

## 期刊预校样

n 国家对潜艇的脆弱性的数字鸿沟  
通讯电缆故障

乔纳斯·弗兰肯

个人身份:

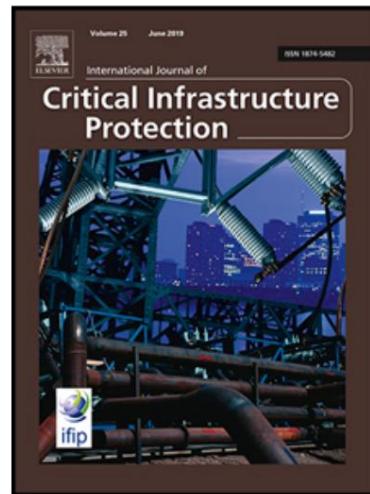
DOI:

参考:

S1874-5482(22)00013-0

<https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2022.100522>

IJCIP 100522



出现在: 国际关键基础设施保护杂志

收到的日期: 2021 年 3 月 29 日

修订日期: 2022 年 1 月 21 日

接受日期: 2022 年 2 月 26 日

请将本文引用为: Jonas Franken nThe Digital Divide in State Vulnerability to Submarine  
通信电缆故障,国际关键基础设施保护杂志 (2022 年) ,doi:

<https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2022.100522>

这是一篇文章的PDF文件,接受后进行了增强,例如添加封面和元数据的格式,以及可读性的格式,但它还不是最终版本记录。此版本将在发布前进行额外的校对、排版和审核以最终形式,但我们提供此版本是为了让文章尽早可见。请注意,在制作过程中,可能会发现可能影响内容的错误,并且所有合法的适用于该期刊的免责声明。

© 2022 由 Elsevier BV 出版

强调

- 整个海底光缆网络很少受到学术关注 · 公共电缆数据和网络分析工具允许对互联网骨干网进行建模 · 海底通信电缆链路在全球范围内分布不均 · 平均而言,发展中经济体的骨干水平较低冗余 · 在最不发达地区,海底电缆故障导致的互联网中断风险更高

# 国家脆弱性的数字鸿沟 海底通信电缆故障

作者

(匿名)

抽象的

海底通信电缆 (SCC) 的骨干网络承载着 98% 的国际互联网流量。沿海和岛屿国家强烈依赖这种物理互联网基础设施来提供互联网连接。尽管每年平均发生大约 100 起人为或自然来源的 SCC 故障,但文献回顾表明,在全球比较中,没有评估单个州对 SCC 故障的脆弱性的全球比较。在本文中,全球 SCC 网络是基于公开可用数据建模的。除了对全球网络属性的分析之外,还重点关注了 SCC 故障的三种不同故障场景模拟中的剩余带宽容量。因此,本研究确定了 15 个高度脆弱的州和海外领土,以及另外 28 个被归类为部分易受 SCC 失败影响的领土。由于经济市场决策塑造了 SCC 网络的结构,因此可以确认冗余分布不均以及由此导致的弱势经济体的脆弱性。因此,该研究的结果可能有助于更好地评估对具有高和中等脆弱性的州和地区的关键电信基础设施采取预防性保护措施的必要性。

关键词

海底电缆网络、互联网骨干基础设施、全球网络分析、互联网停电漏洞,全球数字鸿沟

介绍

互联网拥有超过 40 亿用户,是当今的主要通信媒介 [1]。尽管尚未出现国际层面对关键基础设施的一般统一定义[2],但通信部门通常是大多数国家和国际机构的核心分类的一部分[3]。联合国减少灾害风险办公室 (UNDRR) 将关键基础设施定义为“提供对社区或社会的社会和经济运作至关重要的服务的物理结构、设施、网络和其他资产” [4]。互联网无处不在,至少在世界大部分地区如此,现代社会和经济高度依赖它的提供。因此,物理互联网提供基础设施可以被认为是关键基础设施[5,6]。

互联网基于对其运行至关重要的多种不同物理传输结构,其中最重要的是陆基光纤通信电缆 (LCC) 和

海底光缆（SCC）。对于全球数据流量的传输,后者是迄今为止最重要的:超过 98% 的国际在线通信是通过铺设在世界海洋中的光缆处理的 [6,7]。因此,SCC 的全球骨干网络对于全球范围内的在线数据交换运行是必不可少的[8]。目前,超过 80% 的

130万公里的有源海底光缆位于人迹罕至的深海  
深度低于 1500 米 [9],这使得当局或私营公司无法确保  
对其进行持续监视和物理保护[10]。因此,光纤电缆经常暴露在可能损害其功能的因素中。根据 Mauldin [11] 的说法,大多数事故源于海上意外的人类活动,例如捕鱼 (38%) 和拖锚 (25%),其次是海震或水下洋流等环境危害 (14%)。考虑到

平均每年超过 100 次 SCC 故障 [11],显然不能将全球互联网的功能视为理所当然。尽管许多电缆故障可以通过更长和更慢的替代路线来补偿,但并非在所有地理区域都可用[12]。理论上,可以在全球范围内访问的基于卫星的互联网的替代技术远不能传输必要数量的数据来补偿 SCC [7]。SpaceX 的 Starlink 或 OneWeb 等低地球轨道技术尚未提供整个社会目前所需的带宽,因为它们仍处于试验阶段 [13]。

以下电缆故障导致整个领土完全失去宽带连接的示例说明了互联网中断的后果:在北马里亚纳群岛,唯一可用的海底电缆在 2015 年因水下电流而破裂,完全切断从宽带流量离开岛屿几天 [14]。级联效应导致互联网、电话通信和空中交通崩溃,以及健康、旅游和教育部门的中断。拥有 5 万居民的美国海外领土遭受的损失达 2100 万美元。小岛屿发展中国家 (SIDS) 由于其地理位置偏远、

公民数量少,GDP 低于平均水平,导致互联网使用率降低 [15]。

因此,如果有的话,互联网连接通常只能通过一根或两根海底电缆 [16] 获得。在这里,国家对 SCC 运作的依赖是显而易见的。尽管如此,过去的电缆断裂也给拥有多种替代电缆的国家带来了后果[17,18]。根据文献,为了生成更广泛的图景并且不减少电缆断裂对小岛屿发展中国家最脆弱群体的影响[16,19],本文选择了一个全球焦点。

因此,这项工作的研究问题将是:

在 2020 年中期的全球比较中,哪些州和海外领土在相邻海底通信电缆功能丧失方面容易受到影响?

为了解决这个问题,我们将本文分为六个部分。在介绍之后 (第 1 节),我们提供相关工作的概述 (第 2 节)。随后,我们继续方法部分,其中介绍了核心定义、网络分析工具和数据编译 (第 3 节)。我们继续进行数据分析,包括计算网络指数,形成分组漏洞级别,并检查与开发状态的统计相关性 (第 4 节)。本文最后讨论了我们的发现 (第 5 节) 和结束语 (第 6 节)。

## 相关工作和研究差距

对关键通信基础设施的依赖程度在全球分布不均。自 2000 年代初以来,就在数字鸿沟理论的框架内开展了对互联网接入提供方面的缺陷和不平衡以及对社会经济收益的不平等利用的研究。在 1995 年至 2005 年宽带部署的早期阶段,数字鸿沟被解释为互联网物理访问的存在和质量 [20],随后从 2002 年起,对数字技能和使用的微观层面的研究增加。

在第三阶段和新生阶段,关注互联网使用的结果方面和路径依赖性[21]。在接下来的研究中,我们希望将早期研究的纯物理焦点的特征与全球层面上社会和经济对互联网日益依赖的结果相结合。在整个 COVID-19 大流行期间,对互联网带宽不断增长的需求进一步提高了对 2020 年及以后这些依赖关系的认识 [22,23]。

在当前关于海底光纤网络脆弱性的学术研究中,有几项贡献是从不同学科的角度研究该课题 (见表 1)。针对特定国家 [24,25]、各大洲 [26]、

和区域 [15,27-30] 被呈现,每个区域都对脆弱性有不同的理解。以国家为重点的研究纳入了广泛的地方支持者,如地理、地缘政治和环境背景,但没有提供可通过经验手段衡量的脆弱性的定义。与此相反,Cariolle 在他对撒哈拉以南非洲的研究中将数字脆弱性定义为“一个国家及其人口因电信网络故障而无法获得电信服务的风险” [26],同时考虑到内部46的数字鸿沟

他分析的国家。 Cariolle 将国家的当地视角视为一个单一的参考单位,而 Omer 等人。评估全球网络的脆弱性“通过识别网络中的链接在中断时会导致比其他链接更大的损害” [31],更加强调关键链接而不是节点。在 Palmer-Felgate 和 Booi 对不同 SCC 系统设计的研究中,采用了类似的边缘约束视角。到这里,漏洞就明白了

在更广泛的意义上,作为缺乏弹性,后者通过替代路线的可用性、修复时间短和 SCC 的可靠性进行统计建模 [32,33]。他们的研究

关注海底网络的边缘,而不是节点故障的后果。

此外,在他们的模拟中使用的路线省略了海岸线的几个广泛部分,例如澳大利亚、大洋洲、中美洲和撒哈拉以南非洲 [32]。然而,在我们的工作中,我们从每个地区的冗余可用性的角度关注互联网访问安全方面的漏洞。我们只考虑整个网络的元结构,以使读者熟悉全球 SCC 网络。

学习	看法	单元	学科
奥马利,2019 [24]	国家的	状态	安全研究
Muneez 等人,2017 [25]	国家的	状态	环境研究
赫梅尔霍尔姆,2019 [29]	区域性	城市	网络安全研究
萨瑟兰,2009 [15]	区域性	状态	经济学

国际电联,2018 [30]	区域性 洲内国家 (部分)全球 全球的 研究空白	群岛国家和 海外 领土 国家和 海外 领土	经济、发展 学习 发展研究 工程 工程 关键基础设施 研究
卡里奥勒,2019 [26]			
Palmer-Felgate & Booij, 2016 [32]			
奥马尔,2009 [31]			

表 1:分析海底电缆故障后果的实证学术研究概述。

除了 Omer 等人的贡献。[31],上述研究尚未达到对统计人口进行全球比较分析的角度。自 Omer 多年的数据收集 (2006 年,2008 年) 和出版 (2009 年) 以来,随着 SCC 数量、带宽、全球电缆长度和互联网流量需求呈指数级增长,值得关注现状十多年后的海底电缆网络。此外,相关统计项目的能力在过去十年中得到了进一步发展,与对世界区域的粗略比较相比,可以更详细地了解骨干结构的全球视野。

虽然 Bischof 等人。[8] 也从全球角度来看,他们关注数据流量中更高延迟的后果,而不是当 SCC 丢失时一个国家的互联网连接完全丢失。尽可能短的延迟对于某些经济领域至关重要,例如现代金融中的高频交易。然而,从国家互联网供应脆弱性的角度来看,延迟起着次要的作用。

因此,全球互联网供应安全分析存在研究空白,该分析将所有沿海和岛屿领土同时视为分析的中心单元。评估

由于预防性保护措施的必要性,立法者和当局比较全球互联网基础设施冗余情况非常重要。因此,这项工作的第一个目标是通过 SCC 为每个自治监管区域提供全球互联网供应安全状况的最新情况。第二个目标是检查全球数字鸿沟是否

还体现在 SCC 故障脆弱性上。

## 方法

为了在方法上彻底地实现这两个目标,我们首先为这项工作的核心概念找到合适的定义 (3.1)。然后我们介绍了网络分析方法,并讨论了各种中心性度量对 SCC 网络的适用性 (3.2)。随后,描述了地区 (3.3) 脆弱性估计的具体情景形成。随后,我们介绍了数据集的可用性 (3.4) 和编译 (3.5),并讨论了网络分析软件 (3.6)。

## 定义

脆弱性的概念在风险研究中是一个颇具争议的问题。它的定义不同,具体取决于使用的环境和心理、社会或技术视角的应用 [23]。因此,这个概念是后续工作的核心,需要讨论。风险分析协会简单地说,大多数漏洞定义的核心是“系统受风险源或代理影响的程度”[24]。另一方面,UNDRR,

