

# 新疆平原水库大坝安全监测成果实例分析

尚 层

(新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘 要:** 新疆平原水库大坝从建成到现在已运行多年,为了了解该工程目前的运行情况和安全情况,对该平原水库大坝运行多年的监测资料进行了综合分析和安全评价,通过对大坝的变形和渗流的监测分析了解到,目前大坝的最大垂直位移值为1 201 mm,坝基换填砾质土对减小坝基沉降起到了很好的作用,大坝变形已趋于稳定;坝体、坝基的渗压位势从上游向下游逐渐减小,并随时间的推移逐年减小,坝基渗透比降也较小,截渗槽截渗效果也较好,说明渗流较为稳定。结果表明:该平原水库大坝工作性态良好,能够满足正常蓄水及安全运用的要求。

**关键词:** 平原水库; 变形; 渗流; 监测; 安全评价

中图分类号:TV698.1

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2015)05-0219-06

## Case analysis of dam safety monitoring results for Pingyuan reservoir of Xinjiang

SHANG Ceng

(Project Construction Authority of Xinjiang Irtysh River Basin, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** The Pingyuan reservoir of xinjiang has been operating for many years since it was built, in order to understand the operation and current security situation of the project, this paper comprehensively analyzed the monitoring data of the dam operating for years conducted safety evaluation. Through the monitoring of dam deformation and seepage, it was gotten that the maximum vertical displacement of the dam is 1201mm, the replacement gravelly soil of dam base has good role on reducing dam settlement. The deformation dam body has stabilized; the seepage pressure potential of dam body and foundation decreases from upstream to downstream, and gradually decreases with time lapse. The penetration ratio of dam foundation is smaller. The effect of seepage intercepting by cutoff seepage tank is good, which indicated that seepage is more stable. The results show that the work state of Pingyuan dam is good and able to meet the requirements of normal water use and safety operation.

**Key words:** Pingyuan reservoir; deformation; seepage; monitor; safety evaluation

大坝变形和渗流控制是土石坝设计中两大突出问题,变形和渗流控制的好坏,直接影响着大坝与水库安全和经济效益的发挥。大坝在蓄水过程中,坝体和坝基将由原来的静止压力状态向被动和主动土压力状态转变,应力状态的改变将引起大坝的变形,渗透变形的破坏也直接影响着大坝自身的安全,在蓄水过程中为保证大坝自身稳定和安全以及周围建筑物的安全,必须进行大坝安全监测。大坝安全监测的首要目的就是要掌握大坝的实际工作性态,为大坝的安全运行提供必要的信息<sup>[1-7]</sup>。

## 1 工程概况

某平原水库总库容2.81亿m<sup>3</sup>,属大(2)型水库,工程等别为Ⅱ等,主要由大坝、放水(兼放空)涵洞和管理设施组成。该平原水库为粉质壤土均质土坝,坝顶高程为503.00 m,最大坝高为28 m,大坝全长为17.676 km,由东坝、中坝、西坝和南坝四面封闭而成。涵洞底部11 m厚下卧层采用砾质土进行换填,以提高地基承载力。该工程从2002年开工建设,2005年完成全断面大坝填筑<sup>[8-10]</sup>。

## 2 变形、渗流监测设计和布置

### 2.1 大坝表面变形监测布设

大坝的表面变形观测标点布置在中坝和东、西副坝上。中坝每隔约 200 m 设一个观测断面,每个断面设 4 个位移观测标点,总计 42 个断面,共设 168 个测点,水平位移和竖向位移观测共用。东、西副坝每隔约 300 m 设 1 个观测断面,每个断面设 3 个位移观测标点,总计 14 个断面,共设 42 个测点。水平位移和竖向位移观测共用。表面竖向位移,采用水准法测量,表面水平位移采用双频 GPS 接收机进行观测。大坝变形监测断面布置图如图 1 所示。

