

中国电力建设企业协会 主编

# 电力建设科技成果选编

(2013年度)



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国电力建设企业协会 主编

# 电力建设科技成果选编

(2013年度)



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

依据《电力建设科学技术成果奖评选办法(2013年版)》的规定,中国电力建设企业协会组织中国电力建设专家委员会按年度对中国电力建设科学技术成果进行评审,并经中国电力建设企业协会审核批准。

2013年度共评选了318项科技成果,分为一、二、三等奖,其中一等奖34项、二等奖102项、三等奖182项。

本书选编了具有代表性的62项科技成果,介绍了每项获奖科技成果的名称,完成单位,主要完成人,主要用途、技术原理,关键技术和创新点,与国内外已有同类先进技术的对比情况及发展前景,经济及社会效益情况,并附有必要的图表及照片。

本书可供各级发电、电网公司及建设、设计、监理、施工、调试及科研等单位的相关专业技术人员使用,以扩大成果应用面,推广新技术应用。

## 图书在版编目(CIP)数据

电力建设科技成果选编:2013年度/中国电力建设企业协会主编.—北京:中国电力出版社,2013.11

ISBN 978-7-5123-4916-2

I. ①电… II. ①中… III. ①电力工业—科技成果—汇编—中国—2013 IV. ①TM-12

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第219831号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2013年11月第一版 2013年11月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 26印张 618千字

印数0001—1000册 定价120.00元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

## 本书编委会

主 任 尤 京

副 主 任 陈景山 范幼林

委 员 高德荣 郎国成 李鹏庆 蔡新华 李福生

杨 荣 高伟斌 楼海英 孙东海 张耀庆

李 牧 韩英明 王文祥 施可登 姚宏民

戴 光 孟海霞 周德福 崔育奎 顾祥圻

高艳彬 甘焕春 徐爱生 项玉华 黄元尚

王晓华 龚长清 李富春 杨和明 方飞来

李 婧 王淑燕 蔺雪竹 田种青

# 关于表彰 2013 年度 电力建设科学技术成果奖的通知

中电建协工〔2013〕29 号

各有关单位：

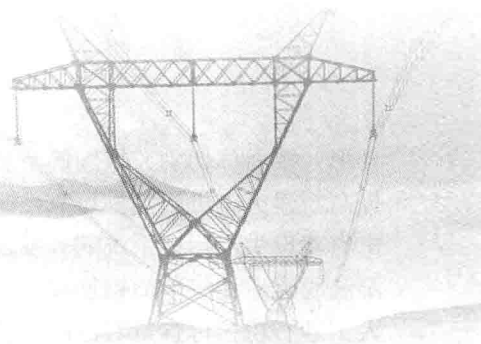
依据《电力建设科学技术成果奖评选办法》（2013 年版），中电建协组织专家对申报资料进行了预审，并在江苏省镇江市召开了 2013 年度电力建设科学技术成果评审会。中国电力建设专家委员会科技成果评审委员会对电力建设工程的建设、设计、监理、施工、调试等单位申报的科技成果进行了审核和评审。

评审结果经网上公示，中电建协批准，中国能源建设集团江苏省电力建设第三工程公司“T23 水冷壁材料焊接及热处理工艺优化技术”等 318 项成果获 2013 年度电力建设科学技术成果奖，并颁发证书。其中，一等奖 34 个、二等奖 102 个、三等奖 182 个（获奖名单详见附件 1，相关说明及信息反馈表见附件 2，请登录中电建协 [www.cepca.org.cn](http://www.cepca.org.cn) 点击“通知公告”栏下载）。

