

水电水利工程地质灾害问题分类

王自高¹, 何伟²

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059; 2. 中水顾问集团昆明勘测设计研究院, 昆明 650051)

摘要: 水电水利工程是一项系统工程, 涉及地质灾害问题较多。为加强防灾减灾研究, 结合常规地质灾害分类及水电水利工程特点, 对水电水利工程地质灾害进行系统的分类和描述。成因不同, 可分为工程建设、自然因素及其共同引发的地质灾害; 工程特点及成灾对象不同, 可分为水库工程、边坡工程、地基工程、地下工程和移民工程地质灾害。

关键词: 水电水利; 地质灾害; 分类; 成因; 工程

中图分类号: P642 **文献标识码:** A

1 前言

地质灾害是由于自然或人为作用, 多数情况下是二者共同作用引起的, 在地球表层比较强烈地危害人类生命、财产和生存环境的岩土体移动事件。地质灾害在成因上具备自然演化和人为诱发的双重性, 它既是自然灾害的组成部分, 同时又属于人为灾害的范畴。在某种意义上, 地质灾害已经成为制约社会经济发展和人类安居的重要因素, 同时又具有自然、社会和资源的三重属性。

随着国家“西部大开发”及“西电东送”战略的实施和深入发展, 西部丰富的水能资源处于全面勘察规划及开发建设之中, 西部已成为中国重要的能源基地, 一大批水电工程相继开工建设。同时由于水资源分布的不平衡, 跨流域、跨地区引水(调水)工程越来越多。江河流域是水电资源集中分布的区域, 也是地质灾害高发区域, 随着水电水利工程建设规模越来越大, 高坝大库、深埋隧洞、大跨度地下洞室、长引水工程、深厚覆盖层坝基、高陡边坡不断涌现, 地质灾害与环境保护问题越来越突出。水电水利工程是一项系统工程, 涉及面广, 影响范围大, 地质灾害类型相对较多, 在西部特别是西南水电资源大开发的背景下, 如何紧密结合水电水利工程实践与建设特点, 建立地质灾害问题分类系统, 对进一步的防

灾减灾研究具有重要的指导意义。

2 水电水利工程建设特点

水电水利资源具有可再生、无污染、一次开发后运营成本低等优点。水电水利开发是流域开发的一个核心内容, 它常兼顾防洪、航运、灌溉、供水、养殖、旅游等综合功能, 并注重水资源开发的多重效益, 要求具备开发资源、发展经济、保护生态三大效应。水电水利工程是系统工程, 涉及影响人类生存、发展的地质环境(包括岩石环境、土环境和水环境)问题及生态环境(包括自然环境、工程环境及社会经济环境)问题, 与地质灾害问题密切相关, 并具有以下突出的特点:

(1) 为充分利用水能资源, 减少淹没损失, 避免过多的形成高坝大库, 降低水电站对河流生态影响, 水电水利资源开发均采取梯级规划、滚动开发的方式。水电水利工程开发方式决定了地质灾害的形成与江河流域的自然环境密不可分。

(2) 水电水利工程总是建设在江河流域之上, 都需要修建拦河坝体, 在江河上形成数公里、几十公里甚至几百公里长的水体, 是改变水流运动的大型土木工程, 地质灾害问题不仅涉及枢纽工程(包括边坡工程、地下工程及地基工程等), 还与水库工程、附属与临建工程、移民工程等密切相关。

(3) 水电工程涉及自然科学、社会科学、管理科学与人文科学等领域,是土木工程、建筑工程、结构工程、电气工程、交通运输工程、环境工程的集成,与参建各方密切相关,需进行质量控制、进度控制、投资控制、风险控制与协调控制。地质灾害问题不仅与自然因数有关,还与勘测设计、施工建设、运行管理等人为因数有关。

