

苏联铁路專家建議彙編

铁路路基单独设计

铁道部設計总局第三設計院編

人民铁道出版社

序 言

铁路路基单独设计，在铁路设计各项工作中，是一个新兴的项目。随着土质学地质学及土力学的发展，路基单独设计方才从过去的线路工程中脱离出来，成为一个单独科目。在我国自解放以后，由于苏联先进经验的介绍，以及苏联专家来我国指导与协助铁路建设的结果，亦开始了这项工作。但是遗憾的是，直到现在还没有关于这方面很完善的书籍。有的，大部份是一些零散的材料，同时多半偏重于理论的演算，在实用上，依然感到不足。

苏联铁路路基专家高尔斯基（И.Г.Горский）在1954年来我国，1956年返回。在这两年期间，对于路基设计起了巨大的指导作用，除去在日常工作中的指导而外，还按照不同的设计项目，手写讲义共十一篇。在这些讲义中均叙述实际作法及一些必要的公式，在实际工作中有很大价值。

现在我们将这些讲义彙编出版，一方面可以使设计人员在工作中有所参考，同时并以此来纪念专家对我们无私帮助的盛意。

铁道部第三设计院

1956年10月

目 录

大於12公尺的深路壟設計.....	1
斜坡上路堤設計.....	14
易風化岩層上的鐵路路基.....	27
在黃土土壤中建筑鐵路路基.....	36
永久冻層地区路基的修筑.....	42
喀斯特地区鐵路路基的修筑.....	69
在鐵路修筑方面對於流石流泥的防禦.....	74
塩漬土壤和飞砂地区的路基設計.....	94
滑坡現象及其防禦.....	104
松軟基底上路堤的修筑.....	136
水力机械化修筑鐵路路基.....	163
附录：問題解答.....	181

大於12公尺的深路塹設計

1. 大於12公尺普通土壤深路塹設計

路基边坡坡度，無論是路堤或是路塹，都取決於土壤的種類和性質，边坡的高度和區域的氣候條件。但土壤的性質內摩擦角和粘着力起着很大的作用。因此土壤的粘着力對於其構造沒有受外力破壞的路塹边坡穩定性影響很大。無論边坡的高度多大，無論是何種土壤，路塹的边坡實際上可能陡於路堤的边坡。還應知道：路塹边坡外的土壤沒有列車荷重所產生的壓力。高度為12公尺以下的路塹，其边坡坡度根據土壤的種類按照設計規程確定之。若路塹為單質土層的普通土壤（沙粘土，粘沙土，沙子，粘土），深度在12公尺以下時，可採用標準的边坡坡度1:1.5。若边坡高度很大，边坡的穩定性就須檢算；若穩定系數不夠時，就須採用較緩的边坡。路塹边坡穩定性檢算的方法和路堤一樣。若可能滑動面根據地質構造不能查明，則把可能滑動面當作平面滑動面或圓柱體滑動面。

平面滑動面的計算圖式如圖1及2所示，圖中虛線是計算滑

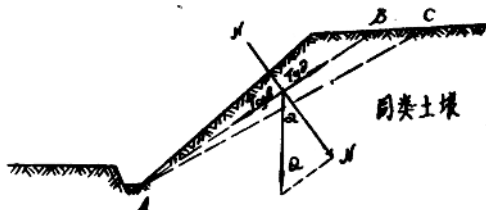


圖1 同一边坡坡度

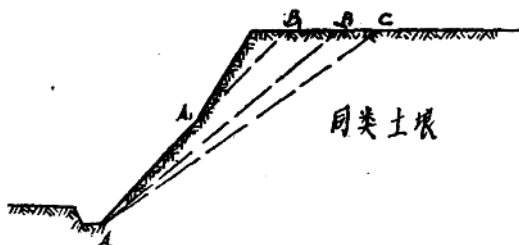


圖 2 变坡的边坡坡度

动平面。稳定系数 $K = \frac{T_{yd}}{T_{cds}}$ ；当 $K = 1.35 \sim 1.5$ 时，边坡認為是稳定的。 $T_{yd} = Nf + cl$ ， $N = Q \cos \alpha$ ； $T_{cds} = Q \sin \alpha$ ； f —— 摩擦系数 $= \tan \varphi$ ，(φ —— 土壤的内摩擦角)， C —— 粘着力。

