

建筑施工中的结构问题

● 罗国强 罗刚 编著



中国建筑工业出版社

建筑施工中的结构问题

罗国强 罗 刚 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑施工中的结构问题/罗国强, 罗刚编著. -北京:
中国建筑工业出版社, 1997

ISBN 7-112-03135-4

I. 建… II. ①罗… ②罗… III. 建筑结构-建筑工程-
工程事故-处理 IV. TU712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 00528 号

建筑施工中的结构问题

罗国强 罗刚 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

(邮政编码 100037)

前言

在建筑中,结构是指由若干构件连接而成的、能承受各种作用的平面或空间体系。换句通俗的话说,结构是建筑的承重骨架。一位好的建筑师,要成功地设计一栋建筑,必然要让这副骨架受力合理,又使建筑造型美观,将它们融为一体。因此,世界上著名的建筑大师,在结构上都有相当深的造诣。同样,一位好的施工工程师,要出色地建成一栋建筑,获得优质工程,必然要从基础到屋面将这副骨架施工好,使基础及主体工程达到优质工程的标准。这样,就要求施工工程师不仅熟练掌握先进的施工技术和方法,具有出色的施工组织和管理的能力,还要具有灵活应用结构知识,及时处理施工中的结构问题,把好基础和主体工程质量关的能力。这种知识和能力的来源:一方面是靠从自己的工程经历中积累;另一方面靠从书本中吸取他人的工程经验。前者需要较长的时间,后者可使之大为缩短。缩短读者知识积累和能力培养的时间,是撰写本书的目的之一。

广大的施工人员,在过去竣工的建筑中,已创造了不少优质工程和大量的合格工程,为我国的基本建设作出了重大的贡献,这是我国基本建设中的主流。但是,不可忽视的是,我国建筑物的倒塌事故,建国以来已出现三次高潮。根据1958年到1987年我国发生的285起较大的建筑物倒塌事故分析可知:从倒塌的时间上,在施工期间倒塌的起数和百分比,远高于使用期间倒塌的起数和百分数。在285起倒塌事故中,有237起(占总数的83.2%)是在施工期间发生的,有48起(占总数的16.8%)是在使用期间发生的。倒塌的原因几乎都是由设计和施工方面的缺陷所造成的。并且约有2/3是因为施工不当。如某三层房屋主筋沿长向布置,而未沿短向布置,该楼盖拆模后倒塌;某六层宿舍阳台悬臂主筋错放,拆模后坍塌;某砖拱结构砂浆强度未达到设计值的70%时拆模,造成房屋倒塌;某礼堂轻钢屋架,腹杆从原图纸20根减少为12根,致使礼堂在施工期间倒塌等等。说明有的施工人员的结构知识贫乏到令人难以置信的程度。因此,有关专家提出,对施工单位和个人除进行严格资质审查外,有必要对在岗人员进行建筑工程的继续教育、培训及考核。争取成为这种继续教育的教材或参考书,也是编写本书的目的。

根据上述编写宗旨,本书主要论述房屋建筑工程施工中常遇的结构问题及其解决方法。此外,对由于设计、施工等缺陷引起的新建房屋工程事故分析与加固,以及旧房在使用、改建和增层过程中的结构问题也有专题介绍。

本书共八章:第一章土方及挡土墙工程;第二章基础工程;第三章砌体结构及砖混房屋结构工程;第四章现浇钢筋混凝土结构工程;第五章预应力混凝土结构工程;第六章装配式混凝土结构工程;第七章钢筋混凝土高层及多层建筑结构工程;第八章房屋增层工程。

本书编写的主要依据是国家现行常用的几种结构(包括地基基础)设计与施工及验收规范、国内一些著名结构、施工专家的论著、几种专业杂志的论文以及著者在解决建筑施工中的结构问题的研究成果和积累的工程经验等。

结构设计规范中的许多构造要求和规定，以及结构工程施工及验收规范中的许多施工要求和规定，是长期结构工程实践经验的总结。将它们列入技术法规，是为了避免结构设计和施工出现重大失误。施工人员应作为基本专业知识，在工程实践中尽快熟悉掌握它们，有利于保证结构工程质量。因此，对这部分内容，本书也有所介绍。

本书是按章以问题的形式论述的，八章共 102 个问题。问题有大有小，大的可概括一本书的内容，小的上千字即可回答。由于施工中情况条件的多变性，以及著者的经历和水平有限，不可能找出施工中所有的结构问题。因此，书中不足、遗漏、错误之处在所难免，请读者指出，以便不断补充、修订、完善。

