

目录

主要符号对照表	3
插图索引	4
表格索引	5
第1章 引言	1
1.1 UNIX 历史	2
1.2 UNIX 家谱	3
1.3 表格样本	3
1.3.1 基本表格	3
1.3.2 表格下方标注数据来源	3
1.3.3 浮动体的并排放置	5
1.3.4 非常复杂非常漂亮的表格	6
1.3.5 续表：表格长度超过一页	6
1.3.6 设置每列的对齐格式以及宽度	9
1.3.7 表格内部的换行	10
1.3.8 其它	10
1.4 定理环境	10
1.5 参考文献	13
1.6 公式	14
1.7 破折号	15
第2章 中华人民共和国	19
2.1 图的例子	19
2.1.1 绘图	19
2.1.2 插图	19
2.1.3 一个图形	19
2.1.4 简单子图	20
2.1.5 复杂子图要注意遮挡	21
2.1.6 多个图形独立	21
2.1.7 插图大原则	22
2.2 插入pdf格式图片的问题	22
第3章 nihao	24
3.1 4+k维理论和基于度规的约束	24
3.1.1 KK理论	24
3.1.2 4+k维度规的一般形式	26
3.1.3 里奇张量和曲率标量	28
3.1.4 约当标架和爱因斯坦标架	29

3.1.5 紧致化流行上的平均值	31
3.1.6 基于度规的约束	31
3.1.7 源自额外维的暗能量	33
致谢	34
参考文献	35
附录 A 外文资料原文	37
A.1 Single-Objective Programming	37
A.1.1 Linear Programming	38
A.1.2 Nonlinear Programming	39
A.1.3 Integer Programming	40
附录 B 外文资料的调研阅读报告或书面翻译	41
B.1 单目标规划	41
B.1.1 线性规划	41
B.1.2 非线性规划	42
B.1.3 整数规划	42
附录 C 其它附录	43
个人简历、在学期间发表的学术论文与研究成果	44

主要符号对照表

GNU	GNU's Not Unix /'gnu:/
GFDL	GNU Free Documentation License
GPL	GNU General Public License
FSF	Free Software Foundation
SMP	对称多处理
API	应用程序编程接口
E	能量
m	质量
c	光速
P	概率
T	时间
v	速度

插图索引

图 1.1	肯·汤普逊（左）和丹尼斯·里奇（右）	1
图 1.2	Linus Torvalds	2
图 2.1	插个图插个图	19
图 2.2	包含子图形的大图形	20
图 2.3	多子图用subcaptionbox	21
图 2.4	并排第一个图	21
图 2.5	并排第二个图	21
图 2.6	被自动翻转的bode图	22
图 2.7	处理后的bode图	23

表格索引

表 1.1	模板文件.....	4
表 1.2	复杂表格示例 1.....	4
表 1.3	第一个并排子表格	5
表 1.4	第二个并排子表格	5
表 1.5	并排子表格	5
表 1.6	复杂表格示例 2.....	6
表 1.7	实验数据.....	7
表 1.8	电容、电感以及电阻元件不确定时系统鲁棒稳定裕度参数	8
表 1.9	IPM 智能功率模块引脚功能列表	16
表 1.10	稳定性、可靠性、鲁棒性概念的区别	17
表 1.11	稳定性、可靠性、鲁棒性概念的区别	17

第1章 引言

UNIX 操作系统（UNIX），是美国AT&T公司1971年 在PDP-11上运行的操作系统。具有多用户、多任务的特点，支持多种处理器架构，最早由肯·汤普逊（Kenneth Lane Thompson）、丹尼斯·里奇（Dennis MacAlistair Ritchie），见图1.1。和 Douglas McIlroy 于1969年在 AT&T 的贝尔实验室开发^①。



图 1.1 肯·汤普逊（左）和丹尼斯·里奇（右）

Linux 操作系统（Linux），是一类计算机操作系统的统称。Linux 操作系统的内核的名字也是 “Linux”。Linux 操作系统也是自由软件和开放源代码发展中最著名的例子。严格来讲，Linux 这个词本身只表示 Linux 内核，但在实际上人们已经习惯了用 Linux 来形容整个基于 Linux 内核，并且使用 GNU 工程各种工具和数据库的操作系统（也被称为 GNU/Linux）。基于这些组件的 Linux 软件被称为 Linux 发行版。

Linux内核最初只是由芬兰人林纳斯·托瓦兹（Linus Torvalds），见图1.2，在赫尔辛基大学上学时出于个人爱好而编写的，当时他并不满意 Minix 这个教学用的操作系统，部分因为只能在有限硬件上运行。最初的设想中，Linux 是一种类似 Minix 这样的一种操作系统。Linux 的第一个版本在1991年9月被大学 FTP server 管理员 Ari Lemmke 发布在 Internet 上，最初 Torvalds 称这个内核的名称为 “Freax”，意思是自由（“free”）和奇异（“freak”）的结合字，并且附上了 “X” 这个常用的字母，以配合所谓的 Unix-like 的系统。但是 FTP server 管理员嫌原来的命名 “Freax” 的名称不好听，把内核的称呼改成 “Linux”，当时仅有10000行代码，仍必须运行于 Minix 操作系统之上，并且必须使用硬盘开机；随后在10月份第二个版本（0.02版）就发布了，同时这位芬兰赫尔辛基的大学生在 comp.os.minix 上发布一则消息

① 摘自中文维基百科

Hello everybody out there using minix-
I'm doing a (free) operation system (just a hobby,
won't be big and professional like gnu) for 386(486) AT clones.



图 1.2 Linus Torvalds

1.1 UNIX 历史

UNIX 的历史开始于1969年 ken Thompson, Dennis Ritchie（即著名的 K&G，C 语言的发明人）与一群人在一部 PDP-7 上进行的一些工作，后来这个系统变成了 UNIX。

主要大事件：

- V1(1971): 第一版的UNIX，以 PDP-11/20的汇编语言写成。包括文件系统，fork、roff、ed 等软件。
- V4(1973): 以 C 语言从头写过，这使得 UNIX 修改容易，可以在几个月内移植到新的硬件平台上。最初C语言是为 UNIX 设计的，所以 C 与 UNIX 间有紧密的关系。
- V6(1975): 第一个在贝尔实验室外（尤其是大学中）广为流传的 UNIX 版本。这也是 UNIX 分支的起点与广受欢迎的开始。1.xBSD（PDP-II）就是由这个版本衍生出来的。

- V7(1979): 在许多UNIX玩家的心目中, 这是“最后一个真正的 UNIX,” 这个版本包括一个完整的 K&RC 编译器, Bourne shell。V7 移植到 VAX 机器后称为 32V。

1.2 UNIX 家谱

目前开发 UNIX (System V) 的公司是 Unix System Laboratories (USL)。USL 本为 AT&T 所有, 1993年初被 Novell 收购。Novell 于1993年末将 UNIX 这个注册商标转让给 X/Open 组织。

详细的 UNIX 编年史<http://www.levenez.com/unix/>。

1.3 表格样本

1.3.1 基本表格

模板中关于表格的宏包有三个: `booktabs`、`array` 和 `longtabular`, 命令有一个 `\hlinewd`。三线表可以用 `booktabs` 提供的 `\toprule`、`\midrule` 和 `\bottomrule`。它们与 `longtable` 能很好的配合使用。如果表格比较简单的话可以直接用命令 `\hlinewd{xpt}` 控制。

首先来看一个最简单的表格。表 1.1 列举了本模板主要文件及其功能。请大家注意三线表中各条线对应的命令。这个例子还展示了如何在表格中正确使用脚注。由于 \LaTeX 本身不支持在表格中使用 `\footnote`, 所以我们不得不将表格放在小页中, 而且最好将表格的宽度设置为小页的宽度, 这样脚注看起来才更美观。

1.3.2 表格下方标注数据来源

我们经常会在表格下方标注数据来源, 或者对表格里面的条目进行解释。前面的脚注是一种不错的方法, 如果你不喜欢脚注。那么完全可以在表格后面自己写注释, 比如表 1.2。

此外, 表 1.2 同时还演示了另外两个功能: 1) 通过 `tabularx` 的 `|x|` 扩展实现表格自动放大; 2) 通过命令 `\backslashslashbox` 在表头部分插入反斜线。

为了使我们的例子更接近实际情况, 我会在必要的时候插入一些“无关”文字, 以免太多图表同时出现, 导致排版效果不太理想。第一个出场的当然是我的最爱: 风流潇洒、骏马绝尘、健笔凌云的**李太白**了。

表 1.1 模板文件。如果表格的标题很长，那么在表格索引中就会很不美观，所以要像 `chapter` 那样在前面用中括号写一个简短的标题。这个标题会出现在索引中。

文件名	描述
<code>tongjithesis.cls</code>	模板类文件。 ^①
<code>tongjithesis.cfg</code>	模板配置文件 ^② 。
<code>tongjibib.bst</code>	参考文献 Bibtex 样式文件。
<code>tongjitils.sty</code>	常用的包和命令写在这里，减轻主文件的负担。
<code>shuji.tex</code>	书脊示例文档
<code>ref/</code>	示例文档参考文献目录
<code>data/</code>	示例文档章节具体内容
<code>figures/</code>	示例文档图片路径
<code>tongjitils.sty</code>	为示例文档加载其它宏包
TongjiThesisReadme.pdf	用户手册（本文档）

① 表格中的脚注

② 再来一个

表 1.2 复杂表格示例 1

x \ y	First Half		Second Half	
	1st Qtr	2nd Qtr	3rd Qtr	4th Qtr
East*	20.4	27.4	90	20.4
West**	30.6	38.6	34.6	31.6

注：数据来源《TONGJITHESIS 使用手册》。

*：东部

**：西部

李白，字太白，陇西成纪人。凉武昭王暕九世孙。或曰山东人，或曰蜀人。白少有逸才，志气宏放，飘然有超世之心。初隐岷山，益州长史苏颋见而异之，曰：“是子天才英特，可比相如。”天宝初，至长安，往见贺知章。知章见其文，叹曰：“子谪仙人也。”言于明皇，召见金銮殿，奏颂一篇。帝赐食，亲为调羹，有诏供奉翰林。白犹与酒徒饮于市，帝坐沉香亭子，意有所感，欲得白为乐章，召入，而白已醉。左右以水颰面，稍解，援笔成文，婉丽精切。帝爱其才，数宴见。白常侍帝，醉，使高力士脱靴。力士素贵，耻之，摘其诗以激杨贵妃。帝欲官白，妃辄沮止。白自知不为亲近所容，恳求还山。帝赐金放还。乃浪迹江湖，终日沉饮。永王璘都督江陵，辟为僚佐。璘谋乱，兵败，白坐长流夜郎，会赦得还。族人阳冰为当涂令，白往依之。代宗立，以左拾遗召，而白已卒。文宗

时，诏以白歌诗、裴旻剑舞、张旭草书为三绝云。集三十卷。今编诗二十五卷。
——《全唐诗》诗人小传

1.3.3 浮动体的并排放置

浮动体的并排放置一般有两种情况：1) 二者没有关系，为两个独立的浮动体；2) 二者隶属于同一个浮动体。对表格来说并排表格既可以像表 1.3、表 1.4 使用小页环境，也可以如表 1.5 使用子表格来做。图的例子参见第 2.1.4 节。

表 1.3 第一个并排子表格

111	222
222	333

表 1.4 第二个并排子表格

111	222
222	333

然后就是忧国忧民，诗家楷模杜工部了。杜甫，字子美，其先襄阳人，曾祖依艺为巩令，因居巩。甫天宝初应进士，不第。后献《三大礼赋》，明皇奇之，召试文章，授京兆府兵曹参军。安禄山陷京师，肃宗即位灵武，甫自贼中遁赴行在，拜左拾遗。以论救房琯，出为华州司功参军。关辅饥乱，寓居同州同谷县，身自负薪采椽，铺糒不给。久之，召补京兆府功曹，道阻不赴。严武镇成都，奏为参谋、检校工部员外郎，赐绯。武与甫世旧，待遇甚厚。乃于成都浣花里种竹植树，枕江结庐，纵酒啸歌其中。武卒，甫无所依，乃之东蜀就高适。既至而适卒。是岁，蜀帅相攻杀，蜀大扰。甫携家避乱荆楚，扁舟下峡，未维舟而江陵亦乱。乃溯沿湘流，游衡山，寓居耒阳。卒年五十九。元和中，归葬偃师首阳山，元稹志其墓。天宝间，甫与李白齐名，时称李杜。然元稹之言曰：“李白壮浪纵恣，摆去拘束，诚亦差肩子美矣。至若铺陈终始，排比声韵，大或千言，次犹数百，词气豪迈，而风调清深，属对律切，而脱弃凡近，则李尚不能历其藩翰，况堂奥乎。”白居易亦云：“杜诗贯穿古今，尽工尽善，殆过于李。”元、白之论如此。盖其出处劳佚，喜乐悲愤，好贤恶恶，一见于诗。而又以忠君忧国、伤时念乱为本旨。读其诗可以知其世，故当时谓之“诗史”。旧集诗文共六十卷，今编诗十九卷。