希望广大电力建设企业继续围绕工程建设中的新技术、新工艺、新装备、新材料等课题开展科技成果研发，为电力建设的科技创新、技术进步做出更大贡献。

中国电力建设企业协会（印）

二〇一三年四月七日



## 目 录

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 高海拔大温差严寒地区混凝土生产关键技术研究与应用.....                 | 1   |
| 白云岩料源超高差人工砂石加工系统和长距离空间曲线<br>带式输送机技术研究与应用..... | 13  |
| 风力发电机组梁板式预应力锚栓基础开发及应用 .....                   | 19  |
| 大型火电机组锅炉燃用劣质无烟煤对源网协调品质与稳定性影响研究 .....          | 23  |
| 基于物联网技术煤炭样品采集封装及识别智能控制系统.....                 | 27  |
| M701F4 型二拖一燃气—蒸汽联合循环机组自启停 (APS) 技术.....       | 34  |
| 热丝 TIG 自动焊接技术在工厂化配管中的工艺研究及应用 .....            | 41  |
| 汽轮发电机合金轴瓦超声波检测工艺方法研究 .....                    | 50  |
| 百万机组“烟塔合一”循环冷却水处理技术的研究和应用 .....               | 58  |
| 汽轮机旁路系统关键技术研究与应用 .....                        | 63  |
| 百万千瓦级分体式汽轮发电机内、外定子穿装方案研究与应用 .....             | 68  |
| 风力发电机组反向平衡法兰开发及应用 .....                       | 72  |
| 特高压直流输电线路杆塔及基础选型研究 .....                      | 75  |
| 智能变电站在线监测关键技术研究 .....                         | 78  |
| 变电站智能化设计新技术及工程应用研究 .....                      | 82  |
| 直流融冰装置系统成套设计与工程应用关键技术研究 .....                 | 86  |
| 全寿命周期成本输电线路设计分析系统研究 .....                     | 92  |
| 柔性直流输电接入系统技术与工程设计研究 .....                     | 95  |
| 重点区域覆冰特性研究及冰区图的建立 .....                       | 99  |
| 基于小型激光雷达三维测绘的电力选线系统研究及应用 .....                | 112 |
| 特大型贯流式机组座环设备制造技术研究与应用 .....                   | 118 |
| 锦屏深孔防渗帷幕灌浆施工技术研究与运用 .....                     | 121 |
| 防渗墙塑性混凝土变形模量和渗透系数试验方法的研究 .....                | 130 |
| 带舌瓣门的超大型弧门制造技术研究与应用 .....                     | 132 |
| 龙开口水电工程缆机与门塔机防碰撞预警系统的开发与应用 .....              | 136 |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 异形(多面体切割)烟囱筒身施工关键技术研究 .....             | 146 |
| 提高新建火电机组热控可靠性研究 .....                   | 155 |
| 电力建设生产指挥系统的开发及应用 .....                  | 158 |
| 湿法脱硫后传统单筒钢筋混凝土烟囱改造成套技术成果研究 .....        | 163 |
| 人工砂石粉云母含量对混凝土性能的影响及其对策研究 .....          | 177 |
| 大厚度自重湿陷性黄土湿陷变形特性评价方法和地基处理合理方法研究 .....   | 184 |
| 冻土特性及勘测评价应用研究 .....                     | 188 |
| 浮运钢壳沉井在循环水泵房中应用 .....                   | 191 |
| 变电站小型混凝土构件自动化生产线研究 .....                | 196 |
| 火电厂主厂房结构消能减震技术研究 .....                  | 205 |
| DCS 光字报警实现联动 .....                      | 211 |
| API1000 核电厂主控室非能动应急可居留性系统研究 .....       | 215 |
| 轻便自立钛合金电动液压起吊扒杆研制及应用 .....              | 217 |
| 脱硝催化剂的评价体系和再生工艺的研究 .....                | 226 |
| 750t/d 液压循环往复焚烧炉排安装工艺应用 .....           | 245 |
| 热力设备及管道保温安装工程排版方案的研究 .....              | 256 |
| 山地风电场差异化布机的研究与应用 .....                  | 261 |
| 海水循环冷却设施系列配置及防腐研究 .....                 | 273 |
| 风电机组故障诊断预警系统 .....                      | 275 |
| 特高压变电导线、金具和悬式绝缘子串安装定位研究 .....           | 283 |
| 高海拔 30mm 重冰区 750kV 输电线路关键技术应用研究 .....   | 288 |
| 新疆电网输电线路杆塔防风偏优化研究 .....                 | 292 |
| 激光测量技术在线路施工、验收中的应用 .....                | 297 |
| 玉树与青海主网 330kV 联网工程超长距无中继光传输系统应用研究 ..... | 301 |
| 落地双平臂抱杆组立特高压钢管塔施工技术研究与应用 .....          | 311 |
| 沙漠地区变电站雨水利用技术研究及应用 .....                | 320 |
| 超/特高压交直流同塔多回输电线路杆塔荷载及结构研究 .....         | 327 |
| 1000mm <sup>2</sup> 导线防振技术研究 .....      | 333 |
| 超长横担输电塔的风荷载研究 .....                     | 340 |
| 官地高碾压混凝土重力坝施工防裂方法和快速施工技术研究 .....        | 348 |
| 水工混凝土新型掺合料研究与应用 .....                   | 354 |
| 大跨度地下厂房薄壁曲面混凝土顶拱施工技术应用 .....            | 359 |
| 西藏自治区藏木水电站业主营地太阳能集中供热应用成果 .....         | 366 |
| 设计院协同设计平台/企业一体化信息管理平台 .....             | 376 |
| 大规模风/光电送出对电网损耗影响研究 .....                | 379 |
| 基于光电传感器的闭环式太阳能双轴控制器的研发 .....            | 384 |
| 600MW 超临界褐煤锅炉再热器超温及排烟温度高原因分析及措施 .....   | 392 |

# 高海拔大温差严寒地区混凝土生产 关键技术研究与应用

华能西藏发电有限公司、葛洲坝集团第五工程有限公司

刘 宏 付俊雄 赵小青 李小联 王章忠  
李 进 吕芝林 王东风 张忠桥 刘 嫦

## 1 前言

### 1.1 藏木工程概况

藏木水电站是西藏“十一五”规划重点项目，也是西藏第一座大型水电站。它是西藏电力发展史上由建设 10 万 kW 级水电站到 50 万 kW 级水电站的标志性工程。藏木水电站位于西藏自治区山南地区加查县境内，是雅鲁藏布江干流中游桑日—加查峡谷段 5 级电站的第 4 级，上游衔接街需电站，下游为加查电站。坝址距加查县城约 17km，对外交通较方便。

该工程为二等大（2）型工程，开发任务为发电，无航运、漂木、防洪、灌溉等综合利用要求。坝址控制集水面积 157668km<sup>2</sup>，坝址处多年平均流量 1010m<sup>3</sup>/s，水库正常蓄水位 3310.00m，相应库容 0.866 亿 m<sup>3</sup>，调节库容 0.13 亿 m<sup>3</sup>，校核洪水位 3310.61m，死水位 3305.00m，具日调节能力。坝后式厂房内安装 6 台 85MW 发电机组，总装机容量 510MW，设计引用流量 1071.3m<sup>3</sup>/s，额定水头 53.5m，多年平均年发电量 25.008 亿 kWh。