本书前言、第一、三、五、七、八章由罗国强教授撰写，第二、四、六章由罗刚讲师撰写，周咏南高级工程师负责全书例题校对以及插图制图。

本书可供土建设计、施工、管理人员以及土建类院校师生参考。

目 录

第一章 土方及挡土墙工程	1
土方工程	1
1-1 如何确定挖方边坡的坡度?	1
1-2 在土方开挖过程中如何保证边坡的稳定性?	8
1-3 基坑(槽)或管沟的坑壁有哪几种支撑方法?	9
挡土墙工程	12
1-4 什么叫静土压力、主动土压力和被动土压力? 它们的计算公式各在什么 情况下采用?	12
1-5 如何分析板桩支撑的内力?	22
1-6 挡土墙有哪些类型? 各类挡土墙的设计与施工应满足哪些要求?	26
1-7 防止边坡和挡土墙滑移的措施有哪些? 如何处理挡土墙滑移和倾覆的工程事故?	52
1-8 施工中为什么要进行验槽? 在开挖中当发现有溶洞、软弱土层以及漂砾等与地质 勘察报告不符的情况时, 应如何处理?	61
第二章 基础工程	70
2-1 什么叫刚性基础? 砖基础的大放脚为什么要按二皮一收(宽高比为 1:2) 的方式砌筑?	70
2-2 什么叫钢筋混凝土扩展基础? 这种基础施工中应注意哪些问题? 为什么不应在 台阶交接处留水平施工缝?	72
2-3 钢筋混凝土柱下单独基础当边长大于 3m 时, 为什么每边离基础边缘可截断基 底钢筋长度的 10% (隔一断一)?	74
2-4 如何加固已建刚性基础和扩展基础?	76
2-5 混凝土桩基础有哪些类型? 在施工过程中对桩和桩基要注意哪些基本构造要求?	81
2-6 钢筋混凝土预制桩在制作过程中应注意哪些与结构有关的问题?	83
2-7 如何确定预制桩吊点的合理位置? 桩在吊装、运输和堆放过程中应注意哪些问题?	84
2-8 钢筋混凝土预制桩桩顶和接头的传力作用应如何保证?	86
2-9 打桩的顺序、步骤以及停止锤击的控制条件是什么?	88
2-10 预制桩在沉桩过程中常遇哪些问题? 它们应如何处理?	88
2-11 用锤击法打桩为什么要“重锤轻击”、“重锤慢击”、“间隔跳打”的方式? 山区打桩应注意哪些问题?	90
2-12 混凝土灌注桩在施工前及施工中应注意哪些与结构有关的问题?	91
2-13 什么叫负摩擦力? 施工中在哪些情况下要注意负摩擦力的影响?	93
2-14 在套管成孔灌注桩的施工中, 常遇工程问题的原因、处理方法或预防措施有哪些?	94
2-15 在钻、冲、挖孔灌注桩的施工中, 常遇工程问题的原因及其预防措施有哪些?	99
2-16 什么叫沉井基础? 它适合于哪些情况下采用?	104
2-17 建(构)筑物沉降观测有哪些要点?	105
2-18 基础落在防空洞上方时应如何处理?	110

2-19 在有冻胀性土地地区施工基础时,宜采用哪些防冻害措施?	115
第三章 砌体结构工程及砖混房屋结构工程	116
砌体结构工程	117
3-1 砌体结构工程的组成材料(块体和砂浆)有哪些类型?施工中如何控制砂浆的 强度、稠度和分层度等质量要求?	117
3-2 砌体有哪几种类型?施工中影响砌体抗压强度的主要因素有哪些?	124
3-3 在墙体哪些部位不得设置脚手眼?在施工中墙和柱的允许自由高度为多少?	130
3-4 砌筑砖砌体时应满足和遵守哪些构造要求和规定?	131
3-5 砌筑石砌体时应满足和遵守哪些构造要求和规定?	136
3-6 砌筑中型砌块建筑时应满足和遵守哪些构造要求和规定?	139
3-7 砌筑混凝土空心小型砌块建筑时应满足和遵守哪些构造要求和规定?	143
3-8 砌筑多孔砖(KPI型)建筑时应满足和遵守哪些抗震构造要求和规定?	148
砖混房屋结构工程	154
3-9 砖混结构房屋墙(柱)开裂、倒塌的原因和防止墙(柱)开裂、倒塌的措施有哪些?	154
3-10 在砖混结构房屋的维修、改建和扩建工程中,承重墙(柱)应如何开洞与加固?	169
第四章 现浇混凝土结构工程	176
模板工程	176
4-1 现浇钢筋混凝土结构模板工程应满足哪些基本要求?	176
4-2 模板工程设计要考虑哪些荷载?	177
4-3 模板及其支架的承载力(强度)和变形(刚度)应如何计算和验算?	183
4-4 如何保证模板支架立柱和桁架的稳定性?	204
4-5 模板及其支架安装与拆除应注意哪些问题?	205
钢筋工程	206
4-6 钢筋按其作用、化学成分或强度和外形分哪几类?	206
4-7 为什么钢筋进场后必须进行复检?施工前应复检哪些内容?	211
4-8 在施工中如何进行受力钢筋的代换?	213
4-9 什么叫钢筋冷拉的控制应力法和控制冷拉率法?为什么测定控制冷拉率的冷拉 应力要比冷拉钢筋规定的屈服点高 30N/mm^2 ?	216
4-10 冷拉钢筋及其验收应注意哪些问题?冷拔低碳钢丝的验收应遵守哪些规定?	218
4-11 钢筋除锈、调直、弯钩或弯折与结构有何关系?进行这些工序的方法和 要求是什么?	219
4-12 钢筋有哪几种接头方法?钢筋的各种接头方法应遵守哪些规定?	222
混凝土工程	235
4-13 混凝土有哪些类型?对普通混凝土的组成材料有哪些要求?	235
4-14 轻骨料有哪些类型?轻骨料混凝土结构对轻骨料有何要求?	243
4-15 混凝土的外加剂有哪些类型?混凝土对外加剂的掺量有何要求?	251
4-16 如何设计普通混凝土、轻骨料混凝土和泵送混凝土的施工配合比?	256
4-17 在施工中应从哪些方面来保证混凝土工程的质量?	269
4-18 现浇混凝土结构施工缝的位置如何确定?在施工缝处继续浇筑混凝土时,应 符合哪些要求?	273
4-19 如何用试件抽样检验法对施工现场混凝土强度质量进行评定与验收?	275
4-20 如何用常规现场检验法对混凝土强度质量进行评定和验收?	279

