

Analysis of Dangerous Factors of Dam Road Based on Analytic Hierarchy Process

—Taking Nansi Lake Second Stage Dam as an Example

Guangxian Song, Fengmei Lv, Kai Wang

Huaihe Engineering Group Co., Ltd., Xuzhou Jiangsu
Email: 641810522@qq.com

Received: Jan. 2nd, 2020; accepted: Jan. 10th, 2020; published: Jan. 19th, 2020

Abstract

The Nansi Lake second-level dam is an important channel for coal and other cargo transportation in Jiangsu and Shandong provinces. In order to ensure the safety and normal operation of the second-level dam project, the road at the top of the second-level dam should be reinforced. Based on previous studies, this article identifies the risk factors of dam top roads, subdivides different categories, and uses expert scoring and analytic hierarchy process to analyze qualitatively and quantitatively together, in order to propose different types of effective reinforcement of danger-free dam top Road optimization measures.

Keywords

Dam-Top Highway, Risk Factors, Expert Scoring Method, Analytic Hierarchy Process

基于层次分析法的坝顶道路病险因素分析

——以南四湖二级坝为例

宋光宪, 吕凤梅, 王 凯

淮河工程集团有限公司, 江苏 徐州
Email: 641810522@qq.com

收稿日期: 2020年1月2日; 录用日期: 2020年1月10日; 发布日期: 2020年1月19日

摘 要

南四湖二级坝是江苏、山东两省煤炭等货物运输重要通道, 为保证二级坝工程的安全和正常运行, 应对

二级坝坝顶道路进行除险加固。本文在前人研究基础上,通过对坝顶道路风险因素识别,并细分不同类别,采用专家打分法与层次分析法相结合,定性定量共同分析,以期针对不同类型,提出有效加固除险坝顶道路的优化措施。

关键词

坝顶公路, 病险因素, 专家打分法, 层次分析法

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

南四湖二级坝枢纽工程是按照《沂沭泗流域规划修正成果及 1962 年以前工程安排意见》中选定的方案修建的,其目的是为了蓄水灌溉,在湖滨地区改种水稻,以解除严重的内涝灾害。二级坝水利枢纽工程多年来在蓄水灌溉、防洪、排涝、工业供水、水陆交通、水产养殖等多方面发挥重要作用,但由于南四湖二级坝拦湖土坝始建于 20 世纪 50 年代末,虽经多次加固,由于受条件限制,至今仍存在许多质量问题,长期以来土坝一直带病运行。由于历史原因和所处的特殊地理位置,二级坝目前是江苏、山东两省煤炭等货物运输重要通道,大量超重车辆通行对坝顶道路造成较大破坏,坝顶道路损坏严重,且由于枢纽工程和管理范围未经确权划界,公路运行管理状况较差。此外,坝顶公路还存在工程条件简陋、现有管理设施不能满足工程自动化管理要求等问题,为保证二级坝工程的安全和正常运行对二级坝坝顶道路进行除险加固是必要的。

国外学者较早开始研究关于大坝及坝顶道路的风险分析技术,1976 年,风险分析技术首次用于美国 Teton 坝的失事分析,在此之后,加拿大、澳大利亚等众多国家通过风险分析方法,以获取加强大坝安全风险管理措施[1] [2] [3] [4],早期中国关于风险分析主要集中在防洪安全、水资源利用、水利工程施工和地下水应用 4 个方面[5],相关学者研究病险分析可以划分为两类。一类是定性描述法,如德尔菲法、问卷调查法等;一类是定量描述法,如层次分析法[6]、理想点法[7]、灰色随机风险计算的复合不确定性分析方法[8]研究、基于 DEA/AR 模型建立的综合评价系统[9]等方法。

总体而言,关于坝顶道路病险因素分析,现有研究尚有以下缺陷:缺少对坝顶道路风险因素的类别划分,在一定程度上只考虑定性或者定量关系。基于此,本文在前人研究基础上,通过对坝顶道路风险因素识别,划分不同类别,采用专家打分法与层次分析法相结合,定性定量共同分析,以期针对不同类型,提出有效加固除险坝顶道路的优化措施。

2. 坝顶道路病险因素分析

坝顶道路的病险因素来自于两个方面,一方面是作为坝体的组成部分承担防汛的功能,面临坝体所承担的风险;另一方面则是作为道路提供交通便利,面对车辆交通带来的病因。这两个方面的病险因素既有相似之处,又各有差异。

