

doi: 10.7690/bgzd.2023.10.011

基于 SEIRS 模型的机场建设工程项目质量风险问题研究

陈唯冰^{1,2}, 董鹏¹, 王科文¹, 李鹏³, 周可³

(1. 海军工程大学管理工程与装备经济系, 武汉 430033; 2. 中国人民解放军 91954 部队, 湖南 永州 425000;
3. 海军工程大学兵器工程学院, 武汉 430033)

摘要: 针对机场建设工程项目系统对质量风险管控的高要求, 通过经典的 SEIRS 传染病传播模型建立机场建设工程项目质量风险传递模型。通过对所建模型进行仿真分析机场建设工程中阈值与项目质量风险之间的关系, 各影响因素与机场建设工程项目质量风险之间的影响关系, 机场建设工程质量风险传递发展的内在机理与现实特点, 提出项目质量风险管控工作的意见建议。结果表明, 该模型可为强化机场建设工程项目整体效能提供帮助。

关键词: 工程项目管理; 项目风险管理; 质量风险控制; 机场建设工程

中图分类号: X738.2 **文献标志码:** A

Research on Quality Risk of Airport Construction Project Based on SEIRS Model

Chen Weibing^{1,2}, Dong Peng¹, Wang Kewen¹, Li Peng³, Zhou Ke³

(1. Department of Management Engineering and Equipment Economics, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;
2. No. 91954 Unit of PLA, Yongzhou 425000, China;
3. School of Weapons Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: According to the high requirements of airport construction project system for quality risk management and control, the quality risk transmission model of airport construction project is established through the classical SEIRS infectious disease transmission model. Through the simulation of the model, the relationship between the threshold and the project quality risk in the airport construction project is analyzed. The relationship between the influencing factors and the quality risk of the airport construction project is analyzed. The internal mechanism and realistic characteristics of the quality risk transmission and development of the airport construction projects are analyzed. And suggestions for the project quality risk management and control are put forward. The results show that the model can provide help for strengthening the overall efficiency of airport construction projects.

Keywords: engineering project management; project risk management; quality risk control; airport construction project

0 引言

近年来,随着国家社会经济与文化水平的发展,航空领域的发展水平也随之不断提升。航空领域对安全工作的重视程度较高,机场建设的质量水平是影响航空安全极为重要的因素;因此,在项目实施的过程中,机场建设工程的质量要求相比其他建设项目更加严苛,项目质量管控方面的要求更高,其质量风险的管控压力和难度相比其他建设工程更大。机场建设工程项目系统相对普通建设工程来说内容复杂度极高,由此带来的工程设计和施工安排等方面的难度也非常大,给管理部门带来更高的质量管理难度;因此,项目质量风险管控的难度和复杂性相比普通建设项目来讲更高,工程项目实施过程中出现质量风险的可能性也随之更大。此外,机场建设工程在项目实施过程中往往需要采取交织重叠的施工方式,子项目交织重叠的特点会使得不同

子项目之间质量问题传递或相互影响的可能性提高,致使工程项目系统中的质量风险传递、扩大甚至影响整个项目系统的质量水平^[1]。笔者以 SEIRS 模型为研究方法,建立适用于机场建设工程的项目质量风险 SEIRS 模型,分析 SEIRS 模型中阈值与质量风险传递因素之间的内在关系,对机场建设工程项目质量风险进行更为直观明晰的分析,并基于以上研究结果为机场建设工程项目质量风险管控工作提出相关建议。

1 机场建设工程质量风险研究方法分析

随着社会经济的不断发展,我国工程项目的建设水平显著提高,作为项目管理工作中的一项重要内容,项目质量风险的研究也随之愈发深入。对于项目质量风险的研究往往是采取定性和定量相结合的方法,如西南交通大学李梦晨^[2]利用模糊网络分析法对高

收稿日期: 2023-06-15; 修回日期: 2023-07-09

作者简介: 陈唯冰(1995—),男,山东人,硕士。

速铁路工程项目的质量风险问题进行研究，西安工程大学连启超^[3]利用模糊层次分析法对建设工程项目的风险管理进行了分析，西南交通大学赵军^[4]利用系统动力学理论对线路提速改造工程的质量风险控制工作进行研究，彭波^[5]以贝叶斯网络的方式对京沪高铁建设项目质量风险情况进行分析，中国科学院大学程航^[6]基于层次分析法对项目质量风险评估问题进行研究。以上方法对于项目质量风险的研究更多偏向于质量风险的识别、评价和控制等方面，对于项目风险传递关系内在机理的研究内容不多。

