面向工科学生的一年级微积分教学改革——融入领域特定示例、问题和考试的模块

René Bødker Christensen Bettina Dahl LisbethFajstrup

arXiv:2302.05904v1 [math.HO] 12 Feb 2023

摘要——贡献：**我们证明，在数学导论课程中加入领域特定问题，以激发工科学生的动机是可行的。这种做法仍能让课程的大部分内容对所有学生保持一致，从而确保经济可行性。**

背景：**许多一年级工程学学生认为数学课程过于抽象，与他们所选择的学习项目相距甚远。这可能导致动机和投入不足，进而降低学习成果。**

预期成果：**使工科学生认识到，微积分和线性代数课程与他们未来在特定领域内的工作相关。这旨在改善他们的学习成果。**

应用设计：**课程已重新划分为较小的单元，每个单元都配有相应的研讨课，围绕某一学生群体所属特定领域中的现实问题展开。这些研讨课是在与相关研究领域协商后开发的，并且在课程中占据重要地位，例如作为口试的基础。**

研究发现：**根据学生的反馈，我们发现，纳入特定领域的问题确实有助于凸显数学在工程学中的适用性和重要性。不过，在实施此类方案时，也有若干挑战需要注意。**

索引词—**微积分、线性代数、工程学、动机、领域特定问题、视频、直播讲座**

一、引言

教UCCESSFUL学既要提供“恰当”的材料，也要激发学生的学习动机。

对于工科学生的数学导论课程而言，激发这种动机尤其具有挑战性。多项研究指出，一年级工程学学生学习数学的方式与数学专业学生不同。工科学生常常抱怨不得不学习微积分，但将数学教育融入工程领域，或许能帮助这一学生群体认识到数学在工程学中的用途。尽管线性代数和微积分中的工具对于解决现实世界中的工程问题至关重要，许多学生仍会因传统数学教学的普遍性和抽象性而失去学习动力。他们迫切希望得到“我会在哪里用到这些知识？”和“这对我有什么用？”这两个问题的答案。 [1]–[7]

R.B. Christensen 和 L. Fajstrup 任职于奥尔堡大学数学科学系。（电子邮件：rene@math.aau.dk，fajstrup@math.aau.dk）

B. Dahl 任职于奥尔堡大学规划系。（电子邮箱：bdahls@plan.aau.dk）

本文评估了丹麦奥尔堡大学（AAU）近期对微积分和线性代数课程结构所做的调整。所有工程专业学生都会修读这两门课程，主要是在大学一年级。两门课程的结构相似。因此，为使论述简明，本文在描述和举例时将重点放在微积分上。不过需要指出的是，第五节中的评估涵盖这两门课程，而不仅仅是微积分。

A. 制度背景

AAU 的教育以基于问题的学习（PBL）原则为基础。也就是说，在任何一个学期，学生都会被组织成小组，按照基于问题的学习原则撰写项目报告。项目工作占半个学期，课程则为这项工作提供支持。每个小组都有一名指导教师，负责促进小组协作，但学生应当自主组织，并对自己的学习负责 [8]。这些小组通常由学生自行组建，整个学期保持不变；但也可能由行政部门安排，尤其是在低年级学期。

项目小组自然也会延续到大学专业课程的其他环节，这意味着课程练习通常也由这些小组完成。也就是说，教学中无需临时组建临时小组。教师只需依托现有的项目小组开展教学即可。

小组制教育的另一项衍生成果，是通过指导小组会议持续收集学生反馈。每个项目通常在一个学期内召开两到三次此类会议，各小组会派一名代表参加，讨论课程、项目或信息技术、维护等实际事务中可能出现的问题。学期协调员通常负责组织指导小组会议，教师也会受邀参加。这些会议旨在持续评估学期的各个方面，确保能够迅速处理并尽可能解决潜在问题。

