

中华人民共和国水利行业标准

SL 443—2009

替代 SD 121—84

水文缆道测验规范

Specification for hydrometric cableway surveying

2009-03-02 发布

2009-06-02 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告

2009 年第 5 号

中华人民共和国水利部批准《水文缆道测验规范》（SL 443—2009）和《水利信息网运行管理规程》（SL 444—2009）两项标准为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水文缆道测验规范	SL 443—2009	SD 121—84	2009.03.02	2009.06.02
2	水利信息网运行管理规程	SL 444—2009		2009.03.02	2009.06.02

二〇〇九年三月二日

前 言

根据水利部水利行业标准编制计划，按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002）的要求，修订《水文缆道测验规范》（SD 121—84）。

本标准共 7 章 26 节 144 条和 4 个附录，主要技术内容有：

- 缆道建设与使用；
- 缆道的组成；
- 缆道流量与泥沙测验；
- 缆道系统防雷；
- 缆道养护与维修。

本次修订的主要内容有：

- 增加了术语；
- 增加了缆道建设的基本内容；
- 增加了自动测控系统内容；
- 增加了缆道防雷系统内容。

本标准替代标准的历次版本为：

- SD 121—84

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水文局

本标准解释单位：水利部长江水利委员会水文局

本标准主编单位：水利部长江水利委员会水文局

本标准参编单位：水利部黄河水利委员会水文局

河南省水文水资源勘测局

贵州省水文水资源局

山东省水文水资源局

陕西省水文水资源勘测局

南京戴维科技有限公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：陈松生 赵蜀汉 肖 中 陈守荣

朱新明 戴建国 荣新武 郑宝旺

郭金巨 丁吉龙 师 奎 田岳明

本标准审查会议技术负责人：朱晓原

本标准体例格式审查人：窦以松

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	缆道建设与使用	4
3.1	缆道建设	4
3.2	缆道使用	7
4	缆道组成	8
4.1	类型及结构型式	8
4.2	索、塔架（柱）及锚系统	12
4.3	绞车驱动系统	15
4.4	调速控制系统	16
4.5	自动测控系统	17
4.6	缆道房	22
4.7	防雷系统	22
5	缆道测流	26
5.1	测验仪器	26
5.2	测验仪器操作	26
5.3	测流信号装置	27
5.4	测距	29
5.5	测深	30
5.6	垂线测点位置的确定	34
5.7	测速方法	35
6	缆道测沙	37
6.1	悬移质泥沙测验仪器	37
6.2	测验仪器操作	37
6.3	测沙信号装置	38
6.4	悬移质输沙率测验	38

6.5	悬移质泥沙颗粒测验	41
6.6	推移质测验	41
7	养护与维修	42
7.1	缆道设施	42
7.2	驱动设备	44
7.3	仪器仪表	45
7.4	防雷装置及设施	45
附录 A	缆道技术档案	47
附录 B	偏角改正表	62
附录 C	比测用表	81
附录 D	测验用表	84
	标准用词说明	88
	条文说明	89

1 总 则

1.0.1 为统一全国水文缆道测验的技术要求，适应水文缆道技术发展，保证缆道测验安全和测验成果质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水文测站水文缆道的建设、测验和维护管理。

1.0.3 水文缆道建设应按查勘、设计、施工、调试率定、验收投产等步骤进行。

1.0.4 本规范引用的主要标准：

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—94)

《水文基本术语和符号标准》(GB/T 50095—98)

《河流悬移质泥沙测验规范》(GB 50159—92)

《河流流量测验规范》(GB 50179—93)

《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2004)

《水文基础设施建设及技术装备标准》(SL 276—2002)

《声学多普勒流量测验规范》(SL 337—2006)

《水文测船测验规范》(SL 338—2006)

1.0.5 水文缆道测验除应符合本规范外，尚应符合现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 水文缆道 hydrometric cableway

能将水文测验设备、仪器运送到测验断面内任一指定起点距（水平位置）和垂线测点位置，进行测验作业而架设的跨河的索道系统。

2.0.2 测验平台 measuring platform

悬吊在水文缆道下面，在工作索牵引或（吊船）在水流冲力作用下，可沿测验断面作水平或铅直移动，用以悬挂测量仪器或携带测验人员进行测验的载体。

2.0.3 铅鱼缆道 elliptic-type weight cableway

以铅鱼为测验平台的水文缆道。铅鱼用柔性悬索铅直悬吊在跨河索（主索）的下面，测量仪器安装在铅鱼上，测验人员在岸上控制铅鱼的水平或垂直运行并进行测量作业。

2.0.4 吊船缆道 cableway for anchoring boat

以水文测船为测验平台的水文缆道。测船用柔性悬索牵引在水文缆道下游的水面上，测量仪器安装在测船上，测验人员在船上进行测量作业。

2.0.5 吊箱缆道 box-hanging cableway

以吊箱为测验平台的水文缆道。吊箱用柔性悬索铅直悬吊在水文缆道的下面，测量仪器安装在吊箱上，测验人员在吊箱或岸上控制其水平或垂直运行并进行测量作业。

2.0.6 悬杆缆道 suspended rod cableway

用刚性悬杆悬吊测量仪器设备的水文缆道。

2.0.7 浮标缆道 float cableway

以跨河循环索为载体，通过投放设备将浮标运送到测验断面内任一指定起点距位置投放的水文缆道。

2.0.8 主索 main cable

水文缆道系统中承载负荷，仪器与行车都沿此索移动的钢索。

2.0.9 副索 sub-cable

在主索上游并与其平行，承载仪器位置校正设备的钢索。

2.0.10 循环索 loop cable

水文缆道系统中由岸上绞车控制，将仪器与行车沿断面水平和铅直方向移动及定位的活动钢索。

2.0.11 起重索 suspension cable

用来悬吊铅鱼和采样器等测验仪器，并能沿铅直方向定位的活动钢索。

2.0.12 拉偏索 pull slanting cable

用悬索悬吊铅鱼或测深锤测深时，为减小或消除因水流作用使悬索对垂线偏斜而设置的牵引钢索。

2.0.13 干绳改正 air line correction

用悬索悬吊铅鱼或测深锤测深时，对水面以上悬索偏斜影响所作的改正，即悬索支点到水面的垂直距离与该部分实测悬索长度的差值。

2.0.14 湿绳改正 wet line correction

用悬索悬吊铅鱼或测深锤测深时，对水面以下悬索偏斜影响所作的改正，即从水面到测点的垂直距离与该部分实测悬索长度的差值。

3 缆道建设及使用

3.1 缆道建设

3.1.1 在测验河段流速较大，河宽小于 500m，且下游有险滩、桥梁、水工建筑物等的测站实施流量、泥沙测验，宜建设水文缆道。

3.1.2 缆道建设查勘应包括下列内容：

- 1 收集有关水文、气象、地质、地形、地震等情况的资料。
- 2 选定缆道断面位置，确定缆道型式与跨度。
- 3 选定缆道房位置及缆索布设方式。
- 4 缆道塔架（柱）根据型式可分为塔、柱或山锚等，缆道塔架（柱）根据材料可分为钢塔、钢筋混凝土塔，柱分有拉线、无拉线支柱，测站可根据具体情况选择塔架（柱）的型式和材料。

3.1.3 缆道设计标准与有关技术参数应符合下列要求：

1 防洪标准：

- 1) 大河重要控制站：100 年一遇，或不低于近 50 年以来发生的最大洪水；大河一般控制站：50~100 年一遇，或不低于近 30 年以来发生的最大洪水；区域代表站或小河站：30~50 年一遇。
- 2) 测验河段有堤防的测站，缆道房地面不宜低于堤顶或防洪标准水位 1.0m。

2 测洪标准：

- 1) 大河重要控制站建设的铅鱼或吊船缆道，应按实测 50~100 年一遇洪水的标准，或不低于当地和下游保护区防洪标准进行设计；吊船缆道的设计流速不宜超过 5.00m/s。
- 2) 大河一般控制站建设的铅鱼、悬杆或吊船缆道，应按实测高于 30 年一遇洪水的标准，或不低于当地和下游保护区防洪标准进行设计；吊船缆道的设计流速不宜

超过 5.00m/s。

- 3) 区域代表站或小河站建设的铅鱼、悬杆或吊船缆道，宜按实测 20~30 年一遇洪水的标准进行设计。
- 4) 采用悬杆悬挂流速仪、测深杆测深的吊箱缆道的设计流速不宜超过 4.00m/s，设计水深不宜超过 5.0m。
- 5) 浮标缆道应按高于铅鱼缆道或实测超标洪水的设计标准进行设计。

3 缆道主索的加载垂度按式 (3.1.3) 确定：

$$f_v = (1/50 \sim 1/30)L \quad (3.1.3)$$

式中 f_v ——加载垂度，m；

L ——跨度，m。

4 设计荷载及荷载组合：对主要构件承受的荷载及组合，应在科学分析的基础上，选择其中最大的 2~3 种不利因素进行组合。

5 主要构件安全系数 (K) 应符合下列要求：

- 1) 承载索（主索、副索）：铅鱼（悬杆）缆道不应小于 2.5；吊船缆道、吊箱缆道不应小于 3.0。
- 2) 工作索（循环索、起重索、拉偏索）：浮标缆道不应小于 2.0；铅鱼（悬杆）缆道、吊船缆道不应小于 2.5；吊箱缆道不应小于 3.0。
- 3) 缆道塔架（柱）基础、锚碇：浮标缆道不应小于 2.5；铅鱼（悬杆）缆道、吊船缆道不应小于 3.0；吊箱缆道不应小于 3.5。钢筋混凝土结构塔架（柱）应按构件破坏时的应力计算；钢结构塔架等应按材料允许应力计算。
- 4) 拉线：不应小于 3.0。

3.1.4 缆道测控系统设计宜采用具有无级变频调速控制，自动测距、测深、测速、流量计算等合成功能的系统。

3.1.5 为确保缆道操作与运行安全，测站应根据需要配备下列装置：

1 水平、垂直运行系统的制动装置。

2 极高、极远、极近的标志或限位保护装置，限位保护装置应独立于正常操作系统。

3 在通航河流进行测验时，应按航道部门的规定设置明显的测量标志。

4 夜间测验时的照明装置。

3.1.6 缆道设计与建设应严格审批程序。设计成果审批程序，由流域机构、省（自治区、直辖市）水文部门规定。

3.1.7 施工组织与管理应符合下列要求：

1 缆道建设应严格按照国家基本建设程序进行组织、管理和施工。

2 在施工过程中，应按照设计图施工，确保施工质量，未经审批单位同意，不得变更设计或降低设计标准。

3 工程竣工后，应编制竣工报告，绘制竣工图纸。

3.1.8 缆道建成投产前，上级主管部门应组织缆道使用单位和施工单位进行综合调试和鉴定工作。工作内容应包括：

1 检验缆道运行的可靠性和安全性。

2 检验缆道测验的稳定性和准确性。

3 确定缆道测验运行参数。

4 对操作人员进行缆道操作、维护技术等培训。

3.1.9 验收投产应符合下列要求：

1 流域机构、省（自治区、直辖市）水文部门应组织专业技术人员，根据设计与施工项目、图纸、技术要求、工程质量等，逐项进行检查验收，并填写工程验收单；未达到设计标准者，应采取措施进行整改。

2 缆道建成后，应通过调试率定、验收，满足下列要求后，报流域机构、省（自治区、直辖市）水文部门批准方可投产，测验成果才能作为正式记录。要求包括：

1) 缆道设施牢固，构件在受载变形稳定后无异变情况。

2) 缆道设备运转正常，操作安全可靠。

- 3) 信号传输可靠, 声音清晰, 计数准确。
- 4) 起点距、水深、流速及流量测验成果精度符合规范规定。

3.2 缆道使用

3.2.1 缆道投产前应进行起点距、水深率定和比测; 每次率定、比测不宜少于 30 点, 并均匀分布在全断面; 缆道测验仪器应一并进行校测。

3.2.2 缆道投产后的率定、比测, 应符合下列要求:

- 1 每年应在汛前进行 1 次, 每次率定、比测不宜少于 10 点, 并均匀分布在全断面。

- 2 当主索垂度调整, 更换铅鱼(吊箱)、循环索、起重索、传感轮及改变信号装置时, 应及时重新率定、比测。

3.2.3 经比测, 缆道各项测验精度应符合下列要求:

- 1 起点距: 垂线定位误差不大于河宽的 0.5%, 绝对误差不超过 1.0m, 累计误差不大于水面宽的 1%。

- 2 水深: 两次测得的水深差值不超过最小水深值的 5%。

3.2.4 缆道测验操作规程与管理制度应符合下列要求:

- 1 缆道操作规程应包括:

- 1) 操作步骤、方法及对操作人员的要求。

- 2) 操作安全制度。

- 2 管理制度应包括:

- 1) 缆道操作人员岗位责任制度。

- 2) 设备维修保养制度。

- 3) 培训、技术考核制度。

3.2.5 缆道站应建立缆道技术档案, 主要应包括下列内容:

- 1 填制水文缆道考证簿(见附录 A), 作为测站考证表的组成部分。

- 2 设计书、设计图纸或竣工图纸。

- 3 竣工报告或施工总结、工程验收单。

- 4 各项比测率定成果、试验资料等。

4 缆道组成

4.1 类型及结构型式

4.1.1 缆道根据悬吊测验平台类型的不同可分为铅鱼缆道、吊船缆道、吊箱缆道、悬杆缆道、浮标缆道等；按跨数的多少可分为单跨缆道和多跨缆道。

4.1.2 缆道类型应根据测站地形、自然环境、断面状况、水位变幅、流速大小以及测流、取沙方式等确定。

4.1.3 铅鱼缆道宜由承载索（主索）、工作索（循环索、起重索、拉偏索）、塔架（柱）、拉线、锚碇、滑轮、运载行车、测验平台、驱动绞车、运行控制设备、信号传输系统、缆道房和防雷系统等组成（见图 4.1.3）。

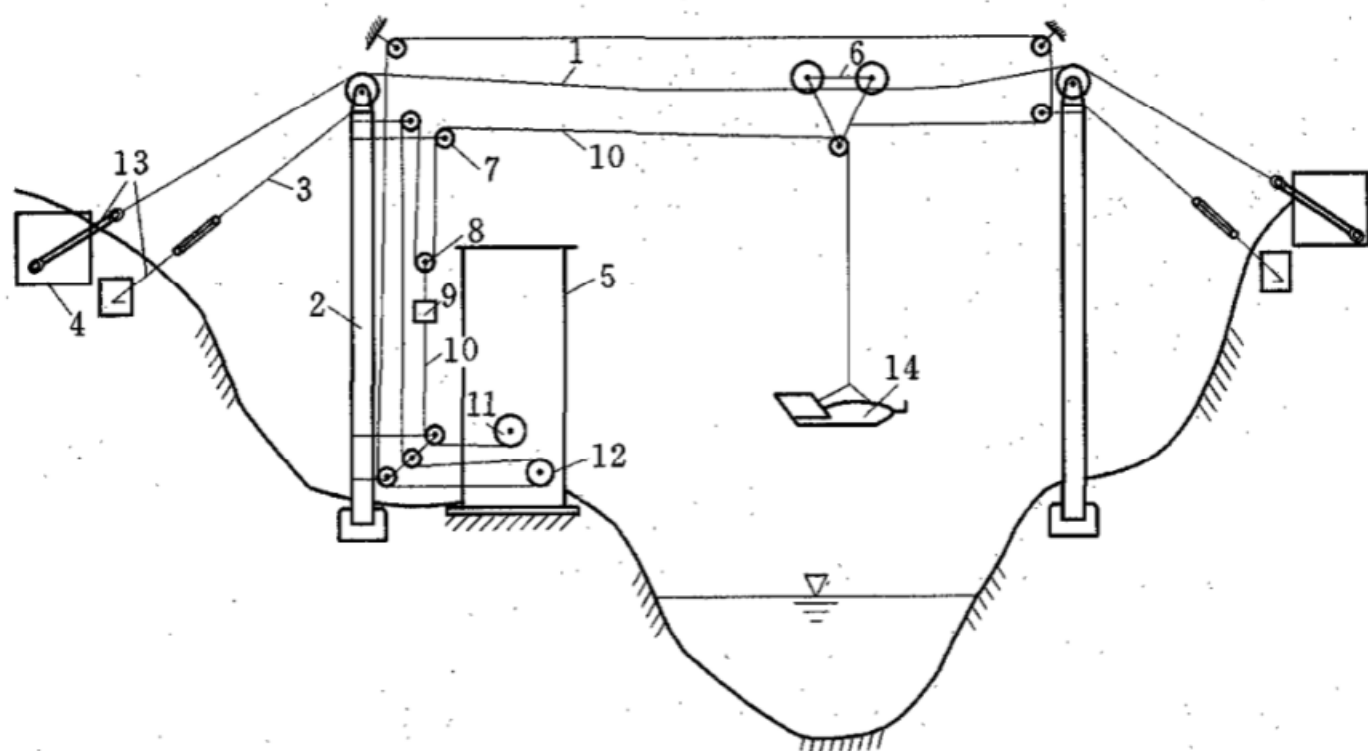


图 4.1.3 铅鱼缆道布设示意图

- 1—主索；2—塔架（柱）；3—拉线；4—锚碇；5—缆道房；
6—运载行车；7—导向滑轮；8—游轮；9—平衡锤；
10—工作索（循环索、起重索等）；11—垂直绞车；
12—水平绞车；13—锚杆；14—测验平台