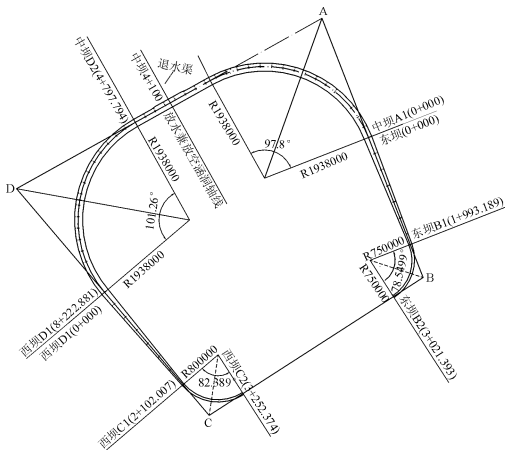


图 1 大坝变形监测断面布置图

### 2.2 大坝内部变形监测布设

大坝内部变形监测包括竖向位移(沉降)和水平位移监测。竖向位移采用干簧管式沉降仪观测,水平位移采用伺服加速度计式测斜仪观测。中坝和东副坝分别设置 2 个内部变形典型监测断面,西副坝设置 1 个典型监测断面。在 5 个监测断面的坝轴线处各布设一条观测垂线,沿 5 条观测垂线埋设沉降测斜管和沉降环进行内部变形监测,竖向位移与水平位移监测结合使用,观测中将坝基沉降与坝体沉降分开观测。每条观测垂线上沿高程方向每间隔 2 m 布置一个沉降测点,间隔 0.5 m 布置一个水平位移测点。

### 2.3 大坝渗流监测布设

(1) 渗流压力。在土坝坝体及坝基共布设渗压计测点 125 支,其中中坝 96 支,东副坝 17 支,西副坝 12 支。此外,还在主坝布设测压管 6 支。

(2) 地下水位。在中坝坝后桩号 2+000、4+300、6+200 布设 3 个监测断面,各设 5 个监测孔,共设测压管监测孔 15 个,分别距坝趾 100, 200,

400, 800 和 1200 m。

(3) 渗流量。在中坝下游排水沟布设量水堰 3 个,其桩号分别为 2+825、3+550 及 4+300。

中坝典型断面监测仪器布置图如图 2 所示。

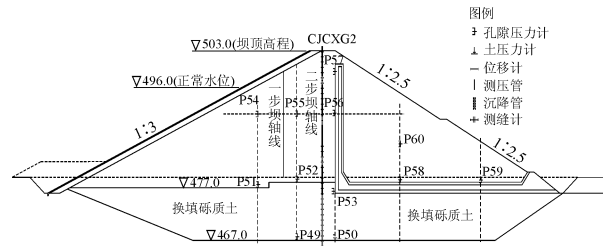


图 2 中坝 4+080 断面监测仪器布置图

## 3 监测成果分析

### 3.1 大坝变形监测成果分析

在土石坝变形中以垂直位移值为最大,大坝变形的安全控制以垂直位移为主。该坝垂直位移采用水准法观测表面位移和沉降管法观测沿管轴线不同高程的垂直位移。本文主要对沉降管观测值进行分析。

3.1.1 最大垂直位移 本坝在中坝(主坝)及东副坝各安装 2 套沉降管,西副坝安装 1 套沉降管,共安装 49 个沉降环测点。有关测点编号、部位、桩号、高程、蓄水前、后至 2014 年 9 月 1 日的观测值及位移速率等参数列入表 1、2。

从表 2 中可以看出:

(1) 蓄水前施工期垂直位移基本上与坝高呈正相关。中坝桩号 4+080 及 4+300 两测点观测值分别为 642 和 724 mm,其中桩号 4+080 处高程 467~478 m 为地基换填砾质土,因此施工期沉降量减少 82 mm。

(2) 蓄水后在蓄水期及运行期的垂直位移增量也基本与坝高呈正相关。换填砾质土的中坝桩号 4+080 沉降增量有明显减小,比相邻未换填砾质土相近坝高桩号 4+300 处减小 258 mm,两桩号沉降增量分别为 219 和 477 mm,这说明换填砾质土对加固地基起到重要作用,效果明显。

(3) 本坝实测最大垂直位移测点位置均在 1/4 坝高以下,与一般土坝位于坝高的 1/3~1/2 处偏低,这主要是坝基地层软弱之故。

(4) 蓄水后大坝运行期间,随着库水位升高,垂直位移仍在缓慢增加,但位移速率则逐渐减小。最大位移值为中坝桩号 4+300 处,其值为 1 201 mm,但 2012 年后已渐趋稳定,位移速率仅为 0.21~0.57 mm/月。总体上位移值和位移速率均为递减