第五章 预应力混凝土结构工程	296
5-1 预应力技术在理论上的创新点是什么?	296
5-2 对混凝土结构构件施加预应力的方法有哪几种?	297
5-3 预应力混凝土结构对其组成材料的性能有哪些要求?如何正确选用?	297
5-4 什么是钢筋的应力松弛和应力腐蚀?施工中减小应力松弛的措施有哪些?	304
5-5 预应力筋锚具、夹具有哪几种类型?对它们的性能和选用有哪些要求?	305
5-6 预应力筋锚具的静载锚固性能应符合哪些条件?如何确定锚具的效率系数 η_a 和 预应力筋的效率系数 η_p ?	308
5-7 预应力筋锚具、夹具、连接器进场验收要遵守哪些规定?如何进行其静载 锚固性能试验?	309
5-8 如何设计钢丝束墩头锚具?怎样保证墩头质量?	311
5-9 钢质锥形锚具的自锁和自锚条件是什么?怎样避免锥形锚具破坏?	314
5-10 如何校验(标定)张拉设备(千斤顶)的测力装置(压力表)?	316
5-11 用张拉钢筋施加预应力时应注意哪些问题?	317
5-12 先张法构件的预应力筋铺设、张拉与放张应注意哪些问题?	321
5-13 后张法构件的预留孔道、预应力筋制作、张拉以及孔道灌浆应注意哪些问题?	323
5-14 无粘结预应力混凝土结构有哪些特点?对材料及锚具有哪些要求?	329
5-15 无粘结预应力混凝土结构设计与施工要点有哪些?	333
第六章 装配式混凝土结构工程	338
6-1 如何进行预制构件厂(场)混凝土整体滑动长线台面的设计与施工?	338
6-2 如何从设计和施工上保证预制构件吊环的正常使用?	350
6-3 怎样进行混凝土梁和屋架的建筑起拱?	354
6-4 预制构件养护应遵守哪些规定?为什么蒸气养护时,升温和降温速度不宜过快?	357
6-5 混凝土预制构件的制作、运输、堆放与安装应符合哪些要求?	359
6-6 为什么要进行吊装验算?各种预制构件的吊装验算应如何进行?	361
6-7 混凝土预制构件裂缝的原因有哪些?如何控制和处理预制构件的裂缝?	373
6-8 如何用杆件位移的 β 方程计算预应力混凝土屋架的反拱曲线和次弯矩?	384
第七章 钢筋混凝土高层及多层建筑结构工程	394
围护桩及基础工程	394
7-1 在开挖基坑前,围护桩应如何设计与施工?	394
7-2 高层建筑基础工程的特点及其在高层建筑结构中的地位是什么?	405
7-3 高层建筑基础结构的类型及其构造要求有哪些?	407
7-4 高层建筑桩基础中有哪些常用的桩型?对它们有哪些构造要求?	419
7-5 高层建筑基础选型要考虑的因素及其施工方案选择的要点有哪些?	427
7-6 高层建筑深基础应注意哪些施工要点?	429
7-7 在施工过程中,大体积混凝土的温度、温度应力和裂缝应如何控制?	431
上部结构工程	468
7-8 现浇混凝土板、梁、柱和墙的配筋有哪些构造要求?	468
7-9 有抗震要求的现浇混凝土框架及剪力墙结构的配筋有哪些构造要求?	477
7-10 现浇混凝土框架柱在施工阶段发生偏中错位的原因是什么?有哪些防治措施?	485
7-11 现浇混凝土框架柱纵向受力钢筋发生位移的原因是什么?有哪些防治措施?	486
7-12 在施工中为什么要特别重视受压构件的混凝土强度等级?	487

7-13	受压构件混凝土强度等级达不到设计值时, 如何进行加固处理?	488
7-14	梁板结构的混凝土强度等级达不到设计要求对结构性能有哪些影响?	498
7-15	梁板结构的混凝土强度等级达不到设计要求应如何处理?	503
7-16	钢筋混凝土楼板有哪些加固方法? 如何加固?	505
7-17	钢筋混凝土梁有哪些加固方法? 如何加固?	506
7-18	如何分析处理多层和高层建筑中现浇钢筋混凝土结构构件出现的裂缝?	519
7-19	如何控制多层和高层建筑现浇钢筋混凝土结构构件的变形裂缝?	540
第八章	房屋增层工程	555
8-1	房屋增层事故的原因及其防治措施有哪些?	555
8-2	房屋增层时如何选择合理的结构方案和结构形式?	559
8-3	施工过程中要求增层不加大基础的解决方法有哪些?	567
附表		571
附表 1-1	受弯和偏心受压构件满足最大裂缝宽度要求的有效受拉区配筋率 ρ_{te} (%)	571
附表 1-2	偏心受拉构件满足最大裂缝宽度要求的有效受拉区配筋率 ρ_{te} (%)	571
附表 1-3	轴心受拉构件满足最大裂缝宽度要求的有效受拉区配筋率 ρ_{te} (%)	572
附表 2	高层建筑箱筏基础设计概况表	574
附表 3	高层建筑桩基础设计概况表	578
附表 4	双曲函数表	584
附表 5	反双曲函数表	587
附表 6	下撑式拉杆内力系数表 (一)	589
附表 7	下撑式拉杆内力系数表 (二)	590
参考文献		591