至于项目质量风险传递方面的研究，李存斌等^[7]建立 ECPS 跨空间风险传递模型，孙贇^[8]等构建了 UR-MTPGERT 网络模型对复杂装备风险传导的问题进行分析，华北电力大学赵坤^[9]针对风电建设项目的风险问题进行建模仿真，东北财经大学檀春雨^[10]则利用系统动力学模型对交通 PPP 项目的风险传递情况进行研究。以上研究内容大多对建立了装备领域、某单一项目实施模式或通用领域的项目风险情况进行研究，针对质量风险和工程项目质量风险的研究较少。

笔者运用的 SEIRS 模型，是 20 世纪 20 年代由学者 Kermack 和 McKendrick 提出。两位学者在研究当时英国大规模流行爆发的黑死病时建立了 SIR 传染病传播模型，从那时开始，各领域的学者在上述模型的基础上持续开展优化设计，进而相继提出了 SIRS、SIEIR、SEIRS 等传染病传播模型。SEIRS 模型对于传染病传递情况的描述更为细致和全面，笔者认为 SEIRS 传染病传播模型与建设工程领域尤其是机场建设工程中的项目质量风险传递内在机理存在较高的相似性，机场建设工程的项目质量风险在传递过程中，可能会在各个子项目和不同施工专业之间相互传递影响，进而对项目整体的质量水平造成不同程度的破坏，此类特点与传染病传播特点相似性较高；因此，笔者以 SEIRS 模型为基础对机场建设工程的质量风险传递情况进行了仿真分析，并以此结果进行研究，提出机场建设工程在项目质量风险防控工作方面的意见建议。

2 SEIRS 模型下项目质量风险传递状态分析

由于机场建设工程质量风险传递的机理与传染病扩散存在一定的相似性；因此，笔者对机场建设工程的质量风险传递分析主要运用的是 SEIRS 传染病传播模型。

经典的 SEIRS 传染病传播模型系统中的风险传递分为易感态 (S)、潜伏态 (E)、感染态 (I) 和免疫态 (R)^[1] 4 种状态。对应到机场建设工程中分别为： S 代表尚未受到工程质量风险影响，但可能会受到质量风险影响的状态； E 代表已经受到工程质量风险影响但并未表露出来，尚在发展并未表现出质量问题的状态； I 代表已收到工程质量风险影响并出现质量问题的状态； R 代表受到工程质量风险影响后修复至完好状态，并对质量风险有一定免疫能力的状态。 $S(t)$ 、 $E(t)$ 、 $I(t)$ 、 $R(t)$ 分别表示 t 时刻 4 类质量风险状态的项目内容在整体机场建设工程中所占的比例，由于工程质量风险在不同子项目之间的传递并非一蹴而就；因此， $S(t)$ 、 $E(t)$ 、 $I(t)$ 、 $R(t)$ 是连续且可微的函数^[3]。 $S(t)$ 、 $E(t)$ 、 $I(t)$ 、 $R(t)$ 之间关系如图 1 所示。

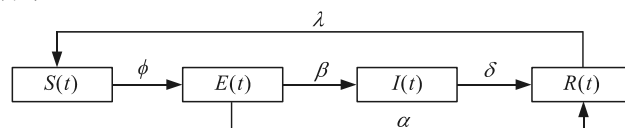


图 1 机场建设工程质量风险传递状态

图中： β 为子项目 E 状态转变为 I 状态的概率； α 为子项目 E 状态下风险控制后转变为 R 状态的概率； δ 为子项目 I 状态下风险控制后转变为 R 状态的概率； λ 为子项目在免疫状态 R 的情况下转变为易感染状态 S 的概率； ϕ 为子项目 S 状态下转变为 E 状态的概率。在经典的 SEIRS 传染病传播模型中 $\phi = \tau[\omega_1 E(t) + \omega_2 I(t)]$ ，其中 ω_1 与 ω_2 分别为 S 状态受到 E 状态和 I 状态子项目质量风险影响的概率； τ 为项目之间的接触率。

系统中：

$$S(t) + E(t) + I(t) + R(t) = 1; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} dE/dt &= \phi(1 - E - I - R) - (\alpha + \beta)E \\ dI/dt &= \beta - \delta \\ dR/dt &= \delta - \lambda + \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

令式(2)左侧为 0 可得：

$$\left. \begin{aligned} S &= (\alpha + \beta)\delta I / \beta\phi \\ E &= \delta I / \beta \\ R &= (\alpha + \beta)\delta I / \lambda\beta \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

式(3)与式(1)和 $\phi = \tau[\omega_1 E(t) + \omega_2 I(t)]$ 联立进行运算后可得：

$$I = \frac{1 - (\alpha + \beta)\delta / (\tau\omega_1\delta + \tau\omega_2\beta)}{1 + \delta/\beta + (\alpha + \beta)\delta/\lambda\beta}. \quad (4)$$

式中 $(\alpha + \beta)\delta / (\tau\omega_1\delta + \tau\omega_2\beta)$ 为项目质量风险传递的