综合大坝与道路的风险评价相关文献,可以发现二者可以将风险分为五类:工程质量风险、安全风险、经济社会风险、组织管理风险、安全风险和自然风险等。在坝顶道路病险因素体系中,这五类病险可以作为一级指标[10] [11]。各一级指标又细分为多项二级指标,形成的病险指标体系如表 1 所示。工程

质量风险是工程自身问题造成的风险，其他风险是工程外部因素带来的风险，两部分组成了指标体系。这些一级、二级指标是在参考大量的文献后选择出来的，保证了指标体系的科学性与完整性。

工程质量病险，是指坝顶道路及相关工程的质量问题引起的病险，比如路面裂缝、坝体变形等，按照部位划分为路面、路基、道路排水系统、公路桥、坝体、泄洪道及输水建筑物、护岸建筑物的质量缺陷。

经济社会风险，是由经济情况和社会环境所引发，具体包括经费不足、社会暴乱等，因经费不足造成的日常维护不到位或机构人员不足也属于经济社会风险。

组织管理风险，是经常性的组织管理工作不力造成的风险，具体包括非经费原因造成的管理制度不完善、机构人员不足、超过使用年限、日常维护不到位等。

安全风险，是安全保证工作不到位造成的风险，常见的安全风险包括安全监测失误、应急预案缺失等，自然灾害、社会暴乱等难以预料的风险因素不包括在内。

自然风险，即自然环境带来的风险，包括严重自然灾害、工程地质问题。

Table 1. Table of hazard indicators on dam top roads

表 1. 坝顶道路病险指标体系表

序号	一级风险	序号	二级风险
U1	工程质量风险	U11	坝体质量缺陷
		U12	护岸建筑物质量缺陷
		U13	公路桥质量缺陷
		U14	泄洪道及输水建筑物质量缺陷
		U15	路基质量缺陷
		U16	路面质量缺陷
		U17	道路排水系统质量缺陷
U2	经济社会风险	U21	社会暴乱
		U22	经费不足
U3	组织管理风险	U31	管理制度不完善
		U32	机构人员不足
		U33	超过使用年限
		U34	日常维护不到位
U4	安全风险	U41	安全监测失误
		U42	应急预案缺失
U5	自然风险	U51	严重自然灾害
		U52	工程地质问题

3. 实例分析

1) 南四湖二级坝枢纽坝顶道路工程概括

1958 年兴建的南四湖二级坝枢纽工程将南四湖分为上、下级湖，工程横跨昭阳湖湖腰最窄处，东起常口老运河西堤，西至顺堤河东堤，是蓄水灌溉、防洪排涝、工业用水、水陆交通、水产养殖等综合利用的水利枢纽工程。工程全长 7360 m，主要建筑物有拦湖土坝、溢流坝、一闸、二闸、三闸、四闸和船

闸等组成。拦湖土坝为均质坝，累计全长 4263 m，始建于 1958 年，1975 年基本建成。设计坝顶高程 39.0 m，因沉降现状高程为 38.2 m。

目前，坝顶道路工程主要存在坝顶高程不满足 50 年一遇设计防洪要求，坝顶防汛道路破损严重，溢流坝堰顶、护坡及消力池损坏严重等问题。例如，微山一线船闸东侧~三闸西侧(桩号 0+190~0+889)段坝顶道路，原为泥结碎石路面，长度为 699 m，路面高程为 38.00 m，由于微山一线船闸东侧~三闸西侧之间上、下游滩地现有许多码头，平时该段道路上重载车多，车流量大，导致路面沥青产生纵横向裂缝，致使该段道路路面损毁严重。为了保障坝顶道路交通安全，有必要对该坝顶道路的病险因素进行分析研究。

2) 专家打分

邀请专家根据南四湖坝顶道路实际情况，对影响南四湖坝顶道路的各项病险因素进行打分。首先对一级指标进行打分，得到下面的判断矩阵：

$$A_0 = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 3 & 4 & 7 \\ \frac{1}{8} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \\ \frac{1}{3} & 3 & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{4} & 2 & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

