

On the Key Technologies of Anti-Intrusion System for South-to-North Water Diversion Middle Route Project

Hui Chen¹, Jufeng Luo^{2*}, Xiaobo Feng³, Weifeng Huang¹

¹Construction and Administration Bureau of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Beijing

²Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai

³Design and Management Center of South-to-North Water Diversion Project, Beijing

Email: chenhui@nsbd.cn, jufeng@mail.sim.ac.cn

Received: Nov. 3rd, 2014; revised: Nov. 20th, 2014; accepted: Nov. 30th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

South-to-North Water Diversion project is the world's largest artificial water diversion project, with a total length of roughly 1432 kilometers. The construction and operation of this project will be a promoting factor to China's economy and society development. However, the distance of the canal is too long, and there is a variety of geological and cultural conditions along the canal, which brings a lot of challenges to the security protection of this canal in the future. In this work, with practical experiences during the construction of this canal, we propose to study the key technologies of anti-intrusion, *i.e.*, joint data analysis, intelligent video analysis, early warning technologies, so as to provide a reference to the construction of security system. The research achievements in this work can be a reference and guidance to future long distance water/gas diversion projects.

Keywords

South-to-North Water Diversion, Security System, Intelligent Video Analysis, Pro-Warning Technology

南水北调中线干线工程安防系统关键技术研究

陈 晖¹, 罗炬锋^{2*}, 冯晓波³, 黄伟锋¹

*通讯作者。

¹南水北调中线干线工程建设管理局, 北京

²中科院上海微系统与信息技术研究所, 上海

³南水北调设计管理中心, 北京

Email: chenhui@nsbd.cn, lujfeng@mail.sim.ac.cn

收稿日期: 2014年11月3日; 修回日期: 2014年11月20日; 录用日期: 2014年11月30日

摘要

南水北调中线干线工程是全球最大的人工调水工程, 全线总干渠长约1432公里, 建成后将对我国京津冀经济圈乃至全国经济与社会发展发挥重要的促进作用。然而, 全线输水距离远、工程实体多, 跨越区域河流沟渠多、人文环境各异, 这些复杂条件给中线干线工程后期的安全防护带来严重挑战。近期, 南水北调中线干线工程建设管理局组织开展了面向南水北调中线干线工程的安防系统设计, 并在逐步实施过程中。本文结合中线干线工程实际情况, 旨在对该工程安防系统设计与后期实施过程中所要解决的关键技术, 包括安防信息综合处理、智能视频两个应用技术, 以及安全预警与应急管理技术等进行分析与探讨。本文以期对南水北调中线干线工程安防系统的建设提供有价值的参考, 同时本文的研究成果可以为我国后续长距离重大输水、输气工程安全防护系统的设计与建设提供有效借鉴。

关键词

南水北调, 安全防护, 智能视频, 预警技术

1. 引言

南水北调中线干线工程是缓解京、津、冀、豫等北部地区水资源短缺紧张状况, 优化我国水资源配置的一项战略性基础设施工程, 是 21 世纪京津华北地区国民经济可持续发展的重要保障。南水北调中线干线工程(以下简称“中线干线工程”)南起汉江下游湖北丹江口水库的陶岔引水闸, 沿唐白河平原北缘、华北平原西部边缘, 跨长江、淮河、黄河、海河四大流域, 直达北京的团城湖和天津市外环河, 是一项跨流域、跨多省市、长距离的特大型调水工程, 担负着北京、天津、石家庄、郑州等数十座城市保障供水的重大任务。中线干线工程总干渠自陶岔渠首至北京团城湖长 1277 km, 以明渠输水为主[1]。

