

渐开线圆柱齿轮 承载能力计算程序的应用

冯澄宙

(机械工程系)

提 要: 本文阐述 (GB3480—83) 《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》计算程序的输入数据语句、输出结果和适用范围, 并通过实际的例子说明该程序的应用方法。

关键词: 齿轮, 承载能力, 程序。

1 前 言

为了使全国广大的机械设计工作者应用“渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法”国家标准 (GB3480—83) 方便起见, 特地编写了本程序。

本程序采用BASIC语言编写, 可在各种类型的电子计算机上直接应用或稍加修改后便能应用。

本程序编写的层次基本上与一般的计算步骤相同, 其主要逻辑框图如下图所示; 本程序的输入数据和输出数据与一般的计算方法相同, 这样可使设计者能直观地对计算齿轮的参数和结果进行分析, 以便进一步修改参数后重新计算, 求得合理的齿轮参数或设计方案。

2 程序适用范围

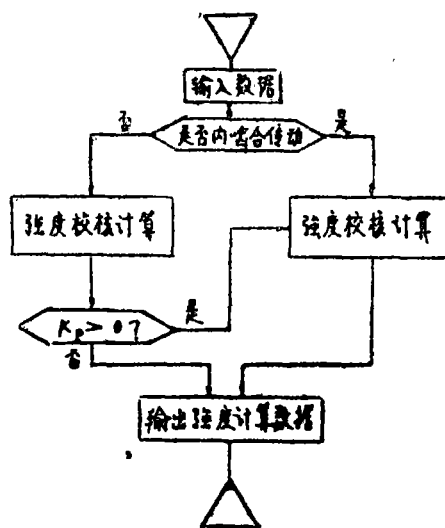
本程序是根据“渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法”国家标准 (GB3480—83) 中的一般方法编写的, 适用于以下的齿轮结构型式:

2.1 普通的外啮合齿轮传动, 以及小齿轮的平均直径与轴颈相近的情况 (图1); 两个小轮驱动一个大轮时, 可分别按两个独立的齿轮副 (小轮—大轮) 分别计算。

2.2 两刚性联接的同轴齿轮

2.2.1 两个刚性联接的齿轮质量有一个较大者 (图2);

2.2.2 两个刚性联接的齿轮直径无显著差别时 (图3);



2.2.3 两个刚性联接的齿轮直径无显著差别者与另两个刚性联接齿轮其直径有显著差别者相啮合的情况(图4)。

2.3 中间轮(图5)

强度计算时,一般按三个齿轮间中心距较小者校核。校核齿轮1、2的强度时,考虑了第3个齿轮对诱导质量 $m_{r,1}$ 和等效刚度 C_r 的影响。

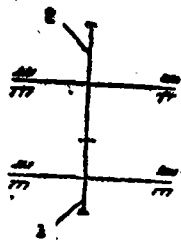


图 1

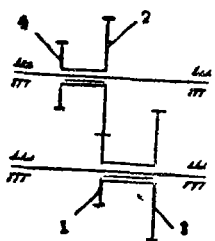


图 2

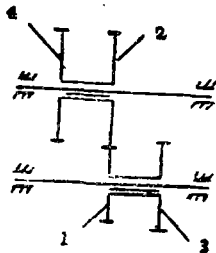


图 3

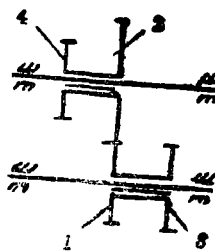


图 4



图 5

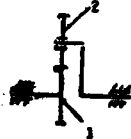


图 6

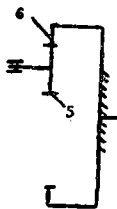


图 7



图 8

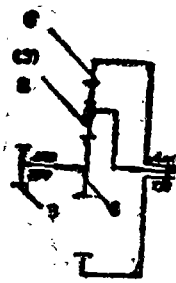


图 9



图 10



图 11

2.4 行星齿轮传动

2.4.1 行星齿轮传动一般由以下各项组成,故可根据情况分别进行强度计算:

- 太阳轮与行星轮相啮合(图6);
- 行星轮与固定的内齿轮相啮合(图7);
- 行星轮与转动的内齿轮相啮合(图8)。

2.4.2 NGW型(图9)、NW型(图10)和定星式(图11)行星传动,不论其内齿轮是固定的或转动的,应用本程序可同时计算出其外啮合和内啮合齿轮副的强度。

2.5 内啮合传动(图8)

3 应用举例

通过下面的例子说明本程序所考虑的因素、使用方法和计算结果。

[例] 一平行轴外啮合高速齿轮箱传递功率8500KW, 齿轮在两轴承中间 不对称布置, 小齿轮输入转速8930rpm, 工作平稳, 由汽轮机带动, 用20号机油润滑, 其它有关参数详见表1~表11。

3.1 用户填写的表格

3.1.1 齿轮传动装置的名称与型号

齿轮传动装置的名称: 高速齿轮箱

齿轮传动装置的型号: JS-8500

设计单位: ××××× 填表者: ×××

3.1.2 齿轮传动装置的参数

3.1.2.1 转矩或功率

转矩 $T(N \cdot m)$ 0, 功率 $P(kw)$ 8500, 马力 (ps) 0;

说明: (1) 填写以上三项中的任一项, 其它项填“0”;

(2) NGW、NW和定星式行星传动时, 填写齿轮1上的转矩, 其它行星传动时, 应将齿轮1或5的转矩除以行星轮个数 n_p 再乘以 k_p 的值填入。

3.1.2.2 齿轮转速 $n_1(rpm) = 8930$;

说明: (1) 一般外啮合传动时, 填写齿轮1的转速(图1~5);

(2) NGW、NW和定星式行星传动时, 填写齿轮1(图9~10)相对于转臂的转速;

(3) 内啮合传动, 填写齿轮5(图8)的转速;

(4) 其它行星齿轮传动时, 填写转化机构中齿轮1或5(图6~8)的转速。

3.1.2.3 压力角 $\alpha_n = 20$; $p_{s0}/m_n = 0$;

$p_{s0}/m_n = 0.32$;

3.1.2.4 设计参数 见表1。

3.1.2.5 行星轮个数 $n_p = 0$

NGW、NW或定星式行星传动:

各行星轮间载荷分配系数 $K_p = 0$

其它行星传动和非行星传动时, 填:

$K_p = 0$

使用系数 $K_A = 1.0$

补偿系数 $\lambda = 0$

润滑油粘度 $v_{40} = 0$ cst;

$v_{80} = 20$ cst;

两项中任填一项, 另一项填“0”

齿顶修缘量 $C_s = 25\mu m$

无修缘量时填“0”

表1

齿 轮 设 计 情 况		是 否	说 明
齿轮精度等级是否低于5级	外 啮 合	0	非外啮合时填“0”
	内 啮 合	0	非内啮合时填“0”
是否内啮合		0	若为NGW、NW型和定星式行星传动, 此项填“0”
是否小齿轮为硬面齿, 大齿轮为调质处理	外 啮 合	0	
	内 啮 合	0	非外啮合时填“0”
是否为双斜齿轮或人字齿轮		1	非内啮合时填“0”

注: 在是否项中, “是”时填“1”, “否”时填“0”。

表2

项 目	齿 轮 序 号						说 明
	1	2	3	4	5	6	
齿 数 z	73	97	0	0	0	0	1. 齿轮序号按图1~11编写。 2. 传动中无该序号的齿轮, 则各项填“0”。 3. 如填写 d_i 值, 则所有序号的齿轮都填。 1) 如 d_i 项填“0”, 外啮合时 d_i 值按文献〔2〕计算; 内啮合时大体上按文献〔3〕公式计算。 2) 中间轮系(图3)中齿轮2与3角度变位时, 应填 d_i 值。 4. 如 d_i 项填“0”, d_i 值按文献〔2〕中用齿条刀加工通式计算。 5. D_i 项: 整体结构的齿轮 $D_i=0$; 内齿圈固定时, 在序号6中填“0”; 内齿圈转动时, 填内齿轮外直径。 6. 双斜齿轮或人字齿轮时, b 为两个单斜齿的宽度和。
法向模数 m_n (mm)	3.5	3.5	0	0	0	0	
变位系数 x	0	0	0	0	0	0	
齿顶高系数 h^*	1	1	0	0	0	0	
刀具齿顶高系数 h^*	1.5	1.5	0	0	0	0	
齿顶圆直径 d_a (mm)	0	0	0	0	0	0	
齿根圆直径 d_f (mm)	0	0	0	0	0	0	
分度圆螺旋角 β°	32.175	32.175	0	0	0	0	
轮缘内腔直径 D_i (mm)	0	0	0	0	0	0	
齿 宽 b (mm)	368	368	0	0	0	0	
材料密度 ρ (g/cm ³)	7.8	7.8	0	0	0	0	

