DOI:10.3880/j.issn.1003-9511.2018.03.010

碾压混凝土坝施工质量风险评价研究

佘春勇[1],张 可[2,3],杨圣涛[2,3]

(1.浙江省水利水电工程质量与安全监督管理中心,浙江 杭州 310000;
2.河海大学商学院,江苏 南京 211100;3.河海大学项目管理研究所,江苏 南京 211100)

摘要:为提高碾压混凝土坝施工质量管理水平,从压实容量、抗压强度、耐久性、受力变形特性、层面的结合性能等5个方面构建施工质量风险初始评价指标;利用专家甄别以及相关性分析方法得到最终评价指标;构建灰色多层次评价模型对碾压混凝土施工质量进行评价,并通过评价结果判断施工过程中存在的问题。

关键词:水利工程;碾压混凝土坝;施工质量管理;风险评价;灰色多层次

中图分类号:F294 **文献标识码**:A **文章编号**:1003-9511(2018)03-0045-05

碾压混凝土具有水泥用量少、造价低以及温控较易等优点,在水电工程施工行业应用相当广泛,但是由于诸如密实度不够、层间结合不良等方面的缺点,在一定程度上影响了碾压混凝土的推广[1]。

碾压混凝土坝在施工阶段埋下的质量隐患将会在大坝运行阶段逐一暴露,影响大坝的安全运行,造成不可估量的利益损失。而造成碾压混土坝施工质量风险因素众多,如地质条件、水文条件、气候条件、施工水平、施工工艺及机械设备性能等[2],由于碾压混凝土大坝各个施工环节环环相扣,很多情况下一种质量问题可能是多种因素综合作用的结果[3]。因此,有必要在碾压混凝土大坝施工过程中对其进行施工质量风险评价,对于风险较高的项目根据指标得分情况系统性分析,探究其施工过程质量风险评价结果偏低的原因,以便及时发现问题,及时更正。

1 碾压混凝土坝施工质量评价指标识别

1.1 初始指标的选取

影响碾压混凝土坝施工质量的因素众多,由现有文献可知,可以从压实容量、强度、耐久性、受力变形特性以及层面结合质量等5个方面对碾压混凝土坝施工阶段的质量风险进行评价[4]。

1.1.1 压实容量

压实容量主要反映了压实效果的优劣,林达[5]在试验的基础上提出压实容量的大小取决于压实能量。碾压机械的性能、压实的厚度、变数等因素都会对压实能量造成影响。在实际的施工过程中,碾压设备的性能早在施工之前随着设备的确定已确定,因此真正影响碾压效果的因素主要是压实的厚度和次数。高鹏[4]认为,单位体积用水量对振动压实的效果影响同样显著,且其存在一个最优单位体积用水量。

1.1.2 强度

石妍等[6]认为碾压混凝土的抗压、抗拉强度以及本体抗剪强度是考察碾压混凝土坝力学强度性能的最重要指标。全海[7]提出水胶比、水泥型号、胶凝材料用量、粉煤灰掺量骨料的粗细程度都会对碾压混凝土坝强度产生影响。

国内外研究证明[8-9],干贫碾压混凝土以及高粉煤灰含量碾压混凝土均符合“水灰比定律”,即随着水灰比的增加,抗压强度降低。工程实践证明,胶凝材料的用量对碾压混凝土的强度有正向的促进作用,而随着胶凝材料用量的增大,促进作用也逐渐减弱。当胶凝材料较少时,干贫混凝土内无法产生足够的水化物填补混凝土的空隙,因此,此时的抗压强度较弱。随着胶凝材料的增加,混凝土内的空隙被填充,抗压强度也相应地增加。根据刘建义[10]的研究结论可知,当水泥量保持不变,胶凝材料用量适当变动的情况下,碾压混凝土的抗压强度随着粉煤灰的增加而增加。此外,根据刘数华等[11]的研究结论可知,骨料的粗细程度也会对碾压混凝土的强度产

基金项目:2014 年度国家社科基金重点项目(14AZD024)