值得指出的是，每个学期都由一套相当固定的项目和课程组成。学生不能自由选择课程。相反，学期经过精心设计，其中一些课程旨在支持项目。

上文所述的分组组织方式意味着，本文介绍的微积分和线性代数

本文已提交至 *IEEE*，供其考虑发表。版权可能在未另行通知的情况下转让，之后此版本可能不再 *∂ocmyn*。

课程中有一些设计选择，在 AAU 实施起来顺理成章且简单，但在其他院校可能需要付出更多努力。

要理解一年级数学课程结构的复杂性，还必须了解 AAU 在三个不同城市设有校区：奥尔堡、哥本哈根和埃斯比约。这三个城市分处丹麦两端，彼此之间乘火车需要 3 至 5 小时。虽然奥尔堡可视为主校区，但另外两个城市的学生也修读微积分和线性代数课程。

B. 研究方法

新课程结构的推出恰逢 SARS-CoV-2（即导致 COVID-19 的病毒）在全球传播。在丹麦，为减缓病毒传播，社会大部分领域都被关闭。这自然也影响了大学，学生以及学术和行政人员在很长一段时间内都不被允许进入校园。课程不得不临时转为数字化形式，许多学生被迫大部分时间待在家中。参见 [9] ，了解疫情期间丹麦各项限制措施的概况。

COVID-19导致的变化很可能对学生福祉和学生学习动机产生了负面影响，进而可能影响辍学率和整体表现。然而，我们无法控制这些变量，因此，依据成绩、辍学率等来评估新的结构，将无法得出有意义的数学结果。

相反，我们将根据学生在学期期间提出的意见，对该结构进行定性分析。更具体地说，我们将分析 I-A 节中所述的指导小组会议纪要，因为这些纪要也记录了学生对微积分和线性代数课程及其结构的看法。这将有助于了解学生对修订后结构以及采用专业特定研讨课的看法。

在定性分析中，我们会根据类别和情感倾向对会议纪要中的意见进行归类——每种组合称为一种 编码。由于我们只有少数先验编码，而最终编码主要是根据我们对这些意见含义的解读确定的，因此这一过程将采用归纳式编辑方法 [10]。我们的分析基于我们能够获取的所有指导小组会议纪要，涵盖 2021年秋季学期和 2022年春季学期。这共计 57 份会议纪要，涉及 11 个学习项目。

II. 课程结构

为了让学习项目能够根据自身的具体需求定制课程，他们可以从数学科学系预先设定的主题中进行选择。在这一结构中，每个主题都对应一个子单元，我们称之为模块。

A. 模块

第一个模块介绍多元函数及其在微积分中的作用，内容包括偏导数的概念和优化的基本原理。所有修读微积分课程的学生都必须学习这一模块。为了涵盖必修内容，该模块比其他模块篇幅更长，共包含六场讲座。一场讲座通常为四小时，前半段是正式授课，后半段则是练习环节。学生与小组成员一起完成练习，讲师和可能参与的助教则会在各组之间走动，协助学生解题。

其余七个模块均由两场讲座组成，重点关注课程体系中更为专业的主题，例如微分方程、复数或拉普拉斯变换。每个学习项目只会学习其中三个模块，而模块的选择由负责该学习项目的学习项目委员会决定。也就是说，从学习项目委员会的角度来看，这些较小的模块可以视为选修内容。然而，对于单个学生而言，这三个模块（以及由此构成的课程体系）已预先确定，并且是必修的。

原则上，某些模块可以将另一个模块作为先修课程。例如，可以设想一个专注于求解边值问题的模块，而该模块将建立在微分方程模块的基础之上。对于 AAU 的微积分课程而言，其内容不存在此类依赖关系，所有选修模块只依赖于第一个必修模块。这为学习项目提供了更大的灵活性，但也存在课程看起来像由彼此割裂的小部分组成的风险。为应对这一问题，考官在整个课程中被赋予了明确的协调角色。我们将在 II-C节中回到考官的角色这一主题。

在 AAU，选修模块中的讲座会通过直播传送到学生的小组教室，随后进行现场练习。不过，直播并非本文所述结构的必要组成部分；其他希望采用类似课程结构的教育机构，可以根据实际情况选择线上或线下授课。

