

变电站防洪设施远程监控系统的研制

陈 鹏, 张文明, 李甲宇

(徐州供电公司变电运维工区, 徐州市黄河南路 39 号 221000)

摘 要: 本文从变电站防洪安全入手, 讨论了变电站防洪设施远程监控系统的研制过程, 包括传感器安装、就地控制单元安装、通信系统实现和后台机管理软件的开发, 构建了完整的远程监控系统。经过调试和试运行, 系统在变电站安装使用, 经过三个月的检查, 系统完全达到预定功能: 集水井水位的实时监视、记录和追忆; 实现防洪泵的自动控制和远程监控; 防洪泵的远程测试和故障报警。成果应用后大幅缩短变电站防洪作业时间, 大幅度节约了变电站防洪人力和车辆投入。

关键词: 变电站防洪, 远程监控, 传感器, 自动控制, 通信系统, 管理软件

0 引言

近年来, 全球气候变暖的趋势使台风、暴雨等极端天气不断增多, 内涝、积水、周边地区来水等对变电站均构成较大威胁, 因洪水侵入变电站造成大面积停电的报道屡见不鲜。变电站防洪设施是保证变电站夏季安全运行的关键设施, 无人值班变电站防洪设施缺乏有效的监视和控制手段, 这给防洪设施的运行和维护带来很大不便, 并对变电站安全可靠运行构成一定威胁, 鉴于上述情况, 本文针对变电站防洪设施进行一些有益的探索。

1 变电站防洪设施运行现状

1.1 现有排洪模式的弊端

变电站防洪设施是保证变电站夏季安全运行的关键设施, 无人值班变电站防洪设施缺乏有效的监视和控制手段, 这给防洪设施的运行和维护带来很大不便, 并对变电站安全可靠运行构成一定威胁。

因防洪设施不能远程监控, 需要在夏季增加巡视次数; 排洪泵在巡视周期内突然故障, 再遇暴雨则有可能危及变电站安全。接到暴雨预警时, 部分地势低洼变电站必须恢复有人值班, 并临时安排人员加班。

在变电站防洪设施传统控制方式下, 防洪泵需手工开启。采取变电运维班模式后, 各运维班管辖的变电站数量众多、分布广泛。运维人员暴雨时赶赴各变电站现场检查并开启防洪泵, 排洪响应时间长, 险情时有发生。

开启排洪泵后, 为防止水位过低水泵继续运转

烧泵, 需要人工监视排洪, 耗时较长, 人力需求量大; 且暴雨天气防洪特巡与事故异常处理同属高峰, 增大了运维人员的工作压力。

1.2 常见的改进措施及其缺陷

1.2.1 提前改为有人值班

在得到暴雨预警时, 将所辖变电站改为有人值班, 现场监视、手动控制防洪泵。

该方式耗费人力多、打乱值班编排, 影响正常运维秩序, 给安全运行造成一定隐患。

1.2.2 流动循环排洪

加大投入, 动用所有车辆、启用下班人员加班投入到防洪特巡和操作。

该方式占用车辆多、安全压力大。在雨量大、范围广时难以调配, 各变电站循环排洪, 可能造成排洪不及时、集水井溢出, 或停泵不及时、烧坏电机。

1.2.3 进行土建防洪改造

对变电站已有防洪设施进行改造, 例如在设备区设挡水墙; 在雨季增加临时防洪措施, 例如在门口临时堆放沙袋, 堵住外部来水等。

该方式投资较大, 给运维检修工作造成不便, 对特大暴雨时内涝防范作用不佳。

1.2.4 加装浮球, 自动启动水泵。

就地对防洪泵进行简单升级, 安装浮球, 自动启动水泵。

该方式可靠性不高, 易出现水泵频繁启停、或停泵不及时烧电机的现象。不能实时监控, 仍需要逐站进行防洪特巡。仍需人工测试维护, 不能减轻平时的设备巡视检查工作量。

通过比较可知,我们发现,上述四种解决方案均有其无法克服的缺点。

因此,应从创新变电站防洪设施监视与控制方式入手,提出第五种方案:研制变电站防洪设施远程监控系统,即利用现代传感器、通信及自动控制技术,实现对变电站防洪设施的远程监视、自动控制、故障报警等功能。

