

古贤水利枢纽坝址区剪切带空间发育特征研究

高 平 陈艳国
(岩土工程事业部地质工程院)

[摘要] 剪切带作为一种特殊的软弱结构面,对工程建设的危害早已引起人们的广泛关注和深刻认识。古贤水利枢纽坝址区剪切带具有地质形成历史长、岩体组合结构复杂、延展规模大等特点。从坝基岩性组合、物质基础、沉积构造等角度,结合区域地质构造背景,综合分析坝址区剪切带发育规律与空间分布特征。研究结果表明:坝址区岩体中共分布有 12 层主要剪切带,其中左岸坝肩部位 2 层,河床坝基部位 10 层;每一层的分布概率变化较大,其中对坝基稳定性影响最大的剪切带为 JQD06。通过对剪切带空间发育分布规律的研究,可用于指导红层地区工程地质条件评价与坝基岩体稳定性分析。

[关键词] 古贤水利枢纽 剪切带 软弱夹层 空间特征

1 引言

一般而言,水利水电工程的坝基均需要具有足够的整体性、均匀性、力学强度等特性^[1],而岩体中总是存在不同程度的缺陷,如浅层岩体容易遭受风化,深层岩体中含有各种节理和裂隙,且由于受构造运动的影响,还往往出现断层、剪切带、泥化带等各种地质问题。特别是剪切带,作为完整岩体中最薄弱的部分之一,严重影响坝基的稳定性^[2]。

广义的剪切带是指发育在岩石圈中具有剪切应变的强烈变形带,包括错动带、断层带和规模较大的断裂带。本文所述剪切带是指具有层状结构的岩体在构造应力作用下发生层间错动而形成的破碎带及后期改造的产物,不同于通常所说的泥化夹层、软弱夹层,它们可能是构造形成,也可能是其它原因造成^[3-4]。这些剪切带厚度变化较大,类型多样,包括顺层和局部切层的错动带,若在地下水、风化卸荷等外部环境因素长期作用下,剪切带往往会进一步破碎、泥化,形成力学性质更差的软弱夹层或泥化夹层。

鉴于剪切带对工程稳定性的严重影响,研究剪切带工程地质特征特别是空间分布特征对于水利水电工程建设的顺利进行具有重要意义。项伟等^[5]

依托拟建的长江某水电站工程项目,从坝基红层沉积相入手,通过岩层的构造标志,岩石的结构和粒度标志,岩矿成分标志 3 类相标志的研究,为剪切带的空间分布预测分析提供依据,得到剪切带空间分布特征;曲永新等^[6]着重研究了粘土岩泥化夹层的形成,并在此基础上探讨了水库蓄水后粘土岩泥化夹层在渗压水长期作用下的变化趋势;聂琼等^[7]采用马尔可夫链方法,定量分析了小南海坝基地层沉积旋回特征,得到坝基软弱夹层的发育特点及沉积规律;马国彦和高广礼^[8]在大量地质勘探试验研究资料的基础上,分析研究了小浪底坝区形成泥化夹层的母岩和地质构造力,泥化夹层的类型及其粒度成分以及泥化夹层的分布规律;吴琦等^[9]在大量地质勘探试验研究资料的基础上,研究了万家寨水利枢纽区层间剪切带的空间分布。

结合黄河古贤水利枢纽坝址区岩体中发育的剪切带,本文在详细的野外地质调查基础上,详细分析了剪切带的空间发育特征,特别是性状更差的泥化夹层,用以研究分析其岩体力学工程特性,以期为后续的工程应用提供可靠的地质资料。

2 工程概况

黄河古贤水利枢纽工程位于黄河中游北干流碛

作者简介:高 平(1987—),男,河南省周口人,工程师,博士,从事水利水电工程地质勘察方面的研究工作。

口至禹门口河段,国家重点名胜风景区壶口瀑布上游约 3.5 ~ 23.5 km 处,左岸为山西省吉县,右岸为陕西省宜川县。坝址河谷为“U”型谷,两岸谷坡稍不对称。坝址区地形陡峻,冲沟发育,切割深度一般在几十米至上百米不等,延伸长度为 0.5 ~ 2.5 km。较大支沟受坝址区最发育的一组近东西向节理控制,与黄河近于正交。

坝址区出露基岩为中生界三叠系中统二马营组上段和铜川组下段,为一套陆相碎屑岩系,主要岩性为长石砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及粘土岩,分布于整个坝址区的河谷及岸坡上,出露厚度 160 ~ 200 m,最大揭露厚度 350 m 左右,岩相变化较大。部分典型岩石薄片鉴定结果如图 1 所示。

在构造上,坝址区位于鄂尔多斯台拗的东南部,总体上为走向 10° ~ 30°,倾向 NW,倾角 0° ~ 3°的单斜地层,地势平缓,局部相变,褶皱、断裂不发育,主要构造形迹表现为节理和顺层剪切带。

