

企业复工的疫情传播风险评估

医药卫生系统工程专业委员会

东南大学公共卫生学院教授 金辉

为深入贯彻落实习近平总书记关于坚决打赢疫情防控阻击战的重要指示精神，结合疫情实际，实行分区分级精准防控，本研究拟从系统思考的角度，利用 Agent 模型和风险矩阵法来评估企业复工的疫情传播风险，以便为决策者提供参考依据。

结果与建议如下：

1. 新型冠状病毒的危害级别为高危险度风险。
2. 区域高风险区各类企业不复工，区域较高风险区、一般风险区、低风险区采用分区域、分阶段、分类别和分人群的模式进行复工。
3. 企业复工面临疫情传播的风险，必须加强外来人员排查和内部人员健康监护，减少人员间的接触频率和接触时间，做好个人防护。
4. 向防疫与生产并重转变，减少企业所面临的经济损失。复工过程中，政府要加强监督管理，企业要承担因管理不善、措施不足、筛查不准造成疫情爆发甚至扩散的相关责任。

一、新型冠状病毒传播风险

参照王保刚等人的评价方法,对新型冠状病毒的传播风险进行评价(表 1.1 和表 1.2)。评估结果显示:传入影响因素总加权评分 62, 占总加权评分的 53%, 判定该传染病的传入风险为“可能”。危害程度影响因素总加权评分 18, 占总加权评分的 40%, 判定该传染病传入危害水平分级为“较大”, 根据矩阵分析得知新型冠状病毒的危害级别为**高危险度风险**。

表 1.1 近期新型冠状病毒流行的影响因素评分

| 影响因素类别 | 内容 | 得分 | 权重 |
|----------------------|---------------------|-----------|----|
| 是否为新发传染病 | 新发传染病 | 3 | 2 |
| 病原体传染能力 | 传染性强 | 2 | 3 |
| 疾病的流行分布 | 中国陆续发生, 分布范围广 | 2 | 2 |
| 传染源种类 | 患者和潜伏期内感染者为传染源 | 2 | 2 |
| 传播途径 | 飞沫 | 2 | 2 |
| 潜伏期长短 | 7 天 | 2 | 1 |
| 人群易感性 | 普遍易感 | 3 | 3 |
| 季节因素 | 比较适合病毒的增殖和传播 | 3 | 1 |
| 公众的认知程度 | 50%-80%人员能采取正确的预防措施 | 1 (3) | 2 |
| 来自疫源地日旅客流量 | 来自疫源地日均旅客数量小于 50 人次 | 1 (2) | 2 |
| 时间节点 | 无重大活动 | 0 (2) | 1 |
| 政府卫生防控力度 | 采取积极防控措施, 收效显著 | 0 (2) | 2 |
| WHO 及其它国家官方通报情况 | 高度关注 | 3 | 2 |
| 病原体诊断技术 | 基本掌握成熟的病原体诊断技术 | 1 (2) | 2 |
| 疫苗或预防药物 | 没有有效的预防疫苗和治疗药物 | 3 | 2 |
| 专家对疫情控制建议 | 采取强有力控制措施 | 3 | 2 |
| 影响因素总加权评分 | | 62 (76) | |
| 影响因素总加权评分最大值 | | 117 | |
| 影响因素总加权评分占最大值百分比 (%) | | 53.0 (65) | |

() 内为初期流行时的评分。

*王保刚等. 国境口岸呼吸道传染病传入风险评估体系的建立与应用. 中国国境卫生检疫杂志, 2012, 35 (5) : 296-300

表 1.2 近期新型冠状病毒流行的危害程度影响因素评分

| 影响因素类别 | 内容 | 得分 | 权重 |
|----------------------|------------------|----|----|
| 疾病传染性 | 传播途径明确但不易控制 | 2 | 3 |
| 疾病死亡率 | 世界各国平均病死率低于 1% | 0 | 3 |
| 疾病后遗症 | 一般无后遗症 | 0 | 2 |
| 治疗经费和物质 | 治疗经费和物质比较昂贵，需要耗费 | 2 | 2 |
| 对社会稳定和国家声誉的影响 | 对社会稳定和国家声誉造成较大影响 | 2 | 3 |
| 对国家经济贸易的影响 | 对国家经济贸易造成一定影响 | 1 | 2 |
| 影响因素总加权评分 | | 18 | |
| 影响因素总加权评分最大值 | | 45 | |
| 影响因素总加权评分占最大值百分比 (%) | | 40 | |

