

## 非稳态传热理论在混凝土骨料预冷预热技术中的应用

推荐单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

项目完成人：黄天润 卢飞 康智明 关薇 李莉 付廷伍

结合小湾、拉西瓦、溪洛渡、官地等水电站等大型水电站工程，根据混凝土骨料温控技术，针对风冷/热骨料、水冷骨料三种温控措施开展系统的研究，首次揭示骨料风冷过程、水冷过程瞬态传热特性，首次利用国际先进的多相流数值分析软件 Fluent 对混凝土骨料传热、流动进行仿真，准确模拟了骨料瞬态传热、流动过程，提出了风（水）冷/风热骨料工况的非稳态流动、传热数学计算方法，绘制出描述风（水）冷/风热骨料的瞬态换热过程的诺谟图。同时，利用物理模型试验，开展混凝土骨料实验对比研究，综合考虑料仓尺寸、空隙率、风速、粒径等因素对骨料瞬态流动传热过程的影响，拟合出真实反映风冷/热骨料瞬态流动传热过程的理论计算关系式。

### 1. 提出将风冷料仓内骨料与空隙的复合结构视为一种多孔介质

通过分析风冷骨料非稳态传热过程，提出其传热物性理论计算方法。计算考虑了空隙中空气的强制对流作用，原创性地提出了等效热物性的计算方法。既保证了计算精度，又简化了繁杂的计算过程，且能够以骨料群作为研究对象，而非单颗骨料，更符合实际情况。

### 2. 提出风冷/热骨料工况的非稳态流动、传热数学计算方法

分析骨料非稳态传热、流动的敏感参数，归纳出真实描述风冷/热骨料的瞬态换热过程的诺谟图，得到了真实反映风冷/热骨料瞬态流动传热过程的理论计算关系式。



图1 风冷实验平台图

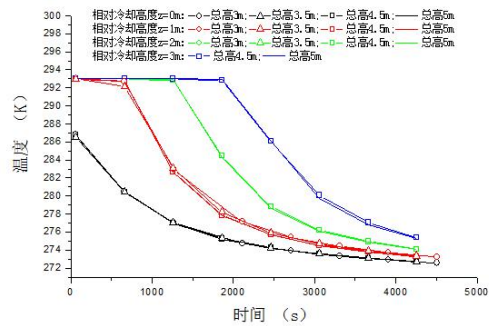


图2 风冷料仓截面瞬态温度曲线

### 3. 提出水冷骨料工况的非稳态传热数学计算方法

以水冷胶带内的骨料群为研究对象，归纳出真实描述水冷骨料的瞬态换热过程的诺谟图，得到了真实反映水冷骨料瞬态流动传热过程的理论计算关系式。该关系式考虑因素全面，计算结果可靠符合水冷实际情况。



图3 水冷实验平台

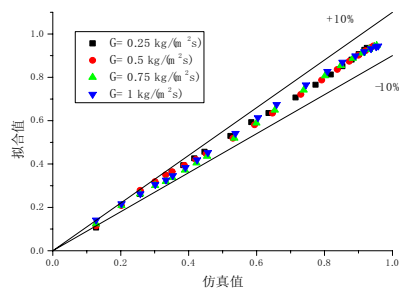


图4 水冷骨料温度拟合数据

#### 4. 揭示风冷、水冷骨料瞬态三维温度场分布特性

系统分析了骨料风冷、水冷瞬态传热特性，总结了风道布置形式、料仓结构、空隙率等因素对风冷骨料温度均匀性和传热速率的影响；胶带机尺寸、倾斜角度、喷淋流率、淹没率、粒径等因素对水冷骨料温度均匀性和冷却速率的影响。为工程应用中优化设计方案的提出，提供了直观、可靠、全面的理论依据。

#### 5. 创新性地开发“混凝土骨料温控计算软件”

计算软件考虑因素全面、覆盖面广、计算速度快、可靠性高，将大大提高工程设计的计算精度、方便设计人员操作、节省设计耗时，并利于行业内统一设计标准的推广，在工程应用方面具有非常重要的意义。



图5 欢迎界面



图6“风冷骨料”界面显示

#### 6. 提出骨料温控过程的节能措施

实现节能降耗目的，改进了骨料传热、流动计算方法，优化了风冷/热料仓设计参数，提高了换热器热交换效率，改善了料仓锁气效果，降低了料仓漏风率。合理的实现节能降耗，降低工程投资。

