

国外水电

## 印度尼西亚水电开发考察启示

吴世勇, 张德荣

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610051)

**摘要:**2014年6月第82届国际大坝会议在印度尼西亚巴厘召开。借参会的机会,笔者对印度尼西亚水电开发现状进行了考察,并形成报告。印度尼西亚的水电蕴藏量极为丰富,但目前水电开发程度较低,只有7%的技术可开发水能蕴藏量得到了开发,水电将在该国未来的发展计划中扮演重要角色。

**关键词:**印度尼西亚;水电开发;现状与规划;考察

**中图分类号:**K712;TV74

**文献标识码:**B

**文章编号:**1001-2184(2015)02-0129-06

### 1 印度尼西亚水能开发现状与规划

#### 1.1 水能资源蕴藏量

印度尼西亚的降雨量受热带辐合带的季节性移动控制。当热带辐合带处于最南部时,每年的1月和2月成为印度尼西亚降雨量最多的季节;而当热带辐合带处于东南亚北部时,每年的7月至9月是印度尼西亚降雨量最少的季节。印度尼西亚平均年降雨量介于1 780~3 175 mm,一般4~9月为旱季,10月至次年3月为雨季,各地不完全一致。山区最多可达6 100 mm,山区以苏门答腊、西爪哇、加里曼丹、苏拉威西、巴布亚西部为最高。

印度尼西亚共有河流约5 590条,共有133个河流区域,水资源丰富,全国径流量28 113亿 $m^3$ ,占世界总量的6%,人均径流量19 000 $m^3$ 。但印度尼西亚水资源分布不均,东努沙登加拉部分地区降雨不足1 000 mm,而西苏门答腊省部分地区超过了3 500 mm。人均用水量在城市地区为每天180 L,农村为每天60 L。

印度尼西亚的水电蕴藏量极为丰富,理论水电总蕴藏量为2 147 000 MWh/a,技术可开发量约为401 646 MWh/a(74 976 MW)。2012年,印度尼西亚水电开发程度较低,只有7%的技术可开发水能蕴藏量得到了开发,水电将在该国未来的发展计划中扮演重要角色。

#### 1.2 水能开发现状

在印度尼西亚已建242座大坝中,有32座具有明显的水力发电效益。政府的公共工程部负责水资源开发,95%的坝为政府所有。

2012年,印度尼西亚全国各类电力总装机容量为33 993 MW,其中水电占比为15.5%(水电装机5 258 MW)。2012年,总发电量为171 000 GWh,水电发电量约11 000 GWh,占总发电量的6.4%。

目前,印度尼西亚水资源开发处于高潮,年均增长率较快。仅在2011年,该国推进的水电建设项目包括1 030 MW的Upper Cisokan项目,88 MW的Aceh项目,187 MW的Jatluhur项目,和90 MW的Karebbe项目。

#### 1.3 水能开发规划

印度尼西亚目前的灌溉面积仅占潜在灌溉面积的11.15%,生活和工业需水量不断增加,已建大坝等基础设施不再能充分满足对水资源的日益增长的需求,加上地质条件不佳,相当数量的大坝都需要基础处理。在小水电方面,农村电气化程度不高,政府希望通过小型和微型水电工程,将这一水平增加到45%。这一系列的影响,都意味着水电将在未来开发规划中成为重点。

印尼国家电力公司PLN(PT Perusahaan Listrik Negara)于2012年1月26日发布报告显示,

收稿日期:2015-01-29

表1 印度尼西亚已建的具有水力发电作用的部分大坝

| 序号 | 大坝名称           | 城市             | 河流            | 完成/起<br>运行年度 | 坝高<br>/m | 库容<br>/亿 m <sup>3</sup> |
|----|----------------|----------------|---------------|--------------|----------|-------------------------|
| 1  | Bakaru         | Pinrang        | Saddang       | 1990         | 15       | 0.0838                  |
| 2  | Batutege       | Lampung Tengah | Way Sekampung | 1995         | 120      | 6.3                     |
| 3  | Bening (Widas) | Madiun         | Bening        | 1984         | 35.6     | 0.33                    |
| 4  | Bili - bili    | Maros          | Jeberang      | 1999         | 73       | 3.05                    |
| 5  | Cileunca       | Bandung        | Cisangkuy     | 1924         | 19       | 0.12                    |
| 6  | Cirata         | Purwakarta     | Citarum       | 1988         | 126.5    | 32                      |
| 7  | Gajah Mungkur  | Wonogiri       | -             | 1982         | 40       | 7.35                    |
| 8  | Garung         | Banjarnegara   | Klahan        | 1983         | 36       | 0.27                    |
| 9  | Djuanda        | Purwakarta     | Citarum       | 1967         | 105      | 25.56                   |
| 10 | Kalola         | Sidrap         | Bila          | 1995         | 34.8     | 1.26                    |