在其对脆弱性的定义中,具体说明了影响脆弱性程度的背景变量:“由物理、社会、经济和环境因素或过程确定的条件,这些因素或过程会增加个人、社区、资产或系统对影响的敏感性的危害。” [4]。下面采用后一种定义,因为它提供了对可能影响因素的全面理解。在这项工作中,我们将把自己限制在社区的参照对象上,它位于一个国家或海外领土的领土边界内。影响因素主要是物理的,因为要检查与物理基础设施的连接。值得注意的是,UNDRR 对脆弱性的定义认为

个人、公共和系统层面的分析作为参考对象。本研究将定义应用于各州,因为它们代表了全球比较中适用且适当的分析水平。从这个角度来看,一个国家扮演着两个角色:首先,它是一个受到数据流量损害或丢失威胁的风险对象;其次,通过采取预防措施并在互联网治理方面行使监管能力,它也会影响威胁的质量。

尽管在某些情况下,海外领土在这些权限方面并不拥有完全的自治权,但它们将被视为同等水平,因为在这种情况下将它们视为各自大陆的一部分是没有意义的。例如,将马提尼克岛、马约特岛和法属圭亚那的 SCC 连接和带宽添加到法国与研究的目的相矛盾,因为所有单元都位于不同的地理环境中。因此,就本研究而言,地理位置比特定地区的国家隶属关系更重要。幸运的是,国际电信联盟 (ITU) 为每个成员国以及海外领土提供数据库 (见 3.5.2)。因此,国家和社会内部存在关于数字脆弱性的内部不平等这一事实被忽略,取而代之的是全球可量化的分析单位。

本研究基于以下假设:一个地区的电缆连接数量及其传输容量(带宽)衡量一个国家对 SCC 运作的依赖程度。到全球光纤网络的连接数量少则表明易受攻击性高。

相反,根据假设,与物理骨干基础设施的连接数量相对较多表明存在许多冗余,因此脆弱性较低。在本研究中,我们将冗余定义为替代的二级基础设施,它提供与可能发生故障的主要基础设施相同或相似的服务。如果多个基础设施提供此选项,则应用复数形式“冗余”。

## 网络分析

全球互联网骨干网构成了大量沿海国家和地区之间的复杂关系网络,其连接性的特点是它们在其中的位置。

因此,光纤网络不仅可以作为光缆的物理网络进行分析,还可以作为抽象网络进行分析,从中可以推断出其组件的特征。

通过网络分析方法,图论提供了一种考虑多维组上下文并允许从网络中节点的位置得出结论的工具,

节点之间的连接（边）[34]。定量网络分析通过分配可量化的值来处理节点之间的关系。作为边缘的通信电缆（二进制）的存在和两个州或海外领土之间的度量尺度属性（例如，它们的带宽）都是可量化的，因此可以使用定量网络分析来建模。

在下文中，我们将解释图的概念化，因为某些特征可能会限制中心性度量的选择 [35]。首先，边将是无向的，因为 SCC 在两个方向上发送数据。其次，由于存在多个 SCC 连接相同节点的可能性，网络将被建模为多重图。不可能用两个节点之间的单个边中的累积权重替换多个边，因为我们将电缆的带宽视为各个边的权重。第三，不会形成循环，因为这与仅包括国际 SCC 的要求相矛盾。通过图构建网络

$$= (\text{, } \text{, } \text{, }) \quad \text{方程。1}$$

与节点  $\text{, }$  边缘和入射函数定义为

$$\text{ : } \rightarrow \{\text{, }\} : \text{, } \text{, } \in \text{, } \neq \} \quad \text{方程。2}$$

与  $\text{和}$  作为可能通过多个边连接的不同节点。

一般来说，网络分析提供测量来评估一般网络属性，展示拓扑特征以及不同类型的中心性和传输效率测量。为了让读者熟悉网络，我们选择了 |最大分量、最大度数、边缘密度、平均距离、直径和最大团作为概览的度量（见 0）。

$|||$

可以应用广泛的全局和局部中心性度量来确定节点的位置——无论是在全局网络中还是在它们最近的邻域内[36,37]。由于网络大小适中，因此可以为图计算全局网络度量。鉴于本研究的第二个目标，我们希望形成高度脆弱的节点组。在这方面，那些位于全球网络边缘、远离高中心值的人特别感兴趣。大多数关于网络的研究都属于临界范式，其中高度连接的中心节点被认为对整个网络的功能具有更高的重要性[35]。考虑最弱连接节点的位置是一个有点不典型的观点。

最常用的度量是度中心性、中介中心性和接近度中心性。对于加权图，还经常考虑强度和局部效率。

首先，度中心性是他们的权重。 $(\text{) 测量到节点的连接数}$ ，不管

这是一种本地措施，因为不需要知道全球网络；它只计算相邻节点的边数。这是通过邻接矩阵给出的

，谁的

如果元素取值 0 不通过边连接,否则值为 1。  
最大程度记为  $\Delta(\cdot)$ 。

方程。3

$$(\cdot) = \sum$$

由于分析的目标是冗余的可用性,因此程度中心性似乎是显而易见的衡量标准。首先,它计算边,这是我们确定为自变量的组件类别。其次,作为一种局部测量,它提供了一个简单计算但粒度级别的分析。但是,度中心性不考虑边的权重。

考虑加权图,如 ,巴拉特等人。扩展度中心性到顶点强度  
(·) [38],作为节点局部边的权重之和。在我们的模型中,这对应于  
与任何给定节点相邻的 SCC 带宽的本地总和。

方程。4

$$(\cdot) = \sum_{=1}$$

点的接近中心性。接近中心性的高值意味着与许多节点的最短路径的平均值确定,即节点与网络中每个其他节

方程。5

$$(\cdot) = \frac{1}{\sum_{\in} (\cdot, \cdot)}$$

基于接近中心性,Hao 等人。发现在网络设计中平衡节点流量可以增强关于级联故障的鲁棒性[39,40]。

径的另一种度量是网络中作为信息发送者的节点的中介中心频率。这是通过划分来实现的 (·)。第四,基于最短路

节点存在的任何其他节点的所有最短路径的数量,所有测地线距离在

.例如,Nguyen 等人已经应用了介数。关于攻击策略

在网络上识别那些节点,删除会导致更长的时间,使信息交换成本更高[41]。

方程。6

$$(\cdot) = \sum_{, \neq} \frac{(\cdot)}{\cdot},$$

最后,Latora & Marchiori [42] 首次为小世界网络引入的局部效率  $(\cdot)$  度量后来被修改,以将其应用扩展到具有加权和多条边的复杂网络 [43]。它量化了应对的直接邻域的容错能力

随着 .因此, 表示没有自身的邻域的子图

和  $(-) = 1 \boxtimes (-1) \Sigma \neq 1 \boxtimes (,)$ 。

方程。 7

$$(+) = \frac{1}{\sum_{\infty} (+)}$$

我们不是在模拟全球互联网中断,而是在地域层面模拟单根、双根或三根电缆故障的后果。因此,我们将中心性措施的选择限制在那些提供

从边缘去除的角度来看的好处 (见 3.2) 。对于 SCC 网络,必须考虑单个节点可以仅连接到另一个节点,但可以通过几条平行边连接。

如果度量以最短路径作为其计算的基础,则如果连接相同节点的平行边替换了边,则删除边不会更改值。因此,紧密性和中介中心性不会产生有意义的结果与多重图。因此,我们

拒绝紧密性和中介中心性作为冗余分析的合适度量。局部效率与节点故障的模拟一起工作,这与将 SCC 测量为边缘故障的想法相矛盾。 Nagurney 和 Qiang 将局部效率修改为一种网络性能度量,以应用于图的两个组件 (边和节点),但仅适用于有向图 [44]。作为

是无向的,不进一步考虑修正的局部效率。

为了支持充分冗余度量的决策,需要牢记状态骨干接入的基本假设。节点的总可用带宽 (从可用接入点到外部网络的带宽,无论是通过 SCC 还是 LCC: ) 是边的总和

方程。 8

$$= +$$

应用于 SCC 网络,度中心性和强度作为冗余度量都有一个关键的缺点。单独的程度不考虑 SCC 的高度多样化的带宽,范围从 1 GB/s 到 250 TB/s。另一方面,强度测量只能应用于 SCC,因为没有跨境 LCC 带宽的可用数据。卫星通信由于其低带宽和低普及率 (源于高价格和长延迟时间) 不被视为等效冗余,因此从分析中省略。为了克服只有部分可用带宽数据的问题,我们决定执行两步

计算。第一步是根据主干访问的数量对组进行聚类,旨在识别潜在的易受攻击的单元。 SCC 和 LCC 在应用于组形成的故障场景中被同等对待 (见 3.2) 。在分析的第二步中,测量单个本地 SCC 在节点的总 SCC 带宽 (强度) 中的份额。这对于考虑全球安装的 SCC 的大范围带宽是必要的。边的权重与边缘的局部比例

(+) 可以相应地建模为百分比:

$$(\%) = \frac{\text{_____}}{(\%)} \times 100$$

越高  $(\%)$ , 节点越容易失去边缘。= 100 的值将

意味着电缆是访问国际网络的唯一途径。反之亦然,该值越接近 0,电缆对区域连通性的贡献就越小,这就是为什么该州对单个电缆的潜在损失的脆弱性也降低的原因。这

正在为每个领土计算所有相邻 SCC 的本地权重。随后,电缆可以按其局部加权容量输入进行排列,从而实现最坏情况的应用情景。

## 场景和组队

在和平时期、危机时期或冲突时期,信息和通信技术 (ICT) 基础设施会受到不同的影响因素 [45]。我们应用了 Aceto 等人的分类。[17]

关于各种 SCC 中断事件,然后我们将其形成相应的场景 (见图 1)。

为了模拟本地 SCC 中断场景,检查了在考虑的节点的整体强度中移除具有最高带宽的边缘的后果。因此,我们

应用三种场景,其中模拟每个状态以丢失其第一个 (1)、前两个 (2) 和前三个 (3) 数据承载边。

平均每年发生 100 起事件,单个 SCC 中断很常见 [11],因此迄今为止最有可能发生 1 起。触发电缆断裂的锚定和捕鱼事故等意外人为事件通常会导致单一 SCC 损失情景 1。存在多种可能导致多个电缆连接同时丢失的情况,例如海震和随后的水下滑坡。这种级联事件在过去曾导致多个地区的电缆断裂[33]。多条光缆同时丢失的案例也曾发生过,例如2008年的埃及事件和2006年12月的台湾情况[10,18]。

对于 2,我们打算对这些并行的小规模 SCC 中断事件进行建模。同时,SCC 或电缆登陆站没有犯罪、恐怖分子或军事干扰记录

(CLS)。然而,如果以准确的时间进行,像破坏这样的有针对性的攻击可能会同时丢失多个电缆连接 [46,47]。由于破坏、恐怖主义和犯罪动机的行为可能会针对最高带宽的边缘,我们认为 3 是对顶部边缘的协调瞄准的多重损失场景的适当反映。通过将我们的注意力完全减少到物理中断上,我们不考虑由政府干预互联网流量或不同类型的网络武器引发的中断 [48,49]。由于电缆本身不包含任何软件组件,因此通过移除其他陆地节点来模拟这些类型的中断更为合适。