第一章 土方及挡土墙工程

在平整场地、开挖基坑、砌筑挡土墙的施工过程中，由于土体的复杂性，天然雨水的影响，如稍有不慎，极易发生边坡失稳、土方和挡土墙坍塌的安全事故。因此，应提倡设计与施工紧密配合，及时根据场地实际地质条件修改设计，指导施工，解决土方及挡土墙施工中的结构问题，确保它们的安全和稳定。

土 方 工 程

1-1 如何确定挖方边坡的坡度？

土方工程中的边坡问题属于土力学中的所谓土体稳定问题。通过土体稳定性分析，确定土方开挖的合理截面尺寸，即边坡的坡度或高宽比。

边坡失稳是指土体发生滑动的现象，它是由于开挖后土体内的剪应力大于抗剪强度的缘故。土体内的剪应力主要与下列因素有关：(1) 土体自重；(2) 在雨季土中含水量增加，水渗流时的动水压力；(3) 裂隙中的静水压力；(4) 土坡上弃土、堆积材料或停放车辆等地面荷载。土体抗剪强度除与土质有关外，其变化还与下列因素有关：(1) 气候的变化使土质变松；(2) 粘土夹层因浸水而发生的润滑作用；(3) 饱和细砂、粉砂因振动而液化；(4) 土体在强夯或挤密桩的作用下而致密等。要避免土体失稳，应设法使边坡中土的剪应力小于其抗剪强度。

边坡土体滑动可能突然发生，也可能缓慢进行。工程中多数为突然发生，引起塌方事故。对于土坡突然发生滑动时的力学分析方法大致分为两类：一类是根据大量不同土质滑坡的观测结果，假定滑动面的形状，从而提出近似计算方法；另一类是以土体极限平衡理论为依据的解析方法。后者理论上比较严密，但计算非常复杂，且与实际情况也不一定符合，不便在工程中应用。前者理论上虽不够严密，但概念简明，适用性强，在工程中已广泛应用，并积累了丰富的经验。

土方边坡分为挖方和填方两种，其大小应视土质条件、挖（填）方深度、地下水位、施工方法及工期长短、附近堆土及邻近建筑物情况等因素，按国家有关标准（规范）确定。

一、挖方边坡

(一) 当地质条件好，土（岩）质比较均匀时，根据国家标准《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)的规定，挖方边坡允许值（高宽比）可按表 1-1（岩石）、表 1-2（土质）确定。

(二) 对使用时间较长的临时性挖方边坡允许值，在山坡整体稳定情况下，当边坡高度在 10m 以内时，根据国家标准《土方与爆破工程施工及验收规范》(GBJ201—83)，可

按表 1-3 确定。使用时间较长的临时挖方是指使用时间超过一年的临时道路、临时工程的挖方。当有成熟的施工经验时，边坡允许值，也可不受该表限制。

岩石边坡坡度允许值 表 1-1

岩石类别	风化程度	坡度允许值(高宽比)	
		坡高在 8m 以内	坡高 8~15m
硬质岩石	微风化	1:0.10~1:0.20	1:0.20~1:0.35
	中等风化	1:0.20~1:0.35	1:0.35~1:0.50
	强风化	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
软质岩石	微风化	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
	中等风化	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00
	强风化	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25

土质边坡坡度允许值 表 1-2

土的类别	密实度或状态	坡度允许值(高宽比)	
		坡高在 5m 以内	坡高 5~10m
碎石土	密实	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
	中密	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00
	稍密	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
粉土	Sr≤0.5	1:1.00~1:1.25	1:1.25~1:1.50
粘性土	坚硬	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
	硬塑	1:1.00~1:1.25	1:1.25~1:1.50

注：①表中碎石土的充填物为坚硬或硬塑状态的粘性土；
 ②对于砂土或充填物为砂土的碎石土，其边坡坡度允许值均按自然休止角确定。

使用时间较长的临时性挖方边坡坡度值 表 1-3

土的类别		边坡坡度(高:宽)
砂土(不包括细砂、粉砂)		1:1.25~1:1.5
一般粘性土	坚硬	1:0.75~1:1
	硬塑	1:1~1:1.25
碎石类土	充填坚硬、硬塑粘性土	1:0.5~1:1
	充填砂土	1:1~1:1.5

- 注：1. 使用时间较长的临时性挖方是指使用时间超过一年的临时道路、临时工程的挖方。
 2. 岩石边坡坡度应根据岩石性质、风化程度、层理特性和挖方深度确定。
 3. 黄土（不包括湿陷性黄土）边坡坡度应根据土质、自然含水量和挖方高度确定。
 4. 有成熟施工经验时，可不受本表限制。

（三）对地质条件良好、土质均匀且地下水位低于基坑（槽）或管沟底面标高时，挖方深度在 5m 以内不加支撑的边坡的最陡坡度，根据国家标准《土方与爆破工程施工及验收规范》（GBJ201—83）应符合表 1-4 的规定。