* (王保刚等. 国境口岸呼吸道传染病传入风险评估体系的建立与应用. 中国国境卫生检疫杂志, 2012, 35 (5): 296-300)

二、区域企业疫情传播风险

任何企业都会受到该县域疫情流行情况的影响。采用风险矩阵划分风险等级，依据可能性和严重性进行区域企业疫情传播风险评估。

1. 可能性分类

| 类别 | 说明 | 风险范围 | 评分 | |
|----|------|---------|---------|---|
| 1 | 极少 | 几乎不可能发生 | 10%以下 | 1 |
| 2 | 不太可能 | 不太可能发生 | 11%-30% | 2 |
| 3 | 可能 | 可能发生 | 31%-70% | 3 |
| 4 | 很可能 | 非常可能发生 | 71%-90% | 4 |
| 5 | 必定 | 几乎确定发生 | 90%以上 | 5 |

可能性风险评估参数：主要复工前职工排查情况，复工后职工工作情况以及所在区域的疾病流行情况。

复工前职工排查情况 (S_1)：无外出史职工为 0，有湖北等流行区职工返回或外地返回有病例接触史或有区域内病例接触史职工为 1。

复工后职工的工作范围和交通方式 (S_2)：工作场所空旷与其它人员接触少、自驾或不做交通工具为 0，工作场所密闭与其他人频繁接触、做交通工具且时间长为 1。

区域轻症和无症状感染情况 (S₃)：该区域无感染病例为 0，该区域有 3 例以下病例为 0.2，该区域属于高风险区为 0.5，该区域属于流行区为 1。

$$P=W_1S_1+W_2S_2+W_3S_3$$

其中 W₁、W₂、W₃ 分别为权重系数。

2. 后果分类

| 类别 | 说明 | 评分 |
|---------|-----------------------|----|
| 1. 几乎无 | 没有人员感染 | 1 |
| 2. 一般 | 有散发病例和密切接触者，波及全企业 | 2 |
| 3. 较大 | 有散发病例和密切接触者，波及企业周边区域 | 3 |
| 4. 重大 | 聚集性病例和密切接触者，波及市县级以上区域 | 4 |
| 5. 特别重大 | 聚集性病例和密切接触者，波及省级以上区域 | 5 |

3. 风险矩阵：风险等级=可能性×后果性

| 类别 | | 后果性 | | | | |
|-----|--------|-------|------|------|------|--------|
| | | 1 几乎无 | 2 一般 | 3 较大 | 4 重大 | 5 特别重大 |
| 可能性 | 1 极少 | 低 | 低 | 低 | 中 | 高 |
| | 2 不太可能 | 低 | 低 | 中 | 高 | 极高 |
| | 3 较大 | 低 | 中 | 高 | 极高 | 极高 |
| | 4 重大 | 中 | 高 | 高 | 极高 | 极高 |
| | 5 特别重大 | 高 | 高 | 极高 | 极高 | 极高 |

4. 风险等级类别

| 风险等级类别 | | |
|--------|------|-------------------------------|
| 编号 | 类别 | 说明 |
| 极低 | 可接受 | 几乎不可能发生传染病流行；控制能力强 |
| 低 | 可接受 | 不太可能发生传染病流行；控制能力较强 |
| 中 | 勉强接受 | 可能发生传染病流行；疾病结果较严重 |
| 高 | 意想不到 | 很可能发生传染病流行；疾病结果严重；造成较大损失 |
| 极高 | 不能接受 | 几乎确定发生传染病流行；疾病结果非常严重；造成巨大经济损失 |

