关州水电站堰塞沉积物工程地质特性与评价

杨绍平[1], 王子忠[2]
(1.四川水利职业技术学院,四川 崇州 611231;2.四川省水利水电勘测设计研究院,四川 成都 610072)

摘 要:堰塞沉积物是特定地质环境下形成的第四系堆积层。在水电工程实践中,常遇到深厚的堰塞沉积层。以关州水电站为例,对闸基堰塞沉积物的形成机制进行了分析,通过研究其物理特性、压缩、抗剪及承载力等工程特性参数,对其压缩变形、渗漏及地震液化等主要工程地质问题进行了评价。

关键词:堰塞沉积物;工程特性参数;工程地质问题;关州水电站
中图分类号:TV7;P64;TV221.2 **文献标识码**: B **文章编号**:1001-2184(2012)03-0071-04

崩滑堵江灾害在全球各地均有分布,其形成与该地区地壳上升及河流下切强烈、构造复杂、地震活动频繁、山高坡陡等因素密切相关。目前国内外的研究主要集中在崩滑堵江事件的分布、识别、天然堆石坝的形成和特征以及堵江事件的环境效应等方面。在水电资源开发中,经常遇到崩滑堵江形成的堰塞沉积物,笔者以四川丹巴关州水电站为例,对堰塞沉积物的工程特性以及将其作为闸坝地基的主要工程地质问题进行了研究。

1 关州水电站工程地质概况

关州水电站位于四川省丹巴县大渡河一级支流小金川河干流上。地貌上处于川西高原东部,属川西高山至高原过渡地带的侵蚀型高山峡谷地貌。大地构造上位于松潘-甘孜造山带的小金、丹巴弧形构造带的北西翼。工程场地位于川西北强隆起内部,新构造运动以第四纪大面积整体间歇性隆升为主;工程区地震基本烈度为Ⅶ度。

区内除寒武纪地层缺失外,从震旦纪至三叠纪均有出露。岩层以火山岩、海相砂泥岩、碳酸盐岩建造为主,三叠纪末期的印支运动使区内地层普遍褶皱,形成一系列浅(局部中等)变质岩系。

2 堰塞沉积物的形成

2.1 小金川河崩滑堵江事件的形成机制分析

崩滑堵江事件发生并堵断河道后,形成了天然堆石坝与水库,河流中的固体径流在天然水库中淤积,形成堰塞沉积物。关州水电站闸基堰塞沉积物的形成是坝址下游约1 km处的阿娘寨崩滑堆积体堵断小金川河后产生的。笔者对阿娘寨崩滑堵江的特点及其机制进行了分析。

测绘资料表明,该段山顶高程3 500~3 800 m,河底高程约2 100 m,相对高差达1 400~1 800 m,见图1。高陡的岸坡为岩体的变形破坏提供了临空条件。

岸坡岩石高程2 700 m以上为板岩与变质砂岩,岩石饱和抗压强度为70~80 MPa;高程2 700~2 200 m岩性以绢云母千枚岩为主,岩石饱和抗压强度为20~30 MPa。岩层产状N10°~15°W/NE∠60°~63°,倾向坡内,见图1。岸坡为上硬下软的岩性结构,构造上属于反向斜坡。此类斜坡由于下部的千枚岩软岩蠕变弯曲变形,上部板岩与变质砂岩失去支撑产生弯曲-拉裂型式的变形破坏,导致上部斜坡岩体产生倾倒型崩塌破坏,在坡脚形成崩塌堆积体,堵断河流形成了天然堆石坝。堆积体中孤石、块石成分主要为板岩与变质砂岩,与组成斜坡的上部岩性基本一致,也证实了上述分析的斜坡变形破坏机制。堆积体在后期再次沿最大剪应力潜在滑动面产生圆弧滑动,由此使得堆积体在地貌上表现为多级平台。故阿娘寨堆积体从其形成机制上为崩滑堆积体。