按照上述滑动平面来计算边坡稳定性时比較簡單，但是与圓柱体滑动面计算方法来比，其准确程度較差。为了使按照这个方法計算时速度加快，有时候利用适当的圖表。若利用圖表則計算过程完全可以省去。

确定边坡稳定性的圖表格式和說明見附表。但是圖表使用的范围受到一定条件的限制，因为該圖表只是为了这些条件而編制的（同类土壤，沒有斜坡等）。若边坡非同一土壤，則根据可能

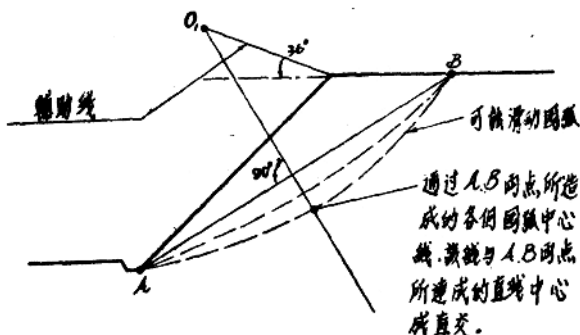
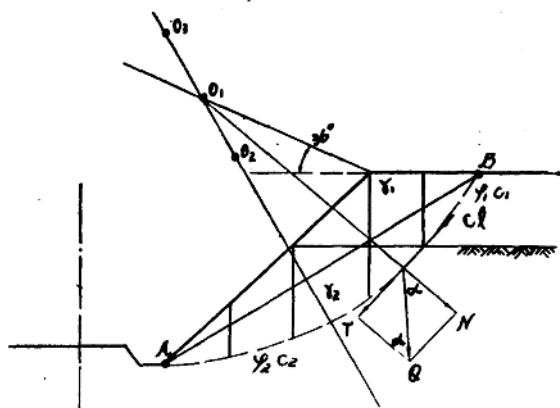


圖 3



$$\begin{aligned} T &= Q \sin \alpha \\ N &= Q \cos \alpha \\ fN &= \operatorname{tg} \varphi Q \cos \alpha \\ cl &= \text{粘着力} \end{aligned}$$

4

滑动面的研究来核算稳定性。这一方法得到了广泛的採用。稳定性的計算在於研究以圆柱体的軸心为圓心、沿着圆柱体的表面、土体滑动的可能条件。

利用輔助線可以在所繪圓心中心線上大概的找出临界滑动圆弧中心。該輔助線在实际設計中証明可以当作直線。該直線是通过路堑边坡頂端与水平成 36° 角。

輔助綫也可以用另外的方法繪出（參看河灘路堤边坡穩定性的計算 K.C. 奥尔杜揚茨著）。

点 O_1 是通过 A 、 B 两点的第一个计算圆弧（根据第一近似法而作的圆弧）中心。

將滑动土体分为几个長条，在每一長条里，推移力 $T' = Q \sin \alpha$ ，抗滑力为粘着力 cl 和摩擦力 $fN = \operatorname{tg} \varphi Q \cos \alpha$ ；式中： c ——土壤粘着系数， l ——各長条在圓柱体表面的長度， φ ——內摩擦角。

被滑动圆弧所割裂成的滑动土体的稳定系数为:

$$K_{ycm} = \frac{\sum cl + \sum fN}{\sum T}$$

設当弧中心为 O_1 时, 第一个計算滑动圆弧稳定系数为1.48。

用同样的方法求出位於圆心綫上 O_1 兩边的 O_2 和 O_3 的圆弧稳定系数。这两个稳定系数的值各等於1.62和1.58。根据这些值作出稳定系数曲线(圖5)。

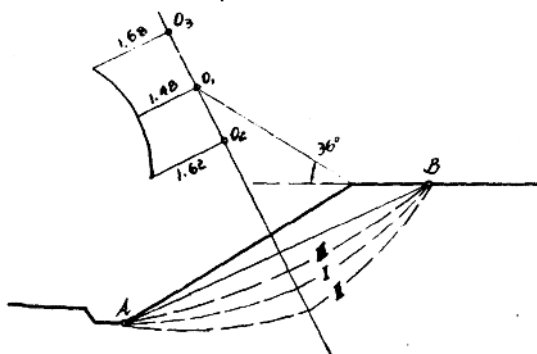


圖 5

为了求出临界圆心 O_0 和最小的稳定系数, 引一直綫平行於圓心綫並与稳定系数曲线相切。切点 K 可以确定最小稳定系数(圖6)(用图解法求得 K 为1.40)。

對於非單質土壤的边坡, 其各層的 φ 、 c 、 γ 的計算数值是由土体中所提取的土样用化驗的方法而

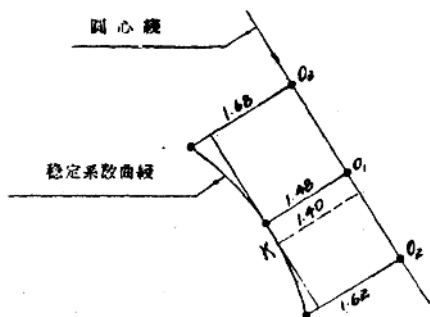


圖 6

确定的。

为了最大限度地加速边坡稳定系数的计算，许多的作者假设可能滑动面为圆柱体滑动面，制定了各种图表，得到广泛采用的为郭氏表格（М.Н. Гольдштейн）表格，在『土壤力学』Н.А. 崔托维奇 著的『土壤力学』中有使用这些表格的方法。

然而这些表格只是对于单质土壤的同一边坡（没有变坡点）和平缓的地势而编制的，边坡的顶面限制为水平面，事实上这样的平面很少遇到。

若路堑很深且是普通土壤时，常常每隔一定的高度在边坡上设立平台（护道），其宽度为1.0公尺，在平台之间仍保持原来的坡度。根据一些专家的意见，认为这个措施无论从经济的或技术的观点上都是不合理的，因为加设护道就使土石方数量大大的增加，而且还增加了铁路所佔用的土地。除此而外这个设施还妨碍边坡排水，常常成为边坡滑动的原因。在修筑铁路时，无疑的，宁愿修筑较缓的单一边坡也不修筑这样的护道。

当铁路运营时，用护道来加固边坡应当看作为边坡修理费用之一（当边坡发生大量表土剥落而且须要刷去时）。

若必须在边坡上修筑平台，则须在技术上有根据。若在边坡上有含水层露出的地方，而且由含水层中流出的水可能泡软下部边坡时，才有修筑平台的必要性。

为了截挡和排除由含水层中所流出的水，在土壤的分界线上修筑平台，平台的宽度为2~3公尺，在平台上修筑排水沟以便把由盲沟集来的水排到路堑以外去（图7）。在这种情况下边坡上部（平台以上）采用比下部较缓的边坡坡度比较有利。

若没有含水层，而上部是透水土壤，下部是非透水土壤，从接触面上流出的水量不大时，可在分界线上修筑宽为2公尺的平台，以防止边坡的表土剥落。在平台上最好修筑纵向盲沟，盲沟的上部应该高于接触面。为了防止盲沟在冬季冻结，在盲沟的上部用夯实土壤填筑一层保暖土层（图8）。

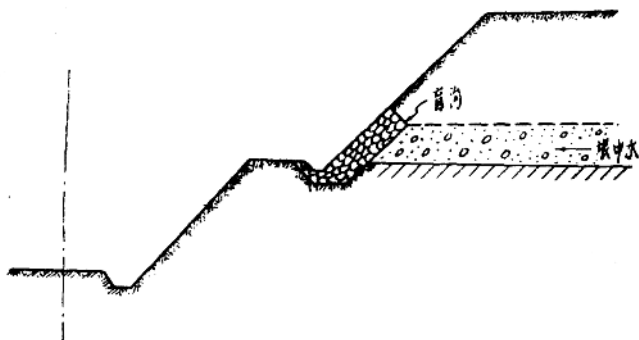


圖 7

若台阶的高度小於12公尺时，普通土壤的边坡坡度应採用 $1:1.5$ 。若高度很大，則須对每一台阶用普通方法进行穩定性的檢算。

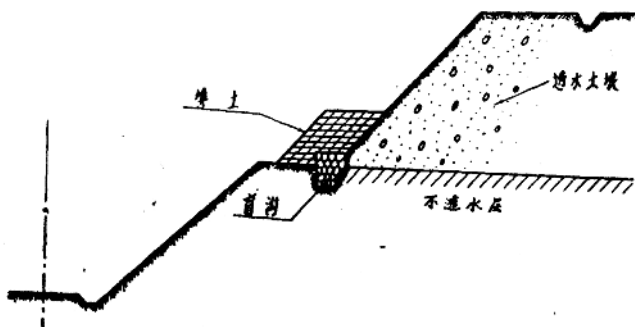


圖 8

2. 大於12公尺的碎石土壤路塹

深度在12公尺以下的碎石土壤路塹的边坡坡度，根据土壤性質和边坡高度而定——由 $1:0.5$ 到 $1:1.5$ 。确定大於12公尺的路

整边坡坡度时，對於土壤性質，膠結程度，層理情况和天然状态的稳定性应加以注意。在确定石質土壤边坡坡度时，土壤在天然状态的稳定性，無論在这种情况下或在特殊情况下都起着决定性的作用。所採取的边坡坡度的稳定性須经过檢算。一般對於全部边坡高度都是採用同一边坡坡度。若在边坡全部高度范围内並不都是碎石土壤，則在与較松散的土壤分界綫上，向放緩边坡的方向作一变坡点（圖9）。在变坡点上不必修筑平台。路塹所有横断面上的各个变坡点，应尽可能地佈置於与坡脚距离相等的高度上，以便施工方便和平整地連接相临地段的开挖平面。

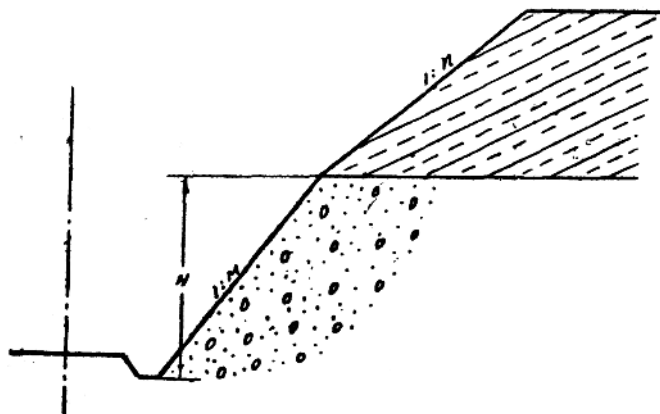


圖 9

3. 黃土路塹

因为黃土抵抗冲刷的能力很弱，能在長时期中保持垂直状态的边坡而不变形，無論边坡的高度如何，黃土路塹的边坡都可以採用接近垂直的边坡坡度（1:0.1）（圖10）。这样的坡度可以避免雨水冲刷边坡的可能性，从而也就保證了边坡的稳定性，因此不允許在边坡上修筑平台和採用很緩的边坡。

在側溝外坡腳處與路基邊緣的同一水平上設立平台，寬為 2.0 公尺。側溝的深度為 0.6 公尺，溝底寬度為 0.4 公尺。側溝的边坡坡度：靠綫路一邊——1:1；靠平台一邊——1:1.5。

路基面應作成梯形的並要保證必要的密實性。預先將要壓實的表面用水澆濕再打夯或壓輥，以達到土壤密實。

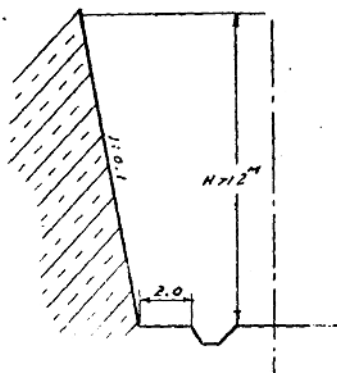


圖 10

修筑平台的目的是為了攔擋從边坡上塌下的土壤（當雨斜落時边坡上可能發生個別的微小的表土剝落），以及為了在整理側溝時放置垃圾或泥土。

4. 石質土壤的深路塹

按其堅實性和抗剪力來說，石質或半石質土壤等級中任何一種岩石在整體的情況下都完全能夠保證任何高度的垂直边坡於穩定狀態。但是整體的石質岩石實際上是不存在的。無論何種岩層或多或少都被各種不同成因而形成的節理所割裂。除此而外，水成岩常為互層，抗剪力很小。在岩層之間可能有很薄的大地降低了抗剪力的粘土夾層。在路塹边坡開挖時，這些夾層就成為滑動面或破壞面。在岩層被節理割裂的情況下這些夾層的作用就更加增大。往往節理形成互相交錯的節理系統（節理組）。

