ICS 29.240.10
CCS K 40

DB 65

新 疆 维 吾 尔 自 治 区 地 方 标 准

DB 65/T 4664—2023

变电站抗震安全性评估导则

Guidelines for seismic safety assessment of substations

2023－XX－XX 发布　　2023－XX－XX 实施

新疆维吾尔自治区市场监督管理局　　发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　基本规定 2
5　基本原则 3
6　场地抗震安全性评估 4
7　地震参数的选取及评估 5
8　构架抗震安全性评估 6
9　电气设备抗震安全性评估 8
10　配电楼抗震安全性评估 8
11　评估结果 9
附录 A（规范性）　层次分析法步骤及权重计算方法 10

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由国网新疆电力有限公司电力科学研究院提出。

本文件由国网新疆电力有限公司归口并组织实施。

本文件起草单位：国网新疆电力有限公司电力科学研究院、国网新疆电力有限公司、国网新疆电力有限公司超高压分公司、长沙理工大学、中国电力科学研究院有限公司、国网新疆电力有限公司经济技术研究院、湖北大学、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、国网新疆电力有限公司奎屯供电公司、中国计量大学、华电新疆发电有限公司。

本文件主要起草人：张陵、秦志敏、赵蓂冠、金铭、温刚、刘威、杨洋、张小军、赵普志、杨春侠、张博、董新胜、王建、付豪、王立福、杨利民、李清、庄文兵、李孟、王红霞、张小刚、杨定乾、吴天博、王洁、郑子梁、雷泽阳、吴苏州、倪玉双、李圣、丁德、程永锋、邓鹤鸣、胡永明、邓蔚、刘春翔、于海、张龙飞、刘杨、张朋越、马树阳、马捍超、艾红、刘彬、杨风利、张宏杰、李丹煜、关守信。

本文件实施应用中的疑问，请咨询国网新疆电力有限公司电力科学研究院。

对本文件的修改意见建议，请反馈至国网新疆电力有限公司（乌鲁木齐市南湖东路68号）、国网新疆电力有限公司电力科学研究院（乌鲁木齐市恒达街200号）、新疆维吾尔自治区市场监督管理局（乌鲁木齐市新华南路167号）。

国网新疆电力有限公司 联系电话：0991-2926664；传真：0991-2918127；邮编：830002

国网新疆电力有限公司电力科学研究院 联系电话：0991-2918117；传真：0991-2918127；邮编：830011

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 联系电话：0991-2818750；传真：0991-2311250；邮编：830004

变电站抗震安全性评估导则

1 范围

本文件规定了电力系统变电站户外电气设备及设备主厂房抗震安全性评估的术语和定义、基本规定、基本原则、地震参数的选取及评估、场地抗震安全性评估、构架抗震安全性评估、电气设备抗震安全性评估、配电楼抗震安全性评估、评估结果的要求。

本文件适用于额定电压在110 kV及以上各类变电站抗震安全性的评估。对110 kV以下类似变电站及其他电力设施结构安全评估可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 18306 中国地震动参数区划图

GB/T 24336 生命线工程地震破坏等级划分

GB 50007 建筑地基基础设计规范

GB 50011—2010 建筑抗震设计规范

GB 50117 构筑物抗震鉴定标准（附条文说明）

GB 50260 电力设施抗震设计规范（附条文说明）

DL/T 5457 变电站建筑结构设计技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

层次分析法 analytic hierarchy process

将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次，在此基础之上进行定性和定量分析的决策方法。

3.2

地震易损性 seismic vulnerability

结构在不同等级地震作用下发生各级破坏的概率。

3.3

抗震安全性评估 seismic safety assessment

对工程场址及周围环境地质情况、该地地震发生频率及地震强度等地震参数进行调研，对工程内结构的薄弱节点综合评估和分析计算，以及计算安全评估指标确定工程的破坏等级。

3.4

抗震安全性评估指数 seismic safety assessment index (SAI)

