

Design of Power Supply System for Outdoor Equipments in South-to-North Water Diversion Middle Route Project*

Weifeng Huang¹, Yuyu Hu²

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

²Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Shanghai

Email: huangweifeng@nsbd.cn, mathshu21@126.com

Received: Dec. 2nd, 2013; revised: Dec. 4th, 2013; accepted: Dec. 8th, 2013

Copyright © 2013 Weifeng Huang, Yuyu Hu. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: South-to-north water diversion (abbreviated as NSBD) 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 conditions and cultural environments along the canal, which brings a lot of challenges to the monitoring and operation of this canal in the future. In this work, with practical experiences during the construction of this canal, a thorough analysis of power supply system for the outdoor equipments of future security monitoring systems has been provided. Specifically, infeasibility of exploiting residential power supply system is demonstrated. Then two different types of power supply means, *i.e.*, alternating current power supply with electrical cable and solar power supply. Finally, directions of the applications of smart grid technologies in this canal are pointed out. The research achievements in this work will facilitate future development of security monitoring systems for NSBD project.

Keywords: South-to-North Water Diversion; Distributed Power Supply; Solar Power Supply

南水北调中线干线工程户外监测设备的 智能供电方案设计*

黄伟锋¹, 胡育昱²

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

Email: huangweifeng@nsbd.cn, mathshu21@126.com

收稿日期: 2013年12月2日; 修回日期: 2013年12月4日; 录用日期: 2013年12月8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。但是, 全线输水距离远、工程实体多, 跨越区域地质条件不同、人文环境各异, 这些复杂条件给中线干线工程的安防带来严重挑战。本文结合中线干线工程安防系统户外设备的供电需求, 分析了引民电供电的不可行性, 给出了现地通信站周边及渠道上的供电设计, 包括从现地通信站引电及太阳能供电系统设计, 并指出了未来智能电网在该系统中应用的方向。本文的研究成果可以为后期安防系统的建设提供有效支撑。

关键词: 南水北调; 分布式供电; 太阳能供电

*项目基金: 本文的工作受国家科技重大专项的资助, 项目号: 2014ZX03005001。

1. 引言

南水北调中线工程是缓解京、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。由于中线干线工程沿途流经的伏牛山、太行山区,是我国洪水多发地区,而沿线设置左排建筑物、渡槽、倒虹吸、隧洞、暗涵、PCCP、桥梁等建筑物 2300 余座之多,具有种类多、规模大、结构复杂等特点,而且穿过中强膨胀土、湿陷性黄土、饱和沙土、煤矿采空区、砾石地基等特殊地质渠段,存在大量的高填方及深挖方渠段,安全隐患大;加上沿途各地人文环境、民众法律意识各异,工程建成后的安全监测与运营,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。

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^[1],并指出为实现对这些问题的有效解决,不得不分别构建完善的安防系统,对工程运营状况进行全面监测,而当前比较成熟的安防系统技术主要包括电子围栏技术与视频监控技术,其中电子围栏技术依靠前端传感器件感知外界入侵信息,视频监控可以提供图像信息进行入侵核实。

然而,当前中线干线工程的近远期规划中,并没有提供全线照明电力供应,而只在 262 处现地通信站处配备有高低压配电房,用于保障现地通信站附近参与自动化调度的闸门及相应的通信设备供电,所预留的交流供电能力有限^[2,3]。如不解决稳定的供电保障问题,野外设备将无从正常工作,安防系统也无从构建。

中线干线工程野外设备供电系统,将具有线性、分布式的特点,距离大、范围广、供电要求高,将成为后期安防系统设计中的制约因素。

本文作者供职于南水北调中线干线建设管理局

信息工程部,作为工程师,长期从事对中线干线工程自动化调水、安防系统等研究。作者结合中线干线工程实际运营管理现状,结合安防系统的实际情况,对设备的供电需求与电力供应能力进行了充分的研究,系统地论证了引民电的不可行性,讨论并提出了可行的野外监测设备现地站引电方案(包括园区低压电缆传输方案、控制箱到监控设备的供电方案)和太阳能/风能供电方案,通过智能构建中线干线工程供电系统,充分保障后期安防系统电力供应的可靠性与可行性。

