

修正 KUZ-RAM 数模预报爆破堆石料块度*

TV4
TV5-4

26
77-80183

王民寿¹, 蒋晓明², 隆文非³

(1. 四川大学, 四川 成都 610065; 2. 四川省电力工业局, 四川 成都 610061; 3. 四川省农水局, 四川 成都 610017)

摘要:结合国家重点工程天生桥一级水电站施工试验,分析了面板堆石坝坝体堆石料采料爆破的块度控制。重点研究了Ⅰ_A料和Ⅰ_B料现场试验和施工过程,满足设计堆石料块度级配要求的爆破参数调整。根据施工现场的特点,提出了采用修正后的 KUZ-RAM 模型作为预报合理块度相应的采料爆破参数的数模。通过编程计算,达到在现场实时控制堆石料级配的目的。

关键词:堆石坝;采料爆破;块度控制;修正 KUZ-RAM 模型

中图分类号:TV641.4;TV542

文献标识码:A

文章编号:1001-2184(1999)04-0077-04

面板堆石坝是当今世界主要发展的坝型之一。它的工程费用和质量主要取决于庞大的维持坝体稳定的堆石体的费用和质量。而堆石体的费用和质量在设计已定的情况下,又主要取决于施工爆破采料的块度是否符合设计级配要求。满足设计级配要求则费用省、质量好、进度快;否则,因块度不合要求而进行二次改炮,增加工程费用,影响施工进度。因此采料爆破块度的合理控制成了国内外工程界关注的焦点。要合理控制采料爆破块度的关键是合理控制爆破设计参数,合理布孔、装药、起爆。

在采料爆破中常采用深孔梯段爆破。其设计爆破参数主要有梯段高度 H 、装药深度 L 、孔径 d 、最小抵抗线 B 、孔距 a 以及炸药单耗 q 。这些参数的取值大小直接影响爆破效果。通过现场试验确定这些参数是必要的,但不是所有工程都具备试验的条件,即使进行试验,试验场地的地质情况,不能完全代表施工过程中料场掌子面多变的地质情况。因此,仍然存在实时调整爆破参数始终满足设计堆石料级配要求的问题。这就是爆破块度优化所提出的爆破设计参数的优化问题。

1 爆破采料块度分布模型的选取

除了现场试验,通常采取选用或建立合理的块度分布模型来预测计算爆破块度,使之满足设计级配要求,反设计确定相应的爆破参数,用以指导施工。自本世纪 60 年代以来,世界各国学者在爆破岩体块度控制方面做了大量研究工作,提出了十余种研究爆破块度分布的数学模型,概括起来大体有四类,即能量理论模型、应力波理论模型、块度分布函

数模型以及新近发展起来的损伤力学模型。其中有理论模型、有经验模型、也有理论和经验相结合派生出来的其它模型。各种数学模型均有一定的适用条件和局限性,在理论性和实用性上各有长短。

本文是根据“满足设计块度级配的深孔梯段爆破参数设计优化”研究成果撰写的。

我们在分析比较这些模型优缺点及其适用条件后,倾向采用 KUZ-RAM 模型的修正表达式作为天生桥一级水电站面板堆石坝采料爆破Ⅰ_A和Ⅰ_B料爆破岩石块度分布研究的基础。原因是 KUZ-RAM 模型建立了梯段爆破的各种爆破参数与块度分布的定量关系,便于将这些关系对块度分布进行量化分析。这一点是其它爆破块度分布模型不具备或不具备的。尽管它没有对岩体节理、对岩块块度的影响从本构关系上深入揭示,但在计算爆破平均块度时,用一个综合影响系数 A 来反映岩体的物理力学特性及节理发育程度对块度的影响。它的不精确的一面,易于结合现场实际情况进行修正,充分发挥它形数结合、方便使用的优点。

