

SAP2000球面网壳设计与稳定性分析



工程概况

- ◇ 某报告厅屋顶为空间穹顶，穹顶上部覆盖有玻璃幕墙，穹顶跨度14.14m，矢高2.93m。

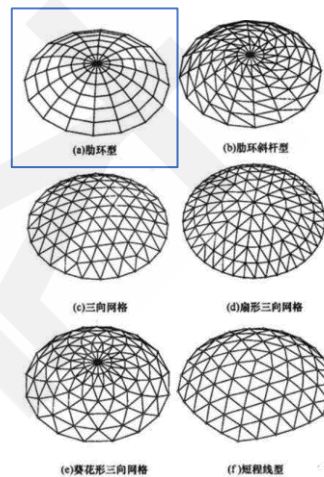
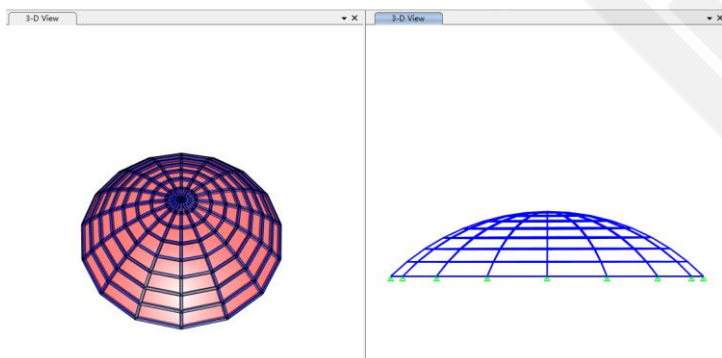


图 B.0.2 单层球面网壳网格形式



目录 CONTENTS

01 构件设计

02 施加荷载

03 结构分析

筑信达

01

构件设计

- ◆ 设计参数
- ◆ 强度验算
- ◆ 稳定验算

筑信达



设计首选项

◇ 设计规范

◇ 设计方法

项	数值
1 设计规范	Chinese 2018
2 多值工况	否
3 框架类型	Sway Moment Frame, SMF
4 高层建筑?	否
5 抗震等级	等级 I
6 结构重要性系数 γ_0	1
7 忽略宽度比 (B/T) 校核?	是
8 梁按压弯构件设计?	是
9 忽略 v_{e9} ?	否
10 分析方法	Limited 1st Order
11 稳定系数 η_{cr}	0
12 刚度校核?	是

设计方法	初始几何缺陷	P- Δ	构件缺陷	P- δ	计算长度系数	稳定系数 ϕ	设计弯矩
一阶分析法	无	无	无	无	附录E	附录D	分析弯矩
一阶放大法	名义荷载法	内力放大法	无	无	1.0	附录D	分析弯矩
二阶分析法	名义荷载法	预设P- Δ 选项或使用非线性工况	无	无	1.0	附录D	分析弯矩
直接分析法	名义荷载法	预设P- Δ 选项或使用非线性工况	假想等效弯矩	杆件细分	1.0	1.0	分析弯矩+假想等效弯矩

讯信达



设计覆盖项

◇ 设计覆盖项

◇ 计算长度

◇ 长细比限值

5.1.2 确定杆件的长细比时, 其计算长度 l_0 应按表5.1.2采用。

表 5.1.2 杆件的计算长度 l_0

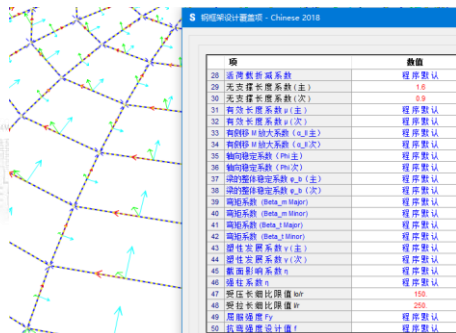
结构体系	杆件形式	节点形式				
		螺栓球	焊接空心球	板节点	毂节点	相贯节点
网架	弦杆及支座腹杆	1.0 l	0.9 l	1.0 l	—	—
	腹杆	1.0 l	0.8 l	0.8 l	—	—
双层网壳	弦杆及支座腹杆	1.0 l	1.0 l	1.0 l	—	—
	腹杆	1.0 l	0.9 l	0.9 l	—	—
单层网壳	壳体曲面内	—	0.9 l	—	1.0 l	0.9 l
	壳体曲面外	—	1.6 l	—	1.6 l	1.6 l
立体桁架	弦杆及支座腹杆	1.0 l	1.0 l	—	—	1.0 l
	腹杆	1.0 l	0.9 l	—	—	0.9 l