2. 引民电供电方案论证

中线干线工程在前期进行勘察设计时,主动避让了城市中心地带,除焦作市区因地形原因直接穿越外,渠道在其他各大中城市均采取绕行设计。因此工程穿越了大量的农村区域,并与村庄保持一定距离,以降低对沿线人文、自然生态环境的破坏。

虽然这种设计便于施工与管理,但是在后期进行安防系统设计时,野外用电设备与村庄潜在的引电点间保持了一定距离(如图 1 所示,通常为 3 公里左右),这无疑增加了引民电的难度与成本。如果通过电缆直接从就近村庄引电,考虑到设备沿渠布置位置情况,设备至引电点间的距离可能长达 5 公里,而为保证一定的压降水平,电缆横截面积必然加大。以 16 mm²/c 铜线为例,25℃时 VV22 型单芯载流量为 88 A,压降为 2.95 mV/M^[4],5 公里端电压降为 14.75 V,而铜的总消耗约为 9 吨,成本上将难以承受。

另外,从管理上讲,由于引民电将穿越农田区域,



Figure 1. Scene of NSBD project in Yixian County, Heibei Province, China

图 1. 南水北调中线干线工程易县段现场图

不论是架空还是地理，都涉及到相应的补偿费问题。由于耕作、焚烧秸秆等原因，电力供应的稳定性将得不到保障，同时还无法避免因失窃而造成的电力供应中断，此外当前我国农电的稳定性还受制于我国电网运营管理模式。因此，从技术与管理的角度，引民电也不具可行性。

因此，必须充分合理地利用沿线的实际供电条件及太阳能、风能资源，构建一套适合于南水北调中线干线工程的自给自足的智能电网系统，保障南水北调中线干线工程设备的供电需求与安全。

3. 中线干线工程供电方案设计

3.1. 供电总体方案设计

考虑到中线干线工程全线 262 处现地通信站点有交流 380 V/220 V 电力供应，通信站点周边一定距离内的安防设备，可采用引用通信站点电源解决供电问题。而通信站点之间的沿渠两侧长距离范围内，没有电力设备，没有低压交流电源可用，故此范围内的安防设备供电需要另外考虑，可解决的途径有两种：一是安装变压器供电，二是采用太阳能/风能供电。

1) 通信站周边安防设备的供电方案

每个现地通信站已有供配电设施，靠近现地通信站的安防设备采用从通信站低压配电柜引低压电力电缆的方式解决供电问题。每个现地通信站周界每边长度平均为 1.2 km，如果动力电缆采用 4 mm² 截面的单相铜芯动力电缆，并且电缆长度采用与 A、B 类方案周界每边长度一致，经计算线路压降在 10% 左右，能满足用电设备正常的使用要求。因此确定采用电缆供电的距离范围为 1.2 km 范围内(见图 2)。