深度在 5m 内的基坑（槽）、管沟边坡的最陡坡度（不加支撑）

表 1-4

土 的 类 别	边 坡 坡 度 (高:宽)		
	坡顶无荷载	坡顶有静载	坡顶有动载
中密的砂土	1:1.00	1:1.25	1:1.50
中密的碎石类土(充填物为砂土)	1:0.75	1:1.00	1:1.25
硬塑的轻亚粘土	1:0.67	1:0.75	1:1.00
中密的碎石类土(充填物为粘性土)	1:0.50	1:0.67	1:0.75
硬塑的亚粘土、粘土	1:0.33	1:0.50	1:0.67
老 黄 土	1:0.10	1:0.25	1:0.33
软土(经井点降水后)	1:1.00	—	—

注：1. 静载指堆土或材料等，动载指机械挖土或汽车运输作业等。静载或动载距挖方边缘的距离，当土质良好时，应不小于 0.8m，高度不宜超过 1.5m。

2. 当有成熟施工经验时，可不受本表限制。

(四) 当遇到下列情况时，边坡允许值应通过计算确定。

1. 当挖方边坡高度大于表 1-1、表 1-2 的规定；

2. 地下水比较发育或具有软弱结构面的倾斜地层；

3. 岩层面或主要节理面的倾斜方向与边坡的开挖面的倾斜方向一致，且两者走向夹角小于 45° 。

按计算确定挖方边坡可遇到下列两种情况：

(1) 无粘性土坡

无粘性土坡，由于土颗粒之间没有内聚力，位于坡面上的各个土粒如能保持稳定不滑落，则该土坡处于稳定状态。

图 1-1 为一无粘性土坡，其坡角为 β ，坡高为 H 。设坡面上有一土粒 M ，自重为 W ，则它与坡面平行的切向分力

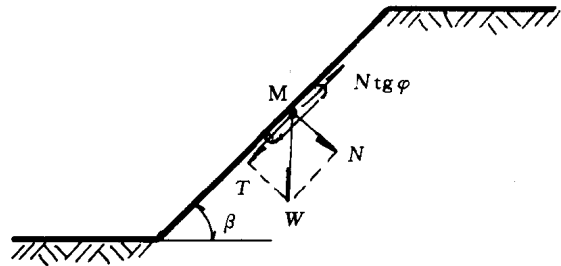


图1-1 无粘性土坡的稳定性分析简图

$$T = W \sin \beta \quad (1-1)$$

该分力将使土粒 M 沿坡面向下滑动；而它与坡面垂直的法向分力

$$N = W \cos \beta \quad (1-2)$$

该分力将产生一个与滑动方向相反的摩擦力 $N \tan \varphi$ (φ 为土的内摩擦角) 阻止土粒向下滑动。因此，土粒稳定（不下滑）的条件为

$$T < N \tan \varphi \quad (1-3)$$

将式 (1-1)、(1-2) 代入上式得

$$\tan \beta < \tan \varphi \text{ 或 } \beta < \varphi \quad (1-4)$$

设 K 为无粘性土坡稳定安全系数，则

$$K = \frac{N \tan \varphi}{T} = \frac{\tan \varphi}{\tan \beta} \quad (1-5)$$

为确保边坡安全，规范要求 $K \geq 1.2$ 。由式 (1-5) 可知，无粘性土坡的稳定只与内摩擦角 φ 有关，而与坡高 H 无关。当 $\beta \leq \varphi/1.2$ ，则土体能保持稳定，故 β 称为休止角或天然坡度角。根据 β 角则不难求得边坡的允许高宽比。

(2) 粘性土坡

粘性土坡丧失稳定性时，粘性土体将沿滑动面整体滑动。因此，分析土体稳定性时，先要确定滑动面的形状和位置。实测表明，均匀粘性土坡的滑动面可假定为通过坡脚的圆弧面，最危险滑动面圆心（转动中心）的位置可近似按下列方法确定：

首先，对于高塑性粘土（内摩擦角 $\varphi = 0$ ），其最危险滑动面为通过坡脚的圆弧面，该圆弧的圆心为通过坡底和坡顶作的两条直线的交点（图 1-2）确定。图中坡底角 β_1 和坡顶角 β_2 根据坡角 β 可由表 1-5 查得。

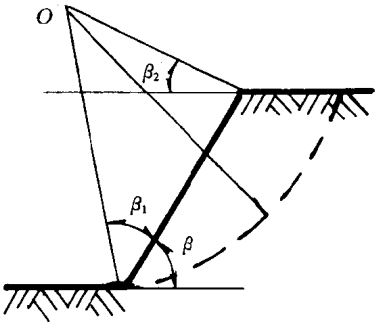


图1-2 最危险滑动圆弧的确定($\varphi = 0$)

其次，对于一般粘土（内摩擦角 $\varphi > 0$ ），边坡最危险滑动圆弧的圆心（图 1-3），可按下列步骤确定：

角 β_1 及 β_2 值 表 1-5

坡度(高宽比)	坡角 β	角 β_1	角 β_2	坡度(高宽比)	坡角 β	角 β_1	角 β_2
1:0.58	60°	29°	40°	1:3.0	18°26′	25°	35°
1:1.0	45°	28°	37°	1:4.0	14°03′	25°	36°
1:1.5	33°41′	26°	35°	1:5.0	11°19′	25°	37°
1:2.0	26°34′	25°	35°				