表2 印度尼西亚在建水电站

| 序号 | 水电站          | 装机容量 (万千瓦) | 预计完工时间(年) |
|----|--------------|------------|-----------|
| 1  | Asahan3      | 17.4       | 2015      |
| 2  | Jatigede     | 11         | 2014      |
| 3  | Wampu        | 4.5        | 2014      |
| 4  | Peusangan1,2 | 8.6        | 2015      |
| 5  | Baliem2      | 1级5,后期17   | 2017      |
| 6  | Batang Toru  | 51         | 2018      |
| 7  | Karamak      | 45         | 2017      |
| 8  | Merangin     | 35         | 2017      |

印度尼西亚有大的水电增长潜力,已确定全国有96个有潜力的水力发电地点。这些地点中,约60%将由 PLN 开发,其余的将由独立电力生产商负责。根据该国政府的水电发展规划,到2028年,全国将有79个水电项目陆续建设,总装机达12 368 MW。

此外,根据2010年 PLN 公司的研究和世界银行的研究报告,印度尼西亚在小型和微型水电

的开发上也具有很大的开发前景。印度尼西亚政府的目标是使农村电气化覆盖率达到45%,为此需要实现48 562个村庄的电气化,主要依赖于小型和微型水电站。正在运行的小型、微型电站总装机达166 MW,拟建的小电总装机约55 MW(30座电站)。预计到2015年,印度尼西亚小水电装机将新增加20 MW的装机。

## 2 考察电站情况

表3 印度尼西亚规划建设的水电站

| 序号 | 水电站           | 装机容量 /MW | 预计完工时间(年) |
|----|---------------|----------|-----------|
| 1  | Asahan4       | 180      |           |
| 2  | Bakaru2       | 126      | 2020      |
| 3  | Bonoto - Batu | 213      |           |
| 4  | Kayan         | 250      | 2017      |
| 5  | Kusan3        | 65       |           |
| 6  | Malea         | 182      | 2019      |
| 7  | Maung         | 200      | 2017      |
| 8  | Rajamandala   | 47       |           |
| 9  | Semangka      | 56       | 2016      |
| 10 | Hasang        | 40       | 2016      |
| 11 | Peusangan4    | 83       | 2017      |
| 12 | Lawe Mamas    | 60       | 2016      |
| 13 | Kalikonto2    |          | 2017      |
| 14 | Sawangan      |          | 2016      |
| 15 | Maung         | 20       |           |

此次考察主要集中在爪哇岛西部(西爪哇省),包括Jatigede坝、Cirata坝和Djuanda坝。

### 2.1 Jatigede 坝

Jatigede 坝位于西爪哇(West Java)省 Sumed-



ang地区的Cimanuk河上,建设工期为2009年至2014年,主要用于灌溉、供水、发电以及防洪。

大坝坝址汇流面积 $1\,462\text{ km}^2$ ,年平均降雨量 $2\,200\text{ mm}$ ,年径流量 $25\text{ 亿 m}^3$ 。水库正常蓄水位高程 $260\text{ m}$ ,相应库容 $9.8\text{ 亿 m}^3$ ;死水位高程 $230\text{ m}$ ,相应库容 $1.94\text{ 亿 m}^3$ ;防洪水位高程 $262\text{ m}$ ,相应库容 $10.63\text{ 亿 m}^3$ 。

主要建筑物由粘土心墙堆石坝、溢洪道、灌溉引水系统、发电厂房等组成。粘土心墙堆石坝最大坝高 $110\text{ m}$ ,坝顶高程 $265\text{ m}$ ,坝顶长度 $1\,715\text{ m}$ ,坝顶宽度 $12\text{ m}$ ,大坝总填筑量 $670\text{ 万 m}^3$ 。溢洪道为河床式溢洪道(有闸门),堰顶高程 $247\text{ m}$ ,

堰顶宽度 $52\text{ m}$ ( $4\text{ 孔} \times 13\text{ m}$ ),最大溢流量 $11\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。灌溉引水系统为钢筋混凝土管道,进水口高程 $221\text{ m}$ ,长 $166\text{ m}$ ,宽 $3.9\text{ m}$ ,高 $4.1\text{ m}$ 。电站位于右岸,装机 $2\text{ 台}$ ,总装机容量 $110\text{ MW}$ ,多年平均发电量 $6.9\text{ 亿 kWh}$ 。工程总投资约 $4.14\text{ 亿美元}$ 。

