



新东门码头砂泥岩互层边坡分类及坡率取值

田文丰, 林锐, 杨堉果, 李剑伟

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川成都610017)

摘要: 新东门码头堆场岩质边坡开挖工程量大, 开挖坡率会对工程造价产生较大影响。针对这一问题, 在依据现有规范坡率取值的基础上, 探索新的边坡坡率计算公式。在对比单一岩性质量分类(定性、RMR及BQ定量)和坡率取值(分类取值、破裂角)的基础上, 创新地提出了单一岩性抗剪强度坡率取值、互层岩体等效BQ质量分类、互层岩体加权厚度抗剪强度坡率取值等方法, 现场验证效果较好。得出结论: 1) 由抗剪强度坡率公式法计算的坡率可较好地利用岩体自身稳定、控制边坡安全、优化工程量。2) 此方法可为无软弱外倾结构面、地下水不丰富、非顺层情况下类似互层岩体边坡质量分类、坡率取值提供一种新思路。

关键词: 岩质边坡; 单一岩性; 抗剪强度坡率法; 互层岩体; 等效BQ质量分类; 加权厚度抗剪强度坡率法

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)06-0238-07

Classification of sand-mudstone interbedded slope and value of slope ratio at Xindongmen wharf

TIAN Wen-feng, LIN Rui, YANG Yu-guo, LI Jian-wei

(Sichuan Communication Surveying & Design Institute Co., Chengdu 610017, China)

Abstract: The amount of excavation works on the rock slope of the Xindongmen Wharf Yard is large, and the excavation slope rate will have a greater impact on the project cost. In response to this problem, new slope ratio calculation formulas are explored based on the existing standard slope ratio. Compared with single lithologic quality classification (qualitative, RMR and BQ quantitative) and slope ratio method (classified value and fracture angle), the methods are innovatively proposed, such as the value of the shear strength gradient of a single lithology, the equivalent BQ quality classification of interbedded rock mass, and weighted thickness shear strength slope ratio method. And the on-site verification effect is better. It is concluded that: 1) The slope ratio calculated by the formula method of shear strength slope ratio can make good use of rock mass self-stability, control slope safety, and optimize engineering quantity. 2) This method can provide a new idea for the quality classification and slope rate selection of similar interbedded rock mass slopes in the case of no weak outwardly inclined structural planes, insufficient groundwater, and non-stratified conditions.

Keywords: rock slope; single lithology; shear strength slope ratio method; interbedded rock mass; quality classification of equivalent BQ; weighted thickness shear strength slope ratio method

四川山区工程建设过程中, 出现了大量的由不同岩性组成的人工开挖岩质边坡, 开挖坡率对工程量、造价将产生直接影响。如开挖坡率取值偏小, 虽然会减少工程量、但同时会对工程安全

产生影响; 如开挖坡率取值偏大, 虽无虑安全问题, 但过于保守的坡率会增加不必要的工程量, 使得造价和建设占地问题凸显。因此对坡率合理性的研究具有重要的经济价值和现实意义。

收稿日期: 2020-09-09

作者简介: 田文丰(1976—), 男, 高级工程师、注册土木工程师(岩土), 研究方向为岩土工程。

对单一岩性质量分类、坡率取值的研究在各建设行业都在进行。建设部综合勘察研究设计院^[1]、重庆市设计院^[2]、中交第二公路勘察设计院有限公司^[3]、水电水利规划总院^[4]、长江水利委员会长江科学院^[5]等对岩体质量进行了分类，中交第二公路勘察设计院有限公司、电力规划设计总院^[6]、中铁第一勘察设计院集团有限公司^[7]等在相应行业规范中提出了不同坚硬程度(硬质岩、软质岩)的岩体、不同坡高(40 m 以下)的坡率取值范围，重庆市设计院、中交第二公路勘察设计院有限公司等在相应行业规范中对岩质边坡进行岩体质量分类的基础上提出了不同坡高(15、30 m)的坡率取值范围。这些规范为岩质边坡的开挖坡率提供了指导意义，随着时代的进步，对坡率如何取值以及如何优化坡率问题提出了新的需求。

