

第十一篇

卸荷板式挡土墙设计与施工技术

第一章 卸荷板式挡土墙结构特征

第一节 概 述

卸荷板式挡土墙是指在墙背设置卸荷平台或卸荷板,达到减少墙背土压力和增加稳定力矩,以填土重量和墙身自重共同抵抗土体侧压力的挡土结构。

国外具有卸荷板或卸荷平台的挡土结构在水工岸壁工程中应用较早,苏联、日本等国家在港工建筑物中对此种结构研究应用较多。印度在 20 世纪 70 年代曾对设置卸荷板的悬臂式挡土墙进行过研究,从理论和实际上做了一些探讨。

国内这种具有卸荷效应的挡土结构也是在港工方面应用较早、较多,主要用在重力式码头、坞墙及岸壁结构。铁路部门从 20 世纪 60 年代起设计并试用了少量的具有类似结构的挡土墙。20 世纪 60~70 年代铁道部第四勘测设计院先后在京广线、枝柳线及皖赣线设计试用了带卸荷板的柱板式拼装挡土墙,并进行了两次室内模型试验。20 世纪 80 年代铁道部第一勘测设计院在峡口驿专用线设计了短卸荷板式挡土墙,并于 20 世纪 90 年代初与西南交通大学在侯月线开展了短卸荷板挡土墙工程试验,与此同时,铁道部第二勘测设计院在南昆铁路设计应用了两座卸荷板—托盘式路肩挡土墙。通过多年的实践应用,目前铁路系统对于卸荷板式挡土墙已逐渐形成了一套较为合理的设计计算方法。

第二节 卸荷板式挡土墙的结构特征

一、目前常用的几种结构类型

卸荷板式挡土墙其墙背卸荷板作用为减少墙背土压力和增加稳定力矩,从而达到减少墙体圬工的目的。根据卸荷板长度、形状等可分为短卸荷板挡土墙、长卸荷板挡土墙、拉杆卸荷板柱板式挡土墙、“一”字形卸荷板挡土墙、“L”形卸荷板挡土墙、卸荷板—托盘式路肩挡土墙等(图 11-1-1)。卸荷板挡土墙墙身通常为浆砌片石或片石混凝土,卸荷板为钢筋混凝土。与普通重力式挡土墙相比,卸荷板式挡土墙可节省圬工约 30%,降低造价约 20%。

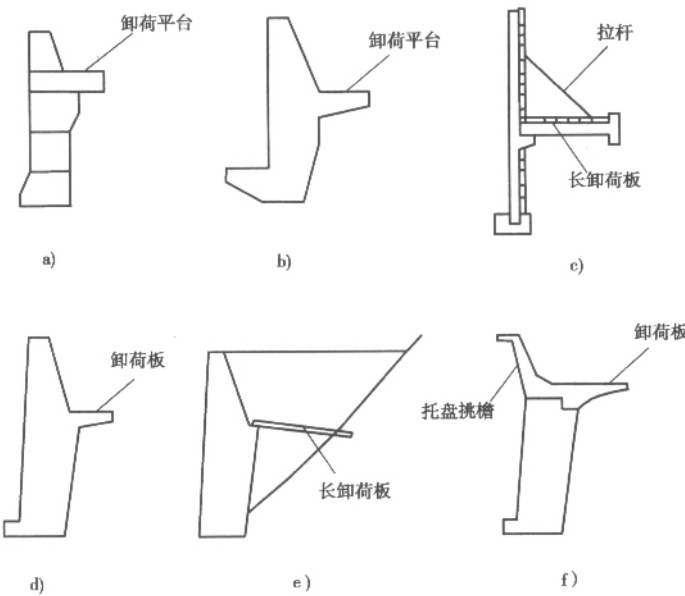


图 11-1-1 各种类型的卸荷板式挡土墙

a)卸荷板重力式码头;b)混合式坞墙;c)拉杆卸荷板柱板式挡土墙;d)短卸荷板路肩挡土墙;e)长卸荷板路肩挡土墙;f)短卸荷板—高托盘路肩挡土墙

二、受力特点

卸荷板是卸荷板挡土墙的重要构件,其主要作用是减少挡土墙下墙土压力,增加全墙抗倾覆稳定。由于板上回填料使挡墙自重增加,稳定力矩也相应增加;另外由于卸荷板的遮帘作用,板下墙身所受的土压力减小,使其作用于挡墙的水平推力减小,倾覆力矩相应减小。

卸荷板挡土墙土压力分布如图 11-1-2 所示。上墙土压力分布同重力式挡土墙,下墙受卸荷板影响,土压力减小,土压力合力作用点下降。卸荷效应随卸荷板长度增长而增大。当卸荷平台宽度在破裂面以内时,该挡土结构称为短卸荷板挡土墙,其土压力分布如图 11-1-2a)所示;当卸荷平台宽度在破裂面附近时,其上压力分布如图 11-1-2b)所示;当卸荷平台宽度超出通过墙踵部与水平线成 φ 角的直线以外时,该挡土结构称为长卸荷板挡土墙,此时下墙背土压力不受上墙填料的影响,其土压力分布如图 11-1-2c)所示。

根据图 11-1-2 卸荷板挡土墙土压力分布图形及有关卸荷板挡土墙模型试验资料分析,卸荷板长度影响卸荷板挡土墙受力状态。板越短,下墙土压力越大,板上垂直压力越小;板越长,下墙土压力越小,板上垂直压力越小,板长大于某一长度时,板底出现垂直压力,也就是说,长卸荷板挡土墙下墙背土压力仍然要受上墙填料的一定影响。长卸荷板挡土墙具有较大的负偏心,使墙踵应力增大,当基底承载力较低时,需加宽挡墙基础。短

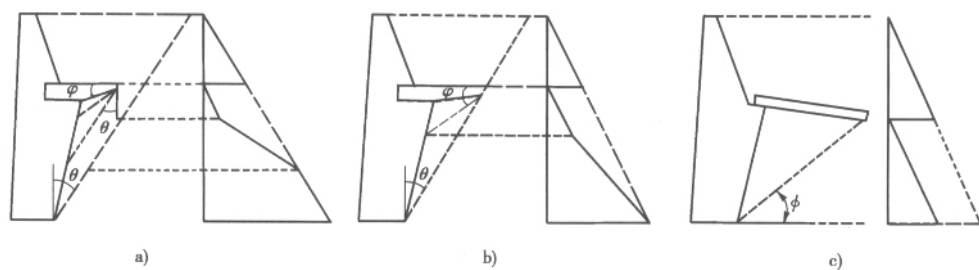


图 11—1—2 卸荷板挡土墙土压力分布图式

卸荷板挡土墙可通过调整卸荷板长度,使墙地基应力分布更加均匀。因此,目前倾向于使用短卸荷板挡土墙,较少采用长卸荷板挡土墙。

第二章 短卸荷板式挡土墙设计

一、结构特点

短卸荷板挡土墙是由浆砌片石或片石混凝土折线形挡墙及钢筋混凝土卸荷板组成的支挡结构。卸荷板设在墙背的适当高度,上、下墙的比例一般为 4:6,卸荷板末端在下墙破裂棱体内,以填土重量和墙身自重共同抵抗土体侧压力。在设计时通过调整卸荷板长度,使其基底偏心矩接近零,从而使基底应力分布比较均匀,减小墙身截面。短卸荷板挡土墙较衡重式挡土墙减少圬工 30%左右,节省工程投资约 10%~20%,墙越高经济效益越大。

