

对龙滩碾压砼大坝断面设计的建议

Proposition for Section Design of Rolled Concrete Dam of Longtan Hydropower Project

吴胜光

Wu Shengguang

(广西龙滩水电站工程建设公司(筹) 南宁市民主路6号 530023)

(Guangxi Longtan Hydroelectric Project Construction

Corporation, 6 Minzhu Road, Nanning, Guangxi, 530023)

摘要 对龙滩电站碾压砼坝的断面设计计算,提出:建基面的抗滑稳定与碾压砼层间稳定不同;龙滩碾压砼的胶凝材料用量按不同高程上、中、下三个层次进行碾压砼级配选择,上部水泥60 kg/m³,粉煤灰90 kg/m³;中部水泥用量65 kg/m³,粉煤灰100 kg/m³;底部水泥用量75 kg/m³,粉煤灰105 kg/m³。碾压砼的层间抗剪强度指标上部 f' 为1.1, c' 为0.8 MPa;中部 f' 为1.1, c' 为1.0 MPa;底部 f' 为1.1, c' 为1.3 MPa。碾压砼的层间稳定计算,采用不同安全系数计算式,即 $P = \frac{f'W}{K_f} + \frac{c'B}{K_c}$ 基本组合; K_f 采用2.0; K_c 采用10;坝的宽高比在0.75~0.8之间较为理想。

关键词 龙滩水电站 碾压混凝土坝 断面 设计 建议

Abstract By the calculation of design of rolled concrete dam of Longtan hydropower project, proposition is put forward as follows; Stability against sliding between rock foundation and dam interface are different from that of rolled concrete lifts interfaces. The proportion of cementitious material contents of the rolled concrete should be different on different levels of the dam. The contents of cement and fly ash in upper level are 60 kg/m³ and 90 kg/m³ respectively, 65 kg/m³ and 100 kg/m³ respectively in middle level, and 75 kg/m³ and 105 kg/m³ respectively in low level. Shear strength indexes of the rolled concrete lifts interfaces are adopted as follows; In upper level, f' is 1.1 and c' is 0.8 MPa; In middle level, f' is 1.1 and c' is 1.0 MPa; In low level, f' is 1.1 and c' is 1.3 MPa. The calculation of stability of the rolled concrete lifts interfaces are conducted by A equation which contains different safety factors. The equation is $p = \frac{f'W}{K_f} + \frac{c'B}{K_c}$, where K_f is 2.0, K_c is 10. The width/height ratio of the dam from 0.75 to 0.80 is quite ideal.

Key words Longtan hydropower project, rolled concrete dam, section, design, proposal

龙滩水电站,规模大,多年平均流量1640 m³/s,年径流量517亿 m³,按正常水位400 m 高程设计,初期按375 m 高程建设。设计最大坝高216.5 m,库容272.7亿 m³,装机容量为(9×60) 540万 kW。

电站拦河大坝,采用碾压砼重力坝,是当前世界碾压砼坝的系列中,最高与砼方量最大的重力坝,由于我国大坝设计规范中无碾压砼高坝的有关设计条款,因此,只能按常规砼设计,并加上碾压砼层面间的抗剪稳定进行核算。在基本荷载作用下,大坝应满足坝基、坝基接触面及碾压砼层面之间的抗剪断强度

安全系数 $K \geq 3.0$,层面上任何一点的垂直应力 $\sigma_n \geq 0$,任何一点的应力不超出相应部位砼的容许强度。

常态砼坝,做为本体来说,一般强度均超过设计的容许强度,除稳定应力外,基本上不考虑垂直与剪应力破坏,因此常态砼的稳定计算主要在坝基接触面或岩基本身稳定上,假如碾压砼坝的层间结合面的抗剪强度超过建基面的抗剪强度,那么碾压砼坝的设计与常态砼坝的设计计算原则上不会有什么区别,相反,温度应力则比常态砼坝要优越。

龙滩电站的地质条件较好,根据地质分析,坝址不存在岩基深部或坝基接触面的抗滑稳定,因其抗剪

指标均大于碾压砼层间抗剪指标,因此,龙滩大坝的稳定问题,主要在坝体本身,关键是在碾压砼层面抗剪上。本文主要是围绕着碾压砼层面稳定问题进行讨论。

1 碾压砼层面与坝基面之间区别

砼坝设计规范指出:当坝基内不存在导致深层滑动可能的结构软弱面时,可按坝基面抗剪断公式进行抗滑稳定安全计算;即

$$K = \frac{f' \Sigma W + c' A}{\Sigma P} \quad (1)$$

式中:

K :按坝基面抗剪断强度计算的抗滑稳定安全系数。该系数不分工程级别,基本组合 $K \geq 3$,特殊组合(1) $K \geq 2.5$,组合(2) $K \geq 2.3$;

f' :坝体砼与坝基接触面的抗剪断摩擦系数;

c' :坝体砼与坝基接触面的抗剪断的凝聚力 (t/m^2);

ΣW :作用于坝体上全部荷载对滑动平面的法向分力(包括扬压力)(t);

ΣP :作用于坝体上全部荷载对滑动平面的切向分力(t);

A :坝基与坝体接触面截面积 (m^2)

式(1)对中低坝,坝底宽 B 与坝高 H 之比偏小,对高坝,宽高比偏大,而且对 c' 利用率偏高,对 f' 值利用率偏低。如将该式应用到碾压砼层面抗滑稳定计算会有不妥,原因是碾压砼层面结合与坝基面结合存在着根本性的区别:①碾压砼是人工制作的产物,层面结合受人为因素影响大。如富胶凝材料的碾压砼层面就比贫胶凝材料碾压砼要好;施工速度快的比慢的要好;②碾压砼是属于同性材料结合,其力学指标与物理性质是一致的;③大量的现场碾压砼层间抗剪断试验表明,碾压砼层间抗剪断的 f' 值是很稳定的,而 c' 值随着施工工艺及级配不同变化较大;④层间结合面随着龄期增长, f' 及 c' 值增长较快。而①坝基是天然形成,受地质构造及风化影响,裂隙横生,千变万化,即是新鲜的岩基,也有岩层层面,结构面等将岩石切割成大小不等的块体,其中有胶结好的也有不胶结的;②岩基与坝体结合,是两种介质的结合,两者的力学特点与物理性均不一样,存在着外部温差约束;③随着岩石特性的变化,岩基与坝体接触的抗剪断强度 f' 值或 c' 值均有较大的变化。较差的岩石与砼结合, $f' = 0.7 \sim 0.9$, $c' = 0.3 \sim 0.7$ MPa;好的岩石与砼结合, $f' = 1.2 \sim 1.5$, $c' = 1.1 \sim 1.5$ MPa;④岩基接触面受渗压水的作用,易受化学侵蚀与水力学作

用。

由于岩基本体的复杂,加上岩基下部的变化无法准确估计,因此,将稳定安全系数加大是合适的。但碾压砼以及碾压砼的层面,是可以估计或检测得到的,其间的变化没有岩基接触面复杂,如套用坝基面抗滑稳定计算公式及安全系数,笔者认为偏大,同时也不能反映碾压砼层面间的特性,应该根据现场试验资料及材料分析,建立碾压砼坝的稳定计算公式。

2 碾压砼层间稳定计算及参数选择

2.1 坝的稳定计算参数及胶凝料用量的选择

碾压砼坝的稳定问题,从抗剪应力的角度来说,主要控制在层间强度,而层间强度取决于胶凝材料的贫富及施工工艺等。因此,在设计前必须进行碾压砼的配比试验及现场层间抗剪试验,求得经济、合理、安全的设计参数,并根据当地施工条件及坝的高低程度及断面型式确定施工控制指标。对碾压砼的层间抗剪稳定进行了三次现场试验(梁毓金,陈厚池,岩滩水电站围堰工程5年龄期碾压混凝土层面原位抗剪(断)试验研究报告,广西水电科学研究所,1993。)及大量的室内试验,总计 RCC(碾压混凝土)试验体 800 余 m^3 , $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 的原位抗剪试块 280 余块,室内取样 1500 余件,分 10 个工况进行试验研究。现将可能选取的级配及试验工况进行比较。

工况 I: 525 水泥用量 75 kg, 粉煤灰(田东) 105 kg, 三级配厚 30 cm, 层面不处理, 湿润, 初凝前覆盖, 间隔时间 4 h 40 min, 最高气温 $24 \sim 28 \text{ C}$, 90 d 龄期的抗剪断强度为 $\tau'_{90} = 1.2\delta + 1.69 \text{ MPa}$ 。

工况 II: 其级配与工况 I 相同, 唯施工时的气温略高, 仓面气温 $27 \sim 33 \text{ C}$, 下层砼表面温度 33 C , 入仓温度 23.6 C , 间隔时间 4~6 h, 90 d 抗剪强度 $\tau'_{90} = 1.13\delta + 1.67 \text{ MPa}$ 。同时进行了 2 块纯剪试验, c' 分别为 1.33 及 1.38 MPa;

工况 III: 其级配与工况 I 相同, 间歇 24 h 后, 铺砂浆 1.5~2.0 cm, 再覆盖砼, 90 d 抗剪强度 $\tau'_{90} = 1.3\delta + 2.4 \text{ MPa}$ 。

以上试验结果表明:当胶凝材料达 180 kg 时,层面在初凝前覆盖,层间结合是良好的。超过终凝后再铺砂浆处理,由于砂浆水泥用量较高(水泥 523 kg, 粉煤灰 59 kg),因此层面之间的抗剪强度也很高。假如施工现场的入仓温度、气温及覆盖时间均能达到试验条件下,设计指标采用: $f' = 1.1$, $c' = 1.5 \text{ MPa}$ 是合适的。但施工现场可否满足试验条件,这是有待进一步研究的问题。

另外是设想将 c' 值进一步提高,做法是把胶凝

材料从180 kg/m³, 提高到220 kg/m³ (水泥70 kg, 粉煤灰150 kg), 先后进行了80余块的现场试验, 试验结果表明, c' 值有较大提高, 但 f' 值略有减少。由于粉煤灰掺量超过65%对耐久性有一定影响。水利水电科学研究院结构材料所(惠荣炎, 甄永严, 岩滩碾压混凝土围堰混凝土芯样抗冻耐久性 & 拉伸变形, 北京: 水利水电科学研究院, 1993。)对岩滩碾压砼耐久性研究表明:

(1) 从水化28 d 和90 d 后的 X 射线衍射图分析, Ca(OH)₂特征峰随粉煤灰掺量的增加而减弱, 当粉煤灰掺至65%时, Ca(OH)₂的特征峰已接近消失。

(2) 水泥胶砂强度随着粉煤灰的掺量增加而下降。当粉煤灰掺量在45%和65%时, 强度曲线出现两

个拐点(图1), 特别是在掺粉煤灰65%的拐点以后, 强度下降明显。

(3) 当粉煤灰掺量达65%时, 碳化速度明显加快(图2)。

(4) 当粉煤灰掺量增加, 浆体中的孔容积有所增加, 孔隙中大孔径比例也越多。

由于龙滩碾压砼所使用的是田东粉煤灰和硅酸盐525水泥, 胶凝材料特性及粗细骨料与岩滩电站的碾压砼是相同的, 因此, 岩滩的耐久性试验成果是可借鉴的。笔者认为为龙滩碾压砼的粉煤灰掺量, 以不突破65%为宜。

龙滩大坝, 坝高超200 m, 建议分三个高程进行设计。碾压砼的级配及抗滑稳定计算参数也应分别对

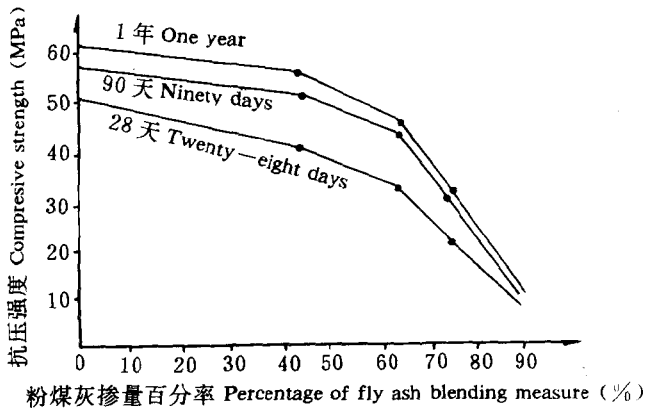


图1 粉煤灰掺量与水泥胶砂强度关系

Fig. 1 Relationship of fly ash blending measure with cement mortar strength

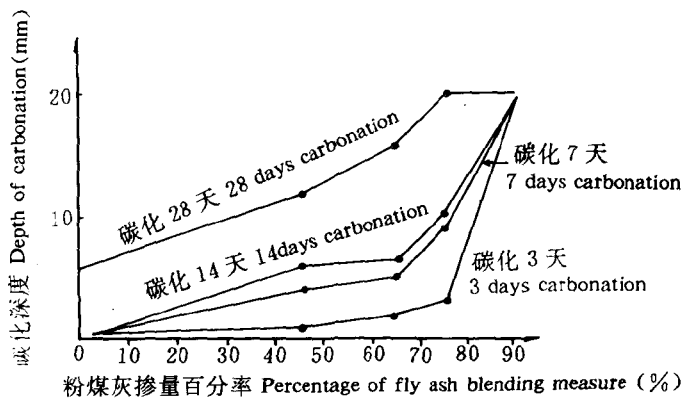


图2 粉煤灰掺量与碳化深度关系曲线

Fig. 2 Relationship of fly ash blending measure with depth of carbonation

表1 岩滩碾压砼检查孔统计表

Table 1 Statistical data of checked bores of Yantan rolled concrete.

孔号 N.	孔位 Position of bore	孔深 Depth of bore (m)	孔内 残留 芯样 (cm) C. S. R.	样孔 碾压 部分 深度 (m) D. R. P.	碾压 芯样 长度 累计 (m) A. L. R.	采 样 率 (%) S. P.	≤50cm 芯样 Core samples			51~99cm 芯样 Core samples			≥100cm 芯样 Core samples					
							个 数 N. C.	累 计 长 度 (m) A. L.	平 均 长 度 (cm) A.	占 全 孔 的 % P.	个 数 N. C.	累 计 长 度 (m) A. L.	平 均 长 度 (cm) A.	占 全 孔 的 % P.	个 数 N. C.	累 计 长 度 (m) A. L.	平 均 长 度 (cm) A.	占 全 孔 的 % P.
1	下0+9.5, 0+344	19.7	19	15.1	13.61	90.1	33	9.83	30	72.2	4	2.61	65	19.2	1	1.17	117	8.6
8	下0+9.5, 0+349	24.7	19	20.5	17.81	88.2	26	9.22	35	51.8	14	8.59	61	48.2				
6	下0+9.5, 0+364	22.3	15	19.95	19.42	97.3	18	5.72	32	29.4	12	7.61	63	39.2	5	6.1	122	31.4
9	下0+15, 0+369	47.5	30	45.3	43.35	95.7	45	15.57	35	35.9	24	15.09	63	34.8	10	12.69	127	29.3
10	下0+15, 0+389	22.1	65	19.9	17.23	86.6	31	9.98	32	57.9	10	6.11	61	35.5	1	1.32	132	7.7
14	下0+23, 0+384	22.35	31	20.35	18.49	90.8	35	11.95	34	64.5	11	6.55	60	35.4				
7	下0+9.5, 0+401	22.45	53	18.40	16.29	88.5	18	5.43	30	33.3	8	5.86	73	36.0	4	5.00	125	30.7
11	下0+15, 0+405	22.70	35	18.9	16.59	87.8	23	7.58	33	45.7	7	4.56	65	27.5	4	4.45	111	28.6
12	下0+15, 0+429	47.35	69	42.05	38.3	91.1	60	20.11	34	52.5	21	14.96	71	39.1	3	3.23	108	8.4
15	下0+23, 0+424	22.30	69	17	14.08	86.6	21	6.60	31	46.9	8	5.45	68	38.7	2	2.03	101	14.4
		273.45*	405*	237.45*	215.17*			101.99*				77.39*				35.99*		
					90.6**			47.4***				35.9***				16.7***		

N. =No. of bore; C. S. R. =Core sample-remained in the bore; D. R. P. =Depth of rolled part in the bore; A. L. R. =Accumulative length of the rolled core sample; S. P. =Sampling percentage of the core; N. C. =Nos of cores; A. L. =Accumulative length; A. =Average length; P. =Percentage to total core sample.
* 同栏数据的合计值 Total of values in same column; ** 占样孔碾压部分深度合计值的百分率 Percentage to total of D. R. P.; *** 占碾压芯样长度累计合计值的百分率 Percentage to total of A. L. R.

待,在底部(不包括砗垫层),建议胶凝材料采用180 kg/m³(水泥75 kg,粉煤灰105 kg),中部165 kg/m³(水泥65 kg,粉煤灰100 kg),上部150 kg/m³(水泥60 kg,粉煤灰90 kg),水泥用量比岩滩百米高坝多5 kg。

对抗滑稳定的计算参数,建议底层碾压砗层面抗剪计算指标为 $\tau=1.1\delta+1.3\text{MPa}$;中部为 $\tau=1.1\delta+1.0\text{MPa}$;上部为 $\tau=1.1\delta+0.8\text{MPa}$ 。

一般来说, f' 值是较易保证,而 c' 值随着施工条件、气温等变化,难以保证试验值,因此,将 c' 值适当降低,以利施工控制。

2.2 层间稳定计算

碾压砗的弱面是上下层碾压砗接触面。岩滩碾压砗坝体钻孔检查发现,在层面间被扭断的芯样占的比例较高,检查结果见表1。

芯样检查发现,绝大部分在层面接触面断开,有些是很平整的平滑面,属未胶结好的层面,也有部分在接触面留有砂浆体,有扭剪的擦痕,也有极少部分是由于骨料分离造成胶结不密实,蜂窝严重而断裂。

原苏联中亚纳伦河工程局在库尔普赛大坝基地进行大型碾压砗抗剪强度试验,并对层面胶结进行统计;在四块试件中,有两块剪切面积分别为11 500 cm²及13 100 cm²,层面未胶结面积占60%;另两块剪切面积为12 500 cm²及13 600 cm²,其层间未胶结面分别为10%~15%及0%^[1]。

原苏联布列亚河碾压砗坝层面抗剪试验综合评定:层面结合完整的占56%,不完整的占44%, f 值为1.07, c 为0.32 MPa。结雅河工程局现场抗剪试验表明,未结合面积占15.38%^[1]。

以上的试验数据,说明了RCC层间结合的不完整性。如200 m高坝,30 cm一层,那么整个坝就有666.7层,假如出现坝内连续的结合不胶结滑动面,危险性是很大的,假如在666.7层中有某一些胶结不好,则该层成为稳定控制层面,因此,如何保证施工质量,是坝体全安的主要问题,为此,我们想将这些特性反映到计算式中,使设计及施工在理论上有一些明确的概念

目前碾压砗的层间稳定计算,基本分三种形式。

2.2.1 套用坝基面抗剪断计算公式:

该式缺点是把 f' 、 c' 值的安全系数等同起来。如龙滩电站碾压砗层面抗剪断强度中, $f'=1.1$ 、 $c'=1.3\text{MPa}$,当安全系数 $K=3$ 时,坝体利用 f' 值仅 $1.1/3=0.367$,而 c' 值则达 $1.3/3=0.433\text{MPa}$;假如层面间良好的结合面只占40%,那么 c' 值的实际安全系数只达到1.2。而 f' 值,假如将层面脱离开,一般也达到1.0,现仅利用0.367,是偏低了。用式(1)

广西科学 1994年5月 第1卷第2期

计算,低坝会出现断面偏小, c' 值利用率偏高,可能会出现不稳定;而高坝,主要靠摩擦力的作用来稳定,由于 f' 值利用率偏小,坝断面偏大,坝越高,坝的宽高比越大。龙滩电站选择的碾压砗层间抗剪指标是较理想,因此,坝的断面还是较合适,但把龙滩碾压砗抗剪指标用到50 m高的坝体计算中去,则坝又显得断面偏小,在此,可粗略的对比计算一下:

龙滩电站大坝,坝高216.5 m,上游水位210 m,下游水位假定20 m,渗压折减系数0.3, $f'=1.1$ 、 $c'=1.3\text{MPa}$,不考虑泥沙、风浪压力和地震等因素,这样,可简化成图3,受力组合形式如图3所示。

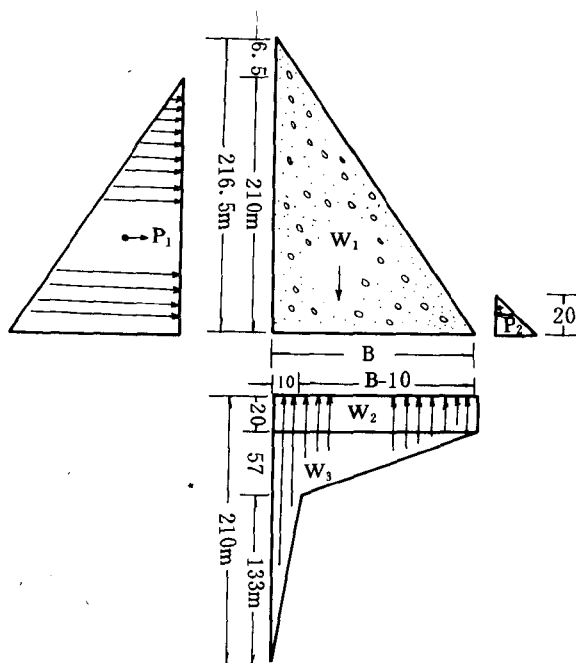


图3 Fig. 3

将受力条件套入式(1)则

$$W_1 = \frac{216.5 \times 2.4}{2} = 259.8B$$

$$W_2 = 20B$$

$$W_3 = \frac{190 \times 57}{2} \times 10 + \frac{(B-10)57}{2} = 28.5B + 950$$

$$W = W_1 - W_2 - W_3 = 211.3B + 950$$

$$P = P_1 - P_2 = \frac{210 \times 210}{2} - \frac{20 \times 20}{2} = 21850$$

$$K = \frac{f'W + c'B}{P} = \frac{1.1(211.3B + 950) + 130B}{21850} = 3$$

$$\text{坝底宽 } B = \frac{65550 - 1045}{362.43} = 180.85\text{ m}$$

$$\text{坝的宽高比 } B/H = \frac{180.86}{216.5} = 0.835$$

若坝高为50 m,则上游水位48.5 m,下游水位为5 m,渗压折减系数0.3,按式(1)计算:

$$W_1 = \frac{50B \times 2.4}{2} = 60B$$

$$W_2 = 5B$$

$$W_3 = \frac{45 \times 13.5}{2} \times 3.5 + \frac{(B - 3.5) \times 13.5}{2}$$

$$= 6.75B + 78.8$$

$$W = 48.25B + 78.8$$

$$P = \frac{48.5^{-2}}{2} - \frac{5^2}{2} = 1176.1 - 12.5$$

$$= 1163.6$$

$$K = \frac{1.1(48.25B + 78.8) + 130B}{1163.6} = 3$$

$$183.1B = 3490.8 - 86.7$$

坝底宽 $B = 18.59 \text{ m}$

坝的宽高比 $B/H = 0.372$

从对比计算看出, 216 m 高坝中, 摩擦力的作用占稳定计算中的比例为 64%, c' 占 36%, 而 50 m 高坝中, 摩擦力仅占 29%, 而 c' 值占 71%, 这对我们长期形成的概念, 即摩擦力起主导作用相违背。另外是 c' 值利用如此高, 也会感到不安全。

2.2.2 按摩擦公式计算

解放初期, 坝工的稳定计算, 基本上采用摩擦公式计算。该式的计算指标选择, 人为性很大, 科学依据不足, 如花岗岩基础, 通过室内光面摩擦试验, f 值在 0.6 左右, 而砂岩等 f 值可达 0.65 ~ 0.70。坝基岩石越坚硬 f 值反而越小, 这虽有它的规律性, 但把 f 作为稳定计算指标来运算, 尚感不妥。后来逐步地发展到通过现场抗剪断试验得出坝基面的抗剪强度及抗剪强度指标。

碾压砼层间抗滑稳定计算, 采用层间的摩擦系数作为计算依据, 这方法应该说也是一种途径。国内有些专家提出用碾压砼层面的残余抗剪强度作为设计计算依据, 安全系数可降至 1.3 ~ 2.0。1991 年 Schrader 提出: “另一种稳定计算方法, 只考虑内摩擦角, 而将安全系数降低到 1.3, 这属于堆石坝概念而摒弃常规砼概念”。“在不考虑粘结力情况下, 根据正常荷载组合计算安全系数已超过 1.3 才行。从根本上来看, 这将保证大坝不会失事, 即使有些施工层面接触不良, 或由于水泥质量问题强度降低, 仍不失为 ‘系统可靠性’ 校核”。(Schrader. 龙滩水电站碾压砼坝的咨询报告。长沙: 电力工业部中南勘察设计院, 1992.)

不考虑粘结力, 只考虑内摩擦角, 有三种情况: ①层面抗剪断的内摩擦角, 即 f' 值; ②层面抗剪断试验中的残余内摩擦角, 即 $f_{残}$ 值; ③层面抗剪断试验后, 将抗剪面清洗干净后再复位抗剪, 即 $f_{原}$ 值。

岩滩电站先后在碾压砼围堰及大坝进行 60 多块现场层面抗剪断、抗剪试验, 结果见图 4。

从图 4 中看到的点子是较分散, 但它们的规律是

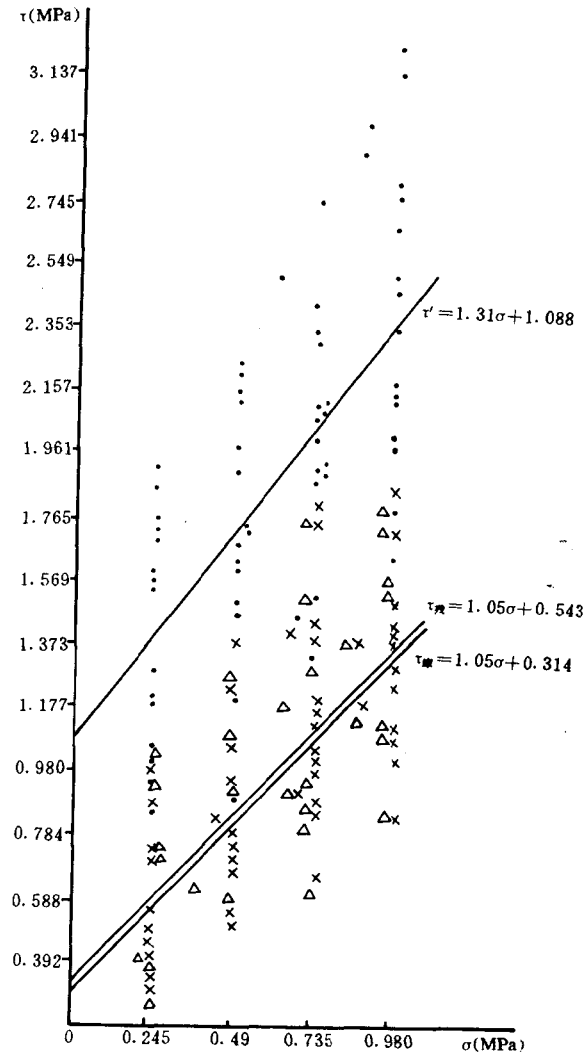


图 4 岩滩水电站围堰、大坝工程碾压混凝土层间原位抗剪(断)试验 τ - δ 关系图

Fig. 4 τ - δ relationship of in situ shear test of rolled concrete lifts interfaces on Yantan cofferdam and dam project

一致的, 对 f 值影响很少, 主要是 c 值变化较大, 若摩擦系数按 1.05 计算, 不考虑 c 值, 安全系数采用 1.3, 那么龙滩 216.5 m 大坝的断面为

$$K = \frac{fW}{P} = \frac{1.05(211.3B + 950)}{21850} = 1.3$$

$$\text{坝底宽 } B = \frac{27407}{221.87} = 123.5 \text{ m}$$

坝的宽高比 $B/H = 0.57$, 显然偏小。

将 K 值提高到 1.80 时

$$B = \frac{(21850 \times 1.80) - 997.5}{221.87} = 172.8 \text{ m}$$

$$\frac{B}{H} = \frac{172.8}{216.5} \approx 0.8$$

该式安全概念是: 假如碾压砼坝的层面全部脱开, 此时到破坏还是有 80% 安全度。另外, 当安全系

数确定后,坝的宽高比是个定值,不论是高坝或低坝,其 B/H 值,即坝坡是一致的,不会出现低坝断面特别小,高坝断面大的结果,它的缺点是将客观存在的 c' 值取消了。

2.2.3 对 f' 、 c' 值分别取安全系数的计算

根据所有的碾压砼层面抗剪断试验:不论是贫胶凝材料或富胶凝材料的碾压砼,不论是冬季或夏季等条件下施工的碾压砼,其层面之间均存在着 f' 及 c' 值,所有的层面间抗剪试验都表明摩擦系数 f' 值比较稳定,在 1.0~1.5 之间。如岩滩电站碾压砼,水泥用量在 45~55 kg/m³ 之间,层间综合的 $f_{\text{层}}$ 及 $f_{\text{面}}$ 达 1.05,抗剪断的 f' 达 1.31; 美国的柳溪坝 (Willow Creek dam),属贫胶碾压砼,水泥 47 kg/m³,粉煤灰 19 kg/m³,合计 66 kg/m³, $f'_{90} = 1.0$, $c' = 0.9$ MPa; 临江坝的层面 $f' = 1.2 \sim 1.35$, $c' = 1.6 \sim 1.7$ MPa (周建平,欧红光。龙滩碾压砼重力坝断面设计和现场碾压试验。碾压混凝土技术动态。(14)。1993. 1)。国内外的现场抗剪(断)试验表明:在无特殊质量事故的前提下, f' 值均大于 1.0,当碾压砼上下两层脱开的情况下,摩擦系数也不低于 0.90,它对坝体的安全起到保证作用。而 c' 值则不同,胶凝材料的含量、气温、施工工艺等等,对 c' 均发生直接影响,尤其 RCC 的覆盖时间与初凝关系,影响较大。岩滩碾压砼层面,在正常施工情况,凡初凝前覆盖, c' 值在 1.2~1.5 MPa,若初凝后覆盖,在湿润条件下 c' 可达 0.3~0.7 MPa,若在日照暴晒下,表面已发白的情况下覆盖, c' 仅 0.05 MPa。龙滩的试验结果, c' 值为 1.21~2.95 MPa,其中有三种工况出现 360 天的 c' 值低于 180 天的 c' 值而 f' 值略有提高。邓斯坦专家^[2] 根据芯样的试验结果,提出低胶 RCC,层面间 c' 在 0.5~1.0 MPa,RCD(日本碾压砼坝施工工艺)施工时, c' 值在 2.5~3.0 MPa,高胶条件下 c' 在 2.0~4.0 MPa。国内外钻孔资料及试验资料均表明了 c' 值变化较大,并存在局部不胶结。美国费朗西斯和麦克林等对 8 个工程 142 组试验综合统计,贫配合比的 RCC, c' 值在 0.06~3.04 MPa,富配合比的 RCC, c' 值在 1.14~4.29 MPa。这些数据说明了 c' 值的不稳定性,因此在 c' 值的应用时,安全系数要大一些。

综合以上的试验特性,提出 f' 及 c' 的两种不同安全系数计算,即 f' 值较稳定,安全系数可采用小一些,而 c' 波动较大,安全系数采用大一些的观点,笔者在 1991 年北京碾压混凝土筑坝 (RCCD) 国际学术讨论会上提出 $K_f = 1.5 \sim 2.0$, $K_c = 5 \sim 10$ 。

龙滩电站是目前世界最高的碾压砼坝,为了可靠起见,建议 K_f 用 2.0, K_c 用 10。其计算式为

$$\frac{f'W}{K_f} + \frac{c'B}{K_c} = P \quad (2)$$

$$\frac{1.1(211.3B + 950)}{2} + \frac{130B}{10} = 22850$$

$$116.22B + 522.5 + 13B = 21850$$

$$129.22B = 21327.5$$

坝底宽 $B = 165.05$

坝的宽高比为: $\frac{B}{H} = \frac{165.05}{216.5} = 0.762$

该式的特点,是根据层间抗剪断试验资料,结合层间 f' 、 c' 的变化特性而建立,它的安全度概念是很清楚,从层面的破坏机理出发,所保留的安全度,如龙滩在破坏条件或极限应力条件下, f' 为 1.1, c' 为 1.3 MPa,而实际运行时最高利用的 f' 为 0.55, c' 为 0.13 MPa。另一个特点是对高低坝的断面比值(即 B/H)影响不大,如 50 m 高坝,按 $f' = 1.1$, $c' = 1.3$, $K_f = 2$, $K_c = 10$,代入式(2)

$$P = \frac{f'W}{2} + \frac{c'B}{10}$$

$$= \frac{1.1(48.25B + 78.8)}{2} + \frac{130B}{10} = 1163.6$$

$$B = 28.34$$

$$B/H = 0.567$$

如坝的倾复及坝基的稳定满足要求,50 m 高坝的坝坡 1:0.567,也是可以接受的。

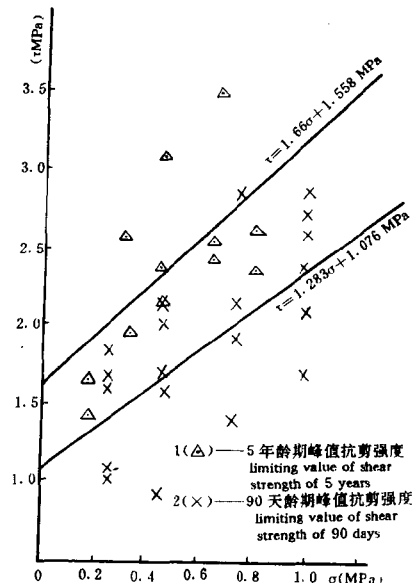


图5 岩滩围堰工程碾压混凝土层面与不同龄期原位抗剪(断)试验关系图

Fig. 5 Relationship of rolled concrete lifts interfaces with in situ shear test at different ages on Yantan cofferdam project

3 结语

根据以上的计算分析,建议龙滩电站碾压砼坝的

断面设计,采用 f' 、 c' 分别取安全系数的计算较为合理。这样,龙滩碾压砼坝的宽高比在0.75~0.8之间也较为理想。

笔者认为,采用分别取安全系数计算,坝的宽高比是安全的,现所用的龙滩层间抗剪断指标是按90天强度,到大坝蓄水,估计要3.5年时间,这段时间里,抗剪强度继续在增长,岩滩电站对碾压砼围堰进行90天龄期与5年龄期的现场抗剪断试验进行对比,发现5年龄期增长较大(图5)。

其中 f' 增加0.377, c' 增加0.482 MPa。龙滩碾压

砼的后期强度也会有所增加,我想将这些增长的抗剪强度做为安全度留给坝体,将增加我们对大坝的安全感。

参考文献

- 1 B. И. 苏达可夫等. 大体积砼水平施工缝抗剪强度性能. 电力建设(俄), 1988, 1.
- 2 王宏硕. 对RCC层面抗剪断强度及抗滑稳定问题的探讨. 北京: RCCD国际学术讨论会报告, 1991.

(责任编辑: 蒋汉明、梁积全)

傅里叶红外光谱法在生物学领域应用简介

由于生物光谱复杂,光谱信息量较少,实验系统复杂等原因,利用红外光谱(IR)在自然状态下研究生物分子或细胞体系比较困难,常规IR仪无法满足对生物样品分析需要相当高的信噪比和灵敏度的要求,也由此IR在生物领域的应用远不如在化学领域的应用。然而傅里叶变换红外光谱(FTIR)的出现,FTIR仪所具备的优点使许多生物学实验成为可能,随着FTIR和计算机技术的发展,生物学可从IR中获取大量信息。利用反射、光声等技术使IR技术的局限有了极大改善,使FTIR对生物学家有了更大吸引力。

在蛋白质吸附研究方面,用衰减全反射(ATR)等各种FTIR技术研究蛋白质的吸附,让溶液通过ATR流通池,蛋白质吸附在ATR晶体表面,测定吸附情况;谱带强度与蛋白质浓度有关,由此可得出蛋白质的百分比。在发酵过程监测方面,用FTIR/ATR流通池组成的检测闭合回路系统,可分析发酵混合物,控制发酵过程;ATR为检测器,通过IR谱变化找出底物与产物间的各种关系,采用差谱技术水为参比计算,对发酵过程分析,尽管浓度低、水溶液中有中间体干扰,但亦可获满意结果。在水膜方面,FTIR在分子水平上发展了界面研究,用ATR和外反射(ER)技术,测定反射层物理或化学表面吸附物的分子振动方式,如泡沫、乳化层、生物膜等系统的水相单分子层研究,典型单分子层FTIR/ER谱是漂浮在水面的油酸膜,这个分子层IR谱是负吸收谱带,通过谱带可鉴别烃类和羧酸单分子层,类似测试也用于生物膜、磷脂等。在生物分子组成和结构研究方面,用圆二色性(CD)和FTIR可测试脂质—肽单分子层,单肽分子层CD谱最小和交叉点在215 nm和205 nm,为 β 结构,FTIR/ATR谱也显示 β 结构,特征为 1630 cm^{-1} 、 1690 cm^{-1} 的酰胺I带。CD谱208 nm、222 nm为 α -螺旋结构特征,可指认 α -螺旋肽。IR 1280 cm^{-1} 谱带可观察肽分子层,酰胺II区谱带可指认 α 螺旋结构。水溶液中生物分子氨基酸类通过 $1570\sim 1400\text{ cm}^{-1}$ 羧基和 $1630\sim 1500\text{ cm}^{-1}$ 氨基峰的不同也可研究分子结构。在其它方面让细胞生长在ATR板上,由FTIR可获得细胞生物实验数据,可对细胞结构、细胞代谢产物进行监测与控制。用FTIR/ATR还可做全血中葡萄糖的多组分测定、人血浆中多组分临床化学检测、细胞中水的测定。

总而言之,用适当的实验设计、光谱解析和数据处理,FTIR可为生物学家提供许多有用的生物化学信息。随着科学技术的提高,FTIR对生物学的应用还会增加,尤其是生物化学多分子的光谱增加。但对生物化学多分子的光谱分析困难仍较大,在生物样品的处理与实验设计方面应予重视,可以预计不久的将来我们将会看见在生物学与FTIR光谱学两学科边缘发展起一个崭新的学科——生物FTIR光谱学。(刘布鸣,钟正贤,广西中医药研究所,南宁市古城路20号,530022)