

文章编号:1672-3031(2018)05-0331-12

中国水科院水工结构研究成果丰硕国际领先

朱伯芳

(中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 中国水科院在水工结构研究方面, 成果丰硕, 国际领先。首创了混凝土坝温度应力完整的理论体系和合理的温度控制措施, 解决了大坝裂缝这个世界性难题; 开创了拱坝优化数字模型、求解方法和计算软件, 可节省坝体混凝土 10% ~ 30%, 已应用于一百多座拱坝, 节省投资二十余亿元; 首创了混凝土坝仿真分析方法与软件, 完全按照混凝土坝实际施工的气候条件、施工进度和随着不同高程的各层混凝土的不同龄期而变化的力学热学特性, 计算结果与实测资料吻合一致, 使大坝应力分析水平大幅度提高; 首创了混凝土坝数值监控方法, 把仪器观测与有限元计算方法结合起来, 可求出从开工到运行各个时间大坝真实的应力场和安全系数, 建立了大坝安全监控新的可靠平台; 发展了混凝土徐变理论, 提出了两个定理, 可判断徐变对坝体应力和变形的影响, 提出了混凝土徐变应力分析的隐式解法, 提高了计算精度和效率, 当时在全球率先编制了5个水工结构有限元计算程序, 提供给全国有关单位, 使我国水工结构计算进入“有限元时代”, 计算水平实现飞跃。

关键词: 水工结构; 混凝土坝; 温度应力; 仿真分析; 有限元计算

中图分类号: TV31

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2018.05.002

中国水利水电科学研究院成立于1958年, 60年来, 全院同志完成了大量科研工作, 为我国水利水电建设作出了巨大贡献。本文简述我院在水工结构研究方面取得的主要研究成果。

1 建立混凝土坝温度应力理论体系

1.1 首创混凝土坝温度应力精细计算方法与软件 1950年代, 在混凝土坝温度控制方面只有美国垦务局的“Cooling of Concrete Dam”一本书, 此书完全没有接触温度应力, 只介绍了温度场的一维解法, 依靠这本书, 当然无法解决混凝土坝的温度应力问题。在混凝土坝温度控制方面, 虽然人们已采用了一些办法, 如分缝分块、预冷骨料、水管冷却等, 但实际上却是“无坝不裂”, 其根本原因就是当时没有温度应力计算方法, 在混凝土坝设计阶段, 不会计算温度应力, 而实际工程中温度应力是很大的。笔者首次创建了混凝土坝温度应力完整计算方法, 在设计阶段可以算出混凝土坝从施工期到运行期的全部温度应力, 如发现拉应力太大, 可采取措施把拉应力降到允许应力以下, 从而避免了裂缝。

笔者首次将有限单元法引入混凝土坝的温度应力, 建立了基于有限元法的混凝土温度徐变应力精细计算方法, 但当时还没有计算机语言, 用二进制方法编制计算程序, 1+2=3都要走十几步, 编制有限元计算程序的工作量非常大。后与宋敬廷合作, 编制了5个有限元程序, 其中混凝土坝温度徐变应力计算程序可以考虑气候条件、施工进度、温控方法和材料特性, 计算混凝土坝从施工到运行各个时期的应力, 如果发现拉应力超过允许应力, 可以采取把过大的拉应力降下来, 从而避免了裂缝。笔者于1974年在全国水利水电计算技术交流会上发表了计算方法并无偿公布了计算软件, 使我国混凝土坝温度应力计算水平大幅度提高, 实际上达到了当时国际领先水平, 不但三峡、乌江渡等一系列大型混凝土坝采用该程序计算, 许多中型工程也应用该程序进行计算。

收稿日期: 2018-06-20

作者简介: 朱伯芳(1928-), 男, 江西余干人, 中国工程院院士, 主要从事水工结构研究。E-mail: zhuf@iwhr.com

1.2 首创混凝土坝温度控制三准则 笔者提出的混凝土坝温度控制三准则如下。

(1) 准则一。全面控温、长期保温。在混凝土坝施工过程中, 往往来一次寒潮就出现一批裂缝, 施工人员在大坝的顶面工作, 当然最容易发现这些裂缝, 因而当年曾流行一种看法: 裂缝出现在龄期 28 d 以内, 28 d 以后无需保温。这种看法当然是错误的, 实际上温度应力最大、最容易出现裂缝的时间是当年和次年冬季遇到寒潮时, 因而笔者提出“全面温控, 长期保温”的概念, 提出利用泡沫塑料进行表面保温, 施工方便, 价格低廉, 效果好。

(2) 准则二。早冷却、小温差、慢冷却。过去传统是在接缝灌浆之前进行一次冷却, 把混凝土温度从最高降低到坝体稳定温度, 然后进行接缝灌浆, 温差大, 冷却时间短, 拉应力大, 易裂缝。笔者提出“早冷却、小温差、慢冷却”的温度控制标准, 在浇筑新混凝土时即开始水管冷却, 水温与下层老混凝土的温差不超过 5℃, 水温逐步降低, 在接缝灌浆前使混凝土温度降低到坝体稳定温度, 因此, 冷却时间长, 降温速度慢, 混凝土徐变得以充分发展, 在不影响坝体接缝灌浆时间的前提下, 大幅度减小了温度应力。

(3) 准则三。适当控制冷却层高度。如果在接缝灌浆前混凝土温度仍超过坝体稳定温度, 需要进行二次冷却, 这时需要控制冷却层厚度, 如果冷却层太薄, 因上下两面都受约束, 约束作用大, 易裂缝。笔者建议冷却层厚度 ΔH 不宜小于浇筑块宽度 L 的 0.40 倍, 即:

$$\Delta H \geq 0.40L \quad (1)$$

1.3 建立拱坝温度荷载的正确计算方法 1985 年以前, 拱坝温度荷载采用美国垦务局经验公式计算:

$$T_m = \pm 57.57 / (L + 2.44) \quad (2)$$

式中: T_m 为坝体厚度方向平均温度变化; L 为坝体厚度。

该式具有以下缺点: (1) 没有考虑上下游温差; (2) 没有考虑坝址气候条件。

笔者提出拱坝温度荷载新的计算公式如下:

$$T_m = T_{m_1} + T_{m_2} - T_{m_0}; \quad T_d = T_{d_1} + T_{d_2} - T_{d_0} \quad (3)$$

式中: T_m 为平均温度的变化; T_d 为上下游等效线性温差的变化。

计算中不但考虑了坝体厚度, 还考虑了上下游温差和当地气候条件, 这套计算公式已为我国拱坝设计规范采用, 应用多年, 效果良好。

1.4 提出各种水工结构的温度应力计算方法 笔者提出了重力坝、支墩坝、船坞、水闸、隧洞、地基梁等各种水工建筑物温度应力计算方法, 发表温度应力论文计 61 篇。

1.5 提出库水温度计算公式 库水温度是混凝土坝运行期的重要边界条件, 以前没有计算方法, 笔者提出了一个较好的计算公式:

$$T(y, \tau) = T_m(y) + A(y) \cos \omega(\tau - \tau_0 - \varepsilon) \quad (4)$$