4.1.4 铅鱼缆道布设应符合下列要求：

1 铅鱼缆道按循环索绕线方式分为开口游轮（见图 4.1.4-1）和闭口游轮（见图 4.1.4-2）两种。断面水深变幅较大的测

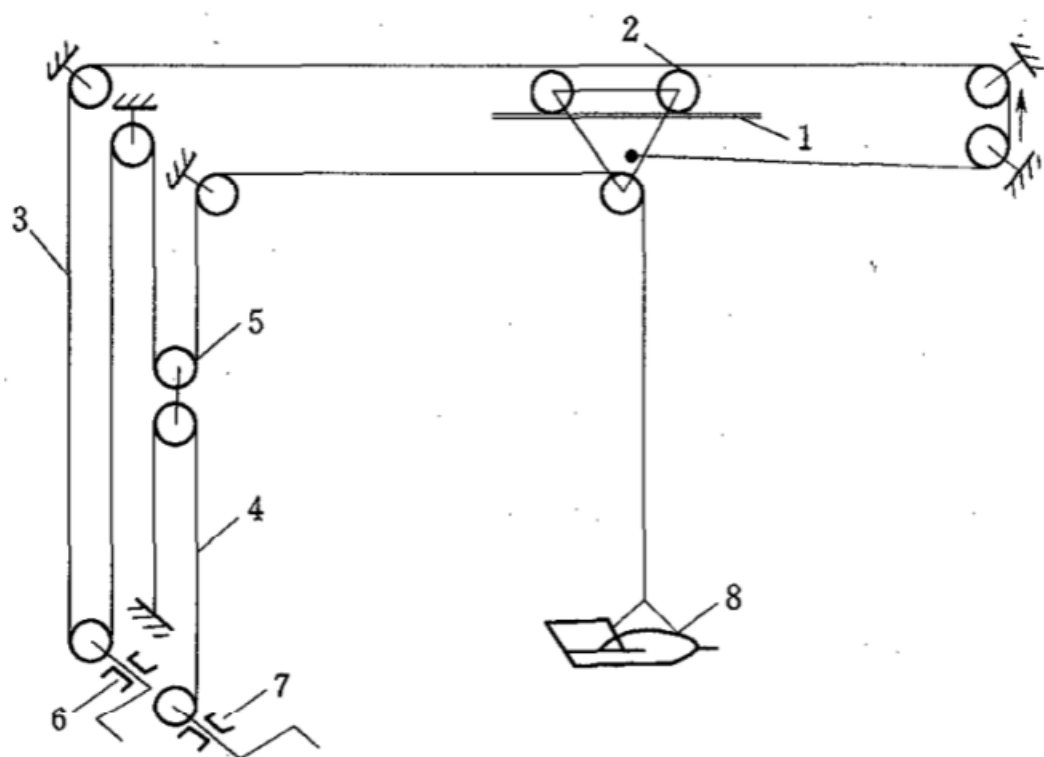


图 4.1.4-1 开口式游轮缆道基本型式示意图

1—主索；2—运载行车；3—循环索；4—起重索；5—游轮；
6—水平绞车；7—垂直绞车；8—测验平台

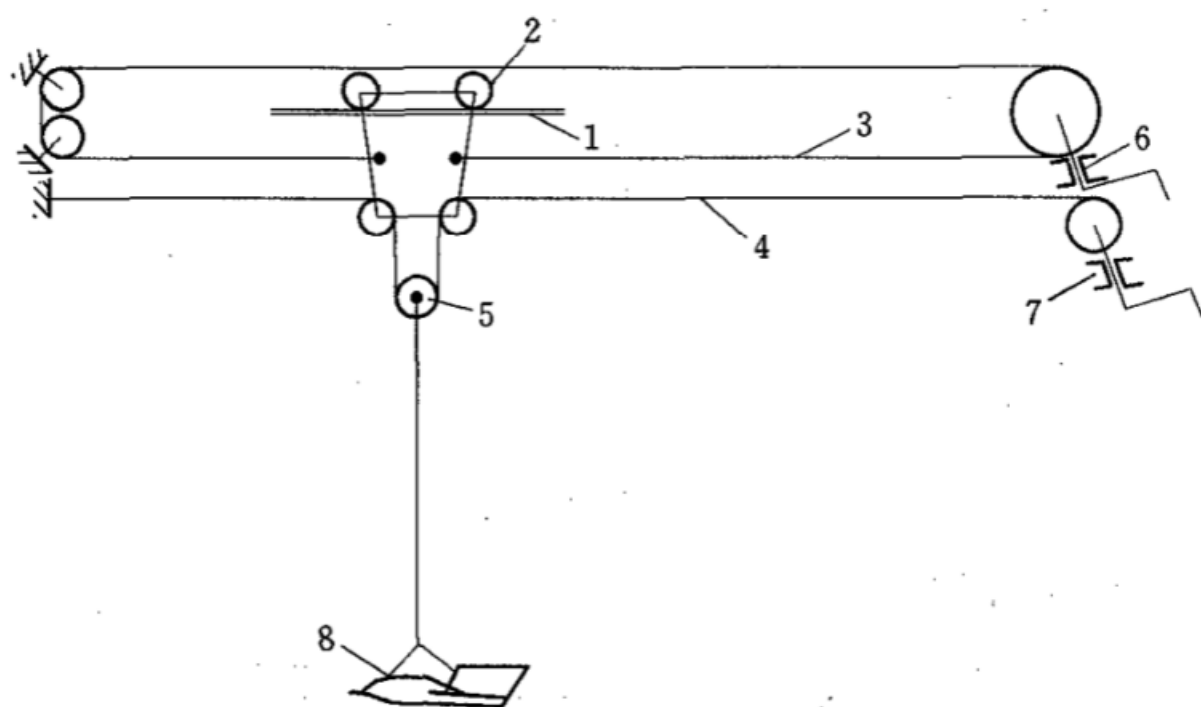


图 4.1.4-2 闭口式游轮缆道基本型式示意图

1—主索；2—运载行车；3—循环索；4—起重索；5—游轮；
6—水平绞车；7—垂直绞车；8—测验平台

站宜采用开口式缆道；断面水深变幅较小且两岸地势较高的测站宜采用闭口式缆道。开口或闭口式缆道，可采用平衡锤和滑轮组省力减速系统。

2 铅鱼缆道分拉偏和不拉偏两种形式，采用何种形式应根据测流断面流速大小及悬吊铅鱼设计重量选定。

3 铅鱼缆道跨度不宜大于 500m。

4.1.5 不拉偏条件下的铅鱼重量确定应符合下列要求：

1 窄深河道（深宽比大于 1/100）：

$$G \geq 5q'L \quad (4.1.5-1)$$

2 宽浅河道（深宽比小于 1/200~1/100）：

$$G \geq (6 \sim 9)q'L \quad (4.1.5-2)$$

式中 G ——铅鱼重量，kg；

q' ——工作索单位长度重量，kg/m；

L ——跨度，m。

3 铅鱼重量的选择应保证设计洪水时最大偏角不大于 35° 。

4.1.6 拉偏缆道的布设应符合下列要求：

1 缆道主索和拉偏索缆道副索的安装间距应在最大水深 h_m 的 1.3~1.8 倍之间。

2 拉偏条件下的铅鱼重量按式 (4.1.6-1) 计算：

$$G = (2.58q_a + 0.5q_b)h_m \quad (4.1.6-1)$$

其中 $q_a = \frac{1}{2}K_a\rho d_a V_m^2 \quad (4.1.6-2)$

$$q_b = \frac{1}{2}K_b\rho d_b V_m^2 \quad (4.1.6-3)$$

以上式中 G ——铅鱼重量，kg；

q_a ——悬索上单位长度的水流冲（阻）力，kgf/m；

q_b ——拉偏索上单位长度的水流冲（阻）力，kgf/m；

K_a ——悬索阻水体型系数，取 0.8；

K_b ——拉偏索阻水体型系数，取 0.4；

d_a ——悬索直径, m;

d_b ——拉偏索直径, m;

V_m ——垂线平均流速, m/s;

h_m ——最大水深, m;

ρ ——水的密度 (清水的密度, 取 1.0), kg/m³。

3 拉偏缆道跨河副索在架设时不应影响通航。

4.1.7 吊船缆道布设应符合下列要求:

1 设计方案应结合吊船的吨位大小、船形、吃水线深度、流速大小、水位变幅等情况综合分析确定。

2 测船应准确定位于垂线位置, 在缆道架设时应同步架设断面垂线位置标志牌。

3 测船在实施水文测验时, 应根据航道管理要求悬挂锚球或相应标志, 明示测船在河道中的航行状态。

4.1.8 吊箱缆道按循环绕线方式可分开口游轮和闭口游轮两种, 吊箱缆道布设应符合下列要求:

1 宜采用双游轮、可调节拉偏形式。

2 其跨度不宜大于 300m, 吊箱宜采用四角悬吊。

4.1.9 悬杆缆道的布设应符合下列要求:

1 悬杆缆道适用于跨度不大于 200m, 漂浮物较少的测站。

2 悬杆宜采用强度较高的流线型管材。

3 悬杆应有足够的重量, 可根据需要在下端悬吊重锤。

4.1.10 多跨缆道适用于测验断面有分岔、多槽, 断面中间有架设条件的测站, 其布设应符合下列要求:

1 循环索应按水平方向“平面线圈”走线, 使循环索循环于中间塔架(柱)的上、下游两侧。

2 行车塔架(柱)悬臂长度应确保循环索在水平运行和垂直运行中不发生摩擦。

3 行车水平运行滑轮在通过中间塔架(柱)的索鞍时不发生跳槽掉架。

4 其他设计可参照单跨缆道要求。

4.2 索、塔架（柱）及锚系统

4.2.1 索道主索布设应符合下列要求：

1 应根据测站地形，在可能的条件下缩小跨度，确保索道安全和河道船舶通航。

2 其主跨两端点宜在同一水平线上，受条件限制不能等高时，两端点连线与水平线的夹角不宜大于 3° 。

3 主索的设计拉力（主索所承载的垂直集中荷载位于跨中间）应满足式（4.2.1-1）、式（4.2.1-2）的要求：

$$H = \left(\frac{qL^2}{8} + \frac{P_v L}{4} \right) / f_v \quad (4.2.1-1)$$

$$KH \leq T_j \quad (4.2.1-2)$$

上二式中 H ——主索的设计拉力，kgf；

q ——主索单位长度自重，kg/m；

P_v ——主索所承载的垂直集中荷载（含铅鱼、行车、仪器等重量），kgf；

L ——索道跨度（多跨索道按最大的主槽一跨计算），m；

f_v ——主索加载垂度，m；

T_j ——主索破断拉力，kgf；

K ——安全系数。

4.2.2 工作索布设与设计应符合下列要求：

1 工作索包括循环索、起重索、拉偏索，其拉力应满足式（4.2.2）的要求：

$$KT_x \leq T_{xj} \quad (4.2.2)$$

式中 T_x ——循环索的设计拉力，kgf；

T_{xj} ——循环索的破断拉力，kgf。

2 工作索在平面和立面上应分开设置，在运行中不得产生相互摩擦。

3 工作索的布设宜减少导向滑轮使用个数和钢丝绳的使用长度。因受地形地物限制造成绞车与塔架（柱）之间跨度过大时，应安装滑轮支索架，以减小工作索垂度。

4 塔架（柱）之间跨度过大时，宜安装循环索减少垂度装置。

4.2.3 塔架（柱）布设与设计应符合下列要求：

1 塔架（柱）架设高度：

1) 通航河流塔架（柱）的设计高度 \geq 通航河流塔架（柱）的设计高程—塔架（柱）基础高程。其中，通航河流塔架（柱）的设计高度 \geq 最高的通航水位+船桅高度+安全超高（2.5m）+行车悬吊点至吊载仪器底部高度（2.5m）+加载垂度 f_v （m）。

2) 非通航河流塔架（柱）的设计高度 \geq 非通航河流塔架（柱）的设计高程—塔架（柱）基础高程。其中，非通航河流塔架（柱）的设计高度 \geq 设计测洪水位+安全超高（2.5m）+行车悬吊点至吊载仪器底部高度（2.5m）+加载垂度 f_v （m）。

3) 塔架（柱）的设计高度除应满足1)或2)外，还应满足游轮、平衡锤在塔架（柱）上下移动高度的要求。

2 塔架（柱）可采用钢结构或钢筋混凝土构件组成。其中钢结构应采用“容许应力”法设计，“钢筋混凝土”构件应采用“破损阶段”法设计。

4.2.4 塔架（柱）基础和锚碇布设与设计应符合下列要求：

1 塔架（柱）基础应根据测站所处位置的地质条件、塔架（柱）材料构件、缆道承载力分布等因素确定基础方案和尺寸的设计。

2 缆道锚碇分钢筋混凝土桩锚和块锚两种，设计时应进行稳定与强度验算。

3 钢筋混凝土桩锚的稳定性按岩石抗剪强度按式（4.2.4-1）验算：

$$\frac{KH}{2L_x h_y} \leq R' \quad (4.2.4-1)$$

式中 K ——安全系数，基础岩石坚硬时 K 取 2.0，基础硬度一般取 K 为 3.0~4.0；

L_x ——桩锚锚杆边缘距边坡最短距离，m；

h_y ——桩锚埋深，m；

R' ——岩石抗剪强度，N/mm²。

4 钢筋混凝土板锚稳定验算：

- 1) 当锚杆入地角 $\beta < 45^\circ$ ，水平方向拉力最大时，应采用立式板锚。其稳定性按式 (4.2.4-2)、式 (4.2.4-3) 验算：

$$\text{水平稳定性: } H_j \leq E_2 - E_1 \quad (4.2.4-2)$$

$$\text{垂直稳定性: } V_j \leq G_k + (2E_1 + H_j)f \quad (4.2.4-3)$$

上二式中 H_j ——板锚水平方向拉力 (H_j 取 $KT \cos \beta$)，kgf；

E_2 ——锚块前方被动土压力，kgf；

E_1 ——锚块后方主动土压力，kgf；

V_j ——板锚垂直方向拉力 (V_j 取 $KT \sin \beta$ ， T 为锚杆设计拉力，kgf)，kgf；

G_k ——锚块自重，kg；

f ——土壤与混凝土的摩擦系数。

- 2) 当锚杆入地角 $\beta > 45^\circ$ ，垂直方向拉力最大时，应采用平式板锚，其稳定性按式 (4.2.4-4) 验算：

$$V_j \leq G_0 + G_k \quad (4.2.4-4)$$

式中 G_0 ——板锚上方土锥体重，kg。

5 混凝土方块锚采用非配筋混凝土，可在混凝土中加入 40% 的大块 (卵) 石浇筑；其尺寸比例按式 (4.2.4-5) 确定：

$$a : h_d : b = 4 : 3 : 2 \quad (4.2.4-5)$$

式中 a ——混凝土方块锚长度，m；

h_d ——混凝土方块锚高度, m;

b ——混凝土方块锚方宽度, m。

6 锚杆直径的设计按式 (4.2.4-6) 计算。当考虑腐蚀时, 实际采用直径应比计算值大 15%~20%。

$$d = \sqrt{\frac{4T}{\pi[\delta]_{拉}}} \quad (4.2.4-6)$$

式中 d ——锚杆直径, mm;

T ——锚杆设计拉力, N;

$[\delta]_{拉}$ ——钢材允许拉应力, N/mm²。

4.2.5 拉线宜选用弹性模量较高的钢绞线。

4.3 绞车驱动系统

4.3.1 缆道绞车的驱动方式可分为电动、人力两种。

4.3.2 用电无保证的测站可配置柴油发电机组供电, 发电机输出功率应大于电动机功率的 2~3 倍。

4.3.3 电动机的功率应根据荷载及运行速度按式 (4.3.3) 计算。选用功率取计算功率的 1.3 倍。

$$N = \frac{PV}{102\eta \times 60} \quad (4.3.3)$$

式中 N ——功率, kW;

V ——行车水平及垂直运行速度, 水平运行速度取 30~60m/min, 垂直运行速度取 10~30m/min;

P ——荷载, N; 循环绞车按最大爬坡时拉力紧边与松边拉力差计算; 起重绞车按悬吊铅鱼重量及平衡锤绕线方式确定;

η ——总效率系数, 按照传递方式查有关机械设计手册。

4.3.4 缆道绞车的结构应符合下列要求:

1 设计负荷按 2~2.5 倍测验平台重量计算。

2 采用卷扬方式收放索的应适当加大轴负荷; 采用凹槽循环方式收放索的应加分线轮, 循环轮宜采用双槽驱动轮, 以防止

钢丝绳在槽内相互挤压摩擦。

3 各类型绞车应配有增减速单头蜗轮蜗杆变速箱，制动、离合、测距、测深计数和手摇等装置。

4.3.5 工作索和滑轮应符合下列要求：

1 工作索所采用的钢丝绳应选用抗锈蚀、强度高、柔性好的绳索。

2 滑轮应采用双轴承且油封性能好的。导向滑轮直径应大于钢丝绳直径的 20~40 倍，行车滑轮直径应大于主索直径的 10~20 倍，动滑轮直径应大于循环索直径的 30~40 倍，并应有防止“跳槽”装置。

4.4 调速控制系统

4.4.1 缆道调速控制系统可分为交流变频调速、可控硅直流调速控制装置（晶体管直流调速系统）和滑差电动机调速控制（电磁转差离合器装置）系统三种。

4.4.2 交流变频调速系统按其工作方式分为电压源型和电流源型两种，电压源型多用于不经常起、制动，且对高速性能要求不高的水文缆道。电流源型逆变器回路不需附加设备即可实现电动机的四象限运动，适用于加减速频繁和变动负载的缆道，为缆道测流建设的首选方式。

4.4.3 可控硅直流调速系统分开环单相半控桥、闭环单相全控桥、闭环三相半控桥和闭环三相全控桥四种。设计应符合下列要求：

1 宜采用闭环三相半控整流电路组成的调速控制系统。

2 直流电动机的整流装置和强电开关等电器设备进行金属屏蔽。

3 可控硅直流调速控制装置应购置标准定型产品。

4 应具备对直流电动机进行断相和过热保护的功能。

4.4.4 滑差电动机调速控制系统可采用异步交流电动机，但正反方向转向频繁的缆道不宜使用。

4.5 自动测控系统

4.5.1 缆道自动测控系统应由计算机装置、测控装置、绞车运行装置、水下信号装置等部分组成。

4.5.2 计算机装置应包括基本配置的台式机或便携机、打印机等，并应满足工作环境要求，应配置符合缆道自动测控系统要求的软件和相关的通用计算机软件。通过 RS232、RS485 或 USB 等通信接口与测控装置进行数据交换，实现对铅鱼和吊箱等测验平台的水平或垂直运行以及定点停控状态的运行控制。

4.5.3 测控装置可由微处理器、工业可编程器、电动机调速器、计算机通信及相关的辅助电路组成，具有水深、起点距的计数，流速信号的计时和计数，电动机调速、运行控制，数据采集、控制运行和声光报警等功能。

4.5.4 绞车运行装置可由电动机、绞车、转向滑轮及工作索等机械运行装置组成，应具有将测验平台移送到缆道任一预定位置的功能。

4.5.5 水下信号装置可由信号传感，信号接收、编码、发送装置，直流电源等组成。水下信号装置应密封，满足水面、河底、流速信号的传输要求，根据需要应兼顾测深、取沙等信号的传输要求，并具备较强的通道选择功能。

4.5.6 自动测控系统功能应符合下列要求：

1 具有进行现场随测、随算、随整理、随分析、显示数据和分析图形等功能。

2 能可靠采集水位、起点距、水深、流速等项目的数据或信号，自动计算水面宽、部分流量、全断面流量等水文要素。

3 根据水位、断面变化情况，可随时增减测线、测点或重测，每线测完后自动存储。

4 软件界面应采用菜单方式，在测量前可自由选定菜单完成测验项目。

5 具备端口测试功能。自动测流前可有选择地通过端口测

试数据口和控制口的功能状态。

6 测量过程中应具有自动加速和自动减速等功能，能实时显示铅鱼、流速仪等设备的运行情况；具备水平、垂直限位等应急处理功能。

7 具备水位、水深、断面河床型式等测量方式的选择功能，能根据不同测站的具体情况选择较适应的测量模式。

8 具备各类参数预置和修改、大断面资料、起点距、水深等数据的输入、编辑和校正功能。

9 测量的流量成果数据格式应与规范的整编程序衔接。

10 具备现场打印成果资料的功能。

11 具备一定的可扩展性。

12 具备半自动、全自动测量和应急手动功能。

4.5.7 测控装置应满足自动测控条件下对水深、起点距、流速、水面及河底信号、数据采集及通信、调速和控制运行等部分的要求，并具备下列功能：

1 流速信号的接收、放大和有效性采集处理。

2 起点距的计数、显示、校正与采集处理。

3 水深（湿绳长）的计数、显示、校正与采集处理。

4 水面信号与河底信号的接收判断处理。

5 执行不同操作时相应状态和数据的显示。

6 抗干扰处理。

7 控制水下信号的输出状态，选通相应的水下信号传输通道。

8 与计算机 RS232、RS485 或 USB 等端口通信、传输外设各类数据、执行动力控制命令、控制调速系统，自动控制铅鱼的水平与垂直运行。

9 能进行超声波水深、取沙信号的接收与处理。

10 能进行缆道偏角信号的接收与判断处理。

11 信号输入时应具备音响、灯光等提示功能。

12 调速部分应由动力控制设备（或可编程控制器）、变频

器、电动机等部分组成。并具备下列功能:

- 1) 具备欠压、过压、过流、过载、过热、短路等安全保护和故障诊断、报警功能。
- 2) 具备多种用途的控制信号接口, 根据系统的要求, 可分别选择不同速度与方向的控制方式, 构成开环或闭环控制系统。
- 3) 低速运行时具备恒转距、恒功率调速的功能。
- 4) 可自动平滑地加速或减速运行。

4.5.8 水下信号装置应根据缆道自动测控系统的功能要求, 分别选择基本型和综合型, 并具备下列功能:

1 多信号传输宜采用多音频和数码音频调制信号(条件许可也可用时序)方式组成的水下信号源(水面、河底、流速), 水面信号与河底信号可靠, 控制过程准确。

2 以磁浮开关或水银浮球作水面信号传感装置, 浮子或浮球应能克服漂浮物的影响, 并有防撞击保护装置。

3 以水阻(极板)作水面信号传感装置的水下信号源控制灵敏度应适中。

4 水下信号源应具有耗电省的功能, 宜以水面信号作为水下信号源主要功耗部分的控制开关, 保证水下信号源的工作时限。

5 水面、河底、流速信号宜采用不同频率的交流信号。

6 水下信号源应密封、可靠。出厂前应作密封检测, 并应保证在不低于 200~400kPa 的水压力下, 水下信号筒保持 2min 不漏水。

7 综合型水下信号装置应使水下信号接收控制灵敏度适中、抗干扰能力强, 控制可靠、准确, 传输效率高。

4.5.9 自动测控系统软件应由具备端口测试、参数设置、测量作业、抗干扰数据维护、数据处理、打印输出等功能的模块组成, 并符合下列要求:

- 1 每个模块应依事件激发完成某一特定任务, 可独立地理

解、编程、测试、排错和修改。

2 软件应具备操作的安全性和稳定性。

4.5.10 端口测试及功能应符合下列要求：

1 测验作业前应进行测控系统测试，测试包括控制口测试和数据口测试。当测试全部通过后方可进入测验作业。测试未通过，应参照相关资料进行故障排查。

2 控制口测试应检测设备的控制功能。保证操作台控制铅鱼运动的按钮指示灯与测试项动作的一致性。

3 数据口测试应检测设备的数据通信功能。测试内容包括检测水位、起点距、水面、河底、水深、流速仪及超声波信号等数据的通信是否正确。

4.5.11 测量作业的功能应符合下列要求：

1 测量作业宜包括自动、自动转人工、全人工等方式。

2 自动测量应符合下列要求：

1) 自动控制铅鱼的水平和垂直运行并自动完成垂线测点的准确定位。

2) 测速垂线应能根据需要根据水深值自动（或人工）判别垂线测点数的设定。

3) 具备流速不正常时的重测功能；如遇流速仪损坏，应具备更换流速仪并继续测量的功能。

4) 软件界面应具备前几次测量和本次测量的流速分布曲线，并具备大断面图线与上次测量的河底高程图线进行对比分析的功能。

5) 软件界面应具备流速垂线分布图，能进行垂线流速的对比及合理性分析。

6) 具备测量过程中遇意外情况下，自动测控系统不能正常运行需中断返回或自动转人工处理的功能。

7) 选择超声测深仪作配套设备时，系统应具备超声测深仪测全水深和校验相对测点深位置的功能。

8) 返回过程及最后提升的安全高度应有自动和人工干预

功能。

3 自动转人工测量应符合下列要求：

- 1) 自动测量中断时，测量的所有数据应保存完整。
- 2) 可采用其他设备接着中断处继续测量，并将测验数据通过人机接口输入到系统中。
- 3) 自动测量部分的数据与人工测量的数据可合并成一份完整的流量测验资料。
- 4) 在测量作业菜单下选择自动转人工测量时，与人工测量方法相同。