表3

项 目	齿 轮 序 号				说 明
	1	2	5	6	
接触疲劳极限 $\sigma_{H\lim}$ (N/mm ²)	750	750	0	0	
弯曲疲劳极限 $\sigma_{F\lim}$ (N/mm ²)	300	300	0	0	对称双向弯曲的齿轮, 应将查得的 $\sigma_{F\lim}$ 值乘上系数0.7
屈服强度 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	784	784	0	0	齿轮材料为软钢或调质钢时, 需填写此项; 其它情况可填“0”
循环次数 N_L	10 ⁶	10 ⁶	0	0	无限寿命时: 可填 $N_L=10^6$; 有限寿命时: 只有一对齿轮相啮合时 (图1~8), 可只填齿轮1或5的 N_L 值, 另一项填“0”
齿面平均粗糙度 R_z (μm)	3.2	3.2	0	0	
齿根表面平均粗糙度 R_z (μm)	6.3	6.3	0	0	
滑移层厚度 P' (mm)	0.0064	0.0064	0	0	

注: 齿轮序号按图1~11编写; 无该序号的齿轮, 则各项填“0”。

表4

项 目	相啮合的齿轮副		说 明
	1—2	5—6	
动载系数 K_v	0	0	无此项数据时填“0”
齿向载荷分布系数	$K_{H\beta}$	0	无此项数据时填“0”
	$K_{F\beta}$	0	无此项数据时填“0”
齿间载荷分配系数	$K_{H\alpha}$	0	无此项数据时填“0”
	$K_{F\alpha}$	0	无此项数据时填“0”
初始啮合齿向误差 F (μm)	10000	0	无此项数据时填“10000”
齿廓跑合量 γ_α (μm)	0	0	无此项数据时填“0”
齿向跑合量 γ_β (μm)	0	0	无此项数据时填“0”
跑合量 γ_p (μm)	0	0	无此两项数据时, 均填“0”
跑合量 γ_t (μm)	0	0	若有此两项数据时, 需同时填写 γ_p 、 γ_t 的值
啮合齿向误差分量 $f_{\alpha\alpha}$ (μm)	0	0	若已知 $K_{H\beta}$ 或 $F_{\beta\alpha}$ 时, 此项可“0”
齿形公差 f_t (μm)	6.5	0	按大齿轮查取

(续)

基节极限偏差 f_{pb} (μm)	4.5	0	按大齿轮查取
齿向公差 F_f (μm)	14	0	如 $K \neq 1$, 此项可填“0”
系 数 ξ	1	0	钢与钢配对齿轮取 $\xi=1$; 钢与铸铁配对齿轮取 $\xi=0.74$; 铸铁与铸铁配对齿轮取 $\xi=0.5$
弹性系数 Z_E ($\sqrt{\text{N}/\text{mm}^2}$)	189.3	0	按文献〔1〕或〔2〕查取
大齿轮齿面硬度(HB)	280	0	当小齿轮为软面齿或大齿轮为硬面齿时, 可填“0”
轴承跨距 l (mm)	578	0	详见文献〔1〕中的图; 若结构与图不符作近似计算时, 填: $l=0$, $s=0$, $k=1$;
小齿轮分布距离 s (mm)	144	0	当小齿轮在两轴承中间对称布置时, 此三项可 填“0”
系 数 k	0.4	0	
小齿轮结构尺寸系数 r	0	0	当精确分析得 γ 或 $f_{a..}$ 时值, 填 γ 或 $f_{a..}$ 的值(另一项 填“0”), l, s, k 项可填“0”; 否则 $\gamma, f_{a..}$ 项均 填“0”
$f_{a..}$ ($\mu\text{m}\cdot\text{mm}/\text{N}$)	0	0	
刚度修正系数 C_x	1	0	齿圈和轮辐为刚性时, 填“1”