表 1.5 并排子表格

(a) 第一个子表格

111	222
222	333

(b) 第二个子表格

111	222
222	333

1.3.4 非常复杂非常漂亮的表格

不可否认 \LaTeX 的表格功能没有想象中的那么强大，不过只要你足够认真，足够细致，那么同样可以排出来非常复杂非常漂亮的表格。请参看表 1.6。

表 1.6 复杂表格示例 2

Network Topology		# of nodes	# of clients			Server
GT-ITM	Waxman	600	2%	10%	50%	Max. Connectivity
	Transit-Stub					
Inet-2.1		6000				
Xue	Rui	Ni	TONGJITHESIS			
	ABCDEF					

最后就是清新飘逸、文约意赅、空谷绝响的王大侠了。王维，字摩诘，河东人。工书画，与弟缙俱有俊才。开元九年，进士擢第，调太乐丞。坐累为济州司仓参军，历右拾遗、监察御史、左补阙、库部郎中，拜吏部郎中。天宝末，为给事中。安禄山陷两都，维为贼所得，服药阳暗，拘于菩提寺。禄山宴凝碧池，维潜赋诗悲悼，闻于行在。贼平，陷贼官三等定罪，特原之，责授太子中允，迁中庶子、中书舍人。复拜给事中，转尚书右丞。维以诗名盛于开元、天宝间，宁薛诸王驸马豪贵之门，无不拂席迎之。得宋之问辋川别墅，山水绝胜，与道友裴迪，浮舟往来，弹琴赋诗，啸咏终日。笃于奉佛，晚年长斋禅诵。一日，忽索笔作书数纸，别弟缙及平生亲故，舍笔而卒。赠秘书监。宝应中，代宗问缙：“朕常于诸王坐闻维乐章，今存几何？”缙集诗六卷，文四卷，表上之。敕答云，卿伯氏位列先朝，名高希代。抗行周雅，长揖楚辞。诗家者流，时论归美。克成编录，叹息良深。殷璠谓维诗词秀调雅，意新理惬。在泉成珠，著壁成绘。苏轼亦云：“维诗中有画，画中有诗也。”今编诗四卷。

要想用好论文模板还是得提前学习一些 $\text{\TeX}/\text{\LaTeX}$ 的相关知识，具备一些基本能力，掌握一些常见技巧，否则一旦遇到问题还真是比较麻烦。我们见过很多这样的同学，一直以来都是使用 Word 等字处理工具，以为 \LaTeX 模板的用法也应该类似，所以就沿袭同样的思路来对待这种所见非所得的排版工具，结果被折腾的焦头烂额，疲惫不堪。

1.3.5 续表：表格长度超过一页

如果您要排版的表格长度超过一页，那么推荐使用 `longtable` 或者 `supertabular` 宏包，模板对 `longtable` 进行了相应的设置，所以用起来可能简单一些。表 1.7 就是 `longtable` 的简单示例。

表 1.7 实验数据

测试程序	正常运行 时间 (s)	同步 时间 (s)	检查点 时间 (s)	卷回恢复 时间 (s)	进程迁移 时间 (s)	检查点 文件 (KB)
CG.A.2	23.05	0.002	0.116	0.035	0.589	32491
CG.A.4	15.06	0.003	0.067	0.021	0.351	18211
CG.A.8	13.38	0.004	0.072	0.023	0.210	9890
CG.B.2	867.45	0.002	0.864	0.232	3.256	228562
CG.B.4	501.61	0.003	0.438	0.136	2.075	123862
CG.B.8	384.65	0.004	0.457	0.108	1.235	63777
MG.A.2	112.27	0.002	0.846	0.237	3.930	236473
MG.A.4	59.84	0.003	0.442	0.128	2.070	123875
MG.A.8	31.38	0.003	0.476	0.114	1.041	60627
MG.B.2	526.28	0.002	0.821	0.238	4.176	236635
MG.B.4	280.11	0.003	0.432	0.130	1.706	123793
MG.B.8	148.29	0.003	0.442	0.116	0.893	60600
LU.A.2	2116.54	0.002	0.110	0.030	0.532	28754
LU.A.4	1102.50	0.002	0.069	0.017	0.255	14915
LU.A.8	574.47	0.003	0.067	0.016	0.192	8655
LU.B.2	9712.87	0.002	0.357	0.104	1.734	101975
LU.B.4	4757.80	0.003	0.190	0.056	0.808	53522
LU.B.8	2444.05	0.004	0.222	0.057	0.548	30134
EP.A.2	123.81	0.002	0.010	0.003	0.074	1834
EP.A.4	61.92	0.003	0.011	0.004	0.073	1743
EP.A.8	31.06	0.004	0.017	0.005	0.073	1661
EP.B.2	495.49	0.001	0.009	0.003	0.196	2011
EP.B.4	247.69	0.002	0.012	0.004	0.122	1663
EP.B.8	126.74	0.003	0.017	0.005	0.083	1656
CG.A.2	23.05	0.002	0.116	0.035	0.589	32491
CG.A.4	15.06	0.003	0.067	0.021	0.351	18211
CG.A.8	13.38	0.004	0.072	0.023	0.210	9890
CG.B.2	867.45	0.002	0.864	0.232	3.256	228562
CG.B.4	501.61	0.003	0.438	0.136	2.075	123862
CG.B.8	384.65	0.004	0.457	0.108	1.235	63777
MG.A.2	112.27	0.002	0.846	0.237	3.930	236473
MG.A.4	59.84	0.003	0.442	0.128	2.070	123875
MG.A.8	31.38	0.003	0.476	0.114	1.041	60627
MG.B.2	526.28	0.002	0.821	0.238	4.176	236635
MG.B.4	280.11	0.003	0.432	0.130	1.706	123793
MG.B.8	148.29	0.003	0.442	0.116	0.893	60600
LU.A.2	2116.54	0.002	0.110	0.030	0.532	28754
LU.A.4	1102.50	0.002	0.069	0.017	0.255	14915
LU.A.8	574.47	0.003	0.067	0.016	0.192	8655

续下页

续表 1.7 实验数据

测试程序	正常运行 时间 (s)	同步 时间 (s)	检查点 时间 (s)	卷回恢复 时间 (s)	进程迁移 时间 (s)	检查点 文件 (KB)
LU.B.2	9712.87	0.002	0.357	0.104	1.734	101975
LU.B.4	4757.80	0.003	0.190	0.056	0.808	53522
LU.B.8	2444.05	0.004	0.222	0.057	0.548	30134
EP.A.2	123.81	0.002	0.010	0.003	0.074	1834
EP.A.4	61.92	0.003	0.011	0.004	0.073	1743
EP.A.8	31.06	0.004	0.017	0.005	0.073	1661
EP.B.2	495.49	0.001	0.009	0.003	0.196	2011
EP.B.4	247.69	0.002	0.012	0.004	0.122	1663
EP.B.8	126.74	0.003	0.017	0.005	0.083	1656

表 1.8 为采用supertabular实现长表格功能的示例。

表 1.8 电容、电感以及电阻元件不确定时系统鲁棒稳定裕度参数

$T(^{\circ}C)$	γ_C	γ_L	γ_R
-60	0.8295	0.7854	0.9011
-50	0.8189	0.7754	0.9011
-40	0.8096	0.7651	0.9010
-30	0.7995	0.7547	0.9009
-20	0.7896	0.7444	0.9009
-10	0.7800	0.7345	0.9008
0	0.7707	0.7248	0.9008
10	0.7617	0.7155	0.9008
20	0.7529	0.7063	0.9007
30	0.7442	0.6972	0.9007
40	0.7356	0.6881	0.9007
50	0.7269	0.6789	0.9007
60	0.7182	0.6697	0.9007
70	0.7095	0.6605	0.9006
80	0.7009	0.6514	0.9006
90	0.6925	0.6425	0.9006
100	0.6846	0.6340	0.9006

接下页

续表 1.8 电容、电感以及电阻元件不确定时系统鲁棒稳定裕度参数

$T(^{\circ}C)$	γ_C	γ_L	γ_R
110	0.6774	0.6263	0.9006
120	0.6711	0.6196	0.9006
130	0.6659	0.6140	0.9006
140	0.6621	0.6100	0.9005
150	0.6599	0.6076	0.9005
160	0.6594	0.6070	0.9005
170	0.6606	0.6083	0.9005
180	0.6634	0.6113	0.9006
190	0.6676	0.6158	0.9006
200	0.6729	0.6215	0.9006
210	0.6789	0.6279	0.9006
220	0.6848	0.6342	0.9006
230	0.6902	0.6400	0.9006
240	0.6945	0.6446	0.9006
250	0.6978	0.6480	0.9006
260	0.7006	0.6511	0.9006
270	0.7050	0.6557	0.9006
280	0.7148	0.6661	0.9006

1.3.6 设置每列的对齐格式以及宽度

表 1.9使用新定义的column type设置每列的对齐格式以及宽度。

泉眼无声惜细流，树阴照水爱晴柔。小荷才露尖尖角，早有蜻蜓立上头。
试问世界上有这么好的诗么？

门前大桥下
游过一群鸭
快来快来数一数
二四六七八
嘎嘎嘎嘎
真呀真多呀

1.3.7 表格内部的换行

有时候我们希望某个格子是多行的，有很多种方法。第一种方法，就需要用到 `\tabincell{c}{格子内容}` 命令,如表 1.10。第二种方法，可以用 `p{3cm}` 实现，这样当文字宽度超过指定数值的时候，便会自动换行，且左对齐，但貌似 `\multicolumn` 就没法正常显示了，如如表 1.11。大家自行取舍。或许还有更好的方法，没时间细究了。

1.3.8 其它

有的同学不想让某个表格或者图片出现在索引里面，那么请使用命令 `\caption*{}`，这个命令不会给表格编号，也就是出来的只有标题文字而没有“表 XX”，“图 XX”，否则索引里面序号不连续就显得不伦不类，这也是 \LaTeX 里星号命令默认的规则。

有这种需求的多是本科同学的英文资料翻译部分，如果你觉得附录中英文原文中的表格和图片显示成“表”和“图”很不协调的话，一个很好的办法就是用 `\caption*`，参数随便自己写，比如不守规矩的表 1.111 和图 1.111 能满足这种特殊需要（可以参看附录部分）。

如果你的确想让它编号，但又不想让它出现在索引中的话，那就自己看看代码改一改吧，我目前不打算给模板增加这种另类命令。

最后，虽然大家不一定会独立使用小页，但是关于小页中的脚注还是有必要提一下。请看下面的例子。

柳宗元，字子厚（773-819），河东（今永济县）人^①，是唐代杰出的文学家，哲学家，同时也是一位政治改革家。与韩愈共同倡导唐代古文运动，并称韩柳^②。

^① 山西永济水饺。

^② 唐宋八大家之首二位。

唐朝安史之乱后，宦官专权，藩镇割据，土地兼并日渐严重，社会生产破坏严重，民不聊生。柳宗元对这种社会现实极为不满，他积极参加了王叔文领导的“永济革新”，并成为这一运动的中坚人物。他们革除弊政，打击权奸，触犯了宦官和官僚贵族利益，在他们的联合反扑下，改革失败了，柳宗元被贬为永州司马。

1.4 定理环境

给大家演示一下各种和证明有关的环境：

假设 1.1: 待月西厢下，迎风户半开；隔墙花影动，疑是玉人来。

$$c = a^2 - b^2 \quad (1.1)$$

$$= (a + b)(a - b) \quad (1.2)$$

千辛万苦，历尽艰难，得有今日。然相从数千里，未曾衰戚。今将渡江，方图百年欢笑，如何反起悲伤？（引自《杜十娘怒沉百宝箱》）

定义 1.1: 子曰：「道千乘之国，敬事而信，节用而爱人，使民以时。」

千古第一定义！问世间、情为何物，只教生死相许？天南地北双飞客，老翅几回寒暑。欢乐趣，离别苦，就中更有痴儿女。君应有语，渺万里层云，千山暮雪，只影向谁去？

横汾路，寂寞当年箫鼓，荒烟依旧平楚。招魂楚些何嗟及，山鬼暗啼风雨。天也妒，未信与，莺儿燕子俱黄土。千秋万古，为留待骚人，狂歌痛饮，来访雁丘处。

命题 1.1: 曾子曰：「吾日三省吾身——为人谋而不忠乎？与朋友交而不信乎？传不习乎？」

多么凄美的命题啊！其日牛马嘶，新妇入青庐，奄奄黄昏后，寂寂人定初，我命绝今日，魂去尸长留，揽裙脱丝履，举身赴清池，府吏闻此事，心知长别离，徘徊庭树下，自挂东南枝。