本文以新东门码头堆场砂泥岩互层边坡为例，在现有单一岩性质量分类、坡率取值方法的基础上，增加了互层岩体按开挖高度(每级 10 m)分类的岩体质量加权厚度 BQ 分类法，新提出以抗剪强度为基准的单层岩体抗剪强度坡率法及互层岩体加权厚度抗剪强度坡率法，经现场试验验证效果较好。

新东门码头堆场后缘开挖将形成高 19.5 ~ 38.5m、长约 727 m 边坡，工程位于渠江左岸的广安市场盆村。选取边坡典型断面(图 1)进行分析，

初拟开挖为 4 级边坡，坡率从下至上为 1:0.65、1:0.75、1:1、1:1.25，平台宽 2 m。

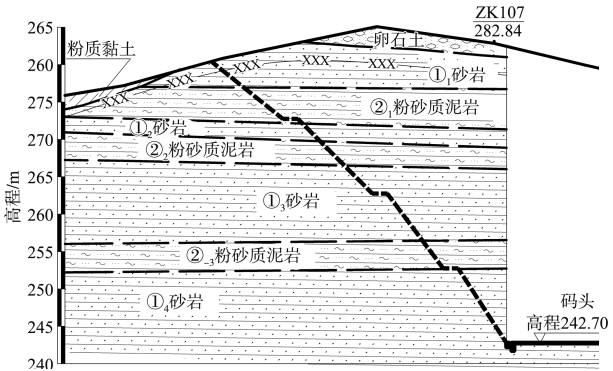


图 1 码头堆场后缘边坡典型剖面

1 地质概况

边坡区地处川东北丘陵地段，微地貌以缓坡、斜坡及浑圆山顶为主，地面高程多在 263.05 ~ 285.41 m，地形坡度一般在 15° ~ 35°，局部存在高 10~15 m 的陡崖及残留的Ⅲ级阶地。

边坡区除表层零星分布有 0~2.7 m 的覆盖层(粉质黏土、卵石土)外，主要由侏罗系中统沙溪庙组(J_{2s})砂岩、粉砂质泥岩不等厚互层组成。在剖面上砂岩 4 层，厚度从上至下①₁~①₄层分别为 4.70、2.52、9.49、10.00 m；粉砂质泥岩 3 层，厚度从上至下②₁~②₃层分别为 5.12、2.86、3.81 m；强风化层平均厚度为 2.20 m。粉砂质泥岩、砂岩的试验成果见表 1。

表 1 中风化岩石试验力学参数

项目	天然密度/(g·cm ⁻³)		饱和(天然)抗压强度/MPa		饱和(天然)抗剪断强度			
					内聚力/MPa		内摩擦角/(°)	
	粉砂质泥岩	砂岩	粉砂质泥岩	砂岩	粉砂质泥岩	砂岩	粉砂质泥岩	砂岩
最大值	2.58	2.53	5.47(10.12)	29.20	(0.91)	2.68	(44.19)	46.50
最小值	2.37	2.32	2.08(3.36)	11.18	(0.70)	1.35	(39.92)	42.27
平均值	2.50	2.45	3.64(7.38)	21.20	(0.81)	1.92	(42.36)	44.98
标准差	—	—	1.05(1.85)	4.52	(0.08)	0.63	(1.83)	1.75
变异系数	—	—	0.29(0.25)	0.21	(0.10)	0.30	(0.04)	0.04
修正系数	—	—	0.91(0.91)	0.93	(0.91)	0.63	(0.96)	0.97
标准值	—	—	3.31(6.69)	19.66	(0.74)	1.35	(40.85)	43.54
统计数组	15	12	31(22)	26	6	4	6	6

