

# EPC 联合体模式下高大渡槽群的安全管理方式和手段创新

王 华<sup>1</sup>, 向云飞<sup>2</sup>, 谢军锋<sup>3</sup>, 彭昱坤<sup>3</sup>, 孙周辉<sup>3</sup>

(1. 四川省水利发展集团有限公司, 四川 成都 610213; 2. 清华大学, 北京 100084;

3. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

**摘要:**探讨了 EPC 联合体模式下高大渡槽群的创新安全管理模式和创新管理手段以及数字智能化手段的应用。从水发集团、项目业主、业主现场管理部、总包单位到施工单位与现场队伍实现了“三十三”六个层级立体化的管理体系共用平台和手段。该平台基于物联网、智能传感终端、蜂巢无人机、智能摄像头、智能环境监测站、渡槽作业人员定位系统、高处作业门禁系统、安全履约检查系统、亭安通等创新手段,实现了工程立体化全要素安全系统管理,打造出建设各方齐抓共管、全员参与的安全管理新模式,基于 BIM 技术对渡槽高空作业实现了安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制的数字化智能化管理。该系统从渡槽施工的人、机、料、法、环、测、考、时、特九个方面,进行了亭子口灌区工程渡槽智能系统的架构与应用,为大型灌区项目高大渡槽的安全管理提供了创新应用参考案例。

**关键词:**亭子口灌区工程;高大渡槽;高空作业;安全管理;风险分级管控;智能化管理

**中图分类号:**TV7;TV672+,3;TV51

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2024)增 2-0147-04

## Innovation of Safety Management Methods and Means for High and Large Aqueducts under EPC Consortium Mode

WANG Hua<sup>1</sup>, XIANG Yunfei<sup>2</sup>, XIE Junfeng<sup>3</sup>, PENG Yukun<sup>3</sup>, SUN Zhouhui<sup>3</sup>

(1. Sichuan Water Conservancy Development Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610213;

2. Tsinghua University, Beijing 100084;

3. PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu Sichuan 610072)

**Abstract:** Innovative safety management models and methodologies, as well as use of digital intelligence methods are discussed for high and large aqueduct groups in the EPC consortium mode. A shared platform and co-operating means for a three-dimensional space management system, with "thirty-three" six levels, are developed for Sichuan Water Conservancy Development Group Co., Ltd. project owner, on-site management department of project owners, general contractor, subcontractors, and on-site labors. Innovative methods, such as the Internet of Things, intelligent sensing terminals, honeycomb drones, intelligent cameras, intelligent environmental monitoring stations, labor positioning systems for aqueduct construction, access control systems for working at heights, safety compliance inspection systems, and pavilion security systems, are used to achieve the three-dimensional and all-element safety system management of engineering construction. It establishes a new safety management approach that all parties and staff are involved in construction. BIM technology enables digital and intelligent administration of safety risk classification control, hidden danger investigation, and governance for working at heights in aqueduct construction. The intelligent system architecture and application of aqueduct building is developed from nine perspectives: human, machine, material, method, environment, measurement, inspection, time, and unique circumstances, providing a novel reference case for the safety management of tall aqueduct construction in large-scale irrigation projects.

**Key words:** Tingzikou Irrigation Area Project; High and large aqueduct; Working at heights; Safety management; Risk classification management and control; Intelligent management

## 1 概 述

随着国家水网建设的快速推进,水资源和水

安全对社会经济高质量发展和环境改善的支撑作用愈发明显<sup>[1]</sup>。渡槽作为一种跨区域的调水建筑物已成为支撑国家水网安全高质量建设的关

键<sup>[2]</sup>,尤其是在远距离、大跨度、地形复杂的输水工程中,高大渡槽群的安全建设、检修和运行成为建设精品工程的关键。高大渡槽群的建设极大程度地面临高空作业、交叉作业、极端天气、结构失稳等安全风险,尤其是在当前大型基础设施工程均以EPC联合体模式开发建设的背景下,对参建各方的协作水平以及安全管理能力提出了更高的要求<sup>[3]</sup>。