众所周知, KUZ-RAM 模型是库兹涅佐夫(Kuznetsov)和罗森拉姆(Rosin-Rammler)模型的结合,前者是研究爆破的平均块度,后者是研究块度的分布特征。该模型是用筛下累计为 50% 的筛孔尺寸为平均块度 \bar{X} 和块度分布的均匀性指标 n 来预测爆破块度,它赋予块度分布曲线粗粒部分十分良好的相关性,它的基本数学表达式如下:

$$\bar{X} = A_0 (q)^{-0.8} Q^{1/6} (115/E)^{9/30} \quad (1)$$

$$R = 1 - e^{-(X/\bar{X})^n} \quad (2)$$

$$n = (2.2 - 14B/d)(1 - W/B) \cdot (1 + (A - 1)/2)L/H \quad (3)$$

式中 A 为岩石系数,它的取值大小与岩石的节理

收稿日期:1998-02-12

* 1997 年获电力工业部科技进步二等奖,证书号:9721012-D4

裂隙发育程度有关; q 为炸药单耗 (kg/m^3); Q_c 为单孔装药量, 可按 $Q_c = q \cdot B \cdot a \cdot H$ 计算; a 为炮孔孔距 (m); B 为最小抵抗线 (m); H 为梯段台阶高度 (m); E 为所用炸药相对于 TNT 炸药为 115 时的相对重量威力, 对 2 号岩石炸药相对重量威力 E 取 100; X_c 为特征块度 (cm) 即筛下累积率为 63.21% 时的块度尺寸; A 为炮孔密集系数, 是孔距 a 和最小抵抗线 B 之比; L 为台阶底板高程以上的药包长度 (m)。对采用药卷, L 为实际药卷在孔内的总长度扣除底板以下的药卷长度; 对散装炸药为单孔的装药长度 L_p 扣除底板以下的凿岩精度 W (这里为通常所指的超钻深度), 即 $L = L_p - W$; 其中计算装药长度 $L_p = 4Q_c / (\pi \Delta d^2)$, Δ 为炮孔装药密度 (kg/m^3)。

由式(1)可见 Kuznetsov 方程反映了爆破平均块度 \bar{X} 与爆破能量和岩石特性的关系, 它确定了块度分布曲线的位置。式(2)是 Rosin-Rammler 方程, 它反映了块度分布曲线的分布特性, 其中爆破块度的均匀性指标 n 表达块度分布线形的陡缓及其弯曲程度。通常取 n 为 0.8~2.2。 n 值小表示该曲线弯曲程度大, 线形陡爆破块度均匀, 反之, 表示爆破块料中间粒径相对较少, 而细料占的比重较大, 反映了爆破块度不均匀。 n 值大小可根据实际情况调整。

2 KUZ-RAM 块度分布模型的修正

通过全面研究, 我们认为 KUZ-RAM 模型无论是确定平均块度 \bar{X} 的 Kuznetsov 方程, 还是 Rosin-Rammler 分布曲线方程和确定爆破块度均匀性指标 n 所反映的爆破参数变化的规律都是正确的, 是符合客观实际情况的。但是计算结果表明, 无论是决定爆破块度分布曲线位置的平均块度 \bar{X} 和决定爆破块度分布曲线陡缓的 n 值大小都和实测块度分布有一段距离。这不仅为天生桥一级水电站面板堆石坝采料爆破试验资料所证实, 也为其它工程的实际资料所证实^[4]。图 1 是天生桥一级水电站采料爆破试验所得的实际分布曲线与根据实际所用爆破参数用 KUZ-RAM 模型计算绘制的分布曲线的对比。曲线 1 是昆明水利水电勘测设计院提供的坝体堆石料块度级配的设计包络线, 曲线 2 是长江科学院现场试验所得的爆破块度分布曲线 (该曲线上部即大块料部分略超出上包线), 曲线 3 是根据试验爆破参数用 KUZ-RAM 模型计算所得的块度分布曲线。由图 1 不难看出试验和计算块度分布曲线的差异。