注释 1.1: 天不言自高，水不言自流。

$$\begin{aligned} \varphi(x, z) &= z - \gamma_{10}x - \gamma_{mn}x^m z^n \\ &= z - Mr^{-1}x - Mr^{-(m+n)}x^m z^n \end{aligned}$$

$$\zeta^0 = (\xi^0)^2, \quad (1.3)$$

$$\zeta^1 = \xi^0 \xi^1, \quad (1.4)$$

$$\zeta^2 = (\xi^1)^2, \quad (1.5)$$

天尊地卑，乾坤定矣。卑高以陈，贵贱位矣。动静有常，刚柔断矣。方以类聚，物以群分，吉凶生矣。在天成象，在地成形，变化见矣。鼓之以雷霆，润之以风雨，日月运行，一寒一暑，乾道成男，坤道成女。乾知大始，坤作成物。乾以易知，坤以简能。易则易知，简则易从。易知则有亲，易从则有功。有亲则可久，有功则可大。可久则贤人之德，可大则贤人之业。易简，而天下之理矣；天下之理得，而成位乎其中矣。

公理 1.1: 两点间直线段距离最短。

$$x \equiv y + 1 \pmod{m^2} \quad (1.6)$$

$$x \equiv y + 1 \pmod{m^2} \quad (1.7)$$

$$x \equiv y + 1 \pmod{m^2} \quad (1.8)$$

《象曰》：大哉乾元，万物资始，乃统天。云行雨施，品物流形。大明始终，六位时成，时乘六龙以御天。乾道变化，各正性命，保合大和，乃利贞。首出庶物，万国咸宁。

《象曰》：天行健，君子以自强不息。潜龙勿用，阳在下也。见龙再田，德施普也。终日乾乾，反复道也。或跃在渊，进无咎也。飞龙在天，大人造也。亢龙有悔，盈不可久也。用九，天德不可为首也。

引理 1.1: 《猫和老鼠》是我最爱看的动画片。

$$\begin{aligned} & \int_a^b \left\{ \int_a^b [f(x)^2 g(y)^2 + f(y)^2 g(x)^2] - 2f(x)g(x)f(y)g(y) dx \right\} dy \\ &= \int_a^b \left\{ g(y)^2 \int_a^b f^2 + f(y)^2 \int_a^b g^2 - 2f(y)g(y) \int_a^b fg \right\} dy \end{aligned}$$

行行重行行，与君生别离。相去万余里，各在天一涯。道路阻且长，会面安可知。胡马依北风，越鸟巢南枝。相去日已远，衣带日已缓。浮云蔽白日，游子不顾返。思君令人老，岁月忽已晚。弃捐勿复道，努力加餐饭。

定理 1.1: 犯我强汉者，虽远必诛 —— 陈汤（汉）

$$y = 1 \quad (1.9a)$$

$$y = 0 \quad (1.9b)$$

道可道，非常道。名可名，非常名。无名天地之始；有名万物之母。故常无，欲以观其妙；常有，欲以观其徼。此两者，同出而异名，同谓之玄。玄之又玄，众妙之门。上善若水。水善利万物而不争，处众人之所恶，故几于道。曲则全，枉则直，洼则盈，敝则新，少则多，多则惑。人法地，地法天，天法道，道法自然。知人者智，自知者明。胜人者有力，自胜者强。知足者富。强行者有志。不失其所者久。死而不亡者寿。

证明 燕赵古称多感慨悲歌之士。董生举进士，连不得志于有司，怀抱利器，郁郁适兹土，吾知其必有合也。董生勉乎哉？

夫以子之不遇时，苟慕义强仁者，皆爱惜焉，矧燕、赵之士出乎其性者哉！然吾尝闻风俗与化移易，吾恶知其今不异于古所云邪？聊以吾子之行卜之也。董生勉乎哉？

吾因子有所感矣。为我吊望诸君之墓，而观于其市，复有昔时屠狗者乎？
为我谢曰：“明天子在上，可以出而仕矣！” ——韩愈《送董邵南序》 □

推论 1.1: 四川话配音的《猫和老鼠》是世界上最好看最好听最有趣的动画片。

$$V_i = v_i - q_i v_j, \quad X_i = x_i - q_i x_j, \quad U_i = u_i, \quad \text{for } i \neq j; \quad (1.10)$$

$$V_j = v_j, \quad X_j = x_j, \quad U_j u_j + \sum_{i \neq j} q_i u_i. \quad (1.11)$$

迢迢牵牛星，皎皎河汉女。纤纤擢素手，札札弄机杼。终日不成章，泣涕零如雨。河汉清且浅，相去复几许。盈盈一水间，脉脉不得语。

例 1.1: 大家来看这个例子。

$$\begin{cases} \nabla f(\mathbf{x}^*) - \sum_{j=1}^p \lambda_j \nabla g_j(\mathbf{x}^*) = 0 \\ \lambda_j g_j(\mathbf{x}^*) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, p \\ \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p. \end{cases} \quad (1.12)$$

练习 1.1: 清列出 Andrew S. Tanenbaum 和 W. Richard Stevens 的所有著作。

猜想 1.1: *Poincare Conjecture* If in a closed three-dimensional space, any closed curves can shrink to a point continuously, this space can be deformed to a sphere.

问题 1.1: 回答还是不回答，是个问题。

如何引用定理 1.1 呢？加上 label 使用 ref 即可。妾发初覆额，折花门前剧。郎骑竹马来，绕床弄青梅。同居长干里，两小无嫌猜。十四为君妇，羞颜未尝开。低头向暗壁，千唤不一回。十五始展眉，愿同尘与灰。常存抱柱信，岂上望夫台。十六君远行，瞿塘滟滪堆。五月不可触，猿声天上哀。门前迟行迹，一一生绿苔。苔深不能扫，落叶秋风早。八月蝴蝶来，双飞西园草。感此伤妾心，坐愁红颜老。

1.5 参考文献

当然参考文献可以直接写 bibitem，虽然费点功夫，但是好控制，各种格式可以自己随意改写。

本模板推荐使用 biblatex 包，因此工具链为: tex、biber、tex、tex 以下默认使用数字式的引用，这些例子都是为数字式引用准备的，如果你喜欢使用 author year 的引用，可在 cls 中搜索 biblatex 进行设置。

看看这个例子，关于书的^[1-3]，还有这些^[4-6]，关于杂志的^[7-9]，硕士论文^[10-11]，博士论文^[12-13]，标准文件^[14]，会议论文^[15-16]，技术报告^[17]。中文参考文献^[18]。试一下很多个参考文献的情况吧^[19-25]。

有时候不想要上标，那么可以这样 [12]，这个非常重要。

1.6 公式

贝叶斯公式如式 (1.13)，其中 $p(y|\mathbf{x})$ 为后验； $p(\mathbf{x})$ 为先验；分母 $p(\mathbf{x})$ 为归一化因子。

$$p(y|\mathbf{x}) = \frac{p(\mathbf{x}, y)}{p(\mathbf{x})} = \frac{p(\mathbf{x}|y)p(y)}{p(\mathbf{x})} \quad (1.13)$$

论文里面公式越多， $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 就越 happy。再看一个 `amsmath` 的例子：

$$\det \mathbf{K}(t = 1, t_1, \dots, t_n) = \sum_{I \in \mathbf{n}} (-1)^{|I|} \prod_{i \in I} t_i \prod_{j \in I} (D_j + \lambda_j t_j) \det \mathbf{A}^{(\lambda)}(\bar{I}|\bar{I}) = 0. \quad (1.14)$$

前面定理示例部分列举了很多公式环境，可以说把常见的情况都覆盖了，大家在写公式的时候一定要好好看 `amsmath` 的文档，并参考模板中的用法：

$$\begin{aligned} & \int_a^b \left\{ \int_a^b [f(x)^2 g(y)^2 + f(y)^2 g(x)^2] - 2f(x)g(x)f(y)g(y) dx \right\} dy \\ &= \int_a^b \left\{ g(y)^2 \int_a^b f^2 + f(y)^2 \int_a^b g^2 - 2f(y)g(y) \int_a^b fg \right\} dy \end{aligned}$$

其实还可以看看这个多级规划：

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_x F(x, y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*) \\ \text{subject to:} \\ G(x) \leq 0 \\ (y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*) \text{ solves problems } (i = 1, 2, \dots, m) \\ \left\{ \begin{array}{l} \max_{y_i} f_i(x, y_1, y_2, \dots, y_m) \\ \text{subject to:} \\ g_i(x, y_1, y_2, \dots, y_m) \leq 0. \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (1.15)$$

这些跟规划相关的公式都来自于刘宝碇老师《不确定规划》的课件。

对于复杂公式，采用 `\frac` 方式书写公式不美观，如 1.16 所示。

$$S_s(s) = \frac{1}{1 + \frac{(1+sR_2C_1) \cdot [1+s(R_1+R_3)C_3]}{sR_1 \cdot (C_1+C_2) \cdot [1+s\frac{R_2C_1C_2}{C_1+C_2}] \cdot (1+sR_3C_3) \cdot V_m}} \cdot \frac{V_{out}}{D} \cdot \frac{1}{s^2LC+s\frac{L}{R_L}+1} \cdot \frac{R_y}{R_x+R_y}} \quad (1.16)$$

为了使得多级分式中二级以上分子分母大小与普通分式大小相同，定义新的命令`\FS`，具体定义见`.cls`文件。采用`\FS`命令书写多级公式效果如下

$$S_s(s) = \frac{1}{1 + \frac{(1 + sR_2C_1) \cdot [1 + s(R_1 + R_3)C_3]}{\left[sR_1 \cdot (C_1 + C_2) \cdot \left[1 + s \frac{R_2C_1C_2}{C_1 + C_2} \right] \cdot (1 + sR_3C_3) \cdot V_m \right]}} \cdot \frac{V_{out}}{D} \cdot \frac{1}{s^2LC + s \frac{L}{R_L} + 1} \cdot \frac{R_y}{R_x + R_y} \quad (1.17)$$

1.7 破折号

中文破折号为一个两个字宽垂直居中的直线，输入法直接得到的破折号是两个断开的小短线（——），这看起来不舒服。所以我定义了一个破折号的命令`\pozhehao`，请看几个例子：

- 这是一个 —— 破折号
 - (1) 同时也可以看看
 - (2) 不同列表环境的间距
- 看起来这个要好一些
- 破折号 —— 就说到这里。

默认列表环境上下间距很大，模板将其重定义为 `paralist` 中的压缩环境，看起来要好一些。如果还是不满意，自己也可以调 `\itemsep` 的。`paralist` 还可以方便的指定标签的样式。

表 1.9 IPM 智能功率模块引脚功能列表

序号	名称	说明
1	U_P	U_P 相控制信号输入端子
2	V_{P1}	U_P 相控制电源端子
3	V_{UFB}	U_P 相驱动电源端子
4	V_{UFS}	U_P 相驱动电源 GND 端子
5	V_P	V_P 相控制信号输入端子
6	V_{P1}	V_P 相控制电源端子
7	V_{VFB}	V_P 相驱动电源端子
8	V_{VFS}	V_P 相驱动电源 GND 端子
9	W_P	W_P 相控制信号输入端子
10	V_{P1}	W_P 相控制电源端子
11	V_{PC}	U, V, W 相控制电源 GND 端子
12	V_{WFB}	W_P 相驱动电源端子
13	V_{WFS}	W_P 相驱动电源 GND 端子
14	V_{N1}	N 侧控制电源端子
15	V_{NC}	N 侧控制电源 GND 端子
16	C_{IN}	短路保护触发电压端子
17	C_{FO}	F_O 输出脉宽设定端子
18	F_O	F_O 输出端子
19	U_N	U_N 相控制信号输入端子
20	V_N	V_N 相控制信号输入端子
21	W_N	W_N 相控制信号输入端子
22	P	逆变器直流输入端子
23	U	U 相输出端子
24	V	V 相输出端子
25	W	W 相输出端子
26	N	逆变器直流 GND 端子
其余引脚		虚设端子, 不与电路其他端子相连

表 1.10 稳定性、可靠性、鲁棒性概念的区别

	稳定性	可靠性	稳定鲁棒性	性能鲁棒性
问题产生的原因	外部扰动	外部扰动、系统内部参数及结构变化等	内部模型不确定性与外部摄动	内部模型不确定性与外部摄动
主要关注点	能抵御外界扰动的幅值和相位的上限	满足规定参数的工作时间	在内部模型不确定性和外部摄动情况下，系统能否保持内稳定	在内部模型不确定性和外部摄动情况下，系统能否保持动态指标在规定范围内
评价指标	幅值相位裕度、Lyapunov渐近稳定等	可靠度、失效率、平均无故障时间等	Kharitonov区间理论、 H^∞ 控制理论、结构奇异值理论(μ 理论)等	