藏木混凝土生产系统主要承担主体及附属工程混凝土及喷混凝土工程量约 340 万 m<sup>3</sup>，其中高温季节需要制冷的温控混凝土约 121 万 m<sup>3</sup>，低温季节需要制热的温控混凝土约 102 万 m<sup>3</sup>。高温季节要求拌和楼出机口温度不高于 10℃的混凝土约 24 万 m<sup>3</sup>，不高于 14℃的混凝土约 97 万 m<sup>3</sup>；低温季节要求拌和楼出机口温度为 10~15℃。

该河段属高原温带季风半湿润气候地区，根据 1978~2004 年实测资料统计，多年平均气温为 9.2℃，极端最高气温和极端最低气温分别为 32.0℃、-16.6℃；早晚温差最大为 28.0℃；多年平均相对湿度 51%，历年最小相对湿度为零；多年平均风速为 1.6m/s，多年最大风速为 19m/s，相应风向 SE。

混凝土以二、三级配为主，混凝土骨料由枢纽区开挖砂砾石料和基坑开挖块石料提供。大坝高线混凝土系统生产上的特点是工期持续时间长，生产的混凝土量大，混凝土浇筑强度高，混凝土温控要求高。

中国葛洲坝集团股份有限公司第五工程有限公司承建藏木水电站骨料加工系统及混凝土生产系统工程的勘测设计、建安施工项目，主要承担藏木水电站导流工程和主体工程的混凝土供应，以及其他设施所需要的少量成品骨料供应，2009 年 3 月 3 日签订承包合同，合同规定开工日期为 2009 年 3 月 16 日，2015 年完工。

## 1.2 研究背景

在中国西藏的高海拔地区,早晚温差超过 $25^{\circ}\text{C}$ ,严寒时间较长,气候恶劣,大坝混凝土在自然条件下浇筑的可用时间较短,制约了大坝工程混凝土的正常施工。已有技术研究表明,要在严寒季节进行混凝土的浇筑,必须保证浇筑混凝土的温度在 $5^{\circ}\text{C}$ 以上。而在西藏的高海拔、严寒地区的寒冷季节,外界温度常常在 $4^{\circ}\text{C}$ 以下,零下 $20^{\circ}\text{C}$ 以下的温度也不少见。因此,为保证在此气候条件下混凝土的正常浇筑,必须加强混凝土生产的温度控制。本项目通过对高海拔、大温差施工条件下混凝土施工配合比的研究、混凝土浇筑温度的研究及混凝土生产及运输过程中的温度控制技术研究,寻求在冬季低温和夏季高温施工环境下混凝土正常施工的有效途径。

大型水电工程混凝土生产技术在相对成熟,但在高海拔、大温差、严寒地区施工条件下的技术在国内还没有先例。因而,研究高海拔、大温差、严寒地区混凝土的生产控制技术,就显得尤其迫切。

此项技术研究,旨在找出保证西藏高海拔地区、大温差施工条件下混凝土的浇筑温度的情况下,最合理、最经济的技术手段,为以后类似高原地区混凝土施工工程建设提供可用的成果。

## 1.3 关键技术研究

本项目依托藏木水电站工程,通过对高海拔大温差严寒地区混凝土生产关键技术研究,重点旨在解决以下问题:

(1) 通过配合对比试验,获取满足工程综合要求的最优混凝土配合比,满足混凝土抗冻、抗渗、防裂的性能。

(2) 革新传统制热工艺方法,研究预冷预热一体化施工方法,实现高强度生产制冷混凝土和制热混凝土施工要求。

(3) 应用真空电加热水工艺技术进行预热混凝土生产系统,降低热量损失,实现高效、节能、安全、环保的目标。

(4) 创新现有工艺,通过用一台主机兼容两个不同厂家的拌和楼车辆自动识别调度系统,实现拌和楼的自动化生产,提高拌和楼的生产效率。

(5) 适应工程需要,革新拌和楼的粉料输送与称量系统,实现石粉、硅粉、水泥、粉煤灰4种粉料同时具备上拌和楼进行单掺、双掺或混掺的工艺要求。

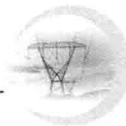
(6) 研制袋装粉煤灰拆包输送系统,以实现袋装水泥或粉煤灰输送系统和机械拆包输送系统于一体的目标,实现拆包输送连续均匀工作,满足工程高强度混凝土施工要求。

## 2 成果的主要用途和技术原理

本项目依托藏木水电站工程,开展高海拔大温差严寒地区混凝土生产技术研究,在混凝土配料技术,预冷预热温控混凝土生产技术,系统生产的智能控制与节能等方面关键技术研究均取得了多项现有技术的突破,满足了藏木水电站全天候、高强度、优质混凝土施工需要,为我国水电工程混凝土生产积累了丰富的工程经验。

### 2.1 混凝土生产配料新技术

此项技术研究取得的实用新型专利有:《风压输送管路耐磨弯头》(专利授权号为200720300576.5);《一种袋装水泥或粉煤灰拆包输送系统》(专利授权号为201220156659.2);



《拌和楼移动式接料装置》(专利授权号为 ZL201220054430.8)。《一种提高拌和楼称量系统称量精度的控制装置》(申请号为 201210457909.0)。发明专利申请有:《一种袋装水泥或粉煤灰拆包输送系统及其操作方法》(申请号为 201210108555.9, 申请公布号为 CN102633026A);《适用于四种掺和粉料进拌和楼拌制混凝土的装置》(专利号为 ZL201220375653.4, 发明申请公布号为 CN102825665A)。工法有:《袋装水泥或粉煤灰拆包及输送系统作业工法》(GZBQYGF036-2012)。

