

# 乌东德水电站大坝建设进度及缆机规模研究

覃春安

(中国葛洲坝集团股份有限公司 市场开发部,湖北 宜昌 443002)

**摘要:**介绍了乌东德水电站大坝进度及缆机规模研究的主要技术问题,通过研究,提出了技术措施及控制目标,进一步减少了不可预见因素对工程目标实现的影响。

**关键词:**乌东德水电站;大坝;进度及缆机规模研究;缆机系统布置与规模;控制性工期

**中图分类号:**TV642;TV51;TV53

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2012)02-0036-04

## 1 概述

(1)项目概况。乌东德水电站是金沙江下游河段四座水电站(乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝)中最上游的梯级电站,以发电为主,兼顾防洪、航运和其他综合利用;装机容量为10 200 MW。

大坝为混凝土双曲拱坝,河床最低建基面高程723 m,坝顶高程为988 m,最大坝高265 m。大坝分为15个坝段,其中河床中部5#~10#坝段为溢流坝段(设6个中孔、5个表孔),左岸1#~4#坝段、右岸11#~15#坝段为非溢流坝段。

电站建设总工期为106个月,其中第一批机组投产工期90个月,采用全年挡水围堰、两岸导流隧洞泄流的导流方案。施工上总体具有规模大、工期紧、投资多、技术复杂等特点。

大坝混凝土量为245.9万 $m^3$ ,水垫塘消能建筑物混凝土量为26.34万 $m^3$ 。

(2)研究内容及目的。乌东德水电站大坝建设在即,提前研究大坝建设进度并合理设置缆机系统规模,将有利于工程建设的顺利推进。通过对大坝进度进行研究分析,确定缆机系统规模及规划布置方案。

(3)现场条件。坝址两岸地形陡峻,形成狭窄的“V”型河谷。高程1 150~1 200 m以下河谷狭窄,岸坡陡峻,坡角一般为 $60^\circ\sim 75^\circ$ 。尤其是高程900 m以下更为陡峻,呈绝壁状,岸坡坡角达 $82^\circ$ 。

坝址处枯水期水面高程约815 m,相应水面宽100~150 m,河床高程800 m左右。覆盖层厚

52.4~65.5 m,基岩面最低高程733.3 m。正常蓄水位高程975 m处河谷宽229 m,相应的河谷宽高比为0.95。

(4)工期要求。根据乌东德水电站总体规划,控制工期的总关键线路为:四通一平→导流隧洞及截流、围堰施工→大坝基坑开挖→大坝混凝土浇筑→水库蓄水→机组有水调试→机组发电→竣工。

## 2 研究思路

缆机规模的确定主要受进度因素的制约。通过对小湾、锦屏一级、溪洛渡、大岗山等水电站缆机使用情况进行调研并综合分析后得知,锦屏一级水电站大坝与本工程的可比性最好,其余电站在缆机布置、缆机选型、大坝进度、缆机效率等方面分别具有可借鉴的经验。

确定研究以类似工程现有平均先进水平为基础,分析相关条件的不确定性,分别对按原进度计划(第五年2月开始混凝土浇筑)和提前到第四年10月开始大坝混凝土浇筑的强度进行深入分析,按混凝土月强度、最大仓面平仓浇筑的覆盖强度,参照类似工程现状分析缆机系统配置规模;进一步研究供料平台的设置、缆机布置方案;最后总结研究结论并提出建议。

## 3 缆机布置与设备选型

缆机主要应满足大坝并兼顾水垫塘消能建筑物的吊运施工。

### 3.1 缆机系统规模分析

(1)按全混凝土强度分析。缆机系统规模满足大坝及相应兼顾水垫塘施工吊运要求,其中最主要的是必须混凝土吊运要求。混凝土浇筑强度

收稿日期:2012-03-20

分析如下:

如果大坝混凝土第五年2月开始浇筑,第八年6月完成,工期41个月,平均月强度 $6\text{万 m}^3$ 。按全混凝土强度分析方法估算高峰期强度: $13.8\sim 7.8\text{万 m}^3$ 。如果第八年2月大坝最低坝段上升至高程970 m,坝体接缝灌浆至高程945 m,混凝土工程量233万 $\text{m}^3$ ,平均月强度 $6.3\text{万 m}^3$ ,估算高峰月强度: $14.5\sim 8.2\text{万 m}^3$ 。两种时段的平均高峰月强度约为 $11\text{万 m}^3$ 。