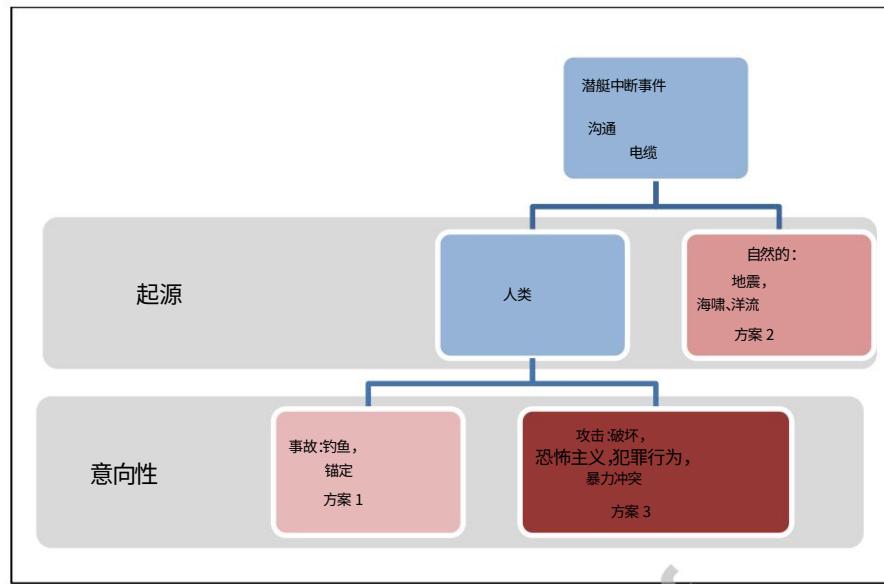


图 1:海底通信电缆的中断事件分类和相应场景（基于 [17] 的类别系统的自己的表示）。

节点的本地场景 1 被建模为

$$1 = \frac{\text{最大限度}()}{} \times 100 \quad \text{方程。 10}$$

在哪里  $\text{最大限度}$  是本地带宽最高的 SCC .这允许我们计算

最强 SCC 的临界比例。情景 2 和 3 进行了相应的建模：

$$2 = \frac{\text{最大值}() + \text{最大值}(-1)}{} \times 100 ; \quad \text{方程。 11}$$

$$3 = \frac{\text{最大值}() + \text{最大值}(-1) + \text{最大值}(-2)}{} \times 100. \quad \text{方程。 12}$$

这些单元根据场景分为三组：没有冗余的单元，即其宽带连接完全依赖于一个 SCC 的操作，被分配到第 1 组。在给定范围内遇到其宽带连接完全失败的单元场景 2 或 3 被分配到第 2 组。所有其他节点 - 总共连接到超过四个 SCC 或 LCC - 被分配到第 3 组。在组内，根据特定的组特征确定排名（见 4.2）。

## 数据集的可用性

关于数据集的全球 SCC 路径有三个综合汇编。

虽然这两个数据集都提供了有关电缆名称、大致电缆运行、相邻 CLS、长度和运行状态的信息，但它们在附加信息和列出的电缆数量方面有所不同。一、海底电信论坛的海底电缆年鉴（SCA）[50]

提供全球电缆路线列表 ( $n = 301$ ) ,并补充有关电缆传输容量的信息。该报告每季度更新一次,其中包含来自海底电缆行业的公开数据。其次,更详细的地图资料 ( $n=480$ )由在线平台 TeleGeography 的海底电缆地图提供,其中还列出了所有者和运营商公司 [51]。尽管如此,电缆的带宽并未指定[51]。第三,在线容量市场 Infrapedia 的基础设施地图还提供了专家提交并不断验证的详细 SCC 容量数据 [52]。在罕见的 SCC 属性信息冲突的情况下,我们整合了来自SCA的信息,以防止基础设施地图的潜在输入错误,该地图仅在 2019 年开始运行。区域数据集,例如非洲网络启动资源中心[53],用于验证信息。可以使用Greg 的电缆地图 [54] 中的数据对运行到 2016 年的电缆进行带宽数据的验证。国际电联的交互式传输地图[55] 已使用基础设施地图中的数据进行验证,以获取有关跨境 LCC 数量的数据。上述地图信息为非商业用途公开, SCA可访问

在线免费 [50-54]。

国际电联调查每个成员国的国际宽带流量,政府通过年度问卷直接提供信息。数据在每六个月更新一次的世界电信/ICT 指标数据库中提供。它包含 200 个国家的 180 个指标,包括“国际互联网带宽,以 Mbit/s 为单位”、“点亮/配备的国际带宽容量”和“国际带宽使用情况” [56]。该数据库还包含有关人口中各种互联网使用指标的信息[56]。世界电信/ICT 指标数据库仅在付费的基础上提供。

## 资料汇编

由于目的是为网络中的边和节点分配属性,因此本节介绍了创建模型所需的两个数据集。一方面,边缘列表是至关重要的,因为单元之间的连接及其属性都在此处列出。另一方面,节点列表描述了连接单元、州和海外领土的特定属性。

### 边缘列表的编译

三类海底电缆被排除在数据集中,因此在模型中被省略。首先,CLS 位于同一领土内的电缆不包括在内,因为它们对州/海外领土的国际数据流量没有贡献。例如ADONES、安哥拉国内海底电缆网络和JaKa2DeLeMa印度尼西亚内部电缆系统 [50]。第二个排除类别包括仅用于海上数据使用的电缆,例如石油钻井平台或船舶。海上系统的一个例子是安装在北海的TampNet 系统 [50]。最后,连接军事基地且对本地连接没有贡献的 SCC 也被排除在样本之外。SCA 中仅有的两处是GTMO-1和 GTMP-PR,将关塔那摩湾美国海军基地与佛罗里达和波多黎各连接起来。

SCA 中列出的 301 条电缆中剩下 197 条有源电缆系统,这些电缆在区域之间的 605 条边上建模。我们省略了仅与排除的 SCC 相邻的那些节点。虽然这些 SCC 中的大多数都有两个 CLS,但也存在更复杂的电缆系统。SEA-ME-WE 3拥有33 个连接单元,具有最高的全球单一电缆系统连接性。像这样的电缆系统在模型中由区域之间的单独边缘表示,如SEA-ME WE 3的情况下由 32 个单独的边缘表示。

许多变量被集成到边缘列表中。基本变量是 SCC 登陆的州和海外领土。此外,还有带宽作为电缆重量的衡量标准,以每秒 TB (TB/s) 为单位进行编码。在公共数据集中,设计容量通常以设计时预期的通信电缆的最大容量给出。

然而,通过应用波分复用等新技术[57],可以使用旧电缆远远超出其原始设计容量。如果电缆容量升级超过设计容量,则应用升级容量。

其他变量包括 CLS 的位置、调试的年限和预期的运营结束时间、长度 (公里)、所有权和建设成本。这些不一定在模型中使用,但已集成到数据集中用于高级数据可视化或后续研究项目。

#### 节点列表的编译

在节点列表中,结合了沿海国和海外领土的具体数据。节点列表仅包括边缘列表中考虑的州和地区。这使得没有合格 SCC 连接的沿海和岛屿单位被排除在分析之外,例如东帝汶、波兰或斯洛文尼亚。

这一限制导致样本减少,包括 169 个州和海外领土,用于以下分析。随着越来越多的地区连接到海底电缆网络,这个数字可能会在未来发生变化。例如,随着南十字 NEXT 的建成,基里巴斯和托克劳将首次通过海缆连接[58]。

对于节点列表,也可以将分析的基本变量与辅助变量区分开来,以便更好地可视化。基本变量是各个州或领地的名称、电缆接入的数量 (信用)、SCC 连接到一个单元的带宽总和 (强度) 以及替代互联网资源的数量。后者由基于 ITU 交互式传输图 [55] 计算的相邻跨境光纤 LCC 的数量组成。

用于可视化数据的其他变量是领土的地理数据。为了简单起见,我们使用了单位的地理中心 (质心),我们取自rworldmap R [59]中的扩展程序。为了能够检验数字鸿沟的假设,联合国统计司M49标准中的各州和海外领土的社会经济发展状况被纳入每个单位[60]。

#### 统计分析程序

网络分析使用R (版本 4.0.0) 进行。使用igraph 和 sna 包,可以使用两个库来执行社交网络分析 [61-63]。由于igraph 提供了比 sna 更多的功能,并且对于超过 150 个节点的网络执行速度更快 [61],我们对

带有igraph 的网络 (版本 1.2.6)。另一个支持igraph包的论点是交互式可视化可以通过扩展包igraphinshiny [64] 使用RShiny Web 应用程序来执行。

#### 发现

由于节点和边的数量,全球网络的纯可视化分析提供的优势有限,如图 2 中覆盖在世界地图上的网络模型所示。因此,度假村

以数学网络参数来识别网络中的结构是必要的（表2）。

模型图由 613 条边（海底电缆和电缆系统分支）连接的 169 个单元（州/地区）组成。每个节点都是最大组件的一部分，因此每个节点之间至少有一条可能的路径，通过该路径可以交换信息，从而形成一个连通图。

模型的边缘密度为 4.31%。这表示实际边缘与可能边缘数量的比率。因此，海底光纤网络相对松散。两个节点之间的平均距离为 4.44 条边，而网络的最长可能距离（直径）由 9 条边组成。一个 clique 是一组由几个节点组成的节点，其中每个成员至少有一个与其他每个成员的直接边。在泰国、印度尼西亚、香港、马来西亚和新加坡等州。密集的海底电缆网络将这些地区连接起来。此外，在东亚、中东和北非地区、南欧和加勒比地区还有另外 18 个集团，每个集团有 4 个单位。

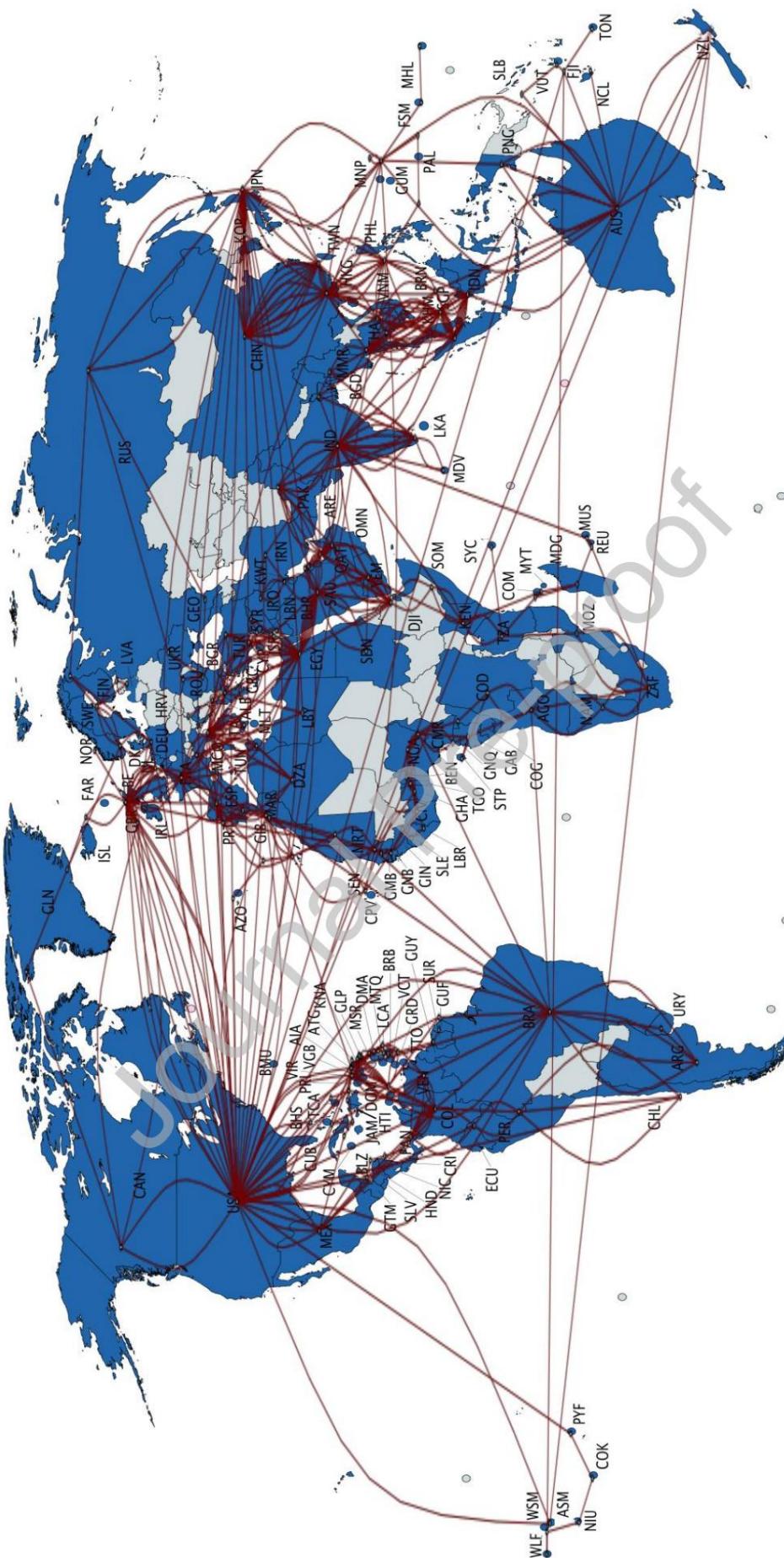
，东南亚之间存在最大的五人集团

措施	价值
	169
	613
最大的组件	169（所有节点）
( )	58
边缘密度	0.0431
平均距离	4.44
直径	9 条边
最大的集团	5 个节点

表 2：网络模型的一般属性。

在对整个网络的属性进行了简短的概述之后，本节继续通过识别中心节点（4.1）、形成冗余级别组（4.2）以及测试假设全球数字鸿沟（4.3）。

4.4 小节总结了前几节的发现，并将它们合并到整体结果中。



## 通过中心性指数识别中心节点

在检查单个节点时,中心性度量提供了一种识别特别中心和边缘节点的方法 [65]。最直接的中心性度量是度中心性。

为此,每个区域都在本地检查其相邻边的数量。美国拥有 58 个相邻的 SCC,在排名中明显领先,而英国和日本以超过 30 的中心度在其区域中占主导地位。埃及的高价值可以解释为它作为 SCC 的过境国。由于欧洲和东亚之间最短的海上连接通过苏伊士运河,因此大量与航运路线平行的 SCC 贯穿埃及大陆。

