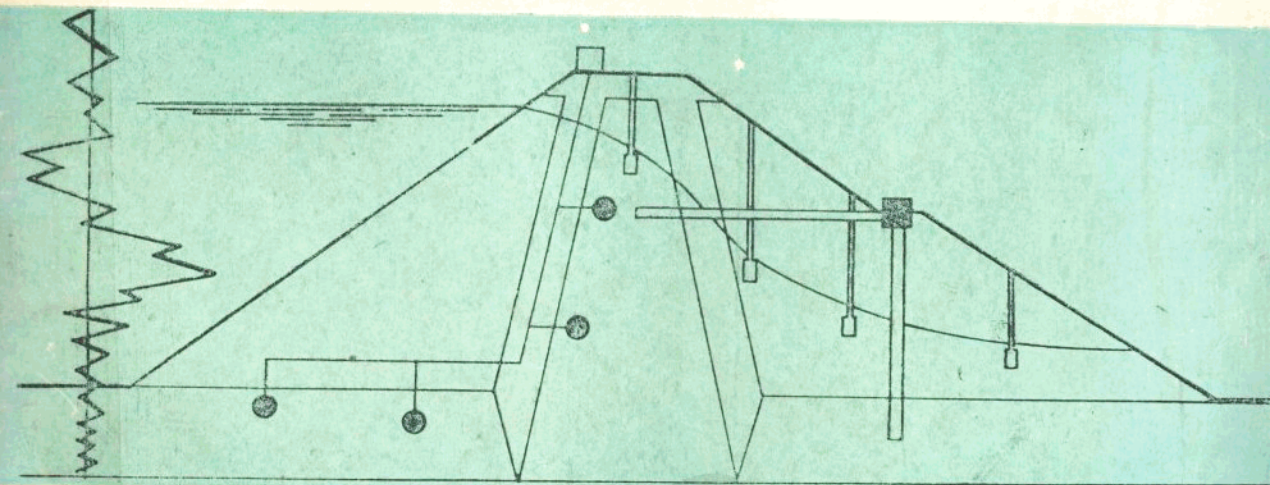


土石坝观测仪器手册

EARTHBANK DAM INSTRUMENTATION MANUAL

原著〔美〕垦务局



水利部水利大坝安全监察中心
水工建筑物观测情报网

译 校 前 言

我国已建设的高度超过15米的大坝已达13000多座,其中绝大多数是土石坝。在新建大坝中,高土石坝的比重也在增加,因此如何对土石坝性态进行有效监测,以保证这些大坝安全,一直是国内水利水电建设和管理工作中的一个重要课题。为研究解决这方面问题提供借鉴,我们翻译了这本美国垦务局编写出版的手册。该书是1987年1月出版,内容丰富,全面介绍了美国垦务局所使用的各种土石坝观测仪器,包含许多实践经验,还有一些在我国尚属空白的观测仪器和观测技术,很有参考价值,相信对我国土石坝设计、施工、运行管理和科研工作会有一定帮助。

本书篇幅较多,译校工作量较大,加之笔者和译校人员的水平所限,虽经全体人员共同努力,错误和疏漏之处难免,请读者应用本书内容时注意,如发现问题,望不吝赐正。另外,本书的翻译出版未征询原出版单位和作者意见,因此仅供内部交流参考。

1987年11月美国垦务局加州水调中心的泰力斯(Carl Tennis)先生赠送原书,中国国家防汛办公室富增慈付总工程师和水利部大坝监测中心以及水工建筑物观测情报网资助出版。笔者代表全体译校出版同仁向他们表示衷心感谢。

储海宁

1989年6月

编译工作人员

(按工作先后次序排列)