的趋势。具体见表2。

3.1.2 垂直位移特征值 本坝实测的坝顶、坝基及坝体垂直位移量,施工期及蓄水后的垂直位移变化量,以及有关计算的特征参数列入表3,以全面了解垂直位移的变化特性。

从表3中可以看出:

(1)坝顶、坝基及坝体垂直位移总体上与坝高

呈正相关。但其中中坝桩号4+300处相对较大,而中坝桩号4+080处相对偏小,中坝4+080比4+300坝顶总沉降量偏小30%,坝基沉降量偏小30%,坝体沉降量偏小1/3。其主要原因是由于中坝4+080建基面以下换填砾质土厚11m,从而提高了地基承载力。

表1 大坝监测点布设和各监测点参数

部位	东坝		中坝		西坝
桩号	0+600	1+800	4+080	4+300	1+161
测点编号	CJ01-02	CJ05-01	CJ02-10	CJ03-04	CJ04-01
测点高程/m	491.69	495.34	484.12	482.12	489.04
建基面高程/m	489	495	478(其下11m为换填砾质土)		476
管底高程/m	484.05	489.77	462.27	471.39	483.56

表2 土坝最大垂直位移测点观测值统计

观测日期	CJ01-02		CJ05-01		CJ02-10		CJ03-04		CJ04-01		库水位/ m
	位移值/ mm	位移速率/ (mm·月 <sup>-1</sup> )	位移值/ mm	位移速率/ (mm·月 <sup>-1</sup> )	位移值/ mm	位移速率/ (mm·月 <sup>-1</sup> )	位移值/ mm	位移速率/ (mm·月 <sup>-1</sup> )	位移值/ mm	位移速率/ (mm·月 <sup>-1</sup> )	
2005-09-01	294		134		642		724		365		0.00
2006-09-01	329	3.50	168	3.40	735	9.30	837	11.30	413	4.80	482.19
2007-09-01	335	0.50	173	0.42	746	0.92	855	1.50	421	0.67	486.49
2008-09-01	348	1.08	180	0.58	778	2.67	961	8.83	440	1.58	490.31
2009-09-01	361	1.08	184	0.33	796	1.50	1109	12.33	445	0.42	492.81
2010-09-01	378	1.42	186	0.17	825	2.42	1151	3.50	456	0.92	495.94
2011-09-01	383	0.42	180	-0.50	827	0.17	1156	0.42	458	0.17	497.55
2012-09-01	387	0.33	181	0.08	854	2.25	1186	2.50	466	0.67	496.49
2013-09-01	391	0.33	180	-0.08	857	0.25	1193	0.58	472	0.50	498.85
2014-09-01	394	0.21	183	0.25	861	0.28	1201	0.57	475	0.21	495.96

注:2005-09-01之前为蓄水前,2006-09-01之后为蓄水后。

表3 土坝垂直位移观测特征值统计表

部位	东坝		中坝		西坝
测点编号	CJ01-02	CJ05-01	CJ02-10	CJ03-04	CJ04-01
桩号	0+600	1+800	4+080	4+300	1+161
坝高	12.1	8.1	25.0	27.0	12.6
坝顶总沉降量/mm	394	183	861	1201	475
地基沉降量/mm	361	162	752	1033	405
坝体沉降量/mm	33	21	109	168	70
蓄水前沉降量/mm	294	134	642	724	365
蓄水后沉降增量/mm	100	49	219	477	110
总沉降量占坝高/%	3.25	2.26	3.44	4.45	3.77
坝体沉降量占坝高/%	0.27	0.26	0.44	0.62	0.55
地基沉降量占总沉降/%	91.62	88.52	87.34	86.01	85.26
坝体沉降量占总沉降/%	8.38	11.48	12.66	13.99	14.74
2014年沉降速率/(mm·月 <sup>-1</sup> )	0.21	0.25	0.28	0.57	0.21

注:1.表中为2014-09-01的观测值;2.表中中坝4+080地基沉降量为478m高程测值,其下11m为换填砾质土。

(2)蓄水前施工期总沉降量及蓄水后沉降增量与上述变化规律相似,总体上与坝高呈正相关,但中坝桩号4+080比相邻4+300处观测值明显偏小,其中蓄水前偏小11%,蓄水后则偏小54%。这说明中坝4+080坝基换填砾质土厚11m后,对施工期沉降影响没有蓄水期大,蓄水期减小坝基沉降量的效果更加显著。