根据分目标层、指标层以及底层的指标参数建立变电站地震易损性评估模型，计算得到的评估抗震安全性的指标。

3.5

应强比 stress to strength ratio

材料在地震作用下的应力值与材料极限强度的比值。

4 基本规定

4.1 评估程序

见图1。

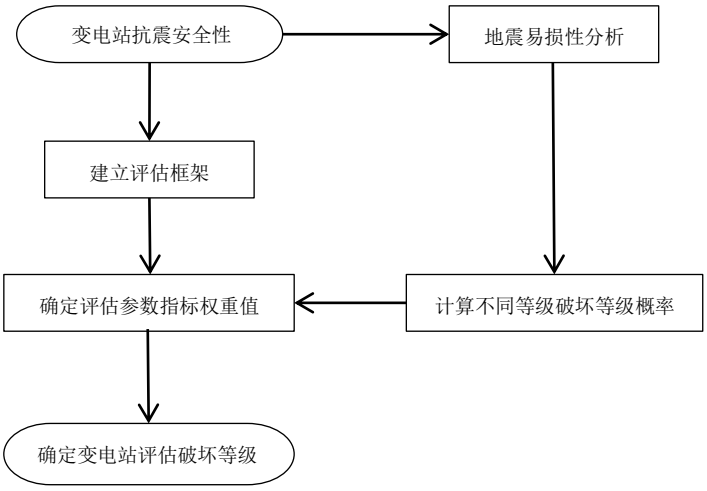

图1 变电站抗震安全性评估流程图

4.2 实地调研

主要内容应包含：

a) 变电站电气设备布置情况；
b) 电气设备型号及数量；
c) 主控通信楼重要节点现状调查；
d) 设备支架重要节点现状；
e) 构架重要节点现状；
f) 大型电气设备地基沉降状况；
g) 变电站站址边坡及地面变形及裂缝状况。

4.3 资料收集

主要内容应包含：

a) 站址位置图，站区规划图；
b) 总平面布置图，变电站设计说明书；
c) 主控通信楼、配电装置室平面布置图，立、剖面图；
d) 构架设计总说明，构架竣工图；
e) 设备支架竣工图，设备材料清单；
f) 站址不少于20年地震数据；
g) 建造场地《地质勘查报告》；

h） 设备抗震措施情况。

4.4 等级划分

按照GB/T 24336的规定，将变电站地震破坏划分为：

a） Ⅰ级：基本完好；

b） Ⅱ级：轻微破坏；

c） Ⅲ级：中等破坏；

d） Ⅳ级：严重破坏；

e） Ⅴ级：毁坏。

5 基本原则

5.1 基本要求

对变电站进行抗震安全性评估时，应考虑下列因素：

a） 不同类型电气设备所占数量及比例；

b） 评估指标在各层中的重要程度。

5.2 层次划分

变电站抗震安全性评估按照层次分析法进行评估，评估步骤及权重计算方法按照附录A的规定执行，评估的总目标层为变电站抗震安全等级；分目标层为一次设备、二次设备，其中一次设备的指标层划分为场地、地震参数、构架、支座类电气设备、支架类电气设备、支柱类电气设备等6类；二次设备的指标层划分为场地、地震参数、主控通信楼等3类；底层按照各指标层特点进行划分。

5.3 评估体系

总目标层、分目标层、指标层和底层共同构成变电站抗震安全性评估体系，见表1。

表1 变电站抗震安全性评估体系

总目标层	分目标层	指标层	底层
变电站抗震安全等级	一次设备	场地	场地类别
			地形地貌
			地质潜在灾害
		地震参数	震源深度
			抗震设计分组
			地震烈度与设防烈度比值
		构架	最大位移角
			应强比
			A字柱柱脚杆件偏角
		支座类电气设备	最大位移角
			瓷套应强比
			法兰应强比
		支架类电气设备	最大位移角
			瓷套应强比

表1　变电站抗震安全性评估体系（续）

总目标层	分目标层	指标层	底层
变电站抗震安全等级	一次设备	支架类电气设备	法兰应强比
		支柱类电气设备	最大位移角
			瓷套应强比
			法兰应强比
	二次设备	场地	场地类别
			地形地貌
			地质潜在灾害
		地震参数	震源深度
			抗震设计分组
			地震烈度与设防烈度比值
		主控通信楼	层间位移角限值