意大利和沙特阿拉伯的高价值也反映了这种影响,因为这两个国家往往是埃及瓶颈之后的下一个 CLS。与香港、新加坡、马来西亚一起,在度中心度排名前十的东亚贸易和技术中心也有3个。在规模的下端,15 个单元仅连接到一个 SCC。乍一看,这些可以分为两类:一方面,北欧和东欧国家可以通过与盟国(例如克罗地亚、立陶宛和罗马尼亚)的光纤陆地连接获得足够的带宽。另一方面,也有一些岛国和领土由于地理上的隔离而没有冗余地连接到海底光纤网络,例如马绍尔群岛、帕劳和塞舌尔。此外,只有一个冗余,即总共两个 SCC,可以识别 28 个区域。

## 通过故障场景评估状态对 SCC 丢失的脆弱性

考虑到不同程度的冗余,单元按照第 0 节中所述的组形成进行分类。对于三个组中的每一个,简短的介绍之后是一个示例性案例研究,以促进数据的解释。我们为每个关键 SCC 部分(第 1 组)或故障场景模拟(第 2 组和第 3 组)选择了独特的可视化

团体。

### 第 1 组:无冗余

第一组包括在其单个 SCC 发生故障时没有冗余的单元——既不是 SCC 也不是 LCC。图 3 列出了这 15 个单元以及供应它们的 SCC。

包括通过短电缆系统分支连接的地区,例如直布罗陀。从欧洲印度网关系统的 T 形路口到直布罗陀的 CLS 的距离仅为 15 公里,最坏的情况可能会发生带宽完全丢失的情况。另一方面,新喀里多尼亚依靠单根电缆——而不是多站系统——与澳大利亚连接。名为 Godwana-1 的电缆损坏对新喀里多尼亚至关重要的距离达 2150 公里。

典型的案例研究涉及塞舌尔,该国的全球网络接入依赖于一个单一的 SCC,即塞舌尔至东非系统,将主要岛屿马埃岛的首都维多利亚与坦桑尼亚的达累斯萨拉姆连接起来。第 1 组中的岛屿国家和岛屿领土不能

获得 LCC 接入,这意味着 S1 已经导致 100% 的潜在宽带连接丢失。SCC 故障导致完全连接丢失的关键电缆距离约为 1811 公里。塞舌尔至东非系统于 2012 年投入使用,总容量为 320 GB/s。这个潜在带宽超过了对带宽的实际需求(2018:4.2

GB/s) 的倍数,这部分是由于人口中互联网使用水平中等(2017 年:58.11%)[56] 以及电缆的相对新颖性,这意味着其服务终止日期是直到 2037 年才计划[52]。为了在 25 年保持商业可行性,现代电缆的设计带宽容量通常远远超过准备就绪的单元的需求。

服务年。就塞舌尔而言,计划在 2021 年通过巴基斯坦和东非连接欧洲 (PEACE) 电缆系统的一个分支进行第二个骨干连接。从塞舌尔的角度来看,这一发展可以被评估为积极的。然而,和平

由于中国公司参与建设,整个电缆系统也是地缘政治辩论的主题[66]。

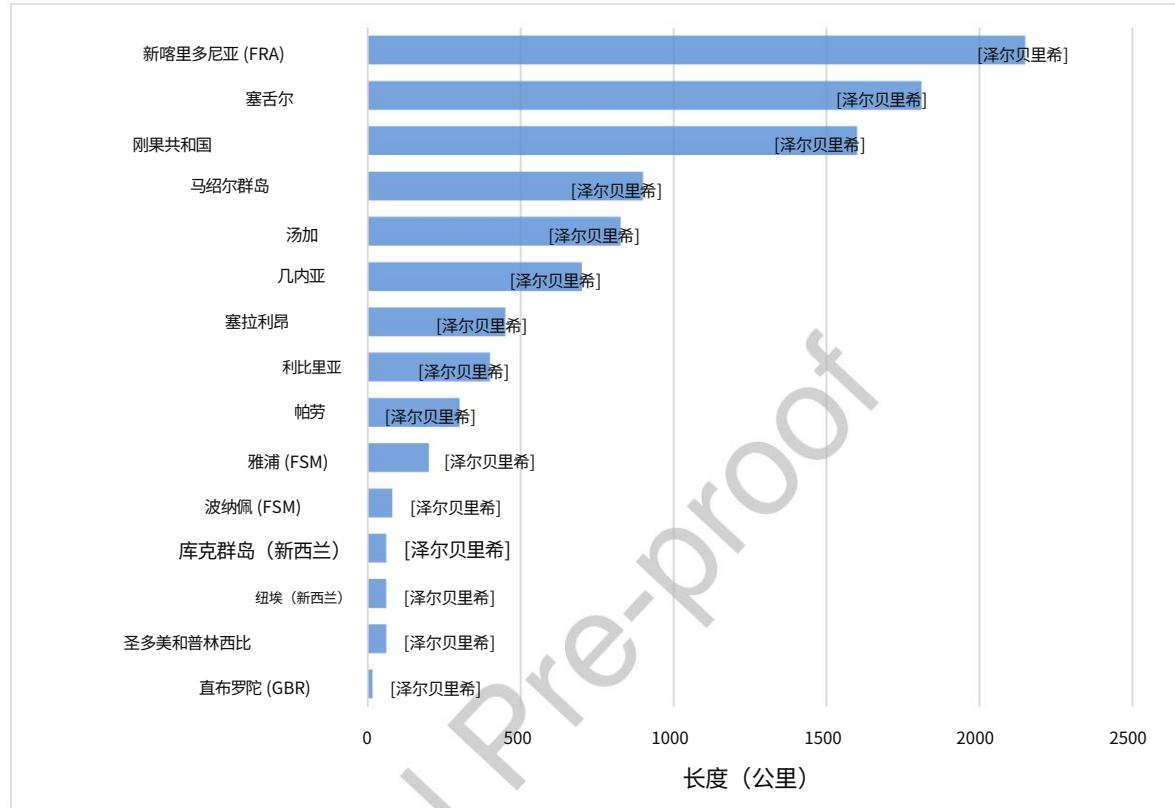


图 3: 具有单个 SCC 连接且缺少 LCC 冗余 (第 1 组) 与相邻 SCC 系统或连接区域 (自己的图) 的单元的关键电缆部分的长度。

#### 第 2 组: 具有平衡和不平衡后备级别的低冗余

在 S2 或 S3 中遭受 100% 连接失败的单元,即最多具有三个 SCC 连接的单元,在本研究中被归类为第二组单元 (图 4)。此外,考虑到沿海国 LCC 连接的冗余潜力,只有少于三个跨境 LCC 的单位才被认为属于该组。如果最宽和第二宽的电缆出现故障,这组 19 个单元具有平衡的后备带宽比以保持连接并将风险降至最低是有利的。在这方面,冰岛可以被认为是一个很好的例子。尽管处于与世隔绝的环境,该装置由三根不同的电缆提供服务,所有电缆的传输量都相当相似。即使移除最宽的电缆 (Greenland Connect), 58.73% 的带宽仍由其他两条电缆 (Farice-1 和 Danice) 的容量维持。

相比之下,乌拉圭的电缆比例相当不平衡。在那里,消除了 Tannat SCC 将导致 95.74% 的相对带宽损失,而整个乌拉圭通过 Antel 电缆仅剩余 2 TB/s 的加权设计容量。作为案例研究,选择了萨摩亚,它连接到两个电缆系统: Manatua One 和 TUI Samoa。两个 SCC 的总加权容量为 8.5 TB, 其中 Manatua One 为 6 TB/s, TUI Samoa 为 2.5 TB/s。这导致潜在带宽容量的比率为 70.59% 到 29.41%。尽管后备不是理想的平衡 (50%/50%), 但足够平衡的冗余级别可以

假设,特别是考虑到配备的国际带宽容量仅为 4 GB/s (ITU 2017)。这导致萨摩亚首都阿皮亚的类似 CLS 出现问题,这意味着尽管 SCC 冗余,主岛仍存在单点故障。

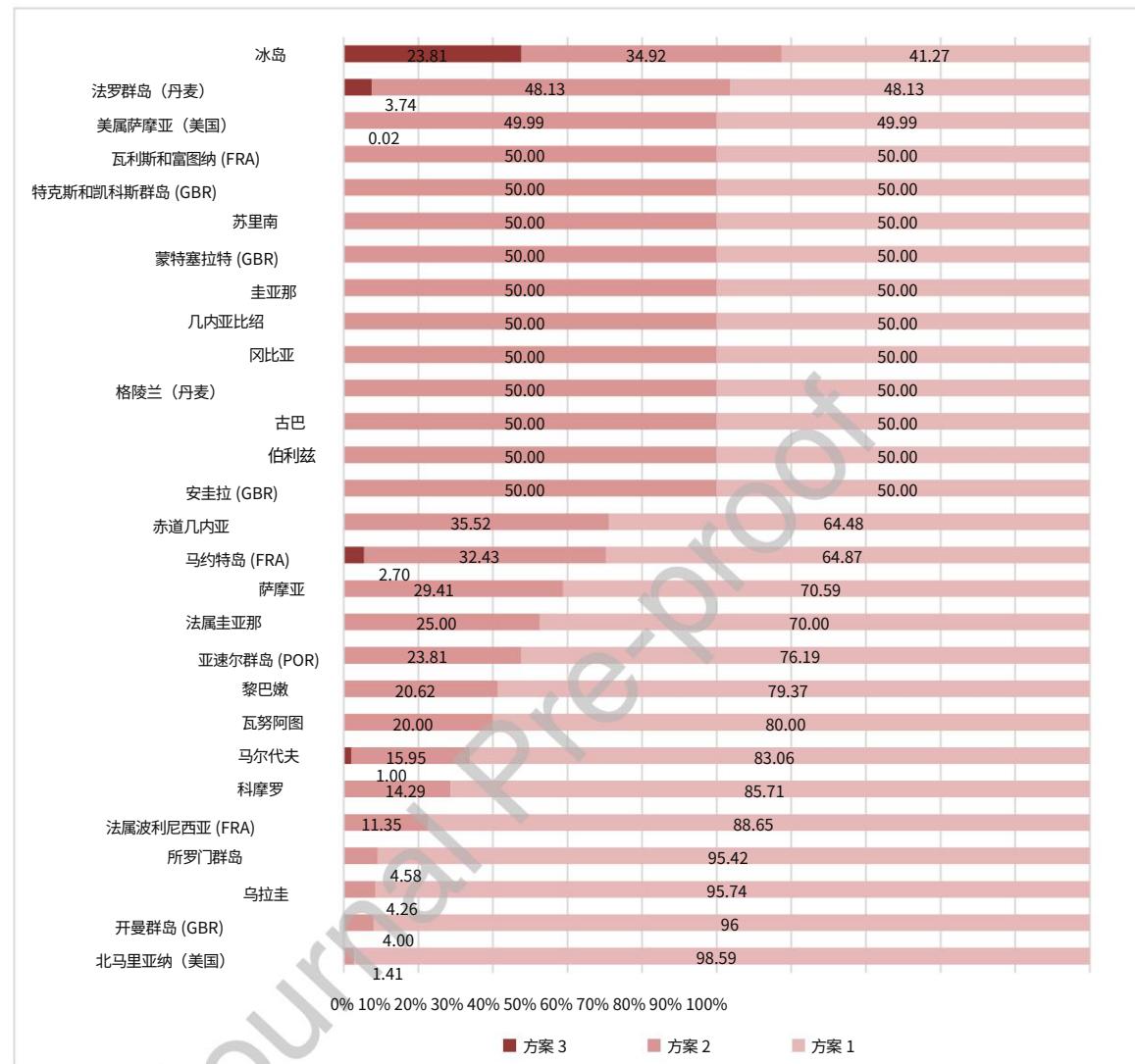


图 4:与整体 SCC 连接相关的低冗余单元的 SCC 故障场景,按 S1 中的相对连接丢失严重程度排序 (自己的图)。

### 第 3 组:高冗余剩余的 126 个单元

被分配到第 3 组。这包括配备三个或更多冗余的所有单元,无论它们是 SCC 还是 LCC。例如,由于容量减少,这些单元可能会受到数据流减少的影响。然而,关键的电信基础设施不太可能在全港范围内发生故障。可以在该组中识别更多差异,例如 SCC 和 LCC 连接的总和。作为参考,图 5 描绘了 G20 成员国的情景。在应用 S3 后,美国在冗余可用性方面处于领先地位。沙特阿拉伯在 S1 中处于领先地位,日本在 S2 中处于领先地位,而在后两种情况下,美国仍然是 G20 的前三名。对于美国,因此可以确定出色的冗余可用性。美国在事件边缘的排名中处于领先地位

