

《水工大坝与地基模型试验及工程应用》

书籍信息

版次：1

页数：

字数：

印刷时间：2015年10月01日

开本：16开

纸张：胶版纸

包装：平装

是否套装：否

国际标准书号ISBN：9787030454768

编辑推荐

《水工大坝与地基模型试验工程应用》可作为高等院校水利水电工程专业本科生、研究生的教学或参考用书，同时也可供从事水利、土建工程结构模型和地质力学模型试验的科研及工程技术人员参考。

内容简介

《水工大坝与地基模型试验工程应用》较系统地介绍了水工大坝结构模型与地质力学模型试验的有关理论、方法和技术，以及在高坝工程中的应用；主要内容包括模型相似理论、大坝结构试验方法与技术、大坝地质力学模型试验方法与技术；重点介绍两类模型的相似原理、模型材料、加载系统、量测技术和成果分析。《水工大坝与地基模型试验工程应用》在**版的基础上增加了基于变温相似材料的降强法试验技术的内容以及应用模型试验手段解决高坝工程稳定安全问题的典型工程实例。

《水工大坝与地基模型试验工程应用》可作为高等院校水利水电工程专业本科生、研究生的教学或参考用书，同时也可供从事水利、土建工程结构模型和地质力学模型试验的科研及工程技术人员参考。