4 人工测量应符合下列要求：

- 1) 系统出现故障时，应及时启用备份设备进行测验，并将数据导入系统中。
- 2) 应有必要的人工操作热点提示。
- 3) 与自动测量的原始资料一样，具备资料的连续性。

4.5.12 数据维护应包括测站设置、大断面资料、起点距校验、水深校验、流速仪使用种类、缆道主索垂度校正、铅鱼自动返回轨迹等内容。并应符合下列要求：

- 1 测站应根据测验项目的不同，准确设置相应的功能。
- 2 大断面资料应准确录入，并作为自动测量时的实时显示及计算时的依据。
- 3 断面较稳定时可依据月初断面（上次）资料数据通过水深借用方式进行测量。

4.5.13 数据处理应符合下列要求：

- 1 测验作业完成后，测验人员应及时对测验数据进行校对。
- 2 满足原始数据校正、修正的条件。
- 3 对于有测沙任务的测站，通过悬沙资料输入可保持资料的完整性。
- 4 按整编要求对全年测验成果进行统计时，数据应转换为水文资料整编程序要求的文本格式（按规范的整编程序要求），直接用于整编。

4.5.14 打印输出应具备下列功能:

- 1 输出当次和历次测验记载计算表。
- 2 输出现场分析图。
- 3 输出实测成果表、流量成果表和悬移质输沙率成果表。
- 4 输出资料封面。

4.6 缆道房

4.6.1 缆道房应由操作室和绞车机房两部分组成。操作室结构应牢固,通视条件好。受条件限制的测站,操作室和绞车可置于同一房内,但应对绞车做好隔离保护。

4.6.2 缆道房宜修建在水文缆道塔架(柱)上游一侧,缆道房和塔架(柱)宜分开设立,特殊情况下缆道房和塔架(柱)可合并设立。

4.6.3 缆道房内输配电线路及电器安装应满足有关规范要求。

4.6.4 缆道房建筑面积标准应执行 SL 276—2002 的规定。

4.7 防雷系统

4.7.1 缆道防雷系统布设应符合下列要求:

1 年平均雷击次数不小于 0.06 次/年的水文站,其缆道应按三类建筑物防雷标准设计建设。

2 缆道的年平均雷击次数可按式 (4.7.1) 计算:

$$N_1 = 0.27n(L + 10h) \times 10h \times 10^{-6} \quad (4.7.1)$$

式中 N_1 ——缆道塔架(柱)主索预计年平均雷击次数;

n ——年平均雷电日;

L ——主索跨度, m;

h ——主索塔架(柱)高度, m。

3 缆道和站房的引雷电流取 140kA 作为设计标准。

4 土壤电阻率宜采用实测值确定,无条件时可根据土壤性质按有关参考书确定。

5 接地电阻的要求:缆道接地电阻不大于 10Ω ,测控装置

接地电阻不大于 4Ω 。

6 缆道测流设备不使用时，应断开所有测验设备电源避雷。

7 缆道防雷系统布设除执行本规范外，还应执行 GB 50057—94、GB 50343—2004 等有关规范和标准。

8 共用接地系统的等电位连接应采用 S 型星形结构和 M 型网形结构两种基本型式。并应符合下列要求：

- 1) 当采用 S 型等电位连接网络时，信息系统的所有金属组件，除等电位连接点外，应与共用接地系统的各组件有大于 10kV 、 $1.2/50\mu\text{s}$ 的绝缘。
- 2) 当采用 M 型等电位连接网络时，系统的各金属组件不应与共用接地系统各组件绝缘。M 型等电位连接网络应通过多点连接组合到共用接地系统中去，并形成 M_m 型等电位连接。

4.7.2 缆道防雷应符合下列要求：

1 水文站缆道架设宜采用非绝缘缆道架设方式，其塔架（柱）、主索、副索、工作索等要求防雷等电位接地，接地电阻不大于 10Ω ，接地点宜选在塔架下方。

2 对无法解决缆道信号传输，选用绝缘缆道架设方式的测站，宜在缆道的顶部上方 $1\sim 3\text{m}$ 处架设一条避雷线接地，接地电阻不应大于 10Ω ，接地点宜选在避雷线两端拉锚处。

3 缆道两岸的塔架（柱）及主、副索拉锚均应设置防雷接地装置，宜优先利用塔架（柱）钢筋混凝土基础及主索、副索锚碇的钢筋混凝土作为自然接地体，如自然接地体接地电阻大于 10Ω 时，应在基础和拉锚外 $1\sim 2\text{m}$ 处加设人工接地体。

4 有架空电源线的吊箱缆道，应在架空电源线上方 3m 处架设避雷索，避雷索宜采用截面不小于 35mm^2 的镀锌钢绞线。

5 吊船缆道的钢丝绳吊船索与吊船之间应串接 2 个以上的绝缘子。

4.7.3 缆道房防雷应符合下列要求：

1 在缆道房顶上设置避雷带。避雷带应沿屋角、屋背、屋

檐和檐角等易受雷击的部位敷设。

2 引下线不应少于 2 根，引下线应沿缆道房四周均匀或对称布置，其间距不应大于 25m。当仅利用缆道房四周的钢筋混凝土柱子中的主钢筋作为引下线时，按跨度设引下线，但引下线的平均间距不应大于 25m，接地电阻不大于 10Ω 。

3 塔架（柱）距离缆道房较远时，塔（柱）与缆道房的接地体应分开设置。

4 缆道房的防雷接地装置宜与测控设备等接地装置共用。防雷的接地装置宜与埋地金属管道相连。当不共用、不连接时，两者间在地中的距离不应小于 2m。

5 缆道房应设等电位连接，将钢筋混凝土屋面板、墙、梁、柱、基础的钢筋和阳台钢栏杆、停放铅鱼的架子等均以最短的距离与等电位连接网络的接地端子连接。

6 当主索从缆道房顶上方跨过时，其主索与缆道房之间的最小垂直距离应大于 3m，支承主索的塔、柱距缆道房最小水平距离应大于 3m。

7 避雷针的针尖上或避雷线不应悬挂收音机、电视机天线或晒衣服的铅丝（天线在雷雨时应该接地）。在装有防雷引下线的墙壁上，离引下线近的地方不应有架空进户线。

4.7.4 电源防雷应符合下列要求：

1 进出缆道房的电源线路宜采用屏蔽电缆，穿入钢管中埋地敷设；如条件限制，需采用架空线路的，应对管线进行屏蔽。

2 当动力电源从总配电箱开始引出的配电线路和分支线路应采用一级防雷时，宜选用 60~100kA 电源保护器。

3 在缆道房配电箱采用二级防雷，宜选用 20~60kA 电源保护器。

4 测控装置及其他电子测验设备采用三级防雷，宜选用 5~20kA 电源保护器。

4.7.5 缆道测控系统的防雷应符合下列要求：

1 缆道测控系统的防雷包括测控装置的所有进出信号线，

水雨情报汛系统进出信号线、电话线、网络、视频线等的防雷。

2 所有进出建筑物的信号线缆，宜选用屏蔽电缆，穿入钢管中埋地敷设，其埋地长度不宜小于15m。电缆屏蔽层应做等电位连接并接地，并安装适配的信号线路浪涌保护器，浪涌保护器的接地端及电缆内芯的空线对应接地。

3 当电缆转换为架空线时，应在转换处装设浪涌保护器、避雷器；浪涌保护器、避雷器、电缆屏蔽层和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地。

4 缆道测控装置及其他测验设备的公共地不得与金属外壳相连，金属外壳应与电源接地体连接。

5 信号线路浪涌保护器，应根据线路的工作频率、传输介质、传输速率、传输带宽、工作电压、接口型式、特性阻抗等参数，选用电压驻波比和插入损耗小的适配的浪涌保护器。

6 动力电缆与信号电缆应分别屏蔽、敷设。

4.7.6 防雷设施按相关标准要求验收。

5 缆道测流

5.1 测验仪器

5.1.1 流量测验仪器可分为转子式流速仪、声学多普勒流速剖面仪和雷达流速仪，根据不同河流的水沙特性、设备条件和测验精度等要求选用。

5.1.2 转子式流速仪适用于缆道各种情况下的流量测验。

5.1.3 声学多普勒流速仪适用于中低流速及低含沙量情况下的流量测验。

5.1.4 雷达流速仪适用于中高流速情况下的水面流速测验。

5.2 测验仪器操作

5.2.1 各种流量测验仪器使用前应进行检查，测验过程中发现问题应及时查明原因并予以处理。

5.2.2 铅鱼悬吊及工作状态应符合下列要求：

1 铅鱼宜采用单点悬吊或“八字型”悬吊，用“八字型”悬吊时，悬吊点不宜用固接方式联结，保证铅鱼重心能自由调整。

2 铅鱼入水后，应能保持前后平衡和迎合流向，其轴线与水平线（水流方向）的夹角不大于 3° 。

5.2.3 转子式流速仪安装应符合下列要求：

1 应安装在铅鱼头部前方，距铅鱼头部的水平和垂直距离，宜大于1倍铅鱼最大直径。

2 在水中应保持水平状态，并能自由转动。

3 拉偏缆道的转子式流速仪不应受拉偏索的影响。

4 在浅水低速的情况下，可安装在特制的低速悬杆上，且符合本条其他各项要求。

5.2.4 使用声学多普勒流速剖面仪流量测验应符合 SL 337—

2006 的要求。

5.3 测流信号装置

5.3.1 测流信号装置应由水下流速、水面、河底等信号组成，信号传输方式包括有线、缆道“无线”、无线电，其参数应满足相应的测验精度要求。信号的直流供电容量的连续使用时间应大于 10h。

5.3.2 流速信号的性能与主要技术参数应符合下列要求：

1 流速水下音频振荡频率，宜为 $1000(1 \pm 10\%) \sim 5000(1 \pm 10\%)$ Hz。

2 水下信号源信号输出功率在输出阻抗不大于 10Ω 时，应大于 600mW。

3 水下测流控制信号的控制装置接收灵敏度，在输出阻抗不大于 10Ω 时，交流宜大于 2mV，直流宜大于 100mV。

5.3.3 水面与河底信号，应在铅鱼上安装水阻、磁浮开关和托板式磁簧开关，两者配合使用；水面信号应安装在铅鱼或采样器与流速仪水平轴线高度相同的位置，其性能与主要技术参数应满足下列要求：

1 接触式水面、河底信号应接触灵敏、可靠。

2 水面、河底接触信号在不绝缘缆道上使用时，宜采用不同音频的交流信号，有条件的可采用数码音频调制信号。

3 水面、河底音频信号的频率宜在 1000~5000Hz 之间，并应与流速仪信号相区别。

4 铅鱼河底托板的重量和型式应适应河床变化和仪器入水时水流顶托的影响。多沙河流，托板应具备漏沙槽或孔，防止砂石卡塞，托板上的信号触点行程应控制在 10cm 以内；失重式河底信号器抗拉强度应大于缆道起重索的沉重重量，信号触点行程应控制在 3cm 以内。

5 水面、河底信号输出功率在输出阻抗不大于 10Ω 时，应大于 600mW。

5.3.4 缆道测验信号接收的仪器包括音响器、流速测算仪、综合测量仪和微机辅助测流系统。信号接收与数据处理的性能与主要技术参数应符合下列要求：

1 音响器应能适用于各种不同型式流速仪信号的接收，所发出的音响应清晰可辨。

2 流速测算仪的性能与主要技术参数应满足下列要求：

- 1) 能接收流速仪调制发出的交流音频或者直流脉冲信号，按指定测速历时，累计信号总数，按流速仪流速计算公式计算测点流速。
- 2) 接收灵敏度应有一定的调节范围，适应各种不同类型缆道的要求。
- 3) 硬件应采用抗干扰电路，并应与软件配合，识别真伪信号，提高抗干扰能力。
- 4) 计时器应有无信号计时和有信号计时功能，分辨率为 0.1s。
- 5) 计时、计数精度应符合有关规范要求。
- 6) 具有掉电保持的功能。
- 7) 测量结果应有数字显示。

3 综合测量仪的性能与主要技术参数应符合下列要求：

- 1) 综合测量仪的流速测算功能应符合 5.3.4 条 2 款的要求。
- 2) 综合测量仪应能现场采集起点距、水深和流速信号，具有计算出测点水深和测点流速等功能，其结果以数字显示，并具有 RS232、RS485 或 USB 接口。
- 3) 应具有控制水下仪器的信号装置。

4 微机辅助测流系统的性能与主要技术参数应符合下列要求：

- 1) 应现场采集水位、起点距、水深、流速等项目的数据或信号，自动计算水面宽、部分流量、断面流量。
- 2) 应能计算、显示数据和图形分析，应能观察施测全过

程，保证测验成果的精度。

3) 流量测验软件应具有适时存储，并复测及自动修正功能。

4) 输出的测验成果应符合有关规范的要求。

5 信号接收与数据处理设备的主要技术参数应符合下列要求：

1) 测速计算范围：0.01~10.00m/s。

2) 测速历时：1~999.9s。

3) 计时精度：优于0.1s。

4) 输入信号速率：用于接触丝类流速仪时不应大于2.5次/s。

5) 信号接收灵敏度：缆道输出阻抗不小于 5Ω 时，直流信号幅度优于100mV，交流音频信号幅度优于2mV。

6) 电源：AC220(1±20%) V 或 DC12(1±10%) V。

5.4 测 距

5.4.1 起点距测量宜采用测定循环索运行长度法。

5.4.2 计数器计数显示范围应为-99.9~999.9m，特殊情况可放宽至-999.0~9999.9m，测距精度：相对误差不大于0.2(1±1%) m，分辨率：0.1m。

5.4.3 计数器应具有自动或手动计数修正和复位功能。

5.4.4 应建立计数器读数与实测值的关系，并对测距计数器进行率定、比测，其成果应满足3.2.1条、3.2.2条的要求。

5.4.5 测距仪器应采用具有智能计算功能的装置进行测距计数显示，具有对计数轮不准确度 and 循环索、起重索垂弧度的自动修正计算的功能，并对铅鱼水平和垂直行车的最大行程越位报警；数字显示宜使用电子数字表。

5.4.6 测距前行车应开至测验起始位置，将测距计数器复位；测量完毕后行车开回测验起始位置处，检查计数器是否回位，回位误差不应大于河宽的2%。

5.5 测 深

5.5.1 铅鱼测深应在铅鱼入水后偏角小于 5° 时进行。偏角大于 5° 或流速大于 3m/s 时不宜使用铅鱼测全水深。入水后偏角大于 5° 时，施测相对测点深应加入偏角改正值作为参考水深。

5.5.2 铅鱼测深计数显示范围应为 $-99.99 \sim 99.99\text{m}$ （设水面为零，水上为一，水下为十），分辨率： 0.01m 。

5.5.3 铅鱼测深应符合下列要求：

1 测深（绳长）计数器的测量范围应满足测量最大水深的要求。

2 测深计数器的率定应符合下列要求：

1) 测站应根据本站缆道使用效率，一年内宜安排 1~2 次率定；遇缆道调整、更换计数传感轮、起重索等应及时进行率定。

2) 率定时在不同长度段内重复 10 次以上，系统误差不宜大于 1%。

3) 率定长度应大于计数传感轮周长的 5~10 倍。

4) 测深改正系数：计数器率定后，应在无偏角的情况下率定计数器读数与实测水深的关系，当计数器率定系统误差大于 1% 时，按式 (5.5.3) 计算实测水深。

$$h_s = h_j K' \quad (5.5.3)$$

式中 h_s ——实测水深，m；

h_j ——计数器计数水深，m；

K' ——改正系数。

3 水深比测是将计数水深与实测水深相比较，可在无偏角和有偏角时分别进行，并应符合下列要求：

1) 无偏角时水深比测，应经过测深改正数计算后，将计数水深与直接观读水深相比较。

2) 有偏角时水深比测，应将计数水深经过干绳、湿绳、位移改正后的水深与实测悬索湿绳长度经过湿绳改正

的水深或与超声波测深仪测得的水深相比较。相关改正方法应符合 5.5.4 条的要求。

- 3) 水深小于 5.0m 应记至 0.01m, 水深大于 5.0m 应记至 0.1m。
- 4) 不同水深的比测垂线数, 总计不应少于 10 条, 并应均匀分布。
- 5) 水深比测的允许误差: 河底比较平整或水深大于 3m 时, 误差不应大于水深的 2%; 河底不平整或水深小于 3m 时, 误差不应大于水深的 5%; 水深小于 1m 时, 绝对误差不大于 0.05m。
- 6) 测深时应分别读记水面、河底的悬索偏角, 每点连续观测两次取其平均值。偏角器平面与断面方向垂直, 观测精度为 $\pm 1^\circ$ 。

5.5.4 偏角改正应符合下列要求:

1 水深计算可分为拉偏和不拉偏, 拉偏时当悬索偏角小于 5° , 比测精度符合要求可不作偏角改正; 不拉偏的偏角改正应符合下列要求:

- 1) 偏角大于 5° 时, 应分别进行悬索干绳和缆索位移改正; 偏角大于 10° 时应进行湿绳改正。
- 2) 铅鱼测深水深按式 (5.5.4-1) 或式 (5.5.4-2) 计算:

$$h = h_j - \Delta_d - \Delta_t - \Delta_w \quad (5.5.4-1)$$

直接测得湿绳长度时:

$$h = L_H - \Delta_w \quad (5.5.4-2)$$

上二式中 L_H ——湿绳长度, m;

Δ_d ——悬索干绳改正数, m;

Δ_w ——悬索湿绳改正数, m;

Δ_t ——缆索位移改正数, m。

Δ_d 、 Δ_w 、 Δ_t 可分别查附录 B, 使用微机辅助测流系统的, 也可按公式直接进行计算。

2 水面偏角大于 5° 时, 应进行干绳改正, 干绳改正数按式 (5.5.4-3) 计算:

$$\Delta_d = Z(\sec\theta_h - \sec\theta_0) \quad (5.5.4-3)$$

式中 Z ——行车距水面高差, m;

θ_h ——铅鱼下放至河底时的悬索偏角, $(^\circ)$;

θ_0 ——铅鱼下放至水面时的悬索偏角, $(^\circ)$ 。

3 湿绳改正数的计算应符合下列要求:

1) 根据冲力分配参数 β_* 查附录 B。冲力分配参数按式 (5.5.4-4) ~ 式 (5.5.4-6) 计算:

$$\text{无导线时:} \quad \beta_* = 0.4 \frac{G^{2/3}}{d} \quad (5.5.4-4)$$

$$\text{有导线时:} \quad \beta_* = 0.3 \frac{G^{2/3}}{d} \quad (5.5.4-5)$$

铅鱼采用铁铸成时:

$$\beta_* = 0.5 \frac{G^{2/3}}{d} \quad (5.5.4-6)$$

以上式中 G ——铅鱼重量, kg;

d ——悬索直径, mm。

2) 微机辅助测流系统, 湿绳长度按式 (5.5.4-7) ~ 式 (5.5.4-9) 计算:

$$L_H = h \int_0^1 \sqrt{1 + (\varphi_1 \tan\theta)^2} d\eta \quad (5.5.4-7)$$

$$K_H = \frac{\Delta_w}{L_H} = \frac{L_H - h}{L_H} = 1 - \frac{1}{\int_0^1 \sqrt{1 + (\varphi_1 \tan\theta)^2} d\eta} \quad (5.5.4-8)$$

$$\varphi_1 = 1 - \frac{\eta \left(1 - \frac{p}{3} \eta^2\right)}{\left(1 - \frac{p}{3}\right) + \frac{\beta_*}{h} (1 - p)} \quad (5.5.4-9)$$

以上式中 L_H ——湿绳长度, m;

h ——水深, m;

θ ——悬索偏角, ($^{\circ}$);

η ——相对水深;

K_H ——改正系数;

Δ_w ——湿绳改正值, m;

p ——(椭圆) 流速分布公式参数, p 取 0.6;

β_* ——冲力分配参数。

4 铅鱼重量一定时, 缆道垂度位移改正数按式 (5.5.4-10) ~ 式 (5.5.4-13) 计算:

$$\Delta_t = \frac{1}{2} m f_x (\tan^2 \theta_h - \tan^2 \theta_0) \quad (5.5.4-10)$$

$$m = \left(1 + 4 \frac{f_{\max}}{L}\right) k^2 \quad (5.5.4-11)$$

$$k = \frac{G}{ql/2 + P_V} \quad (5.5.4-12)$$

$$P_V = F + \frac{q'l}{2} + G \left(1 - 4 \frac{f_{\max}}{L}\right) \quad (5.5.4-13)$$

以上式中 m ——缆道参数;

k ——偏角系数;

f_x ——为主索 x 处加载垂度, m;

f_{\max} ——主索加载最大垂度, m;

L ——主索跨度, m;

P_V ——集中荷重, kg;

q ——主索单位长度自重, kg/m;

q' ——工作索单位长度自重, kg/m;