5.4　评估指标权重值

变电站抗震安全性评估指标权重按照三个评估层分别计算，对构建的各层判断矩阵计算出最大特征值，其所对应的特征向量值即为各指标所占权重值。

5.5　评估指数

根据分目标层的p个指标参数、指标层的n个指标参数、底层的m个指标参数建立变电站地震易损性评估模型，抗震安全性评估指数计算方法见式(1)：

$$SAI = \sum_{i=1}^{m} v_i r_i h_i g_i \quad (1)$$

式中：

SAI——抗震安全性评估指数；

v_i——底层第i个指标的评价分值；

r_i——底层第i个指标所占权重；

h_i——底层第i个指标所对应的指标层的指标所占权重；

g_i——底层第i个指标所对应的分目标层的指标所占权重。

6　场地抗震安全性评估

6.1　一般规定

6.1.1　场地抗震安全性评估应包括场地类别、地形地貌和地质潜在灾害三部分。

6.1.2　当对场地进行抗震安全性评估时，应结合 4.3 中收集的变电站设计总说明和建造场地《地质勘查报告》等资料，按照 GB 18306、GB 50011—2010 的规定执行。

6.2　评估指标评判标准及分值

6.2.1　场地类别

应按照GB 50007与GB 50011—2010将场地类别分为4类，评判标准及分值见表2。

表2　场地类别评判标准及分值

底层	评判标准		分值
场地类别	Ⅰ类	岩石，紧密的碎石土	1.0
	Ⅱ类	中密、松散的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂，地基土容许承载力的粘性土	0.8
	Ⅲ类	松散的砾、粗、中砂、密实、中密的细、粉砂，地基土容许承载力的粘性土和填土	0.5
	Ⅳ类	淤泥质土，松散的细、粉砂，新近沉积的粘性土，地基土容许承载力的填土	0.2

6.2.2　地形地貌

根据新疆地区的复杂地形，将地形地貌划分为3类，评判标准及分值见表3。

表3　地形地貌评判标准及分值

底层	评判标准		分值
地形地貌	平原	地势低平，起伏和缓，坡度在5°以下，变电站离山地较远，山地发生的地质灾害对变电站不产生影响	1.0
	盆地	四周高，中部低的盆状地形，变电站离山体距离适中，山体发生的地质灾害对变电站产生影响，但后果不严重	0.5
	山地	起伏大，坡度陡，沟谷深，多呈脉状分布，变电站离山地较近，山体发生的地质灾害对变电站产生严重影响	0.2

6.2.3　地质潜在灾害

在地震作用下，地质体会发生变形或引起破坏，将地质潜在灾害划分为4类，评判依据与分值见表4。

表4　地质潜在灾害评判标准及分值

底层	评判标准		分值
地质潜在灾害	砂土液化	饱和砂土的结构疏松和渗透性相对较低，以及振动的强度和持续时间强	0.2
	冻融	寒冷气候条件下，土壤或岩层中冻结的冰在白天融化，晚上冻结，或者夏季融化，冬季冻结	0.2
	湿陷性	湿陷性系数≥0.015时为湿陷性黄土	0.2
	溶陷性	溶陷系数≥0.01时具有溶陷性	0.2

7　地震参数的选取及评估

7.1　一般规定

7.1.1　地震参数安全性评估应包括震源深度、抗震设计分组和地震烈度与抗震设防烈度比值三部分。

7.1.2　当对地震参数进行抗震安全性评估时，应根据不少于20年的变电站站址地震数据的记录结果进行评估。

7.2　评估指标评判标准及分值

7.2.1 震源深度

震源深度是从震源到震中的垂直距离，根据不同震源深度对工程所造成的危害，将地震按照不同的震源深度划分为4类，评判依据与分值见表5。

表5 震源深度评判标准及分值

底层	评判标准		分值
震源深度	深层地震	震源深度在 60 km 以上	1.0
	浅层地震	震源深度为 30 km～60 km	0.8
	次浅层地震	震源深度为 10 km～30 km	0.5
	极浅层地震	震源深度小于 10 km	0.2

