

悬挑楼梯译文集

中国人民解放军空军工程设计研究局

86.3596
9101656

悬挑楼梯译文集

高厚宽译

空军工程设计研究局

译者前言

自五十年代以来,国外即逐渐开始在建筑物中采用独立式直线形钢筋混凝土楼梯。特别是多梯段楼梯,由于消除梁和柱、从而使悬挑的梯段和平台的轻巧而简洁的造型明显地体现出结构上和美学上的效益。因此,这种类型楼梯不仅受到建筑师们的青睐,而且也使结构工程师们对此特有的结构构件的空间作用怀有极大兴趣。

但是,这种类型楼梯属高次超静定结构,受力情况非常复杂,如果是三跑梯段独立式楼梯的分析,尤其麻烦。由于缺乏合适和简化的方法,限制了此类楼梯更为广泛的应用。因此从其问世以来,不少学者对此提出一些简化的假定和近似的分析方法。本译文集收自五十年代至八十年代以来发表在各国的权威性专业学术杂志的文献十二篇,其中有些文献虽然发表的时间较早,但至今仍被视为经典而继续引用。

所收集的文献中内容包括:分析的简化假定、算式的推导过程、算例的演算示范、模型的试验研究、不同方法的分析比较、用于简化计算的图表、细部的构造要点、施工的注意事项等比较实用,可供读者参考借鉴。对翻译过程中发现的错误作了更正并加上译注。特别是本译文集中的第十一篇《三跑梯段独立式楼梯分析》一文,因原文中错误较多而作了较大修正。当读者熟悉和掌握这些方法后,对于其它类似形式如“剪刀式”楼梯等的计算,自然也就迎刃而解而不再感到困难。

本译文集封面由李良堃同志设计,部分插图由张大善、陶贤林、黄明朗、姚宏伟等同志协助绘制,特此一并誌谢。

1990年10月

目 录

一、板式钢筋混凝土楼梯设计.....	李平博格	(1)
提 要.....		(1)
前 言.....		(1)
分 析.....		(1)
符 号.....		(17)
参考文献.....		(18)
二、独立式直线形多跑楼梯的分析.....	塞 孚	(19)
提 要.....		(19)
前 言.....		(19)
静定结构.....		(20)
对称荷载.....		(22)
非对称荷载.....		(22)
独立式有支承楼梯的比较.....		(25)
钢筋混凝土整体式楼梯.....		(25)
数字算例.....		(34)
试验数据与理论相符.....		(37)
结 论.....		(37)
参考文献.....		(38)
附录——符号.....		(39)
三、对《独立式直线形多跑楼梯的分析》一文的讨论.....	李平博格	(40)
参考文献.....		(44)
四、独立式楼梯的分析与设计.....	戈尔特	(45)
支座条件的讨论.....		(45)
分 析.....		(46)
符 号.....		(46)
中间平台上的扭转.....		(47)
上部及下部梯段的附加弯矩.....		(49)
基 础.....		(48)
设计算例.....		(49)
结束语.....		(59)
附 录.....		(59)
参考文献.....		(60)
五、对《独立式直线形多跑楼梯的分析》一文讨论的总结.....	塞 孚	(61)

勘误表.....	(63)
参考文献.....	(63)
六、独立式楼梯.....邵 特	(64)
由于 $X_1 = 1$ 而产生的弯矩与力.....	(68)
由于 $X_2 = 1$ 而产生的弯矩与力.....	(69)
由于在梯段中 $q' = 1\text{kip/ft}$ 而产生的弯矩与力.....	(70)
由于在平台中 $q'' = 1\text{kip/ft}$ 而产生的弯矩与力.....	(71)
结 论.....	(76)
参考文献.....	(76)
附 录.....	(76)
符 号.....	(76)
数字算例.....	(77)
七、中间平台无支承的楼梯分析.....塔尔布	(85)
符 号.....	(85)
前 言.....	(87)
静定的考虑.....	(88)
能量计算.....	(88)
特殊情况: 对称荷载.....	(91)
算 例.....	(91)
参考文献.....	(93)
八、独立式楼梯分析的简化方法.....库森斯	
邱经国	(94)
符 号.....	(96)
分析方法.....	(96)
算 例.....	(98)
结 论.....	(100)
参考文献.....	(100)
九、独立式楼梯的试验研究.....库森斯	
邱经国	(101)
早期的试验研究.....	(103)
模型楼梯的设计与建造.....	(103)
试 验.....	(106)
结果的分析.....	(107)
结 论.....	(110)
附 录.....	(111)
分析方法.....	(111)
参考文献.....	(114)
十、三跑梯段独立式楼梯研究.....西 蒙	
阿尔伐	(115)