由此看来修正 KUZ-RAM 模型是十分必要的。通过修正使计算爆破块度分布曲线与实测爆破块度

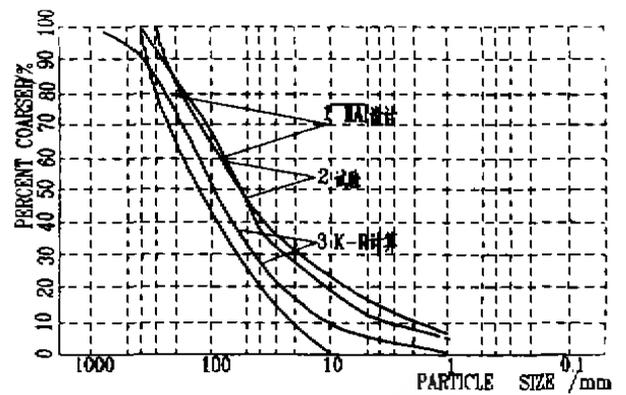


图 1 ⅡA 料块度分布曲线图

分布曲线贴近、吻合, 这样有利于将通过计算确定的爆破设计参数用于现场布孔装药, 取得满足设计级配块度要求的效果。事实表明, 只要使二者的平均块度 \bar{X} 和爆破块度分布的均匀性指标 n 吻合一致, 便能使理论计算分布曲线和爆破实测块度分布曲线吻合。然后, 再通过反设计、用所得的 \bar{X} 和 n 反推求梯段深孔爆破相应的设计爆破参数 H 、 q 、 d 、 L 、 B 和 a , 用于现场施工以达到预期的爆破块度分布的效果。

要达到使理论和实际平均块度 \bar{X} 和爆破块度分布的均匀性指标 n 吻合一致, 我们引入贴近度的概念, 即只要用贴近系数 K_1 去乘式(1)便可得到修正后的平均块度 \bar{X}' 。用贴近系数 K_2 去乘式(3)便可得到修正后的块度均匀性指标 n' 。即:

$$\begin{aligned} \bar{X}' &= K_1 \cdot \bar{X} \\ &= K_1 \cdot A_c(q)^{-0.8} \cdot Q_c^{1/8} (115/E)^{19/30} \end{aligned} \quad (4)$$

$$R' = 1 - e^{-(X/X_c)^{n'}} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} n' &= K_2 n = K_2 (2.2 - 14B/d) (1 - W/B) \cdot \\ &\quad (1 + (A-1)/2)L/H \end{aligned} \quad (6)$$

贴近系数 K_1 和 K_2 的取值大小, 主要取决于未经修正的 KUZ-RAM 模型所确定的 \bar{X} 和 n 以及现场实测确定的 \bar{X} 和 n 的比值。 \bar{X} 和 n 二者的差值, 也正反映了理论和实测块度级配分布曲线的差异。若现场实测确定的平均块度 $\bar{X} = d_{50}$, 而现场确定的块度分布均匀性指标 $n = n_0$, 则有平均块度修正系数, 即平均块度的贴近系数为:

$$K_1 = d_{50} / \bar{X} \quad (7)$$

块度均匀性指标修正系数, 即块度均匀性指标的贴近系数为:

$$K_2 = n_0 / n \quad (8)$$

3 修正后 KUZ-RAM 模型的应用实例

现以天生桥一级水电站面板堆石坝采料爆破试

验实际参数用修正后的 KUZ-RAM 模型预报爆破块度分布为例,用以具体说明 KUZ-RAM 模型是如何修正,修正后的块度分布与实测的块度分布的吻合程度。长江科学院在该工地现场试验Ⅱ_A料取用的各种爆破参数分别为: $d=90\text{ mm}$, $L=8.3-0.5=7.8\text{ m}$, $A=a/b=1$, $B=2\text{ m}$, $q=1.31\text{ kg/m}^3$, $Q_c=52.4\text{ kg}$,2号岩石炸药取 $E=100$,根据现场岩石情况和节理裂隙发育程度取岩性综合系数 $A_0=7$,计算确定修正系数——贴近系数 K_1 和 K_2 的步骤为:

3.1 用未经修正 KUZ-RAM 模型计算 \bar{X} 和 n ;