阈值 h 。

将式(3)与式(4)联立可得：

$$\left. \begin{aligned} S' &= \frac{(\alpha + \beta)\delta}{\beta\phi} \frac{1-h}{1+\delta/\beta+(\alpha+\beta)\delta/\lambda\beta} \\ E' &= \frac{\delta}{\beta} \frac{1-h}{1+\delta/\beta+(\alpha+\beta)\delta/\lambda\beta} \\ I' &= \frac{1-h}{1+\delta/\beta+(\alpha+\beta)\delta/\lambda\beta} \\ R' &= \frac{(\alpha + \beta)\delta}{\lambda\beta} \frac{1-h}{1+\delta/\beta+(\alpha+\beta)\delta/\lambda\beta} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中 S', E', I', R' 分别为机场建设工程的项目质量风险在平衡状态下 S, E, I, R 的值。

由式(5)可知，当阈值 $h \geq 1$ 时，机场建设工程中的项目质量风险将随着项目的开展逐渐化解直至消弭。当阈值 $h < 1$ 时，机场建设工程中若无其他干扰因素对项目质量风险进行控制，风险将一直存在于机场建设工程之中^[11]。

3 项目质量风险的阈值状态分析

由上文分析可知，当阈值 $h \geq 1$ 时，机场建设工程中整个项目的质量风险传递系统将无平衡点，在此状态下机场建设工程的项目质量风险会随着时间的推移逐步弱化直至消弭，笔者在进行模拟仿真时，机场建设工程系统的初始值分别取为 $S(t)=0.6, E(t)=0.2, I(t)=1.5, R(t)=0.5$ ；影响因素的取值分为 $\alpha=0.7, \beta=0.1, \delta=0.2, \tau=0.3, \omega_1=0.8, \omega_2=0.7, \lambda=0.2$ ，此时阈值 $h=2.32 \geq 1$ 仿真结果如图 2 所示。

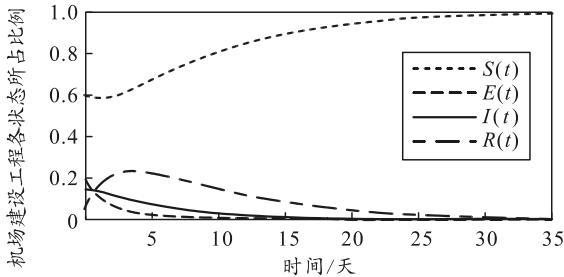


图 2 阈值 $h \geq 1$ 时质量风险发展状态

由上图可知：当阈值 $h \geq 1$ 时，项目中易感染状态的子项目比重会不断提升直至占据整个项目的全部，其他状态的子项目数量会随着时间不断减少直至消失。当阈值 $h < 1$ 时，整个风险传递系统将存在平衡点，若无其他干扰因素对项目质量风险进行控制，风险将一直存在于机场建设工程之中。笔者在进行模拟仿真时，机场建设工程系统的初始值分别取为 $S(t)=0.6, E(t)=0.2, I(t)=1.5, R(t)=0.5$ ；影响因素的取值分为 $\alpha=0.3, \beta=0.3, \delta=0.2, \tau=0.8, \omega_1=0.8,$

$\omega_2=0.8, \lambda=0.2$ ，仿真结果如图 3 所示。

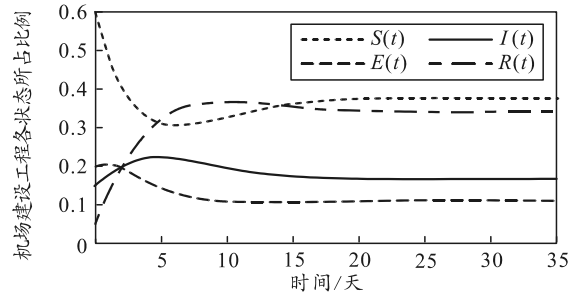


图 3 阈值 $h < 1$ 时质量风险发展状态

由上图可知当阈值 $h < 1$ 时，项目中各个状态子项目的占比值会随着时间趋于一个稳定的定值；因此，可知此时的机场建设工程中项目质量风险将会一直存在于整个项目的实施过程之中^[12]。

4 阈值的因素影响效果仿真分析

上文分析阈值 h 的值将决定整个机场建设工程中质量项目风险的传递状态，并最终决定整个工程项目的质量水平。依据 $h = (\alpha + \beta)\delta / (\tau\omega_1\delta + \tau\omega_2\beta)$ 可知，阈值 h 的值与 $\alpha, \beta, \delta, \tau, \omega_1, \omega_2$ 的值有关，笔者取影响因素的初始值分别为 $\alpha=0.7, \beta=0.1, \delta=0.2, \tau=0.06, \omega_1=0.8, \omega_2=0.7$ ；变量的取值范围为 $0 \sim 1$ ，以上取值经建模仿真后结果如图 4 所示。