作者简介:佘春勇(1977—),男,高级工程师,主要从事水利建设工程质量安全监督管理及行政执法研究。E-mail:15298356766@163.com

生影响,在其他条件不变的情况下一定范围内碾压混凝土的抗压强度与砂率呈负相关性,但是超过一定范围,混凝土与砂率反而呈正相关关系。在其他条件不变的情况下,砂中的细粉的含量与碾压混凝土抗压强度呈正相关。

1.1.3 耐久性

阮燕等[12]认为,抗渗性与抗冻性是体现碾压混凝土耐久性的两个重要方面,同时他们在试验的基础上提出配合比、密实度是影响混凝土抗渗性的决定性因素。粉煤灰的含量是影响碾压混凝土抗渗性的重要因素。在其他条件保持不变的条件下,粉煤灰的含量与碾压混凝土的强度成正相关关系,这是因为粉煤灰在后期不断水化,堵塞原生空隙,抗渗性也随之增加。同时,由于碾压混凝土采用碾压工艺施工,层面结合不良也会在很大程度上影响碾压混凝土的抗渗性能。此外,影响碾压混凝土抗渗性的指标还包括施工缝的间歇时间、冷缝的处理方式及质量等等,因此造成碾压混凝土抗渗性差的原因错综复杂,极有可能是多种原因共同作用的结果。

1.1.4 受力变形特性

石妍等[13]认为,碾压混凝土的受力变形特性是研究和分析碾压混凝土开裂性能的重要性能,其在搜集国内碾压混凝土坝的受力变形数据的基础上分析出可能会影响碾压混凝土坝受力变形情况的因素主要有静力抗压模量、极限拉伸值、徐变等因素。方坤河[14]在试验的基础上提出无论是骨料、胶凝材料等原材料的质量,还是混凝土的材料用量、比例均会对碾压混凝土的静力抗压弹性模量产生影响。此外,施工质量对静力抗压弹性模量也不容忽视。石妍等[13]在对国内外数据处理的基础上认为,原材料的用量、混凝土的抗拉强度以及弹性模量均会对碾压混凝土的极限拉伸值产生影响。国内外的试验证明[4,9],粉煤灰的含量较高时,碾压混凝土的抗裂性能较高,同时其极限拉伸值也会随着龄期的增加而提升。高鹏[4]认为,影响碾压混凝土徐变的因素不仅包括原材料的性质和比例,还包含对碾压混凝土加荷时的一系列因素,诸如时间、应力等。

1.1.5 层面结合质量

层面结合不良是碾压混凝土坝施工中较为突出的质量风险[1]。从理论角度来看,造成层间结合不良的原因是上层混凝土覆盖碾压时下层的混凝土已失去塑性。造成层间结合不良的原因是多方面的,韩克林[1]根据以往的资料和施工实践提出层面施工间歇时间、碾压层面完好程度以及混凝土铺设时骨料分离情况都会影响碾压混凝土的层间结合情况。