(4) 每个工程不仅规模大小、结构形式、功能与作用各不相同,工程地质条件及建设环境条件也千差万别。因此地质灾害产生的类型、特点、规模和对工程的影响也不尽相同。

(5) 水电水利工程由于工程投资大、建设周期长,所面临的风险也较多,其中包括地质灾害风险,工程项目从规划设计到生产运行管理,整个生命周期中都必须重视地质灾害风险管理。

(6) 水电水利工程开发建设是认识自然、利用自然、改造自然的过程,只有充分地认识自然,才能有效地利用和改造自然。对地质灾害问题的研究只有在正确认识地质环境的基础上,紧密结合工程特点进行分析,才能取得可靠的成果。

3 水电水利工程地质灾害问题分类

水电水利工程建设涉及地质灾害问题较多,系统分类对深入研究具有重要指导作用。对于水电水利工程地质灾害问题,目前尚无统一的分类,综合常规地质灾害分类及水电水利工程实践与建设特点,建立以下两种分类系统。

3.1 按成因机制分类

3.1.1 工程建设直接引发的地质灾害问题

工程建设活动(如坝基开挖、边坡开挖、地下洞室开挖、人工堆渣、建筑物加载、水库蓄水等)直接引发的地质灾害问题包括如崩塌、滑坡、围岩坍塌、岩土体大变形、水库大流量渗漏、库岸坍塌、滑坡涌浪、水库诱发地震、地基(或采空区)塌陷、基坑大流量涌水等。

3.1.2 工程建设与自然因素共同引发的地质灾害问题

工程建设与自然因素(如暴雨、洪水、地下水、地震等)共同引发的地质灾害(如泥石流、山体滑坡、河岸冲刷、地下涌水、突泥、岩爆、地面塌陷等)。其中以汛期洪水地质灾害问题最为突出。

汛期洪水地质灾害问题包括滑坡、泥石流、斜坡滚石、河岸冲刷及其他与洪水相关的灾害。众多水电水利工程施工期曾发生河岸冲刷坍塌,尤其是在

汛期,当导流洞或溢洪道泄洪时,出口河岸和下游河道常因冲刷掏蚀而产生塌岸,形成灾害。

3.1.3 自然因素引发的地质灾害问题

自然因素引发地质灾害主要为地震地质灾害及超标洪水地质灾害,主要是指水电水利工程建设区由天然地震活动和极端气象引发的对人民生命、财产及工程建设造成损失的灾害。包括地震或超强暴雨期间工程区产生的崩塌、滑坡、塌陷、沙土液化、滚石、泥石流及堰塞湖等次生地质灾害。

地震地质灾害是指在地震力作用下地质体变形或破坏,以及水体运动而引起的灾害。包括地震断层、崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、砂土液化、软土震陷、堰塞湖和海(湖)啸等。另外地震引起的地质灾害问题还有震前、震后引起地面大幅度升降、褶皱、挠曲等构造变形及局部陷穴、地裂缝、地下洞室涌水等等。水电水利工程建设及运行期均可能遭受地震及超标洪水引发地质灾害的危害。

3.2 按工程建设特点分类

根据工程建设特点、主要工程地质问题的性质特征及成灾对象,可将水电水利工程地质灾害问题划分为水库工程地质灾害、边坡工程地质灾害、地基工程地质灾害、地下工程地质灾害、移民工程地质灾害五大类型,每一类型可根据成灾特点进一步细划。

3.2.1 水库工程地质灾害问题

水库工程地质灾害问题指与水电水利工程水库蓄水及运行相关的地质灾害问题,涉及水库淹没区、水库影响区及移民工程区,包括由水库大流量渗漏、库岸再造、水库滑坡涌浪、水库淤积、水库浸没、水库塌陷(包括库岸岩溶塌陷及采空区塌陷)、水库诱发地震及其他工程地质问题等引发的灾害。分述如下:

(1) 水库大流量渗漏

几乎所有水库都会产生渗漏,只是渗漏量大小不同而已。产生地质灾害的水库渗漏通常是指大流量的管道型渗漏或永久性渗漏,即影响到工程安全与效益的渗漏。水库大流量渗漏地质灾害主要发生于喀斯特地区和地质构造(特别是导水断裂)发育的地区。如云南以礼河水槽子水库及绿水河水库蓄水后均产生了向邻谷的岩溶渗漏,渗漏量达 $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ~ $29 \text{ m}^3/\text{s}$;贵州猫跳河四级水电站(窄巷口水库)蓄水后产生库首绕坝岩溶渗漏,渗漏量达 $20 \text{ m}^3/\text{s}$,由于流量大、流速高,加之地下管道复杂,难以封堵,至今仍在低水位运行,已影响正常发电;陕西耀县桃曲坡水库建于“悬河”(悬托型河谷)之上,水库蓄水后产生库底渗漏,最大渗漏量达 $27.8 \text{ m}^3/\text{s}$,致使库水

漏空,坝前干涸,上游地表水改道。

(2) 库岸再造

水库蓄水后,由于水位抬高,破坏了原有的平衡状态,库岸产生不断的坍塌破坏。受库水位升降所引起的动水压力作用、库水冲刷、浪蚀作用和岸流作用也将引起一定程度的库岸再造过程,其达到最终稳态库岸的时间相当长。库岸再造引发的地质灾害包括塌岸、滑坡、岩(土)体大变形等形式。其中塌岸是库岸再造最常见的形式,自从 1963 年瓦依昂水库失事后,国际上便开始对水库塌岸引起高度重视。在我国已建的正式蓄水运行的水库大多数都存在着塌岸和库岸再造现象。其中山区河道型水库塌岸现象尤为突出。

(3) 滑坡与涌浪

水库区特别是近坝库岸大滑坡,是形成水库涌浪的主要原因。高速突发型滑坡滑落到水库时,常激发很高的涌浪,不仅严重威胁大坝安全,而且对附近库区及下游建筑物、城镇以及过往船只造成极大的危害。如意大利瓦依昂水库滑坡、湖南柘溪水库塘岩光滑坡、新滩滑坡及小湾水库滑坡等均产生涌浪危害。一般大中型水电水利工程,特别是堆石坝工程,若近坝库岸分布有大的崩塌堆积体、滑坡堆积体或危岩体,均需考虑涌浪的影响和危害。

(4) 水库淤积

山区河流因暴雨产生泥石流或因土地沙漠化及水土流失,大量泥沙输入河道,淤积水库,并在干支流沟口形成洪积扇,随着水库回水而后移。库岸再造也会使水库产生淤积,既威胁工程的安全,又影响工程的效益。淤积是每一个水库都会产生的,但淤积的速度有快有慢,淤积的厚度有大有小,这与水库的地质生态环境密切相关。

(5) 水库浸没

浸没主要是由于水库蓄水或灌溉致使地下水位升高而引起的次生地质灾害。包括建筑物地基浸水沉陷、建筑物倒塌;土壤沼泽化、次生盐渍化、矿坑充水、道路翻浆等。按成因,浸没可分为顶托型浸没和渗漏型浸没两种基本类型。浸没问题常发生在平原型水库坝下游,特别是地面高程低于河床的库岸地段;地下水埋藏较浅,地表水和地下水排泄不畅,补给量大于排出量的库岸地段;封闭、半封闭洼地或沼泽的边缘地带;盆地型水库边缘与山前洪积扇直接相接的地段或其他地貌过渡带。

(6) 库岸塌陷

库岸塌陷包括水库岩溶塌陷及库岸采空区塌陷。岩溶塌陷按赖以产生的可溶岩类型可分为碳酸

盐岩类塌陷、蒸发岩类塌陷(岩盐塌陷)以及可溶性钙质碎屑岩类塌陷。水电水利工程以碳酸盐岩类塌陷为主,主要见于岩溶发育较均一、岩溶地下水呈分散网络状分布的地段,如水库区岩溶洼地、库岸地带及工程区岩溶地下水的排泄地带(如断裂破碎带、地下河通道带等)。库水作用诱发或加剧岩溶塌陷灾害。库岸采空区塌陷主要是指水库库岸矿产(包括煤矿、石膏矿、沙金及其他金属矿产及等)开采,形成空洞,水库蓄水后由于库水浸泡或水位升降导致空洞塌陷而引起地表变形破坏的现象。云南金沙江鲁地拉水电站、四川瀑布沟水电站、甘肃宝珠寺水电站、白龙江立节水电站等都存在过库岸空洞采空区塌陷问题或产生过塌陷灾害。