即使整塊岩體被節理割裂，若可能滑動面與節理方向不一致時（當節理的位置是垂直的，層理是水平的時），在大多數的情況下仍具有很大的穩定性。

若節理或層理與边坡方向一致且成很大的角度時，如施工經

驗所指出的，岩石整个分層的滑动或破坏的可能性問題就具有了实际的意义。因此滑动面一般都与节理位置相符合。

風化作用對於边坡的稳定性起着決定性的影响，在風化作用帶中割裂成塊的塊石稜角都慢慢地變鈍。节理被粘土材料充填。这样就對石質土壤，甚至對於堅硬的岩石，特別是花崗岩、片麻岩等的边坡稳定性破坏漸漸地造成了有利条件。

若路塹是風化的，被节理割裂的岩石，在开挖时，有时須要緩坡。

5. 石質路塹边坡坡度的確定

在設計石質深路塹时，确定边坡坡度是一件主要的而且也是困难的工作。上面已經說过，边坡的稳定性是以边坡在風化过程中破坏的程度和情况为轉移，而与岩石的等級無關。該問題之所以困难，是因为到現在为止还没有研究出一种可靠的边坡稳定性的計算方法，因此边坡稳定性的問題就全靠岩石节理的特征和程度，以及將來風化能力来确定。所有岩質的或半岩質的岩石都有节理（風化节理，劈理和構造节理）。整体岩石被节理割裂得愈严重，風化作用节理伸展得愈深，順边坡方向的傾角很大，愈能說明主要节理綫时，則节理在边坡稳定性中的不良作用亦愈大。在后一种情况下，节理方向与滑动面的关系便是一个很重要的問題。

应当知道，节理是將來風化的响导員。沿着节理天然雨水可以滲入，促使岩石在將來破坏和节理被粘土質材料塞填。路塹边坡与構造断口和錯动帶相交的地段更为不稳定。

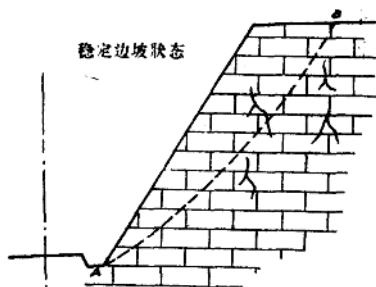


圖 11

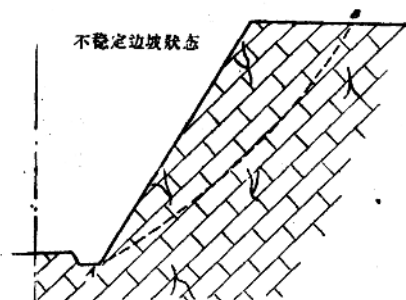


圖 12

在这里石質土壤或半石質土壤都可能是完全破碎的。互不相連結的塊石只是憑借着摩擦力而停留在边坡上。在極限平衡时，边坡角度接近於破碎岩石的内摩擦角 ($\varphi = 45 \sim 50^\circ$)。

当边坡坡度緩於

内摩擦角时，边坡的稳定性方能保証。

估計到石質路壑边坡設計的困难，就必須觀察这些土壤在天然状态下現有的边坡坡度和狀況。

設計的边坡坡度不应大於現地观察得来的坡度。边坡穩定的根据是工程地質。

根据这些技术条件，12公尺以下的石質路壑边坡坡度的范围很广，由1:0.2~1:1.5。为了使坡度更具体化，在各种不同的情况下必須採用适合於具体的工程地質条件的边坡。只是對於結实的、比較整体的（沒有节理的）岩層方可採用1:0.1的坡度。因此在設計規程中規定了路基面和側溝的定型輪廓（标准的尺寸）。

