

水资源对中国农业的‘增长阻力’分析

王学渊, 韩洪云

(浙江大学中国农村发展研究院, 浙江 杭州 310029)

摘要 以罗默的‘增长阻力’概念模型为分析基础, 利用 1997 ~ 2006 年我国各省区农业生产的面板数据集, 度量了水资源紧缺对中国农业生产的制约程度。结果显示: 从全国范围来看, 由于水资源的供给不足, 单位面积农业产值增长速度在 1997 ~ 2006 年平均每年要比上一年降低 0.112 1%。按照这一数据推算, 到 2030 年单位面积农业产值增长率将比目前降低 2.66%, 到 2040 年单位面积农业产值增长率将比目前降低 3.74%, 到 2050 年单位面积农业产值增长率将比目前降低 4.82%。对中国农业‘增长阻力’的分析表明, 可通过降低资本的产出弹性和水资源的产出弹性来减少‘阻力’, 应尽快改变目前农业用水模式, 采用先进的节水技术和措施, 提高农业用水效率。

关键词 Romer 模型 水资源; 农业生产 增长阻力

中图分类号 F323.213

文献标识码 A

文章编号 1003-9511(2008)03-0001-05

由于供水总量不足, 加之工业用水和城市用水需求的不断增加, 中国农业用水形势颇为严峻。“十五”期间, 我国农业灌溉缺水水平平均 300 亿 m^3/a , 农田受旱面积年均达 0.26 亿 hm^2 , 每年因旱减产粮食 350 亿 kg 。水资源短缺不仅影响农业生产, 而且直接关系到粮食安全和国家安全问题^[1]。曾以《谁来养活中国》而震动全世界的美国世界观察研究所所长莱斯特·布朗, 1998 年发表了题为《中国水资源的匮乏将动摇世界粮食安全》的文章, 他在文中证明了中国资源‘木桶’上最短的一块木板不是耕地, 而是水。基于对未来中国水需求状况的分析与预测, 布朗指出, 中国农业用水正面临来自城市用水和工业用水的激烈竞争, 伴随地下水的枯竭及水质污染的加剧, 水资源短缺将对中国农业发展构成极大威胁, 估计 2030 年中国粮食缺口将达到 2 亿 t , 中国水资源的匮乏将动摇世界粮食安全^[2]。

中国农业用水状况真如布朗所预测的那样严重吗? 水资源短缺对中国农业生产的制约程度到底有多大? 对这一问题的解答需要强有力的证据, 尤其要有符合中国农业用水实际特点的定量分析。笔者在戴维·罗默‘增长阻力’(growth drag)理论的基础上, 通过构建符合中国农业用水特点的‘增长阻力’模型, 来度量水资源对中国农业发展的制约程度, 以期研究成果能为水政策制定者和相关领域的研究者

提供一定的参考。

1 “增长阻力”概念界定

新增长理论提出, 资源与土地的约束导致人均资源利用量与土地利用量下降, 从而减少了增长, 没有资源与土地限制情形中的增长与有资源和土地限制情形中的增长之间的差额, 就等于源于资源与土地限制的‘增长阻力’^[3]。薛俊波等^[4]、谢书玲等^[5]与杨杨等^[6]在借鉴与修正以上概念模型的基础上, 分别对中国经济发展中水土资源的‘增长阻力’进行了评估。薛俊波等^[4]与谢书玲等^[5]都将‘增长阻力’译为‘增长尾效’, 但他们的定义却不尽相同。薛俊波等^[4]将‘增长尾效’定义为有资源限制下的经济增长速度比没有资源限制情况下的增长速度降低的程度。谢书玲等^[5]则指出, 对于任何一个国家和地区, 经济发展过程中不可避免地要消耗资源, 但由于资源的有限性, 上一阶段对资源的消耗必然引起下一阶段经济增长的投入, 这个现象叫‘增长尾效’。基于以上分析, 杨杨等^[6]认为‘尾效’一般是指一种滞后的效果或在当前没有发挥完的作用, 其在后面的阶段还会继续产生效果, 用‘尾效’来描述自然资源和土地约束对经济增长的限制和阻碍作用不太贴切, 因此, ‘growth drag’还应译为‘增长阻力’, 对于土地资源来说, 其值等于‘没有土地资源约束’的经济