注：“()”内的数据表示天然状态下的试验指标。

边坡区构造部位位于大石桥背斜南东翼，距离背斜轴线最近 0.8 km，岩层单斜，产状平缓(170°

∠1°~2°)。场地内无断层通过，场地地震动峰值加速度为 0.05g，相应地震基本烈度为Ⅵ度。岩体的

完整性均较好。主要结构面为岩体中发育的裂隙：裂隙①：产状为 $300^{\circ}\angle 85^{\circ}$ ，裂面粗糙，起伏，微张，张开度 0.5 cm，无充填，延伸度 3~5 m，间距 1.5~1.6 m；裂隙②：产状为 $190^{\circ}\angle 88^{\circ}$ ，裂面粗糙，起伏不平，微张，张开度 0.3~0.8 cm，无充填，延伸度 1.5~2.0 m，间距一般 1.4~1.6 m。

2 边坡岩体分类

根据堆场的建筑零高程(242.75 m)，剖面位置左侧边坡将形成高约 38.5 m 的人工岩质边坡，边坡主要由中风化砂岩、粉砂质泥岩组成。由于该边坡不存在外倾软弱结构面，岩层产状平缓(非顺层边坡)，故采用了以下几种方法进行边坡分类。

2.1 定性边坡分类

2.1.1 勘察规范分类

GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》(2009 版) 主要根据岩体强度及岩体完整性分级，采用的是 5 级分类法。按《规范》第 3.2.2 条分类如下：1) 中风化粉砂质泥岩：岩体坚硬程度为极软岩，岩体完整程度为较完整，岩体类别为 V 类。2) 中风化砂岩：岩体坚硬程度为较软岩，岩体完

整程度为完整，岩体类别为Ⅲ类。

2.1.2 边坡规范分类

GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》及 JTG D30—2015《公路路基设计规范》主要根据岩体主要结构面与坡向的关系、结构面的倾角大小、结合程度、岩体完整程度等因素对边坡岩体进行划分，采用的是 4 级分类法。岩体内发育 2 组结构面及层面裂隙，依据《规范》分类如下：1) 中风化粉砂质泥岩：岩体坚硬程度为极软岩，岩体完整程度为较完整，结构面结合程度差，层面倾角 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ ，节理倾角 $85^{\circ}\sim 88^{\circ}$ ，组合后倾角 $35^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ，地下水不发育，岩体类别为Ⅳ类。2) 中风化砂岩：岩体坚硬程度为较软岩，岩体完整程度为完整，结构面结合程度差，层面倾角 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ ，节理倾角 $85^{\circ}\sim 88^{\circ}$ ，组合后倾角 $35^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ，地下水不发育，岩体类别为Ⅲ类。

2.2 定量边坡分类

2.2.1 RMR 边坡质量分类

根据 DL-T 5337—2006《水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程》规定，采用 RMR 分类，计算结果见表 2。中风化粉砂质泥岩及砂岩的岩体类别均为Ⅲ类。

表 2 RMR 取值

项目	饱和、天然岩石强度/MPa	岩石质量指标 RQD	结构面间距/cm	结构面条件				地下水条件		类别
				粗糙度	充填物/mm	张开度/mm	结构面长度/mm	风化程度	透水率 Lu	
粉砂质泥岩	3.31	85	120~150	较粗糙	无	3~8	1 500~2 000	中风化	3.6	—
评分	0	17	16	2	6	0	0	3	7	Ⅲ类(51 分)
砂岩	19.66	95	120~150	较粗糙	无	3~8	1 500~5 000	中风化	11.8	—
评分	3	20	16	2	6	0	0	3	4	Ⅲ类(54 分)

2.2.2 BQ 边坡质量分类

GBT 50218—2014《工程岩体分级标准》提出了将 BQ 方法用于岩石边坡的定量分析法，是在总结我国现有的各行业工程岩体分级方法的基础上提出的。此分类是对岩体基本质量指标 BQ 进行修正，并以修正后获得的边坡工程岩体质量指标值 [BQ] 确定岩体级别。边坡工程岩体质量指标值 [BQ] 按式(1)计算：

$$[BQ]=BQ-100(K_4+\lambda K_5)$$

(1)