注: l 为杆件的几何长度 (即节点中心间距离)。

5.1.3 杆件的长细比不宜超过表 5.1.3 中规定的数值。

表 5.1.3 杆件的容许长细比 $[\lambda]$

结构体系	杆件形式	杆件受拉	杆件受压	杆件受压与压弯	杆件受拉与拉弯
网架	一般杆件	300	—	—	—
	支座附近杆件	250	180	—	—
双层网壳	直接承受动力荷载杆件	250	—	—	—
单层网壳	一般杆件	—	—	150	250



讯信达



设计细节

基本信息

Station ID	20016100d09	Station Loc	2709.2	Length	2709.2
Section ID	20016100d09	Type	Brac Moment Frame	Combo ID	39
Orientation	Brace	Design Name	Brace	Anal. Method	Limited 1st Ord
A=544	133-304372.0	M33=304372.1	M33=304372.1	M33=304372.1	M33=304372.1
M=16509417	122=165094.3	M22=165094.4	M22=165094.4	M22=165094.4	M22=165094.4
E=2060000	RLLF=1	Ae/Am=0.9			
Fy=235	f = 215	Fw=125	fu=370	C=0.235	
SDG	: II	Gamma_RE	: N/A	Gamma_RE(S)	: N/A
Gamma_0	: 1	Seismic HF	: N/A	Dual Sys SRF	: N/A
Tail building	: No	Rollid Sharp	: No	Gas Cut	: No
Transfer Mem	: No	Ignore B/T	: Yes		

设计内力

Factored	Combo	N	M33	M22	V2	V3
Design	39	-45207.1	-4615504.2	768447.9	4529.4	-1021.5
		-45207.1	-4615504.2	768447.9	4529.4	-1021.5

应力比

N-M33-M22 Demand/Capacity Ratio

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	M33 Ratio	M22 Ratio	V2 Ratio	V3 Ratio	Status
Strength GB50017 8.2.1-1	0.124	0.044	0.067	0.013	1.	1.	OK
Stability GB50017 8.2.1-1	0.126	0.049	0.069	0.01	1.	1.	OK

Stress Ratios --- Governing Section GB50017 8.2.1-1

Force/Moment	Actual	Allowable	Stress Ratio	Scale Factor	Scaled Ratio
Normal	8.46	215	0.039	1.215	0.048
Major Bending	15.16	215	0.071	0.964	0.069
Minor Bending	7.6647.9	215	0.034	0.7	0.033

中间参数

Moment Modification

Factored	Amplified	Imperfect	Additional	Adjusted	Design
Major Bending	-4615504.2	0.	0.	-4615504.2	-4615504.2
Minor Bending	768447.9	0.	0.	768447.9	768447.9

Euler Buckling Capacity and Related Moment Factor

Length	Lambda	Factor	Ratio	Lambda_n	Euler M _e	L/Force (1-BN/M ²)
Major Bending	1.6	1.	57.436	0.617	2594112.	1.012
Minor Bending	0.9	1.	40.813	0.436	6017971.6	1.006

Axial Amplification Factor for Flexural Buckling

Section	Lambda _m	Alpha ₁	Alpha ₂	Alpha ₃	Phi	
Major Bending	B	0.817	0.65	0.965	0.9	0.821
Minor Bending	B	0.436	0.65	0.965	0.9	0.897

Other Moment Factors

Gamma	Beta _m	Beta _t	eta	phi _b	Alpha _{1T}
Major Bending	1.05	1.	1.	0.7	1.
Minor Bending	1.05	1.	1.	0.7	1.