(3)坝基沉降量及坝体沉降量占总沉降量的百分比分别为:85.26%~91.62%及8.38%~14.74%,说明本坝沉降以地基沉降量为主,这是因为地基属软弱地层之故。

(4)中坝总沉降量及坝体沉降量占坝高的百分比分别为:3.44%~4.45%及0.44%~0.62%,说明本坝总沉降量偏大,而坝体沉降量偏小,即坝体填筑质量良好。

(5)中坝及东、西副坝各测点2014年观测的沉降速率变化范围为0.21~0.57 mm/月,且呈随时间递减的变化规律,依其最大值0.57 mm/月推算,今后将在7 mm/年基础上逐年递减。

### 3.1.3 坝顶垂直位移

(1)沉降管管底高程一般均设置在建基面以下5 m,以便于监测地基沉降,其中中坝4+080沉降管管底更埋设在换填11m厚砾质土以下约5 m处。

(2)沉降管管口高程一般均设置在坝顶面以下,仅东坝桩号1+800处管口在坝面以上0.638 m,为避免碰撞影响观测精度,最好从该管管口往下减少0.64 m。

(3)由5个沉降管观测值计算的坝顶垂直位移结果表明:其坝顶高程变化范围为502.695~502.897 m,为502.7~502.9 m,平均值为502.832 m,即比设计及完工后坝顶高程503 m稍低,平均沉降值为16.8 cm $\approx$ 17 cm,最大沉降值为30 cm。

## 3.2 大坝渗流监测成果分析

3.2.1 坝体渗流 本坝主坝(中坝段)坝高约25~28 m,坝长8.264 km,东、西副坝坝高较低,坝长较短,因此中坝是监测的重点,为此布设了较多的渗压计测点,以监测坝体的渗压水位。为便于比较,避免受上、下游水位影响,可计算坝体的渗压位势进行分析。

中坝典型断面的坝体渗压位势与库水位关系曲线图如图3所示。从图中可以看出:

(1)在竖向排水前从上游向下游方向布设有3个测点P125~P127,其渗压位势依次减少,分别约为70%、60%、40%,距上游越远渗透路径越长,位势下降越大,符合渗流变化规律。

(2)竖向排水前各桩号距坝轴3.8m位置的各测点,位势观测值比较接近,目前在42.87%~45.62%之间变化,表明各部位大坝渗流状态比较一致。

(3)在大坝竖向排水后的水平排水线上,各桩号均设有两个测点P131~P132,其位势观测值较小,一般在10%~20%以内,说明坝体排水体效果良好。

(4)所有测点的位势值均随库水位升高及时间的增加呈逐渐减小的发展趋势,说明坝体渗流条件在好转。自2011年9月以后,水库水位比较稳定,最大水头差约2.5 m,各个测点的位势观测值也趋于稳定,最大位势差约为5%。

### 3.2.2 坝基渗流

(1)渗压位势。在中坝建基面上桩号4+080为换填砾质土断面,其余均为设置截渗槽断面,中坝典型断面的坝基渗压位势与库水位关系曲线图如图4所示,从图中可以看出:

各桩号监测断面各测点截渗槽前、后及竖向排水体前位势观测值依次递减,相应测值分别为:60%~70%、30%~40%及15%~25%,说明变化规律正常;

桩号4+080处为地基换填11m厚砾质土部位,渗压位势值大于其它设置截渗槽的相应测点约15%~25%;

所有各测点的位势均随着库水位升高及时间的推移逐渐减少,说明坝基渗流条件逐渐改善。自2011年9月以后,水库水位比较稳定,除竖向排水前的P53号测点下降约9%外,其余测点位势也比较稳定,最大差约为3%。