2) 沿渠两侧安防设备的供电方案

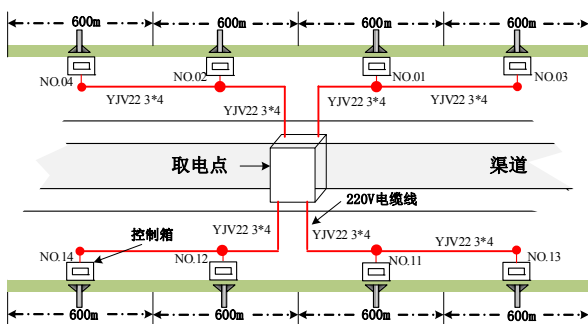


Figure 2. Power supply diagram for areas with a distance closer than 1.2 km

图 2. 现地通信站 1.2 公里电缆供电图

① 变压器供电方案

因为沿渠右岸全程架设或埋设有专用 35 kV 高压供电线路，因此可在沿线设置 35/0.4 kV 变压器，通过变压器将电压降到 0.4 kV，再敷设低压动力电缆为安防设备供电。方案特点是，供电安全可靠稳定，维护工作量少。但变压器供电方式有以下缺陷：因为安防负荷太小，35/0.4 kV 变压器的制造容量不可能太小，造成很大浪费；需要从 35 kV 线路上 T 接线路引入变压器，需要改造已安装完毕的部分 35 kV 线路和线杆，影响 35 kV 线路的正常运行，进而影响全线的闸站运行；从变压器处到安防设备负荷点仍需敷设低压电缆，因此变压器每隔 4 km 左右需设 1 台，否则低压电缆线路压降过大。因此造成 35 kV 线路 T 接点过多，可能的故障点也大大增加，造成 35 kV 线路可靠性下降，影响干渠供水的安全；全线需安装变压器并且敷设电缆，35 kV 变压器为定制产品，价格较高，全线敷设电缆，施工难度较大；电力设备被盗可能性比较大。因为以上原因，变压器供电方案不可行。

② 太阳能/风能供电方案

太阳能供电方式不受电源点和供电半径等因素制约，不消耗能源、无污染、维护简便、使用寿命长、光能源丰富。但太阳能供电设备含有蓄电池，蓄电池有寿命周期，太阳能电池板需定期清洁，维护工作量较电缆供电方案大。设备存在被盗的可能性。目前太阳能供电方式已经广泛应用于无线通信基站、高速公路摄像机供电、野外水文测报等不同的领域，已经是一种比较成熟可靠的供电方式。

风能也在广泛地使用中，然而考虑到沿线河南河北不属于我国典型风力资源丰富区，且当前风力发电系统成本较高，在中线干线工程安防系统供电设计中，将不考虑风能的使用。

综合考虑以上因素，太阳能供电方案是目前最可行的方案，因此现地通信站前后 1.2 km 范围外，沿渠两侧安防设备的供电方案采用太阳能供电方案。

3.2. 太阳能供电方案设计

3.2.1. 太阳能供电系统的组成

太阳能供电系统由太阳能电池组件、蓄电池组、智能控制器组成。电池板输出的直流电经智能控制器稳压后输入蓄电池，控制器输出端输出直流电供负载使用，其供电基本结构如图 3 所示。

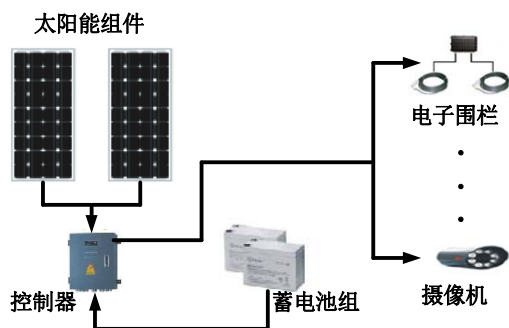


Figure 3. Diagram of solar power supply system
图 3. 太阳能供电系统结构图

1) 太阳能供电系统容量的计算

根据安防系统的太阳能供电设计，前端设备总用电负荷约 50 W，设备每天不间断满负荷工作 24 h，按照气象数据，有效光照时间按 4 h 计，春夏秋季连续阴雨天数 7 天，冬季连续 4 天。因此，蓄电池在充满电量状态下，春夏秋季应能支持摄像机工作 7 天，冬季能支持摄像机工作 4 天，系统电压 24 VDC。根据计算，太阳能电池组件设计功率 480 W，采用 2 块 250 W 单晶硅电池组件。电池容量设计值为 560 Ah，采用 12 块 2 V 铅酸免维护胶体蓄电池组件串联，组成 600 Ah/24 V 蓄电池组^[5]。

2) 太阳能电池板的安装

两块太阳能电池板组件固定安装在摄像机立柱上。根据中线干线工程气象数据，根据太阳能高度角计算，河南、河北地区最佳倾角为 40°左右，因此电池板组件的固定支架倾角为 40°。方位角采用 0°，即电池板朝向正南，支架设计并应考虑抗风强度。