式中: y 为水深; τ 为时间; $T_m(y)$ 为年平均水温; $A(y)$ 为水温年变幅; ε 为水温与气温的相应位差; τ_0 为气温最高时间。

这个公式结构简单, 计算结果与实测资料符合得比较好, 因此获广泛应用。

2 建立拱坝体形优化方法

拱坝有 7 种类型: 单心圆、多心圆、抛物线、椭圆、双曲线、对数螺旋线和统一二次曲线, 每一种类型的拱坝, 其几何形状又有五十多个设计变量, 拱坝的设计是比较复杂的, 传统的设计方法是根据经验选用一种拱形, 然后通过方案比较和不断修改, 找到一个符合设计条件的体形, 从数学上来说, 这只是一个可行方案, 而不是最优方案。

笔者与厉易生、贾金生、饶斌和杨波等合作, 经过多年努力, 把数学规划方法用于拱坝设计获得成功, 建立了拱坝体形优化方法和软件, 3 d 之内就可以给出 7 种拱坝的最优体形, 从中即可选出

最优拱坝类型又可同时求出拱坝最优的体形尺寸，一举两得，已应用于小湾、锦屏和溪洛渡等世界最高的拱坝及其他一百多座拱坝，一般可节省坝体混凝土 10% ~ 30%，已节省投资 20 余亿元。拱坝体形优化成功，不但是我国水工结构学的重大成就，也是世界上坝工技术上的一项重要成绩。

国外也有人进行拱坝优化研究，但由于数学模型欠佳，一直未能在实际工程中应用。笔者的拱坝优化软件已在实际工程中广泛应用，包括小湾、锦屏、溪洛渡和拉西瓦这些特高拱坝，并已向国外出口，取得的主要成果有以下几点。

2.1 拱坝体形采用实用化表达式 为了便于在实际工程中应用，采用的拱坝体形表达式与拱坝设计中采用的表达式相近，即用一组公式来表达拱冠梁剖面形状，再用 7 组公式表示 7 种拱坝的水平拱圈的形状，这种表达方式容易被工程设计人员采用，但公式中的系数是通过优化方法求出的，因而坝的体积最小。

以抛物线拱坝为例说明优化公式。

拱冠梁剖面：

$$\begin{cases} y = -B & (\text{上游面}) \\ y = t_c - B & (\text{下游面}) \end{cases} \quad (5)$$

水平拱的轴线用抛物线表示如下：

$$\begin{cases} y = -B + \frac{x^2}{2R_R} & (\text{右半拱}) \\ y = -B + \frac{x^2}{2R_L} & (\text{左半拱}) \end{cases} \quad (6)$$

式中， R_R 、 R_L 分别为右半拱和左半拱在 $x=0$ 处的曲率半径。

拱的厚度 t 随水平坐标 x 的变化规律如下：

$$\begin{cases} t(x) = t_c + (t_{AR} - t_c) \left(\frac{x}{x_{AR}} \right)^\gamma & (\text{右半拱}) \\ t(x) = t_c + (t_{AL} - t_c) \left(\frac{x}{x_{AL}} \right)^\gamma & (\text{左半拱}) \end{cases} \quad (7)$$

式中： t_c 、 t_{AR} 、 t_{AL} 分别为拱冠、右拱座和左拱座的厚度； γ 为指数。

十分复杂的拱坝体形用这样一组很简洁的方程就表示出来了，式中参数 B 、 t_c 、 t_{AR} 、 t_{AL} 、 R_R 、 R_L 等用铅直坐标 z 的多项式表示，多项式的系数通过优化方法求解，使坝的体积最小，而通过约束条件的作用使坝体应力和稳定满足设计要求，在研制的拱坝优化软件中，包含了单心圆、多心圆、抛物线、椭圆、双曲线、对数螺旋线和统一二次曲线等 7 种拱圈。

2.2 内力展开法 在优化过程中，要进行上千次的坝体应力分析，如何节省应力分析时间成为拱坝优化的一个关键，国外采用 Schmit 建议的应力展开法，即把应力 σ 表示为设计变量 x 的泰乐级数：

$$\sigma(x) = \sigma(x^k) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \sigma}{\partial x_i} (x_i - x_i^k) \quad (8)$$

由于应力 σ 与设计变量 x 之间的关系是高度非线性的，要进行 10 ~ 20 次迭代计算，才能收敛。

笔者提出的内力开展法如下：

$$F(x) = F(x^k) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial x_i} (x_i - x_i^k) \quad (9)$$

$F(x)$ 为内力，内力是与荷载平衡的，在优化过程中，主要荷载水荷载是不变的，虽然自重等荷载有一定的变化，但总荷载的变化是较小的，因此采用内力展开法进行拱坝优化，只需迭代 2 次即可收敛，而且第一次迭代的计算结果误差已不到 5%，计算速度大大加快。

2.3 建立多种优化方法 笔者建立了拱坝优化的多种优化方法，包括单目标优化、双目标优化、多目标优化和智能优化，可根据工程规模和具体条件选用其中一种方法，使用方便。

3 创立混凝土坝安全监控新平台

混凝土坝的安全是十分重要的，万一溃坝，不仅是坝体工程受到损失，更重要的是溃坝洪水带来的下游人口和财产的巨大损失。过去混凝土坝安全监控的手段是不完善的，手段之一是仪器监测，但仪器监测只能给出观测点的温度和应力，由于测点太少，不可能给出全坝的温度场、应力场和安全系数。例如，一座混凝土坝有30个坝段，一般可能在3个坝段内埋设仪器，90%坝段内是没有观测仪器的。另外，混凝土坝是分层浇筑的，由于水泥水化热的作用，浇筑层内温度和应力的变化都很剧烈，要利用仪器观测内部温度和应力的变化，每个浇筑层至少需要3层仪器，如果一个坝段有100个浇筑层，就需要300层仪器，实际上一个观测坝段只布置3~4层仪器，因此即使在观测坝段，也无法给出应力场的全貌，传统的大坝安全评估，还是依靠计算。用材料力学方法计算重力坝应力，用拱梁分载法计算拱坝应力，计算中并没有考虑混凝土坝分层施工过程中的实际因素，如气温、水化热、水管冷却和表面保温等影响，计算结果是比较粗略的。

笔者与张国新等合作提出了混凝土坝安全监控新方法——数值监控，即把仪器监测与数值计算方法结合起来，在施工初期，利用仪器观测结果，对通过室内试验求得的混凝土力学和热学参数进行校正，使它们更符合实际情况，然后利用校正后的混凝土力学和热学参数，用有限元的方法，从基础开挖开始，按照实际的气候条件、施工进度和温控措施，计算大坝的温度场、应力场和安全系数，这样就可以得到大坝从施工期到运行期各个时间的安全系数，如发现安全系数偏低，可及时采取措施予以补救，大坝安全监控水平得到大幅度提高，换句话说，大坝安全监控由过去的定性监控改变为现在的定量监控。