注: 1) 齿轮序号按图1~11编写; 无该序号的齿轮副, 则各项系数填“0”

2) 中间轮时, 在齿轮副5—6栏中 ξ, C_x 项填写齿轮2—3的相应值, 其它各项均填“0”。

表5 齿轮装置结构型式

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
结构 型式	两刚性联接的同轴齿轮				中间轮	太阳轮	行星轮	行星轮
	一般外啮合传动; 两个小轮驱动时, 分别按两个独立的齿轮副计算 (图1)	有一个较大的质量, 略去较小齿轮的质量 (图2)	两个齿轮直径无显著差别时, 其转动惯量一起计入 (图3)	齿轮1与3的直径无显著差别, 齿轮2与4的直径有显著差别 (图4)		行星轮	内齿圈 固定	内齿圈 转动 (图8)
NO	1							

注: 1. 根据结构型式, 将相应的序号填入NO栏中

2. 对于NGW或NW或定星式行星传动, 按内齿轮是否固定, 在NO一栏中填“7”或“8”。

表6 齿轮材料对 Y_a 与 Y_b 的影响

材 料 序 号	1	2	3	说 明
齿 轮 材 料	调 质 钢	铸 铁	渗碳淬火钢或 氮化钢	1. 齿轮序号按图1~11编写。 2. 根据不同齿轮的齿 轮 材 料, 将材料序号填入表中。如 只有外啮合, 在NO5和NO6栏中 填“0”; 如只有内啮合在NO1 和NO2栏中填“0”
齿 轮 序 号				
齿轮1 (NO1)		1		
齿轮2 (NO2)		1		
齿轮5 (NO5)		0		
齿轮6 (NO6)		0		

表7 齿型结构

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
齿 型	直 齿 轮				斜 齿 轮			
结 构	无齿向修形	齿向修形	鼓形齿	齿端修薄	无齿向修形	无齿向修形	鼓 形 齿	齿端修薄
No	8							

注: 根据齿形结构, 将相应的序号填入NO一栏中。

表8 润滑剂

润滑剂序号	1	2	3	说 明
润 滑 剂	矿 物 油	合 成 油		1. 齿轮序号按图1~11编写 2. 根据采用的润滑剂和齿 轮 材料, 将润滑剂序号填入表中。 如只有外啮合, 在NOZL5和NO ZL6栏中填“0”; 如只有内啮 合, 在NOZL1和NOZL2栏中 填“0”
齿 轮 序 号		渗碳钢齿轮	调质钢齿轮	
齿轮1 (NOZL1)		1		
齿轮2 (NOZL2)		1		
齿轮5 (NOZL5)		0		
齿轮6 (NOZL6)		0		

表9 齿轮材料对 $Y_{\sigma_{rel}T}$ 和 $Y_{R_{rel}T}$ 的影响

材 料 序 号	1	2	3	4	5
齿轮材料	软 钢	调 质 钢	渗碳淬火钢	氮 化 钢	灰 铸 铁
齿轮1 (NOYE1)	2				
齿轮2 (NOYE2)	2				
齿轮5 (NOYE5)	0				
齿轮6 (NOYE6)	0				

注: 填写方法类似表8

表10 齿轮材料对 Y_x 的影响

料 材 序 号	1	2	3
齿轮材料	结构钢、调质钢、球墨铸铁、球光体可锻铸铁	表面硬化钢	灰铸铁
齿轮1 (NOYX1)	1		
齿轮2 (NOYX2)	1		
齿轮5 (NOYX5)	0		
齿轮6 (NOYX6)	0		