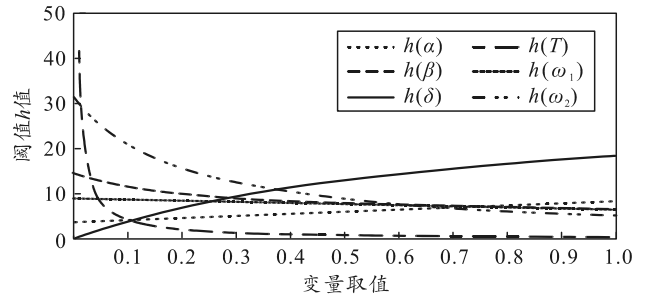


图 4 $\alpha, \beta, \delta, \tau, \omega_1, \omega_2$ 对阈值的影响

通过对 $\alpha, \beta, \delta, \tau, \omega_1, \omega_2$ 其中一个变量进行连续取值，同时其他变量取定值的方式，获得上图所示的结果，可知 α, δ 对阈值 h 的影响呈正相关性， $\beta, \tau, \omega_1, \omega_2$ 对阈值 h 的影响呈负相关性，由此可知提高子项目 E 状态与 I 状态转变为 R 状态的能力可以有效提升整个机场建设工程中项目质量风险的控制水平；反之，降低免疫状态 R 变为易感染状态 S 的概率、 E 状态向 I 状态转变的概率、 S 状态受 E 状态与 I 状态影响的概率以及项目之间的接触率，同样可以有效降低阈值 h 的值，提升整个机场建设工程中项目质量风险的控制水平。

1) τ 因素分析。

从图 4 可知，降低项目中各专业、子项目之间

的接触率是提升质量风险控制水平的最有效方式。在实际机场建设工程的实施过程中，项目管理部门应建立高效合理的项目组织架构，对项目的各个阶段、各个子项目部门的工作与职责进行明确，以明晰的权责制度和范围降低不同施工环节、工程专业、项目部门之间的交叉程度。同时，应编制科学合理的项目实施计划，减少不同环节、专业与部门之间的交织，帮助参与工程建设的各方明晰自身工作范围，减少各专业、部门之间的接触率以达到提升项目质量风险管理水平的目标。

2) β 因素分析。

由图 4 可知，降低子项目从 E 状态向 I 状态转变的概率也是机场建设工程中降低项目质量风险传递可能的有效方式。在工程项目实施的过程中，许多项目质量问题出现后并不会立即表现出来，而是处于一种未暴露的潜在状态，对于这部分的项目质量风险问题很难通过质控工作人员或施工人员主动地采取针对性措施进行控制和管理；因此，在机场建设工程的实施阶段，应加强日常性的质量监督和管控工作，严格各施工环节的规范性，督促参与机场建设工程的各方严格遵守规章制度办事，不可随意降低项目实施的标准，对存在的倾向性问题及时进行整改和督导，以此降低潜在质量风险进一步加重或演变的可能，将潜在的质量问题消灭在萌芽之中，降低项目质量的潜在风险，提升整个项目质量管控水平。

3) ω_1, ω_2 因素分析。

ω_1, ω_2 因素作为子项目 S 状态受 E 状态与 I 状态影响的概率，从图 4 趋势可知降低其影响可以提升项目质量风险管理水平。在机场建设工程中，由于工程项目内容较多、涉及的专业领域较为繁杂；同时，机场建设工程本身存在项目质量要求较高、施工周期较为紧密、施工环境较为复杂等特点， ω_1, ω_2 因素的控制往往存在着一定的难度。在工程实际中，可以通过加强培训强化项目相关人员的专业素质、责任意识等方式提升项目质量管理的水平。同时，应深入分析和掌握机场建设工程中的质量管控重点，对薄弱环节和关键部位加强控制和监督，以此降低项目出现质量风险的可能。此外，应加强项目实施全过程的监督和指导，及时发现并解决工程质量风险隐患，确保机场建设工程的质量水平，提升项目质量风险管控效果。

4) α 因素分析。

由图 4 可知，提高项目从 E 状态转变为 R 状态的能力可有效提升整个机场建设工程中项目质量风险控制水平。在机场建设工程中，项目中存在的潜在质量风险往往具有潜伏性特点，除了上文提到的加强日常性质量管理等方式外，也可通过加强项目成本管理工作等其他方面的项目管理内容加强潜伏性质量问题的转化，通过分析项目预算的执行情况，可了解并掌握项目开展过程中的矛盾问题，通过解决这些问题可以提升项目开展的效率、科学化与规范化水平，在一定程度上帮助解决项目中已经存在的潜在质量问题，实现潜在质量风险的转化。