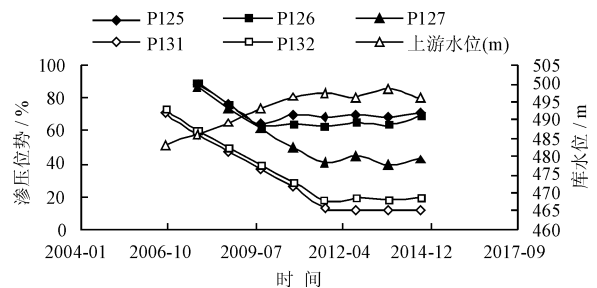


图3 坝体渗压位势与库水位关系曲线图

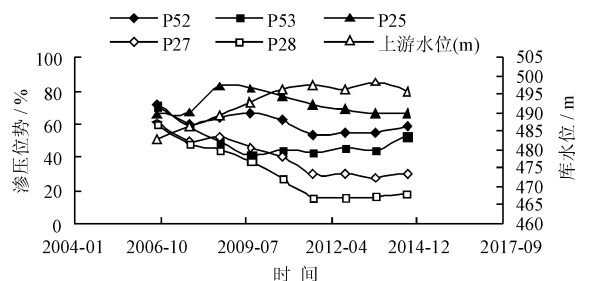


图4 坝基渗压位势与库水位关系曲线图

(2)渗透比降。渗透比降是渗流安全稳定的重要指标,特别是坝基部位。在中坝建基面处布设的渗压计观测值可用于计算坝基的渗透比降。各监测断面的渗透比降与库水位的关系曲线图如图5所示,从图中可以看出:

坝基各测点渗透比降随着库水位的变化而逐渐变化,自2011年9月以来,库水位基本稳定后,渗透比降也基本稳定;

根据2014年9月的观测结果,各测点的渗透比降在0.276~0.323之间变化,均在允许渗透比降0.5范围内;

从5个不同桩号的监测断面,观测出渗透比降值十分接近,说明坝基处渗透特性差别不大。

(3)截渗槽渗流。在中坝坝基设有截渗槽防渗,其防渗效果可根据截渗槽前、后渗压观测值计算水头折减率来判断。各监测断面的截渗槽水头折减率与库水位的关系曲线图如图6所示,从图中可以看出:

各桩号监测断面处坝高变化范围是25.6m~27.4m,属于主坝较高坝段。在2011年9月以前库水位逐渐上升的蓄水阶段折减率也随库水位上升而逐渐增加;

2012年9月以来,水库水头基本稳定,变化约2.5m情况下,各测点折减率变化约为2%;

实测截水槽水头折减率5个测点中,基本上都达到或接近40%。由于本坝截渗槽下为弱透水层,可以认为截渗槽的效果基本正常。若槽下为不透水层,则其效果可能会提高1倍。

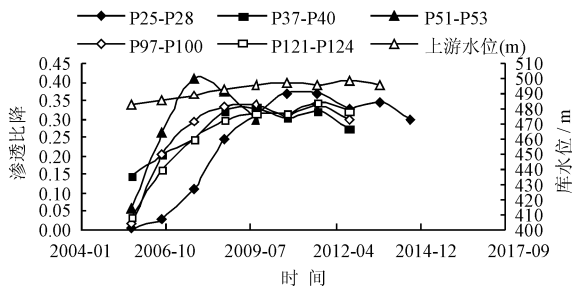


图5 坝基渗透比降与库水位关系曲线图

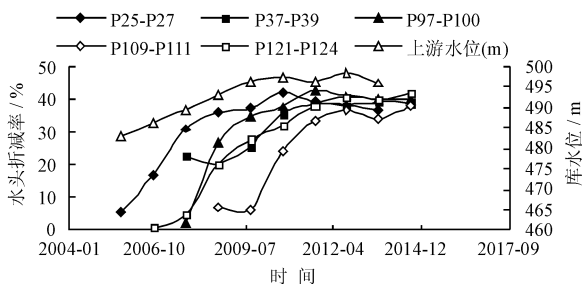


图6 坝基截渗槽水头折减率与库水位关系曲线图

(4)渗流量。为观测本坝渗流量,设计在中坝桩号2+825、3+550及4+300下游坝趾布设了3个量水堰,堰顶高程为484.04m,至2014年9月水库水位升至498.49m,下游水位475.64m,观测总渗流量为20.7 L/s。据此针对主坝的渗流量分析计算如下:

由中坝渗流量观测值20.71 L/s,计算得1789 m<sup>3</sup>/d,此为主坝明流渗流量,据此推算求得主坝潜流渗流量1037 m<sup>3</sup>/d,合计中坝总渗流量为2826 m<sup>3</sup>/d。

中坝坝基深度3~13m为中粉质壤土层,取野外注水实验平均渗透系数为 $5.7 \times 10^{-4}$  cm/s,根据坝趾下游实测的渗透比降,按地基深度为13m进行计算,得中坝潜流量为986 m<sup>3</sup>/d。