3) 太阳能蓄电池的安装

低温对蓄电池的放电时间和寿命都有较大影响，根据安装地点冬季较寒冷的情况，采用挖坑放入地下的形式安装蓄电池组，以保持其野外工作时的工效和寿命。

4) 太阳能供电系统设备要求

模块化，结构紧凑，轻便；系统具有完善的过充、过放、电子短路、过载保护、防反接保护等全自动控制功能；效率高，性能稳定，使用寿命长，电气部分接线简洁、可靠，确保系统长期稳定运行。

3.2.2. 蓄电池储能单元的设计

蓄电池的选择方案原计划设计方案中计算的选电池组容量为 24 V/600 Ah，以此标准设计，现在可以

选择两种蓄电池组，一种为铅酸免维护胶体蓄电池组，另一种为锂电池组，以下为两种电池的参数对比，如表 1。

通过以上对比，相同容量的两种电池组，铅酸电池体积为锂电池的 2.6 倍左右，重量为锂电池的 2.5 倍。在等容量下，锂电池成本远远高于铅酸电池，但锂电池放电深度高于铅酸电池两倍，即用铅酸蓄电池组二分之一容量的锂电池组即可胜任此套系统，寿命也为铅酸电池的 4 倍，从长期电池成本上来讲，锂电池成本更为合适。到蓄电池标准寿命时长时，蓄电池组需要一次性大规模更换单体电池，从人员成本与运输成本上讲，铅酸电池组会是锂电池组的四倍。但是锂电池组需要可靠而精细的电池管理系统，需要另外设计制作，会增加一部分成本。

4. 中线干线工程中智能电网的应用思考

对于中线干线工程这样的远距离输水工程，线性度高、设备间距广、单个设备功率低，采用分布式供电系统进行供电有着显著的优势。

而同时，中线干线工程的渠道占用一定面积的国土，非常适合利用渠道上方的空间大面积铺设太阳能光伏组件进行光伏发电，在满足自身安防系统等供电需求的同时，通过智能电网技术的应用，合理地调配电能满足自身设备与系统的用电需求，并提供额外电

Table 1. Comparison between lithium and lead acid batteries
表 1. 锂电池和铅酸电池参数比较

对比项	铅酸蓄电池组	锂电池组
示例	铅酸免维护胶体蓄电池组	以钛酸锂为负极的锂电池组
构成	由 12 块 2 V/600 ah 的单体电池串联而成	由 300 块 2.4 V/20 ah 的单体电池 10 串 30 并构成
单体电池体积	约 243*174*365 mm	约 115*22*103 mm
单体重量	约 33.8 kg	约 515 g
总重量	约 400 kg	约 150 kg
工作温度	-30℃~60℃	-30℃~55℃
放电深度	60%	20%
寿命	充放电 2000 次	充放电 8000 次
成本	较低	约为铅酸电池的 5 倍
备注	电池管理系统较为简单	需要可靠的电池管理系统

能向周边村庄供电或并入电网中。

5. 结论

本文结合中线干线工程安防系统户外设备的供电需求,分析了引民电供电的不可行性,给出了现地通信站周边及渠道上的供电设计,包括从现地通信站引电及太阳能供电系统设计,并指出了未来智能电网在该系统中应用的方向。本文的研究成果可以为后期安防系统的建设提供有效支撑。

6. 致谢

本文作者想感谢黄河水利委员会信息中心陶付

领、诸葛梅君等提供的技术支持。

参考文献 (References)

- [1] 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. 南水北调中线建设管理局, 北京, 2-8.
- [2] 水利部南水北调规划设计局 (2003) 南水北调工程总体规划. 水利部南水北调规划设计局, 北京.
- [3] 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. 南水北调中线建设管理局, 北京, 200-220.
- [4] 张晓君, 刘皓明 (2002) 电工设计手册. 化学工业出版社, 北京, 88.
- [5] 刘振全 (2009) 高速公路太阳能供电系统的设计. *中国交通信息产业*, 2, 97-98.