

亚欧部分国家/地区山洪地质灾害预警工作进展

戴洋 张晋彬 何楨 闫一铭

(中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

摘要: 介绍了亚欧部分国家/地区滑坡、泥石流等山洪地质灾害预警防灾工作的最新进展情况, 分析梳理了当地气象部门在其中所承担的工作, 并探讨了其对我国的借鉴作用。结果表明, 气象部门在山洪地质灾害应对中具有重要作用, 亚欧部分国家/地区的做法在管理、业务体制、运行机制、业务系统、科普等方面对我国的相关工作有一定的参考价值。

关键词: 山洪, 灾害预警, 国际, 进展

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.z1.007

1 亚欧部分国家/地区山洪地质灾害预警防治业务介绍

1.1 香港

香港地区山地面积比例较大, 只能依靠大量削坡填洼开拓土地, 夏季又多有强降水天气, 因而香港面临较高的山体滑坡风险(图1), 并且滑坡风险同时来自于天然山体和人造斜坡两方面。20世纪70年代香港宝珊道和秀茂坪发生严重的山体滑坡(香港称之为山泥倾泻)事故, 伤亡惨重, 之后山体滑坡风险管理工作在香港引起了高度重视, 于1977年设立了土工工程拓展署管辖下的土工工程处, 作为岩土工程政府监管体系, 全面负责管理山坡发展工程和斜坡的设计、建造和维修。在上述领域, 近30年来, 该处开展了大量卓有成效的工作, 明显改善了香港斜坡安全, 由山体滑坡造成的人员伤亡损失明显下降(图2)。该处还研发了一套综合斜坡安全系统, 受到世界各地工程界人士和天然灾害管理人员推崇, 具有一定的国际影响力。

1.1.1 山体滑坡警报系统

香港的山体滑坡大多由暴雨引起。土工工程处根据实时雨量数据及香港天文台的雨量预测意见, 识别何时山体滑坡危险会处于高水平, 并决定是否通过传媒发出山体滑坡警报。一旦预测到暴雨将可能导致多宗山体滑坡, 便会发出山体滑坡警报。发出山体滑坡警报的同时, 启动政府部门之间的紧急应变服务, 以便迅速动员人手及其他资源来处理山体滑坡事故。

香港的山体滑坡警报系统, 主要由斜坡资讯系统

和雨量观测系统构成。

(1) 斜坡资讯系统。1982年土工工程处成立香港地质调查组, 建立了一套独有及完善的地质资料库, 并不断更新。自1997年起开展了系统性的山体滑



图1 香港土工工程处每年接获滑坡报告数量和年雨量^①

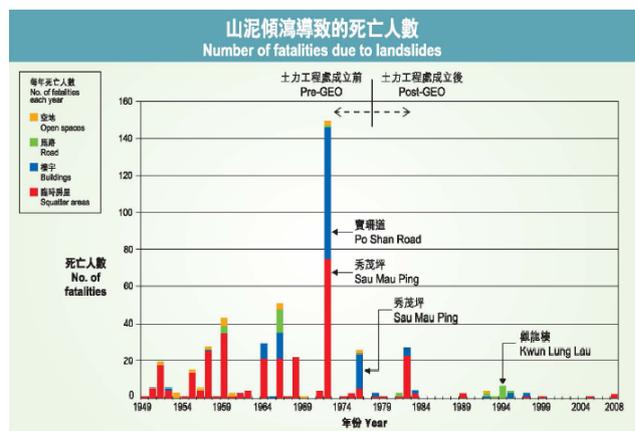


图2 香港因滑坡灾害致死人数的下降

收稿日期: 2013年11月9日; 修回日期: 2013年11月26日
第一作者: 戴洋(1977—), Email: daiyang@cma.gov.cn

^① 香港部分所引用图表, 除特别说明外, 都来自香港斜坡安全网(<http://hkss.cedd.gov.hk/hkss/sc/index.aspx>)。

坡勘测计划, 2007年香港地质图实现网络化, 在这些工作基础上开发了斜坡资讯系统 (<http://hkss.cedd.gov.hk/hkss/chi/sis.aspx>)。该系统提供了斜坡的分布及具体情况。

