

课程设计（综合实验）报告

名称：风力发电机设计制造

题目：风力发电机组整体技术设计

目录

课程设计任务书 1

第一章 风力发电机组总体参数设计 5

- 1.1 额定功率 5
- 1.2 设计寿命 5
- 1.3 切出风速、切入风速、额定风速 5
- 1.4 发电机额定转速及转速范围 5
- 1.5 重要的几何尺寸 6
 - 1.5.1 转子直径和扫过面积 6
 - 1.5.2 轮毂高度 7
- 1.6 刀片数量 7
- 1.7 风轮转速 8
- 1.8 功率曲线、 C_p 曲线、 C_t 曲线、攻角 α 8
- 1.9 功率控制方式 14
- 1.10 制动系统形式 14
- 1.11 风力发电机类 14

第 2 章 风力发电机气动特性初步计算 14

- 2.1 叶片设计原理 14
 - 2.1.1 动量理论 14
 - 2.1.2 叶元理论 15
- 2.2 叶片设计 16

第 3 章 单元和部件的载荷计算 18

- 3.1 叶片载荷计算 18
 - 3.1.1 叶片上的离心力 F_c 18
 - v 19 作用在刀片上
 - b 19 作用于刀片
 - k 19 作用于刀片
- 20 载荷计算
- 3.3 主轴载荷计算 20
- 3.5 塔载计算 21
 - 3.5.1 风暴条件下风轮气动推力的计算 21
 - 3.5.2 欧美国家铁塔静强度设计的一般荷载条件 22
 - 3.5.3 确定塔架设计载荷的要求 23
- 3.6 耦合载荷计算 23

第四章 主要部件技术参数 23

- 4.1 变速箱 23
- 4.2 生成器 24
- 4.3 转换器 24
- 4.4 联轴器 25
- 4.5 偏航执行器 25
- 4.6 变桨执行器 26
- 4.7 塔根截面应力计算 26

风机总布置： 28 台

参考文献： 28

课程设计作业书

一、设计内容

风机整体技术设计

二、宗旨与任务

主要目的：

- 1、以大型水平轴风力发电机组为研究对象，掌握系统整体设计方法；
- 2、熟悉相关工程设计软件；
3. 掌握撰写研究报告的方法。

主要任务：

每个学生独立完成风机的整体技术设计，包括：

- 1、确定风机整体技术参数；
- 2、关键部件（齿轮箱、发电机、变流器）的技术参数；
- 3、计算关键部件（叶片、转子、主轴、联轴器、塔架等）的载荷及技术参数；
- 4、完成叶片设计任务；
5. 确定塔的设计。
6. 每个人写一份课程设计报告。

三、主要内容

每个人选择功率范围在 1.5MW 到 6MW 之间的风力涡轮机进行设计。

1) 原始参数：风机安装地点 50 米高处年平均风速为 7.0m/s，60 米处年平均风速为 7.3m/s，60 米处年平均风速为 7.3m/s，70 米为 7.6m/s，当地历史最大风速为 49m/s，用户想安装 1.5-6MW 的风机。使用 63418 翼型，63418 翼型的升力系数和阻力系数数据如表 1 所示。空气密度设置为 1.225 kg/m^3 。

2) 设计内容

- (1) 该参数包括叶片数、风轮直径、额定风速、切入风速、切出风速、功率控制方式、传动系统、电气系统、制动系统形式和塔筒高度等。风机等级按标准确定；
- (2) 关键部件气动载荷计算。设置多台风机的 C_p 曲线和 C_t

曲线，计算几个关键部件的载荷（叶片载荷、转子载荷、主轴载荷、联轴器载荷和塔架载荷等）；根据负载和功率确定所选型号的主要部件的技术参数（齿轮箱、发电机、变流器、联轴器、偏航和变桨电机等）和类型。以上内容建议通过计算机编程实现，确定整机及各部件（系统）的主要技术参数。

(3) 塔根截面应力计算。计算暴风雨条件下风轮的气动推力，参考风机整体设计参数计算塔筒根部截面应力。最后提交相关分析计算报告。

4. 进度计划

序列号	设计（实验）内容	完成时间	评论
1	风机整体参数设计	2.5 天	
2	风力机气动特性初步计算	2 天	
3	单位和组件载荷计算	2 天	
4	齿轮箱、发电机、变流器技术参数	1.5 天	
4	塔根截面应力计算	1 天	
5	报告写作	1.5 天	
6	课程设计防御	1.5 天	