该项目是中国和印尼两国政府合作的第三个基础设施工程,由中国进出口银行提供优惠买方信贷,设计单位为四川省水利水电勘测研究设计院,施工单位为中国水利水电建设集团公司与印尼当地承包方的联营体。

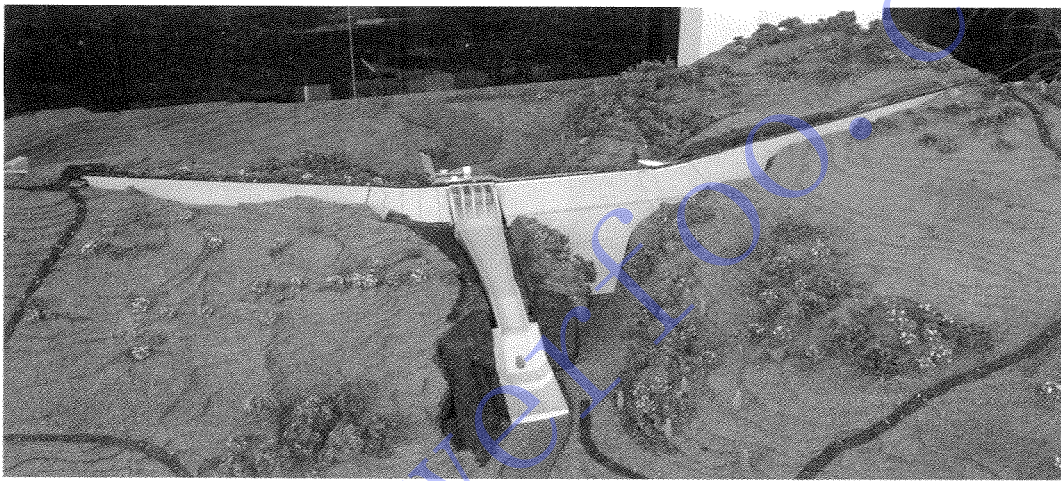


图1 Jatigede 大坝模型

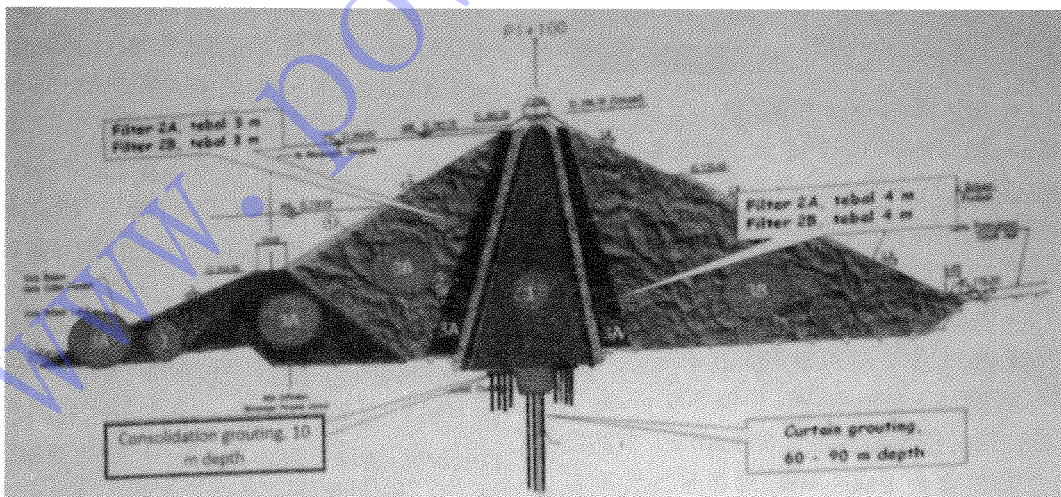


图2 Jatigede 大坝断面图

## 2.2 Cirata 坝

Cirata 坝位于西瓜哇(West Java)省 Purwakarta 地区的 Citarum 河上,工程分两期建设,第一期为1983年至1988年,第二期为1995年至1997

年(在二期4台机组基础上新增4台机组),主要用于发电。

大坝坝址汇流面积 $4\,119\text{ km}^2$ ,年平均降雨量 $2\,500\text{ mm}$ 。水库正常蓄水位高程 $220\text{ m}$ ;死水位