表11 齿轮材料对 Z_N 和 Y_N 的影响

材 料 序 号	1	2	3	4	5	6
齿轮材料	结构钢、调质钢、球墨铸铁、珠光体可锻铸铁 (允许有少量的点蚀)	表面硬化钢 (允许有一定量的点蚀)	结构钢、调质钢、球墨铸铁、珠光体可锻铸铁	表面硬化钢	经气体氮化的调质钢、氮化钢、灰铸铁	调质钢经液体氮化
齿轮1 (NZO1)	3					
齿轮2 (NZO2)	3					
齿轮5 (NZO5)	0					
齿轮6 (NZO6)	0					

注: 填写方法类似表8

3.2 输入数据的书写格式

因本程序输入数据较多,故采用了成批赋值语句,输入数值可为十进制定点数,也可为浮点数,每句中数据之间必须用“,”分隔开,最后一个数据结尾不能有“,”或“;”号。

上节中表2以前填写的数据在程序中安排为简单变量,书写(或输入)时,自左至右,自上而下依次进行;表2、表3、表4中的数据在程序中安排为数组,书写(或输入)时,按表中竖行自上而下,自左而右进行;为输入数据方便起见,最好把每一竖行中的数据编入一个语句中。表5到表11中的数据在程序中安排为简单变量,也应依次书写或输入。本程序中DATA语句的编号为4101~4130。

现以上例的数据为例编写成以下的语句:

```

4100 DATA 0, 8500, 0, 8930
4101 DATA 20, 0.32, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0
4105 DATA 1, 0, 0, 20, 25
4110 DATA 73, 3.5, 0, 1, 1.5, 0, 0, 32.1755555, 0, 368, 7.8
4115 DATA 97, 3.5, 0, 1, 1.5, 0, 0, 32.1755555, 0, 368, 7.8
4120 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
4125 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
4130 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
4135 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
4140 DATA 750, 300, 784, 1E+9, 3.2, 6.3, .0064
4145 DATA 750, 300, 784, 1E+9, 3.2, 6.3, .0064
4150 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
4155 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
4160 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 10000, 0, 0, 0, 0
4161 DATA 0, 6.5, 4.5, 14, 1
4162 DATA 189.8, 280, 578, 144, .4, 0, 0, 1
4165 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
4167 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
4170 DATA 1, 1, 1, 0, 0, 8
4175 DATA 1, 1, 0, 0, 2, 2, 0, 0, 1, 1, 0, 0
4180 DATA 3, 3, 0, 0

```

3.3 输出格式和计算结果

输出数据分二部分:第一部分将输入数据以表格式打印出,以便核对输入数据是否正确。但由于表中允许的位数有限,转矩T和螺旋角 β 仅打印到小数点后一、二位(四舍五入)。第二部分为计算结果。

现就上面算例的打印结果列于下面:

PR003 (GB3480-83) -123

NO=

? 52

----- INPUT DATA *-----*

T=0 P=8500 PS=0 N1=8930

AN=20 PRO=0 PAO=.32

TABLE 1

NO	1	2	3	4	5	6
	0	0	0	0	0	1

NP=0 KP=0 KA=1 A=0

V40=0 V50=20 CA=25

TABLE 2

Z	73	97	0	0	0	0
MN	3.5	3.5	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0	0
HA	1	1	0	0	0	0
HAO	1.5	1.5	0	0	0	0
DA	0	0	0	0	0	0
DF	0	0	0	0	0	0
IO	32.18	32.18	0	0	0	0
DI	0	0	0	0	0	0
B	368	368	0	0	0	0
P	7.8	7.8	0	0	0	0

TABLE 3

CH	750	750	0	0
CF	300	300	0	0
CS	784	784	0	0
NL	1E+09	1E+09	0	0
RZH	3.2	3.2	0	0
RZF	6.3	6.3	0	0
FC	6.4E-03	6.4E-03	0	0

TABLE 4

KV	KHB	KPB	KHA	KFA	FBX
0	0	0	0	0	10000
0	0	0	0	0	0
YA	YB	YP	YF	FMA	FF
0	0	0	0	0	6.5
0	0	0	0	0	0
FPB	FB	KSAI	ZE	HB	L
4.5	14	1	189.8	280	578
0	0	0	0	0	0

