

# 中国水利水电边坡数据库及 XML 技术的应用

赵宇飞, 陈祖煜

(中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

**摘要:** 简要地介绍中国水利水电科学研究院开发的水利水电边坡登录数据库, 这套数据库是基于过去的十几年中中国的水利水电工作者收集到的 117 个滑坡实例上形成的。这套数据库内容丰富, 涵盖边坡工程中地质情况、开挖与治理设计、监测等方面; 同时还介绍对这些边坡资料的分类以及整理工作, 通过表格的形式, 列举边坡的分类统计成果。这个边坡数据库可为今后工程中类似边坡的设计与治理提供重要的参考与借鉴。目前, 飞速发展的计算机技术为边坡资料的网络共享提供便利。XML 技术具有简单易读、具有很强的可拓展性以及可以跨平台传输数据等优点, 在网络技术中得到广泛的应用, 再结合 SQL Sever 2000 数据库, 为边坡登录数据库的全球网络共享提供技术支持。以漫湾水电站左岸边坡为例, 说明 XML 技术在边坡数据库中的应用, 并简述构建网络共享数据库的思路。

**关键词:** 边坡工程; 边坡数据库; 网络共享

**中图分类号:** P 642.22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2007)增 2 - 4432 - 07

## DATABASE FOR SLOPES RELATED TO CHINA'S WATER RESOURCES AND HYDROPOWER DEVELOPMENTS USING XML

ZHAO Yufei, CHEN Zuyu

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The database of slopes related to the water resources and hydropower developments are introduced briefly. This database are based on the 117 slope cases selected by Chinese hydroelectric workers in the past years. The contents of this database are very abundant, including the basic geology information, excavation and control design and monitoring aspect, and so on. And at same time, all slope cases in database are divided according to the slope property, the height and stability status of slopes, rock mass structures, the failure modes and the triggering factors of failures. This paper introduces the results of classification and arrangement of slope cases by using tables. This slope database can provide important references to the design and construction of slopes in similar places future. At present, the advanced computer technology has made this database possible to share on the internet. XML(extensible markup language) has many advantages, so it is applied widely in web field. Combined with SQL Sever 2000, it can provide the technology support of sharing the database in web. Taking the Manwan hydroelectric power station left bank slope as an example, the application of XML technology to the slope database is explained, and the method of constructing the database shared in network is simply illustrated.

**Key words:** slope engineering; database for slopes; share on the internet

**收稿日期:** 2007 - 09 - 07; **修回日期:** 2007 - 11 - 10

**基金项目:** 国家自然科学基金青年科学基金项目(50509027); 国家自然科学基金雅砻江水电开发联合资助重点项目(50539100)

**作者简介:** 赵宇飞(1979 -), 男, 硕士, 2002 年毕业于河北工程大学采矿专业, 2005 年于中国水利水电科学研究院岩土工程专业获硕士学位, 主要从事岩石力学试验与数值分析方面的研究工作。E-mail: zhaoyf@iwhr.com

## 1 引言

中国是一个水力资源十分丰富的国家, 可开发水电资源蕴藏量居世界首位。但目前中国水电开发率还比较低, 按 2004 年水能资源普查结果看, 中国水能资源开发也只达到 22.3%<sup>[1]</sup>。大力开发水电能源是当前中国重要的能源政策之一。中国西南地区是水资源的富集地区, 但其地形地貌多为高山峡谷, 自然条件十分复杂恶劣。在这些地方开发水电能源, 高边坡稳定问题十分突出<sup>[2]</sup>。

建国以来, 在水利水电工程建设和运行过程中发生的库区、坝区滑坡事故, 造成了重大的经济损失和人员伤亡。在矿业、交通等其他行业内也有类似的滑坡灾害发生。在今后的几十年内, 我国将修建大量中、大型水电工程, 随着高坝大型水库的日益增多, 高边坡问题也会愈加突出。如锦屏一级水电站 300 m 的高拱坝左岸坝肩高边坡稳定问题有待解决<sup>[2]</sup>。