五、设计（实验）结果要求

1. 提供设计风机的性能计算结果；
2. 绘制整机总体布置工程图。

六、考试方式

每个人提交一份课程设计报告；准备课程设计 PPT，并进行答辩。

63418 翼型的升力系数和阻力系数

攻角	升力系数	阻力系数	扭矩系数
-180	-0.475	0.028	0
-179.9	-0.475	0.028	0
-177.79	0.083	0.039	0
-172.18	0.701	0.07	0
-168.55	0.917	0.172	0
-165.1	0.661	0.268	0
-159.59	0.477	0.344	0
-154.91	0.612	0.426	0
-150.61	0.697	0.536	0
-145.49	0.757	0.681	0
-141.27	0.716	0.772	0
-134.54	0.643	0.829	0
-127.58	0.572	0.886	0
-124.17	0.537	0.938	0
-120.56	0.466	1	0
-115.24	0.361	1.069	0
-109.23	0.287	1.108	0
-104.33	0.179	1.145	0
-100.65	0.094	1.167	0
-96.72	0.023	1.183	0
-88.29	-0.099	1.18	0
-82.73	-0.192	1.166	0
-78.79	-0.261	1.148	0
-74.68	-0.332	1.112	0
-68.72	-0.437	1.044	0
-62.9	-0.538	1.003	0
-58.21	-0.597	0.965	0
-53.67	-0.656	0.902	0
-50.77	-0.673	0.825	0
-44.08	-0.68	0.702	0
-38.09	-0.698	0.602	0
-32.99	-0.655	0.508	0
-29.64	-0.535	0.429	0
-24.44	-0.386	0.28	0
-19	-0.354	0.191	0
-12.78	-0.463	0.092	0
-11.58	-0.8	0.036	0

攻角	升力系数	阻力系数	扭矩系数
-11.04	-0.77	0.031	0
-9	-0.745	0.012	0
-8	-0.626	0.01	0
-7	-0.508	0.01	0
-6	-0.39	0.009	0
-5	-0.263	0.008	0
-4	-0.138	0.007	0
-3	-0.03	0.006	0
-2	0.079	0.006	0
-1	0.175	0.006	0
0	0.313	0.006	0
1	0.446	0.006	0
2	0.551	0.006	0
3	0.666	0.007	0
4	0.777	0.007	0
5	0.904	0.007	0
6	0.984	0.008	0
7	1.074	0.01	0
8	1.17	0.013	0
9	1.244	0.015	0
10	1.307	0.018	0
12	1.395	0.025	0
14	1.395	0.032	0
16	1.37	0.039	0
20	1	0.185	0
25	1.04	0.315	0
30	1.02	0.442	0
40	0.95	0.68	0
45	0.9	0.78	0
50	0.82	0.891	0
55.54	0.697	1.022	0
60.67	0.626	1.095	0
66.93	0.495	1.144	0
71.07	0.401	1.179	0
75.5	0.303	1.235	0
80.75	0.199	1.268	0

攻角	升力系数	阻力系数	扭矩系数
86.9	0.099	1.272	0
91.87	-0.014	1.265	0
95.79	-0.112	1.26	0
99.84	-0.214	1.254	0
104.93	-0.317	1.205	0
110.44	-0.427	1.127	0
115.85	-0.539	1.094	0
124.05	-0.629	0.978	0
129.73	-0.695	0.872	0
136.34	-0.796	0.805	0
140.53	-0.77	0.732	0
144.46	-0.729	0.633	0
145.07	-0.721	0.616	0
150.54	-0.674	0.466	0
155.32	-0.597	0.308	0
160.62	-0.843	0.271	0
163.66	-1.124	0.183	0
168.46	-0.88	0.073	0
175.01	-0.475	0.028	0
179.9	0.083	0.039	0
180	0.083	0.039	0

第一章 风力机总体参数设计

1.1 额定功率

根据《设计任务书》，额定功率选为 3MW。

1.2 设计寿命

I 到 III 的风力涡轮机至少可以使用 20 年。这里选择 20 年的设计寿命。

1.3 切出风速、切入风速、额定风速

切入风速为 $v_{in}=3\text{m/s}$;

