注册土木工程师(岩土)执业资格考试讲座
土工结构、边坡与支档结构、基坑与地下工程(上)

陈　轮
(清华大学水利水电工程系　北京市　100084)

提要　针对考生在专业考试复习中最常见的问题,指出在备考阶段要注重打好基础、突出重点、攻克难点、熟悉规范并加强模考练习。根据《注册土木工程师(岩土)执业资格考试专业考试大纲》的要求,该文提出了第五部分"土工结构、边坡与支档结构、基坑与地下工程"专业案例考试必备知识的重点内容,并密切结合规范,给出了模考练习和解答。

关键词　注册工程师　岩土　土工结构　边坡与支档结构　基坑　地下工程

1　前言

1.1　专业考试复习中最常见的问题

专业考试分专业知识考试和专业案例考试两个部分。

专业知识考试为知识概念性单选题和多选题,考试内容包括岩土工程领域的基本概念、原理、理论、设计计算方法、各种施工技术以及规范、规程等等。在答卷时,对一些把握性不很大的题目,可以采用排除法来增加答对的可能性,即将不合理的一个或两个答案排除掉,然后在剩下的答案里选择。概念考试允许猜答案,因此对于有的考题,有一些印象就有可能拿到分数。知识概念考题的覆盖面很宽,虽有一些试题可直接从规范上查找到答案,但也有一些题目具有相当的深度和难度,要想取得较为理想的成绩,就必须进行系统、深入的复习。考生应熟读一些基础知识教科书和专业考试辅导教程,并熟悉有关规范、规程。

专业案例考试主要考计算题,要求考生在 6 小时内答完 50 道小题,平均每道小题只有大约 7 分钟时间。考生不仅要选中正确答案,还必须写明计算过程。在 2002 年的考试中,由计算机进行评分,有 22 %的考生通过。但在人工评阅解题步骤以后,便剔除了其中的 5 %,通过率降低到 17 %。所以,考生即使选中了正确答案,也还必须正确地写下解答步骤,而不能像概念考试那样可以猜答案。这就要求考生必须扎实地掌握考题的解答方法。考生在考场上容易感到考试内容似乎比较"熟悉",但着手解答时又不太有把握,在解题过程中很容易出错,加上考试时间较为紧张,难以将试卷全部答完,因此不易获得理想的成绩。以下是考生在案例考试的复习中容易遇到的几个问题。

1)基础不扎实。对一些比较重要的基本概念、基本理论和基本方法,如果以前打下的基础不够扎实,而且工程实践中接触较少,就可能比较生疏。在考前准备阶段,考生工作很繁忙,复习时间很紧张,往往难以静下心来打好基础。有的考生宁愿相信基础知识只是教科书上的东西,认为考试时主要按规范答题,只要能掌握好规范就行了。考试大纲要求的八个部分中,第二部分浅基础、第三部分深基础和第四部分地基处理等,专业案例考试计算题主要按照规范进行计算,但第一部分岩土工程勘察和第五部分土工结构等计算题直接按规范进行解答的并不很多,许多基本知识,如土的物性指标、压缩性、强度等都在第一部分及其它部分的专业考试中占有相当重要的地位,而土压力理论和计算、土坡稳定分析等是第五部分考试的重要组成部分。专业案例考试绝不是只考规范计算方法,对计算基本原理、基本方法也十分重视。如果备考时只是去"掌握"规范中的一些解题步骤和计算方法,就很难拿到基本原理计算题的分数,而且对规范方法,容易死记硬背,知其然不知其所以然,在考试中试题内容、形式稍有变化,便难以应对,解题过程极易发生错误。对于概念

作者简介:陈轮,男,1963 年生,博士、副教授,主要从事土力学、基础工程的教学以及岩土工程方面的研究。
收稿日期:2003 - 05 - 12
编者按:为配合注册土木工程师(岩土)执业资格考试,我刊特辟《注册应考讲座》专栏,邀请熟悉考试大纲,有教学经验的专家撰文、答疑解惑。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

考试中测试基本概念的部分试题,也容易因基础不够扎实而丢分。只有静下心来,在扎实打好基础的前提下,熟练掌握规范、规程的计算,才能在考试中取得主动,做到灵活应对。

2) 重点不突出。难以把握重点,是大多数考生最容易碰到的问题。面对大量的复习教程和规范、规程等资料,感到要学习和复习的内容太多,在时间紧张的备考阶段,难以做到熟练地掌握所有的内容。如果试图全部、均衡地熟练掌握全部内容,将会造成负担过重,影响复习效率,结果很可能是全部内容都掌握得不够好。2003 年的专业案例考试允许考生从 70 道题中选答 50 道。这就为考生提供了较充分的选择余地。考试内容的覆盖面固然较宽,但那些很基本、很重要的内容,考的可能性很大,必须熟练掌握,而一些次要的内容则宁可放弃,以集中宝贵的时间和精力加强重点内容的复习,在考试中选择自己重点复习过的题目作答。