2.2 堰塞沉积物的形成

天然堆石坝形成后,河流的固体径流物质在坝体上游产生淤积,于河流冲洪积之砂卵砾石层上形成一定厚度的堰塞沉积物;堰塞沉积物堆积到一定厚度之后,天然堆石坝被河水溃决,河流再次通畅,在堰塞沉积物之上堆积了冲洪积之砂卵砾石层,形成了坝址区河流堆积物从下至上由河流冲洪积砂卵砾石(Q_4^{al})——堰塞沉积物

收稿日期:2012-01-11

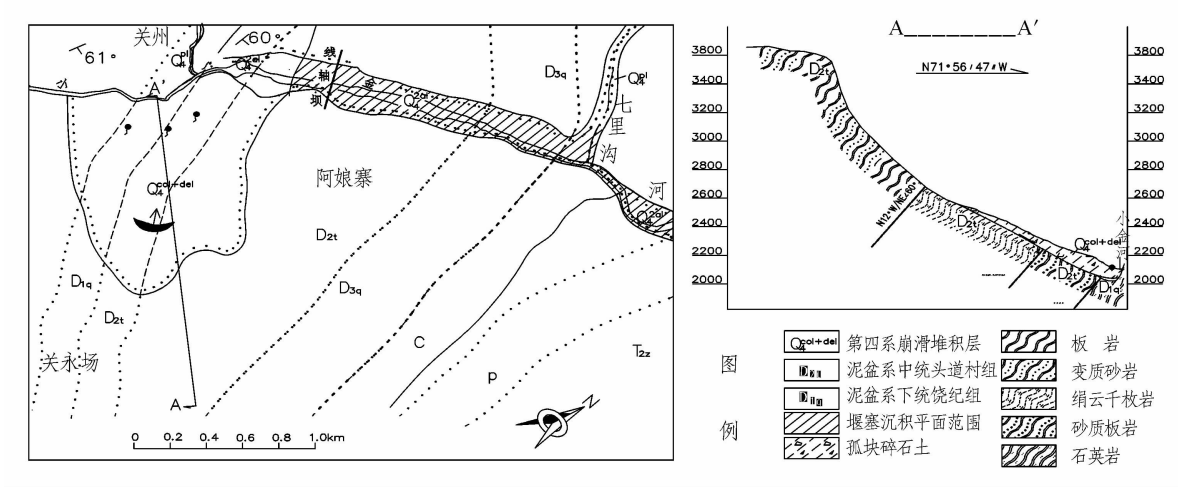

图 1　阿娘寨滑坡与堰塞沉积分布图

(Q_4^{ys})——河流冲洪积砂卵砾石(Q_4^{2al})组成的三元结构(图 2)。

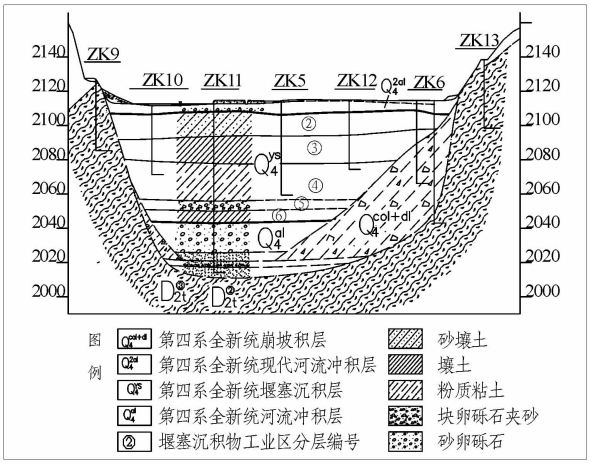

图 2　坝址区河床堰塞沉积物剖面图

3　堰塞沉积物的工程地质特性

3.1　分层特征

据岩芯鉴定,小金川河堰塞沉积物按其工程地质特征从上至下分为 5 层(图 2),各层特征见表 1。

由表 1 可知,堰塞沉积物在垂向上各层的工程地质特性差异主要表现在土壤组成颗粒级配的差异上,这种差异应与地质历史时期气候等因素引起的水动力条件变化有关。

3.2　各堰塞沉积层物理力学指标

在堰塞沉积堆积层上兴建工程建筑物,首先应对其物理力学特性进行研究。针对堰塞沉积物的分层特点,对闸坝基础持力层范围内的第②、③、④层的相应指标进行了测试,其试验成果见表 2 ~ 4。