由于中线干线工程沿途各地人文环境、民众法律意识各异, 工程建成后的安全防护与运营, 将成为摆在管理者、建设者与科技工作者面前的一个重要难题。一旦出现外部入侵, 将极容易形成对工程设施、水体的破坏, 从而带来不可预料的损失。在京石段应急供水工程通水后, 南水北调中线建管局总结归纳了 50 项影响工程运营安全问题[2], 其中多项与工程安全防护、防入侵相关。为实现对这些问题的有效解决, 将不得不构建一套完善的安防系统, 对工程运营状况进行全面监测。当前南水北调中线干线工程建设管理局(以下简称“中线建管局”)正在组织实施面向中线干线工程的安防系统, 通过电子围栏、视频监控等手段, 构建一套完善的技防体系。该系统将通过建设综合的信息处理平台, 收集前端各类安防应用探测器经过预处理后的信息, 并对各类探测器信息进行综合处理, 形成中线干线工程安全防护综合态势, 并建立针对安防应用的预警机制和应急处理方案(安防信息平台架构图[3]如图 1 所示)。

2. 入侵信息综合处理技术

南水北调中线干线工程安防系统前端收集各类探测器经过预处理后的信息, 主要包括集成振动和倾角传感器的一体化传感器、脉冲围栏、振动光纤信息。通过对这类信息进行综合分析, 并结合普通高清

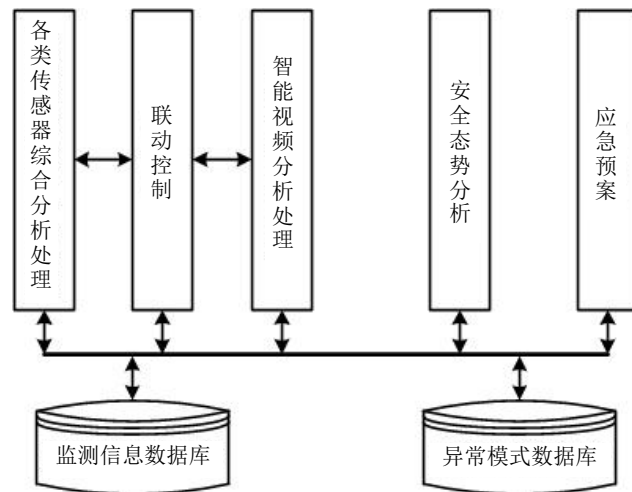


Figure 1. Security information platform
图 1. 安防信息平台架构

复核视频与组合气象信息传感器数据，进行综合处理，从而准确获知安防入侵事件，构建技术防范体系。

在安防信息平台监控中心，探测融合系统将根据组合气象传感器探测到的气象状况，需根据专家系统，通过自适应阈值算法对不同类型的传感探测方式设定不同的检测阈值，在各种天气状况下保证各探测方式的探测性能，达到降低虚警、漏警，提高探测率的目的。各传感器探测到有目标入侵时，产生报警信号并输送至监控中心，监控中心通过传感器布设位置列表对报警信号进行位置关联，包括报警传感器区域、传感器位置的查询，关联等。然后判断报警信息的区域，根据报警区域执行对应区域的融合算法以及相应的控制命令。待处理结束后，将报警传感器复位至探测状态，其具体流程如图 2 所示。

组合气象传感器输出将包括温度、雨量、相对湿度、能见度、背景光亮度、天气现象、风速等。探测融合系统根据这些气象信息，根据专家知识，对不同的探测子系统自适应计算各自的探测阈值，保证各种天气状况下各探测子系统的探测性能，达到降低虚警、漏警，提高探测率的目的。基于组合气象传感器的自适应探测方案结构如图 3 所示。

3. 智能视频分析处理

南水北调中线干线工程安防应用中采用了视频监视手段，分为普通高清视频和智能视频两种。普通高清视频主要完成视频复核和事件取证录像等功能，需要值班人员控制，或者与安防其他探测手段联动进行工作；而智能视频具有智能分析和处理功能，能自动完成目标的探测、接力跟踪和识别，大大减轻了值班人员的工作量。本系统将在重要区域设置智能视频开展智能视频处理技术研究。