式中：[BQ]为边坡工程岩体质量指标；BQ 为岩体基本质量指标，按式(2)计算；λ 为主要结构面类型与延伸性修正系数；K₄为地下水影响修正系数；K₅为主要结构面产状影响修正系数，按式(3)计算：

$$BQ=100+3R_c+250K_v$$

(2)

$$K_5=F_1F_2F_3$$

(3)

式中：R_c为岩石饱和单轴抗压强度(MPa)；K_v为岩体完整性指数，在使用时有 2 点限制条件：当 R_c>90K_v+30 时，R_c=90K_v+30，当 K_v>0.04R_c+0.4 时，

$K_v=0.04R_c+0.4$; F_1 为反映主要结构面倾向与边坡倾向间关系影响的系数; F_2 为反映主要结构面倾角影响的系数; F_3 为反映边坡倾角与主要结构面倾角间关系影响的系数。

该边坡主要结构面为贯通性较好的节理, 地

下水出水类型为点滴状出水, 结构面倾向与边坡倾向夹角为 35° , 结构面倾角为 85° , 边坡倾角与结构面倾角夹角为 34° 。各参数取值及 $[BQ]$ 计算结果见表 3。计算后边坡岩体粉砂质泥岩属于Ⅳ级岩体, 砂岩属于Ⅲ级岩体。

表 3 修正计算的各参数取值

岩性	R_c/MPa	K_v	BQ	λ	K_4	F_1	F_2	F_3	K_5	$[BQ]$	分级
粉砂质泥岩	3.31	0.72	289.9	0.9	0.3	0.15	1.0	0	0	259.9	Ⅳ
砂岩	19.66	0.82	364.0	0.9	0.1	0.15	1.0	0	0	354.0	Ⅲ

2.3 单一岩性分类法比较

通过表 4 的 4 种分类法对比可知: 除边坡规范采用Ⅰ~Ⅳ级分类法外, 其余 3 种分类均采用Ⅰ~Ⅴ级分类法。在分类考虑的因素中勘察规范只考虑了抗压强度和完整性, 未考虑节理裂隙的影响; 边坡规范考虑了节理裂隙、完整性, 未考虑抗压强度; RMR 法虽然对抗压强度、节理裂隙、完整性都考虑了, 但各级之间分值跳跃变化大; BQ 法对于抗压强度、节理裂隙、完整性均作了考虑, 且分级相接较好, 也较符合本边坡, 故本文建议采用 BQ 法进行分类, 且分类为Ⅰ~Ⅴ级, 分类更细, 特别是对软质岩更有针对性。

表 4 各方法对比分析

边坡岩性	勘察规范	边坡规范	RMR	BQ	最终选择(BQ)
粉砂质泥岩	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ
砂岩	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

2.4 互层岩体 BQ 质量分类

按 BQ 分类法, 该边坡中的粉砂质泥岩属于Ⅳ级岩体, 砂岩属于Ⅲ级岩体。由于该边坡由粉砂质泥岩、砂岩互层组成(这在四川境内是极普遍现象), 如果整个边坡按砂岩单一划分为Ⅲ级太过冒进且不安全; 如果整个边坡按粉砂质泥岩单一划分为Ⅳ级太过保守且不经济。故根据整个边坡岩层互层情况, 按岩层不同厚度、不同开挖高度, 采用等效 BQ 法进行岩体分级, 见表 5。边坡整体分级为Ⅳ级。

表 5 互层岩体边坡等效 BQ 分级

边坡高度 H/m	边坡岩性	单一岩性 BQ 分级	层厚/ m	互层岩体 BQ 值	互层岩体 BQ 分级	整体边坡 BQ 值	整体边坡 BQ 分级
0~10	砂岩	Ⅲ	10.00	354.0	Ⅲ	321.9	Ⅳ
10~20	粉砂质泥岩	Ⅳ	3.81	311.1	Ⅳ		
	砂岩	Ⅲ	6.19				
20~30	粉砂质泥岩	Ⅳ	4.18	307.5	Ⅳ		
	砂岩	Ⅲ	5.82				
30~38.5	粉砂质泥岩	Ⅳ	3.80	304.7	Ⅳ		
	砂岩	Ⅲ	4.70				

3 坡率取值

3.1 质量分类取值法

根据岩体对应的分级, 对应分级的基础上采用 DLT 5170—2015《变电站岩土工程勘测技术规范》附录 A 内插法进行取值; 对于高度 H 小于 15 m 的, 采用 JTG D30—2015《公路路基设计规范》中 3.4.2 中规定, 对应提出相应的坡率建议值。

1) 粉砂质泥岩: 岩体 BQ 分级为Ⅳ级,

<15 m 时, 坡率 = 1:0.75~1:1, 15~30 m 时, 坡率 = 1:1.25~1:1.5。

2) 砂岩: 岩体 BQ 分级为Ⅲ级, <15 m 时, 坡率 = 1:0.5~1:0.75, 15~30 m 时, 坡率 = 1:1.1~1:1.25。

3.2 破裂角取值法

据野外调查, 岩体有外倾硬性结构面, 其外倾结构面倾角为 $85^\circ\sim88^\circ$ 。根据 GB 50330—2002《建筑边坡工程技术规范》^[8] 6.3.4 节规定, 取外

倾结构面倾角与 $45^{\circ}+\varphi/2$ 两者中的小值, 对应的坡率具体取值如下:

1) 粉砂质泥岩: 由于粉砂质泥岩抗剪强度值为天然状态下的试验值, 且场地干湿交替较严重, 故粉砂质泥岩在 $45^{\circ}+\varphi/2$ 计算取值的基础上进行了 0.8 的折减, $(45^{\circ}+\varphi/2) \times 0.8=52.34^{\circ}$; 外倾结构面倾角为 $85^{\circ} \sim 88^{\circ}$, 破裂角取 52.34° , 对应坡率为 1:0.77。

2) 砂岩: $45^{\circ}+\varphi/2=66.77^{\circ}$, 外倾结构面倾角为 $85^{\circ} \sim 88^{\circ}$, 破裂角取 66.77° , 对应坡率为 1:0.43。

3.3 抗剪强度取值法

根据 GB 50330—2002《建筑边坡工程技术规范》第 4.5.5 条及条文说明, 并结合文献[9], 根据岩体完整性采用了两部分(1 岩体完整部分按岩石饱和抗剪强度;2 其余部分按结构面抗剪强度)计算等效内摩擦角:

$$\varphi_d=\eta_1\arctan[\tan\varphi_1+2c_1/(\rho gH\cos^2\theta)]+\eta_2\varphi_2 \quad (4)$$

式中: φ_d 为等效内摩擦角($^{\circ}$); η_1 为破坏模式修正系数, 易产生危岩岩体(饱和抗压 $>15\text{ MPa}$) 取 0.9, 其余取 1; η_2 为结构面修正系数, 硬质岩取 1, 软质岩取 0.8; c_1 为修正后的岩体粘聚力(KPa), $c_1=\eta_3K_v c_k$, K_v 为岩体完整系数, c_k 为岩体粘聚力(kPa); η_3 为黏聚力折减系数, 取 0.2~0.3; ρ 为密度(t/m^3); H 为边坡高度(m); θ 为坡顶无荷载时的破裂角($^{\circ}$), $\theta=45^{\circ}+\varphi/2$; φ_1 为修正后的岩体内摩擦角($^{\circ}$):

$$\varphi_1=0.9K_v\varphi_k \quad (5)$$

式中: φ_k 为岩体内摩擦角($^{\circ}$); φ_2 为修正后的结构面内摩擦角($^{\circ}$):

$$\varphi_2=0.9(1-K_v)\varphi_m \quad (6)$$

式中: φ_m 为结构面内摩擦角($^{\circ}$)。

根据 GB 50287—2016《水力发电工程地质勘察规范》^[10] 附录 D 有关规定, η_3 取岩块试验值的 20%, 岩体内摩擦角取岩块试验值的 90%。结构面参数中黏聚力 $c_m=0$, 内摩擦角 φ_m 无试验值时可按如下采用(如结构面为张开时 φ_m 取 0), 以下数据适合裂隙闭合或微张: 1) 胶结的结构面: $\tan\varphi_m=0.60 \sim 0.80$; 2) 无充填的结构面: $\tan\varphi_m=0.50 \sim 0.70$; 3) 岩块岩屑型: $\tan\varphi_m=0.40 \sim 0.50$; 4) 岩屑夹泥型: $\tan\varphi_m=0.30 \sim 0.40$; 5) 泥夹岩屑型: $\tan\varphi_m=0.25 \sim 0.30$; 6) 泥型: $\tan\varphi_m=0.15 \sim 0.25$ 。

在等效内摩擦角基础上, 考虑边坡安全系数, 坡率(1:m)按式(7)计算, 安全系数参照 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》中 5.3.2。

$$1:m=1:(K_s/\tan\varphi_d) \quad (7)$$

式中: K_s 为边坡安全系数, 永久边坡取 1.35, 临时边坡取 1.00, 适用于无软弱外倾结构面、地下水丰富、非顺层的岩质边坡。

由于粉砂质泥岩抗剪强度值为天然状态下的试验值, 且场地干湿交替较严重, 故粉砂质泥岩抗剪强度值在计算时进行了 0.8 的折减。公式计算出的坡率建议值见表 6。

表 6 抗剪强度取值法坡率建议

边坡岩性	天然密度/ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	抗剪强度		结构面内摩擦 角/ $\tan\varphi_m$	完整性 系数 K_v	安全 系数 K_s	坡高 15 m		坡高 30 m	
		内黏聚力/ MPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)				等效内摩擦 角/($^{\circ}$)	坡率	等效内摩擦 角/($^{\circ}$)	坡率
粉砂质泥岩	2.50	0.74	40.85	0.15	0.72	1.35	62.5	1:0.70	49.1	1:1.17
砂岩	2.45	1.35	43.54	0.15	0.82	1.35	73.0	1:0.41	66.3	1:0.59

3.4 单一岩性坡率法比选

根据 3 种坡率方法取值对比(图 2), 破裂角法与坡高不产生直接关系; 质量分类取值法存在范围、针对同一岩体质量类别内的取值均较难区别; 而抗剪强度取值法兼顾了坡高、岩体自身的力学特征, 更有针对性。对计算得出的坡率采用

理正 6.5 软件中岩体极限刚体平衡法进行稳定性计算, 粉砂质泥岩在坡高 15、30 m 的稳定性系数分别为 2.432、1.743(图 3); 砂岩在坡高 15、30 m 的稳定性系数分别为 4.458、2.899, 均处于稳定状态。故单一岩性边坡坡率取值按抗剪强度坡率法取值较合适。