3) 难点不突破。难点指那些难以学会、不易掌握的内容。在备考阶段,一些考生经反复多遍复习后,仍只掌握复习前已经掌握的内容,而对复习前没掌握的内容还是没掌握,也就是没有突破难点。考生在复习中不应绕过难点。许多难点是基本的、重要的内容,在复习中应当攻克。

如果感到难点太多,则可能与专业基础知识掌握尚不够好有关。一方面应加强基础知识的学习。应全面、扎实地学习土力学和基础工程,并对经常碰到的材料力学问题进行复习。另一方面,对案例考试采用抓重点的方法,先学习和复习比较简单、很基本、很常用的内容,这些内容在考试中所占比例较大,所需复习时间不很多,复习效率较高;对不熟悉、难以掌握的内容,可安排到备考后期,根据时间情况再进行学习和复习。如果重点抓得准,仍可取得较好的成绩。这需要合理的平衡突出重点和攻克难点的关系。

4) 规范不熟悉。在概念考试中,一些题目可直接从规范上找到答案;在案例考试中,相当多的计算题需按规范的规定解答。如果对规范不熟悉,对规范的计算方法掌握得不熟练,即使能在规范上查找到所需内容,但也可能会花费时间过多,而且在计算中也很容易出现错误。在备考阶段,要突出重点地熟悉常用的,规范和规程。在复习第五部分时至少应熟读参考文献[1],[2],[3]所列的规范,清楚某个问题在规范的那一部分有规定,并通过练习和模考题熟练掌握规范规定的计算方法。

5) 练习不充分。复习时看得多、练得少,觉得自己都会了。考试的时候,又把握不大,容易出错,时间不够。仅仅“会做”,是不足以取得好成绩的,还必须做得对、做得快。在备考阶段,首先要认真地跟做复习资料上的例题。各种复习资料上的例题大都属于重点内容。此外,还应当多做一些习题和模考题。平时不加强练习,就只有到考场上“练习”了,这当然难以取得好成绩。

1.2 如何复习第五部分内容

考试大纲要求的第五部分,内容包括“土工结构”、“边坡”、“边坡防护结构”、“基坑开挖与支护”、“地下工程”以及“地下水控制”等几个方面,内容似比较分散。第五部分虽然分为几块,但它们主要涉及到土压力和边坡稳定的问题以及地下工程的问题,因此被归并在一起了。对于案例考试,这一部分以土压力和边坡稳定分析的相关计算为主。“土工结构”和“边坡”部分的计算主要是边坡稳定问题,“边坡防护结构”、“基坑开挖与支护”和“地下工程”部分的计算主要是土压力和支护结构的计算分析。至于“地下水控制”部分,则只涉及少量的地下水渗流计算。因此,静止土压力计算方法、朗肯土压力理论和库仑土压力理论、边坡稳定分析的基本原理和方法以及支护结构的计算分析,结合相关的规范,是这一部分专业案例考试的核心内容。

针对考生备考时容易碰到的问题,本文着重提出案例考试的复习要点,从最基本的原理、计算分析出发,先切实打好基础,并结合规范,给出部分模考题及解答。本文第 2 节和第 3 节必备基础知识部分列出了考生应当掌握的内容。但限于篇幅,内容比较精简,必要时考生可参考有关资料。复习中,考生还应备有主要的几本规范(参考文献[1],[2],[3])。

对于概念考试,根据其覆盖面很宽的特点,可联合使用几本辅导教材进行复习,如参考文献[1]和[2],以取长补短,互为补充,使内容更全面。这些教材应当精读,并进行总结。对参考文献[3],[4],[5]所列规范应当熟悉。本文介绍的土压力和边坡稳定分析的基本原理和方法,也属概念考试的基本内容。

2 土压力计算的必备基础知识

土压力计算是土工结构和基坑开挖与支护计

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

算的基础。案例考试中,无论是按理论还是按规范进行计算,都需要熟练掌握土压力的基本理论和计算方法。

2.1 墙体位移与土压力类型

在影响土压力的诸多因素中,墙体位移条件是最主要的因素。墙体位移的方向和大小决定着所产生土压力的性质和大小。

1) 静止土压力。挡土墙在墙后填土的推力作用下不会发生任何位移,墙后土体处于弹性平衡状态,没有发生破坏,这时作用于墙背上的土压力称为静止土压力 E_0. 具有足够大横截面并且建在坚实地基上的重力式挡土墙和地下室外墙的土压力,通常按静止土压力计算。