前 言	(115)
对早期研究的评论	(116)
分析方法	(116)
实验研究	(124)
分 析	(128)
结 论	(129)
附录 I、参考文献	(129)
附录 II、符号	(131)
十一、三跑梯段独立式楼梯分析	考特赫来 (132)
符 号	(132)
分 析	(135)
结 论	(157)
参考文献	(157)
附 录	(158)
十二、独立式楼梯的分析、细部构造及施工	卡加纳喀 劳 (170)
分 析	(170)
施 工	(173)
造 价	(173)
参考文献	(174)
附 录	(174)

板式钢筋混凝土楼梯设计

李平博格

(A.C.Liebenberg)

提 要

作者根据以全尺寸及缩尺模型试验推导出来的结论而研究出板式楼梯的一种设计方法,该方法将由于梯段与平台相交而产生的延伸刚度结合进去并已经成功地应用于实践。

虽然非常简单的分析方法不能得出‘精确’解,但所包含的误差在实践中所出现的大多数情况下是不大的。此方法不仅在设计中比较经济而且建筑物能在许多情况下消除梁及柱又不采用过分厚的截面而得到加强。如果采用在通常实践中使用的设计方法时,这种过分厚的截面是需要的。

前 言

在板式楼梯设计的通常实践中,作为由“钢筋混凝土作法的英国标准规范(B.S.Code) 1957年第114号,条款341及342”的建议的典型,忽略由楼梯梯段及平台相互作用所提供的延伸刚度并考虑仅由弯曲力提供的对荷载的全部抵抗。1952年在约翰内斯堡对一栋钢筋混凝土建筑的一座楼梯进行全尺寸荷载试验(参考文献1),试验清楚地表明:常规的分析方法给出了多种类型楼梯中的承载机理的不正确的概念,得出不正确和不必要的、保守的设计。

产生全部或部分延伸刚度所必需的条件存在于多种型号楼梯的实践中。然而,可以说很难制订能适用于所有可能变化的、通用的规定,这就建议要研究出几种典型情况的分析方法,根据这些方法一般的设计步骤将是显而易见的。笔者已经应用此种分析方法来设计几种类型的楼梯,这些楼梯已经施工并取得完全成功。许多作者们已在最近的论文(参考文献2)中叙述遵循相类似的方法设计的楼梯,但这里所提出这一课题的基本方法则是新的。

分 析

根据弹性理论的板式楼梯的一种‘精确’分析超过了现有的、精确的数学方法的范围。更为有效的数字计算法中的一种将会被得到应用。这样大小的工作量在此类结构的实践中不会被证明是合算的。下文所研究出的方法仅是近似方法,但与钢筋混凝土板及梁体系中所采用的通常设计方法相比较是有利的,在该体系设计中应变及变位的并存性基本上被忽略掉并

作出有关荷载及应力分布相类似的武断的假定。这些以及其它基于钢筋混凝土所固有的许多不定因素而不能被精确地确定的所谓次效应通常可以被忽略掉，因为它们已被包括在安全系数之中。

因为楼梯的板构件厚度与其平面尺寸相比时通常较小，在某些情况下，延伸刚度会大大超过弯曲刚度（比值与壳体结构的比值不相等，尽管如此但还是重要的）。这种楼梯中的主承载体系是由于楼梯梯段、平台以及其它外部约束例如墙、柱、梁以及楼板等相互作用所引起的延伸力（也以作为薄膜或平面内的力而众所周知）所产生。由于在这些交点的延伸力的合成分力提供了平衡板构件中剪力的反力，使这些板构件相交的‘点’或‘线’变成对板构件中弯曲力的次承载体系的有效‘支承’。

有关以上所述情况的一些试验表明：交线处的‘支承’的变位与由于梯段弯曲产生的变位相比较是小的，其数量级与砖墙支承处的变位相同。因此，这些‘支承’在确定板构件中的弯曲力时考虑进去，同样的假定如同在板及梁的体系设计的通常实践中所作出。

主体系也许是完善的，在该体系中仅由延伸力所组成；或者也许是一不完善主体系，该体系为了具有稳定性而要求在某些构件中的弯曲刚度补充不完善的延伸力体系。必需要强调此类体系对荷载的所有可能模式具有足够刚性的外部约束、从而提供不平衡内部延伸力的反力，使体系成为完全稳定的必要性。

如同上面所述的分析的细节仅是为了方便。两种体系的相对重要性将取决于包括楼梯类型、板构件相对于平面尺寸的厚度以及外部约束的相对刚度等许多因素。对于这些因素很少有可能作出一项准确的评价但这将在以后解释，非常准确是不需要的。

