DIXIAQIANGZHU
JINGLIJISUAN

地下墙柱静力计算

范文田

人民铁道出版社

地下墙柱静力计算

范 文 田

人 民 铁 道 出 版 社

1 9 7 8年 · 北京

内 容 简 介

本书系根据我国目前在计算地下墙柱（地下结构直墙、底板、桥梁基础、防治滑坡的抗滑桩等）时所采用的地基系数法编写而成。全书共分两章。第一章比较系统地介绍了计算的基本原理以及初值法在地下墙柱计算中的应用。第二章介绍了各种支承条件下的地下墙柱的计算，推演了各无量纲系数的由来及有关的系数表，并列举了铁路工程上常用的实例。

本书可供铁路、公路、航运、水电、土建、冶金、煤炭等部门工程技术人员及高等院校有关专业的师生参考。

地下墙柱静力计算

范文田

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：13.25 字数：479千

1978年8月第1版 1978年8月第1次印刷

统一书号：15043·6127 定价：1.20元

前 言

本书是根据笔者在西南交通大学为隧道及地下铁道专业学生讲授地下结构计算理论课程讲义中的有关部分以及近年来在桥梁基础、铁路滑坡防治中抗滑桩的一些计算理论和方法，加以补充整理而成。

编写本书的目的是：第一、给读者以必要的基本理论知识，使他们了解用地基系数法计算地下墙柱时的一些问题，可以用简略的计算公式加以表达；第二、使他们通晓最简捷的计算方法，以及如何将这些方法具体应用到实际工程中去。

在学习本书内容时，读者应已具备高等数学及材料力学等基本知识，因此在书中应用了一定程度的数学工具和力学原理。为了方便现场工程技术人员学习参考这些基本理论，同时考虑到学校中有关数学和力学的课程与本书讲授时相隔的时间较长，因此对书中所遇到的有关数学和力学的公式，也进行了必要的推演。

本书主要对象是工程技术人员，而工程技术人员（特别是在进行设计计算方面的）在工作中一般要在较短的时间内取得设计计算上所需要的数据，因此在书中除了尽可能地阐明了各记号和数学关系的物理含义以及推演各公式时的前提和条件外，还对最简捷的无量纲系数法作了详细的介绍，并用电子计算机算出了无量纲系数表，便于读者能用身边最简单的计算工具（计算尺）进行设计计算并获得工程上足够精确的结果。

书中附表2的无量纲系数值是由铁道部第二设计院铁路隧道规范改革办公室协助完成，谨此志谢。

由于笔者水平有限，书中一定存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

范文田

一九七七年十二月

目　　录

第一章　基本原理……………………………………………1
第一节　弹簧地基和地基系数……………………………1
第二节　地基系数随深度的变化规律……………………3
第三节　弹簧地基梁轴挠曲时的微分方程………………6
第四节　地基梁微分方程的通解…………………………11
第五节　梁跨内有外荷载作用时微分方程的解…………18
一、梁跨内满布三角形分布荷载…………………………19
二、梁跨内均布荷载………………………………………21
第六节　弹簧地基梁的初值解……………………………22
第七节　梁跨中有外荷载作用时的初值解………………25
第八节　地下墙柱轴线挠曲时的微分方程………………31
第九节　地下墙柱微分方程的通解及初值解……………34
第十节　外荷载作用在地下墙柱内时的初值解…………46
一、侧向均布荷载…………………………………………47
二、侧向三角形分布荷载…………………………………50
第二章　各种支承条件时地下墙柱的计算…………………56
第一节　地下墙柱两端支承的类型………………………56
第二节　计算的方法及步骤………………………………62
第三节　顶端为自由支承时的墙柱计算…………………64
一、底端为自由支承………………………………………64
二、底端为铰支承…………………………………………71
三、底端为固定支承………………………………………77
四、底端为弹性自由支承…………………………………81
五、底端为弹性铰支承……………………………………83