将如上现场取用的爆破参数代入,则有

$$\begin{aligned}\bar{X} &= A_0(q)^{-0.8} \cdot Q_c^{1/6} \cdot (115/E)^{19/30} \\ &= 7 \times (1.39)^{-0.8} \times 52.4^{1/6} \times (115/100)^{19/30} \\ &= 7 \times 0.768 \times 1.934 \times 1.093 = 11.63\text{ (cm)} \\ n &= (2.2 - 14B/d)(1 - W/B)[1 + (A-1)/2] \\ &\quad \cdot L/H \\ &= (2.2 - 14 \times 2/90)(1 - 0.5/2)[1 + (1-1)/2] \cdot 7.8/10 \\ &= 0.78(2.2 - 0.311) \times 3/4 = 1.105\end{aligned}$$

3.2 将 \bar{X} 和 n 代入式(1)、(2)、(3)绘制爆破块度分布曲线,计算确定 C_u 和 C_c 。

从块度分布曲线上可查得筛下累计量为60%、30%和10%所对应的块度尺寸 d_{60} 、 d_{30} 和 d_{10} 。根据土力学颗粒分布即块度分布的不均匀系数 C_u 和块度分布累积曲线的形状系数 C_c 可分别计算如下:

$$\begin{aligned}C_u &= d_{60}/d_{10} = 7.8 \\ C_c &= (d_{30})^2 / (d_{60} \cdot d_{10}) = 1.28\end{aligned}$$

3.3 用爆破试验(或前期生产)所得参数比较选定块度分布不均匀性指标

长江科学院现场试验所得的平均块度 $d_{50}=4.5\text{ cm}$, $C_u=24.1$, $C_c=3.17$,相应的爆破块度分布的不均匀性指标 $n_0=0.69$ 。可见爆破试验所得的 C_u 和 C_c 已超过爆破块度满足优良级配相应 $C_u=20$ 、 $C_c=3$ 的范围所规定的上限值, n_0 小于规定范围的下限值0.8,故取 $n_0=0.8$ 与计算的块度分布的不均匀性指标 n 进行比较,作为确定 K_1 和 K_2 计算的依据。

3.4 计算确定 K_1 和 K_2 :

分别计算平均块度修正系数 K_1 和块度分布不均匀性指标的修正系数 K_2 :

$$\begin{aligned}K_1 &= d_{50}/\bar{X} = 4.5/11.63 = 0.3869 \\ K_2 &= n_0/n = 0.8/1.105 = 0.7239\end{aligned}$$

3.5 确定修正后的 KUZ-RAM 模型

将计算所得的 K_1 和 K_2 值代入式(4)、(5)、(6)即可得用于天生桥一级水电站面板堆石坝采料爆破块度预报的修正后的 KUZ-RAM 模型如下:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= 0.387A_0(q)^{-0.8} \cdot E_0^{1/6} \cdot (115/E)^{19/30} \\ R &= 1 - e^{-(X/\bar{X})^{0.8}} \\ n &= 0.724 \cdot (2.2 - 14B/d) \cdot (1 - W/B)[1 + \\ &\quad (A-1)/2]L/H\end{aligned}$$

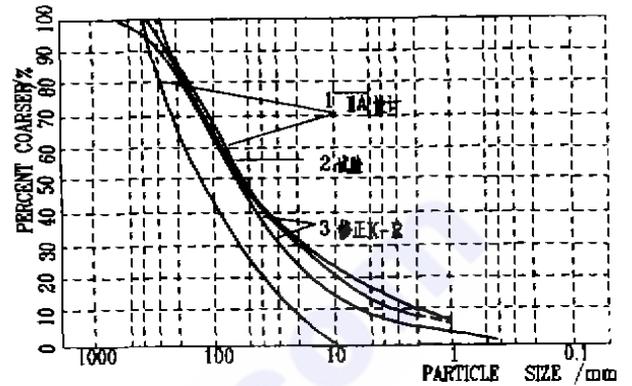


图2 Ⅱ_A料修正后的预估爆破块度曲线

图1、2中可以看出,修正前Ⅱ_A料的块度分布曲线3和长江科学院试验块度分布曲线2出入较大;而修正后的块度分布曲线3则与之较吻合。二者的 d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 也是比较接近的。修正后的预报块度分布曲线的 C_u 和 C_c 分别降到14.97和1.41,进入了优良级配要求的 C_u 和 C_c 为20和3的范围以内。

为了得到满意的应用效果,生产中应用修正后的 KUZ-RAM 模型还应注意如下几个问题:

(1)施工中采料部位在不断变化,掌子面上的岩石岩性和节理、裂隙分布也在不断变化,因此应根据上一阶段生产中取样试验资料,用以决定下一阶段预报模型中的 K_1 和 K_2 ,下阶段的情况,应作为再下一阶段预报的基础。应用修正后的 KUZ-RAM 模型进行爆破块度预报是调整爆破设计参数的动态过程,故应将块度预报纳入采料生产的动态管理中。实时修正 K_1 和 K_2 ,使爆破块度预报的精度提高。

(2)对于爆破采料生产过程取样与实际情况明显不符的取样资料应予剔除,不得作为修正块度预报模型的依据。

(3)具体用来修正 KUZ-RAM 模型的爆破试验(或上阶段生产取样)的基本资料,最好用取样的均值作为计算的依据。避免一次取样的偏差,导致预报块度分布与实际出入太大。

4 爆破设计参数的优化

由于钻孔和装药总费用曲线不具有凸函数性质,直接利用非线性规划通过求极小寻求最优爆破参数不具有可行性。但由式(9)可见,要使钻孔装药总费用最小,应使爆破方量 $A \cdot B^2 \cdot H$ 最大(A 为

炮孔密集系数, $A=a/B$)。然而, 爆破方量的增大, 受到单孔最大装药量 Q_{\max} 的限制, 即受到满足最小堵塞长度 L_{\min} 相对应的最大装药长度 L_{\max} 的限制。故有式(10)的约束方程。

由于Ⅱ_A料大块产出率可以控制在规范规定的范围内, 故不会因大块率的少量变化带来装载和运输费用明显的变化, 于是钻爆费用单价可表达为:

$$C = \frac{Q_1 C_1 + \frac{H+W}{\sin\alpha} \cdot C_2 + \bar{L} \cdot C_3 + N \cdot C_4}{A \cdot B^2 \cdot H} \rightarrow \min \quad (9)$$

式中 α 为炮孔与水平面的夹角; C_1, C_2, C_3, C_4 分别为炸药、钻孔、引线和雷管的单价; \bar{L} 为每孔引线平均长度(m); N 为每孔平均使用雷管个数, 其余符号同前。

为使钻爆费用单价 C 最小, 应使单孔爆破方量 $A \cdot B^2 \cdot H$ 最大, 且满足允许最大装药长度 L_{\max} 的限制, 即:

$$L \leq L_{\max} = 4AB^2 Hq / (\Delta\pi d^2) \quad (10)$$

或选取的最大的炮孔密集系数 A 应满足:

$$A_{\max} = L_{\max} \cdot \Delta\pi d^2 / (4qB^2 H) = A \quad (11)$$

当 Δ, d, H, q 和 A 已定, 寻求 $A \cdot B^2 \cdot H \rightarrow \max$, 从而确定相应的 B 和 α 值; 若 Δ, d, H, B 值已定, 可确定 $AB^2 H \rightarrow \max$ 时相应的 q 和 A 值, 从而确定与 B 合理匹配的 α 值。

实例: 天生桥一级水电站面板堆石坝采料爆破试验用炮孔孔径 $d=90$ mm, 台阶高度 $H=11$ m, 偶合装药。经编程计算Ⅱ_A料和Ⅱ_B料(Ⅱ_B料的计算方法步骤同Ⅱ_A料)爆破采用的 q, B 和 α 值及其相应的块度分布的 d_{60}, d_{30}, d_{10} 与其相应的 C_n 和 C_c 值。

在爆破参数优化中, 为满足不超过最大装药长度的要求, 增加炸药单耗必须减小最小抵抗线或孔距; 反之, 若增加最小抵抗线或孔距, 则不得不让炸药单耗相应减少。调整 q, α 和 B 可组合成各种计算情况, 计算结果Ⅱ_A料采用 $q=0.8$ kg/m³, $\alpha=2.4$ m, $B=2.4$ m; Ⅱ_B料用 $q=0.5$ kg/m³; $\alpha=3.2$ m, $B=3.2$ m 时爆破块度分布情况最好, 如图2、图3。