2) 主动土压力。主动土压力有两个要点:①墙体发生离开填土方向的位移;②墙后填土达到主动极限平衡状态,墙背上的土压力达到最小值。

发生主动土压力时,墙体位移约为(0.1%～0.5%) H, H 为挡土墙的高度。

如果墙体的位移不足够大,土压力可能介于静止土压力 E_0 和主动土压力 E_a 之间。

3) 被动土压力。被动土压力有两个要点:①墙体在外力作用下发生朝着填土方向的位移;②填土达到被动极限平衡状态,墙背上的土压力达到最大值。发生被动土压力时墙体位移需达到约(1%～5%) H。

如果墙体的位移不足够大,土压力可能介于静止土压力 E_0 和被动土压力 E_p 之间。在实际工程中,通常不允许墙体发生过大的位移,只能利用被动土压力的一部分。

静止土压力计算,朗肯土压力理论和库仑土压力理论对土压力的计算,都只是针对 E_0、E_a 和 E_p 这三个特定值进行的。

2.2 静止土压力计算

假设墙背竖直、光滑。墙后填土满足侧限应力条件,可用分析墙后土单元应力的方法求静止土压力分布。土单元的竖直向主应力为自重应力 $\sigma_z = \gamma z$。由侧限条件下水平应力与竖向应力的关系,可得水平向自重应力为 $\sigma_h = K_0\sigma_z = K_0\gamma z$,这也就是静止土压力 p_0,即 $p_0 = K_0\gamma z$。式中 K_0 为静止侧压力系数,对于无粘性土和正常固结粘性土,静止侧压力系数 K_0 可用经验公式 $K_0 = 1 - \sin\varphi$ 估算。式中 φ 为土的有效内摩擦角。一般对砂土 K_0 可取 0.34～0.45,对粘性土可取 0.5～0.7。

静止土压力呈三角形分布,方向为水平。合力大小为分布三角形的面积,即 $E_0 = \frac{1}{2} K_0\gamma H^2$,作用点经过三角形的形心。

静止土压力与粘聚力 c 无关,无论粘性土还是无粘性土,静止土压力的计算都是相同的。

2.3 朗肯土压力理论

朗肯理论假设墙背竖直、光滑,采用分析半无限空间 z 深度处一点应力状态的方法来求解主动土压力和被动土压力。

2.3.1 朗肯主动土压力理论

当土压力达到主动极限状态时,土单元的大主应力为竖向自重应力 $\sigma_1 = \sigma_z = \gamma_z$,小主应力 σ_3 为水平应力。大小主应力满足莫尔 - 库仑破坏公式,可得主动土压力 p_a 的表达式:

$$p_a = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a} \qquad (1)$$

φ 为土的内摩擦角,c 为粘聚力。K_a 为主动土压力系数,$K_a = \mathrm{tg}^2(45° - \frac{\varphi}{2})$。

1) 粘性土的主动土压力 p_a。式(1)的右边由两项组成,第一项为土重产生的土压力 $\gamma z K_0$,为正值;第二项为粘聚力引起的土压力 $-2c\sqrt{K_a}$,为负值,不随深度变化。两项合并后,在墙顶 O 致墙顶下某一点 C 的范围内为负值,即拉应力。但实际上挡墙和填土之间没有抗拉强度,拉应力会使填土与墙背脱开而出现裂缝。因此,在 C 点以上的土压力为 0。记 OC 为 z_0,根据 C 点土压力为 0,可求得 $z_0 = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}}$。

2) 主动土压力的合力 E_a。

E_a 为土压力分布三角形的面积:

$$E_a = \frac{1}{2}(K_a\gamma H - 2c\sqrt{K_a}) \cdot (H - z_0) \qquad (2)$$

如以 $z_0 = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}}$ 代入上式,整理可得:

$$E_a = \frac{1}{2}\gamma H K_a - 2cH\sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \qquad (3)$$

方向为水平,作用点经过分布三角形的形心。

求主动土压力合力 E_a 时,可随意选用公式(2)和(3)中的任何一个。

对于无粘性土,只需在计算中取 $c = 0$ 即可。

2.3.2 朗肯被动土压力理论

被动土压力 p_p 的表达式:

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$p_p = \gamma z K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (4)$$