广泛深入地收集自然界和工程建设中发生的滑坡的工程地质和岩土力学特性, 是了解滑坡发生机制, 建立合理的分析和治理方法的基础。以往有关滑坡实录的文献数量非常多, 但是, 这些文献体例各异, 内容详简不一, 水平参差不齐。没有一个标准的格式来对这些文献资料进行约束, 给这些文献的利用带来了非常大的困难。因此, 早在 1987 年, 就开始了滑坡的登录工作。

滑坡登录就是要求工作人员按照已经设计好的表格逐项记载有关边坡的全部技术信息, 经过认真整理后, 最后形成数据库。在过去的近 20 a 中, 中国的水利水电工作者共收集了 117 个边坡的技术资料, 并整理、刊印成册, 为今后相关边坡工程的设计与治理提供了借鉴和参考。收集到的 117 个边坡的分布情况如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

目前, 飞速发展的网络技术使全球资源共享变成了可能。在这样的背景下, 可利用网络技术使这部分宝贵的边坡资料能够实现全球共享, 给更多相关问题的研究带来方便, 同时也希望全世界的地质与岩土工作者对边坡数据库进一步地补充和完善, 达到真正意义上的全球共享与共建的目的。

在过去几年里, XML(可扩展置标语言)技术得到了快速发展和广泛应用, 它提供了一种标准化、

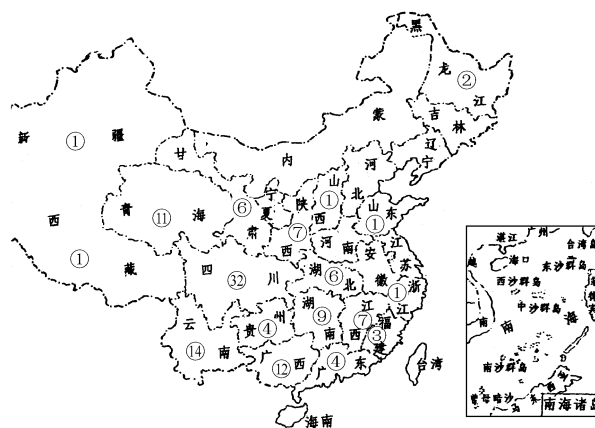


图 1 117 个登录的水利边坡的分布范围(图中圆圈中的数字代表该地区登录边坡的数目)<sup>[3]</sup>

Fig.1 Distribution of the 117 slopes and landslides in China (the number in each circle shows the amount of slopes in the area)<sup>[3]</sup>

可扩展的方法, 克服了 HTML 的缺点, 更重要的一点是支持电子商务中的数据交换<sup>[4]</sup>。XML 技术为边坡数据库的网络共享提供了技术支持。

目前, 中国的一些岩土工作者在中国岩石力学与工程学会工程实例委员会的领导下开始建立利用 XML 技术的网络边坡登录数据库, 这部分工作已经有了一些进展。

## 2 数据库的内容简介

### 2.1 数据库登录内容简介

滑坡登录工作最早开始于 1987 年, 世界滑坡登录联合工作组在 1990 年发表了为滑坡登录而制定的滑坡报告技术要求的建议, 明确了滑坡登录和滑坡报告中所涉及的技术名词术语等<sup>[5, 6]</sup>。

1995~2000 年, 中国水利水电系统在执行国家“八五”科技攻关项目的背景下, 开展了一次水电工程中的边坡登录工作。登录工作将分散的水利水电工程边坡实例, 按照统一的方法、标准和要求, 对其工程地质、岩土力学特性、边坡设计、开挖爆破、监测、失稳破坏实录及文献资料等各项基本情况进行了详细的记载存档工作。2005 年, 在登录工作的基础上制作了可查询的数据库<sup>[7]</sup>。

通过这项工作, 形成了一套完整的边坡登录资料, 从而可以为滑坡破坏机制、工程治理等研究提供宝贵的借鉴与参考。目前中国正在大力开发水电, 进行水利水电建设, 尤其是水资源十分丰富的中国