无论对Ⅱ_A料还是Ⅱ_B, 在一定范围内, 改变炸药单耗, 在块度级配中对中小粒径改变较大, 大粒径料含量改变较小。这是因为增加药量的能量主要消耗在增大炮孔周围及其邻区岩体的破碎, 而对远区岩体影响较小, 不致使大块量有明显改变, 从而使爆破块度分布曲线的上半部分(即大料部分)仍靠近设计级配上包线, 而其下半部分(即中、小料部分)却远离下包线, 这也说明炸药单耗的增加, 主要是带来中细料含量的增加。余下的能量传至远区, 无力明显影

响大块率的改变。

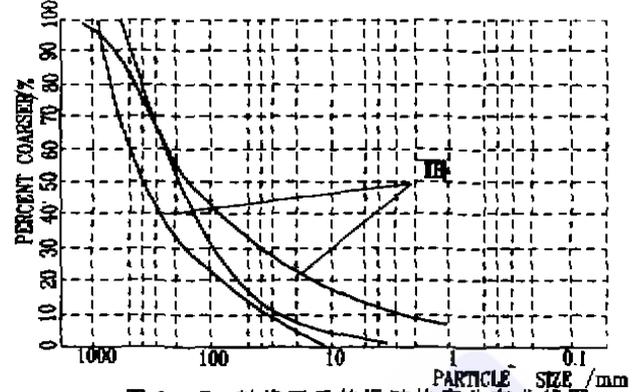


图3 Ⅱ_B料修正后的爆破块度分布曲线图

5 结 语

(1)应用 KUZ-RAM 模型作为预报采料爆破的块度的基本模型是可行的, 有利于确定合理块度分布的相关爆破参数。但是, 它所确定的块度分布若不加修正与实际情况有较大出入。

(2)采用贴近系数修正 KUZ-RAM 模型是提高爆破块度的精度切实、简便、有效的方法。这不仅为天生桥一级水电站现场试验资料所证实, 我们用来验证其它实际工程也是同样有效的。

(3)采用修正后的 KUZ-RAM 模型预报梯段爆破的块度, 数模右端的修正系数 K_1 和 K_2 也应实时结合变化后的地质、地形情况进行调整, 纳入施工的动态管理中。

(4)通过结合天生桥一级水电站采料爆破实验研究已取得一些带规律性的认识, 也利用其它一些工程进行了初步验证, 但涉及的范围仍有一定局限性, 有待进一步结合更多工程采料深入研究, 特别是大孔距、小抵抗线的爆破在不同要求的采料中是否都能采用, 还需要做更深入的研究工作。

参考文献:

- [1] (南非)cunningham. 长沙岩石力学技术公司编译, 预估爆破破碎的 KUZ-RAM 模型[C]. 第一届爆破破岩国际会议论文集.
- [2] (挪威)凯勒尔迪(KaiNielsen). 长沙岩石力学技术公司编译. 露天台阶爆破的优化[C]. 第一届爆破破岩国际会议论文集.
- [3] (巴西)Dina da Gama. 长沙岩石力学技术公司编译. 应用破碎理论预测裂隙发育岩石在爆破作用下的破碎[C]. 第一届爆破破岩国际会议论文集.
- [4] 熊新民等. 洋鸡山金矿中深孔爆破参数优化[J]. 爆破, 1994, (4).
- [5] 费鸿禄等. 节理岩体中的爆破作用分析[J]. 爆破.

(下转第 83 页)

设备,甚至免费奉送某种用电设备,将电力市场的拓展与用户切身利益的获得有机结合起来。

据悉,四川省已制定了一个 93.7 亿元的全省电网改造计划,成都市也被列为全国首批城市电网改造试点城市,并拟斥资 23.5 亿元进行电网改造。相信随着上述措施的实施,将极大地改善输、配电网,促进电力市场的拓展,使第三产业或居民生活用电在当前工业用电市场出现疲软的情况下,成为新的电量增长点。