笔者在整理现有文献与碾压混凝土坝设计技术标准的基础上构建了碾压混凝土坝施工质量评价的初始指标体系 M(图1)。

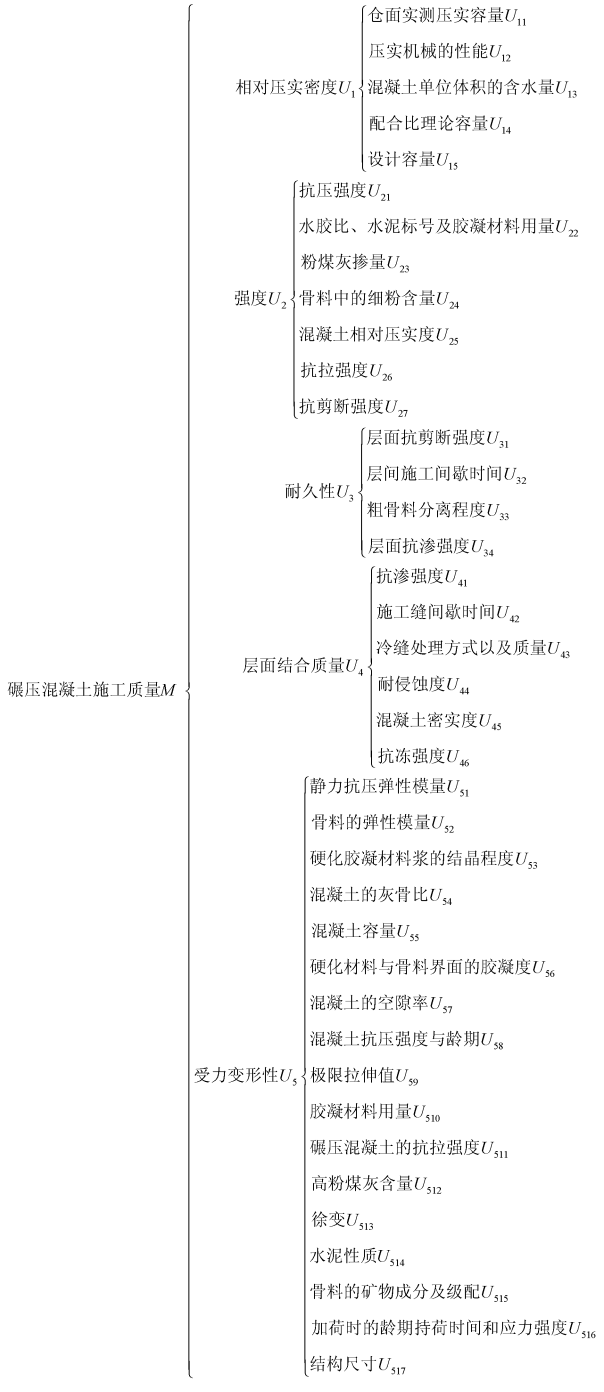

图1 碾压混凝土坝施工质量风险评价初始指标 M

1.2 指标甄别与筛选

1.2.1 专家甄别

在碾压混凝土坝施工质量初步评价指标体系确定之后,我们选择了20位专家以问卷形式征询意见。这些专家包括了10位水利研究领域的学者和10位曾经参与碾压混凝土坝现场施工管理的专家。专家指标法首先要求专家依据自身经验与知识选择出他们认为最重要的10个指标,然后将专家判断的结果进行统计。笔者将 $Q_i = T_i/20$ 称为指标 i 的专家

评价共识率(T_i 为第 i 个指标被专家选择的次数),并取临界值(临界共识率)为 $Q_0=10\%$,如果 $Q_0\leqslant 10\%$,则认为经第 i 个指标是重要程度较弱,应删除[15]。

对专家甄别结果进行统计分析,其中最后 13 个指标 Q_i 低于 10%,按照要求我们将其删除,并将最终剩余的 26 个指标形成指标系统 M_2。删除的指标有:相对压实密度中压实机械的性能 U_{12};强度中水胶比、水泥标号及胶凝材料用量 U_{22}、粉煤灰掺量 U_{23};耐久性中的层间施工间歇时间 U_{32};层面结合质量中的施工缝间歇时间 U_{42}、冷缝处理方式以及质量 U_{43};受力变形性能中骨料的弹性模量 U_{52}、硬化胶凝材料浆的结晶程度 U_{53}、硬化材料与骨料界面的胶凝度 U_{56}、碾压混凝土的抗拉强度 U_{511}、水泥性质 U_{514}、骨料的矿物成分及级配 U_{515}、结构尺寸 U_{517}。

专家判断的主观性不可避免地会影响结果的客观性,但是由于笔者选取的专家较多,在一定程度上可以化主观为客观[15]。根据专家的经验和知识确能删除一些不能反映碾压混凝土施工质量特性的指标,适当降低指标的冗余度。

1.2.2 指标相关性分析

专家甄别法虽可以在一定程度上改善指标体系,但是现有指标体系 M_2 依然存在数据偏多、逻辑性较弱等问题,因此笔者拟采用相关性分析的方法删除部分相关性较强的指标,进一步降低指标的冗余度。为此,需要采取以下分析步骤:

(1) 整理归纳浙江省水利工程质量监测报告,获取 2014—2016 年各指标数据(样本涵盖了浙江省内 3 年中 34 座碾压混凝土坝的检测数据);

(2) 用常用的统计标准化方法对数据进行无量纲处理;

(3) 依据已得到的标准化值求得 M_2 中各指标之间的相关性系数 R_{ij};