(7) 水库诱发地震

水库诱发地震到目前为止已发生 100 多例,与库水位的升降与发震频度、强度有明显的相关性,但诱发地震的深度一般不超过 20 km。事实上,并非所有的水库蓄水都会诱发地震,发生与否取决于水库地质环境条件:库区地下有规模较大的断层(特别是活动断层)存在;水库本身有足够的库容量,库容越大,诱发地震的可能性越大;从岩性分析看,碳酸盐岩发震率最高,块状岩体次之,层状岩体最差;库区地形差异大,有温泉出露和火山活动地段。按照多成因理论,常见的水库诱发地震主要有 3 种类型:构造破裂型、岩溶塌陷型和地壳表层卸荷型。

3.2.2 边坡工程地质灾害问题

边坡工程地质灾害问题指与水电水利工程边坡施工与运行相关的地质灾害问题,涉及工程区边坡(坝间边坡、引水渠道边坡、隧洞进出口边坡、厂房边坡、开关站边坡、钢管道边坡、基坑开挖边坡等)、临建工程边坡、进场公路边坡、桥台边坡、料场边坡及堆弃渣场边坡等,包括崩塌、滑坡、岩(土)体大变形、潜在不稳定岩体、坡面泥石流等灾害。分述如下:

(1) 崩塌

崩塌是水电水利边坡工程建设中常见的地质灾害。按照崩塌体的规模、范围、大小可分为剥落、坠石和崩落等类型。

(2) 滑坡

滑坡是水电水利工程建设中分布面广、发生频繁、产生条件复杂、作用因素众多、发生和运动机理多变、预测困难、治理昂贵的重要地质灾害,大部分水电水利工程建设期间都或多或少发生过滑坡。工程滑坡多为中小型滑坡。

(3) 岩(土)体大变形

边坡岩(土)体产生大变形包括边坡下部隆起或

溃屈、侧面剪切滑移、上部坐落错位、后缘或侧向张开拉裂、岩体弯曲倾倒、边坡支护体开裂、混凝土挡墙破裂、锚索失效等。不少水电工程边坡施工期产生过岩(土)体大变形,如南盘江天生桥二级水电站厂房边坡、小湾水电站坝前饮水沟堆积体边坡等,对边坡整体稳定构成严重威胁。

(4) 潜在不稳定体

潜在不稳定体是指现状稳定、但稳定程度很低,将来有可能产生变形或失稳的岩(土)体,包括危岩体、倾倒体和松动体等。危岩体可分为塌滑式危岩和倾倒式危岩两类。倾倒体是指斜坡上的岩层向坡外弯转倾倒,但变形岩体又未脱离下伏的完整岩体。松动体本质上是指因风化、卸荷松弛,并在重力作用下,产生变形、折断、松动、架空但尚未滑动破坏的岩体。潜在不稳定岩体需进行必要的处理,否则会引发新的地质灾害。西南多座水电水利工程均涉及倾倒体和松动体问题。如三峡库区聚集坊危岩体,进行了削方减载、锚索加固及裂缝充填等处理;金安桥水电站两岸坝顶以上分布的危岩体,设置了多道被动防护网。

(5) 坡面泥石流

松散岩(土)体边坡、堆弃渣场边坡或有堆渣的斜坡,在雨水的冲刷下,形成坡面泥石流,破坏边坡的完整性,淤积河道、渠道、公路和排水管道,并为沟谷性泥石流的形成提供物源,对工程 and 人身财产造成危害。不少水电站施工期间曾发生坡面泥石流,造成人员伤亡或设备损失。