B. 研讨课

学习项目选定构成其微积分课程的模块后，数学科学系的教职人员将与相关研究领域的代表会面，讨论可作为四次研讨课基础的潜在问题。

适合某个特定模块的问题需要满足两个标准。首先，它应当是学生今后学习时可能会遇到的问题，或者是该研究领域的研究人员目前正在研究的问题。其次，它必须在某种程度上依赖该模块所包含的数学概念与数学结果。不过请注意，问题本身可以比学生目前能够解决的问题难得多。其主要目的是提供动机，并说明该模块中的微积分可以作为解决该领域实际问题的工具。学生将要解决的实际练习题

在工作坊中完成的练习，大多只是一些小型的“玩具示例”，用于探索整个问题宏大解决方案中的某些部分。此外，工作坊的设计确保解决这些练习需要运用数学概念与技能中的关键部分。关于如何选择问题，详见第四节。

最后，在完成研讨课材料的开发后，会制作一段视频介绍（~20–30 分钟）。这段视频介绍旨在说明当前问题的背景，并介绍学生需要解决的练习题。因此，研讨课通常按以下方式进行：学生首先与小组成员会面，观看视频介绍，然后继续完成研讨课中的练习。在这一环节，助教以及最终负责主持考试的教师都会提供帮助。

C. 考试

课程通过口试进行评估，口试基于每个学习项目的四次研讨课。也就是说，在考试中，每名学生随机抽取其在课程期间完成的四次研讨课中的一次。随后，学生大约有五分钟时间，展示所抽取研讨课中自选的练习。鼓励学生在考试前准备并练习这段展示。之后，考官大约有五分钟时间提出后续问题，或询问有关课程体系的一般性问题。因此，包括成绩评议和其他考试事务在内，考试持续时间为每名学生 15 分钟。

在丹麦，考试通常由两位考官评定，以确保可靠性和公开透明。其中一位考官为学生所熟悉：他们会在学生参加研讨课时在场，并且曾讲授部分讲座，或担任这些学生所修读的至少一个模块的助教。共同考官在大多数情况下是来自学生所属学科领域的研究人员。这样安排有双重原因。首先，这有助于使评估符合特定研究领域的预期。其次，这能让学生看到自己的“教师”也参与了课程，从而增强他们对课程实用性的信心。

请注意，学生不需要提交与研讨课相关的材料，因此成绩完全根据每位学生所作的口头报告评定。

III. 排课与管理

将课程拆分为较小的模块，供不同学习项目的学生修读，这意味着课程必须采用不同的方式排课。过去，我们会开设若干平行的微积分课程，并将各学习项目的学生分配到这些课程中，以充分利用演讲厅的容量。每门课程会安排一至两位教师。这意味着每位学生都能清楚知道由谁负责该课程和考试。

课程体系更加灵活了，但我们在规划平行课程时却不再拥有同样的灵活性。现在，我们必须考虑许多不同的模块组合，而每种组合中的学生人数可能都不多（有些情况下仅有 ~20 名学生）。将这些课程分别开设在经济上难以为继，还会导致许多讲座内容重复。例如，秋季有十三个学习项目包含微分方程模块，但只有一个项目将其与优化模块结合，只有两个项目将其与空间曲线模块结合，等等。

为避免此类重复劳动，我们现在根据模块安排课程，再视情况加入学习项目。例如，前面提到的微分方程模块会面向全部十三个学习项目同时开设一次。之后，学生会再次分组，并根据下一个模块重新编组。也就是说，每组学生都会修读所选的模块组合，但每个模块的讲座和习题课都会与不同学习项目的学生共同参加。此外，不同模块也可能由不同的教师负责。请注意，尽管多个不同学习项目的学生可能共同参加讲座，但他们不会共同参加研讨课，因为研讨课习题是针对各个学习项目分别设计的。