### 2.1.1 混凝土配合比优化设计

针对西藏高原的干冷、干热、紫外线辐射强、风速高、干湿交替频繁的自然环境, 结合合理的混凝土配合比设计, 通过混凝土冻融循环试验, 研究了高海拔、大温差、严寒地区混凝土抗冻耐久性指标, 提出掺入活性粉煤灰, 使用减水剂和引气剂是有效提高混凝土抗冻耐久性的有效措施和主要途径。掺入活性的粉煤灰使用高效缓凝减水剂和引气剂, 是解决西藏高原水工混凝土抗冻耐久问题的有效措施和主要途径。混凝土的重量损失和相对动弹模量损失均随着冻融次数的增加而加剧, 并与水灰(胶)比成正比。因此, 针对西藏高原水工混凝土的抗冻性问题, 应严格限制水灰(胶)比, 合理地控制混凝土的含气量及其气泡的间距。根据当地海拔高、昼夜温差大的施工环境, 特别是中午温度高导致混凝土的坍落度及含气量损失大的特点, 含气量与坍落度相对增大采取动态控制措施。

### 2.1.2 拌和楼移动式接料装置

混凝土拌和楼是一种在建筑工程中应用广泛的专用设备, 受现有技术制约不能完全满足多种运输混凝土车辆的装料要求。

本项技术研究要解决的技术问题是提供一种工效高, 运行可靠, 自动化程度高的移动式拌和楼受料装置, 满足多种运输混凝土车辆的装料要求。本项技术研究取得了以下的技术效果:

(1) 本实用新型采用移动式, 实现受料斗与拌和楼下料口的自动对中, 从而减轻操作人员的劳动强度, 进而提高了工作效率。

(2) 采用小口径的受料斗, 完全满足了小口径受料口混凝土运输车的装料要求。

其工作原理及使用过程如下: 移动式拌和楼受装置通过电动机经减速机减速后, 通过减速机输出轴上安装的传动链轮驱动行走轮, 实现移动小车的前后移动。并通过在移动小行走轨道上安装的两个限位开关, 实现将移动式拌和楼受料斗与拌和楼的两个下料口的自动对中。在行走机架上安装的受料斗其上方进口呈四方形开口, 其下方出料口逐渐收缩呈圆形孔, 从而完全满足了小口径受料口混凝土运输车的装料要求。

本项目研发了一种工效高, 运行可靠, 自动化程度高的移动式拌和楼受料装置, 满足多种运输混凝土车辆的装料要求。采用移动式, 实现受料斗与拌和楼下料口的自动对中, 从而减轻操作人员的劳动强度, 进而提高了工作效率。

### 2.1.3 提高拌和楼称量系统称量精度控制技术

在混凝土拌和楼骨料称量系统中, 通常进入称量斗进行称量的骨料都是依靠弧形斗门作为卸料设备。现有技术采用两位电磁阀只有开和关两种状态进行控制称量弧门开启的大小, 此种控制方式难以灵活控制卸料的大小与下料的速度, 因而制约了称量系统的称量精度。本项目研究的系统由 PLC 可编程逻辑控制器、重量传感器、三位五通电磁阀、弧门气缸、接近

开关、关弧门接触器以及关弧门独立电源所组成。增设三位五通电磁阀及安装在弧门气缸上的两个接近开关,实现对卸料弧门位置的任意控制以实现灵活控制给料量的大小。采用此种控制方式可以将称量误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内,进而提高称量的精度,提高了混凝土的生产质量。

#### 2.1.4 水泥、粉煤灰、石粉、硅粉四种粉料同时上楼拌制混凝土工艺

藏木水电站地处雅鲁藏布江中游,工程各类混凝土总量近 300 余万  $\text{m}^3$ ,需用掺合料近 20 万 t,通过青藏线从青海和宁夏等地调运粉煤灰还需公路二次中转倒运,货源和运输保障的可靠性低,又需配合大量社会公用资源,同时要求工程的施工组织设计有非常大的弹性以适应这种不利情况。从已有的研究成果和工程应用看,采用石灰石粉作为新型掺合料用于藏木水电站大坝和结构混凝土在技术上是可行的,且工程周边存在大量石灰石资源,可以满足工程建设的需要。针对藏木水电站工程特点,课题组开展石灰石粉作为新型掺合料用于大坝和结构混凝土配合比优选和性能试验研究,在解决西藏地区水电工程混凝土掺合料短缺的紧迫需要,保障水工大坝混凝土性能和施工进度的同时,也可为业主节约建设成本,同时拓宽了现行混凝土矿物掺合料的种类,有着非常重要的社会经济价值和良好的应用前景。

受现有技术制约目前国内混凝土拌和楼标准配置均为 3 个粉料仓,其中两个为水泥仓,一个为掺合料仓(一般为粉煤灰),可以满足一般地区水电站工程及其他混凝土工程的需求。对于一些特殊地区的特种性能的混凝土工程根据其自身特殊需要,专门在拌和楼生产厂家订制了 4 个粉料仓的拌和楼,以实现同时 3 种粉料掺和拌制混凝土的生产工艺。在有特殊混凝土需要另外增加掺加粉料品种时,只能通过人工掺加的办法。采用人工掺加的方法一方面投入人力较多,原材料损耗较大,作业环境较差,另一方面掺加粉料的数量难以精确控制,同时对混凝土的拌制质量存在不利的影响,并且制约了拌和楼的生产强度。