3.2.3 地基工程地质灾害问题

地基工程地质灾害问题指与水电水利工程地基施工与运行相关的地质灾害问题,涉及坝基、渠基、厂基、塔基、站基、路基、桥基等,包括地基岩(土)体大变形与渗透破坏、地基大流量渗漏、地基塌陷及地基失效等。分述如下:

(1) 地基岩(土)体大变形

地基岩(土)体大变形是水电水利工程常见的地质灾害,包括地基沉降变形、开挖卸荷变形、滑移变形和渗透变形等灾害,以及特殊土地质灾害(如黄土湿陷、膨胀土胀缩、冻土冻融、沙土液化、淤泥触变或软土震陷等)。随着软基建坝和软基工程越来越多,对地基岩(土)体大变形及其灾害的研究越来越受到重视。

(2) 地基大流量渗漏

地基渗漏包括水电水利工程的坝基(肩)渗漏及渠道基础渗漏。地基渗漏灾害常指大流量的管道渗漏或使岩土体产生渗透变形、危及工程安全的渗漏。

一般岩溶地基、覆盖层地基、构造复杂地基及可溶性红层地基处理不当易产生渗漏灾害问题。大范围或大流量渗漏,不仅影响工程效益,而且会招致地基沉降和塌陷。如广西龙江拔贡水电站坝基岩溶渗漏,渗漏量达 $23 \text{ m}^3/\text{s}$,建成后一直无法正常运行。

(3) 基坑大流量涌水

基坑涌水灾害是指基坑(包括大坝基坑、厂房基坑等)在开挖过程中因地下涌水量大于抽水量,导致设备被淹、人员伤亡或影响正常施工的危害事故。一般岩溶地区、含水层浅埋区、围堰防渗不到位或失效等,均可能产生基坑大流量涌水灾害。

(4) 地基塌陷

地基塌陷包括溶蚀塌陷及采空区地面沉陷。地基岩溶塌陷在可溶岩地区较为普遍,通常是由于覆盖在隐伏岩溶或强烈溶蚀带之上的堆积体突然下塌造成,岩溶塌陷的形成是由多种因数长期互相作用的结果,除与可溶岩地层有关外,主要与地下水作用、上覆第四系地层、水动力条件及地震等因数有关。如贵州大洞口水库蓄水后,因坝基渗漏导致坝内外坡塌陷,坝体内形成 7 个塌陷漏斗,为保安全,被迫将大坝决口排泄库水。美国圣·佛兰西斯重力坝(坝高 62.6 m),由于坝基砾岩中的石膏被溶解,岩体崩解,产生化学潜蚀,导致坝基被掏空,造成溃坝事故。

(5) 地基失效

地基失效属地震灾害,主要发生在砂、砂壤土和轻质砂壤土及软土地基,特别是河流一级阶地和河漫滩地带,震动液化、软土震陷、翻砂冒水等导致地基失效(包括地裂缝、错位、滑坡、不均匀沉降等)。如新疆克孜尔水库处在强震地区,1999 年 3 月 15 日距水库坝址 100 km 发生 5.6 级地震时,引起地基失效导致主副坝肩 4 个部位裂缝,裂缝深度 2~8 m。一般Ⅵ度区就可产生液化,Ⅶ度区水工建筑物的震害率达 90%,Ⅷ度区达 100%。

3.2.4 地下工程地质灾害问题

地下工程地质灾害问题指与水电水利地下工程施工与运行相关的地质灾害问题,包括坍塌(片帮和冒顶)、岩爆、围岩大变形、流沙、涌水、地下泥石流及地下水侵蚀等。分述如下:

(1) 坍塌

坍塌是开挖面上的岩土体在重力或地应力作用下向临空方向滑落的现象。地下工程建设中(包括隧道、涵洞开挖、衬砌过程)因设计、开挖或支护不合理,常常发生顶部或侧壁大面积垮塌造成事故。坍塌多发生在构造带、强烈岩溶发育地带、不利结构面

