

铁岗水库排洪河挡墙失稳原因分析及治理措施

龚利民¹, 王 媛², 陈晓静³

(1. 深圳市水务局, 广东 深圳 518001; 2. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098;

3. 南京市水利规划设计院, 江苏 南京 210008)

摘要:对深圳铁岗水库排洪河两岸浆砌块石衡重式挡墙失稳的原因进行了探讨, 通过代表性断面挡墙的变形和稳定验算分析, 表明失稳的根本原因在于原设计挡墙工作状态遭到了破坏性改变, 包括地表排水系统与墙体排水系统被毁或失效引起的墙后地下水位增加、挡墙加高或墙后地面加建子挡墙引起的额外增加荷载等, 建议采取减少墙后水压力、加固地基、加强挡墙与地基的滑动阻力、加强地表水的有序疏导排放、卸除额外荷载等整治措施。

关键词:挡土墙; 失稳; 变形; 铁岗水库

中图分类号: TV651.1

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2001)05-0055-03

深圳铁岗水库排洪河是在原天然山地小溪的基础上整治而成的, 作为上游水库汛期的排洪通道。排洪河长约 3 400 m, 1994 年起开始整治, 设计中结合坡地地形, 为减少原状土的开挖, 两岸为浆砌块石衡重式挡墙; 为减少坡地地表径流对挡墙的直接动水压力冲击和防止地表水入渗墙后填土, 抬高地下水位, 在坡地地表设计了纵横排水沟网, 将地表径流汇集排入铁岗排洪河。通过考察已完工的挡墙及排水沟网, 发现以下一些危及挡墙安全的不利现象: ①山坡原植被遭破坏, 既影响径流调节, 也造成严重水土流失; ②山坡及墙后排水沟网遭破坏, 且墙身内排水孔失效, 墙后地下水位抬高; ③已建挡墙局部有不同程度加高, 最高达 1.5 m; ④在已建的部分挡墙后 3~4 m 内加建子挡墙, 最高达 3 m, 改变了原设计挡墙的荷载条件; ⑤肉眼可见部分墙体前倾。

为探求挡墙出现上述现象的实质, 必须对挡墙的稳定和变形进行验算分析, 以寻找影响挡墙安全的根本原因, 并寻求治理隐患的措施。

1 挡墙变形与稳定验算

1.1 典型断面及计算参数的选取

取桩号 1+200~1+300 处为典型断面(剖面型式见图 1, 该断面墙局部加高, 最高达 1.5 m, 加高前、后各部位尺寸列于表 1), 分别对挡墙加高前和加高后、墙后低水位和高水位等不同工况进行对比验算, 内容包括: ①挡墙的抗滑稳定验算; ②挡墙的抗倾稳定验

算; ③挡墙地基承载力验算; ④上段墙体强度验算; ⑤挡墙深层滑动稳定验算; ⑥挡墙基底沉降验算。

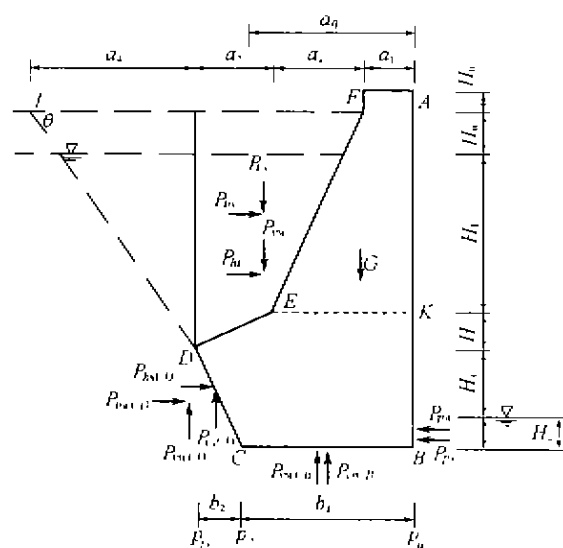


图 1 挡墙受力及形体尺寸示意图

表 1 挡墙几何参数

工 况	a_1	a_2	a_3	a_4	b_1	b_2	H_0	H_1	H_2	H_3	H_4
加高前	0.5	1.26	2.54	2.5	2.7	1.6	0.3	1.0	1.8	0.5	3.2
								(2.8)	(0.0)		
加高后	1.5	0.70	1.52	3.0	2.2	1.52	0.3	1.0	2.1	1.0	3.8
								(3.1)	(0.0)		

注: 括号中数据为墙后低水位时情况

该计算断面的土层分布(详见勘察报告)及参数, 主要依据深圳市岩土工程公司 2000 年 7 月新补充的 ZK1 试验资料适当选取, 同时参考原设计前的

勘察报告,因墙后回填土较松散,缺乏原状样及其试验资料,故计算参数是参考部分物理性质试验资料并根据经验适当选取,土层计算参数列于表 2。土压力及稳定、强度计算参数选用固结快剪指标。各断面挡墙沉降计算参数见表 3。计算中取挡墙容重为 22 kN/m^3 ,另外,作抗滑稳定验算时,取挡墙与土体的摩擦角为 $\varphi_0 = 22^\circ$,即 $\mu = 0.4$ 。

表 2 断面土层分布及参数

上层名称	土层厚 D/m	湿容重 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	浮容重 $\gamma'/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	快 剪		固结快剪	
				c_q /kPa	φ_q /($^\circ$)	c_{qv} /kPa	φ_{qv} /($^\circ$)
填 土	1.6	17.8	7.95	18.2	1.2	15.0	16.0
坡积土	3.5	19.9	10.1	24.3	18.8	31.0	21.6
残积土	12.4	18.9	9.0	21.5	19.6	27.1	23.3

表 3 挡墙墙底地基土压缩计算参数

压缩层厚度 H_i/m	e_0	E_s/MPa	p_c/kPa	C_c	C_α
10.7	0.729	6.94	205	0.252	0.023

1.2 挡墙变形与稳定验算

a. 挡墙受力分析。以挡墙为脱离体,分析作用于墙上的力(见图 1),有:①墙体自重 G ;②墙背上的水平主动土压力 P_{ha} 和竖直土压力 P_{va} ,墙前被动土压力 P_{hp} ,计算时采用朗肯土压力理论的近似方法^[1],为偏于安全考虑,计算时忽略了凝聚力的影响;③挡墙上的水平向水压力 P_{hw} , P_{hwCD} , P_{pwo} , 竖直向水压力 P_{vw} , P_{vwCD} , P_{vwCB} ;④基底反力,具体计算时,首先取砌体为脱离体,计算作用在墙体上的所有竖向力之和及所有力对 B 点的矩之和,再根据材料力学公式求得挡墙 B 点和 D' 点的基底反力强度 p_B , $p_{D'}$,最后,由 B 点和 D 点的基底的反力强度按线性插值求得 C 点的基底反力强度。根据基底反力强度即可得到作用在 CD 面上基底反力合力在竖直方向和水平方向的分量 P_{wCD} 和 P_{hwCD} 。计算中,若 $p_{D'}$, p_C 为负,由于土不能承受拉力,则 CD 面墙体与原状地基土之间无相互作用力,有 $P_{wCD} = 0$, $P_{hwCD} = 0$,同时 BC 面成为基底。

b. 挡墙地基承载力验算。根据上述计算出的基底压力,即可进行地基承载力验算。若平均基底压力和最大基底压力满足 $\frac{1}{2}(p_B + p_C) \leq f$ 和 $p_{\max} \leq 1.2f$

(f 为地基承载力设计值),则认为是安全的。

c. 挡墙水平抗滑稳定验算。根据作用在挡墙上的所有水平力和竖直力,可确定挡墙水平抗滑稳定安全系数 K_h ,即等于水平抗滑力与滑动力之比。

d. 挡墙抗倾稳定验算。根据作用在挡墙上的所有力引起的抗倾弯矩和倾覆弯矩,可确定挡墙抗倾稳定安全系数 K_w ,即等于抗倾弯矩和倾覆弯矩之比。

e. 深层抗滑稳定分析。深层抗滑稳定安全系数 F_s 通过试算各种可能的滑动面,找出最小值。计算方法同土坡稳定分析^[1]。

f. 上段墙体(截面 EK)强度校核。考察图 1 所示 EK 截面,对位于 EK 面以上的墙体部分进行受力分析,取 $AKEF$ 为脱离体,可得作用在 EK 面上的剪切力、轴力,再计算 EK 面上的剪应力和正应力,最后进行强度校核。对于剪应力要求满足 $\tau_{EK} \leq [\tau]$ ($[\tau]$ 为剪应力设计允许值),对于正应力,由于 E 点出现拉应力,要求满足 $-\sigma_E \leq [\sigma_t]$ ($[\sigma_t]$ 为拉应力设计允许值)。

g. 挡墙沉降计算。沉降计算方法采用分层总和法^[1],分别采用压缩模量公式和能考虑应力历史的 $e \sim \lg p$ 曲线法公式确定。分别验算墙底 C 点和 B 点的沉降量,从而确定墙体的倾斜情况。由于 C 点以后为原状土,这里认为不引起新的变形。

各种工况下挡墙稳定与变形验算结果见表 4。

2 挡墙安全隐患分析

2.1 安全隐患体现

分析稳定和沉降计算结果可见,挡墙设计条件被改变(实际偏向危险)后,安全隐患主要体现在:①基底抗滑稳定安全系数严重不足;②墙体抗倾稳定安全系数偏低;③承载力安全储备不足,局部墙体墙趾与墙踵处的基底压力相差较大,可能出现 $p_{\max} > 1.2f$ 的现象;④地基沉降是墙趾处比墙踵处大约 2 倍,不均匀沉降为 2~3 cm,前倾约 1° ,最大沉降差为 5 cm 左右,挡墙前倾角度 1.2° 。

目前挡墙在抗滑稳定、抗倾稳定、地基承载力各个方面几乎都处于极限工作状态,缺乏足够的安全储备,尤其是抗滑稳定条件,形势十分严峻。

表 4 挡墙稳定与变形验算结果

工 况		抗滑稳 定验算	抗倾稳 定验算	深层滑 动验算	承载力验算		墙体强度验算		沉降验算/cm		墙体前倾 角度 $\alpha/(^\circ)$
		K_h	K_w	F_s	$p(\text{平均})/\text{kPa}$	$p_{\max}/\text{kPa}$	τ/kPa	σ_E/kPa	墙趾	墙踵	
加高前	墙后高水位(排水孔失效)	0.830	1.256	>5.0	163	288	26	-36	3.24	1.06	0.462
	墙后低水位(排水孔有效)	1.311	1.918	>5.0	156	249	23	-36	2.82	1.21	0.342
加高 1.5 m 后	墙后高水位(排水孔失效)	0.580	0.789	>5.0	288	546	26	-10	6.47	1.65	1.256
	墙后低水位(排水孔有效)	0.995	1.149	>5.0	255	444	22	-4	5.36	1.75	0.939

注: $f = 200 \text{ kPa}$; $[\tau] = 0.20 \text{ MPa}$; $[\sigma_t] = 0.27 \text{ MPa}$ 。

应该指出,原挡墙设计方案,在地表排水沟网不遭破坏,墙体排水孔有效、保证墙后低水位且墙体不加高或墙后无子挡墙时,抗滑和抗倾稳定基本能满足要求,但墙体少量前倾是必然的。遗憾的是,原挡墙设计工作状态,因意外而遭到危及安全的威胁。

2.2 产生安全隐患的原因

产生安全隐患的根本原因在于原设计挡墙工作状态遭到破坏性改变,主要有:①地表排水沟网破坏,雨水入渗墙后,导致墙后水头过高,且墙体排水孔失效,致使墙后水压力过大,同时基底扬压力在墙踵处很大而墙趾处很小;②墙后填土松散,质量不高,长时间的水浸将使强度降低以致侧向土压力也会较大;③与此同时,由于墙后侧向土压力的水压力较大,基底扬压力在墙踵处大而墙趾处小,致使基底合力作用点前移,墙踵处基底压力较小,墙趾处较大,因而墙踵沉降小,墙趾沉降大,墙体自然前倾,随着时间推移,前倾量还有可能增大,同时造成抗倾稳定安全系数不足;④由计算结果可见,墙体较高或墙后有子挡墙或加高挡墙,均对挡墙安全不利;⑤已跨塌的几段挡墙都是暴雨情况下发生的,由于地表排水沟网及山坡植被遭破坏,地表径流洪水对挡墙的巨大冲击(水量之大甚至洪水漫过墙顶),也是挡墙可能失稳的重要原因之一。