图3 Jatigede 大坝粘土心墙施工

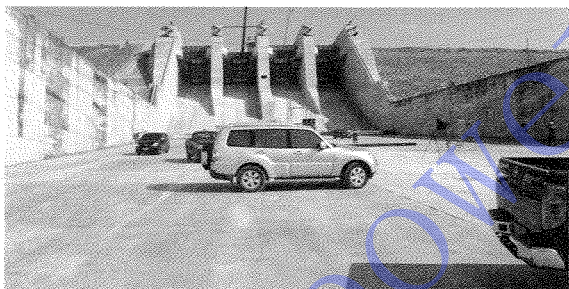


图4 Jatigede 大坝溢洪道

高程 205 m, 相应库容 1.77 亿  $m^3$ ; 防洪水位高程 223 m, 相应库容 21.65 亿  $m^3$ 。

主要建筑物由混凝土面板堆石坝、左岸泄洪洞、发电厂房等组成。混凝土面板堆石坝最大坝高 126.5 m, 坝顶高程 225 m, 坝顶长度 451.5 m, 坝顶宽度 15 m, 大坝总填筑量 385 万  $m^3$ 。左岸两个泄洪洞(有闸门)直径 10 m, 长度 500 m, 进口底高程 208.5 m, 最大溢流量 2 680  $m^3/s$ 。电站装机 8 台, 总装机容量 1 008 MW, 多年平均发电量 14.28 亿 kWh。

工程设计单位为日本 JEC 与印尼 PT Indra Karya, 施工单位为日本 Mitsubishi 与印尼 PT Pembangunan Perumahan 的联营体。

### 2.3 Djuanda 坝



图5 Cirata 大坝上游面板

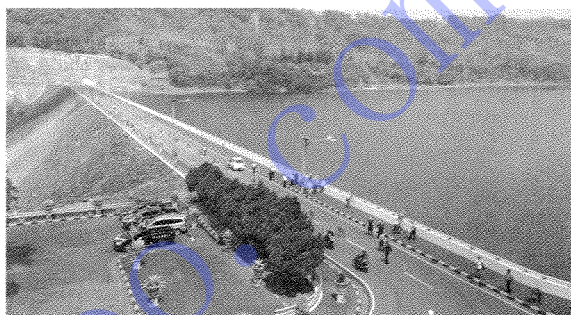


图6 Cirata 大坝俯视图

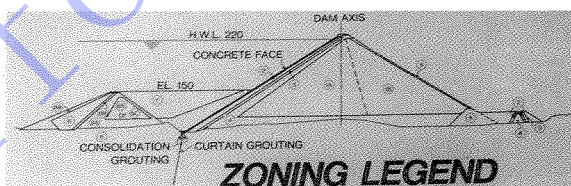


图7 Cirata 大坝断面图

Djuanda 坝位于西瓜哇(West Java)省 Purwakarta 地区的 Citarum 河上, 建设工期为 1957 年至 1967 年, 主要用于灌溉、供水以及发电。印尼首都雅加达地区 80% 的供水来自于 Djuanda 坝。

大坝坝址汇流面积 4 500  $km^2$ , 年平均降雨量 2 200 mm。水库正常蓄水位高程 107 m, 相应库容 25.56 亿  $m^3$ ; 死水位高程 75 m, 相应库容 9.6 亿  $m^3$ ; 防洪水位高程 111.5 m, 相应库容 28.93 亿  $m^3$ 。

主要建筑物由粘土斜心墙堆石坝、泄水建筑物、辅助溢洪道、灌溉引水系统、发电厂房等组成。粘土斜心墙堆石坝最大坝高 105 m, 坝顶高程 114.5 m, 坝顶长度 1 220 m, 大坝总填筑量 9 100 万  $m^3$ 。由于基础条件差, 开挖隧洞困难较大, 为节约工程投资, 设计单位将泄水建筑物、灌溉引水系统、发电厂房均布置在大坝上游的一个圆形混凝土塔内。圆形混凝土塔高 108 m, 直径 90 m。电站进水口及溢流堰(无闸门)在塔顶部交叉布置, 发电厂房布置在塔底部、装有 6 台单机容量



31 MW 的水力发电机组。塔底部布置有 2 条泄水洞兼作电站尾水隧洞和灌溉输水洞,隧洞长 780 m,过水能力  $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。辅助溢洪道利用右岸天然地形堰口,设置 4 孔,尺寸  $12.4\text{ m} \times 9.6\text{ m}$ ,总泄流能力为  $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。