K_p 为被动土压力系数，$K_p = \mathrm{tg}^2(45° + \frac{\varphi}{2})$。

粘性土的被动土压力 p_p 由式(4)右边的两项组成。第一项 $\gamma z K_p$ 是土重产生的土压力；第二项 $2c\sqrt{K_p}$ 为粘聚力引起的土压力，不随深度变化。该两项合并后，土压力分布为梯形。被动土压力的合力大小为梯形的面积：

$$E_p = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_p + 2cH\sqrt{K_p} \quad (5)$$

合力方向为水平，作用点经过梯形的形心。可用“等效力矩”法求得该形心距墙底的距离。

2.4 几种特殊情况下的土压力计算

以主动土压力为例。对于静止土压力和被动土压力计算，可以参照进行。

2.4.1 墙后填土中有地下水位。

考虑地下水位对土压力的影响，可采用水土分算法与水土合算法。以主动土压力为例的水土分算与水土合算小结如表 1。

表 1 水土分算与水土合算比较(以主动土压力为例)

计算方法	水土分算	水土合算
适用条件	碎石土和砂土	粉土和粘性土
计算参数	γ', φ' 有效应力法	$\gamma_{sat}, c_{cu}, \varphi_{cu}$ 或 C_u, φ_u 总应力法
主动土压力	$p_a = \gamma z K_a$	$p_a = \gamma_{sat} z K_a - 2c_{cu}\sqrt{K_a}$
土压力系数	$K_a = \mathrm{tg}^2(45° - \frac{\varphi'}{2})$	$K_a = \mathrm{tg}^2(45° - \frac{\varphi_u}{2})$
水压力	$p_w = \gamma_w z$	不单独计算，已在土压力中计入
总土压力	主动土压力与水压力之和	土压力计算已包含了水压力和土压力

2.4.2 填土上有连续均布荷载

当填土上有连续均布荷载作用时，土压力除了由土体自重引起的那部分之外，还要加上由均布荷载引起的附加部分。式(1)变为 $p_a = (\gamma z + q) K_a - 2c\sqrt{K_a}$，其中 $\Delta p_a = qK_a$ 是由均布荷载 q 所引起的那部分土压力。

2.4.3 填土分层

现按以下两种情况说明其计算方法。

1)两层土 φ 相同。φ 相同，即 K_a 相同，可逐层计算第 n 层填土下表面处的土压力。

2)两层土 φ 不同。φ 不同，则两层土的土压力系数不同。对于主动土压力，在两层土的分界面处，位于上方土层的土压力系数为 K_{a1}，位于下方土层的为 K_{a2}。由于 K_a 不同，分界面土压力发生了突变，需分别用各自的土压力系数 K_{a1}、K_{a2} 计算。

2.5 库仑土压力理论

库仑土压力理论根据墙后土楔整体处于极限平衡状态时的力系平衡条件，从分析墙后某个滑动楔体的整体平衡条件出发，直接求出作用在墙背上的总土压力，并假设滑裂面为平面，滑动体为刚体，滑动楔体整体处于极限平衡状态。

2.5.1 主动土压力

库仑主动土压力的表达式为 $E_a = \gamma H^2 K_a/2$，式中 K_a 称为库仑主动土压力系数，在许多规范、手册上都容易查到。E_a 的作用方向在墙背法线的上方，并与法向成 δ 角(δ 为墙与土之间的摩擦角)，E_a 的作用点距墙底 $H/3$，H 为墙高。

2.5.2 被动土压力

库仑被动土压力 $E_p = \gamma H^2 K_p/2$，式中 K_p 为库仑被动土压力系数。E_p 的作用方向在墙背法线的下方，与法向成 δ 角。作用点距墙底 $H/3$。

2.6 地下隧道围岩压力的估算

建造在岩层或松散土介质中的隧道结构，将承受围岩压力，或称地层压力。如隧道顶面距地面的高度小于隧道的宽度，即处于浅埋的情况，通常可按地面荷载经土层应力扩散后的竖直向应力与上覆土的自重应力之和进行估算。但是，当隧道埋深较大时，隧道顶上所受压力将不能再按自重应力计算，而会有较大幅度的减小。对于松散岩土介质的围岩压力，可用太沙基理论进行估算。

太沙基理论根据应力传递的概念，按竖直方向的静力平衡条件，对岩土介质微单元进行受力分析，从而导得地下结构上所受的竖向压力。

(未完待续)

参考文献

1 JGJ120 - 99 建筑基坑支护技术规程
2 GB50330 - 2002 建筑边坡工程技术规范
3 GB 50007 - 2002 建筑地基基础设计规范

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net