Section classification (GB50017 3.5.1)

b/h	Lambda _{d1}	Lambda _{d2}	Lambda _{d3}	Section Class			
Flange	16.75	30.	35.	40.	45.	280.	Class S1
Web	23.	30.	35.	40.	45.	280.	Class S1

Section classification Parameters (GB50017 3.5.1)

Epsilon _k	Sigma _{diff}	Sigma _{max}	Alpha ₀	
Major	1.	30.33	27.59	1.099
Minor	1.	5.96	27.59	0.216

Special Width/Thickness Ratio Check (GB50017 7.3.1, GB50011 8.3.2, 8.4.1)

b/t	b/t	b/t(Sei)	Ignore	Status
Flange	16.75	192.67	-----	OK
Web	23.	192.67	-----	OK

Slenderness Check (GB50017 7.4.6, 7.4.7, GB50011 8.3.1, JGJ99 7.3.9, 7.5.4)

Parameters	Epsilon _k	Phi _{min}	N/(A*f)	Alpha	Lambda
Major Bending	1.	0.821	0.039	4.567	57.436
Minor Bending	1.	0.821	0.039	4.567	57.436

BEAR DESIGN --- GOVERNING SECTION (MAJOR GB50017 6.1.3, MINOR GB50017 6.1.3)

Shear	V	Allow	Stress	Ratio	Check	
Major	No	4529.4	2.05	125.	0.016	1.
Minor	No	1021.5	1.94	125.	0.016	1.

◇ 相关知识库

- ◇ 钢框架设计细节输出详解 (梁)
- ◇ 钢框架设计细节输出详解 (柱)



设计结果

◇ 表格查看

Steel Design 2 - PRR Details - Chinese 2018

Frame Text	DesignSect Text	DesignType Text	E	Fy	f	Fv	Status Text	Combo Text	Location mm	N	VMajor kN/mm	VMMinor kN/mm	VMajor N	VMMinor N	T kN/mm	Equation Text	TotalRatio
1	200x150x8	Brace	206000	235	215	125	No Messages	39	0	-47874.63	-3769867.23	86225.08	-2060.9	35.8	303.48	GB50017.8.	0.127105
2	200x150x8	Brace	206000	235	215	125	No Messages	39	0	-47472.36	-3774962.31	86235.88	-3864.8	94.36	45.13	GB50017.8.	0.127215
3	200x150x8	Brace	206000	235	215	125	No Messages	39	0	-47877.91	-3769862.84	86533.24	-3869.28	94.59	136.9	GB50017.8.	0.127560
4	200x150x8	Brace	206000	235	215	125	No Messages	39	0	-47465.05	-3774494.04	86588.16	-3863.55	94.62	120.17	GB50017.8.	0.127203
5	200x150x8	Brace	206000	235	215	125	No Messages	39	0	-47878.72	-3769723.76	86371.87	-3869.13	94.49	86.32	GB50017.8.	0.127566
6	200x150x8	Brace	206000	235	215	125	No Messages	39	0	-47469.88	-3773945.16	86205.36	-3862.97	94.46	93.58	GB50017.8.	0.127187
7	200x150x8	Brace	206000	235	215	125	No Messages	39	0	-47876.21	-3769048.17	84873.22	-3869.36	94.28	191.25	GB50017.8.	0.127548
8	200x150x8	Brace	206000	235	215	125	No Messages	39	0	-47466	-3775076.76	-58454.91	-3864.23	-80.17	91.79	GB50017.8.	0.126872
9	200x150x8	Beam	206000	235	215	125	No Messages	81	1962.5	-83988.12	-2405757.55	-428583.28	3368.84	629.04	-53816.17	GB50017.8.	0.133181
10	200x150x8	Beam	206000	235	215	125	No Messages	17	1962.5	-111172.84	-3252039.76	-802882.81	2376.75	349.62	-44955.96	GB50017.8.	0.129192

Steel Design 3 - Shear Details - Chinese 2018

Frame Text	DesignSect Text	DesignType Text	Status Text	Fy N/mm2	Fv N/mm2	VMajor/Combo Text	VMajorLoc mm	VMajor N	VMMinor N	VMajor N	FictMajor Yes/No	TauMajor N/mm2	VMajorRatio
1	200x150x8	Brace	No Messages	235	125	82	0	3900.9	95.6	False	1.529	0.12231	
2	200x150x8	Brace	No Messages	235	125	48	0	3904.8	94.36	False	1.522	0.12175	
3	200x150x8	Brace	No Messages	235	125	40	0	3900.28	94.59	False	1.518	0.12147	
4	200x150x8	Brace	No Messages	235	125	40	0	3903.58	94.62	False	1.521	0.12172	
5	200x150x8	Brace	No Messages	235	125	40	0	3899.13	94.49	False	1.518	0.12143	
6	200x150x8	Brace	No Messages	235	125	40	0	3902.97	94.46	False	1.521	0.12189	
7	200x150x8	Brace	No Messages	235	125	40	0	3899.36	94.28	False	1.518	0.12143	
8	200x150x8	Brace	No Messages	235	125	48	0	3904.33	95.17	False	1.517	0.12137	
9	200x150x8	Beam	No Messages	235	125	81	1962.5	3368.84	629.04	False	1.477	0.12015	
10	200x150x8	Beam	No Messages	235	125	82	1962.5	2376.75	349.62	False	1.539	0.12313	