课题组创新现有工艺技术,通过对拌和楼增设石粉罐及配套输送设施,通过对拌和楼操作程序的修改,两台楼均能根据混凝土的设计要求满足四种粉料同时上楼进行单掺、双掺或混掺拌制混凝土,生产过程全自动化,而且掺加数量可以进行精确控制,从而确保了混凝土的拌制质量要求。进而提高了生产效率,减少了人力投入,原材料损耗大大降低,改善了作业人员的工作环境,同时降低了混凝土生产成本,此改造方案可以为特殊地区生产特殊混凝土提供成功范例的借鉴。

#### 2.1.5 袋装水泥或袋装粉煤灰拆包及输送技术

受交通运输条件制约,一些偏远地区修建大型建筑工程的混凝土工程均采用袋装水泥及袋装粉煤灰。袋装水泥或粉煤灰拆包后,必须通过输送设备输送至拌和楼储料罐,供拌和楼拌制混凝土使用。由于大型工程混凝土浇筑强度高,袋装水泥及袋装粉煤灰用量大,致使拆包量大。现有袋装水泥或袋装粉煤灰拆包及输送作业技术要么拆包及输送各自形成独立的作业系统;要么采用人工拆包至散装罐车,通过散装罐车输送至拌和楼储料罐,拆包和输送不能同步连续工作。致使拆包及输送作业工效低,难以满足高强度混凝土浇筑。此种拆包及输送方法占用工作场地大,并且拆包过程中扬尘大,危及人的健康并且污染周边环境。

袋装水泥或粉煤灰输送系统集成拆包输送系统于一体,采用立式双仓泵循环工作,它实现了拆包输送连续均匀工作,能够满足高强度混凝土浇筑供应。采用袋装水泥或粉煤灰输送系统作业工法与现有技术相比较,具有自动化程度高、工效高、运行可靠、运行成本低、环保



性好的优点。

## 2.2 创新高海拔大温差严寒地区高强度温控混凝土生产技术

此项技术研究取得的实用新型专利有:《混凝土骨料预冷预热一体化装置》(专利授权号为 ZL 201220326171.x);《风冰分离器》(专利授权号为 ZL201020177503.3);《一种蒸汽与电加热复合加热装置》(专利授权号为 ZL201210395857.9)。发明专利申请有:《混凝土骨料预冷预热一体化装置及预冷预热方法》(申请号为 201210233310.9, 申请公布号为 CN102756426A)。工法是《混凝土骨料预冷预热一体化施工工法》(GZBQYGF037—2012), 此部工法同时被评为湖北省工法及中国电力建设工法。

### 2.2.1 真空电加热水预热混凝土生产技术

混凝土预热是低温季节混凝土温度控制设计和施工中的一项重要措施, 做好混凝土预热系统工艺设计, 对加快工程建设速度、保证混凝土施工质量、降低工程造价, 有着十分重要的作用。

按照 DL/T 5144—2001《水工混凝土施工规范》规定, “凡工程所在地的日平均气温连续 5d 稳定在  $5^{\circ}\text{C}$  以下或最低气温连续 5d 稳定在  $-3^{\circ}\text{C}$  以下时, 即进入低温季节施工期。”且工程实践证明, 当室外日平均气温低于  $-10^{\circ}\text{C}$  时, 施工费用比常温施工时增加 50% 以上; 同时, 由于施工设备、建筑材料、施工各环节出现问题的几率成倍增加, 使施工效率仅为常温施工的 40% 左右, 而且工程质量也不容易控制, 易出现质量问题或缺陷。因此, 除工程特殊需要外, 不易在低负温条件下进行混凝土施工。真空电加热预热混凝土生产技术就是解决低负温条件下进行混凝土的连续生产和拌制问题。

目前国内大中型水利水电工程混凝土低温季节施工时, 普遍采用煤蒸汽锅炉集中供热的方式, 进行施工建筑物采暖、骨料预热以及其他原材料的加热。如龙羊峡水电站、李家峡水电站、公伯峡水电站、拉西瓦水电站等。其热效率低, 承受压力低、燃料消耗大, 占地面积广, 土建和安装工程量, 投资高, 经济性差, 容易污染环境等缺点。

随着经济的快速发展, 对燃油、煤炭、电力的需求与日俱增, 尤其是清洁能源的需求, 如水电、风能、太阳能, 而具有高效环保性和可持续性。我国有巨大的水电可开发资源优势, 随着水利水电建设的开发投资, 水电建设主要向高海拔、低温区域发展, 并在开发过程中对环境保护的要求也在不断提高。为此, 真空电加热预热混凝土生产技术主要是研究节能、环保、高效的预热混凝土生产工艺技术, 解决低负温条件下混凝土生产问题。真空电加热水预热混凝土生产技术就是在混凝土生产系统中配置匹配的制热系统, 确保预热混凝土能够连续生产, 达到混凝土的温度控制和质量保证的目的。是针对提高预热混凝土的生产效率, 降低热量损失, 高效、节能、安全、环保的实现混凝土低温生产和温度及质量控制研究, 以解决低温混凝土预热生产工艺技术问题。

### 2.2.2 混凝土骨料预冷预热一体化生产装置及施工方法

在我国的高原及严寒地区建设大型水工建筑物的过程中, 由于大坝混凝土在自然条件下浇筑的可利用时间较短, 制约了大坝工程的正常施工时间。为满足混凝土在冬季低温和夏季高温施工条件下的正常施工, 必须采取工艺措施对混凝土骨料进行预冷或预热。该项目研发了一种混凝土骨料预冷预热一体化生产装置及方法, 采用无缝钢管和折波铝合金翅片、液压套片胀管新工艺, 并且采用“面与面”接触方式, 管与片能最紧密接能, 能极大地提高导热