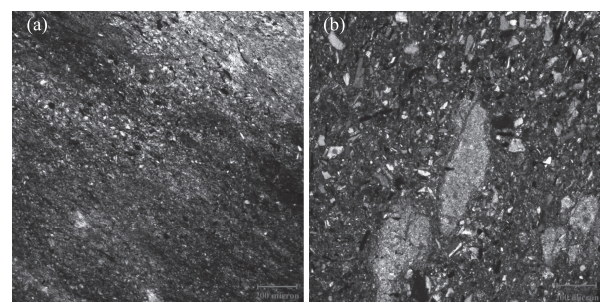


图 1 部分岩石矿物鉴定结果:(a)粉砂质泥岩;(b)泥质粉砂岩

3 剪切带形成的物质基础及构造作用

坝址区出露基岩为中生界三叠系中统二马营组(T_{2er_2})上段和铜川组(T_{2t_1})下段,为一套陆相碎屑岩系,在岩层的垂向方向上为长石砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及粘土岩等岩性的成层分布,具有一定的沉积韵律。坝址区的粘土岩往往以薄层形式出现,这就在长石砂岩、粉砂岩等相对强硬的岩层中夹有强度较低的粘土岩夹层,即原生夹层。这些粘土岩薄层及其与上下硬岩层所构成的刚柔相间的岩层组合条件,就是目前揭露出来的经过了复杂地质历史过程的剪切带的物质基础。由此可知,原生夹层分布越广,岩性越软弱,越容易形成泥化夹层。

坝址区无第四纪断裂分布,更无活动断裂分布。基底构造变形较强,说明前新生代发生过明显

的构造运动。本区位于吕梁山西坡南北向挠褶带的南段,也位于祁吕贺兰山字型前弧东翼的内侧,构造简单,大致呈向西缓倾的波状起伏的单斜层,构造形迹以褶皱和挠曲为主,没有断裂发育。本区岩体的构造破坏形式主要表现为层间错动,它们是与岩层褶皱作用同时发生和发展的;层间错动沿力学强度最小的部位和方向发生,最容易出现的部位为刚性岩层和柔性岩层的分界面和柔性岩层的内部,即为刚性岩层夹薄层粘土岩的岩层组合条件。粘土质岩层分布愈广、强度愈低,层间错动越剧烈。

粘土岩泥化夹层,由于它们具有刚柔相间的岩层组合条件,且粘土岩分布广泛,它们均普遍遭受了层间错动的影响。又由于它们所夹的粘土岩具有一定的厚度,层间错动的结果,使得夹层本身具有明显的构造分带现象。同时发育有劈理带(剪切破碎带)和泥化夹层(泥化带),泥化夹层多分布在剪切带顶底面,也可分布在中间;剪切作用不充分、发育不完善的剪切带则无典型的构造分带现象,多表现为厚度较小的软弱结构带或顺层剪切破裂面,见图 2。

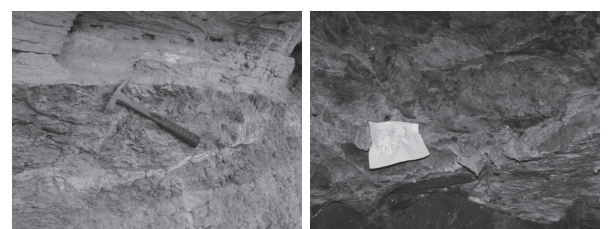


图 2 劈理带及泥化夹层(泥化带)特征

由于剪切带的形成是发生在地质构造运动中,其必然遭受过相当长时期的地质改造,不管现在的状态如何,现存的剪切带都曾遭受过地下水的影响。地下水的来源包括地表水的入渗和河流的补给。剪切带的形成为地下水的运动提供了条件,在封闭的地质环境中,地下水的影响相对较弱,在靠近地表的卸荷带中,地下水的运动较频繁,对剪切带的泥化有加速作用。软岩不仅强度低,容易发生大变形,而且一般都具有较显著的亲水性;软岩在天然状态下较为完整、坚硬,力学性能良好,但遇水后短时间内迅速膨胀、崩解和软化,从而造成岩体的力学损伤,并导致其力学性质快速、大幅度降低;水-岩之间复杂的化学与力学耦合作用机制是软岩软化的主要原因。

4 剪切带的空间发育规律

根据现阶段完成的针对剪切带的研究,结合坝

址区采用地表地质调查、钻孔与大口径钻孔、平硐与竖井、钻孔光学成像等技术手段取得的勘察结果,对坝址区 51 个河床钻孔(其中钻孔光学成像 41 个)、35 个左岸坝肩钻孔(其中钻孔光学成像 18 个)中揭露的剪切带特征进行了统计分析。

剪切带在顺层方向的连续性可用其连通率来表达。大量的勘察资料统计表明,剪切带顺层方向上的连续性不仅受软岩分布范围和软岩层厚度的控制,而且受剪切错动作用强弱的影响。软岩分布范围越大,软岩层的厚度越大,剪切错动作用越强烈,剪切带泥化夹层的顺层连续性越好。坝址区岩体中共分布有 12 层主要剪切带,其中左岸坝肩部位 2 层,河床坝基部位 10 层,其分布概率如图 3 所示。

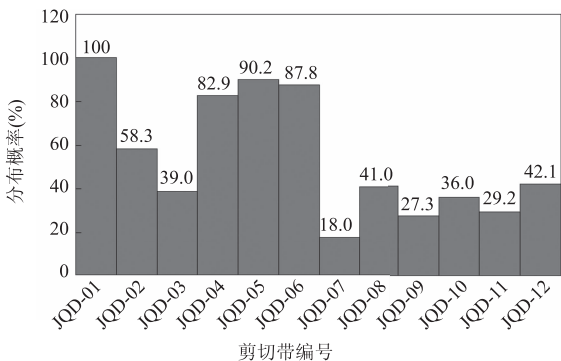


图 3 坝址区不同层位剪切带的分布概率

由于受地质构造、风化卸荷、地下水作用的影响程度不同,坝址区的坝肩和河床坝基以下 12 层主要剪切带表现出不同的发育特征。从剪切带的厚度特征可以看出,这些剪切带的差距非常明显,有的厚度将近 1 m,而有的只在厘米尺度;从关键层位剪切带的空间分布特征可知,剪切带的空间形态变化较大,局部的起伏差较大。

JQD06 是坝址区比较特殊的一个夹层,该层剪切带主要发育在 $T_2er_2^9$ 地层中,分布高程主要集中在 417 ~ 423 m 范围内,代表高程 420 m。在已经开挖揭露的 265 m 平硐内全部出露该层剪切带。层间表现有明显挤压构造特征,灰绿色和紫红色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩呈透镜状相互穿插,内部发育斜交的破裂面,剪切带厚度变化较大,范围值 0.10 ~ 1.90 m,平均值约 1.05 m,剪切带在水平方向有局部凸起或转折,在两侧或内部发育中等倾角错动面,面上擦痕明显,并附方解石膜,在剪切带底部分布厚度不等的软弱结构面,并呈现出明显的泥化现象,其典型照片如图 4 所示。

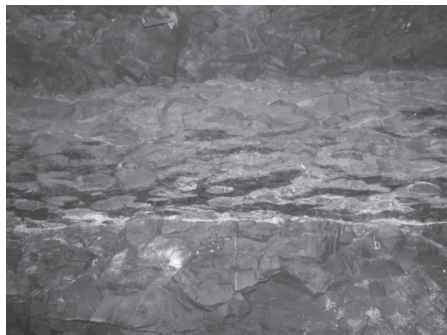


图 4 坝基以下平硐 PD212 揭露的剪切带 JQD06

5 结论

研究表明,剪切带泥化夹层的形成过程,首先是沉积形成的原生粘土岩夹层,在水平构造应力的作用下层间错动过程,即粘土岩的结构变化过程,以及在其后的地质历史过程中,在地下水的长期作用下其状态、物理化学性质、物质成分的变化过程,也就是工程地质性质的变化过程。充分认识上述规律并采取相应的措施对古贤水利枢纽工程的抗滑稳定和渗透稳定问题的解决提供了详细的地质基础资料 and 理论数据。

参考文献

- [1] 李美蓉,陈媛,张林,等.复杂地质条件下多结构面对重力坝坝基稳定性的影响及处理[J].岩土力学,2014,35(增刊1):328-333.
- [2] 蔡耀军,徐福兴.大坝建基岩体抗剪强度取值[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7):1040-1044.
- [3] 徐瑞春,周建军.红层与大坝[M].武汉:中国地质大学出版社,2003:46-50.
- [4] 闫长斌,杜卫长.基于分层计算的层间剪切带原位变形试验研究[J].地下空间与工程学报,2014,10(5):1059-1064.
- [5] 项伟,柳景华,贾海梁,等.长江某水电站坝基剪切带发育规律与抗滑稳定研究[J].工程地质学报,2016,24(05):788-797.
- [6] 曲永新,单世桐,徐晓岚,等.某水利工程泥化夹层的形成及变化趋势的研究[J].地质科学,1977(04):363-371.
- [7] 聂琼,项伟,杜水祥.小南海坝基软弱夹层沉积规律及强度参数研究[J].长江科学院院报,2014,31(02):40-46.
- [8] 马国彦,高广礼.黄河小浪底坝区泥化夹层分布及其抗剪试验方法的分析[J].工程地质学报,2000(01):94-99.
- [9] 吴琦,张世平,王现国,等.万家寨水利枢纽区层间剪切带工程地质特征[J].人民黄河,2006(11):46-47.