表 1.11 稳定性、可靠性、鲁棒性概念的区别

	稳定性	可靠性	稳定鲁棒性	性能鲁棒性
问题产生的原因	外部扰动	外部扰动、系统内部参数及结构变化等	内部模型不确定性与外部摄动	内部模型不确定性与外部摄动
主要关注点	能抵御外界扰动的幅值和相位的上限	满足规定参数的工作时间	在内部模型不确定性和外部摄动情况下，系统能否保持内稳定	在内部模型不确定性和外部摄动情况下，系统能否保持动态指标在规定范围内
评价指标	p幅值相位裕度、Lyapunov渐近稳定等	可靠度、失效率、平均无故障时间等	Kharitonov区间理论、 H^∞ 控制理论、结构奇异值理论	

表 1.111 这是一个手动编号，不出现在索引中的表格。

TONGJITHESIS



Figure 1.111 这是一个手动编号，不出现在索引中的图。

第2章 中华人民共和国

2.1 图的例子

在第 1 章中我们学习了贝叶斯公式 (1.13)，这里我们复习一下：

$$p(y|\mathbf{x}) = \frac{p(\mathbf{x}, y)}{p(\mathbf{x})} = \frac{p(\mathbf{x}|y)p(y)}{p(\mathbf{x})} \quad (2.1)$$

2.1.1 绘图

本模板不再预先装载任何绘图包（如 `psstricks`，`pgf` 等），完全由你自己来决定。个人觉得 `pgf` 不错，不依赖于 `Postscript`。此外还有很多针对 `LATEX` 的 GUI 作图工具，如 `XFig(jFig)`, `WinFig`, `Tpx`, `Ipe`, `Dia`, `Inkscape`, `LaTeXPiX`, `jPicEdt`, `jaxdraw` 等等。

2.1.2 插图

关于子图形的使用细节请参看 `subcaption` 的说明文档。

2.1.3 一个图形

一般图形都是处在浮动环境中。之所以称为浮动是指最终排版效果图形的位置不一定与源文件中的位置对应^①，这也是刚使用 `LATEX` 同学可能遇到的问题。如果要强制固定浮动图形的位置，请使用 `float` 宏包，它提供了 `[H]` 参数，比如图 2.1。



图 2.1 插个图插个图

大学之道，在明明德，在亲民，在止于至善。知止而后有定；定而后能静；静而后能安；安而后能虑；虑而后能得。物有本末，事有终始。知所先后，则近道矣。古之欲明明德于天下者，先治其国；欲治其国者，先齐其家；欲齐其家者，先修其身；欲修其身者，先正其心；欲正其心者，先诚其意；欲诚其意

^① This is not a bug, but a feature of `LATEX`!



同濟大學

(a) 第一个小图形

(b) 第二个小图形。如果标题很长的话，它会自动换行，这个 caption 就是这样的例子

图 2.2 包含子图形的大图形

者，先致其知；致知在格物。物格而后知至；知至而后意诚；意诚而后心正；心正而后身修；身修而后家齐；家齐而后国治；国治而后天下平。自天子以至于庶人，壹是皆以修身为本。其本乱而未治者否矣。其所厚者薄，而其所薄者厚，未之有也！

——《大学》

2.1.4 简单子图

如果多个图形相互独立，并不共用一个图形计数器，那么用 `minipage` 或者 `parbox` 就可以。否则，请参看图 2.2，它包含两个小图，分别是图 2.2(a) 和图 2.2(b)。推荐使用 `\subcaption`，不要再用 `\subfloat`，`\subfigure` 和 `\subtable` 了。

古之学者必有师。师者，所以传道受业解惑也。人非生而知之者，孰能无惑？惑而不从师，其为惑也，终不解矣。生乎吾前，其闻道也固先乎吾，吾从而师之；生乎吾後，其闻道也亦先乎吾，吾从而师之。吾师道也，夫庸知其年之先後生於吾乎！是故无贵无贱无长无少，道之所存，师之所存也。

嗟乎！师道之不传也久矣，欲人之无惑也难矣。古之圣人，其出人也远矣，犹且从师而问焉；今之众人，其下圣人也亦远矣，而耻学於师。是故圣益圣，愚益愚。圣人之所以为圣，愚人之所以为愚，其皆出於此乎？爱其子，择师而教之，於其身也，则耻师焉，惑焉。彼童子之师，授之书而习其句读者，非吾所谓传其道、解其惑者也。句读之不知，惑之不解，或师焉，或不焉，小学而大遗，吾未见其明也。巫医、乐师、百工之人不耻相师，士大夫之族曰“师”曰“弟子”之云者，则群聚而笑之。问之，则曰：彼与彼年相若也，道相似也，位卑则足羞，官盛则近谀。呜呼！师道之不复，可知矣。巫医、乐师、百工之人。吾子不齿，今其智乃反不能及，其可怪也欤！圣人无常师。孔子师郯子、苌子、师襄、老聃。郯子之徒，其贤不及孔子。孔子曰：“三人行，必有我师。”是故弟子不必不如师，师不必贤於弟子。闻道有先後，术业有专攻，如是而已。

2.1.5 复杂子图要注意遮挡

使用子图的方法如图 2.3 所示，使用 `subcaptionbox` 环境设置每一个子图，注意 `subcaptionbox` 其后需要有括号，以及子图换行时需要使用 `vskip`，以免下一排子图会对上一排子图的图名造成遮挡。



图 2.3 多子图用 `subcaptionbox`

2.1.6 多个图形独立

如果要把编号的两个图形并排，那么小页就非常有用，如图 2.5：

李氏子蟠，年十七，好古文、六艺，经传皆通习之，不拘於时，学於余。余嘉其能行古道，作师说以贻之。

——韩愈（唐）



图 2.4 并排第一个图



图 2.5 并排第二个图

2.1.7 插图大原则

同志们，如果遇到问题一定要会搜索，要么看别人的问答，要么看宏包的文档，希望你不要成为重度伸手党。一点微小的工作，谢谢大家。

2.2 插入pdf格式图片的问题

在 \LaTeX 中插入高清图片一般有两种方式：1) 插入 `eps` 矢量图，2) 插入 `pdf` 格式图片。在模板测试过程中遇到一个插入 `pdf` 格式图片的问题。

问题描述

插入 `pdf` 格式的图，有时采用 XeLaTeX 编译后，插图被翻转 90 度。有时却不会出现该问题。问题图片如图 2.6 所示。

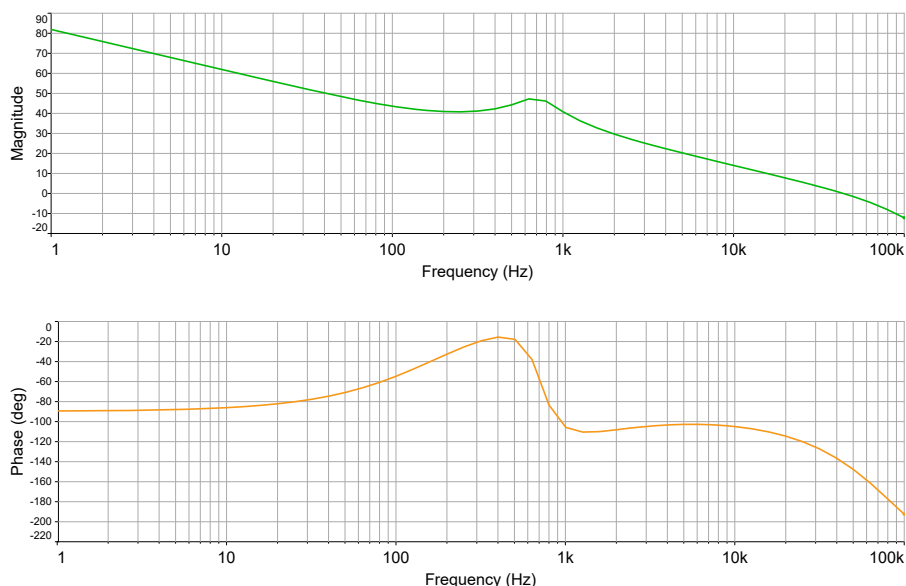


图 2.6 被自动翻转的bode图

问题原因

同一幅图片， XeLaTeX 编译出现图片翻转，而 pdfLaTeX 编译，输出正常。原因可能是出现在 XeLaTeX 编译过程中会将有些 `pdf` 文件自身多余的旋转命令编译出来。

问题解决方法

第一种方法（抄自刘海洋大牛的方案）：使用命令

`pdfcrop foo.pdf foo-new.pdf`，当然，新文件名可以和旧文件名相同。这个方法的好处就是 `pdfcrop` 是 `texlive` 自带的，我装的是 `texlive2017`，因此自带了。

第二种方法：采用GhostScript软件消除多余的旋转命令。

1. 下载安装 GhostScript 软件，官网为<https://www.ghostscript.com/download/gsdnld.html/>
2. 将安装后的bin文件夹地址加入用户环境变量，在我电脑上为
D:\Program Files\gs\gs9.22\bin
3. cmd 命令行进入想转换图片所在文件夹，执行命令
gswin32c -sDEVICE=pdfwrite -o newname.pdf previousname.pdf 得到一个去除多余旋转命令的 newname.pdf 文件。
4. 在 \LaTeX 中插入该 pdf 文件，XeLaTeX 编译。

处理之后的图片如图 2.7 所示。

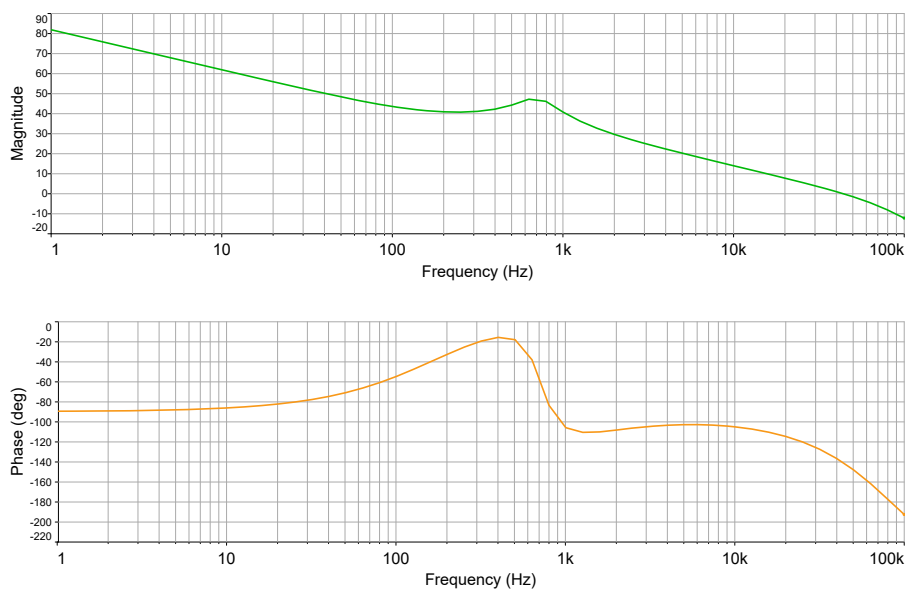


图 2.7 处理后的bode图

第3章 nihoa

3.1 4+k维理论和基于度规的约束

本章将首先以卡鲁查-克莱因(KK)理论为引, 介绍额外维的基本假设和计算方法。^[12,26]

3.1.1 KK理论

本节介绍卡鲁查克莱因(Kaluza-Klein)理论,即KK理论。该理论是二十世纪初由卡鲁查提出^[26], 并经过克莱因等人的发展而成型的一个五维时空理论^[27]。在这一理论中, 通过引入一个额外的空间维度, 来尝试统一电磁力和引力。我们首先给出KK理论的基本假设, 随后计算它的四维有效作用量。本节通过KK理论引出下文的内容, 故将略去计算过程, 读者可阅读本章第二节, 一般4+k维的相关计算, 仿照过程, 容易复现本节的结论。

这一理论包含两个基本假设^[28]:

- 1)我们的时空是一维时间加四维空间, 其中额外维度具有圆形拓扑 S^1 , 是紧致的, 周期性的, 即是半径为普朗克(Plank)长度的圆环($r_c = l_p \sim 10^{-33}cm$)。