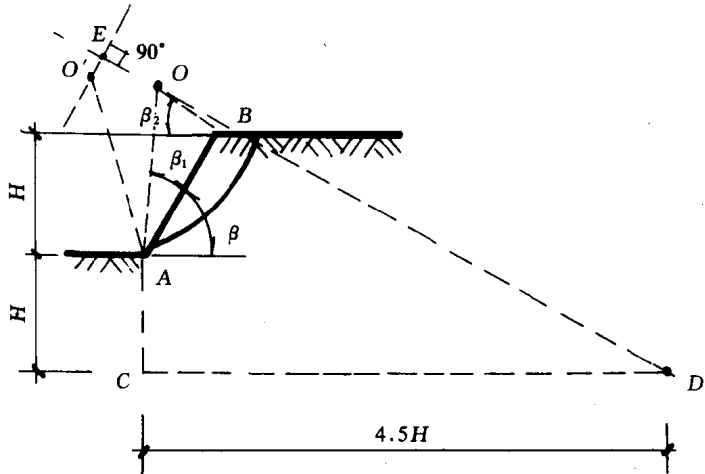


图 1-3 最危险滑动圆弧的确定 ($\varphi > 0$)

先按 $\varphi = 0$ 求出 O 点；再由 A 点垂直向下量一高度，使这个高度等于边坡高度 H ，得 C 点，由该点向右水平方向量一距离得 CD ，使 $CD = 4.5H$ ，连接 DO ；在 DO 延长线上找若干点，作为滑动圆心，画出坡脚圆，计算相应的稳定安全系数 K 值，找出 K 值较小的 E 点；过 E 点画 DO 延长线的垂直线，再于该垂直线上找若干点作为滑动圆心，并计算相应的稳定安全系数 K 值，直到找出 K 值最小的 O' 点，则 O' 点即为最危险滑动圆弧的圆心。

上述确定滑动圆心的方法，手算是十分麻烦的，但用电子计算机可迅速找到最危险的

滑动圆心。

另一种确定最危险滑动圆心的方法如图 1-4 所示, 即在 BC 线 (由坡顶角 $\beta_2 = 36^\circ$ 确定) 上, 按图示距离选 1、2、3、4、5 诸点, 分别以这些点为圆心, 过坡脚作圆弧, 求出相应土坡稳定安全系数 K , 其中 K 值最小的点即为最危险滑动面的圆心。

土坡稳定安全系数可按条分法计算, 其简图如图 1-5 所示。图中 O 点为转动中心, 通过坡脚的滑动半径为 r , 圆弧面 AC 为滑动面。先将圆弧以上滑动土体 ABC 分成若干等宽的竖向土条, 分条宽度一般为 2~4m, 然后计算每一土条的重量 W_i , 把它引到圆弧上, 并分解为法向分力 N_i 和切向分力 T_i , 而

$$T_i = W_i \sin \theta_i \quad (1-1a)$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i \quad (1-2a)$$

式中 θ_i ——第 i 土条圆弧中点法线与垂直线的夹角 (图 1-3)。

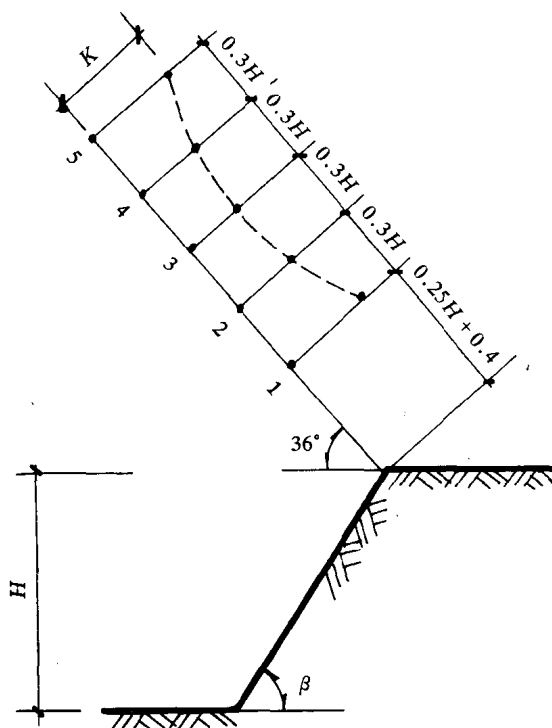


图1-4 确定最危险滑动面圆心位置的简化方法

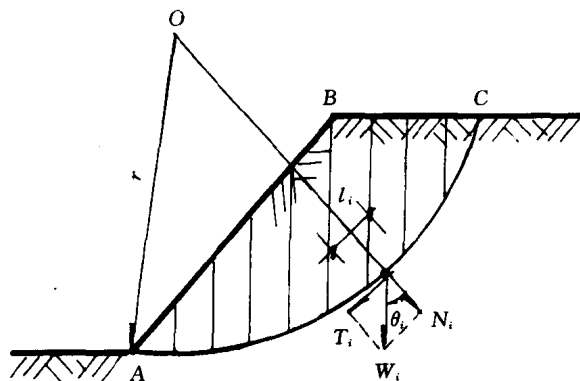


图1-5 条分法计算简图

最后, 对转动中心求抗滑动力矩和滑动力矩, 即可求得稳定安全系数

$$K = \frac{M_r}{M_s} \quad (1-6)$$

式中 M_r ——计算圆弧面上各力对 O 点的抗滑力矩, 它由摩阻力 ($N_i \tan \varphi$) 和内聚力 (沿圆弧均匀分布的 C) 两部分组成;

$$M_r = r \left(\tan \varphi \sum_{i=1}^n W_i \cos \theta_i + C \widehat{l}_{AC} \right) \quad (1-7)$$