智能视频处理技术是利用计算机视觉技术对视频信号进行处理、分析和理解，在不需要人为干预的情况下，通过对序列图像自动分析对监控场景中的变化进行定位、识别和跟踪，并在此基础上分析和判断目标的行为，能在异常情况发生时及时发出警报或提供有用信息，有效地协助安全人员处理危机，并最大限度地降低误报和漏报现象。

视频监视采用的智能分析技术主要包括移动物体检测、越界检测、车牌识别、人脸识别等。在某些特定环境中这些技术能达到较为理想的效果，但是在室外大尺度空间应用中，往往由于场景复杂、图像不够清晰等原因，其可靠性无法得到保证，总体精度差，尤其在目标约束条件差(如运动状态)、光线稍差或环境恶劣(如照明、天气、夜晚等)时，难以保证取得最佳信息，从而导致信息分析时可靠性差，识别准确率严重下降。智能化水平低成为了严重制约视频监控应用水平的瓶颈。

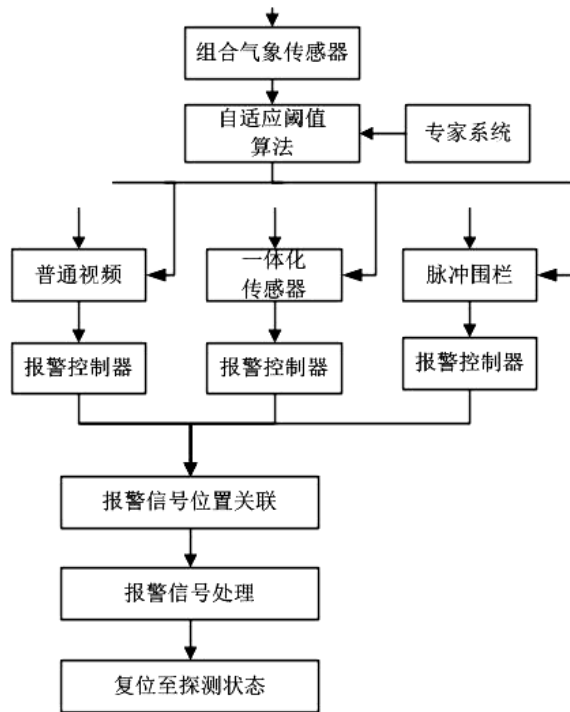


Figure 2. Intrusion process comprehensive analysis and processing information
图 2. 入侵信息综合分析处理流程