Kaluza 最初的假设纯粹是广义相对论的经典扩展, 这导致额外维理论面临着一个重要的问题: 为什么在自然界和实验室中观测不到额外的维度? 最初的模型回避了这个问题, 只是简单地假定所有度规关于第五维的导数都为零。亦即物理学现象发生在五维宇宙中的一个四维超曲面上, 但这并没有解释为什么物理学现象只依赖于前四个坐标。额外维的紧化机制就是为解决这一问题而产生的, 是用以合理地消除额外维的宏观影响以符合实验观测的机制。额外维度的紧致化(又称紧化)定义为: 额外维空间是一个紧致集(在本文考虑的范围内等价于有界闭集), 这与宏观的无界三维空间截然不同。如果半径 r 足够小, 基态以上的所有傅里叶模式的能量都可以变得非常高。在现有的实验中, 标量场无法达到这样的激发态, 所以不能被观测到, 除非是在极早期的宇宙中。该假设在KK中十分必要, 且是将五维理论还原至四维时空并得到四维作用量和运动方程的基础

- 2)五维世界只存在引力, 相应的作用量为:

$$S = \frac{\hat{M}^3}{2} \int d^4x dy \sqrt{-\hat{g}} \hat{R} \quad (3.1)$$

在本文中我们使用尖帽上标表示全时空的量。 $\hat{M}, \hat{g}, \hat{R}$ 分别代表五维时空中的引力能标，度规行列式和曲率标量。希腊字母 μ, ν 代表四维时空中的指标。

我们采用常用的参数化^[29]:

$$\begin{aligned}\hat{g}_{\mu\nu} &= e^{2\alpha\phi} g^{\mu\nu} + e^{2\beta\phi} A_\mu A_\nu \\ \hat{g}_{\mu 5} &= e^{2\beta\phi} A_\mu \\ \hat{g}_{55} &= e^{2\beta\phi}\end{aligned}\quad (3.2)$$

即可得到线元:

$$d\hat{S}^2 = e^{2\alpha\phi} g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu + e^{2\beta\phi} (dy + A_\mu dx^\mu)^2 \quad (3.3)$$

其中 α, β 为待定系数，我们考虑设^[29]:

$$\alpha^2 = \frac{1}{12} \quad \beta = -2\alpha \quad (3.4)$$

即可计算得到其五维曲率标量形式 \hat{R} ，带入作用量(3.1),即可得到:

$$S = \frac{1}{2} \hat{M}^3 \int d^4x dy \sqrt{-g} (R - \frac{1}{2} \nabla^\mu \phi \nabla_\mu \phi - \frac{1}{4} e^{6\alpha\phi} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}) \quad (3.5)$$

可以将y直接积分，得到四维有效作用量:

$$S = \frac{1}{2} M_{Pl}^2 \int d^4x dy \sqrt{-g} (R - \frac{1}{2} \nabla^\mu \phi \nabla_\mu \phi - \frac{1}{4} e^{6\alpha\phi} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}) \quad (3.6)$$

至此我们可以看出，KK理论将广义相对论作为真空中的五维理论，当五维理论还原至四维时空时，可以自然地产生四维时空的爱因斯坦场方程和电磁场的麦克斯韦方程。。这表明，四维时空中的物质，比如电磁场可以从五维时空的几何结构中产生。四维时空的观测者能够发现第五个维度紧致化带来的效应，即电磁场。借助这种方法，可以将引力与电磁力结合在一起，从而统一了引力相互作用和电磁相互作用。并且该理论将五维能标与四维普朗克能标结合在了一起($M_{Pl}^2 = 2\pi r_c \hat{M}^3$),因为额外维半径极小，我们可以从一个很小的五维能标得到一个较大的四维有效能标，利用这一点我们可以解决标准模型中的层次问题。

然而KK理论也存在着巨大的缺陷，首先是随着强相互作用和弱相互作用的发现，KK理论不再适用于进一步的统一工作。其次如果我们采用KK理论的紧致化(S^1)，由五维费米场得到的四维有效作用量将不是一个手征理论。随后的工作对其做出修改，例如Rubakov和Shaposhnikov等人的工作^[30]，本文在此不再详述。

3.1.2 4+k维度规的一般形式

在研究4+k维理论是，我们采取如下假设：

- 1) 广义相对性(GR)假设：高维理论与降维后的四维有效理论都是由爱因斯坦广义相对论描述的，它们分别对应 4+k 维和 4 维爱因斯坦-希尔伯特作用量。广义相对论假设是第三章中卡鲁查-克莱因模型的直接推广，是基于紧致化额外维度的统一理论的思想基础。
- 2) 平坦性假设：宏观的 3+1 维度规在空间上是平坦的。4 维理论的空间平坦条件来自于宇宙学观测，例如 WMAP、普朗克卫星等。
- 3) 有界性假设：假设额外维流形 \mathcal{M} 是紧致的，即额外的 M 个维度是有界的且闭的。额外维度的有界条件来自于讨论约束条件的需求，因为相关的讨论依赖于在流形紧致化维度上的积分和弯曲因子(wrap factor)，从而要求有界性来保证积分的存在性。
- 4) 度规假设：额外维的度规满足里奇平坦(RF)或共形里奇平坦(CRF)。度规条件来自于已有的研究中额外维理论模型的常见结构，尤其是弦理论。卡鲁查-克莱因模型、兰德尔-桑德鲁姆(Randall-Sundrum)模型和基于卡拉比-丘流形的模型满足 RF。CRF 类型的度规见于弯曲的卡拉比-丘和共形卡拉比-丘度规。对 RF 和 CRF 的约束在额外维度的数量和它们适用的范围方面略有不同。然而，这些差异并不影响与卡鲁查-克莱因模型、弦理论、M 理论等相关的具体实例的结论，因此本文主要涉及 CRF 模型的细节，RF 的情况容易从 CRF 的情况得出。

由此我们可以得出，4+k维度规可以表示为^[31-32]：

$$g_{MN}^{4+k} dX^M dX^N = e^{2\Omega(t,y)} h_{\mu\nu}^{(4)}(t) dx^\mu dx^\nu + g_{\alpha\beta}^k(t,y) dy^\alpha dy^\beta \quad (3.7)$$

其中， X^M 表示4+k维时空中的坐标，其中 $M, N...$ 是表示坐标分量的具体指标， $A, B...$ 是表示4+k 维时空中矢量的抽象指标。4+k 维时空包括 1 个时间维度，3 个宏观维度和 k 个紧致化额外维度。其中 t 表示时间坐标， x 表示三个宏观维度上的坐标， y 表示紧致化额外维度上的坐标。希腊字母 μ, ν 和 $\alpha, \beta...$ 分别表示三个宏观维度和 k 个紧致化额外维度中坐标分量的具体指标。拉丁字母 $m, n...$ 和 $a, b...$ 分别表示三个大维度和 k 个紧致化额外维度上的矢量的抽象指标。我们将在本论文全文中使用该系列符号，且不再重复介绍。

$h_{\mu\nu}^{(4)}$ 是描述降维后的四维宇宙度规，它与爱因斯坦标架度规由共形变换联系。由于目标的爱因斯坦标架度规是一个平坦的 FRW 度规， $h_{\mu\nu}^{(4)}$ 应具有以下形

式:

$$h_{\mu\nu}^{(4)} dx^\mu dx^\nu = -N(t)^2 dt^2 + A(t)^2 \sum_{n=1}^3 (dx^n)^2 \quad (3.8)$$

$g_{\alpha\beta}^{(k)}$ 是额外维空间 \mathcal{M} 的度规。它可以以任意方式依赖于额外维坐标 y^α ，和时间，但宇宙学原理要求宏观维度的均匀和各向同性导致 $g_{\alpha\beta}^{(k)}$ 不能依赖于 X^N 。

此外，因为 k 维紧化流形与一维紧化流形不同，其内禀曲率可以不为零(一维流形的内禀曲率只能是零)，还有一个满足宇宙学原理要求的弯曲因子 $\Omega(t, y)$ 。 $g_{\alpha\beta}^{(k)}$ 可进一步写成:

$$g_{\alpha\beta}^{(k)}(t, y) = e^{-2\Omega(t, y)} h_{\alpha\beta}^{(k)}(t, y) \quad (3.9)$$

$h_{\mu\nu}^{(k)}$ 在紧化维度上里奇标量曲率为零，即 $R = 0$ ，但里奇张量 R_{ab} 不必为零。 Ω 为常数时对应于 RF， $\Omega(t, y)$ 对应于 CRF。这一度规具有一般性，可以涵盖一系列具体的额外维模型理论。但在计算时十分复杂，我们在下文中采用正交标架法^[31,33]。此处首先将度规转化为用正交归一基矢 e^A 表示的形式，原始度规转化为新标架中的闵氏度规 η :

$$g_{MN}^{4+k} dX^M \otimes dX^N = \eta e^A \otimes e^B \quad (3.10)$$

正交归一基矢选择如下:

$$\begin{aligned} e^0 &= e^{\Omega(t, y)} N(t) dt \\ e^m &= e^{\Omega(t, y)} A(t) dx^\mu \\ e^a &= e_\alpha^a(t, y) dy^\alpha \end{aligned} \quad (3.11)$$

其中 $e_\alpha^a(t, y)$ 满足:

$$\eta_{\alpha\beta} e_\alpha^a(t, y) e_\beta^b(t, y) = g_{\alpha\beta}^k(t, y) \quad (3.12)$$

正如上文提到的， $g_{\alpha\beta}^k(t, y)$ 的具体形式依赖于理论模型的选择，因而在研究一般性的结论时是任意的。虽然 $g_{\alpha\beta}^k(t, y)$ 的具体形式未知，但是为了研究额外维随时间的演化，可以将上述正交归一基矢随时间的变化率 $\partial e^\alpha / \partial t$ 在紧致化流形 \mathcal{M} 的切空间中分解，即投影到各个正交归一基矢上，并将它们分解为反对称部分 w_{ab} ，迹部分 ξ 和剪切部分 σ_{ab} :

$$\frac{\partial e^a}{\partial t} = \xi^a_b e^b = (w_{ab} + \frac{\delta_{ab}}{k} \xi + \sigma_{ab}) e^b \quad (3.13)$$

我们有自由度去进行基矢的旋转变换，我们可以选择 $w_{ab} = 0$ ，从而使得 ξ_{ab} 的反对称部分为零:

$$\frac{\partial e^a}{\partial t} = \xi^a_b e^b = (\frac{\delta^a_b}{k} \xi + \sigma_{ab}) e^b = \xi^a_b e_\alpha^b(t, y) dy^\alpha \quad (3.14)$$

因为y对t求导为零，进一步有：

$$\frac{\partial e^a{}_\alpha(t, y)}{\partial t} = \xi^a{}_b e^b{}_\alpha(t, y) \quad (3.15)$$

根据式(3.12)和(3.15)容易得出：

$$\frac{1}{2} \frac{\partial g_{\alpha\beta}^{(k)}}{\partial t} = \frac{1}{k} \xi g_{\alpha\beta}^{(k)} + \sigma_{\alpha\beta} \quad (3.16)$$

该式对后续的推导十分有用， ξ 可以理解为额外维变化的“速度”。

3.1.3 里奇张量和曲率标量

本节将直接给出里奇张量和曲率标量。具体计算过程我们在附录中推导。此处简单阐明，正交归一基矢上节已经给出，我们首先使用嘉当第一结构方程计算非零的联络1形式，然后计算曲率2形式，最后得出里奇张量和曲率标量。曲率张量如下^[31]：

$$R_{0m0n} = \left[\frac{e^{-2\Omega}}{N^2} \left(-\frac{\ddot{A}}{A} + \frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} - \ddot{\Omega} - \frac{\dot{A}}{A}\dot{\Omega} + \frac{\dot{N}}{N}\dot{\Omega} \right) + (\partial\Omega)^2 \right] \delta_{mn} \quad (3.17)$$

$$R_{mnr s} = \left[\frac{e^{-2\Omega}}{N^2} \left(\frac{\dot{A}}{A} + \dot{\Omega} \right)^2 - (\partial\Omega)^2 \right] (\delta_{mr}\delta_{ns} - \delta_{ms}\delta_{nr}) \quad (3.18)$$

$$R_{0a0b} = \frac{e^{-2\Omega}}{N^2} \left[-\dot{\xi}_{ab} - \xi_{ac}\xi^c{}_b + \left(\frac{\dot{N}}{N} + \dot{\Omega} \right) \xi_{ab} \right] + \dot{\nabla}_b \partial_a \Omega + \partial_a \Omega \partial_b \Omega \quad (3.19)$$

$$R_{0abc} = \frac{e^{-\Omega}}{N} \left(\dot{\nabla}_c \xi_{ab} - \dot{\nabla}_b \xi_{ac} + \partial_b \Omega \xi_{ac} - \partial_c \Omega \xi_{ab} \right) \quad (3.20)$$

$$R_{manb} = \left[\frac{e^{-2\Omega}}{N^2} \left(\frac{\dot{A}}{A} + \dot{\Omega} \right) \xi_{ab} - \dot{\nabla}_b \partial_a \Omega - \partial_a \Omega \partial_b \Omega \right] \delta_{mn} \quad (3.21)$$

$$R_{abcd} = \dot{R}_{abcd} + \frac{e^{-2\Omega}}{N^2} (\xi_{ac}\xi_{bd} - \xi_{ad}\xi_{bc}) \quad (3.22)$$

$$R_{0man} = -\frac{e^{-\Omega}}{N} \frac{d\partial_a \Omega}{dt} \delta_{mn} \quad (3.23)$$