二、稳定性计算

以铁路路肩短卸荷板挡土墙为例,其受力计算如下。

(一)设计荷载

作用于挡墙上的力系主要考虑土压力、列车荷载、墙体自重力、人行道板荷载。列车荷载按双线有荷计算,同时按双线无荷、Ⅰ线有荷Ⅱ线无荷、Ⅰ线无荷Ⅱ线有荷来进行检算。

(二)土压力计算

根据铁道部有关短卸荷板式挡土墙的研究成果:力多边形法考虑了上墙对下墙土压力的影响,理论上较为严谨,而延长墙背法和校正墙背法误差较大,未考虑上墙对下墙上压力的影响,而且墙踵和卸荷板末端连线与下墙实际墙背间的一块土体无法考虑。土压力分布的规律为上下两头小、中间大,作用点位置约为下墙高度的 0.52 左右,考虑到力作用点对挡土墙的倾覆稳定、偏心矩和基底应力均有较大影响,研究成果建议短卸荷板式挡土墙下墙土压力强度按矩形分布,作用点位置为下墙墙高的 1/2 处,这样既接近实际情况,又简化计算过程。

因此在设计中土压力可按以下方法计算:作用在墙背上的主动土压力可按库仑理论计算,其中上墙可按第二破裂面法计算,两破裂面交点在短卸荷板悬臂端;下墙可按力多边形法计算,土压力强度按矩形分布,作用点为墙高的 1/2 处(图 11-2-1)。按上述计算方法分别计算出上、下土压力,叠加后成为全墙上压力。

计算作用于短卸荷板上的竖向压力时,可先计算第二破裂面上的竖向分力,短卸荷板承受其长度相应部分投影的应力;再计算第二破裂面以下的土体重量,两者叠加则为短卸

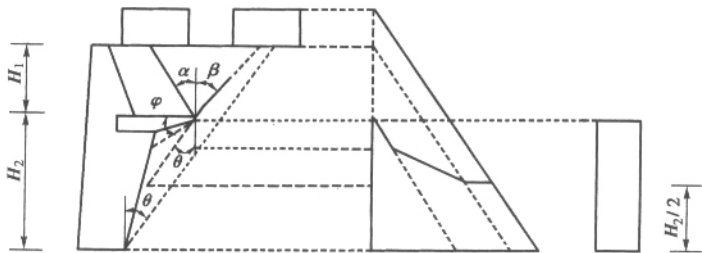


图 11-2-1 土压力强度分布及作用点位置图示

荷板的竖向压力,在板上按均匀分布,如图 11-2-2 所示。

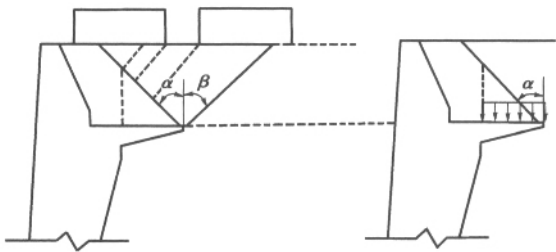


图 11-2-2 短卸荷板上的竖向压力及分布图示

α —上墙第二破裂角; β —上墙第一破裂角

土与墙背间的摩擦角 δ ,可按表 11-2-1 所列数值作用。

墙背填料的物理力学指标,应根据试验资料确定。当填料为粘性土时,应通过试验测定其力学指标 c 、 φ ,然后通过抗剪强度相等的原则,换算综合内摩擦角来代替其内摩擦角和粘聚力,换算方法可采用以下公式:

$$\varphi_0 = \tan^{-1} \left[\tan \varphi + \frac{2c}{\gamma H} \right] \tag{2-1}$$

当墙背填料的物理力学指标无试验数据时,可按表 11-2-2 选用综合内摩擦角。

表 11-2-2 土与墙背间的摩擦角 δ

<div>墙 背 土</div> <div>墙 身 材 料</div>	岩块及粗粒土	细粒土
混凝土	$\frac{1}{2} \varphi$	$\frac{2}{3} \varphi$ 或 $\frac{1}{2} \varphi$
第二破裂面或假想墙背体	φ	φ_0
石砌体	$\frac{2}{3} \varphi$	$\frac{2}{3} \varphi$

① φ 为土的内摩擦角, φ_0 为土的综合内摩擦角;

②计算墙背摩擦角 $\delta > 30^\circ$ 时仍采用 30° 。

表 11-2-2 填料的结合内摩擦角 φ_0

填料种类	综合内摩擦角 φ_0
细粒土	35°
砂类土	35°

填料种类	综合内磨擦角 φ_0
砾石类土、碎石类土	40°
不易风化的块石	45°

(三)全墙稳定性检算

1. 抗滑稳定性检算

$$K_c = \frac{\sum Q \cdot f}{\sum E_x} \geq [K_c]$$

(2—2)

2. 抗倾覆稳定性检算

$$K_0 = \frac{\sum M_y}{\sum M_o} \geq [K_0]$$

(2—3)

式中： $\sum Q$ ——卸荷板以上土体自重力、全墙总土压力的垂直分力及墙身自重力之和(kN)；

$\sum E_x$ ——全墙总土压力的水平分力(kN)；

f ——混凝土与地基摩擦系数；

$\sum M_y$ ——稳定力系对墙趾的总力矩(kN·m)；

$\sum M_o$ ——倾覆力系对墙趾的总力矩(kN·m)；

$[K_c]$ 、 $[K_0]$ ——挡土墙沿基底的抗滑动、抗倾覆稳定系数，根据以下要求确定。

当墙背填料的物理力学指标根据试验资料确定时，稳定系数可采用 $[K_c]=1.3$ ， $[K_0]=1.5$ 。

当墙背填料的物理力学指标无试验数据时，稳定系数应根据填料类型和墙高按表 11—2—3 取值。

表 11—2—3 稳定系数取值表

稳定 系数 粘聚力(kPa)	墙高(m)	$6 < H \leq 10$		$6 < H \leq 12$	
		$[K_c]$	$[K_0]$	$[K_c]$	$[K_0]$
$0.0 < c \leq 5.0$		1.30~1.40	1.50~1.60	1.40~1.45	1.60~1.65
$5.0 < c \leq 10.0$		1.30~1.50	1.50~1.70	1.50~1.60	1.70~1.80
$10.0 < c \leq 10.0$		1.30~1.60	1.50~1.80	1.60~1.75	1.80~1.90

注：①相同填料，稳定系数应随墙高增大而增大；
②当无粘聚力实测值时，可根据填料的分类取值，即优质填料(如砾石类土、碎石类土、不易风化的块石等)取小值；良好填料(如砂类土等)取中值；一般填料(如细粒土等)取大值。

三、结构设计

(一)短卸荷板

短卸荷板长度和截面尺寸应通过试算确定，使基底应力分布均匀，同时满足墙身截面

的强度检算要求。卸荷板采用钢筋混凝土,其插入端长度一般宜控制在上墙底宽的 $1/2 \sim 2/3$,配筋设计可按悬臂梁结构计算。

(二) 上下墙墙身

1. 墙身截面强度检算位置

短卸荷板式挡土墙上下墙之间,即卸荷板处墙身截面变化较大,是这种墙型的薄弱截面。卸荷板固定端上方的一段及下方靠墙背处应力很高、变化快。因此在设计时,应对上下墙之间墙身截面进行强度检算。截面强度检算的位置可按图 11-2-3 所示选取。检算 I—I、II—II 截面的法向拉应力和水平剪应力;III—III、IV—IV、V—V 斜截面的剪应力。此外,尚应检算台阶上部处墙身截面的法向拉应力和水平剪应力。