2 变电站防洪设施远程监控系统整体设计

2.1 系统主要功能

- (1) 实现水位的实时监视、记录和追忆。
- (2) 实现防洪泵的自动控制和远程监控。
- (3) 实现防洪泵的远程测试和故障报警。

2.2 系统设计方案

针对设定的目标,结合变电站实际情况确定如下设计方案:

- (1) 将变电站集水井水位信息采集上传,作为控制水泵启停的基本依据。
- (2) 监测水泵电机电流,对电机工作状况进行监视,并提供保护功能。
- (3) 水泵的控制逻辑通过编程实现,现场通过控制器,控制电机的交流接触器动作,实现水泵的启停。
- (4) 采用就地自动控制和后台机远程控制相结合,将数据采集后传给现场单片机,同时通过通信网传送到后台机。
- (5) 后台机对采集的数据进行存储和处理,对水泵进行自动控制和远程控制,提供报警、定期检测等功能。

变电站防洪设施远程监控系统按图 1 设计。



图 1 防洪设施远程监控系统原理图

2.2 系统构成

为实现上述原理,该系统应包括传感器、就地控制单元、通信系统、后台机管理软件等子系统。

其构成如图 2 所示。

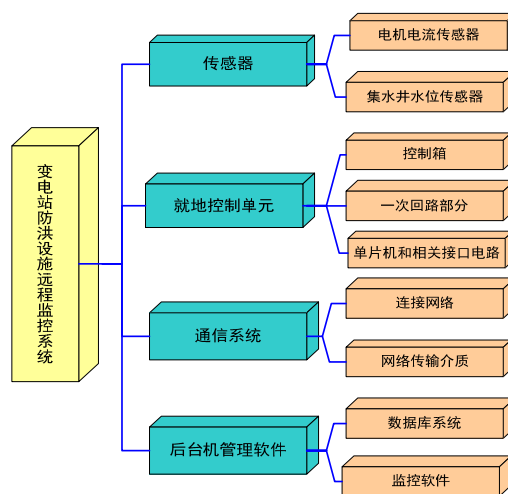


图 2 防洪设施远程监控系统构成图

3 变电站防洪设施远程监控系统方案论证

研究人员对图 2 所示的各个功能模块的具体实现方案进行了比较论证。以下给出了各功能模块的技术要求和论证结果。

3.1 电机电流传感器

现有防洪泵的电机采用三相异步电动机,通过测量并上传其定子电流,实现对其工作状态的监视。为保证可靠性和安装的简便,对可以实现一、二次隔离的两种常见电流监测元件——微型电流互感器、霍尔电流变送器进行比较。

因电流监测单元要在高温、高湿度的汛期保证可靠工作,并承担向电机保护提供电流的任务,其可靠性十分重要,且要在较宽的范围内保证足够的精度。电磁式互感器一旦出现虚接等情况造成二次侧开路,就会烧坏电流互感器,同时易使控制程序误判为电机缺相,降低系统整体可靠性,加大编程难度。霍尔元件不采用线圈结构,不存在上述问题,且技术已经成熟,价格适中。

所以综合考虑后,采用霍尔原理的电流变送器,并最终选择型号为 SX2-CSLA1EL 型。

3.2 集水井水位传感器

集水井水位是防洪设施远程监控的关键指标,直接反映汛情,同时为水泵工作状态的重要指标^[1]。以下对浮球式开关、静压式水位计、差压式水位计和超声波水位计等四种常见水位传感器进行了比较论证。

以浮球式开关为代表的传统水位计能够感应水位是否到达上(下)限,并上传信息,控制接点

通断,但难以记录水位具体变化情况,提供的信息过于简单。

静压式水位计可以对集水井水位进行较全面的记录。但夏季期间随温度、辐射等影响,气压变化较大,静压式水位计受气压影响明显,在气压低时判断水位低于正常值,可能会延时启泵,在气压高时可能会延时停泵,影响水泵响应时间。