切出风速为 $v_{out}=25\text{m/s}$;

额定风速 $v_r=13\text{m/s}$;

对于一般的变桨风机（选择 3MW），额定风速羽流与平均风速之比约为 1.70。

1.4 发电机额定转速及转速范围

使用高速发电机的风力涡轮机大多是异步发电机。根据电机理论，当异步发电机以恒定频率并入电网时，定子三相绕组中电流产生的旋转磁场的同步速度取决于电机的额定频率。

电网与发电机绕组的极对数，三者关系为 $n_1 = \frac{60f_1}{p}$,

在：

n_1 ——同步转速，单位为 r/min;

f_1 —— 电网频率，Hz;

p ——发电机绕组的极对数。

异步发电机中旋转场与转子之间的相对转速为 $\Delta n = n_1 - n_2$ ，相对转速与同步转速的比

值称为异步发电机的转差率，用 s 表示，即 $s = \frac{n_1 - n}{n_1} \times 100\%$ 。

当异步发电机的转子由风力发电机驱动并以高于同步转速的速度旋转时,发电机处于发

电状态，发电机中的电磁转矩为制动转矩，阻碍了旋转发电机，并在这个时候发电。风力发电机需要吸收外界的无功电流来建立磁场（如无功电流由电容器提供），从风力发电机获得的机械能转化为电能并供给电网。喜事发生器的滑差率为负，其绝对值一般在2%~5%之间。并网运行的大容量异步发电机的转子转速一般在 $(1\sim 1.05)n_1$ 之间。

应用双馈发电机，转子速度一般在 $(1\pm 30\%)n_1$ 之间变化。

1.5 重要的几何尺寸

1.5.1 转子直径和扫过面积

叶片直径由风力涡轮机的输出功率获得：

$$D = \sqrt{\frac{8P_r}{C_p \rho v_r^3 \pi \eta_1 \eta_2}} = \sqrt{\frac{8P_r}{\rho v_r^3 \pi \eta}} = \sqrt{\frac{8 \times 3 \times 10^6}{1.225 \times 13^3 \times \pi \times 0.33 \times 0.96 \times 0.94}} = 97\text{m}$$

在：

P_r —风机额定输出功率，取3000kW；

ρ —空气密度（一般取标准大气状态），取 1.225kg/m^3 ；

v_r —额定风速，取 13m/s ；

D —风轮直径，额定风速为 13m/s 时，风轮直径为 97m ；

η_1 —传动系统效率，取 0.96 ；

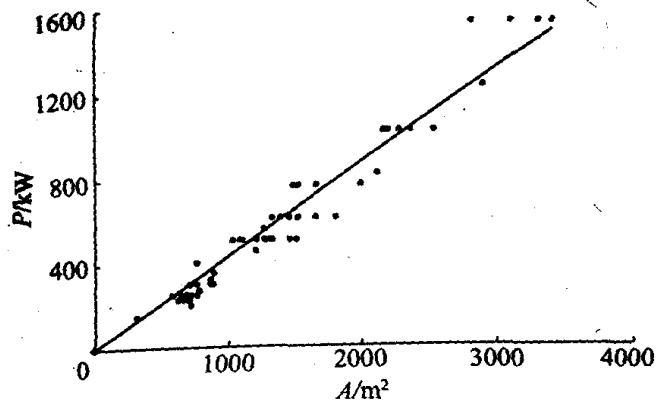
η_2 —发电系统效率，取 0.94 （发电机效率 0.97 ，变流器效率 0.97 ）；

C_p —额定功率下的风能利用系数，取 0.33 。

扫过的面积可以从直径计算： $S = \frac{\pi D^2}{4} = 7390\text{m}^2$

由大型风机风轮扫掠面积与额定功率关系的经验曲线图可知，每平方米风轮扫掠面积产

生的额定功率为 405W/m^2 ， $D = \sqrt{\frac{4P_r}{405\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 3 \times 10^6}{405\pi}} = 97\text{m}$



