

刚果布利韦索水电站过电压保护及接地研究

方珂, 廖祥君, 赵玉忠

(中水珠江规划勘测设计有限公司, 广东 广州 510610)

摘要: 针对刚果布土壤电阻率高及雷暴日多等特点, 利用 IEC 规范进行过电压保护与接地研究和计算。经验证, 设计接地网安全可行, 本次过电压保护及接地研究符合国际规范相应要求。

关键词: 过电压保护; 防雷接地; 接触电压; 跨步电压

中图分类号: TM862 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0112(2017)11-0050-04

刚果(布)利韦索水电站是一座以发电为主的水电站。位于刚果共和国北部尚加地区中心的伦加河上。引水发电系统由进水口、压力钢管和发电厂房组成。电站厂房为引水式地面厂房。电站装机容量为 19.92 MW, 安装 3 台混流式机组, 单机容量为 6.64 MW。2016 年底 3 台机组全部发电, 对刚果的经济发展产生了巨大的推动作用。鉴于刚果当地的土壤电阻率极高且雷暴日多, 对本项目的过电压保护及接地做专题研究是非常必要的。

1 过电压保护分类

1.1 暂时过电压

工频过电压一般由线路空载、接地故障和甩负荷等引起。本工程采用在架空线上设避雷线以及主变中性点直接接地方式来降低工频过电压。

谐振过电压一般因操作或故障引起系统元件参数出现不利组合而产生的, 采用在 11 kV 母线侧使用带消除铁磁谐振的电压互感器的方式防止谐振过电压。发电机中性点装设单相接地变压器加电阻装置接地, 采用故障瞬时跳闸保护。

1.2 操作过电压

在 11 kV 母线侧及 110 kV 母线侧设置无间隙的氧化锌避雷器以限制各种操作过电压。

1.3 雷电过电压

对于直击雷, 采用避雷针和避雷线对高压配电装置进行保护。在屋顶明敷避雷带对厂房及其他建筑物进行防直击雷保护。

对于雷电反击及雷电侵入波, 主要采用无间隙的

氧化锌避雷器保护, 避雷器参数按 IEC 60099-4-2004 和 IEC 60099-5-2000 的相关规定选择。发电机出口至 11 kV 母线侧采用中压电力电缆连接, 并且在 中压配电柜内装设电容器, 增加对地的电容值, 可有效降低过电压陡度, 避免对主变低压线圈绝缘的危害。

2 电气设备的绝缘水平

本工程所提供设备的绝缘耐压水平如表 1, 均满足或高于《IEC 60071-1-2011 绝缘配合. 总则》标准的绝缘水平要求。在各种运行方式下, 主要设备的最大过电压幅值均小于设备的绝缘耐压值, 满足 IEC 60071-2 标准的要求^[3-4]。由表 1 可知, 避雷器均能对各种设备进行保护。

3 接地系统

3.1 主接地网

主接地网的作用是分散故障入地短路电流, 保证跨步电势和接触电势满足人身安全的要求, 并保证设备的正常安全工作。利韦索水电站的主接地网由 110 kV 开关站地网、厂房大坝地网、溢洪道地网 3 个部分组成。每个部分的地网都是由埋入土壤内或混凝土内的接地导体焊接成的网格构成, 每 2 个地网之间连接点不少于 2 点。

3.2 土壤电阻率的测量

接地电阻率的测量由承包方进行, 分别对开关站、湿土中混凝土、坝区及河水中接地电阻率进行了测量。根据实测结果: ①开关站土壤电阻率: $\rho_1 = 2\ 635\ \Omega \cdot m$; ②大坝及厂房底板土壤电阻率: $\rho_2 = 2\ 635\ \Omega \cdot m$; ③水电阻率: $\rho_3 = 470\ \Omega \cdot m$ 。

收稿日期: 2017-07-31; 修回日期: 2017-09-04

作者简介: 方珂(1989), 男, 硕士, 工程师, 从事水电站电工一次设计工作。

表1 电气设备绝缘水平

系统		被保护设备					避雷器			
系统标称电压	系统最高电压	设备名称	1 min 工频耐压值	雷电耐压	额定电压	持续运行电压	标称放电电流	雷电残压	操作残压	
U_n/kV	U_m/kV		U_1/kV	U_2/kV	U_3/kV	U_4/kV	I/kA	U_5/kV	U_6/kV	
11	12.1	发电机	23	75	17.5	13.8	5	40	32	
		其他设备	28	95	$>1.25U_m$	$>U_m$	5	$<\frac{U_2}{1.4}$	38.3	
110	123	主变压器	230	550	108	84	10	281	239	
		其他设备	230	550	$>0.75U_m$	$>U_m/1.732$	10	$<\frac{U_2}{1.4}$	239	
					108	84	10	281	239	
					$>0.75U_m$	$>U_m/1.732$		$<\frac{U_2}{1.4}$		

3.3 最大入地电流值

根据 IEEE 665—1995 公式(11), 接地网的入地电流可按本式计算: $I_G = 3I_0 \times S_f \times D_f \times C_p$, 得出最大入地电流 $I_G = 0.74 \text{ kA}$ 。

3.4 接地电阻估算

3.4.1 接地网导体截面确定

根据 IEC 60364-5-54 的规定, 接地线的最小截面应满足如下要求:

$$S = \frac{I_{cc}\sqrt{t}}{k}$$

$$k = \sqrt{\frac{Q_c(\beta + 20)}{\rho_{20}} \ln\left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{\beta + \theta_i}\right)}$$

当接地体为铜导体时, 计算得出接地线所需最小截面为 10 mm^2 。当接地体为钢导体时, 计算得出接地线所需最小截面为 28 mm^2 。

同时, 考虑到当地特殊的酸性腐蚀作用, 位于水下及开关站的接地体腐蚀量按 0.2 mm/a 计算, 30 a 后的扁钢剩余最小厚度仍要保证大于 $6 \text{ mm}^{[1-2]}$ 。综上所述, 开关站、厂房底板、大坝溢洪道进水口接地导体均选择镀锌扁钢, 其截面积 $S = 720 \text{ mm}^2 (60 \times 12)$, 开关站垂直接地导体选择镀锌角钢 $L75 \times 75 \times 10$, 其截面积 $S = 1400 \text{ mm}^2$ 。开关站、厂房、大坝溢洪道进水口 3 个部分的地网之间的连接导体采用铜电缆, 其截面积 $S = 150 \text{ mm}^2$, 不少于 2 根。

所有连接设备与接地网格之间的导体采用铜绞线, 对于中压和低压设备的接地导体, 其截面积 $S = 35 \text{ mm}^2$, 对于主变压器中性点, 发电机中性点, 高压避雷器及独立避雷针的接地导体, 其截面积 $S = 95 \text{ mm}^2$ 。

3.4.2 电站接地电阻估算

由于整个电站的主接地网主要由 3 部分组成, 开

关站、大坝厂房、溢洪道 3 个部分, 因此, 电站的主接地电阻为这 3 个部分的地网电阻并联值(不考虑互阻)。

1) 开关站地网接地电阻

开关站的接地网平面布置采用 $6 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 的接地网格。

根据 IEEE 665—1995 公式(12), 开关站接地网电阻计算公式为:

$$R_1 = \rho_1 \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A_1}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A_1}}} \right) \right)$$

得出开关站接地电阻为 18.28Ω 。

2) 大坝厂房地网与溢洪道地网并联的总接地电阻 (R_2):

$$R_2 = \frac{0.5\rho_2\rho_3\sqrt{S}}{\rho_2S_2 + \rho_3S_3}$$

得出大坝厂房地网与溢洪道地网并联的总接地电阻 1.72Ω 。

3) 整个电站的接地电阻

整个电站的接地电阻按下式计算:

$$R_g = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{18.28} + \frac{1}{1.72}} = 1.575 \Omega$$

考虑 1.5 倍的并联系数, 故 $R_g = 1.575 \times 1.5 = 2.36 \Omega$ 。

3.5 接地网可行性的判断

1) 地电位升高

根据 IEEE 665—1995 公式(10), 得到地电位升高值:

$$\text{GPR} = I_G \times R_g = 740 \times 2.36 = 1746 \text{ V} < 2000 \text{ V}$$

2) 跨步电压和接触电压允许值

根据 IEEE 665—1995 第 5.2.7 节和 IEEE 80—2000 第 7.4 节的相关规定,考虑体重为 50 kg 的人,其跨步电压和接触电压允许值可分别按下式计算:

$$E_{\text{step}50} = (1\,000 + 5C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{\text{souch}50} = (1\,000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

体重 50 kg 人的跨步电压 $E_{\text{step}50} = 4\,877\text{ V}$, 体重 50 kg 人的接触电压 $E_{\text{souch}50} = 1\,306\text{ V}$ 。

3) 开关站实际的网孔电压和地网角落外沿跨步电压

根据 IEEE 665—1995 第 5.2.9 节的相关规定,本电站按初步设计方案设计后的网孔电压和地网角落外沿接触电压可分别由下式计算:

$$E_m = \frac{\rho I_k G_m K_i}{L_c + 1.15L_r}$$

$$E_s = \frac{\rho I_c K_s K_i}{L}$$

网孔电压 $E_m = 1\,238\text{ V}$, 地网角落外沿跨步电压 $E_s = 1\,026\text{ V}$ 。

根据上述计算,可知:

$$E_m = 1\,238\text{ V} < E_{\text{touch}50} = 1\,306\text{ V}$$

$$E_s = 1\,026\text{ V} < E_{\text{step}50} = 4\,877\text{ V}$$

结论:本主接地网是安全可行的。

4 防雷

4.1 防雷等级

根据中国各地区的实测资料,雷电流大于 108 kA 的几率在 10% 左右,而且各个国家的雷电流波形差别不大,故本工程所在地区的雷电流按 100 kA 估计^[1-2],主体工程归为 III 类防雷等级(IEC 62305-1-2010)。采用滚球法确定避雷针(线)的保护范围,滚球半径 h_r 为 45 m^[5]。

4.2 防雷接地的构成

1) 在 110 kV 开关站采用构架上架设避雷针的方式进行防直击雷保护,共设置 4 根避雷针。

$$\text{计算公式: } r_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)}$$

在 110 kV 开关站采用构架上架设避雷针(针高为 20 m)的方式进行防直击雷保护,共设置 4 根避雷针。由计算结果可知,保护对象均在保护范围内。110 kV 出线全程设避雷线进行防雷保护;所有装设避雷线的钢构架,采用镀锡铜绞线作接地引下线将雷电流从顶部的避雷线引下,与主接地网牢固连接。

2) 厂房及其他建筑物防雷

在厂房及其他建筑物的屋面上,采用钢导体沿屋

面敷设成 10 m × 10 m 或 12 m × 8 m 的网格避雷带,做为防雷接闪器。接闪器通过混凝土内的接地导体引下线和厂房主接地网相连接。

5 工作接地

1) 110 kV 主变压器中性点以及 110 kV 接地开关直接与主接地网连接。

2) 发电机中性点通过高电阻(接地变压器)接地,如发电机发生接地故障,短时间内即可停机。

3) 400 V 低压系统中性点直接接地,采用 TN-S,照明系统,采用 TN-S。

6 保护接地

根据利韦索水电站招标文件和相关规范的要求,利韦索电站及其户外开关站的电气装置和设施的下列金属部分,均应接地:

1) 主变压器、厂用电变压器的外壳、铁芯、夹件和中性点;

2) 电气设备传动装置、电动机和厂房内外电器等的底座和外壳;

3) 互感器的二次绕组;

4) 发电机中性点及其接地变压器柜外壳、发电机配电装置柜外壳等;

5) 配电、控制、保护用的屏(柜、箱)及操作台等的金属框架;

6) 所有铠装控制电缆的外皮;

7) 屋内外配电装置的金属架构和钢筋混凝土架构以及靠近带电部分的金属围栏和金属;

8) 电力电缆接线盒、终端盒的外壳,电缆的外皮,穿线的钢管和电缆桥架等;

9) 装有避雷线(针)的架空线路杆塔、进出线构架;

10) 升压站内所有电气设备。

7 建议

接地网施工完成后,应进行接地电阻值、接触电压和跨步电压的测量,确保人员和设备安全。由于土壤电阻率不均匀的影响,实际测量的接地电阻值可能与报告中的估算值存在差别,但只要满足以下 2 个条件,接地网就是安全可靠的:

1) 地电位升高 $GPR = I_G \times R_g \leq 2\,000\text{ V}$

2) 最大接触电压 $E_m < E_{\text{touch}50}$

最大跨步电压 $E_s < E_{\text{step}50}$

在本工程主体施工完成后,进行了接地电阻、接触电压、跨步电压等项目的测量工作,均与本次研究的计算理论值接近,满足规范要求。

8 结语

通过本次过电压保护和接地的专题研究, 选择了合理的电气设备, 设计的接地网安全可靠, 防雷设施可以完全覆盖被保护物的范围, 保障了利韦索水电站项目的安全可靠, 为后续的顺利并网发电起到了保驾护航的作用。

参考文献:

[1] 王仲仁. 英布鲁水电站接地问题研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.

- [2] 沈文兰, 许冬语, 李建国. 英布鲁水电站接地设计的特点[J]. 水利水电工程设计, 2011, 30(4): 55-57.
- [3] 绝缘配合 第2部分: 应用导则: IEC 60071-2-1996[S].
- [4] 避雷器 第4部分: 交流电系统用无间隙金属氧化物避雷器: IEC 60099-4-2004[S].
- [5] 防雷保护 第3部分: 对建筑物的物理损坏和生命危险: IEC 62305-3-2006[S].

(本文责任编辑 王瑞兰)

Research on over-voltage protection and grounding of Liouesso Hydropower Plant

FANG Ke, LIAO Xiangjun, ZHAO Yuzhong

(China Pearl River Water Resource Planning Surveying & Designing Co., Ltd., Guangzhou 510610, China)

Abstract: In order to ensure the Power Station equipment and personal safety and for the characteristics of high resistivity and many thunderstorm days in Congo, The paper introduces the research and calculation of over-voltage protection and grounding by using IEC standard in the process of electrical design of the Liouesso Hydropower Plant. After verification, the design of the grounding grid is safe and feasible. It is proved that this over-voltage protection and grounding study is in line with the corresponding requirements of international norms.

Keywords: over-voltage protection; lightning protection; grounding contact voltage; step voltage

(上接第45页)

- [2] 邓孺孺, 何执兼, 陈晓翔, 等. 珠江口水域水污染遥感定量分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2002, 41(3): 99-103.
- [3] 邓孺孺, 何执兼, 陈晓翔, 等. 基于二次散射的水污染遥感模型及其在珠江口水域的应用[J]. 海洋学报, 2003(11): 69-78.
- [4] 张海龙, 孙德勇, 孙德勇, 等. 基于GF1-WFV和HJ-

CCD数据的我国近海绿潮遥感监测算法研究[J]. 光学学报, 2016(6): 1-9.

- [5] 代侦勇, 张伟, 陈晓玲, 等. 应用HJ-CCD传感器指数的鄱阳湖TSM浓度遥感监测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2013(11): 1303-1307.

(本文责任编辑 马克俊)

Application of Multi-source Satellite Remote Sensing Data and Water Color Remote Sensing Technology to Sand Monitoring of Hedi Reservoir

YANG Jingxue, CHENG Liangxiong, LI Weitian, GAO Yishan

(Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangdong Provincial Key Laboratory of Hydrodynamics, Guangzhou 510635, China)

Abstract: In recent years, sand excavation comes out frequently in Hedi Reservoir, and the relevant management urgently hope to understand the the temporal and spatial distribution of sand excavation in the reservoir area, so as to guide the reservoir area management and law enforcement activities. In this paper, the suspended sediment concentration of Hedi Reservoir is analyzed based on multi-source satellite remote sensing data and water color remote sensing technology. Combined with on-site research, high concentration of suspended matter is found in the presence of sand excavation area. It is believed that the spatial and temporal changes of sand excavation of reservoirs can be monitored based on multi-source satellite remote sensing data and water color remote sensing technology, and the management personnel of reservoir area can be enrolled.

Keywords: reservoir; water color remote sensing; sand excavation; water environment protection