总校、统稿: 储海宁

翻 译: 侯恩隍 储海宁 张广民 唐春梅 戴 强 邹念椿

王 青 刘广林 郑延海 金惠英 俞维扬 邢 华

彭 虹 王世铨 史宇澄 潘 琳 杨立新 王志远

校 对: 戴 强 侯恩隍 储海宁 邹念椿 刘观标 王志远 李旦江 彭 虹

责任编辑: 李旦江 张耀东

插 图: 许 洁 张耀萍

感 谢

这本手册是在Colorado (科罗拉多) Denver (丹佛) 垦务局大坝安全处, 结构性态科主任工程师Dewayne L. Misterek的总体指导下准备的。非常感谢结构性态科的D. L. Misterek, Jay N. Stateler和L. Randall Welch所做的复审。J. N. Stateler还在收集和协调垦务局其它部门的意见方面做了有价值的工作。Bartholomew博士在1985年和1986年年夏季被结构性态科聘为主要作者之一。

地球物理处的负责人Andy Viksne在第六章中, 化学处负责人T. E. Backstrom在第七章中, 结构性态科的Lynn Carpenter和Jay N. Stateler为第七章的某些部分, 结构性态科的Lawrence Gilchrist为附录B都做出了有意义的贡献。

前 言

这本土石坝仪器手册为设计人员, 工程师, 观测人员, 运行人员和大坝安全人员在仪器系统的埋设, 使用和分析方面提供所需的信息。这本手册主要打算为垦务局人员使用。然而, 不论美国或外国从事于土石坝设计或施工或从事于大坝安全评估工作的其它部门或个人也可在本手册中找到有用的信息。在整个手册中使用英制测量单位, 因为它原来打算在美国使用。然而, 认识到公制有更广泛使用的趋势, 手册包含了一个公制对等转换表。

产品或厂家的参考资料仅仅打算提供例子。这些参考资料不能解释为垦务局的认可或推荐。

准备这本手册用到的信息有多种来源。尝试了在适当的地方列出这些来源以供参考。第八章中列出所提到的参考资料, 它包含一个精选的, 与土石坝观测设备有关的出版物的文献目录。

目前计划二、三年后修改和更新手册的某些部分。欢迎手册用户提出评论和建议。

(侯恩焯译, 戴强校)

单 位 换 算 参 考

英制 (inch—lb)		S·I (米) 制	
1 inch	英寸	= 25.4mm	毫米
1 foot	英尺	= 0.305m	米
1 pound	磅	= 0.454kg	公斤
1 in ³	立方英寸	= 1.639 × 10 ⁻⁴ m ³	立方毫米
1 pint	品脱	= 0.473L	升
1 gallon	加伦	= 3.785L	升
1 in ³ /linft	立方英寸/直线英尺	= 53.76cm ³ /linm	立方厘米/直线米
1 lb/in ²	磅/平方英寸	= 6.895kpa	千帕
1 ft ³ /s	立方英尺/秒	= 0.028m ³ /s	立方米/秒
1 ft ³ /h	立方英尺/小时	= 0.028m ³ /h	立方米/时
1 gal/min	加伦/分	= 3.785L/min	升/分
1 gal/min	加伦/分	= 3.785 × 10 ⁻³ m ³ /min	立方米/分
1 mgal/d	兆加伦/日	= 4.381 × 10 ⁻² m ³ /s	立方米/秒

目 录

译校前言	(i)
前 言	(iii)
单位换算参考	(iii)
第一章 绪论	(1)
A. 一般原则	(1)
1. 目 的	(1)
2. 必要性	(1)
a. 诊断需要	(1)
b. 预报需要	(2)
c. 法律需要	(2)
d. 研究需要	(2)
3. 观测仪器的基本要求	(2)
4. 最低限度的观测设备	(3)
5. 已建坝的安全评估	(3)
a. 观测设备	(3)
b. 检 查	(3)
B. 压力测量装置	(4)
6. 目 的	(4)
7. 类 型	(4)
C. 渗流测量装置	(4)
8. 目 的	(4)
9. 类 型	(4)
D. 内部位移测量装置	(5)
10. 目 的	(5)
11. 类 型	(6)
E. 表面位移测量装置	(6)
12. 目 的	(6)
13. 类 型	(6)
F. 振动测量装置	(6)
14. 目 的	(6)
15. 类 型	(6)
G. 材料试验	(7)
16. 目 的	(7)
17. 试验类型	(7)