02

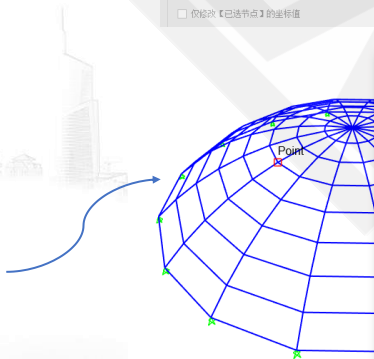
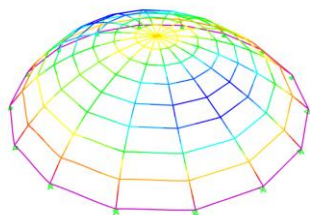
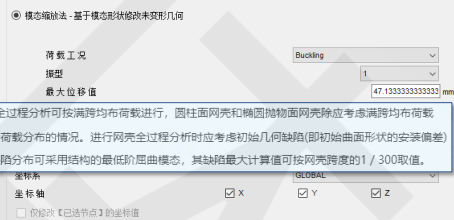
稳定性分析

- ◆考虑初始缺陷
- ◆非线性屈曲分析
- ◆控制点的选择
- ◆绘制力-位移曲线



考虑初始缺陷

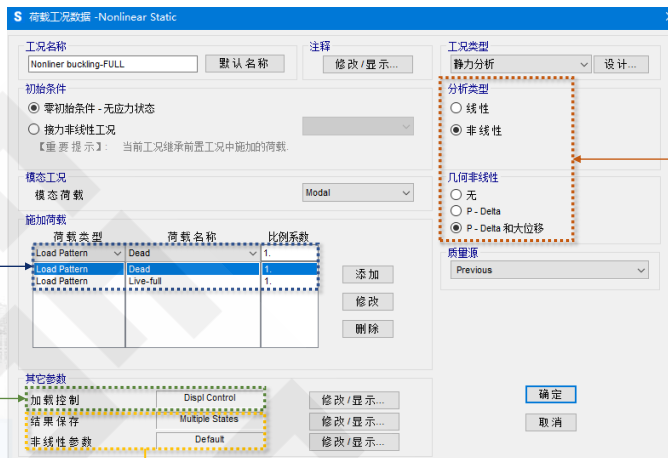
- ◇线性屈曲分析
- ◇修改未变形几何
 - ◇基于第一阶整体屈曲模式



S Object Model - 点信息	
位置 属性 荷载	
标识符	
标签	SS
节点坐标	GLOBAL
坐标系	-2672.16312004199
X	1135.5405004117
Y	2490.8511103077
Z	-2651.88071917042
原节点 X	1110.071365473
原节点 Y	2490.335454561
原节点 Z	
从属关系	
框架	100
框架	110
框架	111
框架	116
面 (积)	181
面 (积)	182