分析的步骤可以简述如下：

(a) 提出确定对一主体系起作用是否必须的一些条件，确定主体系的类型和对次弯曲力体系提供的有效‘支承’以及任一构件轴线成一倾斜角作用的外加荷载所引起本身的正向力。

(b) 在上面所提到的‘支承’处提供假想的外部约束为的是阻止位移但容许转动。

(c) 确定次弯曲力的大小和由于外加荷载而作用在构件内的本身的正向力。

(d) 确定作用在假想的‘支承’处的合成反力。

(e) 确定由于与这些反力大小相等、方向相反的力在主体系中产生的力的大小。所产生的实际的应力将会是作用在两种体系上的力的组合效应的结果。

情况 I：

考虑在图1(a)中以图解表示的楼梯。这是一三角形拱的简单情况并将很好地用来作为分析方法的一个说明实例。完善的主体系起作用所必需的条件在这里被提出。为了便于说明起见，考虑作用有如图所示的外加线荷载。任何其它荷载可用同样方法处理。

除支座AB及EF外，交线CD对次弯曲力体系的作用如同一‘支座’。实际的弯曲力将取决于在AB及EF处的约束条件，并可用相类似于连续板体系分析的通常实践中所采用的方法来近似地确定。

对于图1(b)至1(d)中所示的弯曲力及正向力中，在CD处与垂直方向成 β 角作用的合成反力 $R_{\beta CD}$ 将包括如图1(e)所示的三个分力所组成，即：

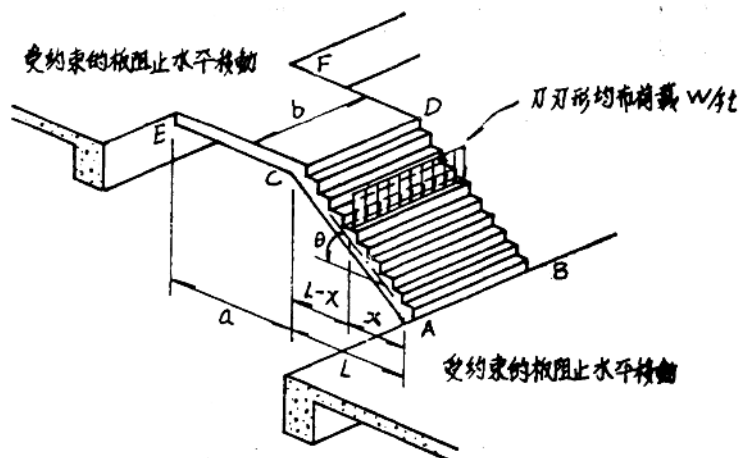


图 1(a) 情况 1

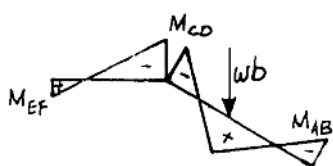


图 1(b) 弯矩

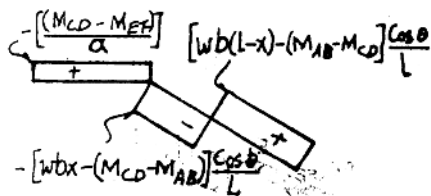


图 1(c) 剪力

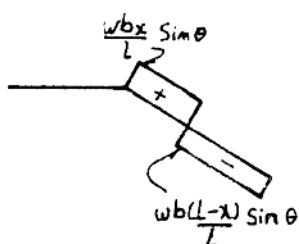


图 1(d) 本身的正压力

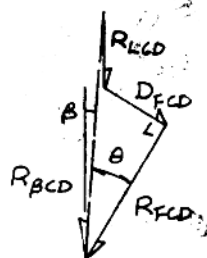


图 1(e) 力图

图 1 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)