水垫塘混凝土总方量为 $26.34\text{万 m}^3$ ,且大部分方量位于下游的二道坝,其混凝土浇筑必须考虑其它浇筑手段,缆机配置仅作为补充手段辅助施工,施工强度上可以不考虑。

最大仓面为左岸非溢流4#坝段,混凝土浇筑最大仓位高程785 m,面积 $1\,220.35\text{ m}^2$ 。覆盖单

表2 典型坝段施工进度表

| 施工项目        | 高差/m | 直线工期/工日 | 上升速度/ $\text{m}\cdot\text{月}^{-1}$ | 工作项目描述   |
|-------------|------|---------|------------------------------------|--|
| 高程723~729 m | 6    | 24      | 7.5                                | 基础约束区混凝土层厚1.5 m,共4层,每层安排工期6 d                            |
| 固结灌浆        | 0    | 20      |                                    | 有压重固结灌浆,直线工期安排20个工日,实际可在第4层混凝土强度达到设计值的50%后开始作业           |
| 高程729~735 m | 6    | 28      | 6.4                                | 设有基础廊道,混凝土层厚1.5 m,共4层;每层工期安排7 d                          |
| 高程735~871 m | 135  | 552     | 7.4                                | 混凝土层厚3 m,共46层,每层工期安排12 d                                 |
| 高程871~877 m | 6    | 30      | 6                                  | 深孔牛腿、底板结构复杂,每层工期安排15 d                                   |
| 钢衬安装        |      | 40~50   |                                    | 参照小湾、锦屏水电站钢衬设为一期安装                                       |
| 高程877~878 m | 1    | 10      | 底板仓                                | 钢衬底板混凝土施工,钢筋在钢衬安装期间穿插进行                                  |
| 高程878~915 m | 37   | 237     | 4.7                                | 钢衬两侧混凝土需对称浇筑;封顶仓结构复杂,施工工期较长;深孔出口墩墙钢筋多,需埋设锚索预留管           |
| 高程915~957 m | 42   | 224     | 5.6                                | 表孔底板以下混凝土施工与深孔弧门、启闭机安装相互干扰较大,且表孔牛腿开始施工之前,需要将弧门、启闭机大件吊装就位 |
| 高程957~988 m | 31   | 160     | 5.9                                | 坝顶仓结构复杂,施工工期长  |
| 累计          | 265  | 1\,325  |                                    | 折合日历月数 $1\,325/30=44.2(\text{月})$                        |

现在第六年5月,为 $7.75\text{万 m}^3$ 。考虑施工偏差系数约1.15,则最高强度为 $8.9\text{万 m}^3/\text{月}$ 。

(3)按第四年10月~第八年2月完成大坝混凝土分析。按第四年10月~第八年2月完成大坝混凝土施工,相对工期为41个月,计划浇筑混凝土最高强度为 $8.64\text{万 m}^3$ 。考虑施工偏差系数约为1.15,则最高强度为 $9.94\text{万 m}^3/\text{月}$ ,出现时间为第六年4月。

按3台缆机计算,高峰月单台缆机平均月强度约 $3.32\text{万 m}^3/\text{月}$ ,但月强度大于 $6\text{万 m}^3/\text{月}$ 的约23个月。显然,布置3台缆机处于目前国内施工水平的上边缘,设备能力的富余度不大。

(4)类似工程缆机配置规模。锦屏工程:26个坝段,坝高305 m,坝体分为左右岸标,混凝土

仓最大强度约为 $175\text{ m}^3/\text{h}$ 。

(2)按第四年10月~第八年6月完成大坝混凝土分析。经分析得知:可以通过采取措施加快坝肩开挖进度,在措施到位后,有可能在第四年8月底完成基坑开挖,第四年10月具备浇筑大坝混凝土的施工条件。相应在第七年11月底大坝浇筑至高程950 m,坝体接缝灌浆至高程920 m,具备导流洞封堵条件;第八年2月底大坝浇筑至高程970 m,坝体接缝灌浆至高程945 m,具备下闸蓄水条件;第八年6月底到坝顶。根据小湾和锦屏大坝的施工经验,深孔钢衬按照一期施工,占直线工期40 d;表孔牛腿开始施工前,泄洪深孔弧门、启闭机房大件吊装已完毕。典型坝段施工进度安排见表2。