(2) 雨量观测系统。由110个雨量计构成, 提供了全港地区所有雨量数据的获得、控制、处理和传输。图3给出了土力工程处在香港的雨量站分布。整个自动雨量计系统采用了现代化、先进的数据记录、处理、传输设备和软件。110个雨量计中, 86个由土力工程处运维管理, 24个由香港天文台运维管理。其中, 土力工程处的自动雨量计网络, 覆盖范围广阔, 设立于1984年, 1999年雨量计的数目增加至现在规模。2005年, 采取通用分组无线电服务(GPRS)技术对其中的65个雨量计进行了无线传输升级, 这一升级提高了系统的稳定性, 使得雨量计布点可以更灵活, 并且仪器运维费和数据传输的费用下降。

雨量观测系统为山体滑坡警报系统的运作提供了实时雨量数据。在此基础上, 土力工程处还整合了多年历史数据, 研发了一个山体滑坡频率和雨量的关系模型。根据模型, 结合香港天文台的降水量预报, 可以估计每一场降水可能带来的山体滑坡数量, 进而作出发布或取消山体滑坡警报的决定。

1.1.2 香港天文台的工作

一是负责运作24个雨量计及相关的获取、处理和传输; 二是综合利用雨量计、雷达(监测雨区的活动及发展)、高像素的气象卫星图片(监测香港周围云层分布)等各种数据, 不断观察本区及邻近范围的天气情况, 以便及时向公众发出警告; 三是参与决定是否发出或取消山体滑坡警报的决策(由香港天文台台长与土力工程处总监共同决定)。发出山体滑坡



图3 土力工程处在香港的雨量站分布

警报的标准是基于受暴雨影响的面积范围、雨量强度及受影响斜坡的数目, 若预计24h的降雨量足够导致多宗山体滑坡, 便会发出山体滑坡警报。

1.1.3 山体滑坡警报的效果和标准

为了保证警报切实起到防范作用, 香港坚持大力开展相关科普和防灾减灾教育, 采取了一套完善积极的策略, 教导市民及时采取应对措施, 并推动社区合作, 通过公众教育、宣传活动及资讯服务, 努力提高市民对斜坡安全的认知。山体滑坡警报生效时, 通过本地电台及电视台定时向市民广播有关山体滑坡警报的消息, 以及建议市民应采取的预防措施。香港斜坡安全网页 (<http://hkss.cedd.gov.hk>) 也会及时刊登山体滑坡警报及有关进展。

无论是天气或山体滑坡的预测, 都并非绝对准确。因此, 有可能出现发出山体滑坡警报, 但是在山体滑坡数目不多的情况下, 也可能在发出山体滑坡警报之前便已发生多宗山体滑坡。但总体来看, 调查表明香港的山体滑坡警报还是有效的。自1985年以来搜集到的案例统计显示, 超过90%的山体滑坡造成死亡事件都是发生在山体滑坡警报生效期间。可见山体滑坡警报是一个很可靠的预警系统, 能及早提醒市民可能有山体滑坡危险。

随着斜坡安全的改善^①, 香港政府还定期检查/回顾发布及取消山体滑坡警报的标准, 以切实保证警报工作的效果。

1.2 台湾

1.2.1 台湾泥石流地质灾害防救灾体系

台湾行政院农业委员会是台湾地区泥石流(台湾称之为土石流)灾害的防救业务主管机关, 负责指挥督导协调泥石流灾害防救各相关行政机关及公共事业, 执行各泥石流灾害预防紧急应变措施及灾后复原重等工作, 并设有灾害防救紧急应变小组。水土保持局负责泥石流防救灾业务推动, 并在有泥石流发生危险时成立泥石流灾害应变小组, 其任务在于灾情搜集与紧急应变处置, 并监测气象局实时雨量信息与泥石流观测站的相关实地资料, 适时发布泥石流警戒通报, 为各级灾害应变中心下达疏散避难指令作参考。水土保持局各工程所则根据水土保持局指示, 成立紧急应变小组, 处理紧急应变事宜。