5) δ 因素分析。

如图 4 所示，提高项目从 I 状态转变为 R 状态的能力可有效提升整个机场建设工程中项目质量风险控制水平。对于已经暴露出来的项目质量问题或风险，项目中相关的职能部门应及时采取有效措施进行管控，防止质量问题进一步发展和扩大。同时，应做好预想预测，制定高质高效的质量问题解决方案。在质量问题的解决过程中，应做到全面细致、稳慎周密，防止在解决问题的过程中出现新的质量问题或隐患，提升质量问题解决的效果，提高项目质量风险管理的水平。

5 项目质量风险的控制效果仿真分析

为更为直观地分析机场建设工程在实际实施过程中，项目质量风险的传递状态受到因素 $\alpha, \beta, \delta, \tau, \omega_1, \omega_2$ 的影响，下面分析各因素对项目风险管控的效果，对机场建设工程中的质量风险传递状态进行更为直观的研究。

1) τ 因素的项目风险管控效果分析，此时的机场建设工程项目质量风险的系统初始值分别取 $S(t)=0.75, E(t)=0.15, I(t)=0.06, R(t)=0.04$ (下文中开展系统仿真时的系统初始值保持上述数值不变)，项目质量风险影响因素的初始取值为 $\alpha=0.6, \beta=0.3, \delta=0.3, \omega_1=0.5, \omega_2=0.5, \lambda=0.3$ 开展仿真，此时仅改变项目质量风险影响因素 τ 从 0.3 变为 0.5，系统仿真结果如图 5 所示。同理，项目质量风险影响因素 τ 从 0.3 改变为 0.1，系统仿真结果如图 6 所示，图中 $S_1(t), E_1(t), I_1(t), R_1(t)$ 为原始数据仿真结果， $S_2(t), E_2(t), I_2(t), R_2(t)$ 为数据更改后的仿真结果 (下文中仿真结果的命名方式保持不变)。

由图 5 与 6 仿真结果可知，在机场建设工程的整个系统中其他因素保持不变的情况下，将因素 τ 的值降低后，整个项目系统由初始状态转变为稳定

状态的时间变短，项目系统趋于稳态的能力变强，此时的项目质量风险化解消失的能力有所提高。结合上文中对因素 τ 的分析，在机场建设工程中，采取明确职责范围、编制科学合理的项目实施计划、降低机场建设工程中各内容的交叉程度等降低项目之中各专业、子项目之间接触率的方式，可以有效提升机场建设工程中项目质量风险的控制水平。

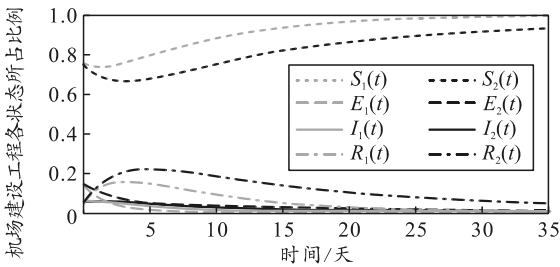


图 5 τ 值向上变化时质量风险发展状态对比

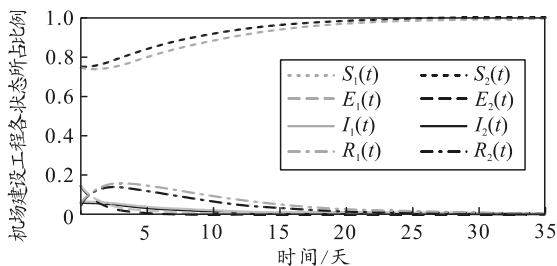


图 6 τ 值向下变化时质量风险发展状态对比

2) β 因素的项目风险管控效果分析，此时的机场建设工程的项目质量风险影响因素的初始取值为 $\alpha=0.1, \beta=0.3, \delta=0.7, \tau=0.5, \omega_1=0.5, \omega_2=0.5, \lambda=0.1$ 进行仿真，仅改变项目质量风险影响因素 β 从 0.3 变为 0.5，仿真结果如图 7 所示。同理，项目质量风险影响因素 β 从 0.3 改变为 0.1，仿真结果如图 8 所示。