过去缺乏考虑施工过程中各种因素影响的大坝安全系数计算方法，笔者提出了超载法和降强法两种计算方法，即利用超载和降强，以三维有限元考虑施工过程求出坝体安全系数。

4 建立混凝土坝仿真分析方法

混凝土坝体积庞大，实际施工中采用分段分层浇筑方法，即全坝分成十到二十几个坝段，每段宽度15~20 m，在高度方向分成50~100个浇筑层，每层厚度1.5~4.0 m，施工过程要经历好几年，外界气温变化、内部水泥水化热变化、力学和热学性能随混凝土龄期而变化，这些变化因素都影响到混凝土坝的温度场和应力场，计算中存在一系列困难，过去实际无法计算，笔者克服了这一系列困难，建立了混凝土坝仿真分析方法，提出等效热传导方程和等效排水夹层法。

首先一个困难是计算中如何考虑水管冷却，水管的半径只有1.00~1.25 cm，如果在计算网格中直接考虑水管，管周的单元应该是厘米级的，单元数量异常庞大，一个坝块即有约240万个结点，实际上很难计算，为克服这个困难，笔者提出等效热传导方程：

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial T}{\partial x^2} + \frac{\partial T}{\partial y^2} + \frac{\partial T}{\partial z^2} \right) + (T_0 - T_\omega) \frac{\partial \phi}{\partial \tau} + \theta_0 \frac{\partial \psi}{\partial \tau} \quad (10)$$

水管冷却的影响包含在函数 ϕ 和 ψ 中，因此采用普通的计算网格就可以考虑水管的影响，无需加密网格，计算得到极大简化，且计算精度很好。

第二个困难是计算中如何考虑地基排水孔的降压效果，排水孔的降压作用非常大，但排水孔半径只有5 cm，如果计算网格直接采用排水孔，单元尺寸很小，计算量巨大，实际无法计算，笔者提出等效排水夹层法，调整它的竖向渗透系数，使得它的竖向排水效果与具有排水孔的夹层相同，因而实际计算中，不必采取有排水孔的网格，在夹层中采用等效渗透系数就可以考虑排水孔影响，计算大大简化，且计算精度很好。

5 发展混凝土徐变理论

在混凝土徐变理论方面我们做了下述工作。

(1)非均质弹性徐变体的两个基本定理。徐变对结构应力和变位的影响是人们关心的一个重要问题,前人只研究过均质结构在简单边界条件下的徐变问题,实际工程结构大多数是非均质结构和混合边界条件。笔者定义混凝土徐变度与弹性变形(弹性模量的倒数)成正比的结构为比例变形结构,提出并证明了两个定理:①定理一。如物体符合比例变形条件,即徐变与弹性变形成比例,则在外力作用下,徐变不影响物体的应力,只影响其变形。②定理二。如物体符合比例变形条件,在已知边界位移和温度变化作用下,徐变不影响物体变位,只影响物体的应力,并可按松弛系数法计算。

换言之,如不符合比例变形条件,则在外力作用下,徐变将影响结构的应力状态,在温度和强迫变形作用下,严格来说,应力不能用松弛系数法计算。

(2)混凝土结构徐变应力分析的隐式解法。以前混凝土结构徐变应力分析采用等时段初应变法,计算精度差,计算效率低,笔者提出了变时段隐式解法,既提高了计算精度又提高了计算效率,混凝土徐变应变增量 $\Delta\varepsilon_n^c$ 用递推公式计算:

$$\Delta\varepsilon_n^c = \sum (1 - e^{-r\Delta\tau_n})\omega_n + \Delta\sigma_n(t_n, \bar{\tau}_n) \quad (11)$$

$$\omega_n = \omega_{n-1}e^{-r\Delta\tau_{n-1}} + \Delta\sigma_{n-1}e^{-0.5r\Delta\tau_{n-1}} \quad (12)$$

(3)混凝土弹性模量、徐变度和松弛度表达式。混凝土弹性模量过去采用的公式 $E(\tau) = E_0(1 - e^{-a\tau})$ 与试验资料吻合很差;另一个公式 $E(\tau) = E_0(1 - \alpha e^{-a\tau})$,当 $\tau=0$ 时, $E(0) = E_0(1 - \alpha) \neq 0$,不符合初始条件。故笔者提出以下公式:

$$E(\tau) = E_0(1 - e^{-a\tau^b}) \quad (13)$$

$$E(\tau) = E_0\tau/(n + \tau) \quad (14)$$

式中: E_0 为混凝土最终弹性模量; a 、 b 、 n 为系数。

以上两式,结构紧凑,且与实验资料吻合得较好。

笔者给出的混凝土徐变公式如下:

$$C(t, \tau) = C_1(1 + t_1\tau^{-b_1})\left[1 - e^{-r_1(t-\tau)}\right] + C_2(1 + t_2\tau^{-b_2})\left[1 - e^{-r_2(t-\tau)}\right] + D(e^{-s\tau} - e^{-st}) \quad (15)$$

混凝土松弛系数以前只有一些试验数据,没有通用的表达式,笔者首次提出了两个松弛系数表达式:

$$K(t, \tau) = 1 - \sum (a_i + b_i\tau^{-d_i})\left[1 - e^{-b_i(t-\tau)}\right] \quad (16)$$

$$K(t, \tau) = 1 - \psi(\tau)\left\{1 - \exp\left[-m(\tau)(t-\tau)^{n(\tau)}\right]\right\}$$

这些表达式目前已获广泛应用。

6 将有限元方法引入水工结构计算

1960年左右,笔者从国外文献中看到新出现的有限元单元法,当时即觉得这是一个很有用的方法。1964年正式开始进行有限元方法和程序的研究,可惜1965年初奉命全组“下楼出院”到刘家峡水电站工地搞“设计革命”,有限元研究计划停止。1969年水科院被撤销,笔者下放三门峡工程局,先劳动锻炼一年,接着搞了两年三门峡改建工程。1972年后无事可干,笔者就联合宋敬廷搞有限元研究,当时还没有计算机语言,用二进制手编程序,先后编制了5个有限元程序,应用效果相当好。利

用这5个程序，可以计算大坝渗流场、稳定温度场、不稳定温度场和温度徐变应力场，利用弹性厚壳理论计算拱坝应力以大量减少计算机储存量，在当时计算机硬件水平很低的条件下，可以用有限元计算拱坝应力。1974年我们向全国各水电单位无偿提供了我们的计算程序，使我国混凝土坝计算水平大幅度提高，不但三峡、乌江渡等一系列大型工程应用我们的程序计算，许多中型工程也用我们的程序进行计算，使我国水工结构计算进入有限元时代，计算水平大幅度提高，实际达到了当时国际先进水平。

用拱冠梁分载法分析拱坝应力时，用伏格特系数计算地基变形，做了两个假定：(1)把高低起伏的地基表面摊成平面；(2)把复杂的坝与地基接触面用矩形代替，从而引进了较大误差。用有限元分析拱坝应力时，完全按实际情况计算，无需上述假定，因而计算精度较高，但由于应力集中，在坝踵往往出现很大的拉应力，其数值远远超过了混凝土的抗拉强度，为有限元在坝工技术中的应用构成了障碍，为了解决这个问题，我们提出有限元等效应力的算法，即按实际情况用有限元算出坝体应力后，在半径方向沿断面积分，求出弯矩、剪力、推力等内力，再用材料力学方法计算应力，即消除了应力集中影响，我们计算了20多个拱坝，计算结果表明，应力处于可控范围内，但拉应力比拱梁分载法略大一些，经过分析，把允许拉应力从传统拱梁分载法的1.20 MPa改为1.50 MPa，允许压应力不变，这一建议为我国拱坝设计规范采纳，从而为有限元方法应用于坝工设计开辟了道路。