F ——行车及附属物重量, kg;

G ——铅鱼重量, kg。

5 未使用微机辅助测流系统, Δ_t 可根据缆道参数 m , 查附录 B。

6 当更换主索、工作索、铅鱼及调整主索垂度时, 应重新计算缆道参数 m 和偏角系数 k 。

5.5.5 超声测深仪宜在低含沙量的情况下使用，仪器应符合下列要求：

1 换能器频率宜在 10~200kHz 范围内选用，含沙量较小时选用频率较大的换能器，含沙量较大时选用频率较小的换能器。

2 具有较高精度的数据处理功能，水深读数置信度达 98% 以上。

3 测深范围：单向为 10~30m，双向为 20~60m；分辨率为 1cm，允许误差 $(1 \pm 1\%) \pm 5\text{cm}$ 的保证率不应小于 98%。

5.5.6 采用超声测深仪测深的水深比测应符合下列要求：

1 比测点次：10~15 点。

2 比测允许误差：河底比较平整或水深大于 3m 时，误差不应大于水深的 $\pm 1\%$ ；河底不平整或水深小于 3m 时，误差不应大于水深的 $\pm 5\%$ ；水深小于 1m 时，绝对误差不应大于 0.05m。

3 测深仪在使用中的比测每年不应少于 2~3 次，当发现测深仪误差超差时较大，应送检定单位检修率定。

4 测深比测检查：每次采用测深仪进行水深测量时均应进行测深差比测检查。

5.5.7 超声测深仪测深应根据测站的水质、含沙量、断面流速、水深条件等选用频率适宜的测深仪，并符合下列要求：

1 含沙量、断面流速、水深较大或具有泡旋水流的测站，宜选用大功率、低频率的测深仪；水深较浅的测站，宜选用盲区较小、频率较高的测深仪。

2 无自动温度调校装置的超声波测深仪，施测前应观测水温并进行声速校正，水温测量应在流水水深不小于 1m 的深度进行。

3 采用数字显示的仪器，每次测深应连续读取 5 次以上的有效读数，取其平均值；有条件时应自动计算平均值。

5.6 垂线测点位置的确定

5.6.1 测点定位应使仪器入水后在垂线上的位置等于或接近预

定的测点深度。

5.6.2 测点定位可采用直接观读法、相对计数水深法、校正系数法、试错法，各方法应分别符合下列要求：

1 当偏角小于 5° 时，实测水深可采用直接观读法；当断面稳定，借用水深时各测点的定位也可采用本方法。

2 相对计数水深法：水深大于 10m，偏角小于 20° ，产生干绳、湿绳及位移改正值时，测出湿绳长度后，各测点的定位深度按式 (5.6.2-1) 计算：

$$h_\eta = \eta L_H \quad (5.6.2-1)$$

式中 h_η ——测线某一相对位置的测点深；

η ——相对位置，0.2、0.6、0.8 等；

L_H ——施测垂线湿绳总长度，m。

3 校正系数法：这是一种一次性定位方法。在已确定施测垂线的水深 h （实测或者借用断面）及偏角的情况下，计算测点计数水深时，测点深计数器读数按式 (5.6.2-2) ~ 式 (5.6.2-4) 计算：

$$h_\eta = \eta h + \lambda \quad (5.6.2-2)$$

$$\lambda = \Delta_g + \Delta_w + \Delta_s \quad (5.6.2-3)$$

或
$$\lambda = \epsilon(\Delta_g + \Delta_w) \quad (5.6.2-4)$$

以上式中 λ ——校正值；

ϵ ——校正系数，根据冲力参数 β 查附录 B 求得。

4 试错法：当不能采用铅鱼实测水深，或借用上一次断面成果查算水深时，水面以下各测点的位置可采用试错法确定。

5.7 测速方法

5.7.1 转子式流速仪法测速宜采用积点法，垂线上测速点的数目应由流量 II 型误差试验资料确定，且垂线水深应满足测点能准确定位的要求。

5.7.2 下列情况之一，可采用水面一点法：

1 水位涨落急剧，需缩短测流历时。

2 流速较大，漂浮物较多，铅鱼测深有困难，测点不能准确定位。

3 抢测洪峰等特殊情况。

4 在通航河流，来往船只较多，测流危险时。

5.7.3 水面一点法适用断面基本稳定的测站，如断面变化较大，应在洪峰前后实测断面。

5.7.4 采用水面一点法，其水面流速系数应通过分析计算确定。

5.7.5 声学多普勒流速剖面仪法测速应符合下列要求：

1 使用声学多普勒流速剖面仪采用垂线法施测，即将安装有声学多普勒流速剖面仪的铅鱼定位在传统流速仪法测速垂线上，历时不小于 10s 采集垂线流速，整理计算出垂线平均流速。

2 使用声学多普勒流速剖面仪采用横渡法（也称走航法）施测，即将安装有声学多普勒流速剖面仪的测船在铅鱼下方沿断面方向横渡测得断面流量。

3 测验方法按 SL 337—2006 的要求执行。

5.7.6 雷达流速仪法：将雷达流速仪置于铅鱼前上方，测流时只测每条垂线的水面流速，根据标定系数计算出该垂线平均流速。

5.7.7 吊船缆道测流可参照 SL 338—2006 的有关规定执行。

5.7.8 吊箱缆道测流可参照铅鱼缆道流量测验的相关技术要求执行。

5.7.9 浮标缆道测流可参照 GB 50179—93 的相关规定执行。

6 缆道测沙

6.1 悬移质泥沙测验仪器

6.1.1 缆道悬移质泥沙采样器可分为调压积时式采样器、皮囊积时式采样器、横式采样器、普通瓶式采样器和在线测沙仪等。测站可根据不同河流的水沙特性、设备条件和测验精度要求等选用。

6.1.2 调压积时式采样器主要适用于含沙量小于 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 时的选点法和混合法取样。

6.1.3 皮囊式采样器适用于不同水深和含沙量条件下的积深法、选点法和混合法取样，主要用于含沙量小于 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 的河流。

6.1.4 横式采样器适用于安装在铅鱼测验平台上，通过岸上远程遥控取样，也适用在吊箱、吊船测验平台上人工直接取样。

6.1.5 普通瓶式采样器主要适用于含沙量小于 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 、水深为 $1.0\sim 5.0\text{m}$ 的双程积深和水深 10m 范围内的单程积深法取样。

6.1.6 各种在线测沙仪应符合下列规定：

1 仪器的工作曲线应比较稳定，对水温、泥沙颗粒性状、颗粒组成及化学特性等的影响，应能自行校正，或能将误差控制在允许范围内。

2 仪器在连续 8h 工作时应保持稳定。

3 安装在铅鱼等测验平台上的仪器应具有远程控制和传输功能。

4 采用各种直读测沙仪进行泥沙测验应符合相应的规范或技术规定。

6.2 测验仪器操作

6.2.1 各种采样器使用前应进行检查，取样后应在现场量记水样容积，并应将盛样容器冲洗干净。

6.2.2 测验仪器操作除符合 GB 50159—92 的有关要求外，还应符合下列规定：

1 调压积时式采样器、皮囊积时式采样器、普通瓶式采样器的进口流速宜接近采样点的水流流速；进口对着水流，进口水流平行于采样点的流向。

2 采用开关控制的采样器，采样前停留时间不应小于 3s，当采样器接近河底或即将出水面时，应及时降低其下行或上行速度。

3 横式采样器筒身纵轴应与铅鱼纵轴平行，且不受铅鱼阻水影响。仪器两端口门应保持瞬时同步关闭和不漏水。

4 积时式采样器使用全断面混合法采样，水样舱有效容积应不小于 2000mL。

5 采样完成后应现场冲洗或更换采样舱。

6.3 测沙信号装置

6.3.1 采样器的控制信号系统宜采用多音频编码或音频数码调制信号方式，采样器的信号方式可具有水面、河底、流速、开仓控制、关仓控制、开仓返回、关仓返回和满仓信号等。

6.3.2 安装在铅鱼等测验平台上的采样器，应具有远程控制及水下工作状态监视功能。

6.3.3 缆道采样器信号控制系统应满足下列要求：

- 1 控制及监视信号应相互独立使用，互不干扰。
- 2 控制及监视信号的可靠性应大于 98%。

6.4 悬移质输沙率测验

6.4.1 采用积时式采样器施测悬移质输沙率可使用选点法、垂线混合法、积深法或全断面混合法，测站可根据具体情况选择采用。

6.4.2 采用垂线混合法取样应符合下列要求：

- 1 取样位置、历时应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 积时式采样器垂线混合法取样历时

取样方法	取 样 位 置	各测点取样历时 $t(s)$
两点法	$0.2H$ 、 $0.8H$	$0.5t$ 、 $0.5t$
三点法	$0.2H$ 、 $0.6H$ 、 $0.8H$	$t/3$ 、 $t/3$ 、 $t/3$
五点法	水面、 $0.2H$ 、 $0.6H$ 、 $0.8H$ 、河底	$0.1t$ 、 $0.3t$ 、 $0.3t$ 、 $0.2t$ 、 $0.1t$

2 采用垂线混合法取样时，应同时施测测线平均流速。

6.4.3 采用全断面混合法取样应符合下列要求：

1 应根据采样器水样仓有效容积、进水管口截面积、断面平均流速，按式 (6.4.3-1) 计算全断面取样总历时：

$$T = \frac{W_{\text{水}}}{a \bar{v}} \quad (6.4.3-1)$$

式中 T ——全断面取样总历时，s；

$W_{\text{水}}$ ——采样器水样仓有效容积，mL；

a ——采样器进水管口截面积， cm^2 ；

\bar{v} ——断面平均流速， cm/s 。

2 取样总历时确定后，将全断面分成以测沙垂线平均含沙量所代表的相应部分面积，见图 6.4.3，按水位级求出每条测沙垂线的面积权重系数 C_i ；然后求出每条垂线取样历时： $t_1 = C_{1T}$ ， $t_2 = C_{2T}$ ， \dots ， $t_n = C_{nT}$ 。

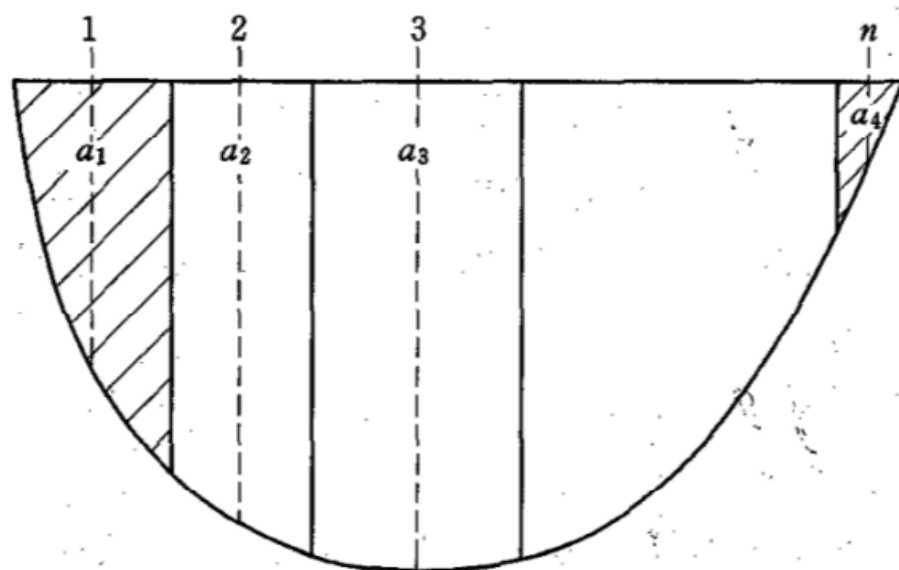


图 6.4.3 断面取样垂线权重划分示意图

$$C_1 = a_1/A, C_2 = a_2/A, C_3 = a_3/A, \dots, C_n = a_n/A \quad (6.4.3-2)$$

式中 C_1, C_2, \dots, C_n ——各条垂线的面积权重系数;
 a_1, a_2, \dots, a_n ——各条垂线所代表的部分面积, cm^2 ;
 A ——断面面积。

6.4.4 采用选点法取样时,可选取 3 条垂线同时施测各测点流速并取样,其余垂线采用垂线混合法施测。各选点法的测点位置应符合表 6.4.4 的规定。

表 6.4.4 各种选点法的测点位置

河流情况	方法名称	测点的相对位置
畅流期	五点法	水面、0.2、0.6、0.8 及河底
	三点法	0.2、0.6、0.8
	两点法	0.2、0.8
	一点法	0.6
封冻期	六点法	冰底(冰花底) 0.2、0.4、0.6 及河底
	二点法	0.15、0.85
	一点法	0.5

6.4.5 施测较少的垂线和测点可采用简测法。当积累一定资料,通过精简分析,与多线多点法施测的断面平均含沙量(下列简称断沙)有一定关系,其比值在 0.98~1.02 之间时,可作为断沙的一种简测法。若含沙量分布发生变化时,应停止使用。

6.4.6 相应单位含沙量(下列简称单沙)取样,在测断沙过程中,用积时式采样器采取单位水样时,可根据含沙量变化情况,选用下列操作程序:

1 当采用断沙测验开始、结束各取 1 次单沙时,相应单沙取开始、结束单沙的平均值。

2 当含沙量变化大,可采取以下方式连续取样:

单沙 I—断沙 1—单沙 II—断沙 2—单沙 III

则 断沙 1 的相应单沙为：(单沙 I + 单沙 II) / 2

断沙 2 的相应单沙为：(单沙 II + 单沙 III) / 2

6.5 悬移质泥沙颗粒测验

6.5.1 采用三线九点混合法，应按等部分面积、流量或输沙率布线，也按含沙量横向变化适当布线，每线在相对位置 0.2、0.6、0.8 处取样混合。

6.5.2 采用十字线法，可在断面上选取测沙垂线（一般与断沙的测沙垂线相同），中泓一线在相对位置水面、0.2、0.6、0.8、河底取样，其余垂线在相对位置 0.6 处取样。

6.5.3 采用分层混合法，应在每条测沙垂线上，分别采取相对位置的水面、0.2、0.6、0.8、河底 5 层水样，将每层各点水样混合，得出 5 个水样，分别进行颗粒分析。

6.6 推移质测验

6.6.1 推移质采样可使用压差式和网式采样器取样。

6.6.2 推移质采样器应根据测验河段的床沙粒径和断面的水流条件等选定。当河床组成复杂，选择一种仪器不能满足测验要求时，可选用不同的两种仪器进行测验。

6.6.3 悬吊仪器采样在下放到接近河床时，应减缓下放速度，使仪器平稳地放在床面上并适当放松悬索，采样器上提过程中不得在水中和水面附近停留。

6.6.4 推移质垂线每次取样历时可为 2~3min，在部分输沙率大于平均输沙率 5 倍以上的强推移带垂线应取样 2 次。当所取沙样超过采样器规定的容积时，可缩短取样历时，取样 3 次，弱推移带垂线取样 1 次。

7 养护与维修

7.1 缆道设施

7.1.1 钢丝绳的养护维修应符合下列要求：

1 养护涂油：主索、主索与锚碇接头部分应每年1次，工作索每年不应少于2次，经常入水部分应适当增加次数，其他钢丝绳每年不应少于1次。

2 采用混凝土桩锚的，绕绳应整齐，不可挤压，并应配用足够数目的钢丝绳绳夹。所有绳夹应受力均匀，绳夹压盖卡在主绳上，以压扁索径的1/5为度；绳夹“U”形环卡在副绳上，以压扁索径的1/3为度。绳夹的数量及间距按表7.1.1采用。

表 7.1.1 钢丝绳绳夹数目及间距

钢丝绳直径 (mm)	绳夹只数 (只)	绳夹间距 (cm)
10~15	≥ 3	8~10
15~20	4~5	12~14
20~30	5~6	15~20

注：绳夹间距不应小于钢丝绳直径的6倍。

3 对塔架（柱）顶部的钢丝绳常年与滑轮接触受到挤压变形者，维修时应作错位处理。

7.1.2 钢丝绳的检查：每年对主索涂油时，结合检查并记录断丝、断股、锈蚀、直径等变化情况作为更换主索的依据。

7.1.3 钢丝绳断股和扭环不能解开时，可将扭环损伤部分截去，采用插股编结方法进行编结。编结最小长度按表7.1.3采用。钢丝绳接头宜减少，接头之间的距离不应小于5m。

表 7.1.3 钢丝绳编结最小长度

钢丝绳直径 (mm)	5~10	12~14	16~18	22~26
编结段长度 (mm)	60	90	120	150

7.1.4 缆道主索、工作索等，发现有下列情况之一者应予报废：

1 钢丝绳每一年搓绕节距（钢丝绳拧一周的长度）长度内，断丝根数顺捻超过 5%；交捻超过 10%时（见表 7.1.4）。

表 7.1.4 钢丝绳报废标准

钢丝绳构造	搓绕型式	一搓绕节距长度内断丝根数
6×19+1	交绕	12
	顺绕	6
6×37+1	交绕	22
	顺绕	11
6×61+1	交绕	36
	顺绕	18

2 钢丝绳中有一股折断时。

3 钢丝绳疲劳现象严重，使用时断丝数目增加很快时。

4 使用达一定的年限时。使用年限可由流域机构、省（自治区、直辖市）水文局（总站）结合本区域实际情况具体规定。

7.1.5 塔架（柱）、锚碇的养护维修应符合下列要求：

1 塔架（柱）结构应保证按设计要求不变形。每年汛前全面检查记录 1 次。

2 水泥支柱应每年检查 1 次有无裂缝。发现支柱有裂缝时，应立即更换。

3 钢塔架（柱），除热镀锌钢架外，应每隔 1~2 年进行除锈、油漆养护，除锈后，先涂红丹，再涂油漆。对混凝土塔架（柱）的钢结构部分，也应作相应处理。

4 塔架（柱）的拉线应每年定期检查 2~3 次，并调节其松紧度，使拉线处于拉紧状态，保证各方向的拉力均衡。大洪水期间应增加检查次数。

5 应定期检查塔架（柱）基础有无沉陷，塔架（柱）有无位移变化，连接螺栓是否有松动，混凝土基础有无裂缝等。发现问题应及时处理。

6 应定期检查锚碇有无位移, 锚碇附近土壤有无裂纹、崩塌、沉陷等现象, 钢丝绳夹头是否松动, 锚杆是否生锈。锚碇周围应有排水设施。

7.2 驱动设备

7.2.1 动力设备养护维修应符合下列要求:

1 柴油机及发电机组应按使用说明书的规定进行技术保养。

2 应经常检查电动机发热情况, 温升超过 60°C 时, 应采取降温措施。

3 发现电动机有异样声响时, 应立即停车, 检查原因, 设法排除; 测量完毕后应切断电源。

4 凡经常与人和物体接触的动力线, 宜用管套保护, 导线接头处应用绝缘胶布包好。

5 绞车减速箱应加油方可启动, 每年检查应不少于 2 次, 换油 1 次。

7.2.2 绞车养护维修应符合下列要求:

1 每年汛前、汛后应各检查 1 次。

2 应经常检查绞车运转情况。发现不正常情况, 应停车检修。

3 应经常保持绞车轴承、转动部件面润滑及表面清洁, 避免可能的超负荷运行。

7.2.3 滑轮养护维修应符合下列要求:

1 汛前应全面检修 1 次, 洪水测验时应随时监视各滑轮运动情况。

2 应经常检查各导向滑轮、游轮、行车等运转情况, 发现运转不正常应及时检修。

3 应定期检查滑轮中的轴承, 若有损坏应及时更换, 并保持油润, 钢丝绳不得在滑轮上滑动、擦边、跳槽, 若有上述问题存在应采取措施及时排除。

7.3 仪 器 仪 表

7.3.1 各种记录仪表养护维修应符合下列要求:

- 1 各种记录仪表应按仪表说明书使用和养护。
- 2 各种记录仪表应存放在干燥通风、清洁和不受腐蚀气体侵蚀的地方。有条件的测站宜设置操作台,整合仪表布局。
- 3 定期检查电子设备的接地装置和防雷装置。

7.3.2 缆道测站应建立和认真执行维修制度,内容应包括:

- 1 贵重和比较复杂的仪器,应由熟悉此种仪器性能的人员负责使用和维修。
- 2 测站应根据需要备有一定数量适用的电子元件和电工器材,便于检修。

7.4 防雷装置及设施

7.4.1 对电源防雷一、二、三级装置,信号防雷装置应进行经常性检查。发现问题应及时处理。

7.4.2 定期对防雷设施进行维护检查,包括下列内容:

- 1 检查接闪器、引下线、连接条及接地装置是否使用规定的导体截面,以及是否按规定的位置安装,每个焊接点是否达到所要求的焊接面积及长度,焊接点有无气化壳,是否饱满。
- 2 检查引下线与连接条的弯曲情况,以及上下楼层相接地点的跨越处理情况。
- 3 检查各处接闪器、引下线、支持点的机械强度是否达到要求,以及利用结构钢材作接闪器或引下线的焊接和连接情况。并检查是否因此影响结构的应力。
- 4 检查引下线明装地点的绝缘处理及绳卡的接触情况。
- 5 检查接地装置的填土情况,测量接地装置的散流电阻。