3.3 尽快制定电力工程经济评价方法

当前,电力项目经济评价中实行的“新电新价”政策存在着许多问题。由于按贷款偿还条件测算上网电价,电价越高,利润率越高,造成各个电站(厂)之间电价差异很大,难以进行项目之间的效益类比,同时受利益驱使,项目之间成本失去约束,电价攀比现象严重。电价低时,业主不满意,电价过高,项目则难以得到批准。种种不正常现象,使得当前项目可研或初设报告中的经济评价难以做到合理、准确,甚至个别评价形同虚设,浪费了财力物力。凡此种种不合理现象,已引起国家有关部门的关注,日前,电力项目经济评价改革的方向已经确定,即在成本计算中以社会平均成本代替个别成本,实行按季节、时段的不同而分别计价。建议有关部门尽快制定评价办法,及时颁布实施,以促进市场的拓展和经济增长。

3.4 促进水、火电互补,保持电力系统稳定运行

电力系统是一个庞大复杂的系统,水电和火电是系统的重要组成部分。几十年的电力工业发展表明,只有系统中水、火电互相促进,优势互补,才能促进系统稳定运行和快速发展。从国民经济整体来看,系统中水电多发一点,火电少发一点,可以节省燃料,降低社会成本,减少环境污染。但在市场经济条件下,从企业财务的角度来看,火电发电量越少,企业利润也越少。加上火电机组开停机慢,启动机组消耗燃料大,要求火电厂减少发电量或频繁开停机是不恰当的。当前,由于电力需求的缓解,系统发电量的减少,因而造成水电的大量弃水,发电量持续大比例减少,使得水电厂效益下滑,偿还贷款计划受阻。

不利于水电的良性发展。建议有关部门尽快制定出切实有效的办法,采用调控的手段,使水火电行业之间的利益能够补偿,最终达到水电发电量增加,利润增加;火电发电量减少而利润有保障,促进电力行业的良性发展。

3.5 继续进行水电前期工作

四川省拥有丰富的水能资源,发展电力以水电为主是我们的战略决策。尽管当前电力供应有所缓和,更应当对水电项目储备过少、选择余地不大的现状予以关注。

在大江大河上进行水电开发,是事关国计民生的基础项目,必须按国家规定进行前期科研工作,而开展科研工作就需要一定周期,因此,水电项目的开发不同于其他商业项目。正因为如此,在水电项目审查立项前,需有一定储备,若储备少、选择余地小,就可能造成无供立项的待选项目,使水电开发受阻,影响经济的持续发展。

在当前电力供应有所缓和的形势下,应当保持清醒的头脑,水电前期工作不能“缓和”,应当继续进行。只有继续增加储备项目,才能增加水电电源开发适应市场变化的应变能力,保障持续发展。

4 结 语

在当前电力供应有所缓和、电力行业效益受阻的形势下,不能思想盲目。应当看到,当前的电力盈余是暂时的、低水平的,四川省人均用电量同全国平均水平相比尚有很大差距,电力市场具有很大潜力。电力部门应当彻底转变观念,采取积极有效措施,开拓市场,通过改造电网,理顺体制,加强管理,提高人均用电水平,同时,职能部门要加大宏观调控力度,制定切实办法,使水火电效益能够互补,避免能源资源的浪费,把潜在的市场开拓出来,变成现在的市场,促进电力建设良性发展,为 21 世纪经济发展打下坚实基础。

作者简介:

周少森(1965年—),男,河南人,国家电力公司成都勘测设计研究院,高级工程师,学士,从事水能技术经济工作。

(上接第 80 页)

1995,(4).

[6] 刘兰亭等.天然块度及其在爆破块度预报中的作用[C].工程爆破文集,第4集,冶金工业出版社,1993,(4).

[7] 范文忠等.KUZ-RAM 爆破数模修正[J].岩石破碎理论与实践,1992年9月.

[8] 长江科学院天生桥爆破试验组.天生桥一级水电站堆

石料开采试验初步成果报告[R].1995年3月.

作者简介:

王民寿(1936年—),男,四川成都人,四川大学,教授,从事水电工程水工和施工专业教学和科研工作.

蒋晓明(1964年—),男,湖南宁乡人,四川省电力工业局科长,高级工程师,硕士,从事水电建设管理.

隆文非(1971年—),女,四川内江人,四川省农水局,博士,从事水利工程技术工作.