经细化进度安排,混凝土月浇筑强度最高出

方量共 $583.4\text{万 m}^3$ ,现布置5台30 t缆机,两标平均月强度 $13.89\text{万 m}^3$ ,平均台月强度 $2.778\text{万 m}^3/\text{月}\cdot\text{台}$ ,最新实际月生产率单台达到 $4\text{万 m}^3$ 以上,平均达到 $3.54\text{万 m}^3$ 。

小湾工程:44个坝段,最大坝高292.5 m,坝体混凝土总量 $860\text{万 m}^3$ ,采用“双层双平”,共设6台30 t平移式中高速缆机。

布置3台缆机,单台缆机平均承担约 $2.97\text{万 m}^3$ 混凝土的吊运任务,按缆机循环时间计算,用于辅助吊运的时间不少于35%,因此,如果第四年10月开始大坝混凝土浇筑,3台缆机可以满足大坝结构施工的需要。

(5)工程缆机配置规模。缆机配置规模参考类似工程考虑月浇筑不均匀系数为1.4。若大坝

按照第五年2月开始施工,月高峰混凝土强度为 $12.1 \text{万 m}^3$ ;若大坝按照第四年10月开始施工,月高峰浇筑强度为 $10.86 \text{万 m}^3$ 。30 t 缆机挂 $9 \text{m}^3$ 吊罐浇筑,单台缆机平均月浇筑强度为 $2.5 \sim 4.5 \text{万 m}^3$ (平均可取 $3.54 \text{万 m}^3/\text{月}$ ),3台30 t 缆机挂 $9 \text{m}^3$ 吊罐可以满足 $11 \text{万 m}^3$ 混凝土浇筑强度及辅助吊运的要求。混凝土月强度如果达到 $12.1 \text{万 m}^3$ ,则需要4台30 t 缆机。

最大仓面面积 $1220.35 \text{m}^2$ ,覆盖单仓最大强度为 $153 \sim 175 \text{m}^3/\text{h}$ ,采用缆机配 $9 \text{m}^3$ 罐浇筑需吊运 $17 \sim 20$ 罐,单台缆机平均循环时间为 $5 \sim 7 \text{min}$ ,2台缆机可满足要求。

综上所述可知:配置4台缆机,其中1台缆机使用效率较低;配置3台缆机,如果出现开挖工期延误,则难以满足发电节点的要求。

### 3.2 缆机布置

#### (1) 缆机类型选择。

经对不同方案进行比较,根据本工程地形特点及坝体结构特征,选用平移式缆机比较合理,其主要有以下优点:

地形地势结构适合,可覆盖整个拱坝,从而简化了施工方案。

相对于辐射式更加容易布置,更加经济合理。

最多4台缆机布置,更适于单层布置缆机,更有利于运行管理与安全。

平移缆机便于实施超重件或大件的抬吊运行。

由于坝顶上部两岸边坡陡峭,结合岸坡开挖,可以将缆机布置在满足吊运净空的相应高度,主副塔均为无塔架布置。

#### (2) 缆机布置。

缆机平台:大坝混凝土取自右岸。根据无塔架缆机结构特性及以往工程经验,右岸缆机平台(主塔)宽 $14 \text{m}$ ,左岸缆机平台(副塔)宽 $8.5 \text{m}$ 。

缆机平台高程及跨度:考虑吊重罐距坝顶间距、吊罐与吊钩及行走小车间距等因素,结合地质条件,依重下轻上的原则,按照左岸/右岸缆机平台高程/跨度: $1053/1064/390 \text{m}$ 或 $1068/1072/397 \text{m}$ 两种方案布置缆机,缆机挂 $9 \text{m}^3$ 重罐距坝顶间距分别为 $30.66/43 \text{m}$ ,高程 $1053/1064 \text{m}$ 方案工作区域偏小,开挖工程量较高程 $1068/1072 \text{m}$ 方案大,高程 $1068/1072 \text{m}$ 方案跨度满