5. 应对方案

| 编号 | 类别 | 应对方案 |
|----|-------|---------------------------|
| 极低 | 允许复工 | 应急预案，健康排查，环境卫生，健康监护，个人防护 |
| 低 | 允许复工 | 应急预案，健康排查，环境卫生，健康监护，个人防护 |
| 中 | 审核后复工 | 继续核查排除潜在危害，再次审核通过后，按照上述方案 |

| | | |
|----|------|----|
| | | 执行 |
| 高 | 延期复工 | |
| 极高 | 延期复工 | |

6. 具体分析和建议

| 分区 | 应对方案 |
|-------|--|
| 高风险区 | 各类企业不允许复工 |
| 较高风险区 | <p>风险：中，40%。</p> <p>步骤：区域内部划分较高风险区，该区域的企业暂不复工，继续核查排除潜在危害。其它区域实施分阶段（按企业对社会发展的必要性）、分类别（按企业人员的流动性和稳定性）、分人群（按企业人员的归属地划分）的企业复工。</p> <p>措施：要求企业建立防范预案，加强对返工外来人员的严格排查。具体包括建立应急预案，健康排查，环境卫生，健康监护，个人防护。应急预案，健康排查，环境卫生，健康监护，个人防护。</p> |
| 一般风险区 | <p>风险：低，<30%。</p> <p>步骤：实施分阶段（按企业对社会发展的必要性）、分类别（按企业人员的流动性和稳定性）、分人群（按企业人员的归属地划分）的企业复工。</p> <p>措施：要求企业建立防范预案，加强对返工外来人员的严格排查。具体包括建立应急预案，健康排查，环境卫生，健康监护，个人防护。应急预案，健康</p> |

| | |
|------|---|
| | 排查，环境卫生，健康监护，个人防护。 |
| 低风险区 | <p>风险：低，<10%。</p> <p>步骤：实施分阶段（按企业对社会发展的必要性）、分类别（按企业人员的流动性和稳定性）、分人群（按企业人员的归属地划分）的企业复工。</p> <p>措施：要求企业建立防范预案，加强对返工外来人员的严格排查。具体包括建立应急预案，健康排查，环境卫生，健康监护，个人防护。</p> |

三、一次性输入感染者的疫情传播风险

基于 Agent 模型模拟企业复工的疫情传播风险，研究发现：企业人员因工作需要跨区域活动的频次和时长越大，增加新型冠状病毒的感染机率就越高。因此，企业复工后一定要加强员工的健康监护，减少员工间、员工与外人的接触机会和接触时间。

以下模拟均是假设企业内部或外部有 1 例输入性感染者。

➤ 企业复工风险性影响因素

企业复工存在多种情况，有的企业人员比较固定，有的企业人员流入流出比较大。不同行业的人口流动速度也不同，如计算机企业、行政单位等，流动速度相对较小；如制造行业、维修行业等，流动速度相对较大。此外，同一企业内部，不同岗位也导致了人员在区域内流动的速率不同，如行政岗位的员工与车间岗位的员工在流动速率上存在差异。因此，我们考虑如下几种情况对企业复工风险性的影响，

即企业成员固定与否、区域内人员流动概率、区域内人员流动速率以及不同情况下隔离措施对疫情控制的影响。

◆ 固定人员情况，比较不同人员流动概率对企业疫情蔓延的影响

表 3.1 不同人员流动概率对企业疫情蔓延的影响 (Mean±SD)

| 人员流动概率(%) | 未隔离 | | 隔离 (100%) | |
|----------------|-------------|-----------|-----------|---------|
| | 感染者 (人) | 病死者 (人) | 感染者 (人) | 病死者 (人) |
| 0 | 4±2.59 | 0±0.00 | 0.1±0.85 | 0±0.32 |
| 25 | 252±316.90 | 20±23.27 | 0.3±0.48 | 0±0.32 |
| 50 | 922±970.64 | 71±75.47 | 1.5±1.16 | 0±0.32 |
| 75 | 1381±952.11 | 109±75.46 | 2.0±0.48 | 0±0.00 |
| 100 | 1788±627.99 | 135±48.50 | 2.8±1.55 | 0±0.32 |
| <i>P value</i> | 0.000 | 0.000 | 0.045 | 0.908 |