在三门峡工地，我还写了《有限单元法原理与应用》一书，原来目的是为土木水利专业的工程师提供一本自学有限单元法的参考书，不料出版后广受欢迎，不但受到工程师的欢迎，还受到大学教授和学生的欢迎，被用作大学力学专业本科和工程专业研究生的教科书，一再重版。据中国科学院信息中心统计，此书为我国水利水电专业最受欢迎的10本书之一，此书的英文版也已由Wiley出版公司在海外出版。

在三门峡工地，我们住的是过去建设三门峡工程时用土坯砌筑的临时工棚，上面没有天花板，下面没有地板，遍地老鼠洞，有时从房顶还会掉下来蝎子，就是这样低劣的生活条件下，我们并未灰心，而是克服困难，研究世界上最先进的计算方法，编写了5个有限元程序，并撰写了《有限单元法原理与应用》一书，可谓“身居陋室，写成名著”。

7 科学研究的思路

如何搞好科研说到底是一个问题，即如何选题和如何解题。如何选题呢，一种做法是查阅文献，找一个别人没有做过而自己可以做的题目，这是可以出成果的，但它不一定在生产中能发挥作用。我们的做法是深入生产实际，找一个生产中存在而没有解决的问题，如大坝裂缝问题来进行研究；如何解题呢，就是找一个生产上能实际采用而且效果比国内外更好的方法，如拱坝优化方法。我们的科研路线可归纳为“来自生产、用于生产、高于生产”。

文献是需要阅读的，但重要的是深入生产实践，从生产实践中找一个重要的没有解决的问题来进行研究。科研成果不满足于发表论文，而务必在生产中实际应用。科研成果不满足于当时的国际水平，务求高于当时的国际水平，实现创新和超前。因此，几十年来，水科院结构所科研成果始终处于国内外领先水平。

附录

1 著作

- [1] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 1版. 北京: 中国电力出版社, 1999; 2版. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [2] 朱伯芳. 有限单元法原理与应用[M]. 1版. 北京: 中国水利水电出版社, 1979; 2版, 北京: 中国水利水电出版社, 1998; 3版, 北京: 中国水利水电出版社, 2009; 4版, 北京: 中国水利水电出版社, 2018.

- [3] ZHU Bofang . Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete[M] . Elsevier, New York, 2014 .
- [4] 朱伯芳, 高季章, 陈祖煜, 等 . 拱坝设计与研究 [M] . 北京: 中国水利水电出版社, 2002 .
- [5] 朱伯芳, 黎展眉, 张璧城 . 结构优化设计原理与应用[M] . 北京: 水利电力出版社, 1984 .
- [6] 朱伯芳, 王同生, 丁宝瑛, 等 . 水工混凝土结构的温度应力与温度控制[M] . 北京: 水利电力出版社, 1976 .
- [7] 朱伯芳 . 混凝土坝理论与技术新进展[M] . 北京: 中国水利水电出版社, 2009 .
- [8] 朱伯芳 . 水工结构与固体力学论文集: 朱伯芳论文选集[M] . 北京: 水利电力出版社, 1988 .
- [9] 朱伯芳 . 朱伯芳院士文选[M] . 北京: 中国电力出版社, 1997 .
- [10] 朱伯芳 . 朱伯芳院士文集(上、下册)[M] . 北京: 中国电力出版社, 2016 .
- [11] ZHU Bofang . The Finite Element Method, Fundamentals and Applications in Civil, Hydranlic, Mechanical and Aeronautical Engineering [M] . Wiley, New York, 2018 .

2 论文

- [1] 朱伯芳 . 我国混凝土坝坝型的回顾与展望[J] . 水利水电技术, 2008, 39(9): 26-30 .
- [2] 朱伯芳 . 对宽缝重力坝的重新评价[J] . 水利水电技术, 1963(10): 35-39 .
- [3] 朱伯芳 . 当前混凝土坝建设中的几个问题[J] . 水利学报, 2009, 40(1): 1-9 .
- [4] 朱伯芳 . 混凝土坝安全评估的有限元全程仿真与强度递减法[J] . 水利水电技术, 2007, 38(1): 1-6 .
- [5] 朱伯芳 . 混凝土坝计算技术与安全评估展望[J] . 水利水电技术, 2006, 37(10): 24-28 .
- [6] 朱伯芳 . 论混凝土坝安全系数的设置[J] . 水利水电技术, 2007, 38(6): 35-40 .
- [7] 朱伯芳 . 关于可靠度理论应用于混凝土坝设计的问题[J] . 土木工程学报, 1999, 32(4): 10-15 .
- [8] 朱伯芳 . 论混凝土坝抗裂安全系数[J] . 水利水电技术, 2005, 36(7): 33-37 .
- [9] 朱伯芳 . 《混凝土重力坝设计规范》DL5108-1999中几个问题的商榷[J] . 水利水电技术, 2005, 36(3): 23-27 .
- [10] 朱伯芳 . 论混凝土坝的几个重要问题[J] . 中国工程科学, 2006, 8(7): 21-29 .
- [11] 朱伯芳 . 结构优化设计的几个方法[J] . 工程力学, 1985, 2(2): 43-51 .
- [12] 朱伯芳 . 略论各种混凝土坝的经济性与安全性[J] . 水力发电, 1957(2): 5-9, 27 .
- [13] 朱伯芳 . 论坝工混凝土标号与强度等级[J] . 水利水电技术, 2004, 35(8): 32-36 .
- [14] 朱伯芳 . 智能优化辅助设计系统简介[J] . 水利水电技术, 1993(2): 10-11 .
- [15] 朱伯芳 . 论混凝土坝的使用寿命及实现混凝土坝超长期服役的可能性[J] . 水利学报, 2012, 39(1): 1-9 .
- [16] 朱伯芳 . 关于混凝土坝基础断层破碎带的处理及施工应力问题的商榷[J] . 水利水电技术, 1964(10): 41-43 .
- [17] 朱伯芳, 厉易生, 许平 . 某拱坝因坝内高压孔洞缺乏防渗钢板引起大裂缝的教训[J] . 混凝土坝技术, 1964(10) .
- [18] 朱伯芳 . 三峡工程的社会经济效益是我国最好的[J] . 中国水利, 2011(12): 10-11 .
- [19] 朱伯芳 . 中国拱坝建设的成就[J] . 水力发电, 1999(10): 38-41 .
- [20] 朱伯芳 . 混凝土坝的温度计算[J] . 中国水利, 1956(11): 8-22; 1956(12): 48-60 .
- [21] 朱伯芳 . 有内部热源的大块混凝土用埋设水管冷却的降温计算[J] . 水利学报, 1957(4): 87-106 .
- [22] 朱伯芳 . 建筑物温度应力试验的相似律[J] . 土木工程学报, 1958(4): 35-41 .
- [23] ZHU Bofang . The effect of pipe cooling in mass concrete with internal source of heat[J] . Scientia Sinica, 1961, 10(4): 483-489 .
- [24] 朱伯芳, 王同生 . 混凝土坝施工中相邻坝块高差的合理控制[J] . 水利学报, 1962(5): 53-57 .
- [25] 朱伯芳 . 国外混凝土坝分缝分块及温度控制的情况与趋势[J] . 水利水电技术, 1962(3): 35-47 .
- [26] 朱伯芳 . 数理统计理论在混凝土坝温差研究中的应用[J] . 水利水电技术, 1963(1): 30-34 .
- [27] 朱伯芳, 王同生, 丁宝瑛 . 重力坝和混凝土浇筑块的温度应力[J] . 水利学报, 1964(1): 27-38 .
- [28] 朱伯芳, 宋敬廷 . 混凝土温度场及温度徐变应力的有限元分析[C]//水利水电工程应用电子计算机资料选编 . 北京: 水利水电出版社, 1977 .
- [29] 朱伯芳 . 基础梁的温度应力[J] . 力学学报, 1977, 13(3): 42-47 .
- [30] 朱伯芳 . 软基上船坞与水闸的温度应力[J] . 水利学报, 1980(6): 23-33 .
- [31] 朱伯芳 . 论拱坝的温度荷载[J] . 水力发电, 1984(2): 25-31 .

