

基于雨量(强)条件的泥石流预测预报 研究现状、问题与建议^{*}

倪化勇, 王德伟

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要:在对基于雨量(强)条件泥石流预测预报现状综合分析的基础上,提出了目前降雨型泥石流预测预报中存在的问题:①前期降雨对泥石流发生的贡献问题;②前期降雨对泥石流影响的衰减问题;③前期有效降雨天数的确定问题;④前期降雨和短历时降雨的权重衡量问题;⑤基于前期有效雨量的泥石流预测预报模式的确定问题。提出了降雨型泥石流预测预报程式框架和相关建议:①基于雨量(强)条件的泥石流预测预报应同机理研究紧密结合;②单沟泥石流临界雨量条件和预测预报应同泥石流类型紧密结合;③区域泥石流临界雨量条件和预测预报应同环境地质背景紧密结合。

关键词:降雨型泥石流;雨量(强);前期降雨;有效雨量;预测预报

中图分类号: P642.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2010)01-0124-05

0 引言

观测和统计资料表明,单沟泥石流和区域泥石流的发生都存在一个临界雨量阈值,该阈值可根据泥石流发生的灾害历史事件和地貌、地质、地形、土壤、植被等影响因素或者试验方法予以确定。近年来,降雨型泥石流发生雨量条件的研究以及基于降雨因素的灾害预测预报问题备受国内外诸多泥石流学者的关注,成为近十多年来泥石流研究的一个热点问题^[1-13],众多地质灾害学者通过10 min雨强,1 h雨强,24 h雨量,前 n 天有效雨量等降雨指标与泥石流发生关系的试验和统计,建立了一系列基于雨量和雨强的预测预报模型^[14-23],在很大程度上推动了泥石流灾害预测预报问题的解决,并为我国防灾减灾工作做出了贡献。然而,通过现状分析,目前所开展的基于雨量和雨强条件的泥石流预测预报工作,仍存在一些有待进一步考虑和攻克的问题和难题,本文仅对泥石流发生雨量条件和相关预测预报研究进展予以综述,并提出预测预报程式框架和相关建议,以期对泥石流预测预报理论和方法的完善以及防灾减灾工作起到应有作用。

1 现状

纵观国内相关研究,自1980年代末至今,我国基于降雨指标的泥石流预测预报问题可归纳为两种类型:基于短历时雨强的泥石流预测预报和基于前期降雨的泥石流预测预报。

1.1 基于短历时雨强的泥石流预测预报

该领域学者重点研究了雨强在泥石流发生中的作用,并建立了一系列基于雨强的预测预报模型。谭万沛等在分析了我国云南、四川、甘肃、陕西、西藏5省区23个县(市)的35条泥石流沟的泥石流发生的临界雨量分布规律后,提出了我国泥石流灾害发生的最大10 min雨强(或1 h雨强)与有效日雨量组合判别式,并计算了我国天山山脉等山区泥石流发生的临界雨量阈值^[14-15];谭万沛等又利用四川省雅安市31年的降雨观测资料,分析了泥石流发生与历年最大10 min和最大1 h雨强的关系后,认为超低频率泥石流沟的泥石流激发雨量,应是当日降雨中的最大10 min和最大1 h雨强共同起作用的结果,并提出了由两种雨强组合的坐标面积关系模式^[16];谭炳炎等在对成昆铁路甘洛试验区进行了64次观测后,确定了该区泥

^{*} 收稿日期:2009-08-25

基金项目:中国地质调查局“大渡河流域地质灾害详细调查”(1212010814019)资助

作者简介:倪化勇(1979-),男,山东临朐人,硕士,助理研究员,主要从事地质灾害预测预报、评价与灾害地貌的研究。

E-mail: nihuayong@126.com

泥石流形成降雨量的组合指标, 即最大 24 h 和最大 10 min 及最大小时雨强混合模式^[17]; 王礼先等针对北京市泥石流灾害发生的特点, 分别建立了泥石流临界雨量与最大 1h 雨强的预报模型和泥石流临界雨量与 10 min 雨强的预报模型^[18]; 程尊兰等以金沙江下游金龙沟泥石流为例, 研究了短历时雨强与泥石流发生的关系, 并提出了该沟短历时雨强指数关系式^[19]。