目前泥石流灾害的预报及警报的发布, 主要是农业委员会水土保持局依据气象部门提供的气象预报及雨量资料, 并配合该局制定的泥石流警戒基准值, 研

① 土力工程处还实施“斜坡安全”计划来改善山体状况, 降低滑坡风险。截至2010年, 香港政府已把过去建造的不符合标准的人造斜坡所构成的整体山泥倾泻风险, 从1977年的基准减至它的25%。

究灾害发生的可能性，适时通过传媒迅速向普通民众传递灾害预报信息，并同时通报给相关县（市）、乡（镇）灾害应变中心。

1.2.2 台湾泥石流预报

2004年，台湾发布泥石流警戒预报。同世界大多地区一样，台湾的暴雨泥石流发生警戒预报，也主要是以累积雨量及降水强度为基准。台湾早期的泥石流警戒方式是参考日本做法，应用降水强度及有效累积雨量的线性关系，建立泥石流临界降水值： $R+aI=b$ （式中， R 指有效累积雨量（包含本次降雨量及前期有效累积雨量）， I 指降水强度，系数 a 及常数 b 是因地制宜的经验参数）。该线性关系式中包含了两个待定参数（ a 和 b ），特别对于样本资料不多的地区来说，同时准确推估两个参数很困难。因此，台湾学者也对这个公式进行了不断的改进。

目前台湾依据泥石流发生降水驱动指标及泥石流累积雨量警戒值两种警戒方法，进行暴雨泥石流发生预警工作。

1.2.3 台湾泥石流的监控与预警

台湾于1990年提出以预警系统作为泥石流防治的前期措施。1992—1999年，在有关高脆弱性地区共建置18座预警系统，1999—2003年共建置12处灾害监测系统。由于维护经费的缺乏，上述预警及观测系统目前已停止运作。

1998年，台湾水土保持局决定将泥石流预警与

监测研究回归到决策支持系统，并将泥石流预警系统更名为泥石流观测系统（图4），以加强对泥石流观测系统量测资料的研究，作为发布防灾警报决策的参考。2002—2004年选择13处高脆弱性地区建设了13处固定式泥石流观测站（由于固定观测站建设及运维费用较高，从2004年开始建设移动式泥石流观测站）。固定式泥石流观测站的结构主要分为3大部分，分别为前端观测仪器、中端资料接收中心及后端防灾应变系统。测站针对现场状况设置了两种运作方式：正常方式（normal mode）及事件方式（event mode），平时观测站运作皆为正常方式（系统处于休眠状态），一旦现场观测雨量超过预先设置的门槛（降水强度大于10 mm/h或单日累积雨量超过100mm时），系统自动切换成事件方式，各项设备立即开始运作并短信通知相关人员。为能随时掌握各站实际情况，系统还具备远端遥控功能，工作人员可利用相关软件从水土保持局直接控制现场观测设备。固定观测站配备的观测仪器主要包括雨量计、电荷耦合元件CCD、摄影机、钢索检知器、地声检知器及超声波水位计等，综合应用遥感（RS）、全球卫星定位系统（GPS）及地理信息系统（GIS）进行监测。

21世纪初，台湾水土保持局利用GIS与因特网技术，规划制作“泥石流防灾应变系统”以监控泥石流并适时发布泥石流警报。该系统包括：（1）以降水量为指标，为各乡镇的潜势溪流设定泥石流警戒基