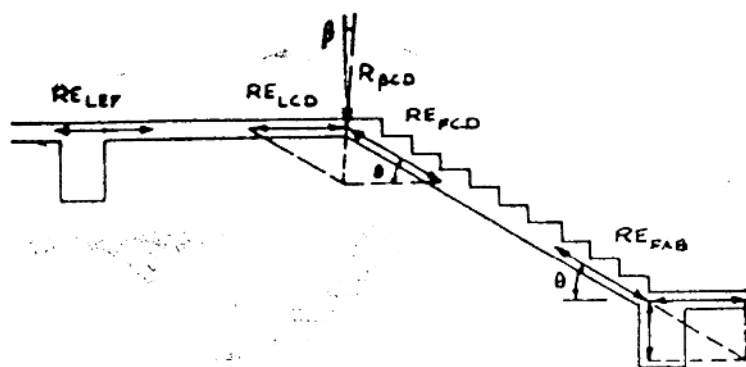


图 1 (f) 合成的延伸力

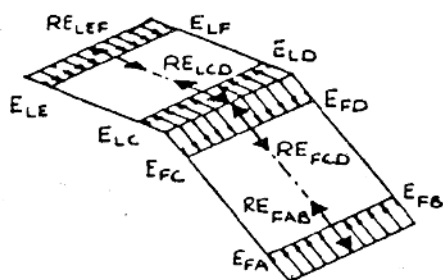


图 1 (g) 延伸力

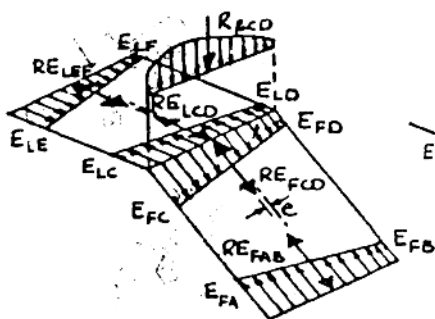


图 1 (h)

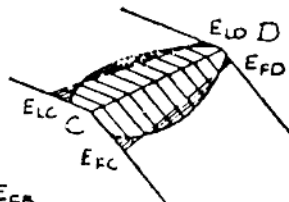


图 1 (k)

图 1 (f)、(g)、(h)、(k)

(i) 由于梯段中的弯曲力并作用方向与垂直方向夹角为零,

$$R_{rcD} = (wbx - (M_{cD} - M_{AB})) \frac{\cos \theta}{l}$$

(ii) 由于平台中的弯曲力, 一垂直反力 $R_{LcD} = \frac{-(M_{cD} - M_{EF})}{a}$

(iii) 由于梯段中本身的法向力, $D_{rcD} = \frac{wbx}{l} \sin \theta$

通常平台中的延伸力为(见图1(f))

$$RE_{LcD} = RE_{LrF} = -R_{\beta cD}(\sin \beta + \cos \beta \cdot \cot \theta)$$

(假定拉力为正)

如 $M_{cD} - M_{AB} = 0$ 则 $\beta = 0$, 合成反力将垂直作用并将等于

$$R_{\beta cD} = \frac{wbx}{l} - \frac{(M_{cD} - M_{EF})}{a} \dots (\beta = 0)$$

梯段中延伸力(包括本身的法向力)为:

$$RE'_{rcD} = -R_{\beta cD} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \theta} + \frac{wbx}{l} \sin \theta$$

及

$$RE'_{rAB} = -R_{\beta cD} \frac{\cos \beta}{\sin \theta} - \frac{wb(1-x)}{l} \sin \theta$$

(见本文后面的符号说明)

忽略边界效应, 单位宽度的延伸力即应力可以近似地确定。在此特殊情况中延伸力将会跨越宽度而均匀分布如图1(g)所示。

对于一非均匀荷载, 在CD处的合成反力 $R_{\beta cD}$ 的分布可能是非均匀及非线性的如图1(h)所示。

在这样一种情况时, 在交线CD处的平台板和楼梯梯段中延伸应力分布的形状将实际上近似于反力 $R_{\beta cD}$ 的分布形状。然而, 这将充分地假定布诺利-尤拉(Bernoulli-Euler)直线应力分布是适用的。与弯曲应力相比, 延伸应力在大多数情况下较小, 因此在分析中的一个相当大的误差将不会明显地影响最终值。由于上述假定的结果, 也许会有不平衡力作用在交线CD处。虽然这些力的影响通常是可以忽略的, 但在接近CD线作用有重大集中荷载的情况时应该留有余量。

虽然这一课题的精确解不可能通过简单的方法取得, 但可以用下面所述的方法处理。

在CD处由于弯曲力而产生的合成反力的分布如图1(k)所示, 不平衡力将以如图示阴影表示。这些不平衡力将由延伸力和弯曲力的组合来抵抗。对于交线CD沿整个宽度是连续的这样一种情况而言, 延伸力将几乎抵抗不平衡力的全部并且次弯曲力可以安全地被忽略。因此不平衡延伸力通过板的一定长度而必须被‘消失’, 该方法将给出更为接近于实际的应力近似分布。

此课题极有可能象深梁那样。通过假定存在于长度等于b上的不平衡力的消失, 可以得到一种近似解法。由此产生的应力可以由麦格奈尔(Magnel)(参考文献3)对预应力混凝土梁中的端块所建议的近似方法来确定, 在那里他假定正向力的45°扩散并且由于作用在

