

# 基于HSM的水电工程骨料 生产节能降耗方法

陈广森

(华能澜沧江水电有限公司, 云南 昆明 650214)

**摘要:** 对于砂石骨料生产系统, 目前通过技术更新或设备更换以进一步改善其节能降耗较为困难, 有必要寻求一种低成本或零成本的管理技术方法。为此, 根据骨料生产系统中各环节的生产技术特性, 融合系统工程和管理信息系统思想方法, 动态整合生产工序之间的生产状态, 根据生产实践的活动程序, 使用硬系统方法 (Hard System Methodology, HSM) 对现有设备和装备建立能耗模型, 寻求生产系统各环节的综合能耗达到最小的状态。

**关键词:** 骨料生产系统; 节能; 降耗; 水电工程

Energy Saving and Waste Reducing of Aggregate Producing in Hydropower Engineering Based on HSM

Chen Guangsen

(Huaneng Lancang River Hydropower Co., Ltd., Kunming 650214, Yunnan, China)

**Abstract:** The energy saving and waste reducing of aggregate producing system in hydropower engineering is difficult to further improve by technology innovation. It is necessary to find a low-cost or zero cost management method to achieve energy saving and waste reducing. According to the characteristics of aggregate production system and based on the ideas of System Engineering and Management Information System, the Hard System Methodology (HSM) is used to establish a energy saving and waste reducing model for existing equipments and production processes. The model can dynamically integrate the production state of different processes and achieve the minimum comprehensive energy consumption of entire production system.

**Key Words:** aggregate production system; energy saving; waste reducing; hydropower engineering

中图分类号: TV512; TV422

文献标识码: A

文章编号: 0559-9342(2011)12-0041-03

## 0 引言

本文所定义的砂石骨料除混凝土骨料外, 也包括土石坝所使用的返滤料、过渡料以及其他特殊用途的骨料。一般水利水电工程都有独立的砂石骨料生产系统, 无论是天然骨料还是人工骨料, 生产作业流程主要由毛料开采及运输、破碎及筛洗、分级堆存、供应至拌和楼或使用地等环节组成。在节能降耗方面, 这些作业流程的技术提升空间已经很小, 通过更换装备或技术改造的费用太高, 有必要寻求一种低成本或零成本的管理技术方法, 实现节能降耗。为此, 本文假设系统设施及设备、装备不进行技术更新和改造, 即零成本或低成本投入, 根据骨料生产系统中各环节的生产技术特性, 融合系统工程和管理信息系统思

想方法, 动态整合生产工序之间的生产状态, 根据生产实践的活动程序, 使用硬系统方法 (Hard System Methodology, HSM) 对现有设备和装备建立能耗模型, 寻求生产系统各环节的综合能耗达到最小的状态。

对水电工程而言, 骨料一般分为人工骨料和天然骨料。人工骨料的毛料主要采用爆破开采, 爆破开采的钻孔设备直接或间接消耗柴油或电, 天然骨料的毛料开采中, 挖掘设备或开采船只直

收稿日期: 2010-06-20

作者简介: 陈广森(1976—), 男, 河南郾城人, 注册一级建造师, 高级经济师, 英国皇家特许测量师学会会员 (MRICS), 中国水力发电学会会员, 主要从事工程建设及工程造价管理工作, 研究方向为项目管理、工程造价管理。

接消耗柴油或电；运输环节中装载机及汽车主要消耗柴油，胶带输送机主要耗电；筛洗及破碎环节备主要直接消耗电能，分析骨料生产系统的各个环节，设备的能耗基本可转化为柴油消耗和电能消耗。由于柴油与电力不同质，可根据能源计量当量进行换算：1 kg 柴油=10 200 kc；1 kW·h 电力（水电）=860 kc。也可根据柴油与电力的价格水平做换算，以便达到系统节能降耗的最低价格水平。

## 1 节能降耗系统控制模型的建立

### 1.1 基本假设

(1) 系统方法零成本假设。通过管理技术或方法实现骨料生产节能降耗，直接花费或投入很小，可视为零成本。

(2) 能量换算关系假设。节约柴油与节约电力的节能降耗贡献是一致的，即采用能量换算关系进行计算。

(3) 最小计量时间单位假设。在单位时间内供应能力满足的情况下，认为该单位时间内的各分项时间段的供应能力也满足骨料需求。

### 1.2 约束条件

(1) 开采量大于生产量。即

$$Q_p \leq \alpha_1 M_1 + \alpha_2 M_2 + \alpha_3 M_3 + \dots \quad (1)$$

式中， $Q_p$  为成品骨料量； $\alpha$  为某料区的骨料获得率，一般按百分比计； $M$  为不同取料区域、取料方式下的毛料量。

(2) 级配平衡条件。不同时段，特定的工程对各级骨料的需求量不一致，时间分布上也存在差异，一般按月进行调节，则级配平衡条件月数应同时满足

$$\begin{cases} f(Q_{P1}, t) \geq f(Q_{M1}, t) \\ f(Q_{P2}, t) \geq f(Q_{M2}, t) \\ f(Q_{P3}, t) \geq f(Q_{M3}, t) \\ f(Q_{P4}, t) \geq f(Q_{M4}, t) \\ f(Q_{P5}, t) \geq f(Q_{M5}, t) \end{cases} \quad (2)$$