西南部地区,如四川、云南、西藏等省,这些地区地质条件十分复杂,高边坡稳定问题非常突出。边坡登录资料可为今后这些地区的高边坡治理提供重要的基础资料。

在参考了国标、国内规范及国内外的研究成果与文献,以及国际滑坡登录小组建议的方法后,中国水利水电科学研究院的科研工作者完善和整理出了一套边坡登录标准。数据库中边坡登录内容按照登录标准进行了登录,使得这些边坡实录文献标准化,更加方便查询与阅读。

边坡登录标准基本内容涵盖了边坡工程的各项信息,包括:

- (1) 基本情况:边坡类型、地理信息、主要特征、稳定现状、失稳因素、基本描述等;
- (2) 工程地质:岩体结构类型、岩性、结构面、地下水、风化、地震、平面图、剖面图、结构面统计、岩体质量等;
- (3) 岩土力学特性:室内岩土(体)物理力学性质试验、现场试验、地应力测试等成果;
- (4) 边坡设计与治理:稳定分析情况、设计参数、治理情况等;
- (5) 边坡工程开挖爆破:边坡开挖部位、采用的爆破技术、装药情况、炮孔参数、安全措施、边坡安全情况、实测地面速度、加速度等;
- (6) 边坡监测:监测项目、情况说明、仪器及布置、观测资料等;
- (7) 边坡失稳破坏实录:基本情况、损失情况、滑坡几何形状和尺寸、造成的破坏情况、采用工程措施、滑坡平(剖)面图等;
- (8) 文献资料汇编:内部资料、公开发表资料及有关图片等。

这些内容较全面地反映了工程边坡的各方面情况,根据这些信息可方便地查询阅读所需要的边坡登录资料。

### 2.2 边坡数据库整理分析成果

对收集到的边坡登录文件按照不同的分类方法进行整理,初步得到了下面的分析成果。

#### (1) 按边坡性质分类的统计结果

根据不同的边坡性质,水利水电工程边坡可分为开挖边坡、水库边坡和河岸边坡3种类型。各类边坡登录文件数量见表1。

#### (2) 按边坡高度分类的统计结果

表1 依据边坡性质的分类统计表<sup>[3]</sup>

Table 1 Statistics according to slope type<sup>[3]</sup>

开挖边坡	水库边坡	河岸边坡	合计
42	46	29	117

根据不同的边坡高度及稳定性对登录边坡进行分类统计,统计结果如表2所示。

表2 不同坡高边坡失稳统计表<sup>[3]</sup>

Table 2 Statistical results based on the height and stability status of slopes<sup>[3]</sup>

边坡类型	h<10 m		10 m<h<50 m		50 m<h<100 m		100 m<h<200 m		h>200 m	
	稳定	失稳	稳定	失稳	稳定	失稳	稳定	失稳	稳定	失稳
开挖边坡	0	0	0	2	2	9	8	15	2	4
水库边坡	1	0	0	0	1	0	6	2	18	18
河岸边坡	0	0	0	0	1	1	1	4	6	16

注:失稳包括稳定以外的各种情况。

从表2中可看出,在水利水电工程中,边坡高度超过100 m的居多,且失稳的大多为高边坡。由此可见,高边坡的稳定问题需要得到足够的重视。

#### (3) 按边坡破坏类型分类的统计结果

根据边坡的破坏类型可将滑坡分为:崩塌破坏、滑动(平面、弧面、楔形体)破坏、倾倒破坏、溃决破坏、侧向扩展拉裂破坏、流动破坏和复合破坏七类。其分类统计情况见表3。

表3 不同岩体结构边坡变形破坏类型统计表<sup>[3]</sup>

Table 3 Statistical results of unstable slopes based on rock mass structures<sup>[3]</sup>