采用差压式水位计,可以抵偿大气压的影响,从而避免上述问题。安装工作量较静压式水位计多 30%,且存在在水底安装水位计,电缆防水要求较高的问题,增加了安装难度,降低了可靠性。

超声波水位计不受大气压影响,可靠性高,使用寿命长,安装简便,数据上传功能全面,其户外型产品技术已经成熟。

综合以上情况,采用超声波式水位计,并确定订购型号为 HF8-1300C 型。

至此,传感器部分的方案论证完成。

3.3 控制箱

系统的远程监控、就地控制及通信功能要求控制箱具有良好的抗电磁干扰能力,强度高不易变形^[2]。耐腐蚀性强,使用寿命应在 10 年以上,加工应方便,便于打孔、加缓冲垫、固定元器件,且价格适中。

经过对不锈钢、铝型材、塑料型材三种材质的比较,最终选取不锈钢的材质,并根据元件安装的需要,考虑现场布置的方便,按 850×500×350mm 的尺寸定制合适的外壳,在内部加装横梁、支架及环氧树脂板,供安装元器件之用。

3.4 一次回路部分

该部分包括空气开关、接触器、手动控制按钮、动力导线等。

原有的部件容量满足要求,且在室外环境长期运行,保持正常工作状态,故仍沿用原有的器件和一次接线方式,仅改变交流接触器的控制输入,增加自动控制信号,改变原来只有手动按钮输入的单一方式。

表 1 防洪设施控制电路一次部分元器件选择

部件名	品牌	型号	规格	备注
空气开关	LG	BKN3P	380V/40A	——
交流接触器	LG	GMC-18	18A	——
漏电保护器	西门子	PSB3C	380V/0.1A	——
接线端子	菲尼克斯	UK5N	800V/41A	线径 6mm
按钮	西门子	AGN-5B	直径 30mm	防水型

选取表 1 所示的典型配置,组成控制箱的电路一次部分。

3.5 单片机和相关接口电路

单片机和相关接口电路是现场控制单元的核心。性能要求为:

- (1) 内置 8K Flash ROM
- (2) 512 字节 EEPROM
- (3) 8 路 10 位 AD, 内置 RC 振荡器
- (4) 支持 ISP (Internet Server Provider)、IAP(Internet Access Provider)功能
- (5) 可在线编程
- (6) 运行环境温度范围应达到-10~50℃,湿度范围应在 0~90%

考虑到防洪系统控制属于单片机的一般应用,对编程灵活性要求不高,但为应用方便,对单片机集成度要求较高,为满足存储、控制、保护和功能扩展的需要,要求其存储空间较大,且应具备可在线编程功能,为实现远程控制,要求其支持网络功能。

在对 51 系列、STC 系列、AVR 系列进行比较后,选用 AVR 系列的 ATMEGA8 单片机作为现场控制单元的核心。其余外围接口元件采用 ATMEGA8 单片机配套的接口元件。

至此,就地控制单元的方案论证完成。

3.6 连接网络

本课题选用的连接网络应具有以下特性:

- (1) 网络延时<0.1s
- (2) 传输速率>10Mbps
- (3) 能够适应夏季现场潮湿高温环境
- (4) 无须编制网络通信软件
- (5) 扩展性好
- (6) 与变电站现有通信设备兼容性好

现场智能控制器接入网络的主要方式有以下两种:以太网和现场总线传输。

以太网通用、扩展性好,由于具有相同的通信协议,Ethernet 和 TCP/IP 很容易集成。运用了交互式 and 开放的数据存取技术;沿用多年,已为众多的技术人员所熟悉,市场上能提供广泛的设置、维护和诊断工具,成为事实上的统一标准;可用不同的物理介质和不同的拓扑结构^[3]。而工业现场总线由于其传输距离近、接入网络技术复杂、延迟时间较长、扩展性较差等问题不适用于变电站防洪设施远程监控系统。

经过上述分析比较,以太网方式被选为本系统所用的网络连接方式。

同时选择 SCALANCE XB004-1LD 型工业以太网卡作为管理机一侧信号交换、转换的设备,并选择 cpp2200 网卡微型控制器作为控制器一侧信号交换、转换的设备。