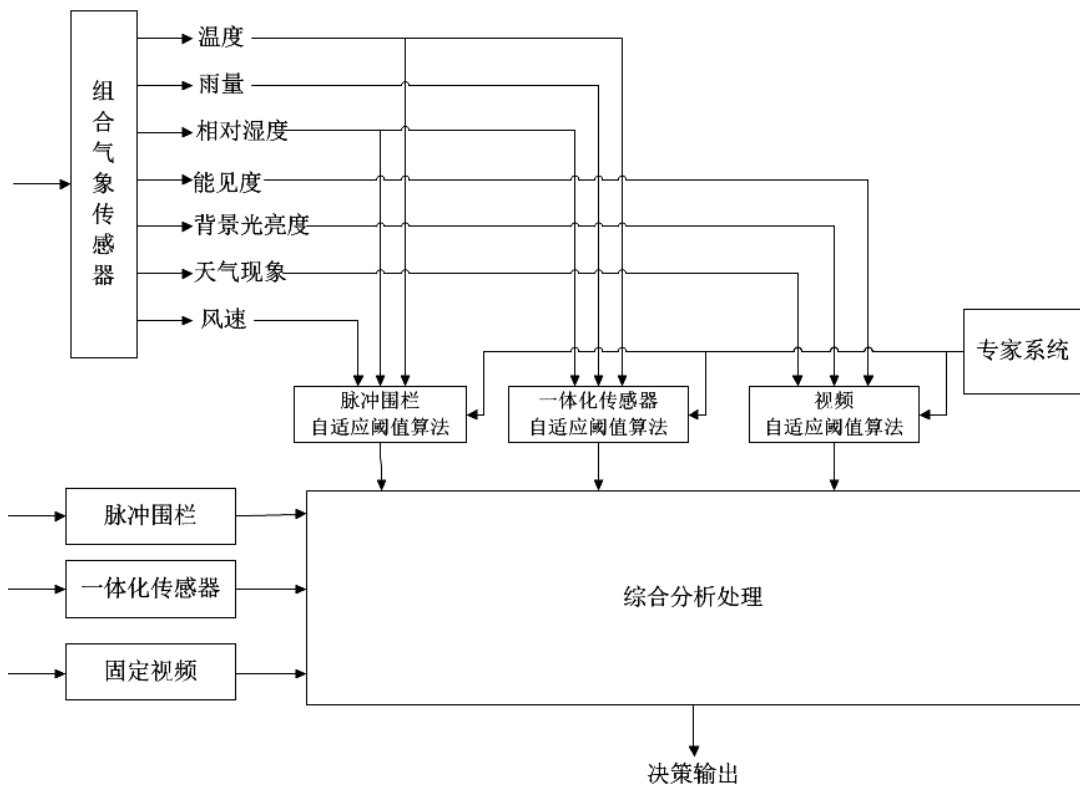


Figure 3. Adaptive combination of meteorological detection scheme based on the structure
图 3. 基于组合气象的自适应探测方案结构

目前的智能视频分析技术主要基于固定式摄像机采集的二维视频完成，由于图像是三维景物的二维投影，投影过程造成了深度方向信息缺失。从感知的角度分析，目前的二维视频无法获得目标的准确位置坐标和尺寸信息，仅通过二维视频进行分析，实现方法具有固有的缺陷性，可实现的功能和应用范围非常有限，可靠性不能得到保证。三维视频分析能够获得目标的准确位置坐标和尺寸信息，从而使目标识别的可靠性大幅提升。

多个摄像机协同工作使得三维视频分析和多视频融合信息处理成为可能。传统的三维视觉系统普遍只能利用事先准确调校的两台近距离设置的摄像机来获取三维信息，只能获取近距离目标的三维信息，而拉大摄像机间的距离后，摄像机间的位置则无法准确标定。远距离摄像机间的定位与关联技术是实现的多摄像机信息融合与三维视频图像处理的基础。

针对南水北调沿渠的基础设施情况、环境以及安防需求等级的不同，后期安防系统的建设需要结合采用高清视频监视、普通二维智能视频监视以及三维智能视频监视方案，针对普通区域监视采用高清视频或者二维智能视频监视技术，而针对重点区域监视采用三维智能视频监视。基于三维视频的智能分析技术，是传统二维智能视频分析技术和三维定位与关联技术相结合的综合性技术，可大幅提升重要部位应用场景中智能视频分析的可靠性。后期安防系统的建设需要在以下三个方面展开工作。

1) 大尺度空间目标定位与多摄像机协同实现目标自动注视

多个摄像机及传感器协同工作包含固定摄像机、可控制视线方向和镜头倍率的球型摄像机。固定摄像机主要用于全局把握监控区域、多目标定位与跟踪、检测热点区域、引导球型摄像机，球型摄像机负责高精度三维目标定位与跟踪、获取目标最佳角度影像、获取目标距离、尺寸信息和自适应切换跟踪。而针对多摄像机协同自动注视方面，后期安防系统的建设需要将仿生工程学和基于坐标变换的运动学方程作为解决多摄像机协同目标自动聚焦锁定问题的技术路线。

2) 高可靠的目标跟踪

在目标跟踪方面，仅依靠二维视觉反馈很难实现对目标的平稳跟踪。后期安防系统的建设利用多台摄像机取得目标的三维位置坐标信息，利用双眼视差滤波器能够有效排除多种传统视频分析中的噪声干扰因素，可以有效地将目标与背景分割开来，从而极大地提高目标跟踪的稳定性和可靠性。