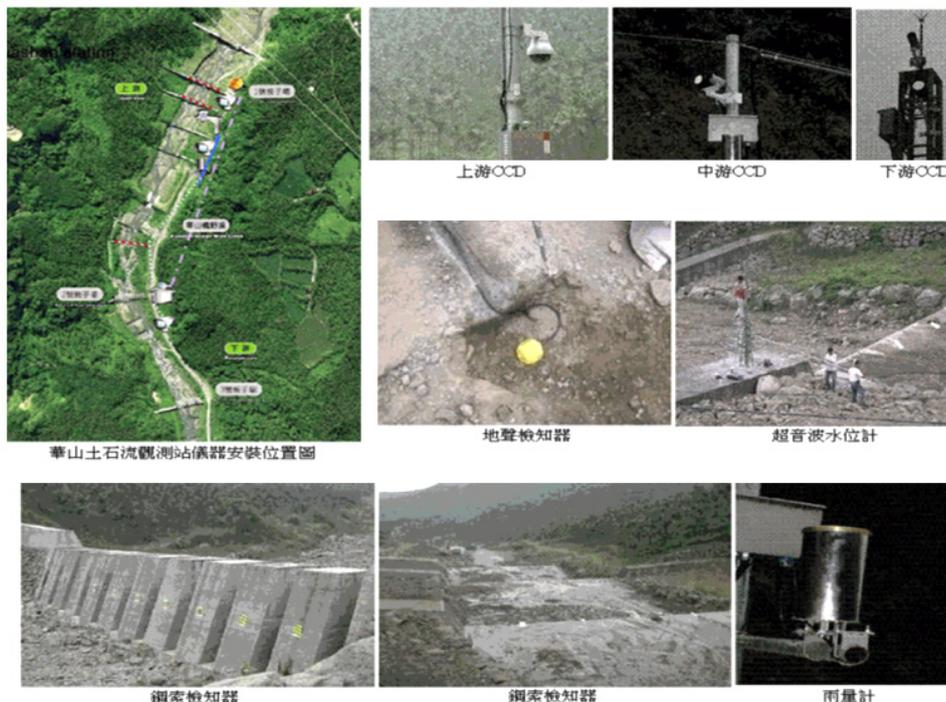


图4 台湾泥石流观测系统设备

准值；（2）一旦某潜势溪流集水区内的单日累积雨量超过基准值，系统将自动进行空间定位，对该区发布红色泥石流警戒，确定需撤离居民的危险地区并通知民众撤离；（3）普通民众可以通过“泥石流防灾应变系统”，随时掌握泥石流潜势溪流的最新状况；

（4）系统中还提供各地区的防灾疏散避难图，记载泥石流发生时的逃生方向、避难处所与邻近医疗单位等信息。

由于2009年“88水灾”造成了严重泥石流灾害，2010年，水保局又启动“全流域泥石流防灾应变计划”，目标是泥石流“零死亡”。该计划包含4大目标：（1）易致灾地区的灾害因子评估调查（致灾因子在原有基础上新增崩塌、地滑及堰塞湖等因子）；

（2）易致灾地区的区位调查；（3）更新泥石流潜势溪流信息；（4）构建全流域泥石流观测站网，强化预警系统。一方面，强化硬件设备：计划拨款3000万新台币，将全台固定式观测站由原有的13个增加到40个，同时新设3辆移动观测车和20个简易观测站；另一方面，强化数据汇总整合：水保局提供泥石流监测信息，公路局提供危险公路信息，水利署提供水情信息，水保局与防救灾科技中心联合建立平台，整合所有数据信息。

2013年7月，Google台湾灾害应变信息平台启动。在该平台建设中，Google与台湾重大灾害防治部门密切合作，整合了来自气象局、水土保持局、水利署、公路总局、灾害防救灾科技中心等重大灾害防治单位提供的灾害信息，并针对台湾的气候与地理条件，划分为台风、暴雨、泥石流、洪涝、河川与水位警戒等多个类别。通过这个平台，台湾用户可以通过电脑和手机等便携设备，实时掌握台风和泥石流等灾害信息。

平台首先推出的服务包含Google公共预警（Google Public Alerts）和台湾防灾地图。当灾害发生时，民众只要通过Google搜寻或Google地图寻找邻近区域及相关天然灾害等信息，Google灾害警告就会自动启动，提供民众最具关联和实时性的灾害应变信息。台湾防灾地图是打造统一的地图信息平台，用户可依需求通过不同图层查看灾害的警备状态与影响范围，包含台风路径及预报、台风侵袭机率、台风暴潮观测、雷达回波、雨量观测、泥石流潜势溪流及疏散避难信息、道路封闭，同时加上多项Google地图内置图层，如天气、云层及交通路况。

