

红层地区软弱夹层地质问题研究

曾 锋, 彭 静

(水利部长江勘测技术研究所, 湖北 武汉 430011)

摘要:为了研究软弱夹层对水电工程的影响程度及其工程性质,结合嘉陵江亭子口水利枢纽及德阳市华强沟水库的工程实例,分析了白垩系下统泥质粉砂岩与黏土岩、夹砂岩及砾岩的软硬相间红层地层软弱夹层的成因类型与形成机理、物质组成与结构特征及物理力学性质。结果表明:软弱地层强度与黏土矿物颗粒组成、矿物成分、活动性及颗粒比表面积有关;上下岩层接触面的起伏度和粗糙度对强度影响明显;抗剪强度随充填物厚度增加而降低。

关键词:软弱夹层;形成机理;结构特征;物理力学性质;亭子口水利枢纽;华强沟水库

中图法分类号: P642 文献标志码: A

1 软弱夹层分类

根据软弱夹层对水电工程的影响程度及其工程性质,软弱夹层可分为软岩夹层、碎块夹层、碎屑夹层和泥化夹层,也可划分为破碎夹层、破碎夹泥层和泥化夹层。软岩夹层是夹在坚硬岩体中的薄层特殊岩层,其抗压强度一般小于 15 MPa,摩擦系数为 0.40~0.60,变形模量小于 2.0 GPa,在红层地区普遍存在;破碎夹层主要由 80% 以上粗颗粒组成,细颗粒成分较少;破碎夹泥层主要以细颗粒(0.2~2.0 mm)和粗颗粒(>2.0 mm)为主,黏粒含量占 10%~30%,摩擦系数为 0.30~0.45,变形模量为 0.05~0.20 GPa;泥化夹层结构松散,局部泥质团块呈定向排列,黏粒含量大于 30%,摩擦系数为 0.15~0.30,变形模量一般小于 0.05 GPa。亭子口水利枢纽破碎夹层少见,主要为以破碎夹泥层和泥化夹层为主,而华强沟水库主要以破碎夹层为主,其次为破碎夹泥层及泥化夹层,软岩夹层对华强沟水库工程影响最为明显,厚度不均,分布连续。

2 软弱夹层地质特征及形成机理

软弱夹层作为一种特殊地质结构,具有独特的构造特征,同一类地层,不同地质环境,具有各自地质特

征^[1]。亭子口水利枢纽软弱夹层地质特征较为复杂,一般在某一条软弱夹层带上,部分为破碎夹层,部分为破碎夹泥层,部分为泥化夹层,而另一条泥化夹层为部分揉皱型,部分为破碎型,说明软弱夹层在不同的环境中,后期构造改造作用不同^[2];华强沟水库软弱夹层地质特征较为简单,一般沿上下层结构面形成某一类型破碎夹层或破碎夹泥层,层间多系建造阶段形成的差异^[3]。

软弱夹层形成机理复杂,差异沉积作用改变了软弱夹层物质组成及结构特征,如葛洲坝工程,受沉积环境和层间挤压导致软弱夹层矿物成分巨变;软沉积改变了软弱夹层物质的分异和软化,如华强沟水库坝基岩体;火成岩脉体侵入与高镁含量产生热液蚀变,后期构造作用和地下水作用形成构造型和蚀变-构造型两种,特别是顺层侵入的缓倾角岩脉蚀变带更容易形成软弱夹层,如青山水库;构造活动产生多期次剪切滑动,使软弱夹层中物质泥化、叶理化并伴有揉皱,如亭子口水利枢纽。总之,软弱夹层在地应力、构造及地下水作用下,其强度随着颗粒组成而变化,在应力集中和地下水活动强烈的地段,细颗粒明显增多,强度降低。

3 软弱夹层物质组成及结构特征

软弱夹层的物质成分可通过偏光显微镜、电子显

显微镜、X 光射线衍射和差热进行分析,由于矿物含量的差异,物质组成表现不同,一般黏土矿物以蒙脱石、伊利石(水云母)及高岭土为主,粗颗粒为石英、方解石、长石和氧化铁矿物。华强沟水库的黏土矿物中伊利石及高岭土含量较高,约占总质量 60%,黏土矿物具有微膨胀性,矿物的格架活动性增加;亭子口水利枢纽伊利石普遍较高,约占 30%~40%,个别达到 48%,其余黏土矿物含量相对较低,铁的氧化物约 2%,蒙脱石约占 2%~6%。泥化夹层化学分析表明,在地下水或地下水活动区的离子交换作用很普遍,置换后,泥化夹层的物理性质和透水性产生变化,反映出矿物成分与原岩在后期改造作用明显变化;葛洲坝工程非黏土矿物为石英、长石、方解石,黏土矿物有伊利石、蒙脱石、高岭土与绿泥石,化学成分中 SiO_2 约占 54.8%, Al_2O_3 约占 22.5%, Fe_2O_3 约占 6.8%,三者之和占 84.1%。