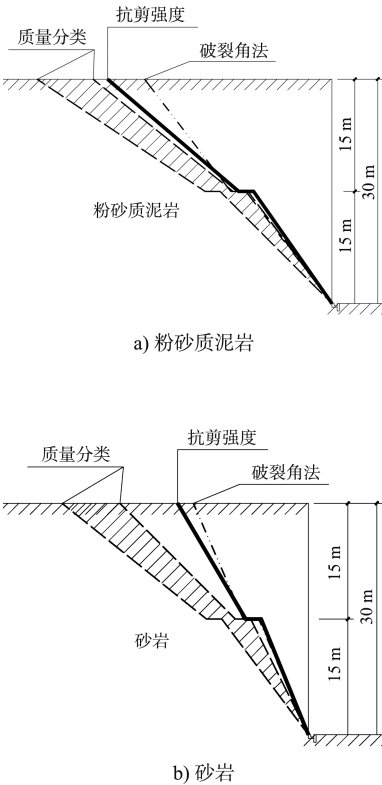


图 2 坡率取值方法对比

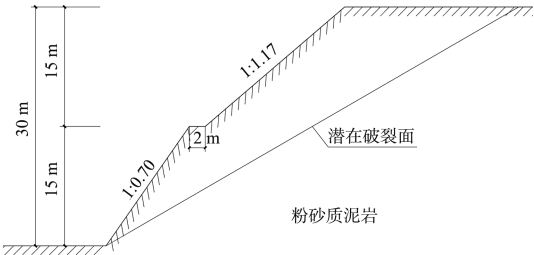


图 3 粉砂质泥岩稳定性计算模型

3.5 互层岩体坡率法取值

对于由粉砂质泥岩、砂岩组成的互层岩体边坡, 根据经验, 开挖边坡一般按每 10 m 一级进行设计。每级边坡多由不同厚度的砂泥岩互层组成, 如每级边坡单按砂岩来计算坡率值太过冒进且不安全, 如每级边坡单按粉砂质泥岩计算坡率值太过保守且不经济。加权厚度分级坡率取值是在抗剪强度取值法的基础上采用加权厚度取值法进行(即:加权厚度抗剪强度坡率法), 并对每级计算得出的坡率采用理正 6.5 软件中岩体极限刚体平衡法进行稳定性验算(表 7), 各级边坡的稳定系数均大于 1.5, 均处于稳定状态。

表 7 典型剖面坡率取值

边坡高度 H/m	边坡岩性	单一岩性坡率	层厚/ m	加权厚度 BQ 分级	加权厚度抗剪强度坡率	稳定系数 K	备注
0~10	砂岩	1:0.34	10.00	Ⅲ	1:0.34	5.874	按坡高 10 m
10~20	粉砂质泥岩	1:0.88	3.81	Ⅳ	1:0.63	3.044	按坡高 20 m
	砂岩	1:0.47	6.19				
20~30	粉砂质泥岩	1:1.17	4.18	Ⅳ	1:0.83	2.488	按坡高 30 m
	砂岩	1:0.59	5.82				
30~38.5	粉砂质泥岩	1:1.36	3.80	Ⅳ	1:0.98	1.789	按坡高 38.5 m
	砂岩	1:0.68	4.70				

3.6 互层岩体坡率法应用

在施工时, 结合施工操作, 坡率最终从下至上为 1:0.35、1:0.65、1:0.85、1:1。由于边坡长度较长, 边坡全段将第 2 级(10~20 m)采用了优化坡率(1:0.65)。还选取了一段进行全面坡率尝试, 对比 4 种开挖坡率, 见图 4。

- 1)初拟开挖坡率与按单一粉砂质泥岩考虑的开挖坡率相近, 虽然安全, 但不经济。
- 2)如按单一砂岩考虑的开挖坡率, 虽然开挖量小一些, 但存在较大的安全风险。
- 3)按加权厚度坡率开挖较充分利用了各级岩体的自稳能力, 在保证了边坡稳定、安全的基础

上, 工程量节约 20%, 更合理。在施工开挖过程中及后期运行的效果均较好。

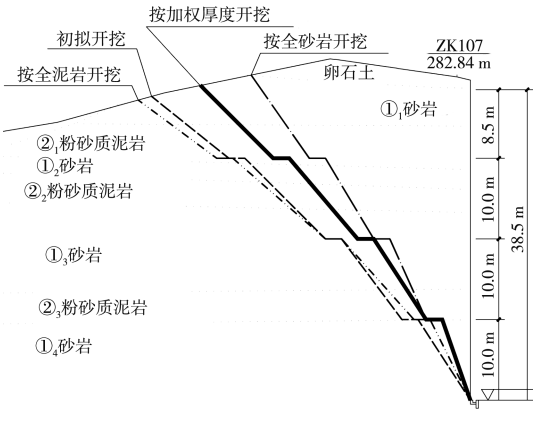


图 4 边坡坡率优化对比

4 结 语

1)通过对单一岩性边坡质量分类方法(定性、*BQ*、*RMR*)对比分析,认为 *BQ* 边坡质量分级法能较好地进行分类(级)。

2)对于互层岩体边坡,在单一岩性 *BQ* 边坡质量分类法的基础上,等效 *BQ* 分级法将拟开挖边坡进行分级评价,更有针对性,较适合本边坡。

3)坡率取值影响工程量较大,在现有规范对单一岩性边坡坡率方法(破裂角法、分类取值法)的基础上提出了抗剪强度公式坡率法。对比分析得出抗剪强度公式坡率法能较好地考虑岩体的力学性质、岩体完整性及坡高,参考性较强。