7.4.3 防雷装置养护应符合下列要求:

- 1 每年雷雨季节前,应做1次定期养护,因挖土敷设其他管道时而挖断接地装置等,应及时恢复。

2 各处明装导体、引下线距地 2m 段的绝缘保护应完好。

3 绝缘处理后的工作索引入缆道房时，宜在室外将该悬索与接地之间加间隙放电装置，保护间隙的间距应无变动，变动应立即调整。

4 应对接地体进行全面检查，测量全部接地装置的散流电阻。发现接地装置的电阻值有较大变化时应及时处理。

附录 A 缆道技术档案

A.1 缆道考证簿图表样式

A.1.1 缆道考证簿封面样式

水文缆道考证簿

领导机关：

站 名：

流 域：

水 系：

河 名：

填制：

站长：

审核：

年 月 日填制

表 A. 1.2 缆道设计基本资料

水位	调查最高		m	水面宽	调查最大		m
	实测最高		m		实测最大		m
	实测最低		m		实测最小		m
	设计洪水位		m	通航情况	是否通航		
水深	调查最大		m		航桅高度		m
	实测最大		m		通航水位		m
	设计最大水深		m	堤(河)岸	高程	左岸	m
实测流速	最大	浮标法	m/s			右岸	m
		流速仪法	m/s		顶宽	左岸	m
	最小流速		m/s			土壤类别	左岸
	设计最大流速		m/s	右岸			
实测流量	最大	浮标法	m ³ /s	最大风向风力			
		流速仪法	m ³ /s	设计风力			
	最小流量		m ³ /s	冰雪情况			
实测最大含沙量			kg/m ³	多年平均雷电日		d/年	
河床组成情况 水草生长及影响情况 漂浮物情况 供电情况							
备 注							

表 A.1.3 缆道设施

缆道类别				布置型式						
主索	规格	直径: mm		单位重量: kg/m		破断拉力: kgf				
	跨度	主跨 L : m		左边跨 $L_{左}$: m		右边跨 $L_{右}$: m				
	荷载	行车重量: kg		铅鱼重量: kg		集中荷载 P_V : kgf				
	垂度	空载垂度 f_0 : m		加载垂度 f_v : m						
	安全系数	设计拉力: kg		安全系数 K :						
工作索	规格	直径: mm		单位重量: kg/m						
		破断拉力: kg		安全系数 K :						
	游轮行程	m		平衡锤重量		kg				
	起重钢丝绳	直径: mm		起重滑轮组数:						
	导向滑轮	个数: 个		直径: mm						
副索	直径	mm		在缆道断面上游: .		m				
	拉偏索	直径: mm	调节方式:		是否改正:					
支架	型式		材料		截面尺寸		高度 m			
	地面高程	左岸: m		架顶高程	左岸: m					
		右岸: m			右岸: m					
	拉线	左岸	材料:	直径:	层数:	根数:				
右岸		材料:	直径:	层数:	根数:					
锚碇	左岸	高程	m	入地角	(°)	右岸	高程	m	入地角	(°)
		尺寸: 长 宽 高			m		尺寸: 长 宽 高			m
		入土深:			m		入土深:			m
		锚杆直径:			mm		锚杆直径:			mm
		桩锚直径:			mm		桩锚直径:			mm
		安全系数:					安全系数:			
操作室与机房	层数:	总面积: m^2	其中: 操作室: m^2		机房: m^2					
	地面高程: m		操作室通视情况							
防雷设施	避雷针线、带位置: 接地体埋设位置: 设计雷电流: kA					最高处高程: m 最低处高程: m 接地电阻: Ω				
备注										

距基本水尺断面：上游 m；下游 m

图 A. 1.3 - 1 缆道平面图

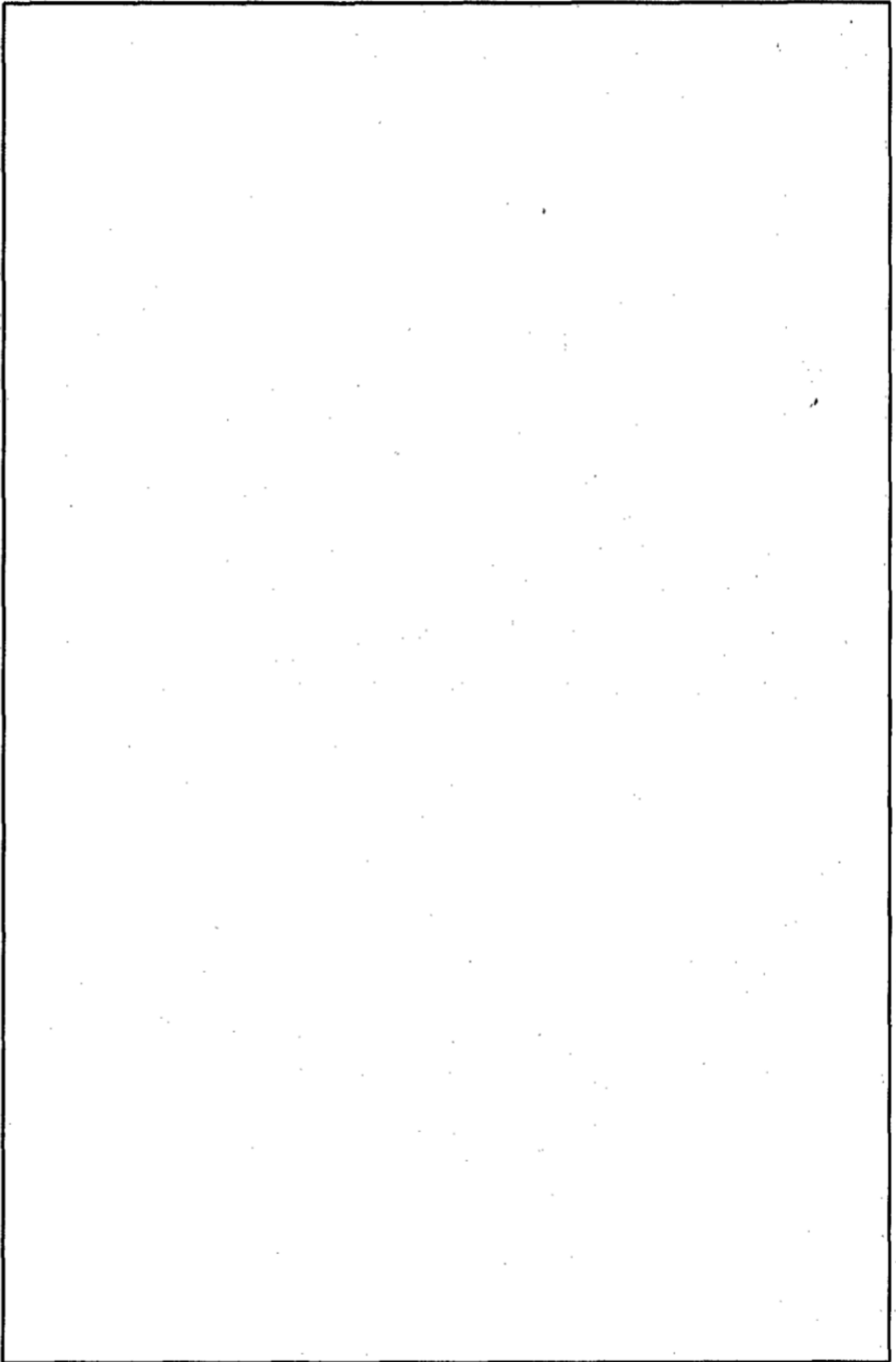
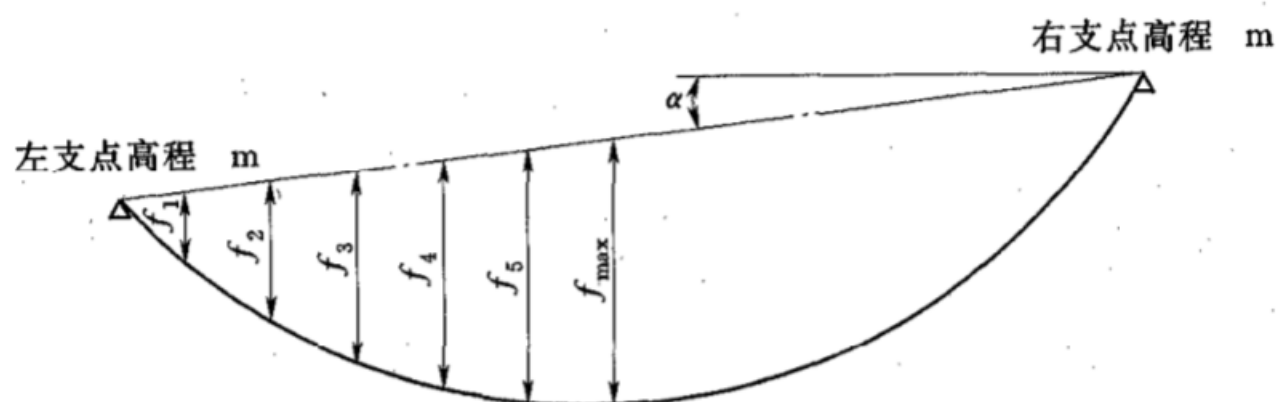


图 A.1.3-2 缆道布设型式图

悬吊铅鱼重量 $G =$ kg



垂线号数	支点	1	2	3	4	5						支点
起点距												
高程												
加载垂度												
测量日期	<div> 年 月 日 </div> <div> 测量人: </div>											
备注												

图 A.1.3-3 主索荷载垂度曲线图

表 A.1.4 机 电 设 备

电 源	外接电源	变压器厂名： 型号： 容量： kVA				
	发电 机组	名称		型号	功率(kW)	转速 (r/min)
动 力	绞车 动力	类别		型号	功率 (kW)	转速 (r/min)
		起重				
		循环				
调 速 装 置	方式					
	类别	调速电动机 名称	调速范围 (m/min)	变频器		
				型号	功率	制动方式
	水平					
	垂直					
绞 车	型号： 厂名： 起重能力：					
	起重卷筒	直径： mm	容量： kVA	起重槽轮	直径： mm	
	循环索 卷筒	直径： mm	循环槽轮	直径： mm		
		分线轮直径： mm				
	减速箱	型式或型号： 速比：				
	速度	水平： m/min		垂直： m/min		
	制动装置	型式或型号：		转矩： kg/cm		
	离合器	型式或型号：		转矩： kg/cm		
	有无手摇 装置					
滑 轮	名称	直径 (mm)	滚珠轴承型号	数量	单位	附注
	行车					
	导向滑轮					
	游轮					
照 明 设 备	灯具名称： 型号： 功率： kW 射程： m					
备 注						

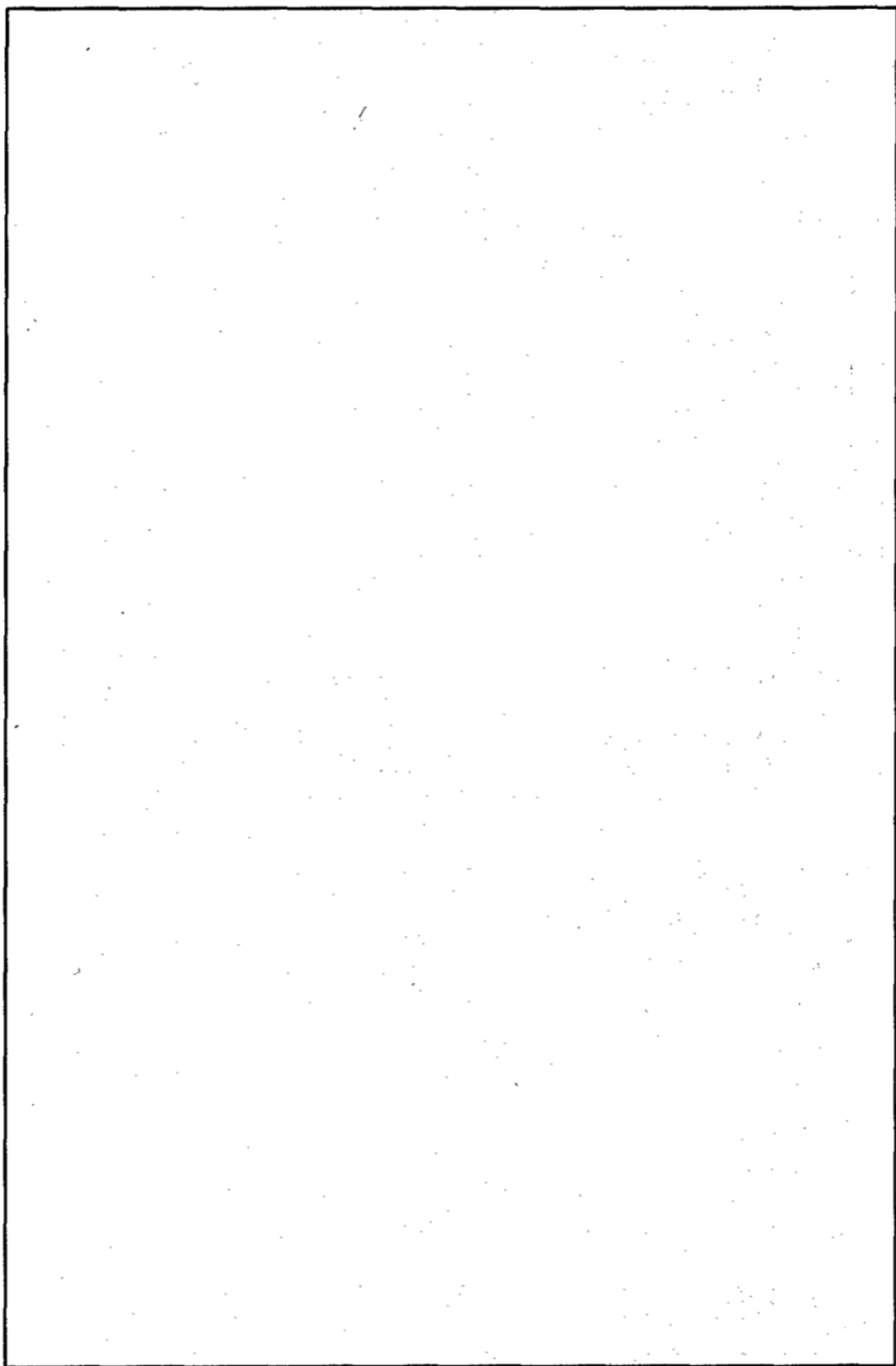


图 A.1.4 绞车布设图

表 A.1.5 缆道工程和设备验收单

[illegible]

表 A.1.6 测 算 装 置

类 别	名 称	型 号	生产厂商	性 能	精 度
测 距	测距仪				
测 深	水面讯号装置				
	河底讯号装置				
	测深仪				
	偏角器				
	超声测深仪				
测 速	直读流速仪				
	音响接收器				
取 沙	采样器				
备 注					

表 A.1.7 使用 情 况

沿 革	索道竣工日期： 设计： 施工：	
	改建日期：	
	投资总额：	
	投产日期： 批准单位：	
测验 项目		
使用 情况	测验 精度	测距：
		测深：
		流量：
		悬沙：
	存在 问题	
重大 事故		
备注	主索锈蚀、断丝、断股、直径变化情况：	

表 A. 1. 8 设备更换情况

名称	规格或型号	数量	单位	更换原因	更换年月	备注

表 A. 1. 9 技 术 资 料

编号	名 称	主要内容	数量	单位	备注

A. 2 缆道考证簿图表填制说明

A. 2.1 缆道设计基本资料填写应符合下列要求:

1 实测流速、流量: 流速仪法最大值, 是指船测法或其他方法用流速仪测得的最大流速、流量。

2 堤岸: 无堤岸而有水工建筑物或公路、铁路桥的测站, 则在备注栏中说明, 并填写有关数值。

A. 2.2 缆道设施填制应符合下列要求:

1 缆道类别: 填电动、机动、人力。

2 布设型式: 开口游轮式 (包括平衡游轮式)、闭口游轮式等。

3 集中荷载 P_V 按式 (A. 2.2-1) 计算:

$$P_V = F + \frac{q'L}{2} + G\left(1 - 4 \frac{f_{\max}}{L}\right) \quad (\text{A. 2.2-1})$$

式中 F ——行车及附属物的重量, kg;

G ——铅鱼包括流速仪、采样器的重量, kg;

f_{\max} ——主索最大加载垂度, m。

4 空载垂度 f_0 、最大加载垂度 f_{\max} : 填实测最大值。

5 设计拉力: 按式 (A. 2.2-2) ~ 式 (A. 2.2-4) 计算:

$$H_{\max} = \frac{1}{f_{\max}} \frac{L}{4} \left[\frac{qL}{2} + P \right] \quad (\text{A. 2.2-2})$$

$$P = \sqrt{P_V^2 + P_Z^2} \quad (\text{A. 2.2-3})$$

$$P_Z = G \tan \theta \quad (\text{A. 2.2-4})$$

以上式中 f_{\max} ——最大加载垂度, 取实测值;

P_Z ——水流冲击力;

θ ——最大偏角。

6 工作索: 起重索与循环索之统称。

7 起重卷筒钢丝绳: 下游轮或复滑轮组所采用之钢丝绳。

8 起重滑轮组数: 只有一个游轮的不填。

9 调节方式: 填自动或固定。

10 塔架（柱）型式：自立式、绞接式。

11 锚碇型式：填块锚、板锚、桩锚。

12 缆道平面图（见图 A.1.3-1）：同测站基本设施平面图，按比例绘出测流河段、水尺、断面位置、断面标志、主索、副索、浮标投放器、塔架（柱）、锚碇、绞车、操作室、站房平面位置图。

图例按《水文资料整编规范》附录 A 图 A.1-1 的要求绘制。

13 缆道布设型式图（见图 A.1.3-2）有主索、工作索、行车、铅鱼、导向滑轮、游轮、平衡锤、绞车等的示意图，可参照《水文缆道》等有关书籍绘制。

14 主索荷载垂度曲线图（见图 A.1.3-3）：

1) 两岸支点等高，则不标 α 角。

2) 图 A.1.3-3 所列起点距、高程、加载垂度，应在悬吊铅鱼的情况下，将逐条垂线实测值填入。

A.2.3 机电设备填制应符合下列要求：

1 电源：只为夜测照明而备有发电设备的测站，不填此栏，仅在备注栏中注明。

2 动力：电动机、柴油机。

3 调速装置：水平是分级调速，而垂直为无级调速的，则分别填写。

4 绞车：“起重卷筒容量”是指卷钢丝绳的长度，并说明钢丝绳的规格，如“卷 5.0mm 的钢丝绳 50m”；“起重能力”：按实际负荷填入；“速度”：驱动行车（水平）和铅鱼（垂直）的速度。

5 绞车布设图（见图 A.1.4）：照绞车设计图，按比例绘制平面布设图。

A.2.4 缆道工程和设备验收单填写应符合下列要求：

1 项目：填土建工程、缆索、驱动信号系统。

2 名称：按项目分别填写。如塔架（柱）、锚碇等属于土建

工程；电动机、绞车滑轮等属于驱动系统；主索、工作索等属于缆索系统；信号传输、接收属信号系统。

3 外购型号：指直接购置的成品，如电动机、减速箱等。

4 质量检查情况说明：用简要文字说明，如“符合设计要求”、“拉线安全系数小于3，不符合设计要求”等。

5 验收人员意见：对存在的主要问题，提出改建意见，并限期完成，以便鉴定投产。

6 开支金额：应能反映缆道工程 and 设备的总投资。

A.2.5 记录装置模式较多，各流域机构、省（自治区、直辖市）水文部门在制表时，在名称栏中空格或完全空格，要求在本流域机构或本省（自治区、直辖市）范围内，填写的记录装置名称应统一。

A.2.6 使用情况，测验精度：分项目按实际比测率定的误差值填入。如起点距精度、水深精度、流量精度等。

A.2.7 设备更换情况，名称：包括缆道的各种设备和记录装置，如工作索、导向滑轮、测深计数器等。

A.2.8 技术资料名称：包括勘测、设计、施工及验收资料，水文缆道考证簿以及比测、率定、试验资料等，分别按名称填入。

附录 B 偏角改正表

表 B.1 悬索干绳改正值表

单位: m

悬吊点 距水面 高 Z(m)	悬索偏角 θ (°)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
1	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.31
2	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.16	0.19	0.23	0.27	0.31	0.36	0.41	0.47	0.54	0.61
3	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.19	0.24	0.28	0.34	0.40	0.46	0.54	0.62	0.71	0.81	0.92
4	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.21	0.26	0.31	0.38	0.45	0.53	0.62	0.72	0.82	0.94	1.08	1.22
5	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.15	0.20	0.26	0.32	0.39	0.47	0.56	0.66	0.77	0.90	1.03	1.18	1.35	1.53
6	0.01	0.03	0.06	0.09	0.13	0.18	0.24	0.31	0.39	0.47	0.57	0.68	0.80	0.93	1.08	1.24	1.42	1.61	1.83
7	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.21	0.28	0.36	0.45	0.55	0.66	0.79	0.93	1.08	1.25	1.44	1.65	1.88	2.14
8	0.02	0.04	0.08	0.12	0.18	0.24	0.32	0.41	0.51	0.63	0.76	0.90	1.06	1.24	1.43	1.65	1.89	2.15	2.44
9	0.02	0.05	0.09	0.14	0.20	0.28	0.36	0.46	0.58	0.71	0.85	1.01	1.19	1.39	1.61	1.86	2.12	2.42	2.75
10	0.02	0.06	0.10	0.15	0.22	0.31	0.40	0.51	0.64	0.79	0.95	1.13	1.33	1.55	1.79	2.06	2.36	2.69	3.05
11	0.03	0.06	0.11	0.17	0.25	0.34	0.44	0.57	0.71	0.86	1.04	1.24	1.46	1.70	1.97	2.27	2.60	2.96	3.36
12	0.03	0.07	0.12	0.19	0.27	0.37	0.48	0.62	0.77	0.94	1.14	1.35	1.59	1.86	2.15	2.47	2.83	3.23	3.66
13	0.03	0.07	0.13	0.20	0.29	0.40	0.52	0.67	0.83	1.02	1.23	1.46	1.72	2.01	2.33	2.68	3.07	3.50	3.97