表 I 概述了第 4 页中 2021年秋季微积分课程的选修模块。这说明了不同学习项目和不同校区的课程安排有多复杂。

IV. 研讨课示例

本节将举例说明研讨课中曾用作引导性示例的问题类型。

A. 测量调整

所有学习项目都包括第一模块，该模块涵盖偏导数和简单优化，但各项目的研讨课有所不同。作为示例，我们聚焦于土地测量员；他们需要了解如何处理存在精度误差的地理测量数据。在研讨课中，他们会获得一个直角三角形三条边的测量值。他们的目标是通过最小二乘法估计这些边的真实值；对土地测量员而言，这一过程称为平差。已知该三角形为直角三角形，因此估计出的真实值应满足勾股方程，同时使改正数的平方和最小。其他土地测量员研讨课也会使用类似问题，例如拉格朗日优化，以及线性代数中关于正交投影的模块。

在本工作坊中求解该问题，需要计算梯度和海森矩阵，以确定全局最小值，从而得到该问题的解析解。在工作坊的最后一部分，学生将通过对第一部分工作坊中的误差函数进行泰勒近似，初步了解牛顿法。此外，还配有 MATLAB 脚本，用于执行计算并比较解析结果和数值结果。

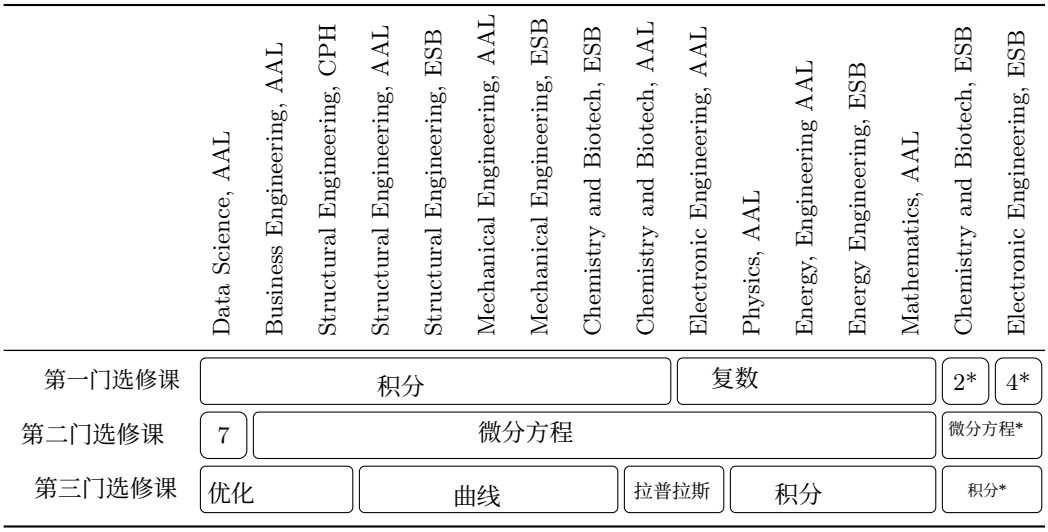

表 I

奥尔堡（AAL）、哥本哈根（CPH）和埃斯比约（ESB）所有学习项目的微积分选修课秋季计划。每一列对应一个学习项目，并按时间顺序列出该项目修读的选修模块。我们使用通用的描述性项目名称，而非正式名称。标记为 2、4 和 7 的模块分别指“曲线”“复数”和“计算机科学专题”。带星号（*）的模块以英语授课。

B. 结构工程中的挠度

微分方程模块之后，通常会接续一些可大致归类为结构工程的学习项目。在这里，工作坊围绕一个问题展开：当桥面板受到周期性力作用时（例如有人在桥上行走），如何确定其挠度。对于这些学生而言，显然，计算此类挠度对于确定桥梁建造所需的合适材料至关重要。

在工作坊中，学生研究桥梁的简化二维模型，其中所讨论的挠度可以用一个非齐次二阶常微分方程来描述。不过，这种简化的情境似乎并未让学生失去兴趣，因为显而易见，要在实际情境中解决问题，首先必须能够理解并在复杂度较低的情境中解决这个问题。

随后，工作坊被分为三个子问题。首先，要求学生求解齐次方程，并在此过程中求出特征多项式。接下来，他们将在指导下确定非齐次方程的一个特解，然后将其与第一部分相结合，以得到通解。在最后一部分，他们需要求解一个初值问题，然后使用 MATLAB 绘制挠度随时间变化的图。为此，他们会得到一份几乎完成的 MATLAB 脚本，只需填入他们在工作坊前面计算出的某些数值。