2. 上墙墙背的土压力

由于卸荷板挡土墙达到主动极限状态时,上墙产生第二破裂面,该破裂面与上墙墙背间的土体位移很少,始终不可能达到主动极限状态,因此上墙墙背承受的土压力是大于主动土压力的。根据有关研究结果,上墙承受的土压力是介于主动土压力与静止土压力之间,一般为主动土压力的 $1.27 \sim 1.43$ 。为简化计算,在墙身截面强度检算中所需的上墙墙背的水平土压力,按实际墙背用库仑公式的计算值乘以 1.4 的系数计算;考虑到此时墙背摩擦力不能充分发挥和偏于安全起见,竖向上压力可不乘系数。

3. 墙身截面强度检算

(1) 法向应力检算

如图 11-2-4 所示,截面 I—I 以上主动土压力 E 的水平及垂直分力分别为 E_{1x} 及 E_{1y} ,墙身自重为 W_1 ,截面偏心矩为:

$$e_1 = \frac{B_1}{2} - Z_{1N} = \frac{B_1}{2} - \frac{W_1 Z_{1W} + E_{1y} Z_{1y} - E_{1x} Z_{1x}}{W_1 + E_{1y}} \quad (2-4)$$

式中: B_1 ——计算截面的宽度(m);

Z_{1N} ——作用于计算截面上合力的法向分力 N_1 对 O_1 点的力臂(m)。

当 $e_1 < B_1/6$ 时,截面上的法向应力为:

$$\sigma_{1,2} = \frac{W_1 + E_{1y}}{B_1} \left(1 \pm \frac{6e_1}{B_1} \right) \leq [\sigma_a] \quad (2-5)$$

当 $e_1 > B_1/6$ 时,截面上出现拉应力,

$$\sigma_l = \frac{W_1 + E_{1y}}{B_1} \left(1 - \frac{6e_1}{B_1} \right) \leq [\sigma_l] \quad (2-6)$$

式中: $[\sigma_a]$, $[\sigma_l]$ ——墙身砌体容许压应力、拉应力。

当拉应力超过砌体或混凝土容许拉应力时,需修改截面尺寸。如果 I—I 截面不能通过,则应放缓上墙墙背坡度;如果 II—II 截面不能通过,则应放缓下墙墙背坡度。应注意 I—I 截面承受的土压力是上墙实际墙背承受的土压力,而 II—II 截面承受的土压力则是第二破裂面上的土压力,但如果这个土压力小于实际墙背上的土压力,为安全起见,则仍用实际墙背上的土压力。

(2) 剪应力验算

1) 水平方向的剪应力

$$\tau = \frac{E_{1x}}{B_1} \leq [\tau] \quad (2-7)$$

式中: $[\tau]$ ——墙身圬工的容许剪应力。

2) 斜截面剪应力

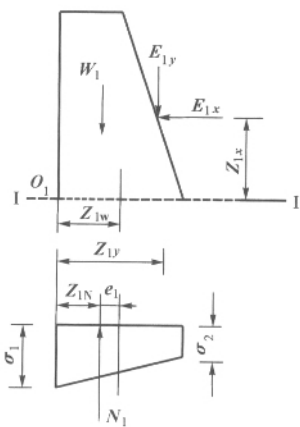


图 11-2-4 截面法向应力计算图式

如图 11-2-5 所示,上墙卸荷平台处沿倾斜方向被剪裂,裂缝与水平面成 β 角,剪裂面上的作用力为上墙主动土压力的水平分力 E_{1x} 和竖直分力 $(W_1 + W_2 + E_{1y})$ 在该面上的切向分力 P_E 和 P_w 。最大剪应力 τ_{\max} 可由 τ 对 β 求导等于零导出。

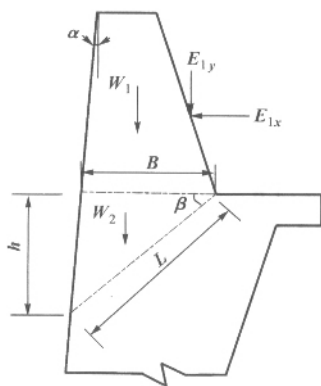


图 11-2-5 斜截面剪应力计算图式

$$\tan\beta = -A \pm \sqrt{A^2 + 1} \tag{2-8}$$

$$A = \frac{\tau_\gamma - \tau_x - \tau_w \tan\alpha}{\tau_x \tan\alpha - \tau_w} \tag{2-9}$$

其中:

$$\left. \begin{aligned} \tau_x &= \frac{E_{1x}}{B} \\ \tau_w &= \frac{E_{1y} + W_1}{B} \\ \tau_\gamma &= \frac{1}{2} \gamma B \end{aligned} \right\}$$

式中: γ ——墙身圬工的重度。

斜截面剪应力

$$\tau = \cos^2\beta[\tau_x(1 - \tan\alpha \cdot \tan\beta) + \tau_w \cdot \tan\beta(1 - \tan\alpha \cdot \tan\beta) + \tau_\gamma \tan^2\beta] \leq [\tau] \tag{2-10}$$

Ⅲ—Ⅲ和Ⅳ—Ⅳ斜截面剪应力的检算,先求最危险截面与水平面的夹角 β ,然后求出该斜截面上的剪应力 τ_{\max} ,应小于或等于墙身圬工的容许剪应力 $[\tau]$,如不满足强度要求,则需采取改善措施,这两个斜截面上承受的外力分别为检算Ⅰ—Ⅰ和Ⅱ—Ⅱ截面时的土压力。

Ⅲ—Ⅲ截面穿过钢筋混凝土卸荷板侵入墙体,考虑到板的厚度较小,该斜截面又是控制截面,为安全起见,不考虑钢筋混凝土的容许剪应力,全部截面按墙体圬工的容许剪应力检算。

卸荷板悬臂端作用着较大的竖直压力,上墙经卸荷板固定端部为起点的斜截面Ⅴ—Ⅴ应进行剪应力检算,该截面与水平面成 θ 角。 θ 可由下式确定。

$$\tan\theta = \tan\alpha \pm \sqrt{\tan^2\alpha + 1} \quad (2-11)$$

式中: α ——上墙墙背倾角。

(三)构造要求

短卸荷板式挡土墙基底、基础埋置及构造要求应符合一般重力式挡土墙的有关规定。卸荷板面上墙体内应设置一排泄水孔。

卸荷板与上墙墙体的接触面上,沿纵向每隔30~40cm插入长度为35cm的短钢筋。卸荷板插入部分应垫以20cm厚的混凝土垫板,垫板应设构造钢筋。

卸荷板施工宜优先采用现浇。如采用预制吊装施工时,卸荷板及垫板表面应有粗糙度,铺设时应铺垫砂浆使其与墙体连接稳固。

第三章 拉杆卸荷板柱板式挡土墙设计

一、结构特点

拉杆卸荷板柱板式挡土墙是由立柱、挡板、底梁、卸荷板、拉杆、槽形基座及金属插销等构件拼装而成,如图 11—3—1 所示。底梁的一端支承在立柱牛腿上。

在牛腿和底梁的预留孔眼中用金属插销连接固定。把钢拉杆的上下端分别与立柱、底梁的预埋伸出钢筋相焊接,使立柱、底梁、拉杆三者构成一个三角形框架,并在立柱之间设挡板,用以挡住墙后填土。在底梁上铺设底板(卸荷板),以承受底梁以上部分填土自重。墙后土压力通过挡板传至立柱,填土自重通过底板传至底梁,再通过拉杆传至立柱,构成力系平衡。底板和底梁起到卸荷平台的作用,并可减少底梁以下部分立柱的侧向土压力。当墙身较高时可采用双层拉杆。拉杆卸荷板柱板式挡土墙的主要优点是结构轻便、全部构件可事先预制、拼装快、能节省大量圬工、降低工程造价。