表 B.1 (续)

单位: m

悬吊点 距水面 高 Z(m)	悬索偏角 θ (°)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
14	0.03	0.08	0.14	0.22	0.31	0.43	0.56	0.72	0.90	1.10	1.32	1.58	1.86	2.17	2.51	2.89	3.30	3.77	4.28
15	0.04	0.08	0.15	0.23	0.34	0.46	0.60	0.77	0.96	1.18	1.42	1.69	1.99	2.32	2.69	3.09	3.54	4.04	4.58
16	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.49	0.64	0.82	1.03	1.26	1.51	1.80	2.12	2.48	2.87	3.30	3.78	4.30	4.89
17	0.04	0.09	0.17	0.26	0.38	0.52	0.69	0.87	1.09	1.34	1.61	1.91	2.25	2.63	3.05	3.51	4.01	4.57	5.19
18	0.04	0.10	0.18	0.28	0.40	0.55	0.73	0.93	1.16	1.41	1.70	2.03	2.39	2.78	3.23	3.71	4.25	4.84	5.50
19	0.05	0.10	0.19	0.29	0.42	0.58	0.77	0.98	1.22	1.49	1.80	2.14	2.52	2.94	3.40	3.92	4.49	5.11	5.80
20	0.05	0.11	0.20	0.31	0.45	0.61	0.81	1.03	1.28	1.57	1.89	2.25	2.65	3.09	3.58	4.12	4.72	5.38	6.11
21	0.05	0.12	0.21	0.32	0.47	0.64	0.85	1.08	1.35	1.65	1.99	2.36	2.78	3.25	3.76	4.33	4.96	5.65	6.41
22	0.05	0.12	0.22	0.34	0.49	0.67	0.89	1.13	1.41	1.73	2.08	2.48	2.92	3.40	3.94	4.54	5.19	5.92	6.72
23	0.06	0.13	0.23	0.35	0.51	0.70	0.93	1.18	1.48	1.81	2.18	2.59	3.05	3.56	4.12	4.74	5.43	6.19	7.02
24	0.06	0.13	0.24	0.37	0.54	0.73	0.97	1.24	1.54	1.88	2.27	2.70	3.18	3.71	4.30	4.95	5.67	6.46	7.33
25	0.06	0.14	0.25	0.39	0.56	0.77	1.01	1.29	1.60	1.96	2.37	2.82	3.31	3.87	4.48	5.16	5.90	6.73	7.64
26	0.06	0.14	0.26	0.40	0.58	0.80	1.05	1.34	1.67	2.04	2.46	2.93	3.45	4.02	4.66	5.36	6.14	6.99	7.94
27	0.07	0.15	0.27	0.42	0.60	0.83	1.09	1.39	1.73	2.12	2.56	3.04	3.58	4.18	4.84	5.57	6.37	7.26	8.25
28	0.07	0.15	0.28	0.43	0.63	0.86	1.13	1.44	1.80	2.20	2.65	3.15	3.71	4.33	5.02	5.77	6.61	7.53	8.55
29	0.07	0.16	0.28	0.45	0.65	0.89	1.17	1.49	1.86	2.28	2.74	3.27	3.84	4.49	5.20	5.98	6.85	7.80	8.86
30	0.07	0.17	0.29	0.46	0.67	0.92	1.21	1.54	1.93	2.36	2.84	3.38	3.98	4.64	5.38	6.19	7.08	8.07	9.16

注：本表按公式 $\Delta \pi = z \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$ 计算。

注: 本表按公式 $\Delta z = z \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$ 计算。

单位: m

表 B.2-1 悬索湿绳改正值表 ($\beta_s = 1.0 \sim 2.0$)

湿绳长 度 L_H (m)	悬索偏角 θ ($^{\circ}$)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
1	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14
2	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23
3	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.32
4	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.31	0.36	0.40
5	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38	0.43	0.49
6	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.39	0.44	0.50	0.57
7	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.17	0.21	0.25	0.29	0.34	0.39	0.44	0.51	0.58	0.65
8	0.01	0.02	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.16	0.19	0.23	0.28	0.32	0.38	0.44	0.50	0.57	0.65	0.73
9	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.22	0.26	0.31	0.36	0.42	0.49	0.56	0.64	0.72	0.82
10	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.19	0.24	0.29	0.34	0.40	0.46	0.54	0.61	0.70	0.80	0.90
11	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.13	0.17	0.21	0.26	0.30	0.37	0.44	0.51	0.59	0.67	0.77	0.87	0.98
12	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.23	0.28	0.34	0.40	0.47	0.55	0.63	0.73	0.83	0.94	1.07
13	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.36	0.43	0.51	0.59	0.68	0.78	0.89	1.02	1.15
14	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.13	0.17	0.21	0.27	0.33	0.39	0.46	0.54	0.63	0.73	0.84	0.96	1.09	1.23
15	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10	0.14	0.18	0.23	0.28	0.35	0.42	0.50	0.58	0.68	0.78	0.90	1.02	1.16	1.31
16	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.14	0.19	0.24	0.30	0.37	0.44	0.53	0.62	0.72	0.83	0.95	1.09	1.23	1.40
17	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.15	0.20	0.26	0.32	0.39	0.47	0.56	0.65	0.76	0.88	1.01	1.15	1.31	1.48

表 B.2-1 (续)

单位: m

湿绳长 度 L_H (m)	悬索偏角 θ (°)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
18	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.21	0.27	0.34	0.41	0.50	0.59	0.69	0.81	0.93	1.07	1.22	1.38	1.56
19	0.01	0.03	0.05	0.09	0.12	0.17	0.22	0.29	0.35	0.43	0.52	0.62	0.73	0.85	0.98	1.12	1.28	1.45	1.64
20	0.02	0.03	0.06	0.09	0.13	0.18	0.23	0.30	0.37	0.46	0.55	0.65	0.76	0.89	1.03	1.18	1.35	1.53	1.73
21	0.02	0.03	0.06	0.09	0.14	0.19	0.25	0.31	0.39	0.48	0.57	0.68	0.80	0.94	1.08	1.24	1.41	1.60	1.81
22	0.02	0.04	0.06	0.10	0.14	0.20	0.26	0.33	0.41	0.50	0.60	0.71	0.84	0.98	1.13	1.29	1.48	1.67	1.89
23	0.02	0.04	0.07	0.10	0.15	0.20	0.27	0.34	0.43	0.52	0.63	0.74	0.88	1.02	1.18	1.35	1.54	1.75	1.98
24	0.02	0.04	0.07	0.11	0.15	0.21	0.28	0.36	0.44	0.54	0.65	0.78	0.91	1.06	1.23	1.41	1.60	1.82	2.06
25	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.22	0.29	0.37	0.46	0.56	0.68	0.81	0.95	1.10	1.28	1.46	1.67	1.89	2.14
26	0.02	0.04	0.07	0.12	0.17	0.23	0.30	0.38	0.48	0.59	0.71	0.84	0.98	1.15	1.32	1.52	1.73	1.97	2.22
27	0.02	0.04	0.08	0.12	0.17	0.24	0.31	0.40	0.50	0.61	0.73	0.87	1.02	1.19	1.37	1.58	1.80	2.04	2.31
28	0.02	0.04	0.08	0.12	0.18	0.25	0.32	0.41	0.52	0.63	0.76	0.90	1.06	1.23	1.42	1.63	1.86	2.12	2.39
29	0.02	0.05	0.08	0.13	0.19	0.26	0.34	0.43	0.53	0.65	0.78	0.93	1.09	1.28	1.48	1.69	1.93	2.19	2.47
30	0.02	0.05	0.08	0.13	0.19	0.26	0.35	0.44	0.55	0.67	0.81	0.96	1.13	1.32	1.52	1.75	1.99	2.26	2.55

注: 本表按公式 $\beta_* = 0.4 \frac{G^{2/3}}{d}$ 或公式 $\beta_* = 0.3 \frac{G^{2/3}}{d}$ 计算。

单位: m

表 B.2-2 悬索湿绳改正值表 ($\beta_s = 3.0 \sim 4.0$)

湿绳长 度 L_H (m)	悬索偏角 θ (°)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
1	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18
2	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23	0.26	0.30
3	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.24	0.27	0.31	0.35	0.40
4	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.15	0.18	0.22	0.25	0.29	0.33	0.38	0.43	0.49
5	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.39	0.45	0.51	0.57
6	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.17	0.21	0.25	0.29	0.34	0.39	0.45	0.51	0.58	0.66
7	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.16	0.20	0.24	0.28	0.33	0.39	0.44	0.51	0.58	0.66	0.74
8	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.14	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.43	0.49	0.57	0.64	0.73	0.83
9	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.20	0.24	0.29	0.34	0.40	0.47	0.54	0.62	0.71	0.81	0.91
10	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.14	0.17	0.21	0.26	0.32	0.37	0.44	0.51	0.59	0.68	0.77	0.88	0.99
11	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.15	0.19	0.23	0.28	0.34	0.41	0.48	0.56	0.64	0.74	0.84	0.95	1.08
12	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.20	0.25	0.31	0.37	0.45	0.51	0.60	0.69	0.79	0.90	1.03	1.16
13	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.13	0.17	0.22	0.27	0.33	0.40	0.47	0.55	0.64	0.74	0.85	0.97	1.10	1.24
14	0.01	0.03	0.04	0.07	0.10	0.14	0.18	0.23	0.29	0.35	0.42	0.50	0.59	0.68	0.79	0.91	1.03	1.17	1.33
15	0.01	0.03	0.05	0.07	0.11	0.15	0.19	0.24	0.30	0.37	0.45	0.53	0.62	0.73	0.84	0.96	1.10	1.25	1.41
16	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.15	0.20	0.26	0.32	0.39	0.47	0.56	0.66	0.77	0.89	1.02	1.16	1.32	1.49
17	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.21	0.27	0.34	0.42	0.50	0.59	0.70	0.81	0.94	1.08	1.23	1.39	1.57

表 B.2-2 (续)

单位: m

湿绳长度 L_H (m)	悬索偏角 θ (°)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
18	0.01	0.03	0.05	0.09	0.12	0.17	0.23	0.29	0.36	0.44	0.53	0.63	0.73	0.85	0.99	1.13	1.29	1.47	1.66
19	0.01	0.03	0.06	0.09	0.13	0.18	0.24	0.30	0.38	0.46	0.55	0.66	0.77	0.90	1.04	1.19	1.36	1.54	1.74
20	0.02	0.03	0.06	0.10	0.14	0.19	0.25	0.31	0.39	0.48	0.58	0.69	0.81	0.94	1.09	1.25	1.42	1.61	1.82
21	0.02	0.04	0.06	0.10	0.14	0.20	0.26	0.33	0.42	0.50	0.60	0.72	0.84	0.98	1.13	1.30	1.49	1.69	1.91
22	0.02	0.04	0.07	0.10	0.15	0.20	0.27	0.34	0.43	0.52	0.63	0.75	0.88	1.03	1.18	1.36	1.55	1.76	1.99
23	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.21	0.28	0.36	0.45	0.55	0.66	0.78	0.92	1.07	1.23	1.42	1.62	1.83	2.07
24	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.22	0.29	0.37	0.46	0.57	0.68	0.81	0.95	1.11	1.28	1.47	1.68	1.91	2.15
25	0.02	0.04	0.07	0.12	0.17	0.23	0.30	0.39	0.48	0.59	0.71	0.84	0.99	1.15	1.33	1.53	1.74	1.98	2.24
26	0.02	0.04	0.08	0.12	0.17	0.24	0.32	0.40	0.50	0.61	0.74	0.87	1.03	1.20	1.38	1.59	1.81	2.05	2.32
27	0.02	0.05	0.08	0.12	0.18	0.25	0.33	0.42	0.52	0.63	0.76	0.91	1.06	1.24	1.43	1.64	1.87	2.13	2.40
28	0.02	0.05	0.08	0.13	0.19	0.26	0.34	0.43	0.54	0.65	0.79	0.94	1.10	1.28	1.48	1.70	1.94	2.20	2.49
29	0.02	0.05	0.09	0.13	0.19	0.26	0.35	0.44	0.55	0.68	0.81	0.97	1.14	1.32	1.53	1.75	2.00	2.27	2.57
30	0.02	0.05	0.09	1.14	0.20	0.27	0.36	0.46	0.57	0.70	0.84	1.00	1.17	1.37	1.58	1.81	2.07	2.34	2.65

注: 本表按公式 $\beta_* = 0.4 \frac{G^{2/3}}{d}$ 或公式 $\beta_* = 0.3 \frac{G^{2/3}}{d}$ 计算。

表 B.2-3 悬索湿绳改正值表 ($\beta_*=5.0$)

单位: m

湿绳长度 L_H (m)	悬索偏角 θ ($^{\circ}$)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
1	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.19
2	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.33
3	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.34	0.39	0.44
4	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.21	0.24	0.28	0.32	0.37	0.42	0.48	0.54
5	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.17	0.20	0.24	0.28	0.33	0.38	0.43	0.49	0.56	0.63
6	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.23	0.27	0.32	0.37	0.43	0.49	0.56	0.64	0.72
7	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.21	0.26	0.31	0.36	0.42	0.48	0.55	0.63	0.72	0.81
8	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.19	0.24	0.28	0.34	0.40	0.46	0.53	0.61	0.70	0.79	0.89
9	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.13	0.17	0.21	0.26	0.31	0.37	0.43	0.51	0.58	0.67	0.76	0.87	0.98
10	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.15	0.18	0.23	0.28	0.34	0.40	0.47	0.55	0.63	0.73	0.83	0.94	1.06
11	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.36	0.43	0.51	0.59	0.68	0.78	0.89	1.01	1.15
12	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.13	0.17	0.21	0.27	0.32	0.39	0.46	0.54	0.63	0.73	0.84	0.96	1.09	1.23
13	0.01	0.03	0.04	0.07	0.10	0.14	0.18	0.23	0.28	0.35	0.42	0.50	0.58	0.68	0.78	0.90	1.02	1.16	1.31
14	0.01	0.03	0.05	0.07	0.11	0.14	0.19	0.24	0.30	0.37	0.44	0.53	0.62	0.72	0.83	0.96	1.09	1.24	1.40
15	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.15	0.20	0.26	0.32	0.39	0.47	0.56	0.66	0.76	0.88	1.01	1.15	1.31	1.48
16	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.21	0.27	0.34	0.41	0.50	0.59	0.69	0.81	0.93	1.07	1.22	1.38	1.56
17	0.01	0.03	0.05	0.09	0.12	0.17	0.22	0.29	0.36	0.43	0.52	0.62	0.73	0.85	0.98	1.13	1.28	1.46	1.65

表 B.2-3 (续)

单位: m

湿绳长度 L_H (m)	悬索偏角 θ (°)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
18	0.01	0.03	0.06	0.09	0.13	0.18	0.23	0.30	0.37	0.46	0.55	0.65	0.77	0.89	1.03	1.18	1.35	1.53	1.73
19	0.02	0.03	0.06	0.09	0.14	0.19	0.25	0.31	0.39	0.48	0.57	0.68	0.80	0.93	1.08	1.24	1.41	1.60	1.81
20	0.02	0.04	0.06	0.10	0.14	0.20	0.26	0.33	0.41	0.50	0.60	0.71	0.84	0.98	1.13	1.30	1.48	1.68	1.89
21	0.02	0.04	0.07	0.10	0.15	0.20	0.27	0.34	0.43	0.52	0.63	0.75	0.88	1.02	1.18	1.35	1.54	1.75	1.98
22	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.21	0.28	0.36	0.45	0.54	0.65	0.78	0.91	1.06	1.23	1.41	1.61	1.82	2.06
23	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.22	0.29	0.37	0.46	0.56	0.68	0.81	0.95	1.11	1.28	1.46	1.67	1.90	2.14
24	0.02	0.04	0.07	0.12	0.17	0.23	0.30	0.39	0.48	0.59	0.71	0.84	0.98	1.15	1.32	1.52	1.73	1.97	2.23
25	0.02	0.04	0.08	0.12	0.18	0.24	0.31	0.40	0.50	0.61	0.73	0.87	1.02	1.19	1.37	1.58	1.80	2.04	2.31
26	0.02	0.05	0.08	0.12	0.18	0.25	0.32	0.41	0.52	0.63	0.76	0.90	1.06	1.23	1.42	1.63	1.86	2.12	2.39
27	0.02	0.05	0.08	0.13	0.19	0.26	0.34	0.43	0.53	0.65	0.78	0.93	1.10	1.28	1.47	1.69	1.93	2.19	2.47
28	0.02	0.05	0.09	0.13	0.19	0.26	0.35	0.44	0.55	0.67	0.81	0.96	1.13	1.32	1.52	1.75	1.99	2.26	2.56
29	0.02	0.05	0.09	0.14	0.20	0.27	0.36	0.46	0.57	0.70	0.84	0.99	1.17	1.36	1.57	1.80	2.06	2.33	2.64
30	0.02	0.05	0.09	0.14	0.21	0.28	0.37	0.47	0.59	0.72	0.86	1.03	1.21	1.40	1.62	1.86	2.12	2.41	2.72

注: 本表按公式 $\beta_* = 0.4 \frac{G^{2/3}}{d}$ 或公式 $\beta_* = 0.3 \frac{G^{2/3}}{d}$ 计算。

表 B.2-4 悬索湿绳改正值表

单位: m

湿绳 长度 L_H	$\beta_* = 2.0$															$\beta_* = 3.0$															
	悬索偏角 θ ($^\circ$)															悬索偏角 θ ($^\circ$)															
	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	
11	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.8	3.1	1.7	1.8	1.9	2.1	2.3	2.5	2.8	3.1	3.3	3.6	3.8
12	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	3.2	3.5	3.7	4.1
13	1.3	1.5	1.7	1.8	2.1	2.3	2.5	2.8	3.1	3.4	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5	1.9	2.0	2.1	2.3	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3
14	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.3	3.7	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	2.1	2.2	2.3	2.5	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.6
15	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.1	3.4	3.7	4.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.4	4.8
16	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.2	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.3	3.6	4.0	4.4	2.3	2.4	2.5	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.6	5.0
17	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.3	3.6	4.0	4.4	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.2	4.7	2.4	2.5	2.6	2.8	3.1	3.4	3.7	4.1	4.3	4.8	5.3
18	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.2	4.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.3	3.6	4.0	4.4	5.1	2.5	2.6	2.7	2.9	3.2	3.5	3.9	4.3	4.6	5.0	5.5
19	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.3	3.6	4.0	4.4	4.9	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.2	4.7	5.4	2.6	2.7	2.8	3.0	3.3	3.7	4.1	4.5	4.8	5.3	5.8
20	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.2	4.7	5.1	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5	3.9	4.3	4.8	5.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.5	6.0
21	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.4	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	4.0	4.4	4.9	5.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.5	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.1
22	2.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	4.2	4.6	5.1	5.6	2.3	2.5	2.8	3.2	3.5	3.9	4.3	4.8	5.3	6.1	2.9	3.0	3.1	3.3	3.6	4.0	4.4	4.9	5.3	5.8	6.3
23	2.3	2.5	2.8	3.2	3.5	3.9	4.3	4.8	5.3	5.9	2.4	2.6	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.5	6.3	3.0	3.1	3.2	3.4	3.7	4.2	4.6	5.1	5.5	6.0	6.5
24	2.4	2.6	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.5	6.1	2.5	2.7	3.0	3.4	3.8	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	3.1	3.2	3.3	3.5	3.9	4.3	4.8	5.3	5.8	6.3	6.8
25	2.5	2.7	3.1	3.5	3.9	4.4	4.7	5.2	5.8	6.4	2.6	2.8	3.1	3.5	3.9	4.4	4.9	5.4	6.0	6.6	3.2	3.3	3.4	3.6	4.0	4.5	5.0	5.5	6.1	6.6	7.1
26	2.6	2.8	3.2	3.6	4.1	4.5	4.9	5.4	6.0	6.6	2.7	2.9	3.2	3.6	4.1	4.5	5.0	5.5	6.2	6.8	3.3	3.4	3.5	3.7	4.2	4.6	5.2	5.7	6.3	6.9	7.5
27	2.7	3.0	3.4	3.8	4.2	4.7	5.2	5.6	6.2	6.8	2.8	3.0	3.3	3.7	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	7.1	3.4	3.5	3.6	3.9	4.3	4.8	5.3	5.9	6.5	7.1	7.7
28	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.4	6.0	6.6	7.3	2.9	3.2	3.5	3.9	4.4	4.9	5.4	6.0	6.6	7.3	3.5	3.6	3.7	4.0	4.5	5.0	5.5	6.1	6.8	7.5	8.0
29	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.6	6.2	6.9	7.6	3.0	3.3	3.6	4.1	4.5	5.0	5.6	6.2	6.9	7.6	3.6	3.7	3.8	4.1	4.6	5.1	5.7	6.3	7.0	7.7	8.3
30	3.0	3.4	3.8	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	3.1	3.4	3.7	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	3.7	3.8	3.9	4.2	4.8	5.3	5.9	6.5	7.2	7.9	8.5
31	3.1	3.5	3.9	4.3	4.8	5.3	5.9	6.5	7.3	8.1	3.2	3.5	3.8	4.3	4.8	5.3	5.9	6.5	7.3	8.1	3.8	3.9	4.0	4.3	4.9	5.4	6.0	6.6	7.3	8.0	8.7