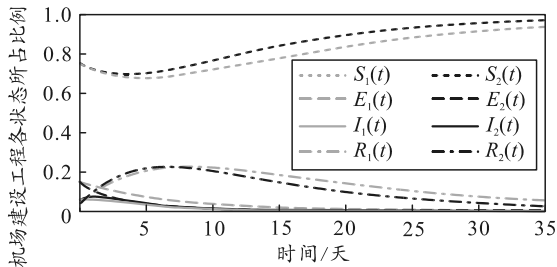


图 7 β 值向上变化时质量风险发展状态对比

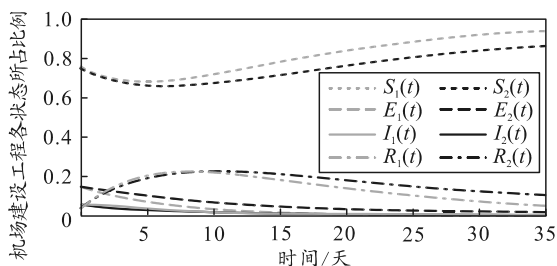


图 8 β 值向下变化时质量风险发展状态对比

由图 7 与 8 仿真结果可知，在机场建设工程的整个系统中其他因素保持不变的情况下，因素 β 的值提升后，机场建设工程中 S 状态的项目内容占比提升速度较快，其他 3 种状态的项目内容占比降低速率提升，整个项目的质量风险趋于健康稳态的能力变强。结合上文中对因素 β 的分析可知，在机场建设工程中，加强日常性的质量监督和管控工作、严格各施工环节的规范性等方法，以降低机场建设工程中项目质量的潜在风险，可以有效提升整个项目质量风险的管控水平。

3) ω_1 因素的项目风险管控效果分析，此时的机场建设工程的项目质量风险影响因素的初始取值为 $\alpha=0.1, \delta=0.7, \tau=0.5, \omega_1=0.5, \omega_2=0.5, \lambda=0.1$ 进行仿真，仅改变项目质量风险影响因素 ω_1 从 0.5 变为 0.7，仿真结果如图 9 所示；同理，项目质量风险影响因素 ω_1 从 0.5 改变为 0.3，仿真结果如图 10 所示。

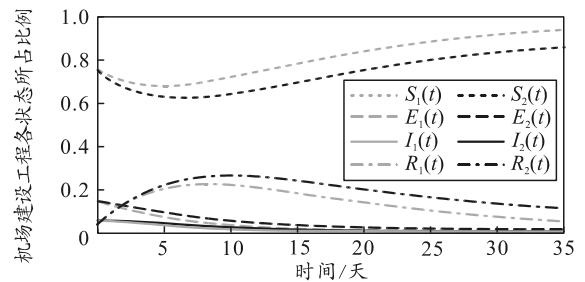


图 9 ω_1 值向上变化时质量风险发展状态对比

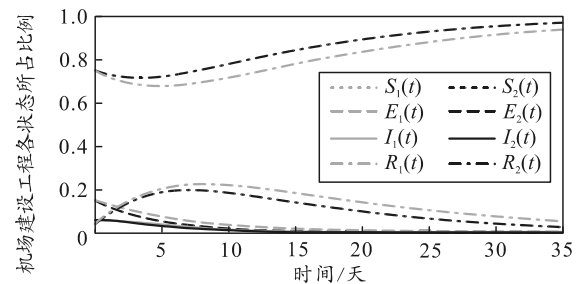


图 10 ω_1 值向下变化时质量风险发展状态对比

由图 9 与 10 结果可知，在机场建设工程的整个系统中其他因素保持不变的情况下，将因素 ω_1 的值降低可以有效提升整个机场建设工程系统中项目质量风险的化解能力，提高项目系统中 S 状态项目内容占比的转化速率。结合上文中的分析可知，在机场建设工程中，加强项目实施全过程的监督和指导，及时发现并解决工程质量风险隐患，可以提升整个项目质量风险的管控效果。

4) ω_2 因素的项目风险管控效果分析，此时的机场建设工程的项目质量风险影响因素的初始取值为 $\alpha=0.1, \beta=0.3, \delta=0.7, \tau=0.5, \omega_1=0.5, \omega_2=0.5, \lambda=0.1$ 进行仿真，仅改变项目质量风险影响因素 ω_2 从 0.5

变为 0.7，仿真结果如图 11 所示；同理，项目质量风险影响因素 ω_2 从 0.5 改变为 0.3，仿真结果如图 12 所示。

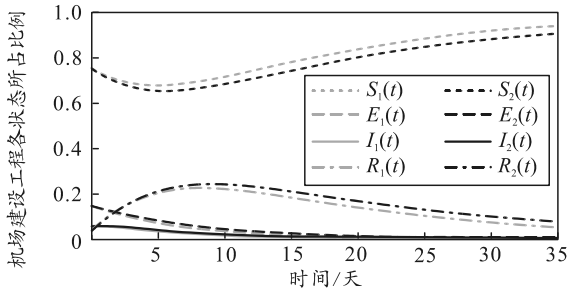


图 11 ω_2 值向上变化时质量风险发展状态对比

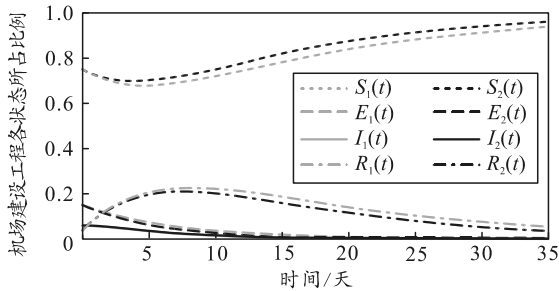


图 12 ω_2 值向下变化时质量风险发展状态对比

由图 11 与 12 结果可知，在机场建设工程的整个系统中其他因素保持不变的情况下，将因素 ω_2 的值降低后，其效果与因素 ω_1 值降低后对整个机场建设工程的项目质量风险影响类似，项目质量风险化解消失的能力相对因素值未调整之前有所提高。结合上文中的分析可知，在机场建设工程中，深入分析和掌握机场建设工程中的质量管控重点，对薄弱环节和关键部位加强控制和监督，可以提升机场建设工程中项目风险管控的水平。