- [32] 朱伯芳 . 库水温度估算[J] . 水利学报, 1985(2): 14-23 .
- [33] 朱伯芳 . 寒潮引起的混凝土温度应力计算[J] . 水力发电, 1985(3): 15-20 .
- [34] 朱伯芳, 蔡建波 . 混凝土坝水管冷却效果的有限元分析[J] . 水利学报, 1985(4): 29-38 .
- [35] ZHU Bofang , Computation of thermal stresses in mass concrete with consideration of creep[C]//Proc . 15th International Congress on Large Dams . Lausanne, 1985 .
- [36] 朱伯芳 . 大体积混凝土表面保温能力计算[J] . 水利学报, 1987(2): 20-28 .
- [37] 朱伯芳 . 再谈寒潮引起的混凝土温度应力计算——答梁润同志[J] . 水力发电, 1987(12): 33-36 .
- [38] 朱伯芳 . 考虑水管冷却效果的混凝土等效热传导方程[J] . 水利学报, 1991(3): 28-34 .
- [39] ZHU Bofang Temperature Loads on Arch Dams [C]//Proc . International Workshop on Arch Dams . Coimbra, 1987 .
- [40] ZHU Bofang, CAI Jiangbo . Finite element analysis of pipe cooling in mass concrete, a three dimensional problem [J] . Journal of Construction Engineering ASCE, 1989, 115(4): 487-498 .
- [41] 朱伯芳 . 混凝土浇筑块的临界表面放热系数[J] . 水利水电技术, 1990(4): 14-16 .
- [42] ZHU Bofang . Thermal stresses in beams on elastic foundationa[J] . Journal of Hydraulic Engineering, 1992(1) .
- [43] 朱伯芳 . 碾压混凝土拱坝的温度控制与接缝设计[J] . 水力发电, 1992(9): 11-17 .
- [44] 朱伯芳 . 不稳定温度场有限元分区异步长解法[J] . 水力发电, 1985(8): 46-52
- [45] 朱伯芳, 许平 . 碾压混凝土重力坝的温度应力与温度控制[J] . 水利水电技术, 1996(4): 18-25 .
- [46] ZHU Bofang . Compound layer method for stress analysis simulating construction process[J] . Dam Engineering, 1995, 6(2): 157-178 .
- [47] ZHU Bofang, XU Ping . Thermal stresses in roller compacted concrete gravity dams[J] . Dam Engineering, 1995, 6(3): 199-220 .
- [48] ZHU Bofang, XU Ping, WANG Shuhe . Thermal Stresses and Temperature Control of RCC Gravity Dams[C]//Proceeding International Symposium on Roller Compacted Concrete Dam . Chengdu, China, 1999 .
- [49] 朱伯芳 . 大体积混凝土施工过程中受到的日照影响[J] . 水力发电学报, 1999(3): 35-41 .
- [50] 朱伯芳, 许平 . 通仓浇筑常态混凝土和碾压混凝土重力坝的劈头裂缝和底孔超冷问题[J] . 水利水电技术, 1998(10): 14-18 .
- [51] 朱伯芳, 董福品 . 拆除模板引起的混凝土温度应力[J] . 水利水电技术, 1998(10): 60-62 .
- [52] 朱伯芳 . 高温季节进行坝体二期水管冷却时的表面保温[J] . 水利水电技术, 1997(4): 10-13 .
- [53] 朱伯芳 . 大体积混凝土非金属水管冷却的降温计算[J] . 水力发电, 1996(12): 26-29 .
- [54] ZHU Bofang . Effect of cooling by water flowing in nonmetal pipes embedded in mass concrete[J] . Journal of Construction Engineering ASCE, 1999, 125(1): 61-68 .
- [55] ZHU Bofang, XU Ping . New Methods for Thermal Stress Analysis Simulating Construction Process of Concrete Dam [C]//Proceedings Tenth International Conference for Numerical Methods in Thermal Problems . Swansea, UK, 1997 .
- [56] ZHUBofang, XU Ping . Thermal Stress and Temperature Control of Gravity Dams Without Longitudinal Joint Including RCC Gravity Dams[C]//Proceeding of International Conference on Creating in Concrete . Dundee, UK, 1999 .
- [57] 朱伯芳 . RCC坝仿真计算非均匀单元的初始条件[J] . 水力发电学报, 2000(1): 81-85 .
- [58] ZHU Bofang . Prediction of water temperature in deep reservoir [J] . Dam Engineering, 1997, 8(1): 13-26 .
- [59] 朱伯芳 . 蠕变引起的非均质结构应力重新分布[J] . 建筑学报, 1961(1): 16-20 .
- [60] 朱伯芳 . 蠕变引起的拱坝应力重新分布[J] . 力学学报, 1962, 5(1): 19-27 .
- [61] 朱伯芳 . 在混合边界条件下非均质粘弹性体的应力与位移[J] . 力学学报, 1964, 7(2): 74-79 .
- [62] 朱伯芳 . 关于混凝土徐变理论的几个问题[J] . 水利学报, 1982(3): 37-42 .
- [63] 朱伯芳 . 混凝土结构徐变应力分析的隐式解法[J] . 水利学报, 1983(5): 42-48 .
- [64] 朱伯芳 . 混凝土的弹性模量、徐变度与应力松弛系数[J] . 水利学报, 1985(9): 56-63 .
- [65] 朱伯芳 . 分析晚龄期混凝土结构简谐温度徐变应力的等效模量法和等效温度法[J] . 水利学报, 1986(8): 63-69 .
- [66] 朱伯芳 . 混凝土徐变方程参数拟合的约束极值法[J] . 水利学报, 1992(7): 75-76 .