工程设计单位为法国 Coyne Et Bellier,施工单位为法国 Campagnie Francaise d'entreprise。

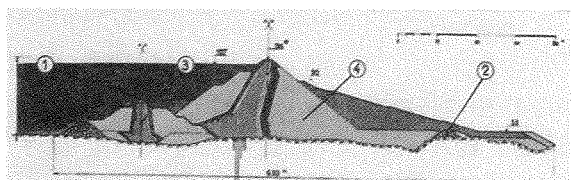


图8 Djuanda 大坝断面图



图9 Djuanda 大坝喇叭形竖井泄洪洞

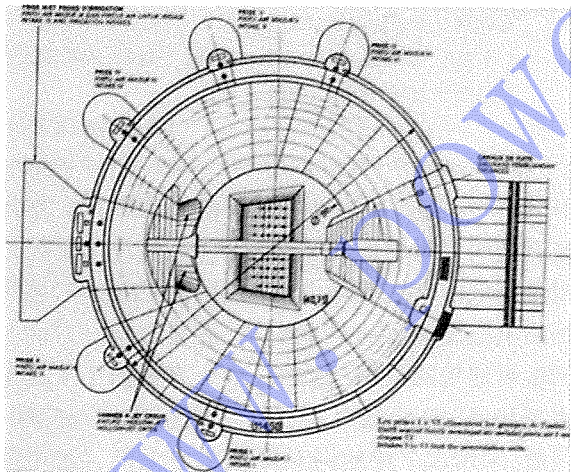


图10 Djuanda 大坝喇叭形竖井泄洪洞横剖面示意图

### 3 Telaga Tunjung 坝

会议期间还考察了巴厘岛上的 Telaga Tunjung 坝。Telaga Tunjung 坝位于巴厘岛上,工程于 2008 年建成。主要用于灌溉和供水。

大坝坝址汇流面积  $81.5\text{ km}^2$ ,年平均降雨量  $2\,600\text{ mm}$ ,年径流量  $0.98\text{ 亿 m}^3$ 。水库正常蓄水位高程  $199\text{ m}$ 、死水位高程  $190.7\text{ m}$ 、防洪水位高程  $201.51\text{ m}$ 、总库容  $126\text{ 万 m}^3$ ,其中调节库容

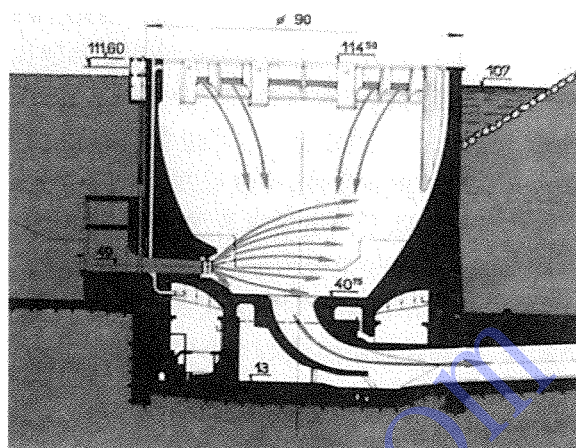


图11 Djuanda 大坝喇叭形竖井泄洪洞纵剖面示意图  
 $100\text{ 万 m}^3$ 。

主要建筑物由粘土心墙堆石坝、溢洪道、灌溉引水系统等组成。粘土心墙堆石坝最大坝高  $33\text{ m}$ ,坝顶高程  $203\text{ m}$ ,坝顶长度  $225.4\text{ m}$ ,坝顶宽度  $6\text{ m}$ 。溢洪道布置在右岸,堰顶高程  $199\text{ m}$ ,堰顶宽度  $93\text{ m}$ 。灌溉引水系统由进水塔和引水管道组成,引水流量为  $1.866\text{ m}^3/\text{s}$ ,引水管为 1 根直径  $700\text{ mm}$  的钢管和 2 根直径  $500\text{ mm}$  的钢管。



图12 Telaga Tunjung 坝上游坝面

### 4 启示

经过对印度尼西亚水电开发现状的初步了解,以及对西瓜哇省主要水电站和巴厘岛小型水库的考察,得到以下几点启示:

(1)印度尼西亚水能资源蕴藏十分丰富,而目前已开发利用的水电资源仅占  $7\%$ ,具有巨大的水电开发潜能。目前,印度尼西亚政府已加大推进水电开发的力度,但受到移民和环境因素的影响,大型项目的推进较为困难,小型和微型水电站的开发较为容易。