$\Delta(\ ) = 58$  的模型。因此,美国被认为是具有高 SCC 冗余的国家组的代表案例。

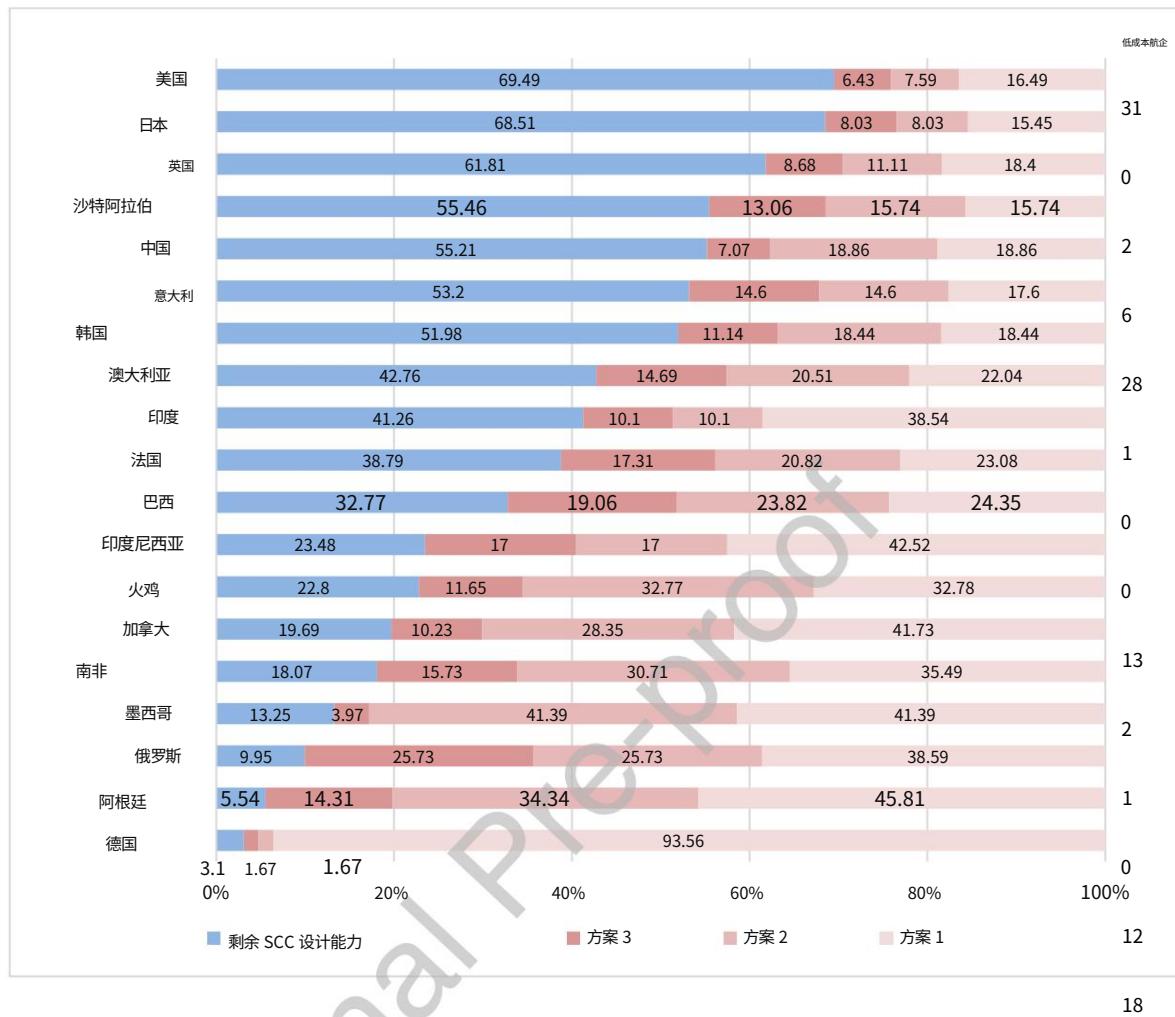


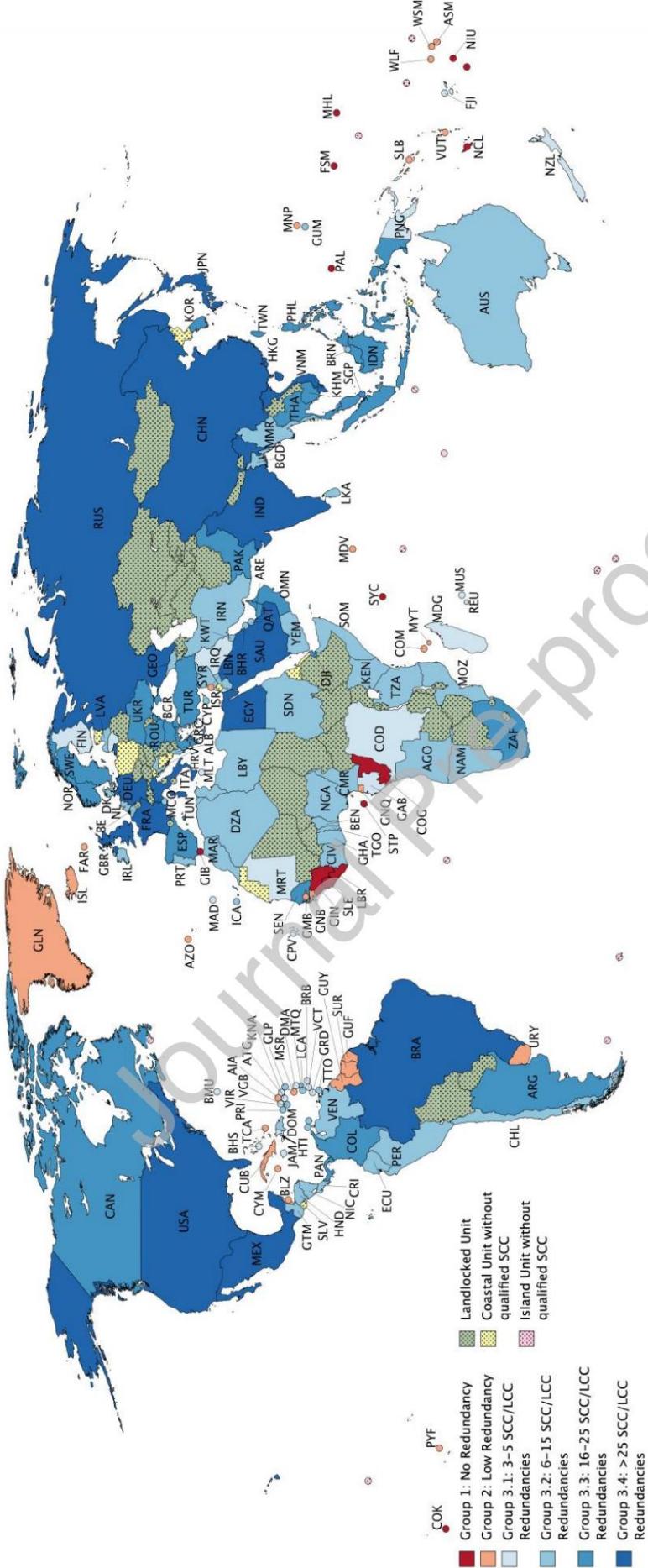
图 5:G20 成员与 SCC 整体连通性相关的 SCC 故障情景。欧盟因其作为国家联盟的地位而被省略。提供额外冗余的 LCC 连接数在右栏中指定。 (自己的图)

18

美国潜在的国际 SCC 带宽估计为 606.4 TB/s。应用场景 1,即 MAREA 的连接丢失,导致潜在 SCC 带宽减少 25.1%。因此,相对而言,最宽电缆的故障将导致整体潜在 SCC 带宽减少 16.5%。在场景 2 中,电缆 BRUSA 也出现故障,失去了 146.5 TB/s,分别是潜在 SCC 带宽的 24.1%。

1

场景 3 中三个最强电缆的损耗转化为 185 TB/s 的潜在损耗。因此,即使在本研究模拟的最坏情况下,美国仍可能拥有 421 TB/s 的潜在剩余带宽。与美国的实际带宽需求 (2017 年:36 TB/s,预计 2020 年:42 TB/s) 的比较最终表明,即使在严重故障的情况下,美国对全球网络的访问也将保持不变。除了海上连接外,美国还配备了与加拿大 ( $n=22$ ) 和墨西哥 ( $n=9$ ) 的 LCC 连接,以及卫星提供的大量互联网接入 [67,68]。图 6 直观地总结了世界地图上的组分类,同时还包括了不同类型的省略单元。



## 社会经济发展和冗余水平

为了测试数字鸿沟现象,我们结合了我们对所分析地区的分类

其各自的社会经济发展状况见下表 3。在社会经济发展状况和冗余程度之间统计独立的情况下,联合国 M49 标准子样本中冗余组的实际份额将接近表 3 第二列中所有领土的预期比例。然而,我们

发现社会经济子样本中的群体比例存在很大差异:

在我们确定为发达国家的 39 个单位中,我们将 34 个 (84.61%) 分配到最高冗余组 3,将 4 个单元 (10.26%) 分配到中等冗余组 2,只有一个 (2.56%) 单元 (直布罗陀) 分配到低冗余组冗余组 1. 由于其地理位置和规模,直布罗陀是一个例外情况。它具有西班牙移动网络的冗余,至少在某些地区是这样

靠近边境。外国移动网络在分析中没有被归类为足够的冗余,因此将直布罗陀的个别案例留在第 1 组中。根据数据,我们

得出的结论是,全球北部 SCC 连接的地理分布相当不错。通过通过可用的替代路由重新路由流量,即使在具有多个同时中断 (S3) 的位置,由于总体 SCC 中断而导致 Internet 故障的可能性非常低。

同时,由于 SCC 损失,全球南方部分地区面临宽带连接中断的风险更大。因此,在未被归类为最不发达国家 (LDC) 的 106 个发展中国家中,77 个单位 (72.64%) 被分到第 3 组,19 个单位 (17.92%) 被分到第 2 组,10 个单位 (9.43%) 列在第一组。在总共 24 个 LDC 单位中,我们将 4 个单位分配到第一组 (16.17%),比例较高。此外,将 5 个单元 (20.83%) 分配到第 2 组,将 15 (62.50%) 分配到第 3 组。根据该矩阵,☒

<sup>2</sup> 值为 6.1015,有 4 个自由度。由于本研究分析统计

所有沿海和岛屿国家和地区的人口符合预先定义的限制,并且在分析过程中没有随机抽样,没有确定 p 值。由于克拉梅的 V = 0.27,因此可以假设冗余水平与社会经济发展之间存在中等强度的相关性。因此,全球数字鸿沟的假设可以在发展中国家,特别是最不发达国家的裁员中得到证实。