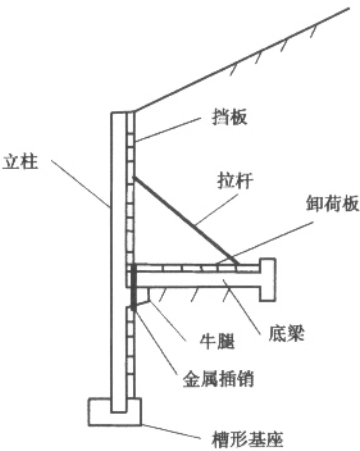


图 11—3—1 拉杆卸荷板柱板式挡土墙结构示意图

二、受力计算

(一)土压力计算

底梁以上部分称为上墙,底梁以下部分称为下墙。上墙上压力按第二破裂面法计算,下墙按实际墙背法计算。计算下墙上压力时,应根据底梁以下的地基情况而定。可近似

按以下两种情况考虑。

1. 当底梁以下为比较坚硬的天然地基时,可不考虑底梁以上的超载作用到下墙,下墙的侧压力按无超载的垂直墙计算,墙高从底梁算起,其土压力分布如图 11-3-2a)所示,应力分布图为三角形分布,底梁处应力为零。

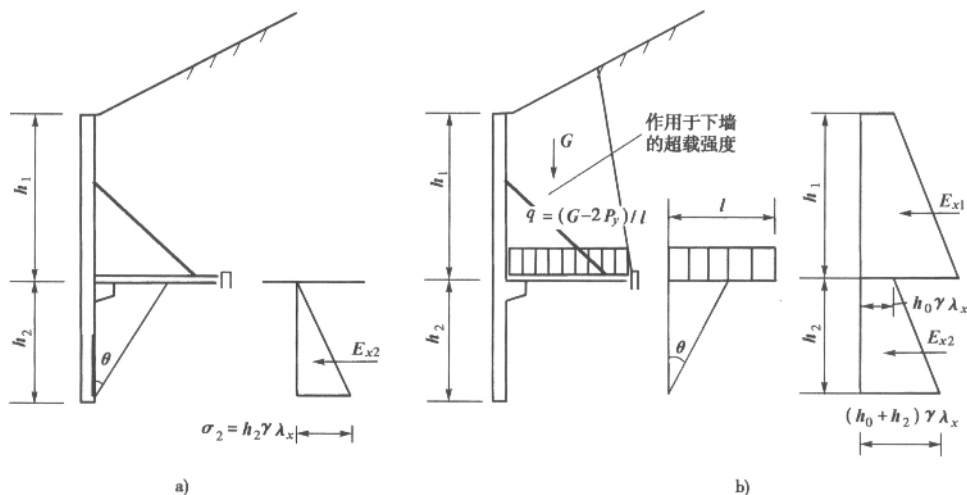


图 11-3-2 拉杆卸荷板柱式挡土墙墙背土压力分布图

2. 当底梁置于填土或非岩石地基上,施工后底梁有可能发生少许沉降时,计算下墙上压力应考虑底梁以上土体的超载作用,根据实测试验资料,传到下墙的超载 ΔG 约相当于底梁以上上柱重量 G 的 10%~40%,即

$$\Delta G = G - 2P_y = mG \quad (3-1)$$

式中: G ——底梁承受的上体自重(kN);

P_y ——拉杆承受拉力的垂直分力(kN);

m ——传递系数(0.1~0.4)。

设计时应先假定一个 m 值,按下式求出传递到下墙的超载 ΔG 的换算土柱高 h_0 和下墙的侧压应力,如图 11-3-2b)所示。

$$h_0 = \frac{mG}{\gamma} \quad (3-2)$$

$$\text{下墙顶部的侧压应力} \quad \sigma_1 = h_0 \gamma \lambda_x \quad (3-3)$$

$$\text{下墙底部的侧压应力} \quad \sigma_2 = (h_0 + h_2) \gamma \lambda_x \quad (3-4)$$

根据所计算的上下墙上压力,按图 11-3-3a) 的所示解三弯矩方程求出立柱上支点皮力。由拉杆所在处支点反力 R_c ,按图 11-3-3b) 求出 P_y 值。给定不同的 m 值,经过多次试算,使其满足公式(3-1)。

(二) 全墙稳定性检算

1. 抗滑稳定性检算

$$K_c = \frac{\sum Q \cdot f}{\sum E_x} \geq 1.3 \quad (3-5)$$

2. 抗倾覆稳定性检算

$$K_0 = \frac{\sum M_y}{\sum M_o} \geq 1.5 \quad (3-6)$$

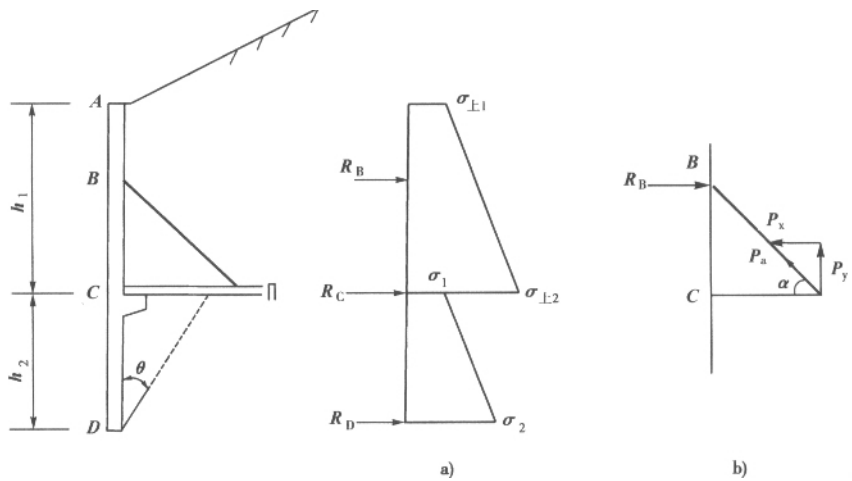


图 11—3—3 立柱及拉杆计算图

a)立柱支点反力计算;b)拉杆受力计算

式中： ΣQ ——底梁以上土体自重、垂直方向的土压力及墙身自重之和(kN)；
 ΣE_x ——全墙水平主动土压力之和(kN)；
 f ——混凝土与地基摩擦系数；
 ΣM_y ——墙后土体、墙身自重及垂直方向土压力对 D 点稳定力矩之和(kN·m)
 ΣM_o ——墙后土压力对 D 点倾覆力矩之和(kN·m)。

三、结构设计及构造要求

(一)立柱

立柱采用矩形截面，根据墙的高度，一般采用 30cm×30cm、30cm×40cm、40cm×40cm 等尺寸。立柱间距一般为 2~3m。
立柱承受挡板传来的土体侧压力，它受拉杆、底梁及槽形基座三个支点约束，按多支点连续梁设计。

(二)挡板

挡板一般采用矩形截面，尺寸一般为 (15~20)cm×50cm。也可采用空心板、槽形板或拱形板。挡板按简支梁设计，其计算方法同锚杆挡土墙中的挡板计算。

(三)底梁

底梁的长度和位置直接影响墙后土压力的大小，并控制墙身结构的整体稳定，底梁的长度应根据地形地质条件及墙的整体稳定条件而定。底梁末端应设置在较坚实的地基上，墙的整体稳定主要依靠底梁以上的填土作为平衡，因此，在设计时应首先根据全墙倾覆和滑动稳定性检算所需的最小长度，再结合地形地质具体情况，最后确定底梁的适当长度和高程。底梁一般设在距柱底 (0.4~0.6) H 的范围比较适宜 (H ——立柱高)。
底梁一般采用矩形截面，尺寸一般为 30cm×30cm、30cm×40cm 等尺寸。底梁靠山

一端下设键,上设凸肩,以增加墙身抗滑能力和约束卸荷板与底梁之间的相对位移。键高一般为 30cm,凸肩高 15~20cm。

底梁计算时可简化为一端支承在立柱牛腿上,另一端与拉杆连接的简支梁,取拉杆轴向拉力的垂直分力作为 B 点的支点竖直反力,根据底板与地基的接触程度,确定底梁的计算荷载。当底板与地基完全接触时,则底梁可按 $2P_y$ 作为均布荷载,其计算图式如图 11-3-4 所示。如底板与地基不发生接触时,则应考虑全部土重作为计算荷载。

$$q = \frac{2P_y}{l} \quad (3-7)$$

式中: P_y ——拉杆的垂直分力(kN);

l ——底梁计算长度(m)。

(四)卸荷板(底板)

卸荷板采用矩形截面,厚 15~20cm,宽 50 cm,也可采用槽形板。卸荷板按两端支承在底梁上的简支梁设计。

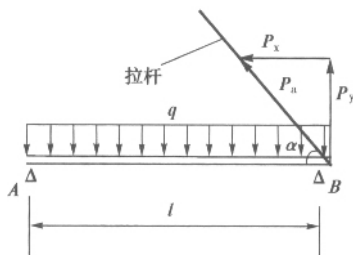


图 11-3-4 底梁计算图式

(五)槽形基座

槽形基座除具有扩大立柱基础作用外,还具有立柱的吊设定位作用。槽孔尺寸较立柱截面略大,槽深一般 15~20cm,底部厚 30 cm,采用混凝土材料预制。

(六)拉杆

拉杆按轴心受拉杆件设计,轴向拉力根据立柱支点反力 P_x 而定,如图 11-3-3b)所示。

$$P_a = \frac{P_x}{\cos \alpha} \quad (3-8)$$

式中: α ——拉杆与底梁夹角;

P_a ——拉杆轴向拉力(kN)。

拉杆一般采用普通圆钢,并进行防锈保护处理。施工时一般先对圆钢作除锈处理,外套聚氯乙烯塑料管,管内充填沥青砂胶,或采用两道沥青麻筋包裹。

第四章 卸荷板——托盘式挡土墙设计

一、结构特点

20 世纪 60 年代成昆铁路在陡坡地区为降低墙的高度,参照桥梁道碴托盘在浆砌片石挡墙顶部设置钢筋混凝土托盘式道碴槽,设计了托盘路肩挡土墙如图 11-4-1a)、b)。该结构在陡坡地区应用衡重式挡土墙可降低墙高,从而节省圬工。

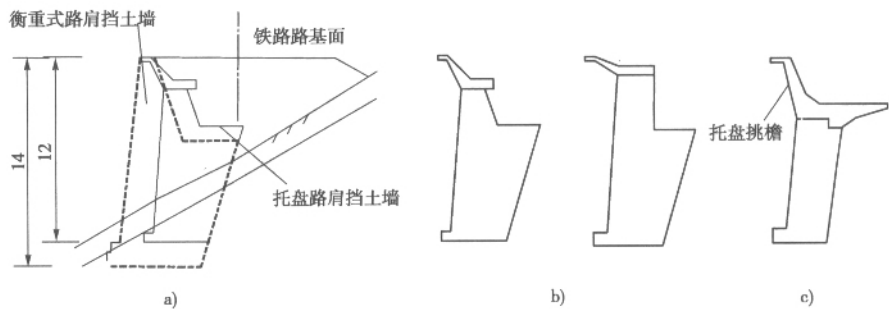


图 11-4-1 托盘路肩挡土墙

卸荷板—托盘式路肩挡土墙如图 11-4-1c),是将卸荷板挡土墙及托盘路肩挡土墙二者融合在一起,将衡重式路肩挡土墙上墙改为钢筋混凝土高托盘,下墙墙身仍为浆砌片石。为保持平衡及减小下墙土压力,托盘底部伸出一定长度,形成卸荷平台。该结构半柔半刚,受力明确,构造简单,适用于陡坡地区和场地受限制地段应用,可节省大量圬工和大幅度降低造价。

二、受力计算

根据结构的受力特点,上墙可采用与衡重式路肩挡土墙相同的土压力计算方法。即上墙出现第二破裂面时,土压力按第二破裂面计算,当不出现第二破裂面时按库仑土压力公式计算。下墙土压力计算方法仍然采用力多边形法,如图 11-4-2 所示。采用力多边形法计算下墙土压力,可使整个墙体受力计算与衡重式路肩挡土墙计算方法一致,计算起来比较方便。

土压力计算及全墙稳定性检算与短卸荷板挡墙类似。

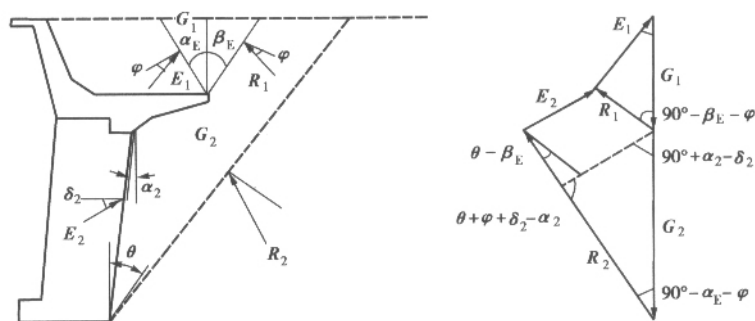


图 11-4-2 卸荷板—托盘式路肩挡墙土压力计算图式

三、结构设计及构造要求

1. 上墙钢筋混凝土托盘部分

上墙托盘受力状态比较复杂,可将挑檐及卸荷板简化为悬臂梁进行计算(图 11-4-3)。选择几个最不利截面进行正截面受弯、斜截面受剪检算,根据计算弯矩 M 、剪力 Q 按容许应力法进行配筋计算。

检算卸荷板(如 I—I 截面)时,采用第二破裂面以下卸荷板以上土体重量(包括荷载土柱)与主动土压力的垂直分力之和及卸荷板自重进行检算。

检算挑檐(如 II—II 截面)时按墙背土压力(俯斜墙背,考虑荷载上柱作用)、人行道板计算荷载及挑檐自重进行检算。

在墙身截面强度检算中所需的上墙墙背的水平土压力,图按实际墙背用库仑公式的计算值乘以 1.4 的系数计算,竖向土压力不乘系数。

2. 下墙浆砌片石墙身

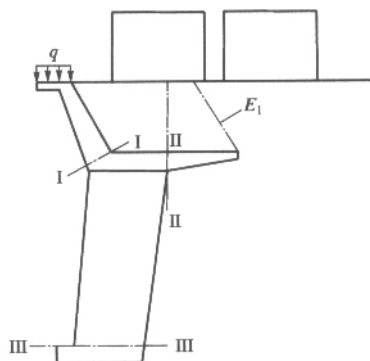


图 11-4-3 卸荷板—托盘式路肩挡墙截面强度检算位置

根据下墙墙背主动土压力 E_a 及墙身自重 W 选择控制截面进行强度检算(包括法向应力检算与剪应力检算两部分),检算方法与短卸荷板式挡土墙相同。

第五章 卸荷板式挡土墙施工技术

第一节 侯月铁路短卸荷板挡土墙

一、工程及地质概况

侯月铁路短卸荷板挡土墙工点位于侯嘉段沁水县境内杏河南岸的山坡下部,地面横坡 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 地层上覆黄土质砂粘土, 下伏基岩为页岩夹砂岩, 线路以陡坡路堤通过。路堤中心最大填高 11.4m, 为收回坡脚保证路基稳定, 设计靠河侧设置短卸荷板挡土墙, 图 11—5—1 为工点代表性断面图。为了弄清短卸荷板挡土墙受力状况, 铁一院与西南交通大学开展了结合工程的试验研究。

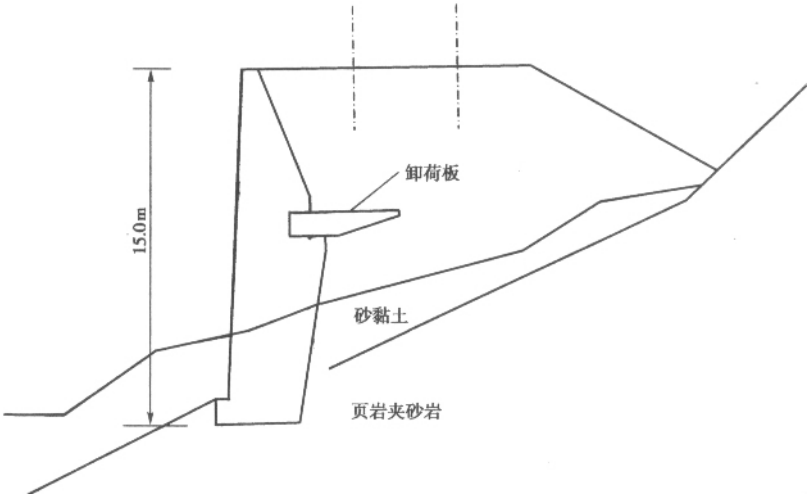


图 11—5—1 侯月线短卸荷板挡土墙工点代表性断面

二、设计方案比选

本工点原设计靠河侧设置传统的衡重式路肩挡土墙, 根据现场地质情况, 若将挡土墙

基础置于较完整基岩上,最大墙高为 15m,该墙高截面积积达 58. 1m²。为减小断面尺寸,节省圬工,施工前该工点进行了优化设计,将其中长 136 m、墙高大于 6 m 的衡重式路肩挡土墙变更为短卸荷板挡土墙,15m 高的短卸荷板挡土墙截面积仅为 39. 3m²。此段优化设计后节省圬工 1250m³(约 33%),降低造价约 25%。

三、设计计算

短卸荷板挡土墙墙背填料为路堑挖方中的砂粘土及页岩夹砂岩,设计参数: $\varphi=35^{\circ}$, $\gamma=17\text{ kN/m}^3$, $f=0.4$, $[\sigma]=400\text{ kPa}$,墙底置于基岩中。以 15m 高的挡土墙为例,挡土墙墙身采用 M10 浆砌片石,卸荷板及垫板均采用 C20 钢筋混凝土现场预制。紧靠卸荷板的上部墙体设置一排泄水孔,墙高变化处设置沉降伸缩缝。按双线有荷进行设计计算,图 11-5-2 为计算断面图。

1. 土压力计算

根据折线形墙背的土压力计算方法,以卸荷板顶面为分界面分为上、下墙来计算。

(1)上墙土压力计算

假定上墙形成破裂面 β 及第二破裂面 α ,通过试算确定其交于地面点分别为 A、B(如图 11-5-2 所示)。由此可确定第二破裂面上的应力分布,求出第二破裂面上的 E_{a1} 。 $E_{a1}=400.9\text{ kN}$, $\sigma_{o1}=37.4\text{ kPa}$, $\sigma_{H1}=65.9\text{ kPa}$ 。

由力三角形平衡可推求出上墙墙背土压力,计算结果如下:

考虑墙背与土的摩擦力时 $E_1=282.0\text{ kN}$, $\sigma'_{o1}=29.8\text{ kPa}$, $\sigma'_{H1}=52.6\text{ kPa}$;
卸荷板上压力 $p=300.4\text{ kN}$;
上墙土压力合力作用点位置 $Z'_{1x}=1.41\text{ m}$, $Z'_{1y}=2.87\text{ m}$ 。

(2)下墙土压力计算

假定下墙破裂面 θ 交于地面点 D,D 在换算土柱 C 点之外,且 $\theta>\beta$ 。

由于上墙及卸荷板的遮帘作用,在上墙破裂面 β 以内的土及上部荷载均由上墙分担,下墙承担的土及荷载压力仅为上墙破裂面与下墙破裂面所夹那部分棱体。由此计算出下墙破裂面夹角及土压力为:

$\theta=35^{\circ}12'21''>\beta=30^{\circ}09'59''$ (假定正确);
 $E_2=244.9\text{ kN}$, $\sigma_{o2}=33.52\text{ kPa}$, $\sigma_{H2}=7.6\text{ kPa}$;
下墙土压力合力作用点位置 $Z'_{2x}=0.55\text{ m}$, $Z'_{2y}=2.73\text{ m}$ 。

2. 墙身截面强度计算

对于短卸荷板挡土墙,因墙背为折线形,且墙身较薄,因此,按图 11-5-3 中六个截面检算截面强度。各截面强度计算结果如表 11-5-1。

计算结果表明,墙身强度能保证力系稳定,为避免在卸荷板上、下应力集中而造成局部压坏,在卸荷板上、下端增加了混凝土垫块。6-6 截面剪力最大,为抗剪薄弱处,施工时浆砌块石采用错缝并插钢筋以增强抗剪能力。

表 11-5-1 墙身截面强度检算结果

截面位置 应力种类	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	备注
σ_{\max} (kPa)	601.5	—	322.4	—	—	1146.7	$[\sigma]=1500\text{ kPa}$

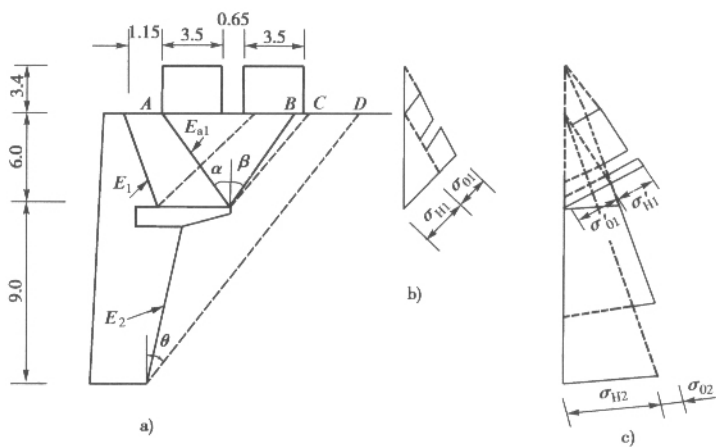


图 11—5—2 墙身计算断面及荷载布置(尺寸单位:mm)
a) 计算图示;b) 上墙第二破裂面土压力分布;c) 墙背土压力分布

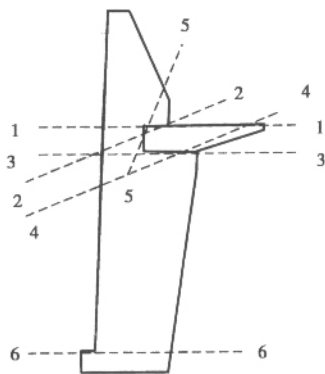


图 11—5—3 挡土墙墙身检算

截面位置	1—1	2—2	3—3	4—4	5—5	6—6	备注
应力种类							
τ_{\max} (kPa)	80.9	105.4	74.1	147.2	116.8	166.5	$[\tau]_{\text{平缝}}=160\text{kPa}$ $[\tau]_{\text{错缝}}=160\text{kPa}$