3 解决安全隐患的基本措施

通过上述分析可见,挡墙安全隐患主要体现在:①地表与墙体排水系统被毁或失效;②墙体和墙后增加额外荷载(加高挡墙和建子挡墙),因此处理挡墙安全隐患的原则应是减少墙后压力,加固地基,加强挡墙与地基的滑动阻力,加强地表水的有序疏导排放,卸除额外荷载,提出以下几点建议:

a. 降低墙后水头,要求地表及墙体排水系统应当始终有效,减小墙后侧向水压力,为了保持墙体排水系统始终有效,可以在已建挡墙后开沟(沿墙走向,可能工作量较大)或在排水孔设置断面挖孔(例如用洛阳铲),暴露出排水孔位置,疏通原设置的排水孔,在沟里或孔内灌注反滤料,考虑到施工难度而不易按水工规范要求构筑反滤层,可以应用宽级配碎石灌入沟内或孔内,宽级配碎石应级配良好,低含泥量,粒径范围以 5~30 mm 为宜,灌填时应分层捣实,一定要保证排水始终有效,有条件地段可考虑回填土用排水条件好的碎(砾)石砂料换填,墙后地表用防渗材料(如粘土层、兼作路面的混凝土或沥青混凝土等)换填,完善地表排水系统,尽量防止或减少雨水入渗墙后填土,达到降低墙后水头的目的,总之从地表截水和地下排水两方面来降低墙后水头。

b. 加强墙趾处地基,减小墙趾地基沉降,从而调整基底不均匀沉降,扼制墙体前倾,也适当提高地基承载力,关于墙趾地基加固问题,根据墙体结构和现场环境,加短桩补强的方案有效但也比较困难,作为补救措施之一,部分地段采用墙趾处施行压力灌浆可能也是比较可行的方案,灌浆孔位于墙趾处,与垂线成 30°左右,孔深至基底下 30~50 cm,灌浆压力以接近基底压力为宜(约 160~200 kPa),灌浆时拟在施工中先行试验摸索(估计每孔 0.2 m³左右)灌浆孔间距可初定为 1 m,跳孔施工,浆液采用水泥或水泥土浆,拟加速凝剂,采用墙趾下灌浆措施有两个意图:一是加强墙趾地基,适当提高承载力,减小地基沉降量,从而扼制或减小墙体前倾;二是利用灌浆增加墙底与地基抗滑能力,对挡墙抗滑稳定有利,估计能使安全系数提高 20%,必要时可做些试验。

c. 重新整治地表排水沟网系统,同时加强山坡植被的保护和补救,并建议墙后子挡墙应在远离墙后回填土范围 3 m 以外,避免额外荷载对挡墙造成的额外压力。

d. 在可能的地段,尽可能卸去部分墙后填土,最好是普遍降低现有临时土路面高程(0.5~1 m),或台阶式卸除墙后填土,并尽可能拆除挡墙加高部分和子挡墙,如果挡墙不能拆除,或墙高不能减小,或墙后填土不能部分卸去,可考虑地基加固(灌浆、打短桩等),还可考虑两岸加设对撑或采用锚杆等加固方案。

4 结 语

通过对深圳铁岗水库排洪河两岸浆砌石衡重式挡墙失稳原因分析,可知挡墙工作状态的改变,如地表与墙体排水系统的失效、墙体和墙后额外荷载的增加,必定导致挡墙稳定性降低,因此为保证挡墙稳定,必须对其强加管理,以确保处于设计工作状态。

参考文献:

[1] 钱家欢.土力学[M].南京:河海大学出版社,1995.

(收稿日期:2001-01-16 编辑:熊水斌)