设计计算的坝体及坝基单宽渗流量 $q = 1.04$  m<sup>3</sup>/d·m,据此计算出中坝设计的总渗流量为8563 m<sup>3</sup>/d。

由上述结果可知,中坝实测总渗流量仅占设计值的33%,即1/3,因而设计值偏大,由于量水堰测点较少及库水位为498.49m,因而实测值并不是最大值,尚需继续观测,但预计实测最大值将在设计范围内。

由量水堰观测推算的潜流量1037 m<sup>3</sup>/d占实测明流量的58%;由渗透比降计算的潜流量为986 m<sup>3</sup>/d,占上述量水堰推算潜流量的95%,两者基本一致。

## 4 结 语

通过对该平原水库多年的安全监测资料进行综合分析,可以得出以下几点结论:

### 4.1 变形监测

(1)桩号4+080由于换填砾质土施工工期沉降量和蓄水后沉降量均有所减少,说明换填砾质土显著减少了总沉降及蓄水后沉降,效果良好。

(2)中坝桩号4+080及4+300总沉降占坝高比较大,坝体沉降占坝高比很小,说明坝体沉降较小,坝体施工质量良好。坝基沉降较大,坝基主要为软弱地层之故。

(3)设计计算得坝顶高程,在增加1.0m安全超高(安全裕度)的情况下,计算结果在正常运用时坝顶高程为502.507m。而根据2014年9月观测结果,坝顶的最低高程为中坝桩号4+300处的502.695m,比上述设计正常运用高程高出0.188m≈0.2m,设计中还有1.0m安全加高的裕度,即共

有 1.2 m 的安全超高,因此,本坝可以正常运用,即可蓄水至正常高水位 500.0 m。

(4)观察大坝多年的沉降速率变化,并根据土坝变形的收敛特性,该土石坝的变形已趋于稳定。

#### 4.2 渗流监测

(1)各测点坝体、坝基位势从上游向下游依次减小,桩号 4+080 换填砾质土处坝基位势比设截渗槽处大,说明坝体及坝基位势变化正常。

(2)根据 2014 年 9 月观测结果,各测点坝基渗透比降较小,小于壤土允许渗透比降 0.5,且各不同部位的渗透比降十分接近,说明坝基的渗透特性差别不大。

(3)坝体及坝基的位势皆随库水位的升高及时间的推移逐渐减小,说明渗流条件在好转,2011 年以来渗透比降观测值已趋于稳定。

(4)实测 5 个截渗槽的水头折减率,基本上约为 40%,截渗槽效果基本正常。但其测点布设在截渗槽的顶部高程,可能会影响观测效果。

综上所述可知:土坝地基变形较大,坝体变形较小,坝体施工质量良好,土坝变形已趋于稳定,坝顶高程能满足正常蓄水位的设计要求;土坝渗流位势及渗流量变化规律正常,且呈逐渐减小的趋势,渗透比降、水头折减率目前已趋于稳定。因此,土坝工作

性态是安全稳定的。

#### 参考文献:

- [1] 邓念武. 大坝变形监测技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010.
- [2] 王德厚. 大坝安全与监测[J]. 水利水电技术, 2009, 40(8): 126-132.
- [3] 赵志仁. 大坝安全监测设计[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2003.
- [4] 赵志仁,徐锐. 国内外大坝安全监测技术发展现状与展望[J]. 水电自动化与大坝监测, 2010, 34(5):52-57.
- [5] 赵志仁,郭晨. 国内外引(调)水工程及其安全监测概述[J]. 水电自动化与大坝监测, 2005, 29(1):58-61.
- [6] 赵志仁,张力忠. 大坝渗流安全监测技术研究[J]. 水利水电工程设计, 2001, 20(3):44-48.
- [7] 高山维. 浅议黑泉水库大坝渗流监测及资料分析[J]. 大坝与安全, 2008(6):48-51.
- [8] 赵多明. GPS 和高精度水准测量技术在水库大坝外部变形监测中的应用[J]. 甘肃水利水电技术, 2012, 48(4): 39-41.
- [9] 倪志华,王庆勇. GPS 技术在某水库大坝变形监测中的应用[J]. 新疆水利, 2011(5):32-35.
- [10] 司志明,孙双元. 新疆引额济乌一期一步工程输(蓄)水安全鉴定报告[R]. 北京:水利部水利水电规划设计总院, 2005.