对工程质量风险、安全风险、经济社会风险、组织管理风险、安全风险和自然风险的下属二级指标依次进行打分，得到下列判断矩阵：

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 4 & 9 & 3 & 2 & 6 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & 1 \\ \frac{1}{4} & 2 & 1 & 2 & 1 & \frac{1}{2} & 1 \\ \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & 1 \\ \frac{1}{3} & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & 4 & 2 & 5 & 1 & 1 & 3 \\ \frac{1}{6} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{9} \\ 9 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{8} \\ 2 & 1 & 1 & \frac{1}{5} \\ 1 & 1 & 1 & \frac{1}{6} \\ 8 & 5 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{7} \\ 7 & 1 \end{bmatrix}$$

3) 层次分析并结论

对各个判断矩阵求最大特征根和相应的特征向量，得到以下结果：

$$\lambda_0 = 5.0194, \quad w_0 = (0.9096, 0.1145, 0.2859, 0.2480, 0.1272)^T;$$

$$\lambda_1 = 7.0966, \quad w_1 = (0.8207, 0.1146, 0.2058, 0.1015, 0.2776, 0.4060, 0.1366)^T;$$

$$\lambda_2 = 2.0000, \quad w_2 = (0.1104, 0.9939)^T;$$

$$\lambda_3 = 4.0407, \quad w_3 = (0.1237, 0.1964, 0.1579, 0.9598)^T;$$

$$\lambda_4 = 2.0000, \quad w_4 = (0.9806, 0.1961)^T;$$

$$\lambda_5 = 2.0000, \quad w_5 = (0.1414, 0.9899)^T.$$

其中，对 A_0 ，有 $C.I._0 = \frac{\lambda_0 - 5}{5 - 1} = 0.0049$ ，根据表 2，有 $R.I._0 = 1.12$ ，则 $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = 0.0043 < 0.1$ ，矩阵 A_0 通过一致性检验。同样对其他判断矩阵进行一致性检验，均通过。

计算各层元素对于总体目标层的合成权重，得到表 2。

根据表 2 可以看出，工程质量风险是坝顶道路使用过程中的关键病险因素，组织管理风险与安全风险次之，自然风险与经济社会风险的重要水平较低，不需要给予太多关注。在二级指标中，坝体质量风险权重最高，一旦坝体出现问题，坝顶道路的安全性将会遭受严重威胁。其次，路面、路基、公路桥等坝顶道路自身部位的质量缺陷也是重要的病险因素。坝顶道路在工程的设计、施工阶段奠定了工程质量的基础，优秀的设计方案、精湛的施工团队都会为坝顶道路的性能提供重要的保障。此外，安全监测失误、日常维护不到位的权重都超过了 0.2，证明工程运营阶段也值得重视，有效的日常工作有助于延长坝顶道路的预期寿命。

4) 南四湖除险加固工程改进建议

通过专家打分法和层次分析法，对工程质量风险、经济社会风险、组织管理风险、安全风险、自然风险这五个一级指标进行排序，可以得出权重大小为工程质量风险 > 组织管理风险 > 安全风险 > 自然风险 > 经济社会风险。对于自然风险和经济社会风险，由于属于客观因素，并且重要水平较低，所以在管理过程中可较少地关注。对于安全风险，南四湖除险加固工程原来只是根据经验对日常施工进行安全

管理，所以不仅需要在日常管理中做好安全监测，还应补充相应的应急预案，以保证在出现安全事故时有章可循；对于组织管理风险，南四湖除险加固工程存在人员不足，设备老化等情况，所以首先需要做好日常维护工作，其次需要对机构人员进行补充，对超过使用年限的设备要及时更新，不断完善管理制度；对于工程质量风险，其所占权重高达九成以上，因此需要给予充分的关注，在今后的施工中，应重点关注坝体的质量问题，其次路面、路基、公路桥等坝顶道路自身部位的质量缺陷也需要给予关注。

Table 2. Weights of risk factors at all levels

表 2. 各级病险因素权重

一级风险	权重	二级风险	权重
工程质量风险	0.9096	坝体质量缺陷	0.7465
		护岸建筑物质量缺陷	0.1042
		公路桥质量缺陷	0.1872
		泄洪道及输水建筑物质量缺陷	0.0923
		路基质量缺陷	0.2525
		路面质量缺陷	0.3693
		道路排水系统质量缺陷	0.1157
经济社会风险	0.1145	社会暴乱	0.0126
		经费不足	0.1138
组织管理风险	0.2859	管理制度不完善	0.0354
		机构人员不足	0.0553
		超过使用年限	0.0451
		日常维护不到位	0.2744
安全风险	0.2480	安全监测失误	0.2432
		应急预案缺失	0.0486
自然风险	0.1272	严重自然灾害	0.0180
		工程地质问题	0.1259

