

金汤河电站工程边坡病害分析及防治对策

谢嘉琼

(四川联合大学,成都,610065)

摘要 通过对一起自然因素为主的工程边坡破坏事例,运用水文地质学及工程地质学的观点,对其进行了全面科学的分析,并提出相应的防治对策。对工程中大量存在的这类病害的分析和治理,具有较大的借鉴及参考价值。

关键词 边坡稳定 自然因素 水文地质 工程地质 防治对策

1 前言

金汤河电站位于康定县金汤乡新兴新村。电站装机 $2 \times 2\,000$ kW,为一引水式低水头(32.3 m)小型电站。在输水管道施工过程中,发现管道的边墙底板开裂并向两侧土坡延伸。其后,裂隙不断增多,严重威胁管道边坡安全,施工被迫暂停。为了查明边坡裂隙产生的原因以便采取有效对策,康定县水电局邀请笔者赴电站工地,对其边坡及其附近的水文地质与工程地质环境进行了短期考察。这是一起以自然因素作用为主的工程边坡损坏事例。本文使用的从水文地质学及工程地质学使用的观点调查分析了边坡产生裂隙的原因,提出了相应的防治对策。

2 考察区地质及水文工程地质概况

本区地貌属构造侵蚀地形,山高谷深,水流湍急,地形遭受强烈切割。海拔高程2 000 m以上,相对高差大于1 000 m。在大地构造上,本区属金汤弧形构造的前缘西翼,褶皱和断裂十分发育。地层为基岩和第四系两大类。基岩主要是泥盆系的捧塔群与河心群等。岩性以浅灰至深灰、灰白色变质白云岩、泥质钙质白云岩为主夹变质灰岩、礁灰岩和千枚岩等,分布在电站东部的大荒山和西部的大坪山等高山区。第四系地层由分选极差的块石、碎石、砾石、沙和泥质等混杂堆积组成。地貌上形成一巨大的大荒山前崩塌坡积洪积扇。扇体不对称,轴线沿东西走向,偏北,扇面起伏较大并总体向南倾斜。金汤河自北向南流经扇体前部。电站座落在轴线的西端堆积扇体的前缘。堆积体内块石的体积大小极其悬殊,小的约 10cm^3 ,大的孤石可达 $5\text{m} \times 10\text{m} \times 15\text{m}$ 。块石的成份主要是大荒山区崩塌下来的捧塔群岩石。在

块石、碎石和砾石之间则为大量有沙泥质,但也存在不少空隙,有的空隙宽5~10 cm,实为一透水性极强的松散堆积体。值得注意的是细粒物质中含有白色高岭土,该土层遇水膨胀,失水干裂,在地表或斜坡上形成裂隙土。这类土吸收降雨入渗水的能力很强,使得斜坡的稳定性能很差。因此在雨季里,常见这类土分布的谷坡、陡崖等斜坡上产生滑坡和土溜。这是一巨型的不良工程地质岩体。

电站及其附近分布有两大套含水岩组:一是碳酸盐岩类含水岩组,富含喀斯特裂隙水;另一是松散沉积物含水岩组,含孔隙水。

2.1 喀斯特裂隙水

据康定~宝兴幅《区域水文地质普查报告》和现场调研,电站一带的喀斯特裂隙水分布在金汤河两岸的大荒山、大坪山等山区。含水岩组由白云岩、结晶灰岩等碳酸盐岩石组成,喀斯特作用较弱,但裂隙十分发育。喀斯特裂隙水又可分为喀斯特裂隙潜水和喀斯特裂隙承压水两类。两类水均为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型低矿化度(0.1~0.2 mg/L)淡水。大荒山区的这两类水直接受大气降水入渗补给并向西部崩塌体运动。其中的喀斯特裂隙潜水经新兴上村补给崩塌坡洪积体,成为该堆积体内孔隙潜水的主要补给源。其中的喀斯特承压水埋藏较深,向西作深部运动,经新兴上村、下村的堆积体下部排向金汤河。喀斯特裂隙承压水在电站机房基坑开挖时被发现。在基坑 1m^2 面积内有一约10 cm直径的移动水柱上涌,水头高出基坑底面约6 cm,据施工记录涌水量为7~8 m^3/h 。水质清沏透明,无携出物。承压水水头高程1 957 m,比边坡脚高程低4 m多,而且排泄畅通。据此可以认为:喀斯特裂隙承压水为低水头微承压水,不可能影响边坡的稳定性,但应采取确保基础施工顺利的措施。

2.2 孔隙潜水

孔隙潜水分布在包括新兴上村、下村和电站在内的崩塌坡洪积堆积体内,这是一个巨大的非均质各向异性含水岩体。含水体内没有稳定的含水层与隔水层,也没有统一的地下水水位。在细粒泥质组份相对富集的部位,可形成局部隔水层和其上的局部含水层,因此,在堆积体中地下水的流向上,其水力坡度和水位都将随机变化。考察后初步认为:崩塌坡洪积体的不对称轴线为地下水分水岭。地下水分别向轴线南北两侧运动。在分水岭南侧至少有三个高程上的排泄泉点,即1 955 m、2 007 m以及新兴下村南沟泉群也就是说至少有三个局部含水层。在轴线北侧仅在公路下见一清潭海子以及河岸一些泉点。海子高程1 990 m,为孔隙潜水的排泄潭。据村民介绍,该海子与堆积体顶部新兴上村的海子(已干涸)存在水力联系。可见北侧含水层单一,水力坡度可能较大,包气带较厚。所有的泉水水质较好,四季水量变化不大,反映其补给途径长,显然受东部大荒山喀斯特裂隙潜水的补给,并向金汤河排泄。电站管道和前池正位于地下分水岭上,大气降水入渗后分水岭两侧运动,不会有浅层地下水水位。当地群众介绍,即使是雨季,地表也没有泉水。埋藏较深的潜水位在机房基坑开挖时被发现潜水自东向西渗入基坑,流量约15~17 m³/h,水清无携出物。水位高程1 956 m,低于边坡坡脚约6 m,比管道底坡上最严重的3号裂隙约低20 m。

以上所述初步表明:电站及其附近的地下水,无论是喀斯特裂隙水还是孔隙水,也无论是潜水还是承压水,均不会影响边坡的稳定性。电站边坡上的裂隙与地下水的活动无关,但却与季节性降雨的入渗水密切相关。

3 裂隙发展现状与成因

3.1 发展现状

1993年8月2日前后,施工人员在6号支墩左边墙和底板上发现一条宽约1 mm的裂缝(见编号为3号),但未引起重视。9月10日前后发现4号裂隙(2号镇墩后侧与边墙上)。10月中旬又出现2号和1号裂隙。此时3号裂隙已张开10 mm(左边墙上部)。随后又发现02号、01号、0号裂隙。10月以来,1号、2号、3号、4号裂隙均向管道两侧土坡内延伸。土坡内也先后产生一些略带弧形的裂隙(因在雨季,发展过程无记录)。裂隙的发展规律大致是从管道前部(即边坡前部)向后部发展;左侧较多且严重,右侧较少而稍轻;均为张性裂隙。形状虽不规则,但仍有

规律可寻。目前管道上的裂隙依然可见,土坡上的已不存在。值得注意的是在边坡坡脚的土层和浆砌片石的护坡上,考察期内既没有发现塑性变形(如鼓包、褶皱等),也没发现脆性变形(如断裂、裂隙等)。

在分析已编号的8条裂隙的特征后,认为只有1号、2号、3号三条裂隙可以肯定是边坡变形产生的。因为它们的形态和发展规律符合边坡渐近变形破坏的一般特点和力学机制。其中3号裂隙的中下段形成一条宽1 mm、倾向坡外的近似直线,可认为是未来滑面的雏形,即如果边坡变形进一步发展,可能沿3号裂隙发育成滑动面。4号、5号两条裂隙位于管道的陡坡段,其受力机制不同于前三条,是否是边坡变形产生的,有待进一步观察。经施工人员证实02号、01号、0号三条裂隙与施工程序有关而与边坡变形无关。土坡内的一些不规则张裂隙是因土层干缩而成,与边坡变形无关。一些略带弧形延伸和羽毛状裂隙可认为是边坡变形所致。

自11月份以来的观察和12月17日起对所有裂隙用仪器定点观测至今,还未见裂隙发展的记录,基本上是稳定的。

根据裂隙上、下盘没有相对位移以及坡脚尚未发现塑性和脆性变形的迹象等重要依据。我们认为目前电站边坡处于失稳变形的初期,坡体内部可能还没有形成剪切滑移面,只要及时有效处理,边坡可以确保稳定。

3.2 成因

电站边坡为非均质含块砾石的土质斜坡,其稳定条件可用土力学静力平衡法则分析。设边坡土体的内聚力为 C ,作用在边坡土体上的最大主应力(即重力)为 σ_1 ,最小主应力(即侧压力)为 σ_3 ,边坡稳定的安全系数为 K ,则边坡稳定条件可用捷尼索夫公式表示:

$$K = 2C / (\sigma_1 - \sigma_3)$$

该式表明边坡失稳破坏可由两类因素变化引起:即土体的内聚力 C 减少,或作用在边坡上的重力与侧压力之差($\sigma_1 - \sigma_3$)加大。重力增多或侧压力减小均可加大压力差。任何一种因素变化均将降低边坡稳定的安全系数 K 。当其 $K \leq 1$ 时,边坡上可能出现张性裂隙。进一步发展,裂隙将贯通边坡土体,形成一定形状的剪切滑移面,在外力作用触发下,产生滑动破坏。

笔者对作用在电站边坡上的各种分析比较后认为:裂隙产生的原因是边坡土体内、外多种因素综合作用的结果。其内因主要是边坡土体为崩塌堆积的疏松体,而且含高岭土等亲水物质,遇水极易膨胀,

强度降低,容易产生局部沉陷失稳。外因较多,有持续数月的降水入渗、挖坡卸荷、震动冲击、地表水汇集边坡以及翻耕土地……等。各种因素的权重是不同的。下面扼要分析各种因素。

3.2.1 降水

众所周知降雨是促成边坡滑塌的重要因素,其作用机理有三点:(1)降雨入渗边坡使土体吸水膨胀,内聚力降低,其稳定安全系数也随之降低;(2)大量渗入水将对非均质疏松堆积体进行机械潜蚀,使边坡出现不均匀沉陷;(3)降雨量对边坡增加了荷载,加大应力差($\sigma_1 - \sigma_3$),进一步降低安全系数。可见大气降水,尤其是暴雨和持续降雨对边坡的破坏性较其他因素更为强烈。

据当地村民反映和施工记录,6月至10月为雨季,尤其是在10月,整整下了一个月的雨,是近几年来雨量最多的一年。11月起降雨逐渐停止进入旱季至今。在雨季电站及其附近的路坡、土坡、谷坡等边坡上随处可见滑坡、土溜和崩塌。

初步分析发现,电站边坡裂隙的发生、发展与停止活动的全过程恰好对应降雨时间、降雨强度和干旱时段,两者间有一定的同步相关性。如连续下雨后,8月初产生了第一条裂隙;降雨强度最大的10月份正是裂隙产生最多的时段;随着干旱季节的到来,裂隙也停止了活动。两者的相关性表明大气降水是电站边坡产生裂隙的主要原因。

3.2.2 施工挖坡卸荷

在管道和机房基础施工中,大量挖去边坡土方,因而使边坡的侧压力大为降低,应力差加大,从而大大降低了边坡的稳定安全系数。无数事例表明挖方卸荷将使边坡回弹产生拉张裂隙。雨季里施工对混凝土浇筑和浆砌片石的质量都会有影响。据施工记录2号镇墩是在大雨中清基浇混凝土的,而且施工程序反复,这可能是4号裂隙产生的原因。

3.2.3 震动冲击

据当地群众和施工人员回忆,9月8日前后,晚上约9时,一些人感觉地板(木板)作响,灯泡、木房摆动,有的人感到惊恐,时间持续约2s。这显然是一次 $M > 3$ 级的有感地震。此外,据了解,施工中常放大炮。这些震动冲击无疑会加速饱水坡的开裂。今后施工应控制爆破用药量。

3.2.4 地表水汇集

边坡坡面尤其是管道左侧裂隙发育的坡面,凹凸不平,地表水排泄不畅。地表水在边坡上的汇集和下渗,将增加边坡的荷重并减小土体的内聚力,从而降低其稳定安全系数,一旦 $K < 1$,边坡将开裂。现

场考察发现大气降水和地表水(包括生活排污水)的凹地聚集并集中向管道左侧低地排泄。这可能是左侧裂隙多于右侧的原因之一。

3.2.5 裸地

考察发现裂隙严重和管道左侧土坡为耕地,易受降水和流水冲刷,也有利于降水下渗。管道右侧以及附近生长灌木和野草的斜坡则完整无损。众所周知,退耕还林是防止水土流失的有效措施之一。

4 防治对策

防治对策的基本原则是增强边坡土体的内聚力和减小作用于边坡上的应力差(或减荷或增加侧压力),提高边坡的稳定安全系数。具体讲就是消除或尽力减轻上述各种因素的影响。我们建议采取下列几项治理措施。

4.1 填堵裂隙、整平坡面

将管道底板边墙上的裂隙以及边坡上的裂隙分别用混凝土和粘性土填塞充实。再将坡面上的坑坎按一定坡度整平(可依设计坡度)夯实。

4.2 修建地表排水系统

排水系统的目的是阻截暴雨洪水、生活排污水对坡面坡脚的冲刷和下渗,稳定和增加边坡土体的内聚力。排水系统的范围大致从公路坎下前池起至河岸,管道两侧各适当距离,左侧宽一些。排水系统由东西向和南北向沟渠组成,以南北向为主。南北向渠按比降沿等高线延伸,将所有地表水导出边坡之外。沟渠应严密防渗。渠网设计至少能排泄30年一遇的洪水。

4.3 挡墙

挡墙可增加边坡的侧压力,提高稳定安全系数,在管道左侧机房基坑开挖段和右侧陡坡段建造钢筋混凝土挡墙(可考虑做低挡墙)。挡墙基础应放在堆积体之下的硬基上。挡墙与边坡土体之间留空充填砾石,以便排除坡体积水。在保证管道基础安全条件下适当削缓挡墙以上的边坡。如果削坡将降低管道两侧的侧压力,影响基础稳定,应慎重考虑。是否削坡应经设计计算后确定。

此外,对2号镇墩与下镇墩之间的边坡采取适当加固措施。如可考虑在两墩间铺设钢筋混凝土板,板上留排水孔,板下置反滤层;也可考虑加大下镇墩尺寸起挡墙作用,或者其他加固措施。何种办法好,应由设计比较后确定。

4.4 人工植被

在已整平的边坡上遍种草皮和树木。树种应选

择吸水性和蒸发量大的落叶树,如白杨、柳树等。植被可防雨水、地表水冲刷和下渗边坡,植物网状根系也可加固边坡。

4.5 设置边坡变形监测网

在治理边坡过程中和治理完成之后均应监测边坡变形动态。监测网由观测线、观测点(标桩)组成。布设数条东西向、南北向观测线。东西向观测线至少三条,南北向观测线至少两条。管道左侧的观测点(标桩)较右侧密一些。在边坡之外的稳定地段设参照点,观测线点组成三角控制网。定时用仪器观测标桩垂向和平面上的位移变化,观测坡脚的变形动态。在解冻季节和雨季应加密观测时间。对观测资料应按时整理分析,随时掌握边坡活动变形动态。

以上五条治理措施应统筹规划,分项作出设计后实施。各项措施应抢在雨季来临之前完成。

5 结 语

笔者对康定县金汤电站边坡病害短期考察之后,取得下列几点认识。

(1)电站及其附近的水文地质条件是比较清楚的。电站边坡上产生的裂隙与地下水活动没有直接

关系。

(2)目前,电站边坡处于变形失稳的初期,通过治理可以达到稳定,若不加治理或治理不当,下次雨季来临,裂隙可能进一步发展,甚至在坡体内形成滑面,产生滑动破坏。

(3)电站边坡上裂隙出现的原因是坡体内多种因素综合作用的结果。其主要因素是连续5个月的降雨。其他因素如挖坡卸荷、震动冲击、雨季施工、地表水排泄不畅以及裸露耕地等,都程度不同地起了作用。