第四节　顶端为铰支承时的墙柱计算……………………90
一、底端为自由支承……………………………………90
二、底端为铰支承………………………………………94
三、底端为固定支承……………………………………98
四、底端为弹性自由支承 ……………………………101
五、底端为弹性铰支承 ………………………………105
第五节　顶端为固定支承时的墙柱计算 ……………110
一、底端为自由支承 …………………………………110
二、底端为铰支承 ……………………………………114
三、底端为固定支承 …………………………………117
四、底端为弹性自由支承 ……………………………120
五、底端为弹性铰支承 ………………………………124
第六节　顶端为竖向固定支承时的墙柱计算 ………129
一、底端为自由支承 …………………………………129
二、底端为铰支承 ……………………………………133
三、底端为固定支承 …………………………………137
四、底端为弹性自由支承 ……………………………140
五、底端为弹性铰支承 ………………………………144
第七节　各种常见荷载时的计算公式 ………………148
第八节　计算例题 ……………………………………150
一、水底隧道引道的底板 ……………………………150
二、铁路单线隧道的直墙 ……………………………153
三、铁路双线隧道的直墙 ……………………………156
四、桥梁钻孔桩基 ……………………………………159
五、抗滑桩 ……………………………………………163
参考文献 ………………………………………………170
附表1－1　K法的影响函数值 ………………………172
附表1－2　m法的影响函数值 ………………………173

附表 2 — 1　两端为自由端时的无量纲系数（K法）……………………185
附表 2 — 2　顶部为自由端及底部为铰支端时的无量纲系数（K法）……………203
附表 2 — 3　顶部为自由端及底部为固定端时的无量纲系数（K法）……………243
附表 2 — 4　两端为自由端时的无量纲系数（m法）……………………275
附表 2 — 5　顶部为自由端及底部为铰支端时的无量纲系数（m法）……………327
附表 2 — 6　顶部为自由端及底部为固定端时的无量纲系数（m法）……………377

第一章　基本原理

第一节　弹簧地基和地基系数

工程上的许多建筑物常用各种基础构件与地（岩）基相联系，如桥梁墩台基础中的管柱、沉井、各类桩基（打入桩、钻挖孔桩、嵌岩桩等），房屋的梁式、板式或箱形基础，船坞、水闸、水底隧道或地下铁道引道的底板，铁路线路的轨枕及整体道床，深埋地下结构的边墙、底板以及整治滑坡用的锚固桩（抗滑桩）等等，都是基础构件。其轴线与地面平行者通常称为地基梁，而轴线与地面相垂直者称为地下墙柱。

基础构件的作用是将上部结构传来的荷载或直接作用在基础构件上的荷载传递分布到较大面积的地基土中，以减少地基土所承受的压力强度。在基础构件底面或四周所引起的法向应力及切向应力，就是基础构件与地基土间的相互作用力。因此，一方面可以把这些相互作用力看作是外力（由上部结构传来或直接作用在构件上）通过基础构件传递到地基土上的荷载来研究，另一方面，也可将这些力作为地基土对于基础构件的反力（即地基反力，通常又称弹性抗力）来进行研究。

弹性抗力的确定对于上部结构及基础构件本身的设计具有重要意义，因为抗力的大小和分布，将影响到拟建的上部结构内力的大小，以及为了保证结构的强度和刚度而需要的构造尺寸。此外，为了确定结构的水平及竖向位移（沉降）也有必要求得弹性抗力，因为只要将其改变方向，就可得出

作用在地基土上的外荷载了。

弹性抗力一般都是分布力，其分布规律往往不能用静力平衡条件求得。抗力不知，结构内力的计算也会发生困难，若能将抗力求得，结构的内力就可用力学方法进行分析。因此，我们的主要任务就在于求出弹性抗力的大小及其分布规律。

十九世纪六十年代，为了分析研究铁路的轨道应力，提出了轨道底面任一点的接触应力只在该点引起沉陷并与路基（地基）在该点的沉陷值成正比的假说〔1〕，这种假说在其他基础工程的设计计算中也得到了应用。

这一假说，若用公式表示，则为：

$$p_x = kb_0y_x \qquad (1-1)$$

式中　p_x——通过基础构件传递到地基土上任一点 x 处(距左端)的荷载；

y_x——x 处地基土的沉陷值；

b_0——轨道底面或基础构件的计算宽度；

k——比例系数，或称地基系数，或弹性抗力系数。其物理意义为：使单位面积的地基土沉陷一个单位值时所需的力，其量纲为〔力〕/〔长度〕^{3}。

这一假说的实质是将地基土看作彼此互不联系的弹簧来模拟其受力变形性质(图1－1)。荷载作用于任一弹簧上时，只引起这个弹簧的压缩，而其余所有弹簧都不变形，弹簧地基的名称即由此而得，因此地基系数实质上就是地基的弹簧压缩系数。