随着研究的深入, 许多单沟泥石流发生的雨强指标已经逐步获得, 这些指标包括 10 min 雨量、30 min 雨量、1 h 雨量、24 h 雨量, 如武都火烧沟、天山阿拉沟、东川大桥河和黑水芦花沟等^[13]。

1.2 基于前期降雨的泥石流预测

该领域学者加强了前期降雨在泥石流发生中作用的研究, 并建立了一系列基于前期有效雨量的泥石流预测预报模型。

陈景武等在对云南东川蒋家沟长期观测基础上, 提出了基于当日雨量、前 20 d 内有效雨量的泥石流临界判别模式^[20]; 文科军等在对北京北部山区多年泥石流发生的雨情进行统计分析后, 以降雨强度与发生泥石流当日雨量和前期实效雨量建立了有雨量站危险区泥石流发生判别方程^[10]; 崔鹏等以蒋家沟泥石流形成为例, 分析了泥石流形成的降雨组成和前期降雨对泥石流形成的贡献, 并实测出该流域前期降雨雨量的衰减系数为 0.78^[5]; 韦方强等通过对蒋家沟降水和土壤含水量的实际观测, 对前期有效雨量和前期降水量随时间的变化关系进行了研究, 并利用最小二乘法得出了前期有效雨量的计算公式^[6]; 苏鹏程、刘希林等在对四川省 2003 年发生的 8 场泥石流进行研究并分析了泥石流发生当日雨量与前 3 d、前 5 d、前 10 d、前 15 d 和前 30 d 累计雨量的关系^[21]; 丛威清、潘懋、李铁锋等利用 Logistic 回归模型对当日雨量和前期有效降雨量进行回归分析, 形成了一整套对降雨型泥石流临界雨量进行定量分析的方法, 并在辽宁省岫岩县进行了试用^[2]; 田冰、王裕宜等利用蒋家沟 1995–1997 年 43 场泥石流数据和降水资料, 分析了泥石流暴发的前期降雨和始发日降雨的权重关系^[22]; 倪化勇等在对贡嘎山东坡磨西河流域近 20 年来发生的典型泥石流灾害及其前期降雨过程的分析后, 初步探讨了该流域基于前 6 d 有效降雨量的泥石流暴发临界雨量^[23]。

1.3 国外降雨型泥石流预测现状

国外泥石流研究者近年来也开始越来越多的

关注泥石流发生的雨量条件。Nel Caine 于 1980 年发表了被称为具有里程碑意义的“浅层滑坡和泥石流的降雨强度—持续时间控制”一文, 首次提出了浅层滑坡和泥石流的降雨强度—历时阈值 (ID)^[24–25]。

在接下来的时间里, 世界范围内不同地区典型泥石流发生的临界雨量条件得到了充分研究和论证。典型代表有: De Vita 等在对意大利西南部萨勒诺市泥石流与降雨关系研究时发现, 在前期强降雨条件下, 日降雨量达到 32 mm 可能引发泥石流, 而无前期降雨条件下, 日降雨量须达到 50 mm 以上方可引发泥石流^[26]; 棚桥由彦等认为泥石流发生的因素是由小时雨强和当日降雨量联合作用下的结果, 并提出了泥石流灾害暴发时 1 h 雨强与当日降雨量组合判别式^[27]; Sergio A. Seplveda 等在探讨智利境内典型泥石流灾害时, 将降雨条件分为前期降雨量和激发降雨量, 其中前期降雨量采用 7d 降雨量和 30d 降雨量资料^[28]; Manuela Pelfini 等在分析了意大利中部山区泥石流成因后, 将激发雨量定位为数小时内的 20 ~ 30 mm^[29]; Francesco Fiorillo 等在研究了意大利南部坎帕尼亚区降雨型泥石流后, 建立了泥石流启动的降雨强度—历时临界值^[30]; Cannon S. H. 等在对美国西部泥石流考察基础上, 研究认为激发科罗拉多州泥石流的临界雨量强度在 1 ~ 32 mm/h, 降雨历时可短至 6 ~ 10 min, 而加利福尼亚州泥石流发生的临界雨量强度仅仅约 2 ~ 10 mm/h, 降雨历时则较长, 为 2 ~ 16 h, 并建立了不同地区泥石流发生的降雨强度—历时关系式^[31]。