本项发明在引汉济渭三河口水利枢纽工程高位混凝土生产系统中进行了应用。利用新理论对混凝土骨料风冷、风热进行计算，并进行相应的设备配置。系统自运行以来，实践证明新理论设计系统工艺先进、设备选型合理、节能降耗，效益显著。本研究成果提出了系统的混凝土骨料温控多相传热理论，开发出高效、可靠的温控计算软件，研究成果内容丰富充实，达到国内、国际领先水平，可为同类工程提供借鉴和指导，具有较高推广应用价值，社会经济效益显著。

## 高土石坝跨心墙道路减压板的研制与快速拆连方法

推荐单位： 中国水利水电第五工程局有限公司

主要完成人： 李法海 樊鹏 陈曦 韩兴 杨培青 熊亮 袁幸朝 李春江

目前我国已建高土石坝中，碧口、鲁布革、黑河、小浪底、晓磺、水牛家、瀑布沟、毛尔盖等工程相继采用了跨心墙施工技术。尽管跨心墙施工技术在实践上已经有了长足的进展，但针对心墙堆石坝跨心墙运输技术还缺乏系统性的基础理论研究，诸如跨心墙交通中的荷载计算与评估、心墙在往复的车辆动荷载下物理力学性质变化、心墙与车辆相互作用的力学模拟等等一系列基础问题的研究，尚为空白。国内已建 200m 以下的心墙坝基本都采用“碎石垫料”或“砾石土垫层+钢板”跨心墙道路结构，对于跨心墙施工技术与施工工艺，也没有形成统一的标准工法，也没有相应的技术规范可依。

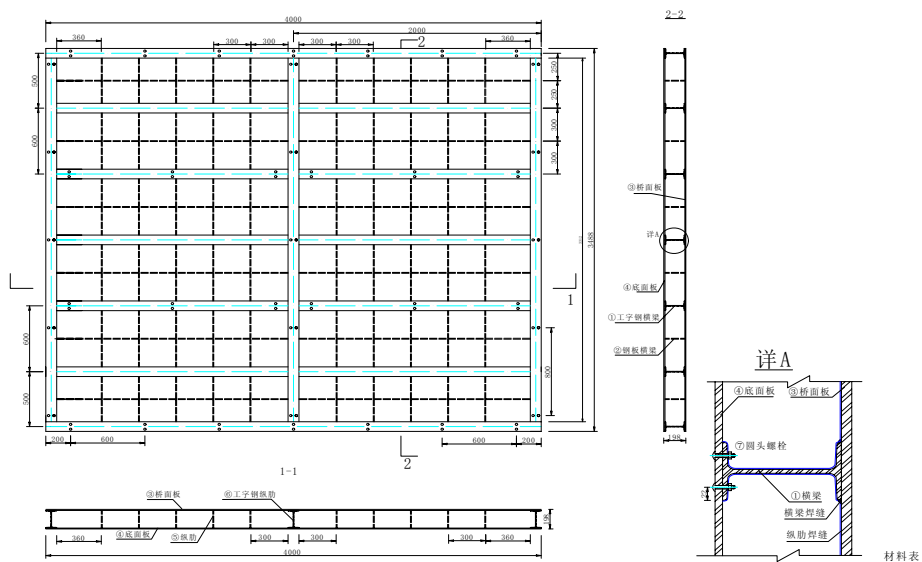
本课题通过研究自行设计加工了“箱型连接键+限位环”的连接结构的减压板跨心墙道路，结构设计合理，安装及拆除快捷方便，并在国内首次针对不同跨心道路的修建方式采用基于弹塑性理论以及有限单元法验算心墙容许承载能力、抗剪强度；并通过现场验证测试及生产试验得出了减压板跨心墙道路方案可行且最优的试验，并提出了施工生产需要的质量保障措施，形成了一套较形成了一套系统的高土石坝坝料跨心墙运输施工工艺。

### 1. 完成不同跨心墙施工道路修建方式现场试验研究

基于心墙土料静动力非线性特性、弹塑性理论和有限单元法，揭示了不同跨心墙道路型式及运输车辆作用力下的心墙应力变形分布规律与影响范围，进行了心墙抗剪强度分析，研究表明：载重车辆行驶过程对土体的影响，是一个加载和卸载过程的组合，每次车辆荷载可以近似用一个半波正弦表示，车辆跨心墙行驶速度对土体附加荷载有较大影响。研究了不同方案（减压板方案、厚碎石垫层、碎石土+钢板方案）对心墙附加荷载的影响规律；提出采用三种跨心墙方案，附加动荷载分布规律一致，均为从底层到表层逐渐增大，三种跨心墙施工方案均可行，其中减压板方案影响相对最小。