对于平台作用的发挥来说，数据的作用非常关键。预计，到2013年年底台湾将开放50种资料。但光是开放还不够，能够有效整合、应用这些数据才是关键。

为了更好地促进数据开放和应用，台湾有关部门还设立了经费补助，鼓励社会力量积极参与献计献策。

1.3 日本

2013年3月，Google第一次在美国以外地区发布它的公共预警系统（Public Alerts System），启动了在日本的服务。在日本，该系统最初可预警的范围仅包括地震和海啸，现在能够就不同的天气条件给用户警告，如滑坡、暴风雪、台风，服务领域不断拓展。此外，在Google搜索、Google新一代个性化移动搜索服务Google Now，Google地图等也将会出现警报，带给使用者有关浓雾、大浪等相关警报的详细信息。通过不同的Google服务和网站，来提供这些公共预警，目的在于确保居住在日本的使用者们可以不需要特地搜索就可以轻易获得警报或有关天气条件的信息。

日本气象厅对Google公众警报系统的运行具有重要作用。正是由于有了日本气象厅和救援部门的帮助，才使得Google提供这些新的预警成为可能。这两个部门提供了搜索引擎所需要的数据，并承诺将这些数据以可使用的格式提供给公众。

日本的Google公共预警系统建设属于Google旗下非营利机构Google.org长期推广的Google Crisis Response全球计划的内容。该计划旨在提高灾害预警信息对防灾减灾的效果，通过与当地政府合作，开放相关数据，并将所有灾害信息整合到一个平台上（Google平台），使用户便捷地获取信息，而不需要像过去那样分别到多个政府网站查询灾害状况。苹果iOS或Android操作系统用户，只要内置或下载Google实时信息，系统侦测用户位于灾害影响范围时，就会自动跳出警告卡片（除了提供警告功能，也提供灾前灾中和灾后的建议措施，协助民众防灾或灾后撤离）。平台还非常便于网络传播，用户可通过“分享”按键，将相关地图上传到网络社交平台，及时传递防灾减灾信息。平台还运用了Google处理突发大量流量的技术，确保网络在较高访问量下保持畅通。

1.4 挪威

挪威水资源和能源部（Norwegian Water Resources and Energy Directorate, NVE）是挪威负责雪崩和山洪地质灾害（滑坡）的官方机构。它致力于建立全国范围的雪崩和地质滑波预警系统，并为大众提供对区域层次的灾害预警。

（1）雪崩预报。始于2012年2月，将为23个区域的试验地区提供预报，在www.varsom.no网站上以一周两次的频率进行发布。挪威气象研究所负责发布雪崩预警，发布在两个网站（www.met.no和www.

yr.no) 的首页醒目位置上。

(2) 山体滑坡风险。目前挪威正在不懈发展全国的山体滑坡预警系统。在一些灾害多发地区, 局部的监测和预警系统已经建立。这项工作是由当地政府领导, 并由一个专家网络提供协助。NVE目前对部分地区的监测、预报和应对措施有所贡献。

1.5 中欧

中欧国家正在实施中欧地区综合临近预报系统(Integrated nowcasting system for the Central European area, 简称INCA-CE)项目, 该项目的主要目标是对INCA系统进行进一步发展。

INCA系统是近年来由中欧8个国家的16个气象组织共同研发的暴雨预报的高分辨率短临系统, 奥地利气象和地球动力学中央研究院(ZAMG)是牵头单位。该短临系统具有时空分辨率高、更新快速、预报准确率高及对计算机性能要求不高等特点。目前, INCA综合分析和临近预报系统的应用已由气象领域拓展到水文、道路安全、防灾减灾等领域。