从表 3.1 可以看出，当企业人员流动概率越大时，则企业疫情出现蔓延的几率就越大。

◆ 固定人员情况，比较不同人员流动速率对企业疫情蔓延的影响

表 3.2 不同人员流动速率对企业疫情蔓延的影响 (Mean±SD)

| 人员流动步长 | 未隔离 | | 隔离 (100%) | |
|----------------|-------------|-----------|-----------|---------|
| | 感染者 (人) | 病死者 (人) | 感染者 (人) | 病死者 (人) |
| 0.1 | 4±2.46 | 0±0.52 | 1±0.00 | 0±0.42 |
| 0.3 | 358±248.50 | 29±20.67 | 1±0.42 | 0±0.42 |
| 0.5 | 1274±878.70 | 103±71.59 | 1±0.32 | 0±0.00 |
| 1 | 1788±627.99 | 135±48.50 | 2±1.55 | 0±0.32 |
| 3 | 2 000±0.32 | 155±9.57 | 2±0.97 | 0±0.48 |
| <i>P value</i> | 0.000 | 0.000 | 0.254 | 0.448 |

从表 3.2 可以看出，当企业人员流动速率或流动步长越大时，即移动时间越长，则企业疫情出现蔓延的几率就越大。

◆ 人员流动对企业疫情蔓延的影响

我们模拟不稳定企业成员复工的情况，企业的员工存在流入和流出的情况，企业会不断的招募一定的员工，而员工可能存在着离职的情况，我们设定某不稳定企业的最初工作人员为 1000 人，招募的员

| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>P value</i> | 0.917 | 0.003 | 0.109 | 0.469 | 0.900 | 0.893 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

工不超过 1000 人，而离职的员工不超过 500 人，最初的感染人数为 1 人，每天招募的员工可能存在处于潜伏期者（概率为 0.001），我们比较不同的流入人数和流出几率的情况。

根据表 3.3，我们可以看出在员工不固定的企业当中，疫情依然具备在企业当中蔓延的能力，除此之外，可以看到随着流入流出的变化，感染人数的峰值出现时间也有所不同。

四、多次输入感染者的疫情传播风险

基于 Agent 模型模拟企业复工的疫情传播风险，研究发现：当每天都有风险引入新的感染者时，会极大增加企业新型冠状病毒的感染机率。因此，企业复工过程中一定要加强外来人员的排查工作。如果该区域是流行区域或较高风险区域时，需要进行区域性评估；如果该区域是散发区域，也要加强企业职工健康监护和管理。

以下模拟均是假设企业内部每天都有一定的概率输入感染者。

企业复工往往会带来大量的人流涌动，增加当地原来的人口，如果未经严格的管控与检查，其中可能带有处于潜伏期的新冠病毒携带者进入，可能会导致疫情的发生甚至加重。

➤ 散发疫情地区

假设在散发性疫情地区，采取一定强度的隔离手段（75%的隔离概率）之后，在第一例患者发病之后的第 14 天开始，企业开始复工，以每天 100/人的速度增加，存在潜伏者的概率为 1%，增加 10 天，通过模拟，我们发现：

原本散发性疫情区域可因为企业复工导致大量人口引入和流动，如果在没有严格控制和检查的情况下，很可能混有处于病毒潜伏期的人，虽然有一定强度的隔离手段，仍然可能导致感染人数上升。但是，如果在疾病发生的早期，及时采取防控措施，能够有效控制疫情发展。