a. 内部位移测量装置	(7)
b. 测压计装置	(7)
18. 试验报告	(7)
H. 监测计划	(7)
19. 概述	(7)
20. 计划的改变	(9)
21. 应急程序	(9)
I. 维护与运行	(9)
22. 概 述	(9)
23. 性能检验	(10)
24. 装置率定	(11)
J. 数据采集、处理、及评审程序	(11)
25. 概 述	(11)
a. 数据采集	(11)
b. 数据传输	(13)
c. 数据处理	(13)
d. 数据评审	(13)
e. 可能行动	(14)
26. 目视检查	(14)
第二章 压力测量装置	(16)
A. 仪器的历史及其发展	(16)
27. 历史和发展	(16)
a. 观测井	(16)
b. 水位指示仪	(16)
c. 静水压力指示仪	(16)
d. 水压式测压计系统	(18)
e. 塑料制品	(20)
f. 透水板(透水石)	(22)
28. 当前应用中的发展	(23)
B. 封闭式系统的观测仪器	(23)
29. 静水压力指示仪	(23)
a. 使用情况	(23)
b. 优缺点	(23)
c. 设备说明	(24)
d. 安 装	(24)
e. 监测方法	(24)
f. 维 护	(24)
g. 数据处理	(24)
30. 水压式双管测压计	(24)
a. 使用情况	(24)

b. 优缺点	(24)
c. 设备说明	(25)
d. 监测方法	(27)
e. 维 护	(29)
f. 数据处理	(32)
31. 气动式测压计	(32)
a. 用 途	(32)
b. 优缺点	(32)
c. 设备说明	(33)
d. 安 装	(34)
e. 监测方法	(35)
f. 数据处理	(35)
32. 钢弦式测压计	(36)
a. 用 途	(36)
b. 优缺点	(36)
c. 设备说明	(36)
d. 安 装	(37)
e. 监测方法	(38)
f. 数据处理	(39)
33. 电阻应变式测压计(渗压计)	(41)
a. 用 途	(41)
b. 优缺点	(41)
c. 设备说明	(41)
d. 安 装	(41)
e. 监测方法	(41)
f. 数据处理	(41)
34. 总压力计	(41)
a. 用 途	(41)
b. 优缺点	(41)
c. 设备说明	(42)
d. 安 装	(42)
e. 监测方法	(42)
f. 数据处理	(42)
C. 开敞式系统的观测仪器	(43)
35. 透水管式测压计	(43)
a. 用 途	(43)
b. 优缺点	(43)
c. 设备说明	(44)
d. 安 装	(46)
e. 监测方法	(47)

f. 维 护	(47)
g. 数据处理	(47)
36. 槽孔管式测压计	(47)
a. 用 途	(47)
b. 优缺点	(48)
c. 设备说明	(48)
d. 安 装	(48)
e. 监测方法	(48)
f. 维 护	(48)
g. 数据处理	(48)
37. 观测井	(48)
a. 用 途	(48)
b. 优缺点	(48)
c. 设备说明	(49)
d. 安 装	(49)
e. 监测方法	(49)
f. 数据处理	(49)
第三章 渗漏量测量装置	(50)
A. 现在使用的装置	(50)
38. 概 述	(50)
39. 量水堰	(50)
a. 概 述	(50)
b. 装 置	(51)
c. 堰型选择	(52)
d. 流量测量	(53)
e. 流量公式	(53)
f. 维 护	(58)
g. 数据处理和评审	(59)
40. 巴歇尔水槽	(59)
a. 概 述	(59)
b. 运行原理	(60)
c. 几何特征	(61)
d. 安 装	(61)
e. 流量测定	(61)
f. 数据处理和评审	(63)
41. 梯形水槽	(63)
a. 用 途	(63)
b. 设备说明	(63)
c. 安 装	(63)
d. 监测方法	(64)