### 社会经济发展状况

(联合国 M49 标准)

冗余级别	所有领土		发达 国家	发展 国家	最不发达 国家
	无冗余	低冗余			
无冗余	15	8.88% 1	2.56%	10	9.43% 4
低冗余	28	16.57% 4	10.26% 19		17.92% 5
高冗余 126		74.56% 34	87.18% 77	72.64% 15	62.50%

和	169	100% 39	100%	106 100% 24	100%
---	-----	---------	------	-------------	------

表 3: 绝对值和相对值的组分类，并分配给他们的社会经济发展状况。

## 调查结果摘要

在 4.1 小节中，我们揭示了整体网络结构的不平衡。不同的中心性度量存在很大差异。然而，它基本上是相同的——通常是开发的——

单位在节点重要性指标上在积极意义上位居榜首。反之亦然，

一些国家在不同的中心度度量中出现在各种中心度排名的较低端。这个结果部分是由于中心性度量计算中的某些重叠，但仍然可以从中得出不平衡网络的趋势。虽然这不是一个原创的新发现，但它代表了一个核心作用，证实了旧研究 [26,27] 的主张，即互联网骨干网的不平衡仍然适用于 2020 年中期选定的分析时间的全球背景。

牢记这一基本观察，第 4.2 小节旨在精确识别由于其在互联网骨干网中的位置而遭受总带宽损失（第 1 组，n = 15）或由于 SCC 故障而显着增加的风险（第 2 组，n = 28）的单元。对于第 2 组，还可以注意到数据流量速度的限制也可能出现，特别是在冗余水平不平衡的地区。积极的一面是，所检查的大多数单位（n =

126）被分配到第 3 组，因此假设他们有足够的冗余水平。

根据我们开发的组分类，我们在 4.3 小节中确定了社会经济发展状况与冗余程度的相关性。在最不发达国家中，第 1 组状态冗余方面存在明显的过度平衡。与此同时，发达国家比预期频率预测的更有可能成为第 3 组的成员。因此，可以为最不发达国家和发达国家验证全球数字鸿沟的假设。

对于构成本研究中发展状况变量中心组的非最不发达国家发展中国家，我们将一些单位分配到较低的冗余水平。

但是，它们的发生频率或比例接近其发展状态组内的预期频率或比例；见表 3 的第四列。各组内的这些差异可以通过包含更多变量来最好地解释，但不能用我们的模型来解释。

## 讨论

可以讨论选择用于分析的两个中心变量，分为三个冗余级别和联合国统计司（UNSD）的社会经济发展状况。首先，基于故障场景的分类提供了明确划分内部同质和可比组的机会。度量标准会阻碍相关易受攻击单位的简明组内表示。其次，虽然广泛用于全球关注的学术研究，但 UNSD 的社会经济发展状况也未能幸免于批评。对发达、发展中和最不发达地区的相当粗略的细分创造了非常广泛的类别，这些类别在其中高度异质。无论如何，我们选择了这个指标，因为它使海外领土的客观分类成为可能。这使其领先于其他社会经济发展指标，例如人类发展指数。联合国在报告可持续发展目标时使用三元变量这一事实强调了它的持久相关性。

由于全球关注,我们决定在本研究中使用两个序数变量。因此,一个对于较小范围的分析,例如区域方法或案例研究,建议对 SCC 主干结构进行比率尺度变量应用分析。

必须从一些局限性来看待本研究的结果:首先,在本研究中,州和地区被视为一个黑匣子,它掩盖了失败复原力的地方差异和差异,例如,农村和城市环境之间,繁荣和贫困社区,或家庭和企业客户。这植根于研究的全球焦点。过于详细的分析水平会以结果的清晰度为代价。其次,我们没有将内陆国家纳入研究。这可以通过缺乏关于 LCC 的设计容量带宽的数据来解释。此外,根据定义,内陆国家只能通过相邻沿海国家的过境被动地访问海底光纤互联网骨干网。

因此,内陆国家较少依赖 SCC 的功能,而是依赖 LCC 的功能和邻国转发互联网流量的意愿。但是,可以设想对内陆国家的状况进行具体研究,以及 Liu 等人的研究。[69] 已经为进一步探索提供了一个很好的起点。

第三,电缆的实际使用情况(点亮容量)很少公开,造成数据缺口。本研究从供应安全的角度出发,因此使这一点无关紧要。然而,最大(设计)容量的分析不适用于电信市场分析,因为它们没有提供任何关于通过电信提供商租赁的电缆使用份额的信息。这一点与其说是分析本身的限制,不如说是提醒我们谨慎地解释数据。第四,该模型通过将相同的情景应用于每个国家/地区,忽略了电缆故障的不同风险。Palmer 和 Booi 发现电缆故障的可能性因地理位置而异 [32]。

相应地,渔业和货运、浅水区和海域构造活动的高交通量相应地增加了 SCC 失败的风险。因此,应谨慎解释图 3,因为尚未确定各个电缆部分的地理环境有多危险。未来的研究可能会将我们的结果与故障概率相结合,以提供对一个州对 SCC 故障的脆弱性的更现实的估计。

回顾 UNDRR 的脆弱性定义,必须牢记参考对象对威胁的脆弱性不仅仅取决于是否存在像冗余这样的一个方面。相反,各州可以通过宣布电缆保护区等预防措施来影响其在互联网骨干电缆系统中的个人脆弱性。虽然这些仅通过建立捕鱼边界和锚定禁令来防止电缆意外损坏,但它们并不能防止自然灾害。为了防止自然灾害造成的破坏,特别是由构造活动引发的灾害,需要避开电缆路线沿线海床上的地质活动区。监管机构可能会在与 SCC 安装和运营公司的谈判中提倡这一点。此外,根据故障场景制定综合反应计划,维修资源(材料、技术人员和船只)以及卫星互联网接收设备就近部署,将进一步增强对 SCC 故障的恢复能力。因此,这项研究的结果可以帮助评估冗余水平,并在必要时证明需要采取预防措施。

需要调查以更好地限制漏洞的另一个方面是 SCC 事件后互联网中断的后果方面,以及哪些措施已被证明在发生损害时有帮助。一个全球比较互联网连接对社交网络的重要性指数,

经济或行政层面尚不存在。然而,使用依赖风险图对不同关键基础设施之间的交互进行量化可以更好地估计故障的后果。通过对关键基础设施沿依赖风险链的潜在级联效应进行建模,可以采用具有成本效益的缓解策略 [70]。随着食品、健康和水等关键基础设施领域的持续数字化努力,这些风险链的复杂性可能会越来越高[71-73]。

此外,van Eeten 等人。已经发现,能源和电信基础设施代表了关键基础设施之间级联效应的绝大多数发起者 [74]。然而,依赖风险图等经验风险方法需要来自先前中断的数据来确定概率和负面后果。对于北马里亚纳群岛 [14] 以及最近的汤加在 2019 年 [19,75] 和 2022 年 [76,77] 的案例,在整个地区的单个 SCC 故障后只有少数互联网停机事件,使得很难制定最佳实践。在北马里亚纳群岛的典型案例中,很少有紧急连接可以通过卫星电话建立[78]。在互联网中断的情况下,以互联网为基础的经济部门(例如金融和数字服务或广泛数字化的公共行政)所占份额更高的地区将面临更高的成本。关于

对于这些部门,可以引入特定要求,迫使银行、大型在线企业或当局通过卫星互联网能力增强冗余,以维持基本服务。有鉴于此,通过持续安装更多 SCC 和宽带卫星互联网技术使骨干网日益多样化,可被视为全球互联网骨干网弹性的积极发展。

## 结论

本文通过对国际海底光纤通信网络进行建模,分析了国家和海外领土的脆弱性。对于所检查的绝大多数地区( $n = 126$ ) ,在 SCC 故障后互联网中断的可能性很小。

然而,学术界和政府不应完全忽视这种情况,特别是如果考虑到对 SCC 网络的故意和协同(军事或恐怖)攻击。然而,结果发现 43 个单元的电缆故障风险增加,其中 15 个单元甚至没有一个足够的 SCC 作为冗余。此外,我们发现较低的冗余水平与较低的社会经济发展状况(发展中国家或最不发达国家)之间存在正相关关系。因此,全球南方的州和地区更容易受到 SCC 故障的影响。同时,它们通常不提供经济激励措施来实施

额外的 SCC。

本研究首次为 SCC 骨干网络提供冗余分析,该网络自 2009 年以来已接近全球视野 [31],因此允许对 169

截至 2020 年中期的领土单位。一方面,我们遵循 Omer 等人的方法。在其全球范围内。另一方面,我们以地区实体为单位进行了分析,因为政府可以在国家层面做出最有效的冗余促进措施决策。因此,我们在不排除海外领土的情况下,通过考虑其典型的孤立情况,跟踪了特定大陆和世界地区的大多数文献进行国家比较。

随着互联网覆盖范围继续为当前 38 亿不使用互联网的人建立

然而,由于发展中国家和最不发达国家没有裁员,脆弱性将继续存在。必须确定最脆弱的地区,以最大限度地减少国家层面

此类关键电信基础设施故障的可能性。为此,本文提供了一种基于冗余分析的初始方法。在未来的研究中,我们将寻求纳入评估社会和经济对互联网连接的依赖程度的措施

的一个领土。此外,调查新兴互联网提供技术(如低地球轨道卫星互联网)的未来影响及其在我们在本研究中认为易受攻击的环境中的采用可能证明很重要。卫星巨型星座可能达到阈值

在一段时间内提供足够的宽带连接,而无需建造光缆。从没有任何骨干连接或没有任何骨干连接的发展中国家的角度来看

冗余水平低,一个关键问题也将是这些服务的定价是否会导致进一步加剧全球数字鸿沟。

## 致谢

(匿名)

## 参考

- [1] 国际电信联盟,衡量数字发展事实和数据 2020,国际电联出版物。(2020 年)。<https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf>.
- [2] CM Newbill,为全球应用程序定义关键基础设施,Ind. J. Glob.腿。螺柱。26 (2019)761–779。<https://www.repository.law.indiana.edu/ijgls/vol26/iss2/11>.
- [3] M. Hollick, S. Katzenbeisser,弹性关键基础设施,载于:C. Reuter (Ed.), Inf.技术。Peace Secur.,Springer Fachmedien Wiesbaden,威斯巴登,2019:第 305-318 页。[https://doi.org/10.1007/978-3-658-25652-4\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-658-25652-4_14).
- [4] 联合国减少灾害风险办公室 (UNDRR),关于减少灾害风险的指标和术语不限成员名额政府间专家工作组的报告,日内瓦,2017 年。<https://undocs.org/en/A/71/644> .
- [5] L. DeNardis,互联网控制、信息、通信的隐藏杠杆。社会党。15 (2012) 720–738.<https://doi.org/10.1080/1369118X.2012.659199>。
- [6] 北约合作网络防御卓越中心、战略重要性和对海底电缆的依赖,塔林,2019 年。<https://ccdcoc.org/uploads/2019/11/Undersea-cables-Final-NOV-2019.pdf>。
- [7] D. Winseck,全球互联网基础设施的地缘政治经济,J. Inf.政策。7 (2017) 228–267。<https://doi.org/10.5325/jinfopoli.7.2017.0228>。
- [8] ZS Bischof,R. Fontugne,FE Bustamante,解开全球海底电缆网,在:Proc.第 17 届 ACM 工作。热顶。网络,计算机协会,纽约,纽约,美国,2018:第 78-84 页。<https://doi.org/10.1145/3286062.3286074>。