增长速度与‘有土地资源约束’的经济增长速度之间的差额。可见,薛俊波等与杨杨等的‘增长尾效’定义与罗默^[3]的‘growth drag’的概念内涵保持了一致,但谢书玲等与罗默的定义有很大不同。笔者也赞同杨杨等的观点,认为‘尾效’一词不适合用来描述经济发展中资源和土地制约的‘growth drag’,而应依据罗默所著《高级宏观经济学》中译本(第二版)的译法,将‘growth drag’译为‘增长阻力’。本研究的目的是为了考察水资源约束对农业生产的影响,参照罗默的定义,农业发展中水资源的‘增长阻力’就应该等于‘没有水资源限制’条件下的农业生产增长与‘有水资源限制’条件下的农业生产增长之间的差额。

2 模型与方法

2.1 假设修正

为了评估资源限制对经济增长的制约程度,罗默^[3]构建了一个包括自然资源和土地的 C-D 生产函数模型,具体形式为

$$Y(t) = K(t)^{\alpha} R(t)^{\beta} T(t)^{\gamma} [A(t) L(t)]^{(1-\alpha-\beta-\gamma)} \quad (1)$$

$\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, \alpha + \beta + \gamma < 1$

式中: t 为时间; $Y(t)$ 为产出; $K(t)$ 为资本投入; $R(t)$ 为自然资源投入; $T(t)$ 为土地投入; $L(t)$ 为劳动投入; $A(t)$ 为知识或者劳动的有效性; α 为资本的产出弹性; β 为资源的产出弹性; γ 为土地的产出弹性。模型的假设与资源和土地有关:有自然资源和土地限制时, $\dot{T}(t) = 0$ 和 $\dot{R}(t) = -bR(t)$ (b 为资源利用率, $b > 0$);没有自然资源和土地限制时, $\dot{T}(t) = nT(t)$ 和 $\dot{R}(t) = nR(t)$ (n 为人口增长率),即两者均与人口一起增长。增长阻力 D_{drag} 为

$$D_{\text{drag}} = \frac{\beta b + (\beta + \gamma)n}{1 - \alpha} \quad (2)$$

式中: b 为资源利用率, n 为人口增长率。为了能更

真实地衡量水资源对中国农业的增长阻力,有必要根据中国农业用水的特点,对以上概念模型及其前提假设进行调整和修正。

与 1997 年相比,2006 年全国水资源总量下降了 3 524.66 亿 m^3 ,农业用水量减少了 255.47 亿 m^3/hm^2 ,用水份额也下降了 7.2 个百分点,灌溉用水量也大约减少 750 m^3/hm^2 。水和土地一样,都是农业生产必不可少的自然资源,但土地是农业发展的基础和载体,水和其他投入要素只有依附在土地上才能实现农业生产。由于水资源供给能力有限,而工业用水需求和城市用水需求不断增加,中国农业可利用水资源正在逐渐减少。农业可利用水量的减少导致单位面积灌溉用水量的下降,势必会阻碍农业生产的增长。因此,为了更确切地反映水资源短缺对农业生产的影响,笔者选择定量测算水资源对单位面积农业产值增长的制约程度。

