

致 谢

行文至此，已是近两百面毕业论文的尾章，亦是五年博士生涯的尾声，更是二十年来学生时代的终点。一路走来，有太多需要感谢的人。

读博之路不平坦，难忘师恩在心间

博士论文的顺利完成，离不开老师们数年如一日的指导与帮助。

感谢我的导师张三国教授。五年前，张老师给予了我读博深造的宝贵机会，张老师的肯定让我拥有了在科学院的难忘经历。五年来，在对本人的培养以及论文研究指导等方面，张老师呕心沥血、一丝不苟、孜孜不倦、兢兢业业、尽职尽责、辛勤劳碌；在生活中，张老师平易近人、为人谦和、和蔼可亲、无微不至、良师益友、春风化雨。与张老师相处的这五年使我受益匪浅，必将鞭策我在今后的生活、学习、工作中以实事求是的态度严谨治学、以谦和低调的态度待人接物。借此机会向张老师的辛勤付出致以诚挚的谢意！

感谢耶鲁大学生物统计系的马双鸽教授。马老师对本人博士期间的研究工作提供了巨大的帮助和重要的指导，并给予了学生赴耶鲁大学交流访问的机会。在美国疫情的极速上升期，马老师给予了我们及时的关心与细致的指导。正如马老师在发给我们的勉励邮件中所言“人类历史上，没有哪一年真正太平过，都能过去的”，马老师乐观的生活态度、开阔的学术思维、严谨的学术态度也激励着学生在学术道路上不断努力！

感谢厦门大学经济学院的张庆昭副教授。是庆昭老师带我走进高维统计领域的大门。从一块讨论研究方向到帮忙检查理论证明，从分享自己的科研心得到讲述自己的学术经历，庆昭老师活跃的思维、严谨的作风、广博的见识、扎实的基础、谦逊的态度、细致的习惯让我耳濡目染、受益良多。读博期间，庆昭老师时常给予的鼓励与肯定，也是我不懈奋斗的莫大动力！

还要感谢香港城市大学数据科学学院的王军辉教授为我提供了担任研究助理的机会。在香港的四个月里，我收获颇多。与王老师的交流让我开拓了研究视野，也为今后的研究方向奠定了基础。感谢中国科学院大学的杨文国教授、申立勇教授、史祎诗教授、胡晓予教授、韩艺老师、吴红红老师、刘兰峰老师、张丽连老师、张丹老师以及数学科学学院其他老师的关心与支持。

学科交叉跨度宽，幸有行家帮铺砖

本论文包含的学科交叉研究，对于不具有丰富生物学、医学专业知识的我是极具挑战性的，这方面要特别感谢相关领域的师兄师姐为我普及了大量跨学科知识。感谢上海交通大学钟庭艳博士在肺腺癌组织病理学影像数据预处理及其生物学背景解读方面提供了重要帮助。感谢空军军医大学马宏伟博士在非小细胞肺癌调节T细胞数据分析方面提供了丰富的医学背景知识。也要感谢武汉大学贺百花博士在数值模拟研究方面提供了启发性的帮助。

携来同窗百侣游，回忆往昔岁月稠

如果把本科比作一群人乘着巨轮前行，读博就是一人摇曳一叶扁舟。航程上的丰富多彩离不开各位师兄师弟同学朋友的参与和陪伴。

感谢臧阳光、付盛、张胜虎、胡晓楠、薛原师兄在学习生活、职业规划、赴美交流经验等方面提供的丰富帮助。至今仍记忆犹新的是与阳光师兄一同在厦门参会期间的形影相伴，与付盛师兄在美国疫情高峰期的守望相助，与晓楠师兄在学术、项目乃至领证跟拍、婚纱照经验分享上的倾心交流，与薛原师兄在怀柔校区悠然见雁栖的暑期时光。感谢刘琰、卜德亮师兄，相约度过在办公室讨论问题、点菜撸串的无数夜晚。感谢樊瑜师兄在美国交流期间生活上给予的巨大帮助：一同前往纽约参观在红警里炸毁无数次的地方，时常切磋刀工厨艺研发新式菜谱，共同度过疫情爆发的艰难岁月。感谢本硕博都恰巧住在同一栋公寓的孙鑫凯、韩威师弟，有道是三人行必有工具人，难忘与金三凯国庆节前夜骑行天安门、与威切磋乒羽相爱相杀。感谢燕涵、张顺钦、张杉桦、杨艳鑫、翟浩然一同在木屋烧烤的插科打诨以及对我博士论文的仔细修订。感谢张晓灵、王瑞跃、张丰川、熊逸飞、李惠超、李轩宇等师弟师妹在讨论班上的丰富交流。