- [9] 海底电信论坛,海底电信行业报告 2020/2021 版,Submar。电信论坛。 (2020 年) 。 <https://subtelforum.com/products/submarine-telecoms-industry-report/> (2022 年 1 月 19 日访问)。
- [10] L. Carter, D. Burnett, S. Drew, G. Marle, L. Hagadorn, D. Bartlett-McNeil, N. Irvine, Submarine 电缆和海洋——连接世界,剑桥,利明顿,2009 年。<https://www.iscpc.org/documents/?id=132>。
- [11] A. Mauldin,电缆断裂:电缆何时以及如何下降,TeleGeography 博客。 (2017) 。 <https://blog.telegeography.com/what-happens-when-submarine-cables-break> (2022 年 1 月 19 日访问)。
- [12] A. Xie, X. Wang, S. Lu,针对地理相关故障的风险最小化路由,IEEE Access。 7 (2019) 62920–62929。 <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2916834>。
- [13] S. Chen, S. Sun, S. Kang,地面移动通信与卫星通信系统集成——B5G 和 6G 的趋势、挑战和关键技术,中国通讯。 17 (2020) 156–171。 <https://doi.org/10.23919/JCC.2020.12.011>。
- [14] 亚洲及太平洋经济社会委员会 (亚太经社会) ,宽带连接  
太平洋岛国,曼谷,2018 年。<https://repository.unescap.org/bitstream/handle/20.500.12870/1315/ESCAP-2018-WP Broadband-Connectivity-Pacific.pdf?sequence=1&isAllowed=y>。
- [15] E. Sutherland,小岛屿发展中国家的电信,第 37 号决议。会议。  
交流。信息。互联网政策,弗吉尼亚州阿灵顿,2009 年。[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1999852](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1999852)。
- [16] 国际电信联盟、小岛屿发展中国家 (SIDS) 和 ICT,  
国际电信联盟,日内瓦,2019 年。<https://doi.org/10.1002/pub/813cee7c-en>。
- [17] G. Aceto,A. Botta,P. Marchetta,V. Persico,A. Pescapé,互联网综合调查  
停电,J. Netw. 计算。应用程序。 113 (2018) 36–63。 <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.03.026>。
- [18] Y. Kitamura,Y. Lee,R. Sakiyama,K. Okamura,《恢复亚太地区的经验》  
台湾地震造成的网络故障,IEICE Trans.交流。 E90-B (2007) 3095–3103。 <https://doi.org/10.1093/ietcom/e90-b.11.3095>。
- [19] C. Bueger,T. Liebetrau,保护隐藏的基础设施:全球海底数据电缆网络安全政治,当代。安全。政策。 (2021) 1–23。  
<https://doi.org/10.1080/13523260.2021.1907129>。
- [20] W. Chen, B. Wellman,全球数字鸿沟——国家内部和国家之间,IT Soc。 1 (2004) 39–45。 <http://www.ifs.tuwien.ac.at/~dieter/teaching/GmA/Chen2004.pdf>。
- [21] JAGM van Dijk,后记:数字鸿沟理论的现状,载于:M. Ragnedda, G. Muschert  
(编辑),理论。数字。 Divid.,Routledge,英国,2018:第 199–206 页。

- [22] TeleGeography,网络状况,华盛顿特区,2021 年。<https://www2.telegeography.com/hubfs/assets/Ebooks/state-of-the-network-2021.pdf>。
- [23] A. Feldmann, O. Gasser, F. Lichtblau, E. Pujol, I. Poese, C. Dietzel, D. Wagner, M. Wichtlhuber, J. Tapiador, N. Vallina-Rodriguez, O. Hohlfeld, G . Smaragdakis,封锁效应,在:Proc. ACM 互联网测量。 Conf.,ACM,纽约,纽约,美国,2020:第 1-18 页。 <https://doi.org/10.1145/3419394.3423658>。
- [24] S. O'Malley,评估对韩国海底通信电缆的威胁  
基础设施,韩国 J. Int.螺柱。 17 (2019) 385–414。 <https://doi.org/10.14731/kjis.2019.12.17.3.385>。
- [25] M. Muneez,T. Vinesh,L. Nai-Shyan,保护珊瑚上的海底光缆  
马尔代夫的珊瑚礁,Underw.技术。 34 (2017) 149–156。 <https://doi.org/10.3723/ut.34.149>。
- [26] J. Cariolle,电信海底电缆部署和子系统中的数字鸿沟  
撒哈拉非洲 (修订版) ,克莱蒙费朗,2019 年。<https://doi.org/10.2139/ssrn.3202941>。
- [27] D. Thorat,互联网基础设施的殖民拓扑:沉淀和链接  
电报和海底光纤互联网网络,南亚修订版 40 (2019) 252–267。 <https://doi.org/10.1080/02759527.2019.1599563>。
- [28] C. Gerlach, R. Seitz,海底电缆中断的经济影响,新加坡,2013 年。[http://publications.apec.org/-/media/APEC/Publications/2013/2/Economic-Impact-of Submarine-Cable- Disruptions/2013\\_psu\\_-Submarine-Cables.pdf](http://publications.apec.org/-/media/APEC/Publications/2013/2/Economic-Impact-of Submarine-Cable- Disruptions/2013_psu_-Submarine-Cables.pdf)。
- [29] A. Hummelholm,海底光缆网络和网络威胁,载于:T. Cruz, P. Simoes (Eds.), Proc. 18 欧元。会议。网络战争。安全。过程。欧元。会议。信息。华夫。安全,2019。
- [30] 国际电信联盟,最大化国际连接的可用性  
在太平洋,日内瓦,2018 年。[https://www.itu.int/pub/D-PREF-BB.GDI\\_AP-2018](https://www.itu.int/pub/D-PREF-BB.GDI_AP-2018)。
- [31] M. Omer,R. Nilchiani,A. Mostashari,测量跨洋电信电缆系统的弹性,IEEE Syst。 J. 3 (2009) 295–303。  
<https://doi.org/10.1109/JSYST.2009.2022570>。
- [32] A. Palmer-Felgate, P. Booi,全球海底电缆网络的弹性如何? ,在:SubOptic, SubOptic,伦敦,2016 年:第 1-7 页。
- [33] A. Palmer-Felgate,N. Irvine,S. Ratcliffe,SS Bah,区域内的海洋维护:全球  
维修开始时间的比较,在:Suboptic Conf。从海洋到云,2013:第 1-6 页。 [https://www.suboptic.org/wp-content/uploads/2014/10/MS02\\_Poster\\_78.pdf](https://www.suboptic.org/wp-content/uploads/2014/10/MS02_Poster_78.pdf)。
- [34] L. Faramondi, G. Oliva, R. Setola,多标准节点临界评估框架  
关键基础设施网络,诠释。 J. 暴击。基础设施。保护。 28 (2020)100338。<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2020.100338>。
- [35] S. Oldham,B. Fulcher,L. Parkes,A. Arnatkevic\x{c}ut\x{c}、C. Suo,A. Fornito,一致性和

不同类别网络的中心性度量之间的差异,PLoS One。 14 (2019)e0220061。 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220061>。

[36] G. Stergiopoulos, P. Kotzanikolaou, M. Theocharidou, D. Gritzalis, 基于图中心性分析的关键基础设施风险缓解策略,诠释。 J. 暴击。基础设施。保护。 10 (2015)34-44。 <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.05.003>。

[37] M. Oehlers, B. Fabian, 网络鲁棒性的图度量——调查,数学。 9 (2021) 895。<https://doi.org/10.3390/math9080895>。

[38] A. Barrat,M. Barthelemy,R. Pastor-Satorras,A. Vespignani, 复杂加权网络的架构, Proc. 国家石油公司。学院派。科学。 101 (2004) 3747-3752。 <https://doi.org/10.1073/pnas.0400087101>。

[39] Y. Hao, L. Jia, Y. Wang, Z. He, 用谐波模拟网络中的级联故障  
亲近,公共科学图书馆一号。 16 (2021)e0243801。 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243801>。

[40] Y. Hao, Y. Wang, L. Jia, Z. He, 具有谐波接近度的网络级联故障  
根据边缘攻击策略,混沌,孤子和分形。 135 (2020)109772。<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109772>。

[41] Q. Nguyen,HD Pham,D. Cassi,M. Bellingeri,现实世界复杂网络的条件攻击策略,物理学。统计。机甲。它的应用程序。 530 (2019)121561。<https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121561>。

[42] V. Latora,M. Marchiori, 小世界网络的有效行为,物理学。牧师莱特。 87 (2001)  
198701。<https://doi.org/10.17877/DE290R-11359>。

[43] V. Latora,M. Marchiori, 加权网络中的经济小世界行为,Eur.物理。 J.B -  
冷凝。物质复杂系统。 32 (2003) 249-263。 <https://doi.org/10.1140/epjb/e2003-00095-5>。

[44] A. Nagurney, Q. Qiang, 应用于关键基础设施网络的网络效率测量,J. Glob.优化。 40 (2008) 261-275。 <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9198-1>。

[45] C. Reuter 编辑,信息技术促进和平与安全, Springer Fachmedien Wiesbaden,威斯巴登,2019 年。  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-25652-4>。

[46] E. Calle,SG Cosgaya,D. Martínez,M. Pióro, 在同时有针对性的攻击下解决 SDN 中的备份控制器放置问题,  
在:2019 年第 11 期。工作。弹性网络设计模型,2019:第 1-7 页。 <https://doi.org/10.1109/RNDM48015.2019.8949096>。

[47] DF Rueda, E. Calle, JL Marzo, 15 个真实电信的鲁棒性比较  
网络 结构和中心性测量,J. Netw.系统。管理。 25 (2017) 269-289。

[48] T. Freyburg, L. Garbe, 阻塞瓶颈:互联网关闭和选举所有权  
次撒哈拉以南非洲,诠释。 J. 通讯。 12 (2018) 3896-3916。

[49] T. Reinhold, C. Reuter,迈向网络武器评估模型 - 评估  
恶意软件的技术特征,IEEE Trans.技术。社会党。 (2021 年)1-1。 <https://doi.org/10.1109/TTS.2021.3131817>。

[50] 海底电信论坛,海底电缆年鉴,5月 20 日第 34 版,弗吉尼亚州斯特林,2020 年。

[https://subtelforum.com/products/submarine-cable-almanac/。](https://subtelforum.com/products/submarine-cable-almanac/)

[51] TeleGeography,海底电缆地图, (2020 年)。 <https://www.submarinecablemap.com/#/> (2022 年 1 月 19 日访问)。

[52] Infrapedia,基础设施地图, (2020 年)。 <https://www.infrapedia.com/app> (访问一月  
2022 年 1 月 19 日)。

[53] 网络启动资源中心 (NSRC),非洲海底和陆地光纤电缆,  
(2020 年)。 <https://afterfiber.nsrc.org/> (2022 年 1 月 19 日访问)。

[54] G. Mahlknecht,格雷格的电缆地图, (2016 年)。 [https://cablemap.info/\\_default.aspx](https://cablemap.info/_default.aspx) (2022 年 1 月 19 日  
访问)。

[55] 国际电信联盟,交互式传输地图, (2020 年)。 <https://www.itu.int/itu-d/tnd-map-public/> (2022  
年 1 月 19 日访问)。

[56] 国际电联统计数据,世界电信/ICT 指标在线数据库第 23 版,世界  
电信。印度。数据库在线。 (2019)。 <https://www.itu.int/pub/D-IND-WTID.OL-2019>。

[57] R. Hadaway,ER Hartling,P. Mehta,M. Hubbard,D. Evans,L. Berg,M. Hinds,海底电缆升级,见:海底光纤通信。  
Syst.,爱思唯尔,2016:第 577-603 页。 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804269-4.00016-7>。

[58] W. Qiu,Southern Cross NEXT 电缆系统概述,Submar。有线网络。 (2020 年)。 <https://www.submarinenetworks.com/en/systems/trans-pacific/southern-cross-next/southern-cross-next-cable-system-overview> (2022 年 1 月 19 日访问)。

[59] A. South, rworldmap : a new R package for mapping global data, R J. 3 (2011) 35。  
<https://doi.org/10.32614/RJ-2011-006>。

[60] 联合国统计司,方法:统计使用的标准国家或地区代码 (M49),(2018)。 <https://unstats.un.org/unsd/methodology/m49/> (2022 年 1 月 19 日访问)。

[61] I. McCulloh, A. Perrone, R Packages for Social Network Analysis,载于:R. Alhajj, J. Rokne (Eds.), Encycl.社  
会党。网络。肛门。 Min.,Springer New York,纽约,纽约,2017 年:第 1-18 页。 [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7163-9\\_110209-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7163-9_110209-1)。

[62] CT Butts,sna:社交网络分析工具, (2019 年)。 <https://cran.r-project.org/package=sna>。

[63] G. Csardi,T. Nepusz,用于复杂网络研究的 igraph 软件包,InterJournal.  
复杂 Sy (2006) 1695。<http://igraph.org>。