M_s ——计算圆弧面上各力对 O 点的滑动力矩：

$$M_s = r \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i \tag{1-8}$$

当 T_i 的方向与滑动方向相反时，应取负值。

上述用条分法的计算工作量仍相当繁重，因此，根据大量计算资料，编制了计算简单土坡稳定的图表，如图 1-6 所示。图中纵坐标为土坡稳定参数 N_s ，其值为

$$N_s = \frac{\gamma H}{c} \tag{1-9}$$

式中 c ——粘聚力 (kN/m^2) 一般应由试验确定，如缺试验资料，也可按表 1-6 采用；

γ ——土的重度 (kN/m^3)；

H ——土坡的稳定高度 (m)。

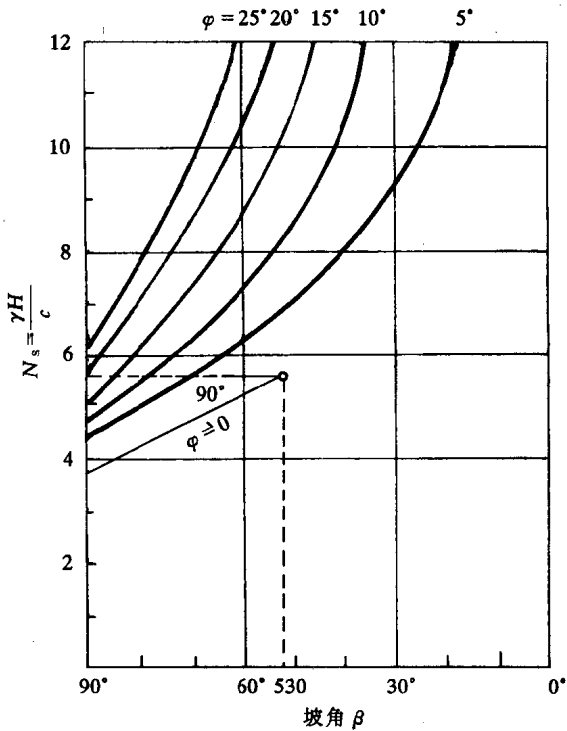


图1-6 N_s - β 曲线

土的平均物理、力学指标

表 1-6

土 类		孔隙比 e	天然含水量 w (%)	塑限含水量 w_p (%)	表观密度 γ (t/m^3)	粘 聚 力 c (N/mm^2)		内摩擦角 φ (°)	变形模量 E_0 (N/mm^2)
						标准的	计算的		
砂	粗 砂	0.4~0.5	15~18	—	2.05	0.002	0	42	46.0
		0.5~0.6	19~22	—	1.95	0.001	0	40	40.0
		0.6~0.7	23~25	—	1.90	0	0	38	33.0
土	中 砂	0.4~0.5	15~18	—	2.05	0.003	0	40	46.0
		0.5~0.6	19~22	—	1.95	0.002	0	38	40.0
		0.6~0.7	23~25	—	1.90	0.001	0	35	33.0

续表

土 类		孔隙比 e	天然含水量	塑限含水量	表观密度	粘 聚 力 c		内摩擦角	变形模量		
			w (%)	w_p (%)	γ (t/m^3)	(N/mm ²)		φ ($^{\circ}$)	E_0 (N/mm ²)		
						标准的	计算的				
砂	细 砂	0.4~0.5	15~18	—	2.05	0.006	0	38	37.0		
		0.5~0.6	19~22	—	1.95	0.004	0	36	28.0		
		0.6~0.7	23~25	—	1.90	0.02	0	32	24.0		
土	粉 砂	0.5~0.6	15~18	—	2.05	0.008	0.005	36	14.0		
		0.6~0.7	19~22	—	1.95	0.006	0.003	34	12.0		
		0.7~0.8	23~25	—	1.90	0.004	0.002	28	10.0		
粘性土	亚 粘 土	轻 亚 粘 土	0.4~0.5	15~18	<9.4	2.10	0.010	0.006	30	18.0	
			0.5~0.6	19~22		2.00	0.007	0.005	28	14.0	
			0.6~0.7	23~25		1.95	0.005	0.002	27	11.0	
		亚 粘 土	0.4~0.5	15~18	9.5~12.4	2.10	0.012	0.007	25	23.0	
			0.5~0.6	19~22		2.00	0.008	0.005	24	16.0	
			0.6~0.7	23~25		1.95	0.006	0.003	23	13.0	
		粘 土	粘 土	0.4~0.5	15~18	12.5~15.4	2.10	0.042	0.025	24	45.0
				0.5~0.6	19~22		2.00	0.021	0.015	23	21.0
				0.6~0.7	23~25		1.95	0.014	0.010	22	15.0
				0.7~0.8	26~29		1.90	0.007	0.005	21	12.0
			粘 土	0.5~0.6	19~22	15.5~18.4	2.0	0.050	0.035	22	39.0
				0.6~0.7	23~25		1.95	0.025	0.015	21	18.0
	土	粘 土	0.7~0.8	26~29	15.5~18.4	1.90	0.019	0.010	20	15.0	
			0.8~0.9	30~34		1.85	0.011	0.008	19	13.0	
			0.9~1.0	35~40		1.80	0.008	0.005	18	8.0	
			0.6~0.7	23~25		18.5~22.4	1.95	0.068	0.040	20	23.0
		0.7~0.8	26~29	1.90	0.034		0.025	19	19.0		
		0.8~0.9	30~34	1.85	0.028		0.020	18	13.0		
		0.9~1.0	35~40	1.80	0.019		0.010	17	9.0		
				0.7~0.8	26~29	22.5~26.4	1.90	0.082	0.060	18	28.0
	0.8~0.9			30~34	1.85		0.041	0.030	17	16.0	
	0.9~1.1			35~40	1.75		0.036	0.025	16	11.0	
					0.8~0.9	30~34	26.5~30.4	1.85	0.094	0.065	16
			0.9~1.1	35~40	1.75	0.047		0.065	15	14.0	