系数。根据外界气温并结合混凝土出机口温度要求,进行热平衡计算选择预冷或预热蒸发器的面积以及风机的型号,并选定过流风速为 $4\sim 5\text{m/s}$ 。在拌和楼的每个骨料仓分别布置空气冷却及加热一体化装置,并将出风口布置在骨料仓的下部,回风口布置在骨料仓的上部。将空气冷却及加热装置上的回风口与骨料仓里面设置的回风窗相连接,将空气冷却及加热一体化装置的出风口与骨料仓里面设置的配风窗相连接,使空气冷却及加热装置产生的冷风或热风在拌和楼骨料仓内循环的流向与骨料仓内下料的方向相反。根据外界温度及混凝土出机口温度要求开启预冷蒸发器或预热蒸发器,即可实现预冷或预热混凝土骨料的生产。

采用该技术,避免了设置蒸汽排管,在每座拌和楼的楼上四个骨料仓各装了一台空气冷却及加热一体化装置,在藏木水电工程建设混凝土生产的两个夏季和两个冬季生产过程中运行使用正常,满足了主体工程混凝土快速施工和质量要求,节省了建安费用,取得了较好的经济和社会效益。

### 2.3 混凝土生产智能控制与节能技术

此项技术研究取得的实用新型专利有:《混凝土拌和系统车辆识别与调度管理子系统》(专利授权号为 ZL 201220189096.7);《一种低温季节拌制混凝土自动加热装置》(专利授权号为 ZL 201210354467.7);《一种蒸汽与电热管复合加热装置》(专利授权号为 ZL 201220532741.0);《一种拌和楼收尘器收尘管道自动疏通装置》(专利授权号为 ZL 201220522634.X)。发明专利申请有:《一种低温季节拌制混凝土自动加热装置》(专利申请号为 201210354467.7);工法有:《混凝土生产系统车辆自动识别与调度子系统作业工法》(GZBQYGF035—2012)。

#### 2.3.1 混凝土生产系统车辆自动识别与调度子系统

该系统由识别卡、微波识别器、摄像头、LED 交通灯、喇叭、地磁感应器、服务器主机、车辆识别与调度管理微机、打印机、网络交换机、稳压电源等设备和应用软件组成,改变了以往的以多台服务器对应管理多座拌合楼的传统管理方法,采用一台主机加一台服务器对应管理多座拌合楼,对系统进行联网,以实现进入拌和楼的装载运输混凝土的车辆进行自动识别与自动调度,进而实现了拌和楼的自动化生产。从而有效地减少了生产过程中不必要的管理环节和人员投入,杜绝了由于各个部门之间、用户之间相互沟通以及人为引起的生产管理错误和失误,进而提高混凝土拌和系统的管理水平和生产效率。

采用混凝土生产系统车辆自动识别与调度子系统作业工法与现有技术相比较,具有自动化程度高、工效高、运行可靠、运行成本低,环保性好的优点。

#### 2.3.2 低温季节拌制混凝土自动加热装置

该装置包括密封的水箱、水箱上设有检修孔及第一闷盖及第二闷盖、溢流口、排污口和水箱吊耳,进水口上设有浮动球阀,出水口上设有气动蝶阀,排污口上设有节止阀,第一双头电加热管以及第二双头电加热管置于水箱内,在水箱内还设有温度传感器、第一双头电加热管、第二双头电加热管以及温度传感器与控制系统连接。水箱外覆盖有两层保温板。出水口的水平安装位高于第一双头电加热管以及第二双头电加热管的水平安装位。

在水箱体底部设置了排污口及节止阀,可以实现定期进行排污,从而保证了混凝土拌制用水的质量,进而保证了混凝土的拌制质量。在进水口高于双头加热管的水平安装位,有效地避免了加热管干烧致使加热管的损坏,从而提高了加热管的使用寿命。在水箱的进水口内



设置了浮动球阀,实现了对水箱的自动补水。在水箱的进水口上部外置面设置了溢流口,从而有效地防止了水箱因满灌而导致损坏水箱及水箱内的浮动球阀的事故发生。

本项技术采用温度控制器精确控制水箱中水的温度并实现自动加热,既可防止由于拌制混凝土温度过高而产生假凝,有利于保证混凝土的拌制质量。与现有技术相比,在水箱体采用双层保温橡塑进行水箱保温,有利于保证混凝土的拌制质量,实现节能降耗。

### 2.3.3 节能实用技术

由于藏木水电站建设地处海拔 3260m,日照强,昼夜温差大至 28℃,整个系统在设计和施工过程中,采用将生产生活用房屋顶和墙体采用保温隔热材料做围护结构,建筑门窗采用保温隔热材料和密闭技术,并对混凝土生产系统内主要车间和长胶带机成品骨料输送线采用聚苯乙烯保温板进行完全封闭,在砂石系统至拌和楼终端设置了六个成品罐并实行封闭保温措施,实现冬季保温,夏季隔热,通过围护封闭的隔热保温措施,有利地降低或提高了内外温差 3~5℃,有利地降低了系统生产的能耗。

成品骨料产生冻结的主要原因是含水率较高,系统运行过程中,成品骨料(含砂)进入成品堆场之前利用脱水筛进行强制脱水,以减少供热量、供热时间,尽量减少冬季供暖和夏季制冷的时间。

成品堆场料堆有较大的表面积,砂石骨料措施又是良好的蓄热材料,利用藏木水电站日照时间长,昼夜温差较大,白天蓄热、夜晚保温,减少供热时间。系统中转缓冲料仓采取放空措施,水管、水池等可以排空的,尽可能排空,降低供热量。外露的冷热水管(箱、池)全部采用深埋或岩棉围护结构,减少冷、热量损失。