用电子显微镜分析华强沟水库与亭子口水利枢纽软弱夹层的结构特征为:①泥化带中伊利石和绿泥石均呈较完好的片状,少数略有弯曲;②方解石碎片有较好的定向性,反映了岩石经受了一定的挤压作用;③孔隙的结构以骨架状为主,也见蜂窝状结构;④泥质物的孔隙率一般约为 30%,最大可达 45%,最小约 20%。

4 软弱夹层物理力学性质

依据软弱夹层的工程性质以及分类,不同类型的软弱夹层物理力学性质不同,华强沟水库及亭子口水利枢纽软弱夹层的物理力学性质见表 1~4。

华强沟水库坝基以软岩夹层及破碎夹层为主,据室内试验成果,HZK02 中软岩夹层天然状态下密度为 2.14 g/cm^3 ,干密度为 1.78 g/cm^3 ,吸水率为 20.5%,孔隙率为 12.5%,饱和单轴抗压强度约 0.15 MPa。HZK06 中破碎夹泥层天然重度平均值为 20.97 kN/m^3 ,干重度平均值为 16.87 kN/m^3 ,抗剪强度 c 值平均值 34.2 kPa,内摩擦角平均值 17.6° 。

表 1 华强沟水库 HZK06 钻孔破碎夹泥层物理力学性质统计

统计项目	含水率/%			比重	孔隙率/%	饱和度/%	液限/%	塑限/%	液限指数	饱和固结快剪 c/kPa	饱和固结快剪 $\phi/(\text{°})$
	天然	干	天然								
最大值	24.60	21.80	17.60	2.74	39.90	100.00	37.20	20.00	17.40	37.2	21.2
最小值	23.60	20.50	16.50	2.74	35.60	100.00	36.30	19.20	17.10	32.4	15.8
平均值	24.23	20.97	16.87	2.74	38.40	100.00	36.87	19.67	17.20	34.2	17.6

亭子口水利枢纽坝基主要为破碎夹泥层和泥化夹层,根据 PD01、PD07 平硐取样试验成果分析,泥化夹层中黏粒含量大于 30%,其中胶粒含量约占黏粒总量的 50%以上;泥化夹层的天然含水量约 30%;干密度 $1.4 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$;塑限为 17%~19%;塑性指数为 14

~23.5,物理性质试验见表 2~3。平硐 PD07 泥化夹层 J4 饱和固结快剪峰值强度 $f = 0.30$ 、 $c = 28 \text{ kPa}$,残余强度 $f = 0.27$ 、 $c = 15 \text{ kPa}$;PD01 泥化夹层 J12 饱和固结快剪峰值强度 $f = 0.27$ 、 $c = 16 \text{ kPa}$,残余强度 $f = 0.27$ 、 $c = 11 \text{ kPa}$ 。力学试验成果见表 4。

表 2 亭子口水利枢纽 PD01、PD07 平硐泥化夹层颗分试验成果

取样深度/ m	颗粒组成/%									
	砾			砂粒			粉粒		黏粒 <0.005mm	胶粒 其中 <0.002mm
	粗	中	细	粗	中	细	粗	细		
	60~20mm	20~5mm	5~2mm	2~0.5mm	0.5~0.25mm	0.25~0.075mm	0.075~0.05mm	0.05~0.005mm	mm	0.002mm
28.0	5.2	8.2	1.6	0.7	0.3	0.3	5.7	45.9	32.1	16.4
28.0				7.7	0.6	0.7	1.2	48.2	41.6	21.0
33.5		7.8	6.7	2.9	0.6	0.7	3.7	41.7	35.9	18.9
33.2		7.6	6.3	2.2	0.8	1.2	6.9	40.3	34.7	16.9

注:PD01-J12 取样深度为 28.0 m,PD07-J4 取样深度为 33.5 m 和 33.2 m。以下同。

表 3 亭子口水利枢纽 PD01、PD07 平硐泥化夹层物理试验成果

取样深度/ m	土粒比重	天然物理性指标					液限/%	塑限/%	塑性指数
		含水率/%	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$		孔隙比	饱和度/%			
			湿	干					
28.0	2.75	30.0	2.11	1.44	0.47	69	39.3	19.2	20.1
28.0	2.75	31.2	2.14	1.45	0.44	72	37.6	18.9	18.7
33.5	2.75	27.8	2.08	1.73	0.51	75	40.6	17.1	23.5
33.2	2.75	28.2	2.07	1.71	0.53	75	38.0	17.2	20.8

表 4 亭子口水利枢纽 PD01、PD07 平硐泥化夹层力学试验成果

取样深度/ m	土的压缩性		饱和固结快剪				排水反复剪			
			峰值强度		残余强度		峰值强度		残余强度	
	压缩系数/ (MPa^{-1})	压缩模量/MPa	凝聚力/kPa	内聚角/ (°)						
28.0	0.26	5.65	18	15.7	15	15.1	50	22.8	25	10.8
28.0	0.27	5.35	14	14.7	7	12.5	26	23.3	12	13.0
33.5	0.41	3.69	32	17.2	16	15.1	28	23.7	20	12.4
33.2	0.44	3.48	24	17.2	14	15.1	17	24.2	13	15.1