(4) 在确定相关系数临界值 $T(0<T<1)$ 的基础上进行初步判断,如果 $R_{ij}<T$, 可以同时保留两个评价指标;

(5) 对 $R_{ij}\geqslant T$ 的指标进行逻辑性判断,删除一些相关性较强且不重要的指标。

我们首先利用 SPSS 13.0 对评价指标体系进行相关性分析,计算出相关系数矩阵,在取相关临界值为 0.8 的基础上,筛选出 13 对评价指标并对其进行相关性分析。

经过对相关性指标进行定性分析,根据相关分析的原理和原则删减了 13 个指标:混凝土单位体积的含水量 U_{13}、骨料中的细粉含量 U_{24}、混凝土相对压实度 U_{25}、粗骨料分离程度 U_{33}、耐侵蚀度 U_{44}、混凝土密实度 U_{45}、混凝土的灰骨比 U_{54}、混凝土容量 U_{55}、混凝土的空隙率 U_{57}、混凝土抗压强度与龄期 U_{58}、胶凝材料用量 U_{510}、高粉煤灰含量 U_{512}、加荷时的龄期持荷时间和应力强度 U_{516}。

1.2.3 评价指标体系的确定

根据全面性、系统性、可比性、科学性与可行性相结合的原则,笔者结合浙江省 2014—2016 年水利工程质检报告结果,综合相关水利专家意见利用层次分析的原理,从相对压实密度、强度、层面结合质量、耐久性以及受力变形性能 5 个方面构建碾压混凝土坝施工质量指标体系 M_3(图 2)。

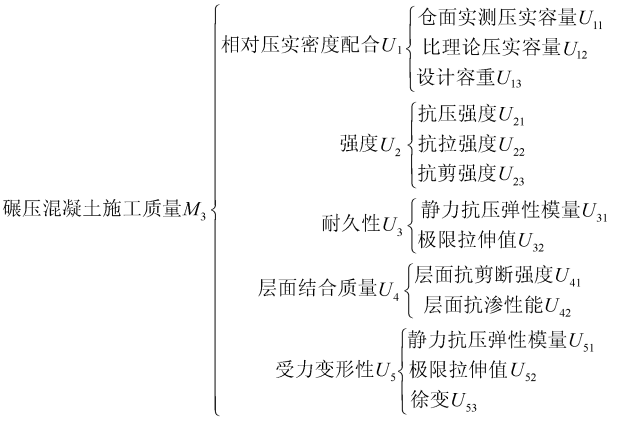

图 2 碾压混凝土坝施工质量风险评价指标体系 M_3

2 灰色多层次评价模型

碾压混凝土坝施工质量风险评价过程中,许多指标只能采取专家咨询的方式定性评价,同时混凝土坝施工质量的评价还会存在信息严重不对称问题,施工企业出于对自身利益的保护往往拒绝透露真实的施工情况,虽然监测人员可以通过抽检和巡检获取一定的信息,但对评估者及评估对象来说信息都是不完全、不确切的。此外,专家的知识、经验以及自身的偏好都会影响其评价结果,造成评价结果偏离实际。整个项目的施工风险处于“部分确知,部分不确知的状态”,具有很高的灰色性。据此,笔者利用灰色层次评价模型对碾压混凝土坝质量风险进行评价。

首先,利用群体层次分析法计算出专家权重集,再利用模式识别去除部分孤立意见之后求均值。如何充分利用调查结果,剔除专家的主观偏好、形成共识性指标体系权重是笔者迫切需要解决的问题。为此,笔者借鉴了大规模群体决策的研究方式,构建了基于信息集结算子的 AHP 权重计算方法。该方法主要包括 4 个步骤。