3.7 网络传输介质的选择

站内传输介质的选择。

由于变电站二次室的保护与自动装置对电磁环境要求较高, 本系统不适宜采用无线传输方式。因此我们选用有线传输作为站内信息的传输方式。

性能要求:

- (1) 抗干扰性强;
- (2) 传输距离远, 不需中继装置;
- (3) 缆线应有耐水性;
- (4) 技术成熟。

现有的有线网络传输介质为以下三种：同轴电缆、双绞线、光纤。表2对其性能作了比较。

表 2 有线传输介质比较

方案	抗干扰性	速度	安装难度	传输距离	可靠性	结论
双绞线	中	100Mbps	低	较近, 超过100m 以上, 需要中继装置	受环境影响较大, 可靠性不高	不选用
同轴式电缆	高	100Mbps	低	较近, 超过100m 以上, 投资急剧增加	受环境影响较大, 可靠性不高	不选用
光纤	不受干扰	5Gbps 以上	高	远, 10km 以上	不传输电信号, 可靠性高	选用

防洪设施远程监控的功能要求与上述产品分析:

- (1) 站内的网络传输介质具有在变电站内强电磁环境下工作的能力, 因此要求抗干扰性强;
- (2) 对于面积较大的变电站, 集水井距离主控室布线距离超过 100m, 需要中继装置, 在户外雨季易受环境影响, 可靠性低;
- (3) 防洪监控数据量不大, 实时性要求为秒级, 上述线缆速率均达到要求。
- (4) 光纤通信技术成熟, 成本降低, 已广泛使用。

综合以上分析,选用光纤作为站内网络传输的基本介质。并选用 EM-S1V-T/RF 型一路微型光端机和 FTTH-2B6 型光缆。

站间通信依靠现有局域网设备实现。

至此，通信部分的方案论证完成。

3.8 数据库的选择

后台机数据库在 DB2、SQL SERVER、ORACLE 三种数据库中进行选择。根据本系统所需的数据库

性能和经济性的比较,最终选择 SQL-SERVER 数据库,该数据库具有并行模式和共存模型,操作简单,图形界面丰富。采用与 SQL SERVER 兼容性好的 C 语言进行软件编程^{[4][5]}。