近年来,随着物联网、云计算、人工智能等技术的发展,工程安全管理的智能化水平不断提升<sup>[4]</sup>。国内外学者围绕工程安全智能化管控从理论、技术、平台等方面开展了大量的研究,在安全管理理论方面:提出了“全面感知、真实分析、实时控制、持续优化”的闭环控制理论<sup>[5]</sup>;基于对施工现场海量数据的挖掘与分析,完善了事故致因理论<sup>[6]</sup>;基于安全风险全要素分析,提出了本质安全管理理论;在安全智能化技术方面:基于智能传感器、物联网终端、机器学习等技术对工程现场施工设备的运行状态进行了实时监测与安全反馈,开发了安全隐患排查与治理平台,有效地提升了工程现场安全风险管控的水平。综上所述,采用智能化、立体化手段开展渡槽建设和运行已成为水网建设的必然趋势。

高空作业系指在较高的高度进行的各种工程活动,需要作业人员进入高空或悬挂在高空位置执行各种维护、修复、建设或检查任务。鉴于渡槽建设中的高空作业特别密集,且因其施工作业空间有限,在长度和空中展布后其不确定性因素突出,施工环境变异大,施工过程伴随的高风险和潜在的危險较多,主要包括吊装作业、上下运输作业、高空设备的安装和拆卸作业,以及高空混凝土浇筑、高空模板和模架的搭设与拆除作业,造槽机行走和拆除作业,高空混凝土检查和缺陷修补作业等。针对上述存在的风险,建设者们急需寻找到适合且可行的治理措施。笔者阐述了EPC联合体模式下高大渡槽群的安全管理方式和手段创新过程。

## 2 渡槽高空作业存在的安全风险分析

### 2.1 高空作业具有的潜在危险

高空作业具有的潜在危险显而易见。特别是

在缺乏适当防护和控制措施的情况下,坠落危险是高空作业中最严重的风险之一。根据国家安全委员会(NSC)拥有的数据:坠落是导致工业事故死亡的主要原因之一,其占工业事故死亡的比例高达0.2%;气象条件的不稳定性亦对高空作业产生重大影响。由美国国家气象局(NOAA)的数据得知:气象因素是导致工作场所事故发生的主要因素之一,其中包括大风、暴雨、高温、温差骤降等恶劣天气,这些天气条件增加了高处坠落和设备故障发生的风险;设备故障则是其另外一个潜在危险。高空作业极有可能涉及到危险材料和电力线路等潜在危险源。

### 2.2 渡槽高空作业存在的特殊安全风险

渡槽高空作业涉及到一些特殊的安全风险,这些风险因素需要在计划和实施高空作业时得到特别的考虑和管理。渡槽的结构特点使其在高空作业时更加复杂和危险。渡槽通常呈长条形状,横跨于山谷、河流或其他地形之上,其高度和长度非常大;而高大渡槽群则是伴随着水利大发展涌现出的相对新的工艺,现阶段,具有成熟施工经验的施工队伍和配套设备偏少,进而进一步增加了渡槽施工的风险,导致施工作业人员在渡槽高空作业中需要面对更为复杂的工作环境,增加了意外事故产生的风险。

## 3 渡槽高空作业通常采用的安全管控方法

### 3.1 高空作业安全管控方法概述与数字化手段的应用

高空作业安全管控方法的选择需要综合考虑工作环境,其包括了解工作环境的高度、气象条件、设备状态和危险物等因素。通过全面进行环境分析,可以更好地预测潜在的风险,制定出相应的安全管控措施。数字化手段可以有效解决高大渡槽施工中机械设备、使用的材料、施工工艺、工作环境等方面存在的危险因素,采用数字化智能化监测手段能够有效做到全天候、无死角的监控和监督管理,进而对施工中各方面的危险因素进行有效的管理。