非线性工况的定义



施加荷载
1.0恒载+1.0活/半跨活载

采用位移控制
程序根据目标位移自动
调整所施加荷载的比例
系数

非线性分析
考虑P-delta和大位移

保存多步结果，以捕捉到光滑的荷载-位移曲线
非线性参数一般保持默认即可，当收敛困难时可适当调整

讯信达



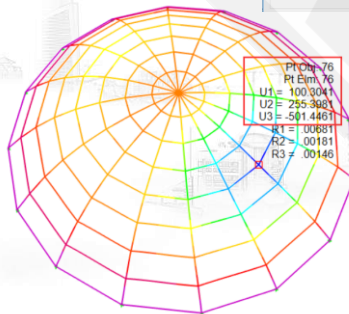
加载控制

◇ 位移类型

- ◇ 监测位移：以节点位移控制求解进程，当位移反向时无法收敛
- ◇ 共轭位移：以节点全部位移的加权平均值控制求解，而权重就是作用于每个节点自由度的荷载值。

◇ 设置多个控制位移点

◇ 选择变形较大的点作为监测点



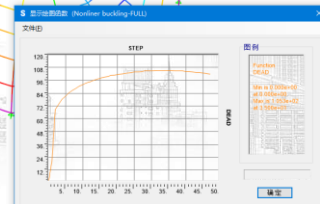
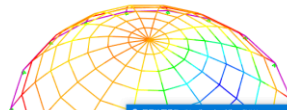
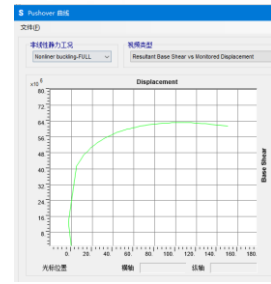
讯信达



考虑几何非线性的屈曲分析

- ◇ 考虑活载满跨
- ◇ 考虑P-delta和大位移
- ◇ 绘制荷载-位移曲线
- ◇ 判断安全系数是否满足4.2

4.3.4 按本规程第4.3.2条和第4.3.3条进行网壳结构全过程分析求得的第一个临界点处的荷载值，可作为网壳的稳定极限承载力。网壳稳定容许承载力(荷载取标准值)应等于网壳稳定极限承载力除以安全系数K。当按弹性性全过程分析时，安全系数K可取为2.0；当按弹性全过程分析、且为单层球面网壳、柱面网壳和椭圆抛物面网壳时，安全系数K可取为4.2。



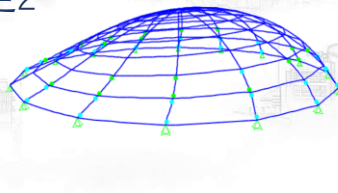
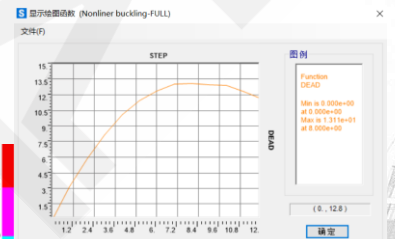
讯信达



考虑双非线性的屈曲分析

- ◇ 考虑活载满跨
- ◇ 考虑P-delta和大位移
- ◇ 考虑材料非线性
 - ◇ 布置PMM默认铰
- ◇ 判断安全系数是否满足2

4.3.4 按本规程第4.3.2条和第4.3.3条进行网壳结构全过程分析求得的第一个临界点处的荷载值，可作为网壳的稳定极限承载力。网壳稳定容许承载力(荷载取标准值)应等于网壳稳定极限承载力除以安全系数K。当按弹性性全过程分析时，安全系数K可取为2.0；当按弹性全过程分析、且为单层球面网壳、柱面网壳和椭圆抛物面网壳时，安全系数K可取为4.2。



讯信达



双非屈曲分析

- ◇ 初次试算非线性参数可采用③ETE only，考虑大位移，监测位移采用共轭位移



讯信达



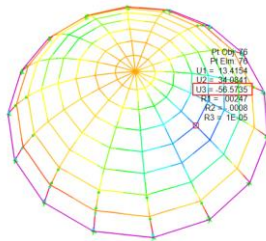
双非屈曲分析

- ◇ 试算结果一

只算到目标位移的11%，说明目标位移过大，建议调小（或者调整监测点，一般取顶点或变形较大的点）

Saved Steps	Null Steps	Total Steps	Iteration this Step	Relative Unbalance	Curr Step Size	Curr Sum of Steps	Max Sum of Steps
100	50	200	-10/40	1.000000	0.050000	1.000000	1.000000
14	1	27	Conv -1	0.458374	0.002051	0.113147	0.113147

*** WARNING ***
 THE ANALYSIS CANNOT FIND A SOLUTION AT STEP 15 FOR
 CASE: NONLINER BUCKLING-FULL
 SUBSEQUENT RESULTS WILL NOT BE AVAILABLE