根据力的作用与反作用原理，地基土对基础构件在 x 点处的弹性抗力 σ_x 及构件在该点的变形 δ_x 按下式计算：

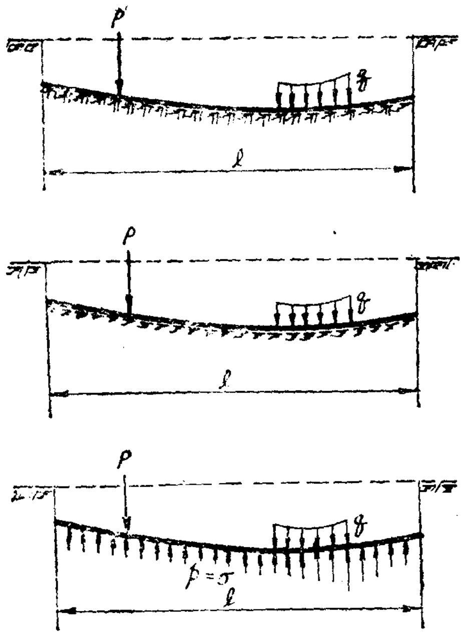

图 1－1

$$\sigma_x = p_x$$

$$\delta_x = y_x$$

将以上二式代入式（1－1），可得：

$$\sigma_x = p_x = kb_0 y_x = kb_0 \delta_x \qquad (1-2)$$

第二节　地基系数随深度的变化规律

地下墙柱是埋于岩土层中的竖直构件，而在某些岩土层中，地基系数 k 值常随其距地面的深度而变化，其变化规律也比较复杂。目前根据一些实测资料，从实用及便于分析的角度出发，认为地基系数 k 随深度 y 按幂函数的规律变化还

是比较符合实际的〔2〕．即：

$$k = m(y_0 + y)^n \qquad (1-3)$$

式中的m为地基系数随深度变化的比例系数，其量纲为〔力〕/〔长度〕$^{n+3}$； n为随岩土的类别而变的纯数，n可取为0，0.5，1……等等；y_0为一与岩土类别有关的常数，其量纲为〔长度〕。

各类岩土的m、n及y_0值皆要通过试验才能确定。

因所取n值不同，可绘出式（1－3）中地基系数k值随深度变化规律的图形如图1－2所示。

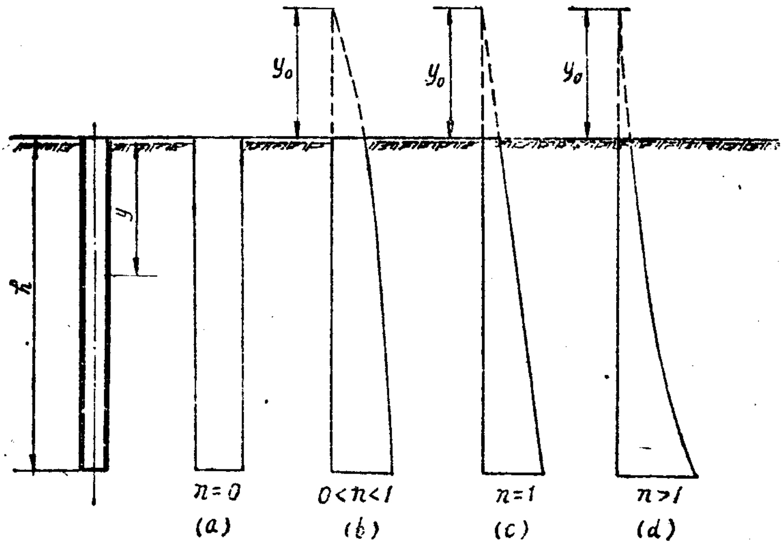

图 1－2

1. 当$n=0$时，k值不随深度变化而为常数，即：

$$k = m(y_0 + y)^0 = 常数 \qquad (1-4)$$

其变化图形为矩形（图1－2 a），这与弹簧地基梁取k值为常数的情形完全相同，对位于予固结粘土或岩层中的

地下墙柱常取k值为常数。在桩基计算中，按这种规律变化的计算方法常称为“K”〔3〕法或“C”〔4〕法。

2．当$0<n<1$时，k值随深度变化的图形为外突的抛物线如图1－2 b所示。我国公路交通部门通过一些试桩的实测资料，反算而得n值在0.5～0.6之间而建议采用$n=0.5$，并按这种规律变化的计算方法简称为“C”法。