### 2. 设计“箱型连接键+限位环”连接结构的减压板

快速拆装结构的减压板，由结构相同的多段减压板组成，该减压板结构为：面板和与面板长宽尺寸相同的底板之间固联有长宽尺寸与面板相同的一个承重骨架：由四根工字钢焊接为一个矩形框架，该矩形框架内平行于宽度方向等间距固联有多个工字钢横梁，且相邻两工字钢横梁之间中部焊接有一个钢板横梁，该矩形框架内平行于长度方向等间距焊接有多个钢板纵肋；前段减压板与后段减压板邻接处的两个侧面上还分别设置有结构相同的连接机构：“箱形连接键 + 限位环”的连接结构。连接结构中连接键为箱形结构，满足重车荷载下不变形，并能有效传递剪力，满足抗剪强度，从而实现将若干单节连接为整体的目的，与键槽共同构成主要的连接构件；为防止重车运行过程单节减压板移位导致连接键不能有效传递荷载，在减压板两侧设限位装置，在两节减压板上焊接限位轴，利用限位环限制减压板的纵向位移，限位环的间隙小于连接键与键槽的间隙，从而保证连接键始终位于键槽内。为防止限位环脱落，在限位轴上设插销锁定。减压板四角工字钢腰面还焊接有满足吊装要求的吊钩。



成果已经在国内在建的坝高240m的长河坝砾石土心墙坝工程和锦屏一级水电站移民安置工程老沟水库大坝工程施工成功应用，应用效果良好，可大大提高施工效率、加快施工进度、降低能耗，便于施工调度、降低成本，便于坝体施工整体规划，保证坝体填筑上下游料的均衡填筑。同时该成果将对正在开工建设的两河口水电站（坝高295m）双江口水电站（坝高314m）大坝跨心墙技术的制定具有重要指导意义，形成的高土石坝跨心墙运输标准工法，对行业类似工程的施工具有推动作用。

## 水工铜止水新型可调式成型与熔焊技术

推荐单位： 中国水利水电第五工程局有限公司

项目完成人： 吴高见 朱发银 刘和平 孙林智 梁涛 李涛

当前水利水电工程技术在不断发展，在水电防渗工程施工中，防渗材料通常有多种，铜止水因其强度高、抗水压力大、抗绕渗能力强而被工程设计广泛采用。针对水工铜止水断面结构复杂，成型焊接要求高的特点，研制了可调式滚压铜止水成型机、铜止水“十”字压模、铜止水校正器、铜止水熔焊装置及成套设备等，形成了铜止水防渗施工新方法，解决以往铜止水成型后存在的质量缺陷，以及投入成本高和生产效率低等问题，实现了优质高效的施工。主要进展如下：

### 1. 研制了新型的可调式滚压铜止水成型机

研究开发了由可调式卷筒、定位导向装置、计长仪、液压剪断装置、无级调速传动系统组成的新型铜止水成型设备，并通过更换滚轮模具成型不同形式和尺寸规格的铜止水，实现了一套设备重复使用的目的，并且保证铜止水高效、优质滚压成型，革新了铜止水的制造设备和工艺，具有开创性的意义。该成果用于南水北调黄河北段工程、长河坝、加查水电站工程，混凝土防渗质量得到了极大地提升。



### 2. 研制了“十”字型铜止水压模

研发出了全新的铜止水异型“十”字接头压模，通过更换凹模、凸模的铜止水压模，解决传统“十”字铜止水焊接容易出现的质量问题；实现不同型式和规格的异形铜止水





接头整体压制成型，保证接头的质量，实现一套设备重复使用的目的。

### 3. 研制了铜止水校正器

研发出了铜止水校正器，通过更换上下模，可校正不同形式及不同尺寸规格的铜止水接头，消除接头尺寸偏差对熔接焊缝外观质量的影响，并延长了熔接装置使用寿命，实现了设备重复使用的目的。



### 4. 研制了铜止水熔焊装置及成套设备

通过新型铝热焊剂研发和配套熔焊装置的研制，经焊接试验和现场应用，首次形成了水工铜止水熔焊焊接成套工艺技术，解决了铜止水对接接头焊接难题，有效提高了铜止水对接接头焊接质量和效率，是对铜止水对接接头焊接方法的一次革命性的创新，填补了在国内外该领域研究的空白。同时也为社会提供一种水电工程铜止水成型焊接新方法，解决了以往方法存在的混泥土铜止水防渗施工质量差、成本高及效率低的问题。



以上成果已在南水北调黄河北段工程、四川省长河坝水电站、西藏加查水电站得到应用，为这些水电站工程的成功建设做出了一定的贡献，受到了工程建设、监理单位的一致好评。本成果适应于水电防渗施工未来的发展趋势，具有行业内广泛推广价值。