感谢在国科大的室友与同学胡佳、王孟醒、唐岸达、杨雨龙、刘杨、王鹏钧、张韬、高岩等，让我在局促的校园拥有了充实多样的生活。

还要特别感谢高中、本科毕业后时常保持联系的同学们：香港大学孙文博同学、曼彻斯特大学王炳乾同学、武汉大学张学人和敬康宏同学、哥伦比亚大学黄旷同学、图卢兹第三大学陈通同学、耶鲁大学王翔同学、北京大学余润泽同学、中国科技大学申大忠同学、武汉大学吴哲宇博士等等。同学们分享彼此读研读博的点点滴滴，让我感到孤独的博士之路上常有同行者。

百年不遇逢新冠，同舟共济克时艰

特别感谢中国科学院大学国际联合培养博士生项目的资助，让我在2020年完成了赴美访问交流。这一年注定是人类历史上不同寻常的一年，也是我博士论文攻坚克难的重要一年。据说17世纪六十年代欧洲鼠疫大爆发，牛顿居家闲来无事，顺手创立了光的分解定理，确立了微积分、万有引力定律的基本思想。受到居家即战斗这种精神的激励，在2020年4月到7月的美国疫情高速爆发期，我苟在家中潜心推导，终于完成了本文第2章中繁杂的理论证明。

回忆长达近一年的居家生活，要特别感谢我的室友们：樊瑜师兄、空军军医大学马宏伟博士、南开大学方森辉博士和张杰博士、北京航空航天大学殷子樵博士以及中国科技大学安永燕同学。大家午后在惬意的阳光下谈天说地、饭后在人迹罕至的山间小路上自在徜徉、星夜在冰天雪地的攻防中纵横捭阖；下海滩看潮平两岸阔、上灯塔望风正一帆悬、攀山巅披落霞与孤鹜齐飞、游山麓伴秋水共长天一色。大家让原本枯燥抑郁的居家生活，焕发出无限的生机与希望，在一幢三层小别墅里充分发挥了战斗堡垒作用。这一年来也要感谢一同吃喝玩乐的浙江大学代丹博士、武汉大学王雨辰博士、厦门大学米晗彤同学、耶鲁大学朱泊衡博士。

在艰难回国路上，要感谢耶鲁大学刘冰师兄、北京工业大学刘婷婷老师的帮助。冒着纽约街头一整天风雨的排队检测、顶着东海岸边暴风雪前奏的惊险起飞为这刺激的一年画上了更加刺激的感叹号。山脚的一年四季、窗外的春夏秋冬，至今回想起来仍像是一场短暂而又漫长的梦。

祸不单行，福无双至。在香港城市大学做研究助理期间，又遭遇了2022年初香港抗击疫情“滑铁卢”。办公室、住所相继出现确诊病例；全港社区核酸检测满负荷，回内地要求的核酸报告难求。大概在美国也没有距离新冠病例如此近、回家之路如此之难。又一次的长期居家办公让我安心完成了博士大论文的撰写，也感谢城大课题组小伙伴们支持与鼓励。这反复被新冠追逐，只能苟在家中完成博士工作的经历也算奇特。

求学之路万里行，家庭港湾最心安

感谢我的父母、岳父岳母、祖父母、外祖父母及家人们长期对我的关怀和爱护。自本科以来常年只身漂泊，远离家乡，但闻冬夏，未见春秋，是家人在我二十年求学之路上不断给予物质与精神上的支持，一向尊重、鼓励我的每个

决定。最后，我要感谢我的妻子。在五年聚少离多的异地恋之后，我们终于修成正果。从东湖的凌波栈桥到西湖的断桥残雪，从苍山洱海的雄奇瑰丽到苏州园林的亭台轩榭，从迪士尼的烟火城堡到青龙峡的银装素裹，从美国疫情间的隔海相望到香港疫情中的相濡以沫，我们用26年相遇、相识、相知、相恋，愿再用余生相爱、相守、相伴，历经千帆，走出一生，仍是少年。

任明昶

2022年2月 于中国香港