[64] M.-J. Lee, igraphinshiny:使用 “shiny”来演示 “igraph” , (2016 年)。 <https://cran.r-project.org/package=igraphinshiny>。

[65] JL Marzo,E. Calle,SG Cosgaya,D. Rueda,A. Mañosa,关于选择  
网络鲁棒性,在:2018 年第 10 期诠释。工作。弹性网络设计模型,2018:第 1-7 页。

[https://doi.org/10.1109/RNDM.2018.8489809。](https://doi.org/10.1109/RNDM.2018.8489809)

- [66] H. Fouquet,中国通往欧洲的 7,500 英里海底电缆助长了互联网争执,Bloom。  
工作周。 (2021 年) 。 [https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-03-05/china-s Peace-cable-in-europe-raises-tensions-with-the-us](https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-03-05/china-s-Peace-cable-in-europe-raises-tensions-with-the-us) (2022 年 1 月 19 日访问) 。
- [67] 中央情报局,世界概况,中央情报局。 (2021 年) 。 <https://www.cia.gov/the-world>  
概况介绍/ (2022 年 1 月 19 日访问) 。
- [68] 忧思科学家联盟,UCS 卫星数据库, (2021 年) 。 <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database> (2022 年 1 月 19 日访问) 。
- [69] S. Liu, ZS Bischof, I. Madan, PK Chan, FE Bustamante,眼不见心不烦:A  
用户对海底电缆网络关键性的看法,在:Proc。 ACM 互联网测量。  
Conf.,计算机协会,纽约,纽约,美国,2020:第 194–200 页。 <https://doi.org/10.1145/3419394.3423633>。
- [70] G. Stergiopoulos,P. Kotzanikolaou,M. Theocharidou,D. Gritzalis,基于图中心性分析的关键基础设施风险缓解策  
略,诠释。 J. 暴击。基础设施。保护。 10 (2015)34-44。 <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.05.003>。
- [71] F. Kuntke,S. Linsner,E. Steinbrink,J. Franken,C. Reuter,农业韧性:  
德国农民的通信和能源基础设施依赖关系,诠释。 J. 灾害风险科学。 (2022 年) 。
- [72] JR Thompson,D. Frezza,B. Necioglu,ML Cohen,K. Hoffman,K. Rosfjord,相互依存  
关键基础设施模型 (ICIM):基于代理的电力和水利基础设施模型,Int。 J. 暴击。基础设施。保护。 24 (2019)144-165。  
<https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2018.12.002>。
- [73] PF Katina, C. Ariel Pinto, JM Bradley, PT Hester,相互依赖引发的风险  
应用到医疗保健,诠释。 J. 暴击。基础设施。保护。 7 (2014)12-26。 <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2014.01.005>。
- [74] M. Van Eeten,A. Nieuwenhuijs,E. Luijff,M. Klaver,E. Cruz,《国家与威胁  
关键基础设施的级联故障:媒体事件报告中经验证据的影响,公共行政 89 (2011) 381–400。 <https://doi.org/10.1111/j.1467-9299.2011.01926.x>。
- [75] L. Dickey, E. Downs, A. Taffer, H. Holz, D. Thompson, SB Hyder, R. Loomis, A. Miller, Mapping  
太平洋岛国的信息环境:干扰因素、赤字和决策,海军分析中心,弗吉尼亚州阿灵顿,2019 年。 [https://www.cna.org/CNA\\_files/centers/cna/cip/disinformation/IRM-2019-U-019755-final.pdf](https://www.cna.org/CNA_files/centers/cna/cip/disinformation/IRM-2019-U-019755-final.pdf)。
- [76] C. Duckett,火山爆发取出汤加电缆,ZDNet。 (2022 年) 。  
<https://www.zdnet.com/article/volcanic-eruption-takes-out-tonga-cables/> (2022 年 1 月 19 日访问) 。
- [77] B. Doherty, T. McClure, 汤加在修复海底通信电缆的过程中可能会中断数周,Guard。 (2022 年) 。

<https://www.theguardian.com/world/2022/jan/18/tonga-could-be-cut-off-for-weeks-amid-effort-to-repair-undersea-communications-cable> (2022年1月19日访问)。

[78] J. Brodkin,据报道,断线电缆断开了美国岛屿领土与互联网的连接,Ars Tech。(2015年)。<https://arstechnica.com/information-technology/2015/07/broken-cable-reportedly-disconnected-us-island-territory-from-internet/> (2022年1月19日访问)。

#### 附件一:领土清单

领土	ISO 3 代码	相邻的 SCC	跨境	
			低成本航企	冗余 团体
阿尔巴尼亚	ALB	3	4	3
阿尔及利亚	DZA	7	8	3
安哥拉	葡	7	0	3
安提瓜和巴布达	ATG	4	0	3
阿根廷	精氨酸	5	19	3
澳大利亚	澳大利亚	16	0	3
巴哈马	BHS	4	0	3
巴林	BHR	6	0	3
孟加拉国	BGD	4	4	3
巴巴多斯	BRB	5	0	3
比利时	贝尔	6	9	3
伯利兹	BLZ	2	2	2
贝宁	本	4	8	3
巴西	胸罩	17	16	3
文莱	BRN	6	0	3
保加利亚	BGR	4	19	3
柬埔寨	KHM	4	12	3
喀麦隆	CMR	9	2	3
加拿大	能够	5	18	3

佛得角	每次观看费用	4	0	3
智利	CHL	4	11	3
中国	中国	22	28	3
哥伦比亚	科尔	15	3	3
科摩罗	通讯	2	0	2
哥斯达黎加	呈色指数	4	9	3
克罗地亚	心率变异性	1	6	3
古巴	幼兽	2	0	2
塞浦路斯	CYP	11	0	3
民主党。刚果共和国 COD		4	0	3
丹麦	丹麦克朗	8	5	3
法罗群岛 (DNK)	远的	3	0	2
格陵兰 (DNK)	GLN	2	0	2
吉布提	大疆	17	4	3
多米尼克	DMA	4	0	3
多明尼加共和国	DOM	7	3	3
厄瓜多尔	电子控制单元	5	5	3
埃及	埃及	28	2	3
赤道几内亚	GNQ	3	0	2
斐济	富士通	5	0	3
芬兰	鳍	3	3	3
法国	法兰克福机场	19	26	3
法属圭亚那 (FRA)	GUF	3	2	2
法属波利尼西亚 (FRA)	PYF	2	0	2
瓜德罗普 (FRA)	GLP	7	0	3
马提尼克 (FRA)	MTQ	7	0	3
马约特岛 (FRA)	我的T	3	0	2
新喀里多尼亚 (FRA)	NCL	1	0	1
留尼汪 (FRA)	欧盟	4	0	3

瓦利斯和富图纳 (FRA) WLF		2	0	2
加蓬	瞎扯	4	0	3
冈比亚	专线小巴	2	2	2
乔治亚州	地球仪	2	6	3
德国	德国	7	19	3
加纳	GHA	10	4	3
希腊	GRC	8	9	3
格林纳达	GRD	4	0	3
危地马拉	GTM	6	7	3
几内亚	杜松子酒	1	0	1
几内亚比绍	GNB	2	1	2
圭亚那	盖伊	2	1	2
海地	HTI	2	3	3
洪都拉斯	HND	2	8	3
香港	港铁	25	3	3
冰岛	ISL	3	0	2
印度	IND	29	13	3
印度尼西亚	国际化域名	20	0	3
伊朗	国际注册局	4	9	3
伊拉克	中断请求	4	1	3
爱尔兰	爱尔兰	9	2	3
以色列	情监侦	4	0	3
意大利	国际合作	28	12	3
象牙海岸	CIV	8	2	3
牙买加	果酱	5	0	3
日本	日本	31	0	3
约旦	乔尔	2	4	3
肯尼亚	肯	7	4	3
科威特	KWT	5	1	3

拉脱维亚	左心耳	1	6	3
黎巴嫩	LBN	3	0	2
利比里亚	LBR	1	0	1
利比亚	LIB	3	6	3
立陶宛	LTU	1	4	3
马达加斯加	千年发展目标	4	0	3
马来西亚	MYS	24	1	3
马尔代夫	多发性硬化症	3	0	2
马耳他	MLT	3	0	3
马绍尔群岛	MHL	1	0	1
毛里塔尼亚	捷运	4	1	3
毛里求斯	亩	3	0	3
墨西哥	墨西哥	9	19	3
波纳佩州 (FSM)	FMP	1	0	1
雅浦 (FSM)	FMY	1	0	1
摩纳哥	行动管制令	2	4	3
摩洛哥	三月	7	3	3
莫桑比克	MOZ	4	5	3
缅甸	MMR	6	6	3
纳米比亚	不结盟运动	4	7	3
荷兰	民盟	8	5	3
荷属加勒比地区 (NLD)	DCB	14	0	3
新西兰	新西兰	5	0	3
库克群岛 (NZL)	焦炭	1	0	1
纽埃 (NZL)	小牛	1	0	1
尼加拉瓜	网卡	2	6	3
尼日利亚	NGA	9	2	3
挪威	也不	1	15	3
阿曼	OMN	16	1	3

巴基斯坦	帕克	11	8	3
帕劳	朋友	1	0	1
巴拿马	平底锅	12	4	3
巴布亚新几内亚	PNG	4	0	3
秘鲁	每	6	9	3
菲律宾	PHL	17	0	3
葡萄牙	PRT	14	0	3
亚速尔群岛 (PRT)	偶氮	2	0	2
马德拉 (PRT)	疯狂的	4	0	3
波多黎各	PRI	15	0	3
卡塔尔	卡塔尔	9	1	3
刚果共和国	重心	1	0	1
罗马尼亚	柔	1	19	3
俄罗斯	俄罗斯	6	25	3
圣基茨和尼维斯	KNA	4	0	3
圣卢西亚	生态周期评估	6	0	3
圣文森特和 格林纳丁斯	VCT	4	0	3
萨摩亚	WSM	2	0	2
圣多美和普林西比	直通式	1	0	1
沙特阿拉伯	修	26	6	3
塞内加尔	森	10	6	3
塞舌尔	SYC	1	0	1
塞拉利昂	SLE	1	0	1
新加坡	SGP	25	0	3
所罗门群岛	负载均衡	2	0	2
索马里	索姆	4	2	3
南非	扎夫	6	11	3
韩国	韩国	18	0	3

西班牙	ESP	16	4	3
加那利群岛 (ESP)	ICA	8	0	3
斯里兰卡	LKA	8	0	3
苏丹	SDN	4	4	3
苏里南	苏尔	2	2	2
瑞典	瑞典语	6	17	3
叙利亚	锡尔	3	4	3
台湾	台湾网	18	0	3
坦桑尼亚	TZA	5	6	3
泰国	THA	13	9	3
多哥	TGO	2	8	3
汤加	吨	1	0	1
特立尼达和多巴哥	TTO	7	0	3
突尼斯	屯	5	9	3
火鸡	土耳其	7	12	3
乌克兰	UKR	2	15	3
阿拉伯联合酋长国	是	23	2	3
英国	GBR	33	2	3
安圭拉 (GBR)	友邦保险	2	0	2
百慕大 (GBR)	BMU	4	0	3
英属维尔京群岛 (英国)	VGB	5	0	3
开曼群岛 (GBR)	CYM	2	0	2
直布罗陀 (GBR)	GIB	1	0	1
蒙特塞拉特 (GBR)	MSR	2	0	2
特克斯和凯科斯群岛 (英国)	三氯乙酸	2	0	2
美国 美国		58	31	3
美属萨摩亚 (美国) ASM		3	0	2
关岛 (美国)	胶	13	0	3

北马里亚纳 群岛（美国）	MNP	2	0	2
美国维珍 群岛（美国）	虚拟红外	10	0	3
乌拉圭	乌里	2	2	2
瓦努阿图	VUT	2	0	2
委内瑞拉	文	11	3	3
越南	虚拟网络	12	16	3
也门	耶姆	6	0	3

## 利益申报

作者声明,他们没有已知的可能会影响本文报道的工作的相互竞争的经济利益或个人关系。

作者声明以下可能被视为潜在竞争利益的经济利益/个人关系: