

# 挑流消能冲刷系数的探讨

杨国瑞

(水电部成都勘测设计院科研所)

## 提 要

本文根据我所研究岩体的分类资料,并参照前人研究成果与存在问题,用单轴湿抗压强度和岩体完整性两定量指标,对挑流消能局部冲刷公式中的系数  $K$  值初步提出了评定它的关系式。

## 一、概 述

溢洪建筑物采用鼻坎挑流是我国许多工程常采取的一种消能方式,其挑流消能局部冲刷问题,国内外学者作过大量的研究工作。我国学者陈椿庭<sup>②</sup>60年代初期,提出了挑流消能局部冲刷深度的估算方法,并得到广泛的应用。公式的表达式为:

$$T = Kq^{\frac{1}{2}}z^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

式中  $T$  为冲坑深度(包括水垫)(m)

$q$  为单宽流量 ( $m^2/s$ )

$z$  为落差 (m)

$K$  为冲刷系数,作者根据有关资料建议采取  $K=1.25$ 。

该公式是从能量损失观点出发,根据冲坑水垫体积消能率理论,借用水跃消能率数值和典型冲坑等推演而来的。由于公式具有理论基础,结构简单,在实际工作中已为人们所乐用。问题在于如何确定公式中冲刷系数  $K$  值。因为  $K$  值不仅是水力因素影响,而冲坑部位的岩体性状在一定意义上讲,对  $K$  值有重要影响。

为了探求岩体性状和  $K$  值的关系,水电部东北勘测设计院科研所,长江水利科学院等单位,作了大量的调查和试验研究工作,认为把岩体分为四类,不同类岩体,建议选用不同的冲刷系数,并提出了“推荐的岩基冲刷系数表”。这个工作对公式(1)的计算是有所发展,有所前进的。当然也还有一些值得探讨的问题,如推荐表中对岩石分类,基本上是定性的。而且还有多种岩石性状的匹配、协调的问题,因此应用上有些不便之处,需要进一步研究解决。

华东水院郭子中给出了一个以岩基抗压强度 ( $R_w$ ) 为参变量,优化的冲坑经验公式,其表达式为:

$$T = 141.5q^{0.58}z^{0.13}/R_w \quad (2)$$

\* ①本文承蒙杨子文同志提供资料 and 意见,特此致谢。

\*\* ②陈椿庭:关于高坝挑流和局部冲刷深度的一个估算方法,《水利学报》1963。

式中  $R_w$  为基岩湿抗压强度 (MPa)。

其它符号同上。

文中还根据抗压强度大小, 将基岩分为软弱, 坚强等四类, 并给出相应的强度公式组。

(2) 式中考虑了以抗压指标为参数的表达式是可取的, 应当说又是进了一步。因为抗压强度是岩体一个十分重要的指标, 岩体的很多性状与其有关。但就实际情况而论, 这种单因子分类, 尚不能概括天然状态下岩体的各种性状。如某一岩体, 尽管其完整性差, 比较破碎, 但其抗压强度未必很低。当然岩体完整性对冲刷而言还是重要的因素。

众所周知, 挑流对下游冲刷, 取决于水流冲刷能力与河床抗冲能力大小。前者是水力条件决定, 后者是取决于冲坑部份的岩石性状。

在探讨冲刷系数  $K$  值的时候, 可以归纳为两方面的问题, 第一, 如何按岩体物理力学指标进行分类以判断岩体的抗冲能力; 第二, 这种指标和冲刷系数的关系。本文拟从这两方面作些初步探讨, 以供讨论。

## 二、岩体分类问题研究

根据大量的室内和野外测定的岩石物理力学数据及工程实践, 我所曾对岩石分类, 作过较系统的研究, 提出了有价值的研究成果。

研究认为, 从强度、变形角度看, 影响岩体质量好坏的主要因素是岩石质量与其完整程度。

岩体的完整程度, 用目前普遍采用的完整性系数  $K_w$  来表示。

岩体质量好坏, 用岩体工程质量  $M$  来表示, 其表达式为:

$$M = S \times K_w$$

式中

$$S^* = R_w / 29.4^*$$

$R_w$  为单轴湿抗压强度 (MPa);

$$K_w = \left( \frac{V_{pm}}{V_{pr}} \right)^2$$

( $V_{pm}$  为岩体的弹性纵波波速 m/s);

( $V_{pr}$  为岩块的弹性纵波波速 m/s)。

$$\text{则 } M = R_w / 29.4 \times (V_{pm} / V_{pr})^2$$

结论认为岩体质量分类如下:

$M > 3$	岩体质量优
$M = 1 \sim 3$	岩体质量良
$M = 0.1 \sim 1$	岩体质量中等
$M = 0.01 \sim 0.1$	岩体质量差
$M < 0.01$	岩体质量坏

用岩体工程质量  $M$  分类具有两个特点: 第一, 实现了分级的数据化、定量化, 比定性描述易于掌握; 第二, 照顾到岩体指标间的协调匹配关系, 如两岩体的湿抗压强度  $R_w$  分别为 88.3 及 58.9 MPa, 完整性系数各为 0.6 和 0.90, 则计算得  $M$  值相同, 应同为同一岩体, 如单以湿抗压强度  $R_w$  来区别, 就得不到这一结果, 也就不符合实际情况。

\* 29.4 为目前软硬岩石的强度分类累根。

我们认为用 $M$ 值作为岩体定量分级是比较合理的。经过试验研究,原型观测,若将冲刷系数 $K$ 值与上述岩石工程质量指标 $M$ 的关系求得,则较便于具体应用,也符合实际。

### 三、冲刷系数 $K$ 值的探讨

根据基岩冲刷特点,岩体性状选取两个参数表达是合适的:

#### (一) 湿抗压强度( $R_w$ )

研究表明,无论什么样的用途,抗压强度总是一个很重要的指标。研究冲刷问题时,也是如此。如郭子中、章福仪均把它作为冲刷系数的参数来考虑。

#### (二) 岩体完整性

就冲刷而言,岩体完整性也是十分重要的指标。因为它在一定的水力因素条件下,决定冲刷程度。在这个意义上讲,尽管岩石抗压强度低些,但完整性好,冲刷会轻一些;反之,完整性差,抗压强度虽高,也会受到冲刷。如表2把裂隙间距作为指标加以分类,也是这个意思。

岩石工程质量指标 $M$ ,正是包涵了上述对冲刷而言的两个重要参数。表1是一些控制指标的计算结果。

表1  $M$ 值计算表

$R_w$ (MPa)	147.1	147.1	117.7	88.3	58.8	29.4	14.7	7.35
$S$	<5	5	4	3	2	1	0.5	0.25
$K_v$	>0.95	>4.75	>4.75	>3.80				
	0.95	>4.75	4.75	3.80	2.85			
	0.85	>4.25	4.25	3.40	2.55	1.70	0.85	0.42
	0.75	>3.75	3.75	3.00	2.25	1.50	0.75	0.38
	0.65	>3.25	3.25	2.60	1.95	1.30	0.65	0.33
	0.55	>2.75	2.75	2.20	1.65	1.10	0.55	0.28
	0.45	>2.25	2.25	1.80	1.35	0.90	0.45	0.23
	0.35			1.40	1.05	0.70	0.35	0.18
	0.20				0.60	0.40	0.2	0.1
<0.20								0.05

表1可简绘成 $M$ 等模量曲线如图1所示。

分析表1及图1,参照岩体定量分级及水电部东北勘测设计院科研所提出的“冲刷系数推荐表”我们认为,将冲刷系数 $K$ 值,按照地质岩体特性划分为五类较为适宜,这是因为国内外学者一般将岩石分为五类,我国的岩石规程也是按五类划分的,这样便于对照统一。

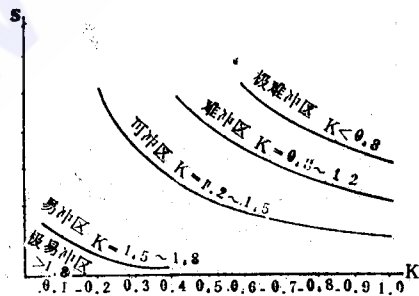


图1

极难冲	$M > 3$	$K < 0.8$
难冲	$M = 2 \sim 3$	$K = 0.8 \sim 1.2$
可冲	$M = 1 \sim 1$	$K = 1.2 \sim 1.5$
易冲	$M = 0.1 \sim 1$	$K = 1.5 \sim 1.8$
极易冲	$M < 0.1$	$K > 1.8$

根据这一分类, 我们设想, 经过进一步工作, 可以找出岩体工程质量指标 ( $M$ ) 和冲刷系数 ( $K$ ) 的关系, 从而估算出冲刷深度。但要找出  $M \sim K$  的关系, 是一个很复杂的问题, 要有大量的原型观测的实际数据和相应冲坑区岩体的物理力学指标, 工作量是很巨大的。

本文初步将以上资料, 绘制成  $M \sim K$  关系曲线, 并点绘了几个工程实际资料 (参见图 2), 虽实例很少, 岩但可看出这样作是可行的。

表 2 岩体完整性系数参照表

岩体完整性系数 $K_v$	岩体特征
$> 0.90$	岩石新鲜完整。裂隙极少, 间距 $1 \sim 3m$ , 裂隙面闭合无充填, 呈大块状结构
$0.75 \sim 0.90$	岩石微风化, 裂隙虽稍发育, 但多闭合, 间距 $1m$ 左右, 闭合性好, 一般无充填, 块状厚层结构
$0.45 \sim 0.75$	裂隙发育, 间距 $0.4 \sim 0.8m$ , 有充填物, 镶嵌结构
$0.2 \sim 0.45$	岩块较硬, 但十分破碎, 间距约 $0.1 \sim 0.4m$ , 泥质填充, 碎裂结构
$< 0.2$	为断层裂隙极发育, 间距小于 $0.1m$ , 破碎带一类岩体, 夹粘土, 散体结构

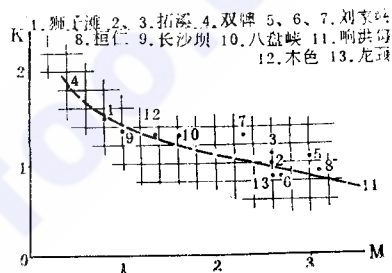


图 2

最后本文提供了岩体完整性系数参照表 (表 2), 岩体  $M$  值及其设计指标 (表 3), 供资料不足时参考

表 3 岩体  $M$  值及其设计指标

岩体工程质量指标 $M$ 值	纵弹性波速度 $V_{pm}$ (m/s)	动弹性模量 $E_d \cdot 10^4$ (MPa)	变形模量 $E \cdot 10^4$ (MPa)	单位抗力系数 $K_0$ (MPa)	泊松比 $\mu$	允许承载力 $(\sigma)$ (MPa)	岩体抗压强度 $(R)$ (MPa)	内摩擦角 $(\phi)$	粘聚力 $c$ (MPa)
$> 3$	$> 5500$	$> 6.9$	$> 2$	$> 157$	0.2	$> 7.3$	$> 98.1$	$> 70^\circ$	$> 3.9$
$1 \sim 3$	4500~5500	4.9~6.9	1~2	78~157	0.25	2.9~7.8	39.2~98.1	45~70°	1.5~3.9
0.1~1	3500~4500	2.9~4.9	0.2~1	15.7~78	0.3	1.5~2.9	9.8~39.2	30~45°	0.5~1.5
0.01~0.1	2500~3500	1.5~2.9	0.03~0.2	2.9~15.7	0.35	0.5~1.5	1.5~9.8	20~30°	0.1~0.5
$< 0.01$	$< 2500$	$< 1.5$	$< 0.03$	$< 2.9$	0.4	$< 0.5$	$< 1.5$	$< 20^\circ$	$< 0.1$

当  $M$  不是上述界限值时, 可在双对数坐标上绘图查出有关的  $M$  值时的参数值, 初步估算也可用  $E = 96000M^{0.788}$  式。

#### 四、结 语

研究挑流消能冲刷系数, 是比较复杂的课题。根据我所研究岩体分类的成果, 在前人研究的基础上, 针对存在的问题, 试用岩石质量工程指标, 评价岩体受冲刷的难易程度, 以供讨论。

文中所给岩石工程质量指标和冲刷系数关系曲线, 由于收集的有关工程的原型观测资料不多, 尚待进一步累积资料, 加以充实, 从而使其更接近实际。

参 考 资 料 (略)