S	K	GAMA	FSHO	CX
144	.4	0	0	1
0	0	0	0	0

TABLE 5

TABLE 6

TABLE 7

1	1	8
	1	
	0	
	0	

TABLE 8

TABLE 9

TABLE 10

TABLE 11

1	2	1	3
1	2	1	3
0	0	0	0
0	0	0	0

----*

OUTPUT DATA

----*

Z1	Z2	MN	A
73	97	3.5	351.48
V	DA1	DA2	FSH
141.139171	308.859439	408.100898	12.0531946
FT	N	KV	KHB
60221.365	6.96024103	1.16124643	1 36079726
KHA	ZH	ZB	ZE (Z _e)
1	2.18436411	.92001111	.841388267
ER (ε _r)	EA (ε _a)	ZV1	ZV2
10.3236718	1.41256063	1.14606963	1.1460763
ZL1	ZL2	ZR1	ZR2
.855147929	.855147929	1.05460718	1.05460718
ZW2	ZN1	ZN2	SH1
1	1.03357733	1.03357733	1.97127386
SH2	CR (C _r)	SIGMAH (σ _H)	
1.97127386	19.8431691	393.239626	
KFB	KFA	YF1	YF2
1.34104908	1	1.42480548	1.4044169
YS1	YS2	YB	YX1
2.09518707	2.15556041	.75	1
YX2	YRREL T1 (Y _{Rrel T1})	YRREL T2 (Y _{Rrel T2})	YLT1 (Y _{6rel T1})
1	1.02866093	1.02866093	1.00201511
YLT2 (Y _{6rel T2})	YET1 (Y _{6rel T1s})	YET2 (Y _{6rel T2s})	YN1
1.0045136	1.03732026	1.06099101	1.03073379
YN2	SF1	SF2	SIGMAF1 (σ _{F1})
1.03330389	3.79362435	3.75023093	163.020958
SIGMAF2 (σ _{F2})			
165.318442			

以上是例一的计算结果, 括号和括号中的内容不是计算机打印的, 是编者加注的说明, ZN1、ZN2、YN1、YN2分别为大小齿轮在新S—N曲线上与 N_L 相对应的值。计算结果所用长度的单位为mm; 压力的单位为 N/mm^2 , 力的单位为N, 速度的单位为m/s, 其它的单位同[1]。

此外本程序为了提供设计、核算者的注意, 遇到以下情况时, 将打印以下信息:

若 $\varepsilon_1 < 1$ 则打印 $ER < 1$

若 $K_{H\beta} > 2$ 则打印 $K_{H\beta} > 2$

若 $K_{Ha} > \varepsilon_\alpha$ 则打印 $K_{Ha} > \varepsilon_\alpha$

4 结 束 语

与ISO/DP6336等效的GB3480—83“渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法”用于校核齿轮承载能力和寿命计算, 具有先进、科学、可靠的特点。但由于该标准考虑因素全面, 手工计算复杂、费时且易出错。为了便于提高设计水平和效率, 配合该项标准的贯彻实施, 根据机械工业部的指示, 在国标编制工作的基础上, 编制了以上的软件, 该软件已于1984年6月6日经机械科学研究院组织鉴定通过, 现已为全国许多单位所采用。为了便于更多的齿轮工作者、从事齿轮设计的师生了解本软件的特点和使用方法, 专此作了介绍。

参 考 文 献

- [1] GB3480—83 渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法。
- [2] 机械工程手册, 第32篇, 齿轮传动, 机械工业出版社, 1980年。
- [3] 东北工学院《机械零件设计手册》编写组编, 机械零件设计手册, 上册, 冶金工业出版社, 1980年。

Application of Calculation Programs of Load Capacity of Involute Cylindrical Gears

Feng Chengzhou

(Mechanical Engineering Department)

Abstract: This paper clarifies input data statements, output effects and application realms of calculation programs of 'Methods for the calculation of load capacity of involute cylindrical gears' (GB3480—83). This paper explains application methods of the programs by a practical example.

Keywords: Gear, Load capacity, Program.