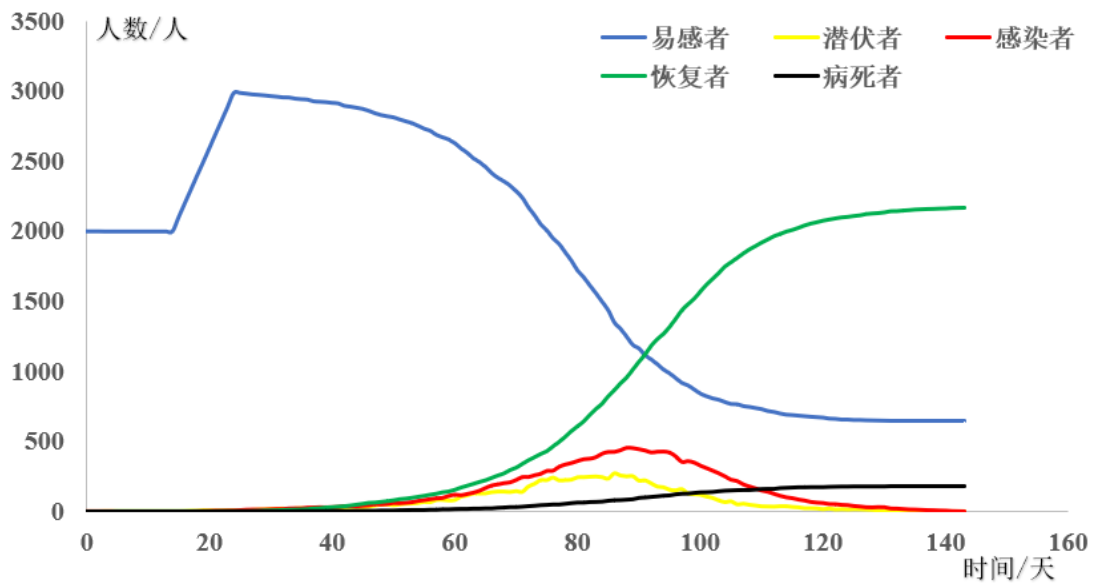


图 4.1 散发性病例区域疫情趋势模拟

➤ 聚集性疫情地区

在聚集性疫情地区，采取 75%的隔离概率后，在第一例患者发病之后的第 14 天开始，企业开始复工，以每天 100/人的速度增加，存在潜伏者的概率为 1%，增加 10 天，通过模拟，我们发现：

即使采取了 75%的隔离率，仍然会引起大量的病例出现。因此，在面临企业复工情况下，不仅内部要实施严格的监管，对外地返回人员和企业外来人员必须严格进行控制和检查。同时，在疾病发生的早期，及时采取防控措施，能够有效控制疫情发展。