(2)印度尼西亚主要由六个大的岛屿组成,岛屿之间电网独立,各岛屿的电力需求及水能资源不均衡,电力生产供应方面无法进行统一调配,

在一定程度上也制约了水电的开发。因此,在推动水电开发的同时,应提前做好电网规划和建设。

(3)印度尼西亚水电站大部分均具有灌溉和供水的作用,因此其建设对于周边农业、工业的发展具有积极的推动作用,印度尼西亚政府在大力进行水电开发除了用电需求的增加外、带动地区经济发展也是其中重要的考量因素之一。

(4)印度尼西亚政府环境保护工作的力度亟需加强,在参观的已建成的水库内均有大量的鱼

(上接第110页)

阻,改善可控硅全控整流桥的导通,以便励磁系统的稳定和试验,同时对励磁的闭环建压启动也有一定的好处,特别对倒送电的试验起到最好的效果,显得尤为重要。因此,建议励磁系统考虑这个外加引导电阻。为了保障可控硅整流桥一开始的维持电流,根据理论和经验计算,此引导电阻  $R_s$  一般取 100 欧姆/100 W 左右参数即可,如图 3:

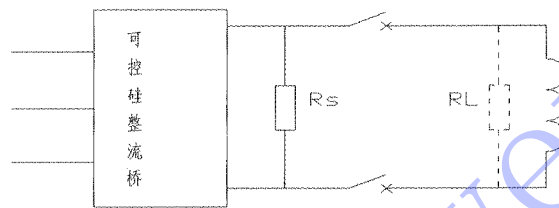


图 3

(上接第119页)

距水平地面深度不小于 3.2 m。防腐离子接地体的顶端距目前地面为 -0.2 m,采用引上线与接地扁钢连接。电极的安装和 HC 高能回填料的施工遵循产品配套的《施工演示光盘》或现场技术人员的指导。顶端的 0.2 m 区域,采用水泥灌浆密封固定,降阻的同时,加强整个水下地网的牢固性。

扁钢与扁钢之间采用电焊,焊接时应三面施焊,搭接长度不小于扁钢宽度的 2 倍,焊点作去渣防腐处理。

### 5 效果和经验

2014 年往子沟电站水下接地外延网改造完成后,实测电站的接地电阻为 0.8  $\Omega$ ,满足设计规范小于  $\leq 1 \Omega$  的要求。满足了电站正常投运发电的要求,改造资金投入相较于地面外延网投资约

类网箱养殖,已严重影响到水库的水质。

### 参考文献:

[1] 黄欣,印度尼西亚小水电投资市场初探. 能源·水利[J], 2014.8:104-106.

### 作者简介:

吴世勇(1965-),男,四川仁寿人,副总经理,教授级高工,博士,长期从事水力电力经济管理和水电建设管理;  
张德荣(1983-),男,山东聊城人,工程师,主要从事水电设计管理研究.

(责任编辑:卓政昌)

### 4 结 语

虽然励磁系统在闭环建压并网中没有任何异常,但遇上带转子倒送电时就有可能出现突变的危险,在励磁装置输出端并接一引导电阻以确保可控硅导通所需要的最低维持电流,以帮助整流桥面对发电机大电感转子的良好通流。避免励磁系统和发电机转子不必要的突变尖峰过压损害。

### 作者简介:

曾毕鹏(1964-),男,广东兴宁人,大学学历,工程师,现从事水电行业经营管理工作;  
黄柏华(1968-),男,湖北赤壁人,中专学历,工程师,现从事水电站电气二次维修及调试工作;  
汪 洁(1976-),女,湖北武汉人,本科学历,工程师,现从事水电行业技术管理工作.

(责任编辑:卓政昌)

节约 30% 左右,且达到了良好的降阻效果。本次改造证明了利用低电阻率的水源,敷设水下接地网是降低水电站接地电阻的主要方法之一,特别是高电阻率地区的小水电站,接地面积一方面受到地形地貌的限制与约束,另一方面由于土壤电阻率极高,对降低电阻设置了诸多难题与障碍。因此,采用水下接地网对降低水电站的接地电阻具有明显且切实有效的效果。

### 参考文献:

[1] 水利部水资源管理司,水利部水资源管理中心. 编著. 建设项目水资源论证培训教材. - 北京:中国水利水电出版社, 2005.

### 作者简介:

何 雪(1980-),女,四川内江人,工程师,从事电力系统及自动化工作.

(责任编辑:卓政昌)