(4)治理工作的基本措施是治水与护坡。修建地表排水系统能使边坡处于比较干燥的状态,维持或提高土体的强度。修建挡墙是补偿边坡损失的侧压力,提高稳定安全度。其他措施是这两者的补充。为了确保电站的修建和将来运行的安全,必须设置边坡变形监测系统,及时掌握边坡变形动态以便采取相应对策。

作者简介

谢嘉琼 女 四川联合大学水利系 工程师

(收稿日期:1997-07-03)

二滩水电站水库按期下闸蓄水

1998年5月1日上午10时,随着国家开发投资公司总经理、二滩水电开发有限责任公司董事长王文泽一声令下,10时10分,二滩水电站下闸蓄水一次成功。为今年二滩水电站第一台机组7月15日并网发电奠定了良好的基础,如期实现了国际合同所规定的重要里程碑。

二滩水电站水库面积101 km²,干流回水长度145 km,水库最大宽度1500 m,最大水深200 m,总库容58亿 m³,调节库容33.7亿 m³,正常蓄水位1200 m,死水位1155 m。属季调节大型水库。水库淹没涉及攀枝花市的盐边、米易和凉山彝族自治州的德昌、盐源、西昌五县(市)32个乡镇,71个村。电站的挡水建筑物为混凝土双曲拱坝,坝顶高程1205 m,坝高240 m,坝顶长774.7 m,拱冠梁坝顶宽11 m,坝底宽55.8 m。大坝上设有4个放空底孔,尺寸为3 m×5 m(宽×高);6个泄洪中孔,尺寸为5 m×6 m(宽×高);7个泄洪表孔,尺寸为11 m×11.5 m(宽×高)。右岸设有两条泄洪洞,洞长分别为829 m和1166 m,洞身断面为13 m×13.5 m(宽×高)。混凝土双曲拱坝混凝土总量为415.9万 m³,截至4月30日为止已累计完成401.4万 m³,占混凝土总量的96.5%。大坝已浇至平均高程1193.5 m,封拱接缝灌浆至1175 m高程。预计今年汛前,坝体可浇筑到顶,坝体封拱高程可达到1190 m高程,右岸两条泄洪洞可投入运行。

预计二滩水电站初期蓄水将按下列阶段进行:

第一阶段从5月1日10时至5月8日10时4个临时导流底孔全部下闸,大坝下游断流。上游水位从1030 m升至1080 m。第二阶段5月8日10时打开一孔放空底孔,放空底孔开始运行。第三阶段到5月底左右上游水位上升至1130 m高程后,关闭放空底孔用中孔运行。保持上游水位1130 m七天,进行一次全面的大坝监测、反馈分析,校正基础综合变形模量,对计算模型及边界条件进行修正。第四阶段到6月22日左右上游水位上升至死水位1155.0 m高程后,第一台55万 kW 机组充水启动调试。7月15日前完成72 h试运行后并网发电。第五阶段在今年7~10月汛期利用中孔、底孔和泄洪洞联合泄洪,按200年一遇洪水标准进行调洪演算,上游水位控制在1155~1190 m,表孔可不泄洪。如出现超标准洪水,从表孔泄洪。第六阶段今年10月底水库蓄水至正常蓄水位,年内维持在1200 m高程运行。

5月1日上午,二滩水电开发有限责任公司在电站进水口举行了隆重简朴的下闸蓄水典礼。四川省委常委刘绍先代表省委、省政府对二滩水电站下闸蓄水成功表示祝贺。他说,二滩建设取得今天的成就,是坚持改革开放,坚持与国际惯例接轨,坚持建立现代企业制度的成果。他要求二滩公司要再接再厉,精心做好各项工作,确保7月15日首台机组并网发电。

二滩水电开发有限责任公司 刘继东



■ 考察瀑布沟坝址 江宇 摄



■ 考察深溪沟坝址 江宇 摄

由四川省电力局和四川省水力发电工程学会倡议，四川省人民政府组织的大渡河水电考察团于1998年5月11日至5月16日对大渡河进行了考察。



■ 《四川水力发电》召开四届二次编委会 (1998.4.20-21)

活动 掠影



■ 省学会召开常务理事扩大会议 (1998.3.20)



■ 马怀新理事长讲话

摄影报道：李燕辉