风轮扫过面积与额定功率关系的经验曲线

综上所述，转子直径 $D=97\text{m}$ ，扫掠面积 $S=7390\text{m}^2$ 。

1.5.2 轮毂高度

轮毂高度是从地面到风轮扫掠面中心的高度，用 Z_{hub} 表示，单位为 m 。

$$Z_{\text{轮毂}} = Z_t + H,$$

在：

H ——塔的高度，单位为 m ；

Z_t ——塔顶平面到风轮扫掠面中心的高度， m 。

对于转子直径大于 25m 的机组，轮毂中心高度与转子直径之比基本为 $1:1$ 。

取 $Z_{\text{轮毂}} = 97\text{m}$ 。

1. 6片刀片

现代风力发电机的坚固度比较小，一般需要 $1-3$ 个叶片。在选择风力涡轮机叶片数量时，要考虑风力涡轮机性能和负载、风力转子和传输成本、风力涡轮机气动噪声和景观影响等因素。

与 1 叶片和 2 叶片相比， 3 叶片转子具有以下优点：

1. 平衡简单，动态负载小。系统周期性负载基本消除，输出扭矩比较稳定；
2. 可以提供更好的效率；
3. 更美丽；
4. 噪音小；

1. 轮子更简单。

综上所述，叶子的数量是 $B=3$ 。

1.7 风轮转速

风轮的输出功率与其扭矩和转速有关。It can be known from the rotor torque $M=9550P_s/n$ that when the rated power P_s (kW) has been selected, the rotor speed n (r/min) is inversely proportional to the torque (N m). 为了减小转矩 M ，应提高转子速度。但转速太高对风轮不利，应选择合适的风轮转速。陆上风力发电机的叶尖速度通常限制在 65m/s 左右，三叶片风力发电机的转子叶尖速比一般在 $6.0\sim 8.0$ 之间。在这里取 6.5 。

$$\lambda = \frac{2\pi n R}{60 \times v_r}$$

$$n = \frac{60 \times \lambda v_r}{2\pi R} = \frac{60 \times 6.5 \times 13}{2 \times \pi \times 48.5} = 17 \text{ r/min}$$

因此，风轮的额定转速为 17r/min 。

1.8 功率曲线、 C_p 曲线、 C_t 曲线、攻角 α

$$P_w = \begin{cases} P_r \frac{v^k - v_{in}^k}{v_r^k - v_{in}^k} & (v_{in} \leq v \leq v_r) \\ P_r & (v_r \leq v \leq v_{out}) \\ 0 & (v < v_{in} \text{ 或 } v > v_{out}) \end{cases}$$