2 问题

从上述国内外基于降雨泥石流预测预报问题的研究现状可以看出, 雨强固然在泥石流发生过程中起到了重要作用, 但前期降雨在泥石流发生过程中所起的作用越来越受到重视, 并开始加强前期降雨对泥石流形成贡献与处理的研究, 将有效雨量的概念充分引入到泥石流发生条件和预测预报问题中。然而, 纵贯国内外研究现状可以看出, 目前对前期有效雨量的认识和研究尚处于初步阶段, 仍然存在多个方面的问题有待于进一步研究和解决, 主要表现如下:

(1) 前期降雨对泥石流发生的贡献问题

对多数降雨型泥石流(降雨—溃决型泥石流除外)而言, 泥石流的发生既需要一定的前期降雨

量,同时又需要一定当时雨量的激发。然而,前期降雨和当时雨量在泥石流发生过程中的作用或贡献对不同地区的泥石流而言不尽相同。对西南地区泥石流来讲,沟床质启动的水力类泥石流在发生过程中,前期降雨的贡献一般小于当时雨量的贡献,而对于斜坡土体启动的土力类泥石流来说,前期降雨的贡献同当时雨量的贡献相对较难比较,需对具体情况具体分析。另外,前期降雨对泥石流的贡献还受物源影响而难以确定,如对于有限物源泥石流(主要对应低频泥石流)和无限物源泥石流(主要对应高频泥石流),前期降雨的贡献也存在较大差异。

(2) 前期降雨对泥石流影响的衰减问题

并非所有前期降雨均对泥石流发生产生影响,即使是同一场降雨也并非全部转化为泥石流流体。一般认为,由于受到地表径流转化、土壤入渗、水分蒸发、植物吸收等诸多因素的影响,前期降雨对泥石流发生影响存在一个衰减问题。与泥石流发生时间越是久远的降雨,随着时间的推移,对泥石流的影响越小。目前,广泛采用衰减系数来计算前期降雨对泥石流影响的衰减,所采用的衰减系数存在 0.78、0.80、0.84、0.85 等不同数值。然而,该系数的确定极其复杂,与前期降雨过程、泥石流类型、物源土体特征、地形地貌条件等外界因素均具有密切关系,不同地区之间的降雨衰减系数差异较大。

(3) 前期有效降雨天数的确定问题

在充分考虑了前期降雨衰减问题后,前期降雨过程中对泥石流发生影响较大而应计算在内的天数问题,即有效降雨天数的确定问题,成为必须解决的问题。目前研究呈现出 3~30 d 不等的现象,然而在采用计算在内降雨天数的时候,缺乏相关降雨过程的分析,对于连续型降雨,有效降雨天数的确定相对比较容易,而对于间断性降雨,有效降雨天数的确定存在一定的难度。如四川泸定县曾造成 10 516 人受灾,4 人死亡,5 人失踪,230 人受伤,直接经济损失高达 3 190 万元的“2005-06-30”群发性泥石流灾害,统计泥石流发生前 30 d 降雨(图 1)发现,有 17 d 有降雨记录,最大连续降雨天数为 6 d,其余均为间断性降雨,并且泥石流发生前 1 d 没有降雨。如何准确界定泥石流发生前期的有效降雨天数需进一步研究和考证。

(4) 前期降雨和短历时降雨的权重衡量的问题

一般认为,降雨型泥石流是前期降雨和短历时降雨共同作用的结果。但两者所起的作用和权

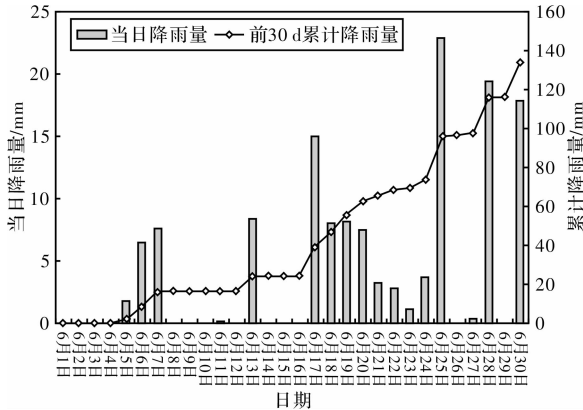


图1 四川泸定县“2005-6-30”泥石流发生降雨过程
(泸定县气象站降雨资料)