目录

第1章 模型试验相似理论1

1.1 相似的概念1

1.2 相似理论2

1.2.1 相似**定理——相似现象的性质2

1.2.2 相似第二定理——相似判据的确定4

1.2.3 相似第三定理——相似现象的必要和充分条件 5

1.2.4 相似条件5

1.3 相似关系分析方法 8

1.3.1 牛顿普遍相似定律 8

1.3.2 齐次原理与白金汉 理论 10

1.3.3 方程分析法 16

1.4 弹塑性阶段的相似关系 16

1.4.1 弹性阶段的相似关系17

1.4.2 塑性阶段的相似关系21第1章 模型试验相似理论11.1 相似的概念11.2 相似理论21.2.1

相似**定理——相似现象的性质21.2.2 相似第二定理——相似判据的确定41.2.3

相似第三定理——相似现象的必要和充分条件 51.2.4 相似条件51.3 相似关系分析方法 8

1.3.1 牛顿普遍相似定律 81.3.2 齐次原理与白金汉 理论 101.3.3 方程分析法 161.4

弹塑性阶段的相似关系 161.4.1 弹性阶段的相似关系171.4.2 塑性阶段的相似关系211.5
大坝模型试验的相似条件 231.5.1 结构模型试验的相似条件 231.5.2
地质力学模型试验的相似条件25第2章 大坝模型试验方法分类272.1 大坝结构模型试验27
2.1.1 结构模型试验的意义和任务272.1.2 结构模型试验的主要研究内容 272.1.3
结构模型试验的类型282.2 大坝地质力学模型试验 292.2.1
地质力学模型试验的目的与意义292.2.2 地质力学模型试验的特点和研究内容302.2.3
地质力学模型试验的类型302.3 其他模型试验方法332.3.1 动力模型试验方法332.3.2
离心模型试验方法33第3章 大坝结构模型试验方法与技术343.1 概述343.1.1
结构模型试验的发展343.1.2 结构模型试验的目的及意义363.2 结构模型试验的模型材料36
3.2.1 模型材料的分类 363.2.2 结构模型试验材料的选择373.2.3 石膏材料383.3
荷载模拟及加载系统布置393.3.1 模型荷载的模拟403.3.2 模型加载系统413.4
结构模型试验量测技术 433.4.1 电测法的基本原理443.4.2 应变量测的准备工作 443.4.3
应变量测计二二二电阻应变片463.4.4 位移的量测523.4.5 光纤传感监测大坝裂缝533.5
结构模型的设计与制作 553.5.1 模型设计553.5.2 模型的制作603.6 结构模型试验成果分析63
3.6.1 试验数据的整理及误差分析 633.6.2 应力成果分析与计算683.6.3
模型和原型的位移计算763.6.4 结构模型破坏试验成果分析76
第4章大坝地质力学模型试验方法与技术784.1 地质力学模型试验方法 784.1.1
三种破坏试验方法784.1.2 模型试验安全系数表达式 804.1.3 地质力学模型试验程序844.2
地基岩石力学指标测试概述 854.2.1 试羊854.2.2 岩石块体密度测试874.2.3 羊轴压缩试验89
4.2.4 岩石抗拉强度测试924.2.5 岩石三轴压缩试验934.3 地质力学模型材料 954.3.1
材料选用的基本原则954.3.2 模型相似材料的研制964.3.3 不同性能的岩体相似材料994.3.4
模型材料的成型工艺1024.4 模型加载系统与量测系统 1044.4.1 自重的模拟1044.4.2
荷载设计与加载系统1054.4.3 模型量测系统1074.5 地质力学模型的设计与制作1084.5.1
模型的设计内容与优化 1084.5.2 模型比尺CL 的选择1084.5.3 地质力学模型制作 1094.6
试验成果分析1134.6.1 试验数据误差分析 1134.6.2 试验成果整理分析 1144.6.3
试验成果报告的编写115第5章模型试验新技术1165.1 m述 1165.2 变温相似材料1175.2.1
基本原理 1175.2.2 变温相似材料分类 1205.2.3 变温相似材料的温度特性研究1215.3
升温降强试验模拟技术 1235.3.1 升温降强试验原理 1235.3.2
升温降强控制系统及其在模型中的实现1235.4 岩体结构面弱化效应试验研究1255.4.1
弱化试验的目的 1255.4.2 弱化试验设计与试验步骤 1255.4.3 弱化试验成果128
第6章沙牌拱坝结构模型试验研究1306.1 工程m况与试验研究任务1306.1.1
工程枢纽概况1306.1.2 坝址区地形地质条件1336.1.3 工程主要特征参数及荷载 1356.1.4
试验研究任务1366.2 坝体分缝形式结构模型试验研究1366.2.1 试验方案 1366.2.2
模型设计与制作 1376.2.3 试验成果及分析 1396.3 拱坝开裂与破坏机制模型试验研究 146
6.3.1 试验研究内容1466.3.2 基于断裂力学的诱导缝原、模型开裂相似关系式1466.3.3
断裂特性试验研究 1486.3.4 模型材料力学参数的确定及诱导缝的相似模拟1536.3.5
拱坝结构模型破坏试验 1556.4 沙牌拱坝的建设及运行现状161
第7章锦屏一级拱坝地质力学模型试验研究 1647.1 工程概况及试验研究内容 1647.1.1
工程枢纽概况1647.1.2 地形地貌 1647.1.3 岩层特性 1667.1.4
影响坝肩稳定的主要地质构造1667.1.5 坝肩坝基加固处理方案 1677.1.6 试验研究内容168
7.2 拱坝三维地质力学模型试验设计1687.2.1 模型模拟范围1687.2.2 模型的制作与加工 169
7.2.3 模型加载与量测系统1737.2.4 综合法试验降强幅度的确定1757.2.5