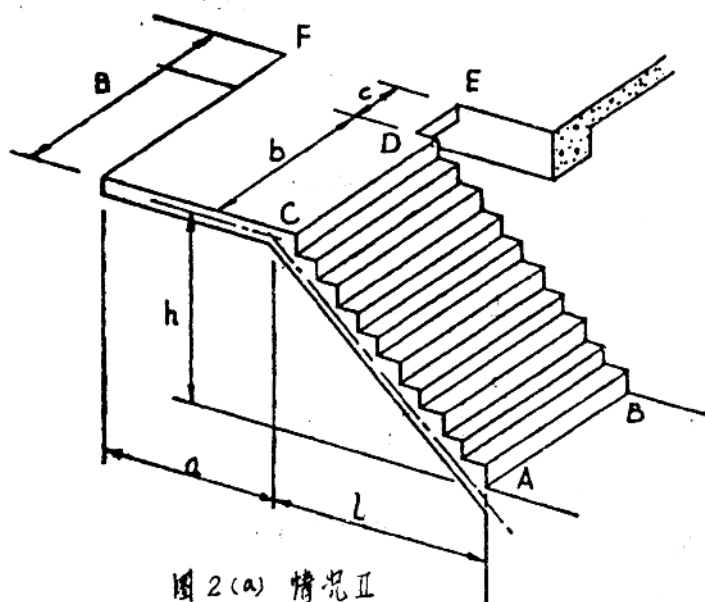


图 2(a) 情况 II

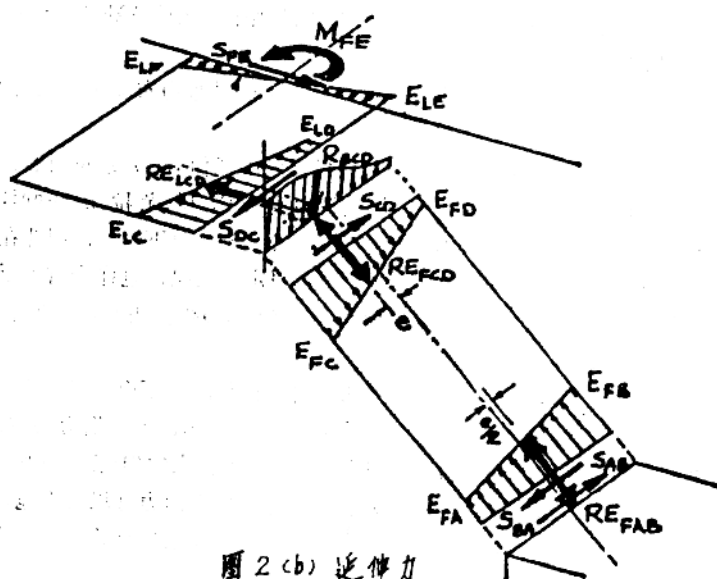


图 2(b) 延伸力

图 2

板的平面中的弯矩而产生的应力图为三次抛物线，在离CD距离为b处的应力为零。对此效应在实践中极少需要留有余量。

如果合力 $R_{\beta CD}$ 作用在离梯段中心线距离为‘e’处时，则平台中C处的延伸力（假定拉力为正）为：

$$E_{LC} = + \frac{RE_{LCD}}{b} \left(1 + \frac{6e}{b} \right) = - \frac{R_{\beta CD}}{b} (\sin\beta + \cos\beta \cdot \cot\theta) \left(1 + \frac{6e}{b} \right)$$

和在D处将为

$$E_{LD} = + \frac{RE_{LCD}}{b} \left(1 - \frac{6e}{b} \right) = - \frac{R_{\beta CD}}{b} (\sin\beta + \cos\beta \cdot \cot\theta) \left(1 - \frac{6e}{b} \right)$$

其它力与此类似。

支座AB及EF的任何运动将会引起CD的变位并因此影响弯曲力大小，而该力本身又将确定延伸力的量值。提供的支座特性为已知时合成的内力可以被算得，但这会比为这样一种小型结构证明是合理的需要进行更多的工作。然而，通过适用于可能得出的解答范围可以作出保守的估价。此课题并非不同于通常支承于梁、墙及柱上的平板，那里支座可能会发生很大的相对挠度——对于开业的设计人员而言是一项平常的课题。考虑到塑性及极限荷载的最新发展、即设计的荷载系数法，上述方法所包括的任何误差不会有重大影响。

作用在楼梯上的任何类型荷载，例如诸如沿外侧边缘的栏板墙那样的部分均布荷载或点及线荷载，可以同样地处理，仅有的困难是弯曲力的计算，它一点也不不同于支承在墙或梁上的板的设计中产生的问题。

在确定内力时楼梯可以考虑作为均匀的、各向同性的材料，如同在壳体屋顶和相类似的结构的设计中通常所实践的那样，并且钢筋据此布置使其抵抗根据通常钢筋混凝土设计实践中所得出的全部拉力。