表 1　坝址区堰塞沉积物分层特性表

层　号	土　名	特　征	厚度 /m	分布高程 /m
第②层	灰 ~ 灰黑色砂壤土	该层中含朽木块,结构松散,透水性中等	8.6 ~ 17.2	2 092 ~ 2 110
第③层	灰黑色壤土	天然状态下呈可塑状,脱水干裂,遇水崩解,手拍有析水现象,钻探中常缩径,透水性微弱	13 ~ 35	2 072 ~ 2 095
第④层	灰黑色粉质粘土	天然状态下呈可塑状,脱水干裂,遇水崩解,钻探中常缩径,透水性微弱	17.5 ~ 22	2 057 ~ 2 083
第⑤层	灰 ~ 灰黑色块卵石夹砂	该层向上游逐渐变厚,块石约占 75% ~ 80%,卵石少见,该层结构较密实,透水性较强	2.7 ~ 6	2 050 ~ 2 059
第⑥层	灰黑色壤土	该层向上游逐渐变薄,壤土层原状呈可塑状,透水性微弱	5.8 ~ 9	2 043 ~ 2 050

表 2　第②、③、④层堰塞沉积层物物理力学试验成果表

分层编号	土名	干密度 /g · cm^{-3}	天然含水量 /%	比重	自由膨胀率 /%	级配/mm 与含量/%			压缩系数 $a_{0.1\sim0.2}$ /MPa	压缩模量 /MPa	饱和固结快剪	
						>0.075	0.075 ~ 0.005	<0.005			内摩擦角/°	凝聚力 /MPa
第②层	砂壤土	1.77	15.3	2.73	9.4	75.5	17.1	7.4	0.09	24.6		
第③层	壤土	1.41	35.3	2.72	6.2	3	73.1	23.9	0.212	10.3	30.4	0.004
第④层	粉质粘土	1.28	43	2.73	4.2	1	63.7	35.3	0.2	7.7	26.9	0.013

表 3　第②层堰塞沉积层 $N63.5$ 标准贯入测试成果统计表

分层编号	土名	统计组数	最大值	最小值	平均值	修正系数	标准差	承载力标准值 f_k/kPa	压缩模量 E_s/MPa
第②层	砂壤土	33	9.9	5	6.8	0.945	1.24	173	12.2

表 4　第②、③层堰塞沉积层静力触探测试成果统计表

分层编号	土名	统计组数	比贯入阻力 /MPa			承载力标准值 f_k/kPa	压 缩模量 E_s/MPa
			最大值	最小值	平均值		
第②层	砂壤土	419	7.8	0.42	3.83	175	11.5
第③层	壤土	177	4.1	0.27	2.4	132	10.5

表 2 中的试验成果表明，堰塞沉积物各层粒度差异较大，相应各层结构差异较大，各层干密度在 1.28 ~ 1.77 g/cm^3 之间，这种较大的差异正是各层粒度及结构差异的反映。按各层压缩系数划分，第②层砂壤土为低压缩性土，第③、④层壤土及粉质粘土属于中等压缩性土；各土层具有一定的抗剪能力。

为研究堰塞沉积层作为闸坝基础持力层的承载能力，对第②层砂壤土和第③层壤土进行了现场标准贯入及静力触探测试。表 3 及表 4 的测试成果表明各土层具有一定的承载能力，第②层砂壤土承载力标准值 f_k = 173 ~ 175 kPa，第③层壤土承载力标准值 f_k = 132 kPa。

4　堰塞沉积物工程地质问题评价

4.1　地基压缩变形

鉴于河床堰塞堆积层厚度约为 50 ~ 90 m，而本工程闸坝设计坝高仅 17 m，若全部将其进行挖除换填，存在深基边坡稳定、基坑涌水等技术问题，投资上也不经济。因此，需要利用堰塞沉积层软基作为闸坝地基。据各持力层土的物理力学特性指标计算出的地基沉降变形时各土层的压缩模量分别为：第②层砂壤土 E_s = 11.5 MPa，第③层壤土 E_s = 10.3 MPa，第④层粉质粘土 E_s = 7.7 MPa。采用分层总和法计算地基最终沉降量，计算成果见表 5。

表 5　闸坝基础沉降计算成果表

计算工况	沉降量 /mm	沉降差 /mm
正常情况	23.7	5.5
施工完建	17.7	4

表 5 的计算结果表明：在完建和正常蓄水位两种工况下，闸室的沉降量大于《水闸设计规范》(SL265 - 2001) 要求的地基最大沉降量小于 15 cm、沉降差小于 5 cm 的要求，需进行基础处理。

4.2　渗透及渗透变形问题

据钻孔抽(注)水试验，第②层砂壤土渗透系数 $K = (4 \sim 30) \times 10^{-4}$ cm/s，属中等透水层；第③层壤土渗透系数 $K = 1.9 \times 10^{-6} \sim 2.6 \times 10^{-5}$ cm/s，属微透水层。埋藏于右岸河床岸坡的 Q_4^{col+dl} 孤块碎石土层(图 2)的渗透系数 $K = (4.6 \sim 65) \times 10^{-2}$ cm/s，属强透水层，强透水带厚度为 20 ~ 55 m。因此，河床坝基存在坝基渗漏和渗透稳定问题，其中右岸坝基的孤块碎石土层为集中渗漏的强透水带。

按照各土层级配特点，据《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287 - 99) 土的渗透变形判别标准，各土层的渗透变形类别分别为：第②层砂壤土及第③层壤土为流土；Q_4^{col+dl} 孤块碎石土为管涌；特别是 Q_4^{col+dl} 孤块碎石土与第②层砂壤土及第③层壤土界面存在接触冲刷。因此，建议对各土层采用防渗墙作防渗处理。

4.3　地震液化问题

工程区地震基本烈度为Ⅶ度，第②层砂壤土的粘粒含量为 7.4%，小于《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287 - 99) N.0.3 条第 3 款 16% 之规定，可能发生液化；又据标贯资料，第②层砂壤土 $N_{63.5} = 7 \sim 9 < N_{cr} = 11.3 \sim 14$，故第②层砂壤土在Ⅶ度地震条件下将产生地震液化。第③层壤土的粘粒含量为 23.3%，大于 16%，Ⅶ度地震条件下不存在地震液化问题。第④层、第⑤层及第⑥层位于地面 29.5 m 以下，大于《建筑物抗震设计规范》(GB50011 - 2001) 规定的地震液化判别范围 0 ~ 20 m，故不需要研究其地震液化特性。

综上所述，第②层砂壤土在Ⅶ度地震条件下存在地震液化问题，需要采取相应的抗液化处理措施；其余各堰塞沉积层不存在地震液化问题。

5　结论及认识

(1) 堰塞沉积物的形成与山体崩滑堵江事件密切相关，而崩滑堵江事件的发生一般又与陡峻的地形、复杂的岩性和构造组合以及地震等因素

关系密切。水电工程实践中常常利用堰塞沉积物作为坝基,但需要研究其工程特性及相关工程地质问题。

(2)堰塞沉积物的形成是在河流岸坡岩体发生崩滑堵江形成天然堆石坝及水库之后,在地质历史时期于天然水库静水环境下沉积的河流固体径流物质其颗粒级配一般以砂粒~粘粒等细粒为主。由于当时气候及河流水动力条件的变化,堰塞沉积物也表现出不同的颜色、粒度结构及相应的工程特性分层变化。

(3)各堰塞沉积层的结构变化在物性参数上表现为不同的干密度指标,并对应不同的力学特性。

(4)堰塞沉积层作为低闸坝基础,需要对压缩变形、渗漏及地震液化等方面的工程适宜性作出分析评价,并进行相应的工程处理。

参考文献:

[1] 黄润秋,王士天,张倬元,刘汉超,等. 中国西南地壳浅表层动力学过程及其工程环境效应研究[M]. 成都:四川大学出版社,2001.

[2] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京:地质出版社,1994.

作者简介:

杨绍平(1963-),男,四川剑阁人,系主任,副教授,高级工程师,工程硕士,从事水文与工程地质教学及研究工作;

王子忠(1964-),男,四川剑阁人,副总工程师,教授级高工,博士,从事水利水电工程勘察及岩体稳定研究工作.

