

电气一次回路设计

王镇华

(水电部成都勘测设计院)

南埡河三级水电站 1982 年底第一台机组投产, 1983 年全部竣工并网发电, 通过两年多运行考验, 于 1986 年 4 月经水电部委托西南电管局会同省建委等正式验收, 现已运行五年多, 电气一次设备运行正常, 且使电站投入运行就达到设计出力, 每年都超额完成发电计划。

设计中要求全部电气设备经过耐压试验, 正确合理选择合格产品, 是成功的主要原因。

一、系统的连接与电气主结线

1. 电站与电力系统的连接

根据当时省计委和省电力局关于:“南埡河三级水电站与系统连接应结合南埡河梯级开发方式一并考虑”的指示, 南埡河梯级出线应有 220 kV 三回, 110 kV 一回, 35 kV 四回, 向电力系统和近区供电。当时安排开发次序“以三级为重点, 一、三级电站同时施工”。因此, 一回 110 kV, 四回 35 kV 均由一级电站出线, 三级电站只出二回 220 kV 线”。由于系统负荷的改变, 一级电站建设比原计划推迟, 一回 110 kV 改在三级电站出线。后又决定三级电站为石棉地区小型电站转送电力, 同时在三级电站厂房对岸另建一个 110 kV 降压变电站, 预留 110 kV 间隔, 作为今后地区负荷及大渡河上、下游电站施工用电, 石棉地区剩余电力用 35 kV 线送至 110 kV 降压站转送大系统。

2. 电气主结线

电站装机三台共 12 万 kW, 发电机额定电压 13.8 kV, 与主变压器组合方式: 一号机单独与 SPSO₃-90000/220/110 三相升压自耦变压器连接; 2、3 号机扩大单元与 SSPL₃-90000/220 三相双卷变压器连接, 高压为 220 kV。220 kV 侧用三台 SW₆-220 少油断路器内桥加外跨条接线, 在外跨条上加了两组 GW₄-220 高压隔离开关。此结线不影响今后梯级其它电站及乐山、西昌两电力系统之间穿越功率通过, 自耦变中压线卷用一回 110 kV 与厂房对岸 110 kV 变电站连接。

二、主要电气设备选择

1. 主变压器选择

根据主结线要求选择两台主变压器; 一台为 SPSO₃-90000kVA/220/110/13.8kV

三相自耦变压器，高、中、低压线卷容量为 90000/90000/45000kVA，一台为 SSPL₃—90000kVA/220/13.8kV 三相双卷变压器。受场地限制，两台主变压器选用强迫油循环水冷却。

2. 厂用变压器选择

厂用变压器布置在水轮机层上游侧，水轮机层空气潮湿，通风条件差，为保证安全可靠，选用油浸变压器。为了保证厂用电动机和照明端电压无大的波动，厂用变压器装有带负荷自动调压装置。以厂内电动机全部容量作为参加厂用电最大负荷确定其容量。厂用电最大负荷以三台机组同时运行行为最大，取网络系数 1.05、负荷系数 0.7 选两台 SLZ—800kVA/13.8/0.4 油浸变压器，分别接在发电机电压 I、II 段母线上。

3. 发电机母线选择

三台发电机 13.8 kV 引出线及两段汇流母线采用 LMR 型矩形铝母线，三台机组引出母线每相选用 2 片 100×10 平放，2、3 号机 I 段汇流母线按每相 4 片 120×10，室内段立放，室外段平放。

4. 110、220 kV 铝锰合金管母线选择

由于自耦变压器布置在主厂房与陡岩之间，场地狭窄，从自耦变压器 220 kV 套管出线至 220 kV 变电站及 110 kV 套管出线至 110 kV 变电站，靠厂房段布置软导线已不可能，决定选用当时国内刚开始采用的 FL—70/64 铝锰合金管母线，以适应场地，其相距 220 kV 为 2.5 m，110 kV 为 1.5 m，比软导线布置减小场地宽度约 45%，管径选择要求满足跨距 11.5 m 构架刚度条件。考虑到管母线在长期引下线荷重及自重作用下，挠度会增大，在每个棒式绝缘子上安装支臂长 1.5 m 的双侧托架，在 220 kV 管母线每相中部加了一个伸缩节。

5. 高压断路器选择

(1) 三台发电机出线回路及厂用变压器回路都是选用 SN₄—20 G·6000 A 沈阳高压开关厂生产的少油断路器。铭牌标明：“当额定电压为 20kV、3000 MVA，断流容量未经试验校核，2000MVA 断流量已经试验校核可以保证达到”，又因断路器额定电压 20kV，其断流容量须乘系数 0.69，考虑了以上条件都能满足三相短路时通过五台断路器最大短路电流动、热稳定要求。

(2) 110、220 kV 断路器选用西安高压开关厂生产的 SW₆ 型少油断路器，由于断路器在合闸状态下，油压失去后重新打油时会造成慢分闸而引起爆炸，与西安高压开关厂配合，对第一台 SW₆—220kV 进行改装后才投入运行。其余各台补充订购材料，由电厂自行改装，以保证断路器安全断合。

三、电气设备布置

1. 电站枢纽电气布置

综合考虑地形条件，结合选定电气主结线，使中控室、副厂房、主变压器、变电站布置合理紧凑，保证电气设备安全运行，维护方便。因此，开关室布置在厂房上游侧与

三台机组平行, 两台主变压器放在开关室两端发电机层同高程, 从而缩短了三台机组引出线及两段汇流母线至主变压器距离。中控室及副厂房布置在主厂房上游端, 与发电机层相通。220 kV 变电站紧靠中控室, 110 kV 变电站设在主厂房下游端, 使 110、220 kV 变电站进线距离最短。电气与水机分区布置。电缆道布置在开关室下面与机组平行, 贯穿三个机组段, 一端与中控室电缆夹层、220 kV 变电站电缆沟相通, 另一端与 110 kV 变电站电缆沟相通, 电缆走向合理, 距离最短。

2. 发电机电压配电装置

每台机组三相 2 片 LMR—100×10 出线为水平排列, 布置在机组 +y 轴方向, 沿水轮机层顶部出线吊架去开关室楼板母线洞, 向上与对应 SN₄—20G 断路器相连。每台机组出口电压互感器布置在开关室底层对应小间内, 根据主结线特点, 将开关室两段汇流母线及电气设备布置成条形。各发电机中性点布置在水轮机层机组 +x 偏 -y45° 方向, 开关室设操作廊道, 在廊道中部及靠中控室侧有两个安全门与发电机层相通。

3. 厂用及坝区变压器

两台厂用及两台坝区变压器布置在水轮机层上游侧开关室下部、与厂房平行分两端布置, 每台变压器单独布置在防爆小间内。GG—10 型 10 kV 高压开关柜和 BDL—1 型 0.4 kV 厂用配电盘, 布置在开关室内两段汇流母线之间, 维护方便, 电缆最短。

4. 110、220 kV 变电站

110、220 kV 变电站布置在户外, 利用河滩将 220 kV 变电站布置为长条形中型等平面配电装置, 紧靠中控室, 高于发电机层 1.7 m, 桥形外跨条从变电站两端引出跨南堰河成等腰三角形, 自耦主变高压侧出线进入 220 kV 变电站沿开关室段用铝锰合金 FL—70/64 管母线, 从双卷主变至 220 kV 变电站为 LGJQ—500 钢芯铝绞线。110 kV 变电站位于安装间外与发电机层同高程。自耦变高、中压侧套管出线两组磁吹避雷器受场地限制, 只能布置在开关室顶部平台上。

四、过电压保护设计

1. 厂房及 110、220 kV 变电站直接雷与感应雷大气过电压保护

(1) 直接雷保护 为防止厂房及 110、220 kV 变电站直接雷击, 在两变电站构架上, 厂房尾水渠旁及后山适当位置设置了 9 只避雷针, 为了减小接地线入地处冲击电阻, 在每只避雷针引下线附近设置了 3×3×3 m 接地坑。

(2) 110、220 kV 电气设备反击电压校验 110、220 kV 变电站避雷针安装在构架上, 接地引下线距离电气设备很近, 当雷击避雷针时, 变电站接地网上 110、220 kV 电气设备冲击试验电压水平, 因而变电站电气设备不会遭受反击电压损坏。

(3) 双卷主变低压侧铝母线感应电压校验 双卷主变低压侧约 20 m 长矩形铝母线, 从开关室引出沿墙布置, 该母线处于九里变电站出线门型构架避雷针附近。雷击避雷针时, 钢构架和接地体上产生很高冲击电压 U_{cm} , 同时, 空中迅速变化的电磁场还在附近敞露铝母线上感应一相反符号的感应过电压 U_i , 由于九里变电站出线有两回避雷线

蔽屏作用,其感应过电压最大瞬时值 U_i 为288.27 kV。此值虽然低于双卷主变中性点绝缘水平,但对发电机及主变压器低压线卷绝缘有严重危害。考虑到本电站主变低压侧母线长度仅20m,安装于厂房外墙距地面5 m处,以石棉防雨盖板钢框架覆盖,框架及母线构架基础与厂房钢筋焊接接地,对感应过电压起到屏蔽作用,故不必再对3号发电机线卷采取保护措施。

2. 110、220 kV 变电站配电装置及两台主变压器雷电侵入波过电压保护

(1) 110、220 kV 变电站配电装置雷电侵入波保护 除了在110、220 kV 出线全线用双回架空避雷线保护外,还在桥形主结线两结点加装了两组FCZ—220 J 避雷器保护220 kV 变电站电气设备。

(2) 两台主变压器雷电侵入波的过电压保护 220 kV 绕组雷电侵入波的保护与装在220 kV 变电站桥形两点结点上FCZ—220 J 避雷器相结合,为保证安全,只按一回220kV 出线,全线有双避雷线,查规程曲线,变压器至避雷器之间纯架空线电气距离允许值80 m,220 kV 变压器绕组出口过电压值为670 kV,此过电压值小于规程中标明变压器绝缘水平值750 kV。因此,220 kV 变电站安装的两组避雷器满足双卷变220kV 绕组雷电侵入波过电压保护要求。

(3) 110、220 kV 架空线路雷电侵入波对两台主变压器低压绕组及发电机绕组过电压校验 发电机出口断路器合上运行,变压器低压绕组和发电机绕组承受反击电压 U_2 为8.98 kV,此值大大低于变压器低压绕组允许承受绝缘耐压水平,不需加避雷器来保护。

发电机出口断路器断开运行,雷电侵入波对发电机绕组绝缘无危害。但变压器低压绕组上承受电压 U_2 为269.34 kV,此值大于两台主变低压绕组允许值108 kV。因此,除了按原规程在自耦变低压侧装设一只FCD—15 避雷器外还考虑按新规程,建议电厂在双卷变压器低压侧断路器至变压器之间增设一组FCD—15 避雷器(原颁发过电压保护规程无此要求)。此避雷器5 kA 残压值 $U_r=49$ kV,小于108 kV,此残压对两台主变压器低压绕组绝缘无危害。

3. 双卷主变中性点过电压保护

220 kV 双卷变中性点是按110 kV 分级绝缘设计的,变压器运行中将受到以下三种情况过电压分别计算数值如下:

三相侵入雷电波时,变压器中性点上的大气过电压 $U_{bz.3}$ 为626.1 kV。

直接接地系统,单相接地时变压器中性点的暂态过电压 $U_{bz.2}$ 为93.3 kV,工频电压 $U_{bz.2}$ 为51.84 kV。

断路器非同期动作时变压器中性点过电压。省中心调度所要求本电站两台主变中有一台中性点经常接地,由于自耦变中性点是必须经常接地的。因此,双卷变中性点处于不接地运行所产生内过电压分别为单侧电源时,中性点产生操作过电压为438.22kV,双侧电源时,中性点产生工频过电压为292.15 kV。

从以上计算数值,可得双卷主变中性点不接地时,产生工频过电压及操作过电压均大于220 kV 变压器中性点分级绝缘水平,即:工频试验电压220 kV,冲击试验电压400 kV。为此,必须对变压器中性点FCZ—110 J 保护,并用棒间隙保护,因断路器非

同期运行时避雷器可能因不能灭弧而爆炸。结合本电站双卷主变中性点棒间隙距离以不大于 320 mm 为宜, 与实验值同。为此双卷主变中性点, 已按此值安装棒间隙保护。

五、接地装置设计

本电站厂房处于山区狭谷岩石地区, 土壤电阻率很大, 为了做到接地装置既安全可靠又经济合理, 采取充分利用自然接地体和结合降低冲击接地电阻而设置人工集中接地坑措施, 将厂房及尾水渠底板钢筋焊接, 形成整体接地体再与全厂接地网相连接。为了降低防雷接地冲击接地电阻, 110、220 kV 变电站范围内设置了 10 个人工接地坑。只在 110、220 kV 变电站敷设以水平接地体为主的人工均压接地网, 别无加设人工集中接地装置, 从而大大节约了钢材, 达到满足规程规定电阻值的要求。

1. 工频接地电阻值测量

厂房变电站接地网工频接地电阻总值的测量采用 Δ 布极电流表—电压表法, 测量接地电极和辅助接地极, 设在离电站接地网约 1.5 km 处南坝河上游左岸旱地上, 两极之间相距约 400 m, 挖坑埋设 $\phi 50$ mm, $L = 2$ m 以上接地棒, 注盐水降低电阻率。1982 年 1 月当地最早季节用小容量柴油发电机作电源, 测得电站总的工频接地电阻值为 1.6 欧, 基本满足本电站接地技术要求。

2. 工频反击过电压校验

规程要求大接地短路电流系统发生单相或同点两相接地时, 发电厂、变电所电力设备接地装置的接触电压、跨步电压、工频电位升高计算值不应超过允许值。

(1) 允许值计算 接触电压 E_j 为 1935.5 V; 跨步电压 E_k 为 6774.2 V、规程要求工频电位升高值 $E_w < 5000$ V。

(2) 实际计算值 最大接触电压 E_{jm} 为 2155.7 V; 最大跨步电压 E_{jk} 为 916.9 V; 最大工频位升高值 E_{jw} 为 12064 V $> E_w = 5000$ V。

E_{jw} 不满足要求, 应校验是否影响电站 10 kV、15 kV 避雷器动作, 即: 要求避雷器允许最大接地电阻值 $R_i \geq$ 全厂实测电阻值 1.6 欧, 经计算

$$\text{FS 4—10: } R_i = 1.49 \text{ 欧} \approx R = 1.6 \text{ 欧}$$

$$\text{RCD—15: } R_i = 2.14 \text{ 欧} > R = 1.6 \text{ 欧}$$

据以上计算结果: 最大接触电压、跨步电压基本满足要求, 而最大工频电位升高值偏高一倍, 根据水电规程对高电阻率地区, 在满足避雷器不动作条件下, 可适当放宽接地装置电位升高允许值, 因而未作其它处理。