情况 I：

考虑在图2(a)中以图解表示的、同时由一悬挑平台板及一下端刚接的单跑梯段所组成的楼梯，并且还满足整个的主体系起作用所必需的条件。图2(b)所示的主体系在交线CD处提供弯曲力的全部支承。弯曲力及本身的延伸力从而采用考虑板构件连续并支承在AB、CD及EF的通常方法来进行计算。

如同情况 I 中那样，在CD处的合成反力 $R_{\beta CD}$ 将由取决于荷载并可能与垂直方向成一 β 角、且与梯段中心线有一偏心距‘e’的各个分力所组成。

如果 D_{rco} 为由于作用在梯段上的荷载并采用如同情况 I 中那样的计算而在梯段中产生的本身的延伸力，则在CD处梯段中的合成延伸力为

$$RE'_{rco} = RE_{rco} + D_{rco}$$

式中

$$RE_{rco} = - R_{\beta CD} \frac{\cos\beta}{\sin\theta}$$

在CD处平台中的合成延伸力为

$$RE_{LC} = - R_{\beta CD} (\sin\beta + \cos\beta \cdot \cot\theta)$$

就情况 I 而言，力的分布可以被假定是线性的。

因此：

$$E_{rc} = - \left[R_{\beta c D} \frac{\cos \beta}{b \sin \theta} \left(1 + \frac{6e}{b} \right) \right] \quad \text{每单位宽度}$$

及

$$E'_{rc} = - \left[R_{\beta c D} \frac{\cos \beta}{b \sin \theta} \left(1 + \frac{6e}{b} \right) \right] + \left[\frac{D_{rc D}}{b} \left(1 + \frac{6e'}{b} \right) \right] \quad \text{每单位宽度}$$

式中 e' 为 $D_{rc D}$ 的偏心距

$$E_{rd} = - \left[R_{\beta c D} \frac{\cos \beta}{b \sin \theta} \left(1 - \frac{6e}{b} \right) \right] \quad \text{每单位宽度}$$

$$E'_{rd} = - \left[R_{\beta c D} \frac{\cos \beta}{b \sin \theta} \left(1 - \frac{6e}{b} \right) \right] + \left[\frac{D_{rc D}}{b} \left(1 - \frac{6e'}{b} \right) \right] \quad \text{每单位宽度}$$

$$E_{lc} = + \frac{R E_{lc D}}{b} \left[1 + \frac{6e}{b} \right] \quad \text{每单位宽度}$$

$$E_{ld} = + \frac{R E_{lc D}}{b} \left[1 - \frac{6e}{b} \right] \quad \text{每单位宽度}$$

考虑梯段的平衡

$$R E_{rAB} = R E_{rc D} = - R_{\beta c D} \frac{\cos \beta}{\sin \theta}$$

$$R E'_{rAB} = R E'_{rc D} - W_r \sin \theta = - R_{\beta c D} \frac{\cos \beta}{\sin \theta} + D_{rc D} - W_r \sin \theta$$

(式中 W_r 为作用在梯段上的全部荷载)。

$$S_{AB} = S_{cD} = \frac{1}{\sqrt{h^2 + l^2}} \left[- R E_{rc D} \cdot \frac{3}{2} e \right] = \frac{1}{\sqrt{h^2 + l^2}} \left[R_{\beta c D} \frac{\cos \beta}{\sin \theta} \cdot \frac{3}{2} e \right]$$

$$S'_{AB} = S'_{cD} = \frac{1}{\sqrt{h^2 + l^2}} \left[R_{\beta c D} \frac{\cos \beta}{\sin \theta} \cdot \frac{3}{2} e - D_{rc D} \cdot e' + W_r \sin \theta \cdot e'' + D_{rAB} \cdot e'' \right]$$

式中 e'' 为 W_r 的合力的偏心距, e''' 为本身的正向力 D_{rAB} 的偏心距。

$$E_{rA} = + \frac{R E_{rAB}}{b} \left(1 - \frac{3e}{b} \right) \quad \text{每单位宽度}$$

$$E'_{rA} = E_{rA} + \frac{D_{rAB}}{b} \left(1 - \frac{6e'''}{b} \right) \quad \text{每单位宽度}$$

$$E_{rB} = + \frac{R E_{rAB}}{b} \left(1 + \frac{3e}{b} \right) \quad \text{每单位宽度}$$

$$E'_{rB} = E_{rB} + \frac{D_{rAB}}{b} \left(1 + \frac{6e'''}{b} \right) \quad \text{每单位宽度}$$