试验方法与试验程序1767.3 天然地基条件下试验研究成果1767.3.1
应变及变位分布特征1767.3.2 破坏过程、破坏形态及综合稳定安全系数 1797.4
加固地基条件下试验研究成果1817.4.1 应变及变位分布特征1817.4.2
破坏过程、破坏形态及综合稳定安全系数 1847.5
加固前后试验成果对比分析及加固效果评价 1867.5.1 两次试验的异同点 1867.5.2
坝体变位和应变成果对比分析1887.5.3 坝肩及抗力体表面变位对比分析1907.5.4
主要结构面相对变位对比分析1917.5.5 破坏过程与破坏形态对比分析1937.5.6
两次试验综合稳定安全系数的比较 1957.5.7 加固效果评价1967.6
锦屏一级拱坝建设与运行现状196第8章小湾拱坝地质力学模型试验研究 1988.1
工程概况及试验研究内容 1988.1.1 工程概况 1988.1.2 坝址区工程地质条件1988.1.3
坝肩加固措施2008.1.4 试验研究内容2018.2 拱坝平面地质力学模型试验2018.2.1
试验内容及要求 2018.2.2 模型设计与制作 2018.2.3 模型加载与量测系统2048.2.4
加固前后试验成果对比分析2058.3 拱坝整体地质力学模型试验研究2098.3.1
模型设计与制作 2098.3.2 浅层卸荷岩体及节理裂隙模拟2108.3.3 模型加载与量测系统212
8.3.4 试验成果分析2138.3.5 模型破坏过程、破坏形态及安全度评价2168.4
小湾工程建设情况与运行现状218第9章武都重力坝三维地质力学模型试验研究2199.1
工程概况及试验研究内容 2199.1.1 工程概况 2199.1.2 模型试验研究内容 2209.2
三维地质力学模型试验方案与模型设计2219.2.1 模型相似常数及原模型力学参数2219.2.2
天然地基方案模型试验 2229.2.3 加固地基方案模型试验 2249.3
天然坝基模型试验研究成果2279.3.1 变位及应变成果 2279.3.2 模型破坏形态与破坏机理
2299.3.3 超载稳定安全系数评价 2319.3.4 坝基加固处理的必要性 2319.4
加固坝基模型试验研究成果2329.4.1 变位及应变成果 2329.4.2 模型破坏形态2349.4.3
综合稳定安全系数评价 2359.4.4 坝基加固效果评价 2359.5
武都水库工程建设情况与运行现状 236第10章国外典型大坝工程地质力学模型试验238
10.1 伊泰普空腹重力坝23810.1.1 工程概况23810.1.2 工程地质条件 24010.1.3
坝基岩体力学特性研究24110.1.4 地质力学模型试验24210.2 瓦依昂拱24410.2.1 工程概况 244
10.2.2 瓦依昂坝址地质特征24510.2.3 瓦依昂坝基岩为力学试24610.2.4 地力学模型试246
10.3 侯昂拱24810.3.1 工程概况24810.3.2 工程地质条件 24910.3.3 坝基岩体力学性质研究250
10.3.4 坝肩岩体稳定分析及采用的安全系数25110.3.5 基础处理252主要符号表255
主要参考文献 256

[显示全部信息](#)

在线试读部分章节

第1章 模型试验相似理论

1.1 相似的概念

在自然界中，从宏观的天体到微观的粒子，从无机界到有机界，从原生生物到人类，一般来说，都是由一定要素组成的系统，存在着某些具体的属性和特征。各个系统的属性和特征是客观存在的，不依赖于人们的感性认识而存在。在不同类型、不同层次的系统

之间可能存在某些共有的物理、化学、几何等具体属性或特征。这些属性和特征具有明确概念和意义，并可以进行数值上的度量。对于两个或两个以上不同系统间存在着某些共有属性或特征，并在数值上存在差异的现象，我们称之为相似。相似的概念首先出现在几何学中，例如图1.1.1中的两个相似三角形，是指对应尺寸不同，但形状一样的图形。

这两个相似的三角形具有如下的性质：各对应线段（各边长、各垂线）的比例相等，各对应角角度相等，即

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{h_1}{h_2} = CL$$
$$1 = \frac{1}{1}, \quad 2 = \frac{2}{2}, \quad 3 = \frac{3}{3} \quad (1.1.1)$$

式中，CL为几何相似常数。

有此同类性质的还有相似的多边形、圆、椭圆、立方体、长方体、球等，而这相似现象均称为几何相似。推而广之，有物理相似。在自然界的一切物质体系中，存在着各种不同的物理变化过程，这些物理变化过程可以具体反映各种物理量（如时间、力、速度、加速度、位移、变形等）的变化。物理相似，是指不同物理体系的形态和某种变化过程的相似。通常所说的“相似”，有下面三种类型：

（1）相似，或同类相似（similitude），即两个物理体系在几何形态上，保持所对应的线性尺寸成比例，所对应的夹角角度相等，同时具有同一物理变化过程，如图1.1.1所示两个相似三角形。

（2）拟似，或异类相似（analogy），即两个物理体系物理性质不同，但它们的物理变化过程，遵循同样的数学规律或模式，如渗流场和电场，热传导和热扩散现象。

（3）差似，或变态相似（affinity），即两个物理体系在几何形态上不相似，但有同一物理变化过程。第1章模型试验相似理论 1.1相似的概念在自然界中，从宏观的天体到微观的粒子，从无机界到有机界，从原生生物到人类，一般来说，都是由一定要素组成的系统，存在着某些具体的属性和特征。各个系统的属性和特征是客观存在的，不依赖于人们的感性认识而存在。在不同类型、不同层次的系统之间可能存在某些共有的物理、化学、几何等具体属性或特征。这些属性和特征具有明确概念和意义，并可以进行数值上的度量。对于两个或两个以上不同系统间存在着某些共有属性或特征，并在数值上存在差异的现象，我们称之为相似。相似的概念首先出现在几何学中，例如图1.1.1中的两个相似三角形，是指对应尺寸不同，但形状一样的图形。这两个相似的三角形具有如下的性质：各对应线段（各边长、各垂线）的比例相等，各对应角角度相等，即

