoelastic Foundation	(218)
The Analysis of the Effect of Draining Holes in the Seepage Field by Means of Hybrid Elements.....	(231)
One-Dimensional Finite-Element Method of Analyzing Arch Dams.....	(247)
Finite Element Analysis of the Effect of Pipe Cooling in Concrete Dams	(263)
Optimization of Double-Curvature Arch Dams ...	(280)
Some Problems in the Optimum Design of Double-Curvature Arch Dams.....	(302)
Method of Floating Stress Exponent for the Fully Stressed Design of Complex Structures.....	(312)
Fully Stressed Design of Arch Dams.....	(323)
Relaxation Exponent of Fully-Stressed Design ...	(331)

Two Theorems and a New Method of Solution for Structural Optimization.....	(343)
Effect of Pore Pressure on the Stress Distribution in a Nonhomogeneous Gravity Dam.....	(354)
Dynamic Response of Structures due to Phase Difference of the Displacement of the Earth's Surface in an Earthquake.....	(357)
Appraisal of Hollow Gravity Dam.....	(366)
Elastic Stability of Buttress Dams	(388)
Creep Analysis of Reinforced Concrete and Pre- stressed Concrete Members	(405)

基础梁的温度应力^①

提 要

本文提出基础梁温度应力的计算方法。接触面上的正应力和剪应力均用切贝雪夫多项式表示，计算很方便，精度也比较高。

前 言

基础梁是工程上广泛采用的一种结构。在实际工程中，基础梁往往出现裂缝，表明基础梁的设计中有必要考虑温度应力，但目前还缺乏一个合适的计算方法。本文提出一个实用的计算方法。

在计算基础梁由外荷载引起的应力时，往往忽略接触面上的剪力，但对于温度应力来说，接触面上的剪力是一个重要因素，不能忽略。本文将同时考虑接触面上的剪应力和正应力。

基础梁的温度应力包括自生应力和约束应力两部分。自生应力是梁的内部互相制约所引起的应力；约束应力是梁的温度变形受到基础约束而产生的应力。自生应力和约束应力叠加后才得到梁的温度应力。

一、梁的自生应力

设有一多层梁如图 1，梁长度为 $2l$ ，梁内温度是沿着 y 方向变化的。先由下式确定梁截面的加权形心的高度 b ：

$$\int E(y)ydy = 0 \quad (1)$$

① 原载《力学》1977年第3期，科学出版社。