3) 提高环境抗噪算法

智能视频分析极易受到外部环境背景噪声的干扰，常见的干扰源包括影子、落叶、树叶抖动、雨、雪等。三维图像处理可以从两个方面减少噪声对分析结果的影响。一方面对于图像中与目标连为一体的噪声，通过分析该连通区域中深度方向梯度断层来区分目标边缘和噪声，保证目标提取的完整性；另一方面对面积比较大的噪声，通过对其空间实际尺寸的计算将该噪声与目标加以区别、过滤，从而达到去除噪声的目的。

4. 入侵安全预警技术及管理机制

为了有效预防、及时控制南水北调中线干线工程入侵事故的危害，需要对南水北调中线干线工程安全预警报警，保证信息准确，渠道畅通，运转高效，资源共享，最大限度地减少人民生命财产损失。

根据南水北调中线干线工程现场不同的入侵事件，分别设置多种警报及对应的应急预案。根据安防异常模式数据库，对入侵事件进行快速评估与综合分析，分别有设备故障警报、一级入侵警报、二级入侵警报、紧急警报，其具体定义如下：

设备故障警报：表示有传感探测设备处于故障状态。

一级入侵警报：即沿渠监测区域传感器单独或部分同时报警，表示有目标当前位于围界外侧或围界上触动，提示工作人员进行视频复核，并进行现场声音警告。

二级入侵警报：经设备复核后的入侵事件，不受声音警告驱离影响继续入侵，则上报上级管理部门，同时通知现场巡检人员奔赴现场制止入侵行为。

紧急警报：工作人员通过视频发现围界周围受到纵火，恶意破坏等行为，进行紧急上报和通知现场巡检人员及时处理。

对所有的报警信息全部行程日程记录进行存储，便于后期数据分析和统计，对普通入侵利用现场警告和喊话进行驱离，若拒不驱离或破坏围栏、设施等行为则立即通知现场巡检人员进入报警区域处理，对情节恶劣的入侵行为则同时通知当地执法部门进行处理。对所有的报警情况进行视频取证存储。

拟在现有的通信网络、异地会商视频会议系统架构的基础上[4]，建设多级安防信息预警平台，努力建成数据、语音、视频等信息的多级同网传输的安防安全预报预警平台，为决策者提供决策依据和支持。

4.1. 入侵监测异常数据库建设

1) 异常模式分析

后期安防系统的建设拟结合南水北调中线干线工程已建设的物理围栏，通过各种振动、倾角器等组成传感器网络对入侵信息进行捕捉，从而保障干渠及重要设施区域的安全。异常行为主要包括攀爬围栏、破坏围栏(挖、绞、砸)、非法穿越(打洞、挖地道)等。

2) 异常模式数据库构建

针对南水北调中线干线工程应用扩展建立各种入侵事件样本库，结合样本库目前已建立强力撞击围栏、剪围栏、攀爬围栏和触碰围栏等四种常见目标行为，以及大风、大雨、打桩机作业等一系列的环境干扰并考虑其他车辆行驶震动干扰、汽车喇叭声震干扰、风雪霜雾气象等干扰情况，提高安防系统的环境适应能力，最终形成入侵异常监测数据库。

4.2. 预警机制和应急方案研究

为保障南水北调中线工程的“三个安全”，需结合工程安全信息平台、供水安全信息平台、入侵信息平台中对预警与应急技术的研究，找出各种异常及故障，研究安全预警机制，并制定应急预案，其技术路线如图4所示。

1) 预警机制研究

实施预警主要应达到的目的是及时感知外部风险的产生、存在和演化趋向，分析出工程风险类型、形成因素和对工程作用的可能，准确辨识出目前所处风险等级，判断未来发展可能性，并针对区域风险状态和临近、演化实际，给出应对各种风险的对策，及时调整调度方案、布置防灾物资和实施应急演练等，以达到避免灾害和提高应对灾害的能力。预警应本着“以人为本、预防为主、第一时间、协同运作”的原则，对灾害风险进行监测，分析其发生的概率并进行预警，制定必要的防范措施，防止灾害发生。