4. 结论与展望

1) 结论

本文综合大坝与道路的风险评价相关文献，将坝顶道路风险分为五类：工程质量风险、安全风险、经济社会风险、组织管理风险、安全风险和自然风险等，作为一级指标。并对这五项一级指标进行进一步细分，得到 17 个二级指标。

本文通过专家打分法及层次分析法，得出五项一级指标的权重大小为工程质量风险 > 组织管理风险 > 安全风险 > 自然风险 > 经济社会风险。对于二级指标，在工程质量风险中，坝体质量缺陷所占权重最大；在组织管理风险中，日常维护不到位所占权重最大；在安全风险中，需要重点关注安全监测；对于自然风险和经济社会风险，所占比重较小，可适当给予较少关注。

2) 展望

高度重视工程质量风险，尤其是坝体的质量。坝体质量风险的权重最高，坝体的安全性将影响整条坝顶公路的安全性。同时对于路基、路面、排水系统等也需要给予相应的关注，避免发生质量事故；

重视组织管理风险对坝顶公路的影响, 配备足够的人员, 建立完善的管理制度。对于现场设备要做好维护工作, 超出使用年限的要及时更新和处理。管理单位必须按要求配备有一定专业技能的人员对工程主要建筑物和设施进行管理。管理人员对所管理对象的所有有关资料和技术必须了解掌握, 并建立档案, 本着“经常养护、随时维修、养重于修、修重于抢”的原则, 发现问题及时向有关部门汇报, 并采取相关措施, 予以处理;

重视安全风险对坝顶公路的影响, 在日常工作中重视安全监测, 建立完善的管理制度。管理单位应根据相关规程、规范的要求, 制定观测工作细则。应进行经常和特殊情况下的巡查和观测工作, 并负责监测系统和全部监测设备的检查、维护、校正、更新补充、完善, 监测资料的整编、监测报告的编写以及监测技术档案的建立。

参考文献

- [1] ANCOLD (2000) Guidelines on Assessment of the Consequences of Dam Failure. Australian National Committee on Large Dams.
- [2] Fabe, R.M.H. and Stewart, M.G. (2003) Risk Assessment for Civil Engineering Facilities: Critical Overview and Discussion. *Reliability Engineering and System Safety*, **80**, 173-184. [https://doi.org/10.1016/s0951-8320\(03\)00027-9](https://doi.org/10.1016/s0951-8320(03)00027-9)
- [3] Gias, C.I., Masi, P. and Cheribini, C. (2003) Probabilistic and Fuzzy Reliability Analysis of a Sample Slope near Aliano. *Engineering Geology*, **67**, 391-402. [https://doi.org/10.1016/s0013-7952\(02\)00222-3](https://doi.org/10.1016/s0013-7952(02)00222-3)
- [4] Van Manen, S.E. and Brinkhuis, M. (2005) Quantitative Flood Risk Assessment for Polders. *Reliability Engineering and System Safety*, **90**, 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2004.10.002>
- [5] 杨杰, 郑成成, 江德军, 胡德秀. 病险水库理论分析研究进展[J]. 水科学进展, 2014, 25(1): 148-154.
- [6] 蔡守华, 张展羽, 张鹏, 等. 基于 AHP-TOPSIS 的小型水库除险加固优化排序方法[J]. 扬州大学学报: 自然科学版, 2009, 12(1): 71-75.
- [7] Onut, S. and Sone, R.S. (2008) Transshipment Site Selection Using the AHP and TOPSIS Approaches under Fuzzy Environment. *Waste Manage*, **28**, 1552-1559. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.019>
- [8] 胡德秀, 杨杰, 周孝德. 病险水库运行风险的复合不确定性分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(3): 230-234.
- [9] 叶亚三, 陈国兴. 水库大坝抗震性能的模糊综合评价[J]. 水力发电学报, 2013, 32(3): 198-206.
- [10] 刘洋孜. 沥青路面养护中的风险管理[J]. 江西建材, 2015(15): 160-161.
- [11] 周端祺, 周志维. 基于模糊层次分析法的大坝风险评价方法研究[J]. 江西水利科技, 2019, 45(4): 235-240+246.