INCA-CE项目中, 设计了防灾减灾预警模块, 其目的是尽早探测泥石流、滑坡等地质灾害发生的危险地带。该模块的研发由Fraunhofer光学、系统技术和图形开发研究所(Fraunhofer IOSB)负责。Fraunhofer IOSB是德国著名非营利科研机构Fraunhofer协会下设的研究所, 致力于国防和安全领域, 主攻网络传感器和图形开发。目前, 该模块正处于研发过程中。其主要研发思路是: 获得高分辨率的区域信息和动态变量(如降水)的监测、预报信息, 进行数据融合, 评估稳定性, 辨识危险地区, 发布警报。研发着眼于奥地利Burgenland地区, 将之前搜集的水文、地质、土地利用信息与动力气象预测数据集合起来, 目标在于获得对特定地区潜在威胁的早期状态的深入了解, 以使采取预防措施成为可能。该模块还计划应用于其他数据条件具备的地区。这项研发工作具有较好的前期工作基础, 奥地利之前开展的一个自然灾害管理项目BUWELA为研发提供了良好的数据和试验基础。

1.6 泛欧

目前, 来自法国、格鲁吉亚、罗马尼亚、比利时、葡萄牙、西班牙、德国、意大利的不同研究所和高校等正在联合实施一项“泛欧和全国性的滑坡敏感性评价”(Pan-European and nation-wide landslide susceptibility assessment)项目, 该项目为期两年(2012—2013), 目标区域是整个欧洲大陆, 重点关注区域在葡萄牙、罗马尼亚、高加索地区。

该项目的目标在于, 通过评估重点关注区域有关

的滑坡类型, 进一步提炼泛欧尺度的初步评估结果, 并发展评估与归类方法, 开展评估模拟, 分析目前欧洲国家正在使用的各种滑坡风险评估和滑坡敏感性制图分类方法。

预期产出包括: 发布欧洲每一种地质滑坡类型的易损性地图; 对统计模型在葡萄牙、罗马尼亚、格鲁吉亚进行国家和地区尺度的检验并将触发因子(降水、地震等)体现到模型中; 分析问卷调查结果, 形成综合报告, 评述各个国家使用的不同评估方法的优缺点。

2 对我国山洪地质灾害防治气象保障工程的借鉴意义

前述的亚欧地区(在亚洲选择了相关工作较为领先的港台地区、日本, 在欧洲按地理区划选取了北欧的挪威、中欧、泛欧)滑坡、泥石流等山洪地质灾害的预警工作最新进展, 及其气象部门在其中所承担的工作, 对我国山洪地质灾害防治特别是相关气象保障工作具有一定的参考价值。大体上, 可概述为5个方面:

(1) 从上述相关进展可以看到, 大多数当地气象部门在滑坡、泥石流等山洪地质灾害的预警防治工作中都发挥了不同程度的作用。由于目前全球普遍以降水量作为山体滑坡、泥石流等山洪地质灾害预警是否发布的衡量标尺, 因此, 气象部门在这项防灾减灾工作中, 大多通过提供观测数据和传统气象要素的预报意见等信息, 扮演着传统的“发令枪”角色。但有的气象部门迈出了更大的步伐。如, 香港的气象部门直接参与了警报发布的决策, 日本、台湾地区的气象部门参与了目前最新的Google防灾减灾公共预警信息平台建设并开放气象数据, 挪威气象部门发布雪崩预警, 中欧国家气象部门研发的临近预报模式已应用于防灾减灾等领域。我国气象部门要重视在山洪地质灾害防治工作中发挥应有作用, 根据区域特点, 寻找在当地山洪地质灾害预警防治工作中的发力点, 各级政府也应大力支持, 充分发挥气象部门的科研和业务优势。

(2) 中欧国家正在研发INCA-CE, 该模式的原始模式INCA也由气象领域拓展到水文、道路安全、防灾减灾等气象相关领域。就全球来看, 气象部门在气象衍生灾害的防灾减灾工作中, 大多扮演传统角色, 即以提供观测数据和传统气象要素的预报意见为主, 而主导防灾减灾数值模式研发无疑可以使气象部门在防灾减灾链条中的地位更为重要。因此, 中欧国家的研究工作对我国气象部门具有借鉴意义。在数值模式研发方面, 气象部门是具有先发优势的。条件具