5) α 因素的项目风险管控效果分析，此时的机场建设工程的项目质量风险影响因素的初始取值为 $\alpha=0.5, \beta=0.1, \delta=0.7, \tau=0.5, \omega_1=0.5, \omega_2=0.5, \lambda=0.1$ 进行仿真，仅改变项目质量风险影响因素 α 从 0.5 变为 0.7，仿真结果如图 13 所示；同理，项目质量风险影响因素 α 从 0.5 改变为 0.3，仿真结果如图 14 所示。

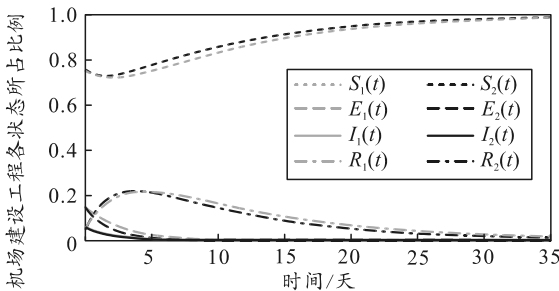


图 13 α 值向上变化时质量风险发展状态对比

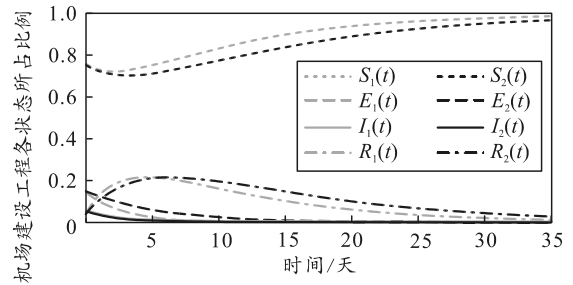


图 14 α 值向下变化时质量风险发展状态对比

由图 13 与 14 可知，在机场建设工程的整个系统中其他因素保持不变的情况下，将因素 α 值向上变化，整个机场建设工程系统对于项目质量风险的化解转化能力会随之提升，整个项目趋于健康的稳定状态的效率有所提高。结合上文中的分析可知，在机场建设工程中加强日常性质量管理、加强潜伏性质量问题的转化，在一定程度上提高项目从 E 状态转变为 R 状态的能力，可以有效提升整个机场建设工程中项目质量风险的控制水平。

6) δ 因素的项目风险管控效果分析，此时的机场建设工程的项目质量风险影响因素的初始取值为 $\alpha=0.7, \beta=0.7, \delta=0.5, \tau=0.7, \omega_1=0.5, \omega_2=0.5, \lambda=0.1$ 进行仿真，仅改变项目质量风险影响因素 δ 从 0.5 变为 0.7，仿真结果如图 15 所示；同理，项目质量风险影响因素 δ 从 0.5 改变为 0.3，仿真结果如图 16 所示。

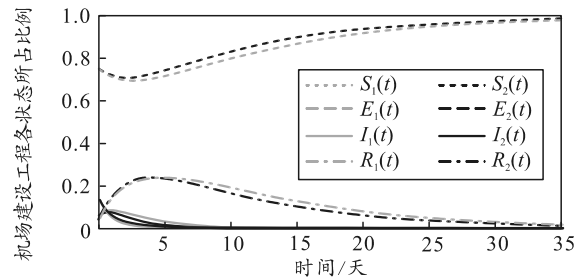


图 15 δ 值向上变化时质量风险发展状态对比

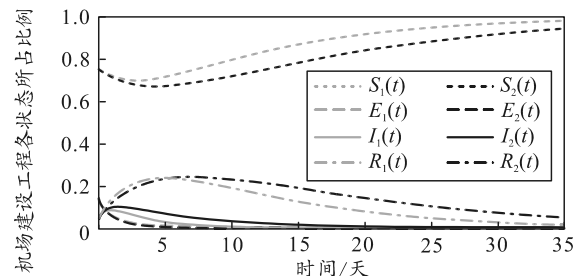


图 16 δ 值向下变化时质量风险发展状态对比

由图 15 与 16 结果可知，在机场建设工程的整个系统中其他因素保持不变的情况下，将因素 δ 值向上变化，机场建设工程的质量风险在项目系统中向健康状态的转化效率明显提升，整个项目系统对