e. 数据处理和评审	(64)
42. 流速仪	(64)
a. 用途	(65)
b. 设备说明	(65)
c. 安装	(65)
d. 监测方法	(65)
e. 数据处理和评审	(65)
43. 率定容器	(66)
44. 地球物理渗流测量方法	(66)
a. 温度测量	(66)
b. 自身电势测量	(69)
第四章 内部位移测量装置	(72)
A. 仪器的用途和类型	(72)
45. 概述	(72)
46. 仪器类型	(72)
B. 现在使用的仪器	(72)
47. 内部垂直位移测量装置	(72)
a. 用途	(72)
b. 优缺点	(72)
c. 设备说明	(72)
d. 安装	(74)
e. 监测方法	(74)
f. 维护	(74)
g. 数据处理和评审	(74)
48. 坝基深标板	(74)
a. 用途	(74)
b. 优缺点	(74)
c. 设备说明	(75)
d. 深标板装置改进	(75)
e. 监测方法	(76)
f. 数据处理和评审	(76)
49. 气动式沉降仪	(76)
a. 用途	(76)
b. 优缺点	(76)
c. 设备说明	(77)
d. 安装	(77)
e. 监测方法	(77)
f. 数据处理和评审	(77)
50. 钢弦式沉降仪	(78)
a. 用途	(78)

b. 优缺点	(7)
c. 设备说明	(78)
d. 安 装	(78)
e. 监测方法	(78)
f. 数据处理和评审	(79)
51. 倾斜仪 (常用装置)	(79)
a. 用 途	(79)
b. 优缺点	(79)
c. 设备说明	(79)
d. 安 装	(80)
e. 监测方法	(81)
f. 维 护	(83)
g. 数据处理和评审	(84)
52. 倾斜仪 (固定式)	(84)
a. 用 途	(84)
b. 优缺点	(84)
c. 设备说明	(84)
d. 安 装	(85)
e. 监测方法	(85)
f. 维 护	(85)
g. 数据处理和评审	(86)
53. 多点伸长计 (多点变位计)	(86)
a. 用 途	(86)
b. 设备说明	(87)
c. 安 装	(87)
d. 监测方法	(87)
e. 维 护	(87)
f. 数据处理和评审	(87)
54. 剪切带	(88)
a. 用 途	(88)
b. 优缺点	(88)
c. 设备说明	(88)
d. 安 装	(89)
e. 监测方法	(89)
f. 维 护	(89)
g. 数据处理和评审	(89)
55. 无线电探测系统	(90)
a. 用 途	(90)
b. 优缺点	(90)
c. 设备说明	(90)

d. 安 装	(90)
e. 监测方法	(90)
f. 数据处理和评审	(91)
第五章 表面位移测量装置	(94)
56. 概 述	(94)
57. 点式倾斜仪	(94)
a. 用 途	(94)
b. 优缺点	(94)
c. 设备说明	(94)
d. 安 装	(94)
e. 监测方法	(93)
f. 数据处理和评审	(93)
58. 土石坝标点	(93)
a. 用途	(95)
b. 优缺点	(95)
c. 设备说明	(95)
d. 设 置	(94)
e. 监测方法	(95)
f. 数据处理和评审	(97)
59. 结构标点	(97)
a. 用 途	(97)
b. 优缺点	(97)
c. 设备说明	(97)
d. 设 置	(97)
e. 监测方法	(99)
f. 数据处理和评审	(99)
60. 裂缝测量装置	(99)
a. 用 途	(99)
b. 设备说明	(100)
c. 设 置	(100)
d. 监测方法	(100)
e. 数据处理和评审	(100)
第六章 振动测量装置	(101)
A. 装置的历史和发展	(101)
61. 概 述	(101)
62. 装置类型	(101)
B. 现在使用的装置	(102)
63. 强震仪器	(102)
a. 用途	(102)
b. 装置类型	(102)

c. 设备说明	(103)
d. 操作和维护的原则	(104)
e. 监测方法	(105)
f. 数据处理和评审	(105)
第七章 专门性补充测量和装置	(105)
A. 专门性测量	(105)
64. 水质试验	(105)
a. 目的	(105)
b. 采样技术	(105)
c. 试验种类	(106)
d. 数据分析和提出报告	(108)
B. 专门性装置	(109)
65. 自动装置	(109)
a. 压力测量装置	(109)
b. 渗漏流量装置	(110)
c. 上下游水位测量装置	(110)
66. 遥测装置和方法	(110)
a. 数据自动采集	(110)
b. 卫星传送	(111)
第八章 主要参考文献	(112)
附录A 观测仪器技术说明	(116)
附录B 土石坝观测资料处理	(132)
附录C 美国垦务局两座新建土坝的观测自动化	(142)
附录D 美国垦务局土石坝观测仪器词汇	(147)

第一章 绪 论

A、一 般 原 则

1.目的——为了在水库中拦蓄洪水而设计施工的大坝，通常是水利工程中的重要结构，用以开发河流的灌溉，供水，发电，防洪，疗养，航运以及其他重大经济效益。

人们期望大坝能够长期安全地承受水库蓄水而形成的巨大压力。由于大坝失事而突然或非计划泄放的库水将会造成生命财产的巨大损失，因此大坝的正常和安全运行是关系公众安全和经济的极端重要的问题。

由于大坝失事将导致生命财产损失、公众安宁危害，公共福利破坏和预期效益丧失，这就使收集评估大坝性能和安全信息的手段成为非常必要。在施工、水库第一次蓄水和长期运行阶段，大坝安全的持续保证都是非常必要的。用有效的观测设备进行监测就是帮助评估大坝安全并提供这种保证。其目的就是为了满足一个恰当的大坝安全检查和监测计划的要求，并提供结构性态的大部分必要信息。

2.必要性——土石坝必需监测的一般观测项目是结构位移、变形、沉陷，测压管水位以及在结构内部或其地基中的孔隙水压力。使用观测设备的必要性可归纳为下述四个方面，即：诊断，预测，法律和研究的需要。

a、诊断需要——（1）设计的检验——工程师一般不能绝对肯定他们对某项工程的设计是既安全而又最经济的，通常都采用“观测法”进行施工，这种方法是基于设计在竣工时才能趋于完善的假定而进行的，观测设备在施工中充当了一个重要角色，它的观测成果可使工程师在施工过程中求得设计的合理和完善。

用观测设备收集到的信息也帮助修正考虑实际现场条件影响的纯理论计算。坝工设计通常要对各种作用力进行严格的有时是复杂的研究，这种研究是以有关材料特性和结构性态的传统假定为基础的，这些假定是用来为设计中的未知数或不确定性提供数据。然而，由观测仪器组成的监测系统所取得的观测成果和对大坝结构性态影响的估计有助于减少这些未知数，并且导致分析技术和未来设计方面的进一步提高和改进。

（2）、新施工技术优越性的验证——大多数新的或改进的施工技术在没有得到以实际效果为基础的证实之前不能为设计施工人员很好地接受。从观测设施取得资料可以帮助评估新的或改进的技术的优越性。

（3）、恶性事故的特性诊断——如果在坝址发生了一种破坏、局部破坏或严重险情，由观测系统取得的资料对确定事故的特性可能是很有价值的。此外，观测设备常常在维修前后安装到现场以确定加固效果。

（4）、运行性态持续良好的验证——通过一座坝的观测系统不断取得的资料表明坝的运行处于良好状态，其观测系统似乎不怎么重要了。然而，如果在未来的资料中出现某些变化反映了可能的问题的话，这样的信息就证明它是很有价值的。此外，运行状态持续良好对未来的设计工作也很有意义。

b、预报需要——运用长期积累的观测资料进行大坝未来性态的有效预报是很重要的，这样一些预报有可能是从运行良好变化到严重险情，这种险情也许要威胁大坝寿命或安全，就有必要进行加固。

c、法律需要——可靠的观测资料对下述方面是有价值的，从用于施工费用估算的实际填土方量的简单测定直到为了以后可能的诉讼问题而建立的数据库。由于大坝施工或恶性事故而提出的损失赔偿费用可能达到数万美元。观测资料能够帮助确定填筑方量（例如：Arthur watkins坝）以及恶性事故的原因，以便法庭作出公正的判决。

d、研究需要——技术水平的发展——研究大坝的性态及由其产生的观测资料，将对在许多互相有关的作用力作用下的大坝的复杂性提供更多的知识，也为未来的设计提供定量的信息。这样的研究能够导致施工技术方面的进步，设计概念的改进和更新以及破坏机制的更好了解。

我们通常最感兴趣的是测量土石坝运行期内三种主要特性的变化量，这些特性就是抗渗流的能力，抗变形的能力和强度特性。不幸的是，不论是结构的物理特性或者是作用于坝上的外力，其变化都是相互有影响的，这样就难以确定明确的因果关系。只有由测量取得的资料相当多时，这些因果关系才变得明显起来。

土石坝的破坏通常由于下列原因的一种或数种而形成。

- 土石坝或其坝基有大量渗漏或可能的内部冲蚀。
- 由于沿填筑区接合面不均匀沉陷引起的纵向裂缝。
- 排水系统的恶化和堵塞。
- 心墙因沉陷性裂缝造成整体性破坏
- 由于非常大的入库流量或不充足的溢洪能力引起大坝漫顶。
- 由于坝体和陡边坡之间不均匀沉陷及水力劈裂引起的横向裂缝

观测设备的安装费用很高而且观测很费时间。因此，有必要限制所用观测仪器的数量和品种，并限制观测的测次。没有简单的规定用来确定所需的观测仪器数量、正确类型和位置，这些都取决于以一般认识和直觉为基础的经验判断。

3. 观测仪器的基本要求——在给定的现场条件下，理想的观测仪器应具备下述特性：

- 精度满意
- 长期稳定
- 维护要求不高
- 适于施工
- 费用低廉
- 简单

所谓适于施工是要对施工操作的干扰最小而且能够顺利安装的可能性最大。事实上，当选择在某一现场条件下使用的特定仪器型式时，要综合考虑上述往往相互矛盾的特性以寻求最佳的仪器。

在监测计划实施之前，所有在设计、设备采购、观测维护及资料分析中的岗位职责都必须制定出来，这些工作岗位都必须有称职的人员和资金。制定监测计划是为了解决特定的问题，如果没有什么问题需要解决，那就不需要监测计划。

所有参加监测计划工作的人员都需要很好地培训，使他们了解要监测什么和为什么要监测，人们认识他们工作的重要性时会干得更好。永远不要只解释“如何做一项工作”，而应

说明“为什么”，因为在整个过程中任何一处的错误都会使资料变得毫无意义，而毫无意义的资料比一点资料也没有还糟，因为它会导致人们采取错误的措施。

由于很大比例的异常问题是由仪器或人为错误造成，因此负责观测的人员必需加以培训，使他们能够确定仪器功能是否满足要求。这就需要备用的系统和定期的维护和校验。应该由经过培训的技术人员采集数据，不要使用水平很低的人或临时工。

虽然测值本身是很重要的，有时一些好像是无关的资料也同样重要，因为他们使人们能够确定资料之间的因果关系（如降雨量、开挖速度、填土特性等），这些因果关系从数据的曲线看比从原始数据看起来更明显。

全部观测工作必须是认真的细致的工作，因为即使一支仪器的反应异常也是极其重要的。不能因为仅有一支仪器发生异常而忽视了大坝性态的异常。

正如第二节中讨论的，有很多理由说明在新建坝中都应布设观测设备。在某一座坝上需要的仪器数量、型号和测点位置等问题的有效解决主要是依靠经验、一般认识和直觉。大多数的坝都有自己的特殊条件，因而在观测设备的要求方面也应具体加以解决。观测系统的设计必须对坝址的特殊土力学条件加以留意和考虑。通常，一座新建坝的合理可靠的观测系统的费用大约是全部大坝施工费用的1%，在特殊的环境条件下，这种费用可高达大坝施工费用的2—3%。

