

大桥水库工程风化岩坝料的工程特性分析

田中涛, 王森荣

(中国水利水电第五工程局, 四川 米易 617200)

摘要:通过对大桥水库工程风化岩坝料的密度、单耗、沉降、级配、渗透系数等试验实测资料综合分析, 总结出了大桥水库工程风化岩坝料的工程特性。经过大量的工程实验资料表明: 将弱风化岩体作为大桥水库工程开采条件下最优料源来使用, 这一点与地勘资料提出的结论是完全一致的。

关键词: 风化岩坝料工程特性; 滑动平均分析法; 密度; 单耗; 沉降特征; 级配; 渗透系数

中图分类号: TV 4; TV 641

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2000)04-0038-04

1 前言

大桥水库工程堆石料填筑总量近 190万 m^3 , 在其开采填筑过程中, 炸药单耗、填筑密度等工程特征指标变化较大, 但总体趋势值均随时间延续呈规律性变化。通过对上述工程特征指标的时间趋势分析, 总结其变化规律, 结合风化岩体性质与坝料实测资料, 利用数理统计的方法进行统计分析, 阐述风化岩坝料的工程特性。

2 风化岩坝料工程特性分析的可行性

一般说来, 除了因断层发育、岩性差异等形成的囊状风化和夹层风化外, 岩石的风化程度总是在地表比较强烈, 从地表向下至岩体内部, 囊状风化程度逐渐变得微弱, 直至新鲜岩石。在完整的风化岩剖面上, 风化程度不同的岩石是逐渐过渡的, 其间不像地层岩性那样, 存在较为清晰和确切的地质界面(线)。岩体风化呈上述规律性变化, 反映在风化岩坝料的特性上也必将呈现出规律性变化。在坝料的开采填筑过程中, 相应的开采部位对应着填筑高程, 在相应的填筑高程内, 各种坝料的工程特征指标可通过实测或现场试验取得。因此, 风化岩坝料的工程特性是可以通过分析总结出一些规律性的物理量。

3 料场的工程地质特征

根据地勘资料表明: 堆石料场主要开采强风化至微风化中酸性混染岩, 其中花岗岩占 $65\% \sim 70\%$, 闪长岩、辉绿岩占 $30\% \sim 35\%$, 抗压强度值均

在 100MPa 左右, 岩体内断层、裂隙发育, 大的断层主要有 f_{115} 、 f_{117} 及 F_{10} , 小断层 $2 \sim 3 \text{m}$ 发育一条; 岩体受北东、北西和近东西向三组裂隙切割, 呈碎裂-块状结构, 岩块直径一般 $0.2 \sim 0.6 \text{m}$ 。沿断层破碎带, 不同岩性界面及裂隙发育密集带有厚度不大、分布范围广的囊状风化带及夹层风化带。

强风化岩呈浅黄褐色, 岩石结构大部分已破坏, 小部分已分解为土。大部分岩石呈不连续骨架, 风化裂隙发育。岩体结构以碎裂结构为主, 部分为散体结构, 裂隙间距为 $0.1 \sim 0.3 \text{m}$, f 值为 $6 \sim 8$ 。弱风化岩呈浅灰白色, 微带黄褐色, 岩石结构清楚, 但风化裂隙发育, 裂隙壁风化剧烈, 呈碎裂-碎裂镶嵌结构, 裂隙间距 $0.2 \sim 0.4 \text{m}$, f 值为 $8 \sim 10$ 。微风化岩呈现浅灰色, 岩石结构基本无变化, 大部分裂隙闭合呈次块状-碎裂镶嵌结构, 裂隙间距 $0.2 \sim 0.5 \text{m}$, f 值大于 10 。根据料场勘探及实际开采资料表明: 风化程度按垂直分带高程划分为: $\nabla 2102 \sim \nabla 2072 \text{m}$ 为强风化岩, $\nabla 2072 \sim \nabla 2052 \text{m}$ 为弱风化岩, $\nabla 2052 \text{m}$ 以下为微风化-新鲜岩; 风化水平分带划分为: $0 \sim 15 \text{m}$ 为强风化岩, $15 \sim 45 \text{m}$ 为弱风化岩, 其余为微风化-新鲜岩。文中主要按垂直分带来分析风化程度对坝料特性的影响作用, 把水平分带的影响也综合纳入垂直分带内考虑。

4 基本资料

4.1 料场开采时间 t 与高程 h 的关系

根据实测资料, 料场开采高程 $h \sim t$ 时间关系见图 1。

4.2 料场开采中炸药单耗资料

根据料场每月炸药实际消耗与坝体填筑量间关系推求, 由于二者间存在滞后关系, 故在单耗计算过

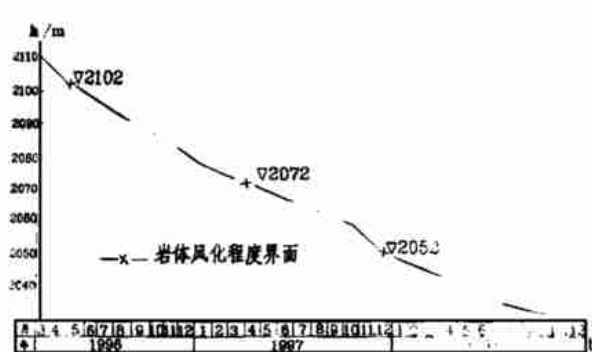


图1 料场开采高程 $h \sim t$ 时间关系图

程中用滑动平均分析方法,用5个月时间消耗炸药量与坝体填筑量之间关系来推求,以消除滞后关系影响,体现趋势值。根据料场石料天然密度与填筑密度间关系把填筑量转化为料场自然方量,二者间关系为1.25倍。炸药消耗量与坝体填筑量间逐月统计值见表1。炸药单耗 q 值首次修匀值见表2。

表1 炸药单耗与填筑量(自然方)统计表

月	1996年		1997年		1998年	
	炸药/kg	坝体填筑量/m ³	炸药/kg	坝体填筑量/m ³	炸药/kg	坝体填筑量/m ³
1			8 406	23 989	21 138	65 670
2			7 800	31 965	29 496	35 932
3	4 075	26 144	14 256	28 181	11 208	34 466
4	2 856	32 869	12 216	39 155	28 608	29 285
5	14 726	45 989	1 416	25 051	0	18 755
6	3 648	39 624	5 976	56 697	46 761	50 826
7	9 873	0	6 912	37 692	14 928	48 116
8	672	2 874	8 760	56 455	32 256	41 516
9	456	13 834	14 498	46 817	47 496	18 867
10	6 627	58 210	24 000	61 387	14 447	36 877
11	4 272	62 392	25 008	62 740	7 651	36 069
12	10 434	62 836	29 160	63 544	16 431	25 202

4.3 坝体填筑时间 t 与填筑高程 h 的关系

根据实测资料,坝体填筑 $h \sim t$ 关系见图2。

4.4 坝体填筑密度、取样密度资料

按逐月取样资料,计算出填筑密度算术平均值,密度逐月统计值见表3。

表2 炸药单耗 q 值统计资料表

年	时 间 / 月											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996					0.243 2		0.287 1		0.159 5		0.136 5	
						0.260 8		0.185 7		0.112 2		0.156 8
1997	0.215 7		0.297 2		0.218 3		0.167 3		0.298 7		0.379 1	
		0.285 4		0.230 1		0.184 1		0.232 2		0.348 6		0.446 3
1998	0.442 2		0.491 3		0.559 4		0.794 2		0.642 2			
		0.522 5		0.685 8		0.650 2		0.794 5		0.746 1		

注:设计开采单耗 0.4121 kg/m^3 。

表3 填筑密度统计资料表

年	时 间 / 月											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996			2.1775		2.179		2.2025		2.25		2.2465	
				2.2033		2.2025		2.2025		2.166		2.2505
1997	2.2292		2.2125		2.2475		2.2017		2.2766		2.2194	
		2.1915		2.264		2.2388		2.284		2.3267		2.2116
1998	2.2225		2.219		2.237		2.2145		2.222			
		2.282		2.265		2.268		2.2649		2.266		

注:设计密度填筑指标 2.16 t/m^3 。

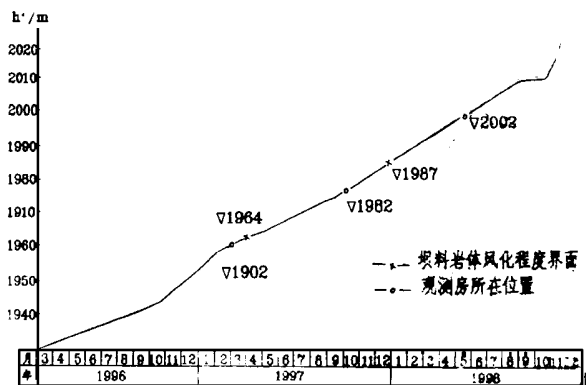


图2 坝体填筑高程 $h \sim t$ 时间关系曲线图

5 滑动平均分析法原理及其应用

滑动平均分析法就是用定长线段在时间轴方向上逐点滑动,每次对落在定长线段内各观测点所对应的观测值,用一个多项式曲线来拟合,以求出各观测点处趋势值。一般用定长线段中点所在趋势值,作为线段范围内的趋势值,对趋势值拟合一条直线,就可以预测趋势的变化。