C. 血流和肌肉体积

健康技术专业的学生学习积分模块。在他们的工作坊中，决定研究两个与人类健康相关的不同问题。

首先，要确定给定半径的静脉中的血液总流量，以及它与血压的关系。利用哈根-泊肃叶方程，可以将流速描述为一个微分方程的解，并在引言中向学生给出该解。随后，确定总流量就相当于对静脉横截面上的流速进行积分。最初的练习题也围绕这一内容展开，并要求计算横截面形状更复杂时的流量。

本次工作坊的第二个问题是：当扫描结果沿相关肌肉提供有限数量的横截面图像时，如何估算肌肉体积。随后，在每个横截面均为圆形的情况下，学生将使用截头锥来进行这一估算。之后，他们会考虑一个具有矩形横截面的示例，以了解如何将这种方法应用于更一般的情形。在解决这些练习时，他们将使用旋转体和三重积分。

作为工作坊的总结，他们需要考虑一块横截面为圆形、由特定函数给定的肌肉。我们提供一段 MATLAB 脚本，用于计算真实体积，以及使用截头圆锥和圆柱体估算的体积。学生需要画出所计算体积对应的形状，并比较三种计算的数学结果。最后，他们需要尝试调整参数，以确认随着可用横截面数量的增加，两种估算的精度都会提高。

五、评估

如 I-B 节所述，我们将使用指导小组会议纪要来评估学生对新课程结构的看法。

为提高我们对会议纪要进行分析的有效性，我们采用了多位诠释者，并对程序进行了说明 [11,第207–208]页。在多位诠释者方面，我们的程序如下。在分析的第一步，第一位作者

首先分析了所有会议纪要，根据每条话语是否属于工作坊、教师、结构或一般评论类别分别进行编码。这些话语还被标记为正面、中性或负面。第二步，使用 [12], 为每门课程随机选取一项课程方案，然后由另外两位作者分别对与这些课程方案相对应的会议纪要进行编码，以检验编码者可靠性。接下来的步骤结合了算术式和对话式方法，旨在达成一致。

在第一轮样本中，我们发现这四个类别的定义不够明确，而且往往很难判断某条发言应归入结构还是一般。此外，我们将发言的拆分交由各位编码者自行决定，因此难以比较整体一致性。后一项挑战的一个例子是，有条评论写道：“从结构工程的角度来看，第4区块很难与.....联系起来。我们指的是第1区块研讨会，这方面做得确实很好。”。一位编码者将两句话合并为一条发言，并判定为中性；一位将其拆分为两条，分别判定为负面和正面；还有一位将两句话合并，但标记为负面和正面。

为了提高编码者可靠性，我们决定采取两项措施。首先，将类别缩减为工作坊、一般和教师。这些类别的定义进一步明确如下：

工作坊主要涉及某个工作坊或其主题、视频介绍等。

通用主要涉及课程体系、课程结构、考试等。

教师 主要涉及教师，但并非由研讨课、课程结构或类似因素导致。
其次，我们决定将初始编码者所使用的话语划分交给其他编码者，以规避样本第一轮中出现的第二类问题。

经过这些调整，第二轮样本——不同于第一轮样本——在情感倾向方面达成了72%的一致，在类别方面达成了56%的一致，同时在类别和情感倾向两方面达成了一致的比例为40%。然而，对于每条话语，至少有两名编码者在类别和情感倾向两方面达成了一致。此外，我们注意到，关于情感倾向的任何分歧都发生在中性与负面之间，或中性与正面之间。也就是说，我们从未看到一名编码者将某条话语判断为正面，而另一名编码者却将其判断为
将其视为负面。

计算一致率后，我们讨论了编码结果不同的案例，以弄清分歧的原因，并就最恰当的编码达成共识。在这次后续讨论中，我们发现，三个类别中的部分分歧可以用参与课程教学的实践经验来解释。曾教过这些课程的两位作者，在类别判断上往往比只根据一般描述了解课程结构的那位作者更容易达成一致。也就是说，不出所料，教师和学生似乎拥有共同的背景，而其他人可能难以从中提取相关信息。