破坏类型	块状	层状同向	层状反向	层状斜向	碎裂稳	散体
崩塌	1	1	2	1	0	1
滑动	8	10	2	6	2	23
溃屈	0	2	0	1	0	0
倾倒	0	0	4	0	0	0
拉裂	1	0	0	1	0	0
流动	0	0	0	0	0	0
复合	0	1	2	1	0	0
合计	10	14	10	10	2	24

#### (4) 按边坡岩体结构类型分类的统计结果

边坡岩体结构可分为块状、层状(包括层状同向、层状反向和层状斜向)、碎裂和散体等 6 种结构,按边坡岩体结构类型的统计结果见表 4。每一类岩体结构的边坡失稳数量统计结果见表 3。

表 4 岩体结构分类表<sup>[3]</sup>

Table 4 Statistical results based on different rock mass structures<sup>[3]</sup>

块状	层状同向	层状反向	层状斜向	碎裂	散体	合计
14	26	15	17	3	42	117

据统计,层状结构边坡在我国的边坡工程中占大多数,层状岩体结构边坡又可分为 3 类,即层状同向边坡、层状反向边坡和层状斜向结构边坡,其中层状同向结构边坡变形破坏统计情况见表 5。块状结构边坡变形破坏类型统计情况见表 6。

表 5 层状同向边坡变形破坏类型统计表<sup>[3]</sup>

Table 5 Statistical results based on the failure modes of inter-bedding slopes<sup>[3]</sup>

边坡稳定现状	数量	占统计数/%	边坡变形破坏类型						方量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )
			崩塌	滑动 平面 弧面 楔体			倾倒	拉裂	
失稳	7	50.0	1	2	4				165~4 200
处理后稳定	2	14.3			1			1	22.64~30.00
蠕变	5	35.7		2	1			2	7.0~1 800.0
合计	14	100.0	1	4	5	1		2	

表 6 块状结构边坡变形破坏类型统计表<sup>[3]</sup>

Table 6 Statistical results of massive slopes based on the failure modes<sup>[3]</sup>

边坡稳定现状	数量	占统计数/%	边坡变形破坏类型						方量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	
			崩塌	滑动 平面 弧面 楔体			倾倒	拉裂		溃屈
失稳	3	30		1	1	1				5~9
处理后稳定	6	60	1	3		2				0.01~140.00
蠕变	1	10			3		1			15.6
合计	10	100	1	4	1	3	1			

(5) 按边坡破坏触发因素分类的统计结果

触发边坡变形、破坏的因素可分为天然和人为两种因素。表 7 总结了依据触发边坡变形、破坏因素对 117 个登录的边坡工程的统计情况。

表 7 边坡变形、破坏诱发因素统计<sup>[3]</sup>

Table 7 Statistical results based on the triggering factors of failures<sup>[3]</sup>

因素	边坡数量	稳定边坡数量	占总边坡数量比例/%	失稳边坡数量	占总边坡数量比例/%	备注
暴雨	32	15	46.9	17	53.1	
水库蓄水	18	10	55.6	8	44.4	大中型或巨型滑坡为主
地下不变化	3	1	33.3	2	66.7	
降雨地下水	6	3	50.0	3	50.0	
冲刷	3	1	33.3	2	66.7	
人类工程活动	44	12	27.3	32	72.7	中小型楔体滑动为主
开挖	41	12	29.3	29	70.7	拉裂及大型崩塌
采矿	3	0		3	100.0	
其他	11	4	36.4	7	63.6	
重力	7	3	42.9	4	57.1	倾倒、崩塌及溃屈、滑动
降雨地震	4	1	25.0	3	75.0	
合计	117	46	39.3	71	60.7	

### 3 XML 技术在边坡数据库中的应用

#### 3.1 XML 简介

XML 是一种标记语言,其在编程上与 HTML 语言相似,它继承了 SGML(1986 年发布的标记语言标准 ISO8879,称为新的语言 SGML)自定义标记语言的特点,在功能上弥补了 HTML 的不足,拥有更多的可扩展性<sup>[4]</sup>。

同已往的标记语言相比,XML 具有以下几个特点:

(1) 扩展性。XML 是一门可拓展的标记语言,这样,就可以根据自己的需要,定义不同的标记来使用,这样 XML 就具有很强的扩展性。

(2) 易懂性。XML 不同于其他的 ASCII 语言,其可用一般的软件编辑器进行编辑,表达形式直接,便于理解。

(3) 在不同的平台之间传递信息。由于 XML 本身简单、容易读,因此可将不同类型的数据标记为 XML 格式,只要在互相传递信息的系统上挂有 XML 解析器,就可以解读经过标记的数据从而得到正确的信息。

(4) 国际化。在 XML 提出的当初,便考虑到信

信息的交流不应受限于某一地区或某一国家，而是全世界的信息交流。随着 Internet 在全世界的普及，一份文件在不同的国家之间以不同的形式呈现出来是 XML 必须具备的能力。所以，XML 技术具有国际化的特点。

XML 文件可以在 IE 中通过加载 CSS(cascading style sheets)或 XSL(extensible style sheet language, XML 的专属样式语言)文件将其内容按照某一设计好的格式显示出来，就像 HTML 文件那样。

因为 XML 文件一般只存储数据，不包括格式等其他的信息，且一般用来传递数据。在具体的使用中，首先要产生一个后缀名为“.xsd”的 XML Schema 文件，作为判断 XML 文件的成员与类型的有效性的依据，即判断 XML 文件是否满足“.xsd”文件的要求，也就是说“.xsd”描述了 XML 文件的特性，在数据库的数据存储中需要使用相同的“.xsd”文件。另外，后缀名为“.xsl”的 XSL 文件决定 XML 文档如何在浏览器中显示的格式。“.xsd”文件、“.xml”文件与“.xsl”文件的相互关系如图 2 所示。

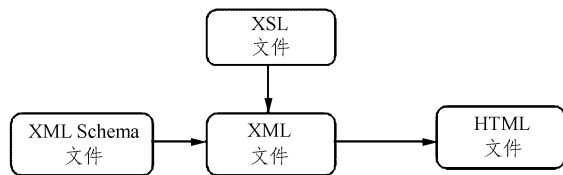


图 2 “XML schema”，“XML”，“XSL”以及“HTML”文件相互关系示意图

Fi.2 Relationship of XML file, XML schema, XSL and HTML document

### 3.2 边坡数据文件的 XML 格式

#### (1) 使用“.xsd”文档构建边坡登录数据库

现在，参考“八五”科技攻关阶段完成的边坡登录数据库系统中的登陆表格，可以利用 XML 技术将其制作成可以在网络上浏览下载的网页文档。

根据边坡登录标准，定义了“slopedata.xsd”文件的结构，包括了边坡登录的主要方面。“slopedata.xsd”文件的结构如图 3 所示。

在图 3 这个树型结构中，每个边坡登录实例中都包括了分支结构中的相关信息。这样，利用 XML 技术，可以详尽地描述各个信息。再结合 XSL 文件，

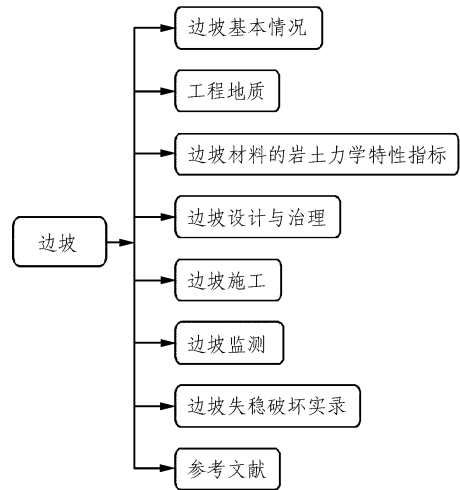


图 3 “slopedata.xsd”文件的结构示意图  
Fig.3 Data structure of “slopedata.xsd” document

可以在用户的浏览器中清晰地显示出来。

#### (2) 利用 Microsoft 办公软件来构建边坡登录数据库

对于边坡登录来说，针对以往已经有的边坡登录数据，可以利用“XML”技术将登录标准数字化，转变成可以通过网络在不同平台之间传递的数据文件，这样可以实现网络上共同建设与共同分享数据库成果。