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{h_1}{h_2} = CL \quad 1 = \frac{1}{1}, \quad 2 = \frac{2}{2}, \quad 3 = \frac{3}{3} \quad (1.1.1)$$

式中，CL为几何相似常数。有此同类性质的还有相似的多边形、圆、椭圆、立方体、长方体、球等，而这相似现象均称为几何相似。推而广之，有物理相似。在自然界的一切物质体系中，存在着各种不同的物理变化过程，这些物理变化过程可以具体反映各种物理量（如时间、力、速度、加速度、位移、变形等）的变化。物理相似，是指不同物理体系的形态和某种变化过程的相似。通常所说的“相似”，有下面三种类型：（1）相似，或同类相似（similitude），即两个物理体系在几何形态上，保持所对应的线性尺寸成比例，所对应的夹角角度相等，同时具有同一物理变化过程，如图1.1.1所示两个相似三角形。（2）拟似，或异类相似（analogy），即两个物理体系物理性质不同，但它们的物理变化过程，遵循同样的数学规律或模式，如渗流场和电场，热传导和热扩散现象。（3）差似，或变态相似（affinity），即两个物理体系在几何形态上不相似，但有同一物理变化过程。本书主要讨论的是**种相似，即几何形状相似体系进行的同一物理变化

过程，这种体系中对对应点上的同名物理量之间具有固定的比数。如果我们找到这些体系中两个物理现象的同名物理量之间的固定比数，就可以用其中的一个物理现象去模拟另外一个物理现象。这个固定比数可以用相似系数（也称相似常数）、相似指标及相似判据（相似准数）三个概念来描述。（1）相似系数。在模型与原型中，任一物理变化过程的同名物理量都保持着固定的比例关系，这种现象称为物理量相似；阐明这种比例关系的，叫做相似系数。在相似现象中，物理量相似的条件是相似系数为常数，因此，相似系数也叫相似常数。相似常数用C表示，同时右下角标明物理量类型，如几何尺寸L、正应力、容重等，式（1.1.1）中CL即两个相似三角形的几何相似系数。（2）相似指标。在模型与原型之间，若有关物理量的相似系数是互相制约的，则它们相互之间以某种形式保持着固有的关系，这种关系被称为相似指标，记为Ci。（3）相似判据。既然相似指标是表示相似现象中各相似系数之间的关系，而相似系数代表了某个物理量之间所保持的比例关系，那么相似现象中各物理量之间应具有的比例关系就可由相似指标导出。这种比例关系是一个定数，称为相似判据或相似准数，通常写成 $K=idem$ 。

1.2相似理论 相似理论揭示了相似的物理现象之间存在的固有关系。人们可以根据该理论找出同名物理量之间的固定比数，并将该理论应用在科学试验及工程技术实践中。本书讨论的相似理论主要应用于实验力学中的水工模型试验。水工模型试验的任务是将作用在原型水工建筑物上的物理现象，在缩尺模型上重现，从模型上测出与原型相似的物理现象和数据，如应力、位移等，再通过模型相似关系推算到原型，从而达到用模型试验来研究原型的目的，以校核或改进设计方案。可见，相似理论是模型试验的基础，模型试验是用来预演和测定工程中物理现象的手段。因此，在模型试验研究中，应依照相似理论来进行模型设计，以及建立工程与模型之间物理量的换算关系。