卸荷板本身按钢筋混凝土构件进行设计检算。

3. 挡土墙稳定及基底应力检算

抗滑动稳定系数 $K_c=1.74>[K_c]=1.30$,符合要求。

抗倾覆稳定性系数 $K_0=1.59>[K_0]=1.50$,符合要求。

基底应力 $\sigma_{\max}=850.0\text{kPa}$, $\sigma_{\min}=133.7\text{kPa}$ 。

由于 $[\sigma]=800\text{kPa}$,检算结果为基底应力不能满足基岩容许承载力要求,因此,试验段采用扩大并加深基础,改浆砌片石为 C13 混凝土,满足了基底应力要求。

四、施工情况

短卸荷板挡土墙的施工方法与衡重式挡土墙施工方法一致,采用人工浆砌片石、挤浆法施工。施工中墙背回填随墙身砌筑增高而分层填筑,在施工现场附近布设预制场地,预制卸荷板、垫板及试验用槽形板。

与衡重式挡土墙施工的不同之处在于卸荷板的制作安装。为加快施工进度,设计采用预制卸荷板、上、下垫板,待墙身砌筑到板底高程时,用吊车吊装就位。在施工过程中由于场地限制,吊车难以靠近挡墙,预制件不能一次吊装就位,安装卸荷板花费了较多的时间与人力。结合实际情况,以后施工的卸荷板及垫板均采用现浇。

五、试验结果分析

选取 15m 墙高、15m 长地段作为现场试验测试段,在两个断面埋设钢弦式压力传感器、土压力盒、钢筋计等测试元件。填土完成铺轨压道后 4 个月测得的墙背土压力分布曲线如图 11-5-4 所示,上墙土压力分布呈上小下大,下墙土压力分布呈上下小中间大。

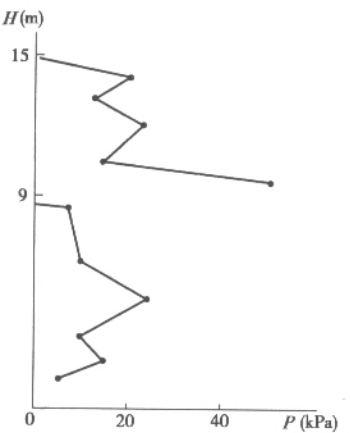


图 11-5-4 实测墙背土压力分布图

表 11-5-2 为现场实测及有限元数值计算等方法得出的挡墙背、卸荷板面在填土完成及有荷情况下所承受的土压力。

表 11-5-2 挡墙各部位所受土压力计算与实测结果(单位:kN)

项目	工况	上墙土压力	下墙土压力	板上土压力	备 注
有限元法	无活载	130.1	157.8	287.0	
	单线活载	169.5	160.5	378.0	
	双线活载	213.0	172.7	427.9	
力多边形法	双线活载	282.0	244.9	300.4	

项目	工况	上墙土压力	下墙土压力	板上土压力	备 注
现场实测(1)	填土完成	87.7	153.2	226.4	传感器
	铺轨时	114.3	153.3	252.4	
	铺轨后四月	168.4	161.4	257.2	
现场实测(2)	填土完成	113.9	80.0	266.8	土压力盒
	铺轨时	125.3	78.1	284.5	
	铺轨后四月	129.5	78.0	300.3	

由表 11—5—2 可见,现场实测及有限元计算结果均反映出上部活载对上墙及卸荷板影响较大,对下墙影响较小。从量值上看,有限元计算结果与实测结果较为接近,力多边形法计算的上下墙土压力偏大,卸荷板上土压力偏小。说明力多边形法用于短卸荷板挡土墙土压力计算是可行的、偏于安全的。

六、评价

侯月铁路 IDK103+575~+850 段左侧原设计为衡重式路肩挡土墙,经优化设计后,将其中墙高超过 6.5m 地段改为短卸荷板挡土墙,圬工及投资分别降低 30.8%和 11.4%,经济效应明显。

侯月线短卸荷板挡土墙试验研究结果表明,该种支挡结构型式是合理的,具有节省圬工、降低造价、节省时间等优越性,具有较好的经济效应和社会效应。该座短卸荷板挡土墙 1993 年建成,1995 年 10 月开通运营,竣工近十年,经受了运营考验,迄今使用良好。

第二节 拉杆卸荷板柱板式挡土墙

20 世纪 70 年代初,铁路部门先后在枝柳线陈家山路堑高边坡坍方病害整治工程及皖赣线周湾沿河陡坡路堤加固工程中试用了拉杆卸荷板柱板式挡土墙,墙高 8~12m。为了掌握这种支挡结构的受力条件及变化规律,以确定较为合理的设计理论和计算方法,在现场埋设了土压力盒及钢筋计等测试元件,进行结构受力情况测试,先后还进行了两次室内模型试验。以陈家山路堑试验工点为例,现场试验和室内模型试验实测的土压力曲线如图 11—5—5 所示。

试验测得上墙土压力分布呈上下小、中部大的特征,但其应力图形的总面积与按二裂面理论计算的主动土压应力图形的总面积基本相当。陈家山工点现场实测上墙的应力峰值为 39kPa,按二裂面理论计算上墙底部的最大主动土压应力为 39 kPa;模型试验实测上墙的总应力为 193.6 kN/跨,而相应的按二裂面理论计算上墙总主动土应力为 196.8 kN/跨。因此,设计中可近似采用二裂面理论计算上墙主动土压力。

陈家山和周湾拉杆卸荷板柱板式挡土墙已经历了 20 多年运营考验,现场实测数据与

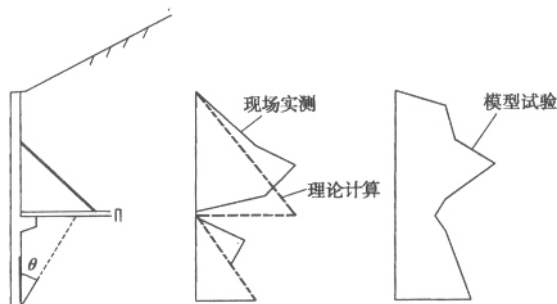


图 11—5—5 实测墙背土压力分布图

设计基本相符,迄今墙身整体稳定,结构正常。

第三节 南昆铁路卸荷板—托盘式挡土墙

一、概况

南昆铁路共设计两座卸荷板—托盘式路肩挡土墙,均位于百威段广西田林县境内,其中一处用于受场地空间限制无法设置传统衡重式路肩挡墙地段,另外一处用于陡坡路堤地段。

汪甸卸荷板—托盘路肩挡土墙工点位于盘百公路左侧,该段山坡上覆土层为砂粘土,厚 0~3m,下伏基岩为砂岩夹泥岩,风化严重至颇重,因盘百公路改建拓宽及通讯光缆干扰,受场地空间限制线路左侧无法设置衡重式路肩挡墙,设计采用卸荷板—托盘式路肩挡土墙通过,满足了盘百公路横断面宽度的要求,详见图 11—5—6a)。

另一座卸荷板—托盘式路肩挡土墙位于岩龙站 DK326 陡坡路基,该段上覆砂粘土,下伏基岩为泥岩夹砂岩,风化严重,地面横坡较陡(1:1.25~1:1.5)。为确保路基稳定,左侧路肩需设计支挡工程,详见图 11—5—6b)。