- [67] 朱伯芳. 弹性徐变体有限元分区异步长算法[J]. 水利学报, 1995(7): 23-27.
- [68] 朱伯芳. 再论混凝土弹性模量的表达式[J]. 水利学报, 1996(3): 89-91.
- [69] 朱伯芳. 混凝土徐变柔量的幂函数-对数函数表达式[J]. 计算技术与计算机应用, 1996(1): 1-4.
- [70] 朱伯芳. 混凝土极限拉伸变形与龄期及抗拉、抗压强度的关系[J]. 土木工程学报, 1996(5): 72-76.
- [71] 朱伯芳. 混凝土松弛系数与徐变系数的关系式[J]. 计算技术与计算机应用, 1996(2).
- [72] 朱伯芳. 多层混凝土结构仿真应力分析的并层算法[J]. 水力发电学报, 1994(3): 153-155.
- [73] 朱伯芳. 混凝土高坝仿真计算的并层坝块接缝单元[J]. 水力发电学报, 1995(3): 14-21.
- [74] 朱伯芳. 论微膨胀混凝土筑坝技术[J]. 水力发电学报, 2000(3): 1-13.
- [75] ZHU Bofang. Joint element with key and the influence of joint on the stresses in concrete dams[J]. Dam Engineering, 2001, 12(2): 59-82.
- [76] 朱伯芳. 利用预冷集料和水管冷却加快高碾压混凝土重力坝的施工速度[J]. 水利水电技术, 2001, 32(3): 11-14.
- [77] 朱伯芳, 许平. 混凝土坝仿真应力分析方法[J]. 中国水利, 2000(9): 75-77.
- [78] 朱伯芳. 聚乙烯冷却水管的等效间距[J]. 水力发电, 2002(1): 20-22.
- [79] ZHU Bofang. Methods for stress analysis simulating the construction process of high concrete dams[J]. Dam Engineering, 2001, 11(4).
- [80] 朱伯芳, 许平. 混凝土高坝全过程仿真分析[J]. 水利水电技术, 2002, 33(12): 11-14.
- [81] 朱伯芳. 微膨胀混凝土自生体积变形的计算模型和试验方法[J]. 水利学报, 2002(12): 18-21.
- [82] 朱伯芳. 考虑温度影响的混凝土绝热温升表达式[J]. 水力发电学报, 2003(2): 69-73.
- [83] 朱伯芳. 微膨胀混凝土自生体积变形的增量型计算模型[J]. 水力发电, 2003, 29(2): 22-23.
- [84] 朱伯芳. 关于拱坝接缝灌浆时间的探讨[J]. 水力发电学报, 2003(3): 18-24.
- [85] 朱伯芳. 兼顾当前温度与历史温度效应的氧化镁混凝土双温计算模型[J]. 水利水电技术, 2003, 34(4): 16-17.
- [86] 朱伯芳. 混凝土绝热温升的新计算模型与反分析[J]. 水力发电, 2003, 29(4): 29-32.
- [87] 朱伯芳, 张国新, 徐麟祥, 等. 解决重力坝加高时温度应力的新思路和技术[J]. 水力发电, 2003, 29(11): 26-30.
- [88] 朱伯芳. 寒冷地区有保温层拱坝的温度荷载[J]. 水利水电技术, 2003, 34(11): 43-46.
- [89] 朱伯芳. 混凝土坝水管冷却仿真计算的复合算法[J]. 水利水电技术, 2003, 34(11): 47-50.
- [90] ZHU Bofang. Temperature control and design of joints for RCC arch dams[J]. Dam Engineering, 2003, 14(11): 205-226.
- [91] 厉易生, 朱伯芳. 寒冷地区拱坝苯板保温层的效果及计算方法[J]. 水利学报, 1995(7): 54-58.
- [92] 朱伯芳. 考虑外界温度影响的水管冷却等效热传导方程[J]. 水利学报, 2003(3): 49-54.
- [93] 朱伯芳. 建设高质量永不裂缝拱坝的可行性及实现策略[J]. 水利学报, 2006, 37(10): 1155-1162.
- [94] 朱伯芳. 混凝土坝温度控制与防止裂缝的现状与展望[J]. 水利学报, 2006, 37(12): 1424-1432.
- [95] 朱伯芳. 重力坝的劈头裂缝[J]. 水力发电学报, 1997(4): 85-93.
- [96] 朱伯芳. 地基上混凝土梁的温度应力[J]. 土木工程学报, 2006, 39(8): 96-101.
- [97] 赵佩钰, 吕宏基, 朱伯芳. 关于防止混凝土坝裂缝措施的探讨[J]. 水利水电技术, 1962(3): 8-16.
- [98] 朱伯芳. 关于混凝土坝裂缝问题的商榷[J]. 水利水电技术, 1963(8): 40-47.
- [99] 董福品, 朱伯芳. 碾压混凝土坝温度徐变应力的研究[J]. 水利水电技术, 1987(10): 24-32.
- [100] 厉易生, 朱伯芳. 响水拱坝裂缝成因及其处理[J]. 水利水电技术, 1997(5): 15-17.
- [101] 张国新, 许平, 杨波, 等. 整体拱坝的仿真与可行温控措施[J]. 水利水电技术, 2002, 33(12): 19-22.
- [102] 杨波, 朱伯芳. 拱坝运行期非线性温差应力分析[J]. 水利水电技术, 2003, 34(6): 24-26.
- [103] 申献平, 杨波, 张国新, 等. 沙老河拱坝整体应力仿真与掺 MgO 效果分析[J]. 水利水电技术, 2004, 35(2): 38-40.
- [104] 许平, 朱伯芳, 张国新, 等. 某重力坝温控仿真计算及上游面裂缝成因分析[J]. 水利水电技术, 2004, 35(11): 77-80.
- [105] 朱伯芳, 张国新, 杨卫中, 等. 应用氧化镁混凝土筑坝的两种指导思想和两种实践结果[J]. 水利水电技术, 2005, 36(6): 39-42.