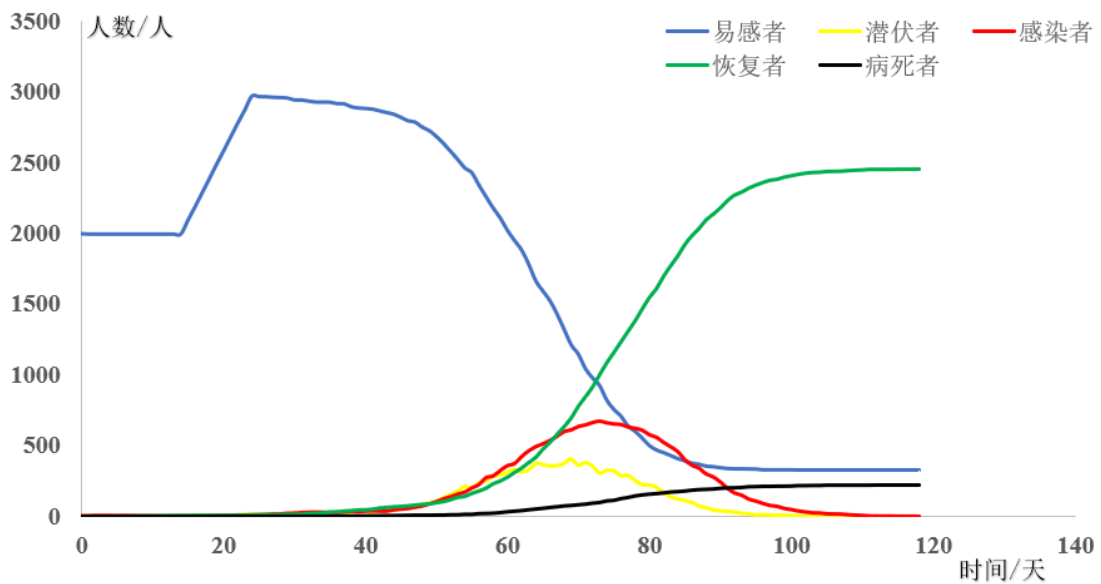


图 4.2 聚集性病例区域疫情趋势模拟

五、企业复工的卫生经济学评价

以某地某汽车制造公司为例，企业原计划春节假期从 1 月 23 日至 1 月 31 日，后因疫情影响计划至 2 月 9 日复工，后再次把复工时间延长 2 周，至 2 月 22 日。因此，可认为因疫情导致企业停工约 22 天。该公司员工约 5000 人，占地面积约 700 米*700 米，假设该企业于 1 月 31 日复工，对该公司进行严格的管理，每日对进行消毒与检查，如果出现感染者，采取严格的感染者隔离（100%隔离）与治疗 and 密切接触者隔离（100%隔离）的措施，并且不存在隔离延误时间。我们估计停工与复工的经济影响如下：

企业因疫情停工期间损失：企业该时间内的生产经济效益，设备的折旧费，假设企业停工期间无收益；企业如复工可能存在的损失：每日消毒、口罩发放、与员工检查费用，如出现感染者需要的费用，

感染者隔离与密切接触者隔离费用，收益为日生产经济效益，但相比平时工作效率会有所下降。停工时间内生产经济效益=年生产经济效益/365.25*停工天数，设备折旧费=年设备折旧费/365.25*停工天数。感染者引起的费用包括直接成本和间接成本。隔离费用同样包括直接成本与间接成本。

该企业 2019 年汽车产量为 122 721 辆，每辆汽车利润约为 20 000-30 000 元，则估计年经济收益约为 2 454 420 000- 3 681 630 000 元，日经济效益为 6 719 836- 10 079 754 元。大型设备在 350 台左右，每台成本为 500 000-2 000 000 元，使用期限平均为 10 年，使用固定资产折旧中平均年限法估计年设备折旧费，约为 17 500 000-70 000 000 元，日设备折旧费为 47 913-191 650 元。估计每日消毒、口罩发放与员工检查费用需花费 30 000-50 000 元。感染者的费用与隔离费用同隔离经济学评估相同。估计生产效益为平时的 60%，企业停工时间为 22 天。该企业在停工和复工时出现 0、1、4 名感染者时的经济损失。

表 5.1 中企业停工与企业复工的经济损失比较，可发现企业在停工期间的经济损失是巨大的。如果在此期间，企业选择复工，并且结合第三部分的风险评估和采取必要的防控措施，从经济角度上来看能够挽回一定的损失，而且通过有效的防控措施也不会增加疫情的发展。

表 5.1 企业复工与停工经济学评估 (Mean±SD) *

| 复工出 现感染 者 | 企业停工 | | | | 企业复工 | | | | |
|-----------------|-----------|----------------|--------------|---------------|----------------|---------------|------------|--------------|------------|
| | 收益 (元) | 损失 (元) | | | 收益 (元) | 损失 (元) | | | |
| | | A | B | 合计损失 | | C | D | E | 合计损失 |
| 0 | 0 | 184 795 482 | 2 635 193 | 187 430 676 | 110 877 289 | 880 000 | 0 | 0 | 880 000 |
| | | ± | ± | ± | ± | ± | | | ± |
| | | 522 268 055.59 | 2 236 022.96 | 54 504 078.56 | 313 360 833.30 | 311 126.98 | | | 311 126.98 |
| 1 | 0 | 184 795 482 | 2 635 193 | 187 430 676 | 110 877 289 | 880 000 | 1 433 212 | 10 561 | 1 033 774 |
| | | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± |
| | | 522 268 055.59 | 2 236 022.96 | 54 504 078.56 | 313 360 833.30 | 311 126.98 | 101 266.69 | 13 404.50 | 196 455.79 |
| 4 | 0 | 184 795 482 | 2 635 193 | 187 430 676 | 110 877 289 | 880 000 | 637 297 | 72 740 | 1 561 367 |
| | | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± | ± |
| | | 522 268 055.59 | 2 236 022.96 | 54 504 078.56 | 313 360 833.30 | 311 126.98 | 239 759.57 | 49 307.45 | 154 439.62 |

*A: 停工时间内的生产经济效益, B: 设备的折旧费, C: 每日消毒、口罩发放、与员工检查, D: 感染者的引起的费用, E: 隔离产生的费用。