如图 1 所示,1997~2006 年间,农业用水并没有随着农作物播种面积的变化而同比例变化。因此,在对受水资源限制的农业生产进行分析时,不应该事先假定资源是固定不变的,或确定资源增长率为负或为正^[6]。在前人研究的基础上,笔者对模型假设做以下修正:有水资源限制时,变化的农业用水投入 $\dot{W}_i(t) = g_{Wi} W_i(t)$,其中 g_{Wi} 为 i 地区的农业用水增长率, $W_i(t)$ 为 i 地区在 t 时间的农业用水投入;没有水资源限制时, $\dot{W}_i(t) = g_{Ti} W_i(t)$, g_{Ti} 为 i 地区的农作物播种面积增长率。这意味着农业用水随着农作物播种面积的变化而同比例变化。

2.2 模型构建

为了使分析具有可操作性,仍采用 C-D 生产函数形式,模型公式为

$$Y_i(t) = K_i(t)^{\alpha} W_i(t)^{\beta} T_i(t)^{\gamma} [A_i(t) L_i(t)]^{(1-\alpha-\beta-\gamma)} \quad (3)$$

式中: $Y_i(t)$ 为 i 地区在 t 时间的农业产出; $K_i(t)$ 为

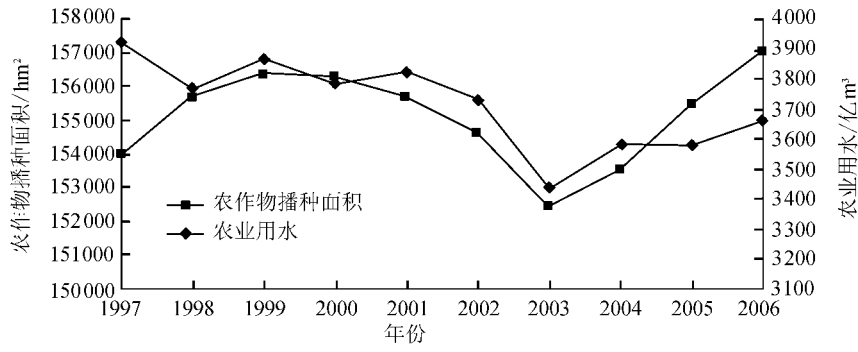


图 1 1997~2006 年中国农业用水和农作物播种面积变化趋势^①

①数据来源于中国农村统计年鉴(1998~2007)与中国水资源公报(1997~2002),并经计算整理而得。

i 地区在 t 时间的资本投入; $W_i(t)$ 为 i 地区在 t 时间的农业用水投入; $T_i(t)$ 为 i 地区在 t 时间的土地投入; $L_i(t)$ 为 i 地区在 t 时间的劳动投入; $A_i(t)$ 为 i 地区在 t 时间的知识或劳动的有效性; α, β, γ 分别代表资本、水和土地的产出弹性, 且 $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, \alpha + \beta + \gamma < 1$ 。对式(3)两边取对数, 可得

$$\ln Y_i(t) = \alpha \ln K_i(t) + \beta \ln W_i(t) + \gamma \ln T_i(t) + (1 - \alpha - \beta - \gamma) [\ln A_i(t) + \ln L_i(t)] \quad (4)$$

利用变量对数的时间倒数等于该变量增长率的事实^[3], 可得

$$g_{Yi} = \alpha g_{Ki} + \beta g_{Wi} + \gamma g_{Ti} + (1 - \alpha - \beta - \gamma) (g_i + g_{Li}) \quad (5)$$

式中: $g_{Yi}, g_{Ki}, g_{Wi}, g_{Ti}, g_{Li}, g_i$ 分别表示 $Y_i(t), K_i(t), W_i(t), T_i(t), L_i(t), A_i(t)$ 的增长率。根据罗默^[3]的结论, 如果处在一个平衡增长路径上, g_{Yi} 与 g_{Ki} 一定相等。把 $g_{Yi} = g_{Ki}$ 代入式(5)并求解 g_{Yi} 得:

$$g_{Yi}^{\text{bgp}} = [(1 - \alpha - \beta - \gamma) (g_i + g_{Li}) + \gamma g_{Ti} + \beta g_{Wi}] / (1 - \alpha) \quad (6)$$

式中: g_{Yi}^{bgp} 为处在平衡增长路径上的农业产出增长率。式(6)意味着, 在平衡增长路径上单位面积农业产出增长率 $g_{(Y/T)i}^{\text{bgp}}$ 为

$$g_{(Y/T)i}^{\text{bgp}} = g_{Yi}^{\text{bgp}} - g_{Ti}^{\text{bgp}} = [(1 - \alpha - \beta - \gamma) (g_i + g_{Li}) + \gamma g_{Ti} + \beta g_{Wi}] \cdot (1 - \alpha)^{-1} - g_{Ti} = [(1 - \alpha - \beta - \gamma) \cdot (g_i + g_{Li}) + \beta g_{Wi} - (1 - \gamma) g_{Ti}] / (1 - \alpha) \quad (7)$$

推导出有水资源约束情况下 i 地区单位面积农业产出增长率 $g_{(Y/T)i}^{\text{bgp}}$ 之后, 用同样的推导方法考察没有水资源约束情况下的农业产出增长率, 此时, 原假设 $\dot{W}_i(t) = g_{Wi} W_i(t)$ 由 $\dot{W}_i(t) = g_{Ti} W_i(t)$ 代替。可以得出, 在平衡增长路径上, 当农业用水与农作物播种面积同比例变化时, 单位面积农业产出增长率为

$$\tilde{g}_{(Y/T)i}^{\text{bgp}} = [(1 - \alpha - \beta - \gamma) (g_i + g_{Li}) + (\gamma + \beta - 1) g_{Ti}] / (1 - \alpha) \quad (8)$$

所以, 农业发展中水资源的‘增长阻力’为

$$D_{\text{drag}} = \tilde{g}_{(Y/T)i}^{\text{bgp}} - g_{(Y/T)i}^{\text{bgp}} = \frac{\beta (g_{Ti} - g_{Wi})}{1 - \alpha} \quad (9)$$

从式(9)可知, 水资源对农业的‘增长阻力’会因资本的产出弹性 α 、水资源的产出弹性 β 及农作物播种面积增长率的增加而变大。这就意味着, 一个国家的农业发展不能过度依赖资本、土地和水资源, 否则, 将会大大增大水资源对农业生产的制约程度。农业生产中的主要投入要素为劳动、资本、土地、水资源、技术和知识, 既然农业不能过于依赖资本、土地和水资源, 农业劳动力随着工业化的进程也正在

大量减少, 那么, 降低水资源‘增长阻力’的办法只能是推动技术的进步, 使技术进步因素在农业生产中的地位不断提高。

需要特别指出的是, 在 C-D 生产函数条件下, 生产要素间的替代弹性为固定常数 1。事实上, 投入要素之间的替代弹性未必等于 1, 当替代弹性小于 1 时, 日益稀缺的投入要素对产出的贡献份额就会增加, 日益稀缺的投入要素就会变得更为重要。在相反的情况下, 日益稀缺的投入要素对产出的贡献份额就会下降, 日益充裕的投入要素就会变得更加重要^[7]。

3 “增长阻力”度量

3.1 数据说明

本研究的目标是度量中国各地区水资源短缺对农业生产的限制程度。考虑数据的可得性, 采用 1997 ~ 2006 年中国省区面板数据集, 所有数据均来自于《中国农村统计年鉴》(1998 ~ 2007) 与《中国水资源公报》(1997 ~ 2002)。 $Y_i(t)$ 由农业产值数据反映, 由于资料里的数值依据的是当年价格, 在此以 1996 年为基准年, 按照可比价格进行调整; 对于劳动投入 $L_i(t)$, 采用农林牧渔业就业人数, 参照文献^[8]农业生产率研究成果, 采用农业机械总动力数据衡量资本投入 $K_i(t)$; 对于水资源投入 $W_i(t)$, 因为产出数据主要针对于狭义的农业即种植业, 此处采用农田灌溉用水数据, 从总体看, 灌溉用水占到农业用水总量的 90%^[9], 因此, 笔者对年鉴公布的农业用水数据按 90% 的比例折算。此外, 缺失数据采用差值法补齐。

3.2 计量分析

根据式(9), C-D 生产函数模型的 α, β 估计值是定量测算农业发展中水资源‘增长阻力’的基础。先利用 STATA10.0 软件对式(4)中的多元回归模型进行参数估计。最初的参数估计结果见表 1。从表 1 中可以看出, Hausman 检验的 χ^2 值为 4.79, 表明根据省区面板数据集进行的固定效应(FE)或随机效应(RE)参数估计结果差异不大, 而且 F 检验和 Breusch-Pagan LM 随机效应检验也表明以上两种估计方法优于最小二乘法(OLS), 拟合优度都在 96% 以上。然而, 进一步的序列相关和异方差检验结果显示, 无论固定效应模型还是随机效应模型, 都存在一阶自相关、截面相关和异方差。

当模型中存在异方差或序列相关时, 在同方差假设下得到的估计量虽然仍旧是无偏且一致的, 但不具有有效性。因此, 有必要利用放松假设条件的可行广义最小二乘法(FGLS)重新对模型进行估计, 结

果见表 2。可以看出,各估计参数都在 10% 的水平统计显著,Wald 检验也表明模型估计有效。

3.3 结果计算

对于变量年均变化率的计算,利用如下公式^[4] :

$$Y_0(1 + g_y)^{t-1} = Y_t \tag{10}$$

式中 : Y_0 为农业产值初期(1997 年)值 ; Y_t 为农业产值末期(2006 年)值 ; $t - 1$ 是增长的期数,本研究中等于 9 ; g_y 代表农业产值的年均增长率。根据上一部分的计量分析结果,可知, $\alpha = 0.113\ 7$, $\beta = 0.103\ 1$ 。将 α, β 代入式(9),就得到水资源对中国农业的‘增长阻力’为 0.001 121。也就是说,我国农业生产受到水资源短缺的制约,由于单位面积农业可利用水量的减少,这些地方土地的农业生产能力正在下降。由于水资源不能随着农作物播种面积同比增长,使得单位面积农业产值增长速度比没有水资源限制的情形下降低了 0.112 1%,这意味着中国农业生产中的水资源消耗有一部分是耗竭性的,从长远看,这个问题应该引起关注。

上述计量分析的结果表明,由于水资源的供给不足,中国单位面积农业产值增长速度在 1997 ~ 2006 年平均每年要比上一年降低 0.112 1%。这一数值似乎并不大,但按照这一数据推算下去,到 2020 年中国单位面积农业产值增长率就会仅仅因为水资源的‘增长阻力’比目前增长率降低 1.56% ;到 2030 年单位面积农业产值增长率将比目前降低 2.66% 到 2040 年单位面积农业产值增长率将比目前降低 3.74% 到 2050 年单位面积农业产值增长率

将比目前降低 4.82%。由此可见,水资源对中国农业生产将产生相当大的制约作用,并对农业的可持续发展造成较大的影响。

4 结 论

本研究基于戴维·罗默‘增长阻力’概念模型,利用 1997 ~ 2006 年我国各省区农业生产的面板数据集,通过对‘没有水资源限制’条件下的农业生产增长与‘有水资源限制’条件下的农业生产增长之间差额的计算,来衡量水资源紧缺对中国各地区农业发展的制约程度。结果表明 :从全国范围来看,由于水资源不能随着农作物播种面积同比增长,使得单位面积农业产值增长速度比没有水资源限制情形下降低了 0.112 1%,水资源作为可更新资源却存在‘增长阻力’,这意味着中国农业对水资源的某些消耗是永久性的。目前的水资源利用状况已经限制了中国农业生产的生长,这种负面影响虽然不大,但从长期来看,如果不能加以有效控制,逐年累计,势必将对中国的农业生产能力造成重创。