足要求,同时考虑坝顶门机的起吊净空及设备费用相当,建议采用高程 $1068/1072 \text{m}$ 方案(图1)。

#### (3) 4台缆机布置。

按照41个月的大坝混凝土施工工期,采用3台缆机可以满足施工强度要求。但鉴于水电工程的复杂性以及工程施工不确定风险可能产生的工期变化,同时,鉴于锦屏、小湾工程都由于地质处理、开挖滞后等原因致使开挖工期挤占混凝土施工期,后期都补充了1台缆机的经验教训,有必要考虑采用4台缆机方案(图1)。875 m 高程以上区域混凝土为持续高峰强度期,沿缆机移动方向有 $101 \text{m}$ 的可浇筑范围,2台缆机共同浇筑1个仓,缆机行车距离 $11 \text{m}$ ,4台缆机占据 $44 \text{m}$ 运行区间,尚余 $56 \text{m}$ 的空间调配。通过合理安排仓位以及缆机浇筑运行方向与顺序,具备4台缆机分2台一组各浇筑一个仓位的空间位置。

### 3.3 供料平台的规划布置

#### (1) 供料平台布置。

本工程缆机供料平台由布置于右岸坝肩 $988 \text{m}$ 高程平台上扩挖形成。根据小湾、锦屏大坝混凝土运输方式经验,侧卸式料罐车存在以下问题:

①易侧翻。侧卸式料罐车卸料时,由于整个料罐车靠取料平台边沿放置,向料罐卸料时,用力过猛时容易侧翻。

②卸料不干净。侧卸式料罐车卸料时,由于害怕用力过猛侧翻,一般不能像后卸式自卸车利用液压支撑杆抖动车厢,故料罐不易卸干净,易留料。

③侧卸式料罐车价格相对后卸式自卸汽车购买价格相对较高,日常维护费用也较高。

④侧卸式料罐车主要用于运输混凝土料,不如后卸式自卸车用途广泛。

在采用3台缆机同时浇筑混凝土时,设置三个取料点向缆机供料,三个取料点间距一般在 $11 \sim 13 \text{m}$ 之间。按照一般 $9 \text{m}^3$ 侧卸车尺寸 $9.13 \text{m} \times 3.06 \text{m} \times 3.28 \text{m}$ 计算,三台侧卸式料罐车同时向取料点供料时,每两台车间距不到 $1.9 \sim 4 \text{m}$ ,侧卸车卸完料时,无法直接转弯回车,来料车也无法及时就位卸料。