作为情感倾向判断存在分歧的一个例子，“希望在考试时再次说明考试要求”被两位编码者标记为中性，另一位编码者则标记为负面。后一位编码者着重关注了重新说明信息这一愿望，认为这可能表明初始考试信息不尽如人意。另一方面，另外两位编码者更关注这一愿望本身既非正面也非负面。也就是说，他们完全有可能只是想确认自己没有遗漏任何与考试相关的信息。

Type	计数	负面	中性	正面
课程（一般）	17	24%	6%	71%
课程结构	49	63%	8%	29%
研讨课	34	50%	24%	26%
教师	22	45%	18%	53%

表 II 按编码分类的学生评论分布。

表 II 概述了按最终编码分类的评论。我们在此指出，由于指导小组会议主要关注学期期间出现的问题，因此大多数评论被视为负面并不少见。如果学生对某门课程感到满意，会议通常会较快转向其他议题，从而将时间留给更紧迫的问题。

现在，我们将更加详细地分析评论中的总体倾向。在这里，我们主要关注涉及课程结构和研讨课本身的评论。

A. 研讨课主题

健康技术专业学生评论道：“研讨课很不错——在这里，你能非常具体地看到线性代数的用处。”不过，他们强调，在研讨课课程期间能够找到负责教师并向其提问十分重要，“否则就不会 *[*从中获得*]* 多少收获”。

结构工程专业学生最初几分钟的评论中明确提到了这些具有激励作用的问题：“在研讨课上， *[*主题*]*都与具体事物联系起来——效果很好”。因此，学生们起初似乎认识到，将微积分术语与其自身研究领域中的应用联系起来所付出的努力。不过，在接下来的一次会议上，他们评论道，该课程“.....有时很难与之建立联系，也很难 *[*看出*]* 如何将其应用于其他情境。”这可能表明，尽管学生们能在研讨课期间看到微积分在具体情境中的应用，但他们仍然觉得难以将课程作为一个整体与自身联系起来。

健康技术方面会议纪要中出现的一点批评是，与安排的时间相比，他们的研讨课往往内容过多。此外，他们要求调配更多资源，以便在安排的时段内配备更多助教。同样，化学和生物学专业的学生表示，“研讨课中学习的主题似乎不属于课程体系*[*。..... *]*”。这凸显了在选择激励性

问题时所面临的挑战。一方面，问题必须尽可能贴近学生所学的领域；但另一方面，它又不应妨碍学生解决underlying 微积分问题。在两者之间取得平衡可能很困难，而我们的经验是，在这种新结构下设计的第一批研讨课需要经过几次修改，才能达到适当的内容量和难度水平。完成最初的调整后，后续研讨课将更容易开发。

B. 课程结构

关于课程结构的一些负面评论是预先形成的。也就是说，他们并非评论课程中已经发生的事，而是在评论他们对将会发生什么的预期。这些评论都与选修模块的直播有关，称学生担心在线教学。2022年丹麦课程项目在埃斯比约举行的首次会议上，我们看到有人说“我们很高兴目前还没有转为线上”。有趣的是，在直播讲座已经开展后的最后一次会议上，他们的情感倾向发生了变化：*“[这]个在线部分比上学期进行得好。”*

直播讲座的一个好处是，学生可以再次观看（或重看其中部分内容），会议记录中也提到了这一点。例如，我们看到这样的评论：“学生喜欢数字化讲座的视频会一直在线，这样大家就有资料可以回顾。”以及“讲座都录了下来，这一点很不错。”