里奇张量如下：

$$R_{00} = \frac{e^{-2\Omega}}{N^2} \left[-3\frac{\ddot{A}}{A} + 3\frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} - 3\ddot{\Omega} - 3\frac{\dot{A}}{A}\dot{\Omega} + 3\frac{\dot{N}}{N}\dot{\Omega} - \dot{\xi} - \xi_{ab}\xi^{ab} + \left(\frac{\dot{N}}{N} + \dot{\Omega} \right) \xi \right] + 4(\partial\Omega)^2 + \dot{\Delta}\Omega \quad (3.24)$$

$$R_{mn} = \frac{e^{-2\Omega}}{N^2} \left[\frac{\ddot{A}}{A} - \frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} + 2\left(\frac{\dot{A}}{A} \right)^2 + \left(\frac{\dot{A}}{A} + \dot{\Omega} \right) \xi + \ddot{\Omega} + 5\frac{\dot{A}}{A}\dot{\Omega} - \frac{\dot{N}}{N}\dot{\Omega} + 2\dot{\Omega}^2 \right] \delta_{mn} - [\dot{\Delta}\Omega + 4(\partial\Omega)^2] \delta_{mn} \quad (3.25)$$

$$R_{ab} = \dot{R}_{ab} + \frac{e^{-2\Omega}}{N^2} \left[\dot{\xi}_{ab} + \left(3\frac{\dot{A}}{A} - \frac{\dot{N}}{N} + 2\dot{\Omega} \right) \xi_{ab} + \xi \xi_{ab} \right] - 4 \left(\dot{\nabla}_a \partial_b \Omega + \partial_a \Omega \partial_b \Omega \right) \quad (3.26)$$

$$R_{0a} = \frac{e^{-\Omega}}{N} \left[-3\partial_a \dot{\Omega} + \nabla_b (e^{\Omega} \xi^b{}_a) - \nabla_a (e^{\Omega} \xi) \right] \quad (3.27)$$

曲率标量:

$$\begin{aligned} R = \dot{R} + \frac{e^{-2\Omega}}{N^2} & \left[6 \left(\frac{\ddot{A}}{A} - \frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} + \left(\frac{\dot{A}}{A} \right)^2 \right) + 6 \left(\ddot{\Omega} + 3\frac{\dot{A}}{A}\dot{\Omega} - \frac{\dot{N}}{N}\dot{\Omega} + \dot{\Omega}^2 \right) \right. \\ & \left. + \frac{n+1}{n} \xi^2 + \sigma^2 + 2\frac{Ne^{-2\Omega}}{A^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{A^3 e^{-2\Omega}}{N} \xi \right) \right] - 20(\partial\Omega)^2 + 8\dot{\Omega}^2 \end{aligned} \quad (3.28)$$

3.1.4 约当标架和爱因斯坦标架

本节中我们讨论约当标架与爱因斯坦标架的异同，并给出在爱因斯坦标架中的里奇张量与曲率标量。

假设高维空间只有引力，即有高维希尔伯特作用量:

$$\mathbb{S} = \frac{1}{2} \int R \sqrt{-g} dt d^3 x d^k y \quad (3.29)$$

其中 R 由上节式(3.28)给出，而 g :

$$g = \begin{vmatrix} -e^{2\Omega} N^2(t) & & & \\ & e^{2\Omega} A^2(t) & & \\ & & e^{2\Omega} A^2(t) & \\ & & & e^{2\Omega} A^2(t) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} e^1 & \dots & e^k \end{vmatrix} \quad (3.30)$$

$$= -e^{8\Omega} N^2(t) A^6(t) [\det(e_M)]^2 \quad (3.31)$$

其中 $\det(e_M)$ 是紧致化流形 \mathcal{M} 度规的正交归一基矢组成的矩阵行列式，则作用量可以进一步写为:

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \int R \sqrt{-g} dt d^3 x d^k y \\ &= \frac{1}{2} \int \left\{ \dot{R} + \frac{e^{-2\Omega}}{N^2} \left[6 \left(\frac{\ddot{A}}{A} - \frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} + \left(\frac{\dot{A}}{A} \right)^2 \right) + 6 \left(\ddot{\Omega} + 3\frac{\dot{A}}{A}\dot{\Omega} - \frac{\dot{N}}{N}\dot{\Omega} + \dot{\Omega}^2 \right) + \frac{n+1}{n} \xi^2 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sigma^2 + 2\frac{Ne^{-2\Omega}}{A^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{A^3 e^{-2\Omega}}{N} \xi \right) \right] - 20(\partial\Omega)^2 + 8\dot{\Omega}^2 \right\} e^{4\Omega} N(t) A^3(t) [\det(e_M)] dt d^3 x d^k y \\ &= \frac{1}{2} \int \left(\int e^{2\Omega} \det(e_M) d^k y \right) 6 \left(\frac{\ddot{A}}{A} - \frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} + \left(\frac{\dot{A}}{A} \right)^2 \right) \frac{A^3}{N} dt dx^3 + \dots \end{aligned} \quad (3.32)$$

其中四维平直FRW度规的里奇标量:

$$R_{FRW} = -6 \left[\frac{\ddot{A}}{A} - \frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} + \left(\frac{\dot{A}}{A} \right)^2 \right] \quad (3.33)$$

与额外维部分($\int e^{2\Omega} \det(e_M) d^k y$)耦合, 且额外维部分不是常数, 且该部分在后续的讨论中, 我们可以直接将其视为一个标量场。我们将 R 与标量场 $f(\phi)$ 相乘, 即标量场与标量场直接耦合的坐标系称为约当标架(Jordan frame)。我们可以通过一个共型变换得到作用量的标准形式, 即四维作用量用爱因斯坦希尔伯特作用量来描述, 此时的坐标系称为爱因斯坦标架(Einstein frame)。约当标架与爱因斯坦标架只是涉及标量张量引力理论时的两种表述形式, 二者在物理意义上有所不同。在约当标架中自由粒子沿测地线运动, 场方程不具有爱因斯坦场方程形式, 而在爱因斯坦标架中, 自由粒子不沿测地线运动, 场方程具有爱因斯坦场方程形式。约当标架通常用于计算可观察效应, 爱因斯坦标架通常用于场方程推导与理论推导。^[34]

$$g_{JF} = \Omega^2 g_{EF} \quad (3.34)$$

上式 Ω 为共型变换因子, 需与卷曲因子区分。对于本节的作用量, 式(3.32), 我们为了研究4+k维还原为4维时空后的动力学, 需要将其变换到爱因斯坦标架中。设爱因斯坦标架的尺度因子 $a(t)$ 和 $n(t)$ 具有如下形式:

$$a(t) = e^{\phi/2} A(t) \quad (3.35)$$

$$n(t) = e^{\phi/2} N(t) \quad (3.36)$$

带入作用量式(3.32)中:

$$S = \frac{1}{2} \int \left(\int e^{2\Omega} \det(e_M) d^k y \right) 6 \left(\frac{\ddot{A}}{A} - \frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} + \left(\frac{\dot{A}}{A} \right)^2 \right) \frac{A^3}{N} dt dx^3 + \dots \quad (3.37)$$

$$= \frac{1}{2} \left(\int e^{2\Omega} \det(e_M) d^k y \right) e^{-\phi} 6 \left(\frac{\ddot{A}}{A} - \frac{\dot{A}\dot{N}}{AN} + \left(\frac{\dot{A}}{A} \right)^2 \right) \frac{A^3}{N} dt dx^3 + \dots \quad (3.38)$$

为使得 R 与 ϕ 解耦, e^ϕ 应取:

$$e^\phi = \frac{1}{l_{4+k}^k} \int e^{2\Omega(t,y)} \det(e_M) d^k y \quad (3.39)$$

其中 l_{4+k}^k 是4+k维普朗克长度, 用于无量纲化。 e^ϕ 正比于以4+k维普朗克长度衡量的紧致化空间的体积, 此处对于后续理论构建十分重要。

我们采用(3.36), 将约当标架中的里奇张量与曲率标量转化到爱因斯坦标架中^[31]:

$$R_{00} = \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[-3 \frac{\ddot{a}}{a} + 3 \frac{\dot{a}\dot{n}}{an} - \frac{k+2}{2k} \xi_0^2 - \sigma^2 - \frac{1}{k} \xi_\perp^2 + \dot{\Omega} \xi_\perp + \frac{1}{2} \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \xi_0 \right) \right. \\ \left. - 3\ddot{\Omega} - 3 \frac{\dot{a}}{a} \dot{\Omega} + 3 \frac{\dot{n}}{n} \dot{\Omega} + \dot{\Omega} \xi_0 - \dot{\xi}_\perp - \frac{k+2}{2k} \xi_0 \xi_\perp + \frac{\dot{n}}{n} \xi_\perp \right] + 4(\delta\Omega)^2 + \dot{\Delta}\Omega \quad (3.40)$$

$$R_{mn} = \delta_{mn} \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[\ddot{a} - \frac{\dot{a}\dot{n}}{an} + 2 \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 + \dot{\Omega} \xi_{\perp} - \frac{1}{2} \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \xi_0 \right) + 2\dot{\Omega}^2 + \ddot{\Omega} + 5 \frac{\dot{a}}{a} \dot{\Omega} - \frac{\dot{n}}{n} \dot{\Omega} - \dot{\Omega} \xi_0 + \frac{\dot{a}}{a} \xi_{\perp} - \frac{1}{2} \xi_0 \xi_{\perp} \right] - \delta_{mn} [4(\delta\Omega)^2 - \dot{\Delta}\Omega] \quad (3.41)$$

$$R_{ab} = \delta_{ab} \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[\frac{1}{k} \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \xi_0 \right) + \frac{1}{k} \xi_{\perp}^2 + \frac{2}{k} \xi_{\perp} \dot{\Omega} + \frac{1}{k} \xi_0 \xi_{\perp} + \frac{2}{k} \xi_0 \dot{\Omega} + \frac{1}{k} \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \xi_{\perp} \right) \right] + \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[\frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \sigma_{ab} \right) + \xi_{\perp} \sigma_{ab} + 2\dot{\Omega} \sigma_{ab} \right] \quad (3.42)$$

$$R = \ddot{R} - 8\dot{\Delta}\Omega - 20(\partial\Omega)^2 + \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[6 \left(\ddot{a} - \frac{\dot{a}\dot{n}}{an} + \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 \right) - \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \xi_0 \right) + \frac{k+2}{2k} \xi_0^2 + \sigma^2 + \frac{k+1}{k} \xi_{\perp}^2 + 4\xi_{\perp} \dot{\Omega} + 6\dot{\Omega}^2 + 2 \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \xi_{\perp} \right) + 6 \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \dot{\Omega} \right) - 2\dot{\Omega} \xi_0 + \frac{2}{k} \xi_0 \xi_{\perp} \right] \quad (3.43)$$

此处只需将式第三节中给出的公式直接代换，计算量较大但并不困难，读者可自证。

3.1.5 紧致化流行上的平均值

3.1.6 基于度规的约束

能动张量决定时空的弯曲，但爱因斯坦场方程并没有提供关于能动张量的具体形式的信息。与爱因斯坦张量相比，因为宇宙中物质的高度复杂性，人们对于能动张量的认知是非常有限的。然而，虽然不能确定一个普适的能动张量，但是根据对各种已知物质场的观察和物理上的考虑，一般认为能动张量必须满足若干(在经典范畴内)合理的条件。利用这些基本条件，在不知道能动张量的具体形式时也可以得出有意义的结果。^[33,35]。这些基本条件包含弱能量条件，强能量条件，零能量条件，主能量条件等，本文主要介绍零能量条件(Null energy condition, NEC)，其定义为对任意指向未来的类光矢量场 k^a ，满足：

$$T_{ab} k^a k^b \geq 0 \quad (3.44)$$

其形式也可等价的写为： $\rho + p_i \geq 0$ ，NEC是各类能量条件中要求最宽松的，NEC的遵循意味着时空因果性和稳定性。违背NEC即意味着违背其他能量条件，因为本文试图探索用额外维解释暗能量的可能性，所以此处采用NEC。