综上所述,建议乌东德水电站拱坝施工混凝土运输采用无轨式30 t 后卸式自卸汽车。

## (2) 供料平台尺寸。

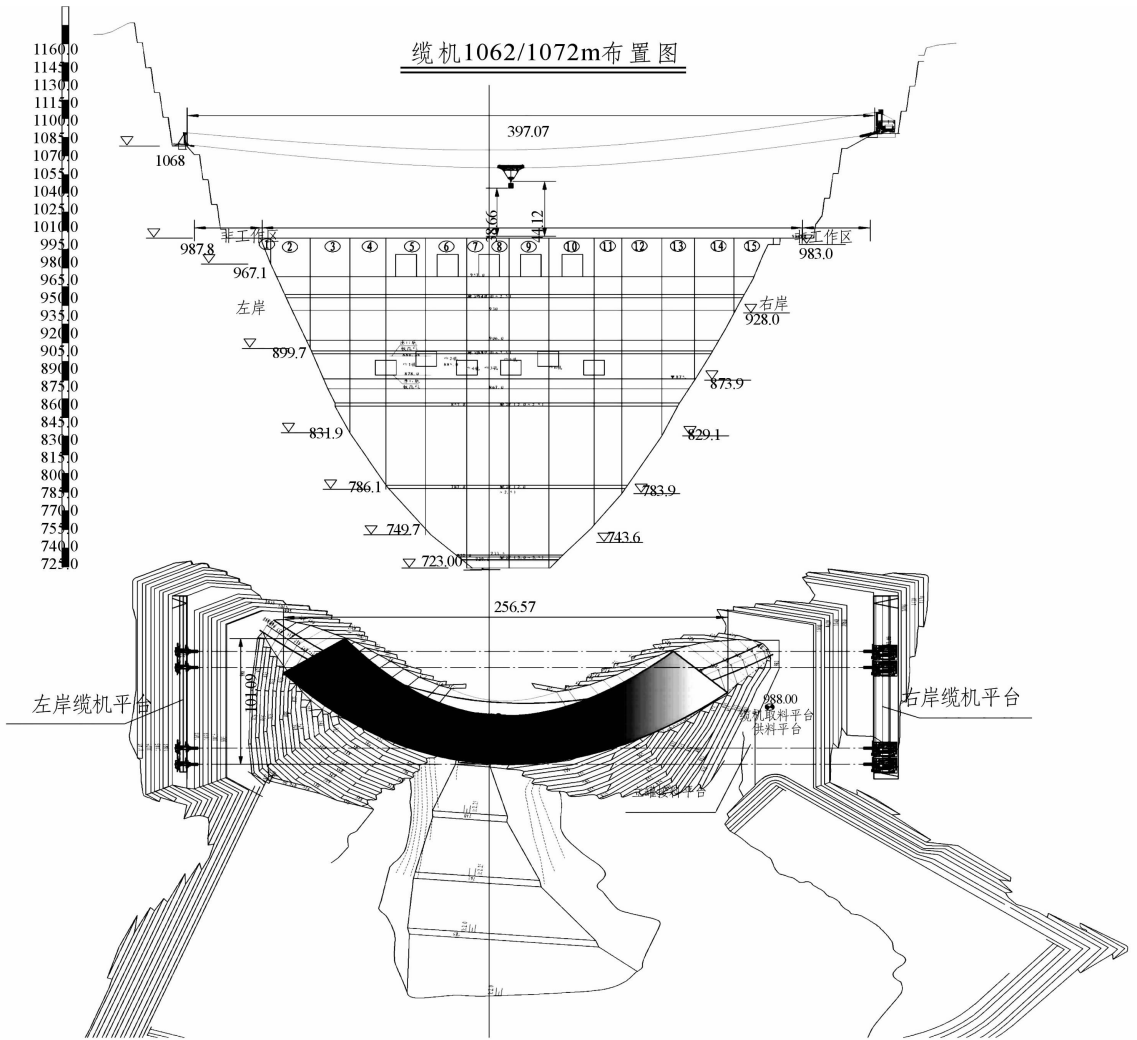


图1 缆机布置图

供料平台宽度:按照每台缆机高峰浇筑强度约为10~12罐/h,为保证后卸式30t自卸车正常通行,实际施工中需要考虑自卸式料罐车转弯回车,来料及时就位以及其它材料运输通道等因素。国内9m<sup>3</sup>吊罐相配的30t后卸式自卸车代表车型尺寸为7.95m×3.64m×3.4m(长×宽×高),考虑卸料车、待料车以及转弯半径(约9m)一般占道宽度约17m,另外考虑其它材料运输的来回交通车道宽度为8m,则供料平台最小宽度为17m+8m=25m。

## 4 研究结论与建议

## 4.1 关于缆机系统规模

(1) 缆机平台。推荐平移式缆机布置设计平台高程1068m(左)/1072m(右),跨度为397m。左、右岸非正常工作区长度均为39.7m,占缆

机跨距的10%。正常工作区长度为317.67m。

缆机平台宽度分别为右岸14m,左岸8.5m。

(2) 鉴于本工程关键线路上的项目工期均比较紧张,推荐缆机规划采用4台额定起重量为30t的缆机,配用9~9.6m<sup>3</sup>混凝土吊罐。实际施工中,根据施工进度状况再考虑其经济合理性。

(3) 混凝土水平运输及供料平台。

推荐采用30t后卸式自卸车向9~9.6m<sup>3</sup>混凝土吊罐卸料。

供料平台最小宽度取25m(坝肩段),在不增加原方案中供料平台开挖量的情况下,在坝体右端搭设约7m宽的供料和取料平台。

吊罐取料平台宽度取4.5m。

## 4.2 关于大坝混凝土浇筑与金结安装进度

(下转第56页)

另外,主厂房肘管混凝土浇筑期间,布料皮带基座可以布置在机组两侧岩墩上,但其覆盖范围最大只能覆盖两台机组的各一半,使整个机组备仓浇筑受到影响;蜗壳二期混凝土浇筑期间,固定布料皮带基座一般需埋进混凝土内,从而增加了加工基座的工程量,若根据仓位结构不埋进混凝土内,则需占压仓位,且布料范围也受到影响。