许多会议纪要中反复出现的一个主题是参与课程的教师人数。我们发现了这样的意见：*“[我们]不明白为什么需要不同的讲师”*、“能否减少讲师人数*[...]*。他们在材料呈现方式和提供帮助的能力方面差异很大”，以及“教师人数很多，甚至同一个主题也有不同的教师，这有时会让学生感到困惑”。问题的部分原因似乎在于，我们在课程开始时没有提供足够（或足够清楚）的课程结构和教师分工信息。因此，我们现在会在第一堂课上花更多时间说明课程结构、课程在学习管理系统中的组织方式，以及哪位教师负责哪些部分。最后一点对于考官尤其重要：学生应当清楚由谁主持他们的考试。关于考官在课程中的职责，请参见II-C节。

第六部分：结论

本文介绍了丹麦奥尔堡大学微积分和线性代数课程的重组。为了激励学生，并为他们提供更贴近自身研究领域的实例，此次重组将课程划分为若干模块，即由各学习项目选定的较小单元。每个模块都配有相应的研讨课，围绕与相应学生群体相关的“现实世界”问题展开；这些研讨课构成了口试的基础。

通过评估学生在2021年秋季学期指导小组会议上提出的意见以及2022年春季学期的意见，我们发现，如果研讨课习题与学生未来的研究领域足够相关，学生确实会欣然接受。不过，习题需要谨慎选择，因为如果偏离讲座内容太远，可能会让学生难以应对。

不过，正如我们也指出的，进行这样的重组并非易事，在实施类似结构时，还需要注意一些行政方面的挑战。尤其是，赋予各学习项目在设计课程设置时更大的灵活性，会导致排课灵活性降低。

致谢

微积分和线性代数课程的重组，从最初构思到全面实施，得到了许多人的参与。这不仅包括数学科学系的同事，也包括来自开设该课程的院系的教师和研究人员，以及各级支持这一构想的管理人员。没有他们的合作，这种新结构便不可能实现。

参考文献

[1] B. Alpers、M. Demlova、C.-H. Fant、T. Gustafsson、D. Lawson、L. Mustoe、B. Olsson-Lehtonen、C. Robinson 和 D. Velichova，《工程教育数学课程框架》。欧洲工程教育学会，2013年。[2] J. Härterich、C. Kiss、A. Rooch、M. Mönnigmann、M. S. Darup 和 R. Span，“MathePraxis——将一年级数学与工程应用相结合”，《欧洲工程教育杂志》，第37卷，第3期，第255–266页，2012年。[3] W. Maull 和 J. Berry，“一份用于引出工科学生数学概念意象的问卷”，《国际科学与技术数学教育杂志》，第31卷，第6期，第899–917页，2000年。[4] E. Bingolbali、J. Monaghan 和 T. Roper，“工科学生对导数的理解及其对数学教育的启示”，《国际科学与技术数学教育杂志》，第38卷，第6期，第763–777页，2007年。[5] R. J. Rensaa，“讲义对工科学生理解数学概念的影响”，《数学行为杂志》，第34卷，第33–57页，2014年。[6] C. Baillie 和 G. Fitzgerald，“工科学生的动机与辍学”，《欧洲工程教育杂志》，第25卷，第2期，第145–155页，2000年。[7] B. Pepin、R. Biehler 和 G. Gueudet，“工程教育中的数学：近期文献综述及对创新实践的展望”，《国际本科数学教育研究杂志》，第7卷，第2期，第163–188页，2021年7月。[8] I. Askehave、H. L. Prehn、J. Pedersen 和 M. T. Pedersen 编，《基于问题的学习：问题导向学习》。奥尔堡大学，2015年11月。[在线]。网址：https://prod-aaudxp-cms-001-app.azurewebsites.net/media/mmmjbthi/pbl-aalborg-model_uk.pdf [9] 丹麦国家血清研究所，“新冠疫情时间线”，2022年4月，（丹麦语）。[在线]。网址：https://www.ssi.dk/-/media/arkiv/subsites/covid19/presse/tidslinje-over-covid-19/covid-19-tidslinje-for-2020-2022-lang-version---version-1---april-2022.pdf [10] C. Robson，《现实世界研究：社会科学家与实践研究者指南》，第2版。Wiley，2002年。[11] S. Kvale，《访谈》。SAGE Publications，1996年。[12] “Random.org”，2022年。 [在线]。网址：https://www.random.org/