备的地区，如部分已引进INCA模式的省份或地区，可参考中欧做法，积极探索开展INCA的升级研发，将其应用于本地的山洪地质灾害防治等防灾减灾工作中去。

(3) 21世纪是信息网络时代，互联网成为最具传播力的工具。部分发达国家或地区，已经在与网络合作开展自然灾害公共预警工作方面开始了新的探索。如美、日等国家和台湾地区，与全球最大的搜索引擎Google合作推出了防灾减灾公共预警信息平台，该平台预警的灾种多样（目前已包括气象、水文、地震、地质、海洋等自然灾害），其中既包括传统的气象灾害，也包括气象的次生衍生灾害（如山体滑坡、泥石流等）。除了本文提及的国家和地区外，美国、澳大利亚、加拿大、哥伦比亚等国也开展了这项工作。上述这些国家和地区的气象部门都是Google在当地的主要合作伙伴，为平台提供气象数据及相关预报内容。这一新进展，很可能是未来Google的全球发展趋势。在这方面，中国下一步如何发展，也值得思考。经过多年的实践，我国已经逐步建立了具有中国特色的气象服务体系，也打造了中国天气网、中国兴农网、中国天气通等一些公众气象服务平台的品牌。但这些平台无论在受众/用户数量还是影响力方面，与著名的门户网站或搜索引擎相比，都不具备竞争优势。因此，未来是继续沿袭既往做法？还是与如Google、Baidu之类的搜索引擎“巨头”合作？亦或兼而有之？公共气象服务的平台建设，或许也面临着“自主创新还是技术引进”这个问题。

(4) 从上述亚欧国家/地区滑坡预警工作的发展可以看到，有的发达国家的气象服务社会化、市场化程度高，社会力量参与气象服务的技术研发、服务提供、推广应用等各个环节，如欧洲、日本等地的社会力量在山体滑坡预警工作中发挥了骨干作用，以及新技术、新方法的使用等，都对气象服务的发展起到了极大促进作用；有的国家/地区部门合作、联动紧密，如香港天文台与土力工程处雨量计系统联网。目前，我国气象灾害防御能力与国家防灾减灾的总体要求不

适应的情况仍然突出，“政府主导、部门联动、社会参与”的气象防灾减灾体制亟待加强。一方面，自上而下的部门合作与联动机制尚不健全，设备、资料共享机制尚需大力推动；气象服务的社会化体系仍然没有形成，气象服务社会化市场竞争力弱。因此，如何充分调动社会资源和力量，更好地发挥社会力量参与山体滑坡防灾减灾乃至整个公共气象服务的积极性和有序性，强化气象防灾减灾、应对气候变化和保障生态文明建设的氣象服务，进一步加快完善公共气象服务体系，全面履行政府公共气象服务和气象社会管理职能，仍是现阶段需要深入思考的问题。

(5) 上述部分国家/地区的滑坡灾害防控工作，特别注重公众科普宣传，值得我国气象部门未来的科普工作借鉴。气象科普工作，可以促进全民参与气象防灾减灾和应对气候变化，保障自身安全。以香港为例，为保证警报切实起到防范作用，香港坚持大力、积极开展相关科普和防灾减灾教育（其专门网站上有提供不同层次的、翔实的科普资讯，并且每年开展大量形式多样、内容丰富的科普活动），教导市民及时采取应对措施，努力提高市民对斜坡安全的认知。不仅在滑坡风险防控的普及方面，在其他气象及相关衍生灾害防控的科普方面，香港的相关工作都做得非常细致。随着气象现代化建设的发展，我国目前对灾害性天气监测能力有很大提高，预报预测水平也有了一定的进步，社会信息化的发展为天气灾害信息提供了更多更及时的发布渠道。但与其他国家和地区相比，我国在对气象灾害及应对措施的宣传、教育等方面的投入力度不够。如果公众及时得到了正确预警信息，同时被告知应采取什么样的正确行动，则他们在面对危险时所采取的正确行为就会增加。加强这方面的工作，对提高气象服务的整体社会效益具有积极的意义。

深入阅读

- 李锦育. 2010. 台湾土石流防灾体系之探讨. 山地学报, 28(2): 171-176.
- 李明熹. 2009. 台湾土石流监测及警戒系统之综述. 水土保持研究, 16(6): 239-242.