国外资料曾介绍在粘土中可取$n=0.4\sim0.8$〔5〕。

3．当$n=1$时，k值随深度成梯形变化如图1－2 c所示，若地基系数在地面处的$y_0=0$时，k值随深度的变化规律为：

$$k=my \tag{1－5}$$

对正常固结粘土，粒状土如砂、卵石等，以及其他土层，一般认为这种假定是目前较好的近似方法，也就是我国铁路及公路桥梁规范中所建议的方法，通常简称为“m”法〔6〕。

4．当$n>1$时，k值随深度变化的图形为内凹的抛物线如图1－2 d所示。

5．将地下墙柱分成二段选取n值，在地下墙柱第一个变形零点以上取$n=1$，即k值按式（1－5）变化，第一个变形零点以下取n为常数，即不随深度而变化〔7〕。

目前我国交通部颁布的《公路桥涵设计规范（试行）》〔8〕所列的“基础按K值法计算”的方法就是采用这种假定。其实质是在确定第一变形零点（或称弹性零点）以上一段岩土的弹性抗力时略去了基础本身实际刚度的影响而按抛物线规律分布，使计算得以简化。

由上可见。用地基系数法计算地下墙柱的关键问题还在于通过试验解决各类岩土的主要参数m、n及y_0等值。

目前流行的因所取n值的不同而将各种计算方法简称为

“C” 法“K”法，“m” 法，“K值” 法等已如上述。这样称呼虽较简便，但稍感零乱而不统一，建议用地基系数法计算地下墙柱时，一律用K_n法命名较好，即：

$n=0$时可简称为K_0法；

$n=0.5$时可简称为$K_{0.5}$法；

$n=1$时可简称为K_1法；

n分二段取值时可简称为K_{1-0}法等等，余类推。

第三节 弹簧地基梁轴挠曲时的微分方程

当梁受到外力而发生挠曲变形时产生一种机械运动，在这种机械运动的过程中，总伴随着数量的变化。随着梁上距左端各点位置（x）的不同，各点的线位移y_x（挠度）、转角ϕ_x、弯矩M_x、剪力Q_x及外荷载p_x也都不同(图 1 — 3)。在工程上这些不同数值的量称为物理量或力素，因其都有明确的物理意义。在数学上，它们称为变量，其中x为自变量，其他则为他变量。

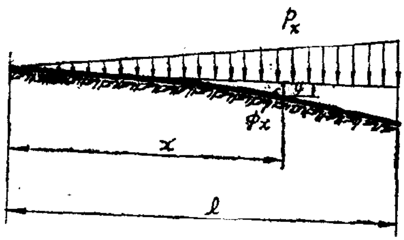

图 1 — 3

一切客观事物本来是互相联系的和具有内部规律的，梁在受力挠曲过程中上述各物理量之间也是相互联系并有规律可循的，我们的任务就是要对上述各个变量之间的相互依赖关系及其内部规律进行研究。

从数学上我们知道，函数是客观事物的内部联系在数量方面的反映。利用函数关系可以对梁受力挠曲时的规律性进行研究。因此如何寻求函数关系，在梁的受力分析中具有很重要的意义。就静定梁而言，通常可利用静力平衡条件直接求

得 x、M_x、Q_x及 p_x 间的函数关系，利用这些关系即可作出内力图及求出最大值来。但对变量y_x及ϕ_x来说，则往往不能根据静力平衡条件直接找出所需要的函数关系，而是要根据问题所提供的情况，列出各物理量的导数之间的关系式，这样的关系式就是所谓微分方程，然后设法从这种关系式求出函数关系，这就是解微分方程。当然，静定梁各物理量 x、M_x、Q_x与 p_x之间也存在着导数关系。例如，从材料力学得知，简支梁在外荷载作用下产生挠曲时任一截面 x 处各物理量 y_x、ϕ_x、M_x、Q_x 及外荷载 p_x 之间的导数（微分）关系为：

$$\phi_x = \frac{dy_x}{dx} \qquad (1-6)$$

$$M_x = -EI\frac{d\phi_x}{dx} = -EI\frac{d^2y_x}{dx^2} \qquad (1-7)$$

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx} = -EI\frac{d^2\phi_x}{dx^2} = -EI\frac{d^3y_x}{dx^3}$$