### 3.2 渡槽智能管理体系中“考、时、特”的管理理念

(1)对作业人员进行安全考核。从事特种作

业的人员需要拥有相应的操作证和职业资格,这不仅是国家和行业层面的规定,也是作业人员从业的前提和必要条件。除此之外,若要做好高大渡槽的安全施工,必须针对渡槽施工的特点开展有针对性的培训教育,以提高管理者化解风险的能力,使其具备准确判断风险隐情以及及时开展应急处置的能力,进一步提高一线工人的安全意识,提高对操作工序风险要素的识别和规避能力。通过对渡槽施工人员安全操作技能和安全要求的考核管理,能够真实掌握一线作业人员的安全应急能力;同时,通过考核,将不具备安全能力的作业人员筛选出来,不允许进入高空作业,进而从源头上降低了风险的发生。通过在渡槽现场设置管理扫描系统,对“三十三”六个层级的安全职责和安全履约情况进行考核,能够有效确保安全措施落地和立体化安全体系的有效运转。

(2)危险施工时段的管理。高大渡槽施工过程中,为了确保施工过程的安全,需要采用创新手段对造槽机移动、模板吊装、槽身浇筑等危险时段进行有效的安全管理,如针对造槽机移动这一危险环节,可以规定在其移动过程中必须有人引导,以及在其移动前进行区域检查以确保周围区域通畅、无人员和障碍物,并在施工现场设置警示标识,提醒所有人员注意安全;此外,对造槽机进行定期检查和维修亦非常重要,可以确保其正常运行。针对模板吊装环节,在其吊装前,应对吊装设备进行检查,确保其工作正常;同时,在吊装过程中,必须有人进行监督和指导以确保其操作规范,避免发生意外。针对槽身浇筑环节,在混凝土浇筑前,应对施工现场进行检查,清除障碍物以确保施工环境整洁;同时,对混凝土浇筑过程中的材料和设备也需进行检查,确保其符合相关安全标准。

为了有效管理这些危险时段的施工,可以采取人防、机防和在线盯控的管理措施。人防包括对施工人员进行培训和教育以提高其安全意识和应急处理能力;机防包括对施工设备进行维护和管理,采用无人机巡查和在线盯控以确保安全;对危险作业时段采用各种智能传感器和图像识别技术开展危险施工时段的专项安全管控,以确保设备运行正常;在线盯控可以通过监控设备对施工

现场进行实时监测,及时发现问题并采取相应措施予以解决。

(3)特殊作业的管理。高大渡槽施工是一项复杂工程,其具有的特殊环境和特殊危险因素需要得到充分的重视和管理。通过数字化手段对这些因素进行全面梳理,将渡槽施工的特殊环节、特殊危险因素与桥梁施工不同和特殊之处全部梳理出来,采用数字化手段进行管理方能确保渡槽施工的本质安全。采用数字化管理可以对施工环境和危险因素进行精细化监测和分析,及时发现问题并采取相应的措施进行处理。

### 3.3 安全管控方法的实施与监督

安全管控方法的实施和监督能够确保高空作业安全管控措施的有效落实,其包括为工作人员提供必要的安全设备和工具,确保安全程序和操作规程得到遵守;分部工程开工条件的验收确保了所有安全条件的验收和安全措施落实到位。监督阶段是安全管理体系中的关键环节,包括定期检查和随机检查以确保高空作业的安全。监督不仅关注工作人员的行为和操作,还涉及到设备的状态、工作环境的变化以及潜在的新风险,这些都有助于发现问题并及时采取有效的纠正措施进行处理。安全管控方法的实施和智能安全管理系统的监管还需要建立有效的沟通渠道,而基于微信架构的亭安通APP智能安全管理系统可以全面感知、真实分析、实时控制、持续优化,通过该系统实现了与现场的连接和监督管理,可以快速实现隐患快报、隐患快反、隐患快除的安全闭环管理。

## 4 渡槽高空作业的风险评估与控制

### 4.1 风险评估方法

风险评估是确保高空作业安全的关键步骤。风险评估方法是一种系统性的方法,其是对危险源的各种危险因素、发生事故的可能性及损失与危害程度等进行调查、分析、论证等,以判断危险源风险等级的过程,有利于相关各方采取适当的措施以降低这些风险。识别潜在的潜在危险和风险,包括识别可能在高空作业中出现的各种危险因素,所采用的分析评估方法主要为直接判定法和作业条件危险性评价法(LEC)。采用渡槽风险清