当設計石質深挖方时（ $H > 12$ 公尺），那些原則仍可作为基础，应根据調查和現場观察露头边坡状态的資料来确定的岩石工程地質綜合特征，而确定边坡坡度。

在这种情况下，路壑路基面的主要尺寸，根据技术規程，12公尺以下的路壑設計一般都採用定型的。

若天溝不能排除边坡上的水，而必須由側溝排除时，側溝的断面就应根据計算而加寬。为了使水向下流，在边坡上修筑排水槽（排水槽的边牆及底用水泥漿塗抹）。在排水槽与側溝接头处

修筑緩流井。所以山坡方面的路肩要作得寬一些（留 1~2 公尺的护道）。

若路壑边坡坡度确定得不正确，在雨水和壤中水作用之下，就会發生不可避免的边坡破坏。所以設計書中所拟定的边坡坡度，在施工时开挖路壑当中应加以修正。在施工时，若發現边坡有破坏的趋势时（崩塌或滑动），应用刷方的办法放緩边坡以防止边坡变形。若路壑很深，边坡的岩石堅硬程度一样，只是边坡下部採用較緩的边坡，也就是說緩坡只在下部，而不是在全部高度上都須緩坡。

但是若边坡上部的岩石是比較松散或破坏了的，則需在全部高度上或边坡上部进行放緩。

为了減少土石方数量，有时候易風化岩石边坡的下部採用很大的坡度，但为了防止風化，修筑护牆。上部边坡应放緩至風化状态下岩石的天然边坡角度。修筑护牆是路壑边坡加固方法之一。

路壑边坡的加固對於保證路基稳定性來說具有十分重大的意义。因此这个問題須要分別研究。

6. 鐵路路壑边坡稳定性計算圖表

計算圖表的制制原則

現在研究一下边坡为 1:1.5 的路壑。

計算圖表由五种表式組成，它們之間样式都是相連接和配合的，这样，为得出結果所必須的每項作用都是互为因果的。

由上而下的第一个圖表，其左側为路壑高度 H (达 30 公尺)，上部标綫是从路壑边綫起到所求的滑动楔处的距离『 A 』，此一距离是向外側按每一公尺計算到 20 公尺为止，經圖解連乘 $\frac{HA}{2}$ 与 $\sin\alpha$ 計算結果，在下部标綫上求出 $ws\sin\alpha$ 值。

在第二圖表中，从左側起給出土壤容重 γ 值。

以圖解法連乘 $ws\sin\alpha$ 和 γ ，可得出切向剪应力 T 值。

第五圖表的編制與第一圖表一樣。其不同點就是以 $\cos\alpha$ 連乘 $\frac{HA}{2}$ ，來求出 $w\cos\alpha$ 值。

第四圖表，從左側起是土壤容積重量 γ 值，並且如果連乘第五圖表所得結果的話，即以 $w\cos\alpha$ 乘第四圖表的 γ 值，那麼，第三和第四圖表的接觸綫上就可得出法向力 N 值。

第三圖表從左側起是土壤內摩擦係數 $\operatorname{tg} \varphi$ 的對數值的標綫，為求土壤內摩擦角度數用。

利用從第五和第四圖表中所得出的 N 值在第三及第四圖表的接觸綫上可得出 $\operatorname{tg} \varphi N$ 值。

第一圖表，從右側下方起是每項 A 值的滑面長度 L 標綫，而第二圖表，從右側起是土壤粘着係數 C 值的標綫，以圖解法用 L 連乘 C ，可得出 CL 值。

此值必須以兩脚規量出之（或者計算公厘數），並將其加在第三和第四圖表的接觸綫上的 $\operatorname{tg} \varphi N$ 值之內。

計算結果，我們可在第三圖內下側標綫上求出 $\operatorname{tg} \varphi N + CL$ 值，而在上側標綫上可求出 T 值。

以圖解法去用 T 值除 $\operatorname{tg} \varphi N + CL$ ，可在左標綫上求出路塹边坡穩定係數『 K 』值。

以不同的『 A 』值來計算边坡的穩定程度，即可得出從選定各點中穩定係數的增加值，然後才能確定边坡穩定程度。

路塹邊綫以外的地面形狀，該圖表系作為水平來計算的。

圖表使用方法

為計算路塹边坡穩定係數必須具有下列資料：

1. 路塹到側溝底的深度 H ；
2. 土壤內摩擦角度 φ ；
3. 土壤容重 γ ；
4. 粘着係數 C 。

設，我們須於滑動楔距路塹邊綫距離 $A=10$ 公尺， $H=22$ 公

尺， $\gamma = 1.9$ ， $\varphi = 30^\circ$ 及 $C = 1.5$ 时求出边坡稳定系数。按圖表中所示的例子按下列順序进行計算：