式中， $t$  为时间参数； $Q_{P1} \sim Q_{P5}$  分别为特大石（粒径 80~150 mm）、大石（粒径 40~80 mm）、中石（粒径 20~40 m）、小石（粒径 5~20 m）、砂（粒径 0.08~5 mm）的生产量， $t$ ； $Q_{M1} \sim Q_{M5}$  分别为特大石、大石、中石、小石、砂的供应量， $t$ ；实际工程中， $Q_M$  为计划需求量； $Q_p$  为满足本系统最佳节能降耗条件下计算出的计划生产量。

(3) 骨料堆存调节。为降低生产不均衡性，设计一定的骨料堆存容量，用于调节骨料时间需求分布的不均衡性，以免系统生产时造成更多的弃料，

从而以提高骨料产出率的方式达到节能降耗目标，则

$$1Q_{J(a,n)} \leq \sum Q_{P(a,n-1)} - \sum Q_{M(a,n-1)} \quad (3)$$

$$1Q_{J(a,n)} \leq V \quad (4)$$

式中， $V$  为骨料堆存场的容量， $t$ ； $Q_{P(a,n)}$  为某种粒径骨料某时间段的生产量， $t$ /月； $Q_{M(a,n)}$  为某种粒径骨料某时间段的供应量， $t$ /月； $Q_{J(a,n)}$  为某种粒径骨料某时间段的调节量， $t$ /月。式（3）表示当月可调节量不大于截至上月的产供量差，不足部分为成品骨料的弃料量；式（4）表示当月调节量不得大于堆存容量。式（3）、（4）中的时间参数  $n$ ，可用于动态能耗测算和控制。

(4) 生产方式约束。对于天然筛分（洗）系统，获得成品骨料主要有 2 种方式，破碎和筛分或二者按有效比例结合。由于毛料级配中的某一粒径骨料不能满足最小需求量、即达不到良好的级配平衡，就需要多生产该粒径骨料。若加大筛分量，满足该粒径骨料的同时多生产了其他粒径骨料，超出系统有效调节能量将形成弃料；若加大破碎量，破碎环节的工作量加大。生产约束需选择二者能耗最低的方案，根据定额或技术指标可直接计算出弃料的单位能耗  $\lambda_x$ ，粗碎、中碎环节的单位能耗  $\lambda_y$ 、 $\lambda_z$ （天然系统一般无细碎设备）。生产方式的约束条件表达式为

$$\begin{cases} \min (\lambda_x Q_{Q(a,n)}, \beta_1 \lambda_y Q_{Q(a,n)} + \beta_2 \lambda_y Q_{Q(a,n)} + \beta_2 \lambda_z Q_{Q(a,n)}) \\ \beta_1 + \beta_2 = 100\% \end{cases} \quad (5)$$

式中， $Q_{Q(a,n)}$  为当月成品骨料的弃料量， $Q_{Q(a,n)} = Q_{P(a,n)} - Q_{M(a,n)} - Q_{J(a,n)} - Q_{J(a,n+1)}$ ； $\beta_1$ 、 $\beta_2$  为通过某破碎控制粒径的百分数； $\lambda_x$ 、 $\lambda_y$ 、 $\lambda_z$  分别表示弃料、粗碎、中碎环节的单位能耗。

(5) 参数非负值约束。所有参数均为非负值。

### 1.3 目标函数

能耗最小为节能降耗模型的目标函数，如约束条件（4）中所述，根据不同生产环节和不同设备类型，可计算出各种生产环节的能耗水平  $\lambda_b$  ( $b=x, y, z \dots$ )，将  $\lambda_b$  代入到相应的生产环节中，则目标函数  $\min(E_{Eb})$  可表达为

$$\min (\sum \lambda_b M_b + \sum \sum Q_{J(a,n)} + \sum \sum (\beta_1 \lambda_y Q_{P(a,n)} + \beta_2 \lambda_y (a,n) + \beta_2 \lambda_z)) \quad (6)$$

式中， $M_b$  为各生产环节的生产量， $t$ 。因  $Q_p$  是所有的成品骨料生产量，故式（6）中的  $Q_{P(a,n)}$  含  $Q_{Q(a,n)}$ 。