### 3.5 天泵浇筑混凝土方案

优点:混凝土布料方便,混凝土入仓强度相对较高,入仓强度可达  $50 \sim 60 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

缺点:施工布置受限,一般将其布置在安装间,用于浇筑安装间附近的仓位,对安装间金结埋件拼装干扰较大;其浇筑的泵送混凝土水泥含量较高,水化热大,增加了温控难度;另外,其租赁费用较高。

## 4 拐臂布料皮带系统浇筑地下厂房混凝土施工方案

通过对地下电站厂房现有混凝土浇筑手段的优缺点进行分析可知,若需要加快地下厂房混凝土浇筑速度,必须加强其浇筑手段创新。根据地下厂房结构特点,我们提出了一种采用桥机挂设拐臂布料皮带浇筑地下厂房混凝土方案(图2)。其工作原理为:

拐臂布料皮带机由内外相互衔接的布料皮带组成。内皮带机机尾安装于母线洞上游洞口的回转支撑上,前端使用岩壁上设置的锚固点悬挂钢丝绳斜拉,可以通过卷扬改变斜拉钢丝绳的长度,进而改变内皮带机的仰俯角度。将外皮带机尾挂在内皮带机头部位的回转支撑盘底部,前端由桥

(上接第39页)

(1)鉴于发电前验收标准的原因,推荐按第八年2月底大坝全部到顶进行控制。第八年3~6月4个月时间完成泄洪中孔检修门、表孔检修与工作门的门槽埋件与闸门、启闭机的安装调试。

(2)若大坝混凝土开始浇筑按第四年10月~第五年2月控制,由于本工程坝段数量少,在采取一定措施后,按工序的正常循环时间及技术上必要的间歇时间控制后,能满足第八年2月底、最迟3月底大坝混凝土浇筑完成的要求。

(3)如果第五年2月不能开始大坝混凝土浇筑,按第五年4月初(推迟2个月)开始混凝土浇

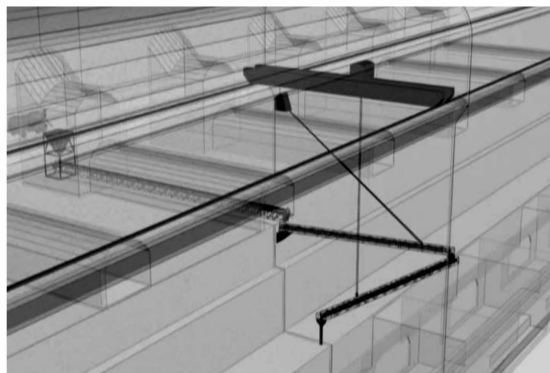


图2 地下厂房拐臂布料皮带三维布置图

机吊钩牵引,桥机吊钩升降可改变外皮带的仰俯角度,桥机大车与小车运动可以使拐臂布料皮带屈折伸缩摆动,以满足覆盖区域混凝土输送布料要求。

对于该设备系统,我部已进行设计研究并制造且已应用到了溪洛渡水电站地下厂房混凝土浇筑,其可以覆盖三台机组浇筑范围,并具有输送混凝土料能力强、布料简单、操作方便、经济适用等优点,是地下厂房大体积混凝土浇筑的一种理想施工手段,具有较强的推广应用前景。

## 5 结语

通过以上对地下厂房结构特点和现有浇筑手段进行分析可知,除因结构阴角部位浇筑混凝土要求需配置1~2台混凝土泵机浇筑外,地下厂房混凝土采用拐臂布料皮带系统浇筑是地下厂房混凝土快速、经济适用的最佳手段。

### 作者简介:

程志华(1974-),女,河南南乐人,高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

筑的进度分析,第七年汛前(5月底)的大坝度汛形象不能达到要求(大坝浇筑到915 m高程以上),可以在第八年5月底大坝到顶,但发电前难以完成坝顶交通桥及泄洪中孔、表孔检修门的门槽、检修门安装。

(4)推荐按第四年11月开始大坝混凝土浇筑作为总工期控制节点。大坝混凝土相对工期约为40~41个月。第八年3月底大坝到顶,6月蓄水,7月发电。

### 作者简介:

覃春安(1968-),男,湖北长阳人,副总工程师,高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)