单可以针对每一个建筑物、每一个施工阶段、每一个施工工序、每一个施工工区进行风险识别并形成风险评估清单,然后根据风险等级对每一个管理域的安全风险进行排序,选出每一项目工作的风险排序 top10 清单,采用分级进行管理的方式,每个月对风险进行动态调整和管理。

#### 4.2 渡槽高空作业之风险安全评估

通过系统性地分析和评估与渡槽高空作业相关的潜在危险和风险,以便采取适当的控制措施减少或消除这些风险。潜在危险的识别包括确定与渡槽高空作业相关的各种危险因素,如高处坠落、恶劣天气、工作平台的不稳定等。此项研究还对风险的可能性和严重性进行评估,涉及到所确定的每个潜在风险事件发生的概率以及其可能对工作人员、设备和环境造成的影响。评估的目的是确定哪些风险最为紧急和关键,需要采取更为严格的控制措施。评估风险的可能性和严重性涉及到确定每个潜在风险事件发生的概率以及其可能对员工、设备和环境造成的影响。

#### 4.3 风险控制措施的应急预案

在渡槽高空作业中,风险控制措施和应急预案是确保施工作业安全和应对潜在危险的关键要素。这些措施和计划旨在减少高空作业的风险,并在发生意外情况时能够迅速采取行动。风险控制措施包括一系列的工程和管理措施,用以降低高空作业的风险,包括但不限于工作平台的稳定性、正确使用个人防护装备、实施严格的作业程序和规程、监测天气条件等。工程控制措施可以通过确保工作平台的结构和稳定性来降低高处坠落的风险,而管理措施则是通过培训和指导员工在进行高空作业前需要注意哪些事项,以及通过监督和审查工作来提高工作的安全性。

### 5 结 语

笔者针对大型灌区水利工程的特性和组织模

式深入研究了高大渡槽群高空作业安全智能化的管理模式与方法。首先,从作业安全风险分析、数字化安全管控系统的搭建着手,提出了高大渡槽群高空作业的安全创新管理模式;其次,构建了渡槽高空作业安全管理方法与智能系统,提出了“三十三”创新管控模式并基于 BIM 模型从“人、机、料、法、环、测、考、时、特”九个方面开展了高大渡槽智能安全管理系统的架构,通过亭安通智慧化取得的系统化管理实践,实现了高大渡槽的智能管理。所取得的研究成果可为大型灌区项目的高大渡槽群安全智能化管理参考。

#### 参考文献:

- [1] 匡友青. 国家水网建设投融资的市场化改革:经济逻辑与法治保障[J]. 中国水利, 2024, 24(9): 67-72.
- [2] 陈明豪,郑瑞文,赵山渡引水工程渡槽除险加固施工安全探析[J]. 地下水, 2020, 42(3): 243-245.
- [3] 何晶. 胶东调水水界河渡槽工程项目安全管理模式[J]. 河北水利, 2009, 54(4): 27.
- [4] 王俊淞,段斌,吴万波,等. 水电工程智能安全管控系统建设方案研究[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(增刊1): 96-102.
- [5] 樊启祥,林鹏,魏鹏程,等. 智能建造闭环控制理论[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2021, 61(7): 660-670.
- [6] 陈述,刘文濯,邵波,等. 水电工程施工安全隐患时空分布特征研究[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(11): 90-96.

#### 作者简介:

- 王 华(1968-),男,四川平昌人,副高级工程师,博士,从事水利工程项目建设技术与管理工作;
- 向云飞(1998-),男,云南盈江人,在读博士研究生,研究方向:水利水电工程安全管理工作;
- 谢军锋(1982-),男,陕西渭南人,工程师,从事水利水电工程项目管理工作;
- 彭昱坤(1997-),男,贵州兴义人,工程师,硕士,从事水利水电工程项目管理及数字化工作;
- 孙周辉(1980-),男,陕西宝鸡人,正高级工程师,工程硕士,从事水利水电工程项目管理及数字化工作。

(编辑:李燕辉)