



# 洋山工程中的陡坡路堤设计

张峰

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 以洋山工程中的陡坡路堤设计为背景, 详述了该类陡坡的设计流程以及注意事项。山岭重丘区陡坡路堤设计中应慎重选取回填材料与原山体的摩擦系数, 并根据现场情况合理确定此参数, 达到安全稳定和节省工程造价的目的; 对填方路基的处理应综合考虑边坡坡率及抗滑挡墙的合理高度; 为增大基底抗滑安全系数, 重力式挡墙可采用基底向内倾斜的方法, 在开挖或爆破工程量增加不大的情况下, 可明显提高其安全系数。

**关键词:** 陡坡路堤; 重力式挡墙; 下滑力; 边坡坡率

**中图分类号:** U 661

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2013)09-0045-04

## Design of steep slope embankment of Yangshan port

ZHANG Feng

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** The procedure and essentials for the design of steep slope embankment are expounded and the steep slopes of Yangshan port are taken as demonstration. The backfill material and the friction coefficient of the original mountain should be carefully selected for the design of steep slope embankment of the areas with the mountain ridge and overlapping hills. The reasonable parameters should be obtained from the site conditions to satisfy the purposes of stability and reduce the costs. Ratio of slopes and sliding retaining walls with reasonable height should be taken into account during the selection of measurements for the backfill of roadbeds. The gravity retaining wall with basements inclined inward can improve the safety coefficient obviously with excavation or blasting engineering quantities increasing little. The measurements for steep slope embankment may provide some reference for the slopes of the same kinds.

**Key words:** steep slope embankment; gravity retaining wall; downslope strength; ratio of slope

### 1 工程概况

洋山深水港一期工程的生产管理中心连接道路修筑在小洋山之上, 在道路桩号K0+960~K1+000段, 布置有洋山港观景平台。为满足观景平台建设规模, 该路段路基设计成半填半挖的路堤形式, 此处填方路基原山体自然岩面坡度约为 $32^\circ$ , 天然岩面相当陡峭, 经地质钻探取样及路基爆破施工时可以看出该处的岩基均属于未风化的花岗岩。另外该段道路路面高程与港区高程高差达22 m, 超过规范规定的常规路堤高度

20 m的界限, 须对该段路基进行稳定性验算, 该段路基的边坡达到1:1.6, 也属于规范规定的陡坡路堤设计范畴, 为了减少回填方量, 曾经考虑采用砌石路基来减少断面面积, 但砌石路基的高度常规设计最高也仅为15 m, 并且若采用砌石路基必须在天然岩面处找出砌石路基的基底面, 但现场多次察看都无法找到合适的位置, 因此该路段必须采用陡坡路堤非常规设计。陡坡路堤的稳定是其安全性的重要内容之一。

陡坡路堤具有容易沿着天然坡面滑动的特

收稿日期: 2013-03-08

作者简介: 张峰(1973—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事道路、桥梁及港口工程设计工作。

点，该段路堤处岩面陡峭及岩石硬度高，难以采用机械或人工开坎的方式来增大岩面的摩擦系数，经多种方案比较后采用抗滑挡墙来平衡路堤

下滑力。对于陡坡路堤的稳定性分析包括：1) 沿斜面的滑动的下滑力计算；2) 抗滑挡墙的稳定性分析。该段路基断面形式见图1。

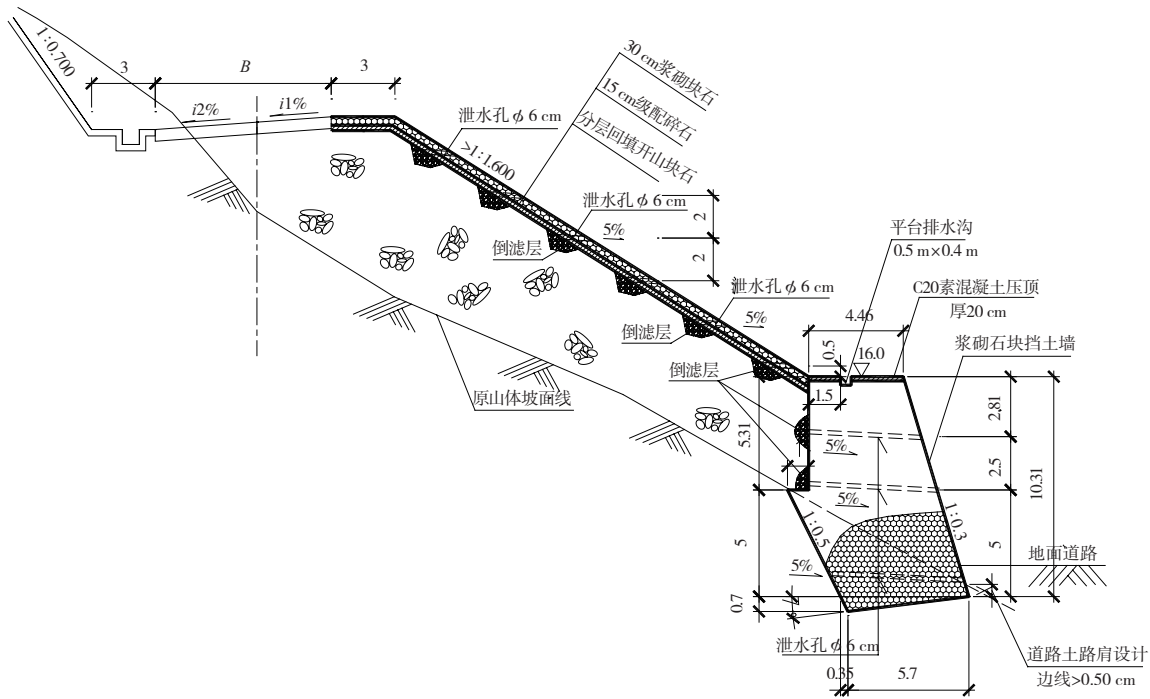


图1 K0+960~K1+000段陡坡路堤断面(单位:m)

## 2 陡坡路堤下滑力计算

下滑力计算是陡坡路堤设计的必要内容，数据采用的准确程度直接关系到将来路堤使用的稳定性，根据现场实测的断面线资料，路堤天然坡面可以近似成直线斜坡面，路堤下滑力按式(1)计算。

$$E = W \sin \alpha - \frac{fW \cos \alpha + CL}{K} \quad (1)$$

式中： $W$ 为路堤重及车辆荷载(kN)，车辆荷载取550 kN(桥梁JTG D60—2004规范)； $C$ 为路堤基底接触面间的单位粘聚力(kPa)； $L$ 为滑动面长度(m)； $K$ 为稳定系数，取1.25； $\alpha$ 为地面斜坡的倾角( $^\circ$ )，本工程取 $32^\circ$ ； $f$ 为回填料与天然岩面间摩擦系数，本工程取值0.4。

在计算中一个很重要的设计参数即路堤边坡，设计刚开始时假定为1:1.5，计算发现不能满足路堤稳定性要求，即路堤会沿着挡墙的顶滑出，因此路堤边坡假定了多种方案，下面选取了3个比较有代表性的边坡工况即1:1.5，1:1.6，

1:1.7分别进行计算。整个路堤(包括车辆荷载)沿直线斜破面滑动的下滑力计算如式(1)所示<sup>[1-2]</sup>。3种不同的边坡工况对应的下滑力如表1所示，可见，路堤边坡越缓，下滑力越小，但工程量越大。

表1 挡墙下滑力

路堤边坡	挡墙自重 $W$ /kN	下滑力 $E$ /kN
1:1.5	1 289	651
1:1.6	1 394	421
1:1.7	1 446	370

## 3 边坡坡率及挡墙高度设计

根据道路平面线形布置，全线有两处回头曲线，在路线K0+960~K1+000的下方就是道路的一处回头曲线所在处，山上回头曲线路边线离山下回头曲线路边线的平面距离仅20 m，若采用大的路堤边坡坡率，平面上也无法布设，若采用小的边坡坡率，陡坡路堤的稳定性将不能满足要求。为解决此受限情况，在边坡坡脚处采用重力式挡土墙来达到收敛坡脚、增大路堤边坡坡率的

目的。

另外由于该路段路堤滑坡推力较大，作用点高，因此该路段抗滑挡墙较一般重力式挡墙具有胸坡缓、外形矮胖的特点，此处的挡土墙根据平面位置综合考虑胸坡采用1:0.3。

该路段抗滑挡墙的合理高度应控制回填开山石料不致沿墙顶滑出，采用试算法（图2），先假定一适当的墙顶高程，过墙顶A作与水平线成（45°-φ/2）夹角的直线与最后一段滑面交于a点，以sa和aA为最后滑动面，验算滑体的剩余下滑力，若剩余下滑力为负值，则说明不可能沿该假定滑面滑出，然后再自a点向上每隔5°作一验算滑面进行验算，直至出现剩余下滑力的负值低峰为止。滑块的力系分析见图3。若计算的剩余下滑力为负值，但数值过大时，则说明墙身过高应予减低，按1 m高度反复验算调整，直至安全合理为止。在滑动面变坡点或抗剪强度变化点将滑体分成若干块，从最上一块起，逐块计算其剩余下滑力，最后一块的剩余下滑力就是整个滑坡的下滑力<sup>[3]</sup>。

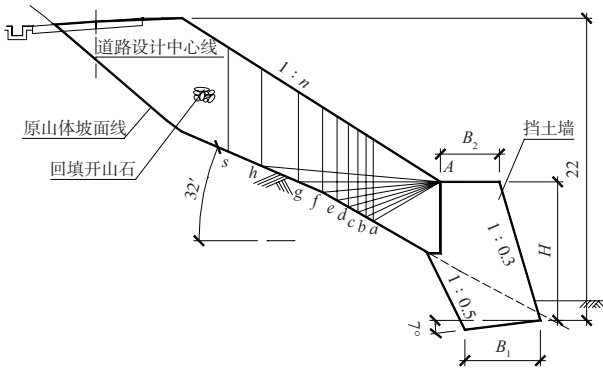


图2 K0+960~K1+000段陡坡路堤（单位：m）

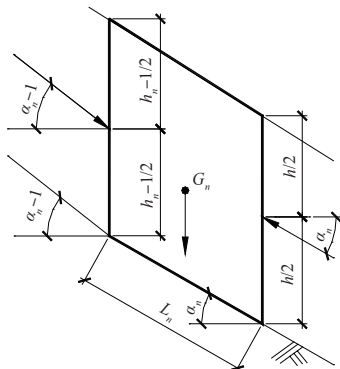


图3 作用于滑体分块的基本力系

每个分块的剩余下滑力 $E_n$ ，如式（2）所示。

$$E_n = KT_n + E_{n-1} \cos(\alpha_{n-1} - \alpha_n) - [N_n + E_{n-1} \sin(\alpha_{n-1} - \alpha_n)] \tan \phi_n - c_n L_n \quad (2)$$

式中： $E_n$ 为第 $n$ 个条块的剩余下滑力（kN/m）； $T_n$ 为第 $n$ 个条块的自重 $G_n$ 的切线下滑力（kN/m）； $T_n = G_n \sin \alpha_n$ ； $N_n$ 为第 $n$ 个条块的自重 $G_n$ 的法线分力（kN/m）； $N_n = G_n \cos \alpha_n$ ； $\alpha_n$ 为第 $n$ 个条块所在折线段滑面的倾角（°）； $\phi_n$ 为第 $n$ 个条块滑面上的内摩擦角（°）； $c_n$ 为第 $n$ 个条块滑面上的单位粘聚力（kPa）； $L_n$ 为第 $n$ 个条块分段的长度（m）； $E_{n-1}$ 为第 $n-1$ 个条块传递下来的剩余下滑力（kN/m）； $\alpha_{n-1}$ 为第 $n-1$ 个条块所在折线段滑面的倾角（°）。

各种边坡坡率下的计算结果见表2，当路堤边坡为1:1.5时，路堤可能沿 $seA, sfA, sgA, shA$ 断面滑动；当路堤边坡为1:1.7时，路堤不会沿挡墙顶滑出破坏，但挡墙设计太高，不合理。故选择路堤边坡为1:1.6断面，亦可确定挡墙合理高度为10.3 m。

表2 第 $n$ 个条块的剩余下滑力 kN/m

条块	边坡		
	1 : 1.5	1 : 1.6	1 : 1.7
sa	632	663	754
aA	-161	-237	-292
sb	618	646	730
bA	-112	-188	-238
sc	606	626	703
cA	-63	-140	-180
sd	590	-95	-133
dA	-18	-95	-133
se	570	577	633
eA	23	-56	-90
sf	545	541	571
fA	58	-26	-91
sg	513	480	482
gA	85	-42	-127
sh	467	381	338
hA	98	-105	-226

注：挡墙底宽 $B_1$ 为6.05 m，顶宽 $B_2$ 及高度 $H$ 根据3种边坡工况进行调整。

#### 4 抗滑挡墙抗滑、抗倾覆安全系数

抗滑挡墙基底不倾斜以及倾斜时，沿基底的滑动稳定系数 $K_c$ 分别如式（3）和（4）所示<sup>[4]</sup>，其计算力学图示见图4。经试算比较上部回填开山石对挡土墙的主动土压力远小于滑坡推力，所以采