1. 在左上側标綫上找出 $H = 22$ 公尺的值，並划一水平綫到与 $A = 10$ 公尺曲綫相交点。

从相交点向下引一垂直綫到 $w \sin \alpha$ 綫上。

2. 將得出的一点与第二圖表左标綫 0 相接。从 $\gamma = 1.9$ (标綫 γ) 点引一水平綫到与从 0 点所引的綫相交处，从所求出的相交点向下引一垂直綫到 T 綫上。

3. 於圖表五，用相同的方法，找出 $H = 22$ 公尺值，並划一水平綫到与 $A = 10$ 綫上相交点，从相交点向上引一垂直綫到 $w \cos \alpha$ 綫上。

以圖解法用所求出的一点乘 $\gamma = 1.9$ ，为此將該点与 γ 标綫 0 相接，並从 $\gamma = 1.9$ 点引一水平綫到与 0 点所引之綫上相交，將所求出的相交点射向标綫 N 上。

4. 將所求之 N 点与 $\lg \varphi$ 标綫 0 相接，於 $\lg T$ 标綫上找出 $\varphi = 30^\circ$ 的值。並以水平綫求出与从 0 向 N 点所引的綫相交点，从此相交点向下引一垂直綫至 N 标綫上。

5. 於 N 标綫上所求的一点中 (106) 必須向右側以圖解法加进 CL 值。

6. 从第一圖表中右側按下法求出的 CL 值：

將需要的 $H = 22$ 公尺沿水平綫在圖表上部右側延長至 10，並从相交点向标綫 $w \sin \alpha$ 引一垂直綫。將所得一点与第二圖表 C 右标綫『0』点相接，並以圖解法乘 C ，就此可在标綫 T 上求出 CL 数值。

7. 从稳定系数标綫上『0』引一直綫通过 T 点 (按第二項所求出的) 引向从 $\lg PN + CL$ 点所引的垂直綫与之相交。

从所得出的相交点，相左沿水平綫向稳定系数标綫引一綫，並查出結果。

以不同的 A 值做詳細的計算，可得出一系列的系数，根据这些系数可發現 K 的最小限度值。

斜坡上路堤設計

路堤設計

假若地勢橫向坡度不大（小於 $\frac{1}{4}$ ），並且基底土壤密實而又穩定的話，路堤可以直接填筑於斜坡表面上。除了零點處和低路堤（高度小於0.5公尺）地段以外，表層土壤和植物復蓋層（草皮）都不用剷除。

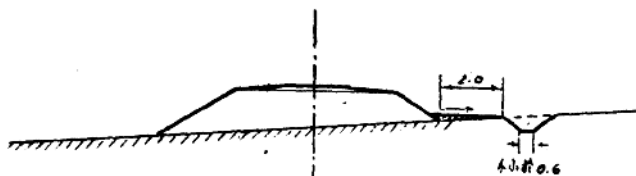


圖 1 小於 $\frac{1}{4}$ 斜坡上的路堤

在靠山一邊，沿着路基應修筑排水溝。排水溝的尺寸根據水力計算決定之。溝底的最小寬度為0.6公尺。若計算流速超過該土壤允許流速時，溝底及其边坡應按照計算水流的高度加固，零點處和低路堤則更應特別徹底地加以防護。

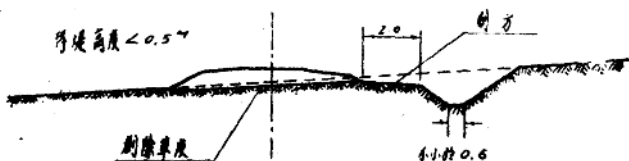


圖 2 大於 $\frac{1}{4}$ 斜坡上的路堤

凡是陡於 $\frac{1}{4}$ 的斜坡，都應進行地質和水文地質調查，以便了解土壤的穩固性和天然边坡的穩定性。

在大於 $\frac{1}{4}$ 的穩定斜坡上填筑路堤以前，應進行基底的整理工