3.9 监控软件

监控软件的控制功能按图 3 流程图实现。

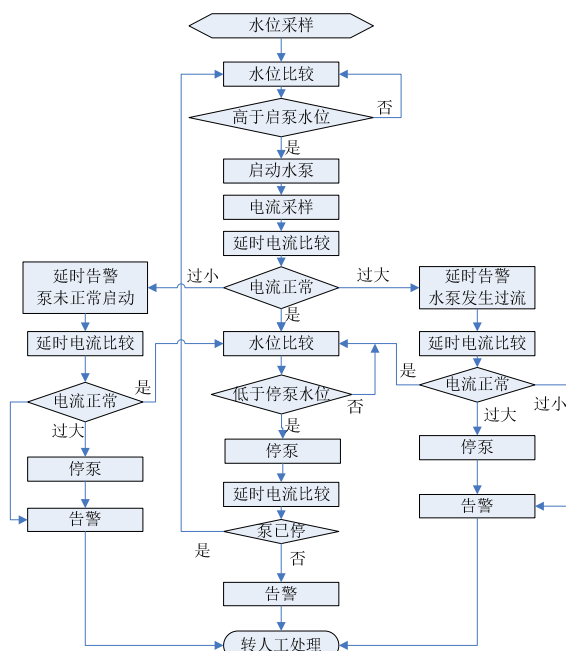


图3 防洪泵控制程序流程图

至此，后台机管理软件的方案论证完成。

3.10 论证结果

变电站防洪设施远程监控系统各功能模块论证结果如表 3 所示。

表3 变电站防洪设施远程监控系统功能模块论证结果

子系统	部件	确定方案
传感器	电机电流传感器	SX2-CSLA1EL 型霍尔电流变送器
	集水井水位传感器 控制箱	HF8-1300C 型超声波水位变送器 定制不锈钢控制箱
就地控制单元	一次回路部分	BKN3P 空气开关、GMC-18 交流接触器、 PSB3C 漏电保护器、phenixUK5N 接线端子、 AGN-5B 按钮
	单片机和相关接口 电路	ATMEGA8 单片机及配套接口电路
通信系统	连接网络	通过以太网进行连接。选用SCALANCE XB004-1LD型工业以太网卡、cpp2200以 太网微型控制器
	传输介质	站内通信采用 EM-S1V-T/RF 型一路微型 光端机和 FTTH-2B6 型光缆，站间通过 局域网
	后台机 管理软件	数据库系统 SQL-server 数据库、C 语言编程 监控软件 C 语言编程、实现远程监控功能