注：1. 平均相对密度取：砂—2.66；轻亚粘土—2.70；亚粘土—2.74；饱和度：0.90。

2. 粗砂与中砂的 E_0 值适用于不均匀系数 $c_u=3$ 时，当 $c_u>5$ 时应按表中所列值减少 $\frac{2}{3}$ ， c_u 为中间值时 E_0 值按内插法确定。

3. 对于地基稳定计算，采用内摩擦角 φ 的计算值低于标准值 2° 。

横坐标为稳定坡角 β 。实际工程中， γ 、 H 和 c 均可为已知，由式 (1-9) 算得 N_s ，利用图 1-6 查得稳定坡角 β ，即可求得边坡的宽度。对于形状复杂或土质不太均匀的土坡，也可按上述方法初定边坡尺寸。

应该指出，由于在计算中，未考虑地质条件、荷载、渗流等因素对滑动面位置和形状的影响；忽略了土条间的相互作用；土的粘聚力可能与实际不符；有些特殊地质情况（如地基中夹有薄的软弱土层）可能尚未查出等，计算结果将不完全符合实际。因此，在确定

允许高宽比时应留有余地。此外，当挖方经过不同类别的土（岩）层或深度超过 10m 时，其边坡可采用台阶形（图 1-7a）或折线形（图 1-7b）；当土质均匀且地下水位低于基坑（槽）或管沟底面标高时，如开挖深度不超过下列规定值，根据经验其挖方边坡可作成直立竖壁而不加支撑：

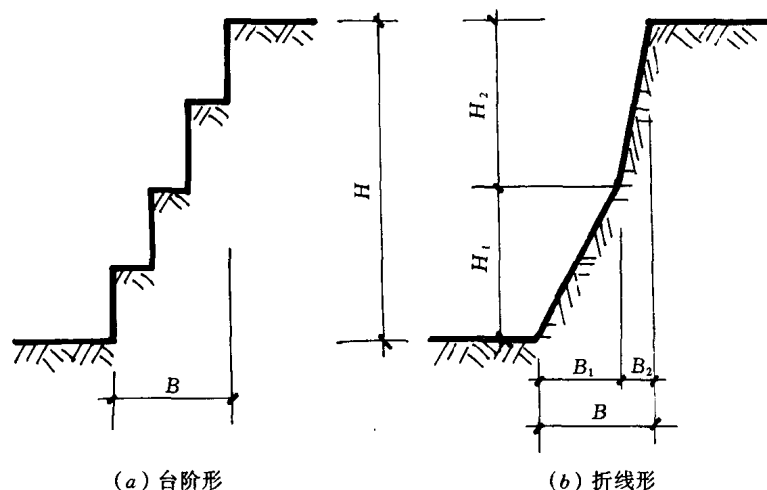


图 1-7 台阶形及折线形土方边坡

密实、中密的砂土和碎石类土（填充物为砂土）1m；

硬塑、可塑的轻亚粘土及亚粘土 1.25m；

硬塑、可塑的粘土和碎石类土（填充物为粘性土）1.5m；

坚硬的粘土 2m。

二、填方边坡

永久性填方的边坡坡度以及在地质情况不良（如滑坡、长年浸水和软弱土层等）的地段填方时，其边坡坡度应由计算确定。对于使用时间较长的临时性填方（使用时间超过一年的临时道路、临时工程等的填方），其边坡坡度可为：当填方高度在 10m 以内，可采用 1:1.5；高度超过 10m，可作成折线形，上部采用 1:1.5，下部采用 1:1.75。在填方施工中，填料、填方每层的铺土厚度、压实遍数以及机械行驶速度等应符合国家标准《土方及爆破工程施工及验收规范》（GBJ201—83）的规定。

1-2 在土方开挖过程中如何保证边坡的稳定性？

为保证边坡的稳定性，避免边坡塌方事故，对于非滑坡地段，挖方时应符合下列规定：

一、开挖永久性边坡、临时性边坡以及基坑（槽）、管沟等的边坡均应符合设计要求，当工程地质与设计资料不符（如挖方边坡上发现有软弱夹层或裂隙面等），应及时通知设计单位。如需修改边坡坡度，应由设计单位确定。

二、土方开挖宜从上到下分层分段依次进行，随时作成一定的坡势，以利泄水，并不得在影响边坡稳定的范围内积水；