在：

k 是 Weibull 分布的形状参数。根据大量观察，我国的 k 值通常在 $1.0\sim 2.6$ 之间。这里取 $k=2.5$ 。

风能利用系数 C_p 的计算公式如下：

$$C_p = \frac{8P_w}{\rho v^3 \pi D^2 \eta_1 \eta_2}$$

$$C_p = 4a(1-a)^2$$

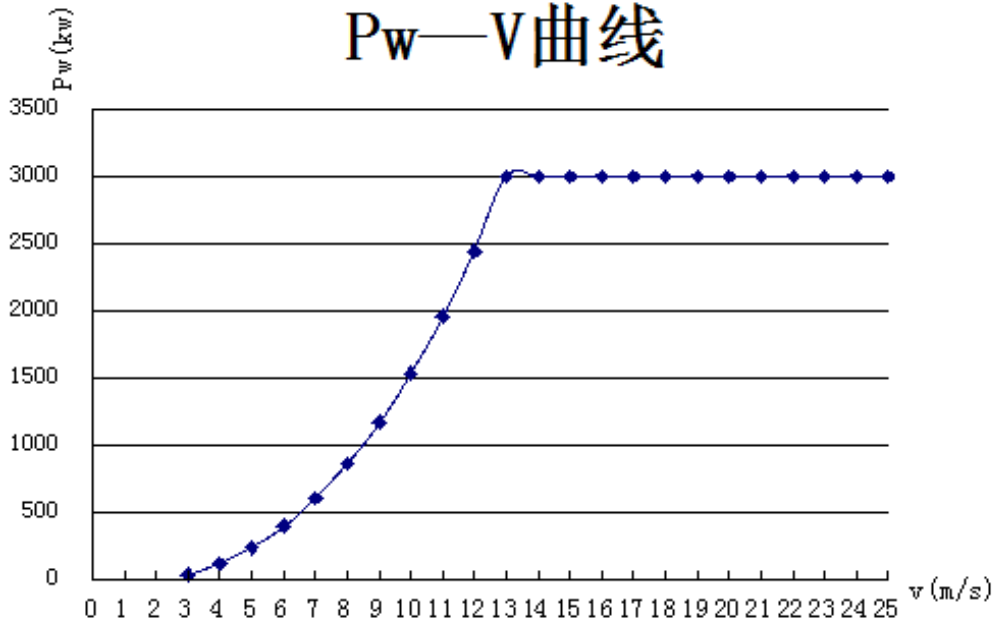
推力系数 C_T 的计算公式如下：

$$C_T = 4a(1-a)$$

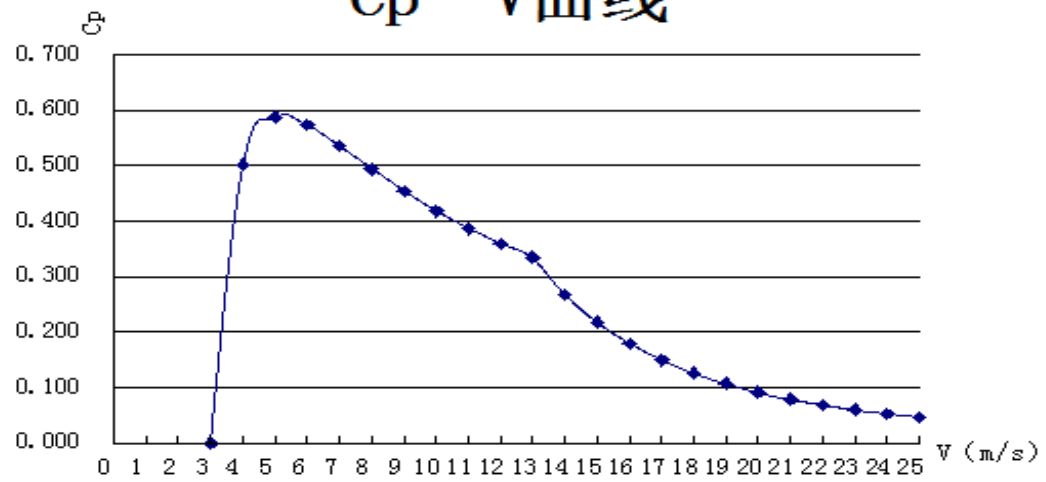
表格 1

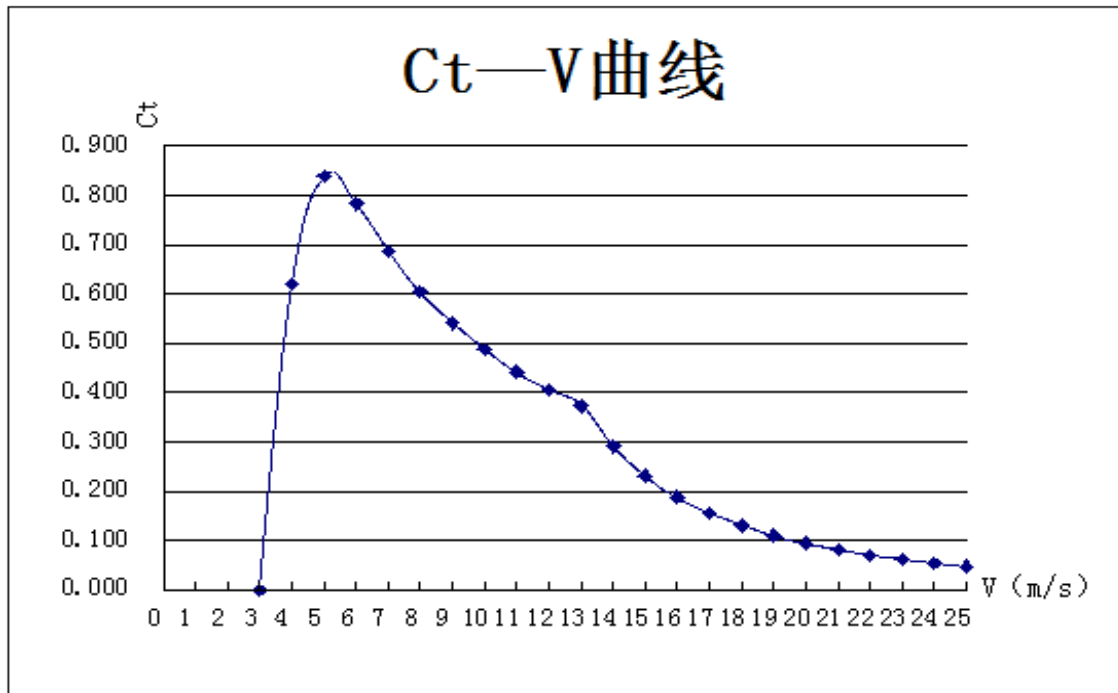
风速 v (m/s)	额定功率Pr (kw)	输出功率Pw (千瓦)	CP	一个	CT
3	3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	3000	114.9352	0.4399	0.1920	0.6205
5	3000	234.3764	0.4593	0.2991	0.8386
6	3000	395.6851	0.4487	0.2667	0.7823
7	3000	602.8693	0.4305	0.2202	0.6868
8	3000	859.6122	0.4113	0.1858	0.6052
9	3000	1169.3409	0.3929	0.1610	0.5404
10	3000	1535.2735	0.3761	0.1419	0.4869
11	3000	1960.4531	0.3608	0.1267	0.4425
12	3000	2447.7736	0.3470	0.1144	0.4051
13	3000	3000.0000	0.3345	0.1042	0.3734
14	3000	3000.0000	0.2678	0.0789	0.2907
15	3000	3000.0000	0.2177	0.0617	0.2317
16	3000	3000.0000	0.1794	0.0496	0.1886
17	3000	3000.0000	0.1496	0.0406	0.1558
18	3000	3000.0000	0.1260	0.0337	0.1303
19	3000	3000.0000	0.1071	0.0284	0.1102
20	3000	3000.0000	0.0919	0.0241	0.0941
21	3000	3000.0000	0.0793	0.0207	0.0810
22	3000	3000.0000	0.0690	0.0179	0.0703
23	3000	3000.0000	0.0604	0.0156	0.0614
24	3000	3000.0000	0.0532	0.0137	0.0539
25	3000	3000.0000	0.0470	0.0120	0.0476