7.2.2 抗震设计分组

按照GB 50011—2010中附录A.0.31的抗震设计分组，各组分值见表6。

表6 抗震设计分组及分值

抗震设计分组	分值
第一组	0.8
第二组	0.5
第三组	0.2

7.2.3 地震烈度与抗震设防烈度比值

按照GB/T 24336和DL/T 5457，将地震烈度与抗震设防烈度比值划分为4个等级，评判标准及分值见表7。

表7 地震烈度与抗震设防烈度比值 υ 评判标准及分值

底层	评判标准		分值
地震烈度与抗震设防烈度比值	$\upsilon<0.6$	地震对变电站没有影响，电气设备本体及主要零部件无破损，个别附属零部件破损，设备基础完好，不必修理仍能继续使用	1.0
	$0.6\leqslant\upsilon<0.8$	地震对变电站影响较小，电气设备本体无破损，个别主要零部件破损，部分附属零部件损坏，设备基础有细裂缝，需一般修理后才能继续使用	0.8
	$0.8\leqslant\upsilon<1$	地震对变电站影响较大，电气设备本体破损，部分主要零部件破损，较多附属零部件损坏，设备基础中等破坏，需大修后才能继续使用	0.5
	$\upsilon\geqslant1$	地震烈度超过抗震设防烈度，设备本体、零部件、基础破损严重，应按照现行电力设施标准对各部件及基础进行检测、评估，判定维修还是新建	0.2
注：υ为地震烈度与抗震设防烈度比值。			

8 构架抗震安全性评估

8.1 一般规定

8.1.1 构架抗震安全性评估应包括最大位移角、应强比和 A 字柱柱脚杆件偏角三部分。

8.1.2 当对构架进行抗震安全性评估时，应根据构架设计总说明，构架竣工图的勘察结果进行评估。

8.2 评估指标评判标准及分值

8.2.1 最大位移角

构架结构类型按钢结构竖向构件最大位移角限值，将最大位移角划分为5个等级，评判标准及分值见表8。

表8 最大位移角 θ_1 评判标准及分值

底层	评判标准		分值
最大位移角	基本完好	$0<\theta_1\leqslant 1/300$	1.0
	轻微破坏	$1/300<\theta_1\leqslant 1/200$	0.8
	中等破坏	$1/200<\theta_1\leqslant 1/100$	0.6
	严重破坏	$1/100<\theta_1\leqslant 1/55$	0.4
	毁坏	$\theta_1>1/55$	0.2
注：θ_1为最大位移角。			

8.2.2 应强比

根据构架本身材料特性，将构架应强比划分为4个等级，评判标准及分值见表9。

表9 应强比 η_1 评判标准及分值

底层	评判标准		分值
应强比	低应力阶段	$\eta_1<0.6$	1.0
	中等应力阶段	$0.6\leqslant\eta_1<0.8$	0.8
	高应力阶段	$0.8\leqslant\eta_1<1$	0.5
	倾覆阶段	$\eta_1\geqslant 1$	0.2
注：η_1为应强比。			

8.2.3 A 字柱柱脚杆件偏角

根据构架破坏特征，将A字柱柱脚杆件偏角划分为4个等级，其偏角评判标准及分值见表10。

表10 A 字柱柱脚杆件偏角评判标准及分值

底层	评判标准	分值	底层
A字柱柱脚杆件偏角	基本完好	梁柱杆件均保持完好，一般不需修理即可继续使用；偏角范围：0°～1.0°	1.0
	轻微破坏	梁柱杆件出现轻微弯曲，不需修理或稍加修理即可继续使用；偏角范围：1.0°～4.0°	0.8
	中等破坏	梁柱杆件出现较为明显弯曲，结构出现较大偏移，一般修理，加固安全措施后可适当使用；偏角范围：4.0°～10.0°	0.5
	严重破坏	柱脚出现严重弯曲变形，结构部分梁柱明显倾覆，应安排大修，局部应拆除；偏角范围：10.0°～20.0°	0.2