从长期来看,工业化和城市化对耕地的占用必然导致农作物播种面积的不断减少,而人口的增长和生活水平的提高,必然不断扩大对粮食的需求,提高单位面积粮食产量是保障中国粮食安全的最根本选择。而本研究结果显示,目前水资源短缺状况已经减缓了单位面积粮食产出增长速度,限制了粮食单位面积产量的提高。伴随经济的高速发展,农业用水也正面临来自工业用水和城市用水的激烈竞

表 1 固定效应模型与随机效应模型估计结果

项 目	系 数	
	固定效应模型(FE)	随机效应模型(RE)
ln <i>T</i>	0.874 8 * * * (0.034 6)	0.865 0 * * * (0.032 7)
ln <i>L</i>	0.057 7 (0.071 875)	- 0.016 9 (0.043 7)
ln <i>K</i>	0.150 3 * * * (0.022 5)	0.128 9 * * * (0.019 9)
ln <i>W</i>	0.137 8 * * * (0.045 4)	0.111 6 * * * (0.035 5 8)
常数项	- 1.902 9 * * * (0.512 4)	- 1.078 1 * * * (0.222 6)
组内拟合优度	0.769 3	0.768 0
组间拟合优度	0.969 7	0.969 0
总体拟合优度	0.966 2	0.965 7

注 :农业产值为因变量 ;* * * 代表 1% 的水平显著 括号内的数值为标准误 ;Hausman 检验 χ^2 值等于 4.79 ;对 FE 模型,Wooldridge 自相关检验 *F* 值为 15.38,Breusch-Pagan LM 独立检验 χ^2 值等于 738.326,Wald 异方差检验 χ^2 值等于 7428.07 ;对 RE 模型,Breusch-Pagan LM 随机效应检验 χ^2 值等于 1047.38,Wooldridge 自相关检验 LM 值等于 289.41 (用于检验的样本数目取 310)。

表 2 存在异方差和一阶自相关的可行广义最小二乘估计结果

项目	系数	标准误
ln <i>T</i>	0.718 1 * * *	0.046 7
ln <i>L</i>	0.041 7 *	0.056 4
ln <i>K</i>	0.113 7 *	0.044 7
ln <i>W</i>	0.103 1 * *	0.046 0
常数项	- 0.646 8 * * *	0.134 8

注 :农业产值为因变量 ;* 代表 10% 的水平显著, * * 代表 5% 的水平显著, * * * 代表 1% 的水平显著 ;取样本数目为 310,进行 Wald 检验, χ^2 值等于 3 180.76。

争,再加上气候变暖和水质污染问题,农业可利用水资源量还将进一步减少,水资源余量将越来越无法支撑农业特别是无法支撑粮食生产,最终将危及粮食安全。

从水资源‘增长阻力’计算公式(9)可以看出,水资源对中国农业的‘增长阻力’与资本的产出弹性 α 、水资源的产出弹性 β 、农作物播种面积的增长率正相关。这表明可以通过降低资本的产出弹性与水资源的产出弹性来减少这一阻力,它的内在经济含义就是降低资本、土地和水资源在农业生产中的作用,即农业发展不可过分依赖于资本、土地和水资源。需要强调的是,降低水资源在农业生产中的作用并不意味着就可以浪费水资源,因为水资源对农业的‘增长阻力’就是由于水资源不能随土地同比例增长造成相对短缺而引起的。因此,必须尽快改变目前农业用水模式,依靠技术进步,采用先进的节水技术和措施,提高农业用水效率。唯有如此,才能缓解日趋严重的农业用水压力,使农业生产在用水总量不增加甚至减少的情况下同样可以保持持续增长。

参考文献:

- [1] 马小河,方松海.中国的水资源状况与农业生产[J].中国农村经济,2006(10):4-11.
- [2] BROWN L R,HALWEIL B. China's water shortage could shake world food security[J]. World Watch,1998,11(4):10-20.
- [3] 戴维·罗默.高级宏观经济学[M].2版.王根蓓,译.上海:财经大学出版社,2003:31-33.
- [4] 薛俊波,王铮,朱建武,等.中国经济增长的‘尾效’分析[J].财经研究,2004,30(9):5-14.
- [5] 谢书玲,王铮,薛俊波.中国经济发展中水土资源的‘增长尾效’分析[J].管理世界,2005(7):22-25.
- [6] 杨杨,吴次芳,罗翌辉,等.中国水土资源对经济的‘增长阻力’研究[J].经济地理,2007(4):529-537.
- [7] 崔云.中国经济增长中土地资源的‘尾效’分析[J].经济理论与经济管理,2007(11):32-37.
- [8] KANEKO S, TANAKA K, TOYOTA T. Water efficiency of agricultural production in China: regional comparison from 1999 to 2002[J]. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology,2004(3):231-251.
- [9] 翟浩辉.坚持不懈开展农田水利基本建设[EB/OL]. [2002-09-06]. <http://www.fswater.gov.cn/news/chinasl/200210/200210240001.htm>.

(收稿日期:2008-01-02 编辑:彭桃英)

·简讯·

堆石混凝土技术成果鉴定会成功举办

2008年4月14日,水利部国际合作与科学技术司在清华大学对堆石混凝土技术成果进行了鉴定,会议由水利部国际合作与科学技术司高波司长主持。鉴定专家组由潘家铮院士任组长,水利部总工程师刘宁任副组长。鉴定专家有汪易森、李春敏、高安泽、刘志明、马毓淦、朱新民等。清华大学土木水利学院李庆斌副院长、华实公司董事长王光纶教授、华实公司R&D研究院首席科学家安雪晖教授、华实公司R&D研究院首席科学家金峰教授参加了鉴定会。

鉴定委员会专家首先听取了金峰教授代表项目承担单位的汇报,然后审阅了相关资料,经过认真质疑、讨论,最后形成了中肯的鉴定意见:

- a. 提供的技术资料完整翔实,符合成果鉴定要求。
- b. 堆石混凝土技术是先将满足粒径要求的块石入仓,形成有空隙的堆石体,然后在堆石体表面浇注满足特定要求的自密实混凝土,填充堆石空隙,或者将块石抛入自密实混凝土中,形成完整、密实、满足要求的混凝土。
- c. 该成果属于原创性的新技术,具有完全的自主知识产权,其主要创新点如下:
①堆石混凝土技术通过大量块石的使用,堆石含量可达到55%以上,水泥用量少,工程实测的大体积混凝土实际水化热温升仅为常态混凝土的1/2左右,在施工过程中可以简化温控措施。形成的大体积混凝土结构收缩小,具有较强的抗裂能力。
②堆石混凝土施工层面有大量的块石棱角裸露,可提高层间抗剪能力。
③堆石混凝土施工工艺简单。所使用的机械设备均为常规设备,节省了混凝土的生产和浇筑量,免除了振捣工序,简化了层面处理措施,从而显著提高工效,缩短工期,大幅度降低工程造价。
- d. 堆石混凝土技术已应用于北京军区某蓄水建筑物重力坝、宝泉抽水蓄能电站上库副坝及冲沟回填、向家坝水电站沉井群回填等工程,取得了成功的经验,效益显著。该技术成果的推广应用,将推动我国中小型水利工程及其他大体积混凝土施工技术的发展,具有广阔的应用前景。

鉴定认为,堆石混凝土技术总体上达到国际先进水平,在堆石混凝土筑坝技术方面达到国际领先水平。

鉴定专家建议:今后应进一步研究堆石混凝土的性能,并结合实际工程应用,解决施工中的问题,提出有关技术规程的建议,促进堆石混凝土技术的推广应用。

(柳晓璎供稿)