表 B.2-4 (续)

单位: m

湿绳 长度 L_H	$\beta_* = 2.0$												$\beta_* = 3.0$											
	悬索偏角 θ (°)												悬索偏角 θ (°)											
	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60				
32	3.1	3.5	3.9	4.3	4.8	5.4	5.9	6.6	7.3	8.1	3.1	3.5	3.9	4.4	4.9	5.5	6.1	6.7	7.4	8.2				
33	3.2	3.6	4.0	4.5	5.0	5.5	6.1	6.8	7.5	8.3	3.2	3.6	4.1	4.5	5.1	5.6	6.2	6.9	7.6	8.4				
34	3.3	3.7	4.1	4.6	5.1	5.7	6.3	7.0	7.7	8.5	3.3	3.7	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	7.1	7.9	8.7				
35	3.4	3.8	4.2	4.7	5.2	5.8	6.5	7.2	8.0	8.8	3.4	3.8	4.3	4.8	5.3	5.9	6.6	7.3	8.1	8.9				
36	3.5	3.9	4.3	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	8.2	9.0	3.5	3.9	4.4	4.9	5.5	6.1	6.8	7.5	8.3	9.2				
37	3.6	4.0	4.5	5.0	5.5	6.2	6.8	7.6	8.4	9.3	3.6	4.0	4.5	5.1	5.6	6.3	6.9	7.7	8.5	9.4				
38	3.6	4.1	4.6	5.1	5.7	6.3	7.0	7.8	8.6	9.5	3.7	4.2	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.9	8.7	9.7				
39	3.7	4.2	4.7	5.2	5.8	6.5	7.2	8.0	8.8	9.8	3.8	4.3	4.8	5.3	5.9	6.6	7.3	8.1	9.0	9.9				
40	3.8	4.3	4.8	5.4	6.0	6.7	7.4	8.2	9.1	10.0	3.9	4.4	4.9	5.4	6.1	6.7	7.5	8.3	9.2	10.1				
41	3.9	4.4	4.9	5.5	6.1	6.8	7.6	8.4	9.3	10.3	4.0	4.5	5.0	5.6	6.2	6.9	7.7	8.5	9.4	10.4				
42	4.0	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.7	8.6	9.5	10.5	4.1	4.6	5.1	5.7	6.4	7.1	7.8	8.7	9.6	10.6				
43	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.9	8.8	9.7	10.7	4.2	4.7	5.2	5.8	6.5	7.2	8.0	8.9	9.8	10.9				
44	4.2	4.7	5.3	5.9	6.6	7.3	8.1	9.0	9.9	11.0	4.3	4.8	5.3	6.0	6.6	7.4	8.2	9.1	10.1	11.1				
45	4.3	4.8	5.4	6.0	6.7	7.5	8.3	9.2	10.2	11.2	4.4	4.9	5.5	6.1	6.8	7.6	8.4	9.3	10.3	11.4				
46	4.4	4.9	5.5	6.2	6.9	7.6	8.5	9.4	10.4	11.5	4.4	5.0	5.6	6.2	6.9	7.7	8.6	9.5	10.5	11.6				
47	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.8	8.6	9.6	10.6	11.7	4.5	5.1	5.7	6.4	7.1	7.9	8.7	9.7	10.7	11.9				
48	4.6	5.1	5.8	6.4	7.1	7.9	8.8	9.8	10.8	12.0	4.6	5.2	5.8	6.5	7.2	8.0	8.9	9.9	10.9	12.1				
49	4.7	5.2	5.9	6.5	7.3	8.1	9.0	10.0	11.0	12.2	4.7	5.3	5.9	6.6	7.4	8.2	9.1	10.1	11.2	12.3				
50	4.8	5.3	6.0	6.7	7.4	8.3	9.2	10.2	11.2	12.4	4.8	5.4	6.1	6.8	7.5	8.4	9.3	10.3	11.4	12.6				

注：本表按公式 $\beta_* = 0.4 \frac{G^{2/3}}{d}$ 或公式 $\beta_* = 0.3 \frac{G^{2/3}}{d}$ 计算。

注: 本表按公式 $\beta_* = 0.4 \frac{G^{2/3}}{d}$ 或公式 $\beta_* = 0.3 \frac{G^{2/3}}{d}$ 计算。

单位: m

表 B.2-5 悬索湿绳改正值表

湿绳 长度 L_H	$\beta_* = 4.0$										$\beta_* = 5.0$									
	悬索偏角 θ (°)										悬索偏角 θ (°)									
	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
11	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.2	2.4	2.6	2.9	3.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.4
12	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	3.1	3.5	1.4	1.6	1.7	1.9	2.2	2.4	2.7	2.9	3.3	3.6
13	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.4	3.7	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	3.2	3.5	3.9
14	1.5	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.4	3.7	4.1
15	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.2	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	3.9	4.3
16	1.7	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	4.0	4.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.1	3.4	3.8	4.2	4.6
17	1.8	2.0	2.3	2.5	2.8	3.1	3.5	3.8	4.2	4.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8
18	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	4.0	4.5	4.9	1.9	2.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	4.2	4.6	5.1
19	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.2	4.7	5.2	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5	3.9	4.4	4.8	5.3
20	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.4	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.7	4.1	4.6	5.0	5.6
21	2.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.1	5.7	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.3	4.8	5.3	5.8
22	2.3	2.5	2.8	3.2	3.5	3.9	4.4	4.8	5.4	5.9	2.3	2.6	2.9	3.3	3.6	4.0	4.5	4.9	5.5	6.1
23	2.4	2.7	3.0	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.6	6.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.1	5.7	6.5
24	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.3	4.7	5.2	5.8	6.4	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.3	4.8	5.3	5.9	6.8
25	2.5	2.9	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.4	6.0	6.6	2.6	2.9	3.3	3.6	4.1	4.5	5.0	5.5	6.1	7.0
26	2.6	3.0	3.3	3.7	4.1	4.6	5.1	5.6	6.2	6.9	2.7	3.0	3.4	3.8	4.2	4.7	5.2	5.7	6.4	7.3
27	2.7	3.1	3.4	3.8	4.3	4.7	5.3	5.8	6.5	7.1	2.8	3.1	3.5	3.9	4.3	4.8	5.4	5.9	6.6	7.5
28	2.8	3.2	3.5	4.0	4.4	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	2.9	3.2	3.6	4.0	4.5	5.0	5.5	6.1	6.8	7.8
29	2.9	3.3	3.7	4.1	4.6	5.1	5.6	6.2	6.9	7.6	3.0	3.3	3.7	4.2	4.6	5.2	5.7	6.3	7.0	8.0
30	3.0	3.4	3.8	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	7.1	7.9	3.1	3.4	3.8	4.3	4.8	5.3	5.9	6.5	7.2	8.2
31	3.1	3.5	3.9	4.4	4.8	5.4	6.0	6.6	7.3	8.1	3.2	3.5	4.0	4.4	4.9	5.5	6.1	6.7	7.5	8.5

表 B.2-5 (续)

单位: m

湿绳 长度 L_H	$\beta_* = 4.0$												$\beta_* = 5.0$											
	悬索偏角 θ (°)												悬索偏角 θ (°)											
	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60				
32	3.2	3.6	4.0	4.5	5.0	5.5	6.2	6.8	7.5	8.3	3.3	3.6	4.1	4.6	5.1	5.6	6.3	6.9	7.7	8.7				
33	3.3	3.7	4.1	4.6	5.1	5.7	6.3	7.0	7.8	8.6	3.3	3.8	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	7.1	7.9	9.0				
34	3.4	3.8	4.2	4.7	5.3	5.9	6.5	7.2	8.0	8.8	3.4	3.9	4.3	4.8	5.4	6.0	6.6	7.3	8.1	9.2				
35	3.5	3.9	4.4	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	8.2	9.1	3.5	4.0	4.4	4.9	5.5	6.1	6.8	7.5	8.3	9.5				
36	3.6	4.0	4.5	5.0	5.6	6.2	6.9	7.6	8.4	9.3	3.6	4.1	4.5	5.1	5.7	6.3	7.0	7.7	8.6	9.7				
37	3.7	4.1	4.6	5.1	5.7	6.4	7.1	7.8	8.6	9.6	3.7	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	7.2	7.9	8.8	9.9				
38	3.8	4.2	4.7	5.3	5.9	6.5	7.2	8.0	8.9	9.8	3.8	4.3	4.8	5.3	6.0	6.6	7.3	8.1	9.0	10.2				
39	3.8	4.3	4.8	5.4	6.0	6.7	7.4	8.2	9.1	10.1	3.9	4.4	4.9	5.5	6.1	6.8	7.5	8.3	9.2	10.4				
40	3.9	4.4	5.0	5.5	6.2	6.8	7.6	8.4	9.3	10.3	4.0	4.5	5.0	5.6	6.2	6.9	7.7	8.5	9.4	10.7				
41	4.0	4.5	5.1	5.7	6.3	7.0	7.8	8.6	9.5	10.5	4.1	4.6	5.1	5.7	6.4	7.1	7.9	8.7	9.7	10.9				
42	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.2	7.9	8.8	9.7	10.8	4.2	4.7	5.3	5.9	6.5	7.3	8.1	8.9	9.9	11.2				
43	4.2	4.7	5.3	5.9	6.6	7.3	8.1	9.0	10.0	11.0	4.3	4.8	5.4	6.0	6.7	7.4	8.2	9.1	10.1	11.4				
44	4.3	4.8	5.4	6.0	6.7	7.5	8.3	9.2	10.2	11.3	4.4	4.9	5.5	6.1	6.8	7.6	8.4	9.3	10.3	11.7				
45	4.4	4.9	5.5	6.2	6.9	7.6	8.5	9.4	10.4	11.5	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.7	8.6	9.5	10.5	11.9				
46	4.5	5.1	5.7	6.3	7.0	7.8	8.7	9.6	10.6	11.8	4.6	5.1	5.7	6.4	7.1	7.9	8.8	9.7	10.8	12.1				
47	4.6	5.2	5.8	6.4	7.2	8.0	8.8	9.8	10.8	12.0	4.6	5.2	5.8	6.5	7.3	8.1	8.9	9.9	11.0	12.4				
48	4.7	5.3	5.9	6.6	7.3	8.1	9.0	10.0	11.1	12.2	4.7	5.3	6.0	6.6	7.4	8.2	9.1	10.1	11.2	12.6				
49	4.8	5.4	6.0	6.7	7.5	8.3	9.2	10.2	11.3	12.5	4.8	5.4	6.1	6.8	7.5	8.4	9.3	10.3	11.4	12.9				
50	4.9	5.5	6.1	6.8	7.6	8.5	9.4	10.4	11.5	12.7	4.9	5.5	6.2	6.9	7.7	8.5	9.5	10.5	11.6					

注: 本表按公式 $\beta_* = 0.4 \frac{G^{2/3}}{d}$ 或公式 $\beta_* = 0.3 \frac{G^{2/3}}{d}$ 计算。

表 B.3-1 缆道垂度位移改正值表 ($m=0.20$) 单位: m

主索垂度 $f_x(m)$	悬索偏角 $\theta(^{\circ})$																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
1	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07
2	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14
3	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21
4	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.28
5	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	0.31	0.35
6	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.32	0.37	0.42
7	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.32	0.37	0.43	0.49
8	0	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.23	0.27	0.31	0.36	0.42	0.49	0.56
9	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21	0.25	0.30	0.35	0.41	0.48	0.55	0.63
10	0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.16	0.20	0.24	0.28	0.33	0.39	0.45	0.53	0.61	0.70
11	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.43	0.50	0.58	0.67	0.77
12	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.24	0.29	0.34	0.40	0.47	0.55	0.63	0.73	0.84
13	0.01	0.01	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.21	0.26	0.31	0.37	0.43	0.51	0.59	0.69	0.79	0.92
14	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15	0.19	0.23	0.28	0.33	0.40	0.47	0.55	0.64	0.74	0.85	0.99
15	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.20	0.24	0.30	0.36	0.42	0.50	0.59	0.68	0.79	0.92	1.06

表 B.3-1 (续)

单位: m

主索垂度 $f_x(\text{m})$	悬索偏角 θ ($^\circ$)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
16	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.13	0.17	0.21	0.26	0.32	0.38	0.45	0.53	0.62	0.73	0.84	0.98	1.13
17	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14	0.18	0.23	0.28	0.34	0.40	0.48	0.57	0.66	0.77	0.90	1.04	1.20
18	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.15	0.19	0.24	0.29	0.36	0.43	0.51	0.60	0.70	0.82	0.95	1.10	1.27
19	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.20	0.25	0.31	0.38	0.45	0.54	0.63	0.74	0.86	1.00	1.16	1.34
20	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.21	0.26	0.33	0.40	0.48	0.57	0.67	0.78	0.91	1.06	1.22	1.41
21	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.13	0.17	0.22	0.28	0.34	0.42	0.50	0.59	0.70	0.82	0.96	1.11	1.28	1.48
22	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10	0.14	0.18	0.23	0.29	0.36	0.44	0.52	0.62	0.73	0.86	1.00	1.16	1.34	1.55
23	0.01	0.02	0.05	0.07	0.10	0.14	0.19	0.24	0.30	0.38	0.46	0.55	0.65	0.77	0.90	1.05	1.21	1.40	1.62
24	0.01	0.03	0.05	0.07	0.11	0.15	0.19	0.25	0.31	0.39	0.48	0.57	0.68	0.80	0.94	1.09	1.27	1.46	1.69
25	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.16	0.21	0.26	0.33	0.41	0.50	0.59	0.71	0.83	0.98	1.14	1.32	1.53	1.76
26	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.21	0.27	0.34	0.42	0.52	0.62	0.74	0.87	1.02	1.18	1.37	1.59	1.83
27	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.17	0.22	0.29	0.36	0.44	0.54	0.64	0.76	0.90	1.05	1.23	1.43	1.65	4.90
28	0.01	0.03	0.05	0.09	0.13	0.17	0.23	0.30	0.37	0.46	0.56	0.67	0.79	0.93	1.09	1.27	1.48	1.71	1.97
29	0.01	0.03	0.06	0.09	0.13	0.18	0.24	0.31	0.38	0.47	0.57	0.69	0.82	0.97	1.13	1.32	1.53	1.77	2.04
30	0.01	0.03	0.06	0.09	0.14	0.19	0.25	0.32	0.40	0.49	0.59	0.71	0.85	1.00	1.17	1.36	1.58	1.83	2.11

注：本表按公式 $\Delta_{\text{位}} = \frac{1}{2}mf, \tan^2\theta$ 计算。

注: 本表按公式 $\Delta_{\text{位}} = \frac{1}{2} m f \tan^2 \theta$ 计算。

单位: m

表 B.3-2 缆索位移改正值表 ($m=0.30$)

主索 垂度 $f_x(m)$	悬索偏角 θ ($^{\circ}$)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
1	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11
2	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21
3	0	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.24	0.27	0.32
4	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.32	0.37	0.42
5	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.40	0.46	0.53
6	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21	0.25	0.30	0.35	0.41	0.48	0.55	0.63
7	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.17	0.21	0.25	0.30	0.35	0.41	0.48	0.55	0.64	0.74
8	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.20	0.24	0.29	0.34	0.40	0.47	0.55	0.63	0.73	0.84
9	0.01	0.01	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.22	0.27	0.32	0.38	0.45	0.53	0.61	0.71	0.82	0.95
10	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.20	0.24	0.30	0.36	0.42	0.50	0.59	0.68	0.79	0.92	1.06
11	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.14	0.17	0.22	0.27	0.33	0.39	0.47	0.55	0.64	0.75	0.87	1.01	1.16
12	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.15	0.19	0.24	0.29	0.36	0.43	0.51	0.60	0.70	0.82	0.95	1.10	1.27
13	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.21	0.26	0.32	0.39	0.46	0.55	0.65	0.76	0.89	1.03	1.19	1.37
14	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.13	0.17	0.22	0.28	0.34	0.42	0.50	0.59	0.70	0.82	0.96	1.11	1.28	1.48
15	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10	0.14	0.19	0.24	0.30	0.37	0.45	0.54	0.64	0.75	0.88	1.02	1.19	1.37	1.58

表 B.3-2 (续)

单位: m

主索垂度 $f_x(\text{m})$	悬索偏角 θ ($^{\circ}$)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
16	0.01	0.03	0.05	0.07	0.11	0.15	0.20	0.25	0.32	0.39	0.48	0.57	0.68	0.80	0.94	1.09	1.27	1.46	1.69
17	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.21	0.27	0.34	0.42	0.51	0.61	0.72	0.85	1.00	1.16	1.35	1.56	1.80
18	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.17	0.22	0.29	0.36	0.44	0.54	0.64	0.76	0.90	1.05	1.23	1.43	1.65	1.90
19	0.01	0.03	0.06	0.09	0.13	0.18	0.23	0.30	0.38	0.47	0.56	0.68	0.81	0.95	1.11	1.30	1.50	1.74	2.01
20	0.01	0.03	0.06	0.09	0.14	0.19	0.25	0.32	0.40	0.49	0.59	0.71	0.85	1.00	1.17	1.36	1.58	1.83	2.11
21	0.02	0.03	0.06	0.10	0.14	0.20	0.26	0.33	0.42	0.51	0.62	0.75	0.89	1.05	1.23	1.43	1.66	1.92	2.22
22	0.02	0.04	0.07	0.10	0.15	0.21	0.27	0.35	0.44	0.54	0.65	0.79	0.93	1.10	1.29	1.50	1.74	2.01	2.32
23	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.21	0.28	0.36	0.46	0.56	0.68	0.82	0.98	1.15	1.35	1.57	1.82	2.11	2.43
24	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.22	0.30	0.38	0.48	0.59	0.71	0.86	1.02	1.20	1.41	1.64	1.90	2.20	2.53
25	0.02	0.04	0.07	0.12	0.17	0.23	0.31	0.40	0.50	0.61	0.74	0.89	1.06	1.25	1.46	1.71	1.98	2.29	2.64
26	0.02	0.04	0.08	0.12	0.18	0.24	0.32	0.41	0.52	0.64	0.77	0.93	1.10	1.30	1.52	1.77	2.06	2.38	2.75
27	0.02	0.04	0.08	0.13	0.18	0.25	0.33	0.43	0.54	0.66	0.80	0.96	1.14	1.35	1.58	1.84	2.14	2.47	2.85
28	0.02	0.05	0.08	0.13	0.19	0.26	0.35	0.44	0.56	0.69	0.83	1.00	1.19	1.40	1.64	1.91	2.22	2.56	2.96
29	0.02	0.05	0.09	0.14	0.20	0.27	0.36	0.46	0.58	0.71	0.86	1.03	1.23	1.45	1.70	1.98	2.30	2.66	3.06
30	0.02	0.05	0.09	0.14	0.20	0.28	0.37	0.48	0.60	0.73	0.89	1.07	1.27	1.50	1.76	2.05	2.38	2.75	3.17

注：本表按公式 $\Delta_{\text{位}} = \frac{1}{2} m f_r \tan^2 \theta$ 计算。

注: 本表按公式 $\Delta_{\text{位}} = \frac{1}{2} m f_r \tan^2 \theta$ 计算。

单位: m

表 B.3-3 缆索位移改正值表 ($m=0.40$)