对于4+k维时空的，其违反NEC的判据应为：

$$\rho + p_3 \leq 0 \quad \rho + p_k \leq 0 \quad (3.45)$$

其中 p_3, p_k 如下，且使用 T_{AB} 表示能量动量张量：

$$p_3 = \frac{1}{3} \delta^{mn} T_{mn} \quad p_k = \frac{1}{k} \delta^{ab} T_{ab} \quad (3.46)$$

因为 T_{AB} 在时空中的连续性，我们使用平均值来表述NEC条件，如果存在时空点和平均值A，使得：

$$\langle \rho + p_3 \rangle_A \leq 0 \quad \langle \rho + p_k \rangle_A \leq 0 \quad (3.47)$$

则违反NEC。该条件并不是充要的，即满足NEC不能得出 $\langle \rho + p_3 \rangle_A \geq 0, \langle \rho + p_k \rangle_A \geq 0$ 恒成立，因本文研究额外维解释暗能量的可能性，此处采用较为宽松的条件。

我们将爱因斯坦标架中的里奇标量和曲率标量带入场方程容易得出爱因斯坦张量：

$$G_{00} = \frac{1}{2} \ddot{R} - 3 \dot{\Delta} \Omega - 6 (\partial \Omega)^2 + \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[3 \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 - \frac{k+2}{4k} (\xi_0 + \xi_\perp)^2 - \frac{1}{2} \sigma^2 \right] \quad (3.48)$$

$$G_{mn} = -\frac{1}{2} \delta_{mn} \ddot{R} + 3 \delta_{mn} \dot{\Delta} \Omega + 6 \delta_{mn} (\partial \Omega)^2 + \delta_{mn} \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[-2 \frac{\ddot{a}}{a} + 2 \frac{\dot{a}\dot{n}}{an} - \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 - \frac{k+2}{4k} (\xi_0 + \xi_\perp)^2 - \frac{1}{2} \sigma^2 \right] \quad (3.49)$$

$$G_{ab} = \ddot{R}_{ab} - \frac{1}{2} \delta_{ab} \ddot{R} - 4 \dot{\nabla}_a \dot{\nabla}_b \Omega + 4 \delta_{ab} \dot{\Delta} \Omega - 4 \partial_a \Omega \partial_b \Omega + 10 \delta_{ab} (\partial \Omega)^2 + \delta_{ab} \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[-3 \frac{\ddot{a}}{a} + 3 \frac{\dot{a}\dot{n}}{an} - 3 \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 - \frac{k+2}{4k} (\xi_0 + \xi_\perp)^2 - \frac{1}{2} \sigma^2 \right] + \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[\delta_{ab} \frac{k+2}{2k} \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} [\xi_0 + \xi_\perp] \right) + \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} \sigma_{ab} \right) \right] \quad (3.50)$$

进一步可以写出 ρ, p_3 和 p_k ：

$$\rho = G_{00} = \frac{1}{2} \ddot{R} - 3 \dot{\Delta} \Omega - 6 (\partial \Omega)^2 + \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[3 \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 - \frac{k+2}{4k} (\xi_0 + \xi_\perp)^2 - \frac{1}{2} \sigma^2 \right] \quad (3.51)$$

$$p_3 = \frac{1}{3} \delta^{mn} G_{mn} = -\frac{1}{2} \dot{R} + 3 \dot{\Omega} + 6(\partial\Omega)^2 + \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[-2\frac{\ddot{a}}{a} + 2\frac{\dot{a}\dot{n}}{an} - \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 - \frac{k+2}{4k} (\xi_0 + \xi_\perp)^2 - \frac{1}{2}\sigma^2 \right] \quad (3.52)$$

$$p_k = \frac{1}{k} \delta^{ab} G_{ab} = \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{2}\right) \dot{R}_{ab} + 4\left(1 - \frac{1}{k}\right) \dot{\Omega} - \left(10 - \frac{4}{k}\right) (\partial\Omega)^2 + \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[-3\frac{\ddot{a}}{a} + 3\frac{\dot{a}\dot{n}}{an} - 3\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 - \frac{k+2}{4k} (\xi_0 + \xi_\perp)^2 - \frac{1}{2}\sigma^2 \right] + \frac{e^{-2\Omega+\phi}}{n^2} \left[\delta_{ab} \frac{k+2}{2k} \frac{n}{a^3} \frac{d}{dt} \left(\frac{a^3}{n} [\xi_0 + \xi_\perp] \right) \right] \quad (3.53)$$

进一步我们使用A平均削掉两侧的指数项，并使用 $n(t) = 1$ ，可以得到：

$$e^{-\phi} \langle e^{2\Omega} (\rho + p_3) \rangle_A = (\rho_{4d} + p_{4d}) - \frac{k+2}{2k} \langle \xi \rangle_A^2 - \frac{k+2}{2k} \langle (\xi - \langle \xi \rangle_A)^2 \rangle_A - \langle \sigma^2 \rangle_A \quad (3.54)$$

$$e^{-\phi} \langle e^{2\Omega} (\rho + p_k) \rangle_A = \frac{1}{2} (\rho_{4d} + 3p_{4d}) + 2\left(\frac{A}{4} - 1\right) \frac{k+2}{2k} \langle \xi \rangle_A^2 - \frac{k+2}{2k} \langle (\xi - \langle \xi \rangle_A)^2 \rangle_A - \langle \sigma^2 \rangle_A + \left[k - 5 + \frac{10}{k} + A\left(\frac{6}{k} - 3\right) \right] \langle e^{2\Omega} (\partial\Omega)^2 \rangle_A + \frac{k+2}{2k} \frac{1}{a^3} \frac{d}{dt} (a^3 \langle \xi \rangle_A) \quad (3.55)$$

NEC要求上式右侧部分不得小于零。这就是CRF情形下的基于度规的约束，读者想要计算RF中的约束，只需令 $\dot{R} = 0$ 再重复上述计算即可。我们将CRF的基于度规的约束整理为^[36]：

$$e^{-\phi} \langle e^{2\Omega} (\rho + p_3) \rangle_A = \rho_{4d}(1+w) - \frac{k+2}{2k} \langle \xi \rangle_A^2 + \text{non-positive terms for all } A \quad (3.56)$$

$$e^{-\phi} \langle e^{2\Omega} (\rho + p_k) \rangle_A = \frac{1}{2} \rho_{4d}(1+3w) + \frac{k+2}{2k} \frac{1}{a^3} \frac{d}{dt} (a^3 \langle \xi \rangle_A) + \text{non-positive terms for } 4 > A > A^*, \quad (3.57)$$

3.1.7 源自额外维的暗能量

致谢

衷心感谢导师 xxx 教授和物理系 xxx 副教授对本人的精心指导。他们的言传身教将使我终生受益。

在美国麻省理工学院化学系进行九个月的合作研究期间，承蒙 xxx 教授热心指导与帮助，不胜感激。感谢 xx 实验室主任 xx 教授，以及实验室全体老师和同学们的热情帮助和支持！本课题承蒙国家自然科学基金资助，特此致谢。

感谢 TONGJITHESIS，它的存在让我的论文写作轻松自在了许多，让我的论文格式规整漂亮了许多。

参考文献

- [1] KNUTH D E. The T_EX Book[M]. 15th. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [2] GOOSENS M, MITTELBAACH F, SAMARIN A. The L^AT_EX Companion[M]. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1994: 112-125.
- [3] GRÖNING P, NILSSON L, RUFFIEUX P, et al. Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology[M]//: vol. 1. American Scientific Publishers, 2004: 547-579.
- [4] KRASNOGOR N. Towards robust memetic algorithms[G]//HART W, KRASNOGOR N, SMITH J. Studies in Fuzziness and Soft Computing: Recent Advances in Memetic Algorithms: vol. 166. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2004: 185-207.
- [5] 阎真. 沧浪之水[M]//. 人民文学出版社, 2001: 185-207.
- [6] 班固. 苏武传[G]//郑在瀛, 汪超宏, 周文复. 新古文观止丛书: 传记散文英华: 第2卷. 武汉: 湖北人民出版社, 1998: 65-69.
- [7] CHAFIK EL IDRISSI M, RONEY A, FRIGON C, et al. Measurements of total kinetic-energy released to the $N = 2$ dissociation limit of H_2 — evidence of the dissociation of very high vibrational Rydberg states of H_2 by doubly-excited states[J]. Chemical Physics Letters, 1994, 224(10): 260-266.
- [8] MELLINGER A, VIDAL C R, JUNGEN C. Laser reduced fluorescence study of the carbon-monoxide nd triplet Rydberg series-experimental results and multichannel quantum-defect analysis[J]. J. Chem. Phys., 1996, 104(5): 8913-8921.
- [9] SHELL M. How to Use the IEEEtran L^AT_EX Class[J]. Journal of L^AT_EX Class Files, 2002, 12(4): 100-120.
- [10] 猪八戒. 论流体食物的持久保存[D]. 北京: 广寒宫大学, 2005.
- [11] JEYAKUMAR A R. Metamori: A library for Incremental File Checkpointing[D]. Blacksburg: Virginia Tech, 2004.
- [12] 沙和尚. 论流沙河的综合治理[D]. 北京: 清华大学, 2005.
- [13] ZADOK E. FiST: A System for Stackable File System Code Generation[D]. USA: Computer Science Department, Columbia University, 2001.
- [14] IEEE Std 1363-2000. IEEE Standard Specifications for Public-Key Cryptography[M]. New York: IEEE, 2000.
- [15] KIM S, WOO N, YEOM H Y, et al. Design and Implementation of Dynamic Process Management for Grid-enabled MPICH[C]//the 10th European PVM/MPI Users' Group Conference. Venice, Italy, 2003.
- [16] KOCHER C, JAFFE J, JUN B. Differential Power Analysis[C]//WIENER M. Lecture Notes in Computer Science: Advances in Cryptology (CRYPTO '99): vol. 1666. Springer-Verlag, 1999: 388-397.
- [17] WOO A, BAILEY D, YARROW M, et al. The NAS Parallel Benchmarks 2.0[R/OL]. The Pennsylvania State University CiteSeer Archives. 1995. <http://www.nasa.org/>.
- [18] 贾宝玉, 林黛玉, 薛宝钗, 等. 论刘姥姥食量大如牛之现实意义[J]. 红楼梦杂谈, 1800, 224: 260-266.
- [19] BOGDAN M, van den BERG E, SABATTI C, et al. SLOPE—Adaptive Variable Selection via Convex Optimization[J]. arXiv preprint arXiv:1407.3824, 2014.
- [20] GOSSMANN A, CAO S, WANG Y P. Identification of Significant Genetic Variants via SLOPE, and Its Extension to Group SLOPE[C]//Proceedings of the 6th ACM Conference on Bioinformatics, Computational Biology and Health Informatics. ACM, 2015: 232-240.

-
- [21] ALBRECHT R F. Topological Approach to Fuzzy Sets and Fuzzy Logic[C]//Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms. Springer, 1999: 1-7.
- [22] ALBRECHT R F. Topological Concepts for Hierarchies of Variables, Types and Controls [M]. Springer, 2001.
- [23] ALBRECHT R F. Topological Theory of Fuzziness[G]//Computational Intelligence. Springer, 1999: 1-11.
- [24] MORIASI D N, ARNOLD J G, VAN LIEW M W, et al. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations[J]. Trans. Asabe, 2007, 50(3): 885-900.
- [25] J C. Of Data and Models.[Z]. <http://www.iwaponline.com/jh/005/jh0050075.htm>. 2003.
- [26] KALUZA T. Zum Unitätsproblem der Physik[J]. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin (Math. Phys.), 1921, 1921: 966-972. arXiv: 1803.08616 [physics.hist-ph].
- [27] KLEIN O. Quantum Theory and Five-Dimensional Theory of Relativity. (In German and English)[J]. Z. Phys., 1926, 37: 895-906.
- [28] LIU Y X. Introduction to extra dimensions and thick braneworlds[J]. Memorial volume for Yi-shi Duan, 2018: 211-275.
- [29] JANA S, KRISHNAN C. A Kaluza–Klein subtractor[J]. Modern Physics Letters A, 2014, 29(16): 1450079.
- [30] ZWIEBACH B. A first course in string theory[M]. Cambridge university press, 2004.
- [31] WESLEY D H. Oxidised cosmic acceleration[J]. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 2009, 2009(01): 041.
- [32] WESLEY D H. New no-go theorems for cosmic acceleration with extra dimensions[J]. arXiv preprint arXiv:0802.2106, 2008.
- [33] 梁灿彬, 周彬, 等. 微分几何入门与广义相对论[M]. 科学出版社, 2009.
- [34] FARAONI V, GUNZIG E. Einstein frame or Jordan frame?[J]. International journal of theoretical physics, 1999, 38(1): 217-225.
- [35] RUBAKOV V A. The null energy condition and its violation[J]. Physics-Uspekhi, 2014, 57(2): 128.
- [36] MONTEFALCONE G, STEINHARDT P J, WESLEY D H. Dark energy, extra dimensions, and the Swampland[J]. Journal of High Energy Physics, 2020, 2020(6): 1-14.