南水北调中线干线工程“三个安全”预警就是将预警的原理应用到中线干线工程中。“三个安全”预警机制的研究主要包括以下三个方面：构建评价指标体系、确定安全评价方法、制定预警级别。

a) 构建评价指标体系

影响工程“三个安全”的因素众多，这些因素影响“三个安全”的各个方面。例如电力、通讯设备的故障影响闸门的启闭进而影响供水水量；渠道或建筑物失事易造成额外水量损失甚至供水中断，还要投入人力物力进行渠道抢修。在构建评价指标体系时应当按照完备性与简明性相结合、定性定量相结合(定量为主)、科学性与操作性相结合、动态性与静态性相结合的原则初步确定指标体系，再利用独立性分析方法和主因素分析方法对其指标间意义上有交叉重复的指标再次选择或重组，最终构建科学的评价指标体系。

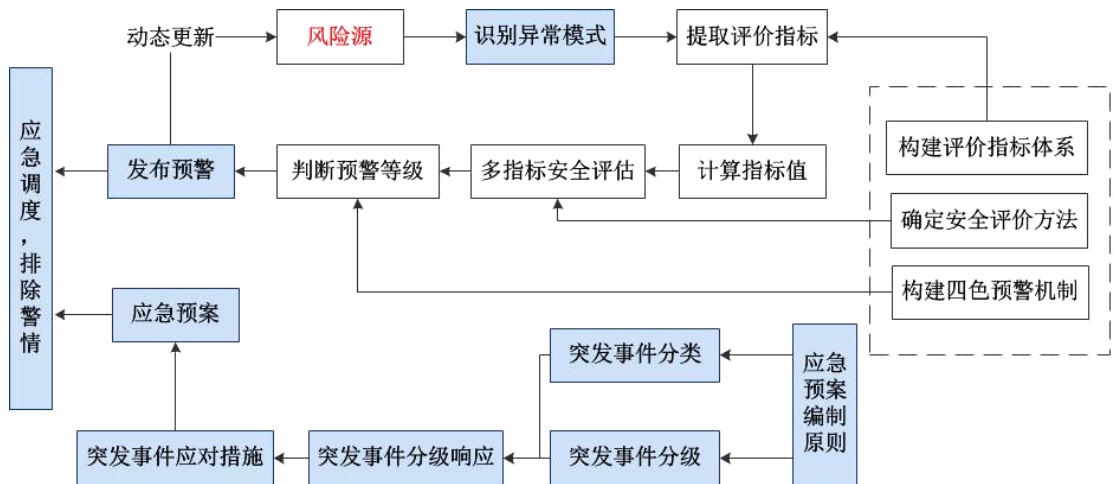


Figure 4. Warning flow chart
图 4. 预警流程图

b) 确定安全评价方法

构建科学的安全评价指标体系之后，如何利用该指标体系评价供水安全性是预警面临的另一难题。安全评价应包括预测风险源导致事故的可能性和严重程度，进行危险性的分析，并预估应急方案投入的人力物力资源，评价风险源可能导致的损失情况。常用的定量安全评价方法有层次分析法、模糊综合评价法、数据包络分析法、人工神经网络评价法、逼近于理想解的排序法、熵权法、灰色系统评价法、主成分分析法。考虑供水安全问题的复杂性和模糊性，拟采用模糊综合评价方法，该方法能够对受多种因素影响的事物做出全面的评价，由表及里、逐层计算评价对象，这样获得的信息会更加全面，便于对“三个安全”状况作全面的了解，并可找出“三个安全”所存在的症结。

c) 制定预警级别

科学进行预警等级的划分，可为制定各种预案、救援措施提供科学依据，避免灾害或最大限度降低灾害造成的损失，保障南水北调中线干线工程的安全。预警等级的划分一般应与灾害的等级相一致，以便明确灾害的严重程度及相应预警等级的重要程度，有利于调度人员对预警信号的重视。