1.2.1相似**定理 相似现象的性质 相似**定理可表述为：“彼此相似的现象，以相同文字符号的方程所描述的相似指标为1，或相似判据为一不变量。”相似指标等于1或相似判据相等是现象相似的必要条件。相似指标和相似判据所表达的意义是一致的，互相等价，仅表达式不同。相似**定理是由法国科学院院士贝特朗（J.Bertrand）于1848年确定的，其实早在1686年，牛顿（Isaac Newton）就发现了**相似定理确定的相似现象的性质。现以牛顿第二定律为例，说明相似指标和相似判据的相互关系。设两个相似现象，它们的质点所受的力F的大小等于其质量M和其受力后产生的加速度a的乘积，质点所受力的方向与加速度的方向相同，则对**个现象有 $F_1=M_1a_1$ （1.2.1）对第二个对象有 $F_2=M_2a_2$ （1.2.2）因为两现象相似，各物理量之间有下列关系：

$$CF=F_2/F_1, CM=M_2/M_1, Ca=a_2/a_1 \quad (1.2.3)$$

式中，CF、CM、Ca均为两相似现象的同名物理量之比，即相似系数。

将式（1.2.3）代入式（1.2.2），得 $CFF_1=CMM_1Caa_1$ $CFCMCaF_1=M_1a_1$ （1.2.4）

对比式（1.2.4）和式（1.2.1）可知，必须有下列关系才能成立： $CFCMCa=C_i=1$ （1.2.5）

式中，Ci为相似指标（或称相似指数），它是相似系数的特定关系式。

若将式（1.2.4）移项可得如下形式： $F_1M_1a_1=CMCaCF=1C_i=1$ （1.2.6）

同理由式（1.2.2）可得 $F_2M_2a_2=1$ （1.2.7）则 $F_1M_1a_1=F_2M_2a_2=FMa=K=idem$ （1.2.8）式

中，K为各物理量之间的常数，称为相似现象的“相似判据”或称“相似不变量”，它是相似物理体系的物理量的特定组合关系式；idem表示同一个数的意思。由式（1.2.8）可知，两个相似现象中，它们对应的质点上的各物理量虽然是 F_1 F_2 , m_1 m_2 , a_1 a_2 ，但它们的组合量Fma的数值保持不变，这就是“两物理量相似其相似指标等于1”的等价条件。总之，以牛顿第二定律为例可得相似指标和相似判据的关系如下：

牛顿第二定律 $F=Ma$ 相似系数 $C_F=F_2/F_1$, $C_M=M_2/M_1$, $C_a=a_2/a_1$ 相似指标 $C_F C_M C_a=1$
 相似判据 $F/Ma=idem$ (1.2.9) 物理现象总是服从某一规律, 这一规律可用相关物理量的
 数学方程式来表示。当现象相似时, 各物理量的相似常数之间应该满足相似指标等于1的
 关系。应用相似常数的转换, 由方程式转换所得相似判据的数值必然相同, 即无量纲的
 相似判据在所有相似系统中都是相同的。1.2.2相似第二定理 相似判据的确定 相似第
 二定理, 又称为 定理, 可表述为: “表示一现象的各物理量之间的关系方程式, 都可
 换算成无量纲的相似判据方程式。”这样, 在彼此相似的现象中, 其相似判据可不必用
 相似常数导出, 只要将各物理量之间的方程式转换成无量纲方程式的形式, 其方程式的
 各项就是相似判据。例如, 一条截面直杆, 两端受有一偏心距为L的轴向力F, 则其外侧面
 的**应力 可表示为 $\sigma = FA + FLW$ (1.2.10)

式中, A为杆的截面积; W为抗弯截面模量。用 除式 (1.2.10) 两端得
 $\sigma = F/A + FL/W$ (1.2.11)

式 (1.2.11) 即为无量纲方程式, 其中 F/A 、 FL/W 就是相似判据。

若有两个这种类型的相似现象, 则它们的无量纲式分别如下: 对**个现象

$$F_1/A_1 + F_1 L_1/W_1 = 1 \quad (1.2.12a) \quad \text{对第二个现象} \quad F_2/A_2 + F_2 L_2/W_2 = 1 \quad (1.2.12b)$$

因为两现象相似, 各物理量之间的相似关系式为

$$F_2 = C_F F_1, \quad A_2 = C_A A_1, \quad L_2 = C_L L_1, \quad W_2 = C_W W_1$$

将上述关系代入式 (1.2.12b) 得

$$C_F C_A^{-1} C_L^{-1} C_W^{-1} F_1/A_1 + C_F C_L C_W^{-1} F_1 L_1/W_1 = 1 \quad (1.2.12c)$$