- [106] 朱伯芳. 温度场有限元分析的接缝单元[J]. 水利水电技术, 2005, 36(11): 45-47.
- [107] 朱伯芳, 买淑芳. 混凝土坝的复合式永久保温防渗板[J]. 水利水电技术, 2006, 37(4): 13-18.
- [108] 朱伯芳, 张国新, 吴龙坤, 等. 重力坝加高工程全年施工可行性研究[J]. 水利水电技术, 2006, 37(10): 29-32.
- [109] 朱伯芳. 拱坝温度荷载计算方法的改进[J]. 水利水电技术, 2006, 37(12): 19-22.
- [110] 朱伯芳. 寒潮期间大体积混凝土两面散热与棱角保温[J]. 水力发电, 1986(8): 21-24.
- [111] 朱伯芳. 重力坝横缝止水至坝面距离对防止坝面劈头裂缝的影响[J]. 水力发电, 1998(12): 18-19.
- [112] 朱伯芳, 许平. 加强混凝土坝面保护尽快结束“无坝不裂”的历史[J]. 水力发电, 2004, 30(3): 25-28.
- [113] 朱伯芳. 混凝土拱坝运行期裂缝与永久保温[J]. 水力发电, 2006, 32(8): 21-24.
- [114] 朱伯芳, 张国新, 吴龙坤, 等. 重力坝加高中减少结合面开裂措施的研究[J]. 水利学报, 2007, 38(6): 639-645.
- [115] 朱伯芳, 吴龙坤, 李玥, 等. 重力坝运行期年变化温度场引起的应力[J]. 水利水电技术, 2007, 38(9): 21-24.
- [116] 朱伯芳. 非均质各向异性体温度场的有限元解及裂缝漏水对温度场的影响[J]. 水利水电技术, 2007, 38(3): 33-35.
- [117] 朱伯芳, 吴龙坤, 李玥, 等. 混凝土坝施工期坝块越冬温度应力及表面保温计算方法[J]. 水利水电技术, 2007, 38(8): 34-37.
- [118] 朱伯芳, 吴龙坤, 郑瑾莹, 等. 重力坝运行期纵缝开度的变化[J]. 水利水电技术, 2007, 38(4): 26-29.
- [119] 朱伯芳, 张国新, 许平, 等. 混凝土高坝施工期温度与应力控制决策支持系统[J]. 水利学报, 2008, 39(1): 1-6.
- [120] 朱伯芳, 李玥, 吴龙坤, 等. 关于混凝土坝基础混凝土允许温差的两个原理[J]. 水利水电技术, 2008, 39(7): 21-26.
- [121] 朱伯芳, 吴龙坤, 杨萍, 等. 利用塑料水管易于加密以强化混凝土冷却[J]. 水利水电技术, 2008, 39(5): 36-39.
- [122] 朱伯芳, 杨萍. 混凝土的半熟龄期——改善混凝土抗裂能力的新途径[J]. 水利水电技术, 2008, 39(5): 30-35.
- [123] 朱伯芳. “上犹水电站水工结构物中大体积混凝土浇制的初步经验介绍”读后[J]. 水力发电, 1956(12): 42-46.
- [124] 朱伯芳, 吴龙坤, 杨萍, 等. 混凝土坝后期水管冷却的规划[J]. 水利水电技术, 2008, 39(7): 27-31.
- [125] 朱伯芳. 小温差早冷却缓慢冷却是混凝土坝水管冷却的新方向[J]. 水利水电技术, 2009, 40(1): 44-50.
- [126] 朱伯芳, 吴龙坤, 张国新. 混凝土坝水管冷却自生温度徐变应力的数值分析[J]. 水利水电技术, 2009, 40(2): 34-37, 49.
- [127] 朱伯芳, 傅华. 混凝土温度场反分析[J]. 计算技术与计算机应用, 1997(1).
- [128] 张国新, 杨波, 朱伯芳, 等. MgO微膨胀混凝土拱坝裂缝的非线性模拟[J]. 水力发电学报, 2004, 23(3): 51-55.
- [129] 朱伯芳. 混凝土热力学性能随龄期变化的组合指数公式[J]. 水利学报, 2011, 42(1): 1-7.
- [130] 朱伯芳. 论混凝土坝的水管冷却[J]. 水利学报, 2010, 41(5): 505-513.
- [131] 朱伯芳. 大体积混凝土绝热温升试验新方法[J]. 水利水电技术, 2010, 41(3): 37-39.
- [132] 朱伯芳, 吴龙坤, 张国新. 混凝土坝水管冷却的利与弊[J]. 水利水电技术, 2009, 40(12): 26-30.
- [133] 朱伯芳. 混凝土坝施工期最高温度计算方法[J]. 水力发电, 2010, 36(1): 48-50.
- [134] 朱伯芳, 吴龙坤, 张国新, 等. 混凝土坝初期水管冷却方式研究[J]. 水力发电, 2010, 36(3): 31-35.
- [135] 朱伯芳. 混凝土坝水管冷却中水温的计算、调控与反馈分析[J]. 水利水电技术, 2009, 40(8): 67-73.
- [136] 朱伯芳, 吴龙坤, 李玥, 等. 加热下部混凝土以防止混凝土结构裂缝的探索[J]. 水利水电技术, 2009, 40(2): 38-41.
- [137] 朱伯芳, 吴龙坤, 李玥, 等. 水闸温度应力[J]. 水利水电技术, 2009, 40(3): 30-32, 42.
- [138] 朱伯芳, 吴龙坤, 张国新. 混凝土坝后期水管冷却方式研究[J]. 水利水电技术, 2009, 40(7): 22-31.
- [139] 朱伯芳, 杨萍. 混凝土的半熟龄期——改善混凝土抗裂能力的新途径[J]. 水利水电技术, 2008, 39(5): 30-35.

- [140] 朱伯芳,买淑芳. 混凝土坝的复合式永久保温防渗板[J]. 水利水电技术, 2006, 37(4): 13-18.
- [141] 朱伯芳. 小湾拱坝施工期裂缝成因的再探讨[J]. 水利水电技术, 2015, 46(4): 1-5.
- [142] 朱伯芳,黎展眉. 拱坝的满应力设计[C]//水利水电科学院论文集. 第9集. 北京:水利电力出版社, 1982.
- [143] 朱伯芳. 结构满应力设计的松弛指数[J]. 水利学报, 1983(1): 29-33.
- [144] 朱伯芳. 复杂结构满应力设计的浮动应力指数法[J]. 固体力学学报, 1984(2): 104-110.
- [145] 朱伯芳,宋敬延. 双曲拱坝的最优化设计[J]. 水利水运工程学报, 1980(1): 15-25.
- [146] 朱伯芳,黎展眉. 双曲拱坝的优化[J]. 水利学报, 1981(2): 13-23.
- [147] 朱伯芳,张宝康,黎展眉. 用快速边界搜索法求解双曲拱坝优化问题[J]. 数值计算与计算机应用, 1983, 4(4): 218-223.
- [148] 朱伯芳. 双曲拱坝优化设计中的几个问题[J]. 计算力学学报, 1984, 1(3): 14-24.
- [149] 朱伯芳,黎展眉. 结构优化设计的两个定理和一个新的解法[J]. 水利学报, 1984(10): 16-23.
- [150] ZHU Bofang. On Optimum Design of Double-curvature Arch Dam[C]//Proc. 2nd International Conference on Computing in Civil Engineering. 1988.
- [151] ZHU Bofang. Internal force expansion method for stress reanalysis in structural optimization[J]. Comm. Appl. Num. Meth., 1991(7): 295-298.
- [152] 朱伯芳. 智能优化设计辅助设计系统[J]. 计算技术与计算机应用, 1992(2): 27-29.
- [153] 朱伯芳,贾金生. 拱坝坝体优化的数学模型[J]. 水利学报, 1992(3): 23-32.
- [154] 朱伯芳,饶斌. 在静力与动力荷载作用下拱坝坝体优化的求解方法[J]. 水利学报, 1992, 9(5): 20-26.
- [155] ZHU Bofang. Shape optimization of arch dams for static and dynamic loads[J]. Journal of Structural Engineering ASCE, 1992(118): 2996-3015.
- [156] ZHU Bofang. Intelligent optimal CAD for arch dams[J]. International Water Power and Dam Construction, 1994(3): 32-37.
- [157] 朱伯芳. 结构优化设计讲座第一讲: 结构优化设计概论[J]. 水力发电, 1984(4): 44-46, 41.
- [158] 朱伯芳,贾金生,厉易生,等. 拱坝的智能优化辅助设计系统——ADIOCAD[J]. 水利学报, 1994(7): 32-37.
- [159] 朱伯芳,谢钊. 弹性圆拱的最优中心角[J]. 水利水电技术, 1986(12): 8-10.
- [160] ZHU Bofang. Shape optimization of arch dams [J]. International Water Power and Dam Construction, 1988.
- [161] 朱伯芳,厉易生,张武,等. 拱坝优化十年[J]. 基建优化, 1987(2): 3-10.
- [162] 朱伯芳,谢钊. 高拱坝坝体优化设计中的若干问题[J]. 水利水电技术, 1987(3): 11-19.
- [163] ZHU Bofang. Some Problems in Optimum Design of Structures[C]//Proc. 3th Intern. Conf. Computing in Engineering. Vancouver, 1988.
- [164] ZHU Bofang. Optimum design of arch dams[J]. Dam Engineering, 1990, 1(2): 131-145.
- [165] 朱伯芳,饶斌,贾金生,等. 拱坝坝体优化设计进展[J]. 混凝土坝技术, 1990(1).
- [166] 朱伯芳,饶斌,贾金生. 六种双曲拱坝坝体优化与比较研究[J]. 砌石坝技术, 1990(2).
- [167] ZHU Bofang. On Optimum Design of Double-curvature Arch Dam[C]//Proc. Inter. Workshop on Arch Dams. Coimbre, 1987.
- [168] 厉易生,贾金生,朱伯芳. 小湾拱坝拱型优化研究[J]. 水利水电技术, 1997(2): 26-29.
- [169] 朱伯芳,厉易生. 高拱坝新型合理体形的研究和应用[J]. 水力发电, 2001(8): 60-62.
- [170] 朱伯芳. 拱坝的有限元等效应力及复杂应力下的强度储备[J]. 水利水电技术, 2005, 36(1): 43-47.
- [171] 朱伯芳. 拱坝应力控制标准研究[J]. 水力发电, 2000(12): 39-44.
- [172] 朱伯芳. 论特高混凝土拱坝的抗压安全系数[J]. 水力发电, 2005, 31(2): 25-28.
- [173] 朱伯芳,张国新,许平. 混凝土高坝温度控制仿真决策支持系统[J]. 中国水利, 2009(2): 68-68.
- [174] 朱伯芳. 渗流场中考虑排水孔作用的杂交元[J]. 水利学报, 1982(9): 34-43.
- [175] ZHU Bofang. Hybrid Elements Considering the Effects of Draining Holes in Seepage Field[C]//Proc. Intern. Conf. FEM. Shanghai, China, 1982.
- [176] 朱伯芳,李玥,张国新. 渗流场中排水孔直径、间距及深度对排水效果的影响[J]. 水利水电技术, 2008, 39(3): 27-29.
- [177] 朱伯芳,李玥,许平,等. 渗流场分析的夹层代孔列法[J]. 水利水电技术, 2007, 38(10): 24-28.