二、方案比选

两个工点在设计中均对衡重式路肩挡墙与卸荷板—托盘式路肩挡土墙两种支挡方案进行技术经济比较。DK273 汪甸路基工点紧临盘百公路,如采用衡重式路肩挡墙,对公路路基宽度有一定影响,同时挡墙基础施工将严重影响通讯光缆,施工前必须先拆迁通讯光缆。而采用卸荷板—托盘式路肩挡土墙,由于托盘挑檐伸出后使墙身缩进,在场地受限制地段使用,具有衡重式路肩挡墙无法替代的优越性。

岩龙站 DK326 陡坡路基工点,如采用衡重式路肩挡墙,最大墙高达 16m,而采用卸荷板—托盘式路肩挡土墙,可降低 2~3m 墙高,节省大量圬工,方案优越性十分明显。

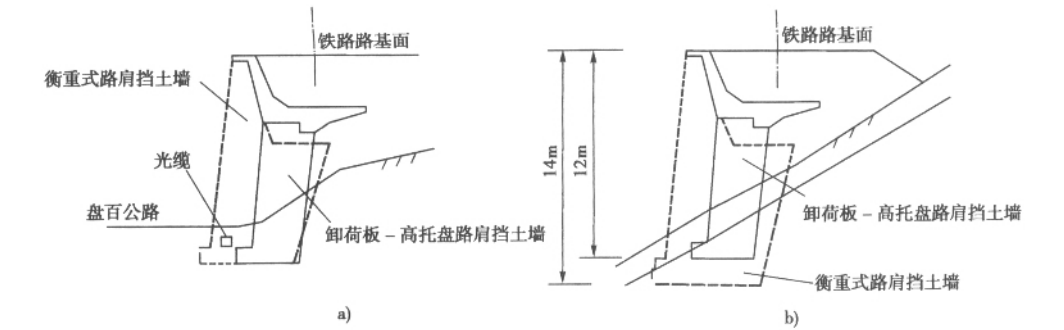


图 11—5—6 南昆铁路卸荷板—托盘式路肩挡墙与衡重式路肩挡墙比较图

以上两个工点前者应用于受场地限制地段,后者用于山区陡坡地段,与衡重式路肩挡墙经济比较如表 11—5—3:

表 11—5—3 卸荷板—托盘式路肩挡土墙与衡重式路肩挡墙比较

项目	岩龙 DK326+538~+605 左侧				汪甸 DK273+425~+492 左侧				备 注
	卸荷板—托盘式 路肩挡土墙	衡重式 路肩 挡土墙	减少		卸荷板—托盘式 路肩挡土墙	衡重式 路肩 挡土墙	减少		
			数量	百分比(%)			数量	百分比(%)	
浆砌片石 或片石混 凝 土 (m³)	849.7	2440	—	—	1149.1	2232	—	—	采用衡重式路肩挡墙,需拆除重建 80m 长已开通的光缆
钢筋混凝 土(m³)	346.3	—	—	—	371.5	—	—	—	
总 圬 工 (m³)	1196	2440	1244	51	1520.6	2232	714	32	
造 价 (万 元)	26.7	37.3	10.6	28.4	32.3	34.1	1.8	5.3	

DK273 工点节省圬工 32%,且避免拆除 80m 已开通的通讯光缆,同时避免盘百公路右侧帮宽 2m,具有显著的经济效益;岩龙站 DK326 工点在陡坡地段应用可节省圬工 51%,降低造价 28%。

三、设计计算

卸荷板—托盘式路肩挡土墙墙背填料为路堑挖方中的砂粘土及泥岩夹砂岩,设计参数: $\varphi=35^{\circ}$, $\gamma=18\text{kN/m}^3$, $f=0.4$, $[\sigma]=400\text{ kPa}$,墙底置于基岩中。以 15m 高的挡土墙为例,上墙高 3m,下墙高 12m。下墙墙身采用 M10 浆砌片石,上墙卸荷板托盘采用 C25 钢筋混凝土现场预制。紧靠卸荷平台的上部墙体设置一排泄水孔,墙高变化处设置沉降伸缩缝。按双线有荷进行设计计算,图 11—5—8 为计算断面图。

1. 土压力计算

根据折线形墙背的土压力计算方法,以卸荷板顶面为分界面分为上、下墙来计算。

(1)上墙土压力计算

(2) 下墙土压力计算

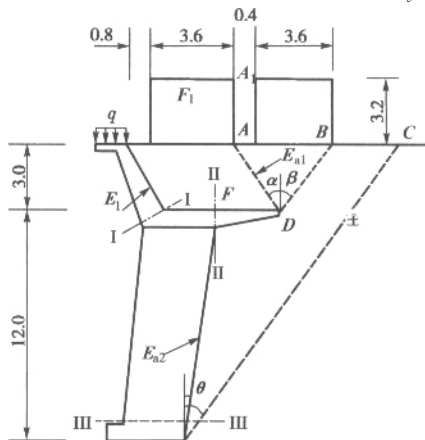
$$\theta = 33^{\circ}36', E_{a2} = 345\text{kN}; E_{1x} = 332.5\text{kN}; E_{1y} = 105.6\text{kN}$$


图 11-5-8 卸荷板—托盘式路肩挡土墙计算断面(尺寸单位:m)

下墙土压力合力作用点距墙趾的距离 $Z_{x'}=4.67\text{m}, Z_{y'}=3.97\text{m}$ 。

2. 全墙稳定及基底应力检算

抗滑动稳定系数 $K_c=1.69>[K_c]=1.30$, 符合要求。

抗倾覆稳定性系数作 $K_0=2.29>[K_0]=1.50$, 符合要求。

偏心距 $e = -0.0676\text{m}$

基底应力 $\sigma_{\max}=528.4\text{kPa}$ (墙踵), $\sigma_{\min}=418.7\text{kPa}$ (墙趾)

3. 墙身截面强度计算

对于卸荷板—托盘式挡土墙,应对卸荷板、挑檐及墙身较薄处进行截面强度检算(图 11-5-8)。以 I—I、II—II 截面为例,其截面强度计算如下。

(1) 上墙(挑檐)背土压力

按俯斜墙背,考虑荷载土柱作用,计算墙背库仑主动土压力为 $E_a=123.3\text{kN}$, $E_x=72.0\text{kN}$, $E_v=100.1\text{kN}$ 。上压力合力作用点距上墙背底部的距离 $Z_x'=1.08\text{m}$ 。

(2) 检算截面内力计算

卸荷板、挑檐均按悬臂梁进行受力检算。

1)挑檐 I—I 截面

I—I 截面以上墙身自重 $P_1=62.5 \text{ kN}$, 对 I—I 截面的力矩为 $50 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

墙背土压力对 I—I 截面的力矩为 $103\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

人行道板荷载 10 kN , 对 I—I 截面的力矩为 $103 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

I—I 截面总力矩为以上三部分力矩之和,即 $\sum M = 172 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 剪力 $\sum Q = 146 \text{ kN}$ 。根据挑檐各截面内力,进行配筋设计。

2)卸荷板 II—II 截面

II—II 截面以外悬出部分卸荷板自重力 $P_1=36\text{kN}$,对 II—II 截面的力矩为 $36\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

II—II 截面以外悬出部分卸荷板以上二裂面以下土体(含荷载土柱)即 A_1ADFF_1 的重量 $P_1=84.4\text{kN}$ 。

作用于上墙二裂面的土压力 $E_{1x}=59.9\text{kN}$, $E_{1y}=189.6\text{kN}$ 。