4.最低限度的观测设备——在1978年，美国垦务局组织了一个小组研究大坝的最低限度的观测问题，保证大坝安全所需的最低限度的观测设备可以分为两种类型研究确定，即已建坝和新建坝，因为他们有各自的具体问题，二者之间存在的重要区别在于：

- 新建坝通常更加需要监测以表明施工期、第一次蓄水和运行初期的安全程度。
- 某些安装仪器的方案在施工期是可以采用的，对于已建坝则不行。
- 长期干旱使一些老坝防渗体脱水干燥而产生裂缝，通过这些裂缝能够渗漏。
- 许多老坝建设时所用的设计、施工和运行的规范和在现代技术水平下制定的规范有很大的不同。

小组确定了土石坝及其溢洪道和泄水工程的最重要的安全监测项目是渗漏来源和渗漏量，土体不均匀位移和总位移，水位，孔隙水压力和水质。

由于该小组的努力及其后的规范修订作出了这样的规定，新坝设计应考虑足够的质量好、埋设点合理，技术水平先进的仪器以供按照工程设计和经济合同要求的长期稳定的大坝安全评估之用。也规定了已建坝必须根据现场具体条件的有关需要进行观测设备的更新改造。

5.已建坝的安全评估——a、观测设备——事实上，已建坝上没有或只有很少的观测设备并非在其上安装观测设备的恰当理由，许多实质性的问题（例如，严重的损坏，看得见的已记录的险情，看得见的已记录的薄弱环节，或地质记录和施工记录中的异常问题）才表明安装观测设备并用以进行监测的必要性。这一原则在美国垦务局的整个工作中产生很大的效益。事实上，某些类型的仪器必须安装到土石坝内的钻孔中，这样可能危及坝体。美国垦务局的目标是将观测设备作为一种主要手段用于不断发展中的大坝安全方面承担的义务中。

b、检查——在1978年，美国垦务局开始进行SEED计划（已建坝的安全评估）并同时实施一个已建坝的安全检查和评估的广泛培训计划，为各级政府和私人的工程机构的工程技术人员准备了一本手册【10】，为他们提供大坝安全检查和评估的全面的广泛的指导原则和方法，作为SEED手册的补充，制定了一个大坝安全负责人员的培训计划。

由有经验的土木和机械工程师、地质专家组成SEED的官方检查组，每个小组由大坝安全

处委派一名工程师领导，小组其他成员可以包括本地区的人员，个别的顾问，大坝安全处的其他成员，工程项目负责人及联邦的和州政府的代表，他们共同进行大坝现场检查。

SEED检查组对有关大坝安全的所有资料进行广泛的审查，进行现场检查，分析所有的数据和观测成果，修正数据记录并为上级领导——检查科写一分书面的检查报告，报告中说明有关大坝安全的检查结果、结论和建议。

B. 压力测量装置

6. **目的**——不论是在坝体或坝基中，过高的孔隙压力都直接影响大坝的稳定。用于测量压力的装置有各种类型的测压计和总压力计。测压计通常用于测量大坝施工时可能由于填筑坝体引起的水压力。

测压计也用于测量坝体和坝基的相对透水层中由于渗漏形成的地下水面的水压力。这些测值是重要的，因为有可能是管湧或其他的渗漏引起的不稳定情况，例如出现过高的静水头浮托力。测压计可以设计成封闭式系统或敞开式系统。

总压力计用于测量作用于一平面上的总的静压力，这些总压力计帮助确定土坝坝体内和作用于管道、坝工结构、建筑物地基以及挡土墙上正应力的大小。

7. **类型**——多年来，已有很多品种和类型的压力测量装置可以应用。封闭式系统的装置HPI（静水压力指示仪），水力式TTP（双管式测压计），GP（气动式测压计），VWP（钢弦式测压计），气动式TPC（总压力计），以及其他电气测压计。敞开式系统的装置有PTP（透水管式测压计），SPP（槽孔管式测压计），和OW（观测井）。本书将详细讨论美国垦务局所用的装置，表1—1列举了各种类型测压计的优缺点。