针对南水北调中线干线工程的实际运行中出现的风险问题，首先根据视频监控和实地验证提供的风险源识别异常模式；其次提取该异常模式下的所有评价指标并计算指标值；然后利用模糊综合评价方法对该异常模式的评价指标值进行多指标安全评估，确定评估结果，如损失水量、抢修时间、工程量、断水区域等；最后根据评估结果判断预警等级，严格按照预警发布流程准确而适时地发布预警。预警发布后，预警级别也不是一成不变的，是随着警情的变化而变化的。因此，在预警发出后，还要根据指标的变化情况，不断调整预警级别，及时发布顶警，以保证工程的正常运行。

2) 应急预案制定

应急预案可以指导应急指挥机构应急行动有计划的进行，还可以在灾害发生时给人们正确的行动指导，尤其是人员的疏散和应急资源的布局 and 调度。应急调度预案制定应考虑其经济合理性，兼顾社会效益，并且具有可行性和可操作性。应急预案的编制应遵循预防为主、预防与应急管理相结合的原则，以人为本、减少危害的原则，分级负责、先行处理的原则，快速反应、协同应对的原则。

根据突发事件的性质和机理，结合南水北调中线干线工程实际情况，拟对“三个安全”影响因素进行分类。不同突发事件将不同程度地影响工程的安全性、连续性和平稳性，其直接后果是造成工程供水减少甚至完全中断，或造成人员伤亡和财产损失，或危及周边公共安全。根据突发事件的性质、

严重程度、可控性和影响范围等因素，以及入京供水流量减少程度和持续时间，对各类突发事件进行分级。

以南水北调供水工程建筑物结构破坏突发事件为例阐述应急处置措施：根据突发事件类别、级别(或严重程度)和发生渠段位置，可采用不同的应急处置措施。若事故发生在河道或交叉建筑物等，应首先关闭事故点上、下游的抽水泵站或节制闸，其余泵站或节制闸做相应调整。若事故发生在新建输水干渠，可考虑加大上游分水口门分水量，当超过河道警戒水位时启用附近退水闸弃水；事发段下游水位降低，可调整临近节制闸开度，并考虑减小下游分水口门引水量甚至关闭部分分水口；一旦紧急快速关闭节制闸，闸前水位必然壅高，则其上游节制闸将依次关闭，越往上游关闭越慢，为防止闸后水位降落过快，可关闭下游部分分水口门或降低节制闸开度。

针对南水北调中线干线工程的特点，除编撰科学有效的分级响应应急预案外，还要建立健全分类管理、分级负责的应急管理体制，加强应急处置队伍建设，建立联动协调制度，依靠公众力量，形成统一指挥、反应灵敏、协调有序、运转高效的应急管理机制。最终通过各方努力，全力应对突发事件，确保供水安全、社会稳定，尽力减轻突发事件造成的损失。

5. 结论

南水北调中线干线工程全线输水距离远、工程实体多，跨越区域河流沟渠多、人文环境各异，这些复杂条件给中线干线工程后期的安全防护带来严重挑战。本文面向这一严峻挑战，结合南水北调中线干线工程的实际情况，对该工程安防系统设计与后期实施过程中所要解决的关键技术，包括安防信息综合处理、智能视频两个应用技术，以及安全预警与应急管理技术等进行分析与探讨。本文以期对南水北调中线干线工程安防系统的建设提供有价值的参考，同时本文的研究成果可以为我国后续长距离重大输水、输气工程安全防护系统的设计与建设提供有效借鉴。

基金项目

国家科技重大专项(2014ZX03005001)。

参考文献 (References)

- [1] 水利部南水北调规划设计局 (2003) 南水北调工程总体规划.
- [2] 南水北调中线建设管理局 (2012) 南水北调中线干线工程“工程安全、供水安全、人身安全”专题报告. 2-8.
- [3] 南水北调中线建设管理局 (2014) 南水北调中线干线工程安防系统专题设计报告.
- [4] 南水北调中线建设管理局 (2009) 南水北调中线干线工程自动化调度与运行管理决策支持系统初步设计报告. 200-220.