重问题难以准确衡量。田冰等以蒋家沟泥石流为例,探讨了前期降雨型、强降雨型状况下前期降雨和始发日降雨量的权重关系。然而,我国西南地区多数沟谷泥石流发生前和发生期间,前期降雨过程中某日降雨量大于泥石流发生时对应的日降雨量,泥石流发生日并非对应最大降雨发生时。如四川海螺沟景区黄崩溜沟泥石流,1980 年末至今曾发生过 5 次泥石流并对景区造成严重损失,但其中 3 次泥石流并不是发生在降雨量最大的时刻。图 2 所示黄崩溜沟“1995-07-28”泥石流的降雨过程。

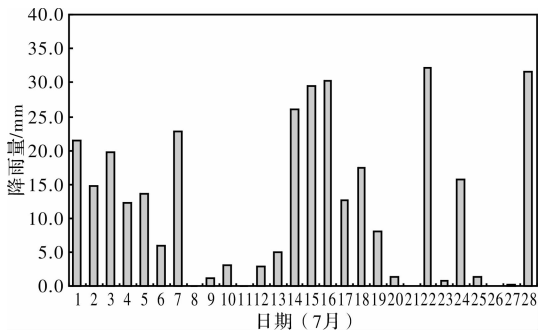


图2 黄崩溜沟“1995-07-28”泥石流降雨过程

(5) 基于前期有效雨量的泥石流预测预报模式的确定问题

在上述问题得到解决的基础上,前期有效雨量的确定水到渠成。然而,泥石流发生临界雨量条件还需激发雨量(强),两者是构成泥石流预测预报模式必不可少的因素。然而,从目前的研究来看,关于两者之间的关系存在不同的看法,以往相关研究多用线性关系建立预测预报模型,而近年来的研究表明,在诸多地区两者之间呈现出幂函数关系,预测预报模式也是幂函数模式。同时,由于不同地区前期有效雨量和激发雨量(强)关系差异较大,预测预报模式也难以用一种模式

予以表达。

3 建议

前述4个问题是提高降雨型泥石流预测预报精度的重要问题。根据降雨型泥石流预测预报研究现状和存在问题, 这里提出了今后泥石流预测预报模式框架(图3), 框架将泥石流预测预报同泥石流机理研究、类型充分结合, 并在单沟泥石流预测预报基础上, 结合区域环境地质背景条件, 实现区域泥石流的预测预报研究。

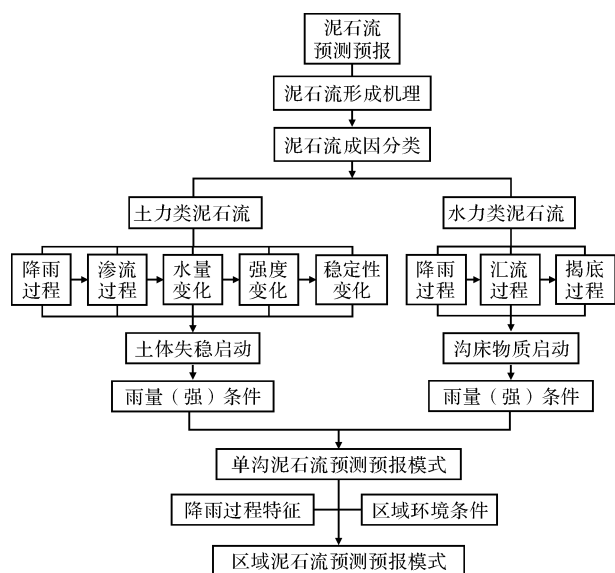


图3 泥石流预测预报程式

(1) 基于雨量(强)条件的泥石流预测预报应同机理研究密切结合

只有建立在泥石流形成机理和形成条件基础上的预测预报模型和方法, 才能对泥石流做出科学的和相对准确的预测预报。然而目前泥石流形成机理研究比较薄弱, 成为泥石流预测预报发展瓶颈, 必须将预测预报同机理研究相结合, 才能实现泥石流发生雨量条件和预测预报的突破。