目前，Microsoft 系列办公软件都可以通过一定的手段转化为 XML 文档格式，这样，我们可以方便地将以往建立的边坡登录标准格式转化为 XML 文档，这样就可以在互联网上浏览边坡数据库中的边坡登录资料文件。

### 3.3 实例

#### (1) 使用“.xsd”文档构建的边坡登录数据库

下面是根据已有的“.xsd”文档建立的关于漫湾水电站左岸边坡的一个 XML 数据文件“manwan.xml”。通过加载“slope.xsl”文件，“manwan.xml”在用户浏览器中的显示如图 4 所示。

#### (2) 利用 Microsoft 办公软件构建的边坡登录数据库

通过将“.doc”文档转化为“.xml”文档，再结合“.xsl”文档，就可将边坡登录标准以 HTML 的格式在用户的浏览器中显示出来，如图 5 所示。

### 3.4 XML 数据库的网络共享

XML 在数据库应用方面有很多优点：第一，跨平台，XML 文件是文本文件，不受软件平台的约束。第二，简单易懂。XML 具有自我描述的特性，容易

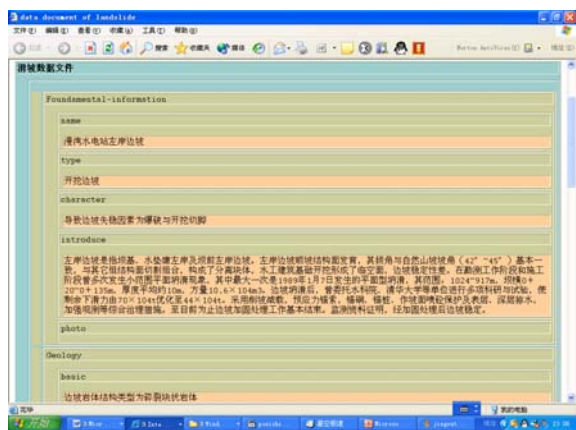


图 4 滑坡登录文件在 IE6.0 中的显示  
Fig4 Display of “manwan.xml” file in IE6.0



图 5 滑坡登录文件在 IE6.0 中的显示  
Fig.5 Display of ‘manwan.xml’ file in IE6.0

让人理解数据所代表的意思, 这些可以由计算机理解并自动传递数据。第三, XML 不仅可以描述结构性数据, 而且可以用来描述次结构性数据, 甚至可以有效地描述非结构性数据。

将 SQL Server 2000 数据库与 XML 技术结合起来, 再结合相关的网络技术, 就可以在网络共享的基础上构建边坡数据库系统。图 6 所示为 SQL Server 2000 数据库与 XML 技术相结合的网络访问数据系统结构图, 根据不同的服务需求与系统结构, 选择不同的访问方式来对边坡登录数据库中的数据文件进行查询浏览等操作, 从而可以实现边坡登录数据库的全球网上共享<sup>[8-10]</sup>。