(责任编辑:李燕辉)

雅砻江锦屏一级水电站首台机组转子吊装成功

5 月 23 日下午,锦屏一级水电站地下厂房内两台 400+400 大型桥机横跨安装间吊车梁,整装待命,锦屏一级水电站首台机组转子吊装仪式于下午 15:20 开始。15:38,随着二滩建设机电监理总工程师一声令下,桥机缓缓地将转子从支撑平台上托起,稳步地驶向 6#机组方向,近 30 分钟后抵达 6#机坑正上空,在地面指挥、安装人员、起吊人员的密切配合下,转子精确、平稳的进入机坑,锦屏一级水电站首台机组转子吊装成功!锦屏一级水电站首台机组转子的成功吊装,意味着 6#机组安装进入总装阶段,标志着锦屏一级水电站机电安装工程进入高峰时期,为 2013 年首批机组发电的目标奠定了坚实的基础!

锦屏-苏南工程同里换流站交流场成功带电

5 月 17 日 9 时,随着同里换流站至木渎 500 千伏交流线路充电成功,锦屏-苏南±千伏特高压直流输电工程同里换流站交流系统启动调试正式开始,10 时 52 分,同里换流站 500 千伏交流场 GIS 设备全部带电成功。本次启动调试工作的范围包括同里换流站交流系统和同里-本渎两回、同里-吴江三回、同里-车坊一回共 6 回 500 千伏交流接入线路工程。根据工作计划,6 月 1 日将完成同里换流站全部交流 500 千伏设备和交流线路启动调试工作,6 月 2 日正式交付调试运行。锦屏-苏南特高压直流输电工程承担着将西南水电送至华东负荷中心的任务。工程额定输送容量达 720 万千瓦,线路全长 2 059 千米,2008 年 11 月获得国家发改委核准,2009 年 12 月正式开工,2012 年 5 月 15 日同里换流站交流场 GIS 设备带电成功,为锦屏-苏南特高压直流输电工程实现 6 月底低端送电、11 月底全面建成投运奠定了坚实基础。

四川高海拔电建费用计算标准获批

日前,由四川省电力公司研究制定的《四川高海拔地区电力建设工程有关费用计算标准》获得电力工程造价与定额管理总站批复。至此,四川高海拔地区(甘孜、阿坝、凉山等地区)电力建设工程造价有了一套完整的计价体系和计价依据。四川高海拔地区昼夜温差大、空气稀薄,自然环境极其恶劣。施工单位劳动力募集困难、施工条件艰苦、施工降效和劳动保护等问题日益突出。四川电力公司基建部成立课题组专题研究四川高海拔地区地理、气象和施工情况,目的是测出一个符合甘孜、阿坝、凉山地区电网工程建设实际情况的定额水平调整系数和工作计价依据,兼顾工程建设各个参与方的利益诉求,更好地服务藏区经济社会发展。本研究成果获得批复对四川高海拔地区电网建设意义重大。它不仅使投资更加合理,也可以增加投资管理的透明度,使公众能广泛地参与到建设资金的监管中去,从而发挥有限投资的最大效益。也为四川藏区工程的顺利建设提供了坚强的资金和政策保证。

小井沟水利工程实现截流

5 月 6 日,经水电五局有限公司小井沟项目部广大员工的不懈努力,四川省“再造一个都江堰灌区”工程、“十二五”省重点大型水利工程——自贡小井沟水利枢纽工程一举实现截流目标。小井沟水利枢纽工程位于四川省自贡市境内,是四川省水资源规划的重点水利工程,是实施“再造一个都江堰灌区”规划的全省大型水利设施项目。自贡市是全国 50 个最严重缺水的城市之一,该项目建成后将解决自贡市 320 多万人口和 15 万亩耕地的供水与灌溉问题。该工程水库总库容 1.66 亿立方米,最大坝高 88.37 米,设计灌溉面积 14.56 万亩。水电五局三分局小井沟项目部承建该工程的导流洞、泄洪洞及截流工程。