主要加工设备选用高效、低耗设备,如:电气设备(特别是电动机)采用节能电动机,供电线缆采用环保型等措施。溜槽、下料口采用“石打石”料垫形式,减少钢材的消耗。

课题组充分利用当地的温差大的自然条件,利用内外温差 3~5℃,综合采取封闭隔热保温系列工程措施,创新了常规制冷工艺,减少了一次风冷设施,采用在拌和楼上的粗骨料仓安装预冷预热一体化装置对骨料进行风冷或风热,并加冰、加冷水拌和混凝土的措施,满足了藏木水电工程混凝土施工温控要求。仅制冷系统建安投资就节省了 1000 余万元(与一次风冷+二次风冷+加冰+冷冻水方案比较)。

## 3 关键技术和创新点

本项目属于水利水电工程施工领域,围绕高海拔大温差严寒地区高强度混凝土生产难题,研究并创立了一系列适用于高海拔、大温差、严寒地区混凝土生产施工关键技术。

### 3.1 混凝土生产配料新技术

(1) 混凝土配合比优化设计。针对西藏高原的自然环境,通过混凝土冻融循环试验,研究出了适合于高海拔、大温差、严寒地区混凝土抗冻耐久性的混凝土最优配合比。

(2) 发明了一种拌和楼移动式接料装置,满足多种运输混凝土车辆的装料要求。

(3) 研发了一种提高拌和楼称量系统称量精度控制技术。

通过增设三位五通电磁阀及安装在弧门气缸上的两个接近开关,实现对卸料弧门位置的任意控制以实现灵活控制给料量的大小。

(4) 发明了一种水泥、粉煤灰、石粉、硅粉四种粉料同时上楼拌制混凝土工艺。满足四

种粉料同时上楼进行单掺、双掺或混掺拌制混凝土,生产过程全自动化,而且掺加数量可以进行精确控制,从而确保了混凝土的拌制质量要求。

(5) 发明了袋装水泥或袋装粉煤灰拆包及输送技术,集拆包输送系统于一体,采用立式双仓泵循环工作,它实现了拆包输送连续均匀工作,能够满足高强度混凝土浇筑供应。

### 3.2 高海拔大温差严寒地区高强度温控混凝土生产技术

(1) 真空电加热水预热混凝土生产技术,既节能又安全,确保了预热混凝土能够连续生产。

(2) 研发了一种混凝土骨料预冷预热一体化生产装置及方法,提高工效 30%,满足了主体工程混凝土快速施工和质量要求。

### 3.3 混凝土生产智能控制与节能技术

(1) 发明了一种混凝土生产系统车辆自动识别与调度子系统,实现了拌和楼的自动化生产。

(2) 发明了一种低温季节拌制混凝土自动加热装置,实现自动加热,既可防止由于拌制混凝土温度过高而产生假凝,有利于保证混凝土的拌制质量。

(3) 针对藏木水电站大温差的施工环境,综合采取隔热保温系列工程措施,创新了常规制冷工艺,减少了一次风冷设施,采用在拌和楼粗骨料仓安装预冷预热一体化装置对骨料进行风冷或风热,并通过加冰、冷冻水拌和混凝土的措施,满足了藏木水电工程混凝土施工温控要求。

## 4 通过数据查新检索,阐述本成果与同类先进成果技术指标比对分析情况

该成果针对高海拔大温差严寒地区混凝土生产中出现的难题,研究和开发了混凝土骨料生产系统的关键技术,从理论分析、实验研究和工程应用等方面进行了研究和探索,取得了现有技术的突破:

### 4.1 混凝土生产配料新技术

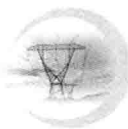
研发了一种拌和楼移动式接料装置和提高拌和楼称量系统称量精度的装置,满足了多种运输混凝土车辆的快速装料要求和确保粗骨料称量误差控制;创新地改造拌和楼的粉料输送与称量系统,实现石粉、硅粉、水泥、粉煤灰四种粉料同时具备上拌和楼进行单掺、双掺或混掺的工艺要求;研发了一种袋装粉煤灰拆包输送系统,实现拆包输送连续均匀工作,满足工程高强度混凝土施工要求。

### 4.2 高海拔大温差严寒地区高强度温控混凝土生产技术

研发并应用真空电加热水工艺技术进行预热混凝土生产系统,降低热量损失,实现节能减排的目标;研发了混凝土预冷预热一体化生产设备及施工方法,提高工效 30%,满足了全天候、高强度生产制冷混凝土和制热混凝土施工质量要求。

### 4.3 智能控制与节能技术研究

通过用一台主机兼容两个不同厂家的拌和楼车辆自动识别调度系统,实现拌和楼的自动化生产,提高了拌和楼的生产效率。研发了一种低温季节拌制混凝土的自动加热装置,实现对混凝土搅拌用水进行自动加热。研发了一种片冰和风的自动分离控制装置,降低了工人的劳动强度,提高了送冰效率。利用大温差的施工环境,对系统综合采用隔热保温的措施,有



效地降低了系统生产能耗。

马洪琪院士及全国电力质量监督专家组两次到藏木工地巡查,对于藏木混凝土生产系统自动化程度高,系统在西藏能够持续高强度运行且生产质量好均给予了高度评价。

## 5 推广应用情况及前景

课题成果研究了高海拔大温差严寒地区混凝土生产关键技术,解决了混凝土生产技术难题,该项目成果可适用于各种条件下的混凝土生产,尤其适用于高海拔大温差的施工环境。已成功应用于藏木水电站工程,各项技术性能指标均达到了预期目标,符合设计要求及有关规程、规范的规定,取得了显著的经济效益和社会效益。