步骤 1. 采用标准化方法剔除调查问卷中专家的个人偏好。现阶段研究中,为了剔除不同用户对于产品的偏好不同,通常采用 Z-SCORE 和标准化的方式,

剔除用户偏好。由于 Z-SCORE 方法进行变换后,容易产生负分值,不利于权重计算。为此,本研究主要采用标准化方法进行研究。该方法假设标准化的目标区间为$[L,R]$,原来指标的取值范围为$[1,r]$,则根据等比例映射的原理,一个专家对于某项指标的评分 x 映射到标准化区间的值 v 的计算方法如下:

$$v = \frac{x-l}{r-l}(R-L) + L \tag{1}$$

步骤 2. 采用信息集结算子剔除极端评分,综合不同专家对问卷中质量风险指标的评分。大量采用专家评分容易对某些质量风险指标存在意见分歧,信息集结算子是有效剔除极端意见的工具,常用的算子包括有序加权平均算子(OWA)、有序几何平均算子(OWG)等。这类算子的基本步骤是首先对评分按照大小顺序进行有序排列,然后根据专家人数等因素生成一组专家权重序列,计算公式如(式 2 和式 3)所示。最后进行评分的加权计算。

$$w_i = Q(i/l) - Q((i-1)/l) \tag{2}$$

$$Q(r) = \begin{cases} 0 & r < \alpha \\ \dfrac{r-\alpha}{\beta-a} & \alpha \leqslant r \leqslant \beta \\ 1 & r > \beta \end{cases} \tag{3}$$

式中:$\alpha,\beta \in [0,1]$,在“多数”、“至一半”、“尽可能多”和“全部平均”原则下,模糊量化算子 $Q(r)$ 对应的参数(α,β)分别为(0.3,0.8)、(0,0.5)、(0.5,1)、(0,1)。

以 8 位专家对于某项指标的评分为例,各专家评分依次为(5,7,4,7,1,7,5,4),按照顺序排列后为(7,7,7,5,5,4,4,1)。在考虑“多数”专家意见情况下,生成的权重向量为(0,0.05,0.2,0.3,0.25,0.15,0.05,0),加权分值为 4.8,由于剔除了极端性意见,因此采用集结算子后的分值高于简单平均值 4。

步骤 3. 建立指标体系评分与问卷题项标准分的映射关系。由于最终的质量风险指标体系是对初始风险清单进行了筛选、汇总操作,因此,在计算了标准分值后需要进一步汇总最终问卷指标得分,并计算平均分数。

步骤 4. 根据指标体系的标准分数,采用 AHP 进行权重计算。

其次,制定评价指标的评价等级,在此基础上组织专家评分并求出评价样本矩阵;再次,确定评价灰类并计算灰色评价系数,并基于此计算灰色权向量及权矩阵;最后,对项目质量风险进行综合评价并排序。如当全体评价专家都认为第 x 个受评项目的每个指标 U_{ij} 评分都是 1 分,对应的 $R^{(x)}$ 为 2.1898;当全体评价专家都认为第 x 个受评项目的每个指标 U_{ij} 评分都是 2 分,对应的 $R^{(x)}$ 为 3.1169;当全体评价专家都认为第 x 个受评项目的每个指标 U_{ij} 评分都是 3 分,对应的 $R^{(x)}$ 为 3.5008;当全体评价专家都认为第 x 个受评项目的每个指标 U_{ij} 评分都是 4 分,对应的 $R^{(x)}$ 为 4.0541;当全体评价专家都认为第 x 个受评项目的每个指标 U_{ij} 评分都是 5 分,对应的 $R^{(x)}$ 为 4.32。

3 案例分析

现有一碾压混凝土坝坝体正在施工,质监人员对其进行检测,获取数据以便对其进行质量评价。利用文章中采用的群体层次分析法,分别求得 U_i 的权重集 $A = (0.3235, 0.0907, 0.1373, 0.2941, 0.1544)$;指标 U_{ij} 的权重集 A_i 为:$A_1 = (0.3583, 0.3318, 0.3099)$;$A_2 = (0.5538, 0.2154, 0.2308)$;$A_3 = (0.6435, 0.3565)$;$A_4 = (0.4563, 0.5437)$;$A_5 = (0.4563, 0.2424, 0.3013)$,均满足一致性检验,分别请 8 位有关专家进行评价,评价矩阵如下:

$$\boldsymbol{D}^{(1)} = \begin{bmatrix} 3.5 & 4 & 4.5 & 3.5 & 4.5 & 4.5 & 3.5 & 4 \\ 2.5 & 3 & 2.5 & 3.5 & 3 & 2.5 & 3 & 3.5 \\ 3 & 3.5 & 3 & 3 & 3.5 & 3 & 2.5 & 3 \\ 4 & 4 & 3.5 & 3.5 & 4 & 4.5 & 3 & 4.5 \\ 2 & 2.5 & 3 & 3 & 2.5 & 2.5 & 3.5 & 2 \\ 3.5 & 2.5 & 3 & 3.5 & 3.5 & 4 & 3 & 2.5 \\ 4.5 & 3.5 & 3.5 & 4.5 & 4 & 4.5 & 4 & 3.5 \\ 2 & 2 & 2.5 & 2.5 & 2 & 2.5 & 1.5 & 2 \\ 2.5 & 3.5 & 2.5 & 3 & 3 & 2.5 & 3 & 2.5 \\ 3 & 2.5 & 3 & 3.5 & 2.5 & 3 & 2.5 & 3 \\ 2.5 & 2 & 1.5 & 2 & 2 & 2.5 & 2 & 2 \\ 3.5 & 3 & 3 & 2.5 & 3 & 3 & 3.5 & 2.5 \\ 2 & 2.5 & 2.5 & 3 & 2 & 2 & 2.5 & 2.5 \end{bmatrix}$$

计算灰色全矩阵为:

$$\boldsymbol{Q}_1^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0380 & 0.2703 & 0.3674 & 0.3243 \\ 0 & 0.2023 & 0.3222 & 0.2641 & 0.2113 \\ 0 & 0.1476 & 0.2953 & 0.3642 & 0.1929 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Q}_2^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0497 & 0.2817 & 0.3604 & 0.3082 \\ 0 & 0.2544 & 0.3084 & 0.2429 & 0.1943 \\ 0 & 0.1662 & 0.2471 & 0.3259 & 0.2608 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Q}_3^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0.0380 & 0.2703 & 0.3674 & 0.3243 \\ 0.0240 & 0.3363 & 0.2722 & 0.2042 & 0.1633 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Q}_4^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0.2155 & 0.3251 & 0.2552 & 0.2042 \\ 0 & 0.2029 & 0.3306 & 0.2592 & 0.2074 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Q}_5^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.0242 & 0.3507 & 0.2660 & 0.1995 & 0.1596 \\ 0 & 0.1884 & 0.3454 & 0.2590 & 0.2072 \\ 0 & 0.3040 & 0.2962 & 0.2221 & 0.1777 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Q}^{(1)} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A}_1 \cdot \boldsymbol{Q}_1^{(1)} \\ \boldsymbol{A}_2 \cdot \boldsymbol{Q}_2^{(1)} \\ \boldsymbol{A}_3 \cdot \boldsymbol{Q}_3^{(1)} \\ \boldsymbol{A}_4 \cdot \boldsymbol{Q}_4^{(1)} \\ \boldsymbol{A}_5 \cdot \boldsymbol{Q}_5^{(1)} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0.1265 & 0.2953 & 0.3321 & 0.2461 \\ 0 & 0.1207 & 0.2795 & 0.3271 & 0.2727 \\ 0.0086 & 0.1443 & 0.2710 & 0.3092 & 0.2670 \\ 0 & 0.2086 & 0.3281 & 0.2574 & 0.2060 \\ 0.0156 & 0.3629 & 0.3441 & 0.2581 & 0.2065 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{B}^{(1)} = \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{Q}^{(1)} = (0.003579, 0.189082, 0.307699, 0.295113, 0.233437)$$

$$\boldsymbol{R}^{(1)} = \boldsymbol{B}^{(1)} \cdot \boldsymbol{C}^{T} = 3.6524$$

其中，$\boldsymbol{B}^{(x)}$ 表示对第 x 个受评项目的 U_i 指标做综合评价的结果，$\boldsymbol{C}=(1,2,3,4,5)$ 为各评价灰类等级值化向量。$\boldsymbol{R}^{(x)}$ 表示对第 x 个受评项目的综合评价结果。因此，根据计算结果可知，此碾压混凝土坝处于较高的风险等级，需要质检部门通过评价过程探究造成碾压混凝土坝施工质量风险较高的原因，并进行重点监管。