(2) 单沟泥石流临界雨量条件和预测预报应同泥石流类型密切结合

单沟泥石流临界雨量条件和预测预报是泥石流灾害预测预报的基础。从成因机理来讲, 单沟泥石流可概括为土力类泥石流和水力类泥石流。不同类型泥石流前期降雨影响方式和途径具有明显差异。对土力类泥石流, 前期降雨主要通过改变土壤含水量影响其形成, 研究过程可概括为: 降雨—雨水的渗流过程—土体含水量的变化—土体强度变化—土体稳定性变化—泥石流触发等一

系列环节; 对水力类泥石流, 前期降雨主要通过改变其径流量影响泥石流的形成, 研究过程可概括为: 降雨—坡面和沟谷汇流—沟床质启动—泥石流形成等环节。

不同类型泥石流, 前期降雨过程和雨量对启动过程具有明显差异。通过泥石流类型划分, 进而研究不同类型泥石流临界雨量条件和预测预报, 对于上述预测预报存在的前期降雨的贡献和衰减问题以及综合雨量的确定问题可相对简化。

(3) 区域泥石流临界雨量条件和预测预报应同环境地质背景密切结合

区域泥石流预测预报是泥石流灾害预测预报的目标。在泥石流区域活动规律和控制区域泥石流活动的环境背景条件研究基础上, 遴选代表性单沟泥石流开展雨量条件和预测预报研究, 进一步确定环境条件相近区域内泥石流发生的雨量条件和预测预报判据。对于下垫面环境地质条件不同的区域泥石流, 前期降雨过程对其影响也不尽相同, 通过区域的划分, 可以进一步研究前期降雨对下垫面环境条件不同泥石流的影响。

参考文献:

- [1] 康志成, 李焯芬, 马嵩乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 丛威清, 潘懋, 李铁峰, 等. 降雨型泥石流临界雨量定量分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(S0): 2808-2812.
- [3] 崔鹏, 高克昌, 韦方强. 泥石流预测预报研究进展[J]. 学科发展, 2005, 20(5): 363-369.
- [4] 韦方强, 崔鹏, 钟敦伦. 泥石流预报分类及其研究现状和发展方向[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(5): 10-15.
- [5] 崔鹏, 杨坤, 陈杰. 前期降雨对泥石流形成的贡献——以蒋家沟泥石流形成为例[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(1): 11-15.
- [6] 韦方强, 胡凯衡, 陈杰. 泥石流预报中前期有效雨量的确定[J]. 山地学报, 2005, 23(4): 453-457.
- [7] 高速, 周平根, 董颖, 等. 泥石流预测、预报技术方法的研究现状浅析[J]. 工程地质学报, 2002, 10(3): 279-283.
- [8] 刘希林, 莫多闻. 地貌灾害预测预报的基本问题——以泥石流预测预报为例[J]. 山地学报, 2001, 19(2): 150-156.
- [9] 贾洪彪, 马淑芝. 泥石流的预警预报与防治[J]. 地质勘探安全, 2000, 7(4): 39-41.
- [10] 文科军, 王礼先, 谢宝元, 等. 暴雨泥石流实时预报的研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 59-64.
- [11] 魏永明, 谢又予. 降雨型泥石流(水石流)预报模型研究[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 48-54.
- [12] 谭万沛. 中国暴雨泥石流预报研究基本理论与现状[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 88-95.
- [13] 柳金峰, 欧国强, 游勇. 四川达曲各目弄巴沟泥石流及其防

治对策[J]. 灾害学, 2008, 23(3): 36-40.

[14] 谭万沛, 王成华, 姚令侃, 等. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报——以攀西地区为例[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.

[15] 谭万沛. 泥石流沟的临界雨量线分布特征[J]. 水土保持通报, 1989, 9(6): 21-26.