考虑平台的平衡:

$$S_{rl} = - R E_{lc D} \quad \text{每单位宽度}$$

$$E_{lr} = \frac{S_{cD}}{a} - \frac{6}{a^2} \left[- R E_{lc D} \left(\frac{b}{2} + e + c \right) + S_{cD} \cdot \frac{a}{2} \right] \quad \text{每单位宽度}$$

$$E_{Lr} = -\frac{S_{CD}}{a} + \frac{6}{a^2} \left[-RE_{LCD} \left(\frac{b}{2} + c + c \right) + S_{CD} \cdot \frac{a}{2} \right] \quad \text{每单位宽度}$$

情况 II (b):

如果梯段的一边 (BD) 伸入一墙中, 则一增加的抵抗力以剪力 S_{BD} 的形式会沿梯段的边缘作用。由于沿边缘增加支座的原因, 当确定弯曲力时梯段可以被考虑作为支承在三边的板。

考虑此种情况梯段的平衡:

$$RE'_{FAB} = RE'_{FCD} - W_f \sin \theta + S'_{BD}$$

即

$$S'_{BD} - RE'_{FAB} = -RE'_{FCD} + W_f \sin \theta$$

即

$$S'_{BD} = K_s (-RE'_{FCD} + W_f \sin \theta)$$

及

$$-RE'_{FAB} = (1 - K_s) (-RE'_{FCD} + W_f \sin \theta)$$

式中 K_s 不能由简单的方法来确定, 然而可以作出保守的估算。

情况 III:

图3 (a) 所示楼梯为‘剪刀型’仅被支承在主体平台上。此情况的主体系永远不能完善并为静不定。

解此情况最简单的方法是从通过确定由于弯曲力而在板构件的交线处产生的合力开始, 然而从这些合力至最刚劲的支座绘出假想的直线 (在板构件的平面内)。合成的延伸力将总是趋于直接向最刚劲的支座流动。如果一组这样的正向延伸力处于完全平衡, 则主体系也许可以说是完善的。然而, 如果平衡不存在, 某些类型楼梯也许要借助于由于板构件的变位引起的弯曲力而取得完全平衡。于是主体系可能被称之为不完善。由于延伸力产生的结构变形与弯曲变形相比是小的并且也许可以被忽略。

考虑中的情况在假定的主体系下能平衡是很清楚的, 并将要求作用有如图示的一外加力且等于

$$'H' = RE''_{FCH} \sin \alpha_2 - RE''_{FCD} \sin \alpha_1$$

同样:

$$\begin{aligned} -(RE''_{FCH} \cos \alpha_2 \cos \theta_2) - (RE''_{FCD} \cos \alpha_1 \cos \theta_1) &= R_{FCH} \sin \beta \\ (RE''_{FCH} \cos \alpha_2 \sin \theta_2) - (RE''_{FCD} \cos \alpha_1 \sin \theta_1) &= R_{FCH} \cos \beta \end{aligned}$$

(见图3 (b))

由此 ‘H’ 可以被确定。

既然 ‘H’ 是一假想力, 通过作用一与 ‘H’ 大小相等方向相反的力即可取得最终的答案。这将会引起楼梯受到侧移。这将由板构件中的延伸力和弯曲力来抵抗, 引起了合成的延伸力的位移直至取得全部平衡。

这仅能发生在当两梯段中的合成延伸力作用在同一垂直平面内, 使其在 ‘H’ 方向无合成力。A处合力将向B处移动以及K处合力将向J处移动, 因此在主体平台中产生弯曲。假定由于延伸力产生的变形与那些由于主体平台弯曲产生的变形相比较可以被忽略时, 则这些合力的位移 X_{AB} 及 X_{JK} (图3(c)) 将主要取决于主体平台的边缘在与梯段平面相重合方向

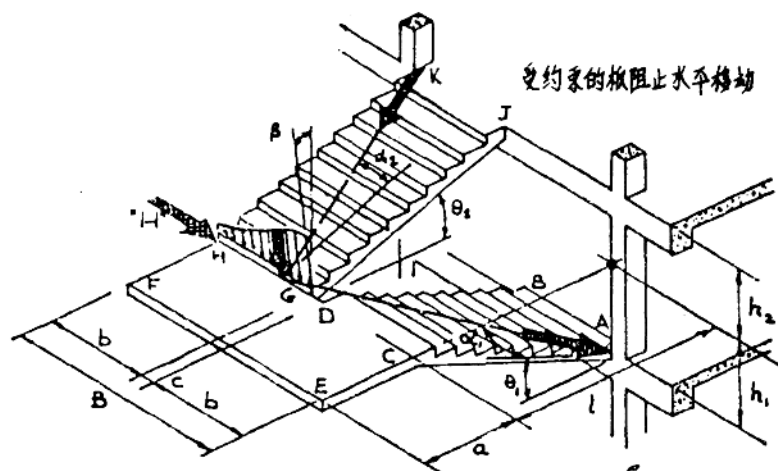


图 3(a) 情况Ⅲ

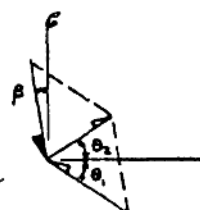


图 3(b)