## 2 案例分析

### 2.1 基本概况

景洪水电站工程混凝土总量约 336.80 万  $m^3$ ，

逐月浇筑量在招标文件中已载明,天然骨料的毛料开采分陆上和水上两种,骨料供应工期自 2004 年 1 月至 2009 年 5 月,后因决定提前发电,前期骨料供应量加大,后期因升船机工期延误,供应工期可能将延长 1 年。骨料供应期间,由于柴油价格不断上涨,需采取节能降耗措施降低能耗。采取的主要措施有:减少水下开采比例、加大成品骨料获得率、增强骨料供应调节能力。本文仅对天然骨料系统的陆上、水下开采量做出分析。不同粒径骨料需求量见表 1。

表 1 景洪水电站骨料需求

粒径/mm	0.15~5	5~20	20~40	40~80	>80	合计
骨料需求量/万 t	219.32	119.46	126.75	119.78		585.31

根据生产系统相关设备技术指标计算可得到相关能耗参数,见表 2。

表 2 各生产环节能耗水平数据

工序名称	摊消比例/%	油耗/kg·t <sup>-1</sup>	电耗/kW·h·t <sup>-1</sup>
陆上覆盖层开挖	定量	0.232	
陆上毛料开采	100	0.013	0.634
陆上毛料运输	100	0.181	
砂砾料粗破筛分	100		0.813
砂砾料中破筛分	100		1.268
水下毛料开采运输	100	0.258	0.636
弃料摊消	5(陆上), 10(水下)	0.124	3.335

注:表中能耗数据为合同单价分析表中的机械台时耗量×机械台时定额中的每台时能耗数据。

## 2.2 系统参数

毛料开采运输由陆上、水下两种采运方式,用  $M_1$  表示陆上开采量,  $M_2$  表示水下开采量,陆上、水下毛料的比例  $d_1$ 、 $d_2$  各占总量不超过 70%;根据现场毛料试验数据估算,陆上毛料生产骨料的成品获得率  $\alpha_1=0.65$ ,水下  $\alpha_2=0.55$ ;骨料粒径大于 40 mm 的需粗碎筛分工序,5~40 mm 需粗碎及中碎筛分工序,0.15~5 mm 的直接从中碎筛中分出去即可得到成品,小于 0.15 mm 的泥及粉砂、大于 150 mm 的超径石作为弃料。陆上开采需剥离覆盖层,全部料场剥离总量为 123 万 t,弃料摊消率估算为 5%;水下无需剥离覆盖层,但弃料率加大,约 10%。

## 2.3 模拟系统模型建立及结果分析

由于无论陆上开采多少,剥离的 123 万 t 覆盖层均需投入,与模型(陆上、水下开采比例)决策关系不大,故可不参与到模型中,计算总能耗时予以加入即可。为了统一能耗单位,建模时统一单位为 kc,根据上述参数及能耗数据,建立数学模型,即目标函数

$$\min(E_{\text{总}}) = (0.013 + 0.181)10 \ 200M_1 + 0.634 \times 860M_1 \text{ (陆上采运能耗)} + (0.258 \times 10 \ 200 + 0.636 \times 860)M_2 \text{ (水下采运能耗)} + (5\%M_1 + 10\%M_2) \times (0.124 \times 10 \ 200 + 3.335 \times 860) \text{ (陆上、水下弃料摊消能耗)} \quad (7)$$

约束条件为

$$\begin{cases} d_1, d_2 \leq 70\% \\ d_1 + d_2 = 100\% \\ 0.65M_1 + 0.55M_2 = 585.31 \\ d_1 = M_1 / (M_1 + M_2) \\ d_2 = M_2 / (M_1 + M_2) \end{cases} \quad (8)$$

利用计算机规划分析软件求解上述系统模型(过程略),结果为陆上开采 70%,水下开采 30%,可使能耗达到最低水平。

## 3 结 语

节能降耗可以直接降低生产成本,本文提出的节能降耗模型也可处理如何选取替代能源问题,为更多地使用易获得能源、减少使用稀缺能源提供科学决策方法。在具体生产控制过程中,还可通过该模型技术提前绘制成生产控制图表或生产过程中绘制动态控制图表以便于实际操作。但该模型计算过程较复杂,必须借助于专用规划分析软件。

## 参考文献:

- [1] 运筹学教材编写组. 运筹学[M]. 北京:清华大学出版社, 1996.
- [2] 李剑锋,王珺之. 项目管理十大误区[M]. 北京:中国经济出版社, 2004.
- [3] 邹恒甫. 计量经济学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2000.
- [4] 李定安. 成本管理研究[M]. 北京:经济科学出版社, 2002.
- [5] 麻新旗,梁普选. Visual Basic 大学基础教程[M]. 北京:电子工业出版社, 2005.
- [6] 马维峰. Excel VBA 应用开发[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.

(责任编辑 焦雪梅)



大力发展水电事业