主索 垂度 $f_x(m)$	悬索偏角 θ ($^{\circ}$)																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
1	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14
2	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.28
3	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.32	0.37	0.42
4	0	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.23	0.27	0.31	0.36	0.42	0.49	0.56
5	0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.16	0.20	0.24	0.28	0.33	0.39	0.45	0.53	0.61	0.70
6	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.20	0.24	0.29	0.34	0.40	0.47	0.55	0.63	0.73	0.84
7	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15	0.19	0.23	0.28	0.33	0.40	0.47	0.55	0.64	0.73	0.85	0.99
8	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.13	0.17	0.21	0.26	0.32	0.38	0.45	0.53	0.62	0.73	0.84	0.98	1.13
9	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.15	0.19	0.24	0.29	0.36	0.43	0.51	0.60	0.70	0.82	0.95	1.10	1.27
10	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.21	0.26	0.33	0.40	0.48	0.57	0.67	0.78	0.91	1.06	1.22	1.41
11	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10	0.14	0.18	0.23	0.29	0.36	0.44	0.52	0.62	0.73	0.86	1.00	1.16	1.34	1.55
12	0.01	0.03	0.05	0.07	0.11	0.15	0.20	0.25	0.32	0.39	0.48	0.57	0.68	0.80	0.94	1.09	1.27	1.46	1.69
13	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.21	0.27	0.34	0.42	0.52	0.62	0.74	0.87	1.02	1.18	1.37	1.59	1.83
14	0.01	0.03	0.06	0.09	0.13	0.17	0.23	0.30	0.37	0.46	0.56	0.67	0.79	0.93	1.09	1.27	1.48	1.71	1.97
15	0.01	0.03	0.06	0.09	0.14	0.19	0.25	0.32	0.40	0.49	0.59	0.71	0.85	1.00	1.17	1.36	1.58	1.83	2.11

表 B.3-3 (续)

单位: m

主索 垂度 $f_x(m)$	悬索偏角 θ (°)																36	38	40
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34			
16	0.02	0.04	0.06	0.10	0.14	0.20	0.26	0.34	0.42	0.52	0.63	0.76	0.90	1.07	1.25	1.46	1.69	1.95	2.25
17	0.02	0.04	0.07	0.11	0.15	0.21	0.28	0.36	0.45	0.56	0.67	0.81	0.96	1.13	1.33	1.55	1.79	2.08	2.39
18	0.02	0.04	0.07	0.11	0.16	0.22	0.30	0.38	0.48	0.59	0.71	0.86	1.02	1.20	1.41	1.64	1.90	2.20	2.53
19	0.02	0.04	0.08	0.12	0.17	0.24	0.31	0.40	0.50	0.62	0.75	0.90	1.07	1.27	1.48	1.73	2.01	2.32	2.68
20	0.02	0.04	0.08	0.12	0.18	0.25	0.33	0.42	0.53	0.65	0.79	0.95	1.13	1.33	1.56	1.82	2.11	2.44	2.82
21	0.02	0.05	0.08	0.13	0.19	0.26	0.35	0.44	0.56	0.69	0.83	1.00	1.19	1.40	1.64	1.91	2.22	2.56	2.96
22	0.02	0.05	0.09	0.14	0.20	0.27	0.36	0.46	0.58	0.72	0.87	1.05	1.24	1.47	1.72	2.00	2.32	2.69	3.10
23	0.02	0.05	0.09	0.14	0.21	0.29	0.38	0.49	0.61	0.75	0.91	1.09	1.30	1.53	1.80	2.09	2.43	2.81	3.24
24	0.02	0.05	0.09	0.15	0.22	0.30	0.39	0.51	0.64	0.78	0.95	1.14	1.36	1.60	1.87	2.18	2.53	2.93	3.38
25	0.02	0.06	0.10	0.16	0.23	0.31	0.41	0.53	0.66	0.82	0.99	1.19	1.41	1.67	1.95	2.27	2.64	3.05	3.52
26	0.03	0.06	0.10	0.16	0.23	0.32	0.43	0.55	0.69	0.85	1.03	1.24	1.47	1.73	2.03	2.37	2.74	3.17	3.66
27	0.03	0.06	0.11	0.17	0.24	0.34	0.44	0.57	0.72	0.88	1.07	1.28	1.53	1.80	2.11	2.46	2.85	3.30	3.80
28	0.03	0.06	0.11	0.17	0.25	0.35	0.46	0.59	0.74	0.91	1.11	1.33	1.58	1.87	2.19	2.55	2.96	3.42	3.94
29	0.03	0.06	0.11	0.18	0.26	0.36	0.48	0.61	0.77	0.95	1.15	1.38	1.64	1.93	2.26	2.64	3.06	3.54	4.08
30	0.03	0.07	0.12	0.19	0.27	0.37	0.49	0.63	0.79	0.98	1.19	1.43	1.70	2.00	2.34	2.73	3.17	3.66	4.22

注: 本表按公式 $\Delta H = \frac{1}{2}mf, \tan^2\theta$ 计算。

表 B.4 测点深校正系数 ϵ

H(m)	$\beta_*=2.0$			$\beta_*=3.0$			$\beta_*=4.0$			$\beta_*=5.0$		
	相对位置 ξ											
	0.2H	0.6H	0.8H	0.2H	0.6H	0.8H	0.2H	0.6H	0.8H	0.2H	0.6H	0.8H
1												
2												
3	0.43	0.44	0.30									
4	0.27	0.30	0.22									
5	0.18	0.22	0.17	0.37	0.38	0.26						
6	0.12	0.17	0.14	0.27	0.30	0.22	0.43	0.40	0.27			
7	0.07	0.14	0.12	0.21	0.25	0.20	0.34	0.35	0.25	0.47	0.47	0.30
8	0.04	0.10	0.10	0.16	0.21	0.16	0.27	0.30	0.22	0.39	0.40	0.27
9	0.01	0.08	0.08	0.12	0.17	0.14	0.22	0.25	0.19	0.33	0.35	0.25
10	0	0.06	0.07	0.08	0.14	0.12	0.18	0.22	0.17	0.27	0.30	0.22
11	-0.02	0.05	0.06	0.06	0.12	0.11	0.15	0.20	0.15	0.23	0.27	0.20
12	-0.03	0.04	0.05	0.04	0.10	0.10	0.12	0.16	0.13	0.19	0.24	0.17
13	-0.04	0.02	0.05	0.02	0.09	0.09	0.10	0.15	0.12	0.16	0.21	0.16
14	-0.05	0.02	0.04	0.01	0.07	0.09	0.07	0.13	0.11	0.14	0.19	0.15
15	-0.05	0.01	0.04	0	0.06	0.07	0.06	0.12	0.10	0.10	0.16	0.13
16	-0.06	0	0.04	-0.01	0.05	0.07	0.04	0.11	0.10	0.09	0.15	0.12
17	-0.06	0	0.03	-0.02	0.05	0.06	0.03	0.09	0.09	0.08	0.14	0.11
18	-0.06	0	0.03	-0.02	0.04	0.06	0.02	0.08	0.09	0.07	0.13	0.11
19	-0.07	-0.01	0.03	-0.03	0.03	0.05	0.01	0.07	0.08	0.06	0.11	0.10
20	-0.08	-0.02	0.02	-0.04	0.02	0.05	0	0.06	0.07	0.04	0.10	0.10
21	-0.08	-0.02	0.02	-0.05	0.02	0.05	-0.01	0.06	0.07	0.03	0.10	0.10
22	-0.08	-0.03	0.02	-0.06	0.01	0.05	-0.02	0.05	0.06	0.02	0.09	0.09
23	-0.09	-0.03	0.02	-0.06	0.01	0.04	-0.02	0.04	0.06	0.02	0.08	0.08
24	-0.09	-0.03	0.01	-0.06	0	0.04	-0.03	0.03	0.06	0.01	0.07	0.07
25	-0.09	-0.04	0.01	-0.06	0	0.04	-0.03	0.03	0.05	0	0.06	0.07
30	-0.10	-0.05	0	-0.08	-0.02	0.02	-0.05	0.01	0.04	-0.03	0.04	0.06
35	-0.10	-0.06	0	-0.09	-0.03	0.01	-0.07	0	0.03	-0.05	0.02	0.05
40	-0.11	-0.07	-0.01	-0.09	-0.04	0.01	-0.08	-0.02	0.02	-0.06	0	0.04
50	-0.12	-0.08	-0.02	-0.10	-0.05	0	-0.09	-0.04	0.01	-0.08	-0.02	0.02

附录 C 比测用表

表 C.1 站缆道起点距比测记录表

日期： 年 月 时至 时					测次编号：	
测距方法：					计数方法：	
基线位置及长度：					零点位置：	
垂线 号数	起点距 (m)		差值		误差 $\frac{(c)}{\text{河宽}} \times 100\%$	往测或返测
	实测 (a)	缆道测 (b)	间距	(a) - (b) (c)		
统计	往测垂线最大误差：		累计误差：		系统误差：	
	返测垂线最大误差：		累计误差：		系统误差：	

站长：

比測：

操作：

表 C.2 ____站缆道铅鱼测深比测记录表

日期： 年 月 时至 时						水位： m		计数器型式：				
测次编号：			铅鱼重量： kg			水面开关至铅鱼底距离： m						
测次方法：①与什么相比较：						②往测或返测：						
起点距 (m)	实测水深 (a) (m)	缆道测深 (m)								水深 (b)	差值 (b) - (a)	误差 $\frac{(b)-(a)}{(a)} \times 100\%$
		计数器读数	测深改正数	计数水深	偏角	改正值						
						干绳 $\Delta_{干}$	湿绳 $\Delta_{湿}$	位移 $\Delta_{位}$	$\Sigma\Delta$			
统计	系统误差： (%) 95%频率误差 \leq (%) 75%频率误差 \leq (%)											
	垂线最大误差： (%) 平均误差： (%)											

站长： 比测： 操作：

表 C.3 站缆道流量比测统计表

编号	日期 (年.月.日)	水位 (m)	缆道实测 流量 (m ³ /s)	船测 (或其他方法) 实测流量 (m ³ /s)	相应 流量 (m ³ /s)	误差 (%)	备注
统计	最大误差： (%) 系统误差： (%)						
	95%频率误差≤ (%) 75%频率误差≤ (%)						

站长： 制表： 年 月 日 校核

附录D 测验用表

表 D.1 站流速及悬移质输沙率测验记载表

[illegible]

表 D.3 站悬移质输沙率测验记载表

[illegible]

施测：

处理:

一校：

田
月

二校：

五

III.

站長：

二五

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、只、只有……才允许	要 求
不应或不得	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水文缆道测验规范

SL 443—2009

条文说明

目 次

1	总则.....	91
2	术语.....	92
3	缆道建设与使用.....	93
4	缆道组成.....	94
5	缆道测流	96
7	养护与维修.....	99

1 总 则

1.0.1 水文缆道是我国水文工作者在 20 世纪 50 年代创建,并经过 40 多年不断实践,不断创新逐步发展起来的。水文缆道是收集水文资料的一种重要测验设施,具有节省人力、保障安全、提高测洪能力和测验精度的优点。

为统一水文缆道的技术标准,提高缆道测验成果质量,水利电力部于 1984 年颁发了《水文缆道测验规范》(SD 121—84)。该规范的实施,对水文缆道测验的规范化,提高水文测验成果质量起到了积极的促进作用。

随着电子信息技术的发展,全国各地有关水文部门相继开发出先进的缆道控制系统,实现了缆道操作的自动化或半自动化;同时,先进的测流、取沙仪器也不断在缆道上应用。SD 121—84 已不能满足新技术、新方法、新仪器在水文缆道上推广应用的要求。因此,在总结各地水文部门缆道测验成熟经验的基础上,制定本规范。

1.0.5 本规范仅对缆道设计的主要技术参数作了规定,缆道组成的结构设计不在本规范要求范围内;由于水文缆道结构复杂,涉及电子、机械、通信、工业与民用建筑等专业,因此,水文缆道的设计除应符合本规范规定外,尚应符合国家现行有关规范的规定。

2 术 语

2.0.1~2.0.14 本规范中所采用的术语，大部分引自 GB/T 50095—98，少数为本规范命名。

3 缆道建设与使用

3.1.2 水文缆道设计需收集的有关水文、气象、地质、地形、地震等资料是指最高洪水位、最大流速、最大水深、最大含沙量、最大水面宽、最大风速、最低最高气温、河岸崩坍、土壤地质、河床组成、通航、漂浮物、冰凌、雷电活动、供电、交通、通信等情况。

3.1.3 水文缆道根据所建位置、结构型式与河道水流条件的不同，其测洪标准也不尽相同。吊箱缆道是一种中低水测验设施，其制定的测洪标准相对较低。

3.1.7~3.1.9 缆道设计、施工与验收应按国家有关规范要求实施过程控制，确保工程质量。

3.2.1 一年中缆道使用不到 30 次的测站，可根据实际情况减少率定、比测次数。

4 缆道组成

4.4.4 由于该设备在低速运行时功耗相对过大，效率低，当运转方向发生改变时，需要一定的滞后时间。

4.5.6 系统在正常运行和出错时都应该具备水平、垂直限位等应急处理功能。如：当铅鱼到河底，河底信号发生并及时接收到时具备自动停车功能，属正常情况；当铅鱼到河底，信号没有发生或没有传回到控制台，均属不正常，此时也应该具备自动停车或限位功能。其限位的方式可分软件限位和硬件限位（开关限位），软件限位由测控程序计数控制，过高、过低，过远、过近，可提前设置；硬件限位是要做限位开关，并将其开关状态量接入控制台，直接控制变频器，使其停机。当系统出错时，硬件限位发挥作用。

4.5.7 测控装置是自控系统重要的组成部分，是计算机与外设联系的纽带，外设控制功能的实现，各种数据与信息的交换过程都是通过前置机来完成的。前置机除充当计算机与外设的中枢外，还具备一定的独立性，可单独作为一种仪器设备使用。

4.5.8 基本型水下信号装置是指水下存在水面、河底、流速三种基本信号，信号可通过电路依次转换输出，或者以不同频率输出。综合型水下信号装置指水下除存在水面、河底、流速三种基本信号外，还存在超声波、取沙等信号，通过前置设备可控制水下信号的输出状态，选择各类水下信号传输通道，以保证水下信号的准确输出。

污染相对较重或含沙量偏轻的河流，应选择以磁浮开关或水银浮球作水面信号传感装置；污染相对较轻或含沙量相对偏重的河流，应选择以水阻（极板）作水面信号传感装置。

4.5.9 软件操作安全性是指所有操作均需要有“热点”提示和操作向导。软件抗干扰指程序采用分时间片处理，以防系统

锁死。

4.5.11 人工操作指令级别最高，随时可以中断自动方式下的测量过程。目的是保证系统运行安全，遇特殊情况随时中断。自动转人工测量是自动测量情况下，系统因停电或雷击等其他原因无法继续进行下去而设计的一种处理方法，它既具备自动测量的功能，也具备人工测量的特点。

4.6.2 当情况特殊，缆道房和塔架（柱）合并设立时，在设计时应特别注意人员和建筑物的安全问题。

4.7.1 有关规定引自 GB 50057—94 第 6.3.4 条。

4.7.3~4.7.5 有关规定分别引自 GB 50057—94、GB 50343—2004。

避雷带和引下线宜采用圆钢或扁钢，应优先采用圆钢。圆钢直径不应小于 8mm。扁钢截面不应小于 48mm^2 ，厚度不应小于 4mm。

利用混凝土构件内钢筋作接闪器时，接闪器应热镀锌或涂漆。在腐蚀性较强的场所，尚应采取加大其截面或其他防腐措施。

利用混凝土内钢筋作为自然引下线并同时采用基础接地体时，可不设断接卡，利用钢筋作引下线时应在室内外的适当地点设若干连接板，该连接板可供测量、接人工接地和作等电位连接用。

当仅利用钢筋作引下线并采用埋于土壤中的人工接地体时，应在每根引下线上于距地面不低于 0.5m 处设接地体连接板。采用埋于土壤中的人工接地体时应设断接卡，其上端应与连接板或钢柱焊接。连接板处应有明显标志。

接地装置应利用建筑物的自然接地体，当自然接地体的接地电阻达不到要求时应增加人工接地体。人工接地体宜在建筑物四周散水坡外大于 1m 处埋设成环形接地体，并可作为总等电位连接带使用。

5 缆道测流

5.3.2 流速信号由流速传感器中的开关控制产生与流速大小成正比的开关信号，仅使用流速信号时，可直接使用其开关信号控制产生直流脉冲，通过有线或缆道传回室内；若使用多个水下信号时，应使用其开关信号控制产生不同频率的音频脉冲或由音频调制的数码等信号方式，通过有线或“无线”传输。

5.4.4 测距计数器率定是将行车悬吊常用的铅鱼开至断面不同的位置处，用经纬仪交会法（或其他方法）分段测得起点距，与计数器读数建立关系，确定各测速（深）垂线位置的计数器读数，每年汛前应率定1次。起点距比测：各测速（深）垂线位置的计数器读数确定后，再将行车按顺序开往各垂线位置处，将用经纬仪交会法测量行车的起点距与率定的起点距比较，若误差超过了允许值，则应重新率定；河宽采用起点距比测时最左端及最右端起点距的差值。

用测量循环索运行长度法确定起点距，可在缆道两岸高水部位，增设固定起点距标志桩作为经常性检验的依据。

5.5.3 铅鱼测深是通过岸上的传感装置（含铅鱼上安装的水面、河底信号装置）和数字显示仪表来测量铅鱼由水面至河底运行时起重索收、放长度并换算为水深（应加上水面与河底信号装置的安装高差值）。

测深计数器的率定：应用钢尺量读起重索一段长度，做出尺寸标志，起动绞车，测记已量定的起重索运行长度及计数器读数，两者相比较，计算其相对误差（以钢尺量读数作为参照数），在不同长度段内重复30次以上，系统误差在1%以内可使用，系统误差大于1%应查明原因，采取措施或进行改正。

测深改正数：计数器率定后，应在无偏角的情况下率定计数器读数与实测水深的关系，率定方法可采用上述方法，也可以在

悬索（测深杆）上作尺寸标志，用望远镜直接观读水深，并同时测记水深记数器读数等方法。

水深比测操作方法：

出车前应仔细检查铅鱼悬吊情况，线路联结、导线绝缘情况，以及水面、河底信号的灵敏度等，发现问题及时排除。行车开至预定位置，下放铅鱼至水面，当水面信号到时开始计数，铅鱼继续匀速下放至河底，河底信号到时即停止计数；进行上提测深，当河底信号结束时开始记数，水面信号到来时停止计数。计数水深一般取其下放、上提测深的平均值作为 1 次测深成果。上下两次不符值一般不应超过 2%，河底不平或水深不小于 3m 时不超过 5%，发现有不合理现象，应予重测。困难情况下，可采用单程测深。

5.5.5 超声测深仪水下部分有超声换能器、收发控制电路及水下电源，信号采用有线传输或“无线”传输。超声换能器应置于铅鱼或含采样器的铅鱼水平翼上，水下电路部分应置于能承受大于 300kPa 压力的密封金属容器内，外形应为流线型，并应牢固地安装在阻水影响较小的位置上。

5.5.6 测深仪比测宜在无偏角时选择在断面上较大水深处进行。比测方法可选用在悬索上做尺寸标志，安装在铅鱼上的换能器，向水面发射，将铅鱼下放到一定深度，用经过温度校正后的测深仪测量铅鱼入水深度，与铅鱼入水深度相比较，依次测量 15～30 点。

测深比测检查方法：在垂直距离换能器向上发射面 3m 或 5m 处的钢绳上绑好红线作为标记。在水流平缓的地方下放铅鱼至红线处，用前置仪开始向上测深，测出的数据应符合误差要求。

5.6.2 相对计数水深法：水面、河底测点的湿绳长度可直接观测，其余测点的湿绳长度应等于该点的相对水深与湿绳总长度的乘积。冰期的冰底、冰花底及河底测点的湿绳长度可直接观测，其余测点的湿绳长度应等于该点自冰底或冰花底算起的相对水深

与有效湿绳总长度的乘积，再加水浸冰及冰花总厚度之和。

试错法：当测速是由河底测向水面时，先根据各相邻测点湿绳长度之差，初步定出逐点转移测点位置时，计数器读数减少的数值，并据此初步算出仪器放至各测点附近时计数器的读数，把仪器提放至初步算出的预定位置上，量出新的悬索偏角，与前一测点的偏角对比。如有变化，应根据新偏角的干绳改正数与前一测点偏角的干绳改正数之差调整仪器的位置（偏角减小时上提，偏角加大时下放），再次量出新的悬索偏角，与上一次量得的偏角比较，如基本一致（相差不超过测角器的最小刻度单位）即可定位测量。否则应按上述方法继续调整仪器位置，直至最后两次量得的偏角基本一致为止。

7 养护与维修

7.3.1 “有条件的测站宜设置操作台，整合仪表布局”，指将各种仪表集中整合在一起，缩小占用空间，美化工作环境。

中华人民共和国水利行业标准
水文缆道测验规范
SL 443—2009

*

中国水利水电出版社出版发行
(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)

网址: www.waterpub.com.cn

E-mail: sales@waterpub.com.cn

电话: (010) 68367658 (营销中心)

北京科水图书销售中心 (零售)

电话: (010) 88383994、63202643

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

北京市兴怀印刷厂印刷

*

140mm×203mm 32开本 3.375印张 90千字

2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

印数 0001—5000册

*

书号 155084·638

凡购买我社规程,如有缺页、倒页、脱页的,

本社营销中心负责调换

其他问题,请与本社水利水电技术标准咨询服务中心联系

电话(传真): (010) 68317913

E-mail: wy@waterpub.com.cn

版权所有·侵权必究