P_w — V 曲线



C_p — V 曲线





表格 2

攻角	升力系数	好的	升阻比	攻角	升力系数	好的	升阻比
-180	-0.475	0.028	-16.964	0	0.313	0.006	52.167
-179.9	-0.475	0.028	-16.964	1	0.446	0.006	74.333
-177.79	0.083	0.039	2.128	2	0.551	0.006	91.833
-172.18	0.701	0.07	10.014	3	0.666	0.007	95.143
-168.55	0.917	0.172	5.331	4	0.777	0.007	111.000
-165.1	0.661	0.268	2.466	5	0.904	0.007	129.143
-159.59	0.477	0.344	1.387	6	0.984	0.008	123.000
-154.91	0.612	0.426	1.437	7	1.074	0.01	107.400
-150.61	0.697	0.536	1.300	8	1.17	0.013	90.000
-145.49	0.757	0.681	1.112	9	1.244	0.015	82.933
-141.27	0.716	0.772	0.927	10	1.307	0.018	72.611
-134.54	0.643	0.829	0.776	12	1.395	0.025	55.800
-127.58	0.572	0.886	0.646	14	1.395	0.032	43.594
-124.17	0.537	0.938	0.572	16	1.37	0.039	35.128
-120.56	0.466	1	0.466	20	1	0.185	5.405
-115.24	0.361	1.069	0.338	25	1.04	0.315	3.302
-109.23	0.287	1.108	0.259	30	1.02	0.442	2.308
-104.33	0.179	1.145	0.156	40	0.95	0.68	1.397
-100.65	0.094	1.167	0.081	45	0.9	0.78	1.154
-96.72	0.023	1.183	0.019	50	0.82	0.891	0.920
-88.29	-0.099	1.18	-0.084	55.54	0.697	1.022	0.682
-82.73	-0.192	1.166	-0.165	60.67	0.626	1.095	0.572
-78.79	-0.261	1.148	-0.227	66.93	0.495	1.144	0.433
-74.68	-0.332	1.112	-0.299	71.07	0.401	1.179	0.340

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/636134240102011013>