4 结 论

碾压混凝土坝施工质量风险的因素类型繁多、错综复杂，因而，质监部门难以在短时间内细致检查所有的指标。笔者梳理归纳现有文献构建初始评价指标体系，在此基础上，利用专家甄别法和相关性分析法对碾压混凝土坝施工风险初始评价指标进行了删减优化。同时，笔者借鉴大规模群体决策和灰色多层次评价模型构造碾压混凝土坝施工风险评价模型，通过评价结果判断施工过程中存在的问题。案例研究表明，文中构建的指标体系和评价方法能够有效识别施工质量风险及其存在的问题，能够辅助质监部门明确重点监管部位，提升质监工作效率。

参考文献：

[1] 韩可林. 碾压混凝土大坝工程的施工质量管理研究[D]. 长沙：国防科学技术大学，2008.

[2] 李亚非. 高混凝土重力坝开裂成因分析及数值研究[D]. 济南：山东大学，2010.

[3] 贾峰. 碾压混凝土坝的渗漏问题及处理措施[J]. 水电站机电技术，2016，39(11)：79-80.

[4] 高鹏. 碾压混凝土施工质量评价指标及影响因素分析[J]. 中国水利，2007(21)：32-34.

[5] 林达. 碾压混凝土坝施工压实质量预测模型研究[D]. 天津：天津大学，2012.

[6] 石妍，方坤河，高钟伟. 碾压混凝土强度特性的研究[J]. 水力发电学报，2006，25(1)：85-89.

[7] 全海. 碾压混凝土大坝强度特性试验研究[J]. 低碳世界，2017，7(23)：42-43

[8] 石妍，方坤河. 碾压混凝土强度特性的研究[C]//中国水力发电工程学会. 2004 年全国碾压混凝土坝筑坝技术交流会论文集. 贵阳：中国水力发电工程学会，2004：85-89.

[9] 刘伟宝，陆采荣，梅国兴，等. 软弱砂岩骨料碾压混凝土的配制及其特性研究[J]. 海洋工程，2014，32(6)：105-110.

[10] 刘建义. 浅谈粉煤灰掺量对水泥胶砂、碾压混凝土强度的影响[J]. 混凝土，1988，10(5)：29-33.

[11] 刘数华，方坤河. 碾压混凝土的强度研究[J]. 大坝与安全，2004，17(3)：1-2.

[12] 阮燕，方坤河. 水工碾压混凝土耐久性及使用寿命的探讨[J]. 水利水电技术，2003，34(7)：41-43.

[13] 石妍，方坤河. 碾压混凝土变形特性的研究[J]. 水力发电，2006，32(7)：71-73.

[14] 方坤河. 碾压混凝土的变形特性研究[J]. 湖北水力发电，1993，3(2)：22-32.

[15] 陈国宏，肖细凤，李美娟. 区域技术创新能力评价指标识别研究[J]. 中国科技论坛，2008，24(11)：67-71.

（收稿日期：2017-08-07　编辑：陈玉国）

·简讯·

河海大学与荷兰代尔夫特科技大学续签校际合作协议

2018 年 5 月 17 日，荷兰代尔夫特科技大学副校长皮特·威宁格教授一行访问河海大学，徐卫亚副校长会见了来宾。

徐卫亚副校长向来宾介绍了河海大学人才培养和科学研究的基本情况，着重介绍了学校双一流建设的有关情况，并回顾了双方长期以来丰硕的合作成果，提议两校在现有合作的基础上，把合作领域从水利、海岸工程、土木等学科向环境、能源、电气、材料和信息等学科领域拓展，把合作方式从教师交流、合作研究向人才培养、学生交换、合作举办国际会议等形式拓展，进一步深化合作，促进发展共赢。皮特副校长介绍了代尔夫特科技大学的基本情况，他表示河海大学是该校在中国的传统合作伙伴，两校教师之间联系紧密，合作形式多样，希望双方共同努力，进一步深化两校之间的合作。

徐卫亚副校长和皮特副校长续签了校际合作协议。

荷兰代尔夫特科技大学是世界知名、欧洲顶尖的理工类高校，其水利、土木、建筑、环境、航空、机电、材料等学科在世界高校中排名居于前列。该校是河海大学在欧洲的传统合作伙伴，两校之间的合作历史悠久。

（本刊编辑部　供稿）