通过以上分析, 在边坡登录数据库这个平台上, 世界各地的岩土工程工作者可以通过 internet 对边

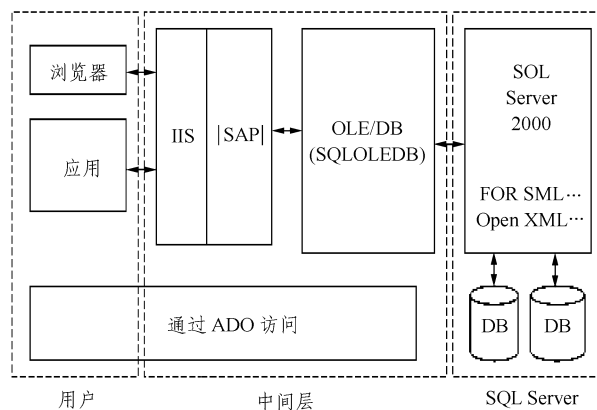


图 6 SQL Server 中的 XML 访问 system  
Fig.6 XML visit system in SQL Server

坡数据库中的数据文件进行添加、查询与浏览, 来共建、共享这一宝贵资源。全球共享的边坡数据库的建设工作需要世界各国的岩土工作者共同合作进行。

### 4 结 论

目前中国在大力开发水电能源, 建设一批大规模的水电站, 尤其是在中国的西南部地区, 如四川与云南等省。在发展水电能源的过程中, 不可避免地要面对许多复杂的高边坡稳定问题。广泛收集相关高边坡工程实例可为解决西南地区高边坡问题提供重要的参考与借鉴。

经过对数据库登录数据文件的系统分类、整理与统计, 得到统计成果见表 1~7 所示。根据这些统计结果可以看出, 边坡高度大于 100 m 的高边坡的稳定问题十分突出, 并且边坡失稳诱发因素也十分复杂, 广泛收集到的工程实例可为今后工程中高边坡设计与治理提供技术支撑。

飞速发展的计算机与网络技术为全球共享边坡登录数据库中的高边坡工程实例提供了可能, 目前广泛应用的 XML 技术与相关的数据库知识相结合可以实现全球共建共享边坡数据库的目标。

目前, 全球共享的边坡登录数据库正在构建中。相信在不久的将来, 世界各地的岩土工程工作者都可以通过网络来浏览与查询数据库中的边坡数据文件。

### 参考文献(References):

[1] 陆佑楣. 中国水电开发与可持续发展[J]. 水利水电技术, 2005,

- 36(2): 1 - 4.(LU Youmei. Hydropower and sustainable development in China[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, 36(2): 1 - 4.(in Chinese))
- [2] 黄润秋. 20世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433 - 454.(HUANG Runqiu. Large-scale landslides and their sliding mechanisms in China since the 20th century[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(3): 433 - 454.(in Chinese))
- [3] 陈祖煜. 岩质边坡稳定分析: 原理·方法·程序[M]. 北京. 中国水利电力出版社, 2005.(CHEN Zuyu. Rock slope stability analysis—theory, methods and programs[M]. Beijing: China Water Power Press, 2005.(in Chinese))
- [4] 顾兵. XML实用技术教程[M]. 北京. 清华大学出版社, 2007.(GU Bing. XML practical technology course[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.(in Chinese))
- [5] CHEN Z Y. The working party on China's water resources related landslide inventory[C]// Proc. Symp. 6th Int. Conf. Landslides. Christchurch: Balkema, 1992: 2 011 - 2 014.
- [6] CRUDEN D, BROWN W. Progress towards the world landslide inventory[C]// Proc. Symp. 6th Int. Conf. Landslides. Christchurch: A. A. Balkema, 1992: 59 - 64.
- [7] 中国水利水电科学研究院. “八五”国家科技攻关——岩质高边坡稳定分析方法和软件系统研究报告[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 1995.(China Institute of Water Resources and Hydropower Research. 8.5 Chinese national programs for science and technology development—the collection of research report of the stable analysis method of rock high slope and the software system[R]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 1995.(in Chinese))
- [8] 王海林. SQL SERVER 2005 中 XML 类型数据的输入方法[J]. 计算机系统应用, 2007, (5): 104 - 107, 111.(WANG Hailin. Input method of XML type data in SQL SERVER 2005[J]. Computer Systems and Applications, 2007, (5): 104 - 107, 111.(in Chinese))
- [9] 邢春晓. XML 数据管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.(XING Chunxiao. XML data management[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.(in Chinese))
- [10] 孔令波, 唐世渭, 杨冬青, 等. XML 数据的查询技术[J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1 400 - 1 418.(KONG Lingbo, TANG Shiwei, YANG Dongqing, et al. Querying techniques for XML data[J]. Journal of Software, 2007, 18(6): 1 400 - 1 418.(in Chinese))