于项目质量风险的化解能力也相应提高。结合上文中的分析可知，在机场建设工程中及时对已暴露出来的项目质量问题或风险采取有效措施进行管控，并防止新的质量问题或隐患出现，可有效提高机场建设工程的项目质量风险管理的水平。

7) λ 因素的项目风险管控效果分析，此时的机场建设工程的项目质量风险影响因素的初始取值为 $\alpha=0.7, \beta=0.7, \delta=0.5, \tau=0.7, \omega_1=0.5, \omega_2=0.5$ ，进行仿真，仅改变项目质量风险影响因素 λ 从 0.3 变为 0.5，仿真结果如图 17 所示；同理，项目质量风险影响因素 λ 从 0.3 改变为 0.1，仿真结果如图 18 所示。

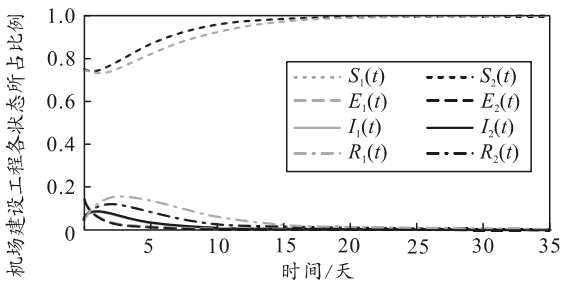


图 17 λ 值向上变化时质量风险发展状态对比

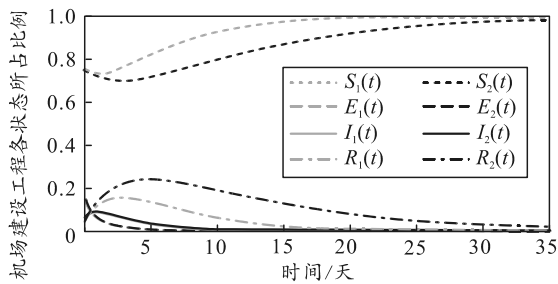


图 18 λ 值向下变化时质量风险发展状态对比

由图 17 与 18 可知，在机场建设工程的整个系统中其他因素保持不变的情况下，提高因素 λ 的值并不会对整个项目系统中 E 状态与 I 状态项目内容产生影响，但是会提高项目系统中 S 状态的比例，使整个项目系统趋于稳定的时间变短，进而提高整个项目质量风险管控的效率。结合项目质量风险管控的实际可知，在项目的实施过程之中，对于整改后的项目内容加强质量监督与回访，使之早日回归成为正常的项目内容，可以提高整个机场建设工程项目系统的质量风险管理效率，进而提高整个项目的质量风险管控水平^[13]。

6 结束语

笔者通过 SEIRS 传染病传播模型建立了机场建设工程中项目质量风险传递模型，对其中的内在机理进行分析并提出相关建议；同时，也更进一步地对其中内在机理的分析和建议结果进行了仿真验证，可为提升机场建设工程质量风险管控水平提供参考。

参考文献：

- [1] 孙誉珊. 工程项目多方质量主体责任划分模型研究[J]. 建筑经济, 2019(10): 91-96.
- [2] 李梦晨. 基于模糊网络分析法的高速铁路施工质量风险评价研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [3] 连启超. 基于模糊层次分析法的建设工程项目的风险分析及对策研究——以北京 M 项目为例[D]. 西安: 西安工程大学, 2019.
- [4] 赵军. 基于系统动力学的线路提速改造施工质量风险控制研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [5] 彭波. 基于贝叶斯网络的京沪高铁建设项目质量风险分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [6] 程航. 基于层次分析法的高石化 TLT-FCD 洁净厂房建设项目质量风险评估研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.
- [7] 李存斌, 张磊, 刘定, 等. 基于复杂网络的能源互联网信息物理融合系统跨空间风险传递研究[J]. 运筹与管理, 2019(4): 139-147.
- [8] 孙贇, 王瑛, 李超. 厦门新机场航站区工程建设前期成本管控经验浅谈[J]. 北京航空航天大学学报, 2018(8): 1587-1595.
- [9] 赵坤. 风电建设项目风险元传递与决策模型及其仿真系统研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2016.
- [10] 檀春雨. 交通 PPP 项目风险传递的系统动力学模型研究[D]. 大连: 东北财经大学, 2018.
- [11] 陈迫进, 陈福集, 陈婷, 等. 一类新 SEIRS 模型上的网络舆情传播行为研究[J]. 情报资料工作, 2014(4): 62-67.
- [12] 汪玉亭, 丰景春, 张可, 等. 基于 SEIRS 的建设工程质量风险传递模型及仿真研究[J]. 运筹与管理, 2020(7): 37-40.
- [13] 王元明, 赵道致. 建筑项目质量风险传递模型与控制研究[J]. 商业经济与管理, 2008(6): 15-20.