4)对于砂泥岩互层边坡,在单一岩性抗剪强度公式法的基础上,提出采用加权厚度抗剪强度坡率法对拟开挖边坡每 10 m 一级计算出更为细致的分级坡率,采用理正软件进行稳定性计算,边坡稳定性均较好。此方法对设计和施工更有指导意义,提高了实用性,节约了造价。

5)本文的抗剪强度公式坡率法适用条件:适用于无软弱外倾结构面、地下水不丰富、且非顺层的岩质边坡。对于同一坡体不同岩性的坡率相差太大时(岩体质量类别分级相差 2 级以上),质量类别高的岩体坡率折减系数应调整为 0.5~0.6。

(上接第 211 页)

3)可以下载多年份地形资料,弥补历史资料的欠缺,把实测地形边界控制条件投影到不同年份 GIS 影像上,总结河演规律,为整治方案布置提供建设性意见,提高设计产品的质量,最后,通过 BIM+GIS 技术把整治建筑物还原到不同年份的地形上,验证设计方案的合理性,初步解决了动床航道整治方案布设困难的问题,为类似工程提供参考。

参考文献:

[1] 彭毕帅,郭琦,彭飞,等.关于航道信息模型“WIM”技术

参考文献:

[1] 建设部综合勘察研究设计院.岩土工程勘察规范:GB 50021—2001[S].2009 版.北京:中国建筑工业出版社,2009.

[2] 重庆市设计院.建筑边坡工程技术规范:GB 50330—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.

[3] 中交第二公路勘察设计研究院有限公司.公路路基设计规范:JTG D30—2015[S].北京:人民交通出版社,2015.

[4] 水电水利规划总院.水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程:DL-T 5337—2006[S].北京:中国电力出版社,2006.

[5] 长江水利委员会长江科学院.工程岩体分级标准:GBT 50218—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.

[6] 电力规划设计总院.变电站岩土工程勘测技术规程:DLT 5170—2015[S].北京:中国计划出版社,2015.

[7] 中铁第一勘察设计院集团有限公司.铁路路基设计规范:TB 1001—2016[S].北京:中国铁道出版社,2016.

[8] 重庆市设计院.建筑边坡工程技术规范:GB 50330—2002[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.

[9] 张静波,练伟.谈谈岩体等效内摩擦角的计算公式[J].岩土工程界,2009,12(12):16-17.

[10] 水电水利规划总院.水力发电工程地质勘察规范:GB 50287—2016[S].北京:中国计划出版社,2016.

(本文编辑 武亚庆)

体系的探索[J].中国水运·航道科技,2019(3):29-33.

[2] 欧剑,张行南,左一鸣,等.基于 GIS 的河床演变分析系统设计研究[J].水文,2009,29(6):6-8.

[3] 徐元,刘小喜,史坦晶,等.基于 GIS 的航道辅助设计平台的设计与实现[J].水运工程,2017(11):1-6.

[4] 吕升奇,李天碧,陈界仁,等.基于 GIS 的航道整治决策支持系统[J].水利水电科技进展,2007,27(5):29-32.

[5] 王磊.AutoCAD Civil 3D.NET 二次开发[M].上海:同济大学出版社,2018.

[6] 曾洪飞,卢择临,张帆.AutoCAD VBA&VB.NET 开发基础与实例教程[M].2 版.北京:中国电力出版社,2017.

(本文编辑 武亚庆)