用滑坡推力为控制力对挡土墙的倾覆稳定及抗滑稳定进行验算。滑坡推力的方向与紧挨墙背的一段较长滑面平行，合力作用点位于滑面以上1/2墙高处，结果见表3。

$$K_c = (W + E_y) f / E_x \quad (3)$$

式中： $W$ 为挡墙的重力（kN）； $E_x$ 、 $E_y$ 为下滑力的水平和垂直分力（kN）； $f$ 为基底摩擦系数。

$$K_c = \frac{[W \cos \alpha_0 + E \sin(\delta + \alpha_0)] f}{E \cos(\delta + \alpha_0) - W \sin \alpha_0} \quad (4)$$

式中： $\alpha_0$ 、 $\delta$ 分别为基底向内倾斜角度及地面斜坡的倾角（°）。

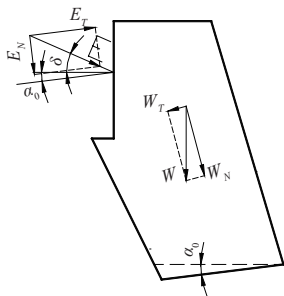


图4 滑动计算图示

由表3可见， $K_c$ 均能满足规范不小于1.3的要求；但本工程现场实际情况为，在挡墙的外侧2 m的地方是港区道路，若不在岩石坡角处爆破，挡墙的平面位置受到很大的限制，况且挡墙还需建在陡峭的岩面上。在爆破时要求爆破断面向内倾斜7°，计算示意图见图5，断面加深仅0.7 m，由式（4）计算其抗滑安全系数为5.26，提高幅度约130%。

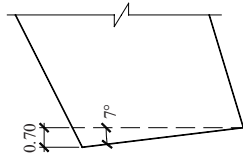


图5 倾斜基底开挖深度

表3 抗滑安全系数 $K_c$  (1:1.6)

挡墙自重 $W/\text{kN}$	下滑力垂直 分力 $E_y/\text{kN}$	下滑力水平 分力 $E_x/\text{kN}$	摩擦 系数 $f$	抗滑安全 系数 $K_c$
1 394	223	357	0.5	2.26

挡墙的抗倾安全系数计算如式（5）所示，倾覆稳定计算图示见图6，计算结果见表4。可见，抗倾安全系数均能满足规范规定大于1.5的要求。

$$K_0 = \frac{WZ_w + E_y Z_y}{E_x Z_x} \quad (5)$$

式中： $Z_x$ 、 $Z_y$ 、 $Z_w$ 分别为 $E_x$ 、 $E_y$ 、 $W$ 对墙趾 $O$ 点的力臂。

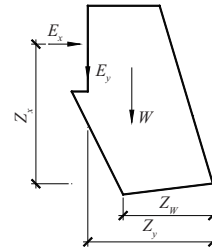


图6 倾覆稳定计算图示

表4 抗倾安全系数 $K_0$  (1:1.6)

挡墙自重 $W/\text{kN}$	下滑力垂直 分力 $E_y/\text{kN}$	下滑力水平 分力 $E_x/\text{kN}$	抗倾安全 系数 $K_0$
1 394	223	357	3.36

### 5 结语

1) 本段陡坡路堤经过近8 a时间，并经过数次台风的洗礼，从挡墙及路堤顶面的沉降、位移监测数据来分析以及现场情况表明：本段陡坡路堤没有发生任何变化，证明设计是成功的。

2) 在下滑力计算时，回填材料与原山体的摩擦系数本工程计算取值为0.4，常规为0.25~0.6。本参数的选取直接影响到工程的造价，由于本工程特殊，天然岩面陡峭及光滑坚硬，无法采用增大摩擦系数的方法来减小下滑力，本工程的成功建成为今后类似天然坡面积累了经验。

3) 为防止回填材料与原岩面的摩擦系数的减少，即渗入路堤范围内的水及时排出，需在挡墙内设置泄水孔，从目前现场情况来看，泄水孔在雨天过后都有水流出，说明挡墙内设置泄水孔的必要性。

### 参考文献:

[1] 交通部第二公路勘察设计院. 公路设计手册《路基》[M]. 2版. 北京: 人民交通出版社, 1997.  
 [2] JTG D30—2004 公路路基设计规范[S].  
 [3] 李峻利, 姚代禄. 路基设计原理与计算[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.  
 [4] 顾慰慈. 挡土墙土压力计算手册[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2005.