9 电气设备抗震安全性评估

9.1 一般规定

9.1.1 电气设备主要分为支座类、支架类、支柱类。

9.1.2 电气设备抗震安全性评估均包括最大位移角、瓷套应强比和法兰应强比三部分。

9.1.3 当对电气设备进行抗震安全性评估时，应根据 GB 50260 以及变电站设备支架竣工图，设备材料清单等进行评估。若各底层指标的设备采取了抗震加固措施，其分值可提高一个等级。

9.2 评估指标评判标准及分值

9.2.1 最大位移角

电气设备的最大位移角评判标准及分值参见表8。

9.2.2 瓷套应强比

根据瓷套的材料特性将其划分为4个等级，评判标准及分值见表11。

表11 瓷套应强比 η_2 评判标准及分值

底层	评判标准		分值
瓷套应强比	完好	$0<\eta_2\leqslant 0.06$	1.0
	不严重破坏	$0.06<\eta_2\leqslant 1/1.67$	0.8
	严重破坏	$1/1.67<\eta_2\leqslant 1$	0.5
	毁坏	$\eta_2>1$	0.2
注：η_2为瓷套应强比。			

9.2.3 法兰应强比

根据法兰的材料特性，将法兰划分为4个等级，评判标准及分值见表12。

表12 法兰应强比 η_3 评判标准及分值

底层	评判标准		分值
法兰应强比	低应力阶段	$\eta_3<0.6$	1.0
	中等应力阶段	$0.6\leqslant\eta_3<0.8$	0.8
	高应力阶段	$0.8\leqslant\eta_3<1$	0.5
	倾覆阶段	$\eta_3\geqslant 1$	0.2
注：η_3为法兰应强比。			

10 配电楼抗震安全性评估

10.1 一般规定

10.1.1 配电楼安全性评估包括层间位移角。

10.1.2 当对配电楼进行抗震安全性评估时，应根据变电站主控通信楼平面布置图，主控通信楼立、剖面图等的勘察结果进行评估。

10.2 评估指标评判标准及分值

配电楼结构类型按钢筋混凝土框架结构划分为5个等级，其评判标准及分值见表13。

表13 配电楼层间位移角θ_2评判标准及分值

底层	评判标准		分值
层间位移角	基本完好	$0<\theta_2\leqslant 1/550$	1.0
	轻微破坏	$1/550<\theta_2\leqslant 1/400$	0.8
	中等破坏	$1/400<\theta_2\leqslant 1/250$	0.6
	严重破坏	$1/250<\theta_2\leqslant 1/50$	0.4
	倒塌	$\theta_2>1/50$	0.2
注：θ_2为配电楼层间位移角。			

11 评估结果

变电站抗震安全性评估结果用破坏等级进行表示，不同破坏等级对应的抗震安全性评估指数SAI值见表14。

表14 变电站不同破坏等级的SAI值

破坏等级	SAI值
Ⅰ级	0.8<SAI≤1
Ⅱ级	0.6<SAI≤0.8
Ⅲ级	0.4<SAI≤0.6
Ⅳ级	0.2<SAI≤0.4
Ⅴ级	SAI≤0.2

附　录　A
（规范性）
层次分析法步骤及权重计算方法

A.1　层次分析法步骤

运用层次分析法构造系统模型时，分为：

a)　建立层次结构模型；

b)　构造判断（成对比较）矩阵；

c)　层次单排序及其一致性检验；

d)　层次总排序及其一致性检验。

A.2　建立层次结构模型

将决策的目标、考虑的因素（决策准则）和决策对象按它们之间的相互关系分为最高层、中间层和最底层，绘出层次结构图。

A.3　构造判断（成对比较）矩阵

A.3.1　在计算每层各指标的权重时，按照美国运筹学家T.L.Saaty教授提出的一致矩阵法，将各层评估指标分别进行逐对比较，运用相对标度降低各因素互相比较的难度，判断矩阵元素的标度方法见表A.1。

表A.1 判断矩阵元素的标度方法

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同样重要性
3	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比，一个因素重要性占较大比重
9	表示两个因素相比，一个因素重要性远超另一个因素
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素i与j比较的判断a_{ij}，则因素j与i比较的判断$a_{ji}=1/a_{ij}$
注：a_{ij}为因素i与因素j重要性比较的结果。	