组合发育带及软弱岩带等不良地质洞段。围岩坍塌是水电水利地下工程最常见的地质灾害。

(2) 地面塌陷

隧洞进出口段、浅覆盖洞段、岩溶强烈发育段和大的断裂带分布洞段,常因洞内塌方不断扩大,导致地表塌陷。如南盘江天生桥一级水电站导流洞过6[#]冲沟地段及工作闸门室交通洞过F₁₅断层带、金沙江金安桥水电站导流洞进口段、昆明掌鸠河引水工程过普渡河断裂带、南盘江糯租水电站引水洞过小江断裂带及云南龙江水电站导流洞穿过断层交汇带时等都曾发生因洞内塌方导致地面塌陷的灾害。

(3) 岩爆

岩爆是高应力条件下完整脆性硬质围岩失稳的一种表现形式,是指地下开挖过程中,洞室围岩因开挖卸荷、应力分异造成岩石内部破裂和弹性能突然释放,而引起的洞壁岩块爆裂松脱、剥离、弹射乃至抛掷性破坏现象,属地下采掘地质灾害,具有滞后性、延续性、衰减性、突发性、猛烈性、危害性等特点。水电水利工程高地应力深埋隧洞越来越多,岩爆问题较为突出。

(4) 围岩大变形

地下工程在施工期及运行期由于主、客观原因的影响,导致围岩产生大变形现象,特别是软弱围岩,在岩体重力或地应力作用下,易产生生物化膨胀、应力扩容及结构变形,导致边墙内鼓、底板隆起、顶板下沉、岩体流变、围岩松弛、支护体开裂、混凝土衬砌破裂等。

(5) 流沙

当地下工程通过如砂土层、硬脆碎地层(如白云岩)断层破碎影响带及构造挤压带等时,由于颗粒细而均匀,含泥量低,十分松散,一旦被地下水饱和,极易被冲刷和淘蚀,当有水头差作用时,易发生潜蚀和管涌,形成流沙。昆明掌鸠河引水工程上公山隧洞中后段通过近水平状白云岩,地下水位普遍高于洞顶,在揭露断层或挤压破碎带时,时常发生涌水伴流沙现象,堵塞工作面,或在洞壁形成空洞,洞顶产生塌方,给施工造成很大困难,不得不进行超前固结灌浆并加强支护处理。

(6) 涌水

涌水指地下洞室施工过程中,穿过含水或透水岩层所发生的地下水向洞内冒出或突然喷出,对工程或施工设备与人员造成危害的现象。包括两种情况,一为长时涌水,流量大且流量较稳定,一般在地下工程揭穿较大的含水层或地下岩溶管道时产生,喀斯特地区多发,处理难度较大;一种为短时涌水或

称突水,流量先大后小,一般在地下工程揭穿断层带或脉状裂隙承压含水层时产生,由于突发性强,危害较大。其中深埋特长隧道(洞)施工涌水是隧道(洞)施工中所面临的最主要地质灾害。隧道施工涌水不仅降低围岩稳定性,而且给施工带来很多不良影响,特别是在有大量高压涌水的情况下,常常酿成重大事故。而且为了解决地下水灾害问题,采用过量排放又会给隧道经过地段带来生态环境问题。

(7) 地下泥石流(突泥)

在地下洞室施工过程中,在地下水丰富的裂隙岩体内穿过充填泥质物的溶洞或含泥量较大的断层破碎带等地段时会发生突然的大量冒泥现象(突泥)。在构造破碎带,岩体风化剧烈,岩体破碎,常形成地下水富集,施工中易产生渗水问题,严重时会产生突水、突泥问题,形成地下泥石流。掌鸠河引水供水工程穿越普渡河断裂带时,先后产生了4次大的地下泥石流灾害,最大的一次约2500 m³,淤满240 m长已开挖洞段,不得不采用管棚法施工,边开挖边衬砌通过。