- [178] 朱伯芳. 强地震区高拱坝抗震配筋问题[J]. 水力发电, 2000(7): 18-22.
- [179] 朱伯芳. 1999年台湾921集集大地震中的水利水电工程[J]. 水力发电学报, 2003(1): 21-33.
- [180] 朱伯芳. 拱坝、壳体和平板的振动及地面运动相位差的影响[J]. 水利学报, 1963(2): 63-66.
- [181] 朱伯芳. 论混凝土坝的抗地震问题[J]. 水利水电技术, 1963(3): 17-29.
- [182] ZHU Bofang. Vibration of arch dams, shells and plates with special reference to the effects of phase difference of ground displacements [J]. Scientia Sinica, 1964, 12(6).
- [183] 朱伯芳, 宋敬廷. 复杂基础上混凝土坝的非线性有限单元分析[J]. 水利水电, 1978(7).
- [184] 朱伯芳, 宋敬廷. 弹性厚壳曲面有限单元在拱坝应力分析中的应用[J]. 水利水运工程学报, 1979(1): 29-44.
- [185] 朱伯芳, 宋敬廷. 计算拱坝的一维有限单元法[J]. 水利水运工程学报, 1979(2): 20-31.
- [186] 朱伯芳, 饶斌, 贾金生. 变厚度非圆形拱坝应力分析[J]. 水利学报, 1988(11): 19-30.
- [187] 朱伯芳, 饶斌, 贾金生. 拱坝应力分析[J]. 水利水电技术, 1988(9): 24-33.
- [188] ZHU Bofang. Stress analysis of noncircular arch dams [J]. Dam Engineering, 1991, 2(3): 253-272.
- [189] 朱伯芳. 杆件-块体连接单元[J]. 水利学报, 1989(11): 20-29.
- [190] 朱伯芳, 厉易生, 贾金生. 拱坝设计中的几个主要问题[J]. 混凝土坝技术, 1995(3).
- [191] 朱伯芳, 栾丰. 拱与梁产生裂缝后的失效角[J]. 水力发电学报, 1996(2): 55-60.
- [192] 朱伯芳, 贾金生. 拱坝的多拱梁非线性分析[J]. 水利水电技术, 1997(7): 36-39.
- [193] 朱伯芳, 厉易生. 提高拱坝混凝土强度等级的探讨[J]. 水利水电技术, 1999, 30(3): 15-19.
- [194] 朱伯芳, 张国新, 郑瑾莹, 等. 混凝土坝运行期安全评估与全坝全过程有限元仿真分析[J]. 大坝与安全, 2007(6): 9-12.
- [195] 朱伯芳, 杨波. 混凝土坝耐强烈地震而不垮的机理[J]. 水利水电技术, 2009, 40(1): 51-57.
- [196] 朱伯芳. 论混凝土坝抗震设计与计算中混凝土动态弹性模量的合理取值[J]. 水利水电技术, 2009, 40(11): 19-22.
- [197] 朱伯芳. 改进的混凝土坝单项安全系数法及在拱坝中的应用[J]. 水利水电技术, 2009, 40(12): 22-25.
- [198] 朱伯芳. 论混凝土拱坝有限元等效应力[J]. 水利水电技术, 2012, 43(4): 30-32.
- [199] 朱伯芳. 大坝数字监控的作用和设想[J]. 大坝与安全, 2009(6): 14-17.
- [200] 朱伯芳, 张国新, 贾金生, 等. 混凝土坝的数字监控——提高大坝监控水平的新途径[J]. 水力发电学报, 2009, 28(1): 130-136.
- [201] 朱伯芳. 混凝土坝的数字监控[J]. 水利水电技术, 2008, 39(2): 15-18.

The research results of hydraulic structures of China Institute of Water Resources and Hydropower Research are abundant and leading the world

ZHU Bofang

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The research results of hydraulic structures of China Institute of Water Resources and Hydropower Research are abundant and leading the world. The methods of computing and control of thermal stresses of concrete dams are developed and there are no cracks in concrete dams at present. The theory of optimization of the shape of arch dams has been developed, so the concrete of arch dams has been reduced by 10%~30%. Methods for stress analysis simulating the construction process of high concrete dams have been developed, so the accuracy of stress analysis is very high which is favourable for improving the quality of design and construction of high concrete dams. Numerical monitoring of concrete dams has been developed which is a new way for improving the safety control of concrete dams. The theory of creep of concrete has been developed, so the influence of creep on the stresses and deformations of concrete structures may be computed.

Keywords: hydraulic structures; concrete dam; thermal stresses; simulating; Finite Element Analysis

(责任编辑: 王冰伟)