4 变电站防洪设施远程监控系统安装与测试

4.1 传感器安装

4.1.1 水位计与电流变送器订购与测试

购置三相合一的霍尔电流变送器，采购了超声波水位计。并测试其功能完好。

4.1.2 安装与调试

将霍尔型电流变送器安装在电机三相火线上，实现电流测量和模数转换。见图 4。



图 4 安装测试霍尔电流变送器

将超声波水位计安装在水面上方适当的位置，保证安装的水平度和垂直度，以确保精度。见图 5。



图 5 安装超声波水位计

4.1.3 敷设电缆、穿管，做好设备防水保护

将控制、信号电缆引出，穿过镀锌电缆管，引入控制箱，并做好防水措施。



电缆沿水池边沿敷设并穿管 电缆管防水接头



图 6 电缆敷设防水

经过检查：传感器满足可靠性、精度要求，水位计安装牢固，便于维护。

4.2 就地控制单元安装

4.2.1 定做箱体

根据设计尺寸，定做箱体，使用不锈钢材质，保证耐用性，为就地控制模块正常工作提供基础。见图 7。



图 7 控制箱制作

箱体内部安装环氧树脂板，用于固定控制器。

4.2.2 控制器部件测试和组装

购进控制器的核心部件 ATMEGA8 单片机及配套接口元件，按照设计方案进行组装。见图 8、9。



图 8 采购单片机及配套接口元件



图 9 采购单片机及配套接口元件

4.2.3 经过整合，进行单片机编程和固化

图 10 是通过微机对单片机程序进行调试、固化的界面。

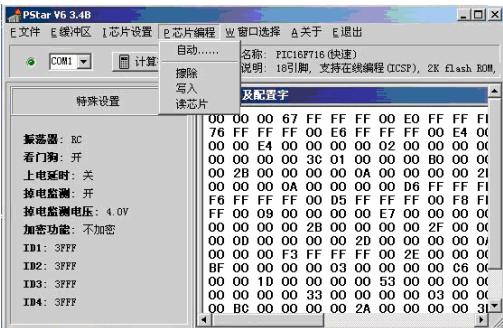


图 10 单片机调试固化

4.2.4 固定单片机控制器和电路一次元器件

在控制箱内固定单片机控制器和电路一次元器件，完成接线，并进行就地控制试验。见图 11、12。



图 11 电路一、二次元件固定

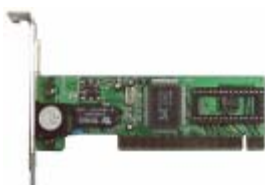


图 12 就地控制方式调试

经过检查，就地控制单元制作成功，就地自动控制功能实现。

4.3 通信系统实现

(1) 采购SCALANCE XB004 -1LD型工业以太网卡、cpp2200以太网微控制器。见图13。



SCALANCE XB004-1LD 型以太网卡 cpp2200 以太网微控制器

图 13 使用的以太网传输接口设备

(2) 敷设光缆。购买光端机，沿电缆沟敷设光缆至集水井，在电缆沟中敷设光缆并与控制箱测量电缆共用电缆管，进入控制箱。连接处全部用防火泥密封。见图14。



图 14 光缆对接

(3) 在光缆两端分别完成与以太网卡和站间局域网路由器的连接，并作连通性测试。见图15。



图 15 在后台机内安装以太网卡

(4) 在管理机上完成对现场控制单元的寻址与接口。

经过检查，光缆敷设满足防水需要，网络组建完成后，后台机通过局域网和现场传输系统，与控制器实现正常通信，可靠工作，每次通信时间为0.52秒，完全达到预定目标。

4.4 后台机管理软件开发

(1) 购买正版SQL-server数据库和Visual Studio软件。

(2) 采用C语言编程进行后台数据库访问程序和人机界面的开发，

(3) 使用C语言进行控制程序开发，下图为编程界面。

(4) 广泛调研员工对应用软件功能的需求，合理布局，模块化设计，缩短代码编写时间。

经过检查，软件功能完善，界面友好，系统兼容性好。

至此，变电站防洪设施远程监控系统硬件安装、软件开发均已完成，以下将进行系统调试、试运行和完善。

4.5 整套系统的调试、试运行和完善

对全套系统进行调试和试运行。进行远程监视、控制功能试验和系统联动调试，对发现的不兼容问题进行改进，让员工参与系统的试用，发放调查问卷，收集反馈意见，对系统的操控方法、运行界面进行改进。请专业人士对整套系统进行测试、评价，及时修改、完善。

圆满完成小坝山、惠民、奎山三座变电站防洪设施远程监控系统施工、安装和调试。经过检查，系统运行正常，满足工作需要。

5 系统功能与使用效果

5.1 系统功能检查

(1) 实现水位的实时监视、记录和追忆。见图16。



图16 实时监控与历史信息查询界面

(2) 实现防洪泵的自动控制和远程监控。见图 17。

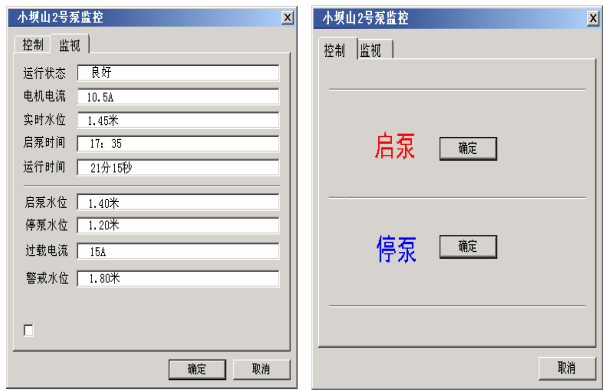


图17 防洪设施监视与控制界面

(3) 实现防洪泵故障和水位报警。见图 18。

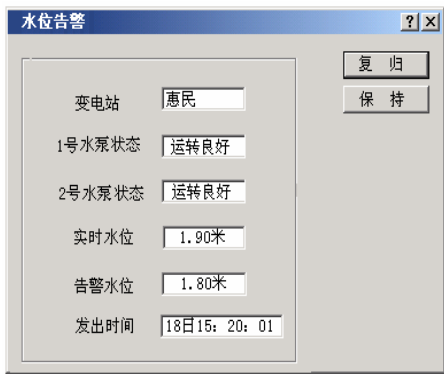


图18 防洪泵故障和水位报警界面

综上所述，实现变电站防洪设施智能化的目标实现。

5.2 使用效果

5.2.1 缩短每站每次防洪作业平均时间

通过应用防洪设施远程监控系统后，实施自动控制，摒弃了原有的防洪特巡、操作模式。在远程监控模式下，从水位传感器上传值比较完成，启动程序运行，到水泵电机接触器接通的时间平均为 3.5s。

2012 年 7、8、9 三个月发生暴雨 5 次，按照实际的防洪特巡花费时间按照原来的分摊方法进行计算：

每站分摊平均每次行车时间 $30/5/3=2.0\text{min}$

每站分摊平均检查时间 $5/5/3=0.33\text{min}$

在运维班驻地对三座变电站防洪系统进行监控，实际投入时间为收到启泵报警时 0.33min、收到停泵报警时 0.33 分 min，中间过程 0.5min，三站全面检查 0.5 分 min。所以，每次暴雨过程每站检查时间为

$0.33+0.5+0.5+0.33+0.33=2.0\text{min}$

对每站每次防汛作业平均时间进行分析，对比目标值如表 3、图 19 所示。

表 3 每站每次防洪作业平均时间对比

项目	传统方式	远程方式
行车时间/min	35	2.0
站内巡视时间/min	5	2.0
程序运行与通讯时间/s	0	3.5（0.058min）
启泵时间/s	7	7（0.114min）
排水时间/min	15	15
额外等待时间/min	78	0
总计/min	133	19.17

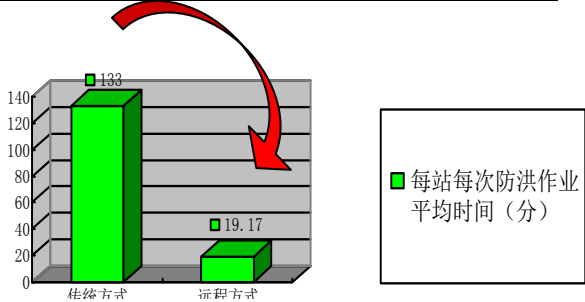


图 19 每站每次防洪作业时间对比

由图 19 可知，每站每次防洪作业平均时间由 133min 缩短至 19.17min。

5.2.2 节约防洪人力投入

对 2012 年 7、8、9 月 3 座变电站使用防洪设施远程监控系统后，各变电站防洪投入的人力进行统计，如表 4、图 20 所示。

表 4 每站每次防洪作业平均时间对比 人·小时

变电站	特巡	留守	防洪设施专项检查	设施维护	总计
小坝山	11	12	20.7	1	44.7
惠民	10	11	22.9	1.5	45.4
奎山	10	14	18.5	1.5	44.0
小计	31	37	62.1	4	134.1

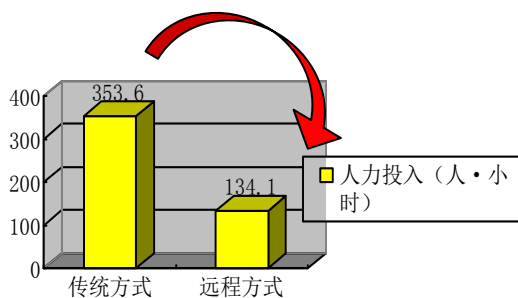


图 20 防洪人力投入对比

由图 20 可知,小坝山、惠民、奎山 3 座变电站 7、8、9 月防洪人力投入由 353.6 (人·小时) 降至 134.1 (人·小时)。

经过跟踪检查,变电站防洪设施远程控制系统实现其预定功能,工作正常,平时的维护率很低,完全能够满足变电站防洪的需要。

6 结论

研制并安装实现变电站防洪设施远程监控系统,是保证变电站安全运行的重要举措。其具体功能包括:水位的实时监视、记录和追忆,防洪泵的自动控制和远程监控,防洪泵的远程测试和故障报警。要实现上述功能应经过合理的设计、严密的论证和适当的设备选型,满足现场环境、系统功能以

及经济性地要求,并经过认真测试、组装和调试,保证加工、施工工艺和软件系统编程质量。系统联合调试成功后,在三个月主汛期正常运行。实践证明,该系统完全实现了设计要求,保证了变电站防洪安全,且明显提高了防洪作业效率,大幅度节约了人力成本。

参考文献:

- [1] 卢方,徐剑,徐海峰,等. 水位监控技术在排水低洼点检查井中的应用[J]. 给水排水, 2012,(08).
- [2] 佟百青. PLC控制的泵站自动控制系统[J]. 科技创新与应用, 2012,(15).
- [3] 李栋,郝桂明,宋庆军,等. 基于工业以太网的多水平泵房自动化的实现[J]. 煤矿机械, 2012,(03).
- [4] 徐海,刘波. 基于PLC的主排水泵远程监控系统的应用[J]. 煤矿安全, 2012,(01).
- [5] 周娜,陈智华. 基于工业以太网的上位机监控系统[J]. 计算机与数字工程, 2012(03).

作者简介:

陈 鹏 (1983—), 男, 江苏徐州人, 工程师, 从事电力系统自动化和变电站运行管理方面的研究工作,
E-mail: gaoxing_chen@126.com.cn。