3.2.5 移民工程地质灾害问题

移民工程是指由于建库移民而引起的库区经济地理结构的调整所涉及的工程。包括移民安置工程和配套建设工程,如移民安置场地建设、公路建设及生产生活设施建设。

由于人口向库岸集中或工程区缓坡地带集中,单位地质环境负荷量增大,人类地质作用对环境的改造迅猛增强、加深。涉及到的地质灾害问题主要包括滑坡、崩塌、泥石流、库岸坍塌、岩溶塌陷、采空区地表大变形及塌陷、地震及地震效应、建筑物地基大变形等方面。移民工程本身是一个十分庞大、复杂的系统工程。如三峡工程的水库移民,在贫困山区,涉及10多个县近100万人口的规模,在一个时间相对短暂、空间相对狭小集中的环境里实施,必将多方面、大规模地急剧影响地质环境,使之迅速大幅度进行调整,难免与地质环境的质量和容量发生尖锐矛盾,地质灾害问题不容忽视。除了移民工程建设过程中的地质灾害以外,远程地质灾害对移民工程的影响尤其值得关注。

4 结论

地质灾害总是受所在自然地质环境控制,与工程建设特点及工程地质问题密切相关。水电水利工程是系统工程,涉及影响人类生存、发展的地质环境问题及生态环境问题,地质灾害问题除与客观地质环境有关外,还与勘测设计、施工建设、运行管理等

人为因数有关,有地质问题不一定产生地质灾害,而有地质灾害也不一定就存在地质问题。水电水利工程建设地质灾害问题较多,主要涉及与岩土体稳定、施工安全及对工程的影响等相关问题。结合工程建设特点对水电水利工程地质灾害问题进行系统分类,对深入开展水电水利工程防灾减灾研究具有重要指导作用。

参考文献

[1] 王自高,钱康,杨海江.天生桥一级水电站水库环境工程地质问题分析[J].成都理工大学学报,2001,28(增):19-24.
[2] 王自高.天生桥一级水电站导流洞围岩变形失稳分析及塌方处理[J].红水河,1995,14(4):62-66.

[3] 王自高.天生桥一级水电站水库滑坡塌岸影响区勘察[M].中国水利发电年鉴,2002. 6.
[4] 刘起霞,李清波,邹剑峰,等.环境工程地质[M].黄河水利出版社,2001. 3.
[6] 罗守成,等.试论水电工程施工期地质灾害.环境地质研究第三辑[M].北京:地震出版社,1995.
[7] 姜云,李永林,李天斌,等.隧道工程围岩大变形类型与机制研究[J].地质灾害与环境保护,2004,15(4):46-51.
[8] 王贤能,黄润秋,黄国明.深埋长大隧洞中地下水对地温异常的影响[J].地质灾害与环境保护,1996,7(4):23-27.
[9] 张倬元,宋建波,李攀峰.地下厂房洞室群岩爆趋势综合预测分析法[J].地质科学进展,2004,(3):451-456.
[10] 周春宏.某水电站长探洞的岩爆特征[J].地质灾害与环境保护,2006,17(1):78-81.

CLASSIFYING GEO-HAZARDS IN RELATION TO HYDROPOWER
AND WATER RESOURCES ENGINEERING

Wang Zi-gao¹, He Wei²

(1. College of Environmental & Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
2. Hydro-china Kunming Engineering Corporation, Kunming 650051, China)

Abstract: The systematic hydropower and water resources project involves kinds of geo-hazards. To strengthen the study of hazard prevention and mitigation, such problems are classified and described in reference to the conventional geo-hazard classification. They are classified into geo-hazards caused by construction, natural factors and both, while in accordance with engineering characteristics and affected objects they have reservoir engineering, slope engineering, foundation engineering, underground engineering and migration engineering types.

Key words: hydropower and water resources; geo-hazard; classification; cause; engineering

作者简介: 王自高(1963—),男,工程硕士,教授级高级工程师,主要从事水电水利工程地质勘察工作。