对比式 (1.2.12a) 和式 (1.2.12c) 可知, 要使两现象相似, 则必须满足下列条件:

$$C_1 = C_F C_A^{-1} C_L^{-1} C_W^{-1} = 1 \quad C_2 = C_F C_L C_W^{-1} = 1 \quad (1.2.12d)$$

根据相似的**定律可知, C_1 、 C_2 都是彼此相似现象的相似指标, 将各物理量及相似关系各代入式 (1.2.12d) 得

$$F_2/F_1 \div C_2^{-1} = A_2/A_1 = 1 \quad (1.2.13) \quad \text{即} \quad F_2/A_2 = F_1/A_1 = F/A = K_1 = idem \quad (1.2.14) \quad \text{又}$$

$$F_2 L_2/F_1 L_1 \div C_2 W_2^{-1} = W_2/W_1 = 1 \quad (1.2.15) \quad \text{即}$$

$$F_2 L_2/W_2 = F_1 L_1/W_1 = FL/W = K_2 = idem \quad (1.2.16)$$

由上式可看出, 无量纲方程中的各项就是相似判据。如果用偏微分方程描述现象, 则相似第二定理可将偏微分方程无量纲化, 从而将有量纲的偏微分方程变换为无量纲的常微分方程, 使之易于求解, 这种方法被广泛用于数学方程式的理论分析中。常用 定理将各物理量之间的方程式转换成无量纲方程式的形式, 之后将在1.3节详细介绍其应用。

1.2.3相似第三定理 相似现象的必要和充分条件 相似**定理阐述了相似现象的性质及各物理量之间存在的相似关系, 相似第二定理证明了描述物理过程的方程经过转换后可由无量纲数群的关系式表示, 相似现象的方程形式应相同, 其无量纲数也应相同。**、第二定理是在把物理相似作为已知条件的基础上, 说明相似现象的性质, 故称为相似正定理, 是物理相似的必要条件。但如何判别两现象是否相似呢? 1930年苏联科学家M.B. 基尔皮契夫和A.A. 古赫曼提出的相似第三定理补充了前面两个定理, 是相似理论的逆定理。提出了判别物理相似的充分条件: “在几何相似系统中, 具有相同文字符号的关系方程式, 单值条件相似, 且由单值条件组成的相似准数相等, 则两物理现象是相似的。”

简单地说, 现象的单值量相似, 则两物理现象相似。单值条件是指从一群现象中把某一具体现象从中区分处理的条件, 单值条件相似应包括: 几何相似、物理相似、边界条件相似、力学相似、初始条件相似。所谓单值量, 是指单值条件中所包含的各物理量, 如力学现象中的尺寸、弹性模量、面积力、体积力等。因此, 各单值量相似, 当然包括各单值量的单值条件也就相似, 则两现象自然相似。综上所述, 用以判断相似现象的是

相似判据，它描述了相似现象的一般规律。所以，在进行模型试验之前，应先求得被研究对象的相似判据，然后按照相似判据确定的相似关系开展模型设计、试验测试和数据整理等工作。1.2.4相似条件 不同的物理体系有着不同的变化过程，物理过程可用一定的物理量来描述。物理体系的相似是指在两个几何相似的物理体系中，进行着同一物理性质的变化过程，并且各体系中对应点上的同名物理量之间存在固定的相似常数。两个相似的物理体系之间一般存在以下5个方面的相似条件：几何相似、物理相似、力学相似、边界条件相似及初始条件相似。1.几何相似 几何相似是指原型和模型的外形相似，对应边长成比例、对应角角度相等，如图1.2.1重力坝原型和模型剖面图所示。

(a) 原型剖面图 (b) 模型剖面图 图1.2.1重力坝原型和模型剖面图

两个重力坝剖面相似，则有 $H_p/H_m=B_p/B_m=h_p/h_m=CL$ ， $\rho_p/\rho_m=C$ (1.2.17) 两个几何相似的体系就是同一几何体系通过不同的比例放大或缩小而得，常见的相似常数有

$CL=L_p/L_m$ $C = \rho_p/\rho_m$ (1.2.18) 式中， L_p 、 L_m 分别为原型、模型中某一线段的长度； ρ_p 、 ρ_m 分别为原型、模型中两条边的夹角； CL 、 C 分别为几何相似常数和几何比尺；下标p表示原型，m表示模型（

[显示全部信息](#)

本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

[更多资源请访问www.tushupdf.com](http://www.tushupdf.com)