

斐济蒙拉加堆石坝高含水量粘土心墙料及其施工方法

D. J. 肯尼迪, N. M. 奥勒尔, J. E. 麦克劳 (英)

译者前言: 堆石坝心墙填土的平均含水量高达72%, 平均密度低至 0.90 t/m^3 , 这是一组令水工工程师瞠目结舌的数据! 这就是蒙拉加……。这是一篇由(世界银行)鲁布革工程特别咨询团为配合其用风化物填筑堆石坝心墙的建议提供的参考资料, 鲁布革工程管理局曾将此文翻译(编号——译014)后在鲁管局和水电十四局技术人员中广为分发。作为建设管理单位的鲁管局, 不但十分注重在实践中学习国际的项目管理经验, 同样也注重学习先进的工程技术。结合本工程实际组织撰写、翻译并印发多篇技术资料 and 倡导对工程设计与施工提出改进意见就是学习和实践的重要方式。特别是在特咨团富有新意的咨询活动影响下, 人们眼界大开, 在鲁布革逐渐形成了一种或许可称之为“潮流”的求新务实、独立思考、交流活跃的技术氛围, 钻研工程技术和提出合理化建议蔚然成风, 仅在鲁管局范围内就曾以个人单项奖的形式分四批对34项合理化建议进行了表彰和物质奖励, 其中属于工程技术的占29项, 属于管理的占5项。获奖者中不乏青年技术人员, 如一位毕业仅两年的中专生就提出了巧妙利用新开通道在导流洞过水条件下提早开挖堵头键槽的建议。该建议采纳后, 为左岸导流洞下闸(1988年9月20日)到右岸导流(泄洪)洞下闸蓄水(1988年11月15日)这短短的不到两个月时间内按时建成混凝土堵头争取了宝贵的工期。这股“潮流”既促进了本工程的建设, 又培育了人们勤于钻研, 善于独立思考的精神, 激发了人的创新潜能, 从而促进了鲁管局群体技术素质的提升。蒙拉加心墙填土的平均含水量高达72%, 平均密度又低至 0.9 t/m^3 , 在年降雨量最高达到

3700 mm, 最小月降雨量也有110 mm的条件下实现了心墙全年施工。以一般工程经验衡量, 这是一组可令水工工程师瞠目结舌的数据, 是对传统技术的一次突破, 对相似工程(如鲁布革)有重要的借鉴意义。从另一方面看, 我以为这篇文章所传递的绝非仅仅是一些令人耳目一新的纯技术信息。如果透过这些数据向更深的层面上去发掘——思考, 就会体验到此文所体现的敢于创新的勇气和科学精神也许是更为闪亮也更具有普遍意义的人文精神信息。用长远的、全面的观点评价, 在注重具体工程技术的同时, 后者是绝对不应被忽视的, 这也是总揽全局者应有的眼光。现将译文重新校订后提供交流, 其目的是希望通过蒙拉加这极不平常的工程实例能引发人们对技术创新的兴趣和激情, 同时也是为译者撰写的《云南两座高土坝防渗料的技术突破回顾与思考》提供有力的印证。原译文的“译后记”主要是译者关于土料设计原则的论述, 在此从略。

1 前言

蒙拉加(MONAJAVU)心墙堆石坝位于斐济的本岛-维提(VITI)岛的蒙拉加瀑布处, 坝高85 m, 用含水量很高的、以多水高岭土为主的残积粘土作为防渗心墙料。此坝是斐济电力局建设的第一座水电站的重要组成部分, 也是这个国家自开展建设以来最大的水坝。工程于1979年开工, 预计1982年完工(特咨团提供本文时已完工——译注)。

2 地理和气候

蒙拉加坝位于维提岛中部的拉觉(NADRAU)高地, 海拔670~750 m, 朗拉克(NANUKU)河在高原边缘陡降126 m, 在坝下游形成壮观的蒙拉加瀑布。拉觉高地是横亘于潮湿的东部和干旱的西部地区之间的山脉的一部分, 虽然近期的记录表明, 在冬季的月份是较干旱的, 但潮湿地区的年降雨量变化都不甚明显。处于高地潮湿地区边缘的蒙拉加的月降雨量见图1。

3 地质条件

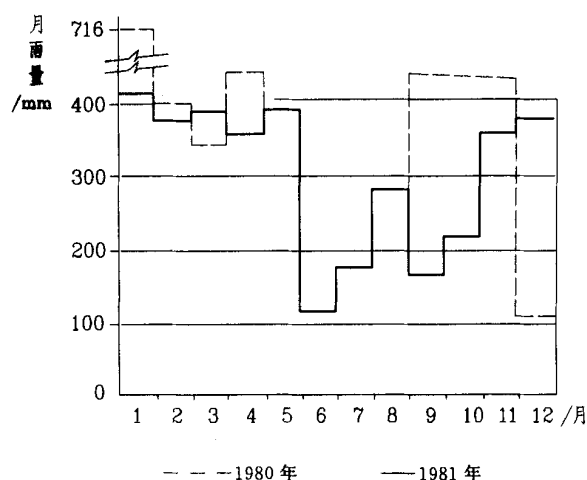


图1 分月降雨量图

坝址基岩主要是水平产状Ba组沉积岩, 其间侵入的厚层二长岩构成坝基并由此形成蒙拉加瀑布。坝轴线在瀑布上游300 m处。二长岩上覆碎屑岩, 岸坡由一组粗细不同、产状近于水平的砂岩构成, 砂岩的组成包含凝灰物质、岩石碎屑和石英颗粒。结构疏松的岩石经风化生成粘土。

坝址的热带气候条件形成的风化层深度为 3~25 m，此深度随着地面高程增高而加深，风化层在剖面上可分为 3 个区域，各区风化料性状见表 1。

表 1 风化料性状表

土层	性 状 描 述
R _V	质软，棕红色粉砂质粘土（残积粘土，结构无扰动痕迹）
R _{IV}	硬至坚硬，橙红~棕色，含砾的粉砂质粘土，不同粒径岩石碎块呈带状和小片分布。全风化岩，开挖面上可见残留结构痕迹。本层用作心墙料
R _{III}	带状，不同硬度的粘土质胶结的砂岩

4 坝型和轮廓设计

由于有丰富的优质石料和风化料，采用土石坝方案是很经济的。混凝土面板堆石坝方案因担心其不均匀沉降和不能确定坝址的地震烈度而未被采用。风化料有可能用来作心墙料，但其天然含水量远高于最优含水量，通过仔细的比较和现场试验，初步选定了具有大厚度、微倾斜心墙的堆石坝。

5 心墙料的选择和论证

在可能的心墙料源区进行的大规模开采试验表明，风化料是连续分布并有适于机械开采的厚度，且 R_{IV}含水量小于 R_V，故选用 R_{IV}作论证试验。开挖时，R_{IV}呈块状，其多水高岭土颗粒的组成与沙苏马（SA SUMAU）坝相似，但其天然含水量高于普氏最优含水量 20% 以上，预料经干燥处理后有可能会影响和改变土料性状。因此，仅仅进行颗粒分析试验是不能满足对这种材料作全面了解要求的。试验成果汇总于表 2。

表 2 试验成果汇总表

试验项目	< 75 μ m 含量 /%	含水量 /%	液限 /%	塑性指数	密度 /t·m ⁻³	抗压强度 /kPa
范围	89~94	64~77	99~104	43~620	88~0	9428~51
平均值	92	72	101	52	0.90	34

为了解这种高塑性和高含水量粘土的施工性能，进行了多种设备和方法的含水量处理和碾压试验，以观察这种土料对不同铺土和压实方法的适应性。潮湿的气候使得把土料含水量降低至最优含水量的试验无法进行，因而很快认识到必须用天然含

水量的土料来填筑。在毛毛雨和潮湿地面条件下，在大型开采试验场上填筑了一座试验坝，证明了用低接触压力的 D6 型推土机能成功地从陡峭的开挖面上取土、铺土和压实，推土机在较薄的 R_{IV}土层上并没有过深陷入填土。这种工艺能使成块的风化料破碎并使 R_{IV}部分地重塑为均匀填土。因此，填土是含有不连续的小块岩质结核（最大块径 100 mm）的软质土体。尽管填土有一些值得注意的问题，但试验证明了用此种土料填筑心墙在实际中运用是可能的。其后的一次用较干的土料进行的试验，用通常施工所用的汽胎碾也能在填土上开行。通过试验，证实了用 R_{IV}土料填筑“湿的”心墙其结果是令人满意的。在后来的实际施工中，从心墙上取出未扰动填土试样进行渗透、抗剪强度和固结系数测定。

6 最终的心墙设计和坝剖面

尽管心墙填土初始的抗剪强度近于 0，但只要坝壳断面填筑适当，使坝壳能有效约束心墙，则心墙在施工期的稳定性是可以保证的。在填土上升速率高的情况下，由于填土的高压缩性和低透水性，意味着在施工期将发生较高的孔隙压力并持续到坝完工之后。因此，在核算运行期坝的稳定性时，必须计入孔隙压力。

仔细研究了心墙出现拱效应和水力劈裂的可能性，包括有限元应力分析，采用了比习惯厚度更厚的心墙厚度。考虑到符合要求的土料料源丰富和心墙施工困难等因素，心墙厚度不宜太小；同时，为使心墙下部在最不利荷载组合情况下都能保持压应力从而防止水力劈裂，也要求心墙有足够的厚度。岸坡突变之处用混凝土补平顺，以限制突变岸坡造成的拉应力导致心墙开裂。心墙下游面的反滤层包括碎、砾石和砂粒，其粒径小于 75 μ m 颗粒含量不小于 3%，以防止更细的心墙料遭受渗透破坏。设置上游反滤层的目的之一是淤填心墙上可能出现的裂缝。坝剖面示意图见图 2。

在心墙内安装了渗压计、水管式沉降计和三向土

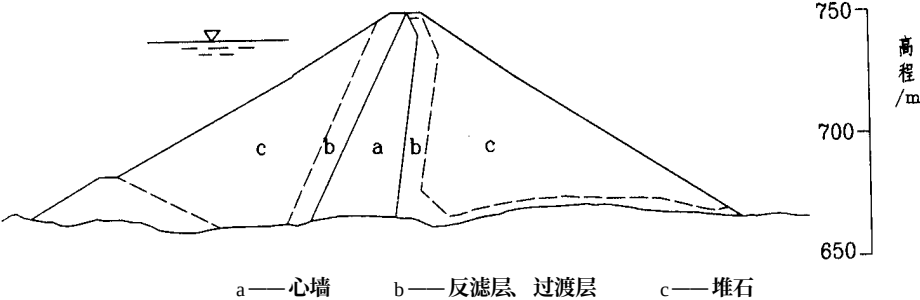


图 2 坝横剖面示意图

压力计,以测定心墙的孔隙压力、沉降和三向土压力。由于软的心墙受较大密度的坝壳料挤压,因而把测压管安装在心墙和反滤层之间的界面上是适宜的,沉降管安装在地基以上10 m处,5个月的填筑高度为17.5 m,测得相应的沉降值为476 mm、483 mm和284 mm,心墙底部的起始孔隙压力系数约为0.67。

7 最初和修改后的心墙施工控制办法

以往工程常用的心墙施工控制指标包括:最小无侧限抗压强度、干容重、孔隙率、小于75 μm 颗粒含量和液限等,还包括施工方法要点、铺土厚度和所用施工设备型号。早期的施工实践证明,上述的控制办法是行不通的,需要作根本的改变。代之以全过程的施工工艺控制办法,以获得最密实的、最干的、质量均匀的不透水心墙为目的。较干的土料可用汽胎碾压实,填土太软时用轻型碾压实,即使是最软的填土也可以用接触压力小的D6型推土机压实。当铺土厚度为167 mm时,按要求的遍数碾压,填土表面没有发现肉眼可见的破坏。要求在压实过程中及时排除表面积水。在填筑过程中,应分项记录各有关项目和无侧限抗压强度资料。

8 心墙施工方法

心墙施工开始于1980年9月,即全年中最潮湿季节开始之时。最初的方法是由现场道路施工经验发展而来,并由上游围堰(亦即试验坝)的施工经验所补充。初期的施工经历和变化情况已经作过说明,以下是实际采用的施工方法描述。

8.1 取土场的位置和开采技术

取土场应选在能供给含水量最低的R_{IV}土料区域,以便于铺土和压实并形成均匀的不透水心墙。位于右岸的大片地区能取得适合填筑的土料,并能同永久工程开挖相结合,雨后排水快,即使下雨之后也能很快取得“干土料”。R_{IV}土层下是风化程度较浅的岩石,便于装载和运输。最初,采用高掌子面取土,使降雨下渗和进入取土坑的地面水量减至最小,但高掌子面增大了塌坡的危险和塌滑的土料在降雨后大量吸水而造成的土料损失,使这种开采方法变得不实用。

为解决上述问题,采取的办法是用推土机在粘土层方向竖切1:4的斜坡上顺坡平采,这样做既能很快排除降水,而且也改变了R_{IV}土料的均匀性,即推土机能附带破碎较硬的岩块并使粗细料相互掺混成为级配均匀的土料。斜坡采料面在天晴后的短时间内即能疏干,从而保证了适用土料的来源。这样施工的方法目前已被广泛采用。采料斜坡至装载机装料处距离可达50 m,但在R_{IV}土层厚度大的地段则少于50

m,装料用斗容4~6 m³的前卸式装载机配合后卸式载重卡车运料。

8.2 卸料和铺土

在蒙拉加,适宜粘土料填筑的较好天气的时间只有在较多降雨的间歇中的少数日子,计划的粘土全年工作天数是107 d,但这一估计是以阵雨为唯一因素。由于其它原因,粘土料的工作天数会进一步减少。

土料用20 t后卸式卡车上坝。由于心墙填土太软,20 t卡车不宜直接在填土上开行。为防止已压实填土遭受过压破坏和污染反滤层,采用钢框架和木板组合的垫板铺在反滤层和心墙面上,卡车倒退开行卸料。也允许推土机在垫板上开行,平土作业使用两台低接触压力的D6-LGD型推土机进行,铺土厚度一般为100 mm,推土机平土时也自然地进行了压实。一般的做法是:先从料堆作交叉推土,然后顺心墙轴线整平。与此相似的方法曾用来处理很湿的火成岩的粉状风化石料(Kuno et al, 1978)。

8.3 碾压

碾压的目的是使心墙填土尽可能密实,压实效果取决于填土的含水量。碾压设备包括两台主要用于平土的D6-LGP推土机和另外两台LGP。在100 mm厚的新铺松土层上,推土机履带板上有高度约为100 mm的V形齿,因而能有效地破碎或挤压风化岩块,使之与粘土形成一体。碾压时,推土机的履带板陷入填土(见图3。因照片模糊,略)并低于相邻土表面100~150 mm(原文如此——译注),压实土中仍有一些块径100 mm的未破碎岩块被重塑粘土包裹成不连续的结核。碾压至少6遍。但当风化岩块被充分压碎和填土成为被充分搓揉的“泥料”时,应停止碾压。碾压时,填土会出现轻微的颤动,在推土机经过之后,颤动也就减弱了。

对于“最干”的土料,使用牵引式汽胎碾(PTR)进行平土的推土机压实后的补压,也常用来压实与岸坡的接头。当土料较湿时,PTR轮胎前会出现涌土和弹簧现象,并在填土上留下垂直的裂痕,在这种情况下,用推土机碾压能取得较好效果,在填土上不会出现裂痕。但是,在这种塑性的填土上仍然会留下履带边缘剪切的痕迹。用PTR碾压有较高含水量的土料会留下很深的辙印并导致填土“泥沼化”。

8.4 防雨

在频繁而突然的降雨到来之前,要预先遮盖心墙,以便雨后能及时恢复填筑。白天,可以看到降雨临近,还可以在降雨前1.5 h通过无线电得到报警,因而有足够的时间遮盖心墙。取土场在降雨之前就停

止取土,避免松土浸水饱和,直到降雨的危险已经过去才继续装料。在夜间和雾天,含水量更难控制。所以,只有在晴天才安排进行夜间施工。

最好的防护方法是降雨前进行遮盖或是在每个填筑循环结束时用推土机顺坝轴线碾压,使填土表面保持10%的倾向上游的斜面。虽然履带形成的V形小槽会积水,但由于填土表面密实,因而只有少量的雨水渗入,雨后可用人工排除,有时也采用轻型苫布遮盖的方法。

9 心墙施工的质量控制和试验

质量控制是对填土作直观的检查,包括挖坑和挖槽察看填土结构是否良好。为取得记录资料,进行了常规试验,后者包括填土含水量、阿太堡限度(液限

——译注)、小于75 μm 颗粒含量、比重、密度和无侧限抗压强度等项目。所有的含水量测定均用烘箱烘烤,其数值比风干测得的大13%。用水分析法做细料颗粒分析时使用了分散剂。密度试件直径为100 mm,强度试件直径为38 mm,试验发现其强度值与密度或含水量并不相关,这一异常现象也许是由于填土中有风化岩块结核所致。比重值在大范围内变化反映了测得的孔隙率是不甚可靠的。表2汇总了代表方量为58 000 m³,高度为23 m(占总高的32%)的填土总体的检查试验成果。试验日期为1980年10月至1981年3月。

图3 a表示迄今为止的心墙填土密度直方图,图3 b表示无侧限抗压强度直方图。

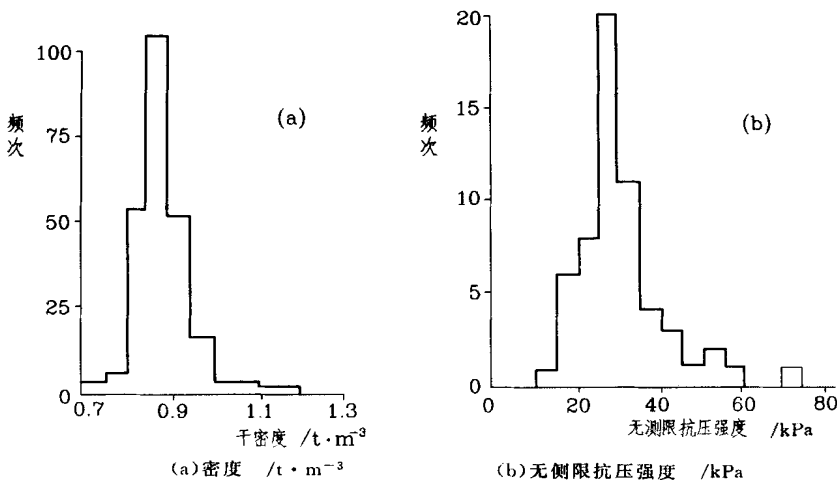


图3 心墙有关数据直方图

16组未扰动填土试件取自1980年10月至1981年2月间填高23 m的心墙,试件直径100 mm,通过常规试验成果验证设计参数取值和了解填土状态。三轴固结排水剪试验得出微弯曲的摩尔-库伦应力包线, $\varphi^L = 30^\circ$; $C' = 15$ kPa, 塑流应变为10%~20%。不排水快剪常有大的应变值。压缩系

数一般范围在0.2~0.10 m²/MN,相应试验压力为100~1 600 kPa。压缩试验表明,由于碾压形成的“予固结”为150~200 kPa。填土渗透系数为1×10⁻⁸ cm/s。

翻译: 侯 皓
校核: 杨子文

四川省可再生能源MMS政策试点研讨会在蓉召开

2004年元月12日,由四川省发展与计划委员会和美国能源基金会共同主持在成都召开了“四川省可再生能源MMS政策试点研讨会”。省发计委梁武湖副处长主持会议,他首先介绍了到会的专家与代表以及会议的议程并感谢到会的全体代表。省发计委李亚平副主任在百忙中出席了会议并做了重要的讲话。梁武湖副处长介绍了四川省开展的有关可再生能源和风电等的具体情况。项目资助单位——美国能源基金会王万兴博士在会上介绍了该基金会的情况以及在国内开展的工作,强调了可再生能源应用的重要性和此次研讨会的目的,对课题组提出的建议和意见进行补充和完善。国家发改委能源研究所任东明博士在会上详细介绍了国家MMS政策的研究进展情况和正在开展的有关工作;国家可再生能源立法的进展情况以及中国政府和世界银行全球环境基金合作的进展情况,介绍了CRESP的计划情况,并对所研讨的MMS项目提出了几点具体的意见和建议。中国西部开发研究院副院长、四川大学教授、博士生导师马光文在会上详细介绍了该项目的研究成果,对四川省可再生能源资源及开发利用现状、特点和课题研究对象、四川加快发展可再生能源及MMS政策的必要性、可行性进行了阐述,并介绍了研究所取得的结论,提请与会专家进行研讨。项目负责人——省计委李亚平副主任在会上就四川省可再生能源发展取得的最新成果以及所具有的优势进行了进一步的阐述,并对项目阶段成果提出了具体的意见。省经贸委刘敏副处长、省计委能源处李国栋处长、四川省电力设计院闫廷满、沼气所李克能所长、颜丽总工、省地电局副局长卢平、四川省电力公司计划发展部总经理冯凯、省地电局宋超总工、省计委能源处吴建中副处长等先后在会上发言,提出了许多很好的、切合实际的意见和建议,为项目下一步工作的深入开展提供了依据。梁武湖副处长在会议最后进行了总结,强调了四川省可再生能源政策试点研究的重要性和必要性,表示了省政府对四川省可再生能源发展的重视,并代表课题组表达了汲取与会专家、领导提出的有益的意见和建议的态度,与时俱进,搞好项目下一步的目标和规划,借鉴成功的经验,制定出符合实际的政策和可供实施的方案。通过研讨,大家达成了共识,会议在完成了预定的议程后,圆满结束。