在坝料工程特征参数中,对炸药单耗和填筑密度关系,由于资料齐备,具备时间上的可追溯性。因此,可用滑动平均分析法,对其变化趋势进行分析。不同时间对应不同风化程度坝料的开采与填筑,据此,风化岩坝料的工程特性也可进行分析。下面对滑动平均分析法应用步骤及方法进行介绍。

5.1 数据修匀

根据需要将时间周期取5个月,用下式进行修匀。

$$\hat{y}_{-2} = 1/10(69y_{-2} + 4y_{-1} - 6y_0 + 4y_1 - y_2)$$

$$\hat{y}_{-1} = 1/35(2y_{-2} + 27y_{-1} + 12y_0 - 8y_1 + 2y_2)$$

$$\hat{y}_0 = 1/35(-3y_{-2} + 12y_{-1} + 17y_0 + 12y_1 - 3y_2)$$

$$\hat{y}_1 = 1/35(2y_{t-2} - 8y_{t-1} + 12y_0 + 27y_0 + 2y_2)$$

$$\hat{y}_2 = 1/70(-y_{t-2} + 4y_{t-1} - 6y_0 + 4y_1 + 69y_2)$$

式中 y_i ——对应观测时间 t_i 处观测值;

\hat{y}_i ——对应观测时间 t_i 处趋势值(修匀值)。

单耗随时间 2 次修匀值见表 4。

密度随时间 4 次修匀值见表 5。

表 4 炸药单耗修匀值表

单位: kg/m^3

年	时 间 / 月												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1996					0 238 4		0 258 4		0 143 3		0 126 4		0 162 8
1997	0 219 2		0 283 9		0 201 4		0 172 8		0 297 3		0 383 9		0 423 0
1998	0 472	0 281 3	0 567 1	0 25	0 619 1	0 172 3	0 778 1	0 228 6	0 666 2	0 346 6			
		0 476 9	0 592 8		0 653		0 758 7		0 740 1				

表 5 填筑密度修匀值表

单位: t/m^3

年	时 间 / 月												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1996			2 18		2 195		2 205		2 213		2 229		2 235
1997	2 22		2 223	2 192	2 244	2 198	2 238	2 211	2 287	2 217	2 247		2 225
1998	2 228	2 214	2 25	2 241	2 248	2 235	2 242	2 264	2 246	2 28			
		2 244	2 25	2 25	2 246		2 243		2 247				

5.2 拟合趋势分布回归直线

对上述修匀值时间和趋势配一条回归直线, 炸药单耗 q 及密度 γ_d 回归直线各特征参数见表 6。

表 6 q 、 γ_d 回归直线特征参数表

	A (A)	B (B)	γ	γ_α	n	S_δ
q	0 049	0 021	0 878	0 463	30	0 102
γ_d	2 201	1.88×10^{-3}	0 730	0 449	32	0 017

注: 回归直线表达式: $q = A + Bt$; $\gamma_d = A + Bt$

表中 γ : 相关系数; γ_α : 相关系数临界值; α 显著水平, 表中取 $\alpha = 0.01$; n : 样本总数; S_δ : 剩余标准差。

所配回归直线相关系数 γ 不能作为衡量回归直线好坏的标准, 但有助于判别方程式效果。其剩余标准差 S_δ 也只是反映地质条件复杂程度。检验上述回归直线的好坏标准是实践效果而不是 S_δ 或 γ 。

5.3 坝料开采单耗、填筑密度随时间分布趋势图

炸药单耗 $q \sim t$ 时间关系见图 3。表示开采孔排距在 $8\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $8\text{m} \times 4\text{m}$ 、 $6\text{m} \times 5\text{m}$ 条件下, KQ-150 型潜孔钻, 台阶高度 $7 \sim 9\text{m}$, 集中装药条件下, 炸药单耗 q 随时间 t 的变化关系。

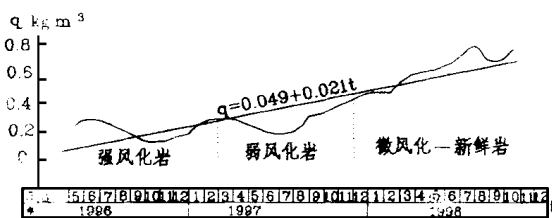


图 3 炸药单耗 $q \sim t$ 时间趋势图

密度 $\gamma_d \sim t$ 时间关系见图 4, 表示在 16t 平碾碾压遍数为 8 遍, 洒水量为 $3\% \sim 4\%$ 条件下密度 γ_d 随时间 t 变化关系。

5.4 曲线拟合优度评价

评价拟合曲线优度主要从其实际效果来检验, 通过对风化岩坝料的工程特性分析, 拟合曲线能够

反映物理量内在规律性。

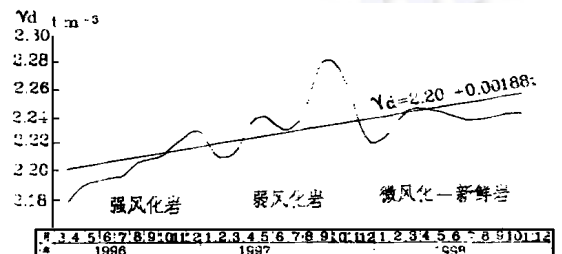


图 4 坝体填筑密度 $\gamma_d \sim t$ 时间趋势图

首先, 可以从开采过程揭露情况来分析: 1996 年 12 月至 1997 年 4 月间料场新揭示了 F_{10} 大断层, 断层及其影响带处开采料只能作为利用料使用。而在此期间开采过程中, 总体坝料开采单耗却仍有增高的趋势, 因此, 开采出的坝料级配不良, 填筑密度偏低。同样的原因, 在 1997 年 10 月至 1998 年 3 月间料场开采过程中, 出现大面积风化夹层和囊状风化带而引起密度偏低。

在坝料开采过程中, 单耗在初期偏高, 因为在开采中, 将大部分不能用作主堆石坝料的材料, 直接用大功率推土机推运走, 留下强度较高的岩体后, 再进行爆破开采。在 1997 年底, 发现料场爆破用炸药单耗有增大的现象, 原因是坝料开采至微风化~新鲜岩石部位按常规装药爆破后大块率和残埂率增高, 同时, 坝料级配不良, 填筑密度比趋势值偏低。

上述分析表明: 趋势预测与实际情况相吻合。在施工生产中, 某些工程技术指标带有很大的人为性、经验性, 当人为经验或其它因素阻碍规律性表现时, 到一定程度必须通过调整使其适应。趋势回归分析的目的在于揭示其规律性。通过工程实践检验表明: 上述拟合趋势能反映风化岩坝料的实际工程特性, 趋势分析是可行的。

6 风化岩坝料的工程特性

6.1 开采单耗与填筑密度

由坝料开采及填筑高程时间关系对应料场风化程度的高程分布, 结合趋势分析的结果, 分析出不同风化程度岩体在开采及填筑条件下的单耗及密度变化范围及平均值, 见表 7。

表 7 不同风化程度岩石炸药单耗及填筑密度趋势值表

类别	f	$q / \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$		$\gamma_s / \text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	
		变化范围	平均值	变化范围	平均值
强风化	6~8	0.07~0.30	0.185	2.203~2.224	2.214
弱风化	8~10	0.30~0.49	0.395	2.224~2.240	2.232
微风化~新鲜岩	>10	0.49~0.72	0.605	2.240~2.261	2.251

结合趋势分析的结果可知, 开采弱风化岩最经济。因为炸药单耗低于趋势分析结果值, 而密度大于趋势值。强风化岩与微风化岩却是单耗高于趋势值, 密度低于趋势值。

根据趋势分析结果, 由图 3、图 4 可以看出, 当炸药单耗高于趋势值时, 填筑密度总是低于趋势值, 这是大桥水库工程石料场本身的特点。即在同等开采水平条件下时, 由于料场岩体极度破碎, 一旦炸药单耗高于趋势分析值时, 即会出现级配不良, 密度偏低的现象。同样, 在同等开采水平下, 由于料场岩体极度破碎, 当炸药单耗稍低于趋势分析值时, 其级配较优, 密度就偏高。

出现上述结果是料场本身特性及开采水平等因素综合作用的结果, 拟合曲线的起伏即反映上述因素影响程度。当单耗偏低时, 料场岩性变软, 级配变

好, 密度变大; 当单耗变大时, 料场岩体强度增高, 爆后级配变差, 密度偏低。

6.2 风化岩坝料的沉降特性

结合坝体, 料场开采时间高程分布关系图可知坝体在 $\nabla 1962 \text{ m}$ 、 $\nabla 1982 \text{ m}$ 、 $\nabla 2002 \text{ m}$ 三座观测房处, 正好位于坝料风化程度分界处。 $\nabla 1962 \text{ m}$ 以下为强风化岩坝料, $\nabla 1962 \sim \nabla 1985 \text{ m}$ 间为弱风化岩坝料, $\nabla 1985 \sim \nabla 2024 \text{ m}$ 为微风化~新鲜岩坝料。三种不同风化程度坝料的沉降随时间关系曲线见图 5。

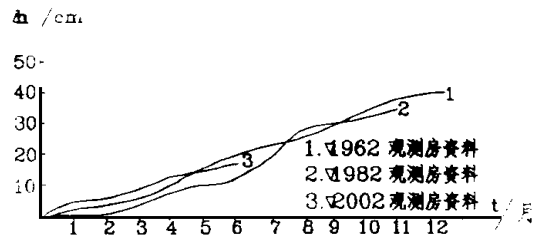


图 5 风化岩坝料施工期沉降 $\Delta h \sim t$ 时间关系图

注: 初期沉降值将时间均统一到原点是便于资料分析对照。

由图 5 可知: 初期沉降微风化~新鲜岩坝料最大, 强风化岩坝料次之, 弱风化岩坝料最小。因此, 弱风化岩坝料沉降特性最优。

6.3 风化岩坝料的级配特征

根据坝料的 30 余组筛分资料分析表明, 各种风化强度坝料级配特征与岩体结构特征相关, 其典型级配见表 8。

从不均匀系数数值判断: 弱风化岩坝料级配最好, 强风化次之, 微风化~新鲜岩最差。坝料的级配特征是岩体裂隙结构特征与爆破作用影响的结果。

表 8 风化岩坝料典型级配特征表

坝料类别	粒 径 范 围 /mm										备注	
	> 200	200~160	160~120	120~100	100~80	80~60	60~40	40~20	20~10	10~5		< 5
强风化岩	10 963	9 836	10 348	4 647	4 213	8 389	13 077	15 739	4 543	9 154	9 091	1996-05-15 取样 $c_u = 14.81$
弱风化岩	25 250	7 405	8 705	6 206	7 642	9 115	10 246	10 481	2 721	4 486	7 743	1997-02-27 取样 $c_u = 17.5$
微风化~新鲜岩	25 126	14 161	11 551	11 472	8 669	6 561	6 178	8 304	3 256	2 301	2 421	1998-06-27 取样 $c_u = 6.62$

6.4 堆石料渗透特征

堆石料典型渗透值见表 9。由表 9 可见, 各种坝料均满足自由排水要求, 强风化岩 k 值最小, 弱风化岩次之, 微风化~新鲜岩最大。不同坝料的渗透特征值与其孔隙率相关。孔隙率愈大, k 值越大。

表 9 风化岩坝料典型渗透值汇总表

取样时间	$k / 10^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	坝料风化特征
1996-10	1.8	强风化岩
1997-08	2.76	弱风化岩
1998-12	5.45	微风化~新鲜岩

7 结 论

上述分析不仅论证了风化岩坝料的工程特征,

阐述了风化岩坝料工程特性趋势分析的可行性, 而且可得出如下结论: 在大桥水库工程区工程地质条件与施工条件下, 经综合分析表明, 弱风化岩体最适宜作为堆石坝料开采, 其技术指标最优, 经济效益最佳, 强风化岩次之。因此, 在该工程区弱风化和强风化岩体为最适宜开采坝料料源。

作者简介:

田中涛(1970年-), 男, 四川剑阁人, 中国水利水电第五工程局三分局冕桥水库项目部副总工, 工程部部长, 工程师, 从事水利水电工程施工技术及管理工作;
王森荣(1969年-), 男, 四川青川人, 中国水利水电第五工程局三分局冕桥水库项目部质安部副部长, 工程师, 从事水利水电工程质检及试验工作