附录 A 外文资料原文

As one of the most widely used techniques in operations research, *mathematical programming* is defined as a means of maximizing a quantity known as *objective function*, subject to a set of constraints represented by equations and inequalities. Some known subtopics of mathematical programming are linear programming, nonlinear programming, multiobjective programming, goal programming, dynamic programming, and multilevel programming^[1].

It is impossible to cover in a single chapter every concept of mathematical programming. This chapter introduces only the basic concepts and techniques of mathematical programming such that readers gain an understanding of them throughout the book^[2,3].

A.1 Single-Objective Programming

The general form of single-objective programming (SOP) is written as follows,

$$\begin{cases} \max f(x) \\ \text{subject to:} \\ g_j(x) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (123)$$

which maximizes a real-valued function f of $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ subject to a set of constraints.

Definition A.1: In SOP, we call x a decision vector, and x_1, x_2, \dots, x_n decision variables. The function f is called the objective function. The set

$$S = \{x \in \mathbb{R}^n \mid g_j(x) \leq 0, j = 1, 2, \dots, p\} \quad (456)$$

is called the feasible set. An element x in S is called a feasible solution.

Definition A.2: A feasible solution x^* is called the optimal solution of SOP if and only if

$$f(x^*) \geq f(x) \quad (\text{A.1})$$

for any feasible solution x .

One of the outstanding contributions to mathematical programming was known as the Kuhn-Tucker conditions A.2. In order to introduce them, let us give some definitions. An inequality constraint $g_j(x) \leq 0$ is said to be active at a point x^* if $g_j(x^*) = 0$. A point x^* satisfying $g_j(x^*) \leq 0$ is said to be regular if the gradient vectors $\nabla g_j(x)$ of all active constraints are linearly independent.

Let x^* be a regular point of the constraints of SOP and assume that all the functions $f(x)$ and $g_j(x)$, $j = 1, 2, \dots, p$ are differentiable. If x^* is a local optimal solution, then there exist Lagrange multipliers λ_j , $j = 1, 2, \dots, p$ such that the following Kuhn-Tucker conditions hold,

$$\begin{cases} \nabla f(x^*) - \sum_{j=1}^p \lambda_j \nabla g_j(x^*) = 0 \\ \lambda_j g_j(x^*) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, p \\ \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p. \end{cases} \quad (\text{A.2})$$

If all the functions $f(x)$ and $g_j(x)$, $j = 1, 2, \dots, p$ are convex and differentiable, and the point x^* satisfies the Kuhn-Tucker conditions (A.2), then it has been proved that the point x^* is a global optimal solution of SOP.

A.1.1 Linear Programming

If the functions $f(x)$, $g_j(x)$, $j = 1, 2, \dots, p$ are all linear, then SOP is called a *linear programming*.

The feasible set of linear is always convex. A point x is called an extreme point of convex set S if $x \in S$ and x cannot be expressed as a convex combination of two points in S . It has been shown that the optimal solution to linear programming corresponds to an extreme point of its feasible set provided that the feasible set S is bounded. This fact is the basis of the *simplex algorithm* which was developed by Dantzig as a very efficient method for solving linear programming.

Roughly speaking, the simplex algorithm examines only the extreme points of the feasible set, rather than all feasible points. At first, the simplex algorithm selects an extreme point as the initial point. The successive extreme point is selected so as to improve the objective function value. The procedure is repeated until no improvement in objective function value can be made. The last extreme point is the optimal solution.

Table 1 This is an example for manually numbered table, which would not appear in the list of tables

Network Topology		# of nodes	# of clients			Server
GT-ITM	Waxman	600	2%	10%	50%	Max. Connectivity
	Transit-Stub					
Inet-2.1		6000				
Xue	Rui	Ni	TONGJITHESIS			
	ABCDEF					

A.1.2 Nonlinear Programming

If at least one of the functions $f(x)$, $g_j(x)$, $j = 1, 2, \dots, p$ is nonlinear, then SOP is called a *nonlinear programming*.

A large number of classical optimization methods have been developed to treat special-structural nonlinear programming based on the mathematical theory concerned with analyzing the structure of problems.



Figure 1 This is an example for manually numbered figure, which would not appear in the list of figures

Now we consider a nonlinear programming which is confronted solely with maximizing a real-valued function with domain \mathcal{R}^n . Whether derivatives are available or not, the usual strategy is first to select a point in \mathcal{R}^n which is thought to be the most likely place where the maximum exists. If there is no information available on which to base such a selection, a point is chosen at random. From this first point an attempt is made to construct a sequence of points, each of which yields an improved objective function value over its predecessor. The next point to be added to the sequence is chosen by analyzing the behavior of the function at the previous points. This construction continues until some termination criterion is met. Methods based upon this strategy are called *ascent methods*, which can be classified as *direct methods*, *gradient methods*, and *Hessian methods* according to the information about the behavior of objective function

f . Direct methods require only that the function can be evaluated at each point. Gradient methods require the evaluation of first derivatives of f . Hessian methods require the evaluation of second derivatives. In fact, there is no superior method for all problems. The efficiency of a method is very much dependent upon the objective function.

A.1.3 Integer Programming

Integer programming is a special mathematical programming in which all of the variables are assumed to be only integer values. When there are not only integer variables but also conventional continuous variables, we call it *mixed integer programming*. If all the variables are assumed either 0 or 1, then the problem is termed a *zero-one programming*. Although integer programming can be solved by an *exhaustive enumeration* theoretically, it is impractical to solve realistically sized integer programming problems. The most successful algorithm so far found to solve integer programming is called the *branch-and-bound enumeration* developed by Balas (1965) and Dakin (1965). The other technique to integer programming is the *cutting plane method* developed by Gomory (1959).

Uncertain Programming (BaoDing Liu, 2006.2)

References

NOTE: these references are only for demonstration, they are not real citations in the original text.

- [1] Donald E. Knuth. The \TeX book. Addison-Wesley, 1984. ISBN: 0-201-13448-9
- [2] Paul W. Abrahams, Karl Berry and Kathryn A. Hargreaves. \TeX for the Impatient. Addison-Wesley, 1990. ISBN: 0-201-51375-7
- [3] David Salomon. The advanced \TeX book. New York : Springer, 1995. ISBN:0-387-94556-3

附录 B 外文资料的调研阅读报告或书面翻译

B.1 单目标规划

北冥有鱼，其名为鲲。鲲之大，不知其几千里也。化而为鸟，其名为鹏。鹏之背，不知其几千里也。怒而飞，其翼若垂天之云。是鸟也，海运则将徙于南冥。南冥者，天池也。

$$p(y|\mathbf{x}) = \frac{p(\mathbf{x}, y)}{p(\mathbf{x})} = \frac{p(\mathbf{x}|y)p(y)}{p(\mathbf{x})} \quad (123)$$

吾生也有涯，而知也无涯。以有涯随无涯，殆已！已而为知者，殆而已矣！为善无近名，为恶无近刑，缘督以为经，可以保身，可以全生，可以养亲，可以尽年。

B.1.1 线性规划

庖丁为文惠君解牛，手之所触，肩之所倚，足之所履，膝之所倚，砉然响然，奏刀騞然，莫不中音，合于桑林之舞，乃中经首之会。

表 1 这是手动编号但不出现在索引中的一个表格例子

Network Topology		# of nodes	# of clients			Server
GT-ITM	Waxman	600	2%	10%	50%	Max. Connectivity
	Transit-Stub					
Inet-2.1		6000				
Xue	Rui	Ni	TONGJITHESIS			
	ABCDEF					

文惠君曰：“嘻，善哉！技盖至此乎？”庖丁释刀对曰：“臣之所好者道也，进乎技矣。始臣之解牛之时，所见无非全牛者；三年之后，未尝见全牛也；方今之时，臣以神遇而不以目视，官知止而神欲行。依乎天理，批大郤，导大窾，因其固然。技经肯綮之未尝，而况大瓠乎！良庖岁更刀，割也；族庖月更刀，折也；今臣之刀十九年矣，所解数千牛矣，而刀刃若新发于硎。彼节者有间而刀刃者无厚，以无厚入有间，恢恢乎其于游刃必有余地矣。是以十九年而刀刃若新发于硎。虽然，每至于族，吾见其难为，怵然为戒，视为止，行为迟，动刀

甚微，諫然已解，如土委地。提刀而立，为之而四顾，为之踌躇满志，善刀而藏之。”

文惠君曰：“善哉！吾闻庖丁之言，得养生焉。”

B.1.2 非线性规划

孔子与柳下季为友，柳下季之弟名曰盗跖。盗跖从卒九千人，横行天下，侵暴诸侯。穴室枢户，驱人牛马，取人妇女。贪得忘亲，不顾父母兄弟，不祭先祖。所过之邑，大国守城，小国入保，万民苦之。孔子谓柳下季曰：“夫为人父者，必能诏其子；为人兄者，必能教其弟。若父不能诏其子，兄不能教其弟，则无贵父子兄弟之亲矣。今先生，世之才士也，弟为盗跖，为天下害，而弗能教也，丘窃为先生羞之。丘请为先生往说之。”



图 1 这是手动编号但不出现索引中的图片的例子

柳下季曰：“先生言为人父者必能诏其子，为人兄者必能教其弟，若子不听父之诏，弟不受兄之教，虽今先生之辩，将奈之何哉？且跖之为人也，心如涌泉，意如飘风，强足以距敌，辩足以饰非。顺其心则喜，逆其心则怒，易辱人以言。先生必无往。”

孔子不听，颜回为馭，子贡为右，往见盗跖。

B.1.3 整数规划

盗跖乃方休卒徒大山之阳，脍人肝而铺之。孔子下车而前，见谒者曰：“鲁人孔丘，闻将军高义，敬再拜谒者。”谒者入通。盗跖闻之大怒，目如明星，发上指冠，曰：“此夫鲁国之巧伪人孔丘非邪？为我告之：尔作言造语，妄称文、武，冠枝木之冠，带死牛之胁，多辞缪说，不耕而食，不织而衣，摇唇鼓舌，擅生是非，以迷天下之主，使天下学士不反其本，妄作孝弟，而侥幸于封侯富贵者也。子之罪大极重，疾走归！不然，我将以子肝益昼铺之膳。”

附录 C 其它附录

其它附录的内容可以放到这里，当然如果你愿意，可以把这部分也放到独立的文件中，然后将其\input 到主文件中。

个人简历、在学期间发表的学术论文与研究成果

个人简历:

xxxx 年 xx 月 xx 日出生于 xx 省 xx 县。

xxxx 年 9 月考入 xx 大学 xx 系 xx 专业, xxxx 年 7 月本科毕业并获得 xx 学士学位。

xxxx 年 9 月免试进入 xx 大学 xx 系攻读 xx 学位至今。

发表论文:

- [1] Yang Y, Ren T L, Zhang L T, et al. Miniature microphone with silicon- based ferroelectric thin films. *Integrated Ferroelectrics*, 2003, 52:229-235. (SCI 收录, 检索号:758FZ.)
- [2] 杨轶, 张宁欣, 任天令, 等. 硅基铁电微声学器件中薄膜残余应力的研究. *中国机械工程*, 2005, 16(14):1289-1291. (EI 收录, 检索号:0534931 2907.)
- [3] 杨轶, 张宁欣, 任天令, 等. 集成铁电器件中的关键工艺研究. *仪器仪表学报*, 2003, 24(S4):192-193. (EI 源刊.)
- [4] Yang Y, Ren T L, Zhu Y P, et al. PMUTs for handwriting recognition. In press. (已被 *Integrated Ferroelectrics* 录用. SCI 源刊.)
- [5] Wu X M, Yang Y, Cai J, et al. Measurements of ferroelectric MEMS microphones. *Integrated Ferroelectrics*, 2005, 69:417-429. (SCI 收录, 检索号 :896KM.)
- [6] 贾泽, 杨轶, 陈兢, 等. 用于压电和电容麦克风的体硅腐蚀相关研究. *压电与声光*, 2006, 28(1):117-119. (EI 收录, 检索号:06129773469.)
- [7] 伍晓明, 杨轶, 张宁欣, 等. 基于MEMS技术的集成铁电硅微麦克风. *中国集成电路*, 2003, 53:59-61.

研究成果:

- [1] 任天令, 杨轶, 朱一平, 等. 硅基铁电微声学传感器畴极化区域控制和电极连接的方法: 中国, CN1602118A. (中国专利公开号.)
- [2] Ren T L, Yang Y, Zhu Y P, et al. Piezoelectric micro acoustic sensor based on ferroelectric materials: USA, No.11/215, 102. (美国发明专利申请号.)