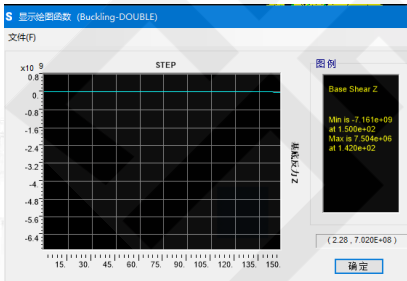


讯信达

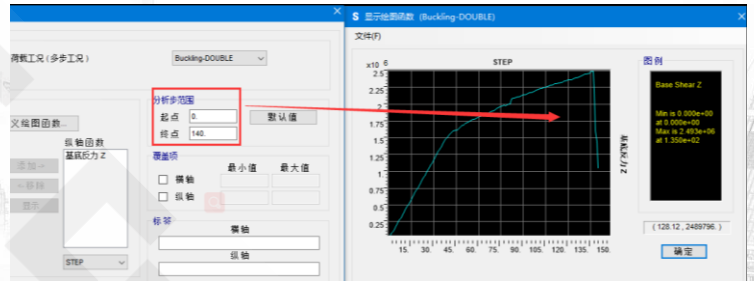


双非屈曲分析

- ◇ 试算结果二：几乎能算到目标位移，此时可以查看基底反力-步数曲线，相比于荷载-位移曲线更能直观地判断是否算到极限荷载。
- ✓ 若曲线算飞，可调整显示的步数，直到查看到下降段。此时可大概确认下降段所处位置，从而判断下次试算时监测位移的取值。



1. 算飞



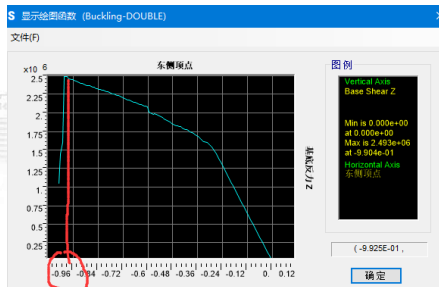
2. 调整显示的步数

讯信达

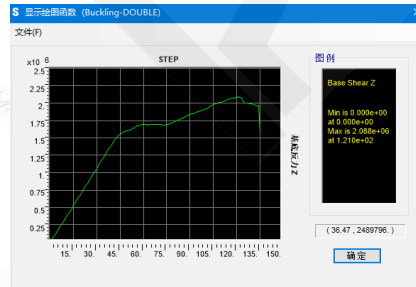


双非屈曲分析

- ◇ 试算结果二：几乎能算到目标位移，此时可以查看基底反力-步数曲线，相比于荷载-位移曲线更能直观地判断是否算到极限荷载。
- ✓ 若曲线算飞，可调整显示的步数，直到查看到下降段。此时可大概确认下降段所处位置，从而判断下次试算时监测位移的取值。



3. 查看此时的节点位移



4. 调整监测位移后得到较理想的曲线

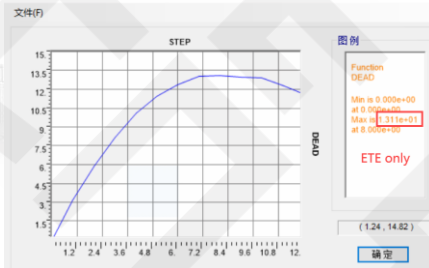
讯信达



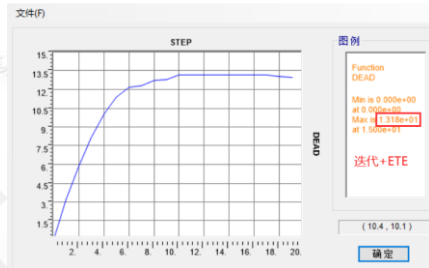
双非屈曲分析

- ◇ 将非线性参数改为“迭代+ETE”，适当调小监测位移，再次计算，确认极限荷载。
- ✓ “迭代+ETE”一般很难算到下降段，但是推不下去的时候很有可能就是达到了极限荷载，一般“迭代+ETE”计算得到的极限荷载与“ETE only”会存在一些偏差，可取保守值。

5 显示绘图函数 (Nonliner buckling-FULL)



5 显示绘图函数 (Nonliner buckling-1)



筑信达

Thanks



在线支持
support.cisec.cn



网络课堂
www.cisec.cn



视频教程
www.cisec.cn



知识库
wiki.cisec.cn

筑信达



68924600