A.3.2　构造判断矩阵A后，采用几何平均法求解判断矩阵A的最大特征值和其对应的特征向量。几何平均法的计算步骤如下：

a)　计算判断矩阵$\mathrm{A}=\left(a_{ij}\right)_{n\times l}$的各行各列元素乘积，计算方法见式(A.1)：

$$m_i=\prod_{j=1}^{l}a_{ij}\text{，对任意}j=1,2,\ldots,l \quad \text{(A.1)}$$

式中：

m_i——判断矩阵中第i行元素之积；

a_{ij}——因素i与因素j重要性比较的结果。

b)　计算n次方根，计算方法见式(A.2)：

$$W_i=\sqrt[n]{m_i} \quad \text{(A.2)}$$

式中：

W_i——m_i的n次方根；

m_i——判断矩阵中第i行元素之积。

c） 对向量$W=(W_1,W_2,\cdots,W_n)^T$进行规范化，计算方法见式(A.3)：

$$\widehat{W}_i=\frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n}W_i} \quad \cdots\cdots (A.3)$$

式中：

$\widehat{W}_i$——向量$\widehat{W}$的第i个元素；

$\widehat{W}$——所求的特征向量，$\widehat{W}=\left(\widehat{W}_1,\widehat{W}_2,\cdots,\widehat{W}_n\right)^T$；

W_i——m_i的n次方根；

W——由m_i的n次方根构成的向量。

d） 计算判断矩阵的最大特征值，计算方法见式(A.4)：

$$\lambda_{max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{1}\frac{(\mathrm{A}\widehat{W})_i}{\widehat{W}_i},\text{对任意}i=1,2,\ldots,n \quad \cdots\cdots (A.4)$$

式中：

λ_{max}——判断矩阵的最大特征值；

$(\mathrm{A}\widehat{W})_i$——向量$(\mathrm{A}\widehat{W})$的第$i$个元素；

$\widehat{W}_i$——向量$\widehat{W}$的第i个元素。

A.4 层次单排序及其一致性检验

对应于判断矩阵最大特征值λ_{max}的特征向量，经归一化（使向量中各元素之和等于1）后记为$\widehat{W}_i$。$\widehat{W}_i$的元素为同一层次因素对于上一层次因素相对重要性的排序权值，这一过程称为层次单排序。$\widehat{W}_i$需要进行一致性检验才能确认为层次单排序。一致性检验的步骤如下：

a） 判断矩阵是否为一致矩阵：

- n阶一致阵的唯一非零特征根为n；
- n阶判断矩阵A的最大特征值$\lambda\geqslant n$，当且仅当时$\lambda=n$，A为一致矩阵。

b） 计算一致性指标CI：测试评判的可靠性或一致性，在层次分析法中引入一致性指标CI判断矩阵是否偏离一致性。计算方法见式(A.5)：

$$CI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \quad \cdots\cdots (A.5)$$

式中：

CI——矩阵偏离一致性的指标；

λ_{max}——判断矩阵的最大特征值。

c） 计算一致性指标平均值RI：对于n=（3～10）阶分别构造 500 个随机样本矩阵，计算其一致性指标CI值，然后取平均值，即一致性指标平均值RI。1，2 阶判断矩阵总具有完全一致性，其RI为零。（1～10）阶判断矩阵的RI值见表 A.2。

表A.2 1～10 阶判断矩阵的 RI 值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

d) 计算随机一致性比率CR：当阶数大于 2 时，判断矩阵一致性指标CI和同阶一致性指标平均值RI之比称为随机一致性比率CR，当CR在 10%左右时，判断矩阵具有满意的一致性。CR计算方法见式(A.6)：

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{(A.6)}$$

式中：

CR——随机一致性比率；

CI——矩阵偏离一致性的指标；

RI——同阶一致性指标平均值。

A.5 层次总排序及其一致性检验

计算某一层次所有因素对于最高层（总目标）相对重要性的权值，称为层次总排序。这一过程从最高层次到最低层次依次进行。