C. 渗流测量装置

8. **目的**——通过土石坝坝体、坝下或两岸的渗漏是大坝性态的状况及其持续水平的有价值的指示。进入渗流采集系统的渗流量通常直接与水库水位相关，渗流量的突然变化而没有像水库水位相应变化或一场大雨等明显原因的话，就可显示出某一个渗漏问题。类似地，当渗漏水变得浑浊或变色，包括沉淀物的增加，或化学成分的急剧变化，多半出现了严重的渗漏问题。在下游坡或坝下出现了新的或非设计位置的潮湿或渗漏点，也表示出现了渗漏问题。

9. **类型**——一定量的装置，包括堰，流量计，巴歇尔水槽，率定过的容器都可用于渗流量测量。地球物理方法包括温度测量和自身电势测量用于定性的渗流分析。

堰是用于测量水的流量的一种最古老、最简单而且最可靠的装置。堰的重要零件易于检查，不正常的运行易于察觉而且便于修正。通常采用直角三角形堰、矩形或梯形堰，由过流堰顶至上游水面的垂直距离可确定流量，用公式计算或查表求出。

巴歇尔水槽是一段形状特殊的明渠，其流量可以用查表或曲线确定，表和曲线以水槽喉宽、上游水头和下游水头作变量。

率定过的容器可用于测量从管口流出的小流量的渗流，测量充满容器已知体积所需的时间，即可计算出流量（通常按每分钟的加仑数计算）。

流量计和压力传感器装置有时用于测定水管或明渠的流量。

温度测量技术可以用于特殊场合下协助识别破碎岩层或冲积土中高渗透性区和地下水流集中区。虽然这些技术不能代替钻孔或安装常用仪器的需要，但为更加定量的研究方法如钻孔和抽水试验等定位方面是很有价值的。

自身电势或流线位势测量方法有助于查明渗漏通道，它有助于提供常用的测压计数据的不足之处。

表1—1 各类测压计优缺点比较表

特 点	测压计类型			
	敞开放式立管	水力式	气动式	钢弦式
使用中需要的时间	长	长	短	很短
观测精度	中	低	低	高
在不透水土料中的时间滞后	长	短	很短	很短
费用——钻孔安装时	不高	—	高	很高
费用——在新建坝坝体或坝基中时	中	中	较高	相当高
在建坝时的施工干扰	很大	很小	很小	很小
安装复杂性	很简单	中	复杂	中
读数和维护的复杂性	很简单	维护工作量大	读数较复杂	很简单
安装中引起问题	相当低	高(与日具增)	高	很低
是否集中读数	不	是	是	是
集中读数站是否受限制	—	是(高程)	是(距离)	不
读数需要时间	长	中	相当长	很短
是否可读出负孔隙压力	不	是	不	是
其它考虑	在高水位时有结冰问题 透水管式测压计的滤水层由于反复进出水而堵塞	如不定期维护管道将堵塞	必须防止湿气从进口管进入	易受温度变化影响

D. 内部位移测量装置

10. 目的——大坝内部位移观测主要是垂直位移和相应的水平位移，它们主要是坝基或筑坝材料的低抗剪强度或长期徐变应变所形成。内部位移当然导致了坝顶和边坡的外部位移。

适于安装垂直位移装置的典型条件是：

- 含有可压缩粘土层或相对疏松的淤泥、粉沙土或沙性土的沉积层的坝基。
- 含有不均匀的或其中有可压缩土料透镜状沉积土的坝基。
- 含有以压实和固结特性很不相同的多种土料分区填筑土石坝。
- 靠近附属混凝土结构如溢洪道的土石坝体。
- 在细粒土或页岩中的深开挖区多半发生回弹变形或膨胀，在坝体填筑施工时形成再一次压缩变形。

总之，坝高和工程量增大时观测垂直位移的必要性也增加，因为在较大的荷载作用下相