[16] 谭万沛, 杨忠义. 791102 雅安泥石流及暴雨成因分析[M]//泥石流(3). 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1986: 9-14.

[17] 谭炳炎, 段爱英. 山区铁路沿线暴雨泥石流预报的研究[J]. 自然灾害学报, 1995, 4(2): 43-52.

[18] 王礼先, 于志民. 山洪及泥石流灾害预报[M]. 北京: 中国林业大学出版社, 2001.

[19] 程尊兰, 朱平一, 刘雷激. 泥石流活动与雨强的关系——以雅砻江下游金龙沟为例[J]. 自然灾害学报, 1998, 2(1): 118-120.

[20] 陈景武. 蒋家沟暴雨泥石流预报[M]//吴积善, 康志成, 田连权, 等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[21] 苏鹏程, 刘希林, 郭洁. 四川泥石流灾害与降雨关系的初步探讨[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 19-23.

[22] 田冰, 王裕宜, 洪勇. 泥石流预报中前期降水量与始发日降水量的权重关系——以云南省蒋家沟为例[J]. 水土保持学报, 2008, 28(2): 71-78.

[23] 倪化勇, 李宗亮, 巴仁基, 等. 贡嘎山东坡磨西河流域泥石流暴发的临界雨量值初探[J]. 山地学报, 2007, 25(6): 728-735.

[24] Caine Nel. The rainfall intensity - duration control of shallow landslides and debris flows [J]. Geografiska Annaler, 1980, 62A: 23-27.

[25] Fausto Guzzetti, Silvia Peruccacci, Mauro Rossi, et al. The rainfall intensity - duration control of shallow landslides and debris flows: an update [J]. Landslides, 2008, 5: 3-17.

[26] De Vita, P.. Fenomeni d' instabilita delle coperture piroclastiche dei Monti Lattari, di Sarno e di Salerno (Campania) ed analisi degli eventi pluviometrici determinanti [J]. Quad. Geol. Appl. 2000, 7(2): 213-239.

[27] 水源邦夫. 关于泥石流规模预测的研究[J]. 戈素芬译. 水土保持科技情报, 1997, 17(1): 29-33.

[28] Sepveda, S. A., Rebolledo, S., Vargas, G.. Recent catastrophic debris flows in Chile: Geological hazard, climatic relationships and human response [J]. Quaternary international, 2006, 158: 23-95.

[29] Pelfini, M., Santilli, M.. Frequency of debris flows and their relation with precipitation: A case study in the Central Alps, Italy [J]. Geomorphology, 2008, 101: 721-730.

[30] Fiorillo, F., Wilson, R. C.. Rainfall induced debris flows in pyroclastic deposits, Campania(Southern Italy)[J]. Engineering Geology, 2004, 75: 263-289.

[31] Cannon S. H., Gartner J. E., Wilson R. C.. Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California [J]. Geomorphology, 2008, 96: 250-269.

Present Status, Problem and Advice on the Research of Prediction and Forecasting of Debris Flow Based on Rainfall Condition

Ni Huayong and Wang Dewei

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Chengdu 610082, China)

Abstract: According to the analysis on the present status of prediction and forecasting of debris flow hazards based on rainfall condition, four problems existing in prediction and forecasting of debris flow from rainfall are put forward, including (1) contribution of antecedent rainfall to debris flow, (2) attenuation of the effect of antecedent rainfall on debris flow, (3) ascertaining of antecedent effective precipitation days, (4) weighting of antecedent rainfall and short-duration rainfall, and (5) determination of prediction and forecasting model of debris flow based on antecedent effective precipitation. A flow chart and relative advices about prediction and forecasting of rainfall-related debris flows are put forward: (1) combination of debris flow prediction and forecasting based on rainfall with the research on occurrence mechanism of debris flow, (2) combination of critical rainfall condition of single gully debris flow and its prediction and forecasting with types of debris flow, and (3) combination of critical rainfall condition of regional debris flow and its prediction and forecasting with geological environment.

Key words: rainfall-related debris flow; rainfall intensity; antecedent precipitation, effective rainfall; prediction and forecasting