5 软弱夹层对主要建筑物的影响

软弱夹层对主要建筑物影响程度不同,对于土质坝影响相对较低,对于渗控稳定性要求较高的混凝土坝,软弱夹层影响坝基岩体抗滑稳定,对于围岩隧洞软岩夹层地段需加强衬砌,必要时超前支护。已查明的华强沟水库及亭子口水利枢纽坝基岩体,均存在不同程度的软弱夹层,必须加强工程处理措施,如华强沟水库库容小、水头低,坝型选择为心墙土坝;而亭子口水利枢纽库容大、水头高,坝型选择更应该慎重处理。

6 结论

通过对红层地区亭子口水利枢纽与华强沟水库软弱夹层的研究分析,3 种类型软弱夹层是由原生软岩

在不同的构造应力及地下水与风化作用下形成的,其中泥化夹层构造破坏最强烈,层间挤压严重。同时,水的化学作用及风化作用也是推动软弱夹层工程性质破坏的重要因素。综合上述分析,可以取得下述结论:

(1) 软弱夹层的强度与黏土矿物颗粒组成、矿物成分、活动性以及颗粒比表面积等因素有关,不同的矿物颗粒组成对夹层抗剪强度参数的影响程度不同。

(2) 软弱夹层与上下岩层接触面的起伏度和粗糙度对强度影响明显,泥化夹层因层间破碎夹层构造作用易形成泥化光面,破碎夹层及破碎夹泥层形成粗糙面,同一夹层平直光面的强度仅为粗糙面的 $1/3 \sim 1/4$ 。

(3) 软弱夹层抗剪强度随充填物厚度增加而降低,一般破碎夹泥层也就是碎屑夹层,碎屑含量增多,在外因作用下,局部泥化,强度较低;若碎屑剧增,泥化

后形成泥化夹层,强度极低,因此,软弱夹层抗剪强度取决于充填物性质。

(4) 软弱夹层的结构对强度的影响也较为明显,平行层理比垂直层理的摩擦系数降低约 $25\% \sim 30\%$,一般泥化夹层在构造作用、卸荷作用以及风化作用等条件下,沿层面形成网状结构,因此,泥化夹层是红层地区缓倾角岩层抗滑稳定主要地质问题。

参考文献:

- [1] 长江流域规划办公室. 岩石坝基工程地质[M]. 北京:中国水利水电出版社,1982.
- [2] 长江勘测规划设计研究院有限公司. 嘉陵江亭子口水利枢纽软弱夹层专题研究[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究院有限公司,2008.
- [3] 长江勘测规划设计研究院有限责任公司. 四川省德阳市华强沟水库可研阶段工程地质勘察报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究院有限公司,2011.

(编辑:李慧)

Study on weak intercalation in "red layer" area

ZENG Feng, PENG Jing

(Changjiang Reconnaissance Technology Research Institute, Ministry of Water Resources, Wuhan 430011, China)

Abstract: In order to study the engineering property of weak intercalation and its influence on projects, the Tingzikou Hydropower Station on the Jialing River and Huaqianggou Reservoir in Deyang City are taken as examples to analyze the types of causes and formation mechanism, composition, structural feature and physical - mechanical characteristics of soft - hard alternation intercalation of argillaceous siltstone, argillite rock, sandstone and conglomerate in lower series of Cretaceous system in "red layer" area. The results show that the strength of weak intercalation is associated with particle composition, mineral composition, activity and specific surface area; the interface waviness and roughness of upper and lower layers affect the strength obviously; the shear strength reduces with the increase of thickness of filling materials.

Key words: weak intercalation; formation mechanism; structural feature; physical - mechanical characteristics; Tingzikou Hydropower Station; Huaqianggou Reservoir

· 简讯 ·

北京中水源禹国环认证中心对长江设计院管理体系进行监督审核

2011年11月15日上午,长江勘测规划设计研究院召开2011年度管理体系外部监督审核首次会议,由北京中水源禹国环认证中心一行5人组成的专家组开始对设计院管理体系进行审核,设计院钮新强院长、杨启贵总工以及在汉副总工程师、院属各职能部门和专业单位的主要负责人参加了会议。

会上,北京中水源禹国环认证中心专家组苏玉明组长介绍了本次审核的目的、范围、准则、程序方法和审核的具体计划安排。通过审核,审核组将对设计院管理体系的适宜性、运行的有效性进行评定,并重点寻求管理体系的改进机会。

钮新强院长代表设计院对中水源禹国环认证中心专家的到来表示欢迎,他希望通过审核组的审核,发现设计院管理体

系和各项管理制度方面存在的问题,帮助设计院更好地完善管理体系,以确保管理体系的持续有效和项目生产、质量安全。钮新强院长要求全院各单位要全力配合审核组的工作,通过外部审核发现问题,寻找差距,为下一步的改进提供依据。

首次会议后,审核组同院领导、院副总工程师进行了座谈,详细了解设计院管理体系运行、项目管理、资源管理等方面的情况。

本次审核持续3天,审核组将分组对设计院的5个职能部门,12个专业单位和1个总承包现场进行审核,并在17日下午召开末次会议,通报本次审核结果。

(长江)