（1—8）

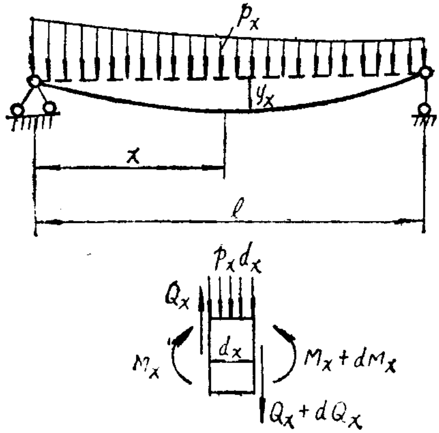

图 1—4

$$p_x = -\frac{dQ_x}{dx} = -\frac{d^2M_x}{dx^2} = EI\frac{d^3\phi_x}{dx^3}$$

$$= EI\frac{d^4y_x}{dx^4} \qquad (1-9)$$

在推导这些关系式时，各物理量的正负号规定如下：

1. x 以向右为正；

2. y_x以向下为正；

3. ϕ_x以顺时针方向转动为正；

4. M_x以下缘受拉为正；

5. Q_x以使微段产生顺时针方向为正；

6. p_x与y_x的方向相同为正。

同时还采用了以下一些假设：

1. 弹性假设：即梁的材料在弹性阶段内工作，应力与应变成正比；

2. 平面假设：当忽略剪力所引起的变形时，梁在变形前为平面的横截面，在变形后仍保持平面；

3. 小变形假设：在外力作用下，梁的弹性变形与其原始尺寸相比甚小而可略去不计，即均可按梁的原始尺寸来研究梁的平衡及其内部受力和变形等问题。

因此式（1－6）～（1－9）只适用于微小，弹性及弯曲变形的情形。

弹簧地基梁受力变形时，也以上述三个假设为依据，但它的六个物理量x、y_x、ϕ_x、M_x、Q_x及p_x之间的函数关系却不能根据静力平衡条件直接找得，而是它们之间的导数关系式——微分方程较易列出，利用这些微分方程，就可使弹簧地基梁的内力计算迎刃而解。

简支梁的微分关系式（1－6）～（1－9）是应用“化整为零”的原则从梁中取出一个微段，根据上述三个假

设，利用变形条件，物理条件及平衡条件等推导而得。虽然它们是从简支梁这样一种个别的形式中推导而得，可是由于研究的对象是从梁中任意取出的一个微段对任何支承形式的梁（悬臂梁、固端梁、连续梁等）都是适用的，只要这种梁满足上述的假设和条件，那么由这种微段所导得的微分关系就具有普遍的意义。正如毛主席所指出的："由于每一个事物内部不但包含了矛盾的特殊性，而且包含了矛盾的普遍性，普遍性即存在于特殊性之中。"

弹簧地基梁当然也不例外，也可用取微段的方法来导出各物理量间的微分关系。现将各物理量的正负号规定如下：

1. x以向右为正；
2. y_x以向地基土方向变形为正；
3. ϕ_x以顺时针方向转动为正；
4. M_x以使地基土一侧受压为正；
5. Q_x以使微段产生反时针方向为正；
6. 反力（抗力）σ_x与y_x方向相反为正；
7. 外荷载q_x与y_x方向相同为正。

从梁内距左端任一点x处取一微段，作用在其上的M_x、Q_x、σ_x及q_x等都按以上规定的正号画出如图1—5所示。

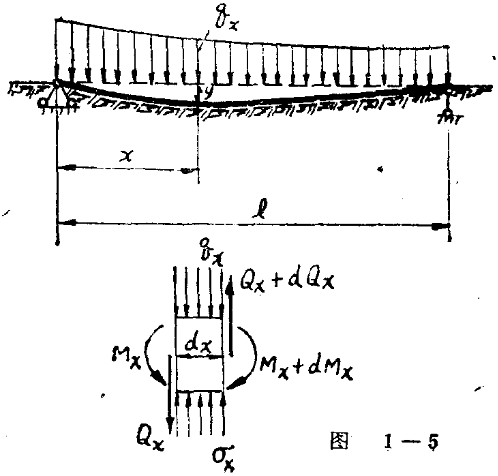

图 1—5

对微段取平衡条件：