工程实践表明,该成果不但能够提高工程的经济效益,而且能够很好地解决混凝土生产的温控、配料等一系列关键技术问题,提高工效 30%,同时为工程节支约 1335 万元,经济效益显著。该成果促进了混凝土生产工艺的发展,解决了目前水电工程以及其他相关工程所面临的施工难题,为我国发展混凝土生产系统奠定了较高的技术基础,将积极推动和促进技术进步和发展,可广泛应用于大型尤其是特大型水电工程、建筑工程、公路工程、核电工程以及铁路工程等领域,具有广阔的推广应用前景。

## 6 经济及社会效益情况

### 6.1 经济效益

- (1) 采用真空电热水机组生产预热混凝土节省建安费用 30 万元。
- (2) 采用袋装煤灰拆包输送系统节支 186.92 万元。
- (3) 采用车辆自动识别与调度系统节省运行成本 72 万元。
- (4) 采用预冷预热一体化的方案节省运行成本 1413.75 万元。

如果在每座拌和楼的楼上四个骨料仓各装了一套蒸汽排管,每个骨料罐蒸汽排管需要钢结构 5t,四个成品骨料罐需要 20t,按每吨钢结构按 1 万元计算,共需直接经济投入 20 万元费用。况且用蒸汽排管对骨料罐内的骨料进行加热热效率低,并且蒸汽排管容易损坏,从而不能保证骨料预热的效果,进而无法满足混凝土出机口的温度要求。

藏木水电站混凝土生产系统应用此项成果,预冷预热温控混凝土生产能力由设计  $300\text{m}^3/\text{h}$  提高至  $400\text{m}^3/\text{h}$ ,提高工效 30%。预冷预热混凝土拌制费用按 25 元/ $\text{m}^3$ ,降低运行成本  $25\text{元}/\text{m}^3 - 25\text{元}/\text{m}^3 \times 300/400 = 6.25\text{元}/\text{m}^3$ 。按预冷预热温控混凝土 223 万  $\text{m}^3$  计算,可降低运行成本  $223\text{万}\text{m}^3 \times 6.25\text{元}/\text{m}^3 = 1393.75\text{万元}$ 。

共取得的经济效益:  $20\text{万元} + 1393.75\text{万元} = 1413.75\text{万元}$ 。

通过应用混凝土骨料预冷预热一体化施工技术共取得经济效益总计 1413.75 万元。

(5) 应用此项技术成果,藏木水电站可提前半年发电,藏木水电站平均年发电量 25.008 亿 kWh,上网电价按照 0.34 元计算,可创造发电效益 4.25136 亿元。

$25.008\text{亿}\text{kWh} \times 0.34\text{元}/\text{kWh} \times 0.5\text{年} = 4.25136\text{亿元}$ 。

### 6.2 社会效益

(1) 通过此项技术研究,获得生产的优质的制冷制热混凝土的配套生产与控制技术,并找出了保证西藏高海拔地区、大温差、严寒地区冬季高强度、大体积混凝土施工条件下,最

合理、最经济的技术手段，并成功地在藏木水电站建设过程中成功应用，为以后类似高海拔、大温差、严寒地区大型水工混凝土施工工程建设提供可以引用的成功范例。

(2) 西藏地区是经济欠发达地区，长期缺电，藏木水电站早日建成投产即可解决西藏电力不足的瓶颈，必将有力地促进西藏地区的经济发展，为实现党中央加快西藏发展战略具有重大而深远的战略意义。

## 7 必要的图表及照片

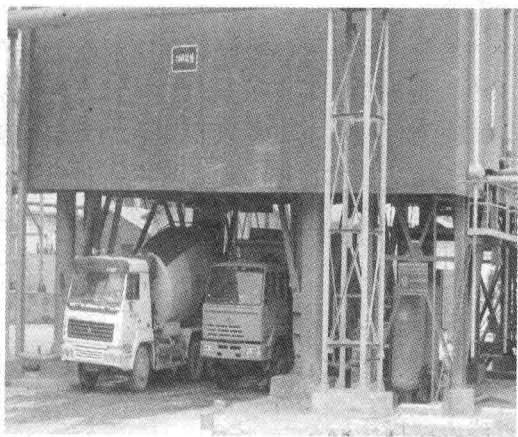


图1 移动式拌和楼受装置技术成果应用



图2 藏木水电站混凝土生产系统新增的石粉罐



图3 藏木水电站混凝土生产系统粉煤灰拆包车间

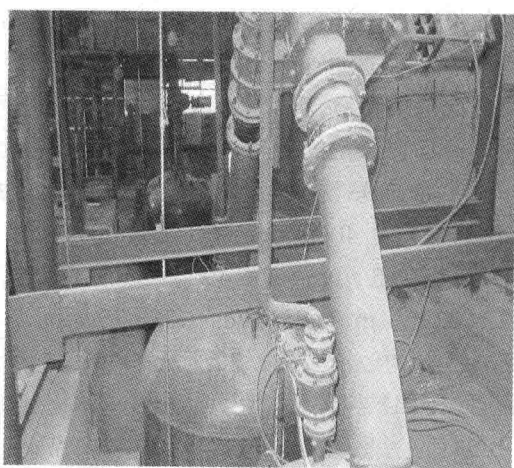


图4 藏木水电站混凝土生产系统粉煤灰自动拆包输送系统立式双仓泵