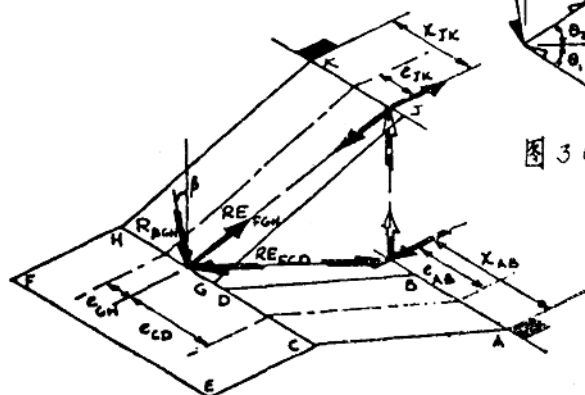


图 3(c)

图 3 (a)、(b)、(c)

的刚度。

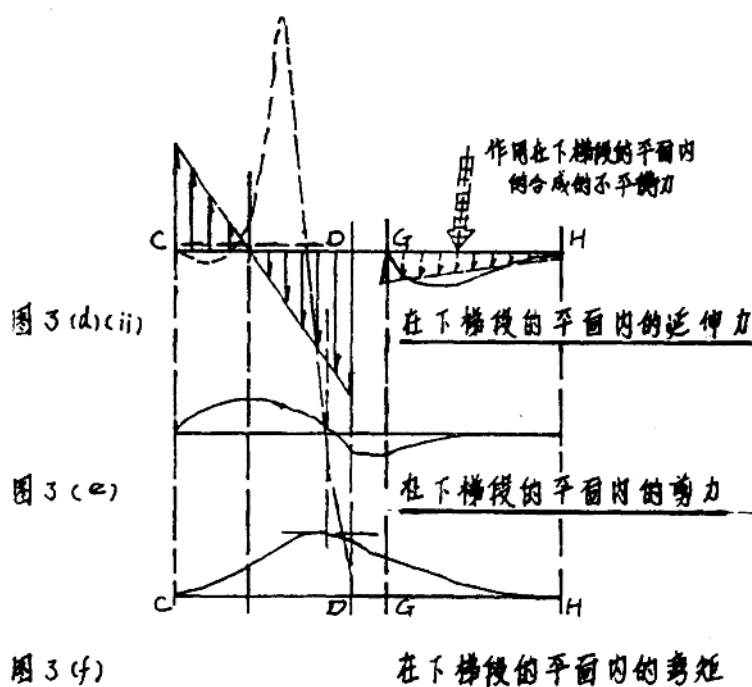
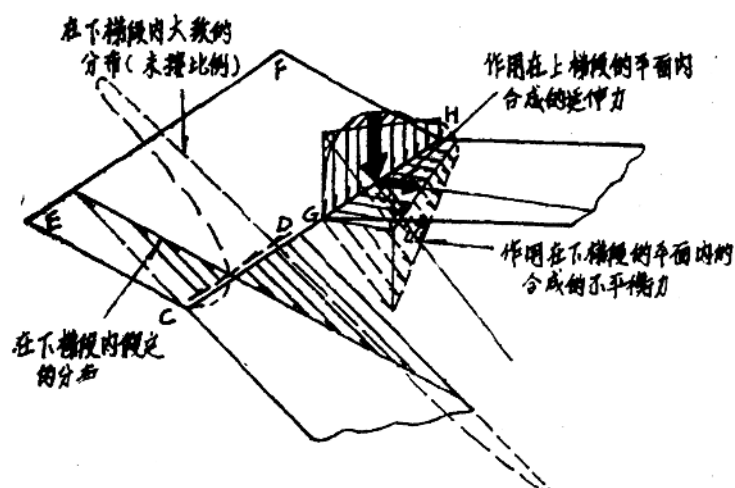
例如，如果上部平台具有与下部平台相比可以忽略的刚度时，则 $X_{JK} = 0$ 及 $X_{AB} = B$ 。

如果平台与梯段为相等时

$$X_{JK} = X_{AB} = \frac{B}{2}$$

并且合力将作用在主体平台的跨中。对于中间情况要进行正确的计算将会是复杂的，但这里将再次作出估算。

现在可以用与情况Ⅱ中相类似的方法来计算梯段及平台中的延伸力。



弯曲力将由跨越‘支座’间的荷载